



GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE

ISSN 2146 - 538X

CİLT / VOLUME: 10

SAYI / ISSUE : 4

YIL / YEAR : 2020

$$\text{Arf}(q) = \sum_{i=1}^n q(a_i) q(b_i) \in \mathbb{Z}_2$$

$a_i, b_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$



EBS CO



ULAKBİM TR DİZİN



Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute
Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute
Cilt/Volume: 10 Sayı/Issue: 4 Yıl/Year: 2020
Üç ayda bir yayımlanır/ *Published four times a year*
ISSN 2146-538X



Sahibi / Owner

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adına

On the behalf of Gümüşhane University Science and Technology Institute

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editor in Chief

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

Baş Editör / Executive Editor

Doç. Dr. Serhat DAĞ

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Prof. Dr. Mehmet MERDAN

Prof. Dr. Salim Serkan NAS

Prof. Dr. Necati ÇELİK

Prof. Dr. Bahri BAYRAM

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR

Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Doç. Dr. Fatih DÖNER

Doç. Dr. Melih OKCU

Doç. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU

Doç. Dr. İbrahim TURAN

Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR

Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ

Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL

Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA

Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER

Öğr. Gör. Salih TÜRK

Dergi Sekreteryası / Secretary

Doç. Dr. Enver AKARYALI

Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU

Arş. Gör. İlker ERKAN

Arş. Gör. Ömer KARPUZ

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed

Yayın Tarihi / Publication Date

15 / 10 / 2020

Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi üç ayda bir çevrimiçi olarak yayımlanmaktadır. Akademik usullere uygun atıf yapmak suretiyle dergide yapılan çalışmalardan yararlanılabilir. Bu dergide yayımlanan çalışmaların bütün sorumluluğu yazarlara aittir.



Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

- Prof. Dr. Jose Francisco Gomez Aguilar-Cenidet
Prof. Dr. Vecihi AKSAKAL-Bayburt Üniversitesi
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Gökhan APAYDIN- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Zafer ASLAN-Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Charyyar Ashyralyyev-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Fetullah ARIK-Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet ARSLAN-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Abdon ATANGANA-Free State University
Prof. Dr. Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi-
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Abdelhai ELAZZOZI-Sidi Mohamed Ben Abdellah U.
Prof. Dr. Saffet ERDOĞAN-Harran Üniversitesi
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ertan GÖKALP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Candan GÖKÇEÖĞLU-Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Zakia HAMMOUCH-Moulay Ismail University
Prof. Dr. Cahit HELVACI-Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA-Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Necati KARAKAYA-Selçuk Üni.
Prof. Dr. Hakan KARSLI-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Cemal KÖSE-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Birgül KURAL-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Murat KÜÇÜK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU -Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Halim MUTLU-Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Salim Serkan NAS-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Kolade M. OWOLABI-Federal Uni. of Technology
Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Sunil PROHIT- Rajasthan Technical University
Prof. Dr. Abedallah RABABAH-Jordan Uni. Sci. and Tech.
Prof. Dr. M. Burhan SADIKLAR-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. İsmet SEZER-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Zehra ŞAHİN- Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Selim ŞEN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ-Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni.
Prof. Dr. Coşkun ÜLSER-Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Şükrü YETGİN-Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Keewook YI-Korea Basic Science Institute
Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Yong WANG- University of Manchester
Prof. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üni.
Prof. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih DÖNER-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Ayberk KAYA- Recep Tayyip Erdoğan Üni.
Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üni.
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul Teknik Üni
Doç. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. S. Beyza Ö. SARIKAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi
Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üni.
Doç. Dr. Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet M. KAHRAMAN-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Kemal KUVVET-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ-N. Ömer Halisdemir Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Seda NEMLİ- Ege Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yasin OĞUZ-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul OKCU-Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN- Recep Tayyip Erdoğan Üni
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Ilyas KHAN- Majmaah University
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan Fatih KIŞOĞLU Kenan SÖĞÜT	Investigation of the Motion of Scalar Particles in an External Electromagnetic Field via Asymptotic Iteration Method <i>Asimptotik İterasyon Metodu İle Bir Dış Elektromanyetik Alan İçerisindeki Skaler Parçacıkların Hareketinin İncelenmesi</i>	853
Kadir GELİŞ Faruk YEŞİLDAL	Klasik ve Modern Yapı Elemanları Kullanılması Durumunda Isı İletim Katsayısının Değişimi ile Minimum Yalıtım Kalınlığının Tayini <i>Determination of Minimum Insulation Thickness with the Change of Heat Conduction Coefficient in the Use of Classic and Modern Building Elements</i>	869
Yasemin N. ÇEVİK	The Effect of A High-Resolution Accurate Mass Spectrometer On Simultaneous Multiple Mushroom Toxin Detection <i>Yüksek Çözünürlüklü Kütle Spektrometrenin Eşzamanlı Çoklu Mantar Toksin Tayinleri Üzerindeki Etkisi</i>	878
Halil AYTEKİN Yelda Akçin ERGÜN Melih ÖZÇATAL	Ferritik Çeliklerde Kırılma Tokluğunun Saptanmasında Farklı Bir Yaklaşım <i>A Different Approach to the Determination of the Fracture Toughness in Ferritic Steels</i>	887
Murat ABDİOĞLU	Numerical Investigation of the Critical Current and Trapped Flux Properties of the HTS-PMG Arrangements <i>HTS-PMG Dizilimlerinin Kritik Akım ve Tuzaklanan Akı Özelliklerinin Nümerik Olarak İncelenmesi</i>	900
Meltem AKTAŞ İshak CUMHUR İbrahim DÜZGÜN	Kritik Hal Çerçevesinde YBCO (358) Süperiletkeninin ZFC İşlemi ile Manyetizasyon-Sıcaklık Değişiminin Modellenmesi <i>Modelling of the Magnetization-Temperature Change of YBCO (358) Superconductor in Critical State Framework</i>	911
Turgut AK Bilge İNAN	A Study on Approximate Analytic Solutions of the Combined KdV-mKdV Equation <i>Birleştirilmiş KdV-mKdV Denkleminin Yaklaşık Analitik Çözümleri Üzerine Bir Çalışma</i>	917
Emre ÖZYURT	Çok Düzlemli Kaynaklı K-Birleşimlerin Dayanımları <i>Resistance of Multiplanar Welded K-Joints</i>	925
Nurhan KOÇAN Nüket ANKARALI	Akarsuların Önemi ve Farklı Kullanımları Üzerine Bir Değerlendirme <i>An Evaluation on Importance and Different Use of Rivers</i>	937
Arzu FIRAT ERSOY Nazlı AYYILDIZ TURAN Hava YILDIZ ÖZGÜL	Kızılırmak Delta Kıyı Alanındaki Tuzlanma Sürecinin Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi ile Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Sea Water Intrusion in Kızılırmak Delta Coastal Area by Stuyfzand Hydrogeochemical Modeling System</i>	949
Fatih DÖNER Erdal KÖSE	Tünel Projelerinde Harita Mühendisliği Uygulamaları: Yeni Zigana Tüneli Örneği <i>Geomatics Engineering Applications in Tunnel Projects: New Zigana Tunnel Case</i>	961
Melih OKCU	Farklı Ekim Zamanlarının Soya Fasulyesi Çeşitlerinde Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkileri <i>Effects of Different Sowing Times on Some Agricultural Properties in Soybean Varieties</i>	972
Osman AKMEŞE Tuba ACET Kadriye ÖZCAN	Elazığ İlinde Yetişen Morus nigra L. Ekstraktlarının Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin ve Antibiyotiklerle Sinerjistik Etkisinin Belirlenmesi <i>Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities and Synergistic effect with Antibiotics of Morus nigra L. Extracts Grown in Elazığ Province</i>	983
Ahmet EMİR Ceren EMİR	Anthemis tinctoria L. var. tinctoria L. Bitkisine Ait Fenolik Bileşiklerin LC-ESI-MS/MS ile Miktar Tayini ve Bitkinin Biyolojik Aktivitelerinin Belirlenmesi <i>Quantification of Phenolic Compounds of Anthemis tinctoria L. var. tinctoria L. by LC-MS/MS and Determination of Biological Activities of the Plant</i>	996

Zülfü GÜROCAK Emre Burak KÜRÜM	Elazığ Bölgesinin Kırmataş Potansiyeli ve Kullanım Alanları <i>Crushed Stone Potential of Elazığ Region and Usage Areas</i>	1007
Emine ÇORUH Metin Mutlu AYDIN Eren DAĞLI Ömer Faruk ÖZTÜRK Mehmet Sinan YILDIRIM	Kapalı Otobüs Durağı Uygulamalarının Kullanıcı Beklentileri ve Memnuniyeti Doğrultusunda İncelenmesi: Gümüşhane ve Antalya Örneği <i>Investigation of Enclosed Bus Station Applications in Terms of User Expectations and Satisfaction: Case of Gümüşhane and Antalya Cities</i>	1027
Behçet DÜNDAR Emriye ÇINAR Servet PEŞİN	Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması <i>Investigation of Physical and Mechanical Properties of Basalt and Carbon Fiber Reinforced Concrete</i>	1039
Büşra KARANFİL Burak TÜYSÜZ	Pasif Radar Uygulamalarında Çoklu Ardışık OFDM Kanalı Kullanımının Menzil Çözünürlüğüne Etkilerinin İncelenmesi <i>Effects of the Successive Multiple OFDM Channels on Range Resolution in Passive Radar Applications</i>	1049
Abdurrahman KARAMAN Mehmet Nuri YILDIRIM Şekip ŞADİYE YAŞAR	Üç Boyutlu Yazıcılarda Üretilen Birleştirme Elemanlarının “L” Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerde Momenti Kapasitesine Etkisinin Belirlenmesi <i>Determination of Bending Moment Capacity on “L” Type Furniture Corner Assembly Elements Produced by 3D Printers</i>	1057
Cansu ORHAN Mahmut FIRAT	Kanalizasyon Sistemlerinde Rehabilitasyonda Öncelikli Bölgelerin PROMETHEE ve MAUT Yöntemleri ile Belirlenmesi <i>Identification of Priority Regions in Rehabilitation in Sewerage Systems by PROMETHEE and MAUT Methods</i>	1066
Ümmükcülüm Ö. AKDEMİR	Metal Kaplama Tesisi Atıksuyundan Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Fosfat Giderimi <i>Phosphate Removal from Metal Coating Plant Wastewater by Electrocoagulation</i>	1077
Oktay CANBAZ Önder GÜRSOY Ahmet GÖKCE	Kaolin Dağılımının Spektral Sınıflama Yöntemleri ile Belirlenmesi: Geminbeli Kaolin Yatağı (Sivas) ve Çevresi <i>Determination of Kaolin Distribution by Using Spectral Classification Methods: Geminbeli Kaolin Deposit (Sivas) and Its Surroundings</i>	1085
Enver AKARYALI Fatih ŞAL	Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) Cevherleşmesinin Jeolojik ve Mineralojik İncelenmesi <i>Geological and Mineralogical Investigation of Kılıçören (Gümüşhane) Pb-Zn-Cu±Au±Ag Mineralization</i>	1095
Habib DOĞAN	Elektronik Beton İzleme Sistemi Sonrası Yapı Denetimli Yapılarda Kullanılan Hazır Beton Kalitesinin Isparta İli Ölçeğinde Değerlendirilmesi <i>Evaluation Of Ready-Mixed Concrete Quality In Isparta Scale After Electronic Concrete Monitoring System</i>	1110
Ümit YILDIRIM Cüneyt GÜLER Mehmet Ali KURT Onur GÜVEN	Kaynağından Akdeniz’e Deliçay’ın (Mersin) Debisi ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi <i>Assessment of Discharge and Water Quality of Deliçay (Mersin) from Its Source to Mediterranean Sea</i>	1121
Birkan DURAK	Adi ve Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Çözümlerinin Kollokasyon Yöntemiyle Bulunması <i>Collocation Method for Solution of Ordinary and Partial Differential Equations</i>	1136
Oğuz OĞUR	Modülüs Fonksiyonu ile Tanımlanmış Genelleştirilmiş Büyük Lebesgue Dizi Uzaylarının Topolojik Bazı Özellikleri <i>Some Topological Properties of Generalized Grand Lebesgue Sequence Spaces Defined by Modulus Function</i>	1144
Hüseyin ŞAHİN Zafer ASLAN	Kalk-alkalen Musalar Graniti’nin Petrografisi, Jeokimyası ve Yukarıgöcek (Bigadiç-Balıkesir) Ametist Oluşumun Kökeni; Kuzeybatı Anadolu (Türkiye) <i>Petrography, Geochemistry of the Calc-alkaline Musalar Granite and Origin of the Yukarıgöcek (Bigadiç-Balıkesir) Amethyst Formation; Northwest Anatolia (Turkey)</i>	1150
Baransel GÜNEŞ Afshin B. CHIANEH Mutlu DEMİRBAŞ	Comparison of Multiple Scales Method and Finite Difference Method for Solving Singularly Perturbed Convection Diffusion Problem <i>Singüler Pertürbe Özellikli Konveksiyon Difüzyon Problemleri İçin Çoklu Ölçekler Metodu ve Sonlu Fark Metodunun Karşılaştırılması</i>	1169

Fazlıhan YILMAZ	Mısır Püskülünün Pamuklu Kumaşlar için Doğal Boyamacılık Özelinde Kullanımının Araştırılması (Mordan Maddesiz Kullanımın, Mordan Maddeli Kullanımla Kıyaslanması) <i>Investigation of Using Corn Tassel for Cotton Fabrics in Natural Dyeing (Comparison of Use without Mordant with Use with Mordant)</i>	1182
Hasan AĞIL	Niyobyum İlavesinin (Bi, Pb)-2223 Bulk Süperiletken Sistemine Etkisi Üzerine Bir Araştırma <i>An Investigation on the Influence of Niobium Adding on (Bi,Pb)-2223 Bulk Superconducting System</i>	1188
Yunus SANTUR	Deep Learning Based Regression Approach for Algorithmic Stock Trading: A Case Study of the Bist30 <i>Algoritmik İşlemler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Regresyon Yaklaşımı: BİST30 Örneği</i>	1195

Investigation of the Motion of Scalar Particles in an External Electromagnetic Field via Asymptotic Iteration Method

Asimptotik İterasyon Metodu İle Bir Dış Elektromanyetik Alan İçerisindeki Skaler Parçacıkların Hareketinin İncelenmesi

Hasan Fatih KIŞOĞLU*^{1,a}, Kenan SÖĞÜT^{2,b}

¹Department of Basic Sciences, Faculty of Maritime, Mersin University, Mersin, Turkey

²Department of Physics, Faculty of Science and Letters, Mersin University, Mersin, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 23.12.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.06.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 30.06.2020

Abstract

In the present article, we study the energy eigenvalues and wavefunctions of the spinless particles in the existence of space-dependent electric and magnetic fields. The investigation is performed for two different orientations of the external fields by solving the Schrödinger and Klein-Gordon equations via Asymptotic Iteration Method (AIM). The obtained results are discussed numerically for first few quantum levels to understand the relativistic contributions by comparing the energy eigenvalues of Schrödinger and Klein-Gordon equations. By considering the quantum conditions for the resulting equations in the case of parallel and orthogonal orientations of the fields, we obtained the plots for the energy levels.

Keywords: Asymptotic Iteration Method, External Fields, Klein-Gordon Equation, Schrödinger Equation, Spinless Particles

Öz

Bu çalışmada, uzay-bağımlı elektrik ve manyetik alanların varlığında, spinsiz parçacıkların enerji özdeğerleri ve dalga fonksiyonları incelenmektedir. Çalışmada, dış alanların iki farklı yönelimi için Schrödinger ve Klein-Gordon denklemleri Asimptotik İterasyon Metodu (AIM) ile çözülmektedir. Elde edilen sonuçlar, Schrödinger ve Klein-Gordon denklemlerinin enerji özdeğerleri karşılaştırılarak göreceli katkıları görebilmek için, ilk birkaç kuantum seviyesi için, sayısal olarak tartışılmıştır. Alanların paralel ve ortogonal yönelimlerinde ortaya çıkan denklemlerin kuantum koşullarını göz önüne alarak, enerji seviyelerinin eğrisi elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Asimptotik İterasyon Metodu, Dış Alanlar, Klein-Gordon Denklemi, Schrödinger Denklemi, Skaler Parçacıklar

*a Hasan Fatih KIŞOĞLU, hasanfatihk@mersin.edu.tr, Tel: +90(532)7016883, orcid.org/0000-0002-9739-5947

^b orcid.org/0000-0002-9682-2855

1. Introduction

Electromagnetic fields have lots of important applications used in the medicine and technology for a long time. Depending on their usage in fundamental processes occurring in the engineering, particle and medical physics, important steps have been taken such as developments on the intense particle beams generated by laser sources or on the construction of accelerators. Besides, some observations in astrophysics such as the discovery of the pulsars got attention on the different configurations of parallel electric and magnetic fields (Chiu et al., 1969; Chiu and Canuto, 1969; Chiu and Occhionero, 1969). After these developments, exact solutions of the relativistic particle equations in external electromagnetic fields required considerable attention. Such studies have been accomplished for different configurations of the external fields (Redmond, 1965; Liboff, 1966; Occhionero and Demianski, 1969; Lam, 1971; Grewing and Heintzmann, 1972; Bergou and Ehlotzky, 1983; Ivanovski et al., 1993; Villalba and Pino, 2001; Chiang and Ho, 2001; Rutkowski and Poszwa., 2009; Sogut and Havare, 2014) in which the exact solutions of the non-relativistic and relativistic wave equations are obtained and principal informations regarding the corresponding quantum mechanical system are derived. These investigations have been very helpful in the interpretation of the physical processes such as Compton scattering by a laser source and the Brownian motion. There are less studies on the motion of the spinless particles in the coexistence of the electric and magnetic fields.

The aim of the present study is to obtain the exact solutions of the spinless particles for two orientations of exponentially varying electric and magnetic fields that are given by

$$A_\mu = \left(\frac{E_0}{\alpha+\beta z}\right) \delta_\mu^0 + \left(\frac{B_0}{\Gamma+\Lambda y}\right) \delta_\mu^1 \tag{1}$$

$$A_\mu = \left(\frac{E_0}{\Gamma+\Lambda y}\right) \delta_\mu^0 + \left(\frac{B_0}{\Gamma+\Lambda y}\right) \delta_\mu^1 \tag{2}$$

2. A Brief Introduction to Asymptotic Iteration Method (AIM)

We summarize Asymptotic Iteration Method (AIM) in this section, while exhaustive information can be found in Ref. (Ciftci et al., 2003). AIM was provided for solving the second order linear differential equations in a form as follows

$$y''(x) = \lambda_0(x)y'(x) + s_0(x)y(x) \tag{3}$$

where $E_0, B_0, \alpha, \beta, \Gamma$ and Λ are constants and $y, z \in [0, \infty)$. Eqs. (1) and (2) represent the case of parallel fields ($\vec{E} \parallel \vec{B}$) and perpendicular fields ($\vec{E} \perp \vec{B}$), respectively.

There are different methods that can be used for the investigation of such a motion in quantum mechanics, such as Nikiforov-Uvarov (NU) method (Nikiforov and Uvarov, 1988), faztorization method (Dong, 2007) and Supersymmetric Quantum Mechanics (SUSYQM) (Valance et al., 1990). In this study, we use Asymptotic Iteration Method (AIM) which is widely used in recent years (Ciftci et al., 2003). AIM is a novel method that makes the calculations in quantum mechanics easier and faster. It can be applied to both exactly and approximately (numerically) solvable problems (Ciftci et al., 2005a, 2013; Ciftci and Kisoglu 2016; Benchiheub et al., 2015; Chabab et al., 2016; Demic et al., 2016). AIM can also be used in the scope of perturbation method (Ciftci et al., 2005b, 2013; Onate and Idiodi, 2015; Zhang et al., 2015; Alsadi, 2015; Kumaresan et al., 2015). Availability in the scope of perturbation method, besides the usage for exactly and approximately solvable problems, makes AIM a powerful method.

In present work, the motion of a spinless particle in the external fields given in Eq. (1) is investigated by means of Asymptotic Iteration Method (AIM). We obtain the exact solutions of both Schrödinger and Klein-Gordon equations for such a particle via the method. We also construct the energy spectrums for both equations.

According to organization of the paper, we introduce briefly the AIM in Section 2, and by applying this method to the Schrödinger and Klein-Gordon equations by considering Eqs. (1) and (2) in Section 3. Finally, we discuss the obtained results in Section 4.

where $\lambda_0(x)$, $s_0(x)$ and their derivatives are continuous functions within the boundaries of the given system. On the assumption that

$$\frac{s_n}{s_{n-1}} = \frac{\lambda_n}{\lambda_{n-1}} \equiv \zeta \tag{4}$$

is satisfied for $n \in Z^+$ (n is large enough), there is a general solution given by

$$y(x) = \exp\left(-\int^x \zeta(t) dt\right) \left[C_2 + C_1 \int^x \exp\left(\int^t (\lambda_0(\tau) + 2\zeta(\tau)) d\tau\right) dt \right] \tag{5}$$

where C_1 and C_2 are constants and

$$\lambda_n = \lambda'_{n-1} + s_{n-1} + \lambda_0 \lambda_{n-1}, \quad s_n = s'_{n-1} + s_0 \lambda_{n-1} \tag{6}$$

The (unknown) E energy eigenvalues of the eigenvalue problem are obtained from the following equation:

$$\delta_n(x, E) \equiv s_n(x, E)\lambda_{n-1}(x, E) - \lambda_n(x, E)s_{n-1}(x, E) = 0 \tag{7}$$

which is named as "termination condition", and is obtained through the Eq. (4).

This termination condition has a crucial role to get the eigenvalues. If the unknown E energy eigenvalues (roots of Eq. (7)) can be obtained independently from the variable x, the problem is exactly solvable. If not, the problem is approximately (or numerically) solvable and an acceptable initial $x \equiv x_0$ value is needed to initiate the AIM iterations. This initial value may be obtained from $\lambda_0 = 0$ (Ciftci et al., 2003, 2013; Aygun et al., 2007). Besides that, eigenfunctions of the problem are obtained by using the function generator given as follows (Bayrak and Boztosun, 2006; Bayrak et al. 2007):

$$y_n(x) = C_2 \exp\left(-\int^x \frac{s_n(t)}{\lambda_n(t)} dt\right) \tag{8}$$

3. Application of AIM to the Problem

In this section, we apply AIM to Schrödinger and Klein-Gordon equations individually, for a scalar particle subjected to external electric and magnetic fields. For each equation, both $\vec{E} \parallel \vec{B}$ and $\vec{E} \perp \vec{B}$ cases are tackled, and exact energy eigenvalues and eigenfunctions for each case are obtained.

3.1. Solution of Schrödinger Equation

The Schrödinger equation for a particle moving in external electric and magnetic fields is

$$\left[\frac{(\vec{p}-e\vec{A})^2}{2m}\right] \Psi = \left(i\frac{\partial}{\partial t} - eA_0\right) \Psi \tag{9}$$

in natural units ($\hbar = c = 1$) where e and m are charge and mass of the particle, respectively. $A_\mu = (A_0, \vec{A})$ is electromagnetic four-vector potential (Greiner, 1997, 2001).

3.1.1. The Case of $\vec{E} \parallel \vec{B}$

In the case of $\vec{E} \parallel \vec{B}$, since the electromagnetic vector potential is independent of the x variable, we can write the wavefunction as follow

$$\Psi_{\parallel}^{Sch}(x, y, z, t) = e^{i(xk_x - \epsilon t)} F(y)G(z)$$

where $x, y, z \in [0, \infty)$. By inserting this form of the wavefunction into Eq. (9), we obtain

$$[\hat{U}(y) + \hat{V}(z)]F(y)G(z) = 0 \tag{10}$$

where $\hat{U}(y)$ and $\hat{V}(z)$ operators are defined as follows

$$\hat{U}(y) = \hat{p}_y^2 + \left(k_x - \frac{eB_0}{\Gamma + \Lambda y}\right)^2 \tag{11}$$

$$\hat{V}(z) = \hat{p}_z^2 - 2m\epsilon + \frac{2meE_0}{\alpha + \beta z} \tag{12}$$

Eq. (10) can be separated into two ordinary differential equations as follows

$$[\hat{U}(y) + a^2]F(y) = 0 \tag{13}$$

$$[\hat{V}(z) - a^2]G(z) = 0 \tag{14}$$

where a^2 is separation constant. If we change the variable as $\rho = \Gamma + \Lambda y$, then Eq. (13) reduces to following form

$$\left[\frac{d^2}{d\rho^2} - \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2} \frac{1}{\rho^2} + \frac{2ek_x B_0}{\Lambda^2} \frac{1}{\rho} - \pi^2\right] F(\rho) = 0 \tag{15}$$

where $\pi^2 = \frac{k_x^2 + a^2}{\Lambda^2}$.

Regarding to domain of the problem, $F(\rho)$ can be assumed as

$$F(\rho) = \rho^{\sigma+1} e^{-\pi\rho} g(\rho) \tag{16}$$

where

$$\sigma = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2}} \tag{17}$$

Substituting Eq. (16) into Eq. (15), we get

$$g''(\rho) = \left[2\pi - \frac{2(\sigma+1)}{\rho}\right] g'(\rho) + \left[\frac{2\pi(\sigma+1)}{\rho} - \frac{2ek_x B_0}{\Lambda^2} \frac{1}{\rho}\right] g(\rho) \tag{18}$$

This equation is in appropriate form to start the AIM iterations with the functions

$$\lambda_0(\rho) = \left[2\pi - \frac{2(\sigma+1)}{\rho}\right] \tag{19}$$

$$s_0(\rho) = \left[\frac{2\pi(\sigma+1)}{\rho} - \frac{2ek_x B_0}{\Lambda^2} \frac{1}{\rho}\right] \tag{20}$$

First few iterations of AIM give

$$\pi_0 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\sigma+1)}, \quad \pi_1 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\sigma+2)}, \quad \pi_2 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\sigma+3)} \quad \text{and} \quad \pi_3 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\sigma+4)}$$

So, we can generalize π as

$$\pi_n = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(n+\sigma+1)} \quad (n = 0,1,2,3, \dots) \tag{21}$$

Thus, using $\pi^2 = \frac{k_x^2+a^2}{\Lambda^2}$, the separation constant a^2 can be obtained as

$$a_n^2 = k_x^2 \left[\frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2(n+\sigma+1)^2} - 1 \right] \tag{22}$$

As for Eq. (14), it is written in the explicit form as below

$$\left[\frac{d^2}{d\gamma^2} - \frac{2meE_0}{\beta^2} \frac{1}{\gamma} - \eta^2 \right] G(\gamma) = 0 \tag{23}$$

where we defined a new variable, $\gamma = \alpha + \beta z$ and η as

$$\eta^2 = -\frac{a^2+2m\epsilon}{\beta^2} \tag{24}$$

One can choose $G(\gamma)$, in Eq. (23), as follows

$$G(\gamma) = \gamma e^{-\eta\gamma} f(\gamma)$$

Then it yields

$$f''(\gamma) = \left[2\eta - \frac{2}{\gamma} \right] f'(\gamma) + \left[\frac{2\eta}{\gamma} + \frac{2meE_0}{\beta^2} \frac{1}{\gamma} \right] f(\gamma) \tag{25}$$

In order to follow the procedures of AIM, we use the following functions

$$\lambda_0(\gamma) = \left[2\eta - \frac{2}{\gamma} \right] \tag{26}$$

$$s_0(\gamma) = \left[\frac{2\eta}{\gamma} + \frac{2meE_0}{\beta^2} \frac{1}{\gamma} \right] \tag{27}$$

According to first few AIM iterations, we have

$$\eta_0 = -\frac{meE_0}{\beta^2}, \quad \eta_1 = -\frac{meE_0}{2\beta^2}, \quad \eta_2 = -\frac{meE_0}{3\beta^2} \quad \text{and} \quad \eta_3 = -\frac{meE_0}{4\beta^2}$$

Then we obtain the exact form of generalized η

$$\eta_l = -\frac{meE_0}{(l+1)\beta^2} \quad (l = 0,1,2,3, \dots) \tag{28}$$

Reminding Eqs. (22) and (24), we obtain the exact energy eigenvalues of Schrödinger equation for the case $\vec{E} \parallel \vec{B}$ as

$$\epsilon_{||n,l}^{Sch} = -\frac{1}{2m} \left\{ \frac{m^2 e^2 E_0^2}{(l+1)^2 \beta^2} + k_x^2 \left[\frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2(n+\sigma+1)^2} - 1 \right] \right\} \tag{29}$$

The wave functions belonging to Eqs. (11) and (12) are determined in two steps. The functions given in Eqs.

(19) and (20) are used to obtain the function generator $g_n(\rho) = \exp\left(-\int \frac{s_n(t)}{\lambda_n(t)} dt\right)$. We get the following

results according to first few AIM iterations

$$\begin{aligned}
 g_0 &= 1, \\
 g_1 &= -(2\sigma + 2)(\sigma + 2) \left[1 - \frac{2\pi_1\rho}{2\sigma+2} \right], \\
 g_2 &= (2\sigma + 2)(2\sigma + 3)(\sigma + 3)^2 \left[1 - \frac{4\pi_2\rho}{2\sigma+2} + \frac{4\pi_2^2\rho^2}{(2\sigma+2)(2\sigma+3)} \right], \\
 g_3 &= -(2\sigma + 2)(2\sigma + 3)(2\sigma + 4)(\sigma + 4)^3 \left[1 - \frac{6\pi_3\rho}{2\sigma+2} + \frac{12\pi_3^2\rho^2}{(2\sigma+2)(2\sigma+3)} - \frac{8\pi_3^3\rho^3}{(2\sigma+2)(2\sigma+3)(2\sigma+4)} \right], \\
 g_4 &= (2\sigma + 2)(2\sigma + 3)(2\sigma + 4)(2\sigma + 5)(\sigma + 5)^4 \left[1 - \frac{8\pi_4\rho}{2\sigma+2} + \frac{24\pi_4^2\rho^2}{(2\sigma+2)(2\sigma+3)} - \right. \\
 &\quad \left. \frac{32\pi_4^3\rho^3}{(2\sigma+2)(2\sigma+3)(2\sigma+4)} + \frac{16\pi_4^4\rho^4}{(2\sigma+2)(2\sigma+3)(2\sigma+4)(2\sigma+5)} \right]
 \end{aligned}$$

So, the function generator can be generalized as

$$g_n(\rho) = (-1)^n(\sigma + n + 1)^n \left[\prod_{k=2}^{n+1} (2\sigma + k) \right] {}_1F_1(-n; 2\sigma + 2; 2\pi_n\rho) \tag{30}$$

where ${}_1F_1(a; b; z)$ is the confluent hypergeometric function of the first kind. By using Eq. (30), the eigenfunction of Eq. (15) is obtained as

$$F_n(\rho) = (-1)^n \rho^{\sigma+1} e^{-\pi_n\rho} (\sigma + n + 1)^n \left[\prod_{k=2}^{n+1} (2\sigma + k) \right] {}_1F_1(-n; 2\sigma + 2; 2\pi_n\rho) \tag{31}$$

The eigenfunction of Eq. (23) is determined in the same manner we followed in Eq. (15). Using the functions in Eqs. (26) and (27), AIM iterations give the following expressions for the $f_l(\gamma)$ function generator:

$$\begin{aligned}
 f_0 &= 1, \\
 f_1 &= 2 \cdot 2 \left[1 - \frac{2\eta_1\gamma}{2} \right], \\
 f_2 &= 2 \cdot 3 \cdot 3^2 \left[1 - \frac{4\eta_2\gamma}{2} + \frac{8\eta_2^2\gamma^2}{2 \cdot 3 \cdot 2!} \right], \\
 f_3 &= 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4^3 \left[1 - \frac{6\eta_3\gamma}{2} + \frac{24\eta_3^2\gamma^2}{2 \cdot 3 \cdot 2!} - \frac{48\eta_3^3\gamma^3}{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3!} \right]
 \end{aligned}$$

Then we generalize the $f_l(\gamma)$ as follows

$$f_l(\gamma) = (l + 1)^l \left[\prod_{t=2}^{l+1} k \right] {}_1F_1(-l; 2; 2\eta_l\gamma) \tag{32}$$

So, the eigenfunction of Eq. (23) is

$$G_l(\gamma) = \gamma e^{-\eta_l\gamma} (l + 1)^l \left[\prod_{t=2}^{l+1} k \right] {}_1F_1(-l; 2; 2\eta_l\gamma) \tag{33}$$

and the wavefunction of Schrödinger equation for the case $\vec{E} \parallel \vec{B}$ is obtained as below

$$\begin{aligned}
 \psi_{||n,l}^{Sch} &= N_1 e^{i(xk_x - \epsilon t)} \gamma \rho^{\sigma+1} e^{-(\pi_n\rho + \eta_l\gamma)} (l + 1)^l [-(\sigma + n + 1)]^n \left(\prod_k^{n+1} 2\sigma + k \right) \left(\prod_{t=2}^{l+1} t \right) \\
 &\quad {}_1F_1(-n; 2\sigma + 2; 2\pi_n\rho) {}_1F_1(-l; 2; 2\eta_l\gamma)
 \end{aligned} \tag{34}$$

where N_1 is normalization constant and $n, l = 0, 1, 2, 3, \dots$

3.1.2. The case of $\vec{E} \perp \vec{B}$

For perpendicular orientation of the external fields, the particle is assumed as moving freely on xz -plane, and the wave function of the particle can be written as

$$\Psi_{\perp}^{Sch}(x, y, z, t) = e^{i(xk_x + zk_z - \epsilon t)} \phi(y)$$

The Schrödinger equation for this wavefunction is

$$\left[\frac{d^2}{d\theta^2} - \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2} \frac{1}{\theta^2} + \frac{2e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2} \frac{1}{\theta} - \Sigma^2 \right] \phi(\theta) = 0 \tag{35}$$

where $\theta = \Gamma + \Lambda y$ and $\Sigma^2 = \frac{k_x^2 + k_z^2 - 2m\epsilon}{\Lambda^2}$. By defining $\phi(\theta)$ as $\phi(\theta) = \theta^{\tau+1} e^{-\Sigma\theta} f(\theta)$

Eq. (35) yields

$$f''(\theta) = \left[2\Sigma - \frac{2(\tau+1)}{\theta} \right] f'(\theta) + \left[\frac{2\Sigma(\tau+1)}{\theta} - \frac{2e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2} \frac{1}{\theta} \right] f(\theta) \tag{36}$$

where $\tau = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2}}$. This equation is in suitable form for the AIM iterations with

$$\lambda_0(\theta) = \left[2\Sigma - \frac{2(\tau+1)}{\theta} \right] \tag{37}$$

$$s_0(\theta) = \left[\frac{2\Sigma(\tau+1)}{\theta} - \frac{2e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2} \frac{1}{\theta} \right] \tag{38}$$

Following expressions are acquired with reference to first few AIM iterations

$$\begin{aligned} \Sigma_0 &= \frac{e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2(\tau + 1)}, & \Sigma_1 &= \frac{e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2(\tau + 2)}, \\ \Sigma_2 &= \frac{e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2(\tau + 3)}, & \Sigma_3 &= \frac{e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2(\tau + 4)} \end{aligned}$$

So, the general form of Σ is

$$\Sigma_n = \frac{e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda^2(n + \tau + 1)} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \tag{39}$$

Thus, we get the energy eigenvalues for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$ as follows

$$\epsilon_{\perp n}^{Sch} = -\frac{1}{2m} \left\{ \left[\frac{e(k_x B_0 - mE_0)}{\Lambda(n + \tau + 1)} \right]^2 - (k_x^2 + k_z^2) \right\} \tag{40}$$

The wavefunction for the case of $\vec{E} \perp \vec{B}$ can easily be determined by using the fact that Eq. (39) and Eq. (21) are in the same form. So, we can obtain the below given eigenfunction of the case $\vec{E} \perp \vec{B}$ in the same manner we used for the case of $\vec{E} // \vec{B}$

$$\Psi_{\perp n}^{Sch} = N_2 e^{i(xk_x + zk_z - \epsilon t)} \theta^{\tau+1} e^{-\Sigma_n \theta} (-n - \tau - 1)^n \left[\prod_{k=2}^{n+1} (2\tau + k) \right] {}_1F_1(-n; 2\tau + 2; 2\Sigma_n \theta) \tag{41}$$

where N_2 is normalization constant and $n=0,1,2,3,\dots$

Figure 1 depicts the variation of energy eigenvalues versus the parameters Λ and β for the case $\vec{E} // \vec{B}$, whereas, Figure 2 illustrates Λ dependency of energy eigenvalues for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$.

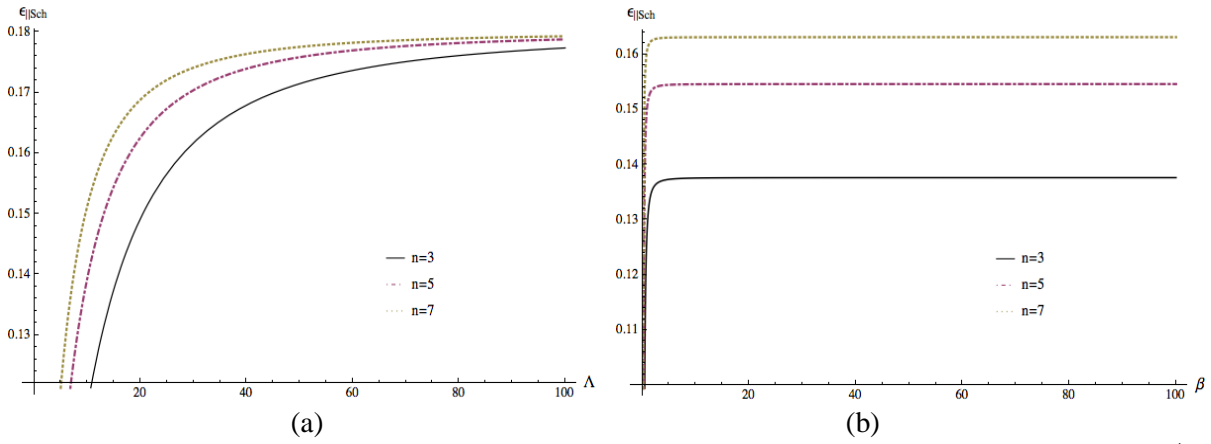


Figure 1. Variation of the energy eigenvalues versus the parameters Λ (a) and β (b) for the case $\vec{E} \parallel \vec{B}$. We set $m = q = 1, k_x \equiv p_x = 0.6, E_0 = 0.5, B_0 = 50$ taking $\beta = 10$ (a) and $\Lambda = 15$ (b).

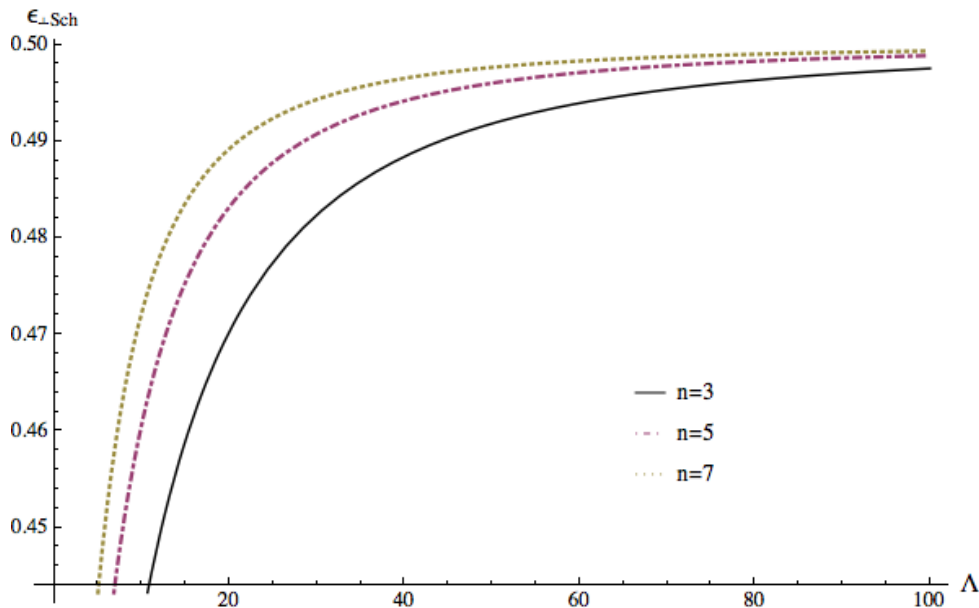


Figure 2. Λ dependency of the energy eigenvalues for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$ taking $m = q = 1, k_x \equiv p_x = 0.6, k_z \equiv p_z = 0.8, E_0 = 0.5, B_0 = 50$ and $\beta = 10$.

3.2. Solutions of Klein-Gordon Equation

Klein-Gordon equation for any relativistic scalar particle interacting with external electric and magnetic fields is given by (Greiner, 1997) ($\hbar = c = 1$)

$$\left[(\vec{p} - e\vec{A})^2 + m^2 \right] \Psi = (p_0 - eA_0)^2 \Psi$$

where e and m are charge and mass of the spin-zero particle, respectively, and $A_\mu = (A_0, \vec{A})$ is four-vector electromagnetic potential.

3.2.1. The case of $\vec{E} \parallel \vec{B}$

Regarding to the selected electromagnetic potential, the wavefunction is written as

$$\Psi_{\parallel}^{KG}(x, y, z, t) = e^{i(xk_x - \epsilon t)} H(y) R(z)$$

By using Eq.(2), the Klein-Gordon equation yields

$$[\widehat{D}(y) - b^2]H(y) = 0 \tag{42}$$

$$[\widehat{O}(z) + b^2]R(z) = 0 \tag{43}$$

where

$$\widehat{D}(y) = \hat{p}^2(y) + \left(k_x - \frac{eB_0}{\Gamma + \Lambda y}\right)^2 + m^2 \tag{44}$$

$$\widehat{O}(z) = \hat{p}^2(z) - \left(\varepsilon - \frac{eE_0}{\alpha + \beta z}\right)^2 \tag{45}$$

and b^2 is separation constant. By changing the variable such as $\delta = \Gamma + \Lambda y$, Eq. (42) can be given as

$$\left[\frac{d^2}{d\delta^2} - \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2} \frac{1}{\delta^2} + \frac{2ek_x B_0}{\Lambda^2} \frac{1}{\delta} - \xi^2\right] H(\delta) = 0 \tag{46}$$

where $\xi^2 = \frac{k_x^2 + m^2 - b^2}{\Lambda^2}$. By writing $H(\delta)$ as

$$H(\delta) = \delta^{\mu+1} e^{-\xi\delta} f(\delta)$$

Eq. (46) is reduced to

$$f''(\delta) = \left[2\xi - \frac{2(\mu+1)}{\delta}\right] f'(\delta) + \left[\frac{2\xi(\mu+1)}{\delta} - \frac{2ek_x B_0}{\Lambda^2} \frac{1}{\delta}\right] f(\delta) \tag{47}$$

where $\mu = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2}}$. So, AIM iterations are initiated using

$$\lambda_0(\delta) = \left[2\xi - \frac{2(\mu+1)}{\delta}\right] \tag{48}$$

$$s_0(\delta) = \left[\frac{2\xi(\mu+1)}{\delta} - \frac{2ek_x B_0}{\Lambda^2} \frac{1}{\delta}\right] \tag{49}$$

First few AIM iterations give the following results

$$\xi_0 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\mu + 1)}, \quad \xi_1 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\mu + 2)}, \quad \xi_2 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\mu + 3)} \quad \text{and} \quad \xi_3 = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(\mu + 4)}$$

With the usage of these expressions, the analytical form of ξ is achieved as

$$\xi_n = \frac{ek_x B_0}{\Lambda^2(n + \mu + 1)} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \tag{50}$$

If we use the relation $\xi^2 = \frac{k_x^2 + m^2 - b^2}{\Lambda^2}$, b^2 separation constant is derived as

$$b_n^2 = k_x^2 \left[1 - \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2(n + \mu + 1)^2}\right] + m^2 \tag{51}$$

For Eq.(43), changing the variable as $v = \alpha + \beta z$ gives follows

$$\left[\frac{d^2}{dv^2} + \frac{e^2 E_0^2}{\beta^2} \frac{1}{v^2} - \frac{2e\varepsilon E_0}{\beta^2} \frac{1}{v} - \Delta^2\right] R(v) = 0 \tag{52}$$

where $\Delta^2 = \frac{b^2 - \epsilon^2}{\beta^2}$.

One can assume $R(v)$ as

$$R(v) = v^{\Omega+1} e^{-\Delta v} g(v)$$

with $\Omega = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{e^2 E_0^2}{\beta^2}}$. Then Eq. (52) reduces to

$$g''(v) = \left[2\Delta - \frac{2(\Omega+1)}{v} \right] g'(v) + \left[\frac{2\Delta(\Omega+1)}{v} + \frac{2e\epsilon E_0}{\beta^2} \frac{1}{v} \right] g(v) \tag{53}$$

Which is in AIM form, where

$$\lambda_0(v) = \left[2\Delta - \frac{2(\Omega+1)}{v} \right] \tag{54}$$

$$s_0(v) = \left[\frac{2\Delta(\Omega+1)}{v} + \frac{2e\epsilon E_0}{\beta^2} \frac{1}{v} \right] \tag{55}$$

in accordance to Eq. (3) and Eq. (53). Then first few AIM iterations give

$$\Delta_0 = -\frac{e\epsilon E_0}{\beta(\Omega + 1)}, \quad \Delta_1 = -\frac{e\epsilon E_0}{\beta(\Omega + 2)}, \quad \Delta_2 = -\frac{e\epsilon E_0}{\beta(\Omega + 3)} \quad \text{and} \quad \Delta_3 = -\frac{e\epsilon E_0}{\beta(\Omega + 4)}$$

and the general form of Δ is

$$\Delta_l = -\frac{e\epsilon E_0}{\beta^2(l+\Omega+1)} \quad (l = 0, 1, 2, 3, \dots) \tag{56}$$

So, using $\Delta^2 = \frac{b^2 - \epsilon^2}{\beta^2}$, following exact energy eigenvalues are got

$$\epsilon_{||n,l}^{KG} = \pm \sqrt{\frac{b_n^2 [\beta(l+\Omega+1)]^2}{e^2 E_0^2 + [\beta(l+\Omega+1)]^2}} \tag{57}$$

for the case of $\vec{E} \parallel \vec{B}$ where b_n^2 is given as Eq. (51).

One can attain the wave function for this case through the same procedures of Schrödinger equation. If $\lambda_0(\delta)$ and $s_0(\delta)$, given in Eqs. (48) and (49), are used for AIM iterations one can get the

$f_n(\delta) = \exp\left(-\int \frac{s_n(t)}{\lambda_n(t)} dt\right)$ function generator for Eq. (47). Then following results are obtained

$$\begin{aligned} f_0 &= 1, \\ f_1 &= -(2\mu + 2)(\mu + 2) \left[1 - \frac{2\xi_1 \delta}{2\mu + 2} \right], \\ f_2 &= (2\mu + 2)(2\mu + 3)(\mu + 3)^2 \left[1 - \frac{4\xi_2 \delta}{2\mu + 2} + \frac{4\xi_2^2 \delta^2}{(2\mu + 2)(2\mu + 3)} \right], \\ f_3 &= -(2\mu + 2)(2\mu + 3)(2\mu + 4)(\mu + 4)^3 \left[1 - \frac{6\xi_3 \delta}{2\mu + 2} + \frac{12\xi_3^2 \delta^2}{(2\mu + 2)(2\mu + 3)} - \frac{8\xi_3^3 \delta^3}{(2\mu + 2)(2\mu + 3)(2\mu + 4)} \right] \end{aligned}$$

Thus, the general form of $f_n(\delta)$ is obtained as

$$f_n(\delta) = (-1)^n (n + \mu + 1)^n \left[\prod_{k=2}^{n+1} (2\mu + k) \right] {}_1F_1(-n; 2\mu + 2; 2\xi_n \delta) \tag{58}$$

and eigenfunction of Eq. (46) is

$$H_n(\delta) = (-1)^n e^{-\xi_n \delta} \delta^{\mu+1} (n + \mu + 1)^n \left[\prod_{k=2}^{n+1} (2\mu + k) \right] {}_1F_1(-n; 2\mu + 2; 2\xi_n \delta) \tag{59}$$

The wavefunction related to the motion in z -direction is obtained via $g_n(\nu) = \exp\left(-\int^{\nu} \frac{s_l(t)}{\lambda_l(t)} dt\right)$ function generator for Eq. (53). Thus, $\lambda_0(\nu)$ and $s_0(\nu)$ functions given in Eqs. (54) and (55) should be used in AIM iterations. We have following expressions

$$\begin{aligned} g_0 &= 1, \\ g_1 &= (2\Omega + 2)(\Omega + 2) \left[1 - \frac{2\Delta_1 \nu}{2\Omega + 2} \right], \\ g_2 &= (2\Omega + 2)(2\Omega + 3)(\Omega + 3)^2 \left[1 - \frac{4\Delta_2 \nu}{2\Omega + 2} + \frac{4\Delta_2^2 \nu^2}{(2\Omega + 2)(2\Omega + 3)} \right], \\ g_3 &= (2\Omega + 2)(2\Omega + 3)(2\Omega + 4)(\Omega + 4)^3 \left[1 - \frac{6\Delta_3 \nu}{2\Omega + 2} + \frac{12\Delta_3^2 \nu^2}{(2\Omega + 2)(2\Omega + 3)} - \frac{8\Delta_3^3 \nu^3}{(2\Omega + 2)(2\Omega + 3)(2\Omega + 4)} \right] \end{aligned}$$

pursuant to AIM iterations. Then, the general form of $g_l(\nu)$ is got as follow

$$g_l(\nu) = (l + \Omega + 1)^l \left[\prod_{d=2}^{l+1} (2\Omega + d) \right] {}_1F_1(-l; 2\Omega + 2; 2\Delta_l \nu) \tag{60}$$

So, the eigenfunction of Eq. (52) is found as

$$R_l(\nu) = \nu^{\Omega+1} e^{-\Delta_l \nu} (l + \Omega + 1)^l \left[\prod_{d=2}^{l+1} (2\Omega + d) \right] {}_1F_1(-l; 2\Omega + 2; 2\Delta_l \nu) \tag{61}$$

Therefore, the wavefunction for the case $\vec{E} \parallel \vec{B}$ is achieved as below

$$\begin{aligned} \psi_{|n,l}^{KG} &= N_3 e^{i(xk_x - \epsilon t)} \delta^{\mu+1} \nu^{\Omega+1} e^{-(\xi_n \delta + \Delta_l \nu)} (l + \Omega + 1)^l [-(\mu + n + 1)]^n \left(\prod_{k=2}^{n+1} 2\mu + k \right) \\ &\left(\prod_{d=2}^{l+1} 2\Omega + d \right) {}_1F_1(-n; 2\mu + 2; 2\xi_n \delta) {}_1F_1(-l; 2\Omega + 2; 2\Delta_l \nu) \end{aligned} \tag{62}$$

where N_3 is normalization constant and $n, l=0, 1, 2, 3, \dots$

3.2.2. The case of $\vec{E} \perp \vec{B}$

By introducing the wavefunction as

$$\Psi_{\perp}^{KG}(x, y, z, t) = e^{i(xk_x + zk_z - \epsilon t)} D(y)$$

and using the electromagnetic potential given by Eq. (2), The Klein-Gordon equation for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$ is reduced to the form

$$\left[\frac{d^2}{d\omega^2} - \frac{e^2(B_0^2 - E_0^2)}{\Lambda^2} \frac{1}{\omega^2} + \frac{2e(k_x B_0 - \epsilon E_0)}{\Lambda^2} \frac{1}{\omega} - \chi^2 \right] D(\omega) = 0 \tag{63}$$

where we introduced a new variable $\omega = \Gamma + \Lambda y$, and made a definition $\chi^2 = \frac{k_x^2 + k_z^2 + m^2 - \epsilon^2}{\Lambda^2}$. Taking into consideration the domain of the problem, the wavefunction $D(\omega)$ can be taken as

$$D(\omega) = \omega^{\varpi+1} e^{-\chi \omega} f(\omega)$$

with $\varpi = -\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{e^2(B_0^2 - E_0^2)}{\Lambda^2}}$. Then, the following equation can be obtained

$$f''(\omega) = \left[2\chi - \frac{2(\varpi+1)}{\omega} \right] f'(\omega) + \left[\frac{2\chi(\varpi+1)}{\omega} - \frac{2e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2} \frac{1}{\omega} \right] f(\omega) \tag{64}$$

in which the AIM iterations can be initialized with the following functions

$$\lambda_0(\omega) = \left[2\chi - \frac{2(\varpi+1)}{\omega} \right] \tag{65}$$

$$s_0(\omega) = \left[\frac{2\chi(\varpi+1)}{\omega} - \frac{2e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2} \frac{1}{\omega} \right] \tag{66}$$

First few AIM iterations give the below results

$$\begin{aligned} \chi_0 &= \frac{e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2(\varpi + 1)}, & \chi_1 &= \frac{e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2(\varpi + 2)} \\ \chi_2 &= \frac{e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2(\varpi + 3)}, & \chi_3 &= \frac{e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2(\varpi + 4)} \end{aligned}$$

from which, the general expression for χ is derived as

$$\chi_n = \frac{e(k_x B_0 - \varepsilon E_0)}{\Lambda^2(n + \varpi + 1)} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \tag{67}$$

Taking into consideration the definition $\chi^2 = \frac{k_x^2 + k_z^2 + m^2 - \varepsilon^2}{\Lambda^2}$, one can obtain the following second order linear equation for ε

$$c_1 \varepsilon^2 + c_2 \varepsilon + c_3 = 0 \tag{68}$$

So, the exact energy eigenvalues for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$ is obtained as follows

$$\varepsilon_{\perp n}^{KG} = \frac{-c_2 \pm \sqrt{c_2^2 - 4c_1 c_3}}{2c_1} \tag{69}$$

where

$$c_1 = e^2 E_0^2 + \Lambda^2(n + \varpi + 1)^2, \quad c_2 = -2e^2 k_x B_0 E_0$$

$$c_3 = e^2 k_x^2 B_0^2 - (k_x^2 + k_z^2 + m^2)\Lambda^2(n + \varpi + 1)^2$$

The wavefunction for the case of $\vec{E} \perp \vec{B}$ can be achieved by comparing the similar forms of Eq. (50) and Eq. (67). So, one can suppose the following eigenfunction for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$

$$\begin{aligned} \Psi_{\perp n}^{KG} &= N_4 e^{i(xk_x + zk_z - \varepsilon t)} \omega^{\varpi+1} e^{-\chi_n \omega} (-n - \varpi - 1)^n \left[\prod_{k=2}^{n+1} (2\varpi + k) \right]_1 F_1 \\ &(-n; 2\varpi + 2; 2\chi_n \omega) \end{aligned} \tag{70}$$

where N_4 is normalization constant.

Variations of energy eigenvalues versus the parameters Λ and β for the case $\vec{E} \parallel \vec{B}$ are shown in Figure 3. Figure 4 shows Λ dependency of energy eigenvalues for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$.

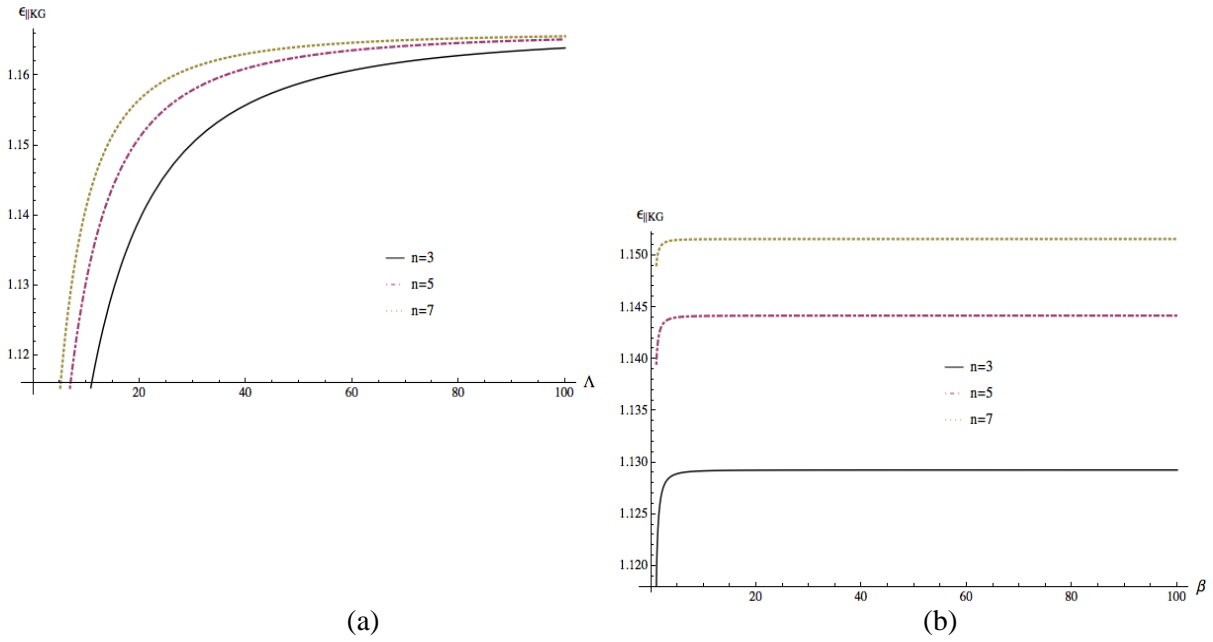


Figure 3: Variations of energy eigenvalues of Klein-Gordon equation versus the parameters Λ (a) and β (b) for the case $\vec{E} \parallel \vec{B}$. We set $m = q = 1, k_x = p_x = 0.6, E_0 = 0.5, B_0 = 50$ taking $\beta = 10$ (a) and $\Lambda=15$ (b).

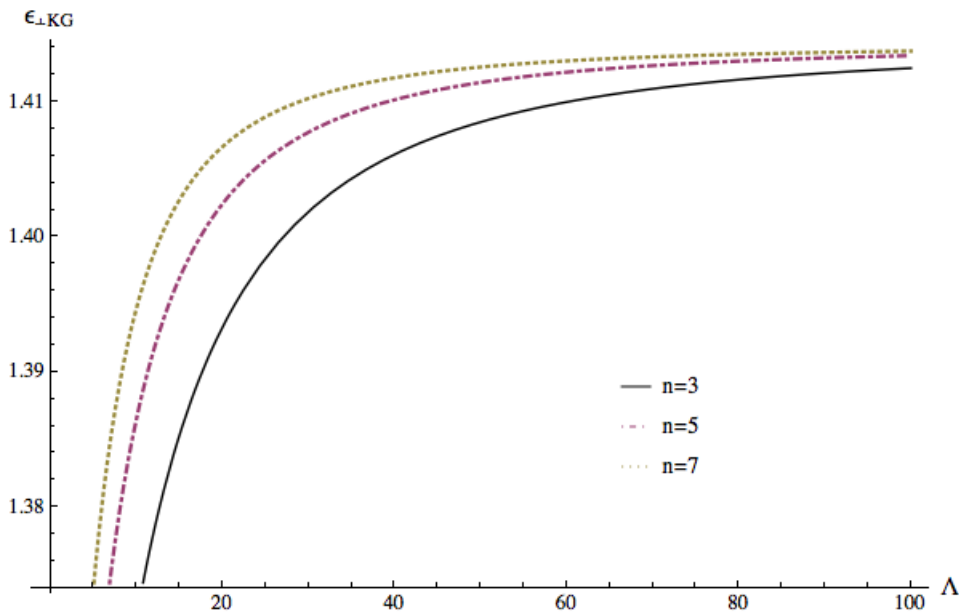


Figure 4: Λ dependency of the energy eigenvalues of Klein-Gordon equation for the case $\vec{E} \perp \vec{B}$ taking $m = q = 1, k_x = p_x = 0.6, k_z = p_z = 0.8, E_0 = 0.5, B_0 = 50$ and $\beta = 10$.

Figure 3 and Figure 4 show us that energy eigenvalues have weak commitment to the parameter β . This is the case which we have also identified for the non-relativistic equation. We compare the energy eigenvalues of Schrödinger and Klein-Gordon equations for the both $\vec{E} \parallel \vec{B}$ and $\vec{E} \perp \vec{B}$ cases in Table 1 and Table 2, respectively. The eigenvalues are written in terms of Λ parameter in these tables.

Table 1. Energy eigenvalues of Schrödinger and Klein-Gordon equations for certain values of Λ . We set $m = q = 1, p_x = 0.6, E_0 = 0.5, B_0 = 50$ and $\beta = 10$.

n	Λ	$\epsilon_{ Sch}$	$\epsilon_{ KG}$
0	2.5	0.007528	1.007470
	5	0.015872	1.015700
	15	0.045254	1.044160
1	2.5	0.024018	1.023720
	5	0.043877	1.042930
	15	0.0953811	1.091170
2	2.5	0.037718	1.037020
	5	0.064891	1.062890
	15	0.121830	1.115160
3	2.5	0.049615	1.048430
	5	0.081339	1.078260
	15	0.137554	1.129190

Table 2. Energy eigenvalues of Schrödinger and Klein-Gordon equations for certain values of Λ . We set $m = q = 1, p_x = 0.6, p_z = 0.8, E_0 = 0.5, B_0 = 50$ and $\beta = 10$.

n	Λ	$\epsilon_{ Sch}$	$\epsilon_{ KG}$
0	2.5	0.334438	1.293110
	5	0.342506	1.299300
	15	0.370917	1.320840
1	2.5	0.349476	1.304620
	5	0.368679	1.319150
	15	0.418480	1.356060
2	2.5	0.362555	1.314540
	5	0.388830	1.334220
	15	0.443887	1.374480
3	2.5	0.374001	1.323150
	5	0.404676	1.345940
	15	0.459033	1.385330

4. Conclusion

We study the motion of the spinless non-relativistic and relativistic particles in the presence of parallel and orthogonal electric and magnetic fields, which can be derived from Eqs. (1) and (2), via Asymptotic Iteration Method (AIM). The resulting wave-functions of the studied quantum systems show us that the relativistic effects arise for the motion on both y - and z -directions.

On the other hand, the energy eigenvalues against the beta and lambda parameters are drawn for non-relativistic and relativistic cases in Figures 1-4. A first look at the plots shows us that while the motion on the y -direction contributes to increase of the energy, the motion on the z -direction has no effect on the increase of energy spectrum, namely energy spectrum becomes constant after a certain

value of β . Therefore, while reduction of the magnetic field due to the increase of Λ has no effect in the increase of the energy spectrum, the reduction of electric field due to the increase of the β causes the energy eigenvalues to be constant. Such a variation on the energy eigenvalues upon the Λ is due to the term $-\frac{1}{2} +$

$\sqrt{\frac{1}{4} + \frac{e^2 B_0^2}{\Lambda^2}}$ in the denominator. This outcome applies for the both Schrödinger and Klein-Gordon equations. In addition to this, energy eigenvalues of Klein-Gordon equation are about one mass greater than the ones obtained for Schrödinger equation as expected. This can also be clearly seen from Table 1 and Table 2. From Figures 1-4 and Table 1 and Table 2, it can be deduced in the case of $\vec{E} \parallel \vec{B}$ that the external magnetic field bounds the system, since the

energy eigenvalues specifically vary with respect to the Λ . In this case, it can also be said that the time-dependent electric field is responsible for the particle production, as expected (Sogut and Havare, 2015). As for the $\vec{E} \perp \vec{B}$ case, one could not interpret which field component dominates the energy eigenvalues since the Λ is used for both electric and magnetic fields. Besides, one can refer the differences on the energy eigenvalues of the particle for the cases where the electric and magnetic fields are perpendicular and parallel to each other, separately (see in Table 1 and Table 2), can be referred to the Poynting Theorem in the classical electromagnetic theory (Griffiths, 1991).

Finally, it is also seen from Table 1 and Table 2 that as the Λ parameter increases, the difference between Klein-Gordon and Schrödinger energy eigenvalues falls below the mass difference (i.e., $m = 1$) between these two equations. This can be explained by that Schrödinger equation approaches to the relativistic case (i.e., Klein-Gordon case) as the parameter Λ increases.

References

- Alsadi, K.S., 2015. Exact Solutions of Dirac-Rosen-Morse Problem via Asymptotic Iteration Method. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 10, 683-687.
- Aygun, M., Bayrak, O. and Bostosun, I., 2007. Solution of the Radial Schrödinger Equation for the Potential Family Using the Asymptotic Iteration Method. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 40, 537-544.
- Bayrak, O. and Boztosun, I., 2006. Arbitrary ℓ -state Solutions of the Rotating Morse Potential by the Asymptotic Iteration Method. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 39, 6955-6964.
- Bayrak, O., Boztosun, I. and Ciftci, H., 2007. Exact Analytical Solutions to the Kratzer Potential by the Asymptotic Iteration Method. *International Journal of Quantum Chemistry*, 107, 540-544.
- Benchiheb, N., Kasri, Y. and Kahoul, A., 2015. Unified and Simple Derivation of Energy Levels for the Pöschl-Teller-type and Scarf-type Potentials. *Canadian Journal of Physics*, 93, 1486-1489.
- Bergou, J. and Ehlötzky, F., 1983. Relativistic Quantum States of a Particle in an Electromagnetic Plane Wave and a Homogeneous Magnetic Field. *Physical Review A*, 27, 2291-2296.
- Chabab, M., El Batoul, A. and Oulne, M., 2016. Closed Analytical Solutions of the D-Dimensional Schrödinger Equation with Deformed Woods-Saxon Potential Plus Double Ring-Shaped Potential. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 71, 59-68.
- Chiang, C.M. and Ho, C.L., 2001. Charged Particles in External Fields as Physical Examples of Quasi-exactly-solvable Models: A Unified Treatment. *Physical Review A*, 63, 062105.
- Chiu, H.Y., Canuto, V. and Fassio-Canuto, L., 1969. Nature of Radio and Optical Emissions from Pulsars. *Nature*, 221, 529-531.
- Chiu, H.Y. and Canuto, V., 1969. Radio Emission From Magnetic Neutron Stars. A Possible Model for Pulsars. *Physical Review Letters*, 22, 415.
- Chiu, H.Y. and Occhionero, F., 1969. Unified Model for Pulsars. *Nature*, 223, 1113-1116.
- Ciftci, H., Hall, R.L. and Saad, N., 2003. Asymptotic Iteration Method for Eigenvalue Problems. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 36, 11807-11816.
- Ciftci, H., Hall, R.L. and Saad, N., 2005a. Construction of Exact Solutions to Eigenvalue Problems by the Asymptotic Iteration Method. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 38, 1147-1156.
- Ciftci, H., Hall, R.L. and Saad, N., 2005b. Perturbation Theory in a Framework of Iteration Methods. *Physics Letters A*, 340, 388-396.
- Ciftci, H., Hall, R.L. and Saad, N., 2013. Exact and Approximate Solutions of Schrödinger's Equation for a Class of Trigonometric Potentials. *Central European Journal of Physics*, 11, 37-48.
- Ciftci, H. and Kisoglu, H.F., 2016. Application of Asymptotic Iteration Method to a Deformed Well Problem. *Chinese Physics B*, 25, 030201.
- Demić, A., Milanović, V., Radovanović, J. and Musić, M., 2016. WKB Method for Potentials Unbounded from Below, *Modern Physics Letters B*, 30, 1650003.
- Dong, S. H., 2007. *Factorization Method in Quantum Mechanics*, Springer, The Netherlands, 35p.
- Greiner, W., 1997. *Relativistic Quantum Mechanics*, Springer, Berlin, 41p.
- Greiner, W., 2001. *Quantum Mechanics: An Introduction*, Springer, Berlin, 206p.

- Grewing, M. and Heintzmann, H., 1972. Charged Particle Motion in Superstrong Electromagnetic Fields. *Physics Letters A*, 42, 325-326.
- Griffiths, D. J., 1991. *Introduction to Electrodynamics*, Prentice-Hall International, Inc., U.S.A, 347p.
- Ivanovski, G., Jakimovski, D. and Sopova, V., 1993. Energy Levels of a Charged Particle in a Homogeneous Electric Field Orthogonal to a Piecewise Homogeneous Magnetic Field. *Physics Letters A*, 183, 24-28.
- Kumaresan, N., Kamali, M.Z.M. and Ratnavelu, K., 2015. Solution of the Fuzzy Schrödinger Equation in Positron-Hydrogen Scattering Using Ant Colony Programming. *Chinese Journal of Physics*, 53, 080401.
- Lam, L., 1971. Motion in Electric and Magnetic Fields. I. Klein-Gordon Particles. *Journal of Mathematical Physics*, 12, 299-303.
- Liboff, R.L., 1966. Brownian Motion of Charged Particles in Crossed Electric and Magnetic Fields. *Physical Review*, 141, 222-227.
- Nikiforov, A. F. and Uvarov, U. V., 1988. *Special Functions of Mathematical Physics*, Birkhauser Verlag, Basel, 1p.
- Occhionero, F. and Demianski, M., 1969. Electric Fields in Rotating, Magnetic, Relativistic Stars. *Physical Review Letters*, 23, 1128-1130.
- Oñate, C.A. and Idiodi, J.O.A., 2015. Eigensolutions of the Schrödinger Equation with Some Physical Potentials. *Chinese Journal of Physics*, 53, 120001.
- Redmond, P.J., 1965. Solution of the Klein-Gordon and Dirac Equations for a Particle with a Plane Electromagnetic Wave and a Parallel Magnetic Field. *Journal of Mathematical Physics*, 6, 1163-1169.
- Rutkowski, A. and Poszwa, A., 2009. Relativistic Corrections for a Two-dimensional Hydrogen-like Atom in the Presence of a Constant Magnetic Field. *Physica Scripta*, 79, 065010.
- Sogut, K. and Havare, A., 2014. Spinless Particles in Exponentially Varying Electric and Magnetic Fields. *Advances in High Energy Physics*, 2014, 493120.
- Sogut, K. and Havare, A., 2015. On the Scalar Particle Creation by Electromagnetic Fields in Robertson-Walker Spacetime. *Nuclear Physics B*, 901, 76-84.
- Valance, A., Morgan, T.J. and Bergeron, H., 1990. Eigensolution of the Coulomb Hamiltonian via supersymmetry. *American Journal of Physics*, 58, 487-491.
- Villalba, V.M. and Pino, R., 2001. Energy Spectrum of a Relativistic Two-dimensional Hydrogen-like Atom in a Constant Magnetic Field of Arbitrary Strength. *Physica E*, 10, 561-568.
- Zhang, C.Y., Zhang, S.J. and Wang, B., 2015. Charged Scalar Perturbations Around Garfinkle-Horowitz-Strominger Black Holes. *Nuclear Physics B*, 899, 37-54.

Klasik ve Modern Yapı Elemanları Kullanılması Durumunda Isı İletim Katsayısının Değişimi ile Minimum Yalıtım Kalınlığının Tayini

Determination of Minimum Insulation Thickness with the Change of Heat Conduction Coefficient in the Use of Classic and Modern Building Elements

Kadir GELİŞ^{1,a}, Faruk YEŞİLDAL^{*2,b}

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 23.04.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 30.06.2020

Öz

Bu çalışmada Türkiye'deki 4 derece gün bölgesi için farklı duvar yapı elemanları (tuğla, bims ve gaz beton) örnek olarak seçilmiş, seçilen bu yapı malzemeleri için Türkiye piyasasında halen satışı yapılan farklı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı aralığı (0.025-0.060 W/mK) göz önünde bulundurularak uygulanması gereken minimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Bu sayede farklı derece gün bölgeleri için minimum yalıtım kalınlığı malzeme türünden bağımsız bir hale getirilerek, ısı iletim katsayısı tabanlı bir seçim önerilmiştir. Hesaplamalar ısı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneğinin (izoder) TS 825 standartları kapsamında oluşturdukları "İzoder TS 825 Hesap Programı" ile yapılmıştır. Yapılan hesaplar neticesinde 1. Derece gün bölgesinde minimum yalıtım kalınlığı ısı iletkenlik katsayısına ve yapı elemanına bağlı olarak 2-7 cm arasında değişirken, 2. Derece gün bölgesinde 2-8 cm arasında, 3. Derece gün bölgesinde 3-10 cm arasında, 4. Derece gün bölgesinde 4-13 cm arasında olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Farklı Duvar Yapı Elemanları, Isı Yalıtımı, Isı İletim Katsayısı, TS 825

Abstract

In this study, different wall components for in four different degree days in Turkey (bricks and gas concrete) chosen as a sample, heat transfer coefficient range of selected these structures still available for sale in Turkey market for materials made of different insulating materials (0.025 to 0.060 W/mK) Taking into consideration the minimum insulation thicknesses to be applied were determined. In this way, a minimum insulation thickness is made independent from the material type for different degree day regions, and a selection based on heat transmission coefficient is proposed. Calculations were made with the "Izoder TS 825 Calculation Program" created by the heat, water, sound and fire insulators association (izoder) within the scope of TS 825 standards. As a result of the calculations, minimum insulation thickness varies between 2-7 cm depending on the thermal conductivity coefficient and building element in the 1st degree day region, 2-8 cm in the 2nd degree day region, 3-10 cm in the 3rd degree day region, 4. It is calculated that the degree is between 4-13 cm in the day zone.

Keywords: Different Wall Building Elements, Thermal Insulation, Heat Conduction Coefficient, TS 825

*b Faruk YEŞİLDAL, fayesildal@agri.edu.tr, Tel: (0472) 215 98 63, orcid.org/0000-0002-7307-3556

a orcid.org/0000-0001-8612-2233

1. Giriş

İnsan nüfusunun hızlı artışı, teknolojinin ilerlemesi ve sanayileşmenin ivmelenmesi ile birlikte enerjiye artan talep ve enerji yoğunluğu her geçen gün artış göstermektedir. Ekonomik kalkınma, enerjiye olan talebi artırır. Enerjinin genellikle yenilenemeyen doğal kaynaklardan ve cari açık oluşturan ithal kaynaklardan elde edilmesi dezavantaj oluşturmaktadır. Küresel enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü inşaat sektörü oluşturmaktadır. Türkiye’de hacim ısıtma ve soğutmanın toplam bina enerji tüketimine oranı % 35 civarındadır (Yaman ve Şengül, 2015). Nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının iyileşmesiyle konut arzının ve buna paralel olarak enerji tüketiminin de gittikçe artacağı öngörülmektedir. Bunun yanında enerji ithalatına ve sınırlı enerji kaynaklarımıza artan bağımlılık enerji odaklı düşünmemizi gerektirmektedir. Bunun en iyi yolu enerjiyi verimli kullanmaktır. Son yıllarda sürekli artan enerji maliyetleri, enerji verimli binalar kavramına yönelik eğilimleri artırmaktadır. Dış duvar ısı yalıtım uygulaması, binalarda enerji tasarrufu elde etmek için yaygın bir yaklaşımdır. Enerji verimliliğinin artırılması için konut ve kamu binaları çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bina dış duvarının uygun tasarımı ve seçimi alan ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilir. Bu hem ısıtma yükünün azaltılması ve buna bağlı olarak iklim değişikliği (sera gazı) etkilerinin azaltılmasına da yardımcı olur (Bynum, 2000).

Ülkemizde enerji verimliliği iyileştirmesi için bina derecelendirme programları (enerji kimlik belgesi) yapılmaktadır. Bu ayrıca teşvik edilmektedir. 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine göre enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması gereklidir (URL-1). 1 Ocak 2020 itibarı ile binalarda enerji kimlik belgesi zorunlu hale getirildi. Buna yönelik olarak bina enerji derecelendirmelerinin yaygınlaşmasıyla enerji verimliliği finansmanı da teşvik edilirse enerji tasarrufunun daha erişilebilir olacağını öngörmekteyiz.

Literatürde konut ısıtmasında kullanılan duvar tipleri, ısı yalıtım malzemeleri, optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süresi analizi, nem ve yangın dayanıklılığı, çevresel etkiler, yalıtımın uygulama şekli gibi konularda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Türkiye’de binalar büyük miktarda enerji tüketiminden sorumludur ve muazzam enerji tasarrufu potansiyeline sahiptir. Uygulamadan önce daha doğru sonuçlara sahip olmak ve sürecin farklı yönlerini de dikkate almak gerekir. Bu çalışmada araştırmacılar (Ashrafian vd., 2016) Türkiye’nin üç farklı iklim bölgesinden seçtikleri şehirler için (Antalya, İstanbul ve Erzurum) aynı geometriye ancak farklı kaplama özelliklerine sahip üç vaka çalışması yapısını analiz ettiler. Bu iklimlerdeki vaka çalışması referans binalarının enerji simülasyonlarını uygulanabilir çözümlerini tanımlamak için ABD Enerji Bakanlığı (DOE) lisansı altında yaygın olarak kullanılan bir simülasyon yazılımı olan *EnergyPlus* yoluyla gerçekleştirdiler. Soğuk iklimin dışında, maksimum enerji tasarrufu sağlayan eylemlerin geri ödeme süresi ve küresel maliyet konuları göz önüne alındığında arzu edilmeyeceğini belirttiler. (Fertelli, 2013), Türkiye’de yaygın olarak kullanılan farklı duvar tiplerinin (taş, tuğla, beton ve bims) optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri üzerindeki etkisini altı farklı yakıt türü (LPG, elektrik, akaryakıt, kömür, doğal gaz ve jeotermal enerji) için değerlendirdi. Bir başka çalışmada (Özel, 2011), dinamik termal koşullar altında farklı yapı malzemelerine sahip bina duvarlarının termal performansını inceledi ve optimum yalıtım kalınlıklarını belirledi. Çalışmada Elazığ ili şartlarında, güney yönündeki bir dış duvar ele alınarak yalıtımsız ve yalıtılmış duvar yapıları için beton, briket, tuğla, blok bims ve AAC (otoklavlı gözenekli beton) bloktan yapılmış bina duvarlarının ısı performansını belirledi. Yalıtım malzemesi olarak ise XPS ve EPS kullandı. Yıllık soğutma ve ısıtma iletim yüklerini, düzenli periyodik koşullar altında kapalı sonlu fark yöntemi kullanarak hesaplanır. Sonuçta beş farklı yapı malzemesine ve iki farklı yalıtım malzemesine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 2- 8.2 cm, enerji tasarruflarının 2.78- 102.16 \$/m² ve geri ödeme sürelerinin ise 1,32-10,33 yıl arasında değiştiğini gösterdi. Bu çalışmada araştırmacılar (Ucar ve Balo, 2010) Türkiye’nin dört iklim bölgesinden dört şehir (Elazığ, Bitlis, Şanlıurfa ve Mersin) için dış duvarın optimum yalıtım kalınlığını, 10 yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini, beş farklı yakıt türü (kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik) ve dış duvarlara uygulanan dört farklı yalıtım malzemesi (EPS, XPS, Siding ve taş yünü) için hesapladılar. Enerji maliyet tasarruflarının şehre ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak 4.2-9.5 \$ / m² arasında değiştiğini gördüler. En düşük tüketime enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanıldığı durumda ulaşılar. 2,25 yıl ile en

yüksek geri ödeme süresi değerine Mersin'de, en düşük değere ise Bitlis'te ulaşılar. İran'da yapılan bir başka çalışmada araştırmacılar (Rosti vd., 2020) tüm iklim bölgelerinde dış duvarın ideal yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve yatırım geri ödeme süresini belirlediler. Çalışmada gri tuğla duvar ve üç farklı modern duvar (İçi boş kil blok, LECA blok ve AAC blok) için inceleme yaptılar. Tüm iklim bölgelerinden sekiz şehir seçerek, iletim yükünü belirlemek için sayısal bir çözümle birlikte yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemini kullanarak optimizasyon yaptılar. Sonuçta, İran'da kullanılan modern duvarlardan biri olan AAC blok duvarında ısı yalıtım uygulamasının bazı şehirlerde ekonomik olmadığını belirttiler. İran'daki maksimum yalıtım kalınlığının 4 cm'den fazla olmadığını ve bunun da diğer ülkeler için bildirilen değerlerden çok daha düşük olduğunu belirttiler. Bu çalışmada (Kalhor ve Ememinejad, 2020) ısı direnci, maliyet, nem ve yangına dayanıklılık gibi farklı kriterlere dayalı olarak binalardaki geleneksel ısı yalıtım malzemeleri üzerine kapsamlı bir genel bakış ve analiz sunulmaktadır. Her yalıtım tipinin avantajları ve dezavantajları tartışılmaktadır. Yalıtım malzemesini niteliksel olarak optimize etmek için bina kaplama tipine ve sistemine dayalı öneriler verdiler. Çalışmada tasarımcılar ve uygulayıcılar için daha pratik çözümler ve değerlendirme araçları sağlamak için ağırlıklı olarak geleneksel malzemeleri incelediler. Ancak yeni yalıtım malzemelerini de kısaca tartıştılar. Ayrıca, yalıtım uygulamasını nicel olarak optimize etmek için, COMcheck programını kullanarak enerji analizlerini küresel olarak bilinen iki enerji koruma koduna dayanarak yaptılar. Macaristan'da yapılan bu çalışmada araştırmacılar (Kisilevicz vd., 2019) Nyiregyhaza kasabasında bulunan deneysel bir konut binasında yapılan araştırmaların ön sonuçlarını ve analizlerini sunmaktadır. Bu makalede yazarlar, aktif yalıtım sisteminin yaygın olarak kullanılan standart pasif yalıtım sistemlerinin ne ölçüde yerini alabileceği sorusunu cevaplamaya çalıştılar. Aktif ısı yalıtımının dış duvarın yalıtım parametrelerini önemli ölçüde geliştirdiği sonucuna vardılar. Analiz edilen duvarın eşdeğer termal geçirgenliği U_{eq} yerel iklim koşullarına bağlıydı ve Kasım ayında $0.047 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve Mart ayında $0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ olurken standart geçirgenlik değerini $0.282 \text{ W/m}^2\text{K}$ elde ettiler. Elde edilen olumlu araştırma sonuçları, NZEB (sıfıra yakın enerji yapısı) binalarında yenilikçi bir sistemin uygulanmasının temeli olması gerektiğini tavsiye ettiler. Ülkemizde yapılan bir çalışmada araştırmacılar (Uygunoğlu ve Keçebaş, 2011) duvar malzemesi ve enerji tüketim maliyetleriyle

birlikte toplam maliyeti en aza indiren optimum kalınlık, tasarruf ve geri ödeme süresini tahmin etmek için Afyonkarahisar'daki binaların dış duvarları için yaşam döngüsü maliyet analizi yaptılar. Uzun vadeli ve mevcut dış hava sıcaklığı kayıtlarını dikkate alarak, derece/gün değerlerini kullanmış ve birim alan başına çeşitli duvar tipleri (bir, iki, üç ve dört sıralı delikli tuğla, gaz beton) ve yakıt türleri (akaryakıt, doğalgaz, kömür ve elektrik) için binanın yıllık enerji ihtiyacının değişimi araştırmışlardır. Sonuç olarak, en yüksek enerji tasarrufunu 4 sıralı içi boş bloklar kullanarak elde ettiler. Ayrıca, tüm iklim bölgeleri için en uygun yakıtların elektrik ve akaryakıt olduğunu gördüler. Ancak, atmosferik kirlilik önemli bir husus olduğundan doğalgazın daha iyi bir seçim olacağını belirttiler. Yalıtım malzemelerinin sınıflandırıldığı bir inceleme çalışmasında araştırmacılar (Aditya vd., 2017) kapalı hücre köpüğü, vakum yalıtım paneli, gaz dolu panel, arojel ve faz değişim malzemesi (PCM) de dahil olmak üzere son teknoloji ürünü yalıtım malzemelerini gözden geçirdiler. Bir başka çalışmada ise (Papadopoulos, 2005) daha sık kullanılan yalıtım malzemelerini sınıflandırdı.

Isı yalıtımının amacı, ısı kaybını veya kazancını azaltacak ve sonuç olarak enerji maliyetinin düşmesine yol açacak enerji tasarruflu malzemeler kullanılarak enerjinin verimli kullanılmasıdır. Çeşitli araştırmacılar tarafından ısı yalıtım malzemeleri ve uygulamaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır, fakat literatür taramasından da anlaşılacağı üzere yapılan hesaplar hep yalıtım malzemesi ve duvar yapı elemanı tabanlıdır. Bu çalışmada ısı yalıtım piyasasında kullanılan farklı yalıtım malzemelerine ilişkin detaylı bir araştırma yapılmış ve bu ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları aralıkları belirlenmiştir. Piyasada bulunabilirlik, uygulama kolaylığı gibi durumlar göz önünde bulundurularak 13.5 cm kalınlığında tuğla, 17.5 cm kalınlığında bims ve gaz beton için dört farklı derece gün bölgesinde minimum ısı yalıtım kalınlıkları ısı iletim katsayıları parametre olacak şekilde belirlenmiştir. Bu sebeple bu çalışmada Türkiye'de en çok uygulanan duvar yapı elemanları temel alınarak ısı iletim katsayısı tabanlı bir minimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Bahsi geçen hesaplamalar İzoder TS 825 Hesap Programı kullanılarak TS 825 Standartları (URL-2) dikkate alınarak yapılmıştır.

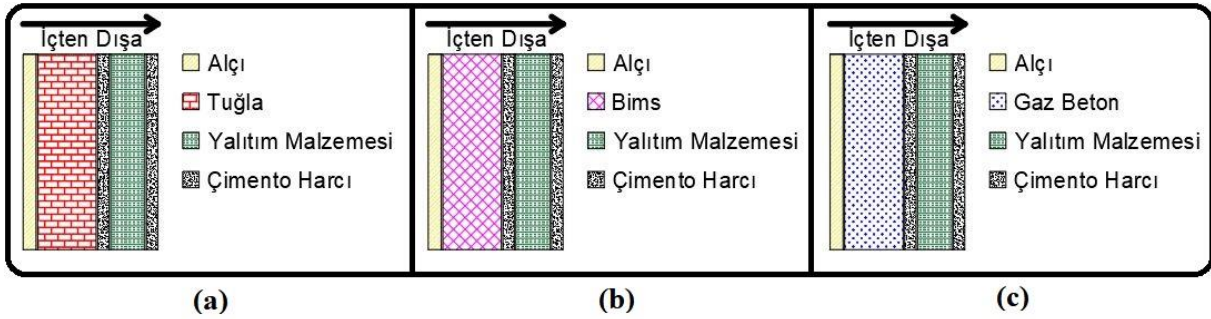
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

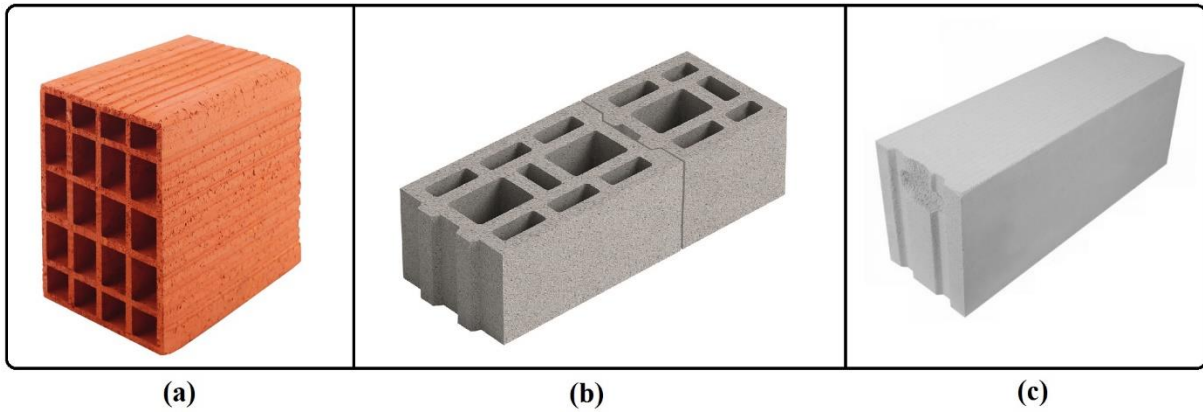
Yalıtım malzemeleri uygulanabilirlik, fiyat, tedarik, yangın güvenliği, çevre ve halk sağlığı açısından değerlendirilirken, endüstrinin gelecekteki gelişmeler için belirlediği amaçlara da uygun olmalıdır. Bu amaçlar; mevzuat, piyasa ve güvenlik çerçevesinde bütünleşik etkileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu çalışmada TS 825 binalarda ısı yalıtım kurallarının öngörmüş olduğu 4 farklı derece gün bölgesi için önerilen maksimum ısı transfer katsayı değerlerinden (U) yola çıkılarak her bölge için ısı iletim katsayısının parametre olduğu minimum yalıtım kalınlığı

hesaplanacaktır. Binalarda kullanılan duvar yapı elemanlarının çok farklı olması ve farklı uygulamalar olması sebebiyle Türkiye’de en çok uygulanan duvar yapı elemanlarından olan tuğla ve gaz beton standart yapı elemanı olarak tercih edilecek, bims ise modern yapı elemanı olarak ele alınacaktır. Bu farklı yapı elemanlarının piyasada en çok bulunan tipi ve kalınlığı (tuğla için 13.5 cm, gaz beton ve bims için 17.5 cm) için minimum yalıtım kalınlığı değeri bölge bazlı olarak önerilecektir.

Bu çalışmada kullandığımız duvar kesiti konfigürasyonları (Şekil 1) ve duvarlarda kullanılan yapı elemanları (Şekil 2) detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1. Duvar kesitini oluşturan malzemeler, (a) Tuğla Duvar, (b) Bims Duvar, (c) Gaz beton Duvar



Şekil 2. Duvarda kullanılan yapı elemanları (a) Tuğla (b) Bims (c) Gaz beton

Aşağıda verilen tabloda (Tablo 1) çalışmada kullandığımız duvar kesitini oluşturan malzemeler ve kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 1. Duvar kesitini oluşturan malzemelerin kalınlıkları

Malzeme Cinsi	Kalınlık (cm)
Alçı	2
Gaz Beton	17.5
Bims	17.5
Tuğla	13.5
Yalıtım Malzemesi	Her bölge için minimum değer hesaplanacaktır
Çimento Harcı (Toplam)	1.5

Çalışmada üç farklı duvar yapı elemanı için hesap yapılmıştır. Bunlardan ilki tuğla, ikincisi bims ve üçüncüsü gaz beton 'dur. Bu tercihler 4 farklı bölgenin iklim koşulları, piyasada bulunabilirlik ve uygulama kolaylığı açısından tercih edilmiştir. Üç yapı elemanının da piyasada en çok tercih edilen ve bulunan kalınlıkları için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı herhangi bir ısı yalıtım malzemesi işaret etmeden, 4 farklı

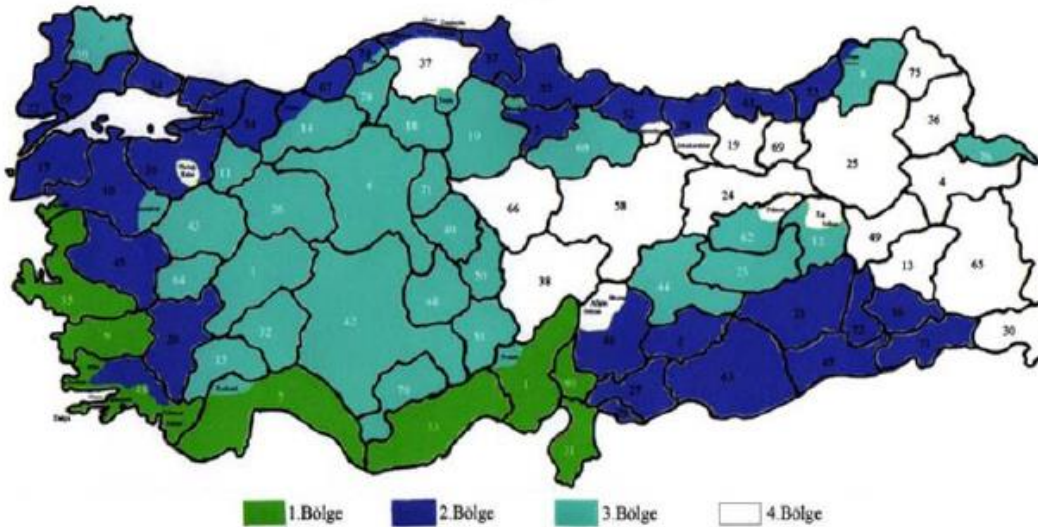
bölge için ısı iletim katsayısı tabanlı minimum ısı yalıtım malzemesi kalınlıklarının belirlenmesidir. Yalıtım malzemeleri için ısı iletim katsayısı aralığı 0.025 W/mK ile 0.090 W/mK olmasına rağmen 0.060 W/mK değerinden yüksek ısıl iletkenliğe sahip malzemeler ahşap içerikli malzemelerdir. Bu yüzden yangın dayanımı ve cepheye uygulanabilirlik açısından değerlendirilerek ısıl iletkenlik değerleri 0.025-0.060 W/mK aralığında seçilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Piyasada kullanılan yalıtım malzemelerinin ısıl iletkenlik aralığı (URL-3)

Malzeme Adı	Standart	Isıl İletkenlik (W/mK)
1.Ahşap Yünü Levhalar	TS EN 13171	0.060-0.090
2.Yerinde İmal Edilmiş Köpük Malzemeler	DIN 18159	
2.1 Poliüretan (PUR)	DIN 18159-1	0.035-0.040
2.2 Reçine-formaldehit köpüğü (UF)	DIN 18159-2	0.035-0.040
3.Sentetik Köpük Malzemeler		
3.1 Expande Polistiren Köpük(EPS)	TS 7316 EN 13163	0.035-0.040
3.2 Extrude Polistiren Köpük(XPS)	TS 11989 EN13164	0.030-0.040
3.3 Poliüretan Sert Köpük(PUR)	TS 10981 ve TE EN 13165	0.025-0.040
4.Fenol Reçinesinden Sert Köpük(PF) Levhalar	TS EN 13166	0.030-0.045
5.Mineral ve Bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri(Camyünü, taşıyünü gibi)	TS 901-1 EN 13162	0.035-0.050
6.Cam Köpüğü	TS EN 13167	0.045-0.060
7. Ahşap Lifli Isı Yalıtım Levhaları	TS EN 13168	0.035-0.070
8. Mantar Yalıtım Levhaları	TS 304 EN 13170	0.045-0.055

TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları standartlarında Türkiye 4 farklı derece gün olarak değerlendirilmektedir. 1. Derece gün Türkiye'de en sıcak iller iken 4. Derece gün illeri Türkiye'nin

en soğuk illeridir. TS 825 standardında yer alan derece gün bölgelerine göre illerimiz Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Derece gün bölgelerine göre illerimiz (URL-3)

Derece / Gün bölgelerine göre toplam ısı transfer katsayısı (U) değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Derece / Gün bölgelerine göre tavsiye edilen maksimum U değerleri (URL-3)

BÖLGE	U_{duvar}	U_{tavan}	U_{taban}	$U_{pencere}$
DG1	0.7	0.45	0.7	2.4
DG2	0.6	0.4	0.6	2.4
DG3	0.5	0.3	0.45	2.4
DG4	0.4	0.25	0.4	2.4

2.2. Hesap Yöntemi

TS 825 standartlarında farklı derece gün bölgeleri esas alınarak duvar için tavsiye edilen U değerleri dikkate alınarak 3 farklı yapı bileşeni için hesap yapılmış ve değişken ısı iletkenlik katsayılarına bağlı olarak minimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir.

Toplam Isı Transfer Katsayısı Hesaplama

a) Toplam ısı geçiş katsayısı (U)

$$R'_{top} = R'_{iç} + \sum R'_{ilet} + R'_{dış} \quad (1)$$

$$R'_{ilet} = \frac{L}{k.A} \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{R'_{top}} \quad (3)$$

Burada; U: yapı bileşenlerinin toplam ısı geçiş katsayısı [W/m²K], R'_{top} duvar kesitini oluşturan elemanların iletim ve taşınım yoluyla oluşturduğu eşdeğer devre direnci [m²K/W], $R'_{iç}$ iç ortamın taşınım direnci [K/W], $R'_{dış}$ dış ortamın taşınım direnci [m²K/W], R'_{ilet} ise duvar kesitini oluşturan her bir eleman için hesaplanan iletim direncidir [m²K/W]. Formüldeki taşınım dirençleri TS 825'in öngördüğü şekilde Tablo 4'den okunmuştur.

Tablo 4. Hesaplanmış taşınım dirençleri (URL-3)

Sıra no	Yapı bileşeni tipi	Yüzeysel ısı iletim direnci ^{1) 2)}	
		R_i (m ² K/W)	R_e (m ² K/W)
1	Dış duvar	0.13	0.04
2	Arkadan havalandırılan giydirme cepheli dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar		0.08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar		3)
4	Toprak temaslı dış duvar		0
5	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0.13	0.04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0.08
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması halinde	0.13	3)
7.2	Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması halinde	0.17	
8	Bodrum tavanı		3)
9	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları	0.17	0.04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı		0

1) Basitleştirmek amacıyla bütün durumlarda $R_i = 0.13$ W/m²K ve 4 ve 10. Sıradaki durumlar hariç olmak üzere $R_e = 0.04$ değerleri hesaplamalarda kullanılabilir.

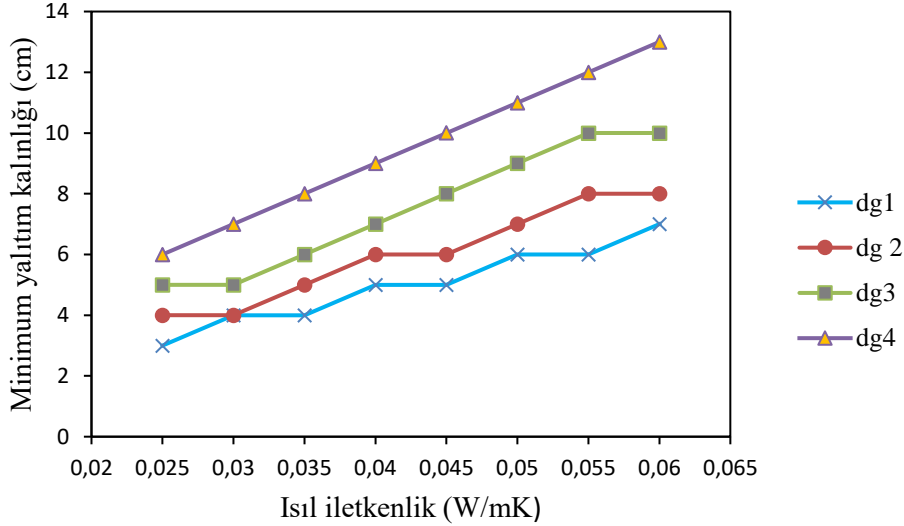
2) Yapı elemanlarından buhar geçişinin tahkiki ve sınırlandırılması ile ilgili hesaplamalarda kullanılacak iç ve dış yüzeysel ısı iletim direnci için $R_i=0.25$ W/m²K ve $R_e=0.04$ W/m²K değerleri kullanılmalıdır.

3) Yapı bileşeninin iç mekânda yer alması durumunda hesaplamalarda iç ve dış yüzey ısı iletim direnç değerleri aynı kabul edilmelidir.

3. Bulgular

Binalarda enerji verimliliğinin artırılması için en etkili yollardan biri ısı yalıtımıdır. Bu çalışmada TS 825 standartları kapsamında Türkiye'deki dört farklı derece/gün bölgesi için ısı iletim katsayısı baz alınarak farklı dış duvar yapı malzemeleri kullanılarak minimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Bulgular, incelenen yapı malzemelerine göre ısı iletkenlik-minimum yalıtım kalınlığı grafikleri halinde sunulmuştur.

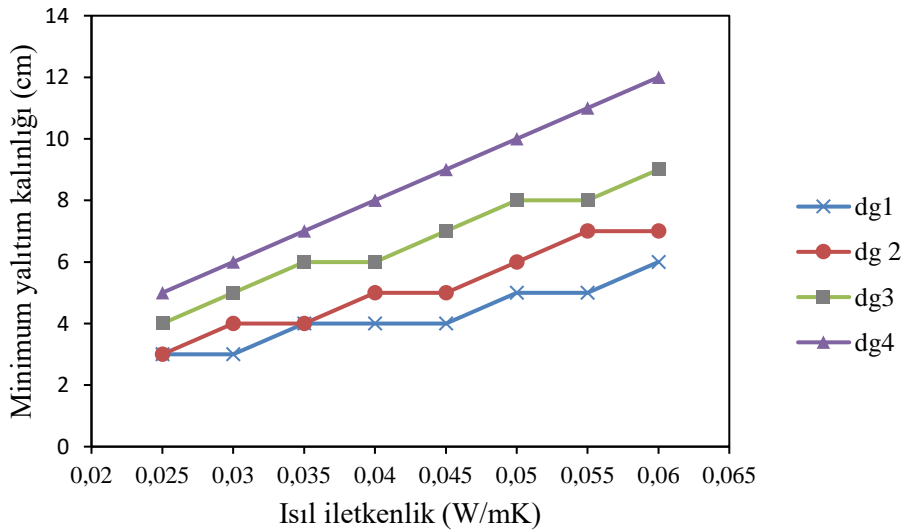
Şekil 4 ülkemizdeki tüm derece gün bölgelerinde yapı elemanı olarak tuğla kullanıldığı durum için minimum yalıtım kalınlığının ısı iletkenlikle değişimini göstermektedir. Tüm bölgelerde ısı iletkenliğinin artmasıyla minimum yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Ayrıca en soğuk bölgede (DG4) minimum yalıtım kalınlığı 13 cm değerine ulaşırken, en sıcak bölgede (DG1) bu değer 3 cm'ye kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 4. Tuğla için yalıtım kalınlığının ısı iletkenlik ile değişimi

Şekil 5'te ülkemizdeki tüm derece gün bölgelerinde yapı elemanı olarak bims kullanıldığı durum için minimum yalıtım kalınlığının ısı iletkenlikle değişimini görülmektedir. Tüm bölgelerde ısı iletkenliğinin artmasıyla minimum

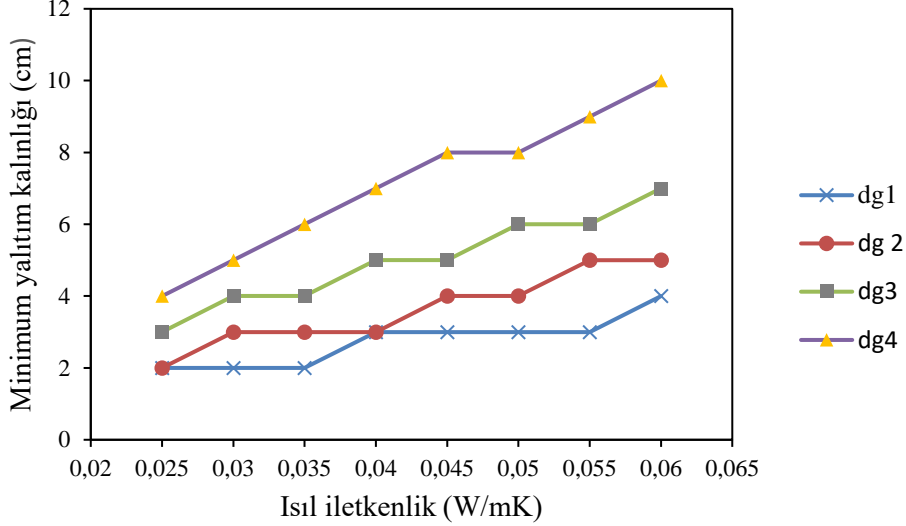
yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Ayrıca en soğuk bölgede (DG4) minimum yalıtım kalınlığı 12 cm değerine ulaşırken, en sıcak bölgede (DG1) bu değer 3 cm'ye kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 5. Bims için yalıtım kalınlığının ısı iletkenlik ile değişimi

Şekil 6’da ülkemizdeki tüm derece gün bölgelerinde yapı elemanı olarak gaz beton kullanılması halinde minimum yalıtım kalınlığının ısı iletkenlikle değişimini göstermektedir. Tüm bölgelerde ısı iletkenliğinin artmasıyla minimum yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Ayrıca en soğuk

bölgede (DG4) minimum yalıtım kalınlığı 10 cm değerine ulaşırken, en sıcak bölgede (DG1) bu değer 2 cm’ye kadar düştüğü görülmektedir. Minimum yalıtım kalınlığının en küçük değerleri gaz beton yapı malzemesi için elde edilmiştir.



Şekil 6. Gaz beton için yalıtım kalınlığının ısı iletkenlik ile değişimi

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye’nin tüm iklim bölgeleri için farklı yapı malzemeleriyle yapılan dış duvarın minimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Çalışmada yalıtım malzemesinin geniş bir aralığında ısı iletim katsayıları baz alınarak malzeme türünden bağımsız bir hale getirilerek ısı iletim katsayısı tabanlı bir seçim önerilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- TS 825 programıyla yapılan hesaplar neticesinde DG1 bölgesinde minimum yalıtım kalınlığı ısı iletkenlik katsayısına ve yapı elemanına bağlı olarak 2-7 cm arasında değişirken, DG2 bölgesinde 2-8 cm arasında, DG3 bölgesinde 3-10 cm arasında, DG4 bölgesinde ise 4-13 cm arasında olduğu görülmüştür.
- Tüm bölgelerde ısı iletkenliğinin artmasıyla minimum yalıtım kalınlığı da artmaktadır. Yapı malzemesi için tuğla kullanıldığı durumda en soğuk bölgede (DG4) minimum yalıtım kalınlığı 13 cm değerine ulaşırken, en sıcak bölgede (DG1) bu değer 3 cm’ye kadar düştüğü görülmüştür.
- Yapı elemanı olarak bims kullanıldığı durumda en soğuk bölgede (DG4) minimum yalıtım kalınlığı 12 cm değerine ulaşırken, en sıcak bölgede (DG1) bu değer 2 cm’ye kadar düştüğü görülmektedir.
- Bina dış duvarında modern bir yapı elemanı olan gaz beton kullanıldığı durumda ise en soğuk bölgede (DG4) minimum yalıtım kalınlığı 10 cm değerine ulaşırken, en sıcak bölgede (DG1) bu değer 2 cm’ye kadar düştüğü görülmektedir. Minimum yalıtım kalınlığının en küçük değerleri gaz beton yapı malzemesi için elde edilmiştir.
- Enerji tasarrufu tüm dünyada çevreyi ve doğal kaynakları korumayı hedefleyen bir strateji haline gelmiştir. Enerji verimliliğini artırmak ve kayıpları en aza indirmek için sürekli bir arayış vardır. Ayrıca binalarda ısı yalıtımı; ekonomik, çevresel ve sosyal olarak inşaat sektöründe enerji tüketiminin azaltılması için önemli bir potansiyeldir.
- Ticari olarak birçok yalıtım malzemesi geliştirilmesine rağmen bazı ürünler termal, mekanik, sağlığa olumsuz etki ve uygulama zorluğu gibi durumlarla karşı karşıyadır, bu

sebeple projelendirme yapılırken bütün kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Bina yalıtımı termal enerji talebinin azaltılarak enerji kaynaklarının verimli ve daha az tüketilmesine doğrudan katkı sağlayabilir.
- İnşaat yatırımları planlanırken mevcut duvar yapı elemanları ve yalıtım malzemesi çeşitleri de analiz edilerek çok yönlü bir analiz yapılması gereklidir.
- Hem ekonomik hem de çevresel faydaları da dikkate alınarak dış duvar konstrüksiyon malzemesinin seçimi ve sonunda ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının ve türünün belirlenmesi birbiri ile ilişkili ve önemli konulardır.
- Isı yalıtım projesi yapılan bölgede projelendirme yapılırken duvar bileşenlerinin duvar yapı elemanları ve ısı yalıtım malzemeleri ile birlikte değerlendirilerek projelendirilmesi, ardından da kalınlıklarının belirlenmesi gereklidir.
- Yalıtım malzemesinin binaya uygulanmasının temel amacı bina duvar kesitinin termal direncinin artırılarak ısıtma ve soğutma için gerekli enerji tüketimini azaltmaktır. Bunu yaparken uygun ısıl iletkenlik değerine sahip malzemenin seçimi maliyet açısından önem arz etmektedir.

Bina yalıtımı yapmak tüketilen enerji miktarını azalttığı için aynı zamanda binaların yaydığı sera gazının olumsuz çevresel etkilerini azaltmaya katkı sunmaktadır.

Kaynaklar

- Aditya, L., Mahlia, T.M.I., Rismanchi, B., Ng, H.M., Hasan, M.H., Metselaar, H.S.C., Muraza, O. ve Aditya, H.B., 2017. Review on Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1352-1365.
- Ashrafian, T., Yilmaz, A. Z., Corgnati, S. P. ve Moazzen, N., 2016. Methodology to Define Cost-Optimal Level of Architectural Measures for Energy Efficient Retrofits of Existing Detached Residential Buildings in Turkey. *Energy And Buildings*, 120, 58-77.

Bynum, R. T., 2000. *Insulation Handbook*, McGraw Hill Professional, 494p.

Kalhor, K. Ve Ememinejad, N., 2020. Qualitative and Quantitative Optimization of Thermal Insulation Materials: Insights from the Market and Energy Codes. *Journal Of Building Engineering*, 30, 101275.

Kisilewicz, T., Fedorczak-Cisak, M. ve Barkanyi, T., 2019. Active Thermal Insulation as an Element Limiting Heat Loss Through External Walls. *Energy and Buildings*, 205, 109541.

Ozel, M., 2011. Thermal Performance and Optimum Insulation Thickness of Building Walls With Different Structure Materials. *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3854-63.

Papadopoulos, A. M. (2005). State of the Art in Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86.

Rosti, B., Omidvar, A. Ve Monghasemi, N., 2020. Optimal Insulation Thickness of Common Classic and Modern Exterior Walls in Different Climate Zones of Iran. *Journal Of Building Engineering*, 27, 100954.

Ucar, A. Ve Balo, F., 2010. Determination Of The Energy Savings and The Optimum Insulation Thickness in the Four Different Insulated Exterior Walls. *Renewable Energy*, 35(1), 88-94.

URL-1, [www.resmigazete.gov.tr /Eskiler/2007/05/20070502-2.Htm](http://www.resmigazete.gov.tr/Eskiler/2007/05/20070502-2.htm). 20 Nisan 2020. (in Turkish)

URL-2, Turkish Standard 825 (Ts 825). Official Gazette Number 27019. Ankara; 2008.

URL-3, www.izoder.org.tr/Sayfa/30/Ts-825-Hesap-Programi. 8 Nisan 2020.

Uygunoğlu, T. ve Keçebaş, A., 2011. Lcc Analysis for Energy-Saving in Residential Buildings With Different Types of Construction Masonry Blocks. *Energy And Buildings*, 43(9), 2077-85.

Uzun, İ., 2020. Isıtılan Mekanlarda İç ve Dış Ortam Sıcaklıklarına Bağlı Mevsimsel Yoğuşma Analizi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(1), 292-99 (in Turkish).

Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalikuş, O., Kara, İ., Erdem, Ş. Ve Özgür, D., 2015. Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri (Tmh)*, 487(4), 62-75 (in Turkish).

The Effect of A High-Resolution Accurate Mass Spectrometer On Simultaneous Multiple Mushroom Toxin Detection

Yüksek Çözünürlüklü Kütle Spektrometrenin Eşzamanlı Çoklu Mantar Toksin Tayinleri Üzerindeki Etkisi

Yasemin NUMANOĞLU ÇEVİK^{*1,2,a}

¹MoH, Turkish Public Health General Directorate, Microbiology Reference Laboratory, Adnan Saygun Street 55, 06100 Sıhhiye, Ankara, TURKEY

²Separation Science Group, Department of Organic and Macromolecular Chemistry, Ghent University, Krijgslaan 281 S4-Bis, 9000 Gent, Belgium

• Geliş tarihi / Received: 29.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 02.07.2020

Abstract

Amatoxins are deadly wild mushroom toxins that cause severe poisoning in humans, from diarrhea to organ dysfunction. Mortality can be as high as 80% if no specific treatment is applied. In this study, separation and determination methods were developed for the simultaneous determination of 7 toxins belonging to Amanita phalloides. After extraction and purification of Amanita phalloides (death cap) wild mushrooms, toxins were detected using HPLC-ESI MS and exact mass with time of flight MS (TOF-MS) in positive ionization mode. In addition, it was observed that the toxins of α - and β -amanitine could be differentiated from each other thanks to HR-MS detection in case of their close retention (Rt) in LC. The presence of two toxins at the same retention point in the chromatogram was detected by differentiating the molecular ion mass (920.3514 DA) of the α -amanitine with the HR-MS (920.3696 DA). By comparing both optimized methods with each other, faster and broad-spectrum toxin identification was achieved compared to existing methods. In this study, the rapid and accurate identification of seven toxins simultaneously with the same method is of great importance. It will make important contributions to the treatment process, especially by determining that poisoning is caused by wild mushrooms.

Keywords: Amanitin, Amatoxin, HPLC ESI/MS, LC-TOF MS, Mushroom Intoxication, Phalloidin

Öz

Amatoksinler, insanlarda ishalden organ işlev bozukluğuna kadar ciddi zehirlenmelere neden olan ölümcül yabani mantar toksinleridir. Spesifik bir tedavi uygulanmazsa mortalite %80 kadar yüksek olabilir. Bu çalışmada Amanita phalloides'e ait 7 tane toksinin eş zamanda belirlenmesi için ayırma ve tayin yöntemleri geliştirildi. Amanita phalloides (ölüm kapağı) yabani mantarının ekstraksiyonu ve saflaştırılmasının ardından toksinler, HPLC-ESI MS ve LC-doğru kütle uçuş zamanlı MS (TOF-MS) pozitif iyonizasyon modu kullanılarak tespit edildi. Ayrıca α - ve β -amanitin toksinlerinin LC'de birbirlerine çok yakın alikonmaları (Rt) durumunda HR-MS özellikteki dedeksiyon sayesinde birbirlerinden ayırt edilmesinin mümkün olduğu görüldü. Kromatogramda aynı alikonma noktasında iki toksin varlığı HR-MS sayesinde α -amanitinin C13 izotop kütle (920.3696 DA) ile β -amanitinin moleküler iyon kütle (920.3514 DA) farklandırılması yapılarak tespit edildi. Optimize edilmiş her iki yöntem birbirleriyle karşılaştırılarak mevcut yöntemlere göre daha hızlı ve geniş spektrumlu toksin tanımlaması gerçekleştirildi. Bu çalışmada aynı yöntem ile eş zamanda yedi adet toksinin hızlı ve doğru tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle zehirlenmenin yabani mantardan kaynaklı olduğunun belirlenmesi ile tedavi sürecinde önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Amanitin, Amatoksin, HPLC ESI/MS, LC-TOF MS, Mantar Zehirlenmesi, Falloidin

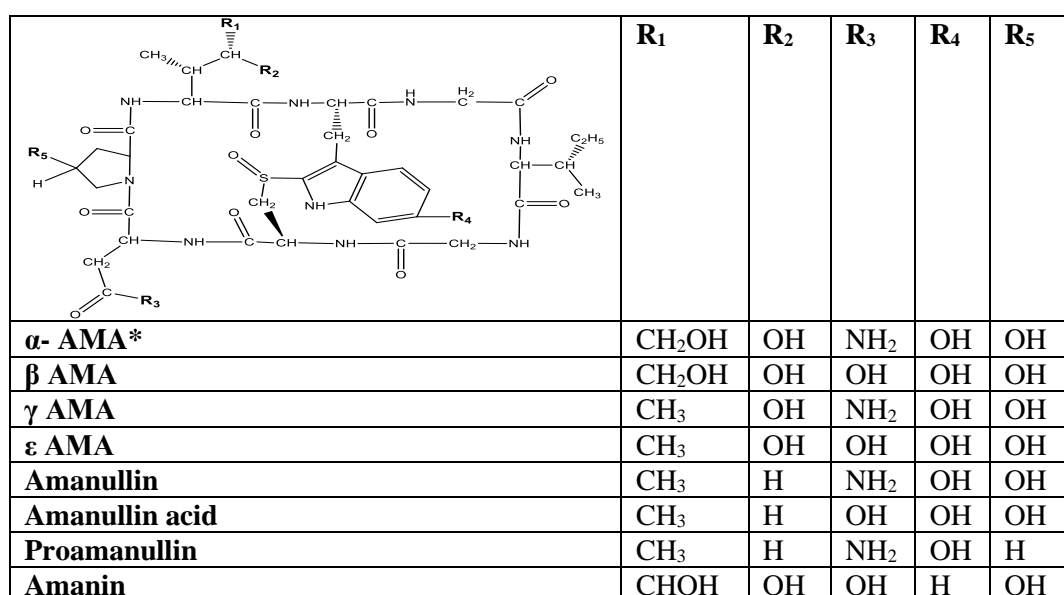
*a Yasemin NUMANOĞLU ÇEVİK, cevikiyasemin@yahoo.com, Tel: (0312)5655224, orcid.org/0000-0001-5818-7881

1. Introduction

Mushroom poisoning is a seasonal phenomenon that occurs relatively frequently in areas where its consumption is common (Ventura et al., 2015). Depending on the species and amount consumed, the season involved, the geographical location, the cooking method, and the individual's response, mushroom intoxication is usually characterized by temporary gastrointestinal, allergic and central nervous system (CNS) symptoms. Ninety to ninety-five percent of all lethal mushroom poisonings are caused by *Amanita* species containing amatoxin causing hepatic and/or renal failure. A prominent characteristic of most *Amanita* species is the presence of highly toxic compounds (Vargas et al., 2011). Some *Amanita* species produce the most powerful peptides (toxins), known as cyclopeptides, that contain a sulfur-linked tryptophan unit and some unusual hydroxylated amino acids (Li et al., 2014). These peptides, the major toxin from *amanita*, are classified into three groups: amatoxins, phallotoxins, and virotoxins. Amatoxins are 10-20 times more toxic than phallotoxins and virotoxins. The virotoxins are the most recently discovered toxins in *Amanita* and have only been found in

Amanita virosa. Toxicological studies have focused on the famous death cap *Amanita phalloides*, which was one of the earliest toxic mushrooms identified (Vargas et al., 2011).

Amatoxins are bicyclic octapeptides with specific properties, including heat stability, various levels of water solubility, and resistance to enzyme degradation. The molecular mechanism of toxicity involves the binding of amatoxins with eukaryotic DNA-dependent RNA polymerase II and inhibition of the elongation essential to transcription. These toxins belong to the most violent poisons from the higher fungi (Barceloux, 2008b). A single dose of 0.1 mg/kg body weight is sufficient to kill an adult. The ingestion of 20-25 g of mature *Amanita phalloides* would involve exposure to 5-8 mg of amatoxin, lethal to a 70-kg adult. Children are especially sensitive to these poisonings and have the highest mortality rates (Ventura et al., 2015). *Amanita phalloides* are white or pale-green, white-gilled mushroom with a bulbous stipe largely found in deciduous forests (Barceloux, 2008a; Vetter, 1998). These toxins in this mushroom have been identified as cyclic oligopeptides consisting of seven (phallotoxin) or eight (amatoxin) amino acids (Figures 1 and 2).



* Amanitin was abbreviated as AMA

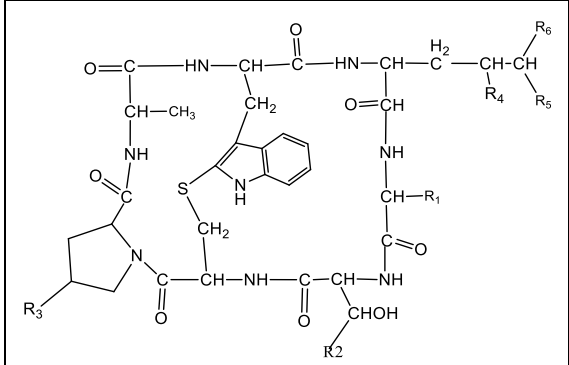
Figure 1. The general structure of amanitin and a list of known amatoxins (Vetter, 1998)

Several methods have been published for the isolation and analysis of amatoxins and phallotoxins, reverse-phased high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) being the most common (Robinson-Fuentes et al., 2008; Garcia et al., 2015; Mcknight et al., 2015; Shintani, 2014; Yilmaz et al., 2014; Kaya et al., 2015; 2013). Various analytical techniques, such

as bioassays, radioimmunoassays, ultraviolet spectrometry, were formerly used. However, liquid chromatography coupled to mass spectrometry (LC-MS) can provide more sensitive and specific determinations of these toxins (Gonmori et al., 2012; 2011; Defendenti et al., 1998; Maurer et al., 1997; 2000).

The determination of *Amanita phalloides* toxins in different parts of the world is important in order to elicit the maximum information possible, ascertaining its relative morbidity and lethal potential. Gicquel et al. (2014) previously determined α - and β - AMA and phalloidin in

urine samples by LC-HRMS. In this work, *Amanita phalloides* specimens collected in the Yesilyayla forest (Gumusova, Duzce, Turkey) were investigated for amatoxins and phallotoxins using reverse-phase HPLC- ESI MS and LC-TOF MS.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
						
Phalloidin**	CH ₃	CH ₃	OH	H	OH	OH
Phallacidin	CH(CH ₃) ₂	COOH	OH	H	OH	OH

**Phalloidin was abbreviated as PHD

Figure 2. The general structure of amanitin and a list of known phallotoxins (Vetter 1998)

2. Experimental

2.1 Materials and Instruments

All reagents used were of analytical grade, except the solvents used for mobile phases, which were HPLC grade. Standard α -AMA (90% pure), acetonitrile (LC-MS grade), and methanol (HPLC grade) were obtained from Sigma–Aldrich (St. Louis, USA). Standards of β -AMA (90% pure) and PHD (90% pure) were purchased from Santa Cruz (Santa Cruz Biotechnology Inc., Heidelberg Germany). Double distilled water was purified with a Mili-Q Plus ultrapure water purification system (Millipore, Bedford, MA, USA). Nitrogen was purchased from Messner (Mechelen, Belgium). The Security Guard Column was procured from Phenomenex (Torrance, USA). Kinetex XB-C18 Column 100 mm x 2.1 mm i.d., 2.6 μ m particle size (Phenomenex, Torrance, CA, USA) HPLC vials were obtained from Whatman (Maidstone, England). A 018444-L model Perkin-Elmer Sciex Instrument HPLC (2695 Waters) Applied Biosystems, and Triple Quadrupole Mass Spectrometer (MS) and, Agilent 1200 series 1290 infinity LC system (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) consisting of a binary pump (G1312B), degasser, autosampler and diode array detection (G1315C DADSL) and time-of-flight mass spectrometry (G6230A TOF/MS) were used for identification and confirmation of

all toxins in mushroom samples. Agilent Chemstation (version B04 03) and Mass Hunter Workstation (version A.02.02) were used for instrument control and data acquisition.

2.2 Method

2.2.1. Sample Preparation

The wild mushroom *Amanita phalloides* was collected in the Yesilyayla forest (Gumusova, Duzce, Turkey). Pieces of fresh wild mushroom pieces were dried in a 55 °C airflow for 24 h (Kaya et al., 2015). 1 g dried wild mushroom was ground and homogenized (Waring Lab. Science blender) in 25 mL methanol 15 mL ultra pure water (UPW), pH 10 adjusted (Thermo, Orion 420 A+ pH meter) with ammonium hydroxide. The mixture was sonicated for 30 minutes (2510 Bronson Sonicator) and then centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes. The supernatant was evaporated to dryness and reconstituted with the mobile phase, filtered with a syringe filter (0.22 μ m), and then injected into HPLC.

2.2.2. Preparation of Stock Solutions, Calibration Standards, and Control Samples

Stock solutions of α - and β - AMA and PHD were prepared individually in methanol at concentrations of 1 mg mL⁻¹. These were then

serially diluted with a mobile phase solution to obtain working standard solutions for the preparation of calibration curves. All the stock solutions were stored at -20°C . Dilutions were freshly made when needed. A set of external standards ranging from $0.5\ \mu\text{g}$ to $20\ \mu\text{g mL}^{-1}$ were prepared in mobile phase initial conditions with appropriate amounts α -, β - AMA, and phalloidin (Figure 3).

The LOD and LOQ were determined using the calibration curve method described in the guideline on bioanalytical method validation. The minimum concentrations of α - and β - AMA and phalloidin that were reliably detected and quantified with acceptable accuracy and precision were considered the LOD and LOQ of our method, respectively. The LOD ($k=3.3$) and LOQ ($k=10$) were calculated using the following equation:

$$A = k\sigma/S$$

where A is LOD or LOQ, σ is the standard deviation of the response, and S is the slope of the calibration curve (ICH, 1996; Wharf ve Kingdom, 2012).

2.2.3. HPLC, LC and MS Measurements

The chromatographic conditions used were sample injection volume, $10\ \mu\text{L}$; flow rate, $0.6\ \text{mL min}^{-1}$; column temperature, 50°C ; autosampler temperature, 8°C ; mobile-phase solvents, (A) FA 0.1 % and TFA 0.02% in UPW, and acetonitrile; gradient elution protocol for HPLC-ESI MS, 0% B to 100% at 10 min (5.5 min hold), then 0% B and hold on 10 min to equilibrate the column. The

Triple Quadrupole Mass spectrometry method positive voltage and temperature were set at 5500 V and 475°C nebulizer gas, respectively: 15 psi; curtain gas: 15 psi; collision gas: 3 psi. ESI interface (Van Damme et al., 2014).

For the Agilent 1200 series 1290 infinity LC-TOF MS system, the entire flow exiting the DAD was passed directly into the mass spectrometer source operating in positive ESI mode, with a gas flow of $9\ \text{L min}^{-1}$ at 350°C , and with a nebulizer pressure of 40 psi (Clarke et al., 2012). The chromatographic conditions used were sample injection volume, $10\ \mu\text{L}$; flow rate, $0.350\ \text{mL min}^{-1}$; column temperature, 50°C ; autosampler temperature, 8°C ; mobile-phase solvents, (A) FA 0.1 % and TFA 0.02% in UPW, and Methanol; gradient elution protocol, 3% (B) Methanol to 85% at 10 min to 100% at 18 min to 3% 25 min.

3. Results

The purpose of this study was improved the method employed for determining amatoxins by allowing faster broad-spectrum toxin identification via the development of HPLC-ESI-MS methods in combination with accurate mass (TOF-MS) detection. Following extraction and purification of *Amanita phalloides* (death cap) using separation methods, the toxins were detected in positive ionization mode at HPLC-ESI MS and LC-TOF MS. The toxins were determined by the two instruments are shown in Table 1. All the toxins were detected in less than 15 minutes, and no significant endogenous interferences were observed in the seven toxins' retention times. A chromatogram for seven mushroom toxins using HPLC-ESI-MS is shown in Figure 3.

Table 1. A list of ionized and detection forms in the two instruments

Compounds	Formula	Exact Mass (EM) (DA)	Rt (Minute)		CATION FORMS OF IONS		
			HPLC ESI MS	LC TOF MS	Measured Mono isotopic ion(m/z)	Measured $[\text{M}^+\text{H}]^+$; EM+1	Mono isotopic ion(m/z) $[\text{M}^+\text{Na}]^+$ EM+23
					HPLC ESI MS	LC TOF MS	HPLC ESI MS
1. α - AMA*	$\text{C}_{39}\text{H}_{54}\text{N}_{10}\text{O}_{14}\text{S}$	918.354	11,50	6.112	919.2	919.3696	941.2
2. β -AMA	$\text{C}_{39}\text{H}_{54}\text{N}_9\text{O}_{15}\text{S}$	919.346	11,72	6.259	920.1	920.3514	942.2
3. γ - AMA	$\text{C}_{39}\text{H}_{54}\text{N}_{10}\text{O}_{13}\text{S}$	902.359	12.16	6.520	903.3	903.4104	925.3
4. ϵ -AMA	$\text{C}_{39}\text{H}_{53}\text{N}_9\text{O}_{14}\text{S}$	903.343	12.96	5.900	904,3	904.3898	926,2
5. Amanin	$\text{C}_{39}\text{H}_{53}\text{N}_9\text{O}_{14}\text{S}$	903.343	12.96	7.287	904,3	905.3947	926.2
6. Amanullin	$\text{C}_{39}\text{H}_{54}\text{N}_{10}\text{O}_{12}\text{S}$	886.364	17.08	12.998	887,4	887.5450	909.5
7. Phalloidin	$\text{C}_{35}\text{H}_{48}\text{N}_8\text{O}_{11}\text{S}$	788.316	13.676	6.710	789.1	789.3704	811.2

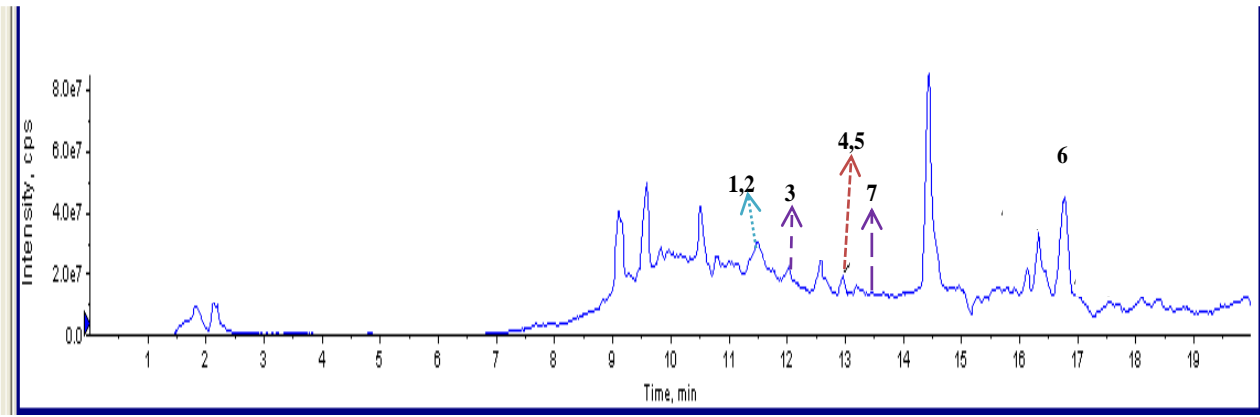


Figure 3. Typical extracted ion chromatograms using HPLC-ESI-MS for seven toxins (Numbers refer to 1: α -AMA; 2: β -AMA; 3: γ -AMA; 4: ϵ -AMA; 5: Amanin; 6: Amanullin; 7: Phalloidin)

The most toxic cyclopeptides, α and β -AMA, HPLC-ESI-MS extracted ion chromatograms and mass spectrum profiles are shown in Figures 4A and 4B. The m/z values of α and β -AMA (MH^+) were 919.2 and 920.2, respectively. Another MS peak with an m/z value of 920.1 in the MS profile of α -AMA was also noteworthy. However, the

MS peaks with Na adducts detected in the spectrum at 941.6 and 942.0, respectively, are compatible with the masses of α and β -AMA (Figure 4). Extracted ion chromatograms and mass spectra of seven toxins obtained from the *Amanita phalloides* mushroom using LC TOF-MS are shown in Figure 5 and Figure 6.

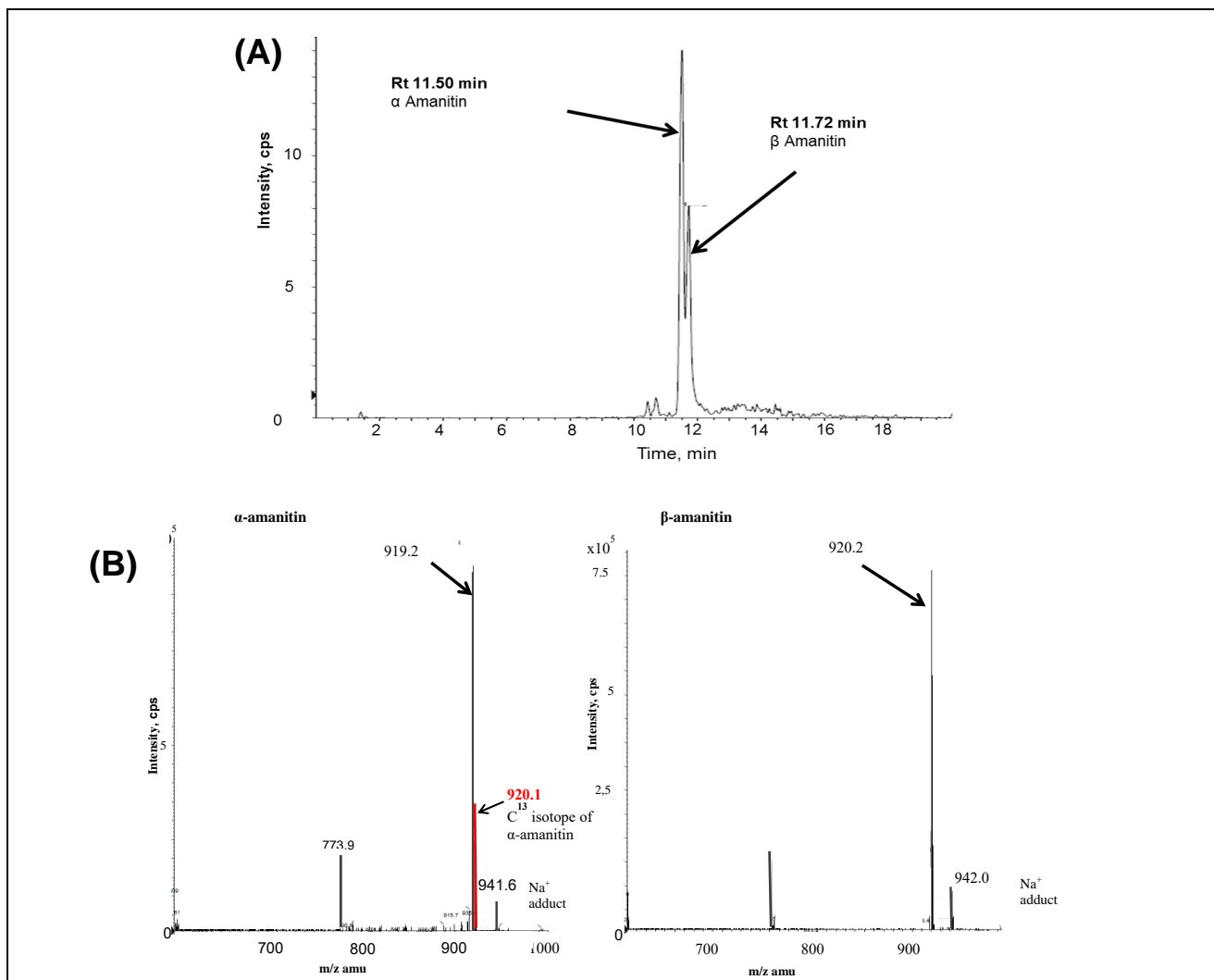


Figure 4. (A) Typical extracted ion chromatograms using HPLC (B) ESI Mass spectra of each protonated molecular ion for α and β -amanitin, obtained from *Amanita phalloides*

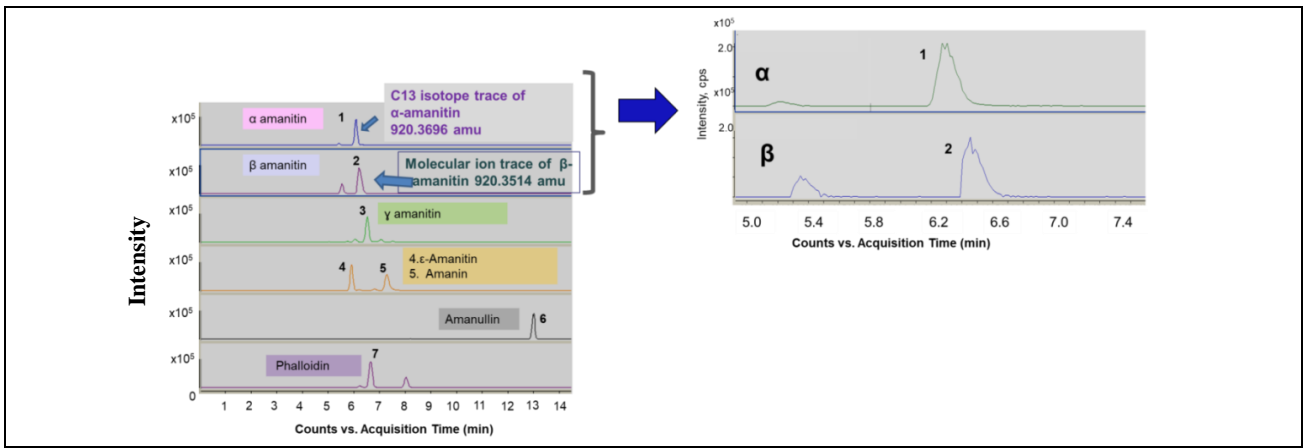


Figure 5. Extracted ion chromatograms of seven toxins with detailed α -AMA and β -AMA obtained from the *Amanita phalloides* mushroom using LC TOF-MS (Numbers refer to **1**: α - AMA; **2**: β -AMA; **3**: γ - AMA; **4**: ϵ -AMA; **5**: Amanin; **6**: Amanullin; **7**: Phalloidin)

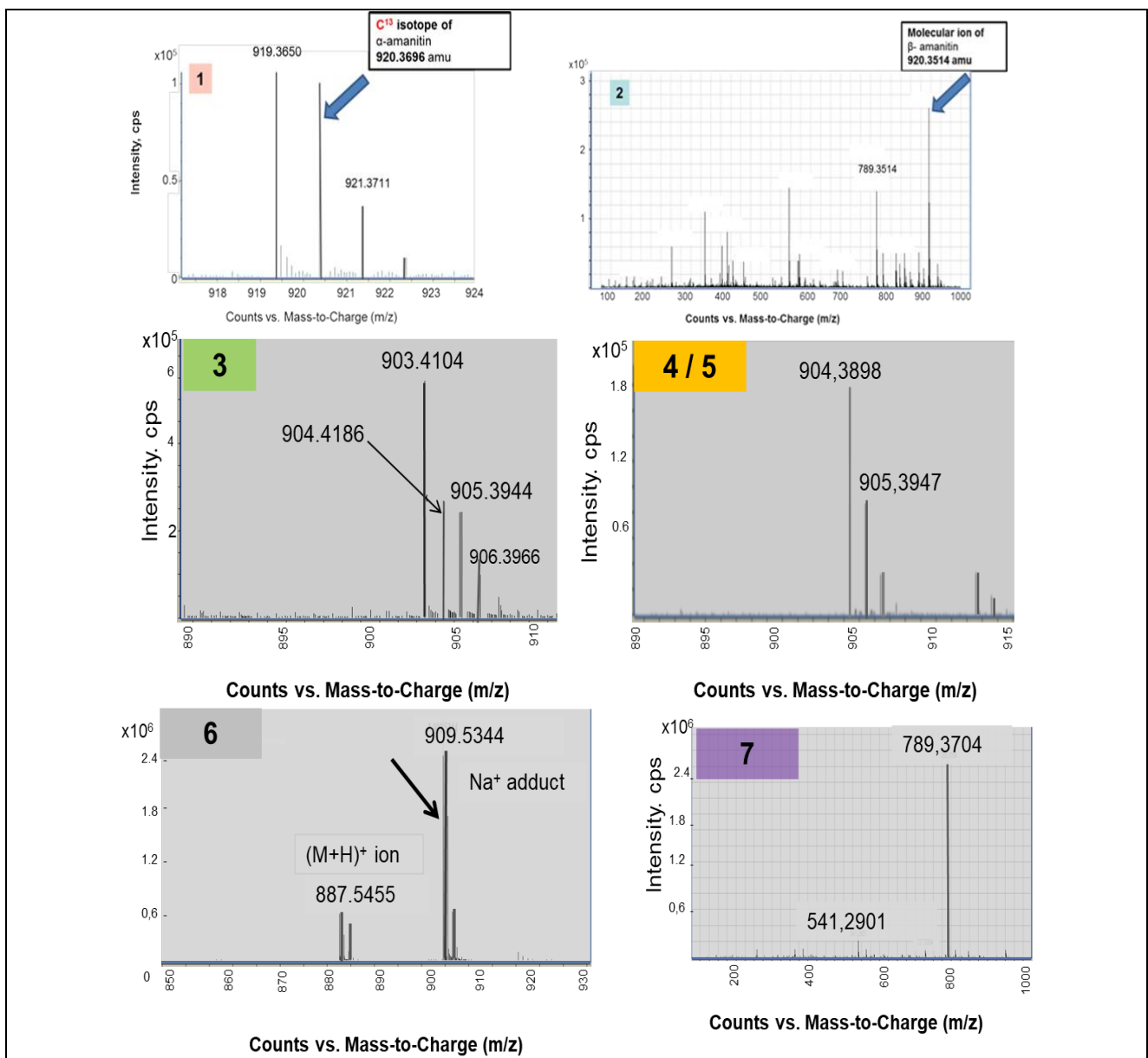


Figure 6. Mass spectra of the mono isotopic ion of the amanitins and phalloidin obtained from the *Amanita phalloides* mushroom using LC TOF MS (Numbers refer to **1**: α - AMA; **2**: β -AMA; **3**: γ - AMA; **4**: ϵ -AMA; **5**: Amanin; **6**: Amanullin; **7**: Phalloidin)

Calibration curves were established with LC-TOF MS for three toxins' standards that were linear over the range of interest (Figure 7). Typical equations of calibration curves, correlation

coefficient, and the LOD, LOQ values of α -AMA, β -AMA, and PHD toxins are presented in Table 2.

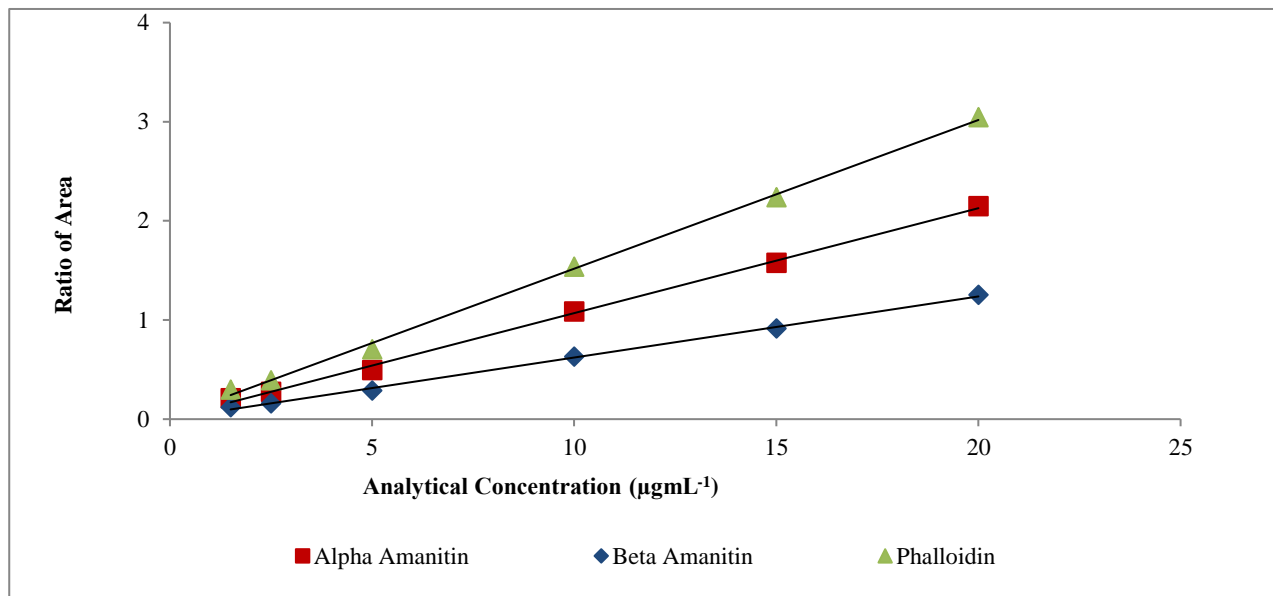


Figure 7. Calibration curves of α -AMA, β -AMA and PHD standards with LC-TOF MS based on six determinations

Table 2. The results of the calibration study for α -AMA, β -AMA and PHD standards with LC-TOF MS

COMPOUND	LINEAR RANGE ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	REGRESSION	CORRELATION COEFFICIENT (R^2)	LOD ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	LOQ ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
α -AMA	0.5-20	$y = 0.1056x + 0.0149$	0.9985	0.303	0.917
β -AMA	0.5-20	$y = 0.0615x + 0.0077$	0.9985	0.238	0.721
PHD	0.5-20	$y = 0.1497x + 0.0225$	0.9986	0.297	0.901

4. Conclusion

One objective in this study is to be able to identify mushroom poisoning in patients brought to the hospital following intoxication and to make it possible for specific therapeutic procedures to be initiated without delay. We also aimed to develop appropriate methods for fast and effective mushroom toxin analyses. Rapid and accurate screening of the seven toxins is of great importance and will be time-saving in the determination of wild mushroom intoxications in particular. The simultaneous determination of amatoxin and phallotoxin compounds in *Amanita phalloides* wild mushrooms allows confirmation of both the species and the toxins involved. The accurate identification of the species involved in intoxication is highly important in terms of treatment.

An isotope is an element that has the same number of electrons in the electronic layer but a

different number of neutrons in the nucleus. Therefore, isotopes have the same chemical properties and only differ in mass. The ^{13}C isotopes contributions 68 times higher than that of ^2H deuterium and 27 times higher than that of ^{17}O (Nicolescu, 2017). For organic mass spectrometry the case of carbon is of highest relevance Carbon is ubiquitous in metabolic processes (Burlingame, Whitney ve Russell, 1984). Carbon contributes approximately 50% of polypeptide's mass, and its isotope distribution dominates the molecular mass distribution observed by mass spectrometer (Beavis, 1993). Mass spectrometry has utility both in quantitative and qualitative analysis. The method is used to identify isotopic species and calculate nominal weight of compounds (Nicolescu, 2017). Mass spectrometers see the isotope peaks provided the resolution is high enough. If an MS instrument has a resolution high enough to resolve these isotopes, better mass accuracy is achieved. Obviously, mass spectrometry is ideally suited for distinguishing

between isotopic species (Burlingame, Whitney ve Russell 1984). In this study, MS differentiation between (the C^{13} isotope of) α and the molecular ion of β AMA is only possible using high resolution MS. If physical separation is achieved, then analysis can be performed using HPLC-ESI MS or LC-TOF MS in the unit resolution mode. Further work is planned to investigate the approach to toxins.

Acknowledgments

The author would like to thank TUBITAK BİDEB-2219 (International Post-Doctoral Research Fellowship Programme; project no. 1059B191401045) for financial support. She is also deeply indebted to Frederic Lynen who supervised this study and to Ghent University, Belgium, for granting access to all the available infrastructure. Many thanks also to Ertuğrul Kaya from Düzce University who provided the dried *Amanita phalloides*.

References

- Barceloux, D.G., 2008. Medical Toxicology of Natural Substances Part 2: FUNGAL TOXINS/ Mushrooms/Chapter 37: Amatoxin - Containing Mushrooms, 265-284pages.
- Beavis, R.C., 1993. Chemical Mass of Carbon in Proteins. *Analytical Chemistry* 65 (4): 496–97. <https://doi.org/10.1021/ac00052a030>.
- Burlingame, A. L., Whitney, J.O. ve Russell D.H.,1984. Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*. Vol. 56. <https://doi.org/10.1021/ac00269a027>.
- Clarke, D.B., Lloyd, A.S. ve Robb, P., 2012. Application of Liquid Chromatography Coupled to Time-of-Flight Mass Spectrometry Separation for Rapid Assessment of Toxins in Amanita Mushrooms. *Analytical Methods* 4 (5): 1298. <https://doi.org/10.1039/c2ay05575a>.
- Damme, T.V., Blancquaert, D., Couturon, P., V.D.S., Dominique, Sandra, P. ve Lynen, F., 2014. Wounding Stress Causes Rapid Increase in Concentration of the Naturally Occurring 2',3'-Isomers of Cyclic Guanosine- and Cyclic Adenosine Monophosphate (CGMP and CAMP) in Plant Tissues. *Phytochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.03.013>.
- Defendenti, C., Bonacina, E., Mauroni, M. ve Gelosa, L., 1998. Validation of a High Performance Liquid Chromatographic Method for Alpha Amanitin Determination in Urine. *Forensic Science International* 92 (1): 59–68. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(98\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(98)00006-1).
- Garcia, J., Vera, M.C., Baptista, P., Bastos, M.de L., ve Carvalho, F., 2015. Quantification of Alpha-Amanitin in Biological Samples by HPLC Using Simultaneous UV- Diode Array and Electrochemical Detection. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences* 997: 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2015.06.001>.
- Gicquel, T., Lepage, S., Fradin, M., Tribut, O., Duretz, B. ve Morel, I., 2014. Amatoxins (Amanitin) and Phallotoxin (Phalloidin) Analyses in Urines Using High-Resolution Accurate Mass LC-MS Technology. *Journal of Analytical Toxicology* 38(6):335–40. <https://doi.org/10.1093/jat/bku035>.
- Gonmori, K., Fujita, H., Yokoyama, K., Watanabe, K. ve Suzuki, O., 2011. Mushroom Toxins: A Forensic Toxicological Review. *Forensic Toxicology* 29 (2): 85–94. <https://doi.org/10.1007/s11419-011-0115-4>.
- Gonmori, K., Minakata, K., Suzuki, M., Yamagishi, I., Nozawa, H., Hasegawa, K., Wurita, A., Watanabe, K. ve Suzuki, O., 2012. MALDI-TOF Mass Spectrometric Analysis of α -Amanitin, β -Amanitin, and Phalloidin in Urine. *Forensic Toxicology* 30 (2): 179–84. <https://doi.org/10.1007/s11419-012-0145-6>.
- ICH. 1996. Guidance for Industry: Q2B Validation of Analytical Procedures: Methodology. International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration Tripartite Guideline. <https://doi.org/62 FR 27464>.
- Kaya, E., Karahan, S., Bayram, R., Yaykasli K.O., Colakoglu, S. ve Saritas, A., 2015. Amatoxin and Phallotoxin Concentration in Amanita Phalloides Spores and Tissues. *Toxicology and Industrial Health* 31 (12): 1172–77. <https://doi.org/10.1177/0748233713491809>.
- Kaya, E., Yilmaz, I., Sinirlioglu, Z.A., Karahan, S., Bayram, R., Yaykasli, K.O., Colakoglu, S., Saritas, A. ve Severoglu, Z., 2013. Amanitin and Phallotoxin Concentration in Amanita Phalloides Var. Alba Mushroom. *Toxicon* 76 (December): 225–33. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2013.10.008>.
- Li, W., Gu, Z., Yang, Y., Zhou, S., Liu, Y. ve Zhang J., 2014. Non-Volatile Taste Components of Several Cultivated Mushrooms. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.006>.
- Maurer, H.H., Kraemer, T., Ledvinka, O., Schmitt, C.J. ve Weber, A.A., 1997. Gas Chromatography-

- Mass Spectrometry (GC-MS) and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) in Toxicological Analysis. Studies on the Detection of Clobezorex and Its Metabolites within a Systematic Toxicological Analysis Procedure by GC-MS and by immunoassay and studies on the detection of α - and β -amanitin in urine by atmospheric pressure ionization electrospray LC-MS. *Journal of Chromatography. B, Biomedical Sciences and Applications* 689 (1): 81–89.
- Maurer, H.H., Schmitt, C.J., Weber, A.A. ve Kraemer, T., 2000. Validated Electrospray Liquid Chromatographic–Mass Spectrometric Assay for the Determination of the Mushroom Toxins α - and β -Amanitin in Urine after Immunoaffinity Extraction. *Journal of Chromatography B* 748: 125–35.
- Mcknight, T.A, Mcknight, K. B. ve Skeels, M.C., 2015. Source Mycologia, No July August, and C Skeels.. Amatoxin and Phallotoxin Concentration in Amanita Bisporigera Spores Amatoxin Bisporigera. *Mycological Society of America* 102 (4): 763–65.
- Nicolescu, T.O., 2017. Interpretation of Mass Spectra. In *Mass Spectrometry. InTech*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68595>.
- Robinson-Fuentes, V. A., Jaime-Sánchez, J. L., Garcia-Aguilar, L., Gómez-Peralta, M., Vázquez-Garciduenas, M.S. ve Vázquez-Marrufo, G., 2008. Determination of Alpha- and Beta-Amanitin in Clinical Urine Samples by Capillary Zone Electrophoresis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 47 (4–5): 913–17.
- Shintani, H., 2014. Toxic Compounds Analysis With High Performance Liquid Chromatography Detected By Electro Chemical Detector (Ecd). *Int J Clin Pharmacol Toxicol.* 3 (3): 121–27. <https://doi.org/dx.doi.org/10.19070/2167-910X-1400022>.
- Unluoglu, I.ve Tayfur, M., 2003. Mantar Zehirlenmesi. *European Journal of Emergency Medicine* 10 (October): 23–26. <https://doi.org/10.1097/01.mej.0000057022.75699.93>.
- Vargas, N., Bernal, A., Sarria, V., Franco-Molano, A. ve Restrepo, S., 2011. Amatoxin and Phallotoxin Composition in Species of the Genus Amanita in Colombia: A Taxonomic Perspective. *Toxicon* 58 (6–7): 583–90. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.09.005>.
- Ventura, S., Ruiz, C., Durán, E., Mosquera, M., Bandrés, F., Campos, F., Castanyer, B. et al., 2015. Amanitinas. *Revista Del Laboratorio Clínico* 8 (3): 109–26. <https://doi.org/10.1016/j.labcli.2015.05.001>.
- Vetter, J., 1998. Toxins of Amanita Phalloides. *Toxicon* 36 (1): 13–24. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(97\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(97)00074-3).
- Wharf, C., ve United Kingdom. 2012. Guideline on Bioanalytical Method Validation Guideline on Bioanalytical Method Validation Table of Contents. 44 (July 2011): 1–23.
- Yilmaz, I., Kaya, E., Sinirlioglu, Z.A., Bayram, R., Surmen, M.G. ve Colakoglu, S., 2014. Clinical Importance of Toxin Concentration in Amanita Verna Mushroom. *Toxicon* 87: 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.05.019>.

Ferritik Çeliklerde Kırılma Tokluğunun Saptanmasında Farklı Bir Yaklaşım

A Different Approach to the Determination of the Fracture Toughness in Ferritic Steels

Halil AYTEKİN*^{1,a}, Yelda Akçin ERGÜN^{1,b}, Melih ÖZÇATAL^{1,c}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar

• Geliş tarihi / Received: 15.03.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 01.07.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 10.07.2020

Öz

Günümüzde, malzeme seçimi, geleneksel olarak malzemenin akma dayanımına göre yapılmaktadır. Ancak burada, parça dizaynı veya geometrik unsurlardan kaynaklanan gerilim konsantrasyonları dikkate alınmamaktadır. Bu şartların değerlendirilmesi, sadece malzemenin kırılma tokluğu ile mümkündür. Kırılma tokluğunun saptanmasında, metalik malzemeler için, ASTM E-399 standardı geliştirilmiştir. Bu standart uyarınca, düzlemsel deformasyon durumuna (gevrek kırılma) uygun olarak hazırlanmış olan numuneler test edilir. Özellikle ferritik çeliklerde, bu durum büyük boyutlu numuneler üzerinde deney yapılmasını gerektirir ve böylece söz konusu çeliklerin kırılma tokluğunun saptanması zorlaşır. Bununla birlikte, bazı alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Başlıca yöntemler, J-İntegral ve COD yöntemleridir. J-İntegral yönteminin yüksek toleransının sınır şartlarını belirlemek için ASTM E-1921 standardı geliştirilmiş ve Master Curve (MC) kavramı ortaya atılmıştır. Bu yöntemlerin olumsuz yanı, oldukça yüksek tolerans göstermesidir. Bu çalışmada, kırılma tokluğunun saptanmasında yeni bir yöntem incelenmiş ve literatürde yapılmış çalışmalar derlenerek, yeni bir yaklaşım ile yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Akma Dayanımı, ASTM E1921 Standardı, ASTM E399 Standardı, Kırılma Tokluğu

Abstract

Nowadays, the material selection is conventionally made according to the yield strength of the material. However, stress concentrations from geometric factors or component design are not considered. The evaluation of these conditions is only possible with fracture toughness of the materials. ASTM E-399 has been developed for the determination of fracture toughness of the metallic materials. According to this standard, samples suitable to the plane deformation (brittle fracture) are tested. Especially in ferritic steels, this condition requires testing on large-sized samples, and thus, it is difficult to determine the fracture toughness of these steels. However, some alternative methods have been developed into this standard. The major methods are J-integral and COD methods. ASTM E-1921 standard was developed in order to determine the boundary conditions of the high tolerance of J-integral method, and Master Curve (MC) concept was proposed. The disadvantage of these methods is that they show quite high tolerance. In this study, a new method has been investigated in the determination of the fracture toughness. The similar studies in the literature have been compiled, and developing of the method with a new approach was purposed.

Keywords: Yield Strength, ASTM E1921 Standards, ASTM E399 Standards, Fracture Toughness

*a Halil AYTEKİN; aytekinhl@gmail.com, Tel: (0272) 218 25 02, orcid.org/0000-0003-3281-3703

^b orcid.org/0000-0003-3474-8722

^c orcid.org/0000-0002-0831-9038

1. Giriş

Günümüzde, malzeme seçimi, geleneksel olarak malzemenin akma dayanımına göre yapılmaktadır. Ancak, akma dayanımına göre yapılan malzeme seçiminde, parça dizaynı veya parçanın geometrik yapısından kaynaklanan gerilim konsantrasyonları dikkate alınmamaktadır. Bu durumların değerlendirilmesi, sadece malzemenin kırılma tokluğu ile mümkündür. Metalik malzemelerin kırılma tokluğunun (K_{IC}) saptanmasında, ASTM E-399 standardı geliştirilmiştir (ASTM E399-17, 2017). Bu standarda göre, düzlemsel deformasyon durumuna (gevrek kırılma şartı) uygun numuneler üzerinde deney yapılmalıdır. Özellikle ferritik çeliklerde (HMK kafes yapısına sahip çelikler), numunede gevrek kırılma şartının sağlanması için büyük boyutlu numuneler üzerinde deney yapılması gerekir ve bu nedenle söz konusu çeliklerin kırılma tokluğunun saptanması zorlaşır. Bununla birlikte, bazı alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Başlıca yöntemler, J-İntegral (Gdoutos, 1993; Rice, 1964) ve COD (Çatlak Açılma Deplasmanı) (Burdekin ve Stone, 1966; Gdoutos, 1993) yöntemleridir. J-İntegral yönteminin yüksek toleransının sınır şartlarını belirlemek için ASTM E-1921 (ASTM E1921-18, 2018) standardı geliştirilmiş ve Master Curve (MC) kavramı ortaya atılmıştır.

Ferritik çelikler için geliştirilen ASTM E1921 standardına göre, kırılma mekaniği test pratikleri ve ileri istatistiksel metotlar kullanılarak, akma gerilimi 275-825 MPa arasında olan ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun sünek - gevrek geçiş aralığı saptanmaktadır. Bu standarda göre malzemeler, makroskobik ölçüde düzgün dağılımlı (homojen) mekanik özelliklere (çekme ve tokluk) sahip olmalıdır (ASTM E1921-18, 2018). Bu standartta, numune üzerinde lineer elastik durum (gevrek kırılma şartı) sağlanması gerekmez. Bununla birlikte, kırılma tokluğuna numune boyutunun etkisi, en zayıf bağ (weakest-link) mekanizması, yani kırılma bölgesindeki çatlak başlatıcılar (çökeltiler, inklüzyonlar ve tane sınırı gevrekliği gibi çelikteki tüm mikro yapısal özellikler) ile açıklanır (McCabe vd., 2000).

Ferritik çeliklerin kırılma tokluğuna yükleme hızının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, referans sıcaklığının saptanmasında kullanılan denklemin, yüksek yükleme hızlarında bir belirsizliğe yol açtığı, bu durumun telafisi için eğri uydurma parametrelerinin yeniden düzenlenmesi gerektiği ortaya konmuştur (H.-J. Schindler ve Kalkhof, 2015).

Bir çalışmada, çekme testi sonuçlarının sonlu elemanlar analizi yapılarak, Master Curve'in tek sıcaklık yöntemi ile basınç kaplarının yapısal bütünlüğünün değerlendirmesinde önemli bir rol oynayan kırılma tokluğu parametresi yüksek doğrulukta tahmin edilmiştir (Pan vd., 2019). Kırılma tokluğunun geçiş ve üst limit eğrilerinin araştırıldığı bir çalışmada, fizik temelli ve kantitatif bir model geliştirmek için bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu çalışmada, kırılma tokluğunun sıcaklığa bağlılığının, akma dayanımının sıcaklığa bağlılığı ile aynı forma sahip olduğunu gösterilmiştir (EricksonKirk ve EricksonKirk, 2006). Süneklikten gevrekliğe geçiş bölgesinde ferritik çeliklerin kırılma direncinin karakterizasyonu, boyut ve sıcaklık bağımlılıklarının yanı sıra, sonuçlardaki dağılım nedeniyle sorunludur. Bu Master Curve konsepti, büyük bir teknolojik avantaj olmasına rağmen, daha derin bir analize ihtiyaç duyan birçok yönü vardır. Bunlar; 1) J veya K sonuçları kullanıldığında Weibull şekil parametreleri arasındaki ilişki, 2) ASTM standardında uygulanan numune boyutları dönüşümünün boyut etkisi ve geçerliliği, 3) bir kısıtlamanın hesaba katılmadan sadece istatistiksel etkiye dayalı bir modelin geçerliliğidir (Berejnoi ve Ipiña, 2016).

Bir mühendislik güvenlik analizi için, K_{IC} 'nin deterministik alt sınırları genellikle Master Curve yaklaşımına dayanan istatistiksel K_{IC} verilerinden daha uygundur. Bununla birlikte, sünek ile gevrek sıcaklık aralığındaki ferritik çelikler için K_{IC} değerleri doğrudan ölçülemez, yani ASTM E399 standardı onlar için uygulanabilir değildir (H.J. Schindler, 2014). ASTM E1921 standardında veri kümesi boyutunun, küçük veri kümelerinin büyük belirsizliklere yol açtığı düşünüldüğünde, bir Weibull grafiği eğiminin değişkenliği üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Yapı çeliklerinin kırılma tokluğundaki değişkenliğin araştırıldığı bu çalışmada, yeni bir modelle saptanan Weibull eğiminin, kırılma olasılığına katkıda bulunan (sadece çatlak düzlemine yakın olan) unsurlar kullanılarak açıklanması daha uygundur (Bouchard vd., 2008).

Master Curve (MC) kırılma modelinde, reaktör basınç kabı (RPV) uygulamalarında kullanılanlar da dahil olmak üzere, ferritik çelikler için evrensel bir sıcaklık bağımlılığı varsayılmaktadır. Varsayılan eğri şeklinin, yüksek bir referans geçiş sıcaklığı değeri sergileyen yüksek ışınlanmış veya termal olarak yaşlanmış malzemeler için de genel olarak geçerli olduğu gözlemlenmiştir. Kırılma olayı, geçiş eğrisinin şeklinde hafif bir sapma yapabilir. Geçiş eğrisi şeklini ve ışınlamaya bağlı

olası değişikliklerini analiz etmek için uygun veri seti istatistiksel olarak yeterince büyük olmalıdır (Planman vd., 2008). Reaktör basınç kabının (RPV) bütünlüğü, bir nükleer santralin (NPP) sürekli çalışması için gereklidir. Nükleer santrallerde reaktör basınç kaplarının kırılma tokluğunu izlemek için Master Curve yaklaşımının incelendiği bu çalışmada, ASTM E1921’de verilen sabit C parametresi varsayımının, orta derecede kırılma tokluğu sergileyen ısıtılmış çoğu malzeme için iyi bir yaklaşım sağladığı görülmüştür (IAEA, 2009).

Bu çalışmada, ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun belirlenmesinde, uygulanması kolay, malzemenin geleneksel mekanik özelliklerini dikkate alan ve malzemenin kırılma tokluğunun doğasını açıklayan bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin en büyük avantajı, kırılma tokluğunun geleneksel mekanik özellikler ile ilişkisi temelinde, yeni yaklaşımlara açık olmasıdır. Ayrıca, kırılma tokluğunun hangi mekanik özelliklere, ne şekilde bağlı olduğunun ortaya konmasına yardımcı olmaktadır. Böylece, malzemenin kırılma tokluğunun geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Aytekin, 2005, 2009, 2014; Said, 2006; Said ve Aytekin, 2013; Said ve Tasgetiren, 2004; Said ve Taşgetiren, 2000; Saidov, 1997; Said ve Talas, 2004; Ulu vd.,

2013). Bu çalışmanın amacı, ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun belirlenmesinde, söz konusu yöntem temelinde yeni bir yaklaşım geliştirmektir. Geliştirilen yaklaşımda, sadece oda sıcaklığında yapılan çekme testi sonuçları kullanılarak kırılma tokluğu saptanabilmektedir. Ayrıca, bu yaklaşım, ASTM E399 standardı test verileri ile de karşılaştırılmıştır. Bunun için, Aytekin’in çalışmasından (Aytekin, 2009) alınan deneysel veriler kullanılmıştır. Sonuçta, ilgili yaklaşımın güvenilirliği ortaya konmuş ve yeni yaklaşımın ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun saptanmasında önerilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Çalışma kapsamında yapılan tüm araştırmalar, beş farklı ferritik çelik üzerinde yapılmıştır. Bu çeliklere ait veriler, Aytekin’in çalışmasından alınmıştır (Aytekin, 2009).

Bu çalışmada, incelenen çeliklerin kimyasal bileşimleri, Tablo 1’de verilmiştir. Bu çelikler, genellikle nükleer enerji santralının reaktör gövdeleri, petrol ve gaz ana boru hatlarında ve yüksek basınç kapları yapımında kullanılır (Aytekin, 2009).

Tablo 1. İncelenen çeliklerin kimyasal bileşimleri (Aytekin, 2009).

Çelik No	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
%									
1	0.16	0.28	0.53	0.008	2.23	1.34	0.12	0.54	0.11
2	0.11	0.22	0.90	0.0016	0.22	1.92	0.21	0.55	0.04
3	0.15	0.25	0.68	0.01	1.22	0.29	0.02	0.97	0.31
4	0.11	0.56	1.37	0.023	0.17	0.22	0.20	-	-
5	0.084	0.23	1.68	0.007	0.023	0.02	0.013	0.044	0.064

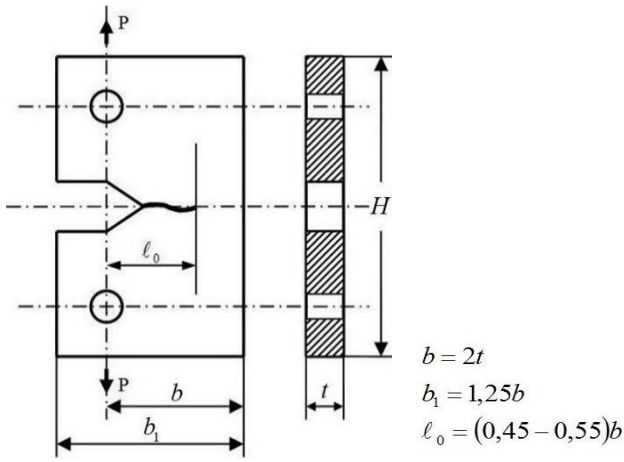
Tablo 1’e bakıldığında, incelenen çeliklerin düşük karbonlu çelik olduğu görülmektedir. Bu durum, tipik olarak ferritik çeliğe işaret etmektedir.

2.2. ASTM E399 Standardı

Metalik malzemelerin lineer elastik düzlemsel deformasyon kırılma tokluğunun (K_{IC}) saptanmasında, ASTM E399 standardı geliştirilmiştir. Bu standarda göre, lineer elastik kırılma durumunun (düzlemsel deformasyon durumu) sağlanabilmesi için test numunesinde gevrek kırılma şartı sağlanmalıdır. Yani, test numunesinin belirli bir kalınlığa sahip olması gerekir. Özellikle düşük akma gerilimine sahip ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun

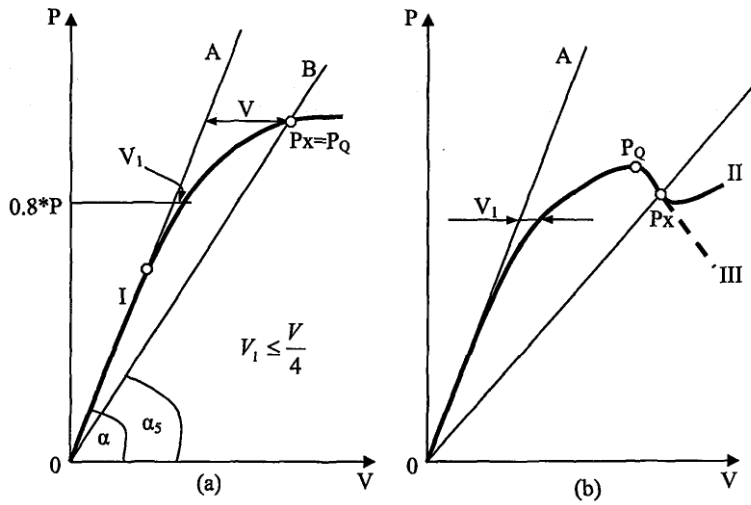
saptanabilmesi için, düzlemsel deformasyon (hacimsel gerilme) durumuna uygun büyük boyutlu numuneler deneye yapılmalıdır (ASTM E399-17, 2017).

ASTM E-399 standardına göre kırılma tokluğunun belirlenmesinde kullanılan en genel numune tipi, kompakt çekme (Compact Tension - CT) numunesidir. Bu numunenin, kalınlığa (t) bağlı tüm ölçüleri ve şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir (ASTM E399-17, 2017).



Şekil 1. Kompakt çekme (CT) numunesinin şematik gösterimi

ASTM E-399 standardına göre, Şekil 1'de verilmiş olan numuneye (CT1T – 1 inç'lik kompakt çekme) ilk önce çentik açılır, daha sonra yorulma cihazı yardımıyla bu çentik ucundan başlayan ve belirli bir uzunluğa sahip çatlak oluşturulur. Deney sonrasında gerçek çatlak uzunluğu numune üzerinden ölçülmelidir. Daha sonra, bu ön çatlaklı numuneler, çekme deneyine tabi tutulur ve bu deneyden kuvvet - çatlak açılma ($P - V$) grafikleri elde edilir. Elde edilen grafiklerdeki eğriler, aşağıdaki gibi değerlendirilmelidir (ASTM E399-17, 2017).



Şekil 2. Kuvvet - çatlak açılma ($P - V$) grafiği

Şekil 2'ye bakıldığında, genel olarak 3 tip eğri görülmektedir. Şekil 2, a'da I. tip eğri için elastik bölge çizgisinden %5 daha küçük bir açıda OB çizgisi çekildiğinde, eğriyi kesen nokta P_Q kuvveti olarak adlandırılır. Şekil 2 b'de ise II. ve III. tip eğriler için P_Q kuvveti şekil üzerinde gösterildiği gibidir (ASTM E399-17, 2017).

Grafik analizinden sonra K_Q parametresi hesaplanır. Bu parametrenin farklı numune tipleri için (genel olarak 4 tip numune kullanılır) denklemleri olsa da, kompakt çekme (CT) numunesi için gerekli denklem aşağıda verilmiştir (ASTM E399-17, 2017).

$$K_Q = \left(\frac{P_Q}{t\sqrt{b}} \right) Y \quad (1)$$

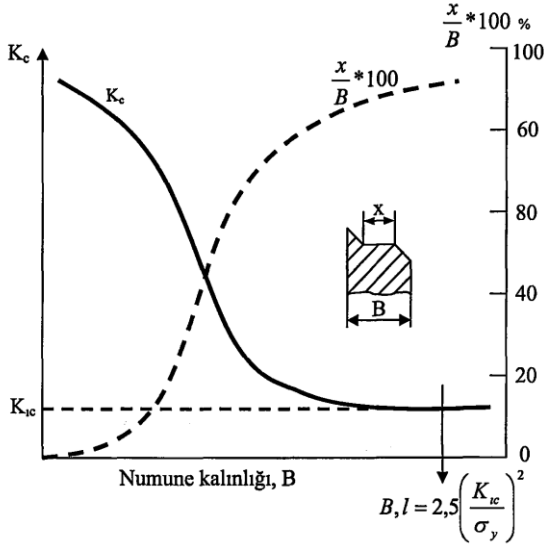
$$Y = 13.74 \left[1 - 3.38 \left(\frac{\ell_0}{b} \right) + 5.572 \left(\frac{\ell_0}{b} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Numune boyutları ile çatlakın yerleşimini göz önünde bulunduran Y parametresi, bir düzeltme parametresidir.

Denklem 1'e göre kırılma tokluğunun değerlendirilebilmesi için, numunede gevrek kırılma şartı araştırılmalıdır. Şekil 3'te numune kalınlığı ile kırılma tokluğu arasındaki ilişki verilmiştir. Gevrek kırılma şartının sağlanması için numunenin belirli bir kalınlıkta olması şarttır (Broek, 1982).

Şekil 3'e bakıldığında, numune kalınlığının artmasına bağlı olarak $K_C = K_Q$ değeri azalırken, belirli bir numune kalınlığından sonra değişmemektedir. Bu kalınlıkta $K_C = K_{IC}$ olmaktadır. Numune kalınlığı artsa da K_{IC} değeri değişmez. Bu sebeple, K_{IC} malzeme sabiti sayılır. Bununla birlikte, kırılma türü sünek kırılmadan ($K_{C(max)}$), gevrek kırılmaya (K_{IC}) doğru değişmektedir. Numune kalınlığı ile kırılma

tokluğu (K_{IC}) arasındaki ilişki, aşağıdaki denklemde verilmiştir (Broek, 1982).



Şekil 3. Kırılma tokluğunun numune kalınlığı ile değişim grafiği (şematik)

$$B, l \geq 2.5 \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y} \right)^2 \quad (3)$$

Bu denklemde K_{IC} yerine, ASTM E399 ile deneyden saptanan K_Q parametresi yazıldığında;

$$B, l \geq 2.5 \left(\frac{K_Q}{\sigma_y} \right)^2 \quad (4)$$

Gevrek kırılmanın sağlanabilmesi için Denklem 4'deki eşitsizlik sağlanmalıdır. Aksi takdirde numune kalınlığı yeterli değildir ve deney tekrarlanmalıdır. Yukarıdaki eşitsizlik sağlandığında ise numune kalınlığı yeterlidir ve bu durumda, $K_Q = K_{IC}$ olarak kabul edilir.

2.3. Kırılma Tokluğunun Saptanmasında Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada kullanılan yöntem, HMK kafes yapısına sahip ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun saptanması için geliştirilmiştir. Bu yöntemde, bir çatlakın uç kısmında dış gerilim etkisiyle oluşan plastik deformasyonun, termoaktivasyon enerjisi ile ilişkisini göz önünde tutularak, bir hipotez ortaya atılmıştır. Bununla birlikte bu hipotezde, kırılma mikro mekanizması olarak, K_{μ} mikro mekanizması kabul edilmiştir. Bu hipotez uyarınca, kırılma tokluğu (K_{IC}) için aşağıdaki denklem yazılmıştır (Said, 2006; Said ve Tasgetiren, 2004; Said ve Tasgetiren, 2000; Saidov, 1986, 1987, 1990, 1997; Saidov ve Seleznyova, 1997; Said ve Talas, 2004).

$$K_{IC} = K_{IC}^0 e^{amT} \quad (5)$$

K_{μ} kırılma modelinin çatlak ilerleme mekanizmasında; Ana çatlak ucundan belirli bir mesafede (ρ_c) dış kuvvet sonucu oluşan kritik gerilim (σ_c) etkisiyle bir mikro çatlak meydana gelir ve bu mikro çatlak, ana çatlakla doğru hareket eder ve ana çatlak ile birleşir (aynı işlem defalarca tekrar etmektedir). Bu kırılma mekanizmasının matematiksel ifadesi, aşağıdaki denklemde verilmiştir (Krasovs'kyi, 2006; Krasowsky, 1980; Krasowsky vd., 1983).

$$\left(\frac{K_{IC}}{K_{\mu}} \right) = \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_y} \right)^{\frac{(1-n)}{2n}} \quad (6)$$

$$K_{\mu} = \sigma_c \sqrt{\pi \rho_c} \quad (7)$$

Bu çalışmada kullanılan yöntem temelinde, malzemenin kırılma tokluğunun (K_{IC}), içyapı, deformasyon hızı, sıcaklık ve mekanik özellikler ile ilişkisi aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (Said ve Aytekin, 2013; Said ve Tasgetiren, 2004; Said ve Tasgetiren, 2000; Saidov, 1987, 1990, 1997; Saidov ve Seleznyova, 1997).

$$K_{IC} = A \sqrt{\pi d} \left(\frac{A}{\sigma_y^*} \right)^{\frac{x}{T^*}} \quad (8)$$

Bu denkleme bakıldığında, kırılma tokluğunun saptanabilmesi için malzemenin geleneksel mekanik özellikleri ve iç yapıdan elde edilen ortalama tane çapı yeterlidir.

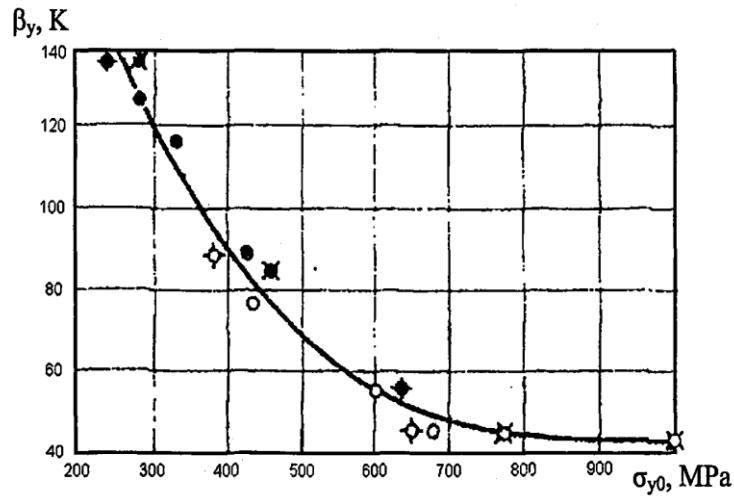
2.4. Akma Dayanımının Sıcaklıkla İlişkisi

2.4.1. Makhutov Yaklaşımı

Makhutov'un yaklaşımı, deneysel (ampirik) olarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre, akma geriliminin sıcaklıkla değişimi, çekme deneyinden elde edilen akma dayanımı (σ_{y0}) sonuçları (oda sıcaklığında) ile elde edilebilmektedir. Bunun için, aşağıdaki denklem kullanılır (Serensen ve Makhutov, 1971).

$$\sigma_{y(T)} = \sigma_{y0} \exp \left[\beta_y \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (9)$$

Çekme deneyinden elde edilen akma dayanımı σ_{y0} ile Denklem 9'da yer alan β_y parametresi arasında ilişki Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. β_y ile σ_{y0} arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Serensen ve Makhutov, 1971)

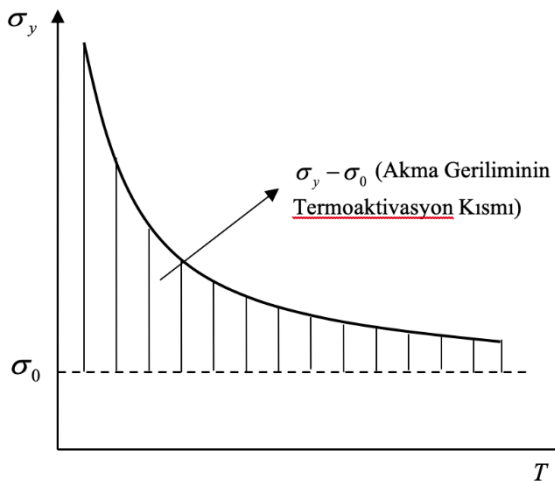
β_y parametresi, yukarıdaki grafik üzerinden hesaplanır. Bu grafik üzerindeki semboller, farklı malzemeleri ifade etmektedir.

2.4.2. Yaroshevich Yaklaşımı

Yaroshevich'in yaklaşımı, teorik temellere dayandırılmıştır. Bu yaklaşımda, 1970'li yıllarda "dislokasyonların çiftli eğilerek hareketi modeli" temelinde, akma geriliminin sıcaklık ve deformasyon hızı ile ilişkisi için aşağıdaki denklem elde edilmiştir (Yaroshevich ve Ryvkina, 1970).

$$\sigma_{y(T)} = \sigma_0 + A e^{(-\alpha T)} \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemin grafiksel ifadesi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Akma geriliminin atermik ve termoaktivasyon kısmı

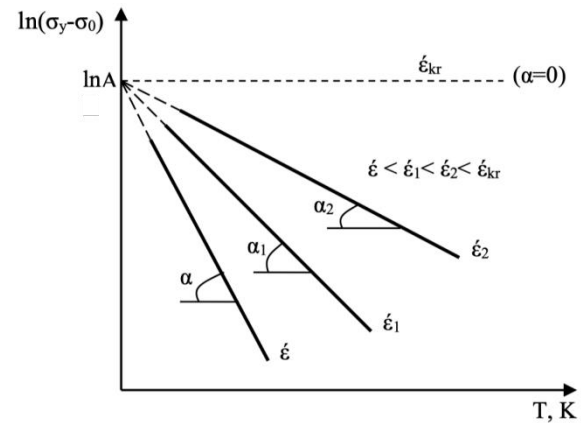
Şekil 5'den görüldüğü üzere, akma geriliminin sıcaklıkla değişim grafiği iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; 1) akma geriliminin

atermik (σ_0 ile ifade edilen), yani sıcaklığa bağlı olmayan ve 2) termoaktivasyon, yani sıcaklığa bağlı kısmıdır.

Denklem 10'da bazı değişiklikler yapıldığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\ln(\sigma_y - \sigma_0) = \ln A - \alpha T \quad (11)$$

Yukarıdaki denkleme yakından bakıldığında, yarı logaritma $\ln(\sigma_y - \sigma_0) - T$ koordinat sisteminde doğru çizgiyi ifade ettiği görülebilir. Bu denklem uyarınca, çeşitli deformasyon hızlarında akma dayanımının sıcaklıkla değişimi, Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Çeşitli deformasyon hızlarında akma dayanımının sıcaklıkla değişimi

Şekil 6'ya bakıldığında, deformasyon hızının artmasına bağlı olarak malzemenin akma geriliminin arttığı, ancak, akma geriliminin deformasyon hızına hassasiyetinin (sıcaklığa göre) zayıfladığı görülmektedir. $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_{kr}$ olduğunda (yani $\alpha = 0$ olduğunda) akma geriliminin deformasyon hızına hassasiyeti yoktur.

2.5. Önerilen Yaklaşımın Temelleri

Kırılma tokluğunun sıcaklıkla ilişkisinin Denklem 8'e göre saptanabilmesi için Denklem 10'da yer alan A parametresinin saptanması gerekir. Aytekin'in çalışmasında, bu parametre, çekme testi verileri (77 ile 293 K arasında yapılan çekme testi verileri) kullanılarak, MATLAB-CFT (MATLAB programının Curve Fitting Toolbox'ı – Eğri Uydurma Araç Kutusu) yardımıyla saptanmıştır (Aytekin, 2009).

Bu çalışmada, ilgili parametrenin (A) saptanmasında yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşıma göre sadece oda sıcaklığında elde edilmiş olan akma dayanımı verisi yeterlidir. Bu yöntem adım adım aşağıda özetlenmiştir.

İlk olarak, Denklem 9 kullanılarak akma dayanımının sıcaklıkla değişimi elde edilir. Bunun için malzemenin oda sıcaklığındaki akma dayanımı ile Şekil 4'den β_y parametresi saptanır. Sonra ise Denklem 9 kullanılarak (MATLAB-CFT ile) Denklem 10 saptanır. Ancak, Denklem 9 ile Denklem 10 birbirlerinden matematiksel olarak

(özellikle düşük sıcaklıklarda akma dayanımının sayısal değeri olarak) oldukça farklıdır. Örneğin; Denklem 9'da 0 K sıcaklığında sonuç tanımsızdır. Dolayısıyla, Denklem 9 ile Denklem 10'un nispeten uyumlu olduğu sıcaklık aralığı belirlenmelidir. Özellikle de başlangıç sıcaklığı belirlenmelidir. Bitiş sıcaklığı, deneyin yapıldığı sıcaklık, yani 293 K olmalıdır. Başlangıç sıcaklığı için ise, aşağıdaki denklem önerilmiştir.

$$T_{baş.} = \beta_y + 25 \quad (12)$$

Yukarıdaki denkleme göre, iki denklem (Denklem 9 ve 10) arasındaki tutarlı sıcaklık aralığının başlangıç noktası olarak bir malzeme için anlamlı en düşük sıcaklık değeri olan β_y değerinin 25 K üstü dikkate alınmalıdır. Bu kabul, bulgular kısmında elde edilen R^2 değerleri ile desteklenmektedir. Şekil 4'den saptanan β_y parametresi ile Denklem 12 yardımıyla saptanan başlangıç sıcaklığı ($T_{baş.}$), Tablo 2'de verilmiştir. Böylece sıcaklık aralığı olarak, $T_{baş.}$ ile 293 K belirlenmiştir.

Tablo 2. β_y ve $T_{baş.}$ parametrelerinin sayısal değerleri

Çelik No	β_y	$T_{baş.}$
	K	
1	56	81
2	65	90
3	128	153
4	109	134
5	90	115

Tablo 2'de, akma dayanımının sıcaklıkla değişiminin Denklem 9'a göre saptanmasında kullanılan β_y parametresinin, akma dayanımının azalmasına bağlı olarak arttığı (Şekil 4'den de görüldüğü üzere) görülmektedir.

2.6. Mekanik Test ve Tane Çapı Verileri

Tablo 3. İncelenen çeliklerin mekanik test ve ortalama tane çapı verileri (Aytekin, 2009).

Çelik No	σ_{y0}	$S_{kop.}$	$T_{s.p.}$	n^{293}	$d * 10^6$
	MPa		K		m
1	582	1148	60	0.1122	105
2	510	995	74	0.1428	63
3	285	657	93	0.1983	63
4	339	819	72	0.1738	22,4
5	401	914	76	0.1288	22,4

Tablo 3'den görüldüğü üzere, çeliklerin, akma dayanımına göre, düşük ve orta dayanımlı çelik sınıfında olduğu söylenebilir. Aytekin'in çalışmasında, S_{kop} ve $T_{s.p.}$ parametreleri, çekme deneyi verileri (77 ile 293 K arasındaki test verileri) kullanılarak, MATLAB-CFT yardımıyla saptanmıştır. Bu parametrelerin güvenilirliği ve doğruluğu, ilgili parametrelerin saptanmasında doğrudan çekme testi verileri kullanıldığından, oldukça yüksektir (Aytekin, 2009).

Aytekin'in çalışmasında, ASTM E399 standardı uyarınca üç farklı (77, 123 ve 173 K) sıcaklıkta

deney yapılmıştır. CT1T numunesi üzerinde yapılan deneylerde, ilk olarak çentikli numunede yorulma çatlakları oluşturulmuş, daha sonra numune kırılana kadar yüklenerek $P - V$ grafiği elde edilmiştir. Bu grafik üzerinden belirlenen kuvvet değeri ile numune kırıldıktan sonra ölçülen çatlak uzunluğu, Denklem 1'de yerine yazılarak kırılma tokluğu saptanmıştır. Bu denklemde yer alan düzeltme parametresinin denklemi (polinom) ilgili çalışmada bulunmaktadır. Elde edilen kırılma tokluğu değerleri, Tablo 4'de verilmiştir (Aytekin, 2009).

Tablo 4. ASTM E399 standardına göre saptanan kırılma tokluğu verileri (Aytekin, 2009).

Deney Sıcaklığı, K	Kırılma Tokluğu (K_{IC}), $MPa\sqrt{m}$			
	77	123	173	
1	58	83	60	
	56	58	93	
	54	70	75	
	49	64	49	
	2	49	62	54
		47	73	58
3	38	40	47	
	Çelik No	36	39	45
		34	45	74
	4	42	55	79
		39	38	85
		40	63	67
5	41	53	45	
	41	62	60	
	39	49	64	

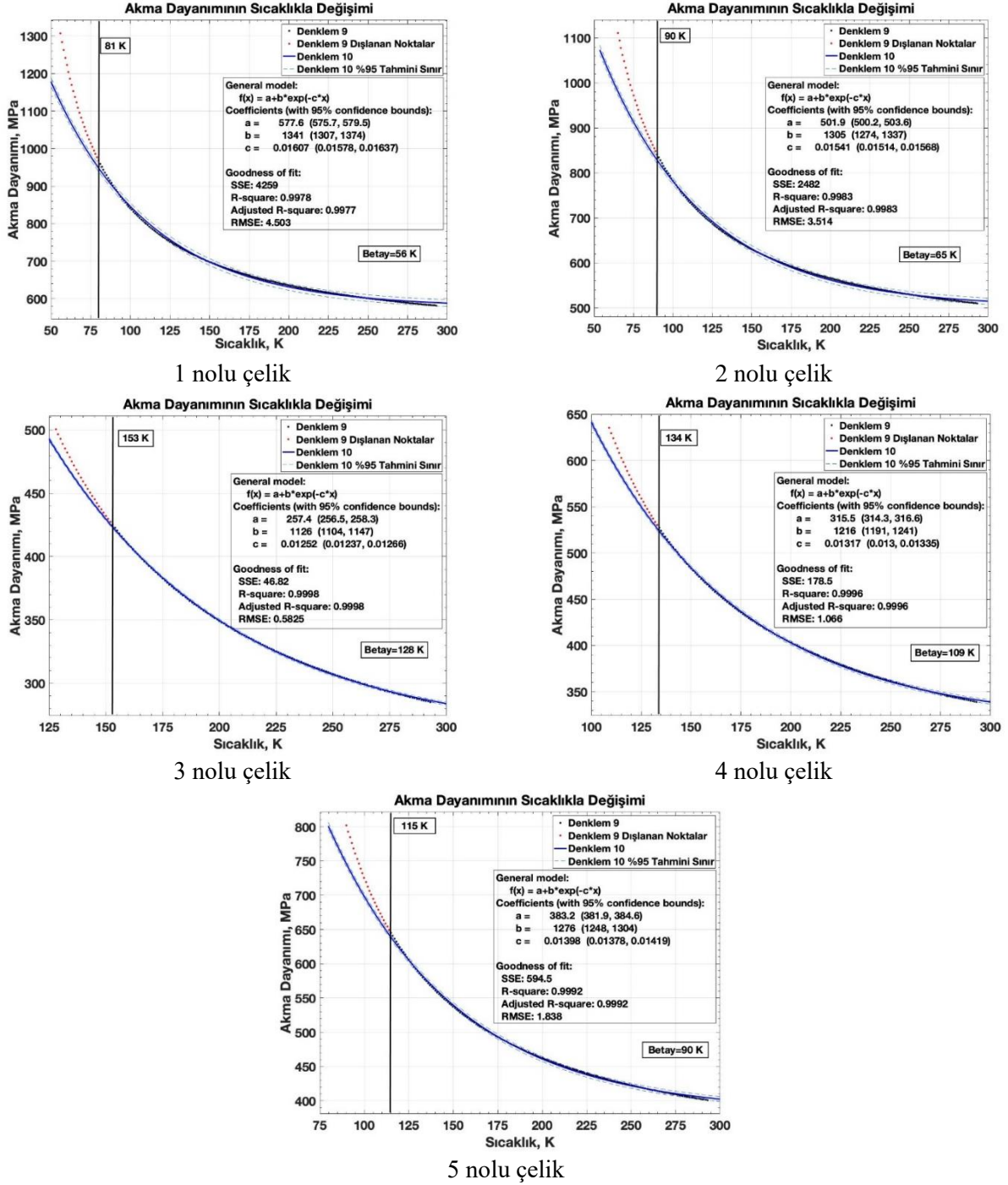
Tablo 4'e bakıldığında, deney verilerine göre, en düşük sıcaklıkta (77 K) saptanan kırılma tokluğu sonuçları, 1 ve 2 nolu çelikte biraz yüksek olmakla birlikte, birbirlerine oldukça yakındır. Bunun sebebi, düşük sıcaklıklarda, ferritik çeliklerin, doğasal olarak benzer kırılma tokluğu değerlerine sahip olmasıdır. Kırılma tokluğunun 293 K sıcaklığında (oda sıcaklığı) saptanmamış olmasının nedeni ise 1 inçlik numune kalınlığının, lineer elastik kırılma mekanizması açısından (ASTM E399), bu sıcaklık için yeterli olmamasıdır (Aytekin, 2009).

3. Bulgular

3.1. Akma Dayanımı Analizi

İncelenen çeliklerin akma dayanımının sıcaklıkla değişim grafikleri ve Denklem 9 verileri kullanılarak saptanan parametrelerin (Denklem 10'da yer alan) sayısal değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 7'ye bakıldığında, akma dayanımının sıcaklıkla değişiminin saptanmasında kullanılan Denklem 9 ve Denklem 10'un, bu çalışmada önerilen sıcaklık aralığında ($T_{baş.}$ ile 293 K), birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Grafiklerde yer alan ve grafiği ikiye bölen çizgiler, $T_{baş.}$ sıcaklığını ifade etmektedir. Denklem 10'da yer alan parametrelerin saptanmasında, bu sıcaklığın ($T_{baş.}$) sol tarafındaki değerler (Denklem 9 ile saptanan) dışlanarak (kırmızı noktalar), ilgili sıcaklığın ($T_{baş.}$) sağ tarafındaki değerler (siyah noktalar) dikkate alınmıştır. Böylece iki denklem arasındaki uyumsuz kısım atılmıştır. Denklem 10'da yer alan parametreler, MATLAB programının eğri uydurma araç kutusu (MATLAB-CFT) yardımıyla, Denklem 9 kullanılarak hesaplanan verilere Denklem 10'un uydurulması ile saptanmıştır. Bu parametreler, Tablo 5'de verilmiştir.



Şekil 7. Akma dayanımının sıcaklıkla değişim grafikleri ve saptanan parametreler.

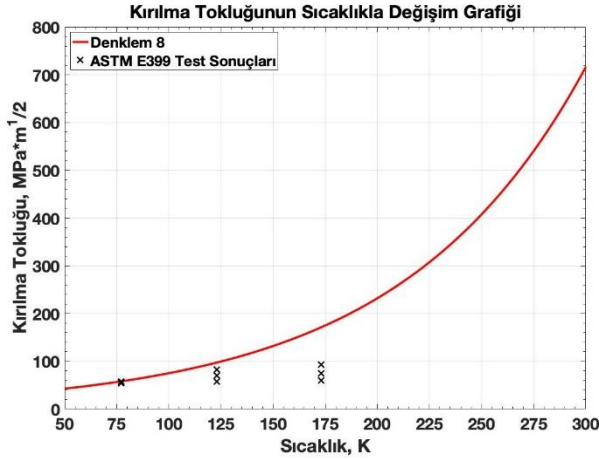
Tablo 5. Denklem 10’da yer alan parametrelerin sayısal değerleri

Çelik No	A	σ_0	α
	MPa		K^{-1}
1	1341	577.6	0.01607
2	1305	501.9	0.01541
3	1126	257.4	0.01252
4	1216	315.5	0.01317
5	1276	383.2	0.01398

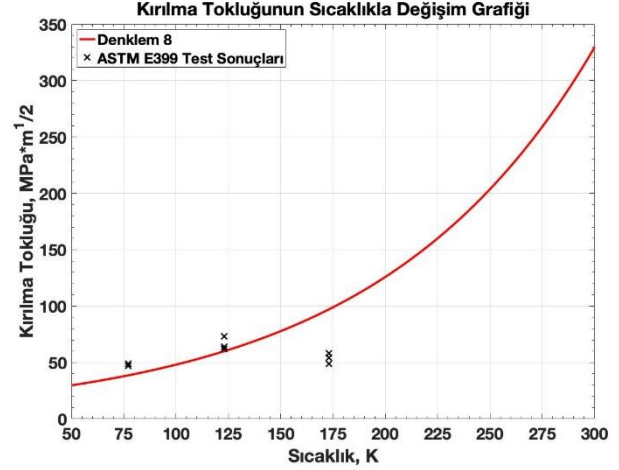
Tablo 5’de verilmiş olan parametreler (ve Denklem 10’da yer alan), akma dayanımının sıcaklıkla değişimini ifade etmektedir. Bu tabloya bakıldığında, ilgili parametrelerin sayısal değerlerinin, oda sıcaklığında deneysel olarak saptanan akma dayanımı ile yakından ilgili olduğu görülmektedir.

3.2. Kırılma Tokluğu Analizi

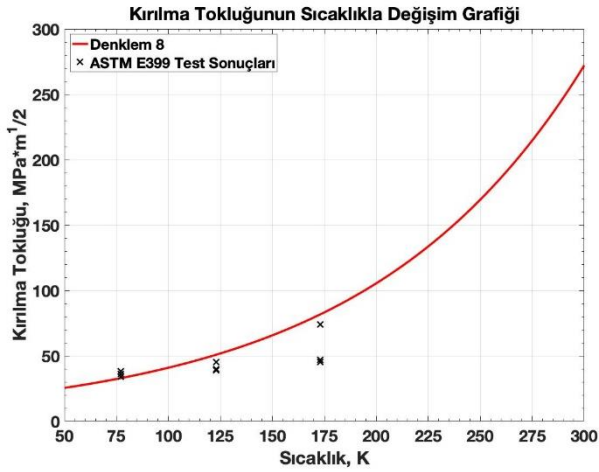
İncelenen çeliklerin kırılma tokluğunun sıcaklıkla değişim grafikleri (bu çalışmada saptanan) ve ASTM E399 standardına göre saptanan kırılma tokluğu verileri (Aytekin’in çalışmasından alınan (Aytekin, 2009)), Şekil 8’de verilmiştir.



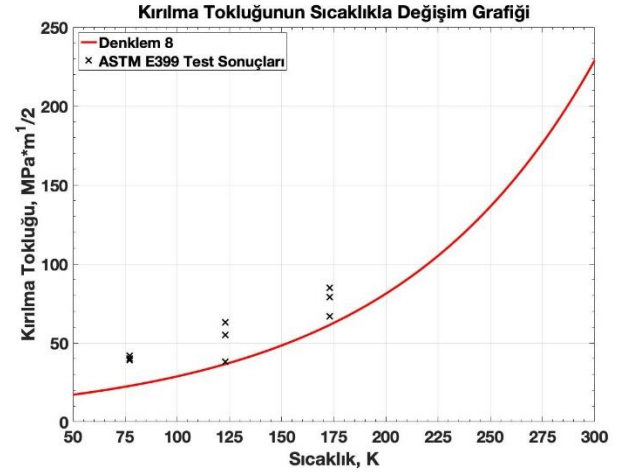
1 nolu çelik



2 nolu çelik



3 nolu çelik



4 nolu çelik



5 nolu çelik

Şekil 8. Kırılma tokluğunun sıcaklıkla değişim grafikleri ve ASTM E399 standardına göre saptanan kırılma tokluğu verileri.

Şekil 8'e bakıldığında, düşük sıcaklıklarda, tüm çelikler için (4 nolu çelik hariç) ASTM E399 ile saptanan kırılma tokluğu deney sonuçlarının, önerilen yaklaşım kullanılarak Denklem 8'e göre saptanan kırılma tokluğu değerleri ile oldukça uyumlu olduğu söylenebilir. Bu çelikler için yüksek sıcaklıklardaki uyumsuzluğun nedeni ise ferritik çeliklerin sünek-gevrek geçiş doğasından kaynaklanan kırılma tokluğu değerlerindeki tutarsızlıklar olabilir. 4 nolu çelikte ise her iki yöntemle göre saptanan kırılma tokluğu değerlerinin, yüksek sıcaklıklarda nispeten daha uyumlu olduğu görülmektedir. Genel olarak, kırılma tokluğunun saptanmasında Denklem 8'in güvenilir olduğu söylenebilir. Kırılma tokluğunun Denklem 8'e göre saptanmasında kullanılan Denklem 10'da yer alan parametrelerin, yeni yaklaşım ile hassas bir şekilde saptanmış olmasının, buna olumlu katkısı açıktır. Bu sebeple, Denklem 10'da yer alan parametrelerin saptanmasında, geliştirilen yeni yaklaşım oldukça anlamlıdır.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Simgeler

A	Akma geriliminin $T = 0$ K'deki etkili değeri, MPa
α	Akma geriliminin belirli bir deformasyon hızında sıcaklığa hassasiyetini ifade eden bir parametre, K^{-1}
b	ASTM E399 standardına göre CT (kompakt çekme) numunesinin genişliği, mm
B, l	ASTM E399 standardına göre numune kalınlığı, mm
β_y	Akma dayanımının sıcaklıkla değişimi ifade eden bir parametre, K
d	Ortalama tane çapı, m
$\dot{\epsilon}$	Deformasyon hızı, sn^{-1}
$\dot{\epsilon}_{kr}$	Kritik deformasyon hızı, sn^{-1}
κ^*	$\kappa^* = \frac{1-n^*}{2n^*}$ denkleminde uygun sayısal değer
K_C	Kritik gerilim şiddet katsayısı, $MPa\sqrt{m}$
$K_{C(max)}$	Kritik gerilim şiddet katsayısının maksimum değeri, $MPa\sqrt{m}$
K_Q	ASTM E399 standardına göre P_Q kuvvetine uygun kırılma tokluğu, $MPa\sqrt{m}$
K_{JC}	Malzemenin kırılma tokluğu, $MPa\sqrt{m}$
K_{JC}^0	Kırılma tokluğunun $T = 0$ K'deki değeri, $MPa\sqrt{m}$
K_{JC}	J-integral yöntemi ile elde edilen kırılma tokluğu, $MPa\sqrt{m}$
K_μ	Kırılma mikro mekanizmasına uygun kırılma tokluğu değeri (sıcaklık ve deformasyon hızına bağlı değildir), $MPa\sqrt{m}$
ℓ_0	ASTM E399 standardına göre CT numunesinde çatlak uzunluğu, mm
m	Kırılma tokluğunun sıcaklığa hassasiyetini ifade eden katsayı
n	Malzemenin pekleşme katsayısı
n^*	Sünek - gevrek geçiş sıcaklığına uygun pekleşme katsayısı
n^{293}	$T = 293$ K sıcaklığa uygun pekleşme katsayısı değeri
P	Kuvvet değeri, N

- Yeni yaklaşım ile akma dayanımının sıcaklıkla değişiminin saptanabilmesi için sadece oda sıcaklığında yapılan çekme testi verileri yeterlidir.
- Genel olarak, ASTM E399 standardına göre saptanan kırılma tokluğu test sonuçları ile yeni yaklaşım yardımıyla belirlenen kırılma tokluğu sonuçları (4 nolu çelik hariç) düşük sıcaklıklarda oldukça uyumludur.
- Ferritik çeliklerin kırılma tokluğunun tahmininde, bu çalışmada geliştirilen yaklaşımın, özellikle düşük sıcaklıklarda, güvenilir olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada incelenen yeni yaklaşım, ferritik çeliklerin akma dayanımının sıcaklıkla değişiminin ve dolayısıyla da kırılma tokluğunun saptanmasında, alternatif bir yöntem olarak önerilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, 17.TEKNOLOJİ.02 proje numarası ve "Ferritik Çeliklerde Kırılma Tokluğunun Saptanmasında Farklı Bir Yaklaşım" ismiyle Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu (BAPK) tarafından desteklenmiştir.

P_Q	Kuvvet çatlak açılma diyagramında maksimum kuvvet, N
ρ_c	Çatlak ucundan belirli bir mesafe, m
S_{kop}	$\sigma_y = \sigma_{max} = S_k, \psi = 0$ şartına uygun malzemenin kopmaya karşı direnci (sadece malzemenin tane boyutuna bağlıdır), MPa
σ_0	Akma geriliminin sıcaklıkla bağımsız (atermik) değeri, MPa
σ_c	Çatlak ucunda ρ_c mesafede meydana gelen kritik gerilim, (sıcaklık ve deformasyon hızına bağlı değildir) MPa
σ_y^*	Sünek - gevrek geçiş sıcaklığına uygun akma dayanımı, MPa
σ_y	Akma mukavemeti, MPa
$\sigma_{y(T)}$	Herhangi bir deney sıcaklığındaki akma gerilimi, MPa
σ_{y0}	Akma geriliminin $T_0 = 293 K$ 'deki değeri, MPa
t	ASTM E399 standardına göre CT numunesinin kalınlığı, mm
T	Mutlak sıcaklık, K
$T_{baş.}$	Akma dayanımının sıcaklıkla değişiminin kararlı olduğu sıcaklık aralığının başlangıç sıcaklığı, K
T_0	Oda sıcaklığı, K
T_o	ASTM E1921 standardına göre referans sıcaklığı, K
T^*	Sünek - gevrek geçiş sıcaklığı, K
$T_{s.p.}$	Sıfır plastiklik sıcaklığı, K
Y	Malzemenin boyut faktörü, çatlağın dış kuvvete göre yerleşim durumunu ifade eden bir parametre

Kaynaklar

- ASTM E1921-18, 2018. Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range, in: ASTM Volume 03.01 Metals – Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography: West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM E399-17, 2017. Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials, in: ASTM Volume 03.01 Metals – Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography: West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Aytekin, H., 2005. Yapı Çeliklerinin Kırılma Tokluğu Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aytekin, H., 2009. Yapı Çeliklerinin Kırılma Tokluğunun Saptanmasında Yeni Bir Yöntemin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aytekin, H., 2014. A Study on the ASTM E1921 Standard in Determining the Fracture Toughness of Ferritic Steels. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 37(8), 920–927.
- Berejnoi, C. ve Ipiña, J.E.P., 2016. Fracture Toughness of Ferritic Steels in the Ductile-to-Brittle Transition Region, in: Fracture Mechanics - Properties, Patterns and Behaviours: InTech, pp. 83-101.
- Bouchard, R., Shen, G. ve Tyson, W.R., 2008. Fracture Toughness Variability of Structural Steel. Engineering Fracture Mechanics, 75(12), 3735–3742.
- Broek, D., 1982. Elementary Engineering Fracture Mechanics: Springer Netherlands, 469 p.
- Burdekin, F.M. ve Stone, D.E.W., 1966. The Crack Opening Displacement Approach to Fracture Mechanics in Yielding Materials. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 1(2), 145–153.
- EricksonKirk, M. ve EricksonKirk, M., 2006. An Upper-Shelf Fracture Toughness Master Curve for Ferritic Steels. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 83(8), 571–583.
- Gdoutos, E.E., 1993. J-integral and Crack Opening Displacement Fracture Criteria, in: Fracture Mechanics: pp. 153–193.
- IAEA, 2009. Master Curve Approach to Monitor Fracture Toughness of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants: International Atomic Energy Agency, ISBN 978-92-0-111009-1, Vienna, 167 p.
- Krasovs'kyi, A.Y., 2006. On the “Local Approach” to the Brittle Fracture of Structural Materials. Materials Science, 42(2), 183–188.

- Krasowsky, A.J., 1980. Brittleness of Metals at Low Temperatures: Naukova Dumka, Kyiv, (in Russian).
- Krasowsky, A.J., Kashtalyan, Y.A. ve Krasiko, V.N., 1983. Brittle-to-Ductile Transition in Steels and the Critical Transition Temperature. *International Journal of Fracture*, 23(4), 297–315.
- McCabe, D., Merkle, J. ve Wallin, K., 2000. Technical Basis for the Master Curve Concept of Fracture Toughness Evaluations in the Transition Range, *Fatigue and Fracture Mechanics: 30th Volume*, ASTM International, p. 21–33.
- Pan, J., Chen, Z. ve Hong, Z., 2019. A Novel Method to Estimate the Fracture Toughness of Pressure Vessel Ferritic Steels in the Ductile to Brittle Transition Region Using Finite Element Analysis and Master Curve Method. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 176, 1–11.
- Planman, T., Onizawa, K., Server, W. ve Rosinski, S., 2007. IAEA Coordinated Research Project on Master Curve Approach to Monitor Fracture Toughness of RPV Steels: Applicability for Highly Embrittled Materials, *ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference*, July 2007, San Antonio, Texas, p. 201–209.
- Rice, J.R., 1964. A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks. *Journal of Applied Mechanics*, *Transactions ASME*, 35(2), 379–388.
- Said, G., 2006. Study on ASTM E399 and ASTM E1921 Standards. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 29(8), 606–614.
- Said, G. ve Aytekin, H., 2013. A New Method for Determining the Fracture Toughness of Main Pipeline Steels. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 36(7), 640–649.
- Said, G. ve Tasgetiren, S., 2004. An Express Technique for the Determination of Static and Dynamic Fracture Toughness (K_{IC}, K_{Id}) of BCC Metals and Alloys. *Mechanics of Materials*, 36(11), 1129–1142.
- Said, G. ve Taşgetiren, S., 2000. Fracture Toughness Determination of Low-Alloy Steels by Thermoactivation Energy Method. *Engineering Fracture Mechanics*, 67(4), 345–356.
- Saidov, G.I., 1986. Theoretical-Experimental Determination of Critical Stresses in Structural Elements. *Strength of Materials*, 18(2), 171–173.
- Saidov, G.I., 1987. Thermal Activation Parameters of Deformation and the Critical Stress Intensity Factor of Low and Medium Strength Steels. *Soviet Materials Science*, 22(5), 495–499.
- Saidov, G.I., 1990. Temperature Relationships of Static and Dynamic Crack Resistance of Low and Medium Strength Constructional Steels. *Metal Science and Heat Treatment*, 32(4), 299–302.
- Saidov, G.I., 1997. A Thermal Activation Approach to the Crack Resistance of Steels. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 20(1), 41–47.
- Saidov, G.I. ve Seleznyova, T.A., 1997. On the Fracture Toughness of Low and Medium Strength Steels (BCC Metals). *Strength of Materials*, 29(2), 204–207.
- Said, G. ve Talas, S., 2004. The Relationship Between Brittle Fracture Temperature and Stress Concentration in BCC Steels. *Mechanics of Materials*, 36(11), 1123–1128.
- Schindler, H.-J. ve Kalkhof, D., 2015. A Closer Look at Effects of the Loading Rate on Fracture Toughness in the Ductile-to-Brittle Transition Regime of a Ferritic Steel. *Journal of Testing and Evaluation*, 43(3), 507–516.
- Schindler, H.J., 2014. Fracture Toughness of Ferritic Steels: Lower Bounds and Their Implications on Testing and Application. *Procedia Engineering*, 86, 247–257.
- Serensen, S. V. ve Makhutov, N.A., 1971. Resistance of Construction Elements to Brittle Failure. *Strength of Materials*, 3(4), 371–381.
- Ulu, S., Aytekin, H. ve Said, G., 2013. An Alternative Approach to the Fracture Toughness of Dual Phase Steels. *Strength of Materials*, 45(5), 607–618.
- Yaroshevich, V.D. ve Ryvkina, D.G., 1970. On the Thermoactivation Character of Plastic Deformation of Metals. *Fizika Tverdogo Tela (Solid State Physics)*, 12(2), 464–477, (in Russian).

Numerical Investigation of the Critical Current and Trapped Flux Properties of the HTS-PMG Arrangements

HTS-PMG Dizilimlerinin Kritik Akım ve Tuzaklanan Akı Özelliklerinin Nümerik Olarak İncelenmesi

Murat ABDİOĞLU*^{1,2,a}

¹Department of Mathematics and Science Education, Faculty of Education, Bayburt University, 69000, Bayburt, Turkey.

²Department of Physics, Faculty of Science, Karadeniz Technical University, 61080, Trabzon, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 10.03.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 16.05.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 17.07.2020

Abstract

The electromagnetic behaviour of the Maglev systems should be predicted to figure out the induced current and trapped flux distribution inside the high temperature superconductors (HTS) and thus to optimize the design of Maglev systems. In the present study, firstly the magnetic flux density distributions of single-PM and double-PM permanent magnetic guideways (PMGs) have been obtained numerically by using magneto-static solution in AC/DC Module in COMSOL Multiphysics package. Then the trapped magnetic flux and induced current inside the HTS have been determined under the non-uniform magnetic field via the Partial Differential Equation (PDE) Mode in COMSOL by using H-formulation. Obtained numerical results in this study showed that different PMG configurations have various magnetic field characteristic and this situation can improve the magnetic and supercurrent properties of the HTS in Maglev system.

Keywords: Bulk Superconductors, Electromagnetic Simulation, Permanent Magnetic Guideway

Öz

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri (HTS) içinde indüklenen akım ve tuzaklanan akı dağılımının belirlenmesi ve böylece Maglev sistemlerinin tasarımının optimize edilmesi için Maglev sistemlerinin elektromanyetik davranışı belirlenmelidir. Bu çalışmada, ilk olarak COMSOL Multiphysics paket programının AC/DC Modülündeki manyeto-statik çözüm kullanılarak tek-PM ve çift-PM manyetik kılavuzlama yollarının (PMG) manyetik akı yoğunluğu dağılımlarını sayısal olarak elde edildi. Daha sonra H-formülasyonu kullanarak COMSOL'daki Kısmi Diferansiyel Denklem (PDE) modu ile homojen olmayan manyetik alan altında HTS içindeki tuzaklanan manyetik akı ve indüklenen akı belirlendi. Bu çalışmada elde edilen sayısal sonuçlar, farklı PMG konfigürasyonlarının çeşitli manyetik alan karakteristiklerine sahip olduğunu ve bu durumun Maglev sistemindeki HTS'nin manyetik ve süper akım özelliklerini iyileştirebileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Külçe Süperiletkenler, Elektromanyetik Simulasyon, Manyetik Kılavuzlama Yolu

*a Murat ABDİOĞLU; muratabdioglu61@gmail.com, Tel: (0458) 2111153, orcid.org/0000-0002-5497-0817

1. Introduction

The relative motion between the high temperature superconductor (HTS) and the permanent magnet (PM) creates a repulsive or attractive force which is called as levitation force. This levitation force stems from the induced supercurrents inside the HTS due to the inhomogeneous magnetic field which HTS exposures. This unique property of superconductors is used to develop magnetically levitated transportation (Maglev) systems (Deng et al., 2017; Kusada et al., 2007; Sotelo et al., 2015; Ozturk et al., 2019; Abdioglu et al., 2015), flywheel energy storage systems (Werfel et al., 2012; Basaran and Sivrioglu, 2017), superconducting motors (Hull and Strasic, 2010; Masson and Luongo, 2005; Kovalev et al., 2016) and magnetic resonance imaging (MRI) devices (Minervini et al., 2018; Yamamoto et al., 2014), etc. The studies on Maglev systems have increased since the development of first man-loaded Maglev vehicle in 2002 by the group of Southwest Jiaotong University in China (Wang et al., 2002). Researchers have focused on improving the magnetic levitation and guidance forces of Maglev systems for enhancing the loading capacity and movement stability, respectively. Many studies have been carried out until now to improve the practical applicability potential of Maglev systems via experimental (Deng et al., 2017; Kusada et al., 2007; Sotelo et al., 2015; Abdioglu et al., 2015; Guner et al., 2019), analytical (Ozturk et al., 2019; Ainslie and Fujishiro 2015) and numerical (Ainslie and Fujishiro 2015; Zhang and Coombs, 2012; Ozturk et al., 2012) methods. The electromagnetic behaviour of the above systems should be predicted to figure out the induced current and trapped flux distribution inside the HTS and thus to optimize the design of Maglev systems.

There are several analytical and numerical methods in literature which are used for predicting the electromagnetic characteristics of Maglev systems. The analytical methods are useful for simple geometries and uniform magnetic field conditions, while the numerical methods are effective in more complicated geometries (Ozturk et al., 2012). Navau et al. have discussed different analytical and numerical solutions of the critical state model (CSM) and made a detailed review on the main characteristics and parameters of the magnetization loops and levitation forces (Navau et al. 2013). The finite element method (FEM) based on CSM is frequently used to calculate the levitation force, magnetization and trapped flux. Various formulations are used in FEM such as A-

V formulation (Sotelo et al., 2009; Dias et al., 2010; Ruiz-Alonso et al., 2004), T- Ω formulation (Zheng and Yang 2007), E-formulation and H-formulation (Ozturk et al., 2012; Sass et al., 2015; Patel et al., 2015; Quéval et al., 2018; Hong et al., 2006). Quéval et al. have reported different formulations used in finite element models (Quéval et al., 2018).

The studies in literature, generally uses single-PM rather than double-PM (meanly PMG) and there is no detailed study on the critical current and trapped flux densities of the superconductor by using single and double-PM arrangements. In the present study, firstly magnetic flux density distributions of two different PMGs have been obtained numerically by using magneto-static solution in AC/DC Module in COMSOL Multiphysics package. Then the trapped magnetic flux and induced current inside the HTS under the non-uniform magnetic field have been determined via the Partial Differential Equation (PDE) Mode in COMSOL by using H-formulation (Ozturk et al., 2012; Hong et al., 2006).

2. Numerical Scheme

The magnetic field distribution data of PMG is obtained by numerical modelling via magnetostatic solution in COMSOL Multiphysics. Eq. (1) and Eq. (2) are used, respectively, to define the physical parameters (B_z and B_r) of magnetic medium and air. Where, B, H, M and μ_0 represent the magnetic flux density, magnetic field, magnetization and magnetic permeability of the free space, respectively.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \quad (1)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (2)$$

The numerical method in this study to predict the electromagnetic characteristics of Maglev system is based on solving the Maxwell equations in Partial Differential Equation Mode by using the H-formulation in COMSOL Multiphysics 3.5a which based on the finite element method. The Maxwell equations used in this study are given as:

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

$$\vec{J} = \nabla \times \vec{H} \quad (4)$$

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (5)$$

where \vec{E} is electrical field, \vec{J} is critical current density, ρ is resistivity and $\mu = \mu_0\mu_r$ and relative permeability, μ_r is taken as 1 for HTS bulks.

The numerical scheme is based on dividing the 2D space into three subdomains as superconducting region, dielectric region (air) and magnetization region (Ozturk et al., 2012; Hong et al., 2006). Two partial differential equations (PDEs) are solved in this numerical scheme by using the general form PDE mode in COMSOL for the dependent variables of H_r and H_z which are the magnetic field components in r - and z -directions, respectively. The critical current density J_{sc_φ} and electrical field E_{sc_φ} of the HTS are calculated in the superconducting region and these are perpendicular to the r - z plane. By using Faraday's and Ampere's law in Eqs. (3) and (4), respectively, one can obtain the following equation for cylindrical symmetry:

$$-\hat{r} \frac{\partial E_{sc_\varphi}}{\partial z} + \hat{z} \frac{1}{r} \frac{\partial(rE_{sc_\varphi})}{\partial r} = -\mu_0\mu_r \left(\hat{r} \frac{\partial H_r}{\partial t} + \hat{z} \frac{\partial H_z}{\partial t} \right) \quad (6)$$

$$J_{sc_\varphi} = \frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} \quad (7)$$

Where J_{sc_φ} indicates the φ component of superconducting current density induced inside the HTS, flowing azimuthally as perpendicular to the r - z plane. The electrical behaviour of superconductors has nonlinear character due to including the flux pinning centres. Therefore, according the E-J power law, the electric field of the HTS can be described as

$$E_{sc_\varphi} = E_0 \left(\frac{J_{sc_\varphi}}{J_c(B)} \right)^\alpha \quad (8)$$

where $E_0 = 1 \times 10^{-4} V/m$, $J_c(B)$ is the magnetic field dependent critical current density of the HTS and $\alpha=21$ for type-II superconductors (Yamasaki and Mawatari, 2000). On the other hand, for the dielectric region (air), the electrical behaviour can be described by linear Ohm law as

$$E_{sc_\varphi} = \rho J_{sc_\varphi} \quad (9)$$

where ρ is the resistivity of dielectric region. The critical current density of HTS and the magnetic flux density are given by

$$J_c(B) = \frac{J_{c0}}{\left(1 + \frac{B}{B_0}\right)^\beta} \quad (10)$$

$$B = \mu_0\mu_r \sqrt{H_r^2 + H_z^2} \quad (11)$$

where, B_0 and β are material dependent constants, and J_{c0} is the magnitude of the critical current density at the temperature of 77 K when the local field is zero. In this study, modified Kim-like model was used to determine $J_c(B)$ value dependent on the magnetic field (Zou et al., 2015; Zhai et al., 2013). Vertical (H_z) and lateral (H_r) components of the magnetic fields are obtained as follows by inserting the Eqs. (7)–(10) into (6):

$$\partial \left(rE_0 \left(\frac{(\partial H_z/\partial r) - (\partial H_r/\partial z)}{J_c(B)} \right)^\alpha \right) / \partial z = -\mu_0\mu_r r \frac{\partial H_r}{\partial t}, \quad (12)$$

$$-\partial \left(rE_0 \left(\frac{(\partial H_z/\partial r) - (\partial H_r/\partial z)}{J_c(B)} \right)^\alpha \right) / \partial r = -\mu_0\mu_r r \frac{\partial H_z}{\partial t}, \quad (13)$$

3. Results and Discussions

In this study, the magnetic flux density distribution, trapped magnetic flux and supercurrent density between the HTS and two different magnetic field sources were modelled. One of these field sources is named as single-PM (see Figure 1b) and the other one is named as double-PM (see Figure 1a). The lateral (B_r) magnetic flux density distributions of two different PMGs are given in Figure 1 at 2 mm, 5 mm and 10 mm away from the PMG upper surface. In modelling, the magnetization value of each PM was taken as 11324904 A/m. One can see from Figure 1 that both at the upper side and right side of the PMGs, the peak values of magnetic flux density distribution curves decrease with increasing distance from the PMG. In addition, one can see that the maximum B_r value was obtained as 0.48 T at 2 mm away from the upper surface and 0.55 T at 2 mm away from the right side, for double-PM as consistent with the studies in literature (Ozturk et al., 2019). The bigger B_r value at the right side can be attributed to the condensed magnetic flux density on the right surface because of the head-to-head directed PMs. It is also seen from Figure 1 that the maximum B_r values at the upper surface of single-PM is slightly bigger than that of double-PM since the head-to-head directed PMs decrease the magnetic flux distribution on the upper surface of double-PM.

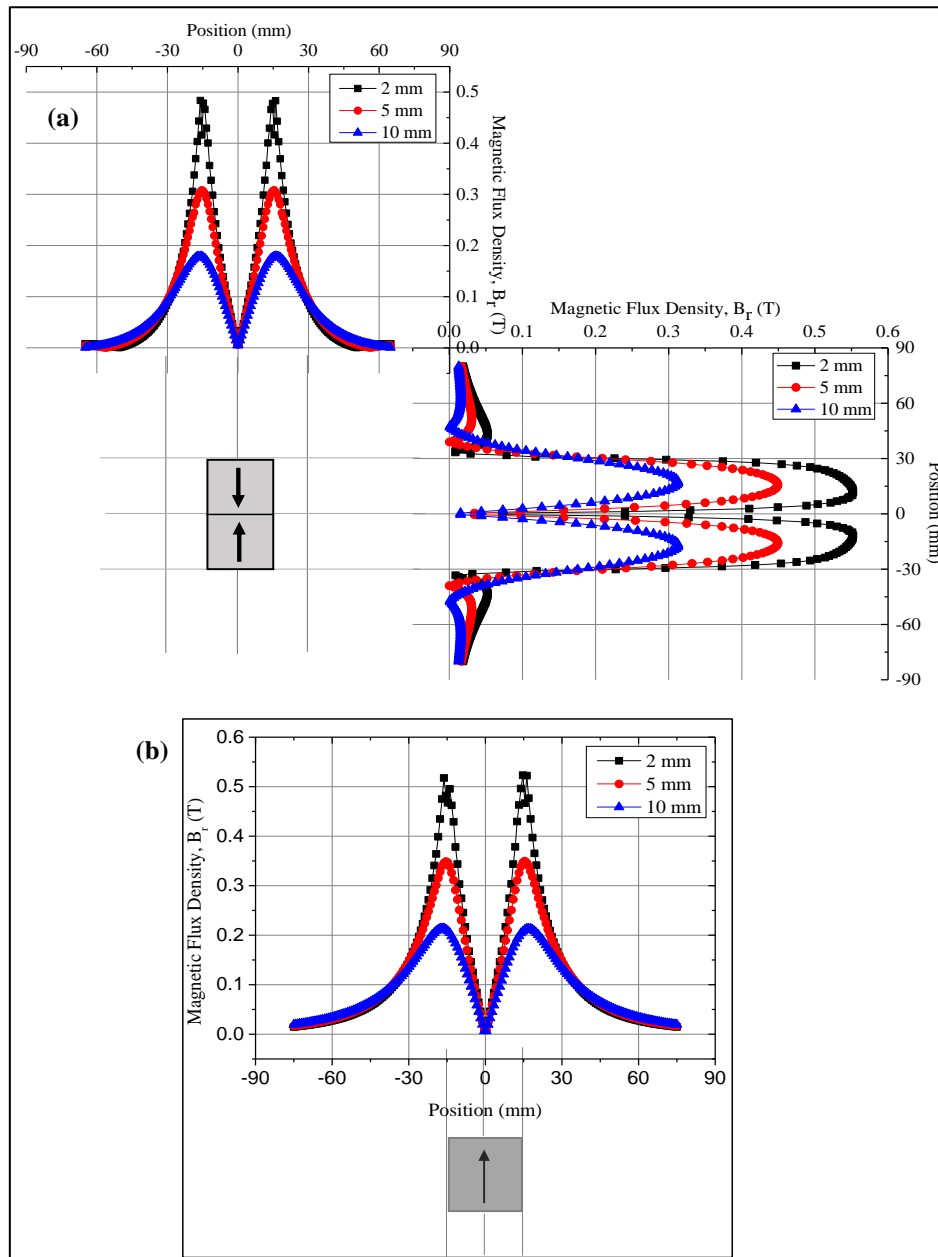


Figure 1. Lateral (B_r) magnetic flux density distributions of (a) double-PM and (b) single-PM PMGs obtained at 2 mm, 5 mm and 10 mm away from the PMG surface by using the magnetostatic solution.

Figure 2 shows the vertical (B_z) magnetic flux density distributions of two different PMGs at 2 mm, 5 mm and 10 mm away from the PMG surface. It is seen from this figure that the maximum B_z value was obtained as 0.36 T at 2 mm away from the upper side and 1.08 T at 2 mm away from the right side, for double-PM. This is attributed to the condensed magnetic flux density on the right surface because of the head-to-head directed PMs, as consistent with Figure 1. In addition, the maximum B_z value was obtained as 0.45 T at 2 mm away from the upper surface of single-PM which is bigger than that of the double-PM. The bigger B_r and B_z values at the right sides of double-PM are bigger than that of the single-PM as seen in Figure 1 and Figure 2 is

an important result in point of supercurrents which can be induced inside the superconductors.

The symbols, descriptions and the values of the constants which are used in numerical calculations of this study are given in Table 1. Figure 3 shows the screenshot and $J_{sc,\phi}$ current density distribution of one half of the HTS sample with dimensions of 64 mm x 14 mm and single-PM. In the Figure 3, surface plot shows induced supercurrents while arrows show the magnetic field. The magnetic field of PM was supplied by a non-uniform external field of a normal conductor coil carrying current density as $J(t) = J_0 \sin(\omega t)$ for $\omega t = \pi$ in axially symmetric geometry. The parameters which are used in this study are given in Table 1.

The supercurrents occur inside the HTS gradually depending on time as can be seen from different tones of colors in Figure 3a-c. In addition, the

critical current density gets smaller as going to the inner regions of the HTS.

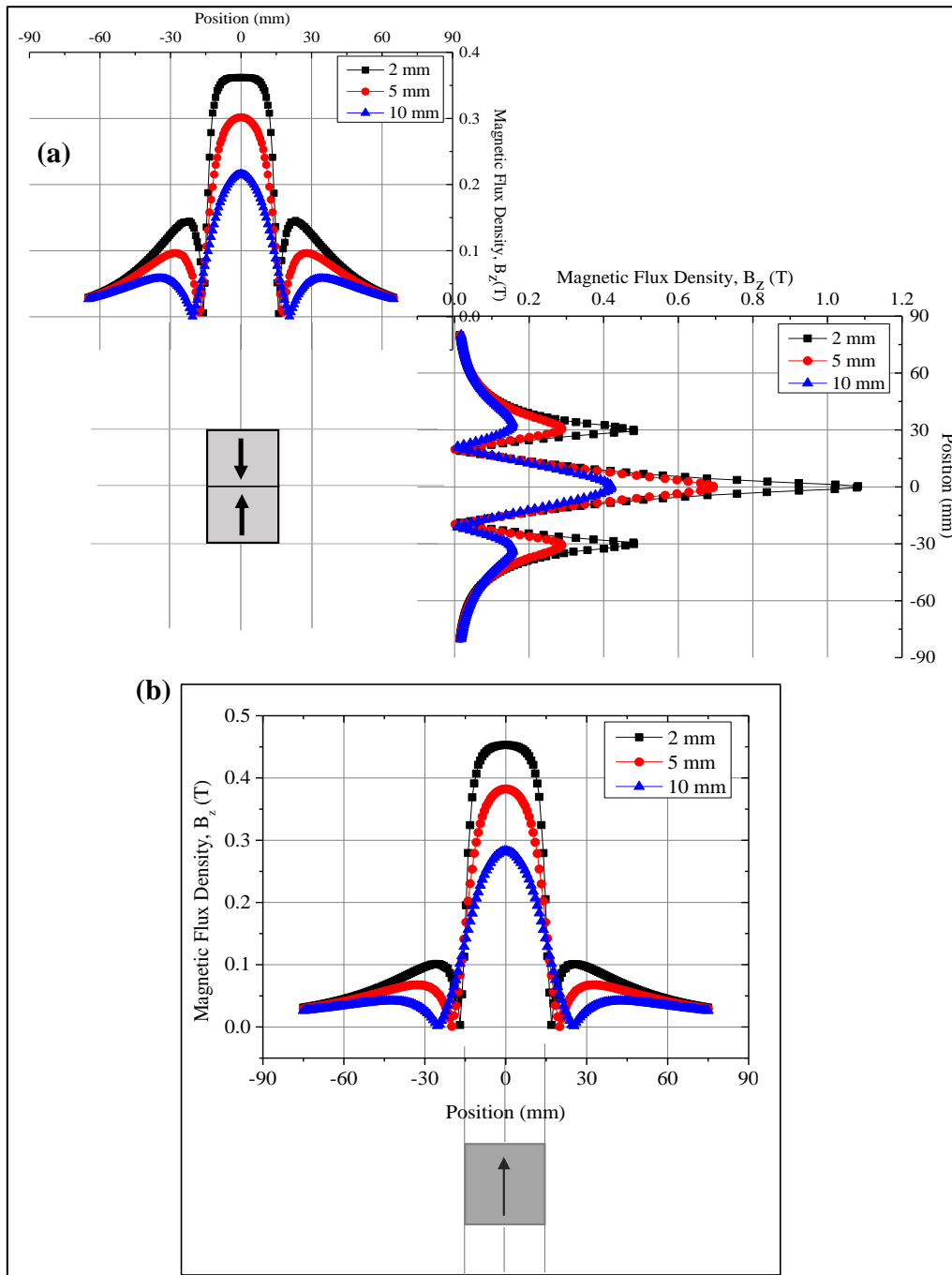


Figure 2. Vertical (B_z) magnetic flux density distributions of (a) double-PM and (b) single-PM PMGs obtained at 2 mm, 5 mm and 10 mm away from the PMG surface by using the magnetostatic solution

The symbols, descriptions and the values of the constants which are used in numerical calculations of this study are given in Table 1. Figure 3 shows the screenshot and $J_{sc-\phi}$ current density distribution of one half of the HTS sample with dimensions of 64 mm x 14 mm and single-PM. In the Figure 3, surface plot shows induced supercurrents while arrows show the magnetic field. The magnetic field of PM was supplied by a non-uniform

external field of a normal conductor coil carrying current density as $J(t) = J_0 \sin(\omega t)$ for $\omega t = \pi$ in axially symmetric geometry. The parameters which are used in this study are given in Table 1. The supercurrents occur inside the HTS gradually depending on time as can be seen from different tones of colors in Figure 3a-c. In addition, the critical current density gets smaller as going to the inner regions of the HTS.

Table 1. Constants used in modelling

Symbol	Description	Value
ρ_{metal}	Resistivity of wire (Ω m)	1
J_0	Peak wire current ($A\ m^{-2}$)	7.98×10^7
μ_0	Permeability of vacuum ($H\ m^{-1}$)	$4\pi \times 10^{-7}$
α	Parameter for resistivity model	21
ρ_{air}	Resistivity of air (Ω m)	1.00×10^6
ω	Time constant for applied current (s)	$1000\ \pi$
T	Temperature (K)	77
E_0	Parameter for E-J law ($V\ m^{-1}$)	1.00×10^{-4}
J_{c0}	Constant parameter for J_c ($A\ m^{-2}$)	3.62×10^8
B_0	Constant parameter for B (T)	6.85×10^{-2}
m	Constant parameter for m ($A\ m^2$)	4.50×10^{-1}

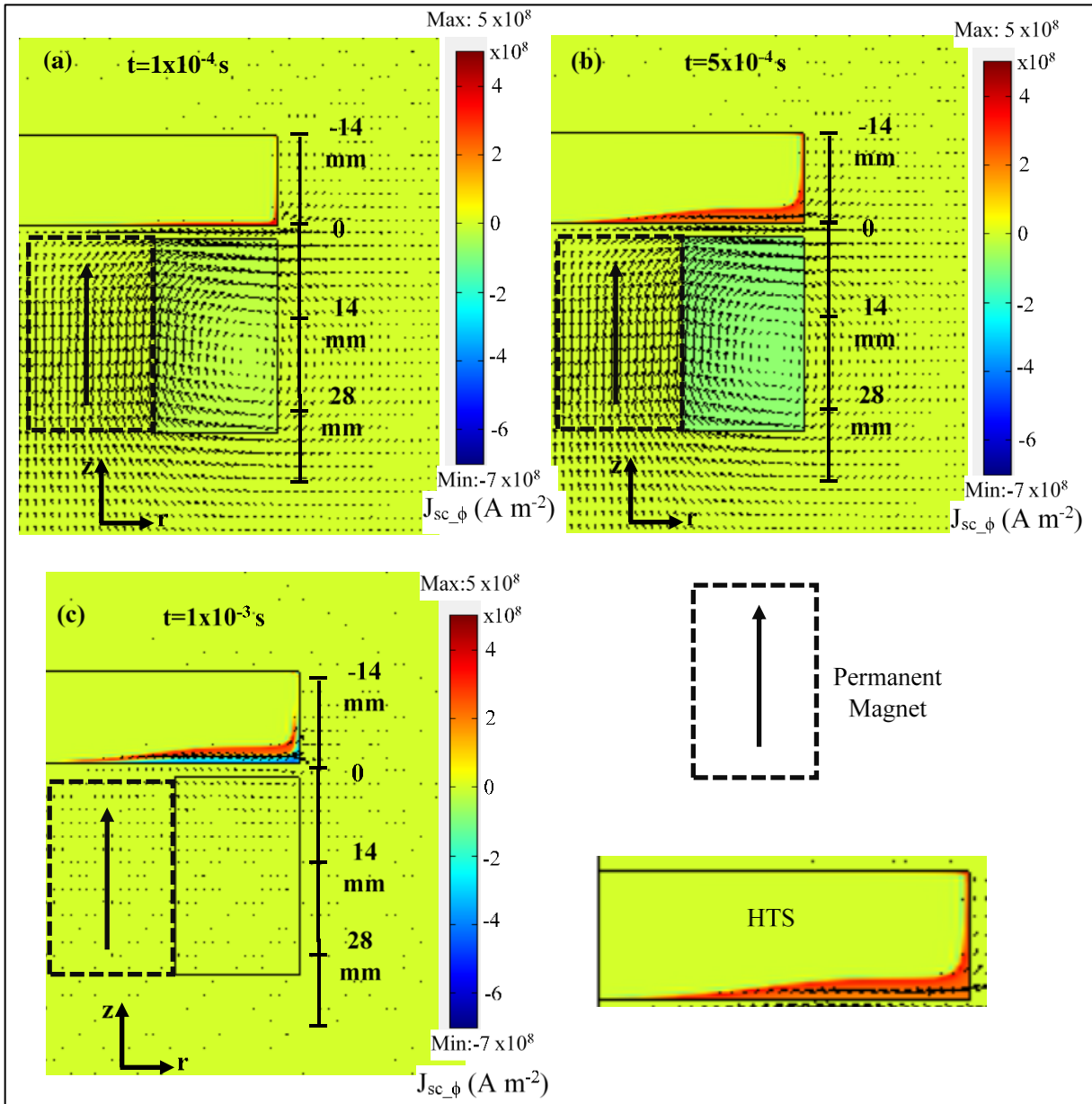


Figure 3. Screenshot of the HTS and single-PM and $J_{sc_φ}$ current density distribution of the HTS sample with 64 mm x 14 mm (3D size of the sample is 64x34x14 mm³) at different times of (a) $t=1 \times 10^{-4}$ s, (b) $t=5 \times 10^{-4}$ s and (c) $t=1 \times 10^{-3}$ s. Surface plot shows induced supercurrents while arrows show the magnetic field. The arrow on the PM indicates the magnetization direction of the PM.

The z-component of the trapped magnetic flux density B_z distribution on the superconductor at different distances from the sample surface is shown in Figure 4 for single-PM. It can be seen from this figure that the trapped

magnetic field increases with decreasing distance from the sample surface. It is also seen that maximum trapped magnetic field at the minimum gap of 1 mm was obtained as 0.06 T.

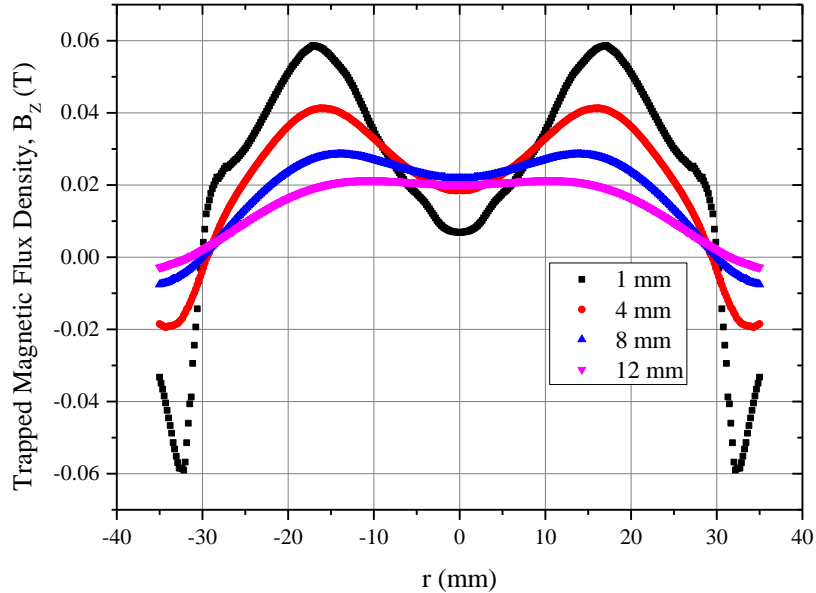


Figure 4. z-component of the trapped magnetic flux distribution, B_z , on the superconductor at different distances from the sample surface, with single-PM.

Figure 5 shows the $J_{sc,\phi}$ current density distribution at different distances inside the HTS surface as a function of lateral distance, with single-PM. As can be seen from the figure that the current density goes to negative values at the distance of 0.15 mm inside the HTS surface, indicating the flowing currents in opposite direction in regard to that of at the deeper distances below the surface and the maximum

current density was obtained as $-4.5 \times 10^8 \text{ Am}^{-2}$. One can see from Figure 5 that maximum current density was obtained as $4 \times 10^8 \text{ Am}^{-2}$ at the distance of 3.5 mm inside the HTS surface and at the lateral distance of 30 mm, mainly near the edge of the HTS. However, one can see that at the lateral distances less than 30 mm, the current density obtained at 2.5 mm is bigger than that of 3.5 mm.

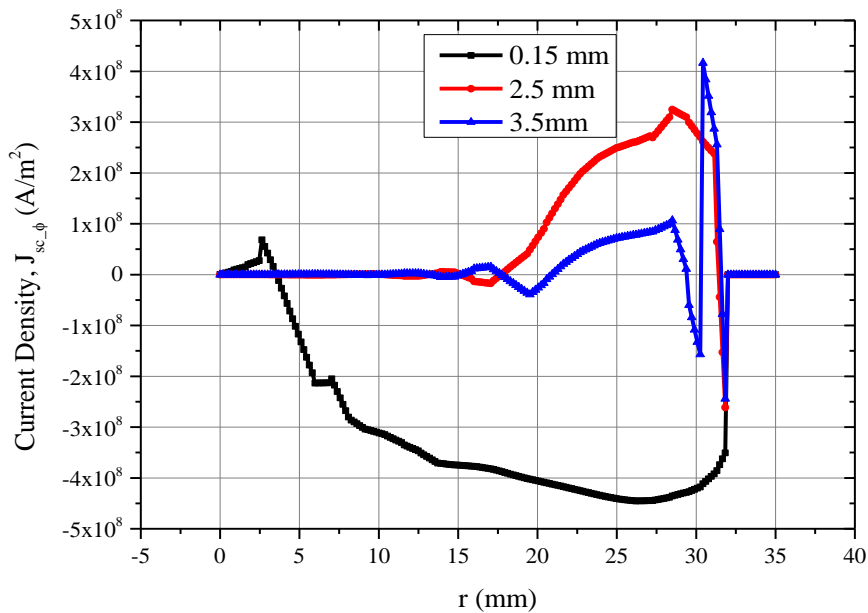


Figure 5. $J_{sc,\phi}$ current density distribution at different distances inside the sample surface as a function of lateral distance, with single-PM.

The screenshot and J_{sc_ϕ} current density distribution of one half (width was taken as 7 mm in vertical direction) of the HTS sample with dimensions of 64 mm x 14 mm and screenshot of the HTS and double-PM are shown in Figure 6. The gradually forming of supercurrents into the

sample is clear in this figure, depending on solution time. It is also seen from Figure 6b-c that the current density distribution shows antisymmetric behavior in the above and below parts of the HTS and it is nearly zero at the center.

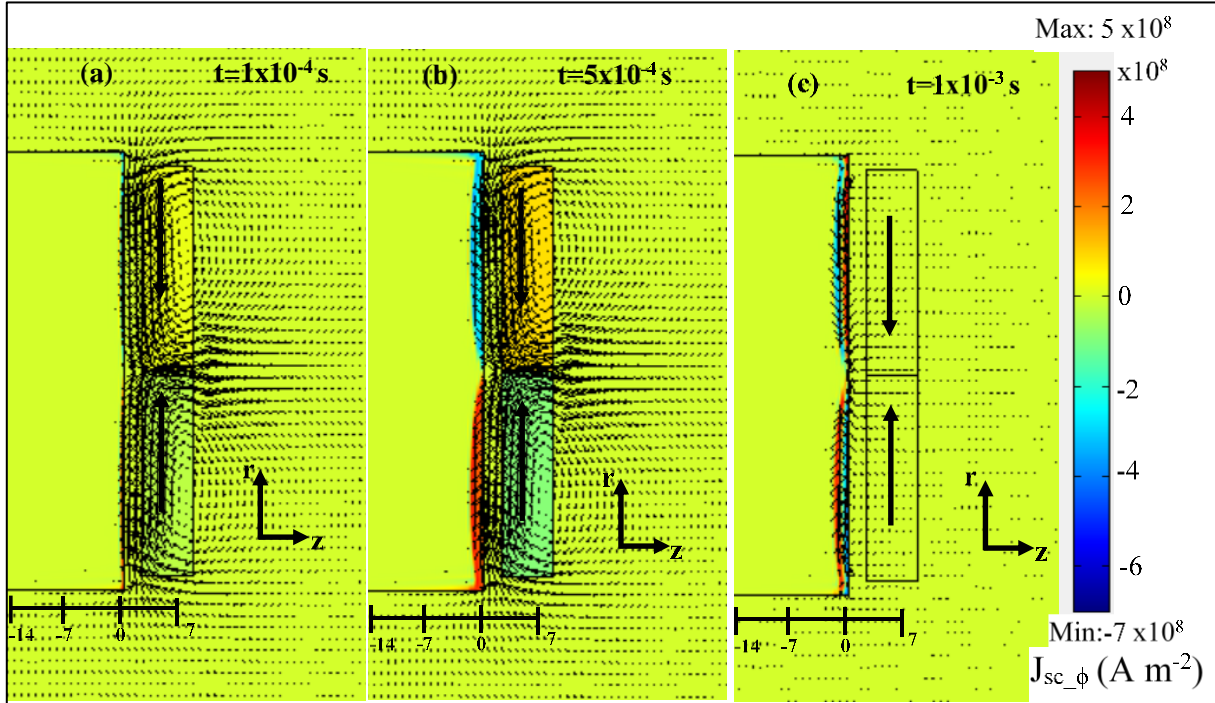


Figure 6. Screenshot of the HTS and double-PM and J_{sc_ϕ} current density distribution of the HTS sample with 64 mm x 14 mm (3D size of the sample is 64x34x14 mm³) at different times of (a) $t=1 \times 10^{-4}$ s, (b) $t=5 \times 10^{-4}$ s and (c) $t=1 \times 10^{-3}$ s.

The z-component of the trapped magnetic flux distribution B_z on the superconductor at different distances from the sample surface is shown in Figure 7 with double-PM. As can be seen from this figure that the trapped flux decreases with increasing distance from the sample surface. Additionally, one can see that the trapped flux reaches maximum value at the lateral distance of 0 mm, mainly the center of the HTS, except at the distance of 1 mm from the surface. At this distance, the trapped flux curve shows a valley behavior due to the magnetic potential wall (Moon, 1994).

Figure 8 shows the J_{sc_ϕ} current density for different distances inside the HTS surface with double-PM as a function of lateral distance. As can be seen from the figure, the current density curves are symmetrical with respect to both the horizontal and vertical axes. This is a result of the identical magnetic field properties of the permanent magnets and homogenous bulk structure of the HTS. The maximum current

density at the minimum distance inside the surface of 0.15 mm was observed as 4.2×10^8 Am⁻². This current density value is compatible with the values in literature (Ozturk et al., 2012; Zhai et al., 2013).

The maximum value of current density inside the HTS sample was obtained at the lateral range of 20-30 mm with single-PM, while it was obtained at the lateral range of 0-30 mm for double-PM. In addition, the current density of double-PM shows a homogenous and stable distribution depending on lateral distance and depth from the surface while that of single-PM has a current density with different signs and changing values at lateral range of 0-30 mm. This situation indicates that the double-PM arrangements can have an advantage to the single-PM in levitation force performances of Maglev systems because of levitation force depends on the homogeneity current density distribution and radius of shielding current in the bulk sample.

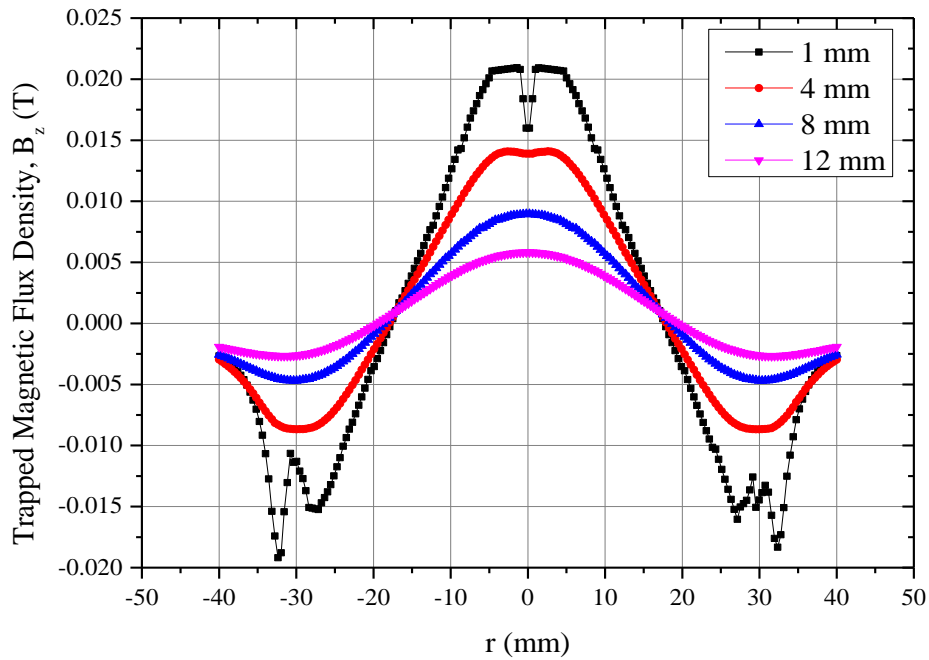


Figure 7. z-component of the trapped magnetic flux distribution B_z , with double-PM, on the superconductor at different distances from the sample surface.

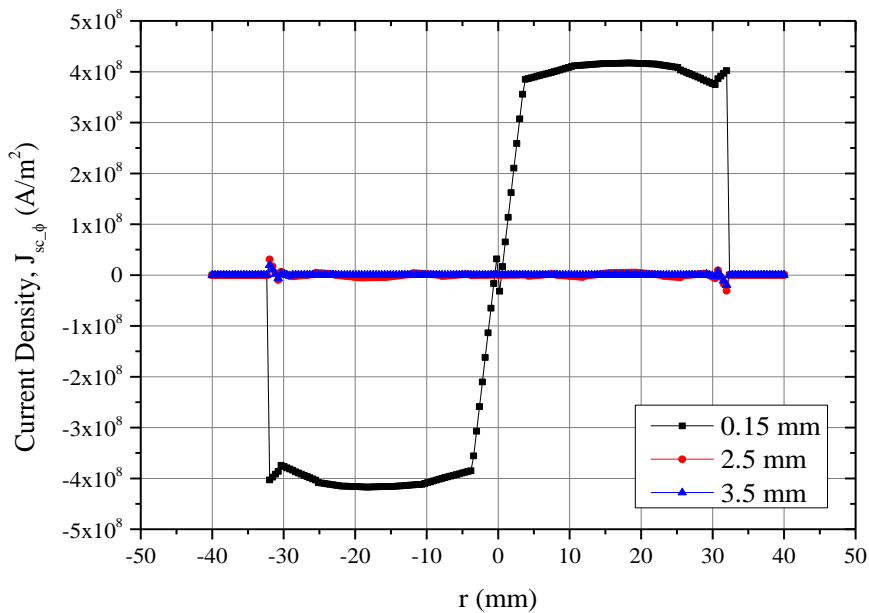


Figure 8. $J_{sc,\phi}$ current density inside the sample at different distances inside the sample surface with double-PM as a function of radius.

4. Conclusions

In this study, we have obtained magnetic flux density distributions of two different PMGs of single-PM and double-PM numerically by using magneto-static solution in AC/DC Module in COMSOL Multiphysics package. Then we have determined the trapped magnetic flux and induced current inside the HTS under the non-uniform magnetic field via the Partial Differential Equation (PDE) Mode in COMSOL by using H-formulation. The maximum current density was

obtained as $-4.5 \times 10^8 \text{ Am}^{-2}$ and $4.2 \times 10^8 \text{ Am}^{-2}$ at the distance of 0.15 mm inside the HTS surface by using single-PM and double-PM, respectively. The maximum value of current density inside the HTS sample was obtained at the lateral range of 20-30 mm with single-PM, while it was obtained at the lateral range of 0-30 mm for double-PM. In addition, the current density distribution of double-PM arrangement showed a very homogenous behavior while it had different signs and changing values at lateral range of 0-30 mm. It can be concluded from this study that different

PMG configurations have various magnetic field characteristic and this situation can improve the magnetic and supercurrent properties of the HTS in Maglev system.

Acknowledgement

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) with project numbers of 112T090 and 118F426. The author also would like to thank to Prof. Kemal OZTURK for his kind scientific contribution to this work.

References

- Abdioglu, M., Ozturk, K., Gedikli, H., Ekici, M. and Cansiz, A. 2015. Levitation and Guidance Force Efficiencies of Bulk YBCO for Different Permanent Magnetic Guideways. *Journal of Alloys and Compounds*, 630, 260–265.
- Ainslie, M. D. and Fujishiro, H. 2015. Modelling of Bulk Superconductor Magnetization. *Superconductor Science and Technology*, 28, 053002 (20pp).
- Basaran, S. and Sivrioglu, S. 2017. Radial Stiffness Improvement of a Flywheel System Using Multi-Surface Superconducting Levitation. *Superconductor Science and Technology*, 30, 035008 (12pp).
- Deng, Z., Zhang, W., Zheng, J., Wang, B., Ren, Y., Zheng, X. and Zhang, J., 2017. A High-Temperature Superconducting Maglev-Evacuated Tube Transport (HTS Maglev-ETT) Test System. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 27 (6) 3602008 (8pp).
- Dias, D. H. N., Motta, E. S., Sotelo, G.G. and de Andrade Jr., R. 2010. Experimental Validation of Field Cooling Simulations for Linear Superconducting Magnetic Bearings. *Superconductor Science and Technology*, 23, 075013 (6pp).
- Güner, S. B., Savaşkan, B., Öztürk, K., Çelik, Ş., Aksoy, C., Karaboğa, F., Taylan Koparan, E. and Yanmaz, E. 2019. Investigation on Superconducting and Magnetic Levitation Force Behaviour of Excess Mg Doped-Bulk MgB₂ Superconductors. *Cryogenics* 101, 131–136.
- Hong, Z., Campbell, A. M. and Coombs, T. A. 2006. Numerical Solution of Critical State in Superconductivity by Finite Element Software. *Superconductor Science and Technology*, 19, 1246–1252.
- Hull, J. R. and Strasik, M. 2010. Concepts for Using Trapped-Flux Bulk High-Temperature Superconductor in Motors and Generators. *Superconductor Science and Technology*, 23, 124005 (7pp).
- Kovalev, K. L., Verzhbitsky, L. G., Kozub, S. S., Penkin, V. T., Larionov, A. E., Modestov, K. A., Ivanov, N. S., Tulinova, E. E. and Dubensky, A.A. 2016. Brushless Superconducting Synchronous Generator with Claw-Shaped Poles and Permanent Magnets. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 26 (3), 5203204 (4pp).
- Kusada, S., Igarashi, M., Nemoto, K., Okutomi, T., Hirano, S., Kuwano, K., Tominaga, T., Terai, M., Kuriyama, T., Tasaki, K., Tosaka, T., Marukawa, K., Hanai, S., Yamashita, T., Yanase, Y., Nakao, H. and Yamaji, M., 2007. The Project Overview of the HTS Magnet for Superconducting Maglev. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 17 (2), 2111-2116.
- Masson, P. J. and Luongo, C. A. 2005. High Power Density Superconducting Motor for All-Electric Aircraft Propulsion. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 15 (2), 2226-2229.
- Minervini, J., Parizh, M. and Schippers, M. 2018. Recent Advances in Superconducting Magnets for MRI and Hadron Radiotherapy: An Introduction to ‘FOCUS on Superconducting Magnets for Hadron Therapy and MRI’ *Superconductor Science and Technology*. 31, 030301 (4pp).
- Moon, F. C. 1994. *Superconducting Levitation*, New York: Wiley.
- Navau, C., Del-Valle, N. and Sanchez, A. 2013. Macroscopic Modeling of Magnetization and Levitation of Hard Type-II Superconductors: The Critical-State Model. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 23 (1), 8201023 (23 pp).
- Ozturk, K., Guner, S. B., Abdioglu, M., Demirci, M., Celik, S. and Cansiz, A. 2019. An Analysis on the Relation Between the Seed Distance and Vertical Levitation Force for the Multi-Seeded YBCO Using the Modified Advanced Frozen Image (MAFI) and Experimental Methods. *Journal of Alloys and Compounds*, 805, 1208–1216.
- Ozturk, K., Patel, A. and Glowacki, B. A. 2012. A Numerical Study to Investigate Magnetization, Current Density and Trapped Field Properties of Doped-Sm123 Bulk Superconductor Under Different Magnetic Fields. *Physica Status Solidi A*, 209 (12), 2558–2564.
- Patel, A., Hopkins, S. C., Baskys, A., Kalitka, V., Molodyk, A. and Glowacki, B. A. 2015. Magnetic Levitation Using High Temperature

- Superconducting Pancake Coils as Composite Bulk Cylinders. *Superconductor Science and Technology*, 28, 115007 (10pp).
- Quéval, L., Liu, K., Yang, W., Zermeño, V. M. R. and Ma, G. 2018. Superconducting magnetic Bearings Simulation Using an H-formulation Finite Element Model. *Superconductor Science and Technology*, 31, 084001 (14pp).
- Ruiz-Alonso, D., Coombs, T. A. and Campbell, A. M. 2004. Numerical Analysis of High-Temperature Superconductors With the Critical-State Model. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 14 (4), 2053-2063.
- Sass, F., Sotelo, G. G., de Andrade Jr., R. and Sirois, F. 2015. H-formulation for simulating levitation forces acting on HTS Bulks and Stacks of 2G Coated Conductors. *Superconductor Science and Technology*, 28, 125012 (12pp).
- Sotelo, G. G., de Andrade Jr., R. and Ferreira, A. C. 2009. Test and Simulation of Superconducting Magnetic Bearings. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 19 (3), 2083-2086.
- Sotelo, G. G., R. de Oliveira, A. H., Costa, F. S., Dias, D. H. N., de Andrade, Jr, R. and Stephan, R. M. 2015. A Full Scale Superconducting Magnetic Levitation (MagLev) Vehicle Operational Line. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 25 (3) 3601005 (5pp).
- Wang, J., Wang, S., Zeng, Y., Huang, H., Luo, F., Xu, Z., Tang, Q., Lin, G., Zhang, C., Ren, Z., Zhao, G., Zhu, D., Wang, S., Jiang, H., Zhu, M., Deng, C., Hu, P., Li, C., Liu, F., Lian, J., Wang, X., Wang, L., Shen, X. and Dong, X. 2002. The First Man-Loading High Temperature Superconducting Maglev Test Vehicle in the World. *Physica C* 378–381, 809–814.
- Werfel, F. N., Floegel-Delor, U., Rothfeld, R., Riedel, T., Goebel, B., Wippich, D. and Schirrmeister, P. 2012. Superconductor Bearings, Flywheels and Transportation. *Superconductor Science and Technology*, 25, 014007 (16pp).
- Yamamoto, S., Konii, K., Tanabe, H., Yokoyama, S., Matsuda, T. and Yamada, T. 2014. Super-Stable Superconducting MRI Magnet Operating for 25 Years. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 24 (3), 4400604 (4pp).
- Yamasaki, H. and Mawatari, Y. 2000. Current–voltage characteristics and flux creep in melt-textured YBa₂Cu₃O_{7-x}. *Superconductor Science and Technology*, 13, 202–208.
- Zhai, W. Shi, Y. H., Durrell, J. H., Dennis, A. R., Rutter, N. A., Troughton, S. C., Speller, S. C. and Cardwell, D. A. 2013. The Processing and Properties of Single Grain Y–Ba–Cu–O Fabricated From Graded Precursor Powders. *Superconductor Science and Technology*, 26, 125021 (11pp).
- Zhang, M. and Coombs, T. A. 2012. 3D Modeling of High-Tc Superconductors by Finite Element Software. *Superconductor Science and Technology*, 25, 015009 (7pp).
- Zheng, X. and Yang, Y. 2007. Transition Cooling Height of High-Temperature Superconductor Levitation System. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 17 (4), 3862-3866.
- Zou, J., Ainslie, M. D., Hu, D., Zhai, W., Devendra Kumar, N., Durrell, J. H., Shi, Y. H. and Cardwell, D. A. 2015. Numerical Simulation and Analysis of Single Grain YBCO Processed From Graded Precursor Powders. *Superconductor Science and Technology*, 28, 035016 (9pp).

Kritik Hal Çerçevesinde YBCO (358) Süperiletkeninin ZFC İşlemi ile Manyetizasyon-Sıcaklık Değişiminin Modellenmesi

Modelling of the Magnetization-Temperature Change of YBCO (358) Superconductor in Critical State Framework

Meltem AKTAŞ^{1, a}, İshak CUMHUR^{2, b}, İbrahim DÜZGÜN^{*3, c}

¹Milli Eğitim Bakanlığı, Pazar Kız Kulesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, 53300, Rize

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Matematik Bölümü, 53020, Rize

³Gümüşhane Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 05.06.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 14.07.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 17.07.2020

Öz

Bu çalışmada, YBCO (358) süperiletkeninin manyetik-moment sıcaklık ölçümleri ve teorik analizleri araştırıldı. Manyetik Moment-Sıcaklık (M-T) eğrilerinin teorik analizi sinterleme sırasında verilen oksijen oranına bağlılığı olarak yapıldı. Elde edilen deneysel sonuçlarda, oksijen oranının değişiminin Moment-Sıcaklık eğrileri deseninde değişikliğe sebep olduğu görüldü. Deneysel sonuçlar, kritik hal modeli çerçevesinde nitel olarak tartışıldı. Oksijen oranının miktarının artmasıyla (%0, 50, 100), kritik akım yoğunluğunun (J_c) büyüklüğünün sırasıyla 50, 100 ve 0 olarak değiştiği bulundu. Her numune için teorik ve deneysel en iyi uyum eğrilerinden kritik akım yoğunluğunun alan ve sıcaklık bağlılığı belirlendi. M-T verilerine göre en iyi uyum eğrileri elde edildi ve kullanılan parametrik değerler her bir numune için karşılaştırıldı. Sonucun literatürle uyumlu olduğu görüldü.

Anahtar kelimeler: Kritik Akım Yoğunluğu, Manyetik Moment-Sıcaklık Eğrisi, YBCO (358) Süperiletkenlik

Abstract

In this study, YBCO (358) superconductor have been investigated by means of magnetic moment-temperature measurements and theoretical analysis. Magnetic moment-temperature curves were evaluated for dependence of oxygen ratio during sintering. From the examinations of the experimental results of the samples, change of oxygen ratio was seen to change the pattern of moment-temperature curves. Experimental results are qualitatively discussed in the framework of the critical state model. The variation of the critical current density values from 50 to 100 and zero, caused the change in oxygen ratio from zero percent to 50% and 100 %, respectively. The field and temperature dependence of the critical current density for each sample were determined from the theoretical and experimental best fit curves. Best fit curves were obtained for M-T data and the used parametric values were compared for each sample. It was seen that the results were consistent with the literature.

Keywords: Critical Current Density, Magnetic Moment-Temperature Curve, YBCO (358) Superconductor

*a İbrahim DÜZGÜN; ibrahimduzgun@gumushane.edu.tr, Tel: (0506) 613 45 23, orcid.org/0000-0002-7319-2619

^b orcid.org/0000-0002-2916-0919

^c orcid.org/0000-0001-8550-3835

1. Giriş

Charles Palmer Bean tarafından ortaya konulan kritik hal modeli, yüksek sıcaklık süperiletkenlerin manyetik alanla ilişkisinin analizinde kullanılmaktadır (Bean, 1962). Ortaya koyulan model basit bir mantığa sahiptir. Kritik akım yoğunluğunun (J_c), Manyetik akı yoğunluğuna (B) bağımlı olmadığı varsayılır. Buna rağmen, Young Bae Kim ve arkadaşları mevcut modeli kritik akım yoğunluğunun manyetik akı yoğunluğuna bağlı olarak yeniden düzenledi (Kim vd., 1963). Ayrıca bazı araştırmacılar bir üs yasası modeli önerdiler (Irie vd., 1967; Green vd., 1967). Üs yasasına göre kritik akım yoğunluğu manyetik akı yoğunluğuna pozitif bir sabit olan “n” gibi bir kuvvet ile bağlıdır. Bu modeller alt kritik alan H_{c1} 'in altındaki akı dışarlama etkisini göz ardı ettiler. 1964 yılına gelindiğinde kritik hal modelini denge manyetizasyonu ile iyileştiren bir üstel model rapor edildi (Fietz vd., 1964). John Richard Clem, malzemenin içine akı girişi (ΔH_{en}) / çıkışı (ΔH_{ex}) için fazladan alan artışı gerektiren yüzeyde potansiyel bariyeri içeren bir kritik hal modeli ileri sürdü (Clem, 1979). Şimdiye kadar öne sürülen farklı kritik hal modellerinin bir özeti için verilen referanslara bakılabilir (İnanır, 2006; Aktaş, 2019).

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde kritik akım yoğunluğunun sıfır olduğu ve manyetik davranışın diyamanyetik olduğu bir bölgenin varlığı bilinmektedir. Bu bölge manyetik alan-sıcaklık

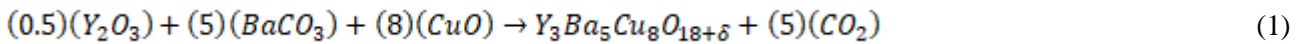
(H-T) faz diyagramında tersinmezlik çizgisi (irreversibility line) sayesinde belirlenir ve bu çizgi tersinir ve tersinmez bölgeyi ayırıcı olarak tanımlanır. Tersinmezlik çizgisinin üzerindeki bölgede süperiletken malzemenin manyetizasyonu tamamen tersinir altındaki bölgede ise manyetizasyonun davranışı histeriktir. Fiziki açıdan anlamı ise çivilenme kuvvetinin akı çizgilerinin üzerinden kaldırdığı alana karşılık gelmesidir (Seeber, 1998). İlk olarak tersinmezlik çizgisi üzerine araştırma raporunu Müller ve arkadaşları tarafından yayınlandığı görülmektedir (Müller vd., 1987). Tersinmezlik çizgisinin bulunmasına dair ayrıntılı metotlar için Düzgün ve arkadaşlarının çalışması güzel bir kaynak oluşturmaktadır (Düzgün vd., 2010).

Bu çalışmada, katıhal tepkime yöntemi ile üretilen YBCO (358) süperiletkeninin Manyetik Moment - Sıcaklık ölçümleri ve teorik analizleri araştırıldı.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Süperiletken Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan numunelerin hazırlanması yapısal özellikleri ve manyetik ölçümleri (Başoğlu vd., 2016) 'da ayrıca yapının örgü parametreleri (Düzgün, 2018)'de ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Seçilen başlangıç kompozisyonunun hazırlanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.



Numuneler 840°C'de 24 saat kalsine edildi. Kalsinasyon işleminden sonra numuneler 5 saat içerisinde oda sıcaklığına soğutuldu. Numuneler daha sonra 930°C'de 24 saat boyunca uygun oksijen ve argon gazı ortamında sinterlendi. Sinterleme sonrasında elde edilen toz karışımı 12 mm çapında ve 1 mm kalınlığında olmak üzere ~220 bar basınç altında pellet haline getirildi. Numuneler, 950°C'ye oksijen ortamında 24 saat tavlandı. Bu sürenin bitiminde tabletler 500°C'ye kadar soğumaya bırakıldı. Numuneler N0, N50 ve N100 olarak isimlendirildi. Burada 0, 50 ve 100 oksijen oranını belirtmektedir.

2.2. Süperiletken Numunelerin Manyetik Özelliklerinin Ölçümü

Manyetik ölçümler, Quantum Design PPMS sistemi kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin

uzunluğu manyetik alana paralel olacak şekilde monte edilmiştir. Numunenin boyutları 2.5×2.5×1.5 mm³ olarak ölçüldü. Ölçüm sistemi, uygulanan manyetik alana göre moment değişimini verecek şekilde kapalı devre soğutma sistemi 4 – 330 K arasında sıcaklık kontrolü sağlayabilen kompakt bir sistemdir. Ayrıca manyetik alınganlığın gerçek ve imajiner kısımlarını; sıcaklığın, uygulanan AC alan genliğinin ve frekansının fonksiyonu olarak ölçülecek şekilde dizayn edilmiştir. Tüm süperiletken malzemeler için Manyetik moment-Sıcaklık verileri 20-120 K arasında $H = 250$ Oe sabit alan ve manyetik alan numunenin c eksenine paralel olacak şekilde ölçülerek elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bean ve basit Kim modellerinde Meissner katkısı göz ardı edilmektedir. Yani $H_{c1} = 0$ kabulü yapılır. Ayrıca, Bean modeline göre J_c kritik akım yoğunluğu manyetik alandan bağımsız kabul edilmektedir. Kim modelinde kritik akım yoğunluğu manyetik alan ile H^{-1} orantısına sahiptir. Daha reel bir model için hem Meissner akımını hem de J_c 'nin alan bağımlılığını içermesi gerekir. Teorik hesaplamalar Mathematica programından yararlanılarak yapılmıştır. Hem silindirik hem de dilim (slab) geometrisi için manyetizasyon ölçümlerinin teorik hesaplamaları (Öztürk, 2005) doktora tezinde ayrıntılı olarak yapılmıştır. Bu çalışmada benzer denklemler yardımıyla, sıfır alanda soğutma (ZFC) işlemine göre Miknatıslık-Sıcaklık verilerine en iyi uyumu verecek biçimde, denklemler türetilmiş ve üretilen malzeme için bazı süperiletkenlik parametreleri teorik olarak hesaplanmıştır. Dilim geometrisi için denklemler aşağıda verilmiştir. Kritik akım yoğunluğunun manyetik alan ve çivileme bağımlılığı için

$$J_c(H, T) = \frac{J_{c0}(T)}{\left[\frac{H_a + H_0 - I_M}{H_{ref}} \right]} \quad (2)$$

denklemleriyle belirlenen fonksiyon biçimindedir. Eşitlikte yer alan H_a uygulanan manyetik alanı, H_0 bir sabit, I_M ise alan bağımlı Meissner akımını ifade etmektedir. H_{ref} ise $J_{c0}(T)$ teriminin akım yoğunluğu biriminde olduğunu garantilemek için verilmektedir. Meissner akımı iki pozisyonda olabilir. İlk olarak $H_a \leq H_{c1}$ durumunda $I_M = H_a$ olacaktır. Diğer durum için ise ($H_a \geq H_{c1}$);

$$I_M = \frac{H_{c1}}{\left[\frac{H_a}{H_{c1}} \right]^p} = \frac{H_{c1}^{p+1}}{H_a^p} \quad (3)$$

şeklinde p üsteli ile belirlenebileceği gösterilmiştir. Sonsuz uzunlukta ve genişlikte $2X$ kalınlığa sahip dilim geometrisine sahip süperiletken malzeme için,

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_c \quad (4)$$

Maxwell denklemi (Ampère Yasası) kullanılarak,

$$J_c = \frac{dH}{dx} \quad (5)$$

elde edilir. Bu kısımda akı yoğunluğu konfigürasyonuna ait $H(x)$ denkleminin bulunabilmesi için profile ait olan eğrinin

sınırlarından faydalanılır. Kolaylık açısından 0 noktasına göre simetrik olan malzemenin 0-X kısmı üzerinde durulur. Dilim geometrisi için,

$$H(x) = [(H_a + H_0 - I_M)^{n+1} - \alpha(1+n)(X-x)]^{\frac{1}{n+1}} - H_0 \quad (6)$$

eşitliği elde edilir. Dilim geometrisine sahip malzemeler için manyetizasyon hesaplamalarında

$$\langle M \rangle = \frac{1}{X} \int H(x) dx - H_a \quad (7)$$

integrali çözülmelidir. (6) eşitliğindeki $H(x)$ ifadesi, integralin sınırları malzemeye uygulanan manyetik alanın arttırılması ve azaltılmasıyla akı yoğunluğu konfigürasyonunun alacağı duruma göre belirlenmelidir.

Bu çalışmada ele alınan M-T (Manyetik Moment-Sıcaklık) grafiklerini fiziksel olarak fit edecek denklemler, Maxwell denklemlerinden türetilen yukarıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilmiştir.

$$\gamma = \gamma p * f * T_{irr}^2 \quad (8)$$

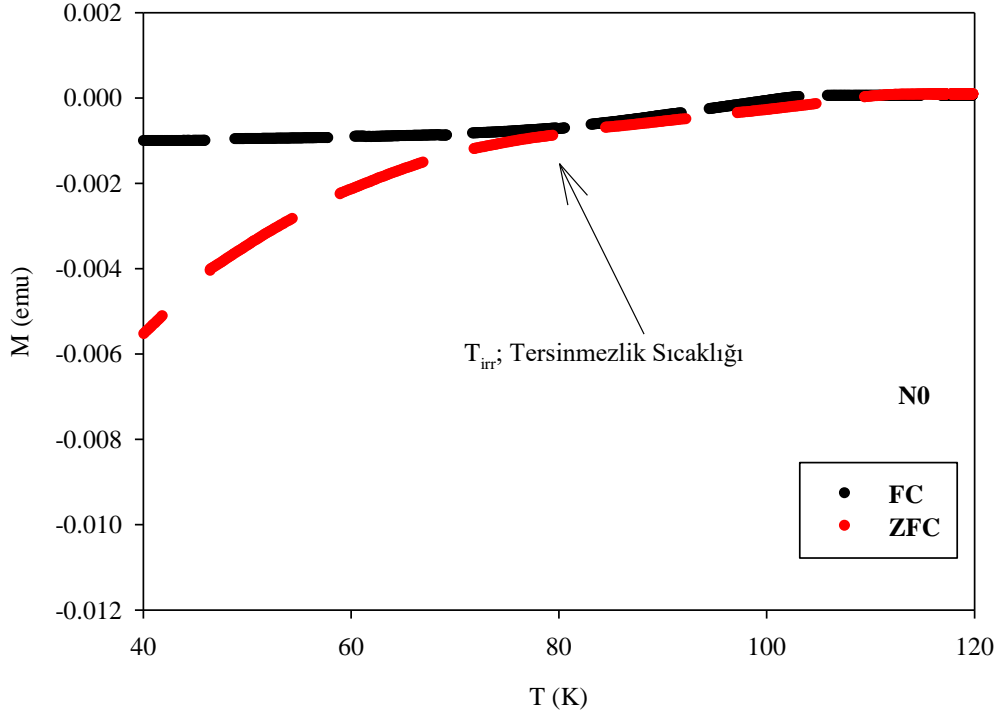
$$H_a = \frac{1}{\gamma} (1 - t_{c1}^2) \quad (9)$$

$$J_c(T) = \left(1 - \frac{t^2}{T_{irr}^2} \right)^k \quad (10)$$

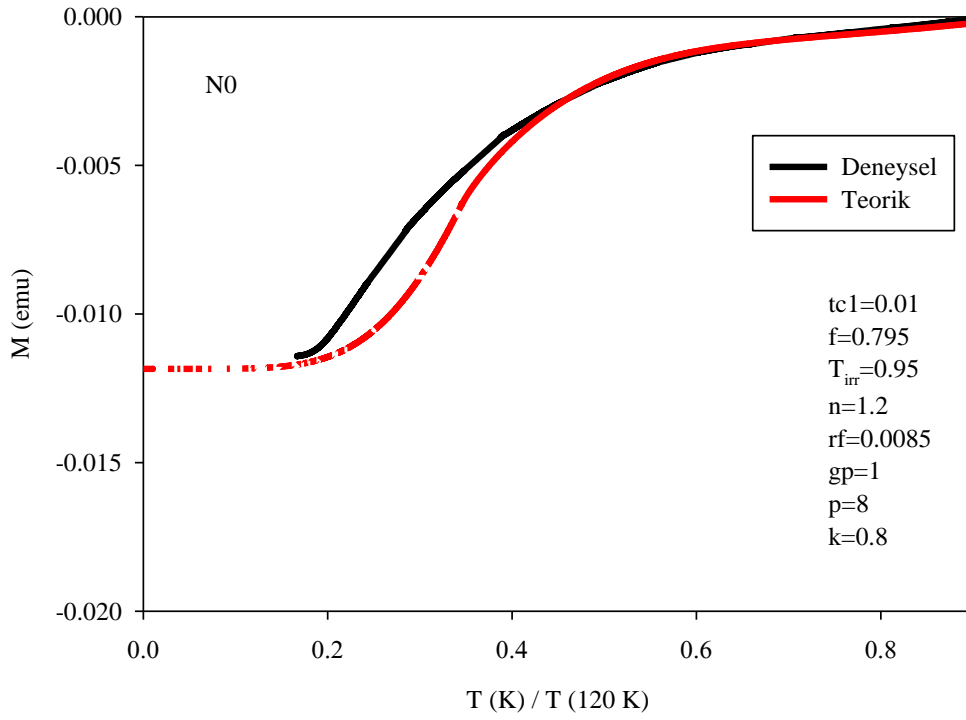
$$I_M = \frac{1}{\gamma} \frac{(1-t^2)^{p+1}}{(1-t_{c1}^2)^p} \quad (11)$$

$$H(x) = \left[\left(\frac{1}{\gamma} (1 - t_{c1}^2) - I_M \right)^{n+1} - J_c(T)(1-x) \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (12)$$

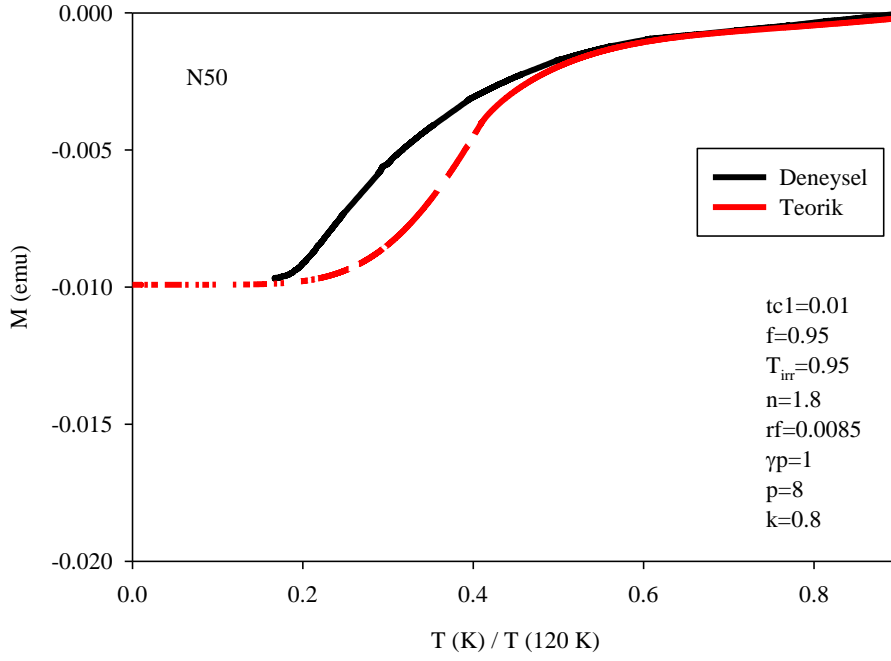
Bu eşitliklerde γ , f , γp , T_{irr} , k , p ve n sabittir. T_{irr} parametresi, alan altında soğutma (FC) ve ZFC süreçlerinin ayrıldığı noktadaki sıcaklık değeridir. Diğer adıyla tersinmezlik sıcaklığıdır. x numuneye ait kalınlığı vermekte olup manyetik alanın girme derinliğiyle yakından ilişkili bir parametredir. Program çalıştırılırken sıcaklık eksenini en yüksek sıcaklık değerine bölünerek normalize edilmiştir. Yukarıda bahsi geçen parametreler bu normalize olmuş değerlere göre seçilmiştir.



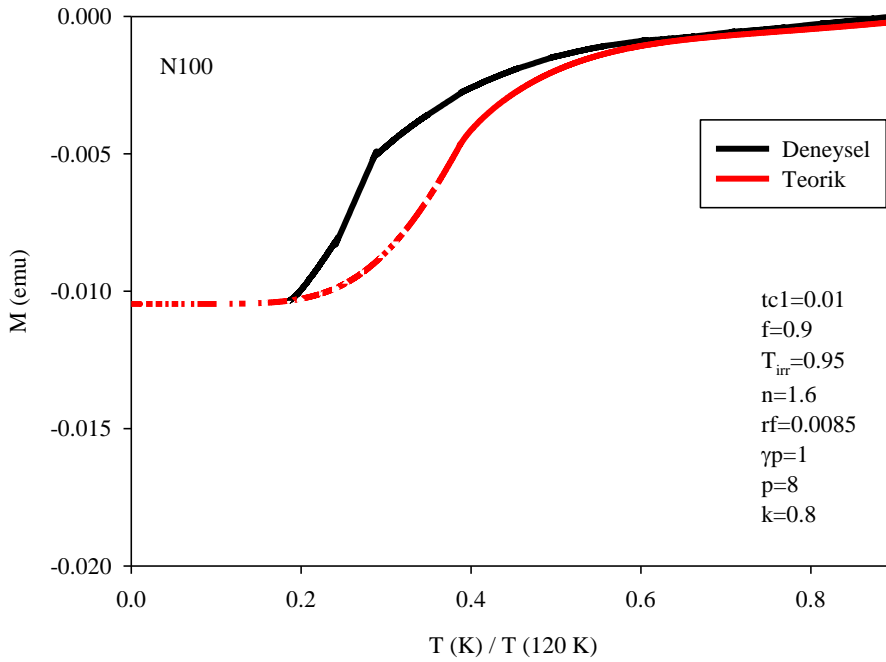
Şekil 1. N0 süperiletken numunesine ait FC ve ZFC deneysel eğrilerinin grafiği ve Tersinmezlik sıcaklığının (T_{irr}) gösterimi



Şekil 2. N0 süperiletken numunesine ait deneysel ZFC eğrisi ve teorik fit eğrisi.



Şekil 3. N50 süperiletken numunesine ait deneysel ZFC eğrisi ve teorik fit eğrisi.



Şekil 4. N100 süperiletken numunesine ait deneysel ZFC eğrisi ve teorik fit eğrisi.

Şekil 2,3 ve 4’de gösterildiği üzere T_{irr} parametresi üç süperiletken malzeme için belirlenmiştir. Daha sonra fiziksel değeri olan verilerin mathematica programı yardımıyla teorik

olarak deneysel verilere en iyi uyum sağlayacak şekilde yeniden türetilmesi sağlandı. Tablo 1’de kullanılan parametreler ve değerler her bir numune için gösterildi.

Tablo 1. Üç numune için teorik olarak elde edilen parametrik değerler

	n	f	tc1	T_{irr}	rf	γp	p	k
N0	1.2	0.795	0.01	0.95	0,0085	1	8	0.8
N50	1.8	0.950	0.01	0.95	0.0085	1	8	0.8
N100	1.6	0.900	0.01	0.95	0.0085	1	8	0.8

Burada n parametresi kritik akım yoğunluğunun manyetik alana bağlılığını gösteren parametredir. f parametresi numuneler için elde edilen T_{irr} değerinden sonra grafiğin geri kalan kısmını fit edebilmek için gerekli olan katsayıdır. Geri kalan parametreler her üç numune için de aynı değere sahip olup değişimin sadece n parametresine ait olduğu görülmektedir. 2016 yılında Başoğlu ve diğerleri tarafından (Başoğlu, 2016) yayınlanan çalışmada, Y358 numunesine ait kritik akım yoğunluğunun karşılaştırılması yapılmış büyükten küçüğe doğru sırasıyla N50, N100 ve N0 numunelerine ait olduğunu hem deneysel hem de M-H ölçümlerinden göstermişlerdir.

Burada elde edilen sonuçta literatürü doğrulamakta olup en iyi uyum eğrilerinin elde edildiğini göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, üç farklı YBCO (358) yüksek sıcaklık süperiletkenin manyetik moment- sıcaklık özellikleri kritik hal modeli hesapları ile araştırıldı.

Sabit alanda (250 Oe) ölçülen moment- sıcaklık verilerinden, sinterleme ortamında verilen oksijen oranına göre kritik akım yoğunluğunun literatür ile uyumlu şekilde olduğu gözlemlendi.

Modellemede kullanılan kritik hal modeli (Bean ve basit Kim modeli) yardımıyla türetilen denklemler M-T verilerinden elde edilen ZFC eğrisine oldukça iyi derecede uyum sağladığı görüldü.

Modellemede kullanılan ve açıklamaları makalede anlatılan n , T_{irr} , p gibi bazı süperiletkenlik parametreleri elde edildi.

Kaynaklar

Aktaş, M., 2019. YBCO (358) Süperiletkenlerinin Miknatıslanma-Sıcaklık Değişiminin Kritik Hal çerçevesinde Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, 42s.

Başoğlu, M., Düzgün, İ., 2016. Improvement of Current Density of Different Atmosphere-Sintered Y358 Superconductors. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 29, 1737- 1740.

Bean, C.P., 1962. Magnetization of Hard Superconductors. Physical Review Letters, 8, 250 - 253.

Bean, C.P., 1964. Magnetization of High-Field Superconductors. Review of Modern Physics, 36, 31-38.

Clem J. R., 1979. Theory of AC Losses in Type-II Superconductors with A Field-Dependent Surface Barrier. Journal of Applied Physics., 50, 3518.

Düzgün, İ., Öztürk, A., Çelebi, S., 2010. Irreversibility Line and Flux Relaxation in Bi:2223/Ag Tape Prepared by CTFF Technique: H//c Axis. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 23, 1349-1354.

Düzgün, İ., 2018. The Investigation of the Lattice Strains and Crystallite Sizes of Y358 and Y123 High-Temperature Superconductors. Turkish Journal of Physics, 42, 378-385.

Fietz, W. A., Silcox, J., Beasley, M. R., Webb, W.W., 1964. Magnetization of Superconducting Nb-25%Zr Wire. Physical Review A, 136, 335-345.

Green, I. M., Hlawiczka, P., 1967. Pinning Forces and Hysteresis in Type 2 Superconductors, Proceedings of The Institution of Electrical Engineers, 114, 1329.

Irie, F., Yamafuji, K., 1967. Theory of Flux Motion in Non-Ideal Type-II Superconductors. Journal of the Physical Society of Japan, 23, 255-268.

İnanır, F., 2006. Farklı Alan Etkileri İçin II. Tip Süperiletkenlerin Manyetikzorlamının Modellenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 141s.

Kim, Y.B., Hempstead, C.F., Strnad, A.R., 1962. Critical Persistent Current in Hard Superconductors. Physical Review Letters, 9, 306-309.

Kim, Y.B., Hempstead, C.F., Strnad, A.R., 1963. Magnetization and Critical Supercurrents. Physical Review, 129, 528-534.

Müller, K.A., Tagashie M., Bednortz, J.G., 1987. Flux Trapping And Superconductive Glass State In La2CuO4-y:B. Physical Review Letters, 58, 1143.

Öztürk, A., 2005. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Elektriksel ve Manyetik Özelliklerinin Deneysel ve Modelleme ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 146s.

Seeber, B., 1998. Handbook of Applied Superconductivity 1. Cilt: Bristol, Institute of Physics Publishing, 1139s.

A Study on Approximate Analytic Solutions of the Combined KdV-mKdV Equation

Birleştirilmiş KdV-mKdV Denkleminin Yaklaşık Analitik Çözümleri Üzerine Bir Çalışma

Turgut AK^{*1,a}, Bilge İNAN^{2,b}

¹Department of Food Processing, Armutlu Vocational School, Yalova University, 77500 Yalova, Turkey

²Department of Mathematics and Science Education, Muallim Rifat Faculty of Education, Kilis 7 Aralık University, 79000 Kilis, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 22.01.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 11.07.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 21.07.2020

Abstract

In this paper, the investigation focuses on solitary wave solutions of the combined KdV-mKdV equation by using reduced differential transform method (RDTM). To prove validity of the proposed method, the approximate analytic solutions and exact solutions of the equation are compared via absolute errors. The obtained results are represented by graphics. The effects of the time and dispersion parameter (μ) on analytic solutions are investigated. As a result, it can be said that the applied method is quite precise and successful for similar type equations.

Keywords: Combined KdV-mKdV Equation, Gardner Equation, RDTM, Reduced Differential Transform Method, Solitary Wave

Öz

Bu çalışmada, araştırma indirgenmiş diferansiyel dönüşüm metodunu (İDDM) kullanarak birleştirilmiş KdV-mKdV denkleminin solitary dalga çözümleri üzerine odaklanmaktadır. Önerilen metodun geçerliliğini kanıtlamak için, mutlak hata vasıtasıyla yaklaşık analitik çözümler ve tam çözümler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiklerle temsil edilmiştir. Zaman ve dispersiyon parametresinin (μ) analitik çözümler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, uygulanan yöntemin benzer tipteki denklemler için oldukça hassas ve başarılı olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Birleştirilmiş KdV-mKdV Denklemi, Gardner Denklemi, İDDM, İndirgenmiş Diferansiyel Dönüşüm Metodu, Solitary Dalga

*a Turgut Ak; akturgut@yahoo.com, orcid.org/0000-0001-8368-8506

^b orcid.org/0000-0002-6339-5172

1. Introduction

In science, many significant events in varied fields are generally modelled by the nonlinear partial differential equations. One of these equations is the combined KdV-mKdV equation (Hirota, 1980; Hoover and Grant, 1983; Mohamad, 1992; Lou and Chen, 1994; Zhang et al., 2000). The equation defines various interesting physical phenomena, such as the weakly nonlinear long waves in various physical applications (Nakoulima et al., 2004). Many analytic and numerical methods have been proposed and implemented for solution of the equation (Zhang, 1998; Kaya and Inan, 2005; Wazwaz, 2007; Biswas and Zerrad, 2008; Lu and Shi, 2010; Triki et al., 2010; Ak et al., 2018; Ak, 2019).

On the other part, the reduced differential transform method for approximate analytic solution of partial differential equations was proposed in 2009 (Keskin and Oturanc, 2009). After then, RLW equation (Keskin, 2010), the generalized Korteweg-de Vries equation (Keskin and Oturanc, 2010a) and KdV equation (Keskin

and Oturanc, 2010b) were solved by using the method. To solve Fornberg-Whitham type equations, the RDTM was applied by Hesam et al. (2012). Abazari and Soltanalizadeh implemented the method to Kawahara and modified Kawahara equations (Abazari and Soltanalizadeh, 2013). Burgers equation, Burgers-Huxley equation, Huxley equation and Burgers-Fisher equation are solved via reduced differential transform method (Abazari and Abazari, 2013). Saravanan and Magesh solved the Newell-Whitehead-Segel equation by the method (Saravanan and Magesh, 2013). Al-Amr obtained solution of the generalized Drinfeld-Sokolov equation and the Kaup-Kupershmidt equation by using the method (Al-Amr, 2014).

In this paper, we aimed to define a new approximate method to the equation. This paper is organized as follows: In Section 2, firstly we reminded reduced differential transform method. In Section 3, the proposed method is implemented to the equation and efficiency of the method is investigated. Finally, we closed this work with Section 4 including conclusion remarks.

2. Mathematical Modelling

If the Korteweg-de Vries (KdV) equation

$$u_t + auu_x + u_{xxx} = 0, \quad (1)$$

and the modified KdV equation (mKdV)

$$u_t + bu^2u_x + u_{xxx} = 0, \quad (2)$$

are combined, the resulting equation

$$u_t + auu_x + bu^2u_x + \mu u_{xxx} = 0, \quad (3)$$

is called the combined KdV-mKdV equation. Also, it is known as the Gardner equation. Here, a , b and μ are nonzero, arbitrary and real parameters. $u(x, t)$ represents solitary wave profile, while x and t are independent variables. In addition, u_{xxx} is dispersion term, uu_x and u^2u_x are nonlinear terms.

3. Analysis of the Method

In this section, we introduce basic knowledges related to reduced differential transformation method.

3.1. Reduced differential transform method

Let us consider $w(x, t)$ function which can be written as $w(x, t) = f(x)g(t)$. From the one dimensional differential transform method (Keskin and Oturanc, 2009), $w(x, t)$ can be expressed as

$$\begin{aligned} w(x, t) &= \sum_{i=0}^{\infty} F(i)x^i \sum_{j=0}^{\infty} G(j)t^j \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} W(i, j)x^i t^j \end{aligned} \quad (4)$$

where $W(i, j) = F(i)G(j)$ is called the spectrum of $w(x, t)$.

If $w(x, t)$ is an analytic function, then the spectrum function is reduced to

$$W_k(x) = \frac{1}{k!} \left[\frac{\partial^k}{\partial t^k} w(x, t) \right]_{t=t_0}. \tag{5}$$

Besides, the inverse differential transform of $W_k(x)$ is described as

$$w(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} W_k(x) (t - t_0)^k. \tag{6}$$

From (5) and (6), we get

$$w(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left[\frac{\partial^k}{\partial t^k} w(x, t) \right]_{t=t_0} (t - t_0)^k. \tag{7}$$

Table 1. Basic operations in RDTM (Keskin and Oturanc, 2009).

Original Function	Transformed Function
$w(x, t) = u(x, t) \pm v(x, t)$	$W_k(x) = U_k(x) \pm V_k(x)$
$w(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} u(x, t)$	$W_k(x) = \frac{d}{dx} U_k(x)$
$w(x, t) = \frac{\partial}{\partial t} u(x, t)$	$W_k(x) = (k + 1)U_{k+1}(x)$
$w(x, t) = \frac{\partial^{r+s}}{\partial x^r \partial t^s} u(x, t)$	$W_k(x) = \frac{(k+s)!}{k!} \frac{d^r}{dx^r} U_{k+s}(x)$
$w(x, t) = u(x, t)v(x, t)$	$W_k(x) = \sum_{r=0}^k U_r(x)V_{k-r}(x)$
$w(x, t) = u(x, t)v(x, t)z(x, t)$	$W_k(x) = \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^{k-r} U_r(x)V_s(x)Z_{k-r-s}(x)$
$w(x, t) = x^m t^n$	$W_k(x) = x^m \delta(k - n) = \begin{cases} x^m & k = n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

4. Numerical Applications

In this section, we consider approximate solitary wave solution of the combined KdV-mKdV equation in order to show performance of the method (Keskin and Oturanc, 2009). The accuracy of the method is measured by using the absolute error norms.

The solitary wave solution of (3) is given by Hamdi et al. (2011)

$$u(x, t) = A \operatorname{sech} [B(x - ct)] \tag{8}$$

where A is amplitude (Hamdi et al., 2011), B is inverse width (Hamdi et al., 2011), c is velocity (Hamdi et al., 2011) and

$$A = \frac{6c}{a \left(1 + \sqrt{1 + \frac{6bc}{a^2}} \right)}, \quad B = \sqrt{\frac{c}{\mu}}. \tag{9}$$

We consider (3) subject to initial condition

$$u(x, 0) = A \operatorname{sech} (Bx). \tag{10}$$

If the reduced differential transform method is applied on the combined KdV-mKdV equation, the recursive equation is obtained as

$$(k + 1)U_{k+1}(x) + a \sum_{r=0}^k U_r(x) \frac{d}{dx} U_{k-r}(x) + b \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^{k-r} U_r(x) U_s(x) \frac{d}{dx} U_{k-r-s}(x) + \mu \frac{d^2}{dx^3} U_k(x) = 0 \quad , \quad k = 0, 1, 2 \dots \tag{11}$$

For $k = 0, 1$, the first two terms of $U_{k+1}(x)$ are calculated by utilizing the initial condition in recursive equation (11) as follows

$$U_0(x) = A \operatorname{sech}(Bx), \tag{12}$$

$$U_1(x) = \frac{1}{2} AB(2A^2b - 11B^2\mu + 2aA \cosh[Bx] + B^2\mu \cosh[2Bx]) \operatorname{sech}^3[Bx] \tanh[Bx], \tag{13}$$

$$U_2(x) = \frac{1}{2} AB^2 \operatorname{sech}[Bx] (B^4\mu^2 + \operatorname{sech}[Bx] (10aAB^2\mu + \operatorname{sech}[Bx] (3a^2A^2 + 2B^2\mu(15A^2b - 91B^2\mu) + \operatorname{sech}[Bx] (aA(8A^2b - 87B^2\mu) + \operatorname{sech}[Bx](-4a^2A^2 + 5(A^2b - 28B^2\mu)(A^2b - 6B^2\mu) - 10aA(A^2b - 9B^2\mu) \operatorname{sech}[Bx] - 6(A^2b - 20B^2\mu)(A^2b - 6B^2\mu) \operatorname{sech}^2[Bx]))))))). \tag{14}$$

Substituting (12), (13) and (14) into inverse differential transform, the approximate analytic solution of the combined KdV-mKdV equation in the Poisson series form are:

$$U_2(x, t) = U_0(x) + U_1(x)t + U_2(x)t^2, \tag{15}$$

$$U_2(x, t) = \frac{1}{2} A \operatorname{sech}[Bx] (2 + B^2t^2(B^4\mu^2 \operatorname{sech}[Bx] (10aAB^2\mu + \operatorname{sech}[Bx] (3a^2A^2 + 2B^2\mu(15A^2b - 91B^2\mu) + \operatorname{sech}[Bx] (aA(8A^2b - 87B^2\mu) + \operatorname{sech}[Bx] (-4a^2A^2 + 5(A^2b - 28B^2\mu)(A^2b - 6B^2\mu) - 10aA(A^2b - 9B^2\mu) \operatorname{sech}[Bx] - 6(A^2b - 20B^2\mu)(A^2b - 6B^2\mu) \operatorname{sech}^2[Bx])))))) + Bt(2A^2b - 11B^2\mu + 2aA \cosh[Bx] + B^2\mu \cosh[2Bx]) \operatorname{sech}^2[Bx] \tanh[Bx]) \tag{16}$$

which is the first three terms of the Poisson series of the exact solution (8).

In this section, we have done some computations to examine the accuracy and reliability of the method for the combined KdV-mKdV equation. We set $a = b = 1$ and $c = 0.1$ and make computation for $\mu = 5$ and $\mu = 1$, respectively. After 2 – approximate solutions obtained from RDTM, exact solutions and absolute errors are given with respect to different values of t at $x = 0$ in Table 2. It is observed from the table that the absolute errors increase as time increases. Also, it

can be seen from the table that the absolute errors for $\mu = 5$ slightly smaller than for $\mu = 1$. Table 3 shows exact solutions, 2 – approximate solutions and absolute errors obtained by RDTM at $t = 3$ in some points of the intervals $-40 \leq x \leq 40$. It can be noticed from Table 3 that the absolute errors decrease while away from $x = 0$ both $\mu = 5$ and $\mu = 1$. Besides, approximate solutions are better for $\mu = 1$.

Table 2. Solutions for different values of μ at $x = 0$.

μ	t	<i>Exact Sol.</i>	<i>Approx. Sol.</i>	<i>Absolute Error</i>
5	1.0	0.2648846	0.2642074	6.771563×10^{-4}
	1.5	0.2648515	0.2633279	1.523608×10^{-3}
	2.0	0.2648051	0.2620965	2.708652×10^{-3}
	2.5	0.2647456	0.2605133	4.232299×10^{-3}
	3.0	0.2646728	0.2585783	6.094565×10^{-3}
	3.5	0.2645869	0.2562914	8.295468×10^{-3}
	4.0	0.2644878	0.2536527	1.083503×10^{-2}
	4.5	0.2643755	0.2506622	1.371327×10^{-2}
	5.0	0.2642502	0.2473199	1.693023×10^{-2}
1	1.0	0.2647787	0.2613928	3.385825×10^{-3}
	1.5	0.2646133	0.2569951	7.618262×10^{-3}
	2.0	0.2643821	0.2508382	1.354396×10^{-2}
	2.5	0.2640854	0.2429222	2.116321×10^{-2}
	3.0	0.2637234	0.2332470	3.047639×10^{-2}
	3.5	0.2632967	0.2218128	4.148393×10^{-2}
	4.0	0.2628058	0.2086195	5.418636×10^{-2}
	4.5	0.2622513	0.1936670	6.858429×10^{-2}
	5.0	0.2616338	0.1769554	8.467840×10^{-2}

Table 3. Solutions for different values of μ at $t = 3$.

μ	x	<i>Exact Sol.</i>	<i>Approx. Sol.</i>	<i>Absolute Error</i>
5	-40	0.0017740	0.0017729	1.112823×10^{-6}
	-30	0.0072957	0.0072770	1.866102×10^{-5}
	-20	0.0299187	0.0296333	2.854101×10^{-4}
	-10	0.1170998	0.1157518	1.348054×10^{-3}
	0	0.2646728	0.2585783	6.094565×10^{-3}
	10	0.1262671	0.1258319	4.352047×10^{-4}
	20	0.0325490	0.0328900	3.411201×10^{-4}
	30	0.0079415	0.0079690	2.746466×10^{-5}
	40	0.0019311	0.0019328	1.706311×10^{-6}
1	-40	0.0000015	0.0000015	2.349729×10^{-10}
	-30	0.0000365	0.0000366	4.779814×10^{-9}
	-20	0.0008634	0.0008631	3.189492×10^{-7}
	-10	0.0203670	0.0200931	2.738487×10^{-4}
	0	0.2637234	0.2332470	3.047639×10^{-2}
	10	0.0246055	0.0251129	5.074350×10^{-4}
	20	0.0010438	0.0010449	1.108403×10^{-6}
	30	0.0000442	0.0000442	3.599020×10^{-9}
	40	0.0000019	0.0000019	2.438539×10^{-10}

The details of approximate solutions and absolute errors are shown in Figure 1 for $\mu = 5$ and $\mu = 1$ at time $t = 3$, respectively. The wave takes shape of a bell when μ increases as observed from Figure 1a and Figure 1b. Besides, it can be seen from Figure 1c and Figure 1d that absolute errors decline when μ is increased. In addition, their

three dimensional states are indicated by Figure 2. 2 –approximate solutions of the problem are depicted for $\mu = 5$ and $\mu = 1$ at different values of t in Figure 3. It is observed from Figure 3 that shape of the wave have deformation as time increases. Also, the wave takes shape of a bell when μ increases as in Figure 1.

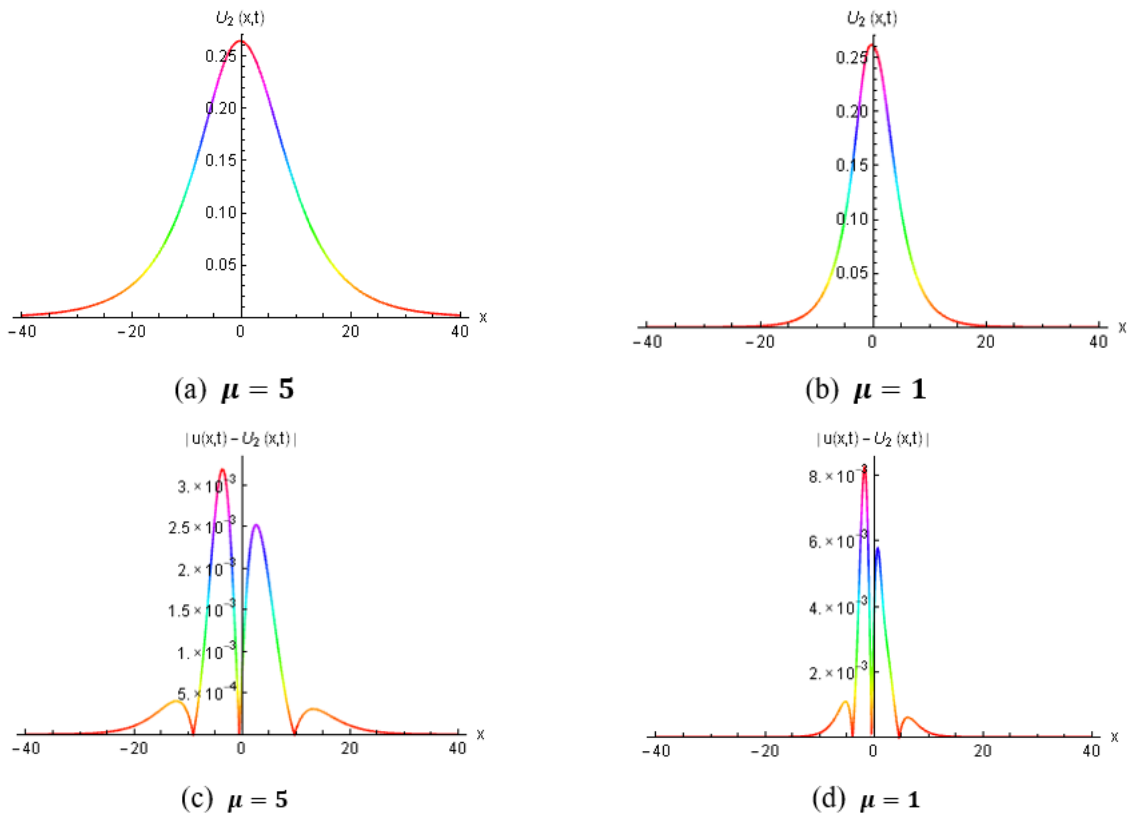


Figure 1. 2 –approximate solutions and absolute errors for different values of μ at $t = 3$

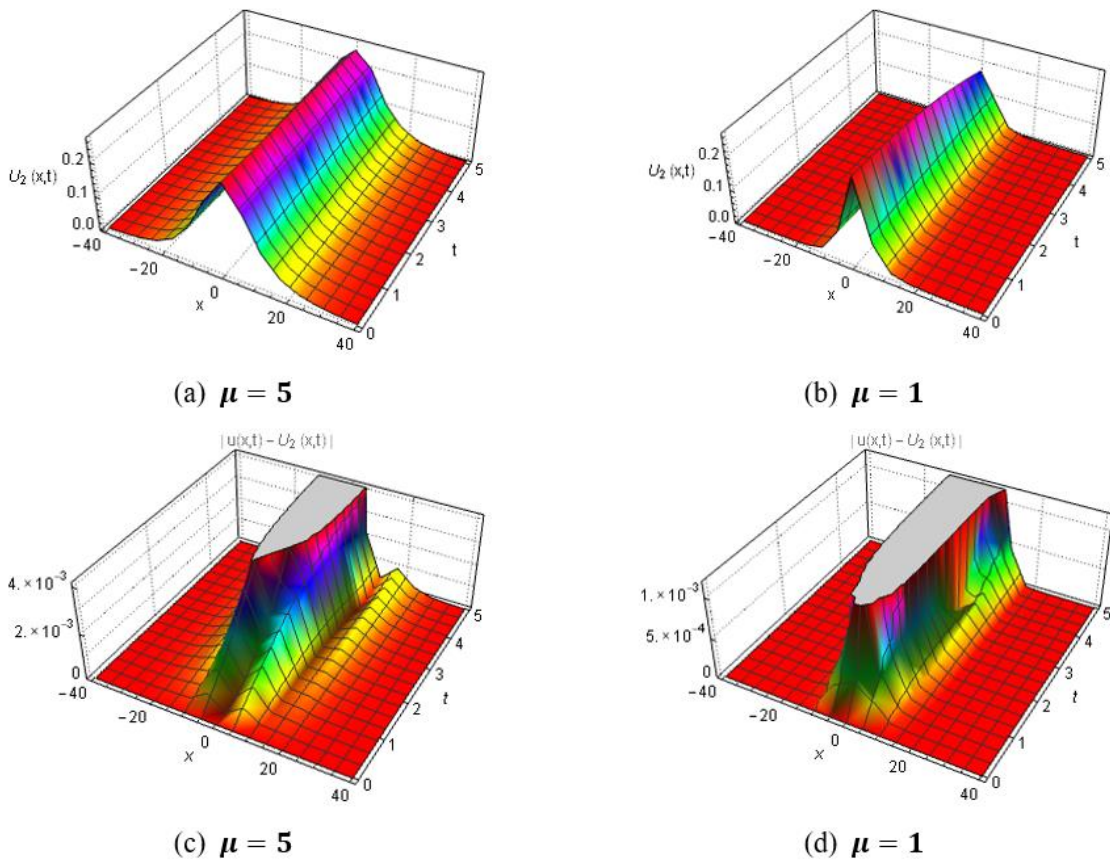


Figure 2. 2 –approximate solutions and absolute errors for different values of μ at $0 \leq t \leq 5$

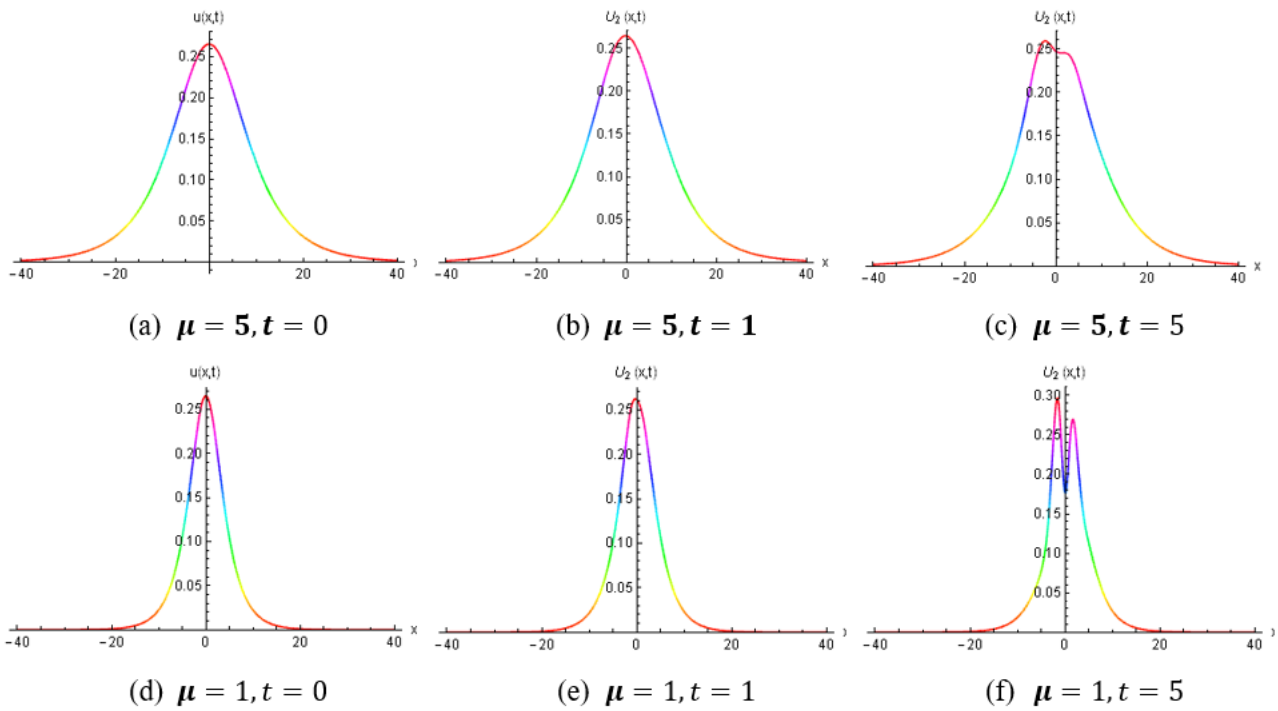


Figure 3. Exact and 2 –approximate solutions for different values of μ and t

5. Conclusion

In this paper, we investigate reduced differential transform method for the solitary wave solution of the combined KdV-mKdV equation. The effects of the time and dispersion parameter (μ) on behaviors of solitary wave solutions are discussed. From the obtained results which are showed in the tables conclude that the absolute errors are satisfactorily small. So, the proposed method has reliability and offer high accuracy for the approximate analytic solution of the equation. Also, the method have some advantages such as fast and computational cost is quite small. Consequently, the method can be recommended as an alternative method for numerical solutions of these type non-linear equations.

References

Abazari, R. and Abazari, M., 2013. Numerical Study of Burger-Huxley Equations via Reduced Differential Transform Method. *Computational and Applied Mathematics*, 32(1), 1-17.

Abazari, R. and Soltanalizadeh, B., 2013. Reduced Differential Transform Method and Its Application on Kawahara Equations. *Thai Journal of Mathematics*, 11(1), 199-216.

Ak, T., Triki, H., Dhawan, S. and Erduran, K.S., 2018. Theoretical and Numerical Investigations on Solitary Wave Solutions of Gardner Equation. *The European Physical Journal Plus*, 133, 382.

Ak, T., 2019. Numerical Experiments for Long Nonlinear Internal Waves via Gardner Equation with Dual-Power Law Nonlinearity. *International Journal of Modern Physics C*, 30(9), 1950066.

Al-Amr, M.O., 2014. New Applications of Reduced Differential Transform Method. *Alexandria Engineering Journal*, 53(1), 243-247.

Biswas, A. and Zerrad, E., 2008. Soliton Perturbation Theory for the Gardner Equation. *Advanced Studies in Theoretical Physics*, 2(16), 787-794.

Hamdi, S., Morse, B., Halphen, B. and Schiesser, W., 2011. Analytical Solutions of Long Nonlinear Internal Waves: Part I. *Natural Hazards*, 57(3), 597-607.

Hesam, S., Nazemi, A. and Haghbin, A., 2012. Reduced Differential Transform Method for Solving the Fornberg-Whitham Type Equation. *International Journal of Nonlinear Science*, 13(2), 158-162.

Hirota, R., 1980. Direct Methods in Soliton Theory. In: Bullough R.K., Caudrey P.J. (eds) *Solitons. Topics in Current Physics*, vol 17. Springer, Berlin, Heidelberg

Hoover, J.R., Grant, W. J., 1983. Numerical Fitting of the Gardner Equation to Hydraulic Conductivity and Water Retention Data. *Transactions of the ASAE*, 26(5), 1401-1408.

Kaya, D. and Inan, I.E., 2005. A Numerical Application of the Decomposition Method for

- the Combined KdV-mKdV Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 168(2), 915-926.
- Keskin, Y. and Oturanc, G., 2009. Reduced Differential Transform Method for Partial Differential Equations. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 106, 741-749.
- Keskin, Y., 2010. Numerical Solution of Regularized Long Wave Equation by Reduced Differential Transform Method. *Applied Mathematical Sciences*, 4(25), 1221-1231.
- Keskin, Y. and Oturanc, G., 2010a. Reduced Differential Transform Method for Generalized KdV Equations. *Mathematical and Computational Applications*, 15(3), 382-393.
- Keskin, Y. and Oturanc, G., 2010b. Reduced Differential Transform Method for Solving Linear and Nonlinear Wave Equations. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A*, 34(2), 113-122.
- Lou, S.-Y., Chen, L.-L., 1994. Solitary Wave Solutions and Cnoidal Wave Solutions to the Combined KdV and mKdV Equation. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 17(5), 339-347.
- Lu, D. and Shi, Q., 2010. New Jacobi Elliptic Functions Solutions for the Combined KdV-MKdV Equation. *International Journal of Nonlinear Science*, 10(3), 320-325.
- Mohamad, M.N.B., 1992. Exact Solutions to the Combined KdV and mKdV Equation. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 15(2), 73-78.
- Nakoulima, O., Zahibo, N., Pelinovsky, E., Talipova, T., Slunyaev A. and Kurkin A., 2004. Analytical and Numerical Studies of the Variable-Coefficient Gardner Equation. *Applied Mathematics and Computation*, 152(2), 449-471.
- Saravanan, A. and Magesh, N., 2013. A Comparison Between the Reduced Differential Transform Method and the Adomian Decomposition Method for the Newell-Whitehead-Segel Equation. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 21(3), 259-265.
- Triki, H., Taha, T.R. and Wazwaz, A.-M., 2010. Solitary Wave Solutions for A Generalized KdV-mKdV Equation with Variable Coefficients. *Mathematics and Computers in Simulation*, 80(9), 1867-1873.
- Wazwaz, A.-M., 2007. New Solitons and Kink Solutions for the Gardner Equation. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 12(8), 1395-1404.
- Zhang, J., 1998. New Solitary Wave Solution of the Combined KdV and mKdV Equation. *International Journal of Theoretical Physics*, 37(5), 1541-1546.
- Zhang, J., Wu, F., Shi, J., 2000. Simple Soliton Solution Method for the Combined KdV and mKdV Equation. *International Journal of Theoretical Physics*, 39(6), 1697-1702.

Çok Düzlemlili Kaynaklı K-Birleşimlerin Dayanımları

Resistance of Multiplanar Welded K-Joints

Emre ÖZYURT*^{1,a}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 22.01.2020 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 06.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 12.08.2020

Öz

Boru enkesitli çelik profillerin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasındaki önemli sebeplerden biri mimari açıdan estetik görünümüne sahip olmaları, diğeri ise mühendislik avantajlarıdır. Bu yüzden, kullanım alanları çok geniştir, örneğin açık deniz yapıları, havaalanları, sergi salonları, köprüler, stadyumlar, vb. Bu tip yapılarda, çok düzlemlili kaynaklı K-birleşimlerinden oluşan uzay kafes sistemler kullanılmaktadır. Ancak boru enkesitli profillerden oluşmuş, çok düzlemlili kaynaklı K-birleşimlerin tasarım yöntemi, yeni çelik yapı yönetmeliğinde mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, yönetmelikteki düzlem kafes sistemleri için mevcut birleşim yönteminin, çok düzlemlili K-birleşimler için uygun olup olmadığını incelemektir. Bu çalışma, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerden önce sonlu elemanlar modeli mevcut bir test ile karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Doğrulama çalışmasında belirlenen eleman ağ aralığı, eleman tipi, mesnet sınır koşulları ve yükleme yöntemine göre bir dizi parametrik çalışma yapılmıştır. Parametrik çalışmalarda, dayanım kriteri, başlık ve örgü elemanlarının geometrik özellikleri ve başlık ile örgü elemanı arasındaki açının etkileri incelenmiştir. Sayısal analiz sonuçlarına göre, mevcut yönetmelikteki düzlem K-birleşim yöntemleri aynı zamanda çok düzlemlili K-birleşimlerinin dayanımlarını hesaplamak için kullanılabilir. Çok düzlemlili K-birleşimlerinin dayanımlarını belirlemek için Lu'nun deformasyon sınırlaması kullanılabilir. Başlık elemanına etkileyen ekstra aksel yükler birleşimin dayanımını etkileyebilir.

Anahtar kelimeler: Boru Enkesitli Profiller, Çok Düzlemlili Birleşimler, K-birleşim, Sonlu Eleman Yöntemi, Uzay Kafes

Abstract

One of the important reasons for the popularity of circular hollow sections is an aesthetic appearance in terms of architectural point of view and engineering advantages. Therefore, they have been widely used, such as offshore structures, airports, exhibition halls, bridges, stadiums, etc. In such structures, space trusses consist of multiplanar K-joints. However, there is no available design method of multiplanar K-joints made of circular hollow sections in the new steel structure design guide. The purpose of this study is to examine whether the current method of planar K-joint in the design guide is suitable for multiplanar K-joints. This study was carried out by using a nonlinear finite element method. Before the parametric study, the finite element model was validated against the test results. Mesh size, element type, boundary conditions and loading method determined based on the validation study were used in a series of parametric analyses. In parametric studies, the effects of the strength criterion, the geometric parameters of the chord and brace members, and the angle between the chord and brace members were examined. According to the results of numerical analysis, the planar K-joint methods in the current design guide can also be used to calculate the strengths of multiplanar K-joints. Lu's deformation limit can be used to determine the resistance of multiplanar K-joints. The additional axial loads in the chord member may affect the resistance of joints.

Keywords: Circular Hollow Section, Multiplanar Joints, K-joints, Finite Element Method, Space Truss

*a Emre ÖZYURT; emre.ozyurt@gumushane.edu.tr; Tel: (0456) 233 10 00; orcid.org/0000-0002-1465-596X

1. Giriş

Çok düzlemlı ve ara uzaklıklı K-birleşimleri, uzay kafesler ve açık deniz platformlarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok düzlemlı birleşimlerde, boru enkesitli profiller, estetik görünüş ve mühendislik avantajlarından ötürü en yaygın kullanılan profil türüdür. Boru enkesitli profillerden yapılmış çok düzlemlı K-birleşimlerinin yapısal uygulamasının bir örneği, Şekil 1'de, gösterilmektedir. Bu birleşimlerin dayanımlarının hesaplanabilmesi için, Çelik

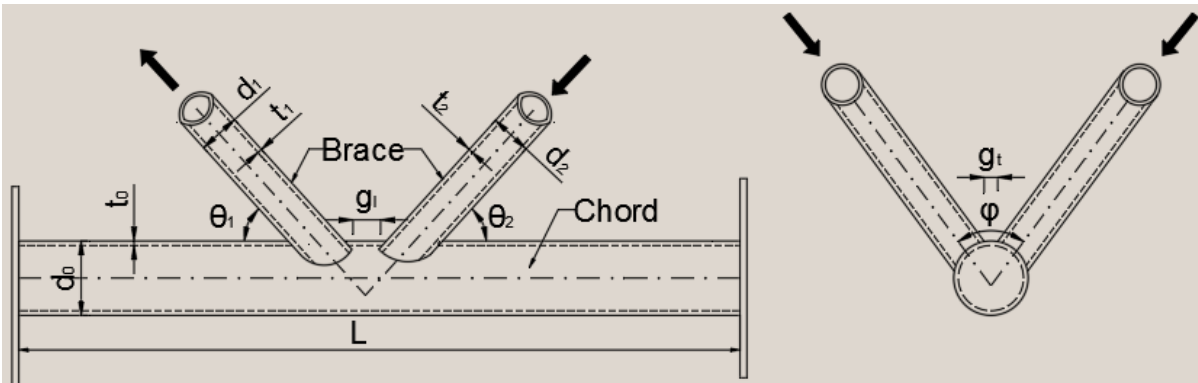
Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (CYTYE, 2016) yönetmeliğinde herhangi bir tasarım yöntemi mevcut değildir. Ancak, düzlem kafes sistem birleşimlerin dayanımlarının hesaplama yöntemleri güncel yönetmelikte mevcuttur. Bu çalışma, farklı geometrik parametreler dikkate alınarak simetrik eksenel yüke maruz kalmış çok düzlemlı K-birleşimlerin davranışlarını incelemek ve yönetmelikte mevcut olan yöntemin bu tip birleşimlerin dayanım hesaplamalarında güvenli ve ekonomik olarak kullanılabilirliğini incelemeyi amaçlamıştır.



Şekil 1. Çok düzlemlı K-birleşimlerine ait örnek bir havaalanı, Hamburg

Şekil 2, çok düzlemlı K-birleşimin geometrik parametreleri ile tipik bir geometrik konfigürasyonunu göstermektedir. Makino vd. (1984) ve Paul (1992) çok düzlemlı K-birleşimleri üzerinde çok sayıda test gerçekleştirmişlerdir. Bu birleşimlerin dayanımlarının hesaplanabilmesi için düzlem kafes tasarım denklemlerine bir düzeltme katsayısı eklenmesini önermişlerdir. Bununla birlikte, düzeltme faktörü EN 1993-1-

8'de, 0.90'dır (CEN, 2005). Bunun nedeni, örgü elemanlarındaki yüklemelerin yatay birleşenleri, başlık elemanı üzerinde ekstra eksenel gerilme yaptığı için birleşimin dayanımını düşürmektedir. Bu yüzden, parametrik çalışmalarda, birleşim bölgesindeki ekstra eksenel yüklemeyi önlemek için başlık elemanı ucundan dengeleyici bir eksenel yükleme yapılmıştır.



Şekil 2. Çok düzlemlı K-birleşiminin geometrik parametreleri

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (CYTYE, 2016) yönetmeliğine göre boru profillerden oluşan düzlem K-birleşiminin mevcut

eksenel kuvvet dayanımı, denklem 1'den hesaplanabilmektedir.

(1)

$$P = \frac{F_y t_0^2}{\sin \theta} \left(2.0 + 11.33 \frac{d_2}{d_0} \right) \gamma^{0.2} \left[1 + \frac{0.024 \gamma^{1.2}}{e^{\left(\frac{0.5 g_l}{t_0} - 1.33 \right)} + 1} \right]$$

Bu denklemde;

P : Birleşimin dayanımı

F_y : Elemanların karakteristik akma gerilmesi

t_0 : Başlık elemanı et kalınlığı

θ : Başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açısı

d_0 : Başlık elemanının çapı

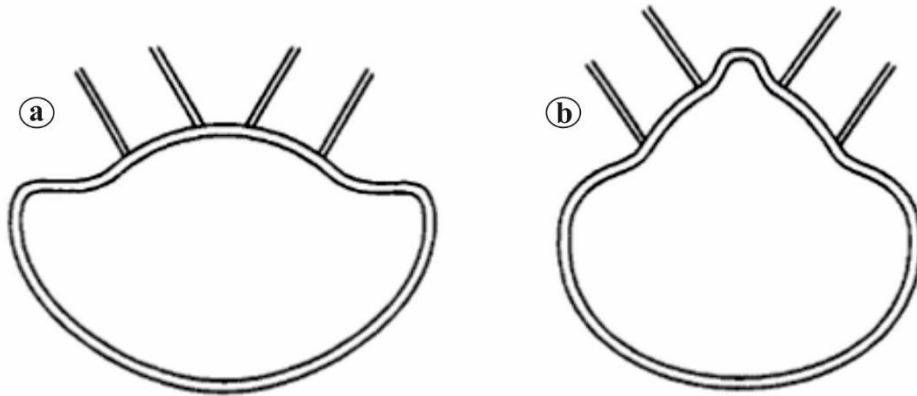
d_2 : Basınç kuvveti etkisindeki örgü elemanının çapı

γ : Başlık elemanının narinlik oranı ($=d_0/2t_0$)

g_l : Örgü elemanları arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Lee ve Wilmshurst (1995, 1996), çok düzlemlili ve ara uzaklıklı K-birleşimlerin sonlu eleman modelini, Makino vd. (1984) ve Paul (1992)'un test sonuçları ile karşılaştırarak doğrulamasını yapmışlardır. Uygun ağ aralığı, malzeme özellikleri, kaynak geometrisi ve mesnet sınır koşulları belirlendikten sonra, parametrik araştırmada çok sayıda sayısal model analizi gerçekleştirmişlerdir (Lee ve Wilmshurst, 1996). Çok düzlemlili K-birleşimlerin dayanımları ve göçme modu üzerine, γ ($=d_0/2t_0$) oranının etkisini incelemişlerdir. Bu birleşimlerin iki tipik

göçme modu, Şekil 3'te gösterildiği gibi elde edilmiştir. Sayısal analiz sonuçlarına dayanarak, düzlem dışı örgü elemanları arasındaki mesafenin, başlık eleman çapına oranı ($\zeta_t = g_t / d_0$) 0.215 'den küçük olduğunda, Şekil 3 (a)'da gösterildiği gibi kesitte yatay deformasyonlar meydana gelir. Düzlem dışı örgü elemanları arasındaki aralık büyük ise, iki komşu örgü elemanı arasındaki başlık elemanı yüzünde yerel burkulma gerçekleşmektedir. Bu durumda ise, başlık elemanının enine kesiti Şekil 3 (b)'de gösterildiği gibi dikey olarak deforme olmuştur.



Şekil 3. Çok düzlemlili K-birleşimlerin göçme modları. (a) Mod 1. (b) Mod 2.

Liu vd. (2001, 2002), kutu profillerden yapılmış çok düzlemlili K-birleşimleri ile düzlem K-birleşimleri üzerine bir dizi nümerik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Başlık elemanı üzerindeki ekstenel yükün aynı olması durumunda, çok düzlemlili birleşimlerin dayanımları eş değer düzlem birleşimlerinden büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dessouki vd. (2009), başlık elemanındaki ekstenel yükün çok düzlemlili K-birleşimlerin

dayanımlarına etkileri üzerine sayısal analizler yapmışlardır. Başlık elemanına uygulanan öngermenin, birleşim dayanımını % 50 'ye kadar azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için birleşim bölgesinde takviye levhası kullanılarak dayanımının güçlendirilebileceği gösterilmiştir.

Forti vd. (2015, 2017), simetrik yüklü çok düzlemlili K-birleşimleri üzerinde sayısal analizler yapmışlardır. Ancak, sayısal modellerinde kaynak

geometrisi dikkate alınmamıştır. Bu nedenle, Şekil 3 'te gösterildiği gibi göçme modlarını belirleyen sınır değeri [Lee ve Wilmshurst'un \(1996\)](#) sonuçlarından farklıydı. Bu birleşimlerin dayanımlarını hesaplamak için yeni bir düzeltme faktörü önerdiler.

[Zhao vd. \(2019\)](#), çok düzlemlili ve bindirmeli K-birleşimleri üzerine hem deneysel hem de sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu tip bindirmeli birleşimler bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Çünkü, bindirmeli örgü elemanlarının kesimi ve kaynaklanması çok daha karmaşıktır ve maliyeti önemli derecede arttırmaktadır.

Son yıllarda, bu tip birleşimlerin güçlendirilmesine yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır. [Chen vd. \(2015\)](#) tarafından, boru profillerden yapılmış beton dolgulu uzay kafesler üzerine dört adet test yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, başlık elemanı üzerindeki plastik şekil değiştirmelerin önlenmesi ile birleşimlerin dayanımlarında önemli derecede artış gözlemlenmiştir. [Tong vd. \(2019\)](#), K-birleşimlerdeki gerilme yığılmalarını azaltmaya yönelik deneysel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalarda, boru profiller, karbon fiber takviyeli polimer malzemesi ile güçlendirilmiştir. [Woghiren ve Brennan \(2009\)](#) ise deniz aşırı yapıların yorulma ömrünü birleşim bölgelerinde takviye levhası kullanarak arttırmayı başarmışlardır.

Yapılan çalışmalardan görüleceği üzere, başlık elemanı üzerindeki eksenel yükün birleşimin dayanımına etkisi önemlidir. Ancak, bunun üzerine detaylı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Ayrıca düzlem kafes birleşimlerin aksine, çok düzlemlili K-birleşimlerin iki ana göçme modu mevcuttur. Bu yüzden, uzay kafes ile düzlem kafes birleşimlerinin davranışları birbirinden farklı olabilir. Yapılan çalışmalar dayanımları arasında farklılıklar olabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, farklı geometrik özelliklere sahip çok düzlemlili K-birleşimlerin dayanımlarını incelemek ve güvenli bir tasarım yöntemi geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2. Sayısal Modellerin Doğrulaması

Sayısal analizleri yapmak için doğrusal olmayan sonlu elemanlar yazılımı ABAQUS v6.17 (2017) kullanılmıştır. Parametrik çalışmalardan önce, [Lee ve Wilmshurst \(1996\)](#) tarafından elde edilen çok düzlemlili K-birleşimlerin sayısal sonuçları kullanılarak doğrulama çalışması yapıldı. [Makino vd. \(1984\)](#) ve Paul'un (1992) test sonuçlarına göre [Lee ve Wilmshurst \(1996\)](#) sayısal modellerini doğruladılar. Birleşimlerin malzeme özellikleri ve geometrik özelliklerindeki eksiklikler, test sonuçlarının doğrulama çalışmasında kullanılmamasındaki sebebidir.

Tablo 1, çok düzlemlili K-birleşimlerinin doğrulama çalışması için gerekli olan geometrik parametrelerini özetlemektedir. Toplam on beş sayısal model oluşturulmuştur.

Tablo 1. Doğrulama çalışmasında kullanılan birleşimlerin geometrik özellikleri

Birleşim Numarası	d_1 ve d_2 (mm)	g_1 (mm)	g_2 (mm)	$\beta = d_1 / d_0$
SKK-01	28.8	18	33.4	0.24
SKK-02	28.8	28	33.4	0.24
SKK-03	28.8	38	33.4	0.24
SKK-04	28.8	48	33.4	0.24
SKK-05	28.8	58	33.4	0.24
SKK-06	28.8	68	33.4	0.24
SKK-07	38.4	18	23.6	0.32
SKK-08	38.4	28	23.6	0.32
SKK-09	38.4	38	23.6	0.32
SKK-10	38.4	48	23.6	0.32
SKK-11	38.4	58	23.6	0.32
SKK-12	48.0	18	13.4	0.40
SKK-13	48.0	28	13.4	0.40
SKK-14	48.0	38	13.4	0.40
SKK-15	48.0	48	13.4	0.40

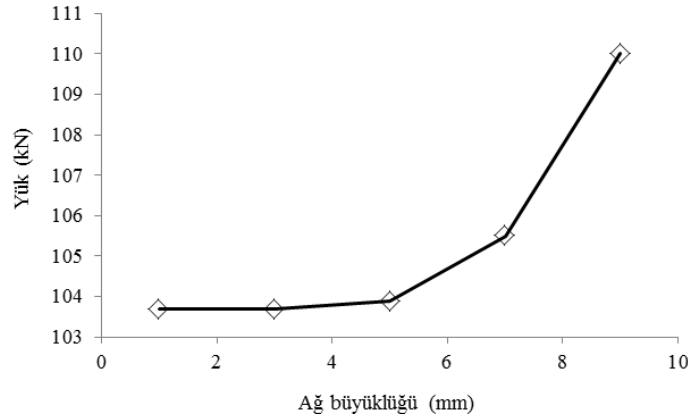
Yükleme ve mesnet sınır koşullarındaki simetri nedeniyle, hesaplama zamanından ve depodan

tasarruf etmek için çok düzlemlili K-birleşimlerin yarısı modellenmiştir. Sayısal modelde, hem

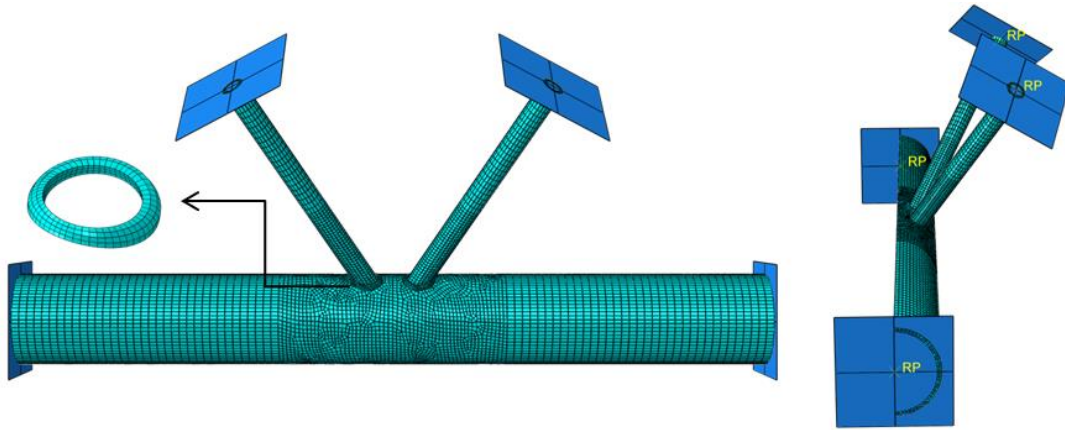
başlık hem de örgü elemanları için, kalınlık yönünde iki elemanlı, C3D20R katı elemanlar kullanıldı. Bu tip elemanlar ile oluşturulan boru enkesitli birleşimlerin dayanımı önceki çalışmalarda da güvenli olarak modellenmiştir (Ozyurt vd., 2018a, b, 2019).

Uygun simülasyon modelini belirlemek için ağ büyüklüğünün yakınsama çalışması yapılmıştır. Aynı ağ büyüklüğü daha sonra diğer tüm birleşimler için simülasyon modellerine uygulanmıştır. Bu yakınsama çalışması için Lee ve Wilmshurst (1996)'un SKK-01 numaralı birleşimi seçilmiştir. Gerilmeler birleşim

bölgesinde daha fazla olacağı için bu bölgelerdeki ağ büyüklüklerini birleşim bölgesinden uzak kısımlardakinin yarısı olarak seçilmesi öngörülmüştür. Şekil 4'ten görüleceği üzere, ağ büyüklüğü birleşim bölgesinde 5 mm ve daha küçük olduğunda yakınsama sağlanmış olur. Başlık elemanının et kalınlığı 5 mm olduğu için eleman ağ büyüklükleri birleşim bölgesinde elemanın et kalınlığına eşit büyüklükte ve diğer bölgelerde ise birleşim bölgesindeki eleman ağ aralığı büyüklüğünün iki katı olarak belirlenmiştir. Şekil 5, çok düzlemlü K-birleşimlerin tipik bir ağ yerleşimini göstermektedir.



Şekil 4. Ağ büyüklüğünün yakınsama çalışması



Şekil 5. Çok düzlemlü K-birleşimlerin örnek bir sayısal modeli

Lee ve Wilmshurst (1996), yaptıkları çalışmada başlık ve örgü elemanları için S355 çelik sınıfını kullanılmışlardır. S355 çeliğinin; karakteristik akma gerilmesini (f_y) 355 N/mm², karakteristik çekme dayanımını (f_u) 510 N/mm² ve elastisite modülünü (E) 210 GPa'dır. Malzeme özellikleri sayısal modellerde dikkate alınmıştır.

Sayısal modellerde, denklem 2 ve 3'ten kullanılarak elde edilen gerilme-birim uzama eğrisi kullanılmıştır (Boreni ve Schmidt, 2003). Çünkü doğrusal olmayan analizlerin

gerçekleşmesi için bu dönüştürme işleminin yapılması gerekmektedir.

$$\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon) \quad (2)$$

$$\sigma_T = \sigma \times (1 + \epsilon) \quad (3)$$

Bu denklemlerde;

ϵ : birim uzama oranını

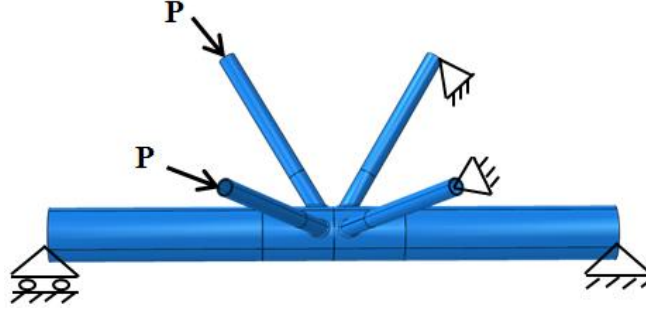
ϵ_T : dönüştürülmüş birim uzama oranını

σ : gerilmeyi

σ_T : dönüştürülmüş gerilmeyi göstermektedir.

Lee ve Wilmshurst (1996)'un sayısal kalibrasyon parametrelerini örnek alarak, doğrulaması yapılan çok düzlemlü K-birleşimin başlık elemanı bir ucundan hareketli, diğer ucundan sabit mesnetlenmiş, yükleme yapılmayan örgü elemanının uçlarında ise tüm yer değiştirmeler kısıtlanmıştır (Şekil 6). Mesnet koşullarını tanımlamak için, eleman uçlarına rijit levhalar

yerleştirilmiş ve bu levhaların merkezlerindeki referans noktaları seçilerek gerekli mesnet sınırları girilmiştir. Tüm örnek modellerde, başlık ve örgü elemanlarının et kalınlığı sırasıyla, $t_0=5$ mm ve $t_1=4$ mm'dir. Düzlem dışı örgü elemanlar arasındaki açı ile başlık ve örgü elemanları arasındaki açı ise 60° 'dir.



Şekil 6. Doğrulaması yapılan birleşimin mesnet koşulları

Tablo 2'de, Lee ve Wilmshurst (1996)'un sayısal sonuçlarından ve bu çalışmadaki sayısal analizlerden elde edilen çok düzlemlü K-birleşimlerinin dayanımları karşılaştırılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi sonuçları ile Lee ve Wilmshurst (1996)'un nümerik sonuçları çok yakın olduğu görülebilir. Maksimum dayanım

farkı %4.7'dir. Bu doğrulama çalışması sonucundan, parametrik çalışmalarda oluşturulacak çok düzlemlü K-birleşimlerine ait sayısal modeller doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi öngörülmektedir.

Tablo 2. Sayısal analizler ile Lee ve Wilmshurst (1996)'un sayısal sonuçlarının karşılaştırılması

Birleşim Numarası	Lee ve Wilmshurst (1996) (kN)	Sayısal Sonuçlar (kN)	Fark (%)
SKK-01	108.8	103.7	4.7
SKK-02	103.6	101.8	1.7
SKK-03	99.9	98.3	1.6
SKK-04	99.4	98.5	0.9
SKK-05	99.4	98.3	1.1
SKK-06	99.1	97.7	1.4
SKK-07	137.9	131.9	4.4
SKK-08	126.3	122.2	3.2
SKK-09	120.1	117.0	2.6
SKK-10	118.5	116.4	1.8
SKK-11	118.0	116.6	1.2
SKK-12	159.0	155.9	1.9
SKK-13	143.5	143.0	0.3
SKK-14	135.4	133.5	1.4
SKK-15	132.9	130.5	1.8

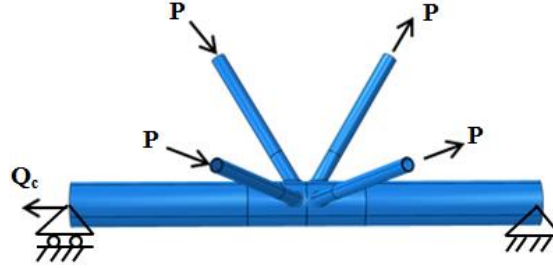
3. Parametrik Çalışmalar

Bu bölümde, çok düzlemlü K-birleşimlerinin dayanımlarını incelemek için çok sayıda sonlu eleman analizi yapılmıştır. Örgü elemanı çapının başlık elemanı çapına oranının ($\beta=d_1/d_0$), başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açının (θ) ve başlık

elemanının narinlik oranının ($\nu=d_0/2t_0$) birleşimin dayanımına etkileri incelenmiştir. Tüm sayısal modellerde, başlık elemanı çapı ve uzunluğu sırasıyla 193.7 mm ve 2000 mm'dir. Şekil 7, yükleme ve mesnet koşullarını göstermektedir. Başlık elemanına uygulanan Q_c eksenel yükü, örgü elemanlarına uygulanan yüklemelerin yatay

birleşenlerini karşılaması için eklenmiştir. Denklem 4 yardım ile bu değer hesaplanabilir. Böylece, başlık elemanı üzerinde ekstra oluşacak aksenal yük ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca, birleşim bölgesinde eksentrisiteden ötürü oluşabilecek ekstra eğilme momentini ortadan kaldırmak için başlık ve örgü elemanların eksenleri hem düzlem içinde hem de düzlem

dışında tek bir noktada kesişecek şekilde birleşimlerin konfigürasyonları oluşturulmuştur. Yükleme ve sınır koşullarındaki simetriden ötürü, sayısal modelin sadece yarısı kullanılarak analiz süresinden ve çıktılarının depolanması yönünden tasarruf edilmiştir. Düzlem dışı örgü elemanlar arasındaki açı 60° 'dir.



Şekil 7. Sayısal modellerin mesnet sınır koşulları ve yükleme durumu

$$Q_c = 4P \cos \theta \cos(60) \quad (4)$$

Aşağıdaki geometrik parametreler dikkate alınmıştır.

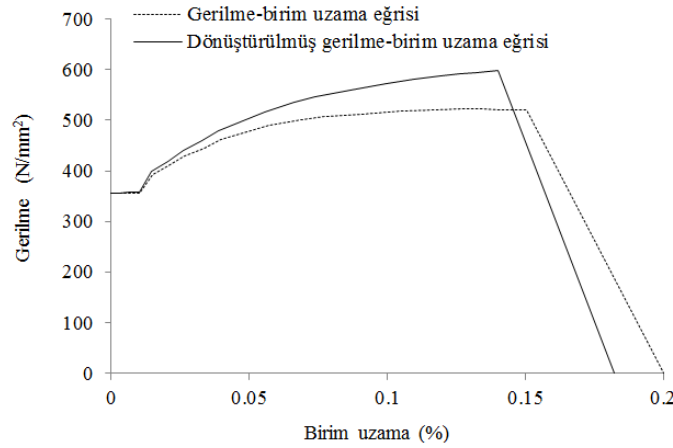
$$0.30 \leq \beta \leq 0.50 \quad (0.31, 0.39 \text{ and } 0.46)$$

$$10.0 \leq \gamma \leq 20.0 \quad (9.7, 12.1, 15.4 \text{ and } 19.4)$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ \quad (30^\circ, 45^\circ \text{ and } 60^\circ)$$

Yapılan tüm sayısal analizlerde S355 çelik sınıfı kullanılmıştır. S355 çeliğinin; karakteristik akma gerilmesi $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$, karakteristik çekme

mukavemeti $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Çeliğin elastisite modülü (E) 210 GPa ve poisson oranı (ν) 0.3 olarak varsayılmıştır. Malzeme özelliklerinin ABAQUS girdisinde doğrulama çalışmasında yapıldığı gibi parametrik çalışmalarda da Denklem 2 ve 3 yardımıyla dönüştürme yapılması ile Şekil 8'de gösterildiği gibi dönüştürülmüş gerilme-birim uzama eğrisi elde edilmiştir. Ayrıca, doğrulama çalışmasında seçilen sonlu eleman tipi C3D20R katı elemanları, parametrik çalışmalarda da kullanılmıştır.



Şekil 8. S355 çelik sınıfına ait gerilme-birim uzama eğrisi

3.1. Göçme Modları

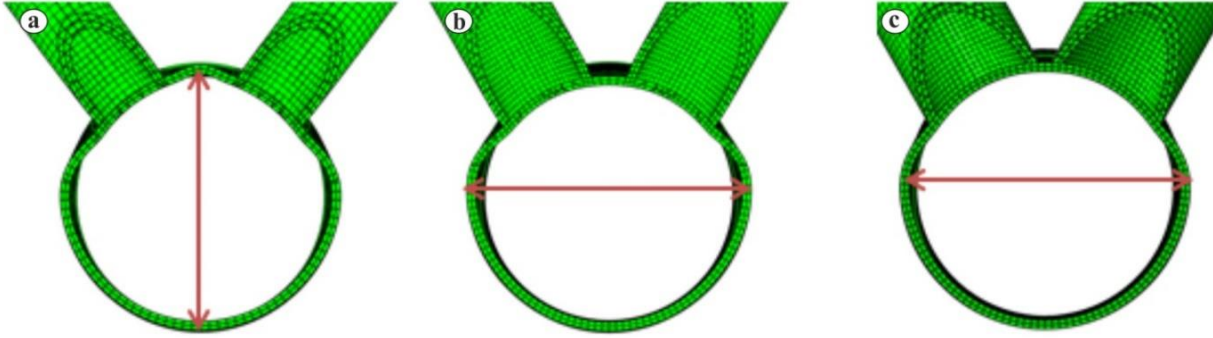
Bu bölümde, çok düzlemlili K-birleşimlerin göçme modları incelenmiştir. Üç farklı β (0.31, 0.39 and 0.46) oranı kullanılarak çok düzlemlili K-birleşimlerin göçme modları elde edilmiştir. Diğer tüm geometrik parametreler sabit tutulmuştur. Başlık elemanının narinlik oranı 15.4 ve başlık ve

örgü elemanları arasındaki dar açını 60° olarak seçilmiştir.

Şekil 9'da, sayısal analizlerden elde edilmiş çok düzlemlili K-birleşimlerin deformasyonları gösterilmektedir. Giriş bölümünde belirtildiği gibi simetrik yüklü çok düzlemlili K-birleşimlerin iki ana göçme modu vardır. Birleşim bölgesindeki

düzlem dışı örgü elemanlar arasındaki mesafe yeteri kadar büyük ise, Şekil 9 (a)'da gösterildiği gibi, başlık elemanı en kesitinde düşey yer değiştirmeler meydana gelir. Bu tip birleşimlerde, başlık elemanı hem plastikleşmeye hem de iki örgü elemanı ile birleştiği ara mesafede yerel burkulmaya maruz kalmaktadır. Şekil 9 (b ve c)'deki birleşimlerde ise, başlık elemanı yatay yönde deformasyonların etkisindedir. Bunun sebebi, örgü elemanları arasındaki mesafenin küçük olması ve düzlem kafes sistemlerdeki K-

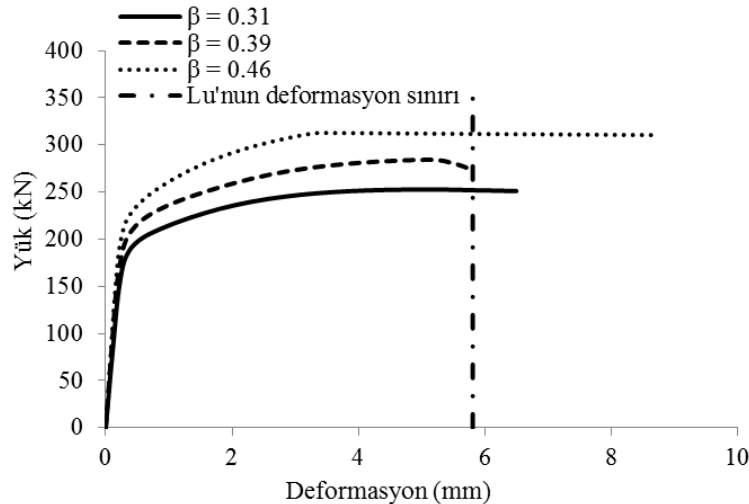
birleşimlerine benzer şekilde iki düzlem dışı örgü elemanları tek bir eleman gibi çalışmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, bu tip birleşimlerde sadece başlık elemanında plastikleşme olmaktadır. Bu farklı göçme modlarının sebebi örgü elemanları arasındaki mesafedir. Eğer bu mesafe yeteri kadar büyük ise, Örgü elemanları arasındaki mesafenin küçük olması durumunda ise, yerel burkulma ortadan kalkar ve başlık elemanında plastikleşmeler meydana gelir.



Şekil 9. Çok düzlemlü K-birleşimlerin deformasyonları. (a) $\beta = 0.31$. (b) $\beta = 0.39$. (c) $\beta = 0.46$

Bu çalışmada, şekil değiştirmeleri sınırlamak ve birleşimlerin dayanımlarını belirlemek için Lu'nun deformasyon sınırı kullanılmıştır (Lu vd., 1994). Yaygın olarak kabul gören bu deformasyon sınırı, başlık elemanı enkesitindeki şekil değiştirme çapının %3 'ünü aşmazsa yük - deformasyon eğrisindeki maksimum değer birleşimin dayanımını verir veya maksimum yük bu yer değiştirme sınırının ötesinde meydana gelirse birleşimin dayanımı başlık eleman çapının %3'üne eşit olan şekil değiştirmeye karşılık gelen yük ile sınırlandırılır. Lu'nun deformasyon sınırı, başlık eleman yüzünün üst kısmı ile başlık elemanın merkez çizgisi arasındaki göreceli bir yer değiştirme miktarıdır.

Şekil 10'da, çok düzlemlü K-birleşimlerinin yük - deformasyon eğrileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Lu'nun deformasyon sınırı grafikte gösterilmektedir. Şekil 10'dan görüleceği gibi β oranı ile birleşimin dayanımı doğru orantılıdır. Ancak birleşimlerde iki farklı göçme mekanizması olduğu için bir sonraki parametrik çalışmada geometrik parametrelerinin ve göçme modlarının birleşim dayanımı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, incelenen tüm birleşimlerin maksimum dayanımları deformasyon sınırından önce meydana geldiği için yük - deformasyon eğrilerindeki maksimum değer, birleşimin dayanımını vermektedir.



Şekil 10. Çok düzlemlü K-birleşimlerinin yük- deformasyon grafiği

3.2. Geometrik Parametrelerin Dayanımlara Etkileri

Bu kısımda, mevcut yönetmelikteki boru profillerden üretilmiş düzlem K-birleşimleri için önerilen tasarım yöntemi sayısal analizlerden elde edilen dayanımlar ile karşılaştırılmıştır. Örgü elemanı çapının başlık elemanı çapına oranının ($\beta=d_1/d_0$), başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açının (θ) ve başlık elemanının narinlik oranının ($\gamma=d_0/2t_0$) birleşim dayanımına etkileri detaylıca incelenmiştir. KK- β - θ - γ , sayısal modellerin adlandırılması için kullanılan bir ifadedir. Örneğin, KK-0.39-30-9.7, örgü elemanı çapının başlık elemanı çapına oranı 0.39, başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açı 30° ve başlık elemanının narinlik oranı 9.7 olan çok düzlemlili K-birleşimini temsil etmektedir.

Tablo 3, sayısal analiz sonuçları ile Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (CYTYE, 2016) yönetmeliğine göre boru profillerden oluşan düzlem K-birleşim yöntemi (Denklem 1) kullanılarak hesaplanmış dayanımlar

karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalardan görüleceği üzere, CYTYE (2016)'da mevcut olan düzlem K-birleşim yöntemi kullanılarak çok düzlemlili K-birleşimlerin dayanımları güvenli olarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca, EN 1993-1-8 (CEN, 2005)'de çok düzlemlili K-birleşimlerin dayanımları düzlem K-birleşim yöntemleri ile hesaplanabilmesi önerilmektedir. Ancak, %10'luk bir azaltma faktörünün eklenmesi gereklidir. Bunun sebebi, başlık elemanı üzerinde örgü elemanlarından kaynaklanan ekstra eksenel kuvvet birleşimin dayanımını azaltmaktadır. Tablo 3'den görüleceği üzere, sayısal analiz sonuçları her durumda, CYTYE (2016) tahminlerine göre yüksektir. Bu yüzden, azaltma faktörünün kullanılmasına gerek yoktur. Eğer başlık elemanı üzerine etkiyen ekstra eksenel yüklemeler göz önüne alınması gerekli ise, Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (CYTYE, 2016) yönetmeliğinde mevcut olan başlık elemanında bağlanan yüzeyin basınç etkisinde olduğu ara uzaklıklı K-birleşimin azaltma katsayısının kullanılması gereklidir.

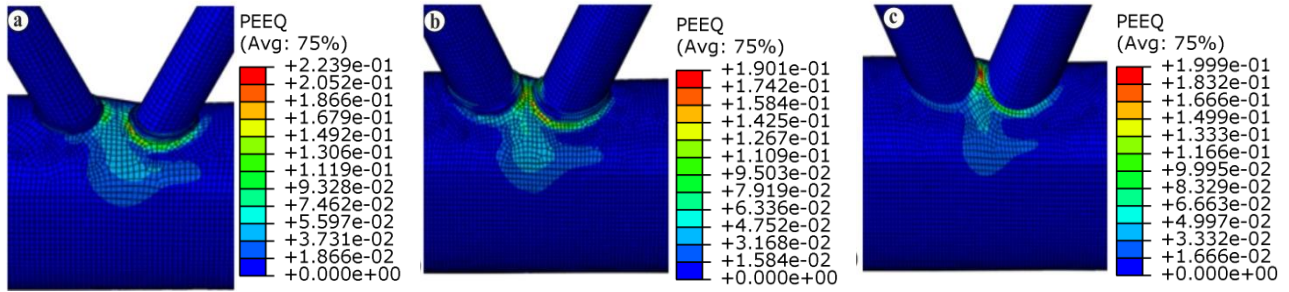
Tablo 3. CYTYE (2016) öngörülleri ile sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Birleşim Numarası	Sayısal sonuçlar (kN)	CYTYE(2016) (kN)	Sayısal sonuçların CYTYE(2016)'ye oranı
KK-0.31-30-9.7	656.8	618.0	1.06
KK-0.31-30-12.1	450.0	413.6	1.09
KK-0.31-30-15.4	304.7	269.0	1.13
KK-0.31-30-19.4	195.6	177.4	1.10
KK-0.31-45-9.7	484.8	444.1	1.09
KK-0.31-45-12.1	333.4	294.0	1.13
KK-0.31-45-15.4	220.3	190.5	1.16
KK-0.31-45-19.4	118.6	102.9	1.15
KK-0.31-60-9.7	454.5	429.3	1.06
KK-0.31-60-12.1	303.7	287.5	1.06
KK-0.31-60-15.4	202.5	180.9	1.12
KK-0.31-60-19.4	126.1	113.9	1.11
KK-0.39-30-9.7	738.6	721.6	1.02
KK-0.39-30-12.1	510.9	482.7	1.06
KK-0.39-30-15.4	336.7	314.0	1.07
KK-0.39-30-19.4	222.6	207.1	1.07
KK-0.39-45-9.7	563.2	533.0	1.06
KK-0.39-45-12.1	384.4	348.8	1.10
KK-0.39-45-15.4	259.7	223.5	1.16
KK-0.39-45-19.4	169.2	146.5	1.15
KK-0.39-60-9.7	564.3	531.7	1.06
KK-0.39-60-12.1	396.9	371.5	1.07
KK-0.39-60-15.4	285.5	250.8	1.14
KK-0.39-60-19.4	192.2	168.1	1.14
KK-0.46-30-9.7	854.6	806.1	1.06
KK-0.46-30-12.1	577.0	538.9	1.07
KK-0.46-30-15.4	382.1	350.4	1.09

KK-0.46-30-19.4	256.4	231.1	1.11
KK-0.46-45-9.7	673.1	622.5	1.08
KK-0.46-45-12.1	450.8	404.3	1.12
KK-0.46-45-15.4	288.1	254.5	1.13
KK-0.46-45-19.4	193.5	165.2	1.17
KK-0.46-60-9.7	621.9	585.0	1.06
KK-0.46-60-12.1	462.6	412.6	1.12
KK-0.46-60-15.4	312.6	285.6	1.09
KK-0.46-60-19.4	234.2	201.5	1.16

Örgü elemanı çapının başlık elemanı çapına oranı ($\beta=d_1/d_0$) arttıkça, birleşimin dayanımı önemli derecede artmaktadır. Bunun sebebi, örgü elemanı çapının büyümesi ile birleşim bölgesinde aktarılan yük daha fazla alana sahip olmaktadır. Şekil 11, farklı β oranına sahip çok düzlemlü K-

birleşimlerinin plastik deformasyonlarını göstermektedir. Çok düzlemlü K-birleşimlerin plastik deformasyonları, örgü elemanları arasındaki mesafe azaldıkça birleşim bölgesinde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 11. Farklı β oranına sahip çok düzlemlü K-birleşimlerinin plastik deformasyonları. (a) KK-0.31-60-15.4. (b) KK-0.39-60-15.4. (c) KK-0.46-60-15.4

Bir diğer geometrik parametre, başlık ve örgü elemanları arasındaki dar açıdır (θ). Bu açı büyüdükçe, başlık elemanına yük aktarılan alan azaldığı için birleşimin dayanımı azalmaktadır. Şekil 12, farklı θ açılara sahip örgü elemanlarının çok düzlemlü K-

birleşimlerin başlık elemanları üzerindeki temas yüzeyleri görünmektedir. Şekil 12'den görüldüğü üzere, açı arttıkça, başlık elemanı üzerindeki temas yüzeyi azalmaktadır ve dolayısı ile birleşimin dayanımı azalmaktadır.



Şekil 12. Başlık elemanı üzerinde farklı açılara sahip örgü elemanlarının temas yüzeyleri. (a) KK-0.39-30-15.4. (b) KK-0.39-45-15.4. (c) KK-0.39-60-15.4

4. Sonuçlar

Çok düzlemlü K-birleşimlerin dayanımları, sonlu elemanlar modeli kullanılarak incelenmiştir. Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (CYTYE, 2016) yönetmeliğinde, bu tip birleşimlerin dayanımlarının hesaplanabilmesi için herhangi bir öneri söz konusu değildir. Ancak, CYTYE (2016)

düzlem kafes birleşimlerin dayanımlarını kapsamaktadır. Bu yüzden, sayısal modellerin doğrulama çalışması yapıldıktan sonra bir dizi parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çok düzlemlü K-birleşimlerin dayanımları, sayısal analiz sonuçları ile CYTYE (2016) de belirtilen düzlem kafes K-birleşimlerin dayanım yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, düzlem kafes birleşim yöntemlerinin aynı zamanda çok düzlemlili K-birleşimleri için güvenli ve ekonomik sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu yüzden, Avrupa yönetmeliğindeki %10'luk azaltma faktörünün kullanılmasına gerek yoktur. Ancak, bu yöntemin kullanılabilmesi için, örgü elemanları üzerindeki aksel yüklerin yatay bileşenleri başlık elemanında ekstra gerilmelere sebep olduğundan başlık elemanı - gerilme etkileşim parametresinin dikkate alınması gereklidir. Çünkü, bu çalışma kapsamında, başlık elemanı üzerindeki ekstra gerilmeler dengeleyici bir aksel yükleme (Q_c) ile ortadan kaldırılmıştır.

Ayrıca, çok düzlemlili K-birleşimlerin dayanımlarını belirlerken Lu'nun deformasyon sınırı dikkate alınmıştır. Tüm birleşimlerin maksimum dayanımları deformasyon sınırından önce meydana geldiği için yük - deformasyon eğrilerindeki maksimum değer, birleşimin dayanımını belirlemiştir. Uzay kafes K-birleşimlerin iki farklı göçme modu olmasına rağmen, birleşimlerin dayanımları onların geometrik özellikleri ile ilişkilidir. Bu yüzden, çok düzlemlili ve ara uzaklıklı K-birleşimlerin dayanımları denklem 1 ile hesaplanabilir.

Kaynaklar

ABAQUS, V., 2017. 6.17 documentation, Dassault Systems Simula Corporation

Boresi, A. P. ve Schmidt, R. J., 2003. Advanced Mechanics of Materials, John Wiley and Sons Press, USA.

CEN EN 1993-1-8, 2005. Design of Steel Structures, Design of Joints, British Standard Institute, London.

Chen, Y., Feng, R. ve Gao, S., 2015. Experimental Study of Concrete-filled Multiplanar Circular Hollow Section Tubular Trusses, Thin-Walled Structures, 94, 199-213.

CYTYE, Türk Standartları Enstitüsü, 2016. Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara.

Dessouki, A. K., Ibrahim, S. M. ve Khalaf, M. A., 2009. The Ultimate Capacity Of Stiffened And Unstiffened Multi-Planar Tubular KK-Joints In Offshore Structures, Civil Engineering Research Magazine, Cairo, Egypt.

Forti, N. C., Requena J. A. V. ve Forti T. L., 2015. Parametric Study of Tubular KK Multiplanar Steel Connections, Journal of Constructional Steel Research, 114, 188-195.

Forti, N. C., Requena J. A. V. ve Forti T. L., 2017. Numerical Methodology for Analyses of Tubular KK Multiplanar Steel Joints, REM-International Engineering Journal, 157-165.

Lee, M. ve Wilmshurst, S., 1995. Numerical Modelling of CHS Joints with Multiplanar Double-K Configuration, Journal of constructional steel research, 32, (3), 281-301.

Lee, M. ve Wilmshurst S., 1996. Parametric Study of Strength of Tubular Multiplanar KK-joints, Journal of Structural Engineering, 122, (8), 893-904.

Liu, D. ve Wardenier, J., 2001. The Strength of Multiplanar Gap KK-joints of Rectangular Hollow Sections Under Axial Loading, The Eleventh International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway.

Liu, D. ve Wardenier, J., 2002. The Strength of Multiplanar Overlap KK-joints of Rectangular Hollow Sections Under Axial Loading. The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan.

Lu, L. H., De Winkel, G. D., Yu, Y. ve Wardenier J., 1994. Deformation Limit for the Ultimate Strength of Hollow Section Joints, Proceedings of the Sixth International Symposium on Tubular Structures, Melbourne, Australia.

Makino, Y., Kurobane Y. ve Ochi K., 1984. Ultimate Capacity of Tubular Double K-joints, Proceedings of the 2nd International Institute of Welding Conference on Welding of Tubular Structure, Pergamon Press Tarrytown, NY.

Ozyurt, E., 2018a. Yangında Elips Enkesitli Aksel Yüklü Taşıyan Çelik Kolonların Davranışı, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Bursa, 23, 1, 205-206.

Ozyurt, E.; Wang, Y. C., 2018b. Resistance of Axially Loaded T-and X-Joints of Elliptical Hollow Sections at Elevated Temperatures—A Finite Element Study. In: Structures. Elsevier, 15-31.

Özyurt, E. and Yılmaz, M., 2019. Düzlem İçi Eğilme Momenti Altındaki Elips Enkesitli T-birleşimlerinin Dayanımları, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3), 547-556.

Paul, J. C., 1992. The Ultimate Behavior of Multiplanar TT-and KK-joints Made of Circular Hollow Sections, PhD thesis, Kumamoto University, Japan.

Tong, L., Xu, G., Zhao, X.-L., Zhou, H. ve Xu, F., 2019. Experimental and Theoretical Studies on Reducing Hot Spot Stress on CHS Gap K-joints

with CFRP Strengthening, Engineering Structures, 201, 1-17.

Woghiren, C. ve Brennan, F. P., 2009. Weld Toe Stress Concentrations in Multi-planar Stiffened Tubular KK Joints, International Journal of Fatigue, 31, 164-172.

Zhao, X., Qiu, S., Hu, K., Sivakumaran, K. S. ve Chen, Y., 2019. Capacity of Multi-planar Out-of-plane Overlapped Tubular KK-joints Having Different Joint Details, Journal of Constructional Steel Research, 158, 182-200.

Akarsuların Önemi ve Farklı Kullanımları Üzerine Bir Değerlendirme

An Evaluation on Importance and Different Use of Rivers

Nurhan KOÇAN*^{1,a}, Nüket ANKARALI^{1,b}

¹Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü

• Geliş tarihi / Received: 14.02.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 12.08.2020

Öz

Doğal kaynaklar insanların yerleşim alanı seçiminde önemli faktörler olmuştur. Bu nedenle ilk yerleşmelerin çoğu su kenarlarında kurulmuştur. Su kaynaklarının insan üzerindeki fiziksel ve psikolojik yönden olumlu etkileri her zaman insanları suya çekmiştir. Bu çalışmada Avrupa ve ülkemiz örneğinde akarsuların farklı kullanımlarının belirlenmesine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda yurt dışı kentlerden Sırbistan'ın Belgrad ve Novi Sad kentlerinden geçen Sava ve Tuna Nehirleri (2014 ve 2016), Çekya'nın Prag kentinden geçen Vltava Nehri ve Karlovy Vary kentinden geçen Hluboka Nehri (2014 ve 2016), Macaristan'ın Budapeşte kentinden geçen Tuna Nehri (2014 ve 2017), Ukrayna'nın Kiev kentinden geçen Dinyeper Nehri (2018) ve yakın çevrelerinde incelemeler yapılmıştır. Yurt içi kentlerinden ise Nevşehir'in Avanos ilçesinden geçen Kızılırmak Nehri (2016), Edirne'den geçen Meriç Nehri (2017) ile Eskişehir'den geçen Porsuk Çayı (2018) ve yakın çevrelerinde sörvey çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada örnek olarak seçilen akarsular ve yakın çevrelerinde en çok tercih edilen kullanımlar belirlenmiştir. Bu tespitin akarsu kenarlarında yapılacak peyzaj düzenlemelerinde alana getirilebilecek kullanım türünün belirlenmesinde rehberlik edeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Akarsu, Akarsu Peyzajı, Peyzaj Tasarımı, Rekreasyon

Abstract

Natural resources have been important factors in the selection of residential areas. For this reason, most of the first settlements were built on the water's edge. Physical and psychological positive effects of water resources on people have always drew people into water. In this study, different uses of rivers in the example of the world and our country were carried out to determine usage preference. In this context studies were done that is Sava and Danube Rivers passing through Belgrade and Novi Sad cities of Serbia (evaluated in 2014 and 2016), Vltava River passing through Prague and Hluboka River passing through Karlovy Vary (evaluated in 2014 and 2016) cities of Czech Republic, Danube River passing through Budapest city of Hungary (evaluated in 2014 and 2017) and Dnieper River passing through Kiev city of Ukraine (evaluated in 2018). Surveys have been carried out in the Kızılırmak River passing through Avanos district of Nevşehir (evaluated in 2016), Meriç River passing through Edirne (evaluated in 2017), Porsuk Stream passing through Eskişehir (evaluated in 2018) and its vicinity. In the study, the most preferred uses in the selected streams and their close surroundings were determined. It is thought that this study will guide the determination of the type of use that can be brought to the area in the landscape arrangements to be made at the river borders.

Keywords: River, River Landscape, Landscape Design, Recreation

*^a Nurhan Koçan, nkocan@bartin.edu.tr, Tel: (0378) 223 51 58 , orcid.org/0000-0001-9433-7007

^b orcid.org/0000-0001-9433-7007

1. Giriş

Akarsular ekolojik ve ekonomik anlamda değerli doğal kaynaklardır. Bu nedenle yüzlerce yıldır çeşitli amaçlarla kullanılmışlardır. Bu kaynaktan ekolojik değerlerine zarar vermeden yararlanmak öncelikli amaçtır. Bu nedenle bu alanların doğru şekilde planlanıp tasarlanması ve kamu yararı gözetilerek planlanması gerekir (Önen, 2006). Özellikle son yıllarda kent yaşamında doğadan kopan kentliler için akarsu gibi bir kaynağın varlığı kentliler için yeni ekonomik ve ticari olanakları beraberinde getirmiştir. Bazı durumlarda ihmal edilen ve kirletilen kentsel doğal su elemanlarının kent için önemini ve suyun mekan tasarımlarına kattığı gücün değerinin anlaşılmasıyla günümüzde farkındalığı artmıştır (Cendere, 1998).

1.1. Akarsuların Önemi ve Akarsu Kıyı Kullanımları

İnsan temel gereksinimleri nedeniyle su ile bağlıdır. İnsanlar yaşam alanlarını ya su

kenarlarında kurmakta ya da kanallar ile yaşadıkları yere suyu taşıyarak hayatlarını sürdürmektedirler (Haris ve Dines, 1988). Suyun insan üzerinde yarattığı estetik etki, kent içindeki doğal su kaynaklarına önem verilmesinde etkilidir (Anonim, 1998).

Kentleşmenin hızıyla ortaya çıkan doğal alan ve kaynaklardaki bozulmalardan dolayı doğal kaynakların korunması ve geliştirilmesi önem kazanmıştır. Kent içindeki su varlığı, kentlerin gelişimine etki eden önemli bir faktördür. Bu nedenle bu alanların kamu yararı gözetilerek doğru şekilde planlanıp tasarlanması gerekir. Su kaynaklarının insan üzerinde fiziksel ve psikolojik yönden olumlu etkileri vardır. Çevre üzerinde ise estetik ve fonksiyonel yönden olumlu özellik kazandırır (Önen, 2006). Suyun manzara oluşturması ve insanları dinlendirme etkisi önemli bir güçtür. Akarsular mekana canlılık ve heyecan katarak insanları çeken ve etkileyen görüntüler oluşturmaktadır (Aksulu, 2001) (Şekil 1a, Şekil 1b).



Şekil 1. (a) Amsterdam Kanalları, Hollanda (URL-9, 2019), (b) Arno Nehri, Floransa, İtalya

Suyun estetik, yansıtma ve derinlik yaratma etkileri vardır. Bunlar mekanı zenginleştirerek insanlar için kaliteli mekanlar oluşturur (Anonim, 1998a). Kapalı ve kuşatılmış bir kentsel mekanda bir su kaynağının insana fiziksel ve ruhsal olumlu etki yaptığı bilinen bir gerçektir. Planlama çalışmalarında suyun bu etkilerine ek olarak yapılacak bitkisel ve yapısal tasarımlarla mekanın özellikleri zenginleştirilebilir (Hattapoğlu, 2004).

Akarsu kıyı kullanımları; ulaşım, endüstri, ticari, yerleşim, kültür ve eğitim ile rekreasyon amaçlı kıyı kullanımları şeklinde sıralanabilir.

1.1.1. Ulaşım Amaçlı Kullanımlar

Kıyılarda, yolcu ve ticaret limanları, yat tesisleri, iskeleler, sudaki ulaşımı destekleyen demirleme alanları ve küçük esnafa ait işletmeler yer almaktadır. Ulaşım amaçlı kullanımlar seyahat

amaçlı ulaşım, ticaret amaçlı ulaşım, rekreasyon amaçlı ulaşım olmak üzere üç farklı şekilde değerlendirilmektedir. Kıyı kentlerinde kıyıda bulunan endüstri tesislerinin taşınması veya faaliyetini durdurması sonucu bu alanlarda rekreasyon ve yenileme amaçlı projeler uygulamaya konulmuştur. Shadwell Basın (Doğu İngiltere) de bu tür bir alandır (Şekil 2).



Şekil 2. Shadwell Basın (URL-11, 2019)

Alan, endüstrinin çekilmesiyle restoran, yat, kano, yelkencilik kulüpleri ile bir rekreasyon alanına dönüştürülmüştür (Kobayashi, 1990). Seyahat amaçlı ulaşım için kıyılarda iskeleler, yolcu ve yat limanları bulunur (Musayev, 2003). Kıyı alanlarında rekreasyon amaçlı ulaşım bisiklet, paten yolları, yürüyüş yolları, vb. yollar ile sağlanmaktadır. Rekreasyonel amaçlı kıyı ulaşım alanları kent ve kentliye yarar fiziksel ve ruhsal birçok fayda sağlayan kullanımlardır.

1.1.2. Endüstri Amaçlı Kullanımlar

Kıyıların endüstri amaçlı tercih edilmesinin temel nedenleri; (Karabey, 1978).

- Kıyının kara ve su ulaşımı arasında geçişi sağlayan bir kırılma noktası olması ve depolama kolaylığı,
- Endüstrinin ürettiği atıkların arıtılmadan su aracılığıyla uzaklaştırılabilmesi ve bunun maliyetinin olmaması,
- Kıyının hammadde kaynağı (kum, çakıl, kalker, deniz bitkileri) olarak kullanılabilmesi,
- Akarsu ve denizlerin ticari açıdan ulaşım aracı olarak kullanılmasıdır (Tekeli, 1976).

Kıyılarda deniz ve akarsu taşımacılığındaki gelişmeler endüstri devrimi ile artış göstermiştir. Bu gelişim liman sayısının artmasına neden olmuştur. Kara taşımacılığına göre su yoluyla taşımacılık maliyetinin düşük olması liman yapımını teşvik etmiştir. Böylelikle kıyılardaki endüstri kullanımı artmıştır (Özmert, 1997) (Şekil 3).



Şekil 3. Sanayii yapıları, Tampere, Finlandiya (Hattapoğlu, 2004)

1.1.3. Ticari Amaçlı Kullanımlar

Ticari amaçlı kullanımlar halka rekreasyonel mekanlar sunmanın yanı sıra para kazanmayı hedefleyen kullanımlardır. Oteller, restoranlar, kafeler, alışveriş mekanları bu kullanımlara örnek verilebilir. Birçok rekreatif aktiviteye imkan tanıyan kıyılar kent ve kentli için suya yakın olmak ve sudan faydalanmak adına bulunmaz mekanlardır. Ticari amaçlı kullanımlara örnek olarak; Avustralya Yara Nehri rekreasyon imkanı sunan güzel bir uygulamadır (Breen ve Rigby, 1996) (Şekil 4).



Şekil 4. Yarra Nehri, Melbourne, Avustralya (URL-12, 2019)

1.1.4. Yerleşme Amaçlı Kullanımlar

Tarih boyu kıyılar doğal ve çevresel özellikleri bakımından yerleşim için tercih edilen öncelikli yerler olmuştur. İnsanlar akarsuların oluşturduğu tüm riskler ve tehlikelere rağmen akarsu kenarlarını kullanmaya devam etmektedir (Breen ve Rigby, 1996).

Kentlerin kuruluşunda nehirler kentlerin iskeletini oluşturmuş caddelerin, sokakların, parkların ve diğer kent mekanların şekillenmesinde etken olmuşlardır (Hattapoğlu, 2004). Su ile buluşan kentlerin kendine özgü bir karakteri vardır (Koskof, 1992) (Şekil 5).

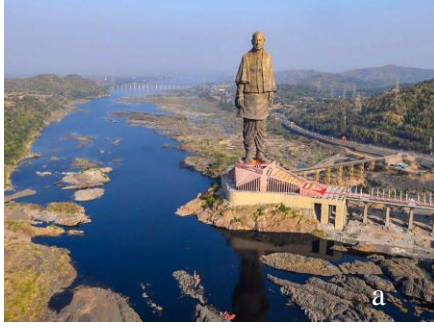


Şekil 5. Sein Nehri'nde su üzerinden geçişler, Paris (URL-1, 2018)

1.1.5. Kültür ve Eğitim Amaçlı Kullanımlar

Kültür ve eğitim amaçlı kıyı kullanımlarına festival ve konser alanları, müzeler, parklar, çocuk oyun alanları, spor alanları, sergi alanları gibi kültürel ve eğitimsel amaçlı kullanımlar örnek olarak verilebilir. Bu tür kültürel etkinlikler kıyıları cazip hale getirirken insanları gezerken

öğrenmeye de teşvik etmiştir. Su bazı toplumlarda ya da dinlerde kutsal sayılır. Hindular Ganj Nehri sularının insanı günahlarından arındırdığına inanırlar. Binlerce insan her yıl hacı olmak için bu nehre girer. İnsanlarda arınma duygusu psikolojik açıdan rahatlatıcı yaratır (Hattapoğlu, 2004) (Şekil 6a, Şekil 6b).



Şekil 6. (a) Sardar Vallabhbhai Patel heykeli, Narvada, Kevadiya, Hindistan (URL-13, 2019), (b) Haç ibadeti, Ganj Nehri, Hindistan (URL-10, 2019)

1.1.6. Rekreasyonel Amaçlı Kullanımlar

Rekreasyonel amaçlı kullanımlar kıyılarda en çok tercih edilen kullanım türünü oluşturmaktadır. Kıyıları açık yeşil alan potansiyelinin yoğun olduğu kentlilerin nefes aldığı noktalarıdır

(Anonim, 1998). Su yüzeyinde ve içinde, su kıyısında pek çok rekreasyon aktiviteleri düzenlenebilir. Örneğin; yüzme, dalma sporu, kano yarışları, avlanma, tekne gezileri, yürüyüş, piknik alanları bunlardan bazılarıdır (Erdal, 2003) (Şekil 7a, Şekil 7b).



Şekil 7. (a) Tampere kıyısında rekreasyon (Hattapoğlu, 2004), (b) Rekreasyonel kullanımlar, Yarra Nehri, Melbourne, Avustralya (URL-12, 2019)

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada örnek olarak seçilen kentlere farklı mevsimlerde gidilerek sörvey çalışması yapılmıştır. Böylece farklı mevsim ve ay olmak üzere günün farklı zaman dilimlerinde alanın kullanıcılar yönünden nasıl tercih edildiği, alan bütünü dahilinde hangi aktivitelerin yapıldığının tespiti yapılmıştır. Yurt içi kentlerden örnek alanların incelenmesi ve program elemanlarının tespiti için Türkiye’de en aktif olarak kullanılan ve bilinen nehirler seçilmiştir. Nevşehir Avanos Kızılırmak Nehri (2016), Edirne Meriç Nehri (2017) ile Eskişehir Porsuk Çayı (2018) ve yakın

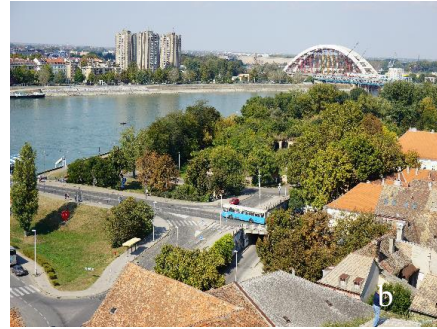
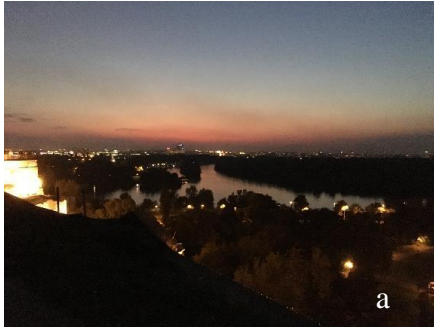
çevrelerinde sörvey çalışmaları yapılmıştır. Yurt dışı kentlerden örnek alanların incelenmesi ve program elemanlarının tespiti için Sırbistan Belgrad ve Novi Sad, Sava ve Tuna Nehirleri (2014 ve 2016), Çekya Prag Vltava Nehri ve Karlovy Vary Hluboka Nehri (2014 ve 2016), Macaristan Budapeşte Tuna Nehri (2014 ve 2017), Ukrayna Kiev Dinyeper Nehri (2018) ve yakın çevrelerinde sörvey çalışmaları yapılmıştır. Yapılan gözlem ve değerlendirmelerle elde edilen tespit sonuçları fotoğraflarla kayıt altına alınmıştır. Diğer yandan alanın doğal ve kültürel verilerine yönelik literatür taraması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Avrupa’da ve Türkiye’de

nehir kenarları ve yakın çevrelerinde en fazla tercih edilen ve uygulamada en fazla görülen kullanım türleri ortaya çıkarılmıştır. Bu tespitin akarsu kenarlarında yapılacak peyzaj düzenlemelerinde kullanım türünün belirlenmesinde rehberlik edeceği düşünülmektedir.

3. Bulgular

3.1 Avrupadan Akarsu Kıyısı Düzenleme Örnekleri

Avrupa örneklerinden 4 ülkeye ait nehir örnekleri yerinde görülerek incelenmiştir.



Şekil 8. (a) Sava ve Tuna Nehirleri birleşim noktası, Belgrad, (b) Tuna Nehri üzerindeki farklı köprülerden bir görünüm

Sava ve Tuna Nehirleri'nin kesiştiği bölgede irili ufaklı birkaç ada oluşmuştur. Bu adalardan en önemlisi Ciganlija Adası'dır. Doğal yaşamın

korunduğu ve Belgradlıların denizi olmadığı halde tüm sahil ihtiyaçlarını karşıladığı ada burasıdır (URL-2, 2018).



Şekil 9. (a) Tuna Nehri üzerinde tekne turları, Novi Sad, (b) Tuna Nehri kenarı dinlenme alanları, Novi Sad

Bölgede akarsu kıyılarında yeni bir turistik ve kültürel mekan oluşmuştur. Nehir kıyısı boyunca restoran ve ticaret yapıları yer almaktadır. Nehir kıyısının düzenlenmesi ile yukarıdan nehirlerin birleşme yerini izleme, oturma, dinlenme, yeme-içme, bisiklete binme, alışveriş vb, etkinlikleri içeren aktivite olanaklarıyla bölgeyi çok sayıda kişi ziyaret etmektedir. Nehir kenarları boyunca düzenlenen yeşil alanlar, dinlenme ve eğlenme

alanlarıyla çeşitlendirilmiştir. Alan iki kotta çözümlenmiştir. Kotlar arasında çeşitli yüksekliklerde duvarlar vardır. Üst kotta araç yolu ve yürüyüş yolu bulunmakta, su ile bire bir ilişkide olan alt kotta ise gezinti yolları yer almaktadır. Alan içindeki döşeme elemanları doğal taş ve granit malzemedir (Şekil 9a, Şekil 9b).

3.1.2 Çekya Vltava (Prag) ve Hluboka (Karlov Vary) Nehirleri

Tarihi yapılarıyla önemli bir şehir olan Prag'ı özgün kılan nehir olan Vltava Nehri 435 km boyunca Çek Cumhuriyeti topraklarına eşlik etmektedir. Azgın su anlamına gelen Vltava günümüzde dalga setlerle ve açılan su kanallarıyla ıslah edilmiştir. Nehrin şiddetli akan suları, üzerine inşa edilen köprülere defalarca zarar vermiştir. Bu yüzden nehir ve çevresi şehrin fakir halkın yerleşim yeri olmuştur. Nehir çevresinde tekne turları yapılabilmektedir. Sandal ve su bisikleti kiralanabilecek noktalar bulunmaktadır (URL-3, 2019) (Şekil 10a, Şekil 10b).

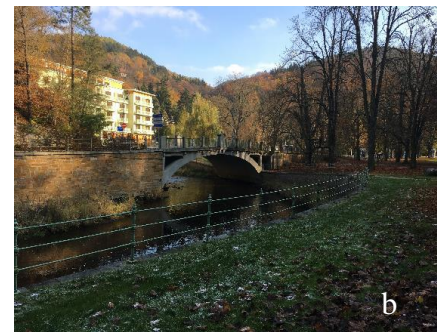
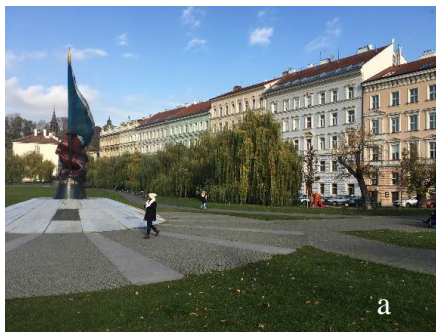
Heykellerle süslü köprülerde el sanatları, sokak sanatçıları, resim, heykel, müzik gibi aktiviteler yanında şehri fotoğraflamak ve görmek isteyenler yoğun olarak kente gelmektedir. Dış cephelerde ve yaya yollarında bazalt ve doğal taşlar kullanılmıştır. Kıyıdaki donatılar kıyı görünümünü zenginleştiren öğelerdir. Nehir kanalı boyunca bronz ve taş heykeller alana estetik katmaktadır. Yeni düzenleme kapsamında geniş yaya yolu yer almaktadır. Nehre kimlik katan tarihi ve sanatsal özellikler köprülerle nehir boyunca alan hareketlendirilmiştir. Bitkiler ve aydınlatma elemanları ile alan gece de çok sayıda kişiyi kıyıya çekmektedir. Nehir kenarı düzenlemeler kentin ticari, mekansal ve rekreasyonel değerini arttırmıştır (Şekil 11a, Şekil 11b).



Şekil 10. (a) Tuna Nehri kenarı yürüyüş yolları, Prag, (b) Tuna Nehri üzerinde yer alan köprülerden biri ve dinlenme alanları, Prag

Alanda yürüyüş yolları, kafeler, ticari alanlar, hediyelik eşya satış birimleri, yeme içme noktaları, kültür- sanat ve eğlence alanlarını

içermektedir. Nehirde tekne ve botlarla gezme, balık tutma ve su sporları yapma imkanı sağlanmıştır (Şekil 12a, Şekil 12b).



Şekil 11. (a) Nehir kenarına yakın konumlanmış, resmi binalar, meydan ve park, Prag, (b) Hluboka Nehri ve çevresi, Karlov Vary



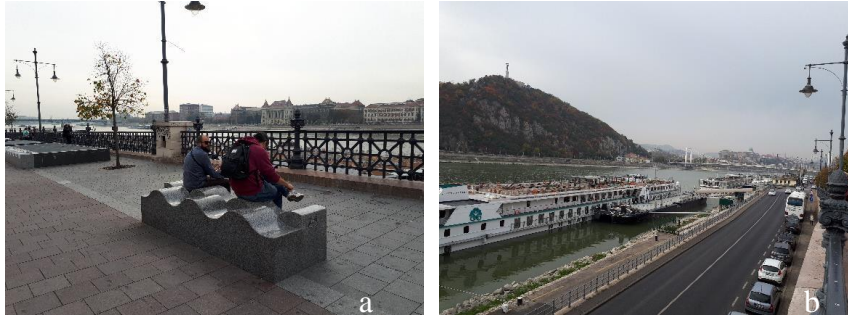
Şekil 12. (a) Nehir çevresinde yer alan kültür ve sanat yapıları, Karlovy Vary, (b) Nehir çevresinde yer alan kafeterya ve restoranlar, Karlovy Vary

3.1.3 Macaristan (Budapeşte) Tuna Nehri

Tuna Nehri'nin iki yakasındaki Buda ve Peşte şehirlerinin 1873 yılında birleşimiyle oluşan Budapeşte, Orta Avrupa'yı ziyarete çıkan turistlerin uğramadan geçmediği bir şehirdir. Tuna Nehri'nin etrafında özenle kurulmuş ve bu nehrin kattığı güzellikle hayat bulan kent, ziyaretçilerine hem tarihe yolculuk yaptırmakta hem de güncel turizm isteklerini yaşatmaktadır. Tuna Nehri'nin iki yakasını birleştiren köprülerin özellikle gece görünümleri ziyaretçileri etkilemektedir. 120 ırmaktan beslenerek 10 ayrı ülke topraklarından geçen Tuna Nehri'nin en güzel görüldüğü kent olarak gösterilen Budapeşte, adeta açık hava müzesi gibidir. İki yakayı birleştiren birçok köprü ile Tuna Nehri'nin etrafındaki tarihi binalar, Gellert Tepesi'nden büyüleyici bir görüntü sunmaktadır

(URL-4, 2019). Nehir kıyısında yer alan yapılar, otel, park alanları, kilise ve yönetim binaları gibi çoğunluğu tarihi olan yapılardır. Konut alanları ise kıyının gerisine taşınmıştır.

Nehir ile kara arasında farklı iki kot bulunmaktadır. Üst kotta oturma elemanları, yürüme yolları ve seyir terasları bulunurken alt kotta, feribot ve gezinti botları için iskeleler yer almaktadır. Nehrin her iki yanında kentin eski yerleşimine ait önemli ve büyük tarihi yapılar yer almaktadır. Nehir kenarında otoyol vardır ancak halk yüzünü nehre dönerek kentin bu yoğun atmosferinden kurtulmaktadır. Kıyının bazı bölümlerinde yaya yolu genişlemekte ve az bir eğimle suya doğru inmektedir. Alanda gece aydınlatmaları yapılmış olup aydınlatmalar alana çekicilik katmaktadır (Şekil 13a-16b).



Şekil 13. (a) Nehir çevresinde yer alan oturma birimleri, Budapeşte, (b) Farklı kotlarda yer alan kent kesiti, Budapeşte



Şekil 14. (a) Nehir çevresinde yer alan bisiklet kiralama ve park noktaları, Budapeşte, (b) Yeşil Köprü (Liberty Bridge) ve tekne turları, Budapeşte



Şekil 15. (a) Chain Köprüsü ve kenti gezenler, Budapeşte, (b) Nehir kenarında yer alan parklardan bir görünüm, Budapeşte



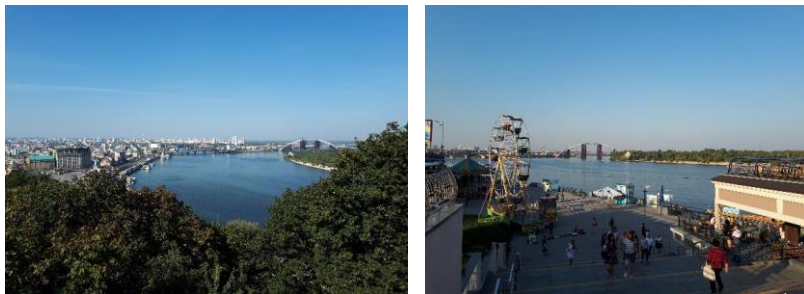
Şekil 16. (a) Nehir kenarında farklı kotlarda çözülmüş oturma ve seyir alanları, Budapeşte, (b) Nehir ve kentin sonbahar görüntüsü, Budapeşte

3.1.4 Ukrayna (Kiev) Dinyeper Nehri

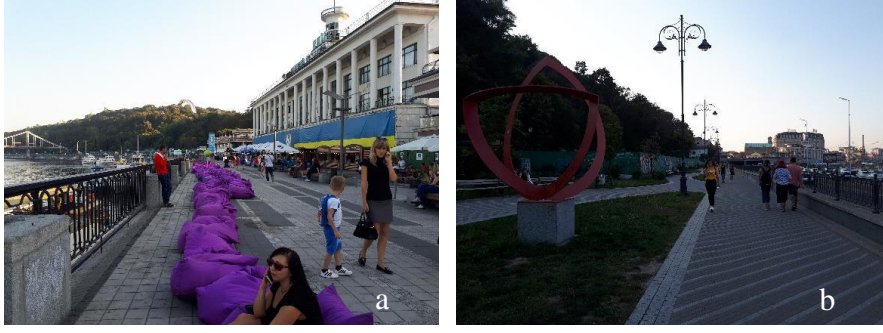
Dinyeper (Dnipro) Rusya ile Ukrayna topraklarının geçen görünüm açısından zengin bir nehirdir. İdil ve Tuna nehirlerinden sonra Avrupa'nın üçüncü uzun nehridir. 2290 km mesafe uzunluğundaki bu nehir, Valday Dağları yaylasının güneyinden doğar ve Smolensk'e ulaşır, Türkçe adı Beyaz Rusya olan Belarusa doğru uzanır, Beyaz Rusya'nın doğu kısmından geçerek Ukrayna'ya ulaşır. Sol tarafından Desna Irmağı ile birleşen bu nehir daha sonra Kiev'e geçer. Dinyeper Yaylası'nı bir eğimle dolaşır ve kıyı kısmını kısmen kapattığı bir haliç meydana getirerek Odessa'nın doğusundan devam ederek Karadeniz'e dökülür (URL-5, 2019).

Dinyeper Nehri kenarında yerli halk ve yabancı turistlerin turizm ve rekreasyon amacıyla

bulabildiği birçok aktivite alanı vardır. Oturma ve dinlenme alanları, kafeterya ve restoranlar, balık tutma, tekne gezintisi, lunapark, meydan aktiviteleri, bisiklet gezintisi, fotoğraf çekme gibi aktiviteler için nehir kenarında çok sayıda tesis ve alan ayrılmıştır. Dinyeper Nehri kenarında gezinti alanları, oturma birimleri, lunapark ve restore edilen tarihi binalar ve geniş bir meydan yer almaktadır. Bu meydan, insanların toplandığı ve birçok aktivitenin gerçekleştirildiği alandır. Nehir boyunca devam eden yaya yolunda döşeme farklılarıyla monotonluk kırılmıştır. Bu şekilde farklı aktiviteler için mekanların tanımlanması ve ayrılması da sağlanmıştır. Kıyı düzenleme projesi kapsamında, nehir kıyısı, tur botları ile gezilebilmektedir. Nehir kıyısındaki turistik ve ticari yapılar kent için önemli bir yer tutmaktadır (Şekil 17a-18b).



Şekil 17. (a) Dinyeper Nehri, Kiev, (b) Nehir kenarındaki eğlenme ve dinlenme alanları, Kiev



Şekil 18. (a) Nehir kenarında yayalaştırılmış mekanlar, Kiev, (b) Dinyeper Nehri kenarında yürüyüş yollarına eşlik eden sanatsal objeler, Kiev

3.2 Türkiye'den Rekreatif Kullanımı Olan Akarsu Kıyısı Düzenleme Örnekleri

Türkiye'den üç örnek yerinde görülerek incelenmiştir.

3.2.1 Kızılırmak Avanos-Nevşehir

Nevşehir'in en büyük akarsuyu Kızılırmak'tır. Bu ırmak Avanos ilçesinden Nevşehir İli'ne girip il

topraklarını ikiye böler. Arapsun (Gülşehir)'den sonra il sınırlarını terkeder (URL-6, 2019). Avanos Nehri boyunca oturma ve dinlenme alanları, kafeterya ve restoranlar, park alanı, bisiklet ve yürüyüş yolları, seyir terasları, nehir botu ve kayıkla gezinti yapılabilecek alanlar bulunmaktadır. Yine alan çevresinde kente özgü el sanatları ve hediyelik eşyaların alınabileceği dükkanlar yer almaktadır (Şekil 19a, Şekil 19b).



Şekil 19. (a) Nehir üzerinde gezinti yapan tekne ve bot kiralama alanları, Avanos, (b) Nehir kenarı yürüyüş yolları ve dinlenme alanları, Avanos

3.2.2 Edirne Meriç Nehri

Meriç Nehri, Balkanlar'ın en büyük nehirlerinden biridir. Nehir Bulgaristan'dan doğar. Buradan Edirne'den geçip Ege Denizi'ne ulaşır. Toplamda 490 kilometre uzunluğunda olup; Arda, Ergene ve Tunca başlıca beslediği akarsu yataklarıdır. Manzarası ile çoğunluğu yerli olmak üzere çok sayıda turist çekmektedir. Nehir kenarında oturma ve dinlenme alanları, yürüyüş yolları, çocuk oyun alanı, kamp alanı gibi rekreasyon etkinliklerine uygun düzenlenmiş alanlar bulunmaktadır. Nehir üzerindeki köprü

uzunluğu ve görünümü ile dikkat çekmektedir (URL-7, 2019).

Meriç Nehri kenarında dere ıslah çalışmaları devam etmektedir. Derenin daralan kesimlerinde genişleme, duvar yapımı gibi çalışmalarla suyun kente verdiği zarar önlenmeye çalışılmaktadır. Nehrin her iki yanındaki stabilize yol bazı kesimlerde asfalt bazı kesimlerde ise sıkıştırılmış mıcır şeklindedir. Yol kenarında toz hakim olup yaya yürüyüşünün kalitesini olumsuz etkilemektedir. Nehir kenarında çoğunluğu yazın aktif olan kafe ve restoranlar bulunmaktadır (Şekil 20a, Şekil 20b).



Şekil 20. (a) Meriç Nehri ve Mecidiye Köprüsü, Edirne, (b) Nehir etrafındaki kafeterya ve dinlenme alanları, Edirne

3.2.3 Eskişehir Porsuk Çayı

Sakarya Irmağı'nın en uzun kolu olan Porsuk Çayı, Eskişehir'in en önemli doğal güzelliklerinin başında gelmektedir. Eskişehir'in ortasından geçen Porsuk Çayı'nın kuzey tarafında Tepabaşı İlçesi, Güney tarafında ise Odunparazarı İlçesi bulunmaktadır (URL-8, 2019). Eskişehir Porsuk Çayı rekreasyon amaçlı düzenlemesi ülkemizdeki güzel örneklerden biridir. Nehir ıslah edilmiştir ve bakımları sürekli yapılmaktadır. Yol kotundan

belirli aralıklarla nehir kotuna inilebilecek yerler vardır. Doğal bitki örtüsü yanısıra mevsimlik çiçekler ve saksı bitkilendirmeleriyle alanda yeşil doku sağlanmıştır. Nehir üstünde farklı renk ve tasarımlarda köprüler yer almaktadır. Nehir gece ve gündüz olmak üzere günün her saatinde kullanılmakta her yaştan kullanıcıya hitap etmektedir. Nehir boyunca kafe restoranlar, oturma ve dinlenme alanları, eğlence mekanları, yürüyüş yolları ve kayıkla gezinti olanağı bulunmaktadır (Şekil 21a, Şekil 22b).



Şekil 21. (a) Porsuk Çayı ve kayıkla gezinti, Eskişehir, (b) Porsuk Çayı üzerindeki köprülerden bir görünüm, Eskişehir



Şekil 22. (a) Nehir çevresinde yer alan yürüyüş, bisiklet yolu ve sanatsal objeler, Eskişehir, (b) Nehir kenarına erişimi sağlayan kot çözümleri, Eskişehir

4. Tartışma ve Sonuçlar

İncelenen örneklere bakıldığında su kaynağının insana fiziksel ve ruhsal olumlu etki yaptığı görülmüştür. Farklı ülkelerde ve farklı kültürlerde bile olsa her insan uygun bulduğu her

an suyun çeşitli yararlarından faydalanmak için suyun bulunduğu alana yönelmektedir. Planlama çalışmalarında su kenarlarının bitkisel ve yapısal tasarımlarla zenginleştirilmesi ve mekanın özelliklerini geliştirmekte ve kullanıcılara farklı kullanım olanakları sağlamaktadır. Bu nedenle

Hattapoğlu'nun (2004) da vurguladığı gibi kentlerin kuruluşunda nehirler kentlerin iskeletini oluşturmuş; caddelerin, sokakların, parkların ve diğer kentsel mekanların şekillenmesinde etken olmuştur. İncelenen örneklere bakıldığında bu önermenin doğruluğu görülmektedir.

Çalışmada incelediğimiz 5 ülkeye ait 9 nehir örneğinde akarsu içinde ve çevresinde görülen alan kullanımları Tablo 1.de görülmektedir.

Akarsu kenarlarında genellikle balık tutma, bisiklet yolları, eğlence mekanları, hediyelik eşya satış birimleri, oturma dinleme alanları, tekne bot kayık kuru, ticaret alanları ve yeme içme birimlerinin yoğun olduğu görülmektedir. Çalışmanın sonucunda yurt dışındaki örneklere bakıldığında akarsu kaynağının daha verimli kullanıldığı, toplumun her kesimine hitap eden farklı kullanımlarla alanın zengin bir kullanım çeşitliliğine sahip olduğu görülmektedir. Yurt içi örneklerden ise en iyi uygulama Eskişehir Porsuk Çayı ve yakın çevresinin kullanımı örnek olarak verilebilir.

İncelenen örneklerde su kaynağının varlığının kentliler için ekonomik ve ticari olanakları beraberinde getirdiği görülmüştür. Bireylerin su kaynaklarını rekreasyonel gereksinimlerle tanınması ve değerlendirmesi, bu ortamlarda yapılacak yeni yatırımların gelişimini artırmıştır.

İncelenen örneklerde akarsu kıyı kullanımlarının toplumun her kesimine ve her yaşta kullanıcıya hitap edecek kullanımları barındırdığı görülmüştür.

Dünyanın birçok ülkesinde kıyı alanlarında koruma, geliştirme, işlev değiştirme gibi çalışmalar yapılmaktadır. Akarsu kıyılarında yapılan projeler yeniden canlandırma, mekânsal kullanım dönüşümü, taşkın kontrolü, akarsu yatağı ve kıyı düzenlemeleri, rekreasyonel alan tasarımı gibi çalışmalardan oluşmaktadır.

Akarsuların barındırdığı su kaynağı ve çevresindeki yeşil alanlar düşünülerek kullanımları ve korunmaları için bir sistem ve yönetim altına alınmaları gerekmektedir. Bu şekilde akarsu kıyılarındaki çevre kalitesi artırılabilir.

Akarsu ve çevrelerinin etkin ve verimli kullanımında peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarının katkısı büyüktür. Akarsu çevrelerinin kullanım ve korunmaları konusunda yurt dışında görülen olumlu örneklerin ülkemizde de uygulanması doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından yararlı olacaktır. Bu sayede kaliteli çevrelerin artışı sağlanacak ve insanlar için farklı etkinlik alanları kazandırılmış olacaktır.

Tablo 1. İncelenen nehirler ve kullanım türleri

Nehir \ Kullanım	Sırbistan (Belgrad, Novi Sad) Sava ve Tuna Nehirleri	Çekya (Prag) Hluboka (Karlovy Vary) Nehirleri	Macaristan (Budapeşte) Tuna Nehri	Ukrayna (Kiev) Dinyeper Nehri	Kızılırmak Avanos-Neveşehir	Edirne Meriç Nehri	Eskişehir Porsuk Çayı
Alışveriş Merkezi	*	*	*	*			*
Balık Tutma	*	*	*	*	*	*	
Bisiklet Yolu	*	*	*	*	*		*
Eğlence Mekanları	*	*	*	*	*	*	*
El Sanat Atölyeleri	*	*	*	*	*		*
Hediyelik Eşya Satış Birimleri	*	*	*	*	*		*
Lunapark				*		*	
Meydan	*	*	*	*			
Oturma-Dinlenme Alanları	*	*	*	*	*	*	*
Otel			*	*		*	*
Seyir Terası	*	*	*	*	*		*
Sokak Sanatı	*	*	*	*			*
Kamusal Tarihi Yapılar	*	*	*	*			
Tekne-Bot Kayık Turu	*	*	*	*	*	*	*
Ticaret Alanları	*	*	*	*	*		*
Yeme-İçme Alanları	*	*	*	*	*	*	*
Yeşil alan	*	*	*	*	*		*

Kaynaklar

- Aksulu, I., 2001. Su, İnsan ve Çevre İlişkileri Üzerine, Mimar.İst Dergisi, 2, 82-84.
- Anonim, 1998. Türkçe Sözlük, Türk Dil Kurumu, TDK yayınları, Ankara.
- Breen, A., Rigby, D. 1996. The New Waterfront, A Worldwide Urban Success Story. London, 224p.
- Cendere, A., 1998. Su Elemanlarının Kentsel Mekanlarda ve Yeşil Alanlarda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 223s.
- Erdal, Z., 2003. Su Elemanlarının Kentsel Mekanlarda Kullanımı 'İstanbul Örneği', Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 221s.
- Haris, C.W., Dines, N.T., 1988. Time Saver Standarts for Architecture. Mc Graw-Hill Publishing Company, 640p.
- Hattapoğlu, Z., 2004. Su Olgusunun Yerleşmeler Evrimindeki Yeri ve Günümüzde Bir Kentsel Tasarım Elemanı Olarak Yeniden Yorumlanması, Yüksek Lisans Tezi, MSÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 176s.
- Karabey, H., 1978. Kıyı Mekanın Tanımı: Ülkesel Kıyı Mekanının Tanımı İçin Bir Yöntem Önerisi, Doktora tezi, MSÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 183s.
- Kobayashi, H., 1990. Contemporary Landscapes in The World, Topran Printing Co., Tokyo, s.127.
- Koskof, S., 1992. Public Places. Bulfinch Press, Boston.
- Musayev, E., 2003. Kentsel Kıyı Dolgu Alanları Kullanımı Çerçevesinde Yalova 17 Ağustos Kıyı Parkının Peyzaj Planlama ve Tasarım Açısından İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 131s.
- Önen, M., 2006. Kentsel Kıyı Mekanı Olarak Akarsuların Rekreatyonel Kullanım Potansiyelinin İrdelenmesi: Eskişehir Porsuk Çayı ve İstanbul Kurbağalı Dere Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 203s.
- Özmert, N., 1997. Su Ortamında Yaşam ve Yerleşim Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 291s.
- Tekeli, İ., 1976. Kıyı Planlamasının Değişik Boyutları, Mimarlık Dergisi, Mimarlar Odası Yayını, Ankara, 2.
- URL-1, <http://earth.google.com>. 01 Temmuz 2018
- URL-2, http://www.proje4e.com/infoarticles01_11.html. 01 Temmuz 2018
- URL-3, <https://www.interbustur.com/sava-nehri/>. 10 Ocak 2019
- URL-4, <http://www.milliyet.com.tr/tuna-nehri-nin-incisi-budapeste-pembenar>. 10 Ocak 2019
- URL-5, <https://www.kievrehberiniz.com/dinyeper-nehri/>. 10 Ocak 2019
- URL-6, <http://www.cografya.gen.tr/tr/nevsehir/fiziki.html>. 10 Ocak 2019
- URL-7, <https://www.neredekal.com/meric-nehri/>. 10 Ocak 2019
- URL-8, <https://www.azbibak.com/porsuk-cayi-eskisehir-hakkinda-bilgi/>. 10 Ocak 2019
- URL-9, <http://www.harikalardiyari.com/amsterdam-kanallari/>. 10 Ocak 2019
- URL-10, <https://listelist.com/ganj-nehri-hikayesi/>. 10 Ocak 2019
- URL-11, https://www.getyourguide.com/tr/london-157/?utm_force=0. 10 Ocak 2019
- URL-12, <http://www.traveller.com.au/the-mysteries-flowing-in-melbournes-yarra>. 10 Ocak 2019
- URL-13, <https://www.livemint.com/Companies/IEVh420zqXh2GzPdLInYOJ/>. 10 Ocak 2019

Kızılırmak Delta Kıyı Alanındaki Tuzlanma Sürecinin Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Sea Water Intrusion in Kızılırmak Delta Coastal Area by Stuyfzand Hydrogeochemical Modeling System

Arzu FIRAT ERSOY*^{1,a}, Nazlı AYYILDIZ TURAN^{2,b}, Hava YILDIZ ÖZGÜL^{2,c}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

²Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü, 55070, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 27.04.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 11.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 12.08.2020

Öz

Bu çalışmada Türkiye'nin kuzey-orta kesiminde yer alan ve en uzun 3. akarsuyu olan Kızılırmak Nehri'nin kıyı kesiminde yer alan yeraltısuyunun hidrokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla 2017 yılında Haziran ve Ekim aylarında her dönemde 48 adet kuyudan alınan toplam 94 adet yeraltısuyu örneğinin pH, EC, TDS gibi fiziksel özellikleri belirlenmiş, bu örnekler üzerinde majör anyon katyon ve iz element analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilerek suların hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmış kıyı bölgesinde yeraltı suyunda deniz suyu girişiminin etkileri ortaya konulmuştur. Yapılan analizler değerlendirildiğinde her dönem için EC'nin 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinden yüksek olması, Na, SO_4 ve Cl değerlerinin ise Türk İçme Suyu Standardında tanımlanan sınır değerlerin üstünde olması nedeniyle akifer sularının içme ve kullanmaya uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Kızılırmak Deltası kıyı alanındaki yeraltısuyu örnekleri, Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre değerlendirilerek deniz suyu girişiminin etkileri ortaya konulmuştur. Buna göre; Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyu bileşiminin deltanın doğusuna gidildikçe NaCl'ye doğru değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, tatlı yeraltısuyu ile deniz suyu arasında geçiş koşullarının mevcut olduğu görülmektedir. NaCl su tipi ise delta alanında bir deniz suyu girişiminin varlığına işaret etmektedir ve yapılan hidrokimyasal analizler bölgede yeraltısuyunun %46'sının deniz suyu etkisinde olduğunu göstermektedir. Gelecekte Kızılırmak Deltası kıyı alanında yeraltısuyunun tuzlanmasının önüne geçmek ve yeraltısuyu kalitesinin bozulmasını önlemek için pompaja son verilmeli ve kıyı kesiminde yeni kuyu açılmamalıdır.

Anahtar kelimeler: Deniz Suyu Girişimi, Hidrojeokimya, Kızılırmak, Stuyfzand Sınıflama Sistemi, Türkiye

Abstract

In this study, hydrochemical properties of groundwater in delta of Kızılırmak River, which is the third longest river of Turkey and is located in the north-central part of the country were identified. For this purpose, physical properties pH, EC, TDS of samples taken from 48 wells in each period in June and October 2017 were determined, and major anion cation analyzes were performed. The hydrogeochemical properties of the waters were investigated by evaluating the data obtained and the effects of seawater intrusion in groundwater in the region were revealed. According to the analyzes results, the aquifer are not suitable for drinking and domestic purposes since EC values are higher than 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ for each period and Na, SO_4 and Cl are above the limit values according to the Turkish Drinking Water Standard. Groundwater in the Kızılırmak Delta area were evaluated by using the Stuyfzand Classification System and the effects of the sea water intrusion were revealed. According to this; while the chemical character of groundwater in the Kızılırmak delta area is of changes NaCl towards the eastern part of the delta. In addition, there is a transitional zone between fresh groundwater and seawater. NaCl water type indicates the presence of seawater intrusion in the delta area and based on hydrogeochemistry 46% of the groundwater in the study are under the influence of seawater. To prevent salinization of the groundwater in area and deterioration of their quality, pumping must be stopped, and new wells must not be drilled in the area.

Keywords: Sea Water Intrusion, Hydrogeochemistry, Kızılırmak, Stuyfzand Classification System, Turkey

*a Arzu FIRAT ERSOY; arzufirat@gmail.com, Tel: (0462) 377 20 63, orcid.org/0000-0002-4181-1219

^b orcid.org/0000-0003-2487-2199

^c orcid.org/0000-0002-5151-7988

1. Giriş

Son yıllarda dünyada nüfus artışı, endüstriyel gelişim, iklim değişikliği gibi birçok nedene bağlı olarak artan su tüketimi ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin önemi gittikçe artmaktadır. Su kaynaklarının yönetimi, yeraltısuyunun yaşamı ve insan ihtiyaçlarını sürdürmek için bir kaynak olarak oynadığı rolden dolayı mevcut küresel zorluklardan biridir. Dünyanın birçok yerinde kentleşmenin artması ve yaşam koşullarının iyileştirilmesi, içme suyu talebinin artmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda kıyı akiferleri kontrolsüz bir şekilde kullanıma açılarak yeraltı suyu aşırı miktarda tüketilmiştir (Gültekin vd., 2005; Sappa ve Luciani, 2015; Najaib vd., 2017).

Kıyı akiferleri denize hidrolik olarak bağlandıkları için, başlangıçta daha yoğun olan deniz suyu doğal olarak yeraltısuyu sistemine tabandan girişim yapar ve tatlı suyu tuzlu suya dönüştürmeye çalışır. Deniz suyunun sığ yeraltısuyu akiferine sızması, tatlı su seviyesinin deniz suyu seviyesinin altına düşmesi ve ters hidrolik gradyan oluşması sonucunda gerçekleşir. Artan su ihtiyacını karşılamak için bu tür kıyı akiferlerinden yeraltısuyunun aşırı kullanımı ise deniz suyunun yeraltısuyuna doğru ilerlemesini hızlandırır. Bunun sonucu olarak da yeraltısuyu tuzlanır ve su kuyuları terk edilmek zorunda kalınır (Nair, 2015; Al Farrah vd., 2011). Bir akifer sistemine deniz suyu girişi meydana geldiği zaman, yeraltısuyunda yalnızca yüksek toplam çözünmüş katı madde (TDS) bulunmaz, aynı zamanda çoğu ana katyon ve anyonun konsantrasyonları da oldukça yüksek değere ulaşır (Gültekin vd., 2013; Fırat Ersoy vd., 2007). Bu gibi yüksek TDS ve majör iyon konsantrasyonları kıyı akiferindeki yeraltısuyunun deniz suyu girişiminden etkilendiğini göstermektedir (Richter ve Kreitler., 1993).

Deniz suyu girişi, Türkiye, Kıbrıs, Mısır ve Tunus, Suriye ve Lübnan gibi denize kıyısı olan ülkelerde önemli bir konu olmaya başlamıştır (FAO, 1997). En yoğun nüfuslu yerleşim alanlarının özellikle kıyı bölgelerinde yoğunlaşması, bu bölgelerde tatlı suya olan ihtiyacı daha da artırmaktadır (Gaaloul vd., 2012). Üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye’de de özellikle tarımsal amaçlı yapılan aşırı pompaj, kıyı akiferlerinde önemli bir sorun olan yeraltısuyunun tuzlanmasına neden olmaktadır. Tuzlanmış olan yeraltısuyunun sulamada kullanılması durumunda da tarım arazilerinde verimin azalması ve topraklarda tuzluluk sorunları ile karşılaşmaktadır (Ayyıldız Turan, 2018). Türkiye’de özellikle tarımsal ve

endüstriyel faaliyetlerin yoğun olarak sürdürüldüğü Karadeniz Bölgesi’nde yeraltısuyu, tatlı su rezervinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Fırat Ersoy ve Gültekin, 2008). Bölgede akifer sistemlerinin çoğunlukla deniz kıyısında bulunması ve bu akiferlerde yeraltısuyu seviyesinin yüzeye çok yakın olması, tatlı suyu doğrudan deniz suyu girişimi tehdidi ile karşı karşıya bırakmaktadır (Fırat Ersoy, 2019). Karadeniz Bölgesi’nde bulunan ve 1355 km uzunluğu ile Avrupa’daki en uzun 10 nehir içinde yer alan Kızılırmak Nehri kıyı akiferinde de benzer sorunlarla karşılaşmıştır. Yapılan çalışmalarda yeraltısuyu seviyelerinin yüzeye çok yakın olduğu (yaklaşık 15-20 cm) belirlenmiş ve yeraltı suyu örneklemesi yapılan kuyuların birçoğunun deniz suyu girişimi etkisi altında olduğu belirlenmiştir (Arslan, 2012).

Deniz suyu girişiminin etkilerinin belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi Stuyfzand (1986) Sınıflama Sistemi’nin kıyı akiferlerine uygulanmasıdır. Diğer yöntemler ise çeşitli katyonlar ile anyonların birbirlerine oranları ile hazırlanan grafikler ve ayrıca Piper diyagramıdır (Kelly, 2005; Kim vd., 2002; Leboeuf, 2004, Lee ve Song, 2007; Montety vd., 2008).

Türkiye’nin en uzun 3. nehri olan Kızılırmak’ın beslenme havzası 78180 kilometrekaredir (Şekil 1). Ülkenin iç bölgelerinde 3025 m kotundan doğarak kuzeyde Karadenize dökülen nehrin ortalama debisi 184 m³/sn’dir. Çalışma konusu olan Kızılırmak delta kıyı alanı, Türkiye’nin kuzeyinde Orta Karadeniz Bölümü’nde 41°10’ - 41°45’ kuzey enlemleri ve 35°30’-36°15’ doğu boylamları arasında, Kızılırmak ile yan derelerin oluşturduğu delta ovasında yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde ılıman iklim iklim koşulları hakim olup bölge yılın her ayı yağış alır. Samsun meteoroloji istasyonundan alınan 1987-2017 yılları arasındaki verilere göre, yıllık ortalama sıcaklık 13.7 °C, yıllık ortalama toplam yağış ise 794 mm dir.

Bu çalışmada Türkiye’nin Kuzey kesiminde yer alan ve Türkiye’nin en büyük havzalarından biri olan Kızılırmak Havzasının Kıyı Akiferinde (Kızılırmak Delta Kıyı Alanı) bulunan yeraltısuyunun hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş ve deniz suyu girişiminin varlığı araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda kıyı akiferinde yeraltısuyunda 2017 yılında Haziran ve Ekim aylarında olmak üzere toplam 2 dönemde majör anyon-katyon ve iz element analizleri yapılarak elde edilen bulgular yeraltısuyunun içme

ve kullanmaya uygunluğu açısından değerlendirilmiş ve Stuyfzand Sınıflama Sistemi uygulanarak olası deniz suyu girişiminin varlığı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Kızılırmak Havzasının Kıyı Akiferinde yeraltısuyunun konumsal ve zamansal değişimlerinin belirlenmesi, hidrokimyasal özelliklerinin ortaya konulması, kullanmaya uygunluğunun araştırılması ve bölgedeki deniz suyu girişiminin araştırılması amacıyla 2017 yılında 48 adet derin kuyuda yağışlı (Ekim) ve kurak (Haziran) sezon olmak üzere 2 dönemde yeraltısuyu örnekleme yapılmıştır. Yeraltısuyu örnekleri TS EN ISO 5667 Su Kalitesi Numune Alma Standardına uygun olarak alınmıştır. Kuyularda 15 dakika pompaj yapıldıktan sonra su örnekleri polietilen şişelere doldurulmuştur. Her bir su örneği için değişik boyutlardaki polietilen şişeler (saf su ile yıkanmış) kullanılarak analiz için laboratuvarlara gönderilmiştir. Temin edilen su örneklerinin fiziksel parametreler, majör anyon-kasyon ve iz element analizleri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Samsun 7. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nde ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Tablo 1). Majör anyon-kasyon analizleri iyon kromatografisi ile, iz element analizleri ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Bu laboratuvarlar, 2000 yılından beri her yıl TURKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından akredite edilmektedir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan standartlar

Parametre	Standart
Elektriksel İletkenlik (EC)	TS 9748 EN 27888
pH	TS EN ISO 1523
HCO ₃	TS 3790 EN ISO 9963-1
Ca, Mg, Na, K, NH ₄	TS EN ISO 14911
SO ₄ , Cl, NO ₃ , NO ₂ , PO ₄	TS EN ISO 10304-1
İz Elementler	EPA 200.8

3. Bulgular / Bulgular ve Tartışma

3.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji

Çalışma alanı ve çevresinde yüzeylenen en yaşlı birim Geç Kretase yaşlı volkano-tortul seridir. Bu serinin tortul kayaçlarını genel olarak konglomera, kumtaşı, kiltası ve marnlar oluştururken volkanik kayaçlarını bazalt, andezit ve piroklastitler

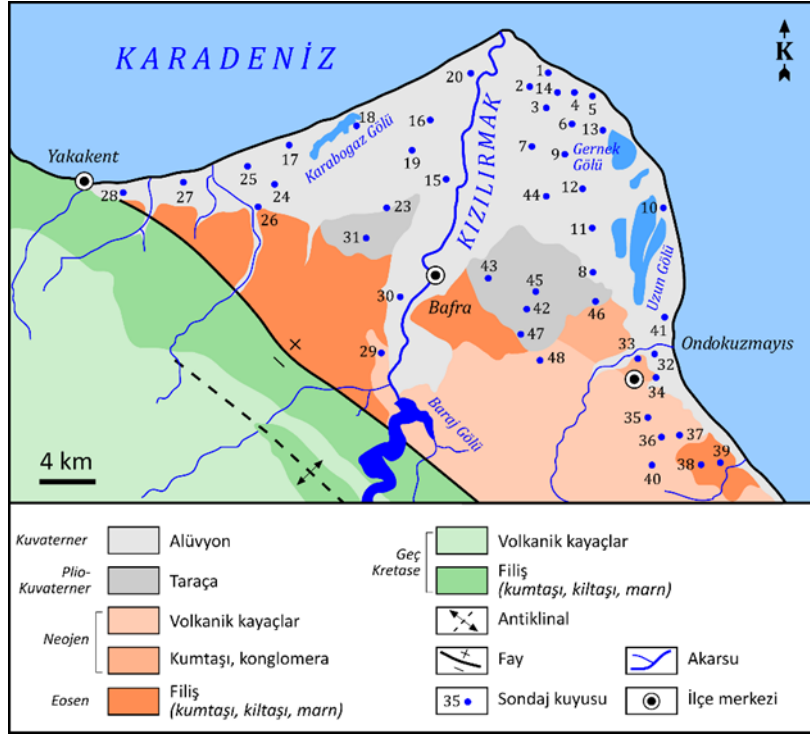
oluşturmaktadır. Geç Kretase yaşlı birimler üzerine Eosen yaşlı flişler gelmektedir. Bu birimde de yer yer volkanik kayaçlar bulunmaktadır. Gerek Geç Kretase gerekse Eosen yaşlı birimler akifer özelliği taşımamaktadır. İnceleme alanında Neojen, konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn, kiltaları ve bunların üzerinde bulunan bazik volkanik kayaçlar ile temsil edilmektedir. Bu kayaçlar akifer özelliği göstermese de bazı alanlarda yerel olarak yeraltısuyu varlığından söz edilebilmektedir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde genel olarak Pliyo-Kuvaterner yaşlı çakıl, kum ve kil karışımından oluşan gevşek ve tutturulmamış alüvyal çökeller bulunmaktadır. Bu çökeller genellikle iyi akifer özelliği taşımakta ve ekonomik olarak yüksek miktarda yeraltısuyu bulundurmaktadır (Ayyıldız Turan, 2018) (Şekil 1).

Kızılırmak delta kıyı alanında açılmış çok sayıda keson kuyu ve sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların derinlikleri 5-100 m; debi değerleri ise 1-60 l/sn arasında değişmektedir. Serbest akifer özelliği taşıyan Kızılırmak delta kıyı alanında Transmissiblite Katsayısı 18-8320 m²/gün arasında değişir. Akiferde yeraltı suyu akışı kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönünde gerçekleşmektedir (Ayyıldız Turan, 2018).

3.2. Hidrojeokimya

Kızılırmak delta kıyı alanında yağışlı ve kurak sezonları temsil edecek şekilde Haziran 2017 ve Ekim 2017'de 48 kuyuda toplam 94 yeraltı suyu örnekleme (ikinci örnekleme döneminde 2 kuyudan su örneği alınamamıştır) yapılarak fiziksel parametreler ile majör anyon-kasyon analizleri yapılmıştır. İz element analizleri ise yine aynı çalışma kapsamında Haziran-2016 ve Ekim 2016'da gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları kullanılarak (Tablo 2 ve 3) delta kıyı alanında yer alan kuyu sularının içme ve kullanmaya uygunluğu incelenmiş ve deniz suyu girişiminin olası etkileri araştırılmıştır. Analiz sonuçları TS266'da (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı) tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2'de Haziran 2017 ve Ekim 2017'de yapılan toplam 94 yeraltısuyu örneğine ait pH, EC (Elektriksel İletkenlik), TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde), TS (Toplam Sertlik) ve majör anyon-kasyon sonuçlarının düşük, yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri verilmektedir. Buna göre 2 dönem için yeraltısuyu örneklerinin ortalama pH değeri 7.3-7.4 arasında değişmektedir. Su örneklerinin EC değerleri incelendiğinde bu değerlerin çok yüksek olduğu gözle çarpılmaktadır.



Şekil 1. Kızılırmak delta kıyı alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve örnekleme noktaları (Ayyıldız Turan, 2018)

EC değerlerinin ortalama değerleri 2 dönem için 2587 ve 2708 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. TS 266'ya göre içme suları için EC'nin sınır değeri 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir ve Kızılırmak delta kıyı alanının doğu kesimlerinin EC açısından sorunlu olduğu belirlenmiştir. Yeraltı suyu örneklerinin Toplam Sertlik analiz sonuçları incelendiğinde, ortalama TS değerlerinin 51.2-95.6 (FH) arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre yeraltı suyu örnekleri çoğunlukla "çok sert su" sınıfında yer almaktadır. TS266'da Na için tanımlanan sınır değeri 200 mg/l'dir. Alandaki Na sonuçları incelendiğinde ortalama Na değerlerinin sınır değeri aştığı gözlenmektedir. SO_4 değerleri incelendiğinde Ekim-2017 dönemlerinde ortalama değerlerin sınır değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Cl için sınır değeri 250 mg/l'dir ve Tablo 2 incelendiğinde ortalama Cl değerlerinin çok yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

Analiz sonuçları iz elementler (Tablo 3) açısından değerlendirildiğinde Mn, Fe, Ni, Al ve As açısından sorun olduğu belirlenmiştir. Mn için TS266'da tanımlanan sınır değeri 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir ve Tablo 3'te Mn için ortalama Mn değerlerinin 317.23 ve 323.91 olduğu görülmektedir. Örnek noktaları açısından incelendiğinde Mn değerlerinin neredeyse tüm noktalarda sınır değerinin üzerinde olduğu ve Kızılırmak Nehri boyunca 400 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'nin üstünde olduğu görülmektedir. Ayrıca Fe için tanımlanan sınır değeri 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir ve Tablo 3'e göre çalışma alanındaki ortalama Fe değerleri

2326.31 ve 2021.13 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir. Fe içeriklerinin çalışma alanının çok büyük bir bölümünde 1000-5000 $\mu\text{g}/\text{l}$ arasında olduğu belirlenmiştir. Ni içerikleri incelendiğinde ortalama Ni değerlerinin standardın üzerinde olmadığı, yalnızca çalışma alanında birkaç noktada yüksek olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları Al açısından irdelendiğinde, ortalama Al içeriklerinin 624.83 ve 10.4 $\mu\text{g}/\text{l}$ olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının birçok noktasında Al değerleri TS266'da tanımlanan değerlerin üzerindedir. Yine analiz sonuçlarına göre As için TS266'da tanımlanan sınır değeri 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir ve Tablo 3'e göre ortalama As değerleri (41.99 ve 334.97) standart değerinin üzerinde bulunmaktadır.

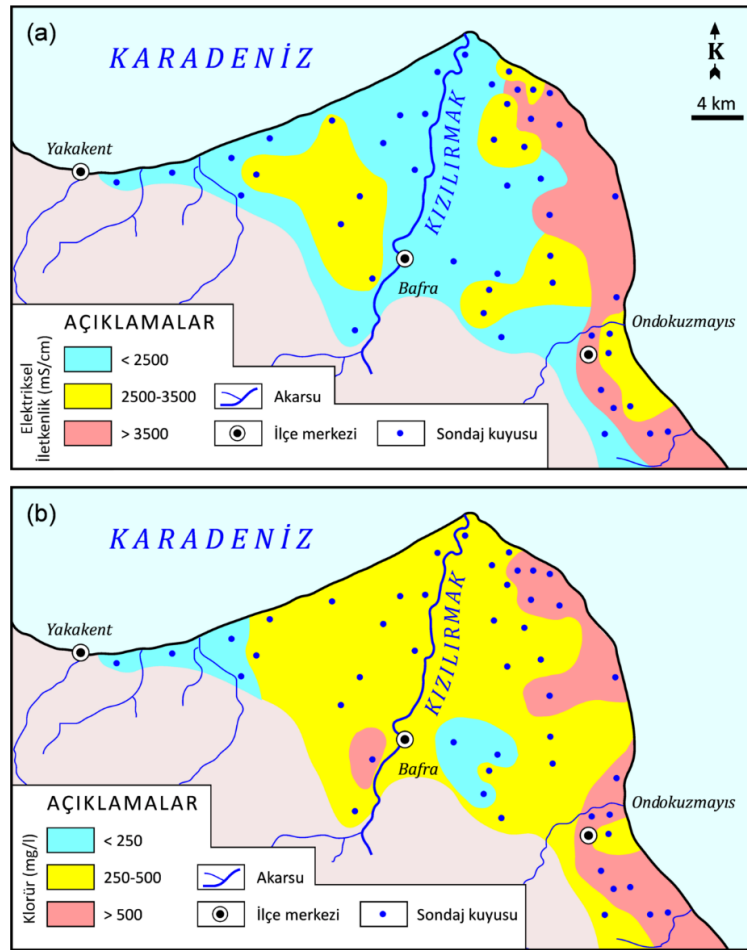
Kızılırmak deltası kıyı alanında 2 dönem için analiz edilen EC değerlerinin konumsal dağılımı Şekil 2a'da verilmektedir. Tablo 2'de verilen analiz sonuçları incelendiğinde alandaki EC değerlerinin 2 dönem ortalamalarının 2708-2587 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca yine aynı tablodan en yüksek EC değerlerinin Ekim 2017 analizlerinde elde edildiği ve bu değerlerin 5540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile deltanın doğusunda yer alan 41 numaralı kuyuda ölçüldüğü belirlenmiştir. TS 266'da göre içme suları için EC'nin üst sınırı 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir ve çalışma alanındaki 2 dönem ortalama değerlerinin sınır değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 2a incelendiğinde kıyı alanında en yüksek değerlerin bölgenin doğu

kesimlerinde analiz edildiği görülmektedir. 48 örnekleme noktasının 30 noktasında değerler 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin üzerinde bulunmaktadır. Deltanın orta ve batı kesimlerinde daha düşük EC değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2'de Cl iyonunun analiz sonuçları incelendiğinde ortalama Cl değerlerinin 380.8-565.5 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. TS266'da Cl için tanımlanan üst sınır değer 250 mg/l'dir. Delta alanında Cl değerlerinin konumsal dağılımı Şekil 2b'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde 48 adet yeraltısuyu örnekleme noktasının sadece 7 noktasında TS266'da verilen

sınır değerinin altında değer elde edildiği görülmektedir. Diğer tüm noktalarda sınır değerinin üzerinde değerler elde edilmiştir ve özellikle delta alanının doğu kesimlerinde Cl iyonunun 500-1000 mg/l arasında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Yüksek EC ve Cl değerleri bölgede deniz suyu girişiminin varlığına işaret etmektedir. Kızılırmak deltası kıyı alanında yer alan kuyulardan fazla miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması tuzlu su kamasını kara içerisine doğru hareket ettirmekte ve bu da tuzlu su seviyesinin yukarı doğru yükselmesine neden olmaktadır.



Şekil 2. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyu örneklerine ait (a) EC ve (b) Cl dağılım haritası

3.3. Deniz Suyu Girişimi

Kızılırmak delta kıyı alanında deniz suyu girişiminin varlığını belirlemek amacıyla Piper diyagramı ve Stuyfzand Sınıflama Sistemi kullanılmıştır.

Kızılırmak delta kıyı alanında yapılan 2 dönem analiz sonuçlarından çizilen Piper diyagramı Kelly (2005)'e göre yorumlanmıştır. Buna göre çizilen

Şekil 3'te Haziran-2017 ve Ekim-2017 analiz sonuçları yer almaktadır. Şekil 3 incelendiğinde hem Haziran-2017 hem de Ekim-2017 analiz sonuçlarının büyük çoğunluğunun "karışık su" ve "deniz suyu girişi" bölgelerinde bulunduğu görülmektedir. 2017 yılına ait örneklerin çok az bir kısmı "tatlı su" bölgesinde yer almaktadır. Ayrıca yine Piper diyagramına göre 2017 yılına ait yeraltısuyu örnekleri "karışım bileşimli" su tipinde yer almaktadır.

Tablo 2. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

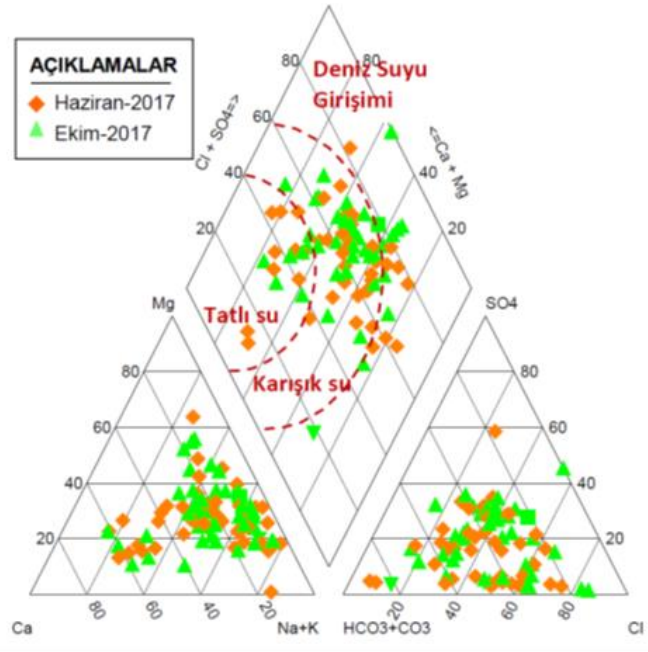
Örnek Türü	Örnekleme Tarihi	İstatistiksel Değerler	pH	EC (µS/cm)	TDS	TS (FH)	Ca	Mg	Na	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃
Yeraltısuyu	Haziran -2017	En Düşük Değer	7.07	377	245	10.7	12.8	4	19.9	187.3	21	24.4	6.4
		En Yüksek Değer	7.70	5450	3543	116.2	210	229.9	965.5	1020.5	497.3	1162.3	195.6
		Ortalama Değer	7.40	2587	1682	51.2	82.1	73.6	281.4	562.7	221.5	380.8	43.8
		Standart Sapma	0.13	1151	749	23.6	46	47.6	220.5	193.6	161.1	266.6	37.4
Yeraltısuyu	Ekim- 2017	En Düşük Değer	6.87	780	507	28.3	60.4	10.8	52.5	233	31.5	56.6	31.5
		En Yüksek Değer	7.81	5540	3601	286	338	547.3	1840.4	1546.4	1136.6	2311	1136.6
		Ortalama Değer	7.30	2708	1761	95.6	129.7	151.6	506.4	693.6	311.1	565.5	324.7
		Standart Sapma	0.21	1197	778	56.5	54.4	122.7	456.8	297.7	270.4	535.2	267.6
TS266 (En Yüksek Değer)			6.5-9.5	2500	-	-	-	-	200	250	250	50	

*İyon konsantrasyonları ve TDS mg/l'dir.

Tablo 3. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyunun iz element analiz sonuçları

Örnek Türü	Örnekleme Tarihi	İstatistiksel Değerler	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe	Cu	Cd	Ni	Al	As
Yeraltısuyu	Haziran-2016	En Düşük Değer	0.92	17.17	0.00	26.70	129.41	12.03	1.85	0.81	5.18	0.00
		En Yüksek Değer	9.83	279.25	21.15	1071.8	11738.44	54.76	2.11	51.05	16383	425.11
		Ortalama Değer	1.73	78.30	2.24	317.23	2326.31	29.32	1.89	14.49	624.83	41.99
		Standart Sapma	1.32	56.92	4.18	242.02	2561.44	10.33	0.04	10.77	2422.42	95.5
Yeraltısuyu	Ekim- 2016	En Düşük Değer	0.00	2.14	0.00	24.55	91,65	2.29	N.A.	0.00	2.47	3.82
		En Yüksek Değer	29.42	944.18	57.79	929.39	25754.19	66.41	N.A.	1.51	86.64	8563.35
		Ortalama Değer	2.86	81.85	8.8	323.91	2021.13	32	N.A.	0.04	10.4	334.97
		Standart Sapma	5.05	204.31	8.84	255.18	3875.74	17.81	N.A.	0.23	12.54	1270.71
TS266 (En Yüksek Değer)			10	-	50	50	200	2000	5	20	200	10

* İyon konsantrasyonları µg/l'dir, NA analiz edilemedi.



Şekil 3. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyu örneklerine ait Piper Diyagramı

3.3.1. Stuyfzand Sınıflama Sistemi

Stuyfzand (1986, 1993) Sınıflama Sistemi'nin Kızılırmak delta kıyı alanında uygulanması, akiferde yeraltısuyunun hidrokimyasal özellikleri hakkında temel bilgilerin elde edilmesi ve yeraltısuyunun işletme programının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Stuyfzand Sınıflama Sistemi, denize komşu olan akiferlerde yeraltısuyu sistemini tanımlamak ve farklı akifer türlerini belirlemek için geliştirilmiştir. Stuyfzand Sınıflama Sistemi, bir akiferdeki farklı su tiplerinin belirlenmesi esasına dayanmakta ve yeraltısuyunda katyon değişim prensibinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu yöntem Stuyfzand tarafından ilk kez 1986 yılında denize yakın konumda bulunan akiferlerde meydana gelebilecek tuzlu su girişimini belirlemek için geliştirilmiştir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde bir akiferde su tipinin belirlenmesi, su örneğinin başlıca ana tür (main type), tür (type), alt tür (sub-type) ve sınıf (class) bileşenlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Tablo 4). Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde 6 ana tür, 11 tür, 54 alt tür ve 3 sınıf bulunmaktadır.

Kızılırmak delta kıyı alanında 2017 yılı Haziran ve Ekim aylarında olmak üzere 2 dönemde yapılan toplam 94 adet yeraltısuyu örneğine ait kimyasal analiz sonuçları, Stuyfzand (1986) Sınıflama Sistemi'ne göre aşağıda anlatıldığı gibi sınıflandırılmıştır:

Tablo 4. Stuyfzand Sınıflama Sistemini'nin genel yapısı

İsim	Alt Bölüm	Parametre	Kod
Ana tür	6	Cl	F, Fb, B, Bs, S, H
Tür	11	Toplam Sertlik	X,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
Alt tür	54	Baskın anyon-katyon	NaCl, NaSO ₄ , NaHCO ₃ , NaKarışım, KNO ₃ , NH ₄ SO ₄ , CaCl, CaSO ₄ , CaNO ₃ , CaHCO ₃ , CaKarışım, MgCl, MgHCO ₃ , MgKarışım, AlSO ₄ , FeSO ₄
Sınıf	3	(Na ⁺ +K ⁺ +Mg ²⁺) düzeltme	-,0,+

Ana Tür (Cl Konsantrasyonu)

Yeraltısuyunun “ana tür” özelliği içerdiği Cl konsantrasyonuna (mg/l) göre belirlenmektedir. Buna göre su örnekleri F (tatlı) ile H (çok tuzlu) arasında değişen kodlara sahip olmaktadır. Kızılırmak delta kıyı bölgesinde 2 döneme ait 94 adet yeraltısuyu örneği ana tür özellikleri açısından irdelendiğinde, örneklerin;

F (tatlı): Cl < 150 mg/l

F (tatlı) - Fb (az tuzlu): 150 – 300 mg/l

B (az tuzlu): 300 – 1000 mg/l

B (az tuzlu) – Bs (tuzlu): 1000 – 10 000 mg/l su türlerinde olduğu görülmektedir. Yeraltısu örneklerinin yalnızca %12’si “tatlı” su sınıfında yer almakta; geri kalan örnekler ise “az tuzlu” ve “tuzlu” (Fb, B, Bs) sınıfında bulunmaktadır.

Tür (Toplam Sertlik)

Yeraltısının “tür” özelliği Toplam Sertlik (TS) değerine göre belirlenmektedir. Toplam Sertlik değerine göre yeraltısu örnekleri X (çok yumuşak) ile 9 (çok fazla sert) arasında değişmektedir. Kızılırmak deltasında 94 adet yeraltısu örneği Toplam Sertlik değerine göre sınıflandırıldığında örneklerin;

1 (kısmen sert): 10 – 20 (°F)

2 (sert): 20 – 40 (°F)

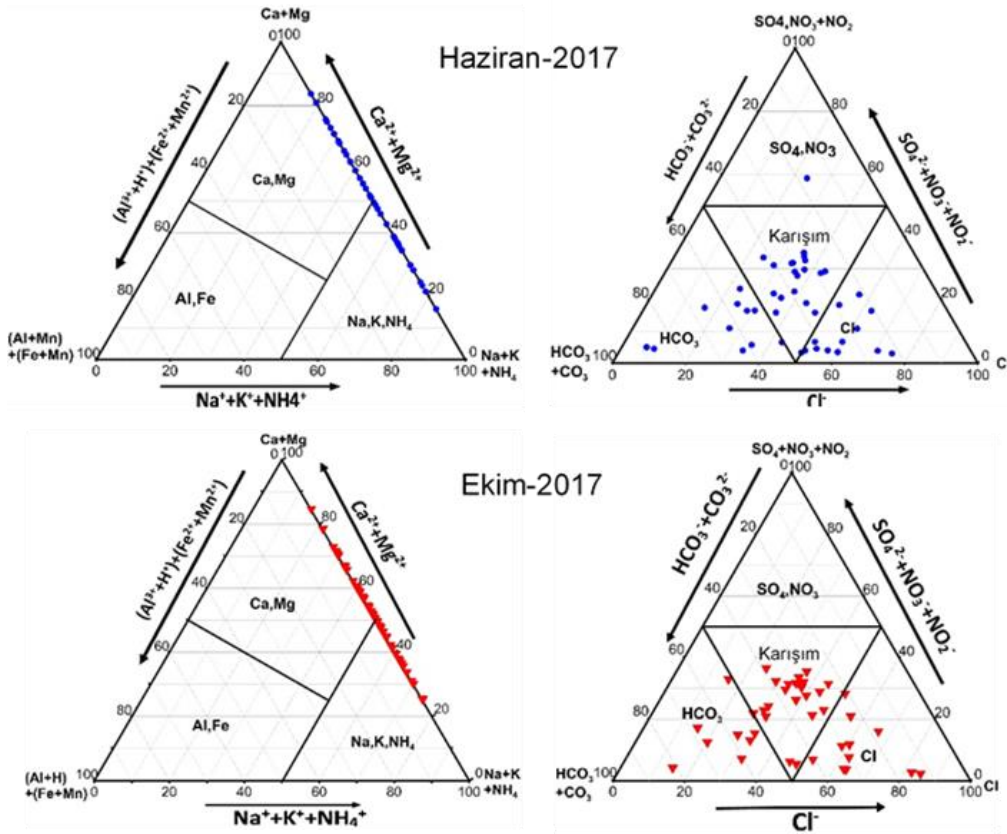
3 (çok sert): 40 – 80 (°F)

4 (çok fazla sert): > 80 (°F) su türünde olduğu belirlenmiştir.

Yeraltısının %82’si “çok sert” ve “çok fazla sert” su türündedir.

Alt Tür (Anyon-Katyon)

Yeraltısının “alt tür” özelliği hakim anyon-katyon çiftine göre belirlenmektedir. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısının alt türünü belirlemek için Stuyfzand tarafından geliştirilen üçgen diyagramlar kullanılmaktadır. Analiz sonuçlarının üçgen diyagramlara yerleştirilmesi sonucunda kıyı alanında yeraltısının NaKarışım, MgKarışım, NaCl, CaHCO₃, NaHCO₃ ve MgHCO₃ su türlerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısu örneklerine ait hakim anyon-katyon çiftleri

Şekil 4 incelendiğinde yağışlı sezon sonu olan Haziran-2017 ve kurak sezon sonu olan Ekim-2017 yeraltısu örneklerinin NaHCO₃, NaCl, MgKarışım, NaKarışım, CaHCO₃ ve MgHCO₃ su türünde olduğu görülmektedir. Her iki döneme ait grafikte yeraltısu örneklerinde anyon-katyon çiftlerinin birbirine benzer olduğu göze çarpmaktadır.

Sınıf (Katyon Değişim Kodu)

Yeraltısının “sınıf” özelliği katyon değişim kodu ile belirlenmektedir. Katyon değişim kodunu belirlemek için yeraltısu analiz sonucunda (Na⁺+K⁺+Mg²⁺) için düzeltme yapılarak bir kod tanımlanmaktadır. Bunun sonucunda yeraltısu örneği (Na⁺+K⁺+Mg²⁺)₊, (Na⁺+K⁺+Mg²⁺)₋ ve (Na⁺+K⁺+Mg²⁺)₀ olarak isimlendirilmektedir. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısu

örneklerinin katyon değişim kodu + ve 0 olarak belirlenmiştir. Her ne kadar katyon değişim kodları + ve 0 olarak hesaplanırsa da yeraltısuyu örneklerinde alt türlerin NaCl, MgKarışım ve NaKarışım olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ana tür açısından yeraltısuyu örneklerinin çoğunlukla Fb, B ve Bs olduğu görülmektedir. Bu durum yine deniz suyu girişimine işaret etmektedir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi Sonuç Haritaları

Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyu örneklerinin Haziran-2017 ve Ekim-2017 dönemleri kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne elde edilen sonuç tablosu Tablo 5'te, Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne ait sonuç haritaları ise Şekil 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Kızılırmak delta kıyı alanı için hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi tablosu

Kuyu No	Haziran-2017	Ekim-2017	Kuyu No	Haziran-2017	Ekim-2017
1	Fb3-NaKarışım+	B3-CaKarışım+	26	Fb3-MgKarışım+	F3-CaHCO ₃ +
2	Fb3-CaKarışım+	B4-MgKarışım+	27	F3-CaHCO ₃ φ	Fb3-CaKarışım+
3	F1-CaHCO ₃ +	B4-MgKarışım+	28	F2-CaHCO ₃ +	Fb3-CaHCO ₃ +
4	B3-NaKarışım+	B4-MgKarışım+	29	Fb3-MgHCO ₃ +	Fb3-MgKarışım+
5	B4-NaCl+	Bs4-NaCl+	30	B3-NaHCO ₃ +	Fb2-NaKarışım+
6	B4-NaKarışım+	Bs5-NaKarışım+	31	Fb3-MgKarışım+	B3-MgKarışım+
7	B3-MgKarışım+	B4-MgKarışım+	33	Bs4-NaCl+	B5-MgKarışım+
8	Fb3-MgKarışım+	B4-NaHCO ₃ +	34	B2-NaClφ	B3-NaClφ
9	B3-CaKarışım+	B3-NaKarışım+	35	B3-NaKarışım+	Bs5-NaCl+
10	B2-NaCl+	F3-NaHCO ₃ +	36	B2-NaCl+	Bs4-NaCl+
11	F1-CaHCO ₃ φ	Bs5-NaCl+	37	B2-NaCl+	B3-NaClφ
12	F3-CaSO ₄ +	B4-MgKarışım+	38	B3-NaClφ	Bs4-NaCl+
13	B3-NaKarışım+	Bs4-NaCl+	39	Bs3-NaClφ	Bs4-NaCl+
14	B3-NaKarışım+	B4-NaKarışım+	40	B2-NaClφ	B3-NaCl+
15	Fb3-MgKarışım+	3-MgKarışım+	41	B3-NaCl+	Fb4-NaHCO ₃ +
17	B3-CaClφ	B3-NaClφ	42	Fb4-CaHCO ₃ +	-
18	B3-NaKarışım+	B3-MgKarışım+	43	Fb3-MgHCO ₃ +	Fb3-MgHCO ₃ +
20	B2-NaCl+	B3-CaKarışım+	44	Fb4-CaKarışım+	B4-CaKarışım+
21	Fb3-CaKarışım+	B4-MgKarışım+	45	Fb1-NaCl+	F2-CaHCO ₃ +
22	Fb3-CaKarışım+	B4-MgKarışım+	46	F2-CaHCO ₃ φ	B2-NaKarışım+
23	Fb3-MgKarışım+	B4-MgKarışım+	47	Fb3-MgHCO ₃ +	Fb3-MgHCO ₃ +
24	Fb3-NaKarışım+	Fb3-MgKarışım+	48	-	Fb3-MgKarışım+
25	F2-CaHCO ₃ +	F2-CaHCO ₃ +			

Şekil 5 incelendiğinde Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyunda başlıca 3 su tipinin belirlendiği görülmektedir. Bunlar 1.CaMgHCO₃ ve MgKarışım, 2.NaKarışım ve NaHCO₃, 3.NaCl su tipleridir. Kızılırmak delta kıyı alanının orta ve batı kesimleri hem Haziran-2017 hem de Ekim-2017 sonuçlarına göre CaMgHCO₃ ve MgKarışım su tipindedir. Alanın doğu kesimlerinde ise NaKarışım, NaHCO₃ ve NaCl su tipleri izlenmektedir.

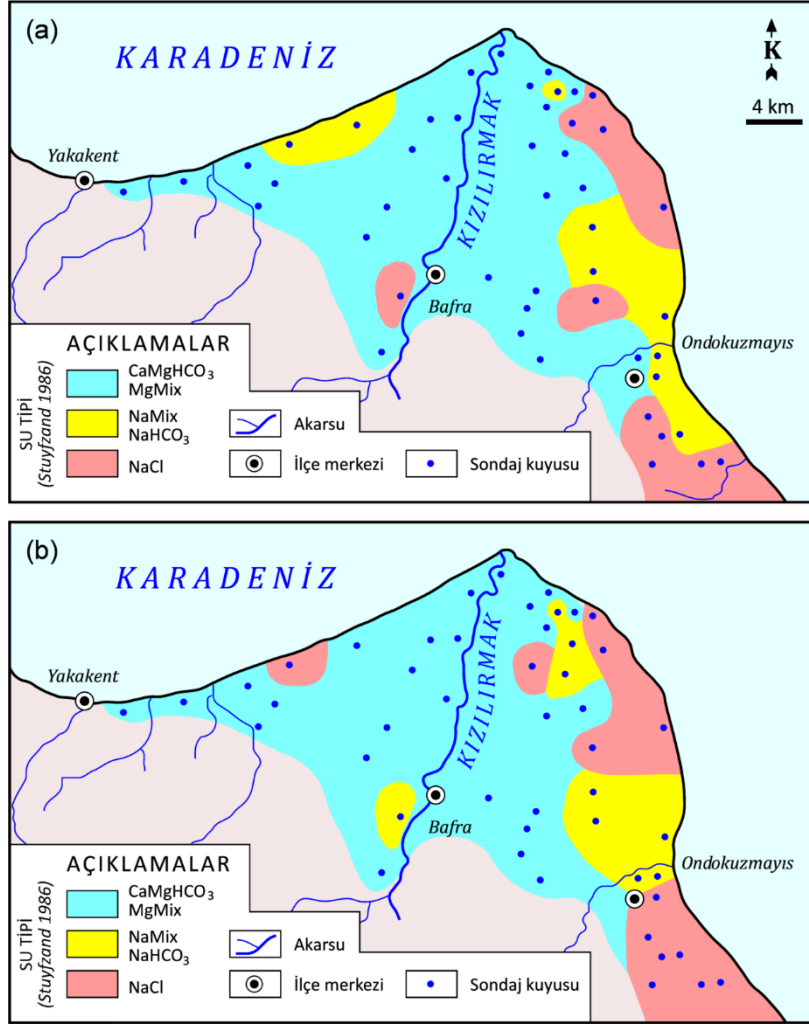
4. İrdeleme ve Sonuçlar

Bu çalışma Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve deniz suyu girişimi etkilerinin

araştırılması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu girişiminin belirlenmesi için Stuyfzand Sınıflama Sistemi kıyı akiferlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da delta alanında 2017 yılında Haziran ve Ekim aylarında yapılan hidrokimyasal analiz sonuçları kullanılarak Stuyfzand Sınıflama Sistemi uygulanmıştır.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi, denize sınırı olan bir yeraltısuyu sisteminde yıkanmanın (freshening) veya tuzlanmanın (salting) meydana gelme şeklini belirlemek için kullanılmaktadır. Bir yeraltısuyu sisteminde tuzlanmanın meydana gelmesi için başlangıçta su tipinin CaHCO₃ ve CaKarışım olması ve daha sonra su tipinin sırasıyla MgKarışım, MgHCO₃, NaKarışım, NaHCO₃, NaCl

su tiplerine doğru adım adım ilerlemesi gereklidir. Yine aynı şekilde ana tür olan Cl konsantrasyonunun F'den H'ye kadar ilerlemesi gerekir.



Şekil 5. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyu örneklerine ait Stuyfzand Sınıflama Sistemi haritaları (a)Haziran-2017 (b)Ekim-2017

Bu çalışmada 2017 yılında yağışlı ve kurak dönemlerde yapılan iki analiz sonucu kullanılarak Kızılırmak delta kıyı alanı için geliştirilen modelde su tiplerinin yukarıda belirtilen sıra ile geliştiği yani tuzlanmanın son aşaması olan NaCl'ye ulaşıldığı belirlenmiştir. Kızılırmak delta alanında yeraltısuyunun hidrokimyasal gelişimi bölgenin batısında CaHCO₃ ve CaKarışım su tipinden doğuya gidildikçe NaCl su tipine doğru değişmekte ve deniz suyu girişiminin etkisi açıkça görülmektedir. Bu durum yeraltısuyunun kimyasal bileşiminin, tatlı yeraltısuyu ile tuzlu deniz suyunun karışması esnasında meydana gelen kation değişim reaksiyonlarına bağlı olarak değiştiğine işaret etmektedir. Delta alanında yeraltısuyu bileşiminin NaCl olduğu alanlar çok belirgin bir deniz suyu karışımının olduğunu; MgKarışım, NaKarışım ve NaHCO₃ olduğu bölgeler ise tatlı yeraltısuyu ile deniz suyu arasında

geçiş olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçlarında Cl içeriklerinin ve EC değerlerinin oldukça yüksek olması da bu sonuçları desteklemektedir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre Kızılırmak delta kıyı alanında 2017 yılında yağışlı ve kurak dönemde analizi yapılan yeraltısuyu örneklerinin %46'sı doğrudan deniz suyu girişiminin etkisi altındadır. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre belirlenen su tiplerinde kation değişim kodlarının birçoğunun + olduğu dikkat çekmektedir. + kod burada yeraltısuyunda bir yıkanmaya işaret etmemekte; Mg⁺⁺ ile ilişkilendirilmektedir. Bölgede Mg içeren kayaçların çözünmesi ile yeraltısuyuna geçmekte ve kation değişim kodunun + olmasına neden olmaktadır.

Ayrıca Cl konsantrasyonunun da çoğunlukla B ve Bs olduğu görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde

Kızılırmak delta kıyı alanında deniz suyu girişiminin yaygın olarak bölgenin doğu kesimlerinde meydana geldiği görülmektedir. Deltanın batı kesimlerinde tuzlanmanın etkisi azdır. Fakat delta alanında tuzlanmanın bölgenin doğusundan batısına doğru ilerlediği söylenebilir. Ayrıca Haziran ve Ekim aylarında yapılan analiz sonuçlarından hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi haritalarında çok farklılığın olmaması yani her iki haritada tuzlanmanın meydana geldiği bölgelerin birbirine benzer olması deltada yeraltısuyunun aşırı miktarda tüketildiğinin ve yağışlı dönemde meydana gelen beslenmenin etkisinin hissedilemediğinin göstergesidir.

Sonuç olarak, Kızılırmak delta kıyı alanında tuzlanma süreci temel olarak deniz suyu girişiminden kaynaklanmaktadır. Özellikle delta alanının doğu kesimlerinde açılmış olan sondaj kuyularından su çekilerek tarımsal sulama faaliyetlerinin yürütülmesi ve delta alanında aşırı miktarda yeraltısuyunun çekilmesi tatlı yeraltısuyunun deniz suyu girişimi ile tuzlanmasına neden olmaktadır.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Bu çalışma, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma Projeleri birimi (AR-GE) tarafından 2016-2 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Al Farrah, N., Martens, K. ve Walraevens, K., 2011. Hydrochemistry of the Upper Miocene-Pliocene-Quaternary Aquifer Complex of Jifarah Plain, NW-Libya. *Geologica Belgica*, 14/3-4, 159-174.
- Arslan, H., Cemek, B. ve Demir, Y., 2012. Determination of Seawater Intrusion via Hydrochemicals and Isotopes in Bafra Plain, Turkey. *Water Resources Management*, 26, 3907-3922.
- Ayyıldız Turan, N. ve diğ., 2018. Kızılırmak Deltası Kıyı Bölgesi Yeraltısularında Kalite ve Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. 2016-2, Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü AR-GE Projesi.
- FAO., 1997. Seawater Intrusion in the Coastal Aquifers. Guidelines for Study Monitoring and Control. FAO. Rome.
- Fırat Ersoy, A., Ersoy, H. ve Gültekin, F., 2007. Nitrate, Nitrite and Ammonia Contamination in Ground

Water: A Case Study from Gümüşhacıköy Plain, Turkey. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 1, 107 – 118.

- Fırat Ersoy, A. ve Gültekin, F., 2008. Modeling Groundwater Flow in the Agricultural Area of Gümüşhacıköy (Amasya, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 529-535.
- Fırat Ersoy, A. ve Karaca, Z., 2019. Determination of Groundwater Parameters for Drinking and Agricultural Use in the Coastal Region of Engiz Aquifer System, Samsun (NE Turkey). *Arabian Journal of Geoscience*, 12, 198.
- Gaaloul, N., Pliakas, F., Kallioras, A., Schuth, C. ve Marinos, P., 2012. Simulation of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Forty-Five Years Exploitation in an Eastern Coast Aquifer in NE Tunisia. *Open Hydrology Journal*, 6, 31-44.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A. ve Ersoy, H., 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29(1), 21-34.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., Hatipoğlu, E. ve Celep, S., 2013. Quality Assessment of Surface and Groundwater in Solaklı Basin (Trabzon, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 213-224.
- Kelly, W.P., 2005. Seawater intrusion Topic paper. Island Country Health Department.
- Kim, R., Yum, B. ve Chang, H., 2002. Hydrochemical and Isotopic Characteristics for Salinization of a Shallow Groundwater in a Coastal Area. Youngkwang, Korea. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft The Netherlands.
- Leboeuf, P.P., 2004. Seawater Intrusion and Associated Processes in a Small Coastal Complex Aquifer (Castell De Ferro Aquifer Spain). *Applied Geochemistry*, 19(10), 1517-1527.
- Lee, J.Y. ve Song, S.H., 2007. Evolution of Groundwater Quality in Coastal Areas: Implications for Sustainable Agriculture. *Environmental Geology*, 52, 1231-1242.
- Montety, V., Radakovitch, O., Vallet-Coulomb, C., Blavoux, B., Hermitte, D. ve Valles, V. 2008. Origin of Groundwater Salinity and Hydrogeochemical Processes in A Confined Coastal Aquifer: Case of The Rhône Delta (Southern France). *Applied Geochemistry*, 23, 2337–2349.
- Najaib, S., Fadili, A., Mehdi, K., Riss, J. ve Makan, A., 2017. Contribution of Hydrochemical and Geoelectrical Approaches to Investigate Salinization Process and Seawater Intrusion in

- the Coastal Aquifers of Chaouia, Morocco. *Journal of Contaminant Hydrology*, 198, 24-36.
- Nair, I. S., Pajaveni, S P., Schneider, M. ve Elango, L., 2015. Geochemical and Isotopic Signatures for the Identification of Seawater Intrusion in an Alluvial Aquifer. *Journal of Earth System Science*, 6, 1281-1291.
- Richter, B.C. ve Kreitler, C.W., 1993. *Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground-Water Salinization*, CRC Press, 258 p.
- Sappa, G. ve Luciani, L., 2015. Sustainability of Groundwater Management in the Coastal Plain of Dar es Salaam (Tanzania). *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*. 35, 264-267.
- Stuyfzand, P.J., 1986. A New Hydrogeochemical Classification of Water Types: Principles and Application to the Coastal Dunes Aquifer System of the Netherlands. *Proceedings 9th Sea Water Intrusion Meeting (SWIM)*, Delft (The Netherlands), 641-656.
- Stuyfzand, P.J., 1993. *Hydrochemistry and Hydrology of the Coastal Dune Area of the Western Netherlands*. PhD Dissertation, Free Univesity (VU), Amsterdam, 90-74741-01-0. 366 p.
- TSE 266, 2005. *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*, Ankara.

Tünel Projelerinde Harita Mühendisliği Uygulamaları: Yeni Zigana Tüneli Örneği

Geomatics Engineering Applications in Tunnel Projects: New Zigana Tunnel Case

Fatih DÖNER*^{1,a}, Erdal KÖSE^{2,b}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Rize Kadastro Müdürlüğü, Pazar Birimi, 53300, Rize

• Geliş tarihi / Received: 21.05.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 06.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 12.08.2020

Öz

Bu çalışmada, Yeni Zigana Tüneli (YZT) projesindeki harita mühendisliği uygulamaları teknik ve hukuki işler olmak üzere iki bölüme ayrılarak incelenmektedir. Çalışmada, YZT projesinin inşaat aşaması öncesindeki harita mühendisliği alanını ilgilendiren teknik işleri yer kontrol noktaları tesisi, jeodezik referans sistemi seçimi, yükseklik sistemi ve jeoit modeli seçimi, harita projeksiyonu seçimi, koordinat dönüşümü ve halihazır harita üretimi olarak gruplandırılarak incelenmiştir. YZT projesindeki hukuki işler ise kamulaştırma ve taşınmaz değerlendirme faaliyetleri olarak ele alınarak değerlendirilmiştir. Gelişen ölçme teknoloji sayesinde yersel ve uydu bazlı teknikler kullanılarak tünel projesinin uygulanması için ihtiyaç duyulan harita bilgileri üretilebilmiştir. Yoğun bitki örtüsü ve elverişsiz topografya şartları zaman zaman GNSS kullanımı engellemiştir. GNSS ile belirlenen elipsoit yükseklikleri yanında, geometrik nivelman ile ortometrik yükseklikler de belirlenmiştir. Hukuki işlerde karşılaşılan temel problemler ise kamulaştırma çalışmalarının uzun sürmesi ve kıymet takdir komisyonu tarafından belirlenen, taşınmaz maliklerine ödenecek bedelin çoğu durumda gerçek değeri yansıtmaması nedeniyle maliklerle uzlaşma sağlanamamasıdır. İki boyutlu kadastro parsellerini ve bu parseller üzerindeki hakları tescil etmeyi amaçlayan mevcut kadastro sisteminin parsellerin altından veya üstünden geçen nesnelerin (tünel, enerji nakil hattı gibi) de teknik ve hukuki bilgilerini yönetebilecek şekilde üç boyutlu bir yapıya kavuşması projelerin uygulanmasında yaşanan problemleri en aza indirecektir.

Anahtar kelimeler: GNSS, Kamulaştırma, Nivelman, Taşınmaz Değerleme, Yeni Zigana Tüneli

Abstract

In this study, geomatics engineering applications of New Zigana Tunnel (NZT) project are divided and examined into two parts as technical and legal works. In the study, technical works related to the field of geomatics engineering prior to the construction phase of the NZT project are examined by grouping them as establishment of ground control points, selection of geodetic reference system, definition of height system and geoid model, selection of map projection, coordinate transformation and map production. Also, the legal works in the NZT project are evaluated as expropriation and real estate valuation activities. Thanks to the developing surveying technology, the map information needed for the implementation of the tunnel project was able to be produced using terrestrial and satellite based surveying techniques. Sometimes, dense vegetation and unfavourable topography conditions prevented the use of GNSS. In addition to the ellipsoid heights determined by GNSS, orthometric heights were determined by geometric levelling. The main problems faced in legal works are that the expropriation works take a long time and the consensus cannot be reached with the owners because the price to be paid to the property owners does not reflect the real value in most cases. To minimize the problems faced current cadastral system, which aims registering two dimensional parcels and rights on these parcels, needs to be converted to a three dimensional structure that enables management of technical and legal information of objects located under or above (tunnel, power transmission line etc.) the cadastral parcels.

Keywords: GNSS, Expropriation, Leveling, Real Estate Valuation, New Zigana Tunnel

*a Fatih DÖNER; fatihdoner@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 17 65, orcid.org/0000-0002-3620-5687

^b orcid.org/0000-0003-2523-7787

1. Giriş

Tüneller, çeşitli kullanım amaçları doğrultusunda yeraltında ya da su altında açılan belli bir geometriye sahip etrafı kapalı mühendislik yapılarıdır. Tüneller kullanım amaçlarına bağlı olarak karayolu tüneli, demir yolu tüneli, metro tüneli, yaya tüneli, su tüneli, atık su tüneli, maden tüneli, parçacık hızlandırıcı tünel gibi isimlerle isimlendirilebilirler (Ademoğlu, 2008). Mısırlılar ve Romalılar zamanında su getirmek amacıyla ilk tünellerin açıldığı bilinmektedir. Ulaşım alanındaki ilk tünel örnekleri ise 1863 yılında hizmete giren Londra Metrosu için açılan tünel ve 1875 yılında kullanıma açılan 573 metre uzunluğundaki Taksim-Karaköy tünelidir (Eren, 2014). Ulaşım amaçlı planlanan ve hayata geçirilen yer altı tünel projelerinin sayıları dünyada ve ülkemizde giderek artmaktadır (Tablo 1). Bu artışın temel nedenleri topografyanın tünel dışındaki çözümlere imkân tanımaması, zorlu iklim koşulları, taşınmazların yüksek kamulaştırma maliyetleri, yer üstünde bulunan korunması gereken yapı veya alanların çokluğu ve sürekli gelişen inşaat teknolojisi sayesinde tünel açmanın geçmişe kıyasla daha kolay hale gelmesi olarak sıralanabilir (Broere, 2016).

Tablo 1. Türkiye'deki ulaşım amaçlı bazı tünel projeleri ve tünel uzunlukları

Tünel Projesi Adı	Uzunluk (metre)	Tamamlanma Yılı
Yeni Zigana Tüneli	14481	Devam ediyor
Ovit Dağı Tüneli	14000	2018
Kop Dağı Tüneli	6500	Devam ediyor
Sabuncubeli Tüneli	6480	2018
Avrasya Tüneli	5400	2016
Ilgaz Dağı Tüneli	5391	2016
Cankurtaran Tüneli	5228	2018

Tünel projelerinin hayata geçirmesinde, harita mühendisliği faaliyet alanında bulunan işler teknik ve hukuki olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Teknik işler tünel projesinin planlanması, uygulanması ve inşaat sonrası izlenmesi için ihtiyaç duyulan konum bilgilerinin üretilmesi ile ilgiliyken hukuki işler tünel için ihtiyaç duyulan mekânın mülkiyetinin kazanılması ve sınırlı aynı hak tesisi süreçlerini içermektedir.

Bugüne kadar Türkiye'de ve dünyada pek çok çalışmada seçilen tünel projeleri için bu teknik ve hukuki işler ayrı ayrı ele alınmıştır.

Ünlütepe ve Messing (2005)'te tünel projelerinde tünel kazıklarının yönlendirilmesi, tünel giriş yapılarının (şaft, portal) inşası ve deformasyonların izlenmesinde kullanılabilecek ölçme teknikleri açıklanmıştır. Kalkan vd. (2005)'te, Üsküdar-Ümraniye II. Etap metro projesi için yatay ve düşey kontrol ağının oluşturulması amacıyla gerçekleştirilen ölçme işleri değerlendirilmiştir. Yalçınkaya vd. (2006)'da Trabzon Şehir Geçiş Tüneli projesinde tünel deformasyonları jeodezik ve geoteknik yöntemlerle izlenmiştir. Satır (2007)'de, Karadeniz Sahil Yolu üzerinde seçilen iki örnek tünel için sonlu elemanlar yöntemiyle tünel deformasyonları tespit edilmiştir. Lee (2007)'de, TBM (Tünel Delme Makinesi - Tunnel Boring Machine) yöntemiyle inşa edilen 7.5 km uzunluğundaki bir tünel projesi için TBM'nin yönlendirilmesinde gerekli olan ölçme çalışmaları incelenmiştir. Ademoğlu (2008)'de, İstanbul'da NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu - New Australian Tunnelling Method) ve TBM teknikleriyle inşa edilen metro tünelleri için gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar araştırılmıştır. Seydanlioğlu (2009)'da, 4.Levent-Ayazağa metro inşaatında, tüneldeki düşey ve yatay deformasyonlar belirlenmiştir. Gengeç (2010)'da, tünel kazılarının yönlendirilmesindeki yatay doğruluk araştırılmıştır. Eren (2014)'te, İstanbul'daki M5 metro projesi için düşey deformasyonun belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Jensen ve Almholt (2015)'te, Almanya ve Danimarka arasında inşa edilen hem karayolu hem de raylı ulaşım için planlanan 18 km uzunluğundaki Fehmarnbelt tüneli projesindeki jeodezik altyapı çalışmaları incelenmiştir. Li ve Huang (2018)'de, Hong Kong'da inşa edilmekte olan 6.7 km uzunluğundaki tünel projesi için jeodezik kontrol ağının tesisi ve ölçülmesi çalışmaları açıklanmıştır. Yüceses (2019)'da, Çanakkale ilinde seçilen bir tünel projesi için jeodezik ve geoteknik yöntemlerle deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Faslak (2019)'da, Karayolu tünel inşaatındaki jeodezik çalışmalar Denizli Honaz tüneli örneği üzerinden incelenmiştir.

Karataş vd. (2007)'de, Trabzon Şehir Geçiş Tüneli projesinde mülkiyet problemlerinin çözülmesi süreci değerlendirilmiştir. Tanrıvermiş vd. (2008)'de, Konya ilindeki Mavi Tünel Projesi için kamulaştırma alanındaki arazilerin değerlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma

gerçekleştirilmiştir. **Balcı (2010)**'da, kamulaştırma maliyetinin ulaşım yatırımları üzerindeki etkisi, İstanbul'da seçilen bir tünel projesi ve bağlantı yolları örneğinde incelenmiştir. **Hunt vd. (2014)** ve **Sun vd., (2017)**'de, sırasıyla İngiltere ve Çin'de altyapı tesislerinin geçirilmesi için gerekli olan tünellerin inşasında kazı maliyetinin düşürülmesi için çok amaçlı kullanılabilir tüneller tasarımı önerilmiştir. **Hiironen vd. (2015)**'de, Helsinki'de (Finlandiya) inşası tamamlanan metro projesinin taşınmazların kira ve satış değerleri üzerine etkisi araştırılmıştır. **Kaliampakos vd. (2016)**'da, dünya genelinde seçilen bazı tünel projeleri için maliyet-fayda analizi yapılmıştır. **Ho ve Rajabifard (2016)**'da, Singapur'da kadaströ parsellerinin altından ve üstünden geçen nesne bilgilerinin yönetimi için 3B bir arazi idaresi sistemi önerilmiştir. **Besner (2017)**'de, tünellerle ilgili uluslararası organizasyonlar ve bunların faaliyetleri incelenerek yeraltındaki mekânın tüneller için planlanmasında daha fazla insan odaklı çözümlerin araştırılması gerektiği belirtilmiştir. **Wang vd. (2018)**'de, 1959-2020 yılları arasında Çin'de tamamlanan ve yapımı planlanan altyapı tesisi tünelleri için sorumlu kurumlar, finansman ve kullanım amacı gibi kriterlere göre analizler gerçekleştirilmiştir. **Namlı (2018)**'de, bir metro hattı tünel projesinde yapılan değişikliğin projenin maliyetine ve tamamlanma süresine etkisi değerlendirilmiştir.

Türkiye'de, mevcut durumda toplamda 357 km uzunlukta 317 olan karayolu ulaşım tüneli sayısının 2023 yılına kadar 700 km uzunluğa ve 470 tünele ulaşması planlanmaktadır (**KGM, 2019**). Çok sayıda çalışmaya rağmen tünel projelerinin harita mühendisliği alanındaki teknik ve hukuki işlerinin bir arada değerlendirildiği çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde materyal ve yöntem tanıtılmaktadır. Üçüncü ve dördüncü bölümde, Yeni Zigana Tüneli (YZT) projesindeki harita mühendisliği faaliyetleri sırasıyla, teknik ve hukuki işler olarak değerlendirilmektedir. Çalışma sonuç bölümüyle sona ermektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, kapsamlı bir literatür araştırması ardından seçilen bir tünel projesi için harita mühendisliği faaliyetlerinin değerlendirilmesi yöntemi benimsenmiştir. Harita mühendisliği faaliyetleri Şekil 1'de gösterildiği gibi teknik ve hukuki işler olarak iki gruba ayrılarak her bir gruptaki alt faaliyetler belirlenmiştir. Çalışma için seçilen proje YZT projesidir.

YZT Harita Mühendisliği Uygulamaları

Teknik İşler

- Yer Kontrol Noktaları Tesisi
- Jeodezik Referans Sistemi Seçimi
- Yükseklik Sistemi ve Jeoit Seçimi
- Harita Projeksiyonu Seçimi
- Koordinat Dönüşümü
- Halihazır Harita Üretimi

Hukuki İşler

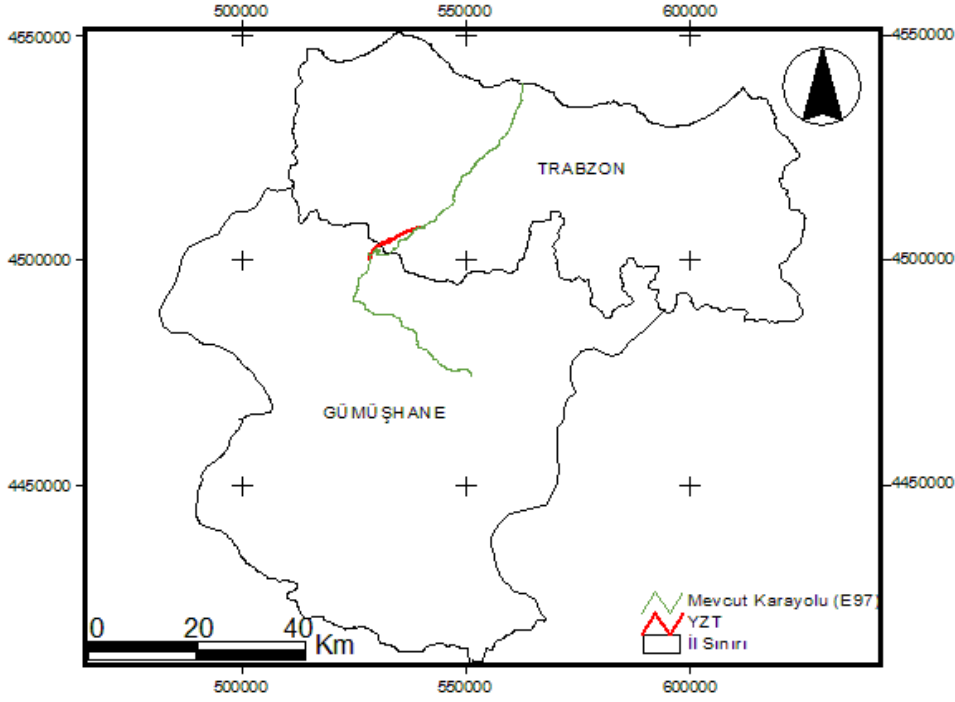
- Kamulaştırma Planının Hazırlanması
- Kamu Yararı Kararı Alınması
- İzin/Tahsis İşlemleri
- Kıymet Takdir Komisyonu Kurulması
- Bedel Tespiti
- Uzlaşma Komisyonu Görüşmeleri

Şekil 1. YZT Harita mühendisliği uygulamaları

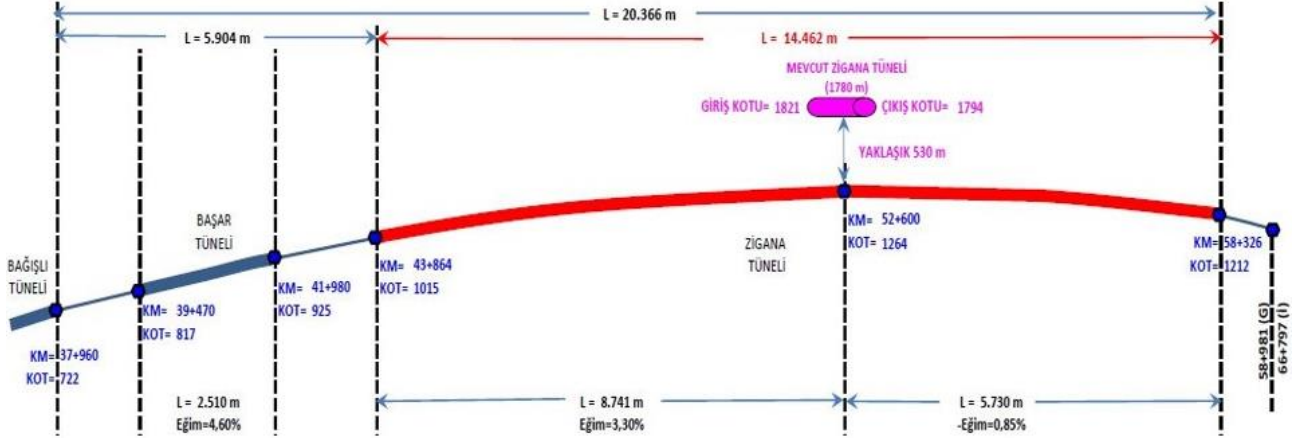
13 Mart 2017 tarihinde temeli atılan ve halen yapımı devam eden YZT projesi, her biri 14.5 kilometre olan toplam 29 kilometre uzunluğundaki çift tünel tüpü ile Türkiye ve Avrupa'nın birinci, dünyanın ikinci en büyük karayolu ulaşım tüneli projesi olarak kabul edilmektedir. Tarihi İpek Yolu güzergâhı üzerinde yapımı süren proje kapsamında, Gümüşhane'nin Torul ilçesine bağlı Köstere köyü mevki ile Trabzon'un Maçka ilçesine bağlı Başarköy köyü arasında her biri 14,5 kilometre uzunluğunda çift tünel inşa edilecektir (Şekil 2). YZT projesiyle, Başarköy Vadisi'nden 1015 metre kotu ile tünele girilip, 1264 metre kotuna kadar yüzde 3.30 eğimle ulaşıldıktan sonra, yüzde 0.85 eğimle inişe geçilerek Köstere Vadisi'nden 1212 metre kotu ile tünelden çıkmak suretiyle Zigana Dağı'nın geçilmesi planlanmaktadır. Bu sayede, mevcut Zigana Tüneli'ne göre, YZT ile yaklaşık 530 metre daha düşük kottan geçilerek Zigana Dağı aşılabilecektir (Şekil 3). YZT, Trabzon-Gümüşhane arasındaki yol güzergâhı uzunluğunu 8 km kısaltması yanında, kış aylarındaki zorlu iklim koşulları ve heyelan nedeniyle tehlikeli olan mevcut ulaşımın daha güvenli ve konforlu bir şekilde gerçekleştirilmesine de imkân sağlayacaktır. Ayrıca, YZT ile mevcut durumda yaklaşık 1.5 saat olan Trabzon-Gümüşhane illeri

arasındaki ulaşım süresi 1 saatin altına düşerek ulaşım süresi ve yakıt maliyetinde tasarruf sağlanacaktır. YZT teknik işleri Cengiz İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından yürütülürken,

hukuki işler ise Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Kamulaştırma Dairesi sorumluluğunda yürütülmektedir.



Şekil 2. YZT projesi güzergâhı



Şekil 3. YZT projesi tünel giriş ve çıkış noktalarının yükseklikleri

3. YZT Projesi Teknik İşleri

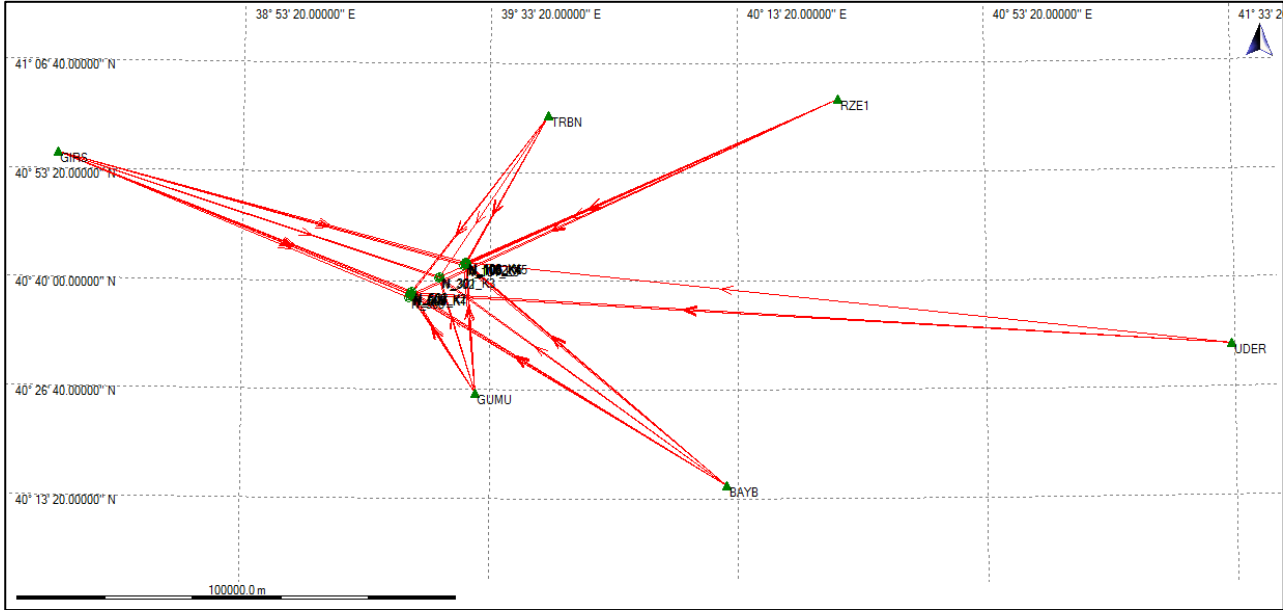
YZT projesi için tesis edilen temel yer kontrol noktaları tünel giriş ve çıkış bölgesinde yer alan altışar adet beton pilyeden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak, çalışma alanında bulunan daha önce tesis edilmiş dört yer kontrol noktası (nirenji) daha kullanılmıştır. Ölçme aletlerinin düzeçlenmesi için pilyeler üzerinde sabit yükseklikli bağlantı sehparlarından (tribrach) yararlanılmıştır. Yer kontrol noktalarındaki ölçme işleri iki ayrı ölçü ekibi tarafından eş zamanlı

olarak gerçekleştirilmiştir. Yer kontrol noktalarının konumları GNSS (Global Navigation Satellite Systems-Küresel Seyrüsefer Uydusu Sistemleri) ölçü tekniğiyle belirlenmiştir. Bunun yanında, hassas (geometrik) nivelman ölçü tekniği ve invar miralar kullanılarak yer kontrol noktalarının ortometrik yükseklikleri belirlenmiştir. Yer kontrol noktaları projedeki tüm ölçme çalışmalarının dayanağı olacağından bu noktalarının yatay ve düşey konumları periyodik ölçümlerle izlenerek bir deformasyon olup olmadığı kontrol edilmektedir. Yer kontrol

noktalarının isimlendirilmesi 26.06.2018 tarih ve 30460 sayılı resmi gazetede yayımlanan Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHBBÜY)'nin 8.maddesine göre yapılmaktadır. Buna göre, A derece ağlar ve noktalar, Global (ITRF, WGS84) ve bölgesel (ETRF) ağlar ve noktaları, B derece ağlar, uluslararası veya bölgesel ağlara dayalı Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktalarını, C derece ağlar, B derece ağına sıklaştırılması ile oluşan ağları ifade etmektedir. C dereceli ağların alt dereceleri ise baz uzunluğuna göre belirlenmektedir. Buna göre baz uzunluğu 15-20 km olan ağ ve noktalar C1, ortalama kenar uzunluğu 5 km olan ağ ve noktalar C2, en büyük baz uzunluğu 3 km olan ağ ve noktalar C3 ve poligon noktaları C4 olarak adlandırılmaktadır. Türkiye Yatay Kontrol Ağı'na dayalı olarak yersel tekniklerle üretilen noktalar nirengi noktalarını ve Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı'na dayalı olarak üretilen noktalar ise nivelman noktalarını oluşturmaktadır. YZT projesi için tesis edilen yer kontrol noktaları 16 adet nirengi, 16 adet C1 ve 25 adet C4 noktasından oluşmaktadır.

YZT projesinde ITRF96 (International Terrestrial Reference Frame 1996-Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi-1996 yılında güncellenmiş

ITRF) jeodezik referans sistemi esas alınmıştır. ITRF, nokta koordinatları ve noktaların hareket hızlarının, yer kabuğundaki tüm plakaların hareket ettiği varsayılan bir modele göre belirlenen dinamik bir ağıdır. Ölçme işlerinde ülke nirengi ve nivelman ağındaki deformasyonları yok edebilmek aynı zamanda GNSS teknolojilerden en fazla düzeyde faydalanabilmek için ITRF sistemi tercih edilmektedir (Ayhan vd., 1999). ITRF kullanılmasının bir diğer avantajı da diğer kurumların projelerinin YZT projesi ile ilişkilendirilmesinde kolaylık sağlayacak olmasıdır. Bu nedenle, YZT projesi için tesis edilen jeodezik noktaların koordinatları TUTGA'ya dayalı olarak ITRF datumunda elde edilmiştir. TUTGA, savunma ve kalkınma amaçlarına yönelik olarak tüm kullanıcıların duyarlı konum gereksinimlerini karşılamak üzere uydu tekniklerine dayalı ve 1997-2001 yıllarındaki çalışmalarla kurulmuştur. 1997 yılında 296, 1998 yılında 207 ve 1999 yılında ise 91 adet TUTGA noktası tesis edilmiştir. TUTGA; konumları yer küre üzerinde 1-3 cm doğruluğunda bilinen sürekli güncellenen yaklaşık 700 noktadan oluşmaktadır (HGM, 2020). Şekil 4'te YZT projesi yatay kontrol ağı TUTGA bağlantı noktalarıyla birlikte gösterilmektedir.



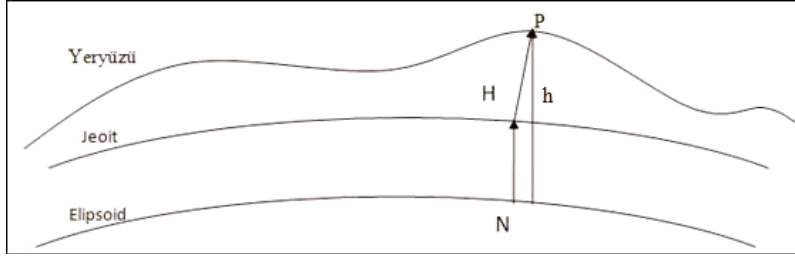
Şekil 4. TUTGA bağlantı noktalarıyla birlikte YZT projesi yatay kontrol ağı noktaları (Köse, 2018)

Türkiye'de, mühendislik projelerinin planlanması ve araziye uygulanmasında 2005 yılına kadar 1910 yılında belirlenen uluslararası Hayford elipsoidinin esas alındığı ED-50 (European Datum 1950) datumu kullanılmaktaydı. 2005 yılında, 1998 tarihli Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği'nin ihtiyacı karşılamaması üzerine

hazırlanan BÖHBBÜY'nin yürürlüğe girmesiyle GRS80 (Geodetic Reference System-1980) elipsoidinin esas alındığı ITRF96 datumu kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, projelerde yer kontrol noktalarının GNSS ölçüleri ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerinin ülke yükseklik sistemine dönüştürülmesi için uygun

doğruluğa sahip jeoit bilgisine ihtiyaç vardır. Mühendislik projelerinde, GNSS ölçüleriyle GRS80 elipsoidinde belirlenen elipsoid yüksekliklerinin ülkemizde kullanılan ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm BÖHHBÜY'nin 41. maddesinde belirtildiği şekilde Türkiye Jeoit'inin (TGyy) kullanılması veya GNSS nivelman jeoidi kullanılarak GNSS nivelmanı uygulanması şeklinde gerçekleştirilir. TGyy, TUDKA99 (Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999) ile

uyumlandırılmış, yayımlandığı yılın son iki rakamı ile anılan ve Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından yayımlanan güncel Türkiye Jeoit'ini ifade etmektedir. Şekil 5'de ortometrik yükseklik ve elipsoid yüksekliği arasındaki ilişki gösterilmektedir. YZT projesinde, ölçülen yükseklikler ortometrik yüksekliklerdir. Projenin ülke TUDKA99 ağına bağlı olarak yükseklik ölçümlerinin yapılabilmesi için HGM tarafından tesis edilen nivelman noktaları (RS) kullanılmıştır.



Şekil 5. Ortometrik yükseklik ve elipsoid yüksekliği arasındaki ilişki. H: ortometrik yükseklik, h: elipsoid yüksekliği, N: jeoit yüksekliği, P: yeryüzü noktası

BÖHHBÜY'nin 10.maddesine göre, jeodezik çalışmalarda hesaplanacak koordinatlar Transvers Mercator (TM) izdüşümünde üç derecelik dilim esasına göre belirlenir. Transversal konumlu, konform silindirik projeksiyon "Gauss-Krüger projeksiyonu" olarak tanımlanır ve büyük ölçekli harita yapımında yaygın olarak kullanılan bir projeksiyon türüdür. Bu projeksiyonun temelleri, Alman Carl Friedrich Gauss tarafından atılmış ve Johann Heinrich Louis Krüger tarafından geliştirilmiştir. Gauss-Krüger projeksiyon sisteminde hesaplanan dik koordinatlara "Gauss-Krüger koordinatları" denir. Gauss-Krüger koordinatları X_g ve Y_g olarak gösterilir. Bu projeksiyon, teğet meridyenden uzaklaştıkça deformasyonların artması nedeniyle, teğet meridyen merkez olmak üzere 3 derecelik dilimlerde uygulanır. Bu dilim dışına çıkınca silindir 3 derece döndürülüp, takip eden meridyen teğet alınarak projeksiyon yeniden uygulanır. Böylece, her dilimde ayrı koordinat sistemi oluşturulur. Düzlem koordinatlarda ölçek faktörü 1 alınır, yani bozulma olmadığı kabul edilir. Koordinat başlangıç noktasında sağa değerlerde eksi değerlerden kurtulmak için $Y=500.000$ kabul edilir. Universal Transvers Mercator (UTM) projeksiyonu ise Gauss-Krüger projeksiyonu esas alınarak geliştirilmiştir. UTM projeksiyonu, İkinci Dünya Savaşından sonra bütün dünya milletleri için ortak bir harita projeksiyonunun geliştirilmesi düşüncesiyle ortaya atılmış, uygulanacak projeksiyonda doğrultu deformasyonlarının en az olması için açı koruluk, az sayıda projeksiyon yüzeyinin kullanılması, yüzeyler arasında

dönüşümlerin mümkün olması, ölçek deformasyonunun belirtilecek sınırlar içinde kalabilmesi, dik koordinat sisteminde beraberliğin sağlanması ve meridyen yakınsamasının 5 dereceden küçük olması şartları aranmıştır. Bu şartların en uyumlu olarak bir arada bulunacağı projeksiyon Gauss-Krüger projeksiyonu olduğu saptanmış, ancak bu projeksiyonda bazı değişiklikler yapılarak sonuçta UTM projeksiyonu ortaya çıkmıştır (Çobanoğlu, 2016). YZT projesinde UTM projeksiyon sistemi kullanılmıştır. Tablo-2'de, YZT projesi nirengi noktalarına ait UTM projeksiyonu koordinatları (sağa ve yukarı değerler), elipsoid koordinatları ve yükseklik değerleriyle birlikte yer almaktadır.

YZT tünel projesi için üretilen koordinatların ve harita altlıklarının farklı koordinat sisteminde üretilmiş harita ve harita bilgileriyle birlikte kullanılabilmesi için koordinat dönüşümüne ihtiyaç vardır. Bunun için, uluslararası Hayford elipsoidine dayalı olarak ED-50 datumunda üretilen koordinatlar ile GRS80 elipsoidine dayalı olarak ITRF datumunda üretilen koordinatlar arasında proje bölgesindeki kadaströ müdürlüklerinden temin edilen dönüşüm parametreleri kullanılarak dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

YZT için projenin uygulanması öncesinde, harita mühendisliği alanındaki teknik işlerinin son faaliyeti, hâlihazır haritanın üretilmesi işidir. Başta belediyelerin yapacağı teknik hizmetler olmak üzere her türlü projenin planlaması,

tasarımı ve uygulaması amacıyla yapılan veya yaptırılan büyük ölçekli haritalara hâlihazır harita denir. Hâlihazır harita üretim çalışmaları BÖHHBÜY'ne göre, TUTGA'ya dayalı olarak ITRF-96 sisteminde gerçekleştirilmiştir. Yersel ölçme çalışmalarında elektronik açı ve mesafe ölçer ölçü aletleri kullanılmıştır. Arazinin topoğrafik durumunun belirlenebilmesi için lüzumlu desen ve karakteristik noktalar ölçülerek eş yükselti eğrileri 1 metre aralığında geçirilmiştir. Ağaçlık alanlar ile az ağaçlıklı ve açık alan sınırları harita üzerinde gösterilmiştir. Elektronik açı ve mesafe ölçer ölçü aletleri yanında TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif Gerçek Zamanlı Kinematik

(GZK) hizmeti veren GNSS Ağı) sistemi kullanılmıştır. Bu sistem ağ prensibinde çalışan gerçek zamanlı kinematik sabit GNSS istasyonları kullanılarak hücresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu sayede, TUSAGA-Aktif, kullanıcılara düzeltilmiş konum bilgisini anlık olarak sağlayarak yersel ölçmelerde arazide hızlı, ekonomik ve doğru olarak verilerin toplanmasını olanaklı hale getirir. YZT projesi için halihazır harita üretiminde ağırlıklı olarak TUSAGA-Aktif kullanılmış, topoğrafyanın uydu sinyalinin GNSS alıcısı antenine ulaşmasına imkan vermediği durumlarda ölçmeler elektronik açı ve mesafe ölçer ölçme aletleri ile tamamlanmıştır.

Tablo 2. YZT nirengi noktaları elipsoit ve UTM koordinatları ile yükseklikleri (Köse, 2018)

Nokta No	X	Y	Elip. yük. (h)	Orto. yük. (H)	Sağa Değer	Yukarı Değer
N_101	3738042.1353	3079757.0477	1182.8972	1152.9768	540087.59	4507289.75
N_102	3737602.6845	3079798.7594	1146.6662	1116.7361	541296.75	4507728.69
N_103	3737687.5122	3079945.5899	1064.5116	1034.5272	541358.00	4507389.99
N_104	3737611.9855	3080019.9095	1073.6093	1043.6504	541463.21	4507418.06
N_105	3737341.5383	3079962.0027	1061.7099	1031.7970	541588.47	4507781.39
N_106	3737418.7970	3079856.6051	1189.5871	1159.6903	541457.13	4507940.64
N_301	3743258.4091	3076874.4005	1670.4995	1640.2703	535462.76	4504460.45
N_302	3743414.2528	3076874.9389	1683.4784	1653.2676	535365.05	4504289.88
N_502	3748650.7597	3073290.8392	1400.9051	1370.5890	529286.98	4501213.37
N_503	3748990.0019	3073162.8690	1376.4447	1346.0850	528974.21	4500905.49
N_504	3749180.4850	3073264.8050	1233.4032	1203.0453	528934.21	4500413.37
N_505	3749207.9660	3073182.6910	1241.4236	1211.0323	528853.08	4500469.68
N_506	3749118.0430	3073340.0950	1221.0461	1190.6717	529032.06	4500400.21
N_507	3749071.3210	3073323.4740	1241.3183	1210.9635	529048.45	4500495.54
N_508	3749707.5894	3073193.2967	1239.1769	1208.7338	528546.96	4499862.32
N1002	3737576.1901	3079858.9758	1082.4806	1052.5442	541360.63	4507627.07

4. YZT Projesi Hukuki İşleri

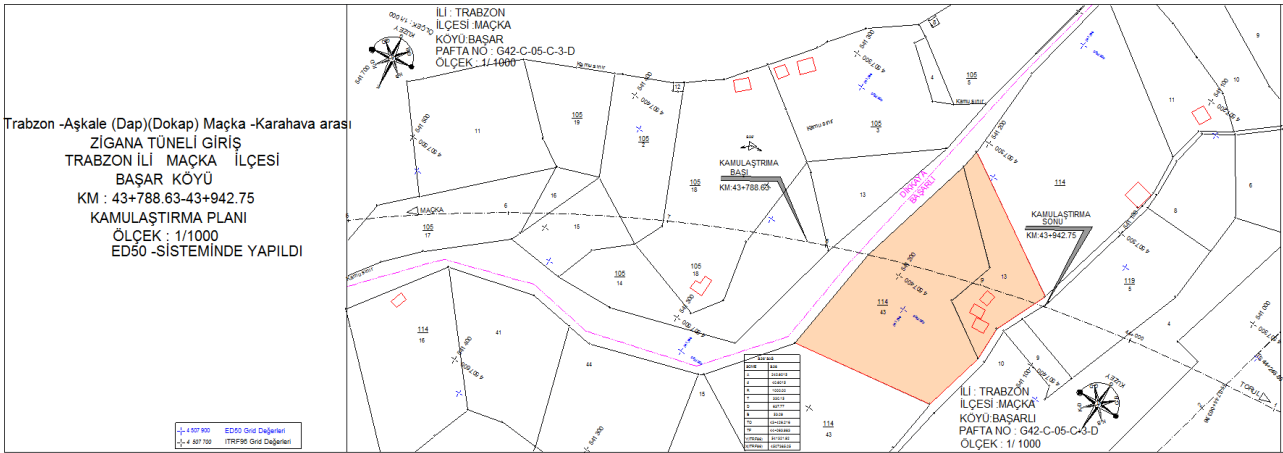
YZT projesi için kamulaştırma planının hazırlanması amacıyla kamulaştırma sınırları belirlenir. Bunun için, proje ilgili Kadastro Müdürlüğü'nden alınan kadastro haritası ile birleştirilerek projenin isabet ettiği taşınmazların mülkiyet durumu (özel mülkiyet, orman, mera, tescil harici gibi) belirlenir. Sadece proje güzergâhı değil, ileride ihtiyaç duyulabilecek alanlar da kamulaştırma sınırına dâhil edilir. Ayrıca, taşınmazların kamulaştırmadan arta kalan kısımları geometrik olarak kullanılmaya elverişli değilse, bu kısımlar da kamulaştırma sınırları içine alınır. Kamulaştırma sınırlarının son şekline karar verdikten sonra, taşınmazların mülkiyet sınırlarının ve yüzölçümlerinin doğruluğu kadastro yerel birimi tarafından kontrol edilir.

Kontrol işleminin ardından KGM'ne gönderilen kamulaştırma planı için Kamu Yararı Kararı (KYK) alınır. Hukuki olarak, KYK alındıktan sonra kamulaştırma işlemlerine başlanabilir. Şekil 6'da, YZT Başarköy köyü kamulaştırma planı gösterilmektedir.

Anayasa'nın 46.maddesinde, devlet ve kamu tüzel kişilerinin kamu yararının gerektirdiği hallerde, gerçek karşılıklarını peşin ödemek şartıyla, özel mülkiyette bulunan taşınmaz malların tamamını veya bir kısmını, kanunla gösterilen esas ve usullere göre kamulaştırmaya ve bunlar üzerinde idarî irifaklar kurmaya yetkili oldukları ifade edilmektedir. KGM tarafından kamu yararı kararı verildikten sonra özel mülkiyete konu taşınmazların tapu kayıtlarına şerh koyma işlemi gerçekleştirilir. Bir tünel projesi olması nedeniyle

YZT projesi ağırlıklı olarak yer altındaki mekânı kullanmaktadır. Kamulaştırma ve irtifak hakkı tesisi gerektiren taşınmazlar ise tünelin giriş ve çıkış kısmında bulunmaktadır. YZT projesi nedeniyle artık kullanılamayacak ve mülkiyeti tamamen kamuya geçecek olan taşınmazlar için kamulaştırma, kısmen kullanılabilir ve YZT projesi nedeniyle kullanımında bir kısıtlama olacak taşınmazlar için ise irtifak (kısmen) kamulaştırması gerçekleştirilir. YZT projesi için gerekli olan mekânın mülkiyet hakkının elde edilmesinde kamulaştırma ve irtifak hakkı tesisi dışında üçüncü bir durum ise taşınmazlar üzerinde herhangi bir hak tesisi yapılmadan taşınmaz maliklerinin yeraltından geçen tünele rıza göstermesidir. Bu durumun yasal dayanağı, 2014 yılında kabul edilen yasa ile Kamulaştırma Kanunu'nun dördüncü maddesinde yapılan düzenlemedir. Bu düzenlemeye göre, mülkiyet hakkının kullanımının engellenmemesi, can ve mal güvenliği bakımından gerekli önlemlerin alınması kaydıyla, taşınmazların üstünde teleferik ve benzeri ulaşım hatları ile her türlü köprü,

taşınmazların altında metro ve benzeri raylı taşıma sistemleri yapılabilir. Kamulaştırma çalışmalarında özel mülkiyete konu taşınmazlar dışında projenin isabet ettiği diğer taşınmazlar için de izin/tahsis işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekir. Örneğin, projenin mera veya orman alanlarını etkilemesi durumunda Tarım ve Orman Bakanlığı, tescil harici yerler için Kamulaştırma Kanunu'nun 30.maddesine göre ilgili idare ve hazine arazileri için Milli Emlak Genel Müdürlüğü ile izin/tahsis işlemleri gerçekleştirilir. Bunun dışında, projeden etkilenen özel mülkiyete konu taşınmazların tarım arazisi olması durumunda bu taşınmazların tarım dışı amaçla kullanılabilmesi için Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'na göre, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü onayı gereklidir. Son olarak, projenin planlı alanlardan geçmesi durumunda, KYK alınmasından sonra kamulaştırmayı yapan idarenin başvurusu ve ilgili Belediye Encümeni kararıyla plan tadilatı gerçekleştirilerek proje imar planına işlenir.



Şekil 6. YZT projesi Başarköy mevki kamulaştırma planı (Köse, 2018).

Gerekli izin/tahsis işlemleri sonrasında varsa proje alanıyla ilgili olarak diğer kurumların görüş ve önerileri dikkate alınarak kesin kamulaştırma planı hazırlanır. Kamulaştırmanın izin/tahsis işlemleri sonraya bırakılarak devam ettirildiği bir süreç, Kamulaştırma Kanunu'nun 27.maddesi dayanak alınarak mümkündür. Kanunda, acele kamulaştırma olarak adlandırılan bu yöntem yurt savunması ihtiyacının gerekli kılması, aceleliğine Cumhurbaşkanınca karar alınacak hallerin bulunması ve özel kanunlarla öngörülen olağanüstü durumların olması halinde başvurulabilir. YZT için acele kamulaştırma gerçekleştirilmemiştir.

Taşınmaz maliklerine ödenecek kamulaştırma bedelinin belirlenmesinin amaçlandığı taşınmaz

değerleme faaliyetleri, kamulaştırmayı gerçekleştiren idare bünyesinde üç kişiden oluşan bir kıymet takdir komisyonunun kuruluşuyla başlamaktadır. Kamulaştırma Kanunu'nun 8.maddesine göre oluşturulan bu komisyon uzman kişi, kurum ya da kuruluşlardan varsa ticaret odalarından ve mahalli emlak bürolarından rapor veya bilgi olarak taşınmaz değerlendirme çalışmasının altyapısını oluşturur. Daha sonra, Kamulaştırma Kanunu'nun 11.maddesinde belirtilen kriterler dikkate alınarak kamulaştırılacak taşınmazların değerlerini belirleyen bir rapor komisyon tarafından hazırlanır. Raporla dikkate alınan değer kriterleri taşınmazın cinsi, yüzölçümü, kıymetine etki edebilecek nitelikleri, vergi beyanı, daha önce yapılmış kıymet takdirleri, net geliri,

arsalarda emsal satış değeri, yapılarda birim fiyatları ve maliyetleri kapsamaktadır.

Kıymet takdir çalışmalarının ardından KGM bünyesinde kurulan Uzlaşma Komisyonu ile taşınmaz malikleri arasında uzlaşma görüşmelerinin yapılabilmesi için maliklerin Merkezi Nüfus İdaresi Sistemi (MERNİS)'e kayıtlı adreslerine Pazarlığa Çağrı Bildirimleri (PÇB) gönderilmiştir. PÇB'nde taşınmazla ilgili bilgiler, taşınmazın kamulaştırılacak yüzölçümü, uzlaşma görüşmelerinin yer ve tarihine ilişkin bilgiler bulunmakta, kamulaştırma bedeline ilişkin bilgi ise bulunmamaktadır. Ayrıca, uzlaşma görüşmelerine katılım sağlanmaması durumunda ilgili kanuna göre işlem yapılacağı belirtilmektedir.

Uzlaşma görüşmeleri sonucunda, uzlaşmaya varılan taşınmazlar için taşınmaz sahibi ve uzlaşma komisyonu üyelerinin imzaladığı satın alma tutanağı hazırlanır. Bu tutanak tescil işleminin hukuki dayanağını oluşturacağından ilgili taşınmaz, malik ve ödenecek bedele ilişkin ayrıntılı bilgi içermektedir. Uzlaşma sağlanan taşınmazlar için hazırlanan tutanaklar tescil işlemleri yapılmak üzere Tapu Sicil Müdürlüğü'ne gönderilir. Uzlaşamayan durumlarda anlaşmazlık tutanağı düzenlenerek taraflarca imzalanır. Ayrıca, tebligat ulaşıp görüşmeye katılmayan veya görüşmeye katılıp anlaşmazlık tutanağını imzalamayan taşınmaz sahipleri için imtina tutanağı düzenlenir. Uzlaşma sağlanamayan taşınmazlar için kamulaştırmayı yapan idare taşınmazın bulunduğu yerin bağlı olduğu Asliye Hukuk Mahkemesi'ne müracaat ederek kamulaştırmaya yönelik bedel tespitini ve idareleri adına tescilini talep eder.

Yer altından geçirilen bir tünel projesi olması nedeniyle, YZT projesinde kamulaştırılan veya irtifak hakkı tesis edilen taşınmaz sayısı arazi üzerinde gerçekleştirilen diğer şeritvari projelerle karşılaştırıldığında oldukça küçüktür. YZT projesinde kamulaştırılan ve irtifak hakkı tesis edilen taşınmazlar parsel niteliğinde olup bunların sayıları sırasıyla 6 ve 9 dur. Kamulaştırılan 6 parselin toplam malik sayısı 30 olurken, irtifak hakkı tesis edilen 9 parselin hisse sayısı 13 olarak belirlenmiştir. Toplam kamulaştırma ve irtifak hakkı yüzölçümleri ise sırasıyla 13809.46 m² ve 2898.59 m² olarak gerçekleşmiştir.

5. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, YZT projesindeki harita mühendisliği uygulamaları teknik ve hukuki işler

olmak üzere iki bölüme ayrılarak incelenmiştir. YZT projesinin inşaat aşaması öncesindeki harita mühendisliği alanını ilgilendiren teknik işleri yer kontrol noktaları tesisi, jeodezik referans sistemi seçimi, yükseklik sistemi ve jeoit modeli seçimi, harita projeksiyonu seçimi, koordinat dönüşümü ve halihazır harita üretimi olarak gruplandırılarak ele alınmıştır. Gelişen ölçme teknoloji sayesinde yersel ve uydulu bazlı teknikler kullanılarak tünel projesinin uygulanması için ihtiyaç duyulan harita bilgileri üretilebilmiştir. Yoğun bitki örtüsü ve elverişsiz topografya şartları zaman zaman GNSS kullanımını engellemiştir. GNSS ile belirlenen elipsoit yükseklikleri yanında, geometrik nivelman ile ortometrik yükseklikler de belirlenmiştir. Farklı ölçme teknikleriyle elde edilen konumsal veriler, projede kapsamında birlikte kullanılırken, her bir ölçme tekniğinin farklı konumsal doğruluğa sahip olduğu dikkate alınmalıdır. Örneğin, tünel projesi için tesis edilen jeodezik ağına nokta konumlarının belirlenmesinde kullanılan GNSS ile $\pm 1-3$ mm doğrulukta konum belirlemek mümkündür. Bunun yanında, nokta yüksekliklerinin geometrik nivelman ile belirlenmesi durumunda elde edilebilecek konumsal doğruluk ± 1 mm ile ± 10 mm arasındadır. Trigonometrik yükseklik yönteminden yararlanılması durumunda ise konumsal doğruluk $\pm 1-10$ cm arasında değişebilmektedir. YZT projesinde, tünel giriş ve çıkış bölgesinin hâlihazır haritasını elde etmek için, fotogrametrik yöntemle üretilen orotofoto haritaların konumsal doğruluğu ± 10 cm civarındadır.

YZT projesindeki hukuki işler ise kamulaştırma ve taşınmaz değerlendirme faaliyetleri olarak ele alınarak değerlendirilmiştir. Hukuki işlerde karşılaşılan temel problemler ise kamulaştırma çalışmalarının uzun sürmesi ve kıymet takdir komisyonu tarafından belirlenen, taşınmaz maliklerine ödenecek bedelin çoğu durumda gerçek değeri yansıtmaması nedeniyle maliklerle uzlaşma sağlanamamasıdır. YZT projesi her biri 14.5 kilometre olan toplam 29 kilometre uzunluğundaki çift tünel tüpü ile Türkiye ve Avrupa'nın birinci, dünyanın ikinci en büyük karayolu ulaşım tüneli projesi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, arazi üzerinde gerçekleştirilen diğer şeritvari mühendislik projeleriyle karşılaştırıldığında yeraltındaki mekânı kullanan YZT için kamulaştırma ve irtifak hakkı tesisi gerçekleştirilen taşınmaz sayısının oldukça küçük olduğu görülmektedir. YZT için toplamda 15 parsel üzerinde 16708,05 m² yüzölçümü için kamulaştırma ve irtifak hakkı tesisi gerçekleştirilmiştir. **Baser vd. (2019)**'da,

Trabzon kent merkezinden geçen yaklaşık 2 km uzunluğundaki bir yol projesi için kamulaştırılan parsel sayısı 185 olarak belirlenirken, **Döner ve Kaya, (baskıda)**, kırsal alanda gerçekleştirilen yaklaşık 4 km uzunluğundaki bir enerji nakil hattı projesi için kamulaştırılacak parsel sayısı 45 olarak tespit edilmiştir.

Mühendislik projelerinin planlanmasında ve uygulanmasına temel altlık kadastro haritalarıdır. Bu haritalar projelerin hem teknik hem de hukuki işleri için referans alınmaktadır. Mevcut kadastro sistemlerinde temel birim iki boyutlu kadastro parseldir. İki boyutlu kadastro parsellerini ve bu parseller üzerindeki hakları tescil etmeyi amaçlayan mevcut kadastro sisteminin parsellerin altından veya üstünden geçen nesnelere (tüneller, enerji nakil hattı gibi) de teknik ve hukuki bilgilerini yönetebilecek şekilde üç boyutlu bir yapıya kavuşması projelerin uygulanmasında yaşanan teknik ve hukuki problemleri en aza indirecektir.

Teşekkür

Bu makale, yüksek lisans tezinden (Köse, 2018) geliştirilerek hazırlanmıştır. Torul ve Maçka Kadaastro Müdürlükleri ile Cengiz İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne bilgi ve belge sağlayarak çalışmaya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ademoğlu, Y. 2008. Modern Tünelcilikte Jeodezik Çalışmaların Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 111s.
- Ayan, T., Aksoy, A., Deniz, R., Arslan, E., Çelik, R.N., Özşamlı, C., Denli, H., Erol, S. ve Erol, Ö.B., 1999. İstanbul GPS Nirengi Ağı (IGNA) Teknik Raporu: Rap. No. 1997/3882, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Balcı, E., 2010. Kamulaştırma Maliyetinin İstanbul Ulaşım Yatırımlarına Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 72s.
- Baser, V., Uzun, B. ve Yıldırım, V. 2019. An Alternative Method for Expropriation for Lane-like Projects in Planned Area: a Case Study From Trabzon in Turkey. Survey Review, 51(365), 147-153.
- Besner, J., 2017. Cities Think Underground – Underground Space (also) for People. Procedia Engineering, 209, 49–55.

- Broere, W., 2016. Urban Underground Space: Solving the Problems of Today's Cities. Tunnelling and Underground Space Technology, 55, 245–248.
- Çobanoğlu, S.İ., 2016. Kartografya ve Uygulamaları Ders Notları, Harita Genel Müdürlüğü Matbaası. Ankara, 232s.
- Döner, F. ve Kaya, E., 2020. Enerji Nakil Hattı Projelerinin Uygulanmasında Arazi Mülkiyetinin Kazanılması Sürecinin Değerlendirilmesi. Geomatik Dergisi (Baskıda).
- Eren, M., 2014. İki Farklı Yöntemle (NATM-TBM) ile Açılan Bir Tünelde Düşey Deformasyon/Deplasman'ların Belirlenmesi: M5 Metro Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 81s.
- Faslak, Y., 2019. Karayolu Tünel İnşaatında Jeodezik Çalışmalar: Honaz Tüneli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 200s.
- Gengeç, N.E., 2010. Tünel Açma Çalışmalarında Yatay Yönlendirme Doğruluğunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 87s.
- HGM, 2020. Harita Genel Müdürlüğü, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA), <https://www.harita.gov.tr/images/jeodezifaaliyetler/d5a4eb6752402a7.pdf>
- Hiironen, J., Riekkinen, K. ve Tuominen, H., 2015. The Impact of a New Subway Line on Property Values in Helsinki Metropolitan Area, FIG Working Week 2015, May 2015, Sofia, Bulgaria.
- Ho, S. ve Rajabifard, A., 2016. Towards 3D-Enabled Urban Land Administration: Strategic Lessons from the BIM Initiative in Singapore. Land Use Policy, 57, 1-10.
- Hunt, D.V.L., Nash, D. ve Rogers, C.D.F., 2014. Sustainable Utility Placement via Multi-Utility Tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology, 39, 15–26.
- Jensen, A.B.O. ve Almholt, A., 2014. Geodetic Infrastructure and Positioning for the Fehmarnbelt Fixed Link, FIG Working Week 2015, May 2015, Sofia, Bulgaria.
- Kaliampakos, D., Benardos, A. ve Mavrikos, A., 2016. A Review on the Economics of Underground Space Utilization. Tunnelling and Underground Space Technology, 55, 236-244.
- Kalkan, Y., Alkan, R.M. ve Yanalak, M. 2005. Ulaştırma Yapılarına İlişkin Mühendislik

- Projelerinde Yatay-Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması: Üsküdar-Ümraniye II. Etap Hafif Metro Projesi Örneği, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara.
- Karataş, K., Demir, O. ve Bıyık, C. 2007. Altyapı Tesislerinin Mülkiyetle İlişkisi: Trabzon Şehir Geçişi Tüneli Örneği, 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Nisan 2007, Ankara.
- KGM, 2019. Karayolları Genel Müdürlüğü, İstatistikler, Köprü ve Tünel Bilgileri, Tünel Envanteri Bilgileri, <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/KopruveTunelBilgileri/tunelenvanterbilgileri.pdf>.
- Köse, E., 2018. Tünel Çalışmalarında Harita Mühendisliği Uygulamaları: Yeni Zigana Tüneli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Gümüşhane, 78s.
- Lee, A.H.S., 2007. Engineering Survey System for TBM (Tunnel Boring Machine) Tunnel Construction., FIG Working Week 2007, May 2007, Hong Kong SAR, China.
- Li, G. ve Huang, S., 2018. Control Survey for a 6.7 km Immersed Tunnel in Chinese Lingding Ocean, FIG Congress 2018, May 2018, Istanbul, Turkey.
- Namlı, M., 2018. Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Hattında Yapılan Uygulama Değişikliklerinin Projeye Mali ve Süresel Etkisi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 190-196.
- Satır, B., 2007. Tünel Deformasyonlarının Jeodezik, Geoteknik ve Sonlu Eleman Yöntemleri ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 94s.
- Seydanlıoğlu, A., 2009. Metro Tünellerinde Deformasyon Ölçmeleri 4.Levent – Ayazağa Metro Hattı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 112s.
- Sun, F., Liu, C. ve Zhou, X., 2017. Utilities Tunnel's Finance Design for the Process of Construction and Operation. Tunnelling and Underground Space Technology, 69, 182–186.
- Tanrıvermiş, H., Akipek, Ş., Bayramın, İ., Gün, A.S. ve Aliefendioğlu, Y., 2008. Bağbaşı Barajı ve Hidroelektrik Santrali ve Mavi Tünel Projesi Kamulaştırma Alanındaki Arazilerin Gelirleri, Kapitalizasyon Oranları ve Birim Arazi Değerlerinin Araştırılması. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Taşınmaz Geliştirme Anabilim Dalı Yayın No:2, Ankara.
- Ünlütepe, A. ve Messing, M. 2005. Tünel Ölçme Uygulamalarında Son Yenilikler, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Kasım 2005, İstanbul.
- Wang, T., Tan, L., Xie, S. ve Ma, B., 2018. Development and Applications of Common Utility Tunnels in China. Tunnelling and Underground Space Technology, 76, 92–106.
- Yalçınkaya, M., Satır, B. ve Akköse, M., 2006. Determining the Displacement Occurred in the Tunnels Using Different Measurement and Finite Elements Methods: A Case Study for Trabzon-2 Tunnel, 3rd IAG Symposium, May 2006, Baden, Austria.
- Yüceses, O. 2019. Karayolu Tünellerinde Jeodezik ve Jeoteknik Yöntemlerle Deformasyon Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Çanakkale, 255s.

Farklı Ekim Zamanlarının Soya Fasulyesi Çeşitlerinde Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkileri

Effects of Different Sowing Times on Some Agricultural Properties in Soybean Varieties

Melih OKCU^{1*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 25200, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 14.05.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 11.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 13.08.2020

Öz

Bu araştırma farklı ekim zamanı uygulamalarının farklı soya fasulyesi çeşitlerinde bazı tarımsal özellikler üzerine etkilerini belirlemek amacıyla Gümüşhane Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksekokulu deneme alanında 2014 ve 2015 yıllarında yürütülmüştür. Deneme, Şansa Bağlı Tam Bloklar deneme planına göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuş, Nova, SA-88, Ataem-7, Bravo, A-3127, Arısoy, Yeşilsoy ve Yemsoy çeşitleri kullanılmış ve 3 farklı ekim zamanında (1 Nisan, 15 Nisan ve 30 Nisan) ekim yapılmıştır. En yüksek tohum verimi her iki yılda da sırasıyla 202.24 (kg/da), 210 (kg/da) ile Yemsoy çeşidinden, en düşük değer ise 2014 yılında 68.40 (kg/da) ile Bravo çeşidinden, 2015 yılında ise 120 (kg/da) ile Ataem-7 çeşidinden elde edilmiştir. Gümüşhane ekolojik şartlarında 1 Nisan tarihinin en uygun ekim tarihi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekim Zamanı, *Glycine max.L.* Soya Fasulyesi, Tohum Verimi

Abstract

This research was conducted in 2014 and 2015 in the experimental field of Gumushane University Gumushane Vocational School in order to determine the effects of different sowing time applications on some agricultural characteristics in different soybean varieties. The research was carried out in 3 replications according to the exact blocks trial pattern of chance. In the research Nova, SA-88, Ataem-7, Bravo, A-3127, Arısoy, Yeşilsoy and Yemsoy varieties were used and on 3 different planting times (1 April, 15 April and 30 April) sowing has been done. The highest seed yield is from Yemsoy variety with 202.24 (kg / da), 210 (kg / da) respectively, the lowest value is from Bravo variety with 68.40 (kg / da) in 2014, and 120 (kg) in 2015. / da and Ataem-7 cultivar. It is determined that April 1 is the most suitable planting date in Gümüşhane ecological conditions.

Keywords: Sowing Date, *Glycine max.L.*, Soybean, Seed Yield

*a Melih OKCU; melihokcu@atauni.edu.tr, Tel: (0442)231 24 03, orcid.org/0000-0001-5213-2169

1. Giriş

Tohumlarında ortalama %36-40 protein, %26 karbonhidrat, %18-24 yağ ve %8 oranında madensel maddeleri bulduran soya, baklagiller familyasından olup tek yıllık, yazlık bir bitkidir. Oldukça yüksek protein kalitesine sahip olan soya, hayvansal proteine çok yakın olup gelişme ve büyümeye katkı sunan ve hızlandıran çok kıymetli amino asitler içerdiğinden dolayı, farklı kullanım alanlarında değerlendirilmektedir (Bellaloui vd., 2013, Bohn vd., 2014). Dünya’da birim alanda en çok protein üreten bitki konumunda olan soya, tohumlarından yağı alındıktan sonra geriye kalan küspesi bol miktarda protein içerdiğinden, iyi bir hayvan yemi olarak, özellikle kanatlı yem rasyonlarında yüksek oranda kullanılmakta ve yeşil gübre olarak da değerlendirilmektedir (Okcu vd., 2007).

Diğer bitkisel ve hayvansal yem kaynaklarına göre, birim alandan daha fazla ve ucuz protein sağlaması, soyanın en önemli özelliğini oluşturmaktadır. Soya günümüzde düşük maliyeti ve zengin besin içeriği ile gıda ürünlerinin üretiminde süt, yumurta ve et proteini yerine tercih edilmektedir (Ali, 2010).

Soya üretimini sınırlayan pek çok faktör vardır. Bu faktörler arasında uygun olmayan ekim zamanı, iklim değişikliği, düşük çimlenme oranı, zayıf tohum kalitesi ve nem stresi bulunmaktadır. Bu faktörler arasında ekim zamanı ve bitki yoğunlukları soya fasulyesinin büyüme ve gelişmesini, tane verimini (Zhang vd., 2010) ve tohum kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir (Rahman vd., 2005). Soya fasulyesi çeşitlerini ve agronomik kusurları keşfetmek, bu açığı kapatmamıza yardımcı olabilir.

Ekim zamanı, ürün verimi üzerine çok fazla etki yapan değişkendir (Calvino vd., 2003a, b), ve soya üretiminin en etkili kültürel uygulamalarından biridir (Robinson vd., 2009). Aynı zamanda hem ekonomik olması hem de ürün verimini artırması bakımından ekim zamanı, soya için iyi bir yaklaşımdır (Hoeft vd., 2000; Naeve vd., 2004).

Farklı ekim zamanlarında yapılan ekimler, ürün dönüşümü sırasında farklı etmenlerden dolayı soyanın gelişim aşamalarını etkiler. Bu etmenler fotoperiyottaki varyasyon, (Han vd., 2006; Kumudini vd., 2007), hava sıcaklığı (Chen ve Wiatrak, 2010), yağış dağılımı ve miktarı (Hu ve Wiatrak, 2012)’dir. Ekim zamanı soya fasulyesinin verim ve gelişmesine önemli ölçüde etkiye sahiptir. Mevsimde erken ekim, zayıf çıkışa ya da sınırlı bir büyümeye sebep olabilir. Ürün yüksek sıcaklığa

maruz kaldığında, kritik uzunluktan daha kısa bir günde hızlı bir şekilde olgunlaşabilir. Eğer bu olay, bitki yeterli bir boyuta ulaşmadan gerçekleşirse, soya fasulyesi düşük verim verir ve bodur kalır (Boquet ve Clawson, 2007). Ancak geç ekim, vejetatif safhayı küçültebilir, bu da kuru madde birikimini azaltarak, üreme parçalarına zayıf bölümelere ve sonuçta potansiyel verimin düşük gerçekleşmesine neden olur (Ram vd., 2010).

Bu çalışma, Gümüşhane ekolojik şartlarında farklı ekim zamanlarının soya fasulyesi çeşitlerinde bazı tarımsal özelliklerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Denemede Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünden 6 (NOVA, ARISOY, A-3127, SA-88, ATAEM-7, BRAVO), Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünden temin edilen 2 soya (Yemsoy, Yeşilsoy) çeşidi olmak üzere toplam 8 soya çeşidi kullanılmıştır. Bitki besin elementi ihtiyacını karşılamak amacıyla amonyum sülfat (%21), triple süperfosfat (%45), potasyum sülfat (%48) ve ayrıca soya bakterisi kültürü (*Rhizobium Japonicum*) kullanılmıştır.

Araştırma Gümüşhane Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksekokulu deneme alanında 2014-2015 yıllarında yürütülmüştür. Araştırma 8 çeşit (NOVA, ARISOY, A-3127, SA-88, ATAEM-7, BRAVO, YEŞİL SOY, YEMSOY) ve 3 değişik ekim zamanının (1 Nisan-15 Nisan- 30 Nisan) yer aldığı 8 x 3 şeklindeki bu faktöriyel düzenleme, Şansa Bağlı Tam Bloklar deneme planına göre 3 tekrarlı toplam 72 parsel şeklinde düzenlenmiştir (Yıldız,1994). Parsel alanı 2.8 m x 6.0 m=16.8 m²’dir. Parseller arasında 1.5 m bloklar arasında 2.5 m’lik mesafe bırakılmıştır. Deneme parselleri 4 sıradan oluşmuştur. Dekara 3 kg N,6 kg P₂O₅ ve 8 kg K₂O gübre ekim sırasında verilmiştir (İlisulu,1973). Deneme alanında bakım işlemleri yapılmış, bitkiler 8-10 cm olduğunda yabancı otlar elle veya çapa ile uzaklaştırılmıştır.

Ortalama sıcaklık 2015 yılında Şubat ve Kasım ayları arasında 0°C’nin altına düşmezken, 2014 yılında 0°C’nin altına hiç düşmemiştir. Uzun yıllar ortalamasında en yüksek sıcaklık Temmuz ayında (20.20 °C) ile gerçekleşirken, araştırmanın yürütüldüğü yıllarda en yüksek sıcaklık Ağustos aylarında sırasıyla 23.0 ve 22.8 °C ve yine uzun yıllar ortalamasında en düşük sıcaklık Ocak ayında -1,7 °C olurken, araştırmanın yürütüldüğü yıllarda ise en düşük sıcaklık Ocak ayında 0.8 ve -0.6 °C

olarak tespit edilmiştir. En fazla yağış 2014 yılında Mayıs ayında 66.7 mm, 2015 yılında ise Mart ayında 67.4 mm gerçekleşmiştir. Uzun yıllarda ise en fazla yağış Mayıs (65.8 mm), en düşük ise

Ağustos ayında (12.1 mm) gerçekleşmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Gümüşhane ili uzun yıllar ortalaması (1960-2015) ve Araştırma yıllarına ait iklim verileri

Aylar	2014			2015			1960 - 2015 uzun yıllar ortalaması			
	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (C ⁰)	Aylık Ortalama Nispi Nem (%)	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (C ⁰)	Aylık Ortalama Nispi Nem (%)	Sıcaklık Ortalaması (C ⁰)	Güneşlenme Gün Süresi	Nispi Nem	Ortalama Toplam Yağış (mm)
OCAK	28.5	0.8	59.1	55.5	-0.6	58.3	-1.7	1.20	68.5	35.2
ŞUBAT	22.1	2.5	45.6	34.4	2.2	55.8	-0.5	3.46	65.7	32.2
MART	45.3	6.5	46.8	67.4	5.5	50.4	3.7	5.02	63.5	41.8
NİSAN	38.1	11.3	46.4	46.8	7.5	49.4	9.4	6.06	61.5	60.3
MAYIS	66.7	14.7	52.4	45.3	13.8	49.9	13.7	7.30	62.3	65.8
HAZİRAN	31.0	17.8	44.1	40.6	17.9	52.3	17.2	9.12	61.1	44.3
TEMMUZ	19.3	21.7	36.7	2.8	20.9	38.7	20.2	10.04	60.2	12.7
AĞUSTOS	12.4	23.0	34.9	5.7	22.8	42.2	20.1	9.46	60.5	12.1
EYLÜL	51.5	17.6	43.1	9.6	20.7	36.8	16.6	8.59	60.5	19.7
EKİM	61.4	11.5	54.1	50.1	12.5	55.8	11.4	5.33	64.7	42.0
KASIM	51.6	4.9	55.0	79.4	6.0	52.4	5.1	2.12	68.3	41.1
ARALIK	14.2	4.9	58.6	31.7	-1.9	64.9	0.4	0.51	69.7	39.9
Ortalama	36.84	11.43	48.07	39.10	10.53	50.57	10.00	5.68	63.87	33.79

Tablo 2. Deneme alanına ait toprak parametreleri

Saturasyon (%)	pH	EC (ds/m)	Tuz (%)	Kireç (%)	Organik Madde(%)	P ₂ O ₅ (kg/ da)	K ₂ O (kg/ da)
44.0	7.44	1.48	0.04	0.99	2.21	1.52	32

Tablo 2’de görüldüğü gibi, toprak analizlerine göre deneme topraklarının saturasyon değeri %44’tür. Ayrıca deneme sahası topraklarında toplam tuz %0.04, pH değeri 7.44, kireç %0.99, organik madde %2.21, bitkilere yararlı P₂O₅ 1.52 kg/da, K₂O 32 kg/da’dır. Bu verilere göre deneme sahası toprakları tuzsuz, hafif alkali karakterde, kireçli, bitkilere yararlı fosfor az, potasyum bakımından da az ve organik maddece zengin durumdadır (Sezen, 1991). Sonuçların varyans analizi şansa bağlı tam bloklar deneme desenine göre SPSS 20.0 paket programı (SPSS INC, 2010) yardımıyla yapılmıştır. Duncan çoklu karşılaştırma testi ile ortalamalar arasındaki farklılıklar tespit edilmiştir (Yıldız ve Bircan,1994).

3.Bulgular ve Tartışma

Bitki boyu ürünün büyümesi ve fenolojisini belirtir. Bitki boyu verilerinin istatistiksel analiz sonuçlarına göre çeşitler, ekim zamanları arasında %1 seviyesinde, çeşit x ekim zamanı; ekim zamanı x yıl ve çeşit x ekim zamanı x yıl uygulaması interaksiyonlarında ise %5 seviyesinde fark tespit edilmiştir (Tablo 3.). Farklı ekim zamanlarının ve

çeşitlerinin bitki boyuna ve çeşitler üzerine etkisi önemli çıkmıştır (Tablo 3.). 1 Nisan tarihli ekim 96.80 cm ile en yüksek bitki boyu ile diğer uygulamaların üzerinde yer almıştır. Çeşitlerin ortalamasına bakıldığında 8 çeşit arasında en uzun bitki boyu 113.93 cm ile Yeşilsoy çeşidinde, en kısa ise 70.07 cm ile Bravo çeşidinde ölçülmüştür. (Tablo 3). En yüksek bitki boyu Birinci ekim zamanı olan 1 Nisan tarihinde optimum çevre şartları ile birlikte oldukça uzun büyüme periyodunun olması bitki boyunun daha uzun olmasına neden olmuştur. Bu sonuçlar, fotoperyot duyarlılığının geç ekim nedeniyle büyüme döneminde belirgin bir azalma olduğunu belirten Wade ve Johnston (1975) ile uyumludur. Aynı zamanda Ram vd., (2010) yapmış olduğu araştırmada, soyada 3 farklı ekim zamanı içerisinde en yüksek bitki boyunu 85.7 cm ile 5 Haziran tarihli ekimden ve çeşitler bakımından ise en yüksek bitki boyunu 84.5 cm ile SL 744 çeşidinin verdiğini bildirmişlerdir. Rehman vd., (2014) ise 5 farklı ekim zamanı uyguladıkları çalışmalarında en yüksek bitki boyunu 96.23 cm ile 28 Ocak tarihli ekimden elde etmiştir. Aynı çalışmada en yüksek bitki boyu 80.83 cm ile Faisal çeşidinden elde

edilmiştir. [Ngalamu vd., \(2012\)](#) yapmış olduğu çalışmada, en yüksek bitki boyunu 40.3 cm ile TGx 1740-2F genotipinden elde etmiştir. [Kang vd., \(2017\)](#) bitki boyunu 79 cm ile Uram genotipinden elde ettiğini bildirmiştir. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar, [Boydak vd., 2018](#) ile benzerlik gösterirken; [Ram vd., \(2010\)](#), [Ngalamu vd., \(2012\)](#), [Doğan vd., 2015](#); [Rehman vd., \(2014\)](#) ve [Kang vd., \(2017\)](#)'nin değerlerinden ise yüksek çıkmıştır.

Dal sayısına ait varyans analiz sonuçlarına göre çeşitler %1 seviyesinde, çeşit x ekim zamanı; çeşit x yıl; ekim zamanı x yıl ve çeşit x ekim zamanı x yıl uygulaması interaksiyonları ise %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Dal sayısı incelendiğinde en fazla dal sayısı 1.94 adet ile Arısoy çeşidinden elde edilmiştir. Ekim zamanı uygulamalarında ise 1 Nisan uygulaması 1.56 adet ile diğer uygulamalar arasında en yüksek değeri vermiştir. (Tablo 3.). Çeşitler arasında dal sayısı bakımından farklar genotipik özelliklerden ve değişik çevre koşullarından farklı şekilde etkilenmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çeşitler arasında dal sayısı bakımından farklılık önemli bulunurken, ekim zamanları açısından herhangi bir farklılık bulunamamıştır (Tablo.3). [Ngalamu vd., \(2012\)](#) yapmış olduğu çalışmada, dal sayısını 4.6 adet ile TGx 1937-1F genotipinden elde etmiştir. [Kang vd., \(2017\)](#) dal sayısını 3.1 adet ile Uram genotipinden elde ettiğini bildirmiştir. Elde ettiğimiz bulgular [Yaver ve Paşa \(2009\)](#), [Kınacı \(2011\)](#) ve [Boydak vd., \(2018\)](#)'in elde ettiği bulgular dan düşük çıkmıştır.

[Sadeghi ve Niyaki \(2013\)](#) geç ekimin daha az vejetatif gelişim, kısa sap ve düşük üretici nodüllere sebep olduğunu bildirmişlerdir. [Whigham ve Minor \(1978\)](#) soya varyetelerinin gün uzunluğuna verdikleri cevabın farklı olduğunu ifade etmiştir. Uzun gün süresindeki farklılıklar çiçeklenme gün, olgunlaşma gün, bakla, dal ve nodül sayısına, bitki boyu ve tohum ağırlıklarına verdikleri cevapla sonuçlanır. [Whigham ve Minor \(1978\)](#) ve [Sadeghi ve Niyaki \(2013\)](#)'ün bildirdiği gibi soya kısa gün bitkisi olduğundan dolayı, kısa gün şartlarında uzun gün şartlarından daha az vejetatif gelişim üretir. [Hu ve Wiatrak \(2012\)](#) geç ekim ve olumsuz çevre şartlarının soyada büyüme, gelişme ve verim üzerine negatif etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Geç ekimle birlikte fotoperiyot ve sıcaklıktaki değişiklikler bitki boyu, bakla, dal sayısı üreme ve vejetasyon süresini etkiler.

İlk bakla yüksekliği en yüksek değer 24.05 cm ile Yeşilsoy çeşidinden elde edilirken, onu 21.62 cm ile Yemsoy çeşidi takip etmiştir. Ekim zamanı

açısından 30 Nisan tarihli uygulamadan (22.43 cm) en yüksek değer elde edilmiştir (Tablo 3.). Çeşitler, ekim zamanları, yıl, çeşit x yıl; ekim zamanı x yıl bakımından istatistiki fark önemsiz bulunurken, çeşit x ekim zamanı; çeşit x ekim zamanı x yıl uygulaması interaksiyonları %5 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 3.). [Ngalamu vd., \(2012\)](#) yapmış olduğu çalışmada, ilk bakla yüksekliğini 6.8 cm ile TGx 1740-2F genotipinden elde etmiştir. [Kang vd., \(2017\)](#) ilk bakla yüksekliğini 19 cm ile Uram genotipinden elde ettiğini bildirmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar 4.3-9.4 cm [Yılmaz vd., \(2005\)](#) ve 10.17-19.50 cm [Erdoğan vd., \(2007\)](#); 9.8-16.1 cm, ile [Doğan vd., \(2015\)](#)'in değerlerinden yüksek bulunurken; 13.66-40.30 cm [Boydak vd., \(2018\)](#)'in çalışmasından düşük çıkmıştır. Çalışmalarda ortaya çıkan bu farklılığın ekolojik şartlardan ve genotiplerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İlk bakla yüksekliği soya yetiştiriciliğinde önem taşıyan bir konudur ve makinalı hasatta, hasat kaybının minimuma indirilebilmesi açısından ilk baklanın yüksekte olması önemlidir ([Gizlenci vd., 2005](#)). İlk bakla yüksekliği, bitki boyu ile pozitif ilişki vardır fakat; tohum ağırlığı, bakla başına tohum sayısı, bitki başına tohum sayısı ve bakla sayısı ile negatif ilişki vardır ([Oz vd., 2009](#)). Bir başka çalışmada ise bitki boyu, boğum sayısı ve sap çapının diğerleriyle pozitif ilişki olduğu bildirilmiştir ([Ramteke vd., 2012](#)). Ancak ilk bakla yüksekliğinin; bakla sayısının azalmış olabileceği ve bitki boyunun ilk bakla yüksekliğine oranının yüksek olmasından dolayı tohum verimiyle negatif ilişki bulunduğunu bildirmiştir ([Ghodratı vd., 2013](#)).

Bakla sayısı bakımından çeşitler arasında fark önemli bulunmuştur. 2014 yılında en yüksek bakla sayısı 84.80 adet bitki ile Arısoy çeşidinde, 2015 yılında ise 82.14 adet bitki ile Yeşilsoy çeşidinde tespit edilmiştir. İki yılın ortalamasında çeşitler bakımından en yüksek değer 74.47 adet/bitki ile Yemsoy çeşidinden elde edilmiştir. Ekim zamanı açısından 15 Nisan tarihli uygulamadan (62.02 adet/bitki) en yüksek değer elde edilmiştir (Tablo 3). Çeşitler %1 seviyesinde çok önemli, yıl, çeşit x ekim zamanı; çeşit x yıl; ekim zamanı x yıl; çeşit x ekim zamanı x yıl uygulaması interaksiyonları ise %5 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı Ekim Zamanlarının Soya Çeşitleri Üzerine Bazı Tarımsal Özelliklerin Etkisi

Ekim Zamanı	Çeşitler	Bitki Boyu (cm)			Dal Sayısı (adet)			İlk Bakla Yüksekliği (cm)		
		2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.
1 NİSAN	Nova	80.40	116.80	98.60	1.26	1.42	1.34	16	18	17
	SA-88	95.40	79.20	87.30	1.79	2	1.89	10.24	12.40	11.32
	ATAEM-7	99	87.60	93.30	1.53	1.76	1.64	9.70	10.40	10.05
	Bravo	74.60	86.20	80.40	1.16	1.46	1.31	13.10	14	13.55
	A-3127	84	85	84.50	1.53	1.76	1.64	15.14	17.60	16.37
	Arısoy	86	92	89	1.44	1.94	1.69	14.41	17.40	15.90
	Yeşilsoy	123.60	126.80	125.20	1.22	1.5	1.36	24.94	27	25.97
	Yemsoy	117.20	115	116.10	1.49	1.7	1.59	26.72	29.60	28.16
	Ortalama	95.03 a	98.58 a	96.80 A	1.43 a	1.69 b	1.56	16.28 c	18.30 c	17.29
15 NİSAN	Çeşitler	Bitki Boyu (cm)			Dal Sayısı (adet)			İlk Bakla Yüksekliği (cm)		
		2014	2015	Ekim Zam.Ort..	2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.
	Nova	78.20	86.20	82.20	1.83	1.92	1.88	11.25	13.40	12.33
	SA-88	100	95.20	86.70	1.48	1.66	1.57	20.14	23.20	21.67
	ATAEM-7	85.80	85.80	92.90	1.14	1.34	1.24	27.14	29.80	28.47
	Bravo	66.60	66	75.90	1.01	1.04	1.02	18.11	22.40	20.26
	A-3127	76.60	72.60	69.60	1.12	1.36	1.24	12.01	14	13.01
	Arısoy	89.40	83	79.80	1.21	1.56	1.39	19.15	21.40	20.27
	Yeşilsoy	116.40	109	112.70	1.34	1.64	1.49	22.16	24.20	23.18
Yemsoy	93.40	83.40	88.40	1.28	1.50	1.39	13.03	14.20	13.61	
Ortalama	86.90 b	85.15 c	86.03 C	1.30 b	1.50 c	1.40	17.87 b	20.32 b	19.10	
30 NİSAN	Çeşitler	Bitki Boyu (cm)			Dal Sayısı (adet)			İlk Bakