



**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ**

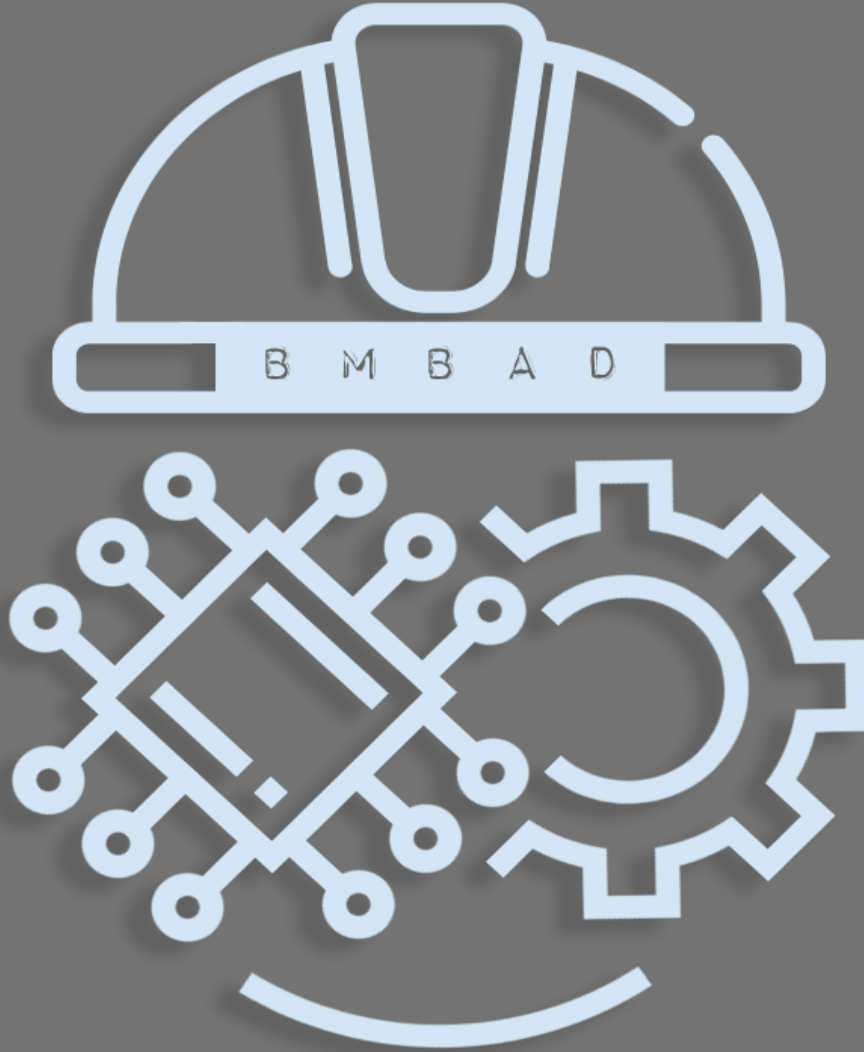
**BMBAD
BJESR**

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches

Cilt/Volume :3

Sayı/Issue :2

Yıl/Year : 2021





BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Müh.Bil.ve Araş.Dergisi

Cilt/Vol. 3

Sayı/Issue 2

2021

ISSN: 2687-4415

Sahibi/Owner

Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Rektörü*

Baş Editor /Editor in Chief

Doç. Dr. Muhammet Nuri SEYMAN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Yardımcı Editörler/Associate Editors

Doç. Dr. Bülent BÜYÜK *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Dr. Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN *Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi*

Alan Editörleri/Field Editors

Prof. Dr. Recep ÇALIN (Kırıkkale Üniversitesi) (Makina)

Doç. Dr. Serhat DUMAN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Elektrik-Elektronik)

Doç. Dr. Bülent BÜYÜK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversite) (Mühendislik Temel Bilimleri)

Doç. Dr. Onur ÜLKER (Eskişehir Teknik Üniversitesi) (Orman)

Dr. Öğr. Üyesi İlyas ÖZER (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Bilgisayar)

Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) (Yer Bilimleri)

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ŞAHİN (Bursa Teknik Üniversitesi) (Endüstri)

Mizanpaj

Arş. Gör. F. Kebire BARDAK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Dil Editörü

Arş. Gör. Muhammed Şamil BALCI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Editörler Kurulu/Editorial Board

Prof.Dr. Feyzullah TEMURTAŞ, ftemurtas@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Prof.Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Necmi TAŞPINAR, ntaşpinar@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof.Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Uğur TEMİZ, ugur.temiz@bozok.edu.tr, Yozgat Bozok Üniversitesi

Doç.Dr. Muhammet Nuri SEYMAN, mseyman@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç.Dr. Abdullah YEŞİL, ayesil@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç.Dr. Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN, osetin@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Yalçın IŞIK, yisik@selcuk.edu.tr, Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdehkharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiement Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Dr. Öğr. Üyesi Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof.Dr. Hasan BAYINDIR, hasanbayindir@dicle.edu.tr, Dicle Üniversitesi

Prof.Dr. Hasan ERBAY, erbay@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY, mgunay@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Prof.Dr. Fırat KAÇAR, gkacar@istanbul.edu.tr, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

Prof.Dr. Cihan KARAKUZU, cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Uğur TEMİZ, ugur.temiz@bozok.edu.tr, Yozgat Bozok Üniversitesi

Prof.Dr. Mehmet KURBAN, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edibali Üniversitesi

Prof.Dr. Necmi TAŞPINAR, ntaşpinar@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Prof.Dr. Osman YILDIZ, osmanyildiz@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Prof.Dr. Nejat YUMUŞAK, nyumusak@sakarya.edu.tr, Sakarya Üniversitesi

Prof.Dr. İbrahim DEVELİ, ideveli@erciyes.edu.tr, Erciyes Üniversitesi

Doç.Dr. Adem DALCALI, adalcali@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi

Doç.Dr. Sertaç BAYHAN, sbayhan@hbku.edu.qa, Hamad Bin Khalifa University

Doç.Dr. Selim ÖNCÜ, soncu@karabuk.edu.tr, karabük Üniversitesi

Doç.Dr. İlker TÜRKER, iturker@karabuk.edu.tr, Karabük Üniversitesi

Doç.Dr. Hasan YAMIK, hasan.yamik@bilecik.edu.tr, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Doç.Dr.Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr.Üye. Ali DURMUŞ, adurmus@kayseri.edu.tr, Kayseri Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Serhat Berat EFE, Sefe@bandirma.edu.tr, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Kenan HATIPOĞLU, kenan.hatipoglu@mail.vwu.edu, West Virginia Area University

Dr. Öğr.Üye. Yalçın IŞIK, yisik@selcuk.edu.tr, Selçuk Üniversitesi

Dr. Öğr.Üye. Hayri YAMAN, hyaman@kku.edu.tr, Kırıkkale Üniversitesi

Dr.Öğr. Üye. Rahim DEHKHARGHANI, rdehkharghani@bonabu.ac.ir, Computer Eng., Natural Language Processing, and Sentiment Analysis

Behnaz HASSANSHAHİ, behnaz.hassanshahi@oracle.com, Oracle Lab Australia, Computer Eng. Dynamic Analysis and Fuzzing Techniques

Yazıřma Adresi/ Correspondence Address

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 10200 Bandırma/ Balıkesir, Türkiye

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

bjesr@bandirma.edu.tr

Tel: 0266 717 0117 (3512)

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Vortex Yöntemiyle Üretilen FeB takviyeli AA1050 Kompozitlerde FeB Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi
The Effect of FeB Content on Mechanical Properties in FeB-reinforced AA1050 Composites Produced by Vortex Method **152-160**

Sadettin ŞAHİN, Muharrem PUL

(Araştırma Makalesi/Research Article)

COVID-19 Pandemi Sürecinde Çocukların El Yıkama Alışkanlığının Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sistem ile İzlenmesi
Monitoring the Handwashing Habits of Children During COVID-19 Pandemic with the System Based on the Internet of Things **161-168**

Fırat AYDEMİR, Seyfullah ARSLAN

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Sorgun (Yozgat) Bazaltlarının Petrografik Özelliklerinin Yapı Taşı Olabilirlik Açısından İncelenmesi
Investigation of Petrographic Properties of Sorgun (Yozgat) Basalts in Terms of Building Block Possibility **169-179**

Ersin KOLAY, Hatice BİLEN ATAY, Yusuf Kağan KADIOĞLU

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Eğerci Köyü Ferromanganez Cevherleşmesinin Maden Mikroskopik Özellikleri: Yozgat-TÜRKİYE
Ore Microscopic Characteristics of Ferromanganese Mineralization of Eğerci Village: Yozgat-TURKEY **180-187**

Nursel ÖKSÜZ, İsmail KOÇAK, Sümeyra KAYA

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Düşük-Işıklı Renkli Görüntülerin İyileştirilmesinde Kullanılan Retineks Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi
Comparative Analysis of Retinex Algorithms used in Low-Light Color Image Enhancement **188-206**

Ferzan KATIRCIOĞLU

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, Sakarya Havzası Örneği

Effect of Climate Change on Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought in Sakarya Basin , TURKEY **207-217**

Akın DUVAN, Gaye AKTÜRK, Osman YILDIZ

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Salanda Fay Zonu (SFZ) ile İlişkili Traverten Oluşumlarının Paleoiklimsel Önemi Paleoclimatic Significance of Travertine formations associated with the Salanda Fault Zone (SFZ)

Paleoclimatic Significance of Travertine Formations Associated with the Salanda Fault Zone (SFZ) **218-225**

İsmail KOÇAK, Uğur TEMİZ, Nursel ÖKSÜZ

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Elektrik Güç Sistemleri için Kontrollü Kesici Tasarımı

Controlled Breaker Desing for Electric Power Systems **226-234**

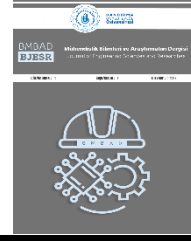
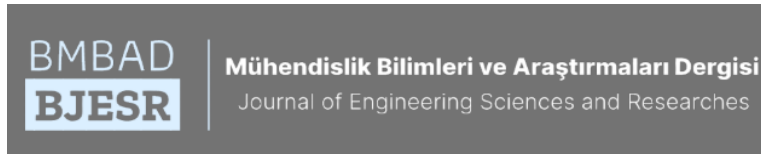
İsmail BOZDAĞ, Serhat Berat EFE

(Araştırma Makalesi/Research Article)

Su Borusu Hatlarında Sızıntı tespitinde Yer Radari Yöntemi Uygulaması (GPR)

Application of Ground Penetrating Radar (GPR) Method in Leak Detection in Water Pipeline **235-244**

Hakan KÜTÜKCÜOĞLUGİL, Sinan KOŞAROĞLU, Funda BİLİM



Vortex Yöntemiyle Üretilen FeB takviyeli AA1050 Kompozitlerde FeB Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect of FeB Content on Mechanical Properties in FeB-reinforced AA1050 Composites Produced by Vortex Method

¹Sadettin ŞAHİN  ²Muharrem PUL 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale, Türkiye

¹ssahin@kku.edu.tr, ²mpul@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 16 April 2021

Accepted : 3 May 2021

Keywords:

Vortex Method, Composite, AA 1050, FeB, Microstructure, Mechanical Property

ABSTRACT

In this study, composite samples were produced by reinforcing 2%, 4% and 8% FeB (ferroboron) into 99.5% commercial purity aluminum material by vortex method. Then, hot pressing was applied to the composite samples produced in order to compress the microstructure. SEM images were taken for microstructural analysis. Hardness measurements, tensile tests and abrasive wear tests were carried out to determine some mechanical properties. From the SEM images, it was understood that the amount of clumping pore in the composite structure increased with the increase in the amount of FeB reinforcement. With the increase in the FeB ratio in the composite structure, the hardness, tensile strength and abrasive wear resistance values firstly increased and then decreased. It has been concluded that the FeB reinforcement ratio in such composite structures increases the mechanical strength up to a certain rate, but when it is higher, it has a decreasing effect on the mechanical strength.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 16 Nisan 2021

Kabul : 3 Mayıs 2021

Anahtar Kelimeler:

Vortex Yöntemi, Kompozit, AA 1050, FeB, Mikroyapı, Mekanik Özellik

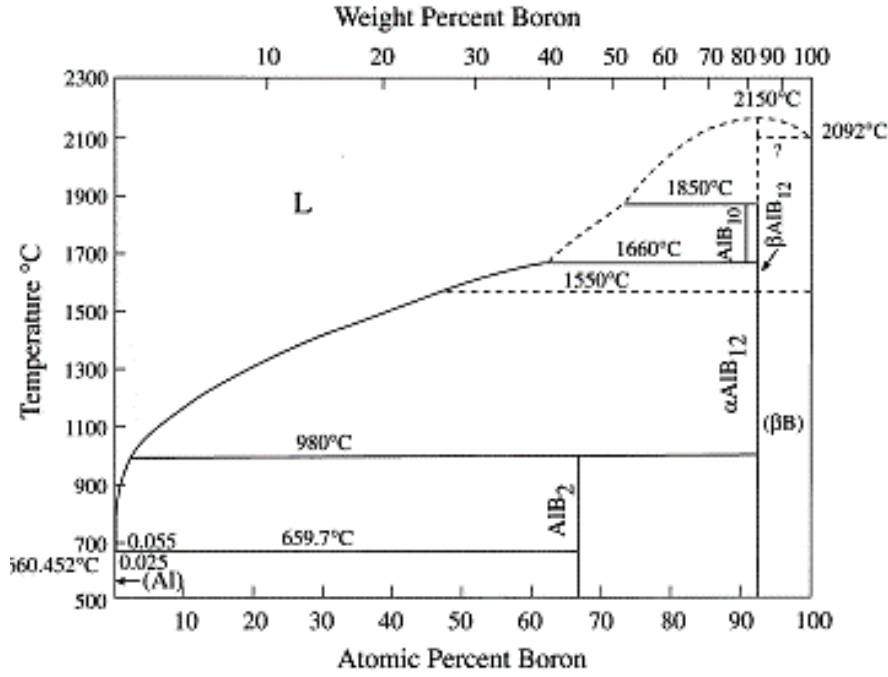
ÖZET

Bu çalışmada %99,5 ticari saflıktaki alüminyum malzeme içine vortex yöntemiyle %2, %4 ve %8 oranında FeB (ferrobor) takviye edilerek kompozit numuneler üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit numunelere, mikroyapının sıkıştırılması amacıyla sıcak presleme işlemi uygulanmıştır. Mikroyapı analizleri için SEM görüntüleri çekilmiş ve bazı mekanik özellikleri belirlemek üzere sertlik ölçümleri, çekme testleri ve abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. SEM görüntülerinden FeB takviye miktarının artmasıyla kompozit yapıdaki topaklanma gözenek miktarının arttığı anlaşılmıştır. Kompozit yapı içindeki FeB oranını artmasıyla sertlik, çekme dayanımı ve abrasif aşınma dayanımı değerleri önce artmış daha sonra azalmıştır. Her üç mekanik deneyde de kompozit yapı benzer davranış sergilemiştir. Bu tür kompozit yapılarda FeB takviye oranının belli bir orana kadar mekanik dayanımı arttırdığı ancak daha yüksek oranlara çıktığında ise mekanik dayanımı azaltıcı etki yaptığı sonucuna varılmıştır.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı guruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [1]. Metal, polimer veya seramik esaslı kompozit malzemeler içine çok faklı özellikte takviye malzemeleri ilave edilmektedir. Metal esaslı kompozitlerde genellikle alüminyum, magnezyum, bakır, çinko gibi demir dışı metaller daha çok tercih edilmektedirler. Bunlar içinde alüminyum ve alaşımları ise en büyük paya sahip olan metal grubunu oluşturmaktadır. Alüminyum ve alaşımları, yoğunluklarının düşük, elektrik ve ısı iletkenliklerinin ise yüksek olması nedeniyle üretim ve imalat sektöründe tercih edilen malzemelerdendir. Ancak Al ve alaşımlarının aşınma dirençlerinin düşük olması, uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının mevcut özelliklerini geliştirmek için whisker, fiber veya partikül biçimli sert takviye elemanı karışımıyla alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir [2]. Metal matrisli kompozitlerden (MMK) olan alüminyum matrisli kompozitlerde genellikle SiC, SiO₂, B₄C, TiB₂, TiC, MgO, Al₂O₃ gibi seramik özellik gösteren, partikül biçimli ve mikron mertebesinde boyuta sahip takviye elemanları kullanılmaktadır. Ancak FeB (ferrobor) takviyeli ve alüminyum matrisli kompozitler üzerine yapılmış çalışmalar literatürde pek yer almamaktadır. Bilindiği üzere bor elementi tabiatta saf halde bulunmayıp çeşitli bileşikler halinde yer almaktadır. Çelik endüstrisinde veya diğer metalürjik işlemlerde Bor'un farklı bileşikleri metal içine ilave edilerek ergiyik malzeme içinde çözünmesi beklenmektedir. Metalik malzemelerde mukavemet artırma mekanizmalarından biri de "Katı eriyik" elde edilmesidir. Saf demirin mukavemeti çok düşük olduğu halde, demir içinde eriyen çok az miktardaki C sayesinde "çelik" vasfını almaktadır. Saf Cu, düşük mukavemetli bir malzemedir ancak içinde çözünen Ni ve Cu elementleriyle çok ciddi mukavemet artışları sağlanabilmektedir. Alüminyum, düşük yoğunluğu sebebiyle özellikle havacılık sektöründe çok kullanılan bir malzeme olmasına rağmen düşük mukavemet değerleri sebebiyle, kullanımı sınırlı kalmaktadır veya kesit kalınlaştırma yoluna gidildiği için ağırlığı artmaktadır. Alüminyum içinde B eriyebilirliğinin son derece düşük olduğu, Al-B faz diyagramında görülmektedir ancak bu değerde bile Al-B alaşımı üreterek yapılmış bir çalışma literatürde bulunamamıştır. Metalik saf Bor'un bulunma ve aşılama zorluğu sebebiyle ferrobor kullanılması yoluna gidilmiştir. Ferrobor içinde, demirle beraber çözünmüş elementel bor bulunmaktadır. Sıvı alüminyuma ilave edilen ferrobor'daki bu elementel bor'un; sıvı alüminyuma geçerek, katılaşma sonucunda katı Al-B çözeltisi elde edilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen bu katı çözeltinin mekanik özelliklerinde iyileşme olacağı öngörülmüştür. Elde edilen mekanik sonuçlar, bu öngörümüzü destekler mahiyette olmuştur. Alaşımın daha geliştirilmesi halinde nispi olarak yüksek mukavemetli alüminyum alaşımı elde edilmesi mümkün olabilecektir. Ferrobor, ağırlıkça %10-20 arasında bor ihtiva eden bir demir-bor alaşımıdır. Katı haldeki demir içinde bor, sıcaklığa bağlı olarak %0,1-0,15 arasında çözünmektedir. Demir-bor ikili faz diyagramına bakıldığında metaller arası iki bileşik görülmektedir. Bunlar FeB ve Fe₂B bileşikleridir. FeB ortorombik kristal yapısına, Fe₂B ise tetragonal kristal yapısına haizdir. Fe₂B'nin bileşiminde %9, FeB'nin bileşiminde ise %16 bor bulunur. İkili denge diyagramına göre, yüzde 9-16 arasında bor içeren alaşımın faz yapısı Fe₂B ve FeB kristallerinden ibarettir. Yüzde 16'dan fazla bor içeren alaşım ise FeB ve B kristallerinden oluşur [3]. Ferrobor çoğunlukla çelik ve sürekli manyetik malzeme üretiminde kullanılır. Ferrobor'un diğer kullanım alanları; plastisitesi yüksek (malleable) dökme demir, amorf metaller, bakır ve alüminyum üretimleridir. Bor, çeliğin sertliğini karbür oluşturmak suretiyle artırır. Diğer karbür yapan elementlerle kıyaslandığında, çeliğe aynı derecede sertlik kazandırmak için çok az miktarda bor gerekmektedir [3]. Alüminyum ile Bor'un birlikte yer aldığı çalışmalar literatürde çok az yer almaktadır. Kimyasal ve metalürjik açıdan bakıldığında alüminyum metali içinde bor elementinin çözünmesi ve birlikte alaşım meydana getirmelerinin zorluğu nedeniyle bu araştırmaların yapılamadığı düşünülmektedir. Şekil 1'de verilen Al-B faz diyagramı incelendiğinde bu durum daha net olarak anlaşılabilir.



Şekil 1. Al-B faz diyagramı

Şekil 1'deki Al-B faz diyagramında, oda sıcaklığında Al içinde B'un eriyebilirliği %0 görünmektedir. Literatürde yer alan bir çalışmada, oda sıcaklığındaki Al-B alaşımında %0,0002 (2 ppm) katı eriyik halinde B tespit edildiği ifade edilmiştir [4]. Bu kadar küçük bir değer, faz diyagramında gösterilememektedir ancak analizde tespit edilmiştir. Al içinde B'un bu kadar düşük çözünme oranı, Hume Rothery kuralıyla açıklanabilir. Periyodik tabloda atom çapları, sağdan sola doğru büyümektedir. Atom numarası 5 olan Bor'un atom çapı, atom numarası 6 olan Karbon atomunun çapından daha büyüktür. Bor atom çapı 0,168 nm, Al atom çapı 0,242 nm'dir. Katı çözelti için aradaki farkın %15'ten fazla olmaması gerekirken buradaki fark %69'dur. Elektronegatiflik değerleri de 2,04 ve 1,5 olarak çok farklı olduğu için bileşik yapmaya yatkındırlar. Dolayısıyla Bor elementinin Alüminyum içinde katı çözelti yapması her açıdan zor olmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında sınırlı sayıda yayın yer almakta olup bu çalışmalarda da daha çok Al ile B arasındaki termodinamik ilişki incelenmiştir [5-8]. Bu deneysel çalışma ile yumuşak ve aşınma direnci düşük özellikte olan alüminyuma bor ilave edilerek mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla vortex (ergimiş metal karıştırma) yöntemi kullanılarak %99,5 ticari saflıktaki alüminyum içine farklı ağırlık oranlarında tanecik biçiminde FeB tozu takviye edilmiştir. Tanecik takviyeli MMK malzemelerin üretim yöntemlerinden olan ergimiş metal karıştırma yöntemi, genel amaçlı uygulamalarda düşük maliyetli MMK malzeme üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir [9]. Yapılan deneysel çalışma ile üretilen FeB takviyeli ve AA1050 esaslı kompozitlerin mikroyapıları incelenmiş ve bazı mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla sertlik, çekme ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre elde edilen verilerden oluşturulan grafikler değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışmada kompozit malzemelerin üretimi için matris malzemesi olarak 1050 kalite alüminyum, katkı elemanı olarak ortalama 44 mikron partikül boyutunda FeB kullanılmıştır. Deney malzemelerine ait bazı teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney malzemelerinin teknik özellikleri

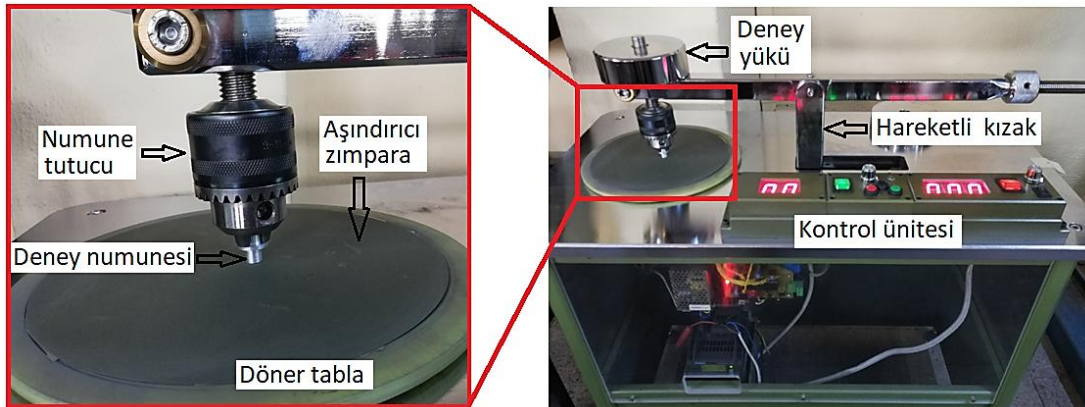
Al 1050							
% Fe	% Si	% Cu	% Mg	% Mn	% Zn	% Al	
0,4	0,25	0,05	0,05	0,05	0,07	Kalan	
Yoğunluk		Sertlik	Çekme Dayanımı		Erieme Noktası		
2,71 kg/m ³		34 HB	105-145 MPa		650 °C		
FeB							
% B	% Si max	% Al max	% C max	% P max	% S max	% Cr max	% Fe
17-20	2,0	1,0	0,5	0,05	0,05	0,1	Kalan
Erieme Noktası				Yoğunluk			
>1500°C				3,3g/cm ³			

Yapılan literatür araştırmasında bu tür kompozitlerin üretimi için kullanılan deney parametreleri incelenmiştir. En fazla tercih edilen eritme sıcaklıkları, karıştırma devir ve süreleri tespit edilerek bu çalışmada kullanılacak deney parametreleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında AA1050 külçe malzeme elektrikli ergitme ocağındaki pota içine konularak 750°C sıcaklıkta sıvı ergiyik haline getirilmiştir. Daha sonra karıştırılabilir döküm cihazının pervaneleri sıvı alüminyum içine daldırılarak 600 dev/dak hızda karıştırma işlemi başlatılmıştır. Bu esnada hesaplanan ağırlık oranında FeB tozu, karıştırma devam ederken pota içine ilave edilmiştir. Bu şekilde 10 dak süre boyunca karıştırma işlemi devam ettirilerek sonlandırılmıştır. Son olarak sıvı karışım vakit kaybetmeden önceden hazırlanmış olan 150 mm çapında 150 mm boyunda ve 30 mm çapında 180 mm boyunda çelik kalıplar içine dökülmüştür. Bu işlemler %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitler ve katkısız saf AA1050 malzeme için tekrar edilerek malzeme üretim işlemleri tamamlanmıştır. Ancak bu tür kompozit yapılarda sıklıkla karşılaşılan ve genellikle döküm işlemleri sonrasında görülebilen yapısal kararsızlıkların giderilmesi ve kompozit yapının sıkılaştırılması amacıyla sıcak presleme işlemi yapılmıştır. Bunun için soğuduktan sonra kalıplar içinden çıkarılan kompozit numuneler ısıtılma fırını içinde 400°C sıcaklıkta ısıtılarak, 50 tonluk pres altında tek yönde boyuna olacak şekilde sıkıştırılmıştır. Şekil 2’de preslenmiş kompozit numuneler gösterilmektedir.



Şekil 2. Kompozit numuneler

Daha sonra çalışmanın ikinci aşaması olan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tayin edebilecek deney ve incelemelere geçilmiştir. Bu amaçla her farklı deney için deney numuneleri hazırlanmıştır. İlk olarak TS EN ISO 6506-1 standardına göre Brinell yöntemiyle sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde her malzemenin 5 farklı bölgesinden ölçülen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak grafiğe aktarılmıştır. Daha sonra kompozit numuneler üzerinde TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak çekme deneyleri yapılmıştır. Son olarak ise kompozit malzemelerin aşınmaya karşı davranışlarını belirleyecek abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri pin-on disk yöntemi ile iki (60 s ve 120 s) farklı aşınma süresi ve 20 N yük altında yapılmıştır. Aşındırıcı eleman olarak 600 mesh tanecik büyüklüğünde Al₂O₃ zımpara kullanılmıştır. Aşınma deneyleri her üç takviye oranındaki kompozit malzemelere ve saf Al1050 malzemeye ayrı ayrı uygulanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri aşınma deneyi öncesi ve aşınma deneyi sonrası 0,0001 gr ölçme hassasiyetindeki terazide tartılarak aşınma kayıpları belirlenmiştir. Aşınma deneyleri sırasında çekilen fotoğraf Şekil 3’te verilmiştir.

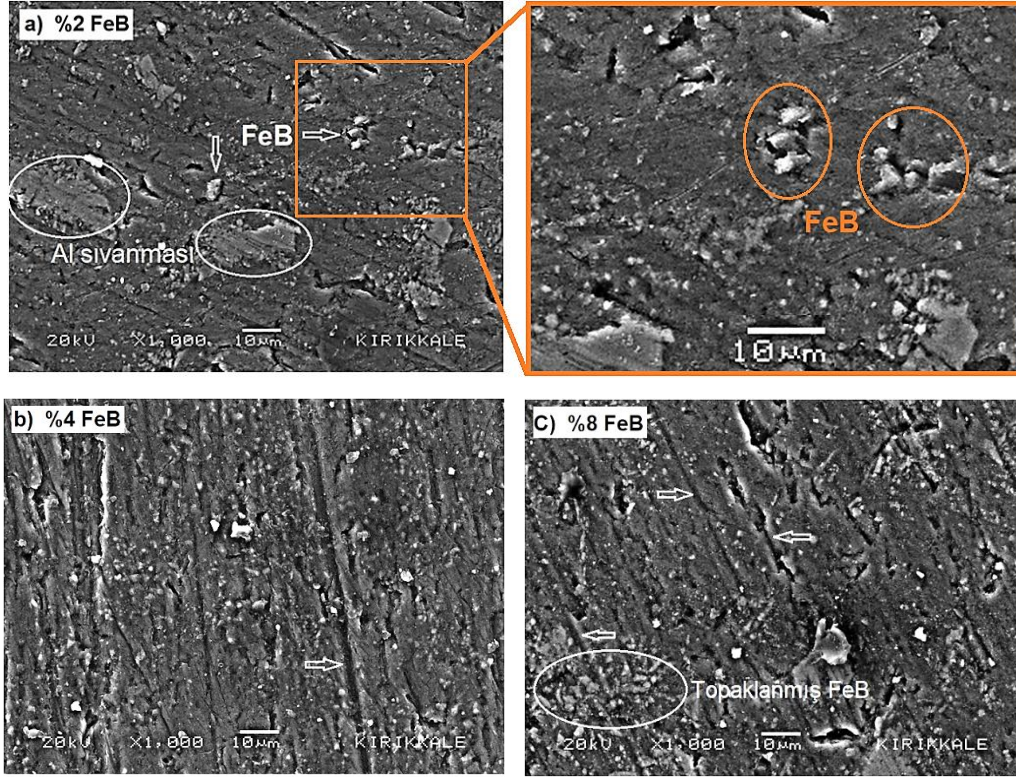


Şekil 3. Abrasif aşınma deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapı Değerlendirmesi

Vortex yöntemiyle üretilmiş olan %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) $\times 1000$ büyütmede çekilen görüntüleri Şekil 4'te toplu olarak verilmiştir.



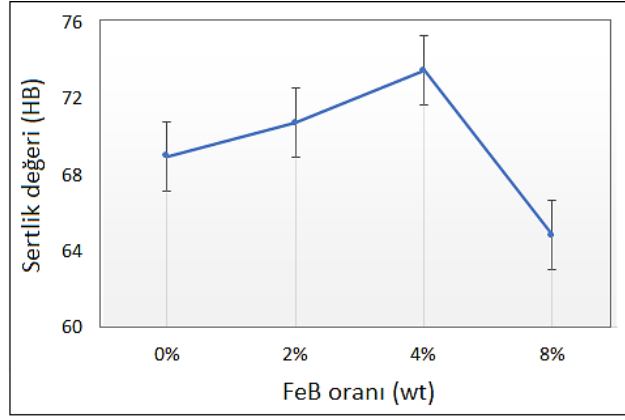
Şekil 4. %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri

Şekil 4'teki görüntülere bakıldığında ilk etapta FeB taneciklerinin yapı içindeki etkisi ön plana çıkmaktadır. FeB oranının artmasıyla kompozit yapı içindeki dağılımın kötüleştiği yer yer FeB taneciklerinin biri araya gelerek topaklanmış bölgelerin oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum Şekil 1c'de görülen %8 takviyeli numunede daha fazla ön plana çıkmaktadır. Ayrıca SEM görüntülerinin çekilmesinden önce yapılan yüzey hazırlama işleminde, sert fazdaki FeB taneciklerinin yüzeyi çizdiği ve derin oyuklara neden olduğu da görülmektedir. Bu çiziklerin oluşturduğu oyuklar Şekil 1b ve 1c'de ok işareti ile gösterilmiştir. 1050 kalite alüminyumun yumuşak yapısının sebep olduğu sıvanmalar ise Şekil 1a'da görülmektedir. Alüminyuma göre daha sert fazdaki FeB taneciklerinin oranının az olması sebebiyle, %2 takviyeli kompozit yapıdaki matris fazı Al 1050 ön plana çıkarak yüzey hazırlama sırasındaki zımparalamanın sürtünme etkisiyle alüminyum sıvanmalarının olduğu bölgeler meydana gelmiştir.

Kompozitlerin mikroyapı değerlendirmesinde diğer önemli husus matris-takviye arasındaki ıslatma problemi. Özellikle karıştırılmalı döküm tekniği ile üretilen parçacık takviyeli metalik kompozitlerde düşük veya yetersiz ıslatma en çok rastlanan olumsuzlukların başında gelmektedir [10]. Kompozit yapının elemanlarından olan Al 1070 ve FeB farklı yüzey enerjilerine sahiptir. Dolayısıyla farklı termodinamik davranışlar sergilemekte ve matris ile takviye ara yüzeylerinde yeterli seviyede ıslatma olamamaktadır. Hem yetersiz ıslatma hem de farklı yoğunluk değerleri sebebiyle sıvı matris içindeki FeB çökmesi ve topaklanmasıyla kompozit içinde bölgesel olarak gözenekli bir yapı oluşabilmektedir [10-12]. Bütün bu olumsuzluklar kompozit malzemenin mekanik özelliklerine değişik biçimlerde etki yapmaktadır.

3.2. Sertlik Ölçümü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

%2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin Brinell yöntemi ile yapılan sertlik ölçümlerinden elde edilen verilere göre çizilen grafik Şekil 5'te verilmiştir.

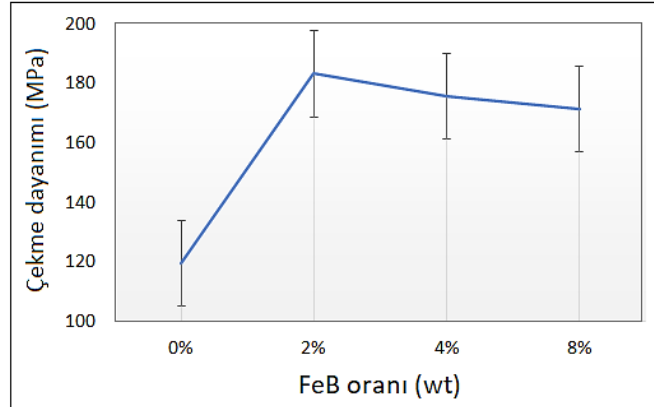


Şekil 5. Kompozitlerin sertlik değerleri

Şekil 5'e bakıldığında FeB takviye oranının artışına bağlı olarak sertlik değerlerinin önce yükseldiği daha sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Sertlik değeri %4 FeB takviye oranına kadar yükseldikten sonra %8 FeB takviye oranında aniden düşerek saf haldeki Al 1050 malzemenin sertlik değerinin de altına indiği anlaşılmaktadır. Parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde bu sertlik davranışıyla karşılaşılabilir [13,14]. Takviyenin belli bir orana kadar yükselmesiyle, takviye elemanının sertliğine bağlı olarak kompozit yapının sertliği yükselmektedir ancak takviye miktarının belli bir oranın üzerine çıkmasıyla kompozit yapıdaki gözeneklilik (porozite) artış göstermekte ve sertlik ölçümü sırasında sertlik cihazının ölçme probu bu gözenekli bölgelerden ölçüm yapabilmektedir. Dolayısıyla sertlik değerleri normalden daha fazla düşmekte veya karasız ölçüm sonuçları ortaya çıkabilmektedir. Şekil 2'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, artan FeB takviye oranıyla birlikte kompozit yapıdaki gözenekli bölgelerin de artış gösterdiği gözlenmektedir. Sertlik değerlerini etkileyen diğer husus ise sıvı alüminyum içine takviye edilen ferrobör içindeki elementel bor'un, alüminyum matris içinde çözülmüş olması ihtimalidir. Son zamanlarda Bor elementinin ilave edilebildiği malzemelerin, bazı teknik özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir. Çekme deneylerinin yorumlandığı bölümde bu konuda daha fazla açıklama yapılmıştır.

3.3. Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Vortex yöntemiyle üretilmiş olan %2, %4, %8 FeB katkıli kompozitlerin çekme testlerinden elde edilen verilere göre çizilen grafik Şekil 6'da verilmiştir.



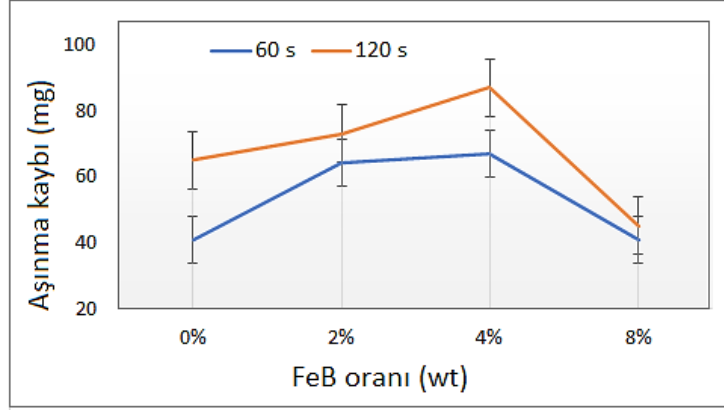
Şekil 6. Kompozitlerin çekme dayanımı değerleri

Şekil 6'daki grafiğe bakıldığında, Şekil 5'teki sertlik grafiğine benzer bir durum gözle çarpmaktadır. FeB takviyesiz saf Al 1050 malzemeye göre, %2 FeB takviyeli malzemenin çekme dayanımında önemli ölçüde artış olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı değeri 119,5 MPa'dan 183,2 MPa'a yükselmiştir. Bu durumda FeB takviyesinin çekme dayanımı değerini %50 kadar yükselttiği ifade edilebilir. %4 ve %8 FeB takviyeli numunelerde ise çekme dayanımı değerleri sırasıyla 175,6 MPa ve 171,4 MPa olarak ölçülmüştür. Bir miktar düşme olsa da yine %45 civarında bir çekme dayanımı artışından bahsetmek mümkündür. FeB takviye oranının yükselmesiyle çekme dayanımı değerlerinin biraz azalmasını, yapı içindeki takviye toplanmasına bağlı olan gözeneklilikle açıklamak mümkündür. Zira kompozit yapı içindeki düzensiz şekilli ve yer yer keskin köşeli FeB tanecikleri aynı zamanda çentik etkisi yaparak çekme deneyi esnasında kompozit yapının birbirinden ayrılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak esas önemli sonuç FeB katkısının Al 1050 matris malzemesinin çekme dayanımı değerini dikkate değer oranda arttırmış olmasıdır. Bu durumu FeB içindeki elementel Bor'un Al 1050 malzeme içinde çok az miktarda da olsa çözülmüş olabilme ihtimali ile açıklamak mümkündür. Literatürdeki bir

çalışmada %99,99 saflıktaki alüminyum içinde %0,0016 oranında Bor çözünerek AlB_2 oluşturduğu tespit edilmiştir [4]. Farklı bir çalışmada ise Al-B master alaşım üretiminde KBF₄'ten redüklenen bor, Al/cüruf arayüzünde AlB_{12} katmanı halinde biriktiği ve harici kuvvet etkisiyle sıvı alüminyum içine itilen AlB_{12} , alüminyum ile peritektik reaksiyona girerek AlB_2 'ye dönüştüğü bildirilmiştir [7]. Literatürdeki bu sonuçlardan yola çıkarak yapılan bu çalışmada da çok düşük miktardaki B'un sıvı Al içinde çözünerek katı çözelti oluşturduğu düşünülmektedir. Çekme dayanımındaki bu artış, kompozit yapı içindeki B'un mekanik dayanımı artırıcı etkisine atfedilmiştir.

3.4. Abrasif Aşınma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Vortex yöntemiyle üretilmiş olan %2, %4, %8 FeB katkılı kompozitlerin 60 s ve 120 s sürede yapılan abrasif aşınma deneylerinden elde edilen aşınma kaybı değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Aşınma kaybı değerleri

Aşınma kayıplarını gösteren grafik incelendiğinde, sertlik ve çekme deney sonuçlarıyla benzer karakterde bir grafik eğrisi olduğu görülmektedir. Aşınma kayıpları %4 FeB oranına kadar yükselirken, %8 FeB oranında ani bir azalma göstererek saf Al 1050 malzemenin aşınma kaybı değerine yaklaşmıştır. Sertlik değeri en yüksek olan %4 FeB takviyeli numunede en fazla aşınma kaybı meydana gelmiştir. Bu tür kompozit yapılar içinde sert fazdaki takviye parçacıklarının aşınmayı artırıcı bir etki yaptığı söylenebilir. Kompozit yapı içinde sert takviye fazının artmasıyla sertlik değerleri de artış göstermektedir ancak sertliğin artması aşınma direncini azaltmıştır. Literatürde benzer sonuçlar yer almaktadır [15-18]. Aşınma deneyleri sırasında kompozit yapı içinden koparak uzaklaşan FeB parçacıklarının ikinci bir abrasif aşınma mekanizması olarak hareket ettiği ve aşınma deneylerinde kullanılan zımpara gibi görev yaptığı değerlendirilmektedir. Dolayısıyla kompozit yapı içindeki takviye miktarına bağlı olarak bu ikinci aşındırma işlemi daha fazla etkili olabilmektedir. Ancak burada %8 takviye oranında daha fazla aşınma kaybı olması beklenirken tersi olmuştur. Bunun sebebi, kompozit yapı içindeki FeB topaklanma bölgeleri ve yüksek gözenekliliğe bağlı olarak devreye giren farklı bir aşınma davranışının ortaya çıkmasıdır. Bu durumda, aşınma deneyleri sırasında daha büyük kütleler halinde FeB parçacıkları koparken oluşturduğu oyuk ve gözeneklerin yerine yumuşak fazdaki Al 1070 malzemenin dolarak sıvandığı anlaşılmaktadır.

Şekil 7'deki grafiklerde dikkati çeken diğer husus aşınma süresiyle aşınma kayıpları arasındaki orantısız değerlerdir. Normal olarak aşınma deney süresi iki katına çıktığında aşınma miktarının da yaklaşık iki katına çıkması beklenir. Bu beklenti saf Al 1050 malzemede nispeten gerçekleşmiştir. Ancak FeB takviyeli kompozit numunelerde aşınma süresinin artışı kadar aşınma miktarları artmamış ve %8 takviyeli numunede neredeyse biri birine yakın sonuçlanmıştır. Bunun farklı sebepleri olabilmekle birlikte en önemli sebebinin aşınma deneylerinde meydana gelen yüzey altı gerilim sertleşmesi olduğu düşünülmektedir. Nitekim benzer sonuç literatürde yer almaktadır [19]. Kompozit numunelere yapılan ilk aşınma deneyinde uygulanan yükün ve oluşan ısının sebebiyle aşınma yüzeyinde meydana gelen sertleşme, aynı yüzey üzerinde yapılan ikinci 120 saniyelik aşınma deneyinde etkisini göstermiştir. Bu deneyde nispeten sertleşmiş ve kayganlaşmış olan numune yüzeyinden aşındırıcı zımparanın malzeme kaldırması zorlaşmıştır. Diğer bir deyişle, zımparanın malzeme yüzeyine tutunması ve dalması işlemi güçleşerek, birim zamandaki aşınma kayıplarının azalmasına sebep olmuştur.

4. SONUÇ

Bu deneysel çalışmada %99,5 ticari saflıktaki Al 1050 alüminyum alaşımı içine vortex yöntemiyle %2, %4 ve %8 ağırlık oranlarında toz FeB takviye edilerek kompozitler malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozitler üzerinde yapılan sertlik, çekme, abrasif aşınma deneyleri ve SEM incelemelerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Matris malzemesi Al 1050 ile takviye elemanı FeB arasında yeterli seviyede ıslatmanın olmadığı görülmüştür. Takviye oranının artmasıyla FeB topaklanması oluşmuş ve buna bağlı olarak kompozit yapı içinde gözenekli bölgeler meydana gelmiştir.
- Kompozit numunelerin sertlik değerlerinde %4 FeB takviye oranına kadar yükselme meydana gelmiştir ancak %8 FeB takviyeli numunede aniden düşerek saf Al 1050 malzemenin sertlik değerinin altına inmiştir. Bu durum kompozit yapının içindeki aşırı gözenekliliğe atfedilmiştir.
- En kararlı veriler çekme deneylerinden elde edilmiştir. FeB takviyesi Al 1050 matris malzemesinin mekanik dayanımını arttırmış ve çekme mukavemeti değerlerini yükseltmiştir. Bu sonuç tespit edilememiş olmasına rağmen B elementinin Al 1050 matris içinde çok düşük miktarda çözünmüş olabileceği ve bunun da dayanım artışı sağladığı şeklinde değerlendirilmiştir.
- Kompozit malzemelerin abrasif aşınma deneylerinden elde edilen değerler ile sertlik değerleri arasında ters orantılı sonuçlar elde edilmiştir. Kompozit yapının sertlik değerinin artmasıyla aşınma kayıpları da artış göstermiştir. Bu duruma, kompozit yapının FeB oranına bağlı olarak artan gözenekliliğinin sebep olduğu ifade edilmiştir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

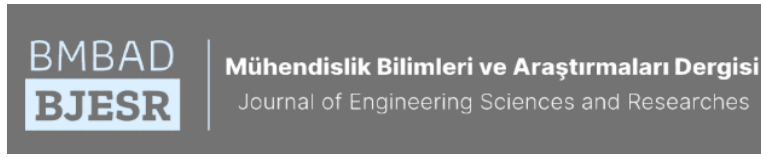
Çıkar Çatışması

Makale yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] A. Ulutaş ve H. Turhan, "Investigation Of Microstructure And Electrical Characteristics Of Cu-FeB Composite Materials Produced By Powder Metallurgy", *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, vol. 12, no. 2, pp. 43-52, 2017.
- [2] S. Buytoz ve H. Eren, "Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasif Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi", *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, vol. 19, no. 2, pp. 209-216, 2007.
- [3] Ferrobör Ön Fizibilite Etüdü, Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara, ss. 1-48, 2003.
- [4] N. J. Finch, "The Mutual Solubilities of Titanium and Boron in Pure Aluminum", *Metallurgical Transactions* vol. 3, pp. 2709-2711, 1972.
- [5] J. Fjellstedt, A.E.W. Jarfors, T. El-Benawy, "Experimental investigation and thermodynamic assessment of the Al-rich side of the Al-B system", *Materials and Design*, vol. 22, pp. 443-449, 2001.
- [6] D. Mirković, J. Gröbner, R. Schmid-Fetzer, O. Fabrichnaya, H. L. Lukas, "Experimental study and thermodynamic re-assessment of the Al-B system", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 384, pp. 168-174, 2004.
- [7] X. Wang, "Boride phase formation in the production of Al-B master alloys", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 722, pp. 302-306, 2017.
- [8] A. Khaliq, M.A. Rhamdhani, G.A. Brooks, J. Grandfield, "Analysis of Boron Treatment using AlB₂ and AlB₁₂ based Master Alloys", *TMS Annual Meeting & Exhibition*, pp. 1-7, 2014.
- [9] G. Sur, Y. Şahin, ve H. Gökaya, "Ergimiş Metal Karıştırma Ve Basınçlı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Esaslı Tanecik Takviyeli Kompozitlerin Üretimi", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* vol. 20, no. 2, pp. 233-238, 2005.
- [10] J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, "The Enhancement of Wettability of SiC particles in Cast Alüminium Matrix Composites", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 119, pp. 329-335, 2001.
- [11] V. Baydaroğlu, M. Pul, "Effect of Reinforcement Ratios on Mechanical Properties and Wear Behavior of B4C + SiC Reinforced AA 7075 Composites", *TURKEYTRIB'18 2nd International Conference on Tribology*, pp. 18-20, 2018.
- [12] Pul, M., 2019. Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC, B4C ve TiB₂ Takviye Elemanlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Karşılaştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 180-193.
- [13] A. M. Rajesh and M. Kaleemulla, "Experimental investigations on mechanical behavior of aluminium metal matrix composites," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 149, no. 012121, 2016.
- [14] C. S. Ravindra Sagar and T. K Chandrashekar, "Effect of heat treatment on mechanical properties of aluminum LM13-MgO_p metal matrix composites," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 8, no. 2, pp. 284-288, 2018.

- [15] H. Hasırcı, F. Gül, “B₄C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”,SDU International Technologic Science, vol. 2, no. 1, pp. 15-21, 2010.
- [16] S. Islak, H. Çelik, “Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments”, Science of Sintering, vol. 47, pp. 131-143, 2015.
- [17] L. E. G. Cambrono, E. Sánchez, J.M. Ruiz-Roman and J. M. Ruiz-Prieto “Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 143-144, pp. 378-383, 2003.
- [18] O. Yılmaz, S. Buytoz, “Abrasive wear of Al₂O₃-reinforced aluminum-based MMCs”, Compos. Sci. Technol., vol. 61, pp. 2381-2392, 2001.
- [19] M. Singh, D.P. Mondal, S. Das, Abrasive wear response of aluminium alloy-sillimanite particle reinforced composite under low stress condition, Mater. Sci. Eng. 419 (2006) 59-68.



COVID-19 Pandemi Sürecinde Çocukların El Yıkama Alışkanlığının Nesnelerin İnterneti Tabanlı Sistem ile İzlenmesi

Monitoring the Handwashing Habits of Children During COVID-19 Pandemic with the System Based on the Internet of Things

¹Fırat AYDEMİR  ²Seyfullah ARSLAN 

^{1,2}Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye Türkiye

¹firat.aydemir@dpu.edu.tr, ²seyfullah.arslan@dpu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 7 June 2021

Accepted : 13 July 2021

Keywords:

Internet of Things, IoT, COVID-19, Coronavirus, Hand hygiene

ABSTRACT

The new coronavirus epidemic, which started in December 2019 and affected the whole world, continues to affect humanity without slowing down. In the absence of a total vaccination and adequate treatment, the most effective methods to prevent the disease are to pay attention to social distance and personal hygiene. Unfortunately, it is sometimes not possible for young children to pay attention to these measures by themselves. In this study, an Internet of Things-based system design is presented that tracks young children washing their hands. Via the IoT node with a camera placed at the exit door, the child entering the house is identified. With a second IoT node placed at where the sink is located, it is determined by hand recognition and voice recognition functions whether washing is done or not. If the hand washing process is not completed properly, the necessary warning mail is sent to the parents.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 7 Haziran 2021

Kabul : 13 Temmuz 2021

Anahtar Kelimeler:

Nesnelerin İnterneti, IoT, COVID-19, Koronavirüs, El hijyeni

ÖZET

2019 yılı aralık ayında başlayan ve tüm dünyayı etkisi altına alan yeni koronavirüs salgını hız kesmeden insanlığı etkilemeye devam ediyor. Etkili bir tedavinin olmadığı ve herkesi aşılama imkânının bulunmadığı şu durumda hastalıktan korunmak için en etkili yöntemler; sosyal mesafeye, maske kullanımına ve kişisel hijyene dikkat etmektir. Ne yazık ki küçük çocukların bu önlemlere tek başlarına dikkat etmeleri kimi zaman mümkün olmamaktadır. Bu bağlamda, geliştirilen bu çalışmada küçük çocukların dış ortamdan eve geldiklerinde ellerini yıkayıp yıkamadıklarının takibini yapan nesnelerin interneti tabanlı bir sistem tasarımı sunulmuştur. Kapı girişine yerleştirilen kameralı IoT düğümü sayesinde eve giren çocuğun kimlik tespiti yapılmakta ve bu durum bulut veritabanına yazılmaktadır. Ardından lavabonun bulunduğu yere yerleştirilen ikinci bir IoT düğümü ile çocuğun lavaboya geldiğinde önce kimlik tespiti yapılmakta ardından el yıkama işlemini gerçekleştirip gerçekleştirmediği el tanıma ve ses tanıma fonksiyonları ile tespit edilmektedir. El yıkama işleminin gerçekleştirilmediği durumda ise ebeveyne gerekli uyarı maili gönderilmektedir.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0002-8965-1429

²0000-0002-2573-273X

1. GİRİŞ

2019 yılı aralık ayı sonlarına doğru Çin'in Hubei eyaletindeki Wuhan şehrinde kaynağı bilinmeyen bir dizi zatürre vakası meydana gelmiştir [1]. Bu vakaların çoğu, hastalanmadan önce canlı hayvan türlerinin satıldığı Huanan Deniz Ürünleri Toptan Satış Pazarı'nda olduklarını belirtmişler. 7 Ocak 2020'de Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) bu yeni virüsü, 2019 koronavirüsü, yani 2019-nCoV olarak ilan ettikten sonra, 11 Şubat 2020'de 2019-nCoV virüsünün neden olduğu hastalığı COVID-19 olarak adlandırmıştır. Hastalık çok hızlı bir şekilde Çin'in diğer bölgelerine ardında tüm dünyaya yayıldı. DSÖ, 30 Ocak 2020'de COVID-19 salgını "uluslararası halk sağlığı acil durumu" olarak ilan ettiğini duyurmuştur [2]. Daha sonra 11 Mart 2020'de DSÖ, salgının başlangıç yeri olan Çin dışında 113 ülkede virüsün yayılması ve şiddeti nedeniyle COVID-19'u pandemi olarak nitelendirilmiştir [3]. İlk etapta dünya çapında birçok ülke virüsün yayılımını durdurabilmek için bir dizi sert tedbiri uygulamaya soktu; sınırlar kapatıldı, yurt içi ve yurt dışı uçuşlar iptal edildi, konserler, festivaller gibi birçok etkinlik iptal edildi, yüz yüze eğitime ara verildi, sokağa çıkma yasakları uygulandı; alınan bu önlemlerin hepsi virüsün yayılımını durdurabilmek adına atılan birer adımdı. Fakat bu atılan adımlar virüsün yayılımını durdurmaya yetmedi, günümüzde dünya çapında vaka sayısı 170 milyona, can kaybı ise 3.5 milyona ulaşmış, ülkemizde ise vaka sayısı 5 milyonu, can kaybı ise 45 bini geçmiş durumdadır.

An itibarıyla dünya çapında aktif olarak kullanılan otuza yakın aşı ve çalışmaları devam eden yüz elliden fazla aşı bulunmaktadır. Bu umut verici çalışmalara rağmen, dünya genelinde tam bir aşılamanın sağlanabilmesinin dört yıldan fazla bir süre alacağı tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, virüse karşı en etkili silahlar hali hazırda maske, mesafe ve hijyen olarak karşımıza çıkmaktadır [4][5]. Virüsü durdurabilmek için tam olarak nasıl bulaştığını anlamak çok önemlidir. İnsandan insana bulaşması, doğrudan temas yoluyla veya enfekte kişinin öksürüğü veya hapsirmasıyla yayılan damlacıklar yoluyla gerçekleşir [6][7]. Bu enfekte damlacıklar 2 m mesafeye kadar ulaşabilir ve 9 güne kadar bulaşıcılıklarını koruyabilirler [8][9]. Aynı zamanda, insan koronavirüsleri, yüzeylerden, ellerden, havadan, sudan, atıklardan ve yiyeceklerden bulaşmalarına olanak sağlayan çevresel direnç gösterirler [10]. Virüsü içeren bu yüzeylere dokunduktan sonra, mukoza tabakasına sahip olan gözler, burun veya ağız gibi vücudun bölgelerine dokunulmasıyla da virüs bulaşabilmektedir [4]. Bu nedenle uygun el yıkama alışkanlığı virüsün yayılımını engellemede çok önemli bir rol oynamaktadır [11].

ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC)'nin haftalık yayınladığı 0-24 yaş arası kişiler arasındaki COVID-19 eğilimleri raporuna göre virüsün 2020 Ekim ayı itibarı ile çocuklar ve gençler arasındaki yayılımında artış yaşanmaya başlamıştır [12]. Her ne kadar çocuklarda hastalık çok ağır seyretmiyor olsa da virüsü yayma riskleri hala bulunmaktadır [13]. Bu nedenle çocukların yayılma önlemlerini dikkatli bir şekilde uygulamaları ve yayılım riskini düşürmeleri sağlanmalıdır. Bu önlemlerin başında yer alanlardan bir tanesi de el yıkama alışkanlığıdır; ne yazık ki çocuklarda yeterli düzeyde bir el yıkama alışkanlığı bulunmamaktadır [14][15]. Bu durum ebeveynler tarafından sürekli kontrol edilmesi gereken bir hal alabilir. Etkili bir el yıkamanın 20sn'den az olmaması gerektiği önerildiğinden, bu süreyi çocukların kendi başlarına tamamlamaları kimi zaman mümkün olamamaktadır.

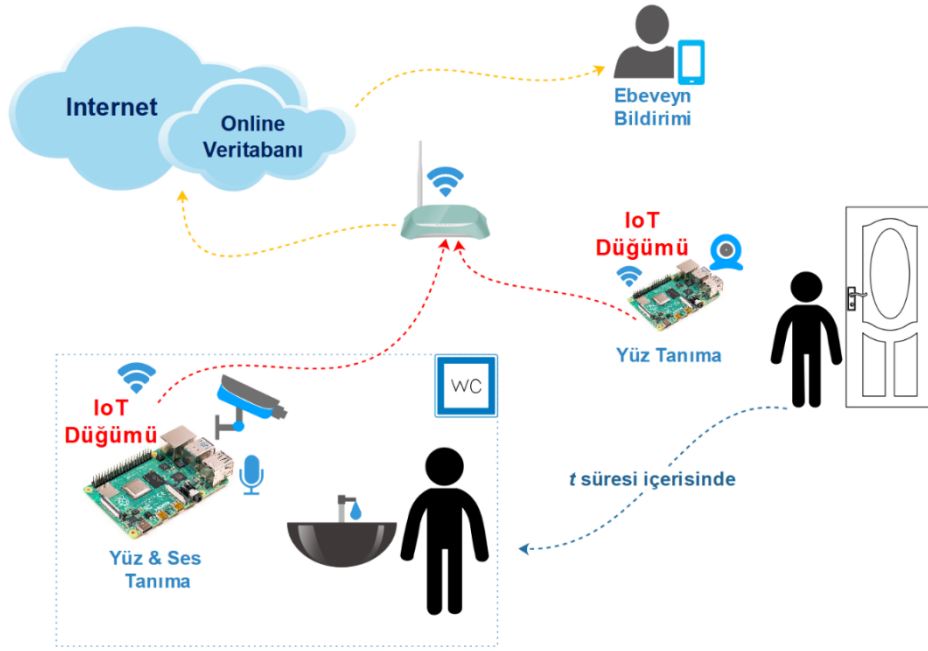
Bu çalışmada çocukların el yıkama alışkanlıklarının takibini amaçlayan bir sistem tasarımı sunulmuştur. Çocukların el hijyenine dikkat etmeleri sağlanarak, virüs yayılımının azaltılması hedeflenmiştir. Tasarlanan sistem, Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) teknolojisi üzerine kurulmuştur, ayrıca verilerin işlenmesi hem IoT düğümlerinde hem de gömülü makine öğrenmesi çözümleri sağlayan bir bulut hesaplama sitesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın devamında kullanılan materyal ve metotlardan bahsedilmiştir. Ardından tasarlanan sistemin bulgularına değinilmiş ve son olarak da çalışmanın sonucu hakkında bilgi verilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

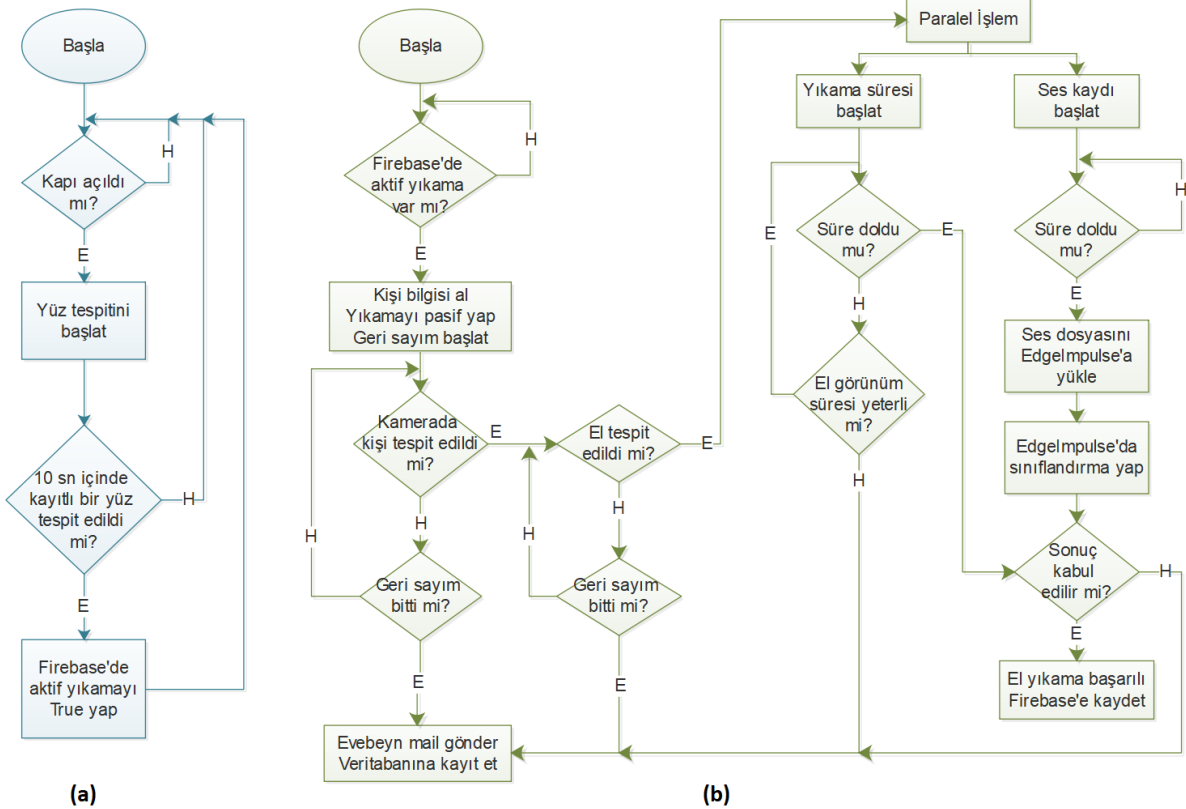
Çocukların el yıkama alışkanlığının takibi için tasarlanan sistemin blok şeması Şekil-1'de gösterilmektedir. Sistem, evin çıkışı kapısına ve lavabonun bulunduğu banyo/tuvalet yerleştirilen IoT düğümlerinden, verilerin saklanması için kullanılan bulut tabanlı veritabanından ve bulut tabanlı makine öğrenme sisteminden oluşmaktadır. Tasarımı sunulan bu sistem ile dış ortamdan eve gelen çocukların, kapı girişinde kimlik tespitlerinin yapılmasından sonra, belirli bir zaman zarfında lavaboda ellerini yıkayıp yıkamadıklarının algılanması ve ebeveynlerine bu durumun bildirilmesi amaçlanmaktadır.

Sistemde yer alan IoT düğümlerinin çalışma algoritmaları Şekil-2'de gösterilmiştir. Şekil-2.a'da yer alan akış şemasında gösterildiği gibi kapı girişindeki IoT düğümü basit bir manyetik anahtar vasıtasıyla kapı açıldığında yüz tanıma işlemi aktif hale getirir. Eğer veri setinde yer alan kişilerden birini tanırsa, bu durumu bulut veritabanı olarak kullanılan Firebase Realtime Database'e yazar. Şekil-2.b'de ise lavaboya konumlandırılan IoT düğümünün çalışma algoritması gösterilmiştir. Bu düğümün aktif hale gelmesi için eve tanımlanmış kişinin giriş yapması gerekmektedir. Eğer kişi giriş yaptıysa üç dakika içerisinde lavaboya gelmesi gerekmektedir. Gelmediği takdirde sisteme kayıtlı olan ebeveyn e-mail adresine bu durum bildirilir. Lavaboya geldiğinde kişinin yüz tespiti tekrar gerçekleştirilir, ardından el tespiti işlemine geçilir. El tespiti yapıldıktan sonra paralel işlem süreci başlar. Bu süreç boyunca elin tespitinin devam etmesi, aynı zamanda su sesinin de tespit edilmesi gerekmektedir. Minimum 20sn boyunca bu iki olgu da tespit edilmeye devam edilirse el yıkama başarılı bir şekilde tamamlandı demektir ve bu durum veritabanına yazılır. Aksi halde bu durum ebeveyne bildirilir ve veritabanına yikanmama

durumu olarak kayıt edilir. Bu kısmın alt başlıklarında tasarlanan sistemde kullanılan yapıların detaylarına yer verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan sistemin blok şeması.



Şekil 2. (a) Kapı girişindeki IoT düğümünün algoritması (b) Lavaboda yer alan IoT düğümünün algoritması.

2.1. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti, belirli bir ağ üzerinden, herhangi bir düzeyde insan müdahalesi olmaksızın veri aktarımı gerçekleştirebilen akıllı cihazların oluşturduğu yapı olarak tanımlanabilir [16]. Son yıllarda teknolojik gelişmelerin ışığında, IoT'nin başta sağlık olmak üzere üretim, güvenlik, tarım, akıllı şehircilik gibi birçok alanda kullanımı oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle sağlık alanındaki bu gelişmeler şu an karşı karşıya olduğumuz COVID-19 pandemisinin durdurulmasına yönelik çalışmaların da ardı ardına gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamıştır. Pandeminin başından beri sıcaklık kontrolü, semptom takibi, sosyal

mesafe takibi yapan giyilebilir cihazlar; termal kameralı, dezenfeksiyon ve sosyal mesafe kontrolü yapan dronelar ve robotlar; bireylerin sağlık durumunu, sosyal mesafelerini, hasta takibini vb. yapan mobil uygulamalar geliştirilmiştir [17]. Gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda umut verici sonuçlar alınmış ve bazıları COVID-19 ile mücadelede kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışma çerçevesinde tasarlanan sistemde iki farklı IoT düğümü yerel ağa bağlı olup, aralarındaki veri iletişimi bulut veritabanı aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Düğümlerin ikisi de görüntü işleme ile yüz tanıma işlemini gerçekleştirmektedir. Evdeki lavaboya yerleştirilen IoT düğümü yüz tanıma işleminin yanı sıra el tanıma ve su sesini tanıma işlemlerini de gerçekleştirmektedir. Gerekli raporlama işlemleri için bulut veritabanı kullanılmakta, gerekli bildirimler IoT düğümleri tarafından ebeveynlere atılan mailler ile sağlanmaktadır. IoT düğümlerinde hem maliyet hem de performans açısından tek bir kart bilgisayar olan 1.5GHz Quad-Core 64-bit ARM Cortex-A72 işlemcili Raspberry Pi 4 kullanılmıştır. IoT düğümlerinin beslemeleri için 5V/3A'lık USB-C çıkışı olan adaptörler kullanılmıştır. Giriş kapısına konumlandırılan IoT düğümünde kapının açıldığını anlamak için manyetik anahtar bulunmakta, görüntü işleme işlemleri için 8-megapixel Raspberry Pi kamera modülü içermektedir. Aynı şekilde, lavabonun üstüne konumlandırılan IoT düğümünde kamera modülünün yanında su sesini algılayabilmek için bir tane USB mikrofon yer almaktadır.

2.2. Yüz Tanıma

COVID-19 salgını süreci içerisinde dışarıdan, ev veya okul gibi bir ortak alana giren çocuklarda el yıkama alışkanlığının takibi yapılırken ilk önemli nokta, ortama giriş yapan kişinin kim olduğunu tespit etmektir. Kapıdan girdiği tespit edilen ve daha sonra belirlenen süre içerisinde lavaboda elini yıkayan kişinin aynı kişi olduğundan emin olmak sistemin işleyişi ve tutarlılığı açısından büyük önem arz etmektedir. Sunulan bu çözüm önerisinde kimlik tespiti için Python dilinde kullanıma sunulmuş, açık kaynak kodlu bir kütüphane olan “*face_recognition*” kütüphanesi kullanılarak bir yüz tanıma sistemi geliştirilmiştir. *face_recognition* kütüphanesi, C++ dilinde yazılmış yine açık kaynak kodlu bir kütüphane olan “*dlib*” üzerine kurulmuş olan bir yüz tanıma kütüphanesidir [18].

İnsan yüzü tespiti için, tasarlanan sistemde kullanılan donanımın işlem gücü de göz önünde bulundurularak, HOG (Histogram of Oriented Gradients) algoritması tercih edilmiştir. HOG, özellik çıkarımı için hürelere bölünmüş bir görüntüdeki renk değişimlerinin yönünü bulma ve bu yönlerin histogramını hesaplama temeline dayanan bir algoritmadır [19]. Görüntüdeki her bir pikselin yön bilgisi bilindiği için görüntü içerisindeki temel örüntü kolayca ortaya çıkarılabilmektedir. Bu algoritma, görüntünün parlaklığından etkilenmeksizin önemli özellik çıkarımları yapabildiği için yüz tespiti için de kullanılabilir [20].

Yüz tespiti yapıldıktan sonra önemli bir nokta olan yüzün kime ait olduğu konusunda ise *face_recognition* kütüphanesi kullanılmaktadır. Google araştırmacıları tarafından bulunmuş ve her fotoğraftaki yüzün ölçülerine göre 128 ölçüme indirgenmesi yaklaşımını kullanmaktadır [21]. Bu yöntem ile yeni gelen fotoğraftaki yüz bilgilerinin, sistemde mevcut olan yüzlerle karşılaştırılması işlemi oldukça hızlandırılmıştır.

Tasarlanmış olan sistemde, yüz tanıma işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli olan ilk adım; veri setinin IoT düğümlerine gönderilmesidir. Takibi yapılacak her bir çocuğun on adet fotoğrafı çekilip, Android işletim sistemine sahip bir telefon içerisinde, bulunduğu klasörün adı çocuğun adı olacak şekilde kaydedilmektedir. Daha sonra bir Android uygulama (*RaspController*) yardımıyla yerel ağa bağlı olan IoT düğümlerine dosya aktarımı gerçekleştirilmektedir. Her bir IoT düğümü veri aktarımı sonrasında dosyalardaki değişikliği algıladığında, yeni eklenen resimlerle birlikte veri setindeki her resim için 128 ölçüm değeri içeren kodlama dosyasını oluşturmaktadır. Oluşturulan bu kodlama dosyasına göre yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.3. El Tanıma

Çalışmada sunulan çözüm önerisinde yüz tanıma işleminin ardından diğer bir kilit nokta olan el yıkama işleminin uygun süre boyunca izlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, ilk etapta banyoya gelen kişinin kimlik tespitinin ardından ellerinin lavabo hizasında tespiti yapılmalıdır.

Google araştırmacıları tarafından geliştirilen, makine öğrenmesi temeline dayanan ve bir algılama/çıkartım yapma projesi olan “*Mediapipe*” uygulama çatısı açık kaynak kodlu olarak kullanıma sunulmuştur [22]. *Mediapipe* çözümlerinden olan “*Mediapipe Hands*” ise elleri, el şekillerini ve hareketlerini algılamaya yönelik olarak geliştirilmiştir [23]. Bu çalışma kapsamında, *Mediapipe Hands* projesinin bir parçası olan “*hand_landmark.tflite*” modeli kullanılarak, görüntü karesinden el tespiti yapan bir program gerçekleştirilmiş ve el yıkama süreci yapılan tespite bağlı olarak bu program dahilinde değerlendirilmiştir.

2.4. Ses Tanıma

El tanıma işlemi, her ne kadar el yıkama sürecinin başladığına ve devam ettiğine dair görsel verileri elde etmemizi sağlasa da bu sürecin en önemli parçası olan “Su açık mı?” sorusuna cevap verememektedir. Çocukların etkili el yıkama işlemini doğru bir şekilde tamamladığından emin olmak için el tanınmanın yanında musluktan akan su sesini arka plan gürültüsünden ayırt eden, bir ses tanıma sistemi oluşturulmuştur.

Bu sistem için gömülü makine öğrenmesi çözümleri sağlayan ve bulut hesaplama mantığıyla çalışan “*Edge Impulse*” sitesi üzerinde ses sınıflandırma için uygun yapay sinir ağı mimarisi oluşturulmuştur. Ses dosyalarının

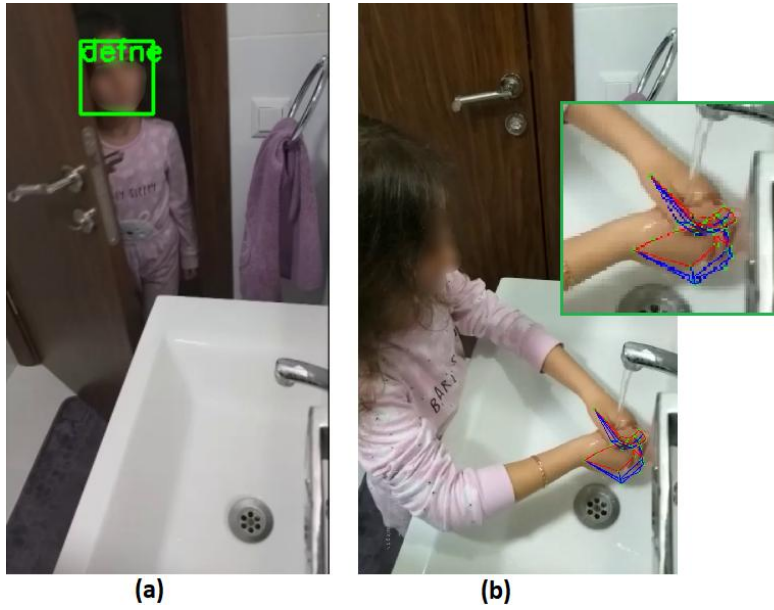
sınıflandırılması için öncelikle eğitilen model üzerinde sınıflandırılmaya uygun ses verisi oluşturulmuştur. Veri seti içinde bulunan tüm ses dosyalarının 16 kHz tek kanal olması gerekmektedir. EdgeImpulse üzerinde çalışan "Mel Frequency Cepstral Coefficients" (MFCC) bloğunun bu verilere göre özellik çıkarımı yapacağından sınıflandırılmak için yüklenen verinin de aynı frekans ve kanal değerlerine sahip olması gerekmektedir. Bu sebeple mikrofondan alınan sesler 10 saniye boyunca 16 kHz frekans değerine sahip ve tek kanal olacak şekilde kaydedilip .wav uzantılı bir dosya olarak saklanmaktadır. Daha sonra bu dosya sınıflandırılmak üzere EdgeImpulse sunucusuna gönderilmektedir.

EdgeImpulse üzerinde çalışan MFCC bloğu bize sinir ağıımızda kullanılmak üzere 637 özellik değeri üretmektedir, sinir ağıımız bu 637 özellik değerini girdi olarak almaktadır. Ses dosyalarını sınıflandırmak için tasarladığımız sinir ağıımızın katman yapısı, sırasıyla şu şekildedir; girdi katmanı (637 özellik), girdi boyutlarını yeniden düzenleyen 13 sütunlu bir Reshape katmanı, 8 nörona sahip 1D Convolution/Pooling katmanı, 0.25 oranlı Dropout katmanı, 16 nörona sahip 1D Convolution/Pooling katmanı, 0.25 oranlı Dropout katmanı, verileri tek boyutlu diziyeye çeviren Flatten katmanı, 2 nörona sahip bir çıktı katmanı. Çıktı katmanında, test edilen ses dosyasının su sesi veya gürültü sesine olan benzerliğinin oranları elde edilmektedir.

El tespiti yapıldıktan sonra "multiprocessing" kütüphanesi kullanılarak, görüntü kaydedip işleyen ana programa paralel olarak başka bir ses kayıt programı çalıştırılmış ve IoT düğümü üzerinden kaydedilen sesler sınıflandırılmak üzere bulut sistemine aktarılmıştır. Sınıflandırma sonuçları sayısal olarak elde edilip suyun açık olup olmadığının tespiti başarılı şekilde yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

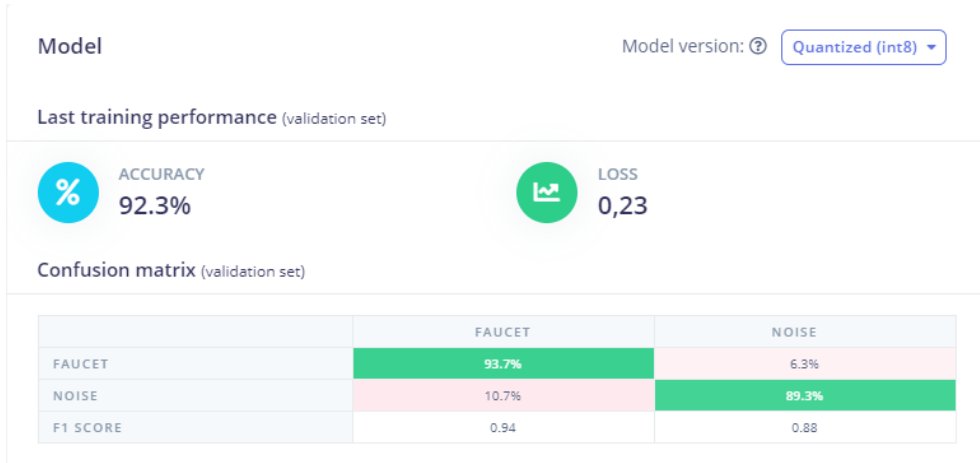
Sistem tasarımı gerçekleştirildikten sonra prototip cihazlarla denemeler gerçekleştirilmiştir. Ev girişine yerleştirilen IoT düğümünün eve giriş yapan çocuğu algılayıp veritabanına yazmasından sonra lavaboya gelip önce kimlik tespitinin yapılmasını gösteren durum Şekil-3.(a)'da gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) Lavabo girişinde kimlik tespiti (b) Lavaboda el yıkama tespiti.

Lavabo dolabının üzerine monte edilen IoT düğümündeki kamera hem kapı girişini hem de lavaboyu görecektir şekilde konumlandırılmıştır. Şekil-3.(b)'de de el yıkamanın tespiti için kullanılan el tespit algoritmasının çalışması gösterilmiştir. IoT düğümünde maliyeti düşürmek adına herhangi bir ekran bulunmayıp görüntüler uzaktan, çalışma durumunu göstermek için alınmıştır.

Lavaboda el tespiti yapıldıktan sonra ses tanıma işlemi başlatılır. Ses tanıma işlemi için EdgeImpulse sitesi üzerinde bir yapay sinir ağı modeli eğitilmiştir. Bu model ile ilgili eğitim sonuçları Şekil-4'de verilmiştir. Sınıflandırma için kullanılan iki etiketten "faucet" etiketi musluktan akan su sesini içeren ses dosyalarını, "noise" etiketi ise arka plan gürültüsü içeren ses dosyalarını ifade etmektedir. Şekil 4'de görüldüğü üzere oluşturulan modelin eğitimi sonucunda elde edilen genel doğruluk oranı %92,3 olarak bulunmuştur.



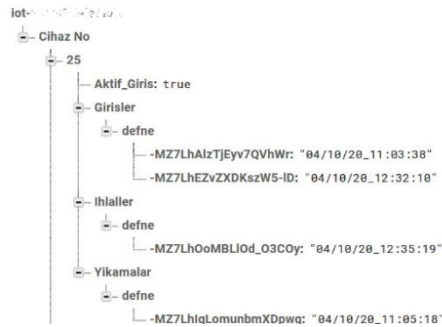
Şekil 4. EdgeImpulse üzerinde eğitilen modelin eğitim sonuçları.

Dokuz saniyelik ses dosyaları ve 300 ms aralıklarla toplamda 30 tahmin üreten testlerin EdgeImpulse üzerinden elde edilen sonuçları aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Su sesi ve arka plan gürültüsü sesi içeren ses dosyalarının test sonuçları

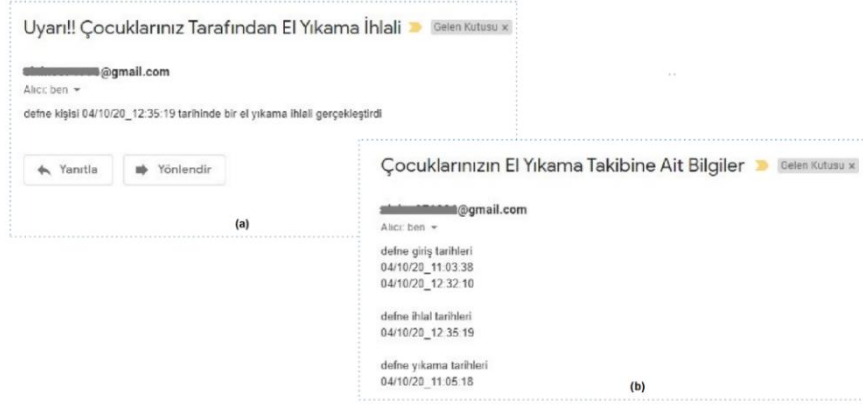
t(ms)	Su Sesi Dosyası		Gürültü Dosyası		t(ms)	Su Sesi Dosyası		Gürültü Dosyası	
	Faucet (%)	Noise (%)	Faucet (%)	Noise (%)		Faucet (%)	Noise (%)	Faucet (%)	Noise (%)
0	92	8	1	99	4500	44	56	12	88
300	74	26	0	100	4800	16	84	9	91
600	86	14	4	96	5100	98	2	33	67
900	98	2	1	99	5400	98	2	69	31
1200	99	1	6	94	5700	98	2	71	29
1500	98	2	16	84	6000	99	1	56	44
1800	94	6	2	98	6300	99	1	8	92
2100	82	18	2	98	6600	100	0	0	100
2400	37	63	2	98	6900	45	55	2	98
2700	68	32	2	98	7200	35	65	0	100
3000	61	39	4	96	7500	35	65	0	100
3300	81	19	13	87	7800	57	43	2	98
3600	99	1	1	99	8100	50	50	42	58
3900	100	0	1	99	8400	76	24	80	20
4200	98	2	1	99	8700	100	0	5	95

Üretilecek olan her sistemde yer alan iki IoT düğümü için üretim esnasında verilmesi planlanan bir cihaz numarası bulunmaktadır. Denemeleri yapılan 25 numaralı prototip cihazların örnek bulut veritabanı görünümü Şekil-5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Bulut veritabanı Realtime Database görünümü.

Bu cihazlara toplam 20 adet, iki farklı çocuğa ait fotoğraf yüklenerek eğitim yapılmıştır. “defne” kod adı verilmiş olan çocuğun eve giriş, el yıkama ve ihlallerini içeren kayıt geçmişiyle, el yıkamadığı durumda ebeveyne gönderilen uyarı mailleri de Şekil-6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Ebeveyne giden bildirim ve kayıt geçmişi mailleri.

4. SONUÇ

Etkili bir tedavinin ve tam anlamıyla bir aşılamanın gerçekleştirilemeyeceği şu günlerde virüse karşı olan savaşta elimizdeki en etkili silahlar maske, mesafe ve hijyendir. Çocuklarda ise hijyen kurallarının ihlal edilmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Çocukları, her evden çıkıp eve girdiklerinde takip etmek de ebeveynler açısından kimi zaman mümkün olmamaktadır. Tasarlanan nesnelerin interneti tabanlı sistem ile çocukların eve girdikleri andan itibaren belirli bir süre zarfında ellerini yıkamaları, aksi halde ellerini yıkamadıkları durumunun ebeveynlere bildirilmesi sağlanmıştır. Takip edilmesi istenen çocuğun resimleri IoT düğümüne yüklenmekte ve görüntü işleme algoritmaları ile kimlik tespiti yapılmaktadır. Lavaboda geçirilen süre zarfında ellerini yıkayıp yıkamadıkları ise el tanıma ve ses tanıma algoritmaları ile sağlanmaktadır. Her türlü işlem de bulut veritabanına yazılmakta, istenildiğinde ebeveyne rapor olarak mail atılmaktadır.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

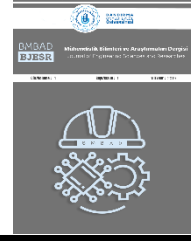
Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

- [1] Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Ren, R., Leung, K., Lau, E., Wong, J. Y., Xing, X., Xiang, N., Wu, Y., Li, C., Chen, Q., Li, D., Liu, T., Zhao, J., Liu, M., Tu, W., Feng, Z., “Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia”, The New England journal of medicine, vol. 382, no. 13, pp. 1199–1207, 2020.
- [2] World Health Organization, “Novel Coronavirus (2019-nCoV)”, Situation Report-11, 2020.
- [3] World Health Organization, “Novel Coronavirus (2019-nCoV)”, Situation Report-51, 2020.
- [4] Vardoulakis, S., Sheel, M., Lal, A. And Gray, D., “COVID - 19 environmental transmission and preventive public health measures, ” Australian and New Zealand Journal of Public Health, vol. 44, pp. 333-335, 2020.
- [5] Derek K Chu, Derek K et al., “Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19 a systematic review and meta-analysis,” The Lancet, vol. 395, Issue 10242, pp. 1973 – 1987, 2020.
- [6] Rothan, H. A., & Byrareddy, S. N., “The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak,” Journal of Autoimmunity, vol. 109, pp. 18–21, 2020.
- [7] Jin, Y., Cai, L., Cheng, Z. Et al. “A rapid advice guideline for the diagnosis and treatment of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infected pneumonia (standard version), ” Military Med Res 7, 4, 2020.
- [8] Singhal, T., “A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19),” Indian J Pediatr vol. 87, pp. 281–286, 2020.
- [9] G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, E. Steinmann, “Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents, ” Journal of Hospital Infection, vol. 104, Issue 3, pp. 246-251, 2020.
- [10] Geller, C., Varbanov, M., & Duval, R. E., “Human coronaviruses: insights into environmental resistance and its influence on the development of new

- antiseptic strategies,” *Viruses*, vol. 4, no. 11, pp. 3044–3068.
- [11] Hirose, R., Ikegaya, H., Naito, Y., Watanabe, N., Yoshida, T., Bandou, R., Daidoji, T., Itoh, Y., Nakaya, T., “Survival of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and Influenza Virus on Human Skin: Importance of Hand Hygiene in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19),” *Clinical Infectious Diseases*, 2020, ciaa1517.
- [12] Leidman E., Duca L. M., Omura J. D., Proia K., Stephens J. W., “Sauber-Schatz E. K., COVID-19 Trends Among Persons Aged 0–24 Years — United States, March 1–December 12,” *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2021, vol. 70, pp. 88–94, 2020.
- [13] Qiu, H., Wu, J., Hong, L., Luo, Y., Song, Q., Chen, D., “Clinical and epidemiological features of 36 children with coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Zhejiang,” *China: an observational cohort study*, *Lancet Infect Dis* 2020; vol. 4, pp. 689–96.
- [14] Şahin M. M., Vural S., Vuralı D., Yüksel S., Yıldız F., Aslan D., “6-14 Yaş Grubu Çocuklarda El Yıkama ile İlgili Bir Müdahale Çalışması. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni,” vol. 7, pp. 65-70, 2008.
- [15] Kitiş Y., “İlköğretim Öğrencilerinde El Hijyeni ve El Hijyeni Eğitiminin Etkinliğinin Değerlendirilmesi,” *Maltepe Üniversitesi Hemşirelik Bilim ve Sanatı Dergisi*, vol. 4, pp. 93-102, 2011.
- [16] R. P. Singh, M. Javaid, A. Haleem, and R. Suman, “Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic,” *Diabetes Metab. Syndr.*, vol. 14, no. 4, pp. 521–524, 2020.
- [17] Nasajpour, M., Pouriyeh, S., Parizi, R.M. et al., “Internet of Things for Current COVID-19 and Future Pandemics: an Exploratory Study,” *Journal of Healthcare Informatics Research*, vol. 4, pp. 325–364, 2020.
- [18] King, D. E., Dlib-ml: “A machine learning toolkit,” *Journal of Machine Learning Research*,” vol. 10, pp. 1755–1758, 2010.
- [19] N. Dalal and B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection,” 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’05), vol. 1, pp. 886–893, 2005.
- [20] Deshpande, A., Garje, S., Pramanick, M., Facial “Recognition based Attendance System with LBPH,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 7, no. 3, pp. 2654–2658, 2020.
- [21] Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). “FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 815–823, 2015.
- [22] Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C. L., Yong, M. G., Lee, J., Chang, W. T., Hua, W., Georg, M., & Grundmann, M. (2019). *MediaPipe: A framework for building perception pipelines*. ArXiv.
- [23] Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C. L., & Grundmann, M. (2020). *MediaPipe hands: On-device real-time hand tracking*. ArXiv.



Sorgun (Yozgat) Bazaltlarının Petrografik Özelliklerinin Yapı Taşı Olabilirlik Açısından İncelenmesi

Investigation of Petrographic Properties of Sorgun (Yozgat) Basalts in Terms of Building Block Possibility

¹Ersin KOLAY  ²Hatice BİLEN ATAY  ³Yusuf Kağan KADIOĞLU 

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Yozgat, Türkiye

³Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

¹ersin.kolay@bozok.edu.tr, ²haticeb00@gmail.com,

³kadi@ankara.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 8 June 2021

Accepted : 9 July 2021

Keywords:

Basalt, Building stone, Petrography, Yozgat

ABSTRACT

In this study, the petrographic, geochemical and engineering properties of the basalts of the Sorgun region were examined and evaluated in terms of building stone possibility. Basalts contain plagioclase, pyroxene, amphibole and olivine. There are micro-cracks in the internal structure of the rock, and alterations such as iddingsitization, serpentinitization and uralitization are observed. Dry density, water absorption, porosity, frost loss, Los Angeles abrasion loss and uniaxial compressive strength values of basalts are mostly within the desired limit values. Since basalts contain cracks and alterations, their possibility as building stone is doubtful. It was observed that the investigated basalts showed color changes and fragmentation after a while when used as ballast material. In order to determine the durability of rocks, multi-cycle wetting-drying, freeze-thawing and water dispersion tests should be applied, which are not required in the standards. The rocks should also be examined in terms of petrographic and geochemical aspects.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 8 Haziran 2021

Kabul : 9 Temmuz 2021

Anahtar Kelimeler:

Basalt, Petrografi, Yapı taşı, Yozgat

ÖZET

Bu çalışmada Sorgun yöresindeki bazaltların petrografik, jeokimyasal ve mühendislik özellikleri incelenmiş ve yapı taşı olabilirlik açısından değerlendirilmiştir. Bazaltlar başlıca plajiyoklaz, piroksen, amfibol ve olivin içermektedir. Kayacın iç yapısında bol miktarda mikro kırık-çatlak bulunmakta, iddingsitleşme, serpantinleşme ve uralitleşme türü alterasyonlar izlenmektedir. Bazaltların kuru yoğunluk, su emme, porozite, don kaybı, Los Angeles aşınma kaybı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri büyük oranda istenilen limit değerlerin içindedir. Bazaltların çatlak ve alterasyonlar içermesi yapı taşı olabilirliğini şüpheli duruma düşürmektedir. Bu bazaltların balast malzemesi olarak kullanıldığında bir süre sonra renk değişimleri gösterdiği ve parçalandığı görülmüştür. Bu tip kayaların duraylılıklarını belirlemek için, standartlarda şart koşulmayan, çok çevrimli ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri uygulanmalıdır. Kayaçlar petrografik ve jeokimyasal yönden de incelenmelidir.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0002-7118-5722

²0000-0002-0978-7271

³0000-0002-7894-2220

1. GİRİŞ

Mühendislik projelerinde birçok kayaç türü, kolay ulaşılabilirlik, ekonomik olması ve yeterli dayanıma sahip olması gibi özelliklerden dolayı yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Doğal yapı malzemelerinin yoğun olarak kullanıldıkları mühendislik yapılarından bazıları karayolu ve demiryolu inşasında dolgu malzemesi olarak, ray altında balast, traverslerde agrega malzemesi, deniz kıyılarında anroşman ve baraj inşasında gövde dolgu malzemesi olarak sıralanabilir. Bu kullanımlar için ihtiyaca ve kullanılacak malzeme türüne göre ocak üretimi yapılmaktadır. Günümüzde teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanım alanları çeşitlenmiştir.

Birim hacim ağırlık, gözeneklilik, su emme, donat dayanıklılık, aşınma dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi parametreler kayaç malzemesinin yapı taşı olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemektedir. Bunun yanında, kayaçların petrografik özelliklerinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [1-3]. Howarth [4] orta dayanıma sahip altı kayaç örneği üzerinde yaptığı çalışmada tane şekli, kenetlenme derecesi, tane bileşimi, tane ve matriksin göreceli oranının kayaçların mekanik özelliklerini etkilediğini açıklamıştır. Tuğrul ve Zarif [5] granitlerde yaptığı çalışma sonucunda mineral bileşiminin kayaç dayanımı etkileyen temel petrografik özelliklerden biri olduğunu vurgulamıştır. Çetin vd. [6] Atatürk Barajının gövdesinde kullanılan vesiküler dokulu bazaltlar sebebiyle gövdede kayda değer boyutlarda farklı oturmaların meydana geldiğini belirtmektedir. Acır [7], Doğu Karadeniz limanlarında kullanılan anroşman kayaçlarında, deniz suyunun ve dalganın etkisiyle killeşme, tuzlanma, ufalanma, çatlama gibi aşınmaların oluştuğunu ve anroşmanın görev yapamaz duruma geldiğini belirtmektedir. Kayaçlarda yüksek tek eksenli basınç dayanım değerleri, beton agregası için istenen önemli özelliklerden birisidir [8]. Su emme değeri, farklı kayaların beton agrega olarak dayanıklılığının değerlendirilmesinde faydalı bir özelliktir. % 3'ten fazla su emme değerine sahip kayaların donma - çözünme hasarına maruz kaldığı bilinmektedir [9]. Porozite, kayaçların dayanımını etkileyen önemli faktörlerden biridir [10]. Fookes [11] beton agregası olarak kullanılan kayacın yüksek gözenekliliğe sahip olmasının betonun dayanıklılığında azalmaya neden olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle aşınma dayanımı yüksek olan beton üretiminde porozitesi düşük bazaltlar kullanılmaktadır. Korkaç ve Tuğrul (2004) kayaçtaki gözeneklerin, mikro çatlakların ve hava koşullarının alterasyon nedeniyle bazaltların dayanıklılığını azalttığını belirtmektedir. Smith ve Collis [12] kayaçların Los Angeles aşınma, kırılma ve basınç deney sonuçlarının aynı jeolojik ve parçalanma özelliklerinden etkilendiğini belirtmektedir. Johnson ve DeGraff [13] ise bir kayacın dokusunun, aşınmayı ve kırılmayı etkileyen karışık bir etken olduğunu belirtmektedir. Kolay ve Başer [14] afanitik ve amigdaloidal dokulu bazaltlarda mühendislik parametrelerinin vesiküler dokulu bazaltlardan daha anlamlı ilişkilere sahip olduğunu ifade etmektedir.

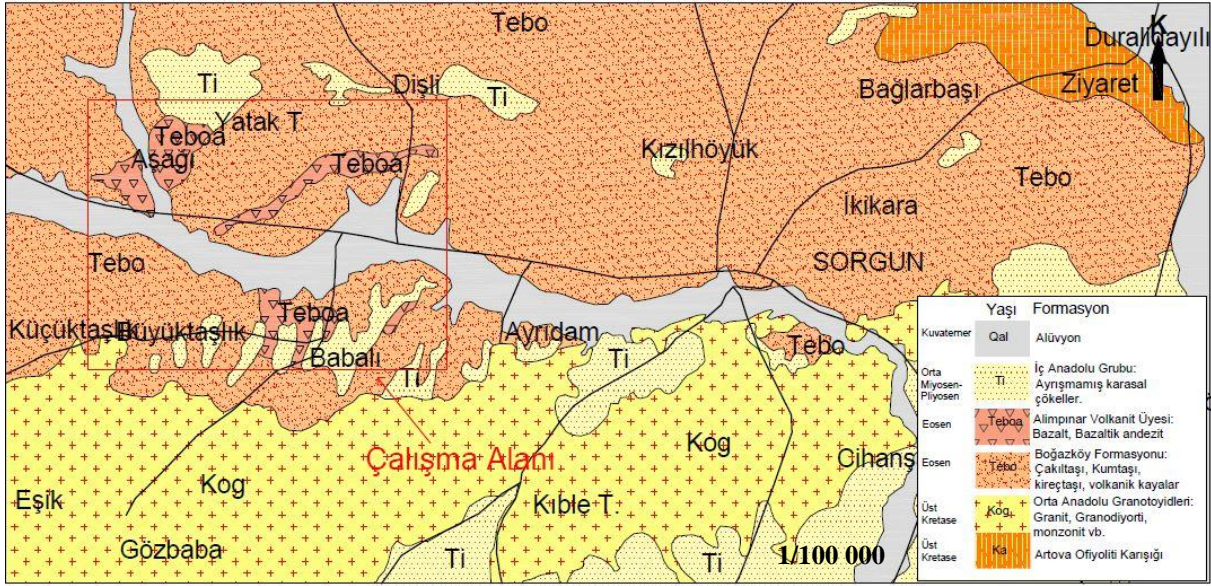
Mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılan bazaltlar, oluştukları bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak farklı mineralojik bileşim, doku ve bozunma özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu özellikler de bazaltların fiziko-mekanik özelliklerini ve duraylılığını önemli ölçüde etkilemektedir [6,14].

Bu çalışmada, Yozgat ili Sorgun ilçesi sınırları içerisinde yer alan Alımpınar volkanitleri üyesi olan Eosen yaşlı bazaltların yapı taşı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. İncelemeye konu olan bazaltlar yakın bölgedeki projelerde beton agregası ve kaldırım taşı gibi inşaat uygulamalarında yaygın olarak kullanılırken, TCDD, Karayolları ve DSİ gibi alt ve üst yapı işi ve/veya imalatları yapan kurum ve kuruluşlar tarafından yaptırılan/yapılan bölge projelerinde dolgu malzemesi olarak ve özel sektör bünyesinde ihtiyaca yönelik malzeme temininde kullanılmaktadır. Bu amaçla, Eosen yaşlı bazaltların fiziksel, petrografik ve mühendislik özelliklerini belirlemek için sahadan örnekler alınmış ve standartlara uygun laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili standartlara göre değerlendirilerek projelerde kullanılacak bazalt malzemesinin yapıtaşı olarak kullanılması durumları araştırılmıştır. Bu çalışmada, bazalt kayalarının yapı malzemesi olarak kullanılmasının jeoteknik deneyler açısından bir sorun göstermediği halde petrografik incelemelerle bazaltların sorunlu oldukları ve yapı malzemelerinde kullanılamaz özellik gösterdiği ortaya konulmuştur.

2. BÖLGENİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma sahasındaki en yaşlı birimler Paleozoik yaşlı metamorfikler olup, üzerine bindirmeli olarak Artova ofiyolitik kayaçları gelmektedir. Tüm bu birimlere Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu granitoyitleri sokulum yapmakta [15] ve çalışma alanının daha çok güney bölümlerinde geniş yayılım göstermektedir (Şekil 1). Volkanik kayalar tüm bu birimlerin üzerine diskordansla gelmektedir. Çalışma alanında bulunan volkanik kayalar Yozgat ilinin kuzey, batı ve güneybatı kesimlerinde bazalt, andezitik bazalt, andezit, trakit ve trakiandezit bileşimindedir. Çalışma konusunu oluşturan Eosen yaşlı bazaltlar Sorgun ilçesinin batısında yer alan Babalı köyünün kuzeybatısında yüzlek vermektedir. Kırıklı çatlaklı yapı gösteren bazaltlar diyabazlar ile geçişli olarak sahada gözlenmektedir. İnceleme alanında Üst Kretase'den, Kuvaterner'e kadar değişik bileşim, doku ve renklerde görülmektedir. Çalışmaya konu olan Boğazköy formasyonuna ait Alımpınar volkanit üyesi, bazalt ve bazaltik piroklastiklerden oluşmaktadır. Birim ilk kez Kara [16] tarafından adlandırılmıştır. Boğazköy formasyonu içerisinde çoğunlukla ara düzeyler halinde gözlenmektedir. Üye Yozgat-İ34 paftasında, Ahmetfakılı köyü kuzeyinde, Yağcılar, Çötelli köyleri civarında, paftanın güneybatı köşesinde Sarınoören, Battal ve Bayatören köyleri dolaylarında yüzlenmektedir. Denizaltı volkanizmasını belirleyen taban yapılarını gösteren bazaltlar mor-siyah renkli, iri şekilde camlı minerali, fazlıca çatlaklı ve kırıklı yapıdadır (Şekil 2). Piroklastikler ise sarımsı renkli, aşınma yüzeyleri girintili çıkıntılı olup, siyah renkli cam parçaları içerirler. Akçay ve

Beyazpırınç [17] yaptıkları çalışmada Alimpınar volkanitlerini oluşturan bazalt örneğini Ar-Ar yöntemine göre $56,7 \pm 1,8$ My olarak yaşlandırmışlardır.



Şekil 1. Çalışma alanı jeoloji haritası [18].

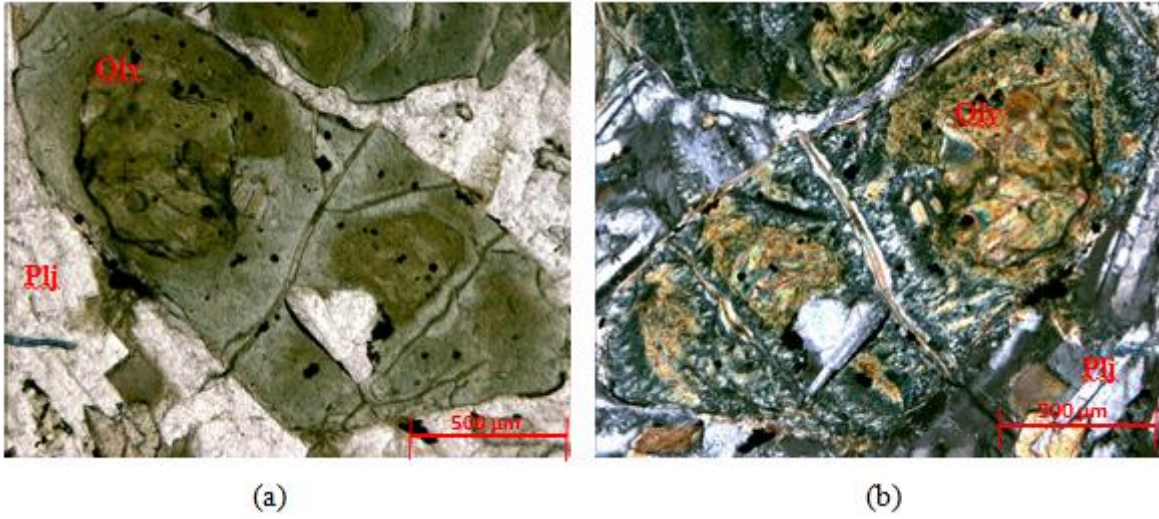
3. BAZALTLARIN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanındaki birimler genel olarak yeşil ve siyahın farklı tonlarına sahip, porfiro afanitik dokulu mafik magmatik kayalardan oluşmaktadır. Sahada kayaçlar süreksizliklerce kesilmiş yapıda olup, petrografik açıdan ise heterojen doku ve mineral bileşimine sahiptir. Bu nedenle bazaltik bileşimli bu kayaçlar yeşilin ve siyahın farklı renk tonlarını sergilemektedir. Bu kayaçlar bölgenin genel jeolojik özelliklerine bakıldığında denizel ve gölsel ortamda kalarak, önemli ölçüde evaporitik kayalara bağlı sülfürlü çözeltilerin etkisi altında kalmıştır.

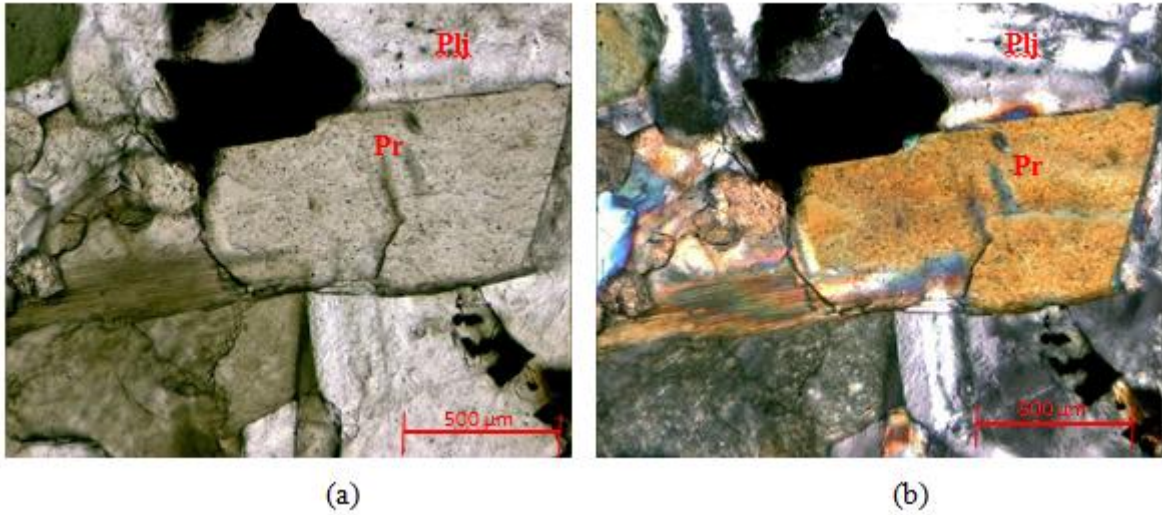


Şekil 2. Alimpınar volkanitlerinin arazi görünümü.

El örneğinde afanitik ve porfiro afanitik olmak üzere iki farklı doku özelliği sergilemektedir. İnce kesitlerde intersertal ve ofitik doku özelliği göstererek başlıca plajiyoklaz (Plj), piroksen (Pr), amfibol ve olivin (Olv) içerdiği belirlenen bu kaya birimi bazalt ve yer yer diyabaz bileşimindedir (Şekil 3-4). Kayacın içyapısında bol miktarda mikro kırık-çatlak bulunmaktadır. Labrador, bitovnit bileşimindeki plajiyoklazlar ana felsik, piroksen ve olivin ise ana mafik bileşenleri oluşturmaktadır (Şekil 3 ve 4). Olivinlerin önemli bir bölümü iddingsitleşme ve serpantinleşme göstermektedir (Şekil 3). Serpantinleşmeler uzun dönem çözeltilerin etkisi altında kalarak oluştuğu ve bu bozunmadan dolayı dokusal anlamda önemli ölçüde duraysızlaşmaların, kristal kopmalarının ve boşluklu yapıların oluştuğu görülmektedir. Piroksenlerde ise yer yer uralitleşme izlenmektedir. Opak minerallerin cevher mikroskobu altında ilmenit ve manyetit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Bazalıtta bulunan olivinin mikroskop görüntüsü (a: Paralel nikol, b: Çapraz nikol).



Şekil 4. Bazalıtta bulunan piroksenin mikroskop görüntüsü (a: Paralel nikol, b: Çapraz nikol).

4. BAZALTLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

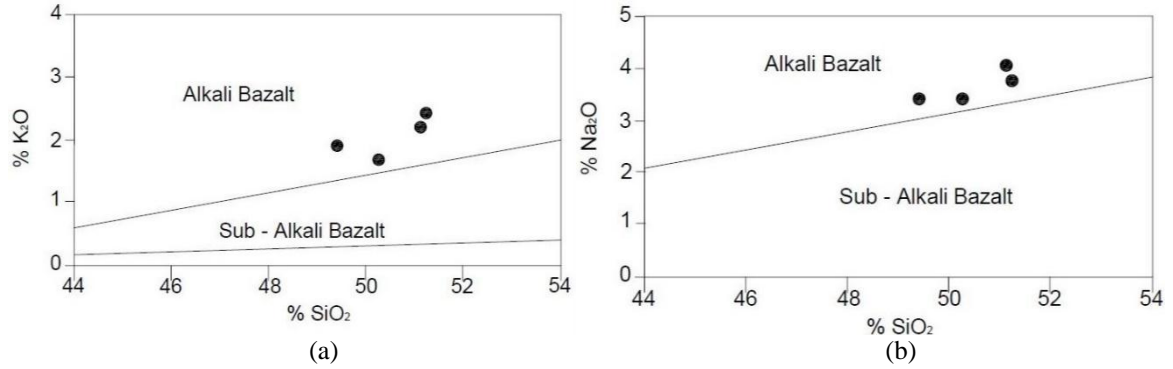
Çalışma alanındaki bazaltların kimyasal özelliklerini belirlenmesi için dört adet örnek laboratuvar ortamında öğütülerek toz haline getirilmiş ve kimyasal analizler XRF yöntemi ile yapılmıştır. XRF analizleri Anakara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında bulunan Spectro X-Lab 2000 cihazı ile yapılmıştır. Bu analizler için, bazaltlardan taze örnekler alınmış olup içerdikleri ana oksit element yüzdeleri ve ateşte kayıp değerleri (LOI) Tablo 1’de verilmiştir.

Bazaltların kimyasal analiz verileri Middlemost [19]’un “%SiO₂-%K₂O” ve “%SiO₂-%Na₂O” diyagramlarına yerleştirildiğinde; bazaltların alkali karaktere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5). Le Bas vd. [20] tarafından önerilen sınıflandırmada B-14, B-17, B-20 numaralı örnekler bazalt, B-22 numaralı örnek ise traki-bazalt alanında yer almaktadır. (Şekil 6). Traki bazalt alanına düşmesinin ana nedeninin denizel ortamdan kaynaklanan sodyum metasomatizması olduğu düşünülmektedir.

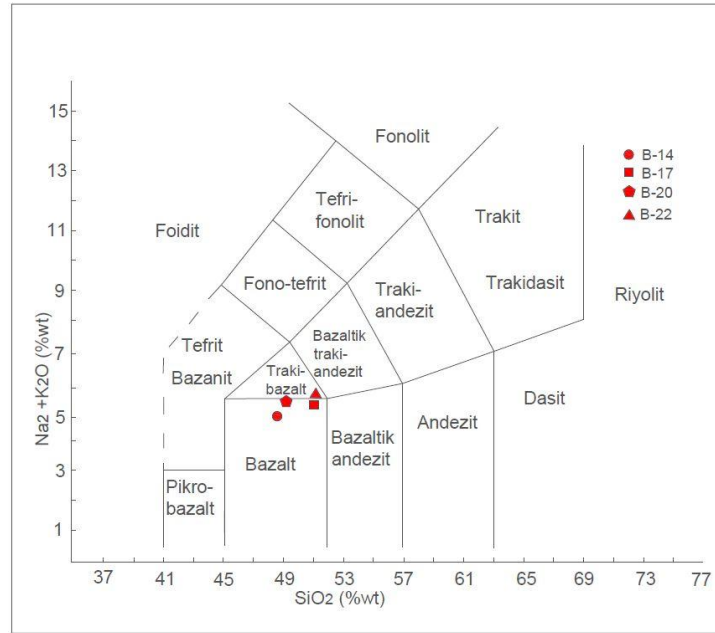
Tablo 1. Çalışma alanındaki bazalt örneklerinin XRF analizi sonuçları.

Ana Element Oksitleri	B-14 (%)	B-17 (%)	B-20 (%)	B-22 (%)
SiO ₂	49.46	51.38	50.35	51.63
Na ₂ O	3.28	3.28	4.03	3.76
MgO	8.108	7.16	7.89	6.671
Al ₂ O ₃	13.79	15.00	14.54	14.86
P ₂ O ₅	0.27	0.29	0.28	0.30

SO ₃	0.13	0.14	0.12	0.14
K ₂ O	1.87	2.25	1.78	2.30
CaO	5.04	5.74	5.89	5.73
TiO ₂	0.90	0.92	0.89	1.00
V ₂ O ₅	0.03	0.02	0.02	0.03
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02
MnO	0.10	0.12	0.10	0.12
Fe ₂ O ₃	6.82	6.65	6.53	6.65
LOI	9.83	7.63	7.53	6.74



Şekil 5. %SiO₂ – %K₂O (a) ve %SiO₂ – %Na₂O (b) içeriklerine göre bazaltların kökeni.



Şekil 6. Örneklerin Na₂O+K₂O/SiO₂ (% wt) değerlerine göre isimlendirilmesi.

5. BAZALTLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanındaki bazaltik kayalardan sahayı temsil edecek şekilde kayaç blokları alınmış ve bu bloklardan laboratuvar koşullarında altmıştan fazla prizmatik deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ile kuru birim hacim ağırlık (γ_d), görünür gözeneklilik (n), ağırlıkça su emme (A_w), tek eksenli basınç dayanımı (UCS), nokta yükü dayanım ($I_{s(50)}$) deneyleri ISRM [21]'ye göre yapılırken, Los Angeles aşınma kaybı (LAK₅₀₀) ve Na₂SO₄ don kaybı (DK) ise ASTM [22-23]'ye göre belirlenmiştir. Deney sonuçlarının en büyük, en küçük ve ortalama değerleri ile standart sapmaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deney sonuçlarının en büyük, en küçük ve ortalama değerleri ile standart sapmaları.

	γ_d (kN/m ³)	n (%)	A _w (%)	UCS (MPa)	I _{s(50)} (MPa)	LADK ₅₀₀ (%)	DK (%)
En büyük	27.27	4.12	1.92	121.3	10.1	34.4	4.39
En küçük	24.33	0.49	0.5	41.2	3.1	12.4	0.65
Ortalama	26.03	1.9	1.2	77.52	6.18	18.51	2.44
Örnek Sayısı	67	67	67	67	67	67	67
S. Sapma	0.74	1.08	0.41	16.72	1.54	4.73	0.77

Çalışma alanındaki bazaltların basınç dayanımlarına göre ayrışma durumlarının ortaya koymak için Tuğrul ve Gürpınar [24]'in çalışmasından faydalanılmıştır. Buna göre, çalışma alanımızdaki bazalt örneklerinin tek eksenli basınç değerlerine göre ayrışma sınıflamasındaki yerleri Tablo 3'te verilmiştir. Sahadaki bazaltların gözeneklilik değerleri %0.49-%4.12 arasında değişmekte olup, Moos-Quervain [25] sınıflamasındaki dağılımları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. İncelenen bazaltların tek eksenli basınç değerlerine (UCS) göre ayrışma sınıflarındaki dağılımları.

Ayrışma sınıfı	UCS (MPa) (Tuğrul, 1997)	Bu çalışmadaki örnek sayısı	Yüzde (%)
I (Ayrışmamış)	88.42-136.42	15	22
IIA (Çok az ayrışmış)	60.00-107.79	51	76
IIB (Az ayrışmış)	44.21-70.00	17	25
IIC (Orta derecede ayrışmış)	27.37-52.63	4	6
IIIA (İleri derecede ayrışmış)	15.37-31.37	-	-

Tablo 4. Bazalt örneklerinin gözeneklilik durumuna göre sınıflandırılması.

Moos-Quervain Sınıflaması		Çalışma alanındaki bazalt örnekleri	
Porozite (%)	Tanımlama	Örnek sayısı	% dağılım
< 1	Çok Kompakt	17	25
1 – 2.5	Az Boşluklu	33	49
2.5 - 5	Orta Boşluklu	17	26
5-10	Oldukça Boşluklu	-	-
10-15	Çok Boşluklu	-	-
>20	Çok Fazla Boşluklu	-	-

Alimpınar üyesine ait bazaltların tek eksenli basınç dayanımları 41.2MPa ile 121.3MPa gibi geniş bir aralıkta yer almaktadır. Bu değerlerin Deer ve Miller [26]'in dayanım sınıflamasındaki dağılımları Tablo 5'te verilmiştir. Bazaltların büyük çoğunluğu orta dirençli sınıfta çıkarken, ortalama UCS değerinin 77.52MPa olması bu gruptaki dayanım değerlerinin çoğunlukla alt sınıra yani düşük dirençli sınıfa yakın olduğunu ifade ederken, tablo 3'e göre de az ayrışmış sınıfa doğru yaklaştığını göstermektedir.

Tablo 5. Bazalt örneklerine ait UCS değerlerinin Deer ve Miller [26] sınıflamasındaki dağılımları.

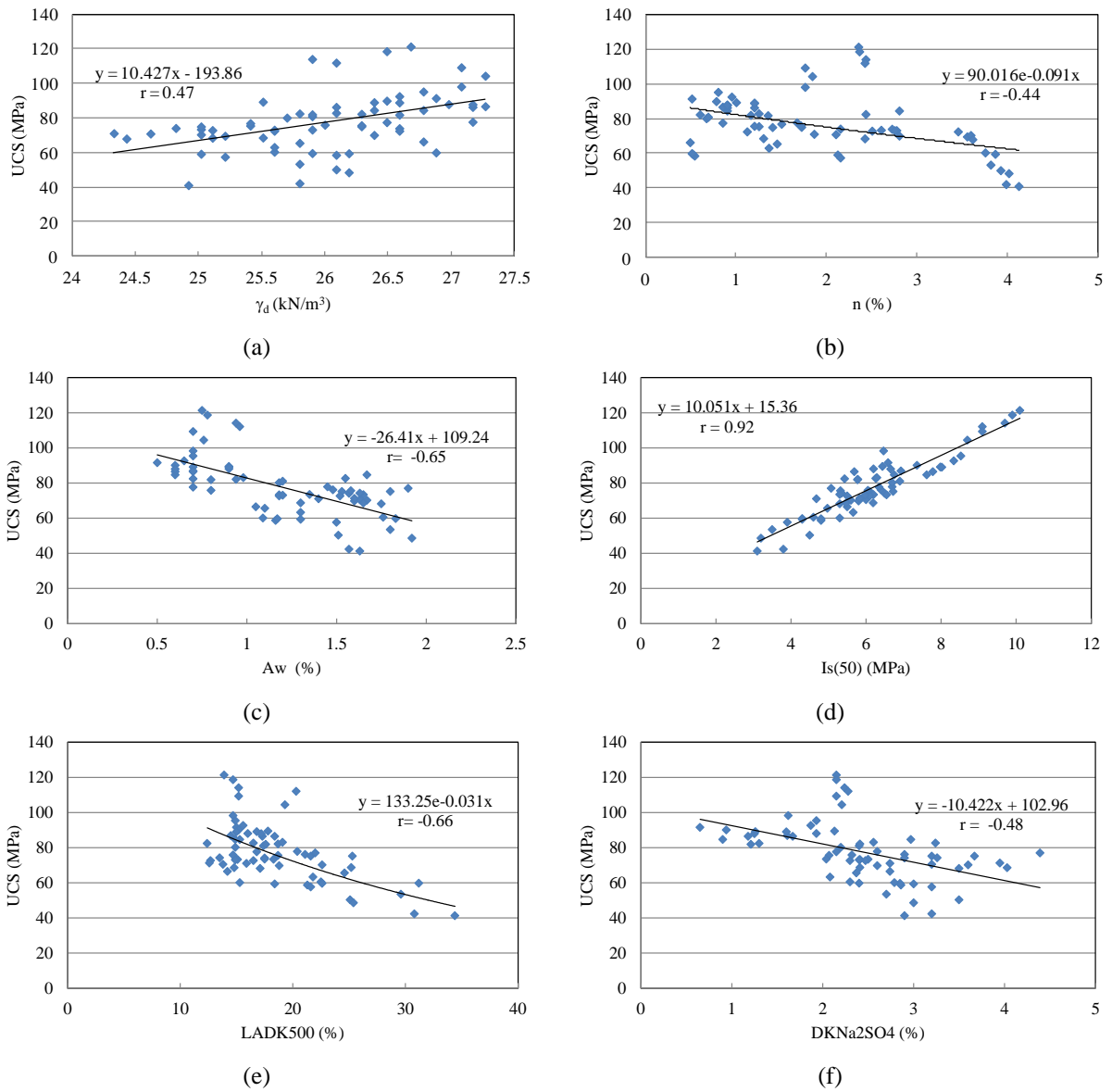
Sınıf	Açıklama	UCS (MPa)	Çalışma alanındaki bazalt örnekleri	
			Örnek sayısı	% dağılım
A	Çok Düşük Dirençli	<25	-	-
B	Düşük Dirençli	25-50	3	4.48
C	Orta Dirençli	50-100	58	86.57
D	Yüksek Dirençli	100-200	6	8.96
E	Çok Yüksek Dirençli	>200	-	-

Nokta yükü dayanım indeksi deneyinin, prizmatik ve düzensiz örneklerle de yapılabilmesi, deney yönteminin basit ve deney aletinin kolay ulaşılabilir olması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu nedenle birçok çalışmada kayaç malzemesinin dayanımı hakkında ön bilgiler edinebilmek için bu deney uygulanmaktadır. Sorgun bazaltlarının nokta yükü dayanım indeksi (I_{s(50)}) değerleri 3.1MPa ile 10.1MPa aralığında değişmekte olup, Bieniawski [27]'nin dayanım sınıflamasındaki dağılımları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Bazalt örneklerine ait $I_{s(50)}$ değerlerinin Bieniawski [27] sınıflamasındaki dağılımları.

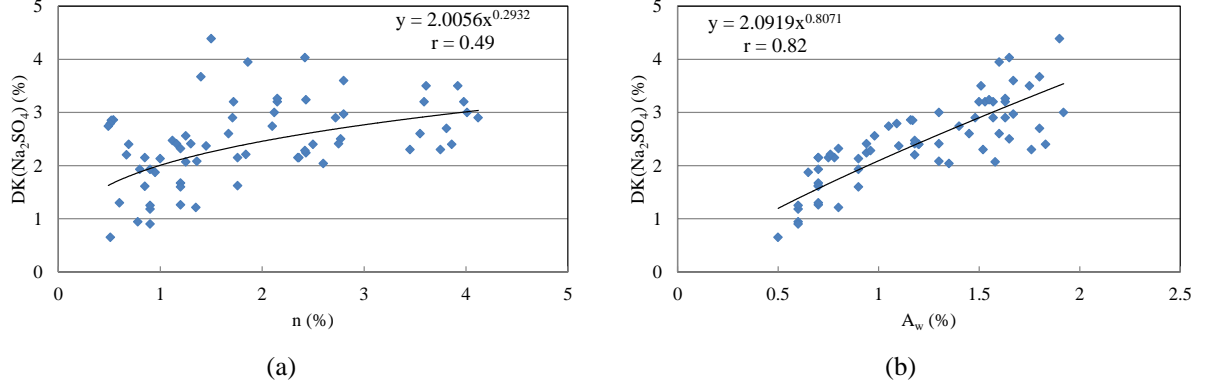
KAYA SINIFI	$I_{s(50)}$ (MPa)	Çalışma alanındaki bazalt örnekleri	
		Sayı	% dağılım
Çok Düşük Dirençli	<1	-	-
Düşük Dirençli	1-2	-	-
Orta Dirençli	2-4	5	7.46
Yüksek Dirençli	4-8	53	79.10
Çok Yüksek Dirençli	>8	9	13.43

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı mühendislik projeleri için önemli bir veridir. Bu değer kayaçların diğer mühendislik özellikleri ile de ilişkilidir [3,5,14]. Dayanımın yüksek olduğu kayaçalarda gözenekliliğin, don kaybının ve aşınma kaybının düşük çıkması beklenirken, birim hacim ağırlık ve nokta yükü dayanım indeksi gibi parametrelerin yüksek olması beklenir. Bazaltlar için bu durum basit regresyon analizleriyle incelenmiş ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Bazaltların tek eksenli basınç dayanımları ile kuru birim hacim ağırlık (a), gözeneklilik (n), ağırlıkça su emme (c), nokta yükü dayanım indeksi (d), Los Angeles aşınma kaybı (e) ve don kaybı değerleri (f) arasındaki ilişkiler.

Doğal yapı malzemelerinin mühendislik işlerinde kullanıldığı durumlarda, malzemenin proje ömrü süresince özelliklerini koruyarak görevini yapabilmesi yani duraylı kalması beklenir. Literatürde kayaçların duraylılığının ıslanma-kuruma ve donma-çözülme süreçlerinden etkilendiği [28] ve donma-çözülmenin kayaç duraylılığını daha olumsuz etkilediği belirtilmiştir [29]. Donma-çözülme süreçlerinin etkinliği kayacın gözenekliliği ve su emmesiyle doğrudan ilişkili olup, bazaltların sodyum sülfat don kaybı değerleri ile gözeneklilik ve su emme değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 8’de incelenmiştir.



Şekil 8. Bazaltların sodyum sülfat don kaybı değerleri ile gözeneklilik (a) ve su emme değerleri (b) arasındaki ilişkiler.

Doğal yapı malzemelerinin inşaat projelerinde kullanılıp kullanılmayacağı ya da nerelerde kullanılabileceği bazı kaya özellikleri için tanımlanan limit değerlere göre belirlenmiştir. Bazaltlar da en önde gelen doğal yapı taşlarından olduğundan, çalışma alanımızdaki bazaltların inşaat projeleri için uygunluk durumları aşağıdaki tablolarda (Tablo7-9) verilmiştir.

Tablo 7. Riprap olarak kullanılacak bloklara ait bazı limitler [30].

Deney	Kullanılmış veya tavsiye edilen değerler	Bazaltların ortalama değeri	Sınırın altında kalan örnek sayısı/oranı (%)
Su emme	<% 1.8	1.2 (Uygun)	5 / 7.46
Basınç dayanımı	49 MPa	77.52 (Uygun)	3 / 4.48
Los Angeles aşınma kaybı (500)	<% 40	18.51 (Uygun)	0 / 0
Na ₂ SO ₄ don kaybı	<% 10	2.44 (Uygun)	0 / 0

Tablo 8. Taş tahkimat olarak kullanılacak bloklara uygulanacak deneylerin bazıları ve limit değerleri [31].

Deney	Şartname Limitleri	Bazaltların ortalama değeri	Sınırın altında kalan örnek sayısı/oranı (%)
Petrografik İnceleme	Kristaller iyi kenetlenmiş, kil minerali ve eriyebilir mineral olmayacaktır.	Bol minkro çatlak, Olivinlerde İddingsitleşme ve serpantinleşme, piroksenlerde uralitleşme (Uygun değil)	- / -
Yoğunluk (t/m ³)	≥ 2.40	2.65 (Uygun)	- / -
Kütlece Su Emme Oranı (%)	≤ 1,8	1.2 (Uygun)	5 / 7.46
Basınç Dayanımı (MPa)	≥ 50	77.52 (Uygun)	3 / 4.48
Los Angeles Parçalanma Direnci (%)	≤ 30	18.51 (Uygun)	3 / 4.48
MgSO ₄ Deneyi (%)	≤ 8	2.44 (Uygun)	- / -
Arazide kontrol ve Yerinde Gözlem	Ocak yerinde veya kullanılacağı yerde 12 ay beklediği sürede çatlak oluşumu, parçalanma ve ayrışma olmayacaktır.	Ocaktan tren yolu için balast malzemesi alınmış ve bozuşma ve parçalanma	- / -

sorunu
yaşanmıştır
(Uygun değil)

Çalışma sahasında alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları CIRIA/CUR [32] sınıflama sistemine göre değerlendirilmiş ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Bazalt örneklerinin CIRIA/CUR [32] sınıflarındaki dağılım yüzdeleri.

Yapılan Deneyler	CIRIA / CUR Kriteri			
	Mükemmel	İyi	Orta	Zayıf
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	> 2.9	2.6 -2.9	2.5 - 2.6	< 2.5
Bazalt (%)	0	77.61	19.40	2.99
Ağırlıkça Su Emme (%)	< 0.5	0.5 – 2	2 – 6	> 6
Bazalt (%)	0	100	0	0
Porozite (%)	<2	2 – 6	6 -20	>20
Bazalt (%)	58.21	41.79	0	0
Basınç Dayanımı (MPa)	> 120	60 – 120	20 -60	< 20
Bazalt (%)	0	85.07	14.93	0
Los Angeles 500 Devir (%)	< 15	15 – 25	25 – 35	> 35
Bazalt (%)	23.88	62.69	11.94	0
Sodyum Sülfat Don Deneyi (%)	< 2	2 – 10	10 – 30	> 30
Bazalt (%)	22.39	77.61	0	0

6. TARTIŞMALAR

İnceleme alanındaki bazaltlar fazla oranda kırık-çatlak içermekte olup, petrografik açıdan heterojen doku, mineral bileşimi ve belirgin bozunma göstermektedir. Bazaltik bileşimli kayalar bu nedenle yeşilin ve siyahın farklı renk tonlarını sergilemektedir. Bazaltlar plajiyoklaz, piroksen, amfibol, olivin ve opak mineralleri içermekte olup, intersertal ve ofitik dokuya sahiptir. Olivinlerin önemli bir bölümü iddingsitleşme ve serpantinleşme, piroksenler ise uralitleşme göstermektedir. Bu bozunmalar kayanın prozitesini ve su emme yeteneğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Tuğrul (1997)'un önerdiği ayrışma sınıflamasına göre, çalışmada kullanılan 67 bazalt örneğine ait tek eksenli basınç dayanımı değerinin %22'si ayrışmamış, %76'sı çok az ayrışmış, %25'i az ayrışmış ve %6'sı da orta ayrışmış sınıfa düşmektedir. Bazalt örneklerinin Moos-Quervain (1948) gözeneklilik sınıflamasına göre dağılımları; çok kompakt %25, az boşluklu %49 ve orta boşluklu %26 şeklindedir. Kayaların UCS değerlerine göre düzenlenmiş Deer ve Miller (1966) sınıflamasına göre, bazaltların %8.86'sı çok yüksek dayanımlı, %86.57'si orta dayanımlı ve %4.48'i de düşük dayanımlı sınıftadır. Bazalt örneklerinin Is(50) değerlerinin Bieniawski (1975) sınıflamasındaki dağılımları ise %13.43'ü çok yüksek dirençli, %79.10' u yüksek dirençli ve %7.46'sı orta dirençli şeklindedir. Anlaşılacağı üzere bazaltik kayaların dokusal, mineralojik ve bozunma durumlarının gösterdiği heterojenlik, örneklerin fiziksel, mekanik ve indeks özelliklerine de yansımıştır. Bu nedenle örnekler sınıflandırma tablolarında en az üç gruba dağılmış şekilde yer almaktadır.

Bazaltların fiziksel, mekanik ve indeks özellikleri belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiler basit regresyon analizleri ile incelenmiştir. Liretatüre de uyumlu olarak, tek eksenli basınç dayanımı ile birim hacim ağırlık ve nokta yükü dayanımı indeksi arasında pozitif korelasyon gözlenirken, gözeneklilik, ağırlıkça su emme, Los Angeles aşınma kaybı ve sodyum sülfat don kaybı değerleri ile negatif korelasyonlar elde edilmiştir. Kayaların duraylılığı açısından önemli bir parametre olan don kaybı değerlerinin ise ağırlıkça su emme değerleri ile güçlü bir pozitif korelasyon sergilediği görülmüştür. Bu nedenle özellikle bozunmanın çok olduğu bazaltlarda, gözeneklilik ve su içeriğinin artması donma-çözülme süreçleriyle birlikte kayacın duraylılığını önemli ölçüde azaltacaktır.

Çalışma alanındaki bazaltların yapıtaşı olabilirliği Akçalı [30], Karayolları [31] ve CIRIA/CUR [32]' a göre değerlendirilmiştir. Akçalı [30]'ya göre riprap malzemesi olabilirlik açısından örneklerin %7.46'sının su emme değerinin, %4.48'nin de basınç dayanımının uygun olmadığı görülmüştür. Karayollarının [31] taş tahkimat malzemesi limitlerine göre, petrografik özellikler ve 12 ay kullanım sonrası parçalanma durumlarına göre uygun olmadığı ortaya konulmuştur. Ayrıca örneklerin %7.46'sı kütütle su emme, %4.48'i de basınç dayanımı ve Los Angeles aşınma kaybı açısından limitlerin altında kalmıştır. Bazalt örneklerinin CIRIA/CUR [32] sınıflarındaki dağılımlarının mükemmelden zayıfa kadar değiştiği, çoğunlukla iyi sınıfta yer aldığı görülmektedir.

İncelemeye konu olan bazaltlar Yozgat civarındaki tren yolu inşaatında balast malzemesi olarak kullanılmış, ancak bir süre sonra renk değişimleri ve parçalanma şeklinde şikayetler meydana gelmiştir. Ocak malzemesi ile tren yolu inşaatında balast olarak kullanılmış bazaltlar incelenmiş ve balast malzemesi olarak kullanılan bu bazaltların bazı mühendislik özelliklerinin kötüleştiği görülmüştür (Tablo 10). Tüm bu veriler ışığında bazaltlardaki heterojen doku, mikro kırık-çatlak ve bozunma gibi petrografik sorunların, zaman içerisinde balast

ve/veya agrega halindeki kayacın kolay bir şekilde ayrışmasına ve dokusal bazda dağılma ve çözülmeye uğramasına neden olduğu söylenebilir.

Tablo 10. Bazalt ocağından alınan imalat öncesi ve imalat sonrası (Balast) örneklerinin test edilen bazı özelliklerinin ortalama değerleri.

Deney	Ocaktaki bazalt	Balast olarak kullanılmış bazalt
Sertlik (Mohos)	6.0	5.5
Sertlik (Schmidt)	68	60
Doygun Yoğunluk (gr/cm ³)	2.71	2.70
Don Kaybı (MgSO ₄) (%)	14.80	20,50
Aşınma kaybı (Los Angeles ₁₀₀₀) (%)	16.50	22.5
Doluluk Oranı (Boyama Yöntemi) (%)	97.7	90.5
Gözeneklilik (%)	2.35	9.7
Ağırlıkça su emme (%)	0.70	1.90
Nemlilik (%)	0.35	1.50

7. SONUÇLAR

Bazaltlar inşaat sektörü için sağlamlık açısından en çok kabul gören önemli yapı malzemesidir. Yapı taşları projelerde sürekli yük altında kalırken, ıslanma-kuruma ve donma-çözülme gibi atmosferik şartlara da maruz kalmaktadır. Başlangıçta ocaktaki malzemelerin mühendislik parametreleri limit değerler içinde yer alırken, proje ömründen çok daha kısa bir süre içinde bu özelliklerde kötüleşme meydana gelebilmektedir. Özellikle Yozgat gibi yılda yaklaşık 25 kez donma-çözülme çevrimin olduğu yerlerde bu tip duraysızlık problemleri çok daha hızlı bir şekilde gelişecektir. Böyle bir durumun oluşmasında önemli rol oynayan faktörler kayanın petrografik özelliği, doku (veziküler), mikro kırık-çatlakların varlığı ve minerallerdeki bozunmalardır. İncelenen bazaltların bozunma açısından en hassas mineraller olan olivin, piroksen ve plajiolazları içerdiği, bu minerallerinde bölgenin jeolojik geçmişine bağlı olarak farklı derecelerde bozunmaya uğradığı anlaşılmaktadır. Bu çerçevede başlangıç mühendislik özellikleri büyük oranda limit değerler arasında olan Sorgun bazaltlarının, sahip oldukları dokusal ve bozunma özelliklerinden dolayı duraysızlık problemleri oluşturacağı söylenebilir. Bu tip kayaçların duraylılıkları çok çevrimli ıslanma-kuruma, donma-çözülme ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri gibi yıpranma deneyleri ile incelenmelidir. Sonuç olarak yapı malzemesi olarak kullanılması düşünülen kayaçların incelenen mühendislik parametrelerinin yanında, ayrıntılı petrografik ve jeokimyasal analizlerinin yapılmasının da önemli olduğu söylenebilir.

Yazar Katkıları

Ersin KOLAY % 40, Hatice BİLEN ATAY % 30, Yusuf Kağan KADIOĞLU % 30 oranlarında katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] R. Merriam, H.H. Rieke, and Y.C. Kim, "Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks", Engg. Geol., vol. 4, pp. 155-160, 1970.
- [2] T.F. Onodera, and K.H.M. Ashoka, "Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks", Bull. Int. Assoc. Engg. Geol., vol. 22, pp. 173-177, 1980.
- [3] U. Åkesson, J.E. Lindqvist, M. Göransson, and J. Stigh, "Relationship between texture and mechanical properties of granites, central Sweden, by use of imageanalysing technique", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 60, pp. 277-284, 2001.
- [4] D.F. Howarth, and J.C. Rowlands, "Development of an index to quantify rock texture for qualitative assessment to intact rock specimens", Geotech. Test. Jour., vol. 9, pp. 169-179, 1986.
- [5] A. Tugrul, and I.H. Zarif, "Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey". Eng. Geol., vol. 51, pp. 303-317, 1999.
- [6] H. Çetin, M. Laman, and A. Ertunç, "Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Ataturk Dam in Turkey", Eng. Geol. vol. 56, pp. 225-242, 2000.
- [7] Ö. Acir, "Quality and durability assessment of basalts used as armourstones at the Eastern Black Sea ports". PhD Thesis (in Turkish), Ankara University, Ankara, 2007.
- [8] M. Korkanc, and A.Tugrul, "Evaluation of selected basalts from Nigde, Turkey, as source of concrete aggregate", Engg. Geol., vol. 75, pp. 291-307, 2004.

- [9] A. Shakoor, T.R. West, and C.F. Scholler, "Physical characteristics of some Indiana argillaceous carbonates regarding their freeze-thaw resistance in concrete", *Bulletin Association Engineering Geologists*, vol. 19, no. 4, pp. 371-384, 1982.
- [10] R.E. Goodman, "Introduction to Rock Mechanics", 2nd edn, London: John Wiley & Sons, 1989.
- [11] P.G. Fookes, "An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete", *Quarterly Journal of Engineering Geology*, vol. 123, pp. 207-229, 1980.
- [12] M.R. Smith, and L. Collis, "Aggregates- sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes", 3rd ed., The Geological Society, London, pp. 199-224, 2001.
- [13] R.B. Johnson, and J.V. DeGraff, "Principles of engineering geology", Wiley, pp. 497, 1988.
- [14] E. Kolay, and T. Başer, "The Effect of the Textural Characteristics on the Engineering Properties of the Basalts from Yozgat Region, Turkey", *Journal Geological Society of India*, vol. 90, pp. 102-110, 2017.
- [15] Y.K. Kadioğlu, Y. Dilek, and K.A. Foland, "Slab break-off and syncollisional origin of the Late Cretaceous magmatism in the Central Anatolian crystalline complex, Turkey", *Geological Society of America Special Paper*, vol. 409, no. 38, pp. 381-415, 2006.
- [16] H. Kara, ve M. Dönmez, "1/100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Kırşehir-G17 paftası", MTA, no: 54, Ankara, 1997.
- [17] A.E. Akçay, and M. Beyazpırınç, "The Geological Evolution of Sorgun (Yozgat)-Yıldızeli (Sivas) Foreland Basin, Petrographic, Geochemical Aspects and Geochronology of Volcanism Affecting The Basin", *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, vol. 155, pp. 1-32, 2017.
- [18] A.E. Akçay, M. Dönmez, H. Kara, A.F. Yergök, ve K. Esentürk, "Türkiye Jeoloji Haritaları, Yozgat I-34 Paftası", MTA, Ankara, 2008.
- [19] E.A.K. Middlemost, "The basalt clan", *Earth Science Reviews*, vol. 11, pp. 337-364, 1975.
- [20] M.J. Lebas, R.W. Lemaitre, A. Streckeisen, and B. Zanettin, "A Chemical Classification of Volcanic-Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram", *Journal of Petrology*, vol. 27, no. 3, pp. 745-750, 1986.
- [21] ISRM, "The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006", R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by Commissions on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, pp. 628, 2007.
- [22] ASTM, "Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine (C131)", ASTM International, West Conshohocken, 2006.
- [23] ASTM, "Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate (C88)", ASTM International, West Conshohocken, 2018.
- [24] A. Tuğrul, O. Gürpınar, "Proposed Weathering Classification for Basalts and Their Engineering Properties", *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol. 55, pp. 61-71, 1997.
- [25] A.V. Moos, F.De. De Quervain, "Technische Gesteinkunde", Verlag Birkhauser, Basel, 1948.
- [26] D.V. Deere, and R.L. Miller, "Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock", Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, pp. 90-101, 1966.
- [27] Z.T. Bieniawski, "The point-load test in geotechnical practice". *Engineering Geology*, vol. 9 no. 1, pp. 1-11, 1975.
- [28] E. Kolay, and M.Ö. Atay, "Investigation of ageing effects on riprap blocks used in Gelingüllü earthfill dam, Yozgat, Turkey", *Environmental Earth Sciences*, 79:286, 2020.
- [29] Z.A. Erguler, and A. Shakoor, "Relative contribution of various climatic processes in disintegration of clay-bearing rocks", *Eng Geol*, vol. 108, pp. 36-42, 2009.
- [30] E. Akçalı, "Dolgu Barajlarda Kullanılan Doğal Malzemelerin Seçim Kriterlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2005.
- [31] Karayolları, "Karayolları Teknik Şartnamesi", Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2013.
- [32] CIRIA/CUR, "Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering". Construction Industry Research and Information Association, CIRIA Special Publication, 83/CUR Report 154, pp. 607, 1991.



Eğerci Köyü Ferromanganez Cevherleşmesinin Maden Mikroskobik Özellikleri: Yozgat-TÜRKİYE

Ore Microscopic Characteristics of Ferromanganese Mineralization of Eğerci Village: Yozgat-TURKEY

¹Nursel ÖKSÜZ  ²İsmail KOÇAK  ³Sümeysra KAYA 

¹Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye

²Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

³Yozgat Bozok Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

¹nursel.oksuz@gmail.com, ²ismailkocak81@gmail.com,

³k-sumeyra@hotmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 11 June 2021

Accepted : 5 July 2021

Keywords:

Manganese, goethite,
pyrolusite, ramsdellite,
Eğerci village-Yozgat

ABSTRACT

Ferromanganese mineralization in Eğerci village is observed in 16 km southwest of Yerköy (Yozgat) district, with a basalt and limestone contact and a banded and partly reticulated structure within the limestone. Ore paragenesis; pyrolusite, ramsdellite, goethite and magnetite. Gang minerals are mostly calcite and less frequently quartz. Different pyrolusite formations were observed in the study area. Some of them are fine crystals and some are larger crystals and leaf-shaped. Another texture form is pyrolusite, which is developed as a replacement product to fill fractures and cracks. In places, pyrolusite formed by ramplung of ramsdellite and textures in which pyrolusite replaces goethite were also determined. In addition, oolitic and colloidal textures are observed in some goethites. In the light of the field studies and all these first findings, it can be thought that mineralization occurred in at least two phases.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 11 Haziran 2021

Kabul : 5 Temmuz 2021

Anahtar Kelimeler:

Manganez, götit, pirolusit,
ramsdellit, Eğerci köyü-
Yozgat

ÖZET

Eğerci köyü ferromanganez cevherleşmesi, Yerköy (Yozgat) ilçesinin 16 km güney batısında bazalt ile kireçtaşının dokanağında ve kireçtaşının içerisinde bantlı yer yer ise ağsal yapıda gözlenmektedir. Cevher parajenezi; pirolusit, ramsdellit, götit ve manyetit. Gang mineralleri ise çoğunlukla kalsit daha az oranda ise kuvarstır. Çalışma alanında farklı pirolusit oluşumları gözlenmiştir. Bazıları ince kristalli bazıları ise daha iri kristalli ve yapraklanma şeklindedir. Bir başka doku şekli ise kırık ve çatlakları doldurur şekilde ornatım ürünü olarak gelişmiş pirolusitlerdir. Yer yer ramsdellit ramplasmanı ile oluşmuş pirolusitler ile pirolusitin götiti ornattığı dokular da belirlenmiştir. Bunun yanında bazı götitlerde oolitic ve koloidal dokular gözlenmektedir. Yapılan saha çalışmaları ve tüm bu ilk bulgular ışığında cevherleşmenin en az iki evrede oluştuğu düşünülebilir.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0001-7371-3202

²0000-0002-4519-4561

³0000-0001-7594-1903

1. GİRİŞ

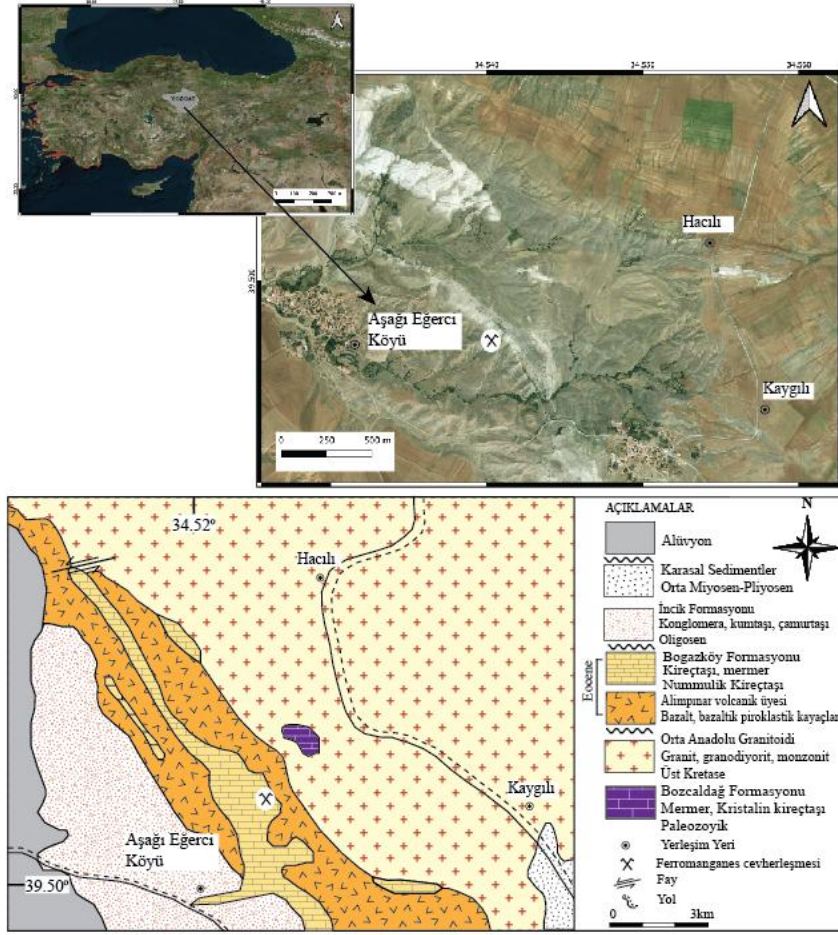
Türkiye’de manganez ve ferromanganez yatakları oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Bunlardan bir kısmı ekonomik olarak işletilse de diğer bir kısmı ise sadece cevherleşme şeklindedir. Bu oluşumlar kökenlerine, tektonik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak dört ana gruba ayrılmıştır (Öztürk 1993). 1. Radyolaritli çörtlere birlikte bulunan hidrotermal ve hidrojenetik kökenli manganez yatakları, 2. Alt Kretase yaşlı karbonatlar içindeki siyah şeyllerle ilişkili diyajenetik oluşumlu yataklar, 3. Volkanotortul içindeki hidrotermal oluşumlu yataklar ve 4. Oligosen çökelleri içindeki sedimanter kökenli yataklardır.

Yozgat İli merkezi ve çevresinde de radyolaritli çörtlere ilişkili olarak bantlı ve mercer şeklinde gözlenen hidrotermal, hidrojenetik ve diyajenetik kökenli manganez ve ferromanganez oluşumları oldukça yaygın gözlenmektedir (Eymir, Derbent, Baltasarlar, Cihanpaşa, Büyükmahal, Tarhana). Bu oluşumların bazılarında Si içeriği yüksek değerler sunarken, diğer bazı oluşumlarda ise Mn ile birlikte Fe içerikleri de yüksek oranlarda gözlenmiştir (Öksüz, 2011a, b; Öksüz ve Okuyucu 2014; Öksüz 2018). Köken olarak oluşumların hemen hemen hepsi Artova Ofiyolitik kompleks içinde hidrotermal, hidrojenetik ve diyajenetik olarak belirlenmiştir. Çalışmaya konu olan Eğerci Köyü manganez oluşumlarının ise bunlardan farklı olarak kireçtaşlarının içinde bazaltik kayaçların oluşumu sırasında hidrotermal çözeltilerin getirilmesi sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

Bu çalışmadaki temel amaç, çalışmaya konu olan Aşağı Eğerci bölgesinde gözlenen ferromanganez cevherleşmesindeki cevher minerallerinin XRD çekimlerinin yapılarak parajenezinin belirlenmesi ayrıca aynı örneklerin maden mikroskobunda incelenmesi ile minerallerin yapısal ve dokusal özelliklerinin belirlenmesidir. Böylece oluşum evreleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. BÖLGESEL JEOLJİ

Çalışmaya konu olan ferromanganez cevherleşmesi, Yerköy (YOZGAT) ilçesinin 16 km güney batısındaki Aşağı Eğerci köyünde gözlenmekte olup aynı zamanda Türkiye’nin önemli masiflerinden olan Orta Anadolu Masifi’nde yer almaktadır. Bölgede yüzeyleyen en yaşlı birim, Paleozoik yaşlı Bozçaldağ Formasyonudur (Şekil 1). [6] tarafından adlandırılan birim, gri renkli, çoğunlukla iri kalsit kristalli, orta-kalın katmanlı ve masif mermerden oluşmaktadır. Masif mermerler, çalışma alanında Hacılı köyünün güneyinde çok küçük bir alanda gözlenmektedir ve Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu graniti tarafından kesilmektedir [7]. Eosen yaşlı Boğazköy Formasyonu [8], çalışma alanı ve yakın çevresinde, transgresif olarak bazı bölgelerde intrüzipleri bazı bölgelerde ise daha yaşlı birimleri aşılabilir uyumsuzlukla örter. Birim, volkanik ara düzeyli, kumtaşı, silttaşı, az çakıltaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşur. Bu formasyon, nummulit, mercan ve gastropod fosilleri içeren kumlu-siltli kireçtaşı ve masif kireçtaşlarından oluşan “Kireçtaşı Üyesi”, bazalt ve bazaltik piroklastik kayaçlardan oluşan “Alımpınar Volkanik Üyesi” ve hâkim olarak dasitik tüfler ile yer yer dasitik, riyolitik kayaçlardan meydana gelen “Dasit Üyesi” olmak üzere üç üyeye ayrılmaktadır [8]. Dasit üyesi, çalışma alanında izlenmemektedir. Formasyonda tanımlanan bu üç üye birbirleri ile yanall ve düşey geçişlidir. Ayrıca, Alımpınar Volkanik Üyesi içerisinde izlenen taban yapıları denizaltı volkanizmasını işaret etmektedir. Birim genel olarak, Aşağı Eğerci köyünün kuzey-kuzey batısı ile güney doğu bölgelerinde gözlenmektedir. Karasal ortamda oluşmuş baskın olarak çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı litolojisi ile ayırt edilen Oligosen yaşlı İncik formasyonu [9] ve Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı göl, akarsu karasal çökelleri, tüm birimleri uyumsuz olarak üzerler. Bölgedeki en genç birim Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır [7,10].



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji ve yer bulduru haritası ([7]'den değiştirilerek)

Çalışma alanında İç Anadolu ve Toroslarda şiddetli deformasyona neden olan Alpin Orojenezinin Laramiyen safhasının etkileri gözlenmektedir [11]. Bölgede geniş alanları kapsayan magmatizma, kristalen masif içerisinde plütonik faaliyetler şeklinde, Üst Kretase ve Orta Eosen döneminde ise denizaltı volkanizması şeklinde gerçekleşmiştir. Orta Eosen birimleri, sıg denizel ve volkanik fasiyeste gelişmiş kayalarla temsil edilir. Alt-Orta Eosen dönemindeki deniz seviyesi Kretase döneminden daha yüksektir. Orta Eosen'in sonuna doğru deniz yavaş yavaş çekilmeye başlamış, lagünler oluşarak Orta Eosen'in sonlarına doğru jipsli, killi marnlar oluşmuştur. Orta Eosen'in sonunda ise deniz daha fazla çekilmiş, aynı zamanda yükselme ve aşınmalar meydana gelmiş ve Oligosen'in kırmızı renkli konglomeratik birimlerini oluşturmuştur. Oligosen boyunca ise deniz daha çok çekilerek lagünler oluşmuştur. Oligosen sonunda yer yer acı ve tatlı su gölleri kalmış, deniz ise tamamen çekilmiştir. Daha genç devirlere ait volkanik faaliyetlerin ise çalışma alanında gözlenmediği belirlenmiştir [10].

3. MATERYAL VE METOD

Eğerci köyü ferromanganez cevherleşmesinden 40 adet cevher örneği alınmıştır. Bu örneklerin 20 adedinden Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) parlak kesit yaptırılmıştır. Bunun yanında aynı örneklerin 15 adedinden de Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (BİLTEM) XRD analizleri yaptırılmıştır. Parlak kesitler Yozgat Bozok Üniversitesi'nde bulunan Leica marka üstten aydınlatmalı mikroskopta incelenerek ilgili bölümler fotoğraflandırılmıştır.

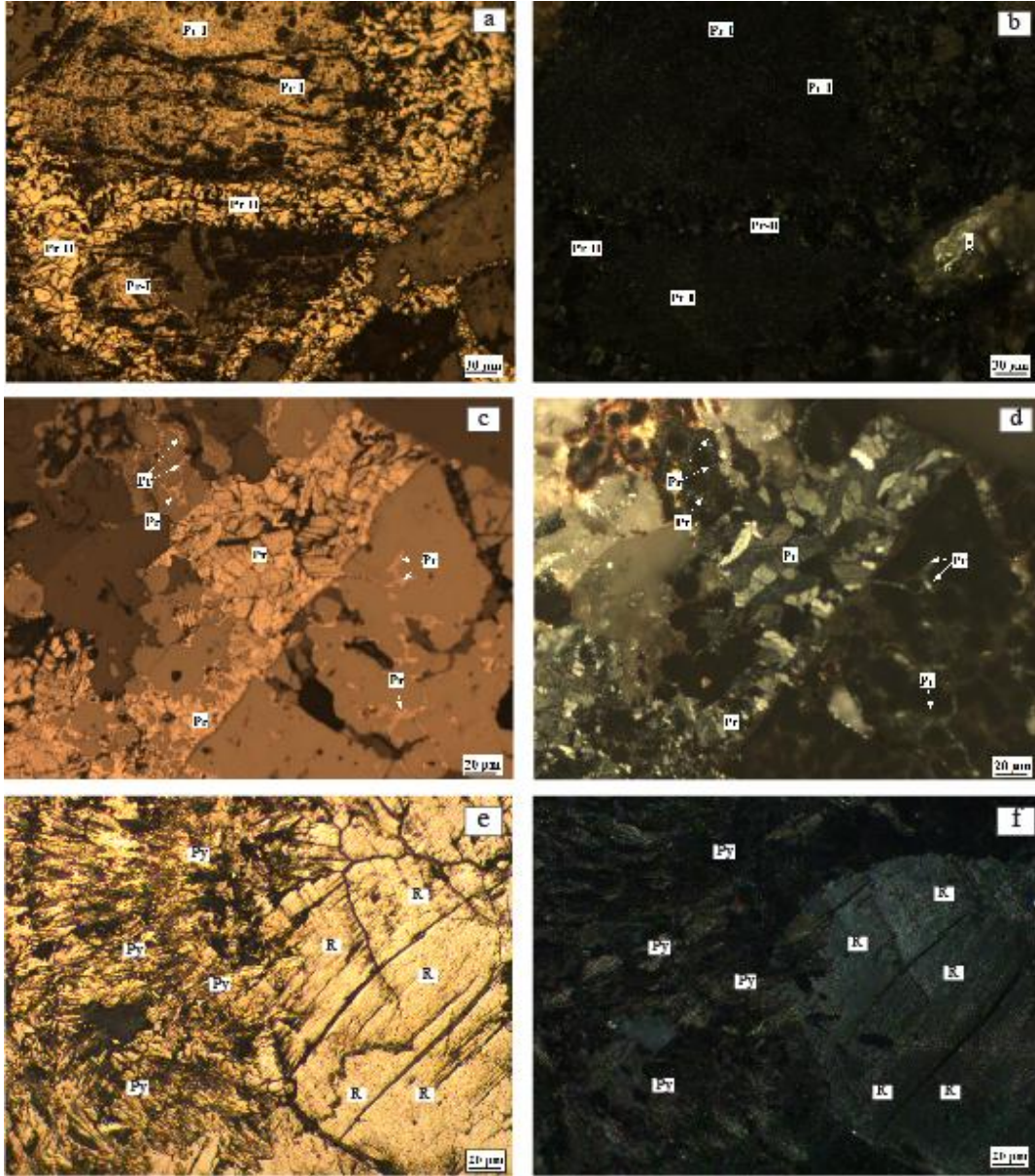
4. MADEN MİKROSKOBİK İNCELEMELER

Maden mikroskobik incelemeler için öncelikle mineral parajenezini desteklemek için XRD analizleri yaptırılmıştır. Daha sonra parlak kesitlerin her biri üstten aydınlatmalı mikroskopta incelenerek dokusal ve yapısal özellikleri incelenmiş ve yorumlanmıştır. Buna göre Eğerci ferromanganez cevherleşmesinde belirlenen ana mineral parajenezi; pirolusit, ramsdellit, götit ve manyetitir. Gang mineralleri ise çoğunlukla kalsit daha az oranda ise kuvardır.

4.1. Pirolusit (MnO_2)

Mangan oksitin bilinen üç farklı polimorfu olmasına rağmen, yaygın gözlenmesi ve duraylı olması bakımından en önemli minerali pirolusittir. Bununla birlikte pirolusit, duraylılık alanlarının fazla olması sebebi ile birçok jeokimyasal ortamda gözlenebilmektedir. Böylece hem süperjen hem de düşük sıcaklıktaki hidrotermal ortamlarda oluşabilen pirolusit, kökensel yorumlamalarda belirteç değildir [12].

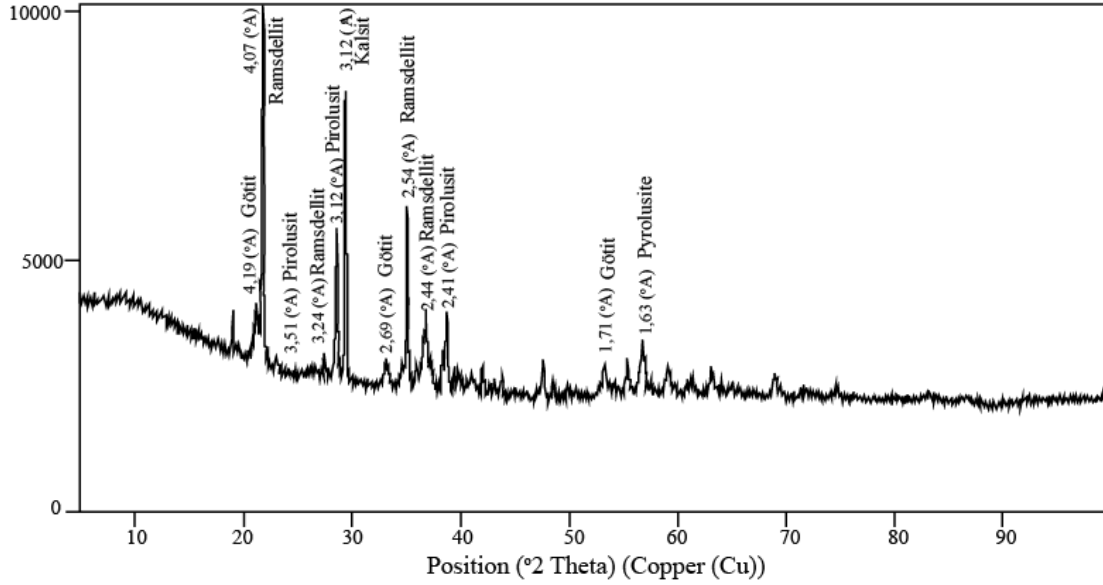
Bunların dışında pirolusit, karasal ortamlarda günlenme (weathering) ile oluşabildiği gibi ramsdellit ve manganit gibi diğer mangan minerallerinin ramplasmanı şeklinde de oluşabilir. Karasal ortamlarda oluşan pirolusit, taşınma sırasında çevreden kalıntı malzemeler de içerebilir [13]. Çalışma alanındaki pirolusitlerde de olduğu gibi çökelimi genellikle kireçtaşı ya da dolomit gibi karbonat kayaçların içinde olabileceği gibi [13], oksitlenme potansiyeli yüksek ortamlarda da pH'den bağımsız olarak bulunabilmektedir [14]. Eğerci köyü ferromanganez cevherleşmesinde de en bol bulunan minerallerden biri pirolusittir. Birinci nikelde krem, sarı renkli ikinci nikelde ise krem, sarı, mavimsi gri renkli kuvvetli anizotropi gösterir (Şekil 2a-f). Çalışma alanından alınan örneklerde farklı pirolusit oluşumları gözlenmiştir. Bunlardan bazıları ince kristalli bazıları ise daha iri kristalli ve yapraklanma şeklindedir. (Şekil 2a, b). Diğer bir oluşum, kırık ve çatlakları doldurur şekilde, ornatım ürünü olarak gelişmiş pirolusitlerdir. Bunlarda tipik büzülme çatlakları (kontraksionrisse) da belirgindir (Şekil 2c, d). Yer yer ramsdellit ramplasmanı ile oluşan pirolusitler de gözlenmiştir (Şekil 2e, f).



Şekil 2. a) İnce kristalli pirolusit (Pr-I) ve daha iri kristalli pirolusit (Pr-II), I. Nikol; b) İnce kristalli pirolusit (Pr-I) ve daha iri kristalli pirolusit (Pr-II), II. Nikol; c) Kırık ve çatlakları doldurarak oluşmuş ikincil pirolusit, I. Nikol; d) Kırık ve çatlakları doldurarak oluşmuş ikincil pirolusit, II. Nikol; e) Ramsdellit ramplasmanı şeklinde oluşmuş pirolusit, I. Nikol; f) Ramsdellit ramplasmanı şeklinde oluşmuş pirolusit, II. Nikol, Py: Pirolusit, R: Ramsdellit

4.2. Ramsdellit (MnO_2)

İncelenen örneklerde saptanan bir diğer manganez oksit polimorfu ramsdellitir. Pirolusit ile oldukça benzerlik gösterir. Bu sebeple direkt bir karşılaştırma yapmak ve mineral tayini oldukça zordur. Pirolusit mangan oluşumlarında ramsdellite oranla daha yaygın olarak görülse de düşük sıcaklıktaki hidrotermal alterasyon ile oluşan manganez mineralizasyonlarında ramsdellit de bol bulunduğu tespit edilmiştir [15]. İki mineralin yan yana görüldüğü kesitlerde pirolusitin daha parlak olduğu fark edilebilir. Bununla birlikte pirolusit ve ramsdellit parajenez olsa da ramsdellit, 300 °C'nin üzerinde ısıtıldığında pirolusite dönüşür [13]. Bu tarz dönüşümler, çalışma alanında içi içe geçmiş ya da ramsdellit etrafında gözlenen kuşak halinde pirolusit oluşumu şeklinde gözlenmektedir (Şekil 2 e, f). Mikroskopta tespit edilen ramsdellit, pirolusitten özellikle yeşilimsi gri anizotropi rengi ile de ayırt edilmektedir. Bununla birlikte çalışma alanındaki manganez cevherleşmesinde ramsdellit varlığı XRD analizleri ile de belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Cevher örneklerine ait XRD difraktogramı

4.3. Götüt $FeO(OH)$

Oksihidroksit bileşimli götüt; ferrosit ve lepidokrositin polimorfudur. Götüt, düşük sıcaklıktaki oluşumlarda özellikle sedimenter ortamlarda ve ayrıca demirce zengin cevherleşmelerin olduğu yerlerde günlenme ürünü olarak da sıklıkla gözlenir [16]. Bunun yanında götüt, Fe^{2+} 'nin Fe^{3+} 'e oksidasyonu sonucunda da oluşabilir. Bu da yukarıda bahsedildiği gibi götütün yüzey koşullarında günlenme sonucunda oluşmasına yol açar. Bu şekilde gözlenen oksidasyon değişikliği nedeniyle, götütte yaygın olarak psödomorf oluşumlara sık rastlanır [17]. Çalışma alanında ana mineral olarak gözlenen götüt, hem cevher mikroskobu ile hem de XRD analizi ile belirlenmiştir (Şekil 3).

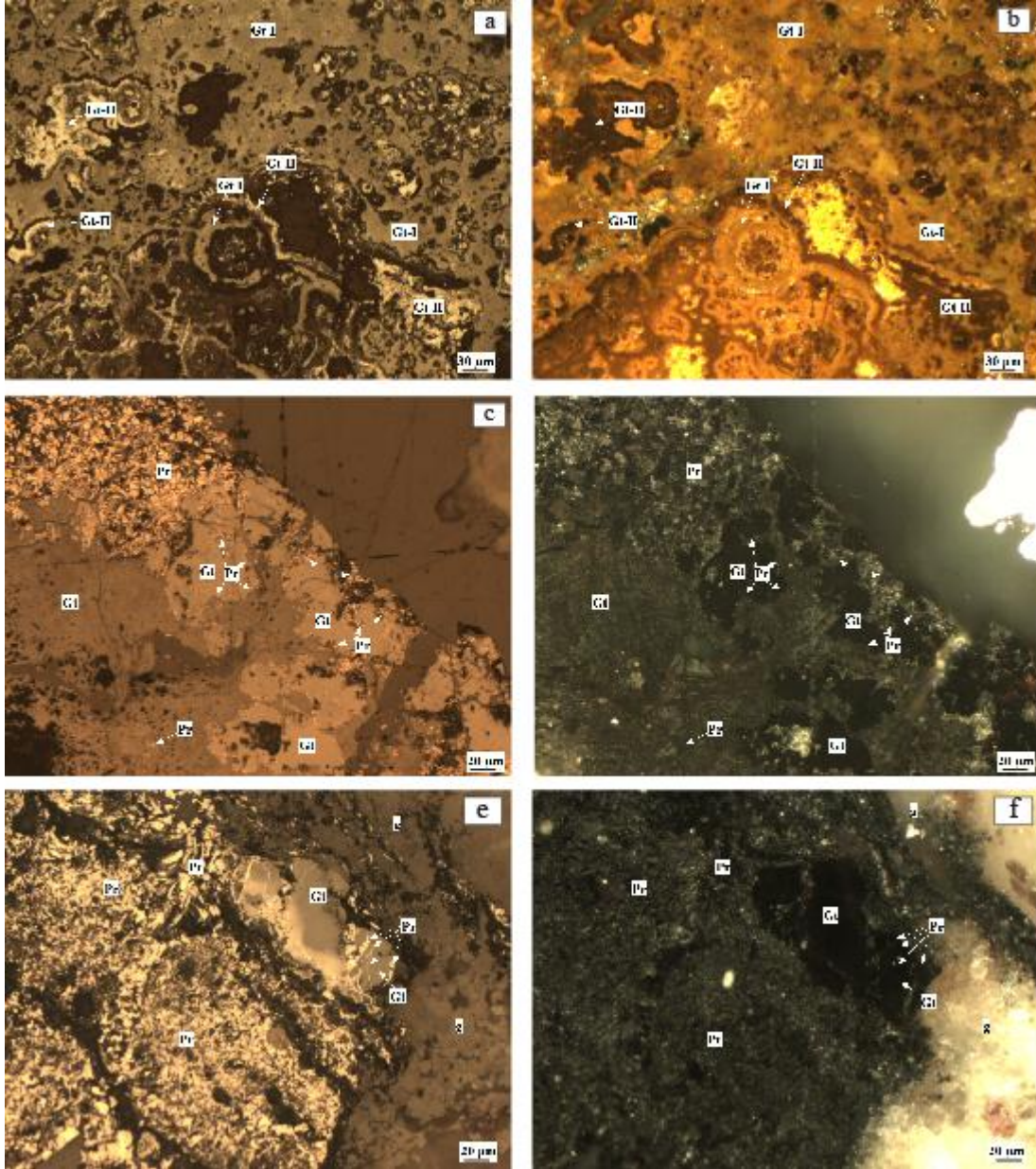
Parlak kesit incelemelerinde de oldukça belirgin gözlenen götütler, birkaç farklı oluşumun da varlığını göstermektedir (Şekil 4 a,b, e,f). Birinci nikelde açık-koyu gri renklere gözlenen götüt, ikinci nikelde sarı, turuncu, kırmızı iç yansıması ile tipiktir (Şekil 4 a, b; Şekil 5 a, b, c, d). Yer yer pirolusitin götütü ornattığı da izlenmektedir (Şekil 4 e,f). Bu durum cevherleşmenin en az iki aşamadan oluştuğunun da göstergesidir. Bunun yanında bazı örneklerdeki oolitik dokular oldukça belirgindir (Şekil 5 a, b). Oolitik dokuların aslında sedimantasyon dokuları olduğu bilinse de, bazı durumlarda çözeltilerden ve eriyiklerden oluşan cevherleşmelerde de bunlara benzer şekiller oluşmaktadır. Bu dokuların önceleri bakterilerle benzerliği tartışılrsa da daha sonraki çalışmalarda bu tarz oluşumların hidrotermal kökeni temsil ettiği belirtilmiştir [13, 18]. Ayrıca çalışma alanındaki götütlerde de oldukça yaygın olarak gözlenen koloidal dokular (Şekil 5 c, d), sedimantasyonun belirteci olarak kabul edilmektedir [19].

4.4. Manyetit (Fe_3O_4)

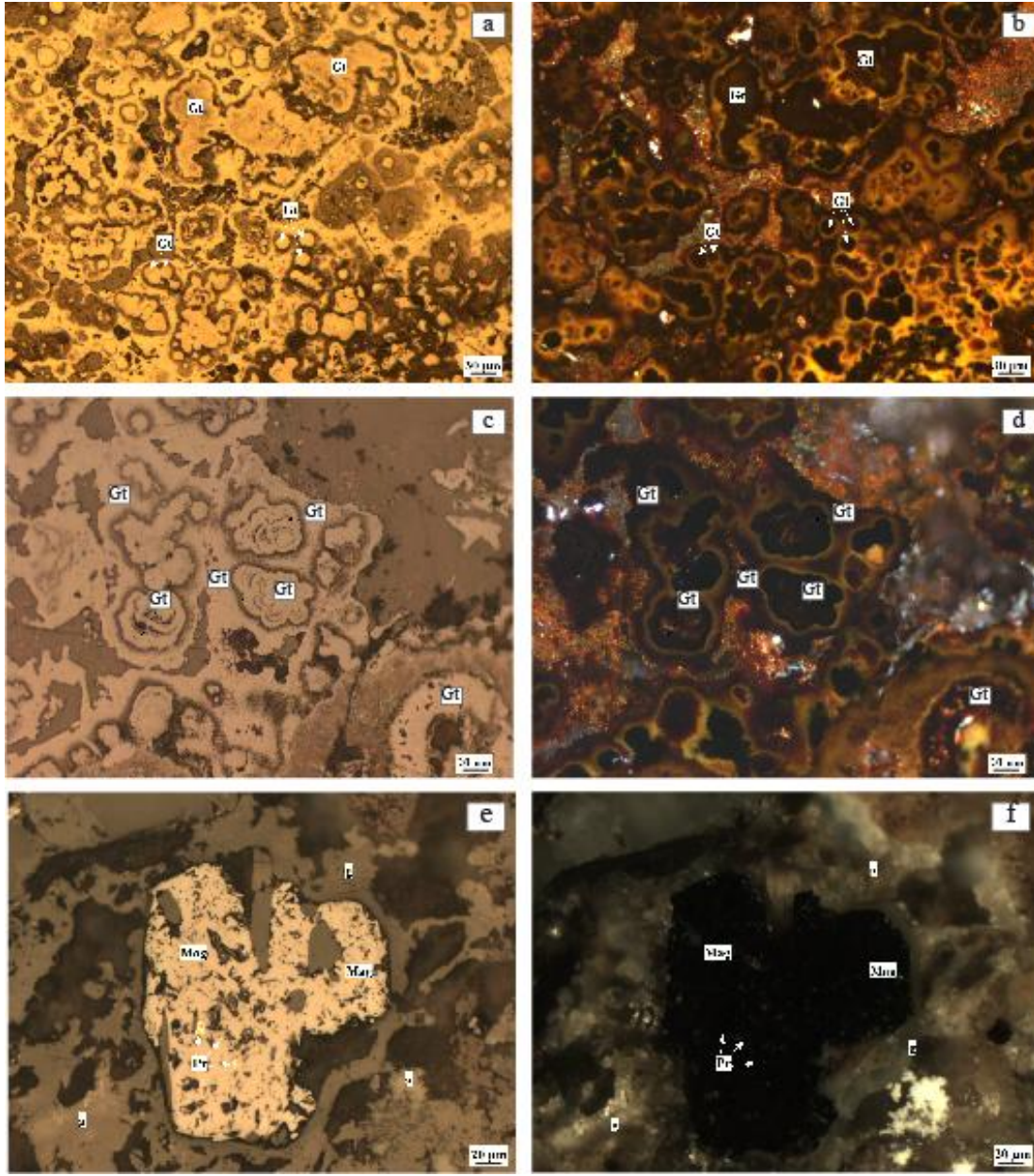
Çalışma alanında gözlenen manyetit, aksesuar mineral olarak bulunmaktadır. Manyetitin çoğunlukla götüte dönüştüğü düşünülmekte olup örneklerde yer yer öz şekilli kristallerine rastlanmaktadır (Şekil 5 e,f). İçerisinde kalıntı olarak gözlenen pirolusitler dikkat çekmektedir. Manyetit 1. Nikolde pembemsi kahverengi görünümünde olup, oldukça yüksek optik engebeye sahiptir. Bunun yanında belirgin sarı, turuncu iç yansıması izlenirken izotrop özelliktedir.

5. SONUÇ

Yapılan saha çalışmaları ve maden mikroskopik veriler ışığında ilk bulgularla cevherleşmenin en az iki evrede olduğu düşünülebilir. Bölgede, kristalen masifler içerisinde plütonik faaliyetler şeklinde gelişen bir magmatizma ve Üst Kretase, Orta Eosen döneminde de denizaltı volkanizması gerçekleşmiştir. Daha sonra ise meteorik suların etkisi ile cevher minerallerinde değişimin olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanında bir kaç farklı fazda, bazalt ve kireçtaşı dokanağı ile kireçtaşının içerisinde bantlar şeklinde ve ağsal yapıda gözlenen cevherleşmenin ilk fazının Orta Eosen dönemindeki bu volkanik faaliyetler ile olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. a) Açık-koyu gri renklerde gözlenen götitler (Gt-I, Gt-II), I. Nikol; b) Sarı, turuncu, kırmızı iç yansıma gösteren götitler, II. Nikol; c) Götit içinde iri ve ince kristalli, damar şekilli pirolusit, I. Nikol; d) Götit içinde iri ve ince kristalli, damar şekilli pirolusit, II. Nikol; e) Pirolusitin götiti ornatması, I. Nikol; f) Pirolusitin götiti ornatması, II. Nikol. Gt: Götit, Py: Pirolusit, g: Gang



Şekil 5. a) Oolitik dokulu götitler, I. Nikol; b) Sarı-turuncu iç yansıma gösteren oolitik dokulu götitler, II. Nikol; c) Kolloidal doku gösteren açık-koyu gri renkli götitler, I. Nikol; d) Kolloidal doku gösteren sarı-turuncu iç yansımali götitler, II. Nikol; e) Pembemsi kahverengi görünümde oldukça yüksek optik engebeye sahip özşekilli manyetit. Kristal içinde kalıntı şeklinde pirolusit taneleri görülmektedir. I. Nikol; f) İzotrop özellik gösteren özşekilli manyetit, II. Nikol Gt: Götit, Py: Pirolusit, Mag: Manyetit, g: Gang

Yazar Katkıları

Nursel ÖKSÜZ %50, İsmail KOÇAK %40, SümeYra KAYA % 10

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

- [1] H. Öztürk "Manganese mineralizations in Turkey: Processes of formation and types" Istanbul University Eng. Fac. Geological Engineering Pub, vol. 43, pp. 24-33 1993.
- [2] N. Öksüz "Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit, Turkey" Journal of Rare Earths, vol. 29, no. 3, pp. 287-296, 2011.
- [3] N. Öksüz "Geochemistry and the origin of manganese mineralizations in Derbent (Yozgat) Region" Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of

- Hacettepe University, vol. 32, no. 3, pp. 213–234, 2011.
- [4] N. Öksüz, and N. Okuyucu “Mineralogy, geochemistry, and origin of Buyukmahal manganese mineralization in the Artova ophiolitic complex, Yozgat, Turkey” *Journal of Chemistry*.
- [5] N. Öksüz “Mineralogical findings from manganese deposits in the artova ophiolite complex, Derbent-Eymir area, Yozgat, Turkey” *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, vol. 156, pp. 137-150, 2018.
- [6] İ. Seymen “The geology of the Kırşehir Massif around Kaman (Kırşehir)” ITU Faculty of Mining. Associate Professor Thesis (unpublished), 164, İstanbul 1982.
- [7] A.E. Akcay, M. Dönmez, H. Kara, A.F. Yergök, and K. Esentürk “Turkish Geological Maps Series with a scale of 1/100 000, Yozgat-i33 Map”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, Ankara, vol. 80, pp. 1-16, 2007.
- [8] A. Özcan, A. Erkan, E. Keskin, A. Oral, S. Ozer, M. Sumengen, and O. Tekeli “The basic geology of the North Anatolian Fault-Kırşehir Massif” *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, Ankara, report number: 6722 (unpublished; in Turkish) 1980.
- [9] F.Y. Oktay, “The geology of the sedimentary cover of the Central Anatolian Massif around Savcılı-Büyükoba (Kaman)” ITU Faculty of Mining. Associate Professor thesis, İstanbul, 1981.
- [10] İ. Ketin “The geology of the Yozgat region and the tectonic situation of the Central Anatolian Massif” *The Bulletin of the Geological Society of Turkey*, vol. 6, no. 1, pp. 1-40, 1955.
- [11] İ. Ketin “Tectonic units of Anatolia”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute, Turkey*, vol. 66, pp. 20-34, 1966.
- [12] K. Nicholson “Genetic Types of Manganese Oxide Deposits in Scotland: Indicators of Paleo Ocean Spreading Rate and a Devonian Geochemical Mobility Boundary”, *Economic Geology*, vol. 87, pp. 1301–1309, 1992.
- [13] P. Ramdohr, “The Ore Minerals and Their Intergrowth” Pergamon Press, Oxford, London, New York, 1980.
- [14] K.B.Krauskopf, ”Introduction to Geochemistry”, McGraw-Hill International Editions, Earth and Planetary Science Series, Km Keong Printing Co. Pte. Ltd. Republic of Singapore, 1989.
- [15] J. Ostwald “Two varieties of lithiophorite in some Australian deposit” *Mineral. Mag.*, vol. 48, pp. 383–388 1984.
- [16] C. Van Der Zee, D.R. Roberts, D.G Rancourt, C. P. Slomp "Nanogoethite is the dominant reactive oxyhydroxide phase in lake and marine sediments". *Geology*, vol. 31, no. 11, pp. 993-996, 2003.
- [17] P. Larese-Casanova, S.B. Haderlein, A. Kappler “Biomining of lepidocrocite and goethite by nitrate-reducing Fe(II)-oxidizing bacteria: Effect of pH, bicarbonate, phosphate, and humic acids”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 74, no. 13, pp. 3721-3734, 2010.
- [18] G. Göymen, and Ş. Koç “Ore Microscopy”. Ankara University Science Faculty Publish, Number 60, 2000.
- [19] G.M. Schwartz “Classification and definitions of textures and mineral structures in ores” *Economic Geology*, vol. 46, pp. 578-591 1951.



Düşük-Işıklı Renkli Görüntülerin İyileştirilmesinde Kullanılan Retineks Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Comparative Analysis of Retinex Algorithms used in Low-Light Color Image Enhancement

¹Ferzan KATIRCIOĞLU 

¹Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Düzce, Türkiye

ferzankatircioglu@düzce.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 21 June 2021

Accepted : 14 October 2021

Keywords:

Low-Light Color Image Enhancement, Retinex Algorithm, Comparison metrics.

ABSTRACT

In color image applications taken under insufficient or uneven light, undesirable situations such as low brightness, poor contrast and sudden changes in light occur. The Retinex theory, which is widely used to low-light color image enhancement, was generally developed to analyze local image derivatives and decompose them into illumination and reflectance components. This paper presents a comparative analysis of state-of-the-art image enhancement algorithms based on Retinex-based algorithms. For this, ten highly preferred Retinex-based methods, which have been used to low-light color image enhancement, have been taken. In addition, five commonly used benchmark measurement metrics were analyzed and used as performance comparison. Comparison results are given visually and numerically. This comparative analysis study aims to assist researchers to develop new efficient algorithms in the field of Retinex-based image enhancement.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 21 Haziran 2021

Kabul : 14 Ekim 2021

Anahtar Kelimeler:

Düşük Işıklı Renkli Görüntü İyileştirme, Retineks Algoritması, Karşılaştırma metrikleri.

ÖZET

Yetersiz veya düzgün olmayan ışık altında alınan renkli görüntü uygulamalarında, düşük parlaklık, zayıf kontrast ve ışıkta ani değişiklik gibi istenmeyen durumlar meydana gelmektedir. Düşük ışıklı renkli görüntülerini iyileştirilmesi için yaygın kullanılan Retineks teorisi, genel olarak yerel görüntü türevlerini analiz ederek, aydınlatma ve yansıtma bileşenlerine ayırmak için geliştirilmiştir. Bu çalışma, Retineks tabanlı algoritmalara dayanan son teknoloji görüntü geliştirme algoritmalarının karşılaştırmalı bir analizini sunmaktadır. Bunun için günümüze kadar düşük ışıklı renkli görüntülerin iyileştirilmesinde kullanılan ve çok tercih edilen on adet Retineks esaslı yöntem alınmıştır. Ayrıca beş adet yaygın kullanılan karşılaştırma ölçüm metrikleri de incelenmiş ve performans karşılaştırması olarak kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları görsel ve sayısal olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmalı analiz çalışması Retineks esaslı görüntü iyileştirme alanında yeni verimli algoritmalar geliştirmek için araştırmacılara yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Renkli görüntü uygulamalarında sık sık görüntüler arzu edilmeyen hava koşulları ve parlaklık durumlarında elde edilmektedir. Yetersiz veya düzgün olmayan ışık altında alınan görüntülere, düşük parlaklık, zayıf kontrast, bulanıklaşmış yerel detaylar, zayıf renk kalitesi, ışıktaki ani değişiklikler ve hatta çoğu zamanda çok fazla gürültü eşlik etmektedir.

Düşük ışıklı görüntüleri iyileştirmenin sezgisel yollarından biri doğrudan aydınlatmanın yükseltilmesidir. Bu düşünce ile gerçekleştirilmiş çalışmalardan olan Histogram Equalization (HE) kontrast ve parlaklığı ayarlamak için kullanılan en temel yöntemlerdendir (1). HE, giriş görüntüsünün histogramının yoğunluk seviyelerini bütün bir aralık boyunca eşit olarak dağıtma özelliğine sahiptir (2). Ancak nispeten parlak alanlarda aşırı kontrast artışından dolayı doygunluk ve işlem sırasında bazı detay kaybolmaları meydana gelmektedir. Görüntünün ortalama parlaklık değerini koruyarak histogram eşitleme yönteminin uygulanması, HE'den önce ağırlaştırma ve eşikleme işlemi yapılarak farklı görüntüler için kullanışlı ve pürüzsüz görüntüler elde edilmesi amaçlanmıştır (3) (4). HE esaslı bu çalışmaların genelinde görüntünün doğasında yer alan gerçek aydınlatma nedenlerinden yararlanmak yerine, aşırı ve yetersiz geliştirme riskine sahip olarak kontrast artırmaya odaklanılması en büyük eleştirisi nedenleridir.

Bazı araştırmacılar düşük ışıklı görüntülerin tersini aldıklarında puslu görüntülere benzediklerini fark ettiler. Buğulanmayı önleyici yöntemler (dehazing methods) uygulamaya sokularak başlanır ve iyileştirme sonucu olarak ise buğu önleme sonuçları tekrar tersine çevrilmiştir (5) (6). Zhang ve arkadaşlarının önerdikleri çalışmada, gürültüleri bastırmak için ortak iki taraflı (joint-bilateral) filtre iyileştirme işleminden sonra uygulanmıştır (6). Li ve arkadaşları ise farklı bölgeler için uyarlamalı gürültü giderici süper piksel uygulamasını kullanmışlardır (5). İyileştirme ve gürültü giderme işleminin sıralı yapılması gürültünün iyileştirme aşamasında büyüme ihtimalinden dolayı gürültü giderme işlemini zorlaştırmıştır. Ayrıca, dayandıkları temel model fiziksel açıklamadan yoksundur.

Birçok araştırmacı da bir görüntünün kontrast ve parlaklık iyileştirmesi için gamma düzeltme metodunu tercih etmişlerdir. Ancak gamma parametresinin seçimi manuel ve zaman alıcıdır. An adaptive gamma correction (AGC) metodunda görüntüden alınan istatistiksel veriler ile uygun gamma değeri bulunmakta ve bu sayede kontrast iyileştirilmesi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir (7). Bir diğer çalışmada, düşük ışıklı görüntüleri iyileştirmek için aydınlık piksellerin olasılık dağılımını ve gamma düzeltme metodunu birlikte kullanan bir yöntem önerilmiştir. Adaptive gamma correction with weighting distribution (AGCWD) adını verdikleri yöntem, hesaplama karmaşıklığını azaltmak için her bir yapı arasındaki farkları geçici bilgi olarak kullanmaktadır (8). Gölge ve yüksek ışık alanlarında düşük kontrast problemlerine çözüm aramak için gamma düzeltme algoritmasının genelleştirilmesi önerilmiştir. Generalized linear system (GLS)'nin çarpımı ile yapılan genelleme işlemi, Symmetric Logarithmic Image Processing (SLIP) modeli adında kullanılmıştır (9). Global ve yerel kontrast iyileşmesinde istenilen başarı sağlanmış, fakat ortalama parlaklık parametresi üzerinde durulmadığından görüntünün doğallığından uzaklaşmıştır. Gama düzeltme algoritmalarının ana dezavantajı her bir pikseli komşuları ile olan bağlantısını düşünmeksizin bağımsız tek bir pikselmiş gibi işlem yapılmasıdır. Bunun sonucu olarak da, görüntü içerisindeki sahnelerde görsel tutarsızlık kendini göstermiştir.

Uzamsal bölge esaslı görüntü iyileştirme teknikleri arasında yerini almış olan retineks teorisinde görüntü, aydınlatma ve yansıtmanın bir ürünü gibi sunulmuştur. Genel olarak retineks esaslı algoritmalarda iyileştirilmiş görüntü, giriş görüntüsünden aydınlatma bileşeninin tahmini ve sonra yansıtma bileşeninin alınması ile elde edilmektedir. The single-scale retinex (SSR) ve multi-scale retinex (MSR) algoritmaları yerel Gaussian filtrelerini kullanarak aydınlatma ve yansıtma bileşenlerinin ayrılması sağlanmıştır (10) (11). Ancak bu algoritmalarda yapay hale etkisi (görüntü içerisinde oluşan yapay ışık halkaları veya ışık çemberleri) ve renk bozulma problemleri ile karşı karşıya kalınmıştır. Aynı yıllarda gerçekleştirilen in multi-scale retinex with colour restoration (MSRCR) de görüntülerde iyi bir renk sunumu gerçekleştirebilmek için MSR tekniğine renk restorasyon fonksiyonu eklenmiştir (12). Michael ve arkadaşlarının 2011 de ki çalışmalarında Bregman döngüsü benimsenerek yansıtma bileşeninin ayrışmasını sağlayan toplam varyasyon modeli önermişlerdir. Yansıtma bileşeninin restore edilme işlemi logaritmik fonksiyonun yan etkisi nedeni ile aşırı yumuşatma ve ince detay kaybolmaları gerçekleşmiştir (13). Wang ve arkadaşlarının 2013 de yaptıkları çalışmada, görüntünün yerel varyasyonunu geliştiren ve yoğunluğun global eğilimini koruyan iyileştirme algoritması önerilmiştir. İlk önce orijinal görüntü bright-pass filtre kullanılarak aydınlatma ve yansıtma olacak şekilde ayrıştırılmıştır. Aydınlatma bileşeni bi-log transfer işlemi ile güncellenerek yansıtma ile tekrar sentezlenmiştir (14). Takip eden yıllar içerisinde 2015 de, doğrusal düzlem içerisinde eşzamanlı yansıtma ve aydınlatma tahmini yapabilen, logaritmik düzleme göre detayları daha iyi koruyan olasılık temelli bir yöntem önerilmiştir. Simultaneous reflectance and illumination estimation (SRIE) olarak adlandırılan bu yöntemde, basitleştirilmiş bir varsayıma dayanmasından dolayı aydınlatma değişim eğilimindedir. Farklı yönlerdeki farklı yüzeyler farklı aydınlatma ile karşı karşıya kalır ve bu da kenarlara yakın bölgelerin aydınlatmasının yanlış tahmin edilmesine neden olmaktadır (15).

Fu ve arkadaşlarının 2016 yılında önerdikleri Multi-scale Fusion Enhancing Method (MF) adındaki çalışmada, üç renk kanalından maksimum değeri alınarak füzyon işlemi için üç farklı giriş elde edilmiştir. Bulunan aydınlatma ilk giriş olarak, morfolojik kapama işlemi ile aydınlatmanın yeniden tasarımı gerçekleştirilmektedir. İkinci giriş, görüntünün karanlık bölgelerinin netleştirmek için arc tanjant dönüşümü global aydınlatma amaçlı olarak kullanılmıştır. Üçüncü ve son giriş olarak ise yerel kontrast ayarı yapmak için Contrast Local Adaptive

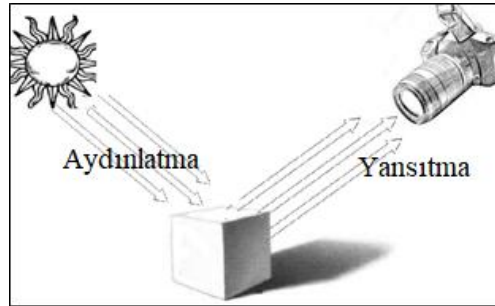
Histogram Equalization (CLAHE) kullanılmıştır. Bu üç girişin hangi oranda kullanılacağını belirlemek için kromatik kontrast ağırlıkları kullanılmıştır. Son işlem olarak, elde edilen aydınlatma çıktısı yansıtma bileşeni ile tekrar birleştirilerek iyileştirilmiş görüntü elde edilmektedir (16). Guo ve arkadaşları 2017 yılında basit ama etkili düşük ışık iyileştirme algoritması önermişlerdir. Yansıtma ve aydınlatma bileşenlerini içeren bir görüntüyü ayrıştırmayı hedefleyen geleneksel Retinex metotlarından en belirgin farkı çözüm uzayını daraltmak ve hesaplama karmaşıklığını azaltmak için sadece aydınlatmayı tahmin etmeye çalışmasıdır (17). Ortak içsel dışsal öncelikli model (Joint Intrinsic-Extrinsic Prior Model, JieP) olarak adlandırılan ve 2017 de sunulan Retinex modelinde, doğrusal alan içinde aydınlatma ve yansıtma aynı anda ayrışabilen özelliğindedir. Çalışmanın ilk bölümünde yerel varyasyon sapması adı verilen özellik ile içsel özellikler içinde yer alan yapının korunması amaçlanmıştır (18). Li ve arkadaşlarının 2018 de önerdikleri çalışmanın en önemli özelliği, eş zamanlı olarak yapıyı ortaya çıkartan yansıtma ve alternatif optimizasyon fonksiyonu kullanılarak gürültülerden arındırılmış aydınlatma tahminlerini yapmasıdır. Alternatif ayrıştırma adı verilen bu yöntemde gürültünün dağılımını tahmin etmek yerine giriş görüntüsünde gürültü haritası tahmini gerçekleştirilmiştir (19). Yöntem içerisinde aydınlatma bileşeninin pürüzsüz varsayılması, yansıtma haritasında gözlenebilir gürültülere yol açmıştır.

Ren ve arkadaşlarının sundukları çalışma son yıllarda yapılmış çalışma olup, düşük sıralı düzenlenmiş retineks modeli (Low-Rank Regularized Retinex Model, LR3M) adını almıştır. LR3M retineks modelinin en temel özelliği yansıtma haritasındaki gürültüyü bastırmak için retineks ayrıştırma işlemi içerisine öncelikli düşük sıralı mantığının yerleştirilmesidir. Önerilen metot parça bazlı düzeltilmiş aydınlatma ve bastırılmış gürültülü yansıtma bileşenlerini sunmaktadır (20). Son olarak Xu ve arkadaşları üstel yerel türevler kullanılarak yapı ve doku haritalamaları üretilerek iyileştirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bunun için ilk olarak esnek yapı ve doku tahmini için yerel türevlerin üstel versiyonu (Exponentiated Mean Local Variance EMLV) önerilmiştir (21). Yapı ve dokuya duyarlı Retineks (Structure and Texture Aware Retinex, STAR) adını verdikleri bu modelin çözümü, vektörize edilmiş en küçük kareler regresyona dönüştürülen alternatif optimizasyon algoritması ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada doksanlı yıllardan günümüze kadar gelen düşük ışıklı renkli görüntülerin iyileştirilmesinde kullanılan Retineks esaslı yöntemler incelenmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin performans değerlendirilmesinde en çok tercih edilen karşılaştırma metrikleri de çalışmamızın kapsamı içerisinde yer almıştır. Retineks esaslı iyileştirme yöntemleri karşılaştırmalı olarak analizleri yapılmış, bu algoritmaların literatüre kazandırdıkları ve birbirlerini tamamlayan veya birbirleri ile çelişen argümanları ortaya konulmuştur. Bu konuda bilgi üretme amacının güden lisans ve yüksek lisans düzeyindeki öğrenciler için genel ve açıklayıcı makale formatı tercih edilmiştir. Bundan dolayı çalışmamızın ikinci bölümde, Retineks esaslı iyileştirme yöntemlerine yer verilirken 3. Bölümünde performans karşılaştırma metrikleri sunulmuştur. Dördüncü bölümde “DeneySEL sonuçlar ve performans analizleri” başlığı altında görsel ve sayısal sonuçlara yer verilmiştir. Son bölümde ise kullanılan yöntemlerin önemleri vurgulanarak, ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. RETİNEKS ESASLI GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Retineks, bilimsel deneylere ve bilimsel analize dayalı, yaygın olarak kullanılan bir görüntü geliştirme yöntemidir. Edwin.H.Land tarafından 1971 de önerilmiştir. Retineks kelimesi retina ve korteks olan iki kelimenin sentezlenmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 1. de bir görüntünün iki ayrı bileşenden oluşan aydınlatma ve yansıtma bileşenlerinin sembolik sunumu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Retineks yönteminin bileşenleri

Retineks teorisine göre, $I(x,y)$ görüntüsü aydınlatma görüntüsü $L(x,y)$ ve yansıyan görüntü $R(x,y)$ olmak üzere iki farklı görüntüye ayrıştırılabilir (22) (23).

$$I(x, y) = L(x, y)R(x, y) \quad (1)$$

Eşitlik (1) de ki $L(x,y)$ aydınlatmayı temsil ederken, $R(x,y)$ ise nesnenin karakteristik özelliğine göre yansıtma görüntüsüdür.

2.1. Tek Ölçekli Retineks (Single Scale Retinex SSR)

İnsan gözünde görüntüyü oluşturmak için gelen ışık yansıtıcı nesneye ışınlanır ve daha sonra bu nesneden yansımaktadır. Elde edilen görüntü aşağıdaki formül ile temsil edilmektedir (10).

$$R_i(x, y) = \log I_i(x, y) - \log[F(x, y) * I_i(x, y)] \quad (2)$$

Eşitlik (2) deki $R_i(x, y)$ retineks çıkışı, $I_i(x, y)$ i . spektral bant içindeki görüntü dağılımını, $*$ evrişim işlemi ve $F(x, y)$ ise çevirme fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Çevirme fonksiyonu aşağıda Eşitlik (3) de sunulmuştur.

$$F(x, y) = Ke^{-r^2/c^2} \quad (3)$$

Eşitlik (3) deki çevirme fonksiyonu olarak Gaussian fonksiyonu tercih edilmiş olup, c çevirme uzay sabiti ve K ise Eşitlik (4) de verildiği gibi seçilmektedir (10).

$$\iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (4)$$

2.2. Çok Ölçekli Retineks (Multi Scale Retinex MSR)

MSR çıkışı çeşitli farklı SSR çıkışlarının ağırlaştırılmış toplamı olarak tanımlanmaktadır.

$$R_{MSR_i}(x, y) = \sum_{n=1}^N w_n \{\log I_i(x, y) - \log[F(x, y) * I_i(x, y)]\} \quad (5)$$

Eşitlik (5) de verilen MSR tekniğini SSR'den ayıran en önemli yanı Eşitlik (6) da daha basit formda sunulmuştur.

$$R_{MSR_i} = \sum_{n=1}^N w_n R_{n_i} \quad (6)$$

Eşitlik (5) ve (6)'da ki N ölçek sayısını, R_{n_i} n . ölçeğin i . komponentinin yansıtma değeri ve w_n ise n . ölçeğin ağırlık değerini temsil etmektedir.

SSR tekniğinin renk/açıklık yorumlanmasını veya dinamik aralık sıkıştırmasını yapabildiğini ancak her iki işlemi aynı anda yapamadığı görülmüştür. Bu problemi ortadan kaldıran çok ölçekli versiyonu kullanılmıştır (11).

2.3. Renk Restorasyonu Çok Ölçekli Retineks (Multi Scale Retinex with Color Restoration MSRCCR)

Bölgesel veya küresel gri tonlar içeren görüntüler üzerinde retineks işlemi görüntünün genelini grileşme meydana getirmektedir. Bu durum bazı durumlarda rengin hafiflemesi (desaturation) olacak şekilde, daha ciddi bir hal almaktadır. Görüntülerde iyi bir renk sunumu gerçekleştirebilmek için MSR tekniğine renk restorasyon fonksiyonu (color restoration function CRF) eklenmiştir (12).

$$R_{MSRCCR_i}(x, y) = C_i(x, y) R_{MSR_i}(x, y) \quad (7)$$

Eşit (7) de ki $C_i(x, y)$ i . banttaki renk restorasyon fonksiyonunu temsil etmekte olup, açılımı Eşitlik (8) de yer verilmiştir.

$$C_i(x, y) = f[I'_i(x, y)] \quad (8)$$

Eşitlik (8) içerisinde yer alan $I'_i(x, y)$ görüntünün renklilik özelliğidir ve Eşitlik (9) da yer aldığı şekilde elde edilmektedir.

$$I'_i(x, y) = I_i(x, y) / \sum_{i=1}^S I_i(x, y) \quad (9)$$

Eşitlik (9) da S , i . renk kanalının spektral kanal sayısı olup, renk uzayı RGB kullanıldığı için 3 alınmaktadır (12).

2.4. Doğallık Korunmuş İyileştirme Algoritması (Naturalness Preserved Enhancement Algorithm NPE)

Bu çalışma içerisinde görüntüyü yerel varyasyonu geliştiren ve aynı zamanda yoğunluğun global eğilimini koruyan doğallık koruma ile birlikte detayları iyileştiren bir çalışma önerilmiştir. Bundan dolayı, detay kısıtlaması olarak yansıtma [0], [1] aralığında sınırlandırılması, ikinci olarak ise doğallık kısıtlaması olarak farklı yerel alanlar içinde bağlı aydınlatma düzeni büyük ölçüde değiştirilmemesi sağlanması amaçlanmıştır (14).

İlk önce orijinal görüntü bright-pass filtre kullanılarak aydınlatma ve yansıtma olacak şekilde ayrıştırılmıştır. Eşitlik (10) da yer alan bright-pass filtresi kullanılarak aydınlatmanın tahmini gerçekleştirilmiştir.

$$L_r(x, y) = \frac{1}{W(x, y)} \sum_{(i,j) \in \Omega} (Q(L(x, y), L(i, j)) \cdot U(L(i, j), L(x, y)) \cdot L(i, j)) \quad (10)$$

Eşitlik (10) da ki $L(x, y)$ değerleri için Eşitlik (11) de yer alan maksimum kanal yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca, Ω 15x15 büyüklüğünde bir yerel alanı, U ise karşılaştırma yapan birim basamak fonksiyonudur, Eşitlik (12) de yer verilmiştir.

$$L(x, y) = \max_{c \in [r, g, b]} I^c(x, y) \quad (11)$$

$$U(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{if } a \geq b \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (12)$$

Eşitlik (10) daki Q işlemi parlak geçiren filtre özelliğine konu olan dörtlü komşuluk ilişkisini bulunduran frekans belirleyicidir. $W(x, y)$ ise normalleştirme faktörü olup piksel ağırlıklarının toplamının 1 olmasını sağlamaktadır. Eşitlik (13) de yer verilmiştir.

$$W(x, y) = \sum_{(i,j) \in \Omega} (Q(L(x, y), L(i, j)) \cdot U(L(i, j), L(x, y))) \quad (13)$$

Aydınlatmanın tahmini yapıldıktan sonra Eşitlik (14) de her bir renk kanalı için yansıtma görüntüsü elde edilmektedir.

$$R^c(x, y) = I^c(x, y) / L_r(x, y) \quad (14)$$

İkinci aşama olarak aydınlatma bi-log transfer kullanılarak işlenmiştir.

$$L_m(x, y) = cf^{-1}[cL(L_r(x, y))] \quad (15)$$

Son işlem olarak, yansıtma ve tasarlanmış aydınlatma sentezlenerek iyileştirilmiş görüntü elde edilmektedir (14).

2.5. Füzyon Tabanlı İyileştirme Metodu (Multi-scale Fusion Enhancing Method MF)

Fu ve arkadaşlarının 2016 yılında önerdikleri füzyon esaslı çalışmada üç renk kanalından maksimum değeri alınarak bulunan aydınlatma ilk olarak, morfolojik kapama işlemi ile aydınlatmanın yeniden tasarımı gerçekleştirilmektedir.

$$I = \frac{L \circ P}{255} \quad (16)$$

Eşitlik (16) da ki P yapı elemanı ve \circ sembolü ise morfolojik kapama işlemi temsil etmektedir. Eşitlik (16) ya göre aydınlatma etkili bir şekilde tahmin edildikten sonra görüntü içerisindeki dış hatların şekillerini korumak için guided filtresine sokulmaktadır.

$$I_i \leftarrow \sum_j W_{ij}(g) I_j \quad (17)$$

Eşitlik de ki W_{ij} guided filtresinin çekirdek değerleri, j ise pencere içerisindeki pikselleri temsil etmektedir. Yukarıda elde edilen aydınlatma kullanılarak füzyon işlemi için üç farklı giriş elde edilmiştir. İlk giriş bozulmalardan kaçınmak ve görüntünün orijinal yapısını korumak için orijinal tahmin edilen aydınlatmadır. İkinci giriş, görüntünün karanlık bölgelerinin netleştirmek için arc tanjant dönüşümü global aydınlatma amaçlı olarak kullanılmıştır. Eşitlik (18) de dönüşümün matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$I_2(x, y) = \frac{2}{\pi} \arctan(\lambda I(x, y)) \quad (18)$$

Eşitlik de ki λ aydınlatmanın derecesini kontrol eden parametredir.

Üçüncü ve son giriş olarak ise yerel kontrast ayarı yapmak için Contrast Local Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) kullanılmıştır.

Bu üç girişin hangi oranda kullanılacağını belirlemek için parlaklık ağırlığı W_B ve W_C kromatik kontrast ağırlığı kullanılmıştır.

$$W_{B,k}(x, y) = \exp\left\{-\frac{(I_k(x, y) - 0.5)^2}{2(0.25)^2}\right\} \quad (19)$$

$$W_{C,k}(x, y) = I_k(x, y)(1 + \cos(\alpha H(x, y) + \phi))S(x, y) \quad (20)$$

Eşitlik (19) ve (20) de ki k kullanılan üç girişi, Eşitlik (20) deki H ve S HSC renk uzayındaki ton ve doygunluk kanallarıdır. Ayrıca α renk karışıklığını korumak için, θ ise renk çarkının ofset açısını temsil etmektedir. Bu iki ağırlık $W_k(x, y)$ çatısında birleştirildikten ve normalize edildiikten sonra çok ölçekli füzyon işlemi Eşitlik (21) de ki gibi gerçekleştirilmektedir.

$$I_{fusion}(x, y) = \sum_k W_k(x, y) I_k(x, y) \quad (21)$$

Eşitlik (21) W_k ağırlık değeri için Gaussian piramidi, I_k için ise Laplas piramidi kullanıldıktan sonra yukarı yönde örnekleme operatörü kullanılarak füzyon işlemi geliştirilmiş ve güçlendirilmiştir. Son işlem olarak, elde edilen I_{final} aydınlatma çıktısı ile üç kanalın yansıtma görüntüleri dengelenerek iyileştirilmiş görüntü elde edilmektedir (16).

2.6. Basit ve Etkili Düşük Işık İyileştirme Algoritması (Low-light Image Enhancement LIME)

Guo ve arkadaşları 2017 yılında basit ama etkili düşük ışık iyileştirme algoritması önermişlerdir. Yansıtma ve aydınlatma bileşenlerini içeren bir görüntüyü ayrıştırmayı hedefleyen geleneksel Retinex metodlarından en belirgin farkı çözüm uzayını daraltmak ve hesaplama karmaşıklığını azaltmak için sadece aydınlatmayı tahmin etmeye çalışmasıdır (17). Bunun için Eşitlik (22) de yer alan başlangıç aydınlatmasını esas alan optimizasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

$$\min_I \|\hat{T} - T\|_F^2 + \alpha \|W \circ \nabla T\|_1 \quad (22)$$

İlk olarak her bir piksel için R, G ve B kanalları içindeki maksimum değer bulunarak aydınlatma tasarımı gerçekleştirilir. Bu işlem Eşitlik (22) de, \hat{T} görüntünün ilk yapılan aydınlatma tasarımı olarak geçmektedir. Aynı şekilde, α iki terim arasında denge sağlama katsayısı, W ağırlık matrisi, ∇T birinci dereceden türev filtresini temsil etmektedir.

Yukarıda verilen optimizasyon problemi iki farklı şekilde çözülmüştür. Exaxt-Solver adını verdikleri ilk çözümde, aydınlatma tasarımı yeniden düzenlemek için Augmented Lagrangian Multiplier (ALP) kullanılmıştır.

Sped-Up-Solver adı verilen ikinci çözümde direk olarak aydınlatmanın yeniden düzenlenmesi için Eşitlik (23) kullanılmıştır.

$$(I + \sum_{d \in \{u,v\}} D_d^T \text{Diag}(\tilde{w}_d) D_d) t = \hat{t} \quad (23)$$

Eşitlik (23) de ki \tilde{w}_d ağırlığın vektörize edilmiş durumunu, $\text{Diag}(x)$ operatörü ise x vektörünü kullanarak köşegen bir matris oluşturmak için kullanılmıştır. Eşitlik (23) de ki bütün yaklaşım Laplacian matris olarak tanımlanmış olup, simetrik pozitif özelliğe sahiptir.

Algoritma 1. LIME'nin çalışma algoritması

Giriş: Giriş görüntüsü L , α positif denge katsayısı ve γ gama transfer parametresi
Başlangıç: Ağırlık matrisinin yapılandırmasını gerçekleştir.
İşlemler:

1. Maksimum değer yaklaşımı ile başlangıç ışıklandırma tasarımı yap.
2. Exaxt-Solver (Eşitlik (16)) veya Sped-Up-Solver (Eşitlik (17)) yöntemlerinden birini kullanarak \hat{T} düzenlenmiş ışıklandırma tasarımı yap
3. Gama düzeltmesini kullanarak T yi bul
4. $L=R \circ T$ eşitliğine göre iyileştirilmiş görüntüyü elde et
5. BM3D kullanarak R 'yi gürültüden arındır ve tekrar iyileştirilmiş görüntüyü elde et.

Çıktı: Son iyileştirilmiş görüntü

Aydınlatmanın tahmininden sonra, aydınlatmanın görselliğinin geliştirmek için gama düzeltmesi kullanılmıştır. Algoritma 1 de verildiği gibi gama düzeltmesinden sonra, BM3D gürültü giderme filtresine sokularak gürültüden arındırılmış yansıtma bileşeni elde edilmiştir (17).

2.7. Ortak İçsel-Dışsal Öncelikli Model (Joint Intrinsic-Extrinsic Prior Model, JieP)

Xu ve arkadaşlarının 2017 de sundukları içsel ve dışsal öncelikli Retinex modelinde, doğrusal alan içinde aydınlatma ve yansıtma aynı anda ayrışabilen özelliktedir. Çalışmanın ilk bölümünde yerel varyasyon sapması adı verilen özellik ile içsel özellikler içinde yer alan yapının korunması amaçlanmıştır.

$$R_{x/y} = \left| \frac{\nabla_{x/y} I}{\frac{1}{|\Omega|} \sum_{\Omega} \nabla_{x/y} I + \varepsilon} \right| \quad (24)$$

Eşitlik (24) de verilen yerel varyasyon sapmasında, $\nabla_{x/y}$ eğim operatörünü, Ω görüntüden alınan yerel parçayı temsil etmekte olup, çalışma içerisinde 3x3 büyüklüğündedir. Ayrıca ε sifira bölümden kaçınmak için kullanılan küçük bir sayıdır (18).

Algoritma 2 de verildiği gibi Eşitlik (25) göre aydınlatma için $u_{x/y}$, yansıtma için $v_{x/y}$ ağırlık değerleri ve ilk döngü de ki yansıtma I_1 ise Eşitlik (26) ya göre hesaplanır.

$$\begin{cases} u_{x/y} = \left(\left| \frac{1}{|\Omega|} \sum_{\Omega} \nabla_{x/y} I \right| |\nabla_{x/y} I| + \varepsilon \right)^{-1} \\ v_{x/y} = \left(|\nabla_{x/y} R| + \varepsilon \right)^{-1} \end{cases} \quad (25)$$

$$(P1) I_k = \operatorname{argmin} \|I_k - S\|_2^2 + \alpha \left(u_x \|\nabla_x I\|_2^2 + u_y \|\nabla_y I\|_2^2 \right) + \lambda \|I - B\|_2^2 \quad (26)$$

Eşitlik (26) da ki S orijinal giriş görüntüsünü, B parlak kanal olup, $\max_{\Omega} \left(\max_{c \in \{r,g,b\}} S^c \right)$ alınan görüntü parçacığının maksimum renk değeri olarak elde edilmiştir. İlk döngüde yansıtmanın başlangıç değeri olan R_0 da bulunduktan sonra Eşitlik (27) kullanılarak R_k güncellenmektedir.

$$(P2) R_k = \operatorname{argmin} \|I_k \cdot R - S\|_2^2 + \beta \left(v_x \|\nabla_x R\|_2^2 + v_y \|\nabla_y R\|_2^2 \right) \quad (27)$$

Algoritma 2. JieP'in çalışma algoritması

Giriş: Giriş görüntüsü S , α , β , ve λ parametreler, maksimum iterasyon ve durma \square parametresi.

İşlemler:

1. Başlangıç için $I_0 \leftarrow S$.
2. for k=1 den K
3. Eşitlik (25)'i kullanarak $u_{x/y}$ ağırlıkları hesapla, Eşitlik (26) ile I_k güncelle
4. if k=1 ise
5. $R_0 = S/I_1$
6. end if
7. Eşitlik (25)'i kullanarak $u_{x/y}$ ağırlıkları hesapla, Eşitlik (27) ile R_k güncelle
8. if $\frac{\|I_k - I_{k-1}\|}{\|I_{k-1}\|} \leq \varepsilon$ or $\frac{\|R_k - R_{k-1}\|}{\|R_{k-1}\|} \leq \varepsilon$ ise
9. break
10. end if
11. end for.

Görüntü iyileştirme için gerçekleştirilen optimizasyon işlemi Algoritma 2 de ki 8. Satırda ki şart gerçekleşme durumunda sonlanmaktadır. Son döngü de elde edilen I_k ve R_k görüntüleri kullanılarak iyileştirilmiş görüntü elde edilmektedir.

2.8. Yapı Ortaya Çıkaran Düşük Işıklı İyileştirme Metodu (Structure-Revealing Low-Light Image Enhancement Via Robust Retinex Model, RRM)

Bu metodun en önemli özelliği, eş zamanlı olarak yapıyı ortaya çıkartan yansıtma ve alternatif optimizasyon fonksiyonu kullanılarak görüntülerden arındırılmış aydınlatma tahminlerini yapmasıdır. Giriş olarak verilen görüntü ilk olarak HSV uzayına dönüştürülerek başlanır. V kanala önerilen ayrıştırma algoritması uygulanarak, aydınlatma bileşeni L ve yansıtma bileşeni R elde edilmektedir (19). Alternatif ayrıştırma adı verilen bu

yöntemde gürültünün dağılımını tahmin etmek yerine giriş görüntüsünde gürültü haritası tahmini gerçekleştirilmiştir. Yöntemin optimizasyon problemi Eşitlik (28) de verilmiştir.

$$\operatorname{argmin}_{R,L,N} \|RoL + N - I\|_F^2 + \beta \|\nabla L\|_1 + \omega \|\nabla R - G\|_F^2 + \delta \|N\|_F^2 \quad (28)$$

Eşitlikteki N gürültü haritasıdır ve $\|N\|_F^2$ gürültünün genel yoğunluğunu sınırlamaktadır. β , ω ve δ farklı terimlerin önem derecesini kontrol eden katsayılardır. $\| \cdot \|_F^2$ ve $\| \cdot \|_1$ Frobenis ve l_1 matris normlarını temsil etmektedir. Ayrıca ∇ birinci dereceden diferansiyel operatörü, G ise I görüntüsünün gradyanı temsil etmektedir.

Algoritma 3. RRM'in çalışma algoritması

Giriş: Giriş görüntüsü I ve G ayarlanmış gradyan

Başlangıç: $L^{(0)}=I$, $N^{(0)}=Z^{(0)}=T^{(0)}=0$, $k=0$, $\mu^{(0)}=1$ ve $\rho=1.5$.

İşlemler:

while yakınsama yoksa **do** .

Eşitlik (29) kullanarak $R^{(k+1)}$ güncelle

Eşitlik (30) kullanarak $L^{(k+1)}$ güncelle

Eşitlik (31) kullanarak $N^{(k+1)}$ güncelle

Eşitlik (32) kullanarak $T^{(k+1)}$ güncelle

Eşitlik (33) kullanarak $Z^{(k+1)}$ güncelle

$k=k+1$;

end

Çıkış: $IR^{(k)}$, $L^{(k)}$, $N^{(k)}$

$$r^{(k+1)} = (f(\tilde{r}^{(k)}) + \omega f(D))^{-1} (\tilde{r}^{(k)}(i - n^{(k)} + \omega D^T g)) \quad (29)$$

Eşitlik (29) da ki D ayrıık gradyan operatörünü temsil etmektedir. Aydınlatmanın güncellemesi ise Eşitlik (30) a göre yapılmaktadır.

$$l^{(k+1)} = (2f(\tilde{r}^{(k+1)}) + \mu f(D))^{-1} x \left(2\tilde{r}^{(k+1)}(i - n^{(k+1)} + \mu D^T (t^{(k)} - \frac{z^k}{\mu})) \right) \quad (30)$$

$$N^{(k+1)} = (I - R^{(k+1)} \circ L^{(k+1)}) / (1 + \delta) \quad (31)$$

$$T^{(k+1)} = S_{\frac{\beta}{\mu^{(k)}}} \left(\nabla L^{(k+1)} + \frac{Z^{(k)}}{\mu^{(k)}} \right) \quad (32)$$

$$Z^{(k+1)} = Z^{(k)} + \mu^{(k)} (\nabla L^{(k+1)} - T^{(k+1)}) \quad (33)$$

$$\mu^{(k+1)} = \mu^{(k)} \rho, \rho > 1$$

Algoritma 3. incelendiğinde, her döngüde sırasıyla R , L , N , T ve Z değerleri güncellenmektedir. L çıkışı gama düzeltmesi ile yeniden ayarlanır ve $\tilde{I} = Ro\tilde{L}$ eşitliği kullanılarak iyileştirilmiş V kanal görüntüsü elde edilmiştir. Son olarak HSV renk uzayından RGB ye geçilerek iyileştirilmiş çıkış görüntüsü sunulmaktadır (19).

2.9. Düşük Sıralı Düzenlenmiş Retineks Modeli (Low-Rank Regularized Retinex Model, LR3M)

LR3M retineks modelinin en temel özelliği yansıtma haritasındaki gürültüyü bastırmak için retineks ayrıştırma işlemi içerisine öncelikli düşük sıralı mantığının yerleştirilmesidir. Önerilen metot parça bazlı düzleştirilmiş aydınlatma ve bastırılmış gürültülü yansıtma bileşenlerini sunmaktadır (20). Önerilen çalışma da ilk olarak, başlangıç aydınlatma bileşeninin tahmini için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\hat{L}(x) = \frac{1}{3} \sum_{c \in \{R,G,B\}} S^c(x) \quad (34)$$

Başlangıç aydınlatma kullanılarak görüntünün aydınlatma bileşeninin tahmini Eşitlik (35) de verilmiştir.

$$\operatorname{argmin}_L \|L - \hat{L}\|_F^2 + \alpha \sum_x \sum_{d \in \{h,v\}} \frac{(\nabla_d L(x))^2}{|\nabla_d \hat{L}(x)| + \varepsilon} \quad (35)$$

Eşitlik (35) deki $\frac{\alpha}{|\nabla_d \hat{L}(x)| + \varepsilon}$ ifadesine kısaca $A_d(x)$ denildikten sonra, bu ikinci dereceden terimler içeren ifadenin diferansiyel işlemleri yapılması ile birlikte Eşitlik (36) ile L aydınlatma tahmini kolay bir şekilde elde edilmektedir.

$$I = \left(I + \sum_{d \in \{h,v\}} D_d^T \text{Diag}(a_d) D_d \right)^{-1} \hat{I} \quad (36)$$

Yansımanın tahmini için Rahman ve arkadaşlarının sundukları orijinal minimizasyon problemi (10) standart alternatif yön minimizasyon çözüm tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$\hat{r}^{(k+1)} = \left(2\beta \sum_{d \in \{h,v\}} D_d^T D_d + \mu I \right)^{-1} x \left(2\beta \sum_{d \in \{h,v\}} D_d^T g_d + \mu^{(k)} r^{(k)} - z^{(k)} \right) \quad (37)$$

Eşitlik (37) de ki D ayrık gradyan operatörünü, x ise matris çarpımının gerçekleştirildiğini temsil etmektedir. Gürültü bastırma işlemi için standart düşük sıralı minimizasyon problemi eklenerek yansıma tahmini Eşitlik (38) de tekrar güncellenmiştir.

$$\bar{R}^{(k)} = \frac{2SoL + \mu(k)\hat{R}^{(k+1)} + Z^{(k)}}{2L^2 + \mu(k)} \quad (38)$$

$$NN_i(R^{(k+1)}) = (S_T(\bar{R}^{(k)}))$$

Eşitlik (38) deki S_T ifadesi yumuşak çekme işlemi yaparak gürültü bastırmayı gerçekleştirmektedir. Eşitlik teki diğer $Z^{(k+1)}$ yardımcı matris ve $\mu^{(k+1)}$ ceza skalerinin güncellemeleri Eşitlik (39) içerisinde sunulmuştur.

$$Z^{(k+1)} = Z^{(k)} + \mu(k)(\hat{R}^{(k+1)} - R^{(k+1)})$$

$$\mu^{(k+1)} = \mu^{(k)} \rho, \rho > 1 \quad (39)$$

Algoritma 4. LR3M'in çalışma algoritması

Giriş: Giriş görüntüsü S
 Eşitlik (34) kullanılarak \hat{L} başlangıç ışıklandırma bileşenini elde et
 Eşitlik (35) kullanılarak L başlangıç ışıklandırma tahminini elde et
 $R^{(0)}=S/LI, Z^{(0)}=0, \mu^{(0)}=1, \rho=1.5$ ve $k=0$.
İşlemler:
while yakınsama yoksa **do** .
 Eşitlik (37) kullanarak $\hat{R}^{(k+1)}$ güncelle
 Eşitlik (38) kullanarak $R^{(k+1)}$ güncelle
 Gürültü bastırma için
 Eşitlik (39) kullanarak $Z^{(k+1)}$ ve $\mu^{(k+1)}$ güncelle
end
Çıkış: Eşitlik (0) kullanılarak çıkış görüntüsünü elde et

$$S' = RoL^{\frac{1}{\gamma}} \quad (40)$$

Algoritma 4. incelendiğinde, her döngüde sırasıyla R, Z ve μ değerlerini güncellenmektedir. Diğer algoritmalarından farklarından biri de L döngüye girmeden tahmin edilmiştir. L çıkışı gama düzeltmesi ile yeniden ayarlanmakta Eşitlik (40) kullanılarak iyileştirilmiş görüntü elde edilmiştir (20).

2.10. Yapı ve Dokuya Duyarlı Retineks Model (A Structure and Texture Aware Retinex Model, STAR)

Bu çalışma içerisinde üstel yerel türevler kullanılarak yapı ve doku haritalamaları üretilerek iyileştirme yapılmaya çalışılmıştır. Bunun için ilk olarak esnek yapı ve doku tahmini için yerel türevlerin üstel versiyonu (Exponentiated Mean Local Variance EMLV) önerilmiştir (21).

$$f_{EMLV}(O) = f_{MLV}^y(O) = \left| \frac{1}{|\Omega|} \sum_{\Omega} \nabla O \right|^y \quad (41)$$

Eşitlikte ki Ω görüntü içerisindeki alınan parçayı, $|\Omega|$ parçanın elaman sayısını ve γ giriş görüntüsünün gradyan hassasiyetini belirleyen üstel değerdir. Bu filtre önerisinden sonra başlangıç için yapı ve doku tahmini aşağıda ki eşitliklerde verilmiştir.

$$S_o = 1 \odot \left(\left| \frac{1}{|\Omega|} \sum_{\Omega} \nabla O \right|^{y_s} + \varepsilon \right) \quad (42)$$

$$T_o = 1 \odot \left(\left| \frac{1}{|\Omega|} \sum_{\Omega} \nabla O \right|^{y_t} + \varepsilon \right) \quad (43)$$

Eşitlik (42) de ki $y_s > 1$ ve Eşitlik (43) de ki $y_t < 1$ seçilerek aydınlatma ve yansıtmanın ayrışması için yapı ve doku ayarlanması sağlanmaktadır.

STAR ile aydınlatma ve yansıtma bileşenlerinin yeniden düzenlenmesi için toplam varyasyon modelinin 12 normu benimsenmiştir, aşağıdaki eşitlikte sunulmuştur.

$$\min_{L,R} \|O - L \odot R\|_F^2 + \alpha \|S_o \odot \nabla L\|_F^2 + \beta \|T_o \odot \nabla R\|_F^2 \quad (44)$$

Algoritma 5. STAR'ın çalışma algoritması

Giriş: Giriş görüntüsü O , α , β ve maksimum iterasyon K
Başlangıç: $L_0 = O^{0.5}$, $R_0 = O^{0.5}$ yap ve Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) kullanarak S_o ve T_o bul.
İşlemler:
for ($k=0, \dots, K-1$) **do** .
 Eşitlik (4) kullanarak $L_{(k+1)}$ güncelle
 Eşitlik (5) kullanarak $R_{(k+1)}$ güncelle
 if (Bütünleşik mi)
 Dur;
 end if
end for
Çıkış: $R^{(k)}$ ve $L^{(k)}$ tahmin edilmesi

Algoritma 5. de verildiği gibi başlangıç değerleri kullanılarak Eşitlik (45) de yer alan aydınlatma ve Eşitlik (46) da yer alan yansıtma bileşenleri her döngüde güncellenmektedir.

$$l_{k+1} = (D_{rk}^T D_{rk} + \alpha G^T D_{so}^T D_{so} G)^{-1} D_{rk}^T O \quad (45)$$

$$r_{k+1} = (D_{lk+1}^T D_{lk+1} + \beta G^T D_{to}^T D_{to} G)^{-1} D_{lk}^T O \quad (46)$$

Eşitlik (5) ve Eşitlik (6) da ki $D_{rk} = \text{diag}(r_k)$, $D_{so} = \text{diag}(s_o)$, $G = \text{vec}(\nabla L)$, $D_{lk} = \text{diag}(l_k)$, $D_{to} = \text{diag}(t_o)$, $G = \text{vec}(\nabla R)$ standart en küçük kareler regresyon problemine dönüştürülmesi için kullanılmıştır (21).

3. RETİNEKS ESASLI ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ÖLÇÜM METRİKLERİ

3.1. Aydınlik Değişimi Sıra Hatası (Lightness Order Error, LOE)

Bağıl açıklık düzeni ışık kaynağını ve aydınlık değişimini temsil ettiğinden iyileştirilmiş görüntünün doğallığı farklı lokal alanlar içindeki bağıl açıklık düzenlerine bağlıdır (14).

$$L(x, y) = \max_{c \in [r, g, b]} I^c(x, y) \quad (47)$$

Eşitlik (47) de üç renk kanalının değerinin maksimumu alınarak başlanır. Orijinal görüntü ile iyileştirilmiş görüntü arasındaki açıklık bağıl sıralama farkı Eşitlik (48) de sunulmuştur.

$$RD_{(x,y)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (U(L(x, y), L(i, j)) \oplus U(L_e(x, y), L_e(i, j))) \quad (48)$$

Eşitlik (48) de ki m ve n görüntünün yüksekliği ve genişliğini, $U(x, y)$ birim basamak fonksiyonunu, \oplus işlemi ise özel veya operatörünü temsil etmektedir.

$$U(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \geq y \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (49)$$

Bu durumda LOE Eşitlik (50) de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$LOE = \frac{1}{m * n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n RD(i, j) \quad (50)$$

LOE tanımından da anlaşıldığı gibi, küçük bir LOE değerinin elde edilmesi açıklık düzeni veya doğallığı daha iyi korunduğu anlamına gelmektedir (14).

3.2. Gradyan Büyüklük Benzerlik Sapması (Gradient Magnitude Similarity Deviation, GMSD)

Retinex esaslı görüntü iyileştirme çalışmaları içerisinde GMSD metriği ilk olarak Fu ve arkadaşlarının önerdiği MF metodu içerisinde kullanılmıştır (16). Bozulmuş görüntü içinde farklı yerel yapılar bozulmanın farklı derecelerine maruz kalırken, görüntü gradyanları görüntü bozulmalarına veya görüntü değişimlerine karşı hassastırlar. Bu özellik, genel görüntü kalitesinin tahmini için yerel kalite tasarımı esaslı gradyanın küresel varyasyonunun kullanımını sağlamıştır.

İlk olarak gradyanın büyüklük benzerliği olan Gradient Magnitude Similarity (GMS) değeri her bir piksel için Eşitlik (51) de yer aldığı gibi bulunur (24).

$$GMS(i) = \frac{2m_r(i)m_d(i) + c}{m_r^2(i) + m_d^2(i) + c} \quad (51)$$

Eşitlik (51) de ki m_r ve m_d sırasıyla o pikselin referans ve çıkış görüntülerinin gradyanlarıdır. Aynı şekilde c değeri sayısal olarak istikrarı sağlamak adına pozitif sabit bir sayıdır. GMS değerini bulduktan sonra görüntü karşılaştırma için Gradient Magnitude Similarity Mean (GMSM) değeri Eşitlik (52) kullanılarak elde edilmektedir.

$$GMSM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N GMS(i) \quad (52)$$

Eşitlik (52) de ki N değeri görüntü içerisindeki piksellerin toplam sayısını vermektedir. Açıkça görüldüğü üzere, GMSM'nin yüksek çıkması görüntü kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Orijinal görüntüden fazla uzaklaşmadığı şeklinde yorumlanabilir (24).

$$GMSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (GMS(i) - GMSM)^2} \quad (53)$$

Son olarak gradyan büyüklük benzerlik sapması GMSD değeri Eşitlik (53) kullanılarak bulunmaktadır. Bu değer küçük olması elde edilen çıkış görüntüsünün doğallığını koruduğu ve görüntü kalitesinin iyileştiği anlamına gelmektedir.

3.3. Doğal Görüntü Kalite Değerlendiricisi (Natural Image Quality Evaluator, NIQE)

Doğal görüntü kalite değerlendiricisi olan NIQE, uzaysal domain içinde gerçekleştirilen basit ve başarılı doğal sahne istatistiğine (Natural Scene Statistic (NSS)) dayalı istatistiksel özelliklerin toplanmasıyla oluşturulan bir yapıya sahiptir (25). Doğal görüntülerin düşük sıralı istatistiksel değerleri etkili bir şekilde yakalanmasını sağlayan yerel görüntü parçalarından elde edilmiştir.

$$\hat{I}(i, j) = \frac{I(i, j) - \mu(i, j)}{\sigma(i, j) + 1} \quad (54)$$

Eşitlikteki μ ve σ yerel ortalama ve normalizasyon işlemini için varyasyon alanını temsil etmektedir. Eşitlik (8) de ki katsayılar hesaplandıktan sonra görüntü $P \times P$ yamalara bölünmektedir. $P \times P$ yamalar $b=1, 2, \dots, B$ şeklinde indekslendiğini düşünürsek, her bir parçanın ortalama yerel sapma alanı aşağıda verilen eşitlikte hesaplanmaktadır.

$$\delta(b) = \sum \sum_{(i,j) \in \text{patch } b} \sigma(i, j) \quad (55)$$

Eşitlikte ki δ , yerel keskinlik aktivitesi olarak tanımlanmıştır. Her yamanın keskinliği bulunduğu, eşik üstü keskinliğe sahip olanlar seçilmektedir.

Komşuluk katsayılarının üretimi asimetrik genelleştirilmiş Gaussian dağılımı (Asymmetric Generalized Gaussian Distribution (AGGD)) kullanılarak modellenmiştir.

$$f(x; \gamma, \beta_l, \beta_r) = \begin{cases} \frac{\gamma}{(\beta_l + \beta_r)\Gamma(\frac{1}{\gamma})} \exp\left(-\left(\frac{-x}{\beta_l}\right)^\gamma\right) & \forall x \leq 0 \\ \frac{\gamma}{(\beta_l + \beta_r)\Gamma(\frac{1}{\gamma})} \exp\left(-\left(\frac{-x}{\beta_r}\right)^\gamma\right) & \forall x \geq 0 \end{cases} \quad (56)$$

Eşitlikte ki Γ gama fonksiyonunu olup AGGD(γ, β_l, β_r) etkili bir şekilde tahmin edilmektedir. Eşitlik (56) dan (x_1, \dots, x_k) NSS özellikleri hesaplandıktan sonra, çok değişkenli Gaussian modeline (Multivariate Gaussian (MVG) uydurarak zengin bir temsil imkanı sağlanmıştır. MVG uydurma işlemi Eşitlik (57) de verilmiştir.

$$f(x(x_1, \dots, x_k)) = \frac{1}{(2\pi)^{k/2} |\Sigma|^{1/2}} * \exp\left(-\frac{1}{2} (x - v)^T \Sigma^{-1} (x - v)\right) \quad (57)$$

Eşitlikte ki v ve Σ sırasıyla MVG modelinin ortalama ve kovaryans matrisini temsil etmektedir. Sonuç olarak NIQE modelinde çıkış görüntüsünün kalitesi NSS özellik modeli ile MVG'ye uydurularak elde edilen özellikler arasındaki mesafe olarak ifade edilmiştir ve Eşitlik (58) de sunulmuştur (25).

$$D(v_1, v_2, \Sigma_1, \Sigma_2) = \sqrt{\left((v_1 - v_2)^T \left(\frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right)^{-1} (v_1 - v_2) \right)} \quad (58)$$

Eşitlikte ki v_1, v_2 ve Σ_1, Σ_2 doğal ve çıkış görüntüsünün ortalama vektörleri ve kovaryans matrislerini temsil etmektedir. NIQE metriği mesafe özellikli olmasından dolayı küçük değerlere sahip sonuçların doğal görüntüye yakınlığının daha iyi olduğu sonucu çıkartılmaktadır. Bu metriğin retineks esaslı çalışmalarda ilk olarak tercih edilmesi Fu ve arkadaşlarının 2016 yılında önerdikleri füzyon esaslı uygulamada gerçekleştirilmiştir (16).

3.4. Otoresif Görüntü Netlik Metriği (Autoregressive-based Image Sharpness Metric, ARISM)

Gu ve arkadaşlarının 2015 yılında sundukları ARISM metriği adlı çalışmalarında, otoresif esaslı olup görüntülerin keskinliğinin ölçümünde kullanılmak üzere amaçlanılmıştır. Belirli bir piksele karşılık gelen otoresif parametrelerinin yüksek benzerlik değerlerinin oluşması, o konumun daha zayıf keskinliğe sahip olduğu anlamına gelmektedir. İlk adım olarak her bir piksel için otoresif model katsayılarının tahmin edilmesidir. Bunun için her bir piksel ve onun 8 bağlantılı komşuluğu için 8'inci sıra otoresif modeli eğitilmiştir (26).

Bu parametreler üzerinde çalışılan piksel keskin bir bölgeye ait olması durumunda, farklı olma eğilimi gösterirler. Bunun için iki farklı ölçü seçilmiştir. Birincisi otoresif parametrelerin maksimum ve minimum farklarını alır ve Eşitlik (59) da verilmiştir.

$$E_{i,j} = |W_{max} - W_{min}|^n \quad (59)$$

W_{max} ve W_{min} otoresif parametrelerden çıkartılan maksimum ve minimum değer olup, n farkın öneminin ayarlamak için kullanılan üstel değerdir. Kontrast esaslı diğer yerel keskinlik ölçümü, Eşitlik (60) da verilmiştir.

$$C_{i,j} = \frac{(W_{max} - W_{min})^2}{W_{max}^2 + W_{min}^2} \quad (60)$$

Eşitlik (59) ve (60) da ki E ve C değerleri E^{bb} ve C^{bb} blok esaslı parça bölgelerin enerji ve kontrast hesaplamaları yapıldıktan sonra, keskinlik skoru hesaplaması Eşitlik (61) de ki gibi yapılmaktadır.

$$\rho = \sum_{k \in \Psi} \Theta_k \cdot \rho_k \quad (61)$$

Eşitlikteki ρ_k keskinlik skoru $k \in \{E, C, E^{bb}, C^{bb}\}$ içerisindeki en yüksek değerlerin ortalaması olarak alınmaktadır. Ayrıca $\Psi = \{E, C, E^{bb}, C^{bb}\}$ olup, Θ_k her bir komponentin bağıl öneminin ayarlamak için kullanılan positif bir sabittir. ARISM'den elde edilen keskinlik skoru değeri ne kadar küçük ise görüntünün keskinlik kalitesinin yüksek olduğu sonucu çıkartılmaktadır (26). Retineks esaslı görüntü işleme uygulamalarında bu metriğin ilk kullanımı Cai ve arkadaşlarının 2017 de sunmuş oldukları JieP adlı çalışmada yer almıştır (18).

3.5. Kör Ton Eşlemeli Kalite İndeksi (Blind tone-mapped Quality Index, BTMQI)

Gu ve arkadaşlarının 2016 yılında sundukları BTMQI ölçme metriğinde, bilgi, doğallık ve yapı özelliklerinin analizi gerçekleştirilmiştir (27). Öncelikle giriş ton eşlemeli görüntünün orijinal aydınlığını koyulaştırarak ve aydınlatarak bir dizi ara görüntüler kümesinin entropi bilgisini ölçerek başlanılmıştır.

$$E_t(I_i) = \omega E_g(I_i) + (1 - \omega) E_l(I_i)^v \quad (62)$$

Eşitlikte ki $E_g(I_i)$ ve $E_l(I_i)$ sırasıyla global ve yerel entropi değerlerini gösterirken, ω ve ν iki bileşenden oluşan entropi verilerinin göreceli önemini değiştirmek için kullanılmıştır. Çalışma içerisinde pozitif sabit değerlerde olup, 0.59 ve 1.5 olarak alınmaktadır.

İkinci işlem olarak algısal kalitenin ölçülebilmesi için doğal görüntü istatistik verilerinden ton eşlemeli görüntünün ayrıştırılması düşünülmüştür.

$$P_m(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_m} \exp\left[-\frac{m - \mu_m}{2\sigma_m^2}\right] \quad (63)$$

$$P_d(d) = \frac{(1-d)^{\beta_d-1} d^{\alpha_d-1}}{B(\alpha_d, \beta_d)} \quad (64)$$

Eşitlik (63) de ki m ve Eşitlik (64) de ki d 11x11 boyutlarındaki her bir parçanın global ortalama ve standart sapma değerlerini temsil etmektedir. Eşitlik (63) Gaussian fonksiyonu ile Eşitlik (64) Beta olasılık yoğunluk fonksiyonu $B(\cdot)$ ile iki histogram elde edimini sağlanarak görüntü yoğunluk ve kontrast ölçümü amaçlanmıştır. Eşitliklerde ki $\mu_m=115.94$, $\sigma_m=27.99$, $\alpha_d=4.4$ ve $\beta_d=10.1$ olacak şekilde model parametreleri seçilmiştir. İkinci bölümün son nihai eşitliği doğallık ölçümü olarak Eşitlik (65) de verilmiştir.

$$N = \frac{1}{K} P_m P_d \quad (65)$$

Eşitlikte ki K normalleştirme faktörü olup, $K = \{P_m P_d\}$ şeklinde bulunmaktadır.

Üçüncü olarak, ton ayrıştırılmalı görüntü içerisinde temel yapıları belirlemek için sabit eşikli Sobel operatörü kullanılmıştır.

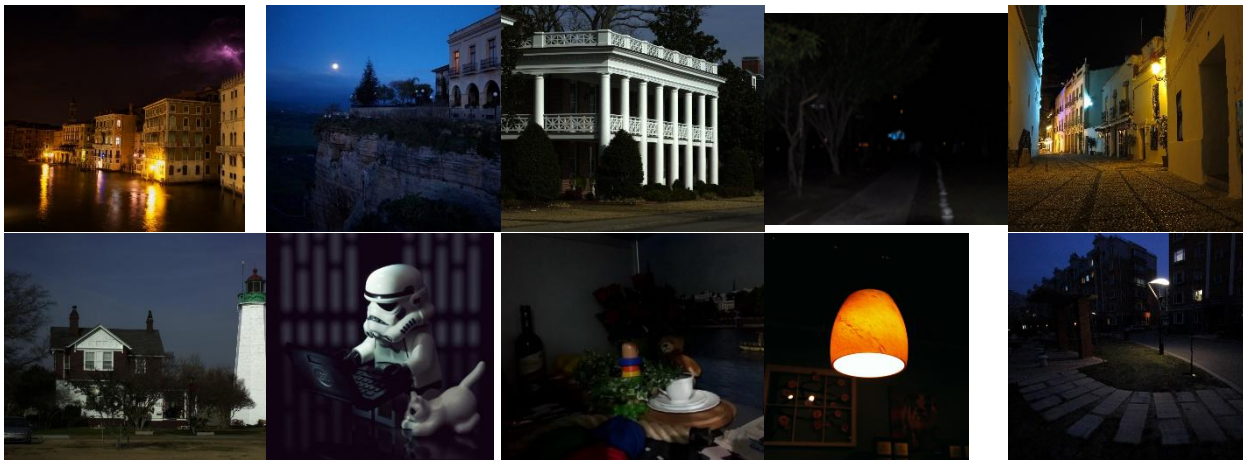
$$X(n) = \begin{cases} 1, & \text{if } G(n) \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (66)$$

Eşitlikte ki $G(n)$ Sobel operatörü sonucu çıkan görüntüyü gradyan büyüklüğü, T eşik değeri olup, çalışma içerisinde 0,05 olarak alınmıştır.

Son olarak BTMQL'in genel kalite puanını elde etmek için gerçekleştirilen bu üç özelliği birleştirme işleminde eğitilmiş regresyon modeli kullanılmıştır (27). Diğer ölçüm metodlarında olduğu gibi bu değerinde küçük çıkması, iyileştirilmiş görüntünün kalite indeksinin yüksek olması şeklinde yorumlanmaktadır. Retineks esaslı görüntü işleme uygulamalarında bu metriğin ilk kullanımı Li ve arkadaşlarının 2018 de sundukları çalışmada yer almıştır (19).

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE PERFORMANS ANALİZLERİ

Retineks esaslı yöntemlerin performanslarını farklı açılardan değerlendirmek için, deneylerimizde Guo ve arkadaşlarının uyguladıkları düşük ışıklı veri tabanı ile Cai ve arkadaşlarının tercih ettikleri veri tabanı kullanılmıştır (17) (18). Bu veri tabanında kullanılan görüntüler farklı boyutlarda, 24 bit derinliği ve bmp formatı özelliklerine sahiptir. Bu görüntülerden düşük ışık seviyesi en kötü 10 görüntü seçilmiştir. Çalışmada kullanılan düşük ışıklı görüntüler Şekil 2. de verilmiştir. Uygulama MATLAB R2018a sürümünde Intel (R) Core (TM) i5-4200U CPU 2.30 GHz processor ve 6 GB Ram bilgisayarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan düşük ışıklı görüntüler (17) (18).

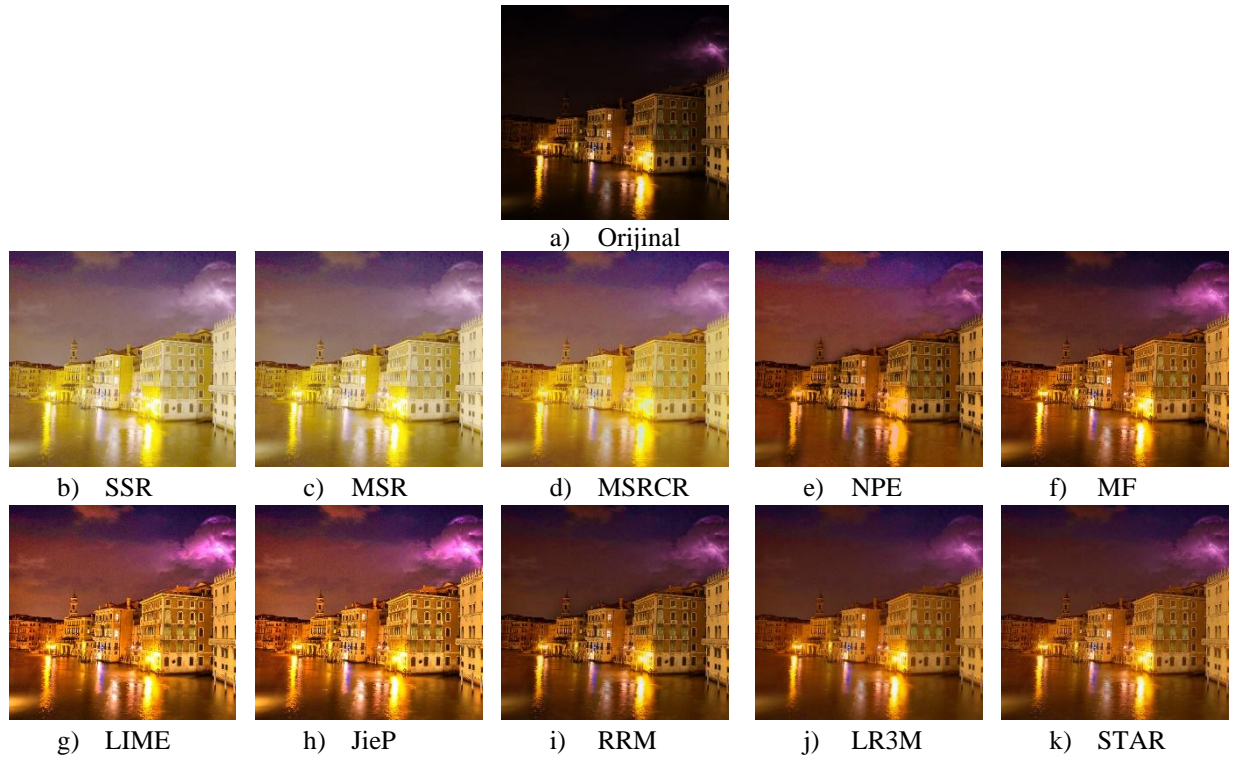
4.1. İyileştirilmiş Görüntülerin Sübjektif Değerlendirilmesi

Şekil 3 ve 4 de, düşük ışıklı renkli test görüntülerinin iyileştirilmesi ile elde edilen görsel sonuçlara yer verilmiştir. Şekil 3. (a), (b), (c) ve Şekil 4. (a), (b), (c) görüldüğü gibi SSR, MSR ve MSRCR yöntemlerinde görüntü yansıtma bileşeni olarak alınmıştır. Bu nedenle bu çalışmalarda görüntüler doğal değildir ve aşırı iyileşme sorunu çalışılan bütün görüntülerde sıklıkla görülmüştür.

Şekil 3. (d), (e) ve Şekil 4. (d), (e) görüldüğü gibi NPE ve MF yöntemlerinde kontrast artışı az oranda gerçekleşmiştir. Diğer görüntülere göre daha koyu bir görünüme sahiptirler. NPE yapılan görsel karşılaştırma analizine göre, hem verimlilik hem de görsel kalite açısından diğer yöntemlere göre daha az etkileyici performans göstermiştir. MF'nin performansı bir çok görüntüde performansı umut vericidir. Ancak aydınlatma yapısının körlüğü nedeniyle MF, zengin dokuya sahip bölgelerin gerçekçiliğini kaybetme riskine sahiptir.

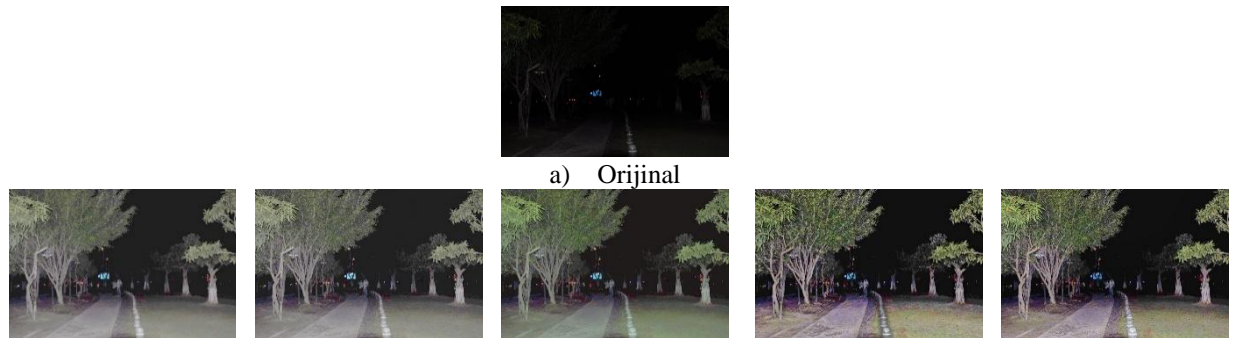
Şekil 3. (i) ve Şekil 4. (i) de görüntülerin tamamında bulanık bir yapı etken durumdadır. Bu durum ayrıntıların kaybolmasına sebep olmuştur. RRM yönteminin aydınlatma bileşeninin pürüzsüz varsayılması, yansıtma haritasında gözlenebilir görüntülere yol açmıştır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için alternatif bir yön küçültme algoritması kullanmak, gürültünün hem aydınlatma hem de yansıtma haritalarının tahminini bozmasına neden olmuştur.

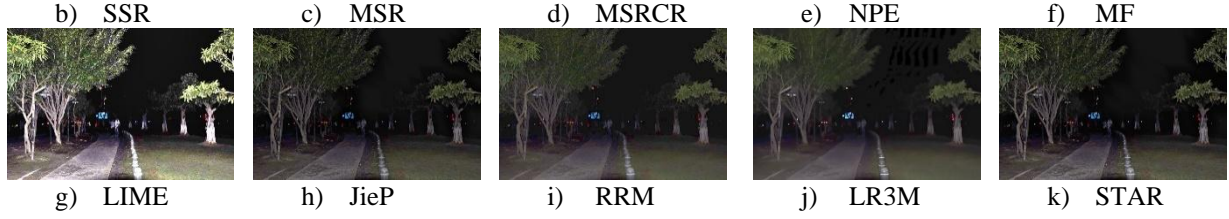
Şekil 3. (h), (k) ve Şekil 4. (h), (k) görüldüğü gibi JieP ve STAR yöntemlerinde görüntü kontrastı geniş ve detaylar daha düzgün şekilde iyileştirme sağlanmıştır. Görüntü içerisindeki kenar ve bölge bilgilerinin daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan 1 numaralı düşük ışıklı görüntünün iyileştirme sonuçları.

Sübjektif gözlem sonucunda, Şekil 3. (g), (j) ve Şekil 4. (g), (j) de ki LIME ve LR3M yöntemlerinin işlevsel bir yöntem oldukları sonucuna varılmıştır. Çünkü sadece kontrast ve detay bilgisi arttırmak için mükemmel bir performansa sahip olmakla kalmamış, keskinlik ve açıklık başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlara ilaveten LR3M de filtreleme işlemi çok iyi bir şekilde yapıldığı gürültülerin yok edilmesinden anlaşılmaktadır.





Şekil 4. Çalışmada kullanılan 4 numaralı düşük ışıklı görüntünün iyileştirme sonuçları.

4.2. İyileştirilmiş Görüntülerin Objektif Değerlendirilmesi

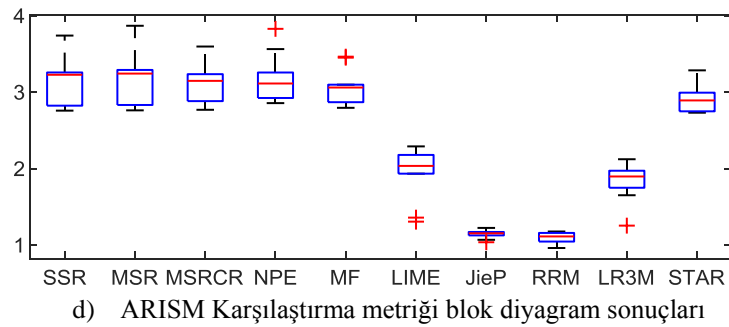
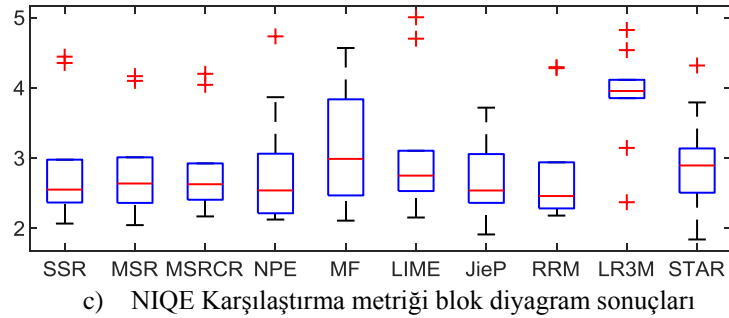
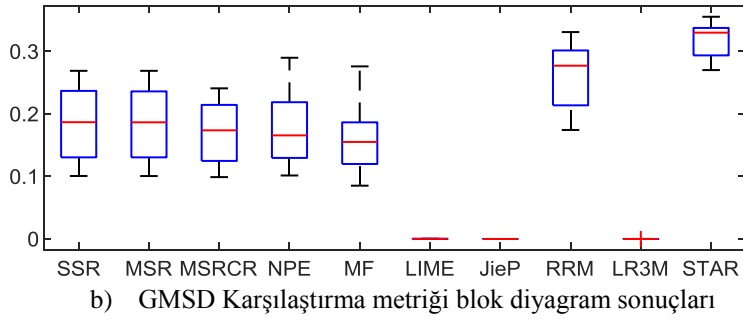
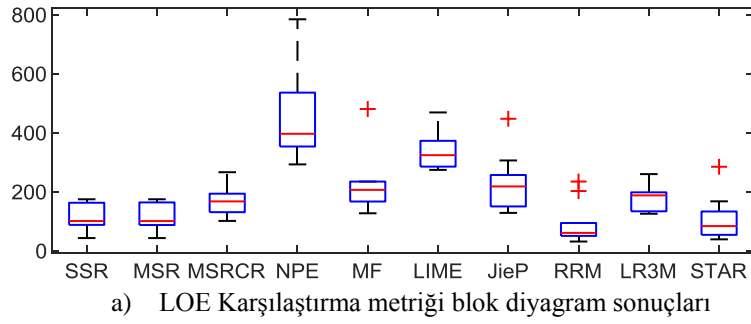
Bir görüntünün görsel kalitesinin iyileştirilmesi, kişiden kişiye farklılık göstereceği için öznel bir meseledir. Ayrıca, renkli görüntü iyileştirme çalışmalarının değerlendirilmesinde evrensel olarak kabul görmüş herhangi bir kriterin bulunmaması değerlendirme işini zorlaştırmaktadır. Retineks esaslı yöntemlerin iyileştirme sonuçlarını sayısal olarak değerlendirmek için kullanılan performans ölçütleri LOE, GMSD, NIQE, ARISM ve BTMQI olarak alınmıştır.

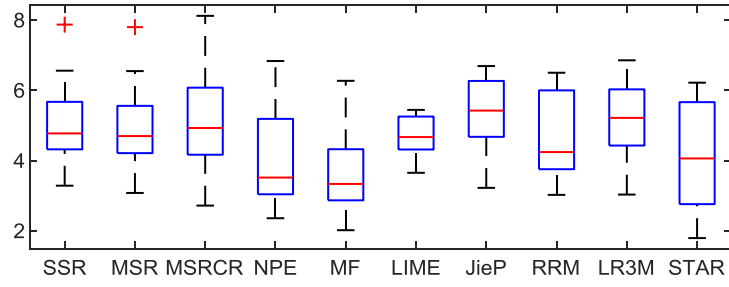
Tablo 1. Çalışmada kullanılan yöntemlerin karşılaştırma metrik sonuçları

YÖNTEMLER	METRİKLER	ÇALIŞMADA KULLANILAN GÖRÜNTÜLER									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
		Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü	Görüntü
SSR	LOE	43,7204	57,6785	163,3708	175,167	95,0152	88,3655	107,9324	94,5203	168,0243	118,2645
	GMSD	0,1306	0,2254	0,1833	0,2369	0,1008	0,1123	0,1756	0,2690	0,1904	0,2524
	NIQE	2,9785	2,6048	2,3855	2,3687	2,1401	2,6384	4,3549	2,0690	4,4448	2,4994
	ARISM	3,7401	3,2563	2,8236	2,9467	3,2318	2,7585	2,8010	3,2233	3,7364	3,2576
	BTMQI	4,3177	3,5527	5,5739	7,8693	5,0889	6,5572	4,4546	4,3589	5,6702	3,2832
MSR	LOE	43,6774	57,4991	164,5292	175,183	94,4713	87,9674	108,1744	94,5710	170,7793	118,6306
	GMSD	0,1306	0,2246	0,1833	0,2361	0,1007	0,1123	0,1754	0,2690	0,1900	0,2524
	NIQE	3,0119	2,6584	2,4023	2,3632	2,1396	2,6803	4,0996	2,0470	4,1669	2,6199
	ARISM	3,8266	3,2553	2,8326	2,9944	3,2907	2,7623	2,8068	3,2309	3,8685	3,2591
	BTMQI	4,2121	3,5091	5,4541	7,7976	5,0237	6,5455	4,2099	4,3679	5,5562	3,0764
MSRCR	LOE	101,857	155,545	194,0563	191,849	161,289	266,829	119,5484	174,653	199,5736	131,4367
	GMSD	0,1249	0,2145	0,1795	0,2224	0,0990	0,1119	0,1779	0,1562	0,1698	0,2410
	NIQE	2,6380	2,5071	2,4081	2,3582	2,1708	2,6822	4,2008	2,9254	4,0434	2,6197
	ARISM	3,5969	3,1811	2,8214	2,9443	3,2121	2,7696	2,8830	3,1147	3,3951	3,2355
	BTMQI	4,1645	2,7163	5,0237	8,1190	4,9983	6,4720	4,8537	4,5637	6,0737	3,0686
NPE	LOE	670,107	324,175	398,621	395,385	486,591	293,348	785,067	536,513	384,9732	353,9524
	GMSD	0,1016	0,1359	0,1906	0,2899	0,1051	0,1297	0,1571	0,2188	0,1744	0,2369
	NIQE	2,5648	2,1633	2,2157	3,0633	2,1262	2,5165	3,8678	2,3235	4,7332	3,0556
	ARISM	3,8282	3,0430	2,8569	3,1242	3,2572	2,8593	2,9240	3,1776	3,5634	3,1028
	BTMQI	4,0669	3,0384	2,4442	6,8320	2,3564	5,1854	3,6683	3,3614	6,6290	3,2942
MF	LOE	127,700	172,436	235,201	235,145	223,459	480,985	167,527	223,511	190,466	135,651
	GMSD	0,0853	0,1337	0,1613	0,2761	0,1081	0,1200	0,1500	0,1955	0,1605	0,1866
	NIQE	2,8638	2,4694	2,3257	4,0008	2,1105	2,8287	3,8372	3,1153	4,5678	3,1231
	ARISM	3,4514	2,9503	2,7953	3,0606	3,0980	2,8184	2,8690	3,0609	3,4643	3,0720
	BTMQI	3,4313	2,8661	2,5207	6,2685	2,0156	3,6138	4,3215	3,2343	5,9690	3,2103
LIME	LOE	285,823	373,186	394,100	285,488	340,417	469,406	299,477	312,438	336,941	274,714
	GMSD	0,0001	0,00025	0,00021	0,0004	0,00014	0,00013	0,00017	0,00029	0,00022	0,00024
	NIQE	2,6785	2,5317	2,4018	3,1056	2,1552	2,8020	5,0058	2,7009	4,7003	3,0382
	ARISM	1,3596	1,9918	2,0744	2,2911	2,2501	1,3070	1,9344	2,1526	1,9971	2,1794
	BTMQI	4,3133	3,7995	5,4414	4,8205	4,6413	4,6935	5,4082	3,6501	5,2515	4,3814
JieP	LOE	153,354	150,903	205,536	306,688	238,573	129,022	257,388	231,884	447,950	149,044
	GMSD	0,00001	0,00002	0,00004	0,00004	0,00002	0,00002	0,00003	0,00005	0,00002	0,00003
	NIQE	2,5825	2,2692	2,5569	2,3636	1,9142	3,0581	3,7186	2,5225	3,5079	2,4156
	ARISM	1,1640	1,1276	1,1719	1,2250	1,1843	1,1448	1,0694	1,1272	1,1715	1,0376
	BTMQI	5,1641	5,6786	3,2213	6,4519	3,5449	4,6739	4,8869	5,6843	6,6887	6,2655
RRM	LOE	32,0083	33,3543	94,7545	203,086	55,0319	51,0529	51,7860	67,2146	235,258	84,6309
	GMSD	0,3272	0,2741	0,3310	0,1744	0,3016	0,2447	0,2803	0,2932	0,2138	0,1960
	NIQE	2,7923	2,2544	2,2877	2,2847	2,2992	2,6224	4,2954	2,1826	4,2807	2,9407
	ARISM	1,1540	1,1200	1,1594	0,9623	1,1781	1,1072	1,0466	1,1007	1,1657	1,0055
	BTMQI	4,0787	3,0218	4,3144	6,3678	3,7521	5,2415	6,4990	3,7017	5,9973	4,1662
LR3M	LOE	127,071	190,902	195,853	185,88	198,654	174,635	126,101	260,426	235,915	134,368
	GMSD	0,00008	0,00005	0,00003	0,00003	0,00005	0,00004	0,00005	0,00006	0,00005	0,00004
	NIQE	3,9537	2,3729	3,8712	3,9580	3,9645	3,8542	4,8243	4,1150	4,5376	3,1461
	ARISM	2,1231	1,8713	1,6524	1,7501	1,7582	1,9865	1,9239	1,2549	1,9728	1,9630
	BTMQI	4,4693	3,0301	5,6321	6,8525	6,0258	4,8271	5,5994	3,8280	6,3026	4,4259

STAR	LOE	39,3943	42,1504	95,4458	285,335	58,1961	54,6463	73,2768	133,785	168,200	124,640
	GMSD	0,3310	0,3291	0,3310	0,3376	0,3390	0,2937	0,3205	0,3555	0,2702	0,2933
	NIQE	2,5082	2,1731	2,8371	3,1382	1,8427	2,9548	4,3187	3,0472	3,7932	2,7368
	ARISM	3,1770	2,9398	2,7394	2,7317	2,9523	2,7496	2,7577	2,8444	3,2854	2,9935
	BTMQI	3,8130	2,7576	2,1127	6,0990	1,7914	4,5707	5,6612	3,4067	6,2157	4,3042

Performans ölçütlerinin sayısal sonuçları görsel olarak Şekil 5 de ve her bir görüntüden elde edilen sayısal sonuçlar ise Tablo 1 de verilmiştir. Şekil 5 (a) da ki LOE sonuçlarına göre en iyi performans sırasıyla RRM, SSR ve MSR yöntemlerinde gerçekleşmiştir. Bu üç yöntemde yerel alanlardaki aydınlık değişiminin yüksek orandan gerçekleştiği söylenebilir. Ancak görüntünün doğallığından da uzaklaşıldığı kaçınılmaz bir sonuç olmuştur.





e) BTMQI Karşılaştırma metriği blok diyagram sonuçları

Şekil 5. Yöntemlerin karşılaştırma metrik sonuçlarına göre kutu grafikleri

Şekil 5 (b) de yer verilmiş olan GMSD kutu grafik sonuçlarına göre, LIME, JieP ve LR3M yöntemleri ön plana çıkmıştır. Bu üç yöntemin subjektif değerlendirmede de iyi performans göstermesi GMSD'nin insan görsel algısına paralel davranış gösterdiği sonucu çıkartılabilir. GMSD denin ölçme esasına göre bu üç yöntemde yapısal bozukluklar en az oranda gerçekleşmiştir.

Şekil 5 (c) de yer alan NIQE metrik sonucuna göre NPE, JieP ve RRM en iyi sonuçlara sahiptir. Bu yöntemlerde görüntülerin doğal görüntü kalitesi korunmuştur.

ARISM metriğine göre, bir piksele karşılık gelen otoregresif parametrelerinde yüksek benzerlik değerlerinin oluşması, o konumun daha zayıf keskinliğe sahip olduğu anlamına gelmektedir. Yani, ARISM görüntü keskinlik derecesinin ölçümünde tercih edilmektedir. Buna göre, LIME, JieP, RRM ve LR3M yöntemleri en iyi sonuçlara sahiptir. Ayrıca bu yöntemlerin görsel subjektif değerlendirmelerde de ön plana çıkmaları ARISM metriğinin insan görsel algısına paralel hareket ettiği sonucuna varılabilir.

BTMQI metriği görüntüden elde edilen entropi, renklilik bilgisi ve yapısal özellikleri analiz ederek görüntü kalitesini ortaya koymaya çalışmaktadır. Şekil 5 (e) BTMQI sonuçları incelendiğinde MF, NPE ve STAR yöntemlerinde görüntünün renklilik kalitesinin arttığı sonucu çıkarılmıştır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan yöntemlerin işlem süresi sonuçları

YÖNTEMLER	ÇALIŞMADA KULLANILAN GÖRÜNTÜLER										ORTALAMA
	1. Görüntü	2. Görüntü	3. Görüntü	4. Görüntü	5. Görüntü	6. Görüntü	7. Görüntü	8. Görüntü	9. Görüntü	10. Görüntü	
SSR	0,6306	0,2993	4,1410	0,8505	3,4046	3,9954	0,2392	0,4469	0,2646	2,9667	1,7238
MSR	1,0845	0,2897	4,2171	0,9139	3,6017	4,3019	0,2525	0,6003	0,2489	2,9436	1,8454
MSRCR	0,7140	0,3118	4,5083	0,9679	4,0314	4,6122	0,3001	0,5834	0,2859	3,0425	1,9357
NPE	20,2972	11,1829	110,710	30,1159	125,523	110,573	8,2966	8,1283	9,3050	36,0297	47,016
MF	7,6544	0,7384	3,5343	1,0972	3,2920	3,7114	0,6760	0,6542	0,8123	1,2556	2,3425
LIME	6,6963	1,0205	8,6514	2,3289	10,1781	7,8430	0,9549	0,8863	0,9465	2,8943	4,2400
JieP	10,2553	4,4367	56,1361	21,0804	64,0177	43,4293	4,0498	3,7764	3,2989	15,8941	22,637
RRM	18,8038	7,7666	78,5873	20,6159	93,7806	77,7047	7,0682	6,7599	6,3547	27,466	34,490
LR3M	349,311	195,83	1645,28	1541,93	1100,61	223,54	134,98	147,41	157,61	1135,40	663,19
STAR	8,2186	2,0174	23,6725	42,3042	35,0255	15,4468	1,7935	6,5964	1,3692	31,4942	16,793

Retineks esaslı yöntemlerin her bir görüntü için çalışma ve ortalama süreleri Tablo 2 de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde LR3M, NPE ve RRM yöntemleri işlem süresi en uzun yöntemlerdir. Görsel kalite ve metrik sonuçlara göre iyi performans göstermiş olan LIME'nin 4,24 sn gibi ortalama işlem süresine sahip olması bir başka tercih nedeni olarak görülebilir. Bunun yanında renklilik bilgisini yüksek oranda sağlayan MF'nin de 2,34 ortalama süreye sahip olması ikinci avantajı olarak görülebilir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, Retineks tabanlı algoritmalara dayanan görüntü iyileştirme çalışmalarının karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Günümüze kadar gelen ve çok tercih edilen düşük ışıklı on adet Retineks esaslı yöntem alınmış ve beş adet karşılaştırma ölçüm metrikleri performans karşılaştırması olarak kullanılmıştır.

SSR, MSR ve MSRCR yöntemlerinde görüntüler doğal değildir ve aşırı iyileşme sorunu çalışılan bütün görüntülerde sıklıkla görülmüştür. NPE ve MF yöntemlerinde kontrast artışı az oranda gerçekleşmiştir. Diğer görüntülere göre daha koyu bir görünüme sahiptirler. RRM görüntülerinin tamamında bulanık bir yapı etken durumdadır. Bu durum ayrıntıların kaybolmasına sebep olmuştur. JieP ve STAR yöntemlerinde görüntü kontrastı geniş ve detaylar daha düzgün şekilde iyileştirme sağlanmıştır. Görüntü içerisindeki kenar ve bölge bilgilerinin daha belirgin olduğu görülmektedir. LIME ve LR3M yöntemlerinin işlevsel bir yöntem oldukları sonucuna

varılmıştır. Çünkü keskinlik ve açıklık başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlara ilaveten LIME'nin işlem süresi ortalama 4,24sn ile uygulanabilir olduğunu göstermektedir. İlerleyen çalışmalar içerisinde karşılaştırma sonuçları referans alınarak, yöntemlerin güçlü özellikleri birleştiren yeni bir Retinex esaslı görüntü iyileştirme algoritma geliştirilmesi düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

- [1] S. M. Pizer, "Contrast-limited adaptive histogram equalization: Speed and effectiveness stephen m. pizer, r. eugene johnston, james p. ericksen, bonnie c. yankaskas, keith e. muller medical image display research group", In Proceedings of the F, 1990.
- [2] J. C. Russ, The image processing handbook. CRC press, 2016.
- [3] Y. T. Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization", IEEE transactions on Consumer Electronics, vol. 43, no.1, pp. 1-8, 1997.
- [4] Q. Wang, R. K. Ward, "Fast image/video contrast enhancement based on weighted thresholded histogram equalization", IEEE transactions on Consumer Electronics, vol. 53, no. 2, 2007.
- [5] L. Li, R. Wang, W. Wang & W. Gao, "A low-light image enhancement method for both denoising and contrast enlarging", In 2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 3730-3734, 2015.
- [6] X. Zhang, P. Shen, L. Luo, L. Zhang & J. Song, "Enhancement and noise reduction of very low light level images", In Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), IEEE, pp. 2034-2037, 2012.
- [7] Z. Huang, T. Zhang, Q. Li & H. Fang, "Adaptive gamma correction based on cumulative histogram for enhancing near-infrared images", Infrared Physics & Technology, vol. 79, pp. 205-215, 2016.
- [8] S. C. Huang, F. C. Cheng & Y. S. Chiu, "Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution", IEEE transactions on image processing, vol. 22, no. 3, pp. 1032-1041, 2012.
- [9] G. Deng, "A generalized gamma correction algorithm based on the SLIP model", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2016(1), 69, 2016.
- [10] D. J. Jobson, Z. U. Rahman & G. A. Woodell, "Properties and performance of a center/surround retinex", IEEE transactions on image processing, vol. 6, no. 3, pp. 451-462, 1997.
- [11] Z. U. Rahman, D. J. Jobson & G. A. Woodell, "Multi-scale retinex for color image enhancement", In Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing, vol. 3, pp. 1003-1006, 1996.
- [12] D. J. Jobson, Z. U. Rahman & G. A. Woodell, "A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes", IEEE Transactions on Image processing, vol. 6, no. 7, pp. 965-976, 1997.
- [13] M. K. Ng, W. Wang, "A total variation model for Retinex", SIAM Journal on Imaging Sciences, vol. 4, no. 1, pp. 345-365, 2011.
- [14] S. Wang, J. Zheng, H. M. Hu, & B. Li, "Naturalness preserved enhancement algorithm for non-uniform illumination images", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, no. 9, pp. 3538-3548, 2013.
- [15] X. Fu, Y. Liao, D. Zeng, Y. Huang, X. P. Zhang & X. Ding, "A probabilistic method for image enhancement with simultaneous illumination and reflectance estimation", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 12, pp. 4965-4977, 2015.
- [16] X. Fu, D. Zeng, Y. Huang, Y. Liao, X. Ding & J. Paisley, "A fusion-based enhancing method for weakly illuminated images", Signal Processing, vol. 129, pp. 82-96, 2016.
- [17] X. Guo, Y. Li, & H. Ling, "LIME: Low-light image enhancement via illumination map estimation", IEEE Transactions on image processing, vol. 26, no. 2, pp. 982-993, 2016.
- [18] B. Cai, X. Xu, K. Guo, K. Jia, B. Hu & D. Tao, "A joint intrinsic-extrinsic prior model for retinex", In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, pp. 4000-4009, 2017.
- [19] M. Li, J. Liu, W. Yang, X. Sun & Z. Guo, "Structure-revealing low-light image enhancement via robust retinex model", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 27, no. 6, pp. 2828-2841, 2018.
- [20] X. Ren, W. Yang, W. H. Cheng & J. Liu, "LR3M: robust low-light enhancement via low-rank regularized retinex model", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 29, pp. 5862-5876, 2020.
- [21] J. Xu, Y. Hou, D. Ren, L. Liu, F. Zhu, M. Yu & L. Shao, "STAR: A structure and texture aware retinex model", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 29, pp. 5022-5037, 2020.
- [22] E. H. Land, J. J. McCann, "Lightness and retinex theory", Josa, vol. 61, no. 1, pp. 1-11, 1971.
- [23] E. H. Land, "An alternative technique for the computation of the designator in the retinex theory

- of color vision", Proceedings of the national academy of sciences, vol. 83, no. 10, pp. 3078-3080, 1986.
- [24] W. Xue, L. Zhang, X. Mou & A. C. Bovik, "Gradient magnitude similarity deviation: A highly efficient perceptual image quality index", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 23, no. 2, pp. 684-695, 2013.
- [25] A. Mittal, R. Soundararajan & A. C. Bovik, "Making a "completely blind" image quality analyzer", IEEE Signal processing letters, vol. 20, no. 3, pp. 209-212, 2012.
- [26] K. Gu, G. Zhai, W. Lin, X. Yang & W. Zhang, "No-reference image sharpness assessment in autoregressive parameter space", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 10, pp. 3218-3231, 2015.
- [27] K. Gu, S. Wang, G. Zhai, S. Ma, X. Yang, W. Lin & W. Gao, "Blind quality assessment of tone-mapped images via analysis of information, naturalness, and structure", IEEE Transactions on Multimedia, vol. 18, no. 3, pp. 432-443, 2016.



Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, Sakarya Havzası Örneği

Effect of Climate Change on Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought in Sakarya Basin , TURKEY

¹Akın DUVAN  ²Gaye AKTÜRK  ³Osman YILDIZ 

^{1,2,3}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 71450, Kırıkkale

¹akinduvan@kku.edu.tr, ²gayeoguzturk@kku.edu.tr,

³osmanyildiz@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 2 July 2021

Accepted : 31 July 2021

Keywords:

Drought, Sakarya Basin, SPI, HadGEM2-ES

ABSTRACT

Drought is a natural disaster that expresses the water scarcity experienced as a result of the decrease in the amount of water needed by all living things below the average. This study was conducted for Sakarya Basin with water shortage in Turkey in the semi-arid climate. Real precipitation data obtained from meteorology observation stations and precipitation projection data obtained via RCP 4.5 and 8.5 scenarios of the HadGEM2-ES global climate model were used as data. The Standard Precipitation Index (SPI) was used to determine the severity of the drought and the Inverse Distance Weighting (IDW) method was used to determine the areal distribution of the drought. After this analysis, drought intensity-areal extent-frequency curves of the basin were created. Through these graphs, the spatial and temporal characteristics of the drought were examined for the basin, and it was found that the drought intensity values obtained with the actual precipitation data were greater.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 2 Temmuz 2021

Kabul : 31 Temmuz 2021

Anahtar Kelimeler:

Kuraklık, Sakarya Havzası, SYİ, HadGEM2-ES

ÖZET

Kuraklık yerkürede yaşayan tüm canlı varlıkların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli su miktarının belirli bir zaman süresince ortalamasının altına düşmesi sonucu yaşanan su kıtlığını ifade eden doğal bir afettir. Çalışmada yarı kurak iklimde bulunan Türkiye’de su sıkıntısı yaşayan Sakarya Havzası için uygulama yapılmıştır. Veri olarak meteoroloji gözlem istasyonlarından alınan gözlemlenmiş aylık toplam yağış verileri ile HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları ile elde edilen yağış projeksiyon verileri kullanılmıştır. Kuraklık şiddeti tespiti amacıyla Standart Yağış İndisi (SYİ), kuraklığın alansal dağılımını tespit edebilmek amacıyla da Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting IDW) kullanılmıştır. Daha sonra havzanın kuraklık şiddeti-alan yüzdesi- frekans eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafikler yardımıyla havza için kuraklığın zamansal ve alansal özellikleri incelenmiş, gözlemlenmiş yağış verileri ile elde edilen kuraklık şiddeti değerlerinin daha büyük olduğu görülmüştür.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0002-5617-6107

²0000-0002-9477-7827

³0000-0002-5544-101X

Anadolu Karasal, Karadeniz ve Marmara tipi Akdeniz iklimi görülmektedir. Sakarya Havzasına ait karakteristikler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Sakarya havzası karakteristikleri

Karakteristik	Değer	Birim
Drenaj Alanı	58.160	km ²
Nüfus (2012)	7.588.960	kişi
Nüfus Yoğunluğu	130	kişi/ km ²
Yıllık Ortalama Yağış Yüksekliği	479	mm
Ortalama Rakım	965	m
Ortalama Sıcaklık	10.6	°C

2.2. SYİ Yöntemi

Standart Yağış İndisi (SYİ), 1993 yılında Mc.Kee ve arkadaşları tarafından kuraklığı tanımlamak ve izlemek amacıyla geliştirilmiştir. Bu indis Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından meteorolojik kuraklığın izlenmesi için bir başlangıç noktası olduğu vurgulanmıştır ve basitliği, aylık veri gerekliliğinden dolayı daha önceki pek çok çalışmada kullanılmıştır ve geniş çapta kabul görmektedir. Standart Yağış İndeksi (SYİ) esas olarak belirlenen zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir. Bu yöntemle, 1 aylıktan 48 aylığa kadar farklı zaman dilimlerinde inceleme yapılarak yağış eksikliğinin değişik su kaynakları üzerine yaptığı etkiler görülebilir.

Herhangi bir X_1, X_2, \dots, X_n yağış zaman serisi için standart yağış serisi, x_i , eşitlik 1 kullanılarak hesaplanır.

$$x_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \quad (1)$$

\bar{X} : Serinin ortalaması

S_x : Serinin standart sapması

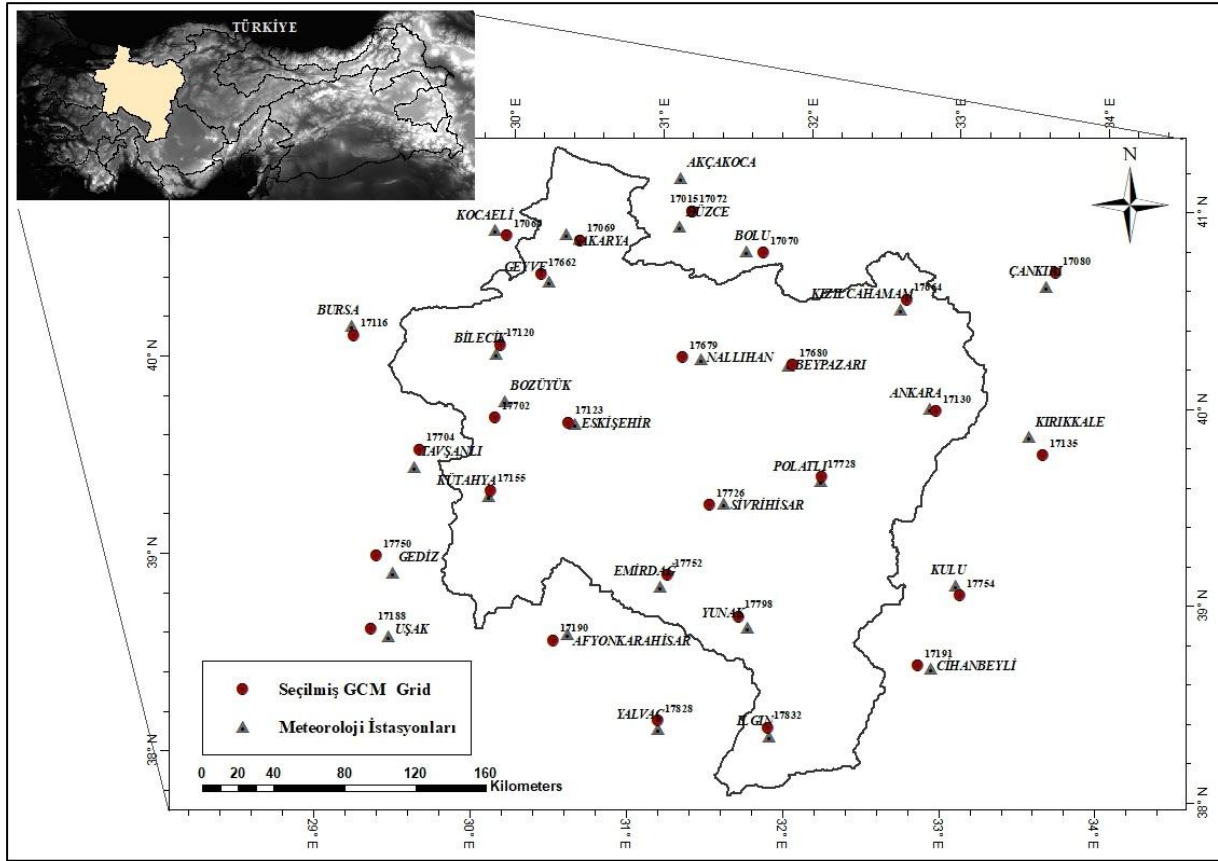
Eşitlik 1 sonucu elde edilen negatif değerler yağış eksikliğini ya da kurak dönemleri gösterirken, pozitif değerler yağış fazlalığını ya da sulak dönemleri gösterir. McKee ve arkadaşları tarafından farklı SYİ aralıkları için dört ayrı kuraklık sınıflandırması yapılmıştır. Yapılan bu kuraklık sınıflandırması Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. SYİ yönteminde kullanılan kuraklık sınıflandırmaları

SYİ Değeri	Kuraklık Sınıfı
(0.0) – (-0.99)	Hafif Kurak
(-1.0) – (-1.49)	Orta Kurak
(-1.50) – (-1.99)	Şiddetli Kurak
$\leq (-2.0)$	Çok Şiddetli Kurak

2.3. Veriler

Çalışmada gözlemlenmiş yağış verileri olarak 1956 – 2011 yılları arası Şekil 2’de görülen meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen aylık toplam yağış verileri ve 2020-2098 yılları arası HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP 4.5ve RCP 8.5 senaryolarına ait yağış projeksiyon verileri kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları ve küresel iklim modelinin grid noktaları

Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarına ve bu istasyonlara en yakın noktada bulunan küresel iklim modeli gridlerine ait bilgiler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarına ve bu istasyonlara en yakın noktada bulunan küresel iklim modeli gridlerine ait bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	İstasyon Rakım	Veri Yılları	Grid No	Grid Enlem	Grid Boylam	Grid Rakım	Veri Yılları
17190	AFYONKARAHİSAR	38.738	30.5604	1034	1956-2011	2024	38.7028	30.4739	1223	2020-2098
17015	AKÇAKOCA	41.0895	31.1374	10	1956-2011	3227	40.9203	31.2283	497	2020-2098
17130	ANKARA	39.9727	32.8637	891	1956-2011	2734	39.9596	32.9025	1092	2020-2098
17680	BEYPAZARI	40.1608	31.9172	682	1956-2011	2830	40.1674	31.9413	990	2020-2098
17120	BİLECİK	40.1414	29.9772	539	1956-2011	2822	40.1853	30	655	2020-2098
17070	BOLU	40.7329	31.6022	743	1956-2011	3129	40.728	31.7143	1115	2020-2098
17702	BOZÜYÜK	39.9039	30.0525	754	1956-2011	2622	39.8146	30	979	2020-2098
17116	BURSA	40.2308	29.0133	100	1956-2011	2818	40.1809	29.0292	549	2020-2098
17080	ÇANKIRI	40.6082	33.6102	755	1956-2011	3137	40.678	33.6715	1158	2020-2098
17191	ÇİHANBEYLİ	38.6503	32.9226	969	1956-2011	2034	38.6645	32.8424	1002	2020-2098
17072	DÜZCE	40.8437	31.1488	146	1956-2011	3227	40.9203	31.2283	497	2020-2098
17752	EMİRDAĞ	39.0098	31.1463	983	1956-2011	2227	39.067	31.1918	1093	2020-2098
17123	ESKİŞEHİR	39.8119	30.5287	787	1956-2011	2624	39.8135	30.4824	864	2020-2098
17750	GEDİZ	38.9947	29.4003	736	1956-2011	2219	39.0714	29.2848	1127	2020-2098
17662	GEYVE	40.5214	30.296	100	1956-2011	3023	40.556	30.2442	489	2020-2098
17832	ILGIN	38.2763	31.894	1036	1956-2011	1830	38.3168	31.8842	1159	2020-2098

17135	KIRIKKALE	39.8433	33.5181	751	1956-2011	2637	39.7518	33.6163	969	2020-2098
17664	KIZILCAHAMAM	40.4729	32.6441	1033	1956-2011	3033	40.5221	32.6851	1337	2020-2098
17066	KOCAELİ	40.7663	29.9173	74	1956-2011	3122	40.7419	30	270	2020-2098
17754	KULU	39.0788	33.0657	1005	1956-2011	2235	39.0273	33.0973	979	2020-2098
17155	KÜTAHYA	39.4171	29.9891	969	1956-2011	2422	39.4441	30	1177	2020-2098
17679	NALLIHAN	40.1733	31.332	650	1956-2011	2827	40.1783	31.2134	1005	2020-2098
17728	POLATLI	39.5834	32.1624	886	1956-2011	2531	39.6068	32.1642	906	2020-2098
17069	SAKARYA	40.7676	30.3934	30	1956-2011	3124	40.7407	30.4898	307	2020-2098
17726	SIVRIHISAR	39.4452	31.5352	1070	1956-2011	2428	39.4341	31.4386	938	2020-2098
17704	TAVŞANLI	39.5384	29.4941	833	1956-2011	2520	39.6282	29.5189	1077	2020-2098
17188	UŞAK	38.6712	29.404	919	1956-2011	2019	38.7014	29.2891	903	2020-2098
17828	YALVAÇ	38.283	31.1778	1096	1956-2011	1827	38.3274	31.1777	1236	2020-2098
17798	YUNAK	38.8205	31.7258	1148	1956-2011	2129	38.8754	31.6634	1038	2020-2098

2.3.1. Gözlemlenmiş Yağış Verileri

Çalışmada kullanılan gözlemlenmiş yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen meteoroloji gözlem istasyonlarından 1956 ve 2011 dönemleri için yağış kayıtlarından elde edilen aylık toplam yağış verileridir.

2.3.2. HadGEM2-ES Verileri

HadGEM2 (Hadley Merkezi Küresel Çevre Modeli sürüm 2), Birleşik Krallık Meteoroloji Servisi'ne bağlı bir araştırma kuruluşu olan Hadley Center tarafından geliştirilmiş ikinci nesil küresel bir modeldir [23]. Bu modelin benzer fiziksel özelliklere sahip fakat farklı yapılarda birçok sürümü bulunmakla beraber HadGEM2 serisi Hükümetler arası İklim Değişikliği Panaeli (IPCC) 5. Raporu hazırlıklarında kullanılan modellerden bir tanesidir. Modelin yatay çözünürlüğü, enlemi 1,25 derece ve boylamı 1,875 derece olan, 192×145 adet grid hücresi ile yerküre temsil edilmektedir. Bu çözünürlük değeri yaklaşık olarak Ekvator'da 208×139 km, 55. enlemlerde 120×139 km'dir. Genişletilmiş dikey yükseklik, stratosferin yatay ve geniş iklim etkisinin çalışma amacı ile 60 seviye ile dikeyde 85. km'ye kadar çıkabilmektedir. Okyanus bileşeni ise, kutuplar ile 30 enlemler arasında, boylam çözünürlüğü 1 derece ve enlem çözünürlüğü 1 derece olan, toplamda 360×216 adet grid hücresinden oluşmaktadır. Dikeyde ise eşit olmayan 40 seviyeden (yüzeyde çözünürlüğü 10 m'ye kadar ulaşabilmektedir). Model ile ilgili daha fazla detay Collins ve arkadaşlarının (2011) ve Martin ve arkadaşlarının (2011) çalışmalarında bulunabilir.

2.3.3. Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP)

İklim senaryolarında, farklı temsili konsantrasyon rotaları (Representative Concentration Pathways RCP) genellikle küresel sera gazı emisyonlarının yıllık değişimlerine, sosyo-ekonomik ve teknolojik gelişme varsayımlarına, iklimi etkileyen gaz emisyonlarının etkisine ve atmosferik partikül değişikliklerine dayalı olarak birbirinden ayrt edilir. RCP tipleri ve özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. RCP tipleri ve özellikleri

RCP	Işınım zorlanması	Zaman	Toplam konsantrasyon	Gaz emisyonları
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100	~1370 ppm	2100'e kadar sürekli artış
RCP 6.0	~6.5 W/m ²	2100 sonrası	~850 ppm	Yüzyılın Son Çeyreğinde Düşüş
RCP 4.5	~4.55 W/m ²	2100 öncesi	~650 ppm	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP 2.6	~3.05 W/m ²	2100 öncesi	~490 ppm	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

Bu çalışmada kullanılan RCP senaryoları (yani RCP 8.5 ve 4.5), IPCC 5. Değerlendirme raporunda en çok kullanılan senaryolardır. Toplam ışınım zorlama yolları ve 2100'e kadar olan seviyeleri ile tanımlanmıştır. Nispeten, daha karamsar RCP 8.5 senaryosu, gelecekte emisyon azaltımı hakkında herhangi bir politika değişikliği olmayacağını varsaymaktadır artan sera gazı emisyonları, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu

artıracaktır. Öte yandan, nispeten daha iyimser olan RCP 4.5 senaryosu, radyatif zorlamanın küresel emisyon azaltma politikalarının yardımıyla 2100'den kısa bir süre sonra stabilize olacağını öngörmektedir [25].

Bu modelin iyimser (RCP 4.5) ve kötümser (RCP 8.5) senaryolarına ait yağış verileri MGM araştırma dairesi başkanlığı klimatoloji şube müdürlüğünden alınmış, çalışmada kullanılan meteoroloji gözlem istasyonuna en yakın noktanın değerleridir (Şekil 2, Tablo3).

2.4. Enterpolasyon Yöntemi Seçimi

Enterpolasyon, bilinen noktalardaki verileri kullanarak yeni verilerin hesaplanmasını sağlayan bir süreçtir. CBS programları yardımı ile noktasal veriler enterpolasyon yapılarak alansal verilere dönüştürülebilmektedir. Bu çalışmada ArcGIS 10.1 programı yardımıyla Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi (Inverse Distance Weighting -IDW) ve Kriging Enterpolasyon yöntemi kullanılarak noktasal SYİ değerleri alansal değerlere dönüştürülmüştür.

IDW yöntemi örnek noktaların bilinen değerleri yardımıyla bilinmeyen noktaların değerlerinin belirlenmesinde kullanılır. Bilinen noktadan uzaklaşan çeşitli noktalar mesafedeki artışa bağlı olarak bilinmeyen noktaların değeri hesap edilir. Tahmin edilen bu değerler, yakın civardaki noktalara uzaklık ve büyüklüğe ait fonksiyon olup, mesafenin artması ile tahmin edilecek nokta üzerindeki etki ve önemi azalır.

Kriging yöntemi, bilinen yakın noktalardan alınmış değerleri kullanarak, diğer noktalardaki değerlerin en iyi ve kararlı sonuçlarını tahmin eden bir yöntemdir. Kriging yönteminde tahmin edilecek bir noktada araştırılan değer için enterpolasyon yapmada bu noktaya komşu ve değerleri bilinen en az 6 ile 8, en çok 16 ile 24 arasında farklı nokta kullanılır.

1956-2011 yılları arasındaki yağış verilerinden SYİ 1 değerleri hesaplanmıştır. Yıllık kuraklık şiddet değerlerini elde etmek için, o yıldaki aylarda -1.5'dan küçük SYİ değerleri toplanarak 12'ye bölünmüş ve bu değer SYİ değeri -1.5'dan küçük olan ay sayısı ile çarpılmıştır. Bu değeri elde etmekteki amaç her kuraklık olayını belirli bir yıl içinde eşit olarak dağıtmak ve kuraklığı aralıksız olarak incelemektir.

15 havza içi 14 tane de havzaya komşu olmak üzere toplam 29 noktanın yıllık SYİ değerinden, havza içindeki Geyve, Beypazarı ve Bozüyük yağış istasyonlarının SYİ 1 değerleri alansal enterpolasyon yönteminde tahmin edilmek üzere ayrılmış ve 26 nokta ile alansal enterpolasyon yapılmıştır. Bu üç istasyonun seçilme nedeni aylık toplam yağış verilerinin ham olarak daha az eksikçe sahip olmamasıdır. Diğer bir deyişle bu üç istasyonda verilerin gerçeklik oranı daha fazladır. Daha sonra Geyve, Beypazarı ve Bozüyük istasyonlarının gerçek değerleri ile tahmin edilen değerleri arasındaki doğruluk karşılaştırılmıştır. Bu doğruluk karşılaştırması yapılırken tahmin edilen istasyonların gerçek değerleri ile tahmin edilen değerleri arasındaki determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama kare hatalar (MSE) ve mutlak hata (ME) dikkate alınmıştır. Her üç istasyon için determinasyon katsayısı, ortalama mutlak hata ve ortalama kare hatalar IDW yönteminde daha iyi sonuçlar verirken, mutlak hata değerlerinde Kriging yöntemi daha iyi sonuç vermiştir. Bunun sonucunda IDW yönteminin çalışma alanı için daha iyi olduğuna karar verilmiştir. Tahmin edilen istasyonlara ait determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama kare hatalar (MSE) ve mutlak hata (ME) değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tahmin edilen istasyonlara ait determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama kare hatalar (MSE) ve mutlak hata (ME) değerleri

		GEYVE	BEYPAZARI	BOZÜYÜK
R^2	IDW	0.66	0.5915	0.4191
	KRIGING	0.6003	0.5295	0.3644
MAE	IDW	0.2679	0.3971	0.345
	KRIGING	0.3012	0.4128	0.3564
MSE	IDW	0.1338	0.2902	0.2484
	KRIGING	0.1612	0.3331	0.2897
ME	IDW	0.0582	0.0191	0.13
	KRIGING	0.0492	0.0134	0.1029

2.5. Kuraklık Frekans Analizi

IDW yöntemi ile oluşturulan kuraklık haritaları CBS ortamında her bir piksel MS EXCEL ortamında her bir hücreye denk gelecek şekilde dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm ile her bir pikselin noktasal kuraklık şiddeti elde edilmiştir. Daha sonra bu noktasal kuraklık şiddetleri %1, %10, %30, %50, %70 ve %100 için alansal yüzdelere dönüştürülmüştür. Bu alan yüzdeleri için 2, 5, 10, 25, 50, 100 yıllık dönüş aralıklı frekans analizi yapılmıştır. Yapılan frekans analizinin hangi dağılıma uyduğunu tespit etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare testlerine tabi tutulmuştur. Testler sonucu dağılımın Gamma dağılıma uyduğunu tespit edilmiştir.

3. BULGULAR

Sakarya havzası için oluşturulan kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri ile 1956 ile 2011 yılları arasında gerçekleşen 2, 5, 10, 25, 50, 100 yıllık dönüş aralıklı kuraklık olaylarının şiddetleri ve havzadaki etki alanlarının yüzdeleri Şekil 3'te görülmektedir.

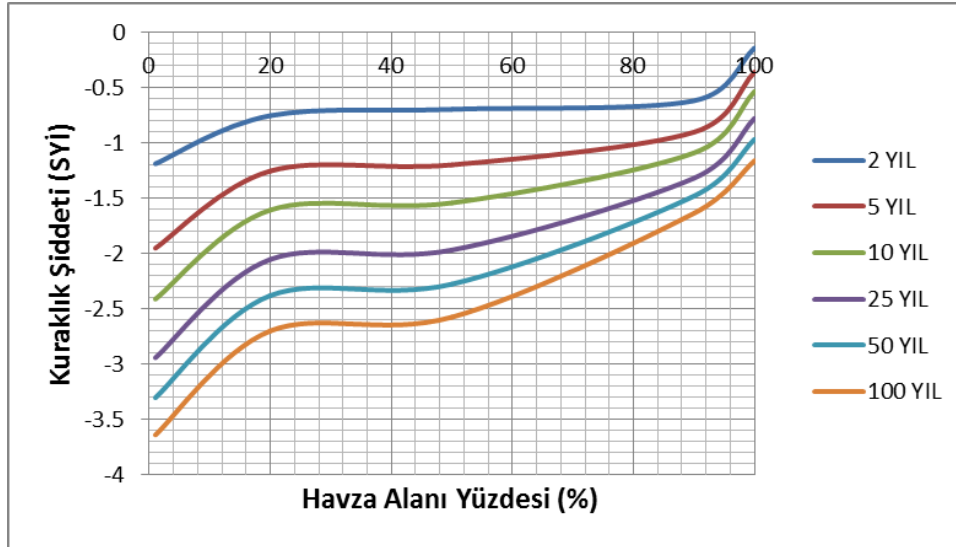


Şekil 3. Gözlemlenmiş yağış verileri kullanılarak oluşturulan kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri

Havzanın %50'si için 2,5,10,25,50 ve 100 yıllık dönüş aralıklı kuraklık şiddetleri sırası ile -0.70, -1.30, -1.50, -1.80, -2.20, -2.40 olarak okunur. Bu da tekerrür süresi arttıkça kuraklık şiddetinin arttığını göstermektedir. Doğal olaylarda (taşkın, kuraklık, deprem vs.) tekerrür süresi arttıkça şiddetin de arttığı bilinmektedir.

Havza alanının yaklaşık %10'undan %70'ine kadar olan alan için 5 yıldan büyük tekerrür süreleri aşırı kuraklık (SYİ < -2) görülmüştür.

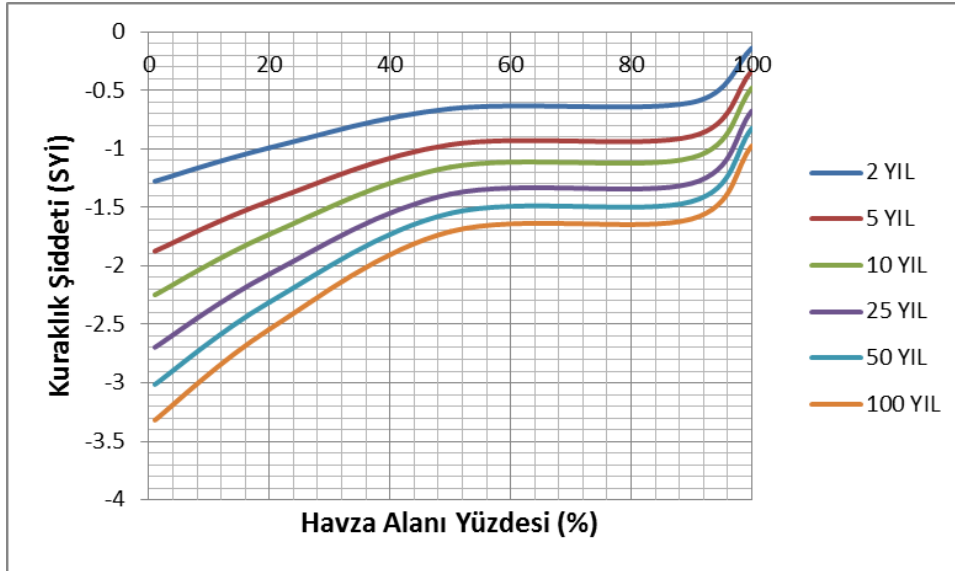
Havza için 2020-2098 yılları arası HadGEM-ES RCP 4.5 verileri için oluşturulmuş kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. HadGEM-ES RCP 4.5 verileri kullanılarak oluşturulan kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri

HadGEM-ES RCP 4.5 verileri için 25 yıl ve daha fazla tekerrür sürelerinde havza alanının yaklaşık %40'ından daha azında kuraklık şiddetinin -2'den küçük olduğu görülmektedir.

Havza için 2020-2098 yılları arası HadGEM-ES RCP 8.5 verileri için oluşturulmuş kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri Şekil 5'te verilmiştir.

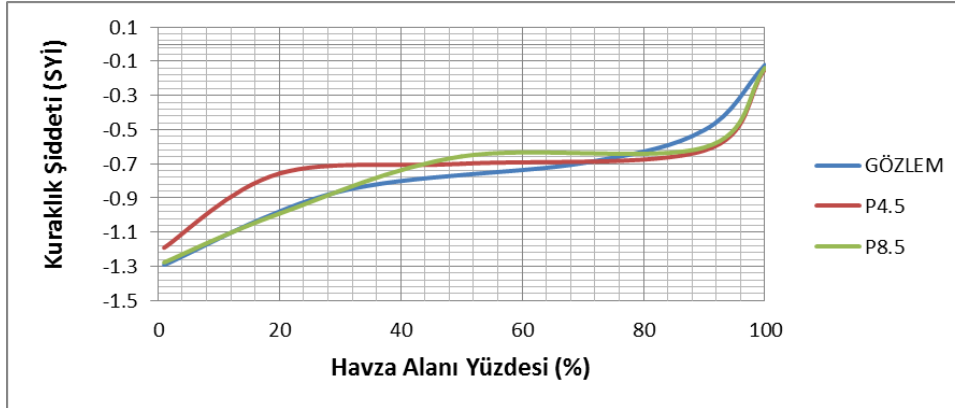


Şekil 5. HadGEM-ES RCP 8.5 verileri kullanılarak oluşturulan kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri

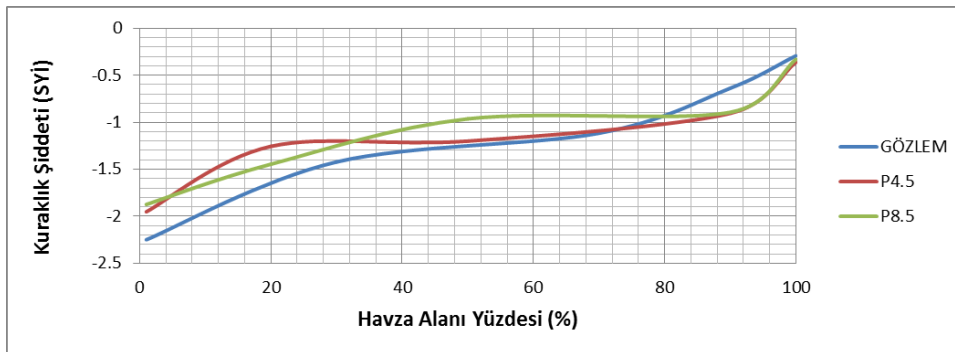
HadGEM-ES RCP 4.5 verileri için 25 yıl ve daha fazla tekrerrü sürelerinde havza alanının yaklaşık %20'sinden daha azında kuraklık şiddetinin -2'den küçük olduğu görülmektedir. Gözlemlenmiş yağış verileri ve projeksiyon verilerinden elde edilmiş 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl tekrerrü süreleri için kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans eğrileri sırasıyla Şekiller 6, 7, 8, 9, 10, 11 'de verilmiştir.

Tüm dönüş aralıkları için gözlemlenmiş yağış verilerinden elde edilmiş kuraklık şiddeti değerlerinin 2020-2098 yılları arası projeksiyon verilerinden elde edilen kuraklık şiddeti değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu senaryolara göre 2020-2098 yılları arasında yağışların ortalamadan sapsmasının daha düşük olacağı görülmektedir.

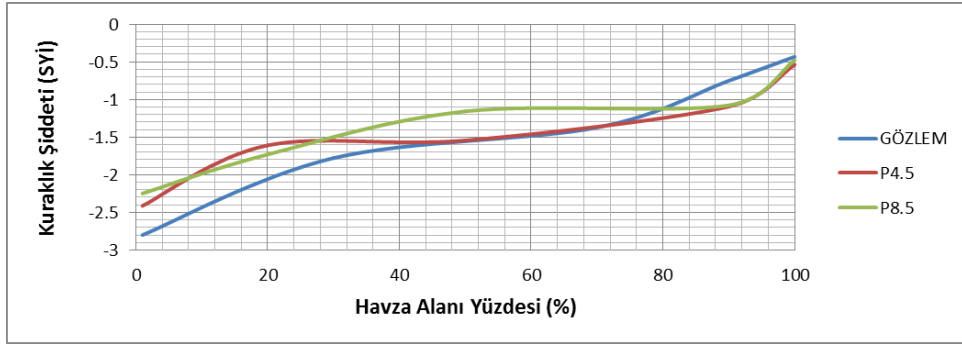
25 yıl dönüş aralığı için havza alanının %40'ından daha azında gözlemlenmiş yağış verileri ile elde edilen grafikte çok şiddetli kuraklık ($SYİ < -2$) gözlemlenirken, projeksiyon verilerinde aynı tekrerrü süresi için alan yüzdesi eşik değerinin %20 olduğu görülmüştür.



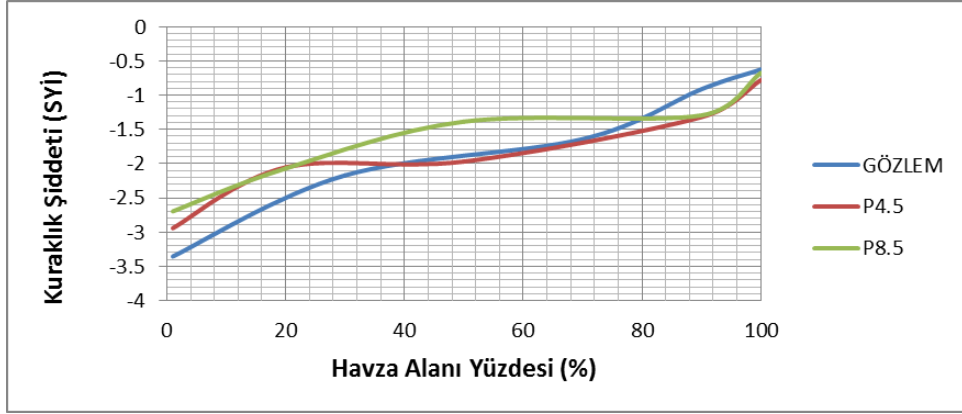
Şekil 6. 2 yıl dönüş aralığı için kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans grafiği



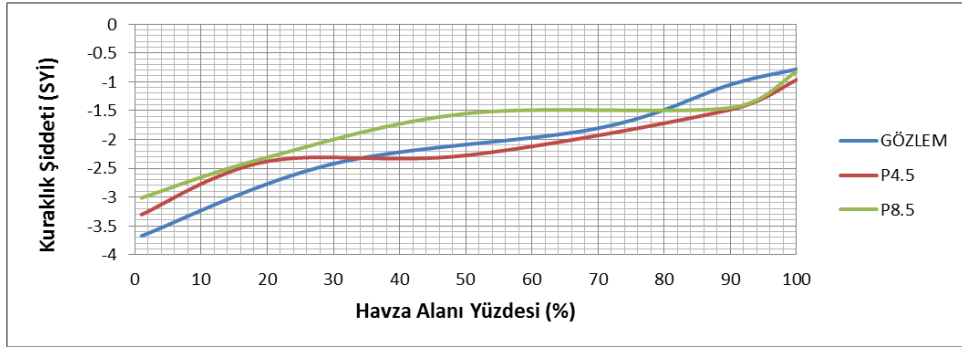
Şekil 7. 5 yıl dönüş aralığı için kuraklık şiddeti- alan yüzdesi- frekans grafiği



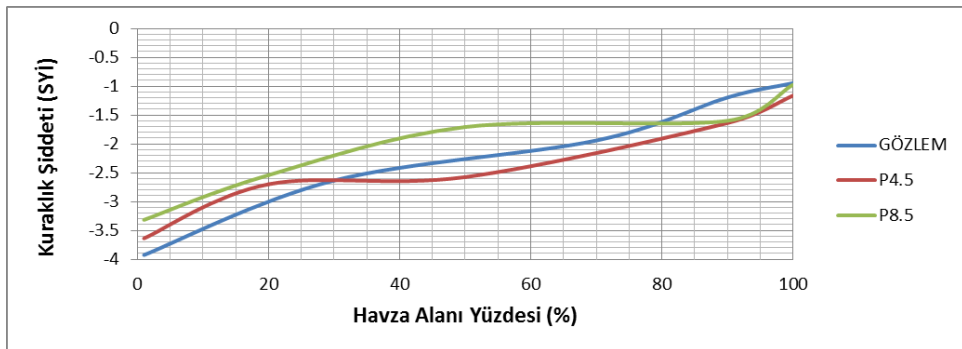
Şekil 8. 10 yıl dönüş aralığı için kuraklık şiddeti-alan yüzdesi-frekans grafiği



Şekil 9. 25 yıl dönüş aralığı için kuraklık şiddeti-alan yüzdesi-frekans grafiği



Şekil 10. 50 yıl dönüş aralığı için kuraklık şiddeti-alan yüzdesi-frekans grafiği



Şekil 11. 100 yıl dönüş aralığı için kuraklık şiddeti-alan yüzdesi-frekans grafiği

4. SONUÇLAR

Kuraklık birçok canlının hayatını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen en önemli doğal afetlerden biridir. Bu nedenle iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkilerini araştırmak su kaynakları yönetimi için önem arz etmektedir. Bu çalışmada gözlemlenmiş yağış verileri ve HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları kullanılarak Sakarya Havzasında meteorolojik kuraklığın zamansal ve alansal özellikleri araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan tüm dönüş aralıkları için HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 verileri ile yapılan hesaplamalarda kuraklık şiddeti değerlerinin gözlemlenmiş yağış verileri ile hesaplanan kuraklık şiddeti değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerler gelecek dönem için kuraklık tehlikesinin daha az olduğunu göstermemektedir. Nitekim MGM 2015 raporunda 1971-2000 dönemi referans alındığında Sakarya Havzası için HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 senaryosuna göre yağış ortalamalarında 2016-2040 yılları arası %5-10, 2041-2099 yılları arasında ise %0-5 arası azalma öngörülmektedir. Aynı modelin RCP 8.5 senaryosunda ise yağış ortalamalarında 2016-2070 yılları arası %0-5, 2071-2099 yılları arasında ise %5-10 arası azalma öngörülmektedir (MGM 2015). Bu durumda gelecek dönem yağışlarının ortalama daha az sapacağı kanısına varılabilir.

Projeksiyon verileri belirli parametreler kullanılarak oluşturulan modeller kullanılarak elde edilmiş değerlerdir. Bu değerler her ne kadar gerçek olmasa da geleceğe ışık tutması adına son yıllarda birçok çalışmada kullanılmış ve geçerliliği kabul edilmektedir. Bu bilgiler ışığında gelecekte farklı dönemler ve farklı referans yılları için de kuraklık tahmini yapılmalı ve yaşanabilecek olası su sıkıntılarını için gerekli önlemler önceden alınmalıdır.

Yazar Katkıları

Akın DUVAN: Tüm hesapları yapmış ve makaleyi yazmıştır. (%60)

Gaye AKTÜRK: Harita girdilerini üretmiş ve son okumada yardımcı olmuştur. (%20)

Osman YILDIZ: Fikrin ortaya çıkmasını sağlamış ve son okumada yardımcı olmuştur. (%20)

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

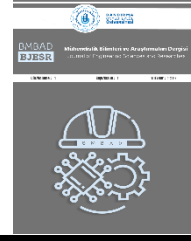
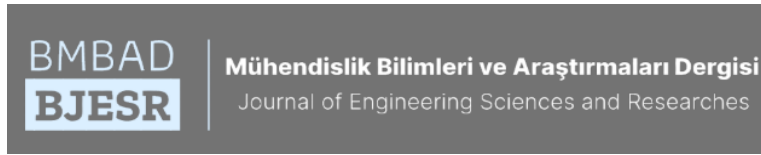
Teşekkür

Tüm meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü(MGM)'nden temin edilmiştir. Veri temininde kolaylık sağlayan MGM'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] WMO, "Extreme Agrometeorological Events", CagM-X Working Group, Geneva, 1997.
- [2] Z. Hao, A. AghaKouchak, N. Nakhjiri and A. Farahmand, "Global integrated drought monitoring and prediction system", vol. 1, no.1, pp. 1-10, 2014.
- [3] T. B. McKee, N. J. Doesken, and J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales", Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology vol. 17, no. 22, pp. 179-183, 1993.
- [4] A. I. Jasim, and T. A. Awchi, "Regional meteorological drought assessment in Iraq" Arabian Journal of Geosciences, vol.13, no. 7, pp.1-16, 2020.
- [5] M. Türkeş, "Türkiye'nin İklimsel Değişkenlik Ve Sosyo-Ekolojik Göstergeler Açısından Kuraklıktan Etkilenebilirlik Ve Risk Çözümlemesi" Ege Coğrafya Dergisi, vol. 26 no.2, pp.47-70, 2017.
- [6] M. H. Afshar, A. U. Sorman, and M. T. Yılmaz "Conditional copula-based spatial-temporal drought characteristics analysis—a case study over Turkey", Water, vol. 8, no. 10, pp.426, 2016.
- [7] O. Yıldız, "Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanlı dam basin, Turkey", Scientific Research and Essays, vol. 4, no. 4, pp. 249-255, 2009.
- [8] O. Yıldız, "Spatiotemporal Analysis Of Historical Droughts In The Central Anatolia, Turkey", Gazi University Journal Of Science, vol.27, no. 4, pp.1177-1184, 2014.
- [9] Duvan, G. Akatürk, and O. Yıldız, "Kuraklık Haritaları Oluşturmada IDW ile Kriging Enterpolasyon Metotlarının Karşılaştırılması ve Sakarya Havzası Örneği", 10. Ulusal Hidroloji Kongresi pp.465-472, 2019.
- [10] T. W. Kim, J. B. Valdes, and J. Aparicio, "Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico", Water International, vol. 27, no. 3, pp. 420-430, 2002.
- [11] A. İlker, Ö. Terzi and E. Şener, "Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği", Teknik Dergi, vol. 30, no. 3, pp. 9213-9219, 2019.
- [12] E. D. Taylan and D. Damçayırı, "Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile Tahmini", Teknik Dergi, vol.27, no. 3, pp. 7551-7559, 2016.
- [13] H. Doğan, D. Yılmaz, O. Kılıç,(2013). "Orta Kelkit Havzası'nın Bazı Toprak Özelliklerinin Ters Mesafe Ağırlık Yöntemi (IDW) ile Haritalanması ve Yorumlanması" Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, vol. 6, pp. 46-54, 2013.
- [14] Ö. Doğru, M. Keskin, K. Özdoğdu, N. İliev, N. N. Uluğtekin, F. Bektaş Balçık, Ç. Göksel, S. Sözen, "Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi ve Sunulması İçin Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması", TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, pp.31, 2011.
- [15] A. Loukas, L. Vasiliades, and J. Tzabiras, "Climate change effects on drought severity" Advances in Geosciences, vol.17, pp. 23-29, 2008.
- [16] A. D. Mehr, and E. Kahya "Climate change impacts on catchment-scale extreme rainfall variability: case study of Rize Province, Turkey", Journal of

- Hydrologic Engineering, vol.22, no. 3, pp.05016037, 2017.
- [17] Wu, Z. Xian, and G. Huang, "Meteorological drought in the Beijiang River basin, South China: current observations and future projections", *Stochastic environmental research and risk assessment*, vol. 30, no. 7, pp. 1821-1834, 2016.
- [18] M. Osuch, R. J. Romanowicz, D. Lawrence, and W. K. Wong, "Trends in projections of standardized precipitation indices in a future climate in Poland", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 20, no. 5, pp. 1947-1969, 2016.
- [19] M. H. Afshar, A.U. Sorman, F. Tosunoglu, B. Bulut, M.T. Yilmaz, and A.D. Mehr "Climate change impact assessment on mild and extreme drought events using copulas over Ankara, Turkey.", *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 141, pp. 1045-1055, 2020.
- [20] A. D. Mehr, A.U. Sorman, E. Kahya, and H. M. Afshar "Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 65, no. 2, pp.254-268, 2020.
- [21] S. Yaykiran, "Sakarya Havzası'nın Yüksek Çözünürlüklü Hidrolojik Modelinin Yapılandırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [22] HKEP. "Havza Koruma Eylem Planları, Sakarya Havzası Raporu", T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı adına TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 2013.
- [23] W. J. Collins, N. Bellouin, M. Doutriaux-Boucher, N. Gedney, P. Halloran, T. Hinton, and S. Woodward "Development and evaluation of an Earth-system model–HadGEM2", *Geoscientific Model Development*, vol. 4, pp. 1051–1075, 2011.
- [24] G. M. Martin, et al., "The HadGEM2 family of met office unified model climate configurations", *Geoscientific Model Development*, vol. 4, pp. 723–757, 2011.
- [25] D. P. Van Vuuren, et al. "The representative concentration pathways: an overview", *Climatic change* vol. 109, no. 1, pp.5-31, 2011.
- [26] M. Demircan, H. Gürkan, O. Eskioğlu, H. Arabacı, and M. Coşkun, "Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios", *Türkiye Su Bilimleri ve Yönetimi Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 22-43, 2017.
- [27] T. Stocker, "Climate Change 2013 The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, 2014.
- [28] M. A. Giorgetta, et al. "Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5". *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, vol.5, no. 3, pp. 572-597, 2013.
- [29] R. H. Moss, et al. "Towards new scenarios for the analysis of emissions: Climate change, impacts and response strategies", *Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat (IPCC)*, 2008.
- [30] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, *Yeni Senaryolar ile Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları*, TR2015-CC, 2015.
- [31] WMO, "Drought monitoring and early warning: Concepts, progress and future challenges", *World Meteorological Organization*, Geneva, 2006.



Salanda Fay Zonu (SFZ) ile İlişkili Traverten Oluşumlarının Paleoklimsel Önemi Paleoclimatic Significance of Travertine formations associated with the Salanda Fault Zone (SFZ)

Paleoclimatic Significance of Travertine Formations Associated with the Salanda Fault Zone (SFZ)

¹Ismail KOÇAK  ²Uğur TEMİZ  ³Nursel ÖKSÜZ 

¹Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 10200, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, 66900, Yozgat, Türkiye

¹ikocak@bandirma.edu.tr, ²ugur.temiz@bozok.edu.tr,

³nursel.oksuz@bozok.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 7 July 2021

Accepted : 4 August 2021

Keywords:

Travertine, Salanda Fault Zone, Paleoclimate

ABSTRACT

In this study, the U-series ages of the Balkayası and Sarıhıdır travertine formations associated with the Salanda Fault Zone (SFZ) located in the Central Anatolian Volcanic Region (CAVP) were compared with global and regional paleoclimate records. It was determined that the age of the travertines exposed in the study area varies between 9-55 thousand years according to the U-series age analysis data. $\delta^{13}\text{CPDB}$ values were determined between 10.97 and 13.16, and $\delta^{18}\text{OPDB}$ values were determined between -12.01 and -8.66. Age dates obtained from the travertines reveal that they were formed in MIS 3 (marine isotope layer) and MIS2, representing very cold (dry) periods, and in the initial period of MIS 1. In connection with the age data obtained from the travertine formations, it is interpreted that the strike-slip transition on the SFZ dates back to the Late Pleistocene.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 7 Temmuz 2021

Kabul : 4 Ağustos 2021

Anahtar Kelimeler:

Traverten, Salanda Fay Zonu, Paleoklim

ÖZET

Bu çalışmada, Orta Anadolu Volkanik Bölgesi (OAVB) içerisinde yer alan Salanda Fay Zonu (SFZ) ile ilişkili Balkayası ve Sarıhıdır traverten oluşumlarının U-serisi yaşları küresel ve bölgesel paleoklim kayıtları ile karşılaştırılmıştır. İnceleme alanında yüzeyleyen travertenlerin yaşları, U serisi yaş analizi verilerine göre 9-55 bin yıl arasında değiştiği gözlenmiştir. Bunun yanında $\delta^{13}\text{CPDB}$ 10.97 ile 13.16 arasında ve $\delta^{18}\text{OPDB}$ değerleri ise -12.01 ile -8.66 arasında belirlenmiştir. Travertenlerden elde edilen yaş verileri, çok soğuk (kuru) dönemleri temsil eden MIS (deniz izotop tabakası) 3'te ve MIS 2'de ve MIS 1'in başlangıç periyodunda oluştuklarını ortaya koymaktadır. Traverten oluşumlarından elde edilen yaş verileriyle bağlantılı olarak, SFZ üzerindeki doğrultu atımlı geçişin Geç Pleyistosen'e kadar uzandığı yorumlanmaktadır.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0002-4519-4561

²0000-0002-4151-2972

³0000-0001-7371-3202

1. GİRİŞ

Travertenler, yeryüzünde çeşitli şekil ve boyutlarda gözlenen aktif veya yakın zamanda aktif tektonik, volkanik ve jeotermal alanlarda kalsiyum ve bikarbonat bakımından zengin sıcak jeotermal kaynaklarla ilişkili karbonat birikintileridir [1, 2]. Jeolojik amaçlı çalışmalarda genellikle travertenleri tektonik, mineralojik ve jeokimyasal açıdan konu edinen birçok çalışma söz konusudur. [3-12].

Türkiye’de yüzeyleyen traverten oluşumlarından paleoiklimsel amaçlı yapılan çalışmaların çoğu, Denizli, Afyon (Batı Anadolu), Kırşehir ve Nevşehir’de (Orta Anadolu) yüzeyleyen travertenler üzerinde yoğunlaşmıştır [13-18]. Uysal vd. [14] tarafından yapılan çalışmada, Kırşehir ve Pamukkale travertenlerinden elde edilen U-serisi yaş verileri karşılaştırılarak bölgesel iklimsel değişimler incelenmiştir. Tagliasacchi ve Kayseri-Özer [18], Orta-Geç Pleyistosen dönemindeki Yarıkkavak (Afyon-Türkiye) traverten oluşumlarında paleoklimatik değişikliklerin belirlenmesine yönelik çalışmıştır. Bunun yanında Temiz et al., [19] ise çalışmasında Balkayası (Avanos-Nevşehir) bölgesinde paleoklim verilerini değerlendirmiştir.

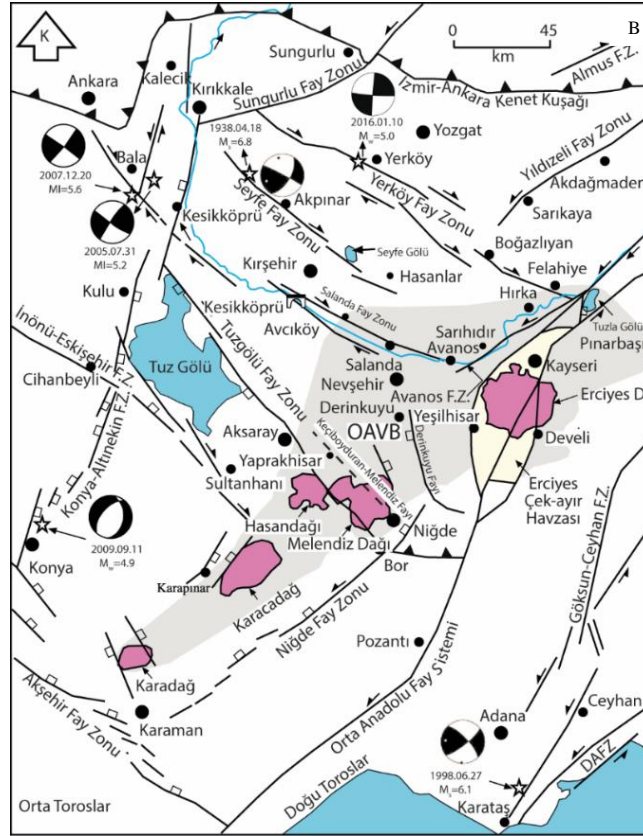
Bu çalışmanın amacı Orta Anadolu Volkanik Provensi’nde (OAVP) yer alan Salanda Fay Zonu’nun evrimiyle bağlantılı olarak oluşan çatlak sırtı traverten oluşumlarının (Balkayası ve Sarıhıdır) U-serisi tarihlendirme yöntemiyle yaşının ve mineralojisinin ortaya konulmasını sağlamaktır. Bunun yanında U serisi yaş verileri ile küresel ve bölgesel iklim olaylarının zamanlaması ile ilişkilendirilmesi de çalışmanın bir diğer amacıdır.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

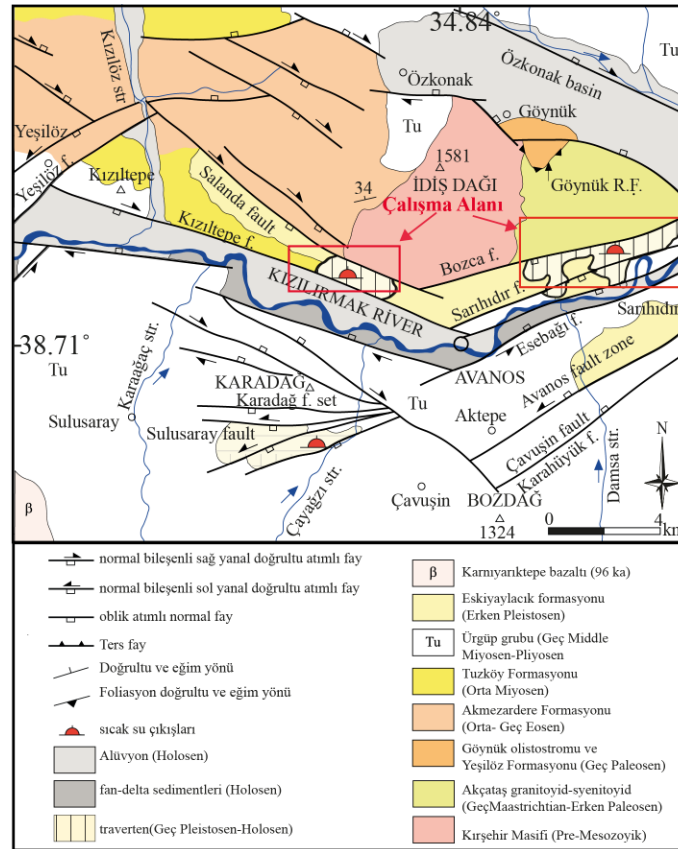
Çalışma alanı, Türkiye’nin neotektonik sınıflandırmasında Kuzeydoğu ve Güneydoğu Anadolu doğrultu atımlı neotektonik bölgesinin doğrultu atımlı ve genişleme bileşenli fayların etkin olduğu bölgededir. Aynı zamanda Avanos ilçesinin yaklaşık 9 km Kuzeydoğusunda bulunan çalışma alanı, Anatolid Kuşağı’ndaki Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) ve Orta Anadolu Volkanik Bölgesi (OAVB) [20] olarak bilinen bölgede yer almaktadır (Şekil 1; [20-23]). Bölgedeki en önemli neotektonik yapılar, KB-GD uzanımlı Tuzgözü Fay Zonu ve KD-GB uzanımlı Orta Anadolu Fay Zonu’dur. Bunların dışında ikinci öneme sahip olan zonlar ise Salanda, Seyfe ve Niğde fay zonlarıdır.

OAKK içinde yer alan Kırşehir masifi, çalışma alanının temelini oluşturmaktadır (Şekil 2). Bu birim masif mermerler, amfibol şistler ve amfibolit bantlı mermerlerden oluşmaktadır [24]. Kırşehir masifi’nin üzerine Geç Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı Akçataş granitoid-siyenitoid gelmektedir [23]. Bu birimi stratigrafik olarak, trakit, latit ve andezit bileşiminde olan Göynük volkanoklastik olistostromu [24] ile çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan Yeşilöz Formasyonu [25] takip eder. Bu birimin üzerine ise sırasıyla çakıltaşı, kumtaşı, siltaşı ve kireçtaşıdan oluşan Orta-Geç Eosen yaşlı Akmezardere Formasyonu ile kumtaşı, siltaşı, kıltaşı, marn, kireçtaşı, halit ve tüffitten oluşan Orta Eosen yaşlı Tuzköy formasyonu üzerler [25]. Tuzköy formasyonunu lav, ignimbrit ve altere piroklastik kayalar ve fluviolacustrine sedimanter fasiyelerden oluşan Miyosen-Pliyosen yaşlı Ürgüp grubu izler [23]. Ürgüp grubunun üzerinde ise sırasıyla Geç Pleyistosen yaşlı pembemsi-gri olivin içeren Karnıyarık bazaltı, Geç Pleyistosen-Holosen yaşlı Sarıhıdır travertenleri, Holosen yaşlı fan-delta birikimleri ve alüvyon gelmektedir [23] (Şekil 2). Balkayası travertenleri morfolojik olarak, aşınmış örtü tipi ve çatlak sırtı traverten olarak iki farklı tipte tanımlanmıştır. Sarıhıdır travertenleri ise orta kalın tabakalı ve bunları kesen çatlak sırtı travertenlerden oluşmaktadır. Bu travertenlerin Salanda fay zonunun farklı zamanlardaki tektonik aktivitesine bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir.





Şekil 1. A- Türkiye'nin başlıca tektonik unsurlarını gösteren harita, kesikli çizgiler kenet bölgelerini temsil eder (Okay ve Tüysüz, [21]'dan değiştirilmiştir). B- Orta Anadolu bölgesindeki aktif faylar ve Orta Anadolu Volkanik Bölgesi (OAVB) konumu [20-23]



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Koçyigit ve Doğan, [23]'dan değiştirilerek alınmıştır)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanından derlenen 10 adet traverten örneği mineralojik analizler için ayrılmıştır. Bu örnekler Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (BİLTEM) PANalytical – Empryan Çok Amaçlı X-Işını Diffraktometresi (MP-XRD) cihazı ile analiz edilmiştir. U-serisi yaşlandırma analizleri ise Bozok Üniversitesi Jeokronoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karbonatlara ait $d^{18}\text{O}$ ve $d^{13}\text{C}$ değerleri için Sarıhıdır travertenlerinde Koçak [12] ve Balkayası travertenlerinde Temiz et al. [19] çalışmalarındaki verilerden yararlanılmıştır. Karbonatlara ait $d^{18}\text{O}$ ve $d^{13}\text{C}$ değerleri KIEL-III cihaz ile hazırlanıp, bir gaz-oranlı kütle spektrometresine (Finnigan MAT 252) bağlı otomatik bir karbonat kullanılarak Arizona Üniversitesi Çevre İzotop Laboratuvarı'nda ölçülmüştür. Yaşlandırma çalışması için ise Sarıhıdır travertenlerinden 4 adet numune alınmıştır. Bu numuneler 100 mesh'e kadar öğütülmüştür ve iki adet traverten örneğinde $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ yaşlandırma yöntemi ile analiz yapılmıştır [26-27]. Ayrıca Sarıhıdır travertenlerinin üç adet yaş verisi de Koçak [12]'dan alınmıştır. Balkayası travertenlerinin yaş değerleri için Temiz et al. [19] çalışmasından yararlanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Mineraloji

Balkayası ve Sarıhıdır bölgesinde yüzeyleyen traverten örneklerinde yapılan XRD incelemelerinde tüm örneklerde kalsit ve eser miktarda kuvars minerali belirlenmiştir.

4.2. ^{13}C and ^{18}O izotop İçerikleri

Bölgede $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ izotop analizi Sarıhıdır ve Balkaayası travertenleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. İlk olarak 10 adet Sarıhıdır traverten örneğinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ değerleri, 10.97 ‰ ile 12.90‰ arasında (ort. 12.24‰) dağılım gösterirken $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ verileri ise -9.77‰ ile -12.01‰ arasındadır (ort. -10.87‰). Son olarak $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ değerleri ise 18.53‰ ile 20.83‰ arasında (ort. 19.71‰) değişmektedir (Tablo 1) [12].

İkinci olarak ise Balkayası travertenlerine ait 14 örnekte $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ izotop analizi yapılmıştır. Buna göre $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ değerleri 11.36 ile 13.16 (ort. 12.14), $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ ise -10.41 ile -8.66 (ort -9.58) aralığında değişmektedir. (Tablo 2) [19].

Tablo 1. Sarıhıdır travertenlerinden alınan örneklerin $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ değerleri [12]

Örnek No	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
Analitik hassasiyet (1 sigma)	± 0.08	± 0.10	
SM-2	12.8	-9.77	20.83
SM-3	10.97	-11.65	18.9
SM-4	11.32	-12.01	18.53
SM-5	12.65	-11.07	19.5
SM-6	12.44	-10.57	20.02
SM-7	12.29	-11.06	19.51
SM-8	12.29	-10.15	20.44
SM-9	12.78	-9.94	20.66
SM-11	12.56	-11.07	19.49
SM-13	12.3	-11.38	19.18
Max.	12.9	-12.01	20.83
Min.	10.97	-9.77	18.53
Ave.	12.24	-10.87	19.71

4.3. U/Th Yaş Verileri

Çalışma alanında yer alan karbonatlardan tarihlendirme çalışmaları için kristalen kalsit örnekleri seçilmiştir. Sarıhıdır bölgesinden iki örnek üzerinde tarihlendirme çalışması yapılmış ancak sadece bir örnekten yaş verisi elde edilebilmiştir (Tablo 3). Koçak [12] çalışması ile birlikte elde edilen yaş verilerine göre, Sarıhıdır traverten oluşumunun yaklaşık 37- 53 bin yıl olduğu belirlenmiştir.

Balkayası travertenlerinde Temiz et al. [19] çalışmasına göre alınan 11 örnek üzerinde yapılan U serisi yaş analizi sonucunda ise 7 örnekte yaş verisi elde edilebilmiştir (Tablo 3). Yaşlı traverten oluşumlarından alınan örneklerde ^{232}Th kontaminasyonu gözlemlendiğinden bu travertenlerde yaş verisi elde edilememiştir. Elde edilen yaş verilerinin ise 9-55 bin yıl arasında değiştiği görülmüştür.

Tablo 2. Balkayası travertenlerinden alınan örneklerin $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ değerleri [19]

Örnek No	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
Analitik hassasiyet (1 sigma)	± 0.08	± 0.10	
B-13	12.25	-10.41	20.18
B-12	12.14	-8.66	21.98
B-11	12.22	-8.78	21.86
B-10	13.16	-9.83	20.78
B-9M	12.34	-9.49	21.13
B-9K	12.08	-9.92	20.68
B-8	12.41	-9.47	21.15
B-7	12.48	-9.99	20.61
B-6	11.83	-10.32	20.27
B-5	12.31	-9.84	20.77
B-3	12.31	-8.83	21.80
B-2	11.5	-9.26	21.36
B-1K	11.57	-9.17	21.45
B-1M	11.36	-10.13	20.46
Max	13.16	-8.66	21.98
Min	11.36	-10.41	20.18
Ave.	12.14	-9.58	21.04

Tablo 3. Balkayası ve Sarıhıdır travertenlerinden alınan örneklerin U-serisi yaş verileri *[12], ** [19]

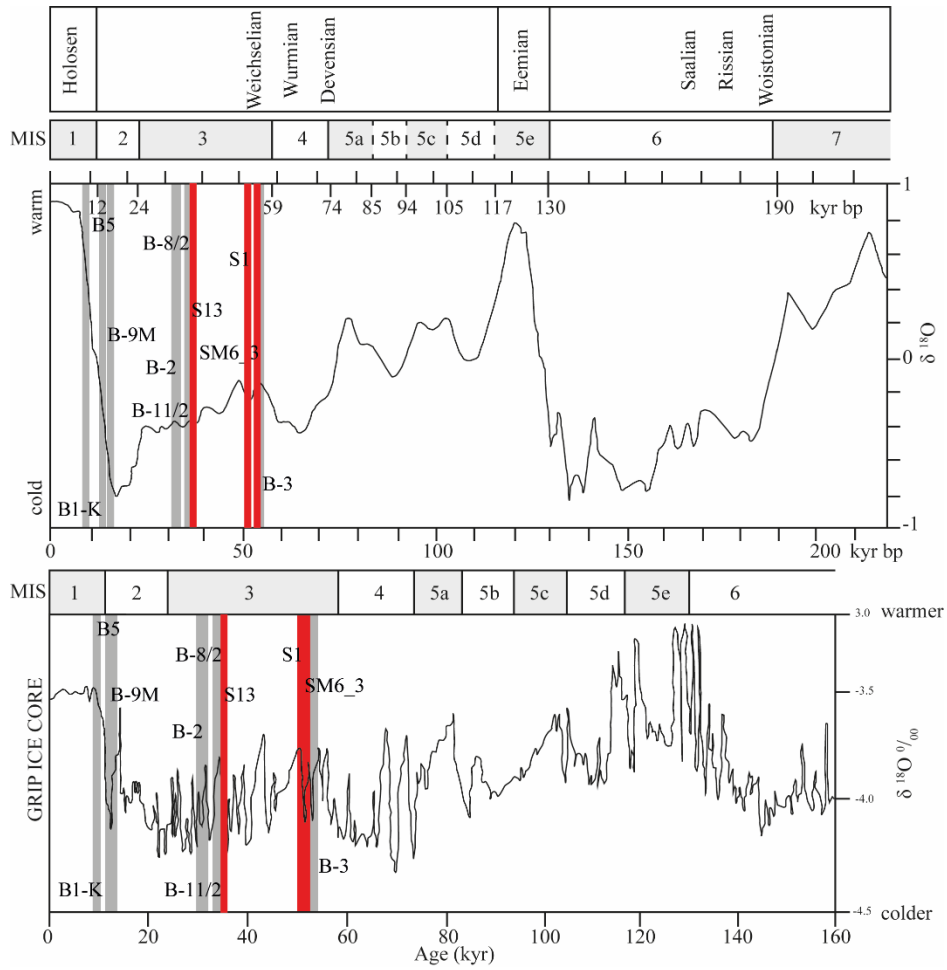
Örnek No:	^{232}Th [Bq/g]	^{230}Th [Bq/g]	^{238}U [Bq/g]	^{234}U [Bq/g]	$^{230}\text{Th}(\text{aut})$ [mBq/g]	$^{234}\text{U}(\text{aut})$ [mBq/g]	$\left(\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}\right)_m$	$\left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}}\right)_m$	$\left(\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}\right)_m$	$\left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}}\right)_{\text{aut}}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ age [y]	Error on age [y] (in years, uncertainties: 2σ , i.e. 95% confidence interval)
SM6-2	0.6489	1.2978	-	-	0.065	-	7.67	2	-	-	-	-
SM6_3*	0.4198	1.3644	2.02	2.87	0.094	0.24	1.42	3.25	6.83	0.386	52988	26934
SM9*	0.2836	2.8358	1.06	1.73	0.264	0.15	1.64	10	6.11	1.718	-	-
S1*	0.1307	1.6994	3.31	4.36	0.157	0.42	1.32	13	33.33	0.371	50466	19743
S13	0.2305	3.6881	9.17	12.08	0.346	1.18	1.32	16	52.39	0.292	37546	11062
B1-K**	0.1629	0.6517	8.04	6.32	0.049	0.62	0.79	4	38.78	0.079	8999	± 3660
B-2**	0.1794	2.2122	4.78	8.35	0.209	0.82	1.75	12.33	46.53	0.254	31850	± 8135
B-3**	0.4913	2.8073	4.62	6.33	0.232	0.58	1.37	5.71	12.89	0.396	54914	± 16971
B-5**	0.6794	1.2909	7.63	6.23	0.061	0.55	0.82	1.9	0.82	0.110	12702	± 3563
B-7**	0.7548	1.5095	0.27	1.64	0.075	0.09	6.2	2	2.18	0.849	-	-
B-8/2**	0.0914	0.5487	1.78	2.01	0.048	0.19	1.13	6	21.99	0.249	31133	± 18148
B-10**	7.9801	3.4541	4.08	5.76	-0.453	-0.22	22.3	0.43	0.72	2.037	-	-
B-9M**	1.4545	3.2322	17.25	16.01	0.178	1.46	16.7	2.22	11.01	0.122	14171	± 2855
B-9K**	2.6366	4.2687	4.79	4.46	0.163	0.18	0.93	1.62	1.69	0.895	-	-
B-12**	0.3762	3.6993	2.76	4.17	0.344	0.39	1.51	9.83	11.08	0.880	-	-
B-11/2**	0.9983	3.0574	0.1	8.56	0.206	0.76	82	42.9	43.2	0.272	34585	± 8881

5. TARTIŞMA

Türkiye’de U-serisi yaş verileri ile global ve lokal ölçekte paleoklim incelemeleri yapılan çalışmalar mevcuttur. Bunlardan biri Uysal vd. [14] tarafından Türkiye’nin iki farklı bölgesinde yer alan Kırşehir ve Pamukkale travertenlerinde yaptıkları çalışmadır. Araştırmacılar bu çalışmada yüksek çözünürlüklü U-serisi yaş verileri ile global ve lokal ölçekte paleoklim karşılaştırması yapılmıştır.

Bu çalışmada ise Balkayası ve Sarıhıdır travertenlerinden alınan yaş verileri ile elde edilen paleoklim verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 3). Kırşehir travertenlerinde yapılan çalışmada, elde edilen 11.3 bin yıl ve 10.6 bin yıl aralığı için kuru/soğuk döneme karşılık geldiği belirtilmektedir [14]. Bu saha Balkayası traverten sahasının yaklaşık 70 km Kuzeybatısında yer almaktadır. Çalışma alanındaki traverten örneklerinde yapılan U-serisi yaşlandırma yöntemi ile 9-12 bin yıl değerleri elde edilmiş olup bu yaşların Uysal vd.’nin [14] çalışması ile uyumlu olduğu, çalışma alanındaki travertenlerin de kuru/soğuk dönemde oluştuğu düşünülmektedir. Öte

yandan, Kırşehir travertenlerinden elde edilen 15.7 bin yıl yaş verisiyle aşırı soğuk ve kurak bir dönemi temsil eden Heinrich Event One (H1) adlı büyük iklim değişikliği ile benzerlik sunmakta olduğu da düşünülebilir [14]. Balkayası travertenlerinden elde edilen 12-14 bin yıl aralığındaki yaş verilerinin de bu dönem ile uyumlu olduğu görülmektedir. Uysal vd. [14] yaptıkları çalışmada Pamukkale ve Kırşehir jeotermal sahaları için 44-27 bin yıl aralığındaki travertenlerden yaş verisi elde edilemediğini buna rağmen, bu zaman aralığında soğuk/kurak bir dönemin yaşandığı şeklinde yorumlamıştır. Sarıhıdır örneklerinde 37 bin yıl, Balkayası örneklerinde ise 31 ve 32 bin yıl yaşları elde edilmiş olup bu travertenlerin kesin olmasa da soğuk/kuru dönemde çökdikleri söylenebilir (Şekil 3). Van Andel ve Tzedakis [28]'a göre 39-36 bin yıl ve 32 bin yıl zamanları ılımanlaşma dönemlerine karşılık gelmekte olup çalışma alanı ile uyumludur. Bunun yanında Bar-Matthews vd, [29] çalışmasında bölgenin 17- 60 bin yıl arasında meydana gelen en sıcak ve en yağışlı koşulları temsil ettiğini söylemiştir. Ayrıca 36 ve 54 bin yıllık dönemin sıcak ve yağışlı iklimdeki $\delta^{18}O$ değerleri ile benzer olduğunu belirtmiştir. Bar-Matthews vd, [29] çalışmasında yaklaşık 36 ve 54 bin yıl yaşların Kuvaterner dönemindeki sıcak zirvelere karşılık geldiğini belirtmiştir [30]. Bu travertenlerden 50-55 bin yıl arasında değişen yaşlar tespit edilmiştir. SPECMAP ve Grönland'da yapılan buzul sondajlarından elde edilen GRIP Projesindeki çalışmalara göre MIS-3'e karşılık gelmektedir (Şekil 3). Bu dönemin soğuk/kurak dönem ile uyumlu olduğu düşünülebilir. Öte yandan 31-54 bin yıl arasındaki dönemde Kırşehir ve Pamukkale'de traverten çökelişi oluşmamasına rağmen aynı dönemde Sarıhıdır ve Balkayası'nda traverten çökelişi gerçekleşmiştir. Bunun sebebinin her bir bölgenin tektonik aktivitesindeki farklılıktan olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. SPECMAP deniz paleoiklimsel $\delta^{18}O$ kaydı [31] ve GRIP: Grönland Buz Projesi [32] ile karşılaştırıldığında Balkayası ve Sarıhıdır travertenlerinin U/Th yaş verilerine göre karşılaştırılması (Balkayası-gri çizgiler, Sarıhıdır-kırmızı çizgiler)

6. SONUÇ

- Sarıhıdır ve Balkayası traverten örneklerinin mineralojik bileşiminin büyük oranda kalsitten ve eser miktarda da kuvarstan oluştuğu belirlenmiştir.
- Bölgeden alınan örneklerin U serisi yaş verilerine göre traverten çökelişlerinin 9 ile 55 bin yıl arasında oluştuğu ortaya konulmuştur.

- Travertenlerden elde edilen yaş verilerine ve izotop sonuçlarına göre karbonat kayaçların global ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmalara uygun olduğu ve genel olarak kuru/soğuk dönemde çökeldiği düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sunmuştur.

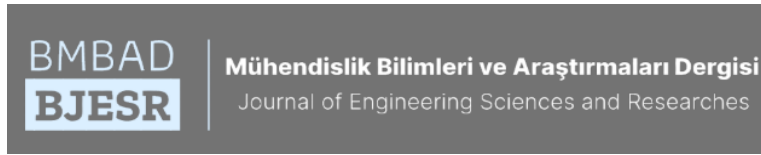
Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKÇA

- [1] U. Temiz, İ. Koçak, N. Öksüz, and S. Akbay “U-series dating and origin of Yaprakhisar (Guzelyurt-Aksaray) travertines in Central Anatolian Volcanic Province, Turkey” Arab J Geosci, vol. 11, pp. 699 2018.
- [2] A. Brogi, and E. Capezzuoli “Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy)” Int J Earth Sci, vol. 98, no. 4, pp. 931-947 2009.
- [3] H.S. Chafetz, and R.L. Folk “Travertines - Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents” J Sediment Petrol, vol. 54, no. 1, pp. 289-316 1984.
- [4] H.S. Chafetz, and S.A. Guidry “Bacterial shrubs, crystal shrubs, and ray-crystal shrubs: bacterial vs. abiotic precipitation” Sediment Geol, vol. 126, no. 1-4, pp. 57-74. 1999.
- [5] W. D'Alessandro, S. Glammanco, S. Bellomo, and F. Parello “Geochemistry and mineralogy of travertine deposits of the SW flank of Mt. Etna (Italy): Relationships with past volcanic and degassing activity” J Volcanol Geoth Res, vol. 165, no.1-2, 64-70, 2007.
- [6] B.W. Fouke, J.D. Farmer, D.J. Des Marais, L. Pratt, N.C. Sturchio, P.C. Burns, and M.K. Discipulo. “Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertine-depositing hot springs (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA)” J Sediment Res, vol. 70, no.3, 565-585 2000.
- [7] M. Ozkul, S. Kele, A. Gokgoz, C.C. Shen, B. Jones, M.O. Baykara, I. Forizs, T. Nemeth, Y.W. Chang, and M.C. Alcicek “Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data” Sediment Geol, vol. 294, pp. 179-204 2013.
- [8] S.M. Ritter, M. Isenbeck-Schroter, A. Schroder-Ritzrau, C. Scholz, S. Rheinberger, B. Hofle, and N. Frank “Trace element partitioning in fluvial tufa reveals variable portions of biologically influenced calcite precipitation” Geochim Cosmochim Ac, vol. 225, pp. 176-191 2018.
- [9] P.A. Teboul, C. Durlet, E.C. Gaucher, A. Virgone, J.P. Girard, J. Curie, B. Lopez, and G.F. Camoin “Origins of elements building travertine and tufa: New perspectives provided by isotopic and geochemical tracers” Sediment Geol, vol. 334, pp. 97-114 2016.
- [10] U. Temiz, and F. Savas “Relationship between Akhuyuk fissure ridge travertines and active tectonics: their neotectonic significance (Eregli-Konya, Central Anatolia)” Arab J Geosci, vol. 8, no.4, pp. 2383 2015.
- [11] I.T. Uysal, Y. Feng, J.X. Zhao, E. Altunel, D. Weatherley, V. Karabacak, O. Cengiz, S.D. Golding, M.G. Lawrence, and K.D. Collerson “U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertine in co-seismic fissures” Earth Planet Sc Lett, vol. 257, no. 3-4, 450-462 2007.
- [12] İ. Koçak “Sarıhıdır manganese mineralization related to travertine, Central Anatolian Volcanic Province, Turkey” Geodin Acta, vol. 32, no. 1, pp. 11-24 2020.
- [13] M. Vermoere, P. Degrysen, L. Vanhecke, Ph. Muchez, E. Paulissend, E. Smetsa, and M. Waelkense “Pollen analysis of two travertine sections in Basköy (southwestern Turkey): implications for environmental conditions during the early Holocene” Rev Palaeobot Palynol, vol. 105, no.1-2, pp. 93-110, 1999.
- [14] I.T. Uysal, Y. Feng, J. Zhao, V. Işık, P. Nuriel, and S. D. Golding “Hydrothermal CO2 degassing in seismically active zones during the late Quaternary” Chem Geol, vol. 265, no.3-4, pp.442-454 2009.
- [15] L. De Filippis, C. Faccenna, A. Billi E. Anzalone M. Brilli, M. Soligo, and P. Tuccimeia “Plateau versus fissure ridge travertines from Quaternary geothermal springs of Italy and Turkey: interactions and feedbacks between fluid discharge, paleoclimate, and tectonics” Earth Sci Rev, vol. 123, pp.35-52 2013.
- [16] S. Kele, M. Özkul, A. Gökgöz, M. O. Baykara, M. C. Alçiçek and N. Tibor “Stable isotope geochemical and facies study of Pamukkale travertines: new evidences of low-temperature non-equilibrium calcite-water fractionation” Sediment Geol, vol. 238, pp.191-212 2011.
- [17] E. Toker, M.S. Kayseri-Özer, M. Özkul and S. Kele “Depositional system and palaeoclimatic interpretations of middle to late Pleistocene travertines: Kocabaş, Denizli, SW Turkey” Sedimentology, vol. 62, pp.1360-1383 2015.
- [18] E. Tagliasacch, and M.S. Kayseri-Özer “Multidisciplinary approach for palaeoclimatic signals of the non-marine carbonates: the case of the Sarıkavak tufa deposits (Afyon, SW-Turkey)” Quat Int, vol. 544, pp. 41-56. 2020.

- [19] U. Temiz, İ. Koçak, N. Öksüz, and S. Akbay “Significance of neotectonic and paleoclimatic Late Pleistocene–Holocene travertine and origins: Balkayası, Avanos—Nevşehir, Central Anatolia/Turkey” *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 2021 <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02065-1>
- [20] V. Toprak, and M. C. Göncüoğlu, “Tectonic Control on the Development of the Neogene Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey” *Geol J*, vol. 28, pp. 357-369 1993.
- [21] A.I. Okay, and O. Tüysüz “Tethyan sutures of northern Turkey” *Geological Society Special Publications*, vol. 156, pp. 475–515 1999.
- [22] Koçyiğit, A., “Orta Anadolu’nun genel Neotektonik Özellikleri ve Depremselliği (The general neotectonic properties and seismicity of Central Anatolia). Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma” *TPJD, Special Issue 5*, pp. 1-26. 2000.
- [23] A. Kocyiğit, and U. Dogan “Strike-slip neotectonic regime and related structures in the Cappadocia region: a case study in the Salanda basin, Central Anatolia, Turkey” *Turk J Earth Sci*, vol. 25, no. 5, pp. 393-417 2016.
- [24] S. Köksal, and C. Göncüoğlu “Geology of the İdiş Dağı - Avanos Area (Nevşehir - Central Anatolia)” *Bull Min Res Exp*, vol. 119, no. 119, pp. 41 - 58 1997.
- [25] R. Demircioğlu “Geology and Structural Features of the Kırşehir Massif and Cover Units In The Gülşehir-Özkonak (Nevşehir) Region” PhD thesis, Geological Engineering, Selçuk University, Konya, 2014.
- [26] J. Eikenberg, G. Vezzu, I. Zumsteg, S. Bajo, M. Ruethi, and G. Wyssling “Precise two chronometer dating of Pleistocene travertine: The Th-230/U-234 and Ra-226(ex) /Ra-226(0) approach” *Quaternary Sci Rev*, vol. 20 no.18, pp. 1935-1953 2001.
- [27] M. Ivanovich and R.S. Harmon (Eds.). “Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences” 2th ed. United Kingdom: Clarendon Press, 1992.
- [28] T.H. Van Andel, and P.C. Tzedakis “Palaeolithic landscapes of Europe and environs, 150,000-25,000 years ago: An overview” *Quaternary Sci Rev*, vol. 15, no. 5–6 pp. 481-500 1996.
- [29] M. Bar-Matthews, A. Ayalon, A. Kaufman, and G.J. Wasserburg “The Eastern Mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel” *Earth Planet Sci Lett*, vol. 166, pp. 85–95 1999.
- [30] L. De Filippis, C. Faccenna, A. Billi, E. Anzalone, M. Brilli, M. Soligo, and P. Tuccimei “Plateau versus fissure ridge travertines from Quaternary geothermal springs of Italy and Turkey: Interactions and feedbacks between fluid discharge, paleoclimate, and tectonics” *Earth-Sci Rev*, vol. 123, pp. 35-52 2013.
- [31] D. Martinson, N.G. Pisias, J.D. Hays, J. Imbrie, T. C. Moore Jr., and N.J. Shackleton “Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: development of a high-resolution 0 to 300,000 year chronostratigraphy” *Quat Res*, vol. 27, pp.1–29 1987.
- [32] Grip (Greenland Ice-core Project) Members “Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core” *Nature*, vol. 364 pp. 203–207 1993.



Elektrik Güç Sistemleri için Kontrollü Kesici Tasarımı Controlled Breaker Desing for Electric Power Systems

¹İsmail BOZDAĞ ²Serhat Berat EFE

¹Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

²Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

¹ismailbozdag@ogr.bandirma.edu.tr, ²sefe@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 17 August 2021

Accepted : 15 September 2021

Keywords:

Fault analysis, High voltage breakers, Electric power systems.

ABSTRACT

While designing modern power systems, it is aimed to keep the cost items first and then the malfunctions that may occur on the relevant system at minimum levels. There are overhead lines with radial and individual outlets among the distribution networks built. About lines, frequent breakdowns occur due to bird strikes, insulator breakdowns, humidity, etc. In this study, it is aimed to examine the effects of faults experienced at different points of a power system and to dampen these faults with the designed controlled breaker without affecting different points of the system. In the study, it was observed that the rated current, which was at the level of 54 A, increased to 1.5 kA with the fault. The application is of great importance in terms of increasing equipment life in transmission and distribution networks and isolating fault zones for only 0.001 seconds in a power system with more than one supply point.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 17 Ağustos 2021

Kabul : 15 Eylül 2021

Anahtar Kelimeler:

Arıza analizi, Yüksek gerilim kesicileri, Elektrik güç sistemleri.

ÖZET

Günümüzde güç sistemlerinin tasarımı yapılırken ilk olarak maliyet kalemlerinin, daha sonra ise ilgili sistem üzerinde yaşanabilecek arızaların minimum seviyelerde tutulması hedeflenmektedir. Geçmiş yıllarda yapılan ve günümüzde de halen işletilen dağıtım şebekeleri içerisinde radyal ve müstakil çıkışları barındıran birden fazla havai hatlar mevcuttur. Söz konusu hatlar üzerinde ise kuş çarpmaları, izolatör arızaları, nem vb. nedenlerden dolayı sıkça arızalar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, bir güç sisteminin farklı noktalarında yaşanan arızaların etkilerinin incelenmesi ve bu arızaların, sistemin farklı noktalarına etki etmeden tasarlanan kontrollü kesici ile sönmümlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 54 A seviyelerinde olan nominal akım arıza ile birlikte 1.5 kA seviyelerine çıktığı gözlemlenmiştir. Uygulama, iletim ve dağıtım şebekelerinde teçhizat ömürlerinin artması ve birden fazla besleme noktası olan bir güç sistemi içerisinde arıza bölgelerinin sadece 0,001 saniye süre ile izole edilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

© 2021 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Güç sistemleri, enerjinin sürekli ve kararlı halde tutulması gereken ve bir işin sürdürülebilirliğini sağlayan en önemli yapılardan birisidir. Bu özelliği gereği hayati öneme sahip bu sistemlerin kusursuz biçimde kontrolü de büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle sözkonusu sistemler sürekli izlenmeli ve gerekli durumlarda en kısa sürede müdahale sağlanmalıdır [1], [2]. Bir güç sistemi içerisinde havai hatların fazlalığı arıza noktalarını da beraberinde getirmektedir. Güç sistemi içerisinde geçici kararsızlık durumlarının yaşanması, elektrik şebekesinde ekonomik kayıplara neden olan ana maddelerden biridir [3], [4]. Yaşanabilecek asimetrik arızaların sönmülendirilmesi için ise çeşitli kontrol yapıları ile birlikte kumanda edilen yüksek gerilim kesicileri kullanılmaktadır.

Literatürde bulunan yüksek gerilim kesicileri ile ilgili yayınların dağılımı incelendiğinde iki temel alanda çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu alanlardan birincisi kesicilerin yapısal tasarımı ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi, bu çalışmanın da içerisinde bulunduğu ikincisi ise kesicilerin kontrolüdür. Bu çalışmaların öne çıkanlarından birinde yüksek gerilim kesicilerinin ayarlanması ve kontrolü, tasarlanan yapay sinir ağı algoritmaları ve PLC (Programmable Logic Controller – Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) tabanlı bir kontrolör ile yapılmıştır [5]. Bir başka çalışmada, otomatik kapanan kesicilerin dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve kesici kontrolünün özellikle kararlı çalışma açısından önemi vurgulanmıştır [6]. Kesicilerin akıllı şebeke uygulamalarında ne kadar önemli olduğu [7] çalışmasında irdelenmiştir. Bu çalışmada, mevcut ve gelecekteki sistemlerde kullanılacak kesiciler ile ilgili detaylı bir analiz yapılmış, güç sistemindeki gerilim, akım ve reaktif güç akışının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde uygulamalı çalışmalar da mevcuttur. Araştırmacılar, bir veri toplama kartı üzerinden elde ettikleri veriler aracılığı ile bilgisayar temelli bir kesici kontrolü uygulaması gerçekleştirmiştir. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) yazılımı kullanılarak yapılan bu çalışmanın sonuçları, önerilen modelin kesiciyi kusursuz biçimde kontrol edebildiğini göstermiştir [8]. Benzer şekilde bir başka çalışmada yine kesici, nesnelerin interneti (IoT) yaklaşımı ile kontrol edilmiştir [9]. Literatürdeki çalışmalar, kesici kontrolünün sistem kararlılığı ve güvenliği açısından ne kadar önemli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmanın temel motivasyonunu bu yaklaşım oluşturmuştur.

Bu kapsamda, öncelikle gerçek bir güç sisteminin MATLAB/Simulink platformunda modellenmesi yapılmıştır. Modellemenin herhangi bir noktasında faz-toprak, faz-faz ve simetrik üç faz arızalarından biri yaşandığında, kesici ile ilgili arızanın farklı bölgelere sıçramadan en kısa sürede sönmülendirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma için tasarlanan kesici devre bloğu temelinde lojik devre (0-1) mantığı bulunmaktadır. Okunan nominal akım değeri ile belirlenen üst sınır akım değeri karşılaştırılarak bir sayıcı (counter) bloğu üzerinden kesiciye açma sinyali (lojik 1) gönderilmektedir. Elde edilen sonuçlar sistemin çeşitli noktalarından alınan grafikler üzerinde tartışılmış ve çalışmanın performansı değerlendirilmiştir.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ARIZALAR

Güç sistemlerinde kararlı çalışma devam eder iken, bu kararlılığı bozacak bir takım beklenmedik olaylar yaşanabilmektedir. Bu beklenmedik durumlar genellikle iletim ve dağıtım hatlarında yaşanan kısa devre olaylarıdır. Kısa devre olan iletim veya dağıtım hattında akım artışına karşılık yüksek güç talebi doğacaktır. Mekanik gücünde sınırlı oluşu ile bu güç talebi karşılanamayacağından sistemde kararsızlık durumu oluşacaktır. Bu kısa devre arızasının uzun bir süre devam etmesi durumunda ise güç sisteminde büyük çaplı hasarlar meydana gelebilmektedir. Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarından sistem üzerinde etkileri en fazla olanı üç faz toprak simetrik kısa devre arızasıdır. Bu arızaların yanında iki faz-toprak, tek-faz toprak ve faz-faz arızaları da meydana gelebilmektedir [10].

2.1. Bir Faz – Toprak Arızası

Bir fazın toprağa doğrudan veya bir empedans üzerinden teması ile oluşan arıza çeşididir. Özellikle açık şebekelerde %80'lik oluşma sıklığı bulunmaktadır. Oluşan arıza akımı arıza noktasına da bağlı olarak en yüksek kısa devre akımı değerlerine sahip olabilmektedir. Arıza anında arıza akımı 10-100 kat artar iken diğer akım değerleri yaklaşık sıfır olmaktadır. Arıza akımının sıfır geçişlerinde ilgili arıza gerilimi maksimum olur iken, maksimum geçişlerde ise sıfır değerine düşmektedir. Bir faz-toprak arızasının a fazında gerçekleştiğini varsayıldığında matematiksel ifade;

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{V_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + (3Z_F)} \quad (1)$$

$$I_a = I_0 = I_1 = I_2 = 3I_1 = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + (3*Z_F)} \quad (2)$$

$$I_b = (I_0 + a^2 I_1 + a I_2) = 0 \quad (3)$$

$$I_c = (I_0 + a I_1 + a^2 I_2) = 0 \quad (4)$$

2.2. Faz – Faz Arızası

İki fazın birbiriyle teması sonucu oluşan arıza çeşididir. Bu tip arızanın matematiksel ifadesi aşağıda belirtilmiştir.

$$I_0 = 0 \quad (5)$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (6)$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0 \quad (7)$$

$$I_b = \frac{-j\sqrt{3}V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (8)$$

$$I_c = (I_0 + a I_1 + a^2 I_2) = -I_b \quad (9)$$

2.3. İki Faz – Toprak Arızası

İki fazın birbiriyle ve toprakla teması sonucu oluşan arıza çeşididir. Bu tip arızanın matematiksel ifadesi aşağıda belirtilmiştir.

$$I_1 = \frac{V_F}{Z_1 + \left[\frac{Z_2(Z_0 + 3Z_F)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_F} \right]} \quad (10)$$

$$I_2 = -I_1 \frac{Z_0 + 3Z_F}{Z_1 + \left[\frac{Z_2(Z_0 + 3Z_F)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_F} \right]} \quad (11)$$

$$I_0 = -I_1 \frac{Z_2}{Z_1 + \left[\frac{Z_2(Z_0 + 3Z_F)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_F} \right]} \quad (12)$$

Simetrik Üç Faz Arızası

Üç fazın birbiriyle teması sonucu oluşan arıza çeşididir. Bu arıza tipinde toprak teması olup olmamasının parametrelere herhangi bir etkisi yoktur. Bu tip arızanın matematiksel ifadesi aşağıda belirtilmiştir.

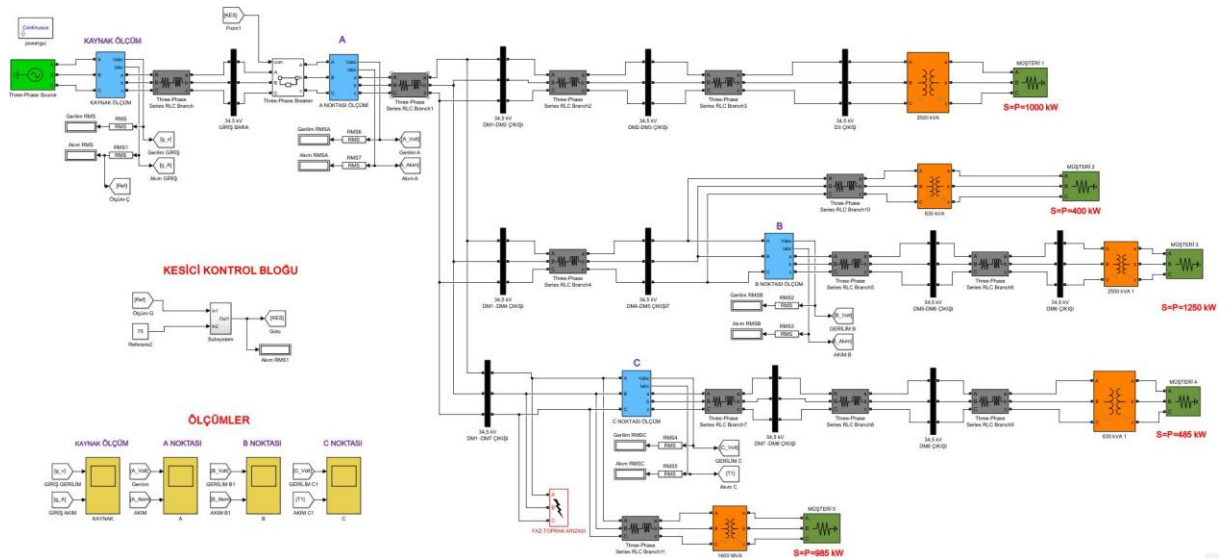
$$I_0 = 0 \quad (13)$$

$$I_2 = 0 \quad (14)$$

$$I_1 = \frac{V_F}{Z_1} \quad (15)$$

3. GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere, elektrik güç sistemlerindeki arızaların etkilerinin belirlenmesi ve arıza sönmülendirmenin öneminin vurgulanması amacıyla, MATLAB/Simulink platformu altında, Şekil 1’ de gösterilen güç sistemi tasarlanmıştır.

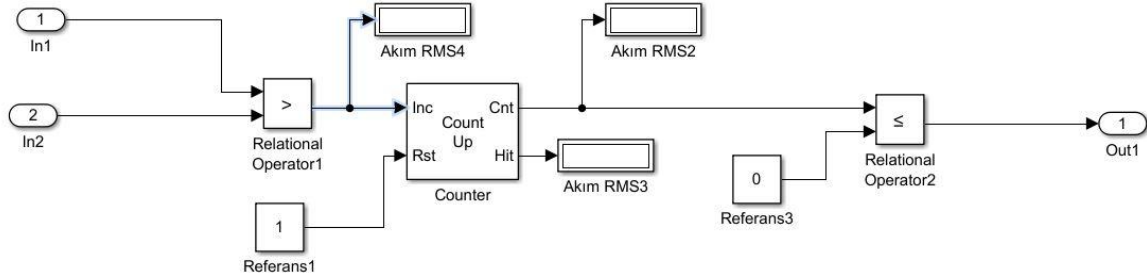


Şekil 1. Güç sistemi modeli

Bu modelde 1 adet kaynak, 5 adet transformatör, 5 adet yük, 1 adet arıza kaynağı ile birlikte ölçüm blokları ve hatları belirten RL (direnç-bobin) blokları bulunmaktadır. Sistem içerisinde kaynak gerilimi 34,5 kV'tur. Müşteri trafoları faz-faz gerilim değerleri 34,5 kV / 0,4 kV (Primer / Sekonder)'tur. Aktif güç değerleri; birinci yük için 1000 kW, ikinci yük için 400 kW, üçüncü yük için 1250 kW ve dördüncü yük için 485 kW belirlenmiş olup, reaktif güçler dikkate alınmamıştır.

3.1. Kesici Kontrolü Tasarımı

Çalışmanın temel amacı kapsamında tasarlanan güç sistemi bir adet otomatik kesici içermektedir. Bu kesiciye ait kontrol bloğunun iç yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kesici kontrol bloğu iç yapısı

İletim veya dağıtım şebekelerinde yaşanan asimetrik arızalarda kesicilerin kontrolü çok büyük bir önem arz etmektedir [11], [12]. Kesici kontrolü sağlanamaması durumunda, arızanın etkisi ile şebeke içerisinde bulunan teçhizatlar ciddi zararlar meydana gelebilir [13]. Arıza durumunda kesicilerinin kontrolü günümüz teknolojisi ile çeşitlilik kazanmış durumdadır. En sık kesici kontrol yapıları ise PLC (Programmable Logic Controller – Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) ve koruma röleleri ile yapılan kontrollerdir [5]. Güç sistemlerinde kullanılan kesici kontrol yapılarından bir diğeri ise tekrar kapama röleleridir [14]. Tasarlanan modellemede, arızanın yaşanması ile birlikte ayarlanan nominal değer üzerine çıkılacağından kesici açacaktır. Kesicinin kontrolü, koruma rölesi çalışma mantığı ile yapılmış olup, tekrar kapama işlemi tasarlanan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) ekranı üzerinden kontrollü olarak operatöre yaptırılmaktadır.

3.2. Grafikselle Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

Bu kontrol bloğu, tasarlanan bir GUI (Graphical User Interface - Grafikselle kullanıcı arayüzü) üzerinden denetlenmektedir. İlgili arayüz ekranı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. GUI ekranı

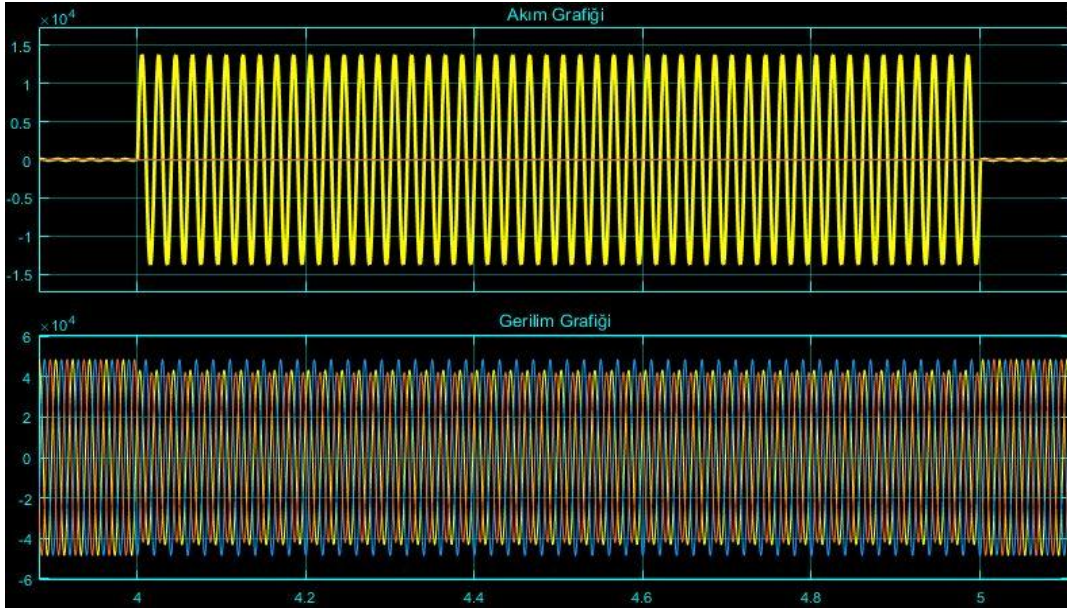
Kontrol ekranında üç adet buton ve iki adet zaman sayacı bulunmaktadır. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) ekranı üzerinde “SCADA Start” butonu benzetimin başlamasını, “Kesici Aç” butonu kesiciye aç komutu (Lojik 1) göndererek kesicinin operatör tarafından kontrollü şekilde açılmasını, “Kesici Kapat” butonu ise girilen “kesici Kapatma Süresi” sonunda, operatör tarafından kesicinin kontrollü kapatılması işlemleri gerçekleştirilir. Kesiciye kapatma komutu verildikten sonra ise kesicinin kapanacağı zaman diliminin geri sayımı “Kesici Beslenecek” zaman sayıcısı tarafından operatöre gösterilmektedir.

4. SİSTEMİN ANALİZİ

Çalışmanın temel amacı gereği, tasarlanan güç sisteminin çeşitli çalışma koşulları için senaryolar belirlenerek analizi yapılmış ve bu analiz sonuçları irdelenmiştir. Bu kapsamda, 30 saniye süreli benzetimin 4-5 saniye aralığında sırasıyla faz- toprak arızası, faz-faz arızası ve simetrik üç faz arızası meydana gelmiştir. Söz konusu arızaların kesici bloğu devrede ve devre dışı olduğu koşullar göz önüne alınarak; A ölçüm bloğunda akım ve gerilimde meydana gelen değişiklikler gözlenmiştir.

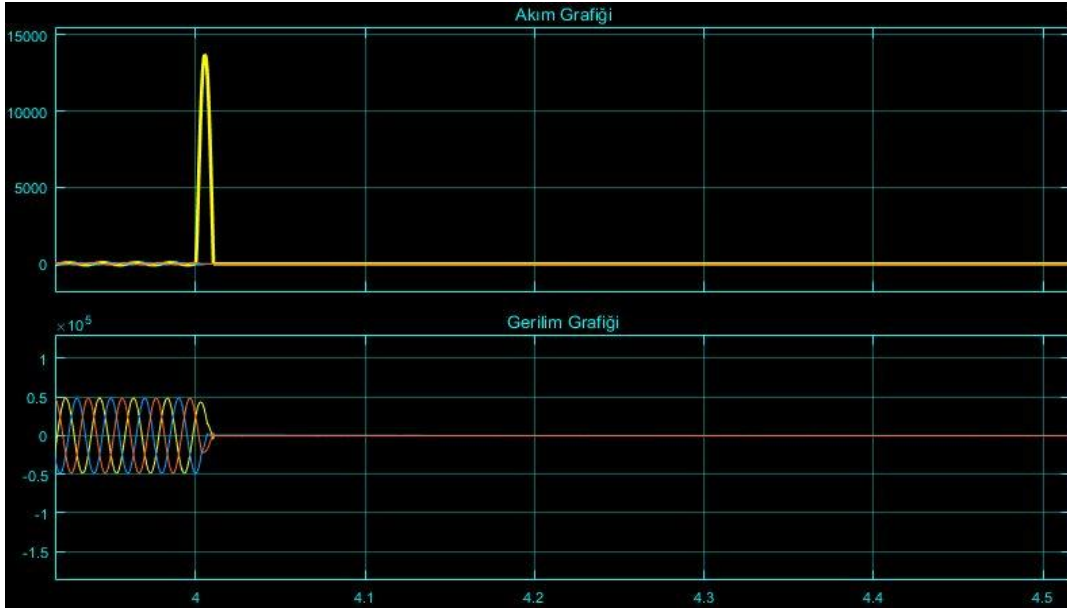
4.1. Senaryo 1: Bir Faz – Toprak Arızası Durumu

Tasarlanan sistemin performansının değerlendirilmesi amacı ile uygulanan senaryolardan birincisi bir faz toprak arızasıdır. Bu senaryoda bir fazın toprak teması halinde sistemin akım ve gerilim karakteristikleri A ölçüm bloğu üzerinden alınmış olup Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Bir faz – toprak arızası (kesici devre dışı)

Kesici devre dışı iken sistem üzerinde bir faz – toprak arızası meydana geldiğinde, devre elemanları üzerinden nominal yük akımı olan 54 A seviyelerinde akım akmakta iken, arızanın meydana gelmesi ile arıza süresi boyunca yaklaşık 1.5 kA (nominal akımın 28 katı) seviyelerinde arıza akımı geçtiği görülmektedir. Ayrıca A ve B faz gerilimlerinde de birtakım bozukluklar meydana geldiği Şekil 5 üzerinde açıkça gözlemlenebilmektedir.

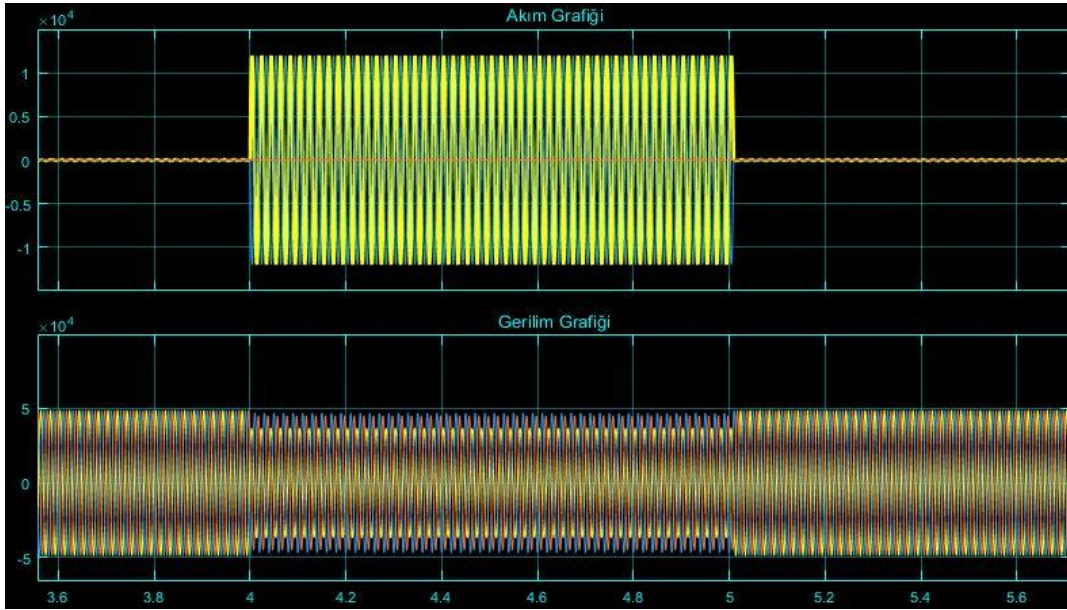


Şekil 5. Bir faz – toprak arızası (kesici devrede)

Bir faz – toprak arızası meydana geldiğinde kesicinin devrede olduğu senaryoda, nominal akım değeri set edilen açma akımı üzerine çıktığı anda kesici devreye girmektedir (Enerji kesilmektedir). Böylelikle devre elemanları yüksek akım ve dengesiz gerilimlere maruz bırakılmamaktadır.

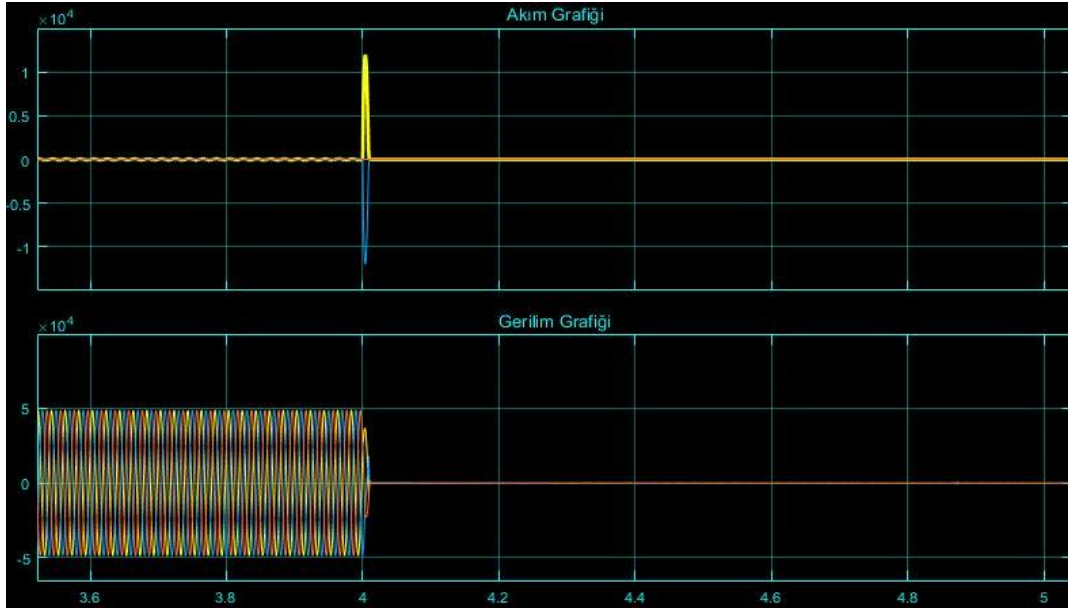
4.2. Senaryo 2: Faz – Faz Arızası

Tasarlanan sistemin performansının değerlendirilmesi amacı ile uygulanan senaryolardan ikincisi faz faz arızasıdır. Bu senaryoda iki fazın birbiri ile temas halinde sistemin akım ve gerilim karakteristikleri A ölçüm bloğu üzerinden alınmış olup Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Faz – faz arızası (kesici devre dışı)

Faz – faz arızası meydana geldiğinde kesicinin devre dışı olduğu senaryoda; devre elemanları üzerinden nominal yük akımı olan 54 A seviyelerinde akım akmakta iken, arızanın meydana gelmesi ile arıza süresi boyunca yaklaşık 1.5 kA (nominal akımın 28 katı) seviyelerinde arıza akımı geçtiği görülmektedir. Dikkat edilecek olursa, faz – toprak arızasında sadece A fazında aşırı akım meydana gelmişken, faz – faz arızasında A ve B fazlarında ani aşırı akım meydana gelmiştir. Gerilimde ise faz – toprak arızasına göre daha fazla ani değişimler meydana geldiği gözlemlenmektedir.

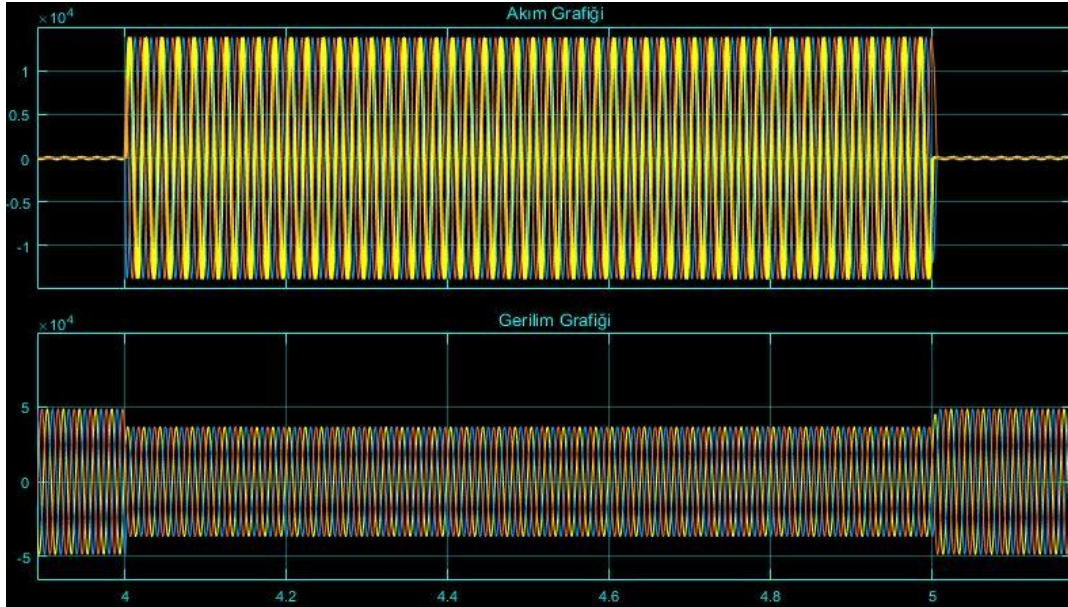


Şekil 7. Faz – faz arızası (kesici devrede)

Faz – faz arızası meydana geldiğinde kesicinin devrede olduğu senaryoda, nominal akım değeri set edilen açma akımı üzerine çıktığı anda kesici devreye girmektedir (Enerji kesilmektedir). Faz – toprak arızasından farklı olarak, kesicinin devreye girmesi ile iki faz üzerinde kesicinin açma süresi kadar akımda ani değişim gözlemlenmektedir.

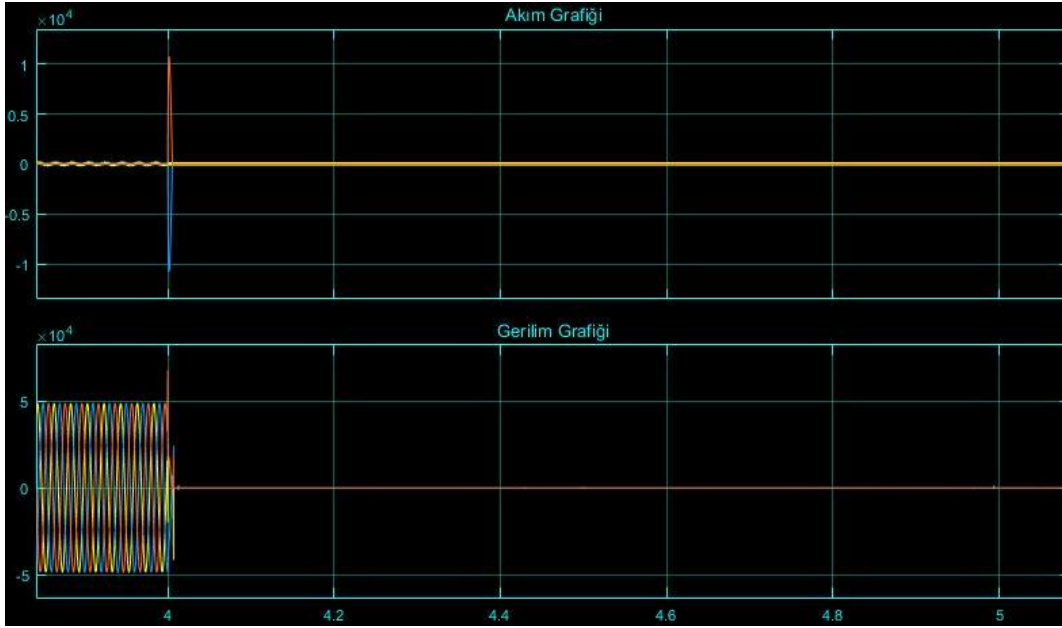
4.3. Senaryo 3: Simetrik Üç Faz Arızası Durumu

Tasarlanan sistemin performansının değerlendirilmesi amacı ile uygulanan senaryolardan üçüncüsü simetrik üç faz arızasıdır. Bu senaryoda üç fazın birbiri ile teması halinde sistemin akım ve gerilim karakteristikleri A ölçüm bloğu üzerinden alınmış olup Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Üç faz simetrik arızası (kesici devre dışı)

3 faz simetrik arızası meydana geldiğinde kesicinin devre dışı olduğu senaryoda, diğer arıza durumlarında meydana gelen arıza akım seviyesi gözlemlenmektedir. Diğer arıza türlerinden farklı olarak 3 fazında ani aşırı akım olayına karıştığı, gerilimde ise faz – faz arızasına yakın bir değişim gerçekleştiği grafik üzerinden gözlemlenmektedir.



Şekil 9. Üç faz simetrik arızası (kesici devrede)

3 faz simetrik arızası meydana geldiğinde kesicinin devrede olduğu senaryo ile faz – faz arızasında kesicinin devrede olduğu senaryo grafiklerden de görüleceği üzere birbirine çok yakındır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güç sistemlerinde meydana gelen arızalara karşı kesici kontrolü sağlanarak, güç sisteminin kararlılığı ve güvenilirliğinin artırılması amaç edinilmiştir.

Tasarlanan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama), temel yazılım mantığı olan Lojik 0/1 yapısını içermektedir. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) operatörü tarafından butonlardan herhangi birisine müdahale edilmesi durumunda kesici kontrol bloğuna Lojik 1 ifadesi gönderilmektedir. Bu ifade kontrol boğunda değerlendirildikten sonra kesiciye ilgili aç/kapat komutları iletilmektedir. Güç sistemi içerisinde GSM (Global System for Mobile Communications - Mobil İletişim İçin Küresel Sistem) tabanlı RTU (Remote Terminal Unit- Uzak Uç Birimi) cihazları yada modbus gibi haberleşme sistemleri yardımı ile SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition- Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) sistemi devreye alınabilmektedir. Bu yapı ile yüksek gerilim kesicilerine uzaktan müdahale yapılarak saha teknik personelinin güvenliği başta olmak üzere manevraların saniyeler içerisinde yapılması sağlanmaktadır.

Yaşanan asimetrik arızalar ile devre elemanları üzerinden nominal akımdan çok yüksek seviyelerde arıza akımları geçtiği grafikler üzerinden gözlemlenmiştir. Asimetrik arızanın meydana gelmesi ile otomatik kesici milisaniyeler seviyesinde devre enerjisini kesmiştir. Böylelikle devre elemanları üzerinden yüksek arıza akımının geçmesine müsaade edilmemiş ve yaşanabilecek maddi hasarların önüne geçilmiştir. Dolayısı ile bir güç sistemi üzerinde uygun seçim sağlanarak kesici konumlandırılması yapılmalı ve arızanın en kısa sürede maddi hasara yol açmadan söndürülmesi gerekmektedir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

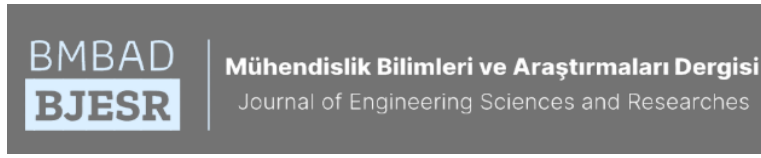
Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

- [1] T. Atalik *et al.*, “Multipurpose platform for power system monitoring and analysis with sample grid applications,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 3, pp. 566–582, 2014.
- [2] N. C. Woolley, J. M. Avendaño-Mora, and J. V. Milanović, “Methodology for robust monitoring of voltage sags based on equipment trip probabilities,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 90, pp. 107–116, 2012.
- [3] N. He, W. Kang, P. Ding, and W. Sha, “Research on power system transient stability based on asymmetric fault model,” in *Proceedings - 2020 International Conference on Urban Engineering and Management Science, ICUEMS 2020*, 2020, pp. 225–230.

- [5] O. Yildirim, B. Eristi, H. Eristi, S. Unal, Y. Erol, and Y. Demir, "FPGA-based online power quality monitoring system for electrical distribution network," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 121, no. May 2017, pp. 109–121, 2018.
- [6] Z. Zhang and W. Guo, "Three-phase synchronization adjustment and control of high voltage circuit breaker," in *PACIA 2009 - 2009 2nd Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications*, pp. 88–91, 2009.
- [7] M. Njozela, S. Chowdhury, and S. P. Chowdhury, "Impacts of DG on the operation of auto-reclosing devices in a power network," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1–8, 2011.
- [8] M. P. Katti, S. H. Jangamshetti, and A. Rege, "Modeling Of Auto Recloser for Smart Grid," *Int. J. Mod. Eng. Res.*, vol. 2, no. 5, pp. 3172–3177, 2012.
- [9] H. Bentarzi, A. Ouadi, and A. Abdelmoumene, "A new framework of smart auto-recloser," in *Proceedings - 2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, CPE-POWERENG 2018*, pp. 1–5, 2018.
- [10] A. H. Abdulwahid, "Auto-Recloser Circuit Breaker in Power System Based on Internet of Things for Smart Grid," 2019, vol. 54, no. 3, pp. 234–240.
- [11] A. Ayvaz and B. Boylu Ayvaz, "Determination of optimal placement of fault current limiting device against short circuit faults occur in power systems," *Sak. Univ. J. Sci.*, vol. 22, no. 2, pp. 1–1, 2018.
- [12] Y. Jiang, M. Huang, Z. G. Zhang, H. Wang, Q. Y. Zheng, and H. P. Liu, "The control of the asymmetric ground fault current of the line," in *APAP 2011 - Proceedings: 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, pp. 1452–1457, 2011.
- [13] M. C. Taplamacıoğlu, S. Uzel, Ö. Aladağ, and S. Keskintaş, "36 kV 1250 A Ön Mekanizmalı Kompakt Vakumlu Devre Kesici Tasarım ve Uygulaması," *Nevşehir Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 8, no. November 2018, pp. 26–32, 2019, 2018.
- [14] J. Slavik and Z. Eleschova, "Concept of smart automatic reclosing for transient stability improvement of large power systems," *Proc. - 2020 21st Int. Sci. Conf. Electr. Power Eng. EPE 2020*, 2020.
- [15] A. Ashour, "Modelling of Smart Auto-Recloser with Over Current Protection," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 8, no. 7, pp. 1–5, 2018.



Su Borusu Hatlarında Sızıntı tespitinde Yer Radarı Yöntemi Uygulaması (GPR)

Application of Ground Penetrating Radar (GPR) Method in Leak Detection in Water Pipeline

¹Hakan KÜTÜKCÜOĞLUGİL  ²Sinan KOŞAROĞLU  ³Funda BİLİM 

¹Sivas DSİ, 19.Bölge Müdürlüğü, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sivas, Türkiye

³Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sivas, Türkiye

¹hakankutukcuoglugil@gmail.com, ²skosaroglu@cumhuriyet.edu.tr,

³fbilim@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 13 September 2021

Accepted : 14 October 2021

Key Words:

CTP pipeline, GPR, Nevruz Dam

ABSTRACT

In this study, the detection of leaking water in CTP pipelines by ground penetrating radar method (GPR) was investigated. During the construction of the Nevruz Dam irrigation field, which is under construction in the Yıldızeli district of Sivas province, while the pipeline was being laid, a plastic pipe was left on the pipeline with one end on the surface, and the surface was smoothed by covering it. Here, measurements were taken with 2 different GPR devices at 160 MHz, 625 MHz and 250 MHz frequencies. The experiment was carried out in 3 stages. In the first stage, measurements were taken at 160 MHz and 625 MHz frequencies when the medium was dry. In the second stage, 8 tons of water was left on the pipeline with the help of the pipe on the surface, and the presence of water was tried to be determined based on the existence of water leakage in the pipeline and the results were presented.

© 2021 Bandırma Onyediy Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim: 13 Eylül 2021

Kabul : 14 Ekim 2021

Anahtar Kelimeler:

CTP boru, GPR, Nevruz Barajı

ÖZET

Bu çalışmada CTP boru hatlarındaki sızıntı kaçak suların yer radarı yöntemi ile tespiti incelenmiştir. Sivas ili Yıldızeli ilçesinde yapımı devam eden Nevruz Barajı sulama sahası inşaatında boru hattı döşenirken bir ucu yüzeyde olmak üzere boru hattına plastik boru bırakılmış, üzeri kapatılarak yüzey düzgün hale getirilmiştir. Burada 160 MHz, 625 MHz ve 250 MHz frekansta 2 farklı Yer Radarı (GPR) cihazı ile ölçü alınmıştır. Deney 3 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ortam kuru iken 160 MHz ve 625 MHz frekanslarda ölçü alınmıştır. İkinci aşamada yüzeydeki boru yardımıyla boru hattı üzerine 8 ton su bırakılmış, boru hattında su kaçağı var olduğundan yola çıkarak suyun varlığı tespit edilmeye çalışılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

© 2021 Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

ORCID ID: ¹0000-0003-1079-6981
²0000-0003-0274-9317
³0000-0003-1098-4755

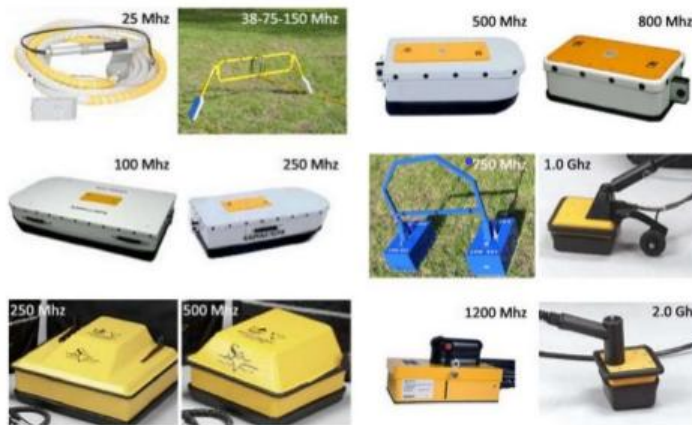
1. GİRİŞ

Yer radarı yöntemi (GPR) tahribatsız jeofizik yöntemi olup, sığ yeraltı yapılarının görüntüsünü verir. Yöntemin temeli yüksek frekanslı elektromanyetik (EM) dalganın yer içindeki yayılımı, yansımaları ve saçılmasına bağlıdır. Yüksek frekanslı (genellikle 20-2000MHz) EM dalgası yer içerisine verici anten ile gönderilir ve geri dönen EM dalga sinyali alıcı anten ile kaydedilir. Kaydedilen sayısal sinyaller veri-işlem aşamalarından sonra çift-yol zamanlı düşey kesitlere (radargram) dönüştürülür ve yorumlanır. EM yansımaları iki farklı dielektrik özelliğine sahip ortam arasında gerçekleşir. Yani, yeraltında farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip sınırdaki dalganın bir kısmı yansır ve alıcı tarafından kaydedilir. Ortamın dielektrik değeri toprağın tane büyüklüğüne, kil içeriğine, gözenekliliğine, su içeriğine ve parçacıkların elektrik özelliklerine göre değişkenlik gösterir. GPR sonuçları yeraltı jeolojisine ve seçilen anten frekansına bağlıdır.

GPR çalışmalarını etkileyen en önemli faktörlerden birisi anten frekansıdır. Çalışmalarda kullanılan anten frekansları genellikle 20 MHz-2 GHz arasındadır (Şekil 1) [1]. Uygulama derinliğine göre anten tipi yani frekans da değişmektedir. Yüksek frekanslı EM dalgalar daha sığ derinliklerden bilgi alınmasını sağlarken gürültüyü de artırabilir. Düşük frekanslı EM dalgaların penetrasyon derinliği yüksek olmasına karşın detay ve çözünürlük daha azdır (Tablo 1). Anten frekansı seçimi yapılırken; çalışma ortamının jeolojik özellikleri (kırıklı, çatlaklı olması, gözenekliliği, geçirgenliği vb.), suya doygunluğu ve kil içeriği, araştırılacak materyalin boyutu ve derinliği dikkate alınmalıdır. Çalışma sahasında toplanan veriler sayısaldir ve veriler genellikle gürültüdüdür. GPR verileri bir dizi veri işlemden geçerek önce radargramlar haline daha sonra da üç boyutlu hale getirilir. Araziden alınan verilerde bozuk (çok yüksek veya düşük) veriler süzgeçleme aşamasında atılmayacak durumda ise veri işlem aşamasına sokulmaz ve yorumlanmaz. Veri işlem aşamaları sırasıyla, statik düzeltme, dewow, enerji geri kazanımı, hız kazanımı, band geçişli süzgeçleme ve saçılmış izleri toplayarak gerçek yerlerine taşıma işlemi olan migrasyon işleminden oluşmaktadır.

GPR yöntemi, yüksek çözünürlüklü olması ve yeraltındaki cisimlerin konum ve büyüklüklerini tespit etmesi nedeniyle; fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında [2], yer altı karstik boşlukların [2], yer altı su seviyesinin [3], arkeolojik kalıntıların [4] tespiti gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda gömülü borularda sızıntı tespitine yönelik GPR uygulamaları hız kazanmıştır [5, 6, 7]. Ayala-Cabreravd. (2014), laboratuvar koşullarında kum-kil doldurulmuş tahta sandık içerisine PVC (polivinil klorür) boru yerleştirmiş ve sandık üzerine polikarbon bir plaka koyarak GPR ölçümü bu plaka üzerinde gerçekleştirmiştir. Amran (2017), Malezya Nükleer Ajansı laboratuvarında kum havuzuna gömülmüş demir ve PVC borular üzerinde GPR ölçümlerini borularda su yokken ve su enjekte edildiğinde olmak üzere iki aşamada gerçekleştirmiştir. Araştırmacı içinde su bulunan çelik borunun boş çelik boruya göre radargramlarda daha büyük hiperboller gösterdiğini gözlemlemiştir. Kavi (2018), ise gömülü metalik olmayan boruların (CTP ve PVC) tespitinde GPR yöntemini kullanmıştır. Bunun için kap karbon kumaş ve alüminyum folyo ile kaplanan ve kaplanmayan boruları gömmüştür. Ölçümlerin değerlendirmesi sonucunda karbon kumaş veya alüminyum folyo ile kaplanan boruların radargramlarda daha iyi belirti verdiği saptanmıştır.

Bu çalışmada ise, PVC su borularının su ihtiva etmesi ya da etmemesi durumlarında GPR yöntemine verdiği yanıtlar ve yer altındaki gömülü borularda su kaçağı olması durumunda GPR yöntemi ile saptanıp saptanamayacağı irdelenmiştir.



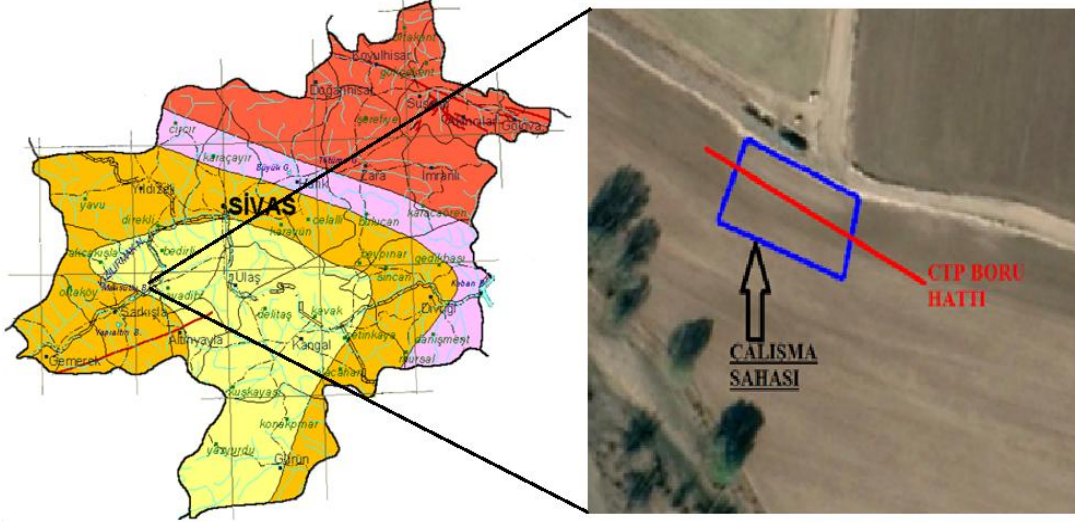
Şekil 1. GPR anten çeşitleri [1]

Tablo1. Frekansın derinlik ve çözünürlük ile olan ilişkisi

Frekans (20 MHz-2 GHz)	Penetrasyon	Düşey çözünürlük
Düşük (<1 GHz)	Yüksek	Düşük
Yüksek (>1 GHz)	Düşük	Yüksek

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak Sivas İli Yıldızeli İlçesinde inşaatı devam Nevruz Barajı sulama sahası seçilmiştir (Şekil 2). GPR ölçümlerine başlamadan önce inşaat devam ederken alana boru hattı döşenip yastıklama malzeme konulduktan sonra, deneyde kullanılacak düzenerk yapılmıştır ve çalışma sahasına 1,5 m çapında CTP boru döşenmiştir (Şekil 3). Alan daha sonra şeritmetreler ile çevrelenerek çalışma sahası oluşturulmuş ve 1 m aralıklarla işaretlenerek karelej yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 2. Nevruz (Sivas-Yıldızeli) alanı ve çalışma sahasının yer bulduru haritası.



Şekil 3. Arazide borunun döşenmesi.

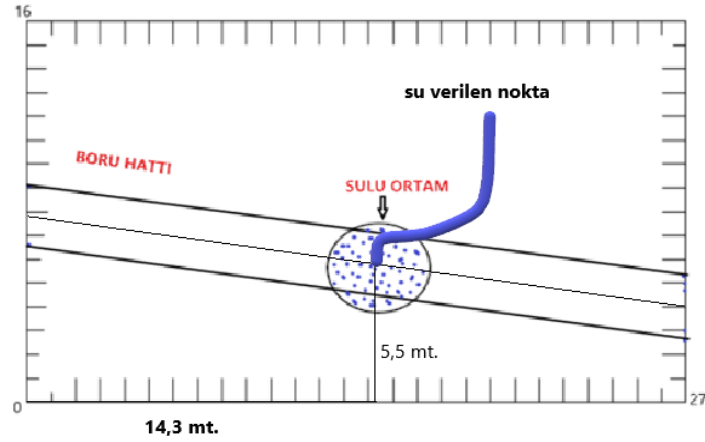
Döşenen boru cam elyaf takviyeli plastic (CTP) özelliğinde olup, CTP malzeme ise polyester bazlı reçine ile cam elyafın birleştirilmesinden oluşan bir malzemedir.



Şekil 4. Çalışma alanının ölçüm için hazırlanması.

3. GPR ÖLÇÜMLERİNİN ALINMASI

16 m-27 m boyutlarında ki çalışma alanı 1 m aralıklarla karelajlandırılarak toplam 129 profil GPR ölçümü alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Ölçüm noktaları.

Ölçümlerin alınmasında Mala firmasının üretmiş olduğu merkezi anten frekansı 250 MHz olan korumalı anten sistemi ve aynı firmanın üretmiş olduğu 80-950 MHz bant aralığına sahip korumalı anten kullanılmıştır. Çalışma alanında önce kuru ortamda x ve y yönünde 625-160-250 MHz anten seti ile 1 m aralıklı olacak şekilde ölçüm verileri toplanmıştır (Şekil 6). İkinci aşamada sulu ortam ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bunun için daha önce CTP hattı döşenirken konulan borudan su tankeri yardımıyla 8 ton su, boru hattının etrafına verilmiştir (Şekil 7) ve kuru ortam için alınan aynı hatta, aynı cihaz ile ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlere temel veri işlem adımları uygulanmıştır.



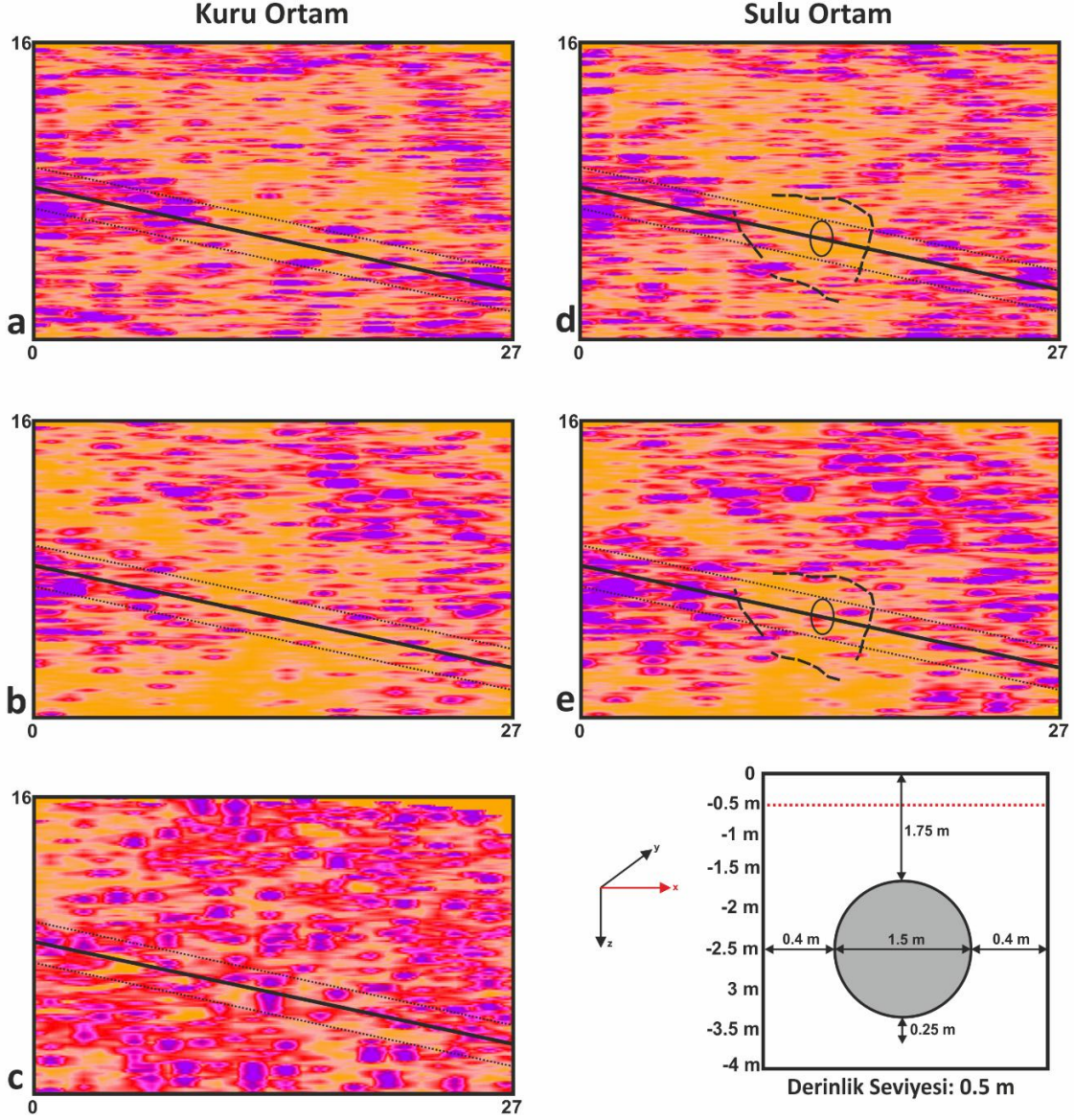
Şekil 6. GPR ölçümü.



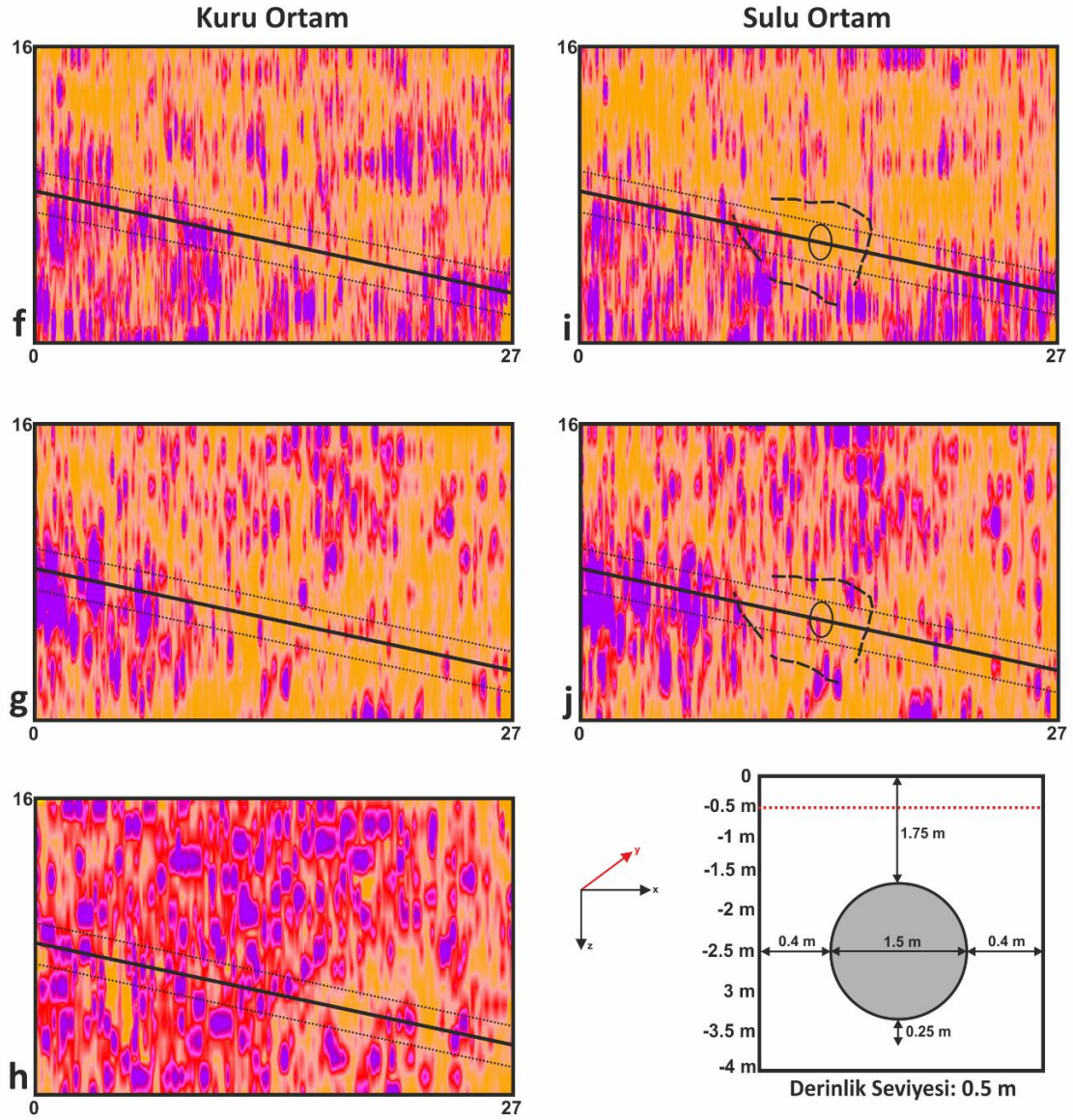
Şekil 7. Boruya su verilen nokta.

4. BULGULAR

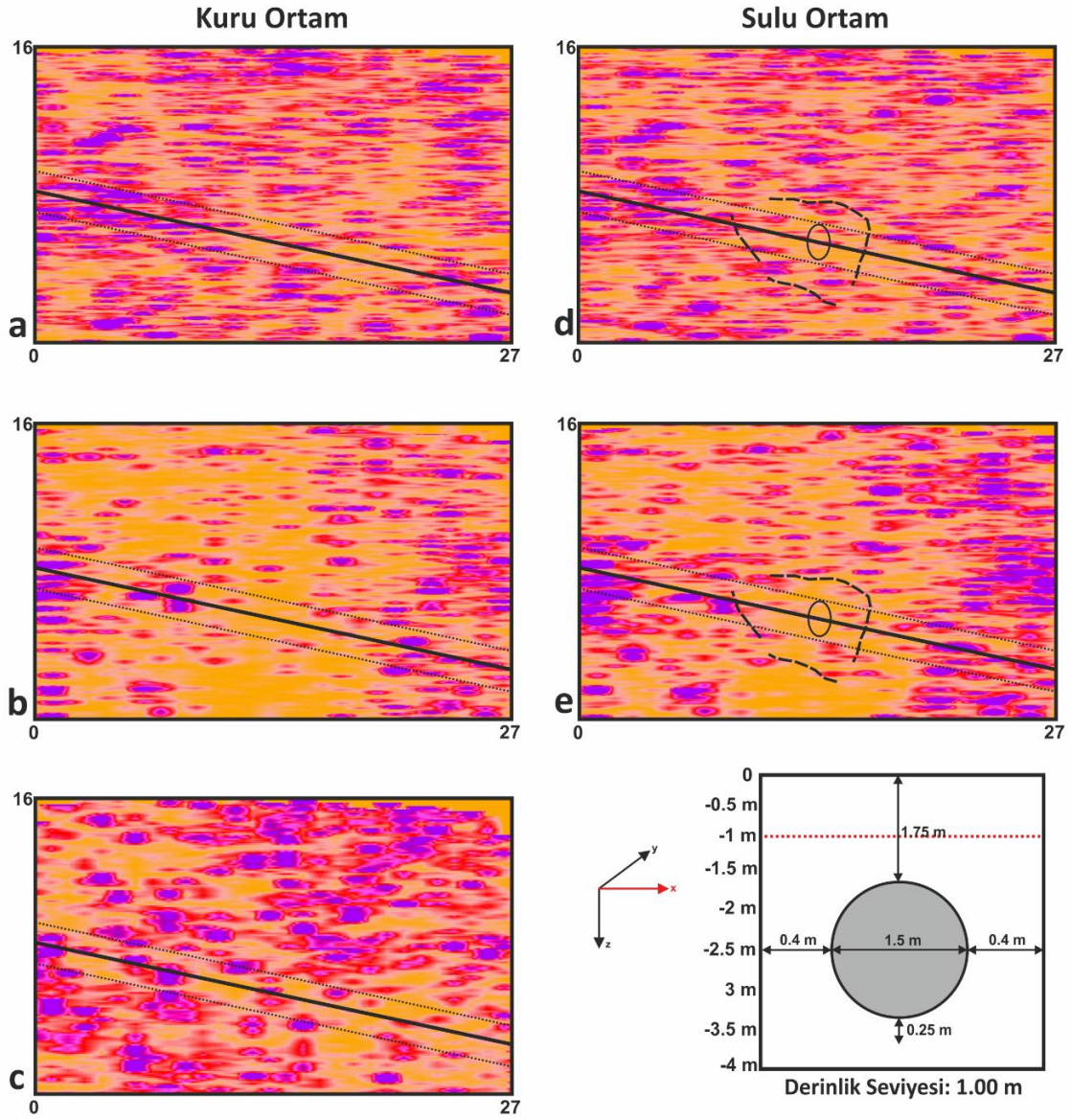
Veri işlem aşamasından sonra ölçümler birleştirilerek üç boyutlu yeraltı görüntüleri elde edilmiştir. Üç boyutlu ekran aralıkları 10 nsn'dir. Veriler her 50 cm'de bir kesilerek 0.5 ve 1.0 m derinlik seviyelerinde ki değişiklikler incelenmiştir. Şekil 8, 9, 10, 11'de verilen kesitlerde; a) 625 MHz, b) 160 MHz, c) 250 MHz anten ile kuru ortamda alınmış ölçüleri, d) 625 MHz, e) 160 MHz anten ile sulu ortamda alınmış ölçüleri göstermektedir.



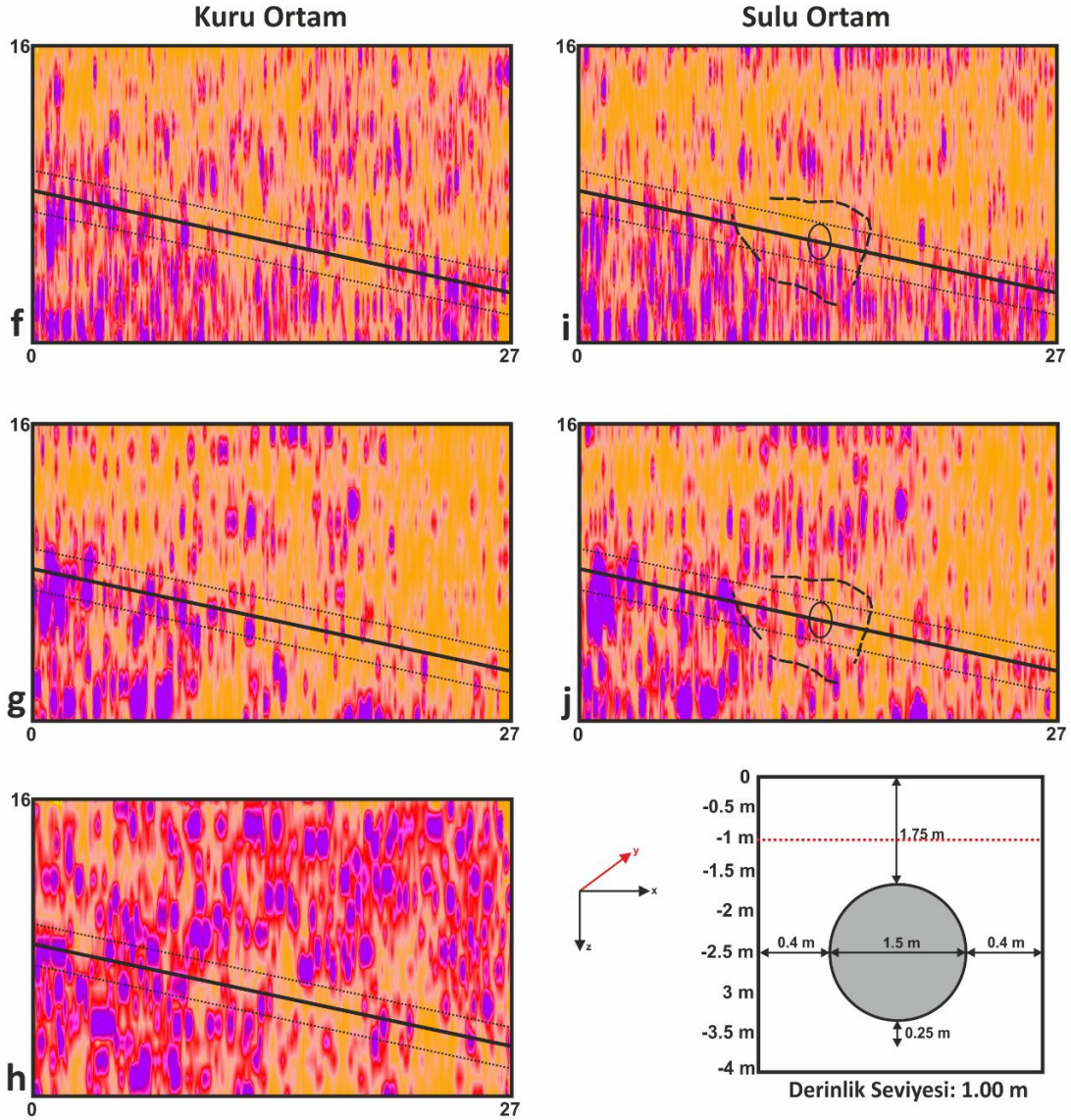
Şekil 8. x-yönünde 0,5 m derinlik seviyesi için yeraltı görüntüsü.



Şekil 9. y-yönünde 0,5 m derinlik seviyesi için yeraltı görüntüsü.



Şekil 10. x-yönünde 1 m derinlik seviyesi için yeraltı görüntüsü.



Şekil 11. y-yönünde 1 m derinlik seviyesi için yeraltı görüntüsü.

160 MHz ve 625 MHz lik iki farklı frekansta alınan ölçüm verisinde konumu ve büyüklüğü bilinen CTP borunun varlığı tespit edilememiştir (Şekil 8-11; a ve b kesitleri). Ancak CTP boru hattına yüzeyden indirilen boruyla hattın etrafına bırakılan sudan dolayı nemli ortamın varlığı tespit edilmiştir (Şekil 8-11; d ve e kesitleri). CTP borunun tespit edilemediğinden emin olmak için 1 hafta sonra 250 MHz anten ile tekrar ölçüm alınmıştır, elde edilen kesitlerde CTP boru yine tespit edilememiştir (Şekil 8-11; c kesiti).

5. SONUÇ VE ÖNERİ

Elde edilen sonuçlarda konumu ve büyüklüğü bilinen CTP boru tespit edilememiş buna karşın etrafındaki su tespit edilmiştir. Borunun tespit edilememesinin nedeni boruyu çevreleyen toprağın ve yastıklama malzemesinin elektromanyetik özelliklerinin boru malzemesindekilerle aynı büyüklükte olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. CTP doğada var olmayan cam elyafı ile doymamış polyester reçinenin birleşmesinden oluşan kompozit bir malzemedir. Malzemenin bir özelliği de mükemmel yalıtkan olması ve manyetik alan oluşturmamasıdır. Bu malzemeden üretilen borunun yeraltında tespit edilememesinin bir diğer nedeni olabilir. Sulama sahasında doğalgaz boru hattı, karayolu, demiryolu, yüksek hızlı tren gibi üst yapı ve alt yapı ile çıkan bölgelerde borunun tespiti amacıyla alüminyum malzeme ile sarılması önerilmektedir.

Teşekkür ve Katkı Belirtme

Ölçümlerin gerçekleşmesi için izin veren DSİ 19. Bölge Müdürlüğü ve tüm personeline teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik ABD’da Yüksek Lisans’ını tamamlayan Hakan KÜTÜKCÜOĞLUGİL’in tezinin konusu olup bir kısmını içermektedir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] H. Kütükcüoğlul, “Yer radarı (GPR) yöntemi ile su boru hatlarında sızıntı konumlarının tespiti”, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi. 2020.
- [2] G.U. Aldaş, S. Kadioğlu, E.U. Ulugergerli, “The effects of concealed discontinuities in blast design pattern”, 4th Int’l Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists. St. Petersburg-RUSSIA. pp.6-7, 2004.
- [3] D. Erik, S. Koşaroğlu, “Evaporitik sahalardaki karstik boşlukların, yer radarı (GPR) yönetimi ile tespiti”, Ulusal Mühendislik Jeolojisi - Jeoteknik Sempozyumu. p.7, 2017.
- [4] A.K. Benson, A. K, “Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: Examples of groundwater contaminants, faults, cavities”, Journal of Applied Geophysics, vol. 33 (1-3), pp.177-193, 1995.
- [5] G.S. Cezar, P.L.F. Rocha, A. Baurque, A. Costa, A, “Two Brazilian archeological sites investigated br GPR: Serrano and Morro Grande”, Journal of Applied Geophysics, vol. 47 (3-4), pp.227-240, 2001.
- [6] D. Ayala-Caberra, J. Izquierdo, S.J. Ocana-Levario, R. Perez-Garcia, “3d model construction of water supply system pipes based on gpr images”, 7th International Congress on Environmental Modelling and Software - San Diego, California, USA , pp. 1-8, June 2014.
- [7] T.S. Amran, P.M. İsmail, M.R. Ahmed, M.S.M. Amin, S. Sani, N.A. Masenwat, A.M. İsmail, S. Abdülhamid, “Detection of underground water distribution piping system and leakages using ground penetrating radar (GPR)”, AIP Conference Proceedings, p. 1799, 2017.
- [8] J. Kavi, “Detection of buried non-metallic (plastic and frp composite) pipes using GPR and IRT”, Benjamin M. Statler College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University (Graduate Theses), p.211, 2018.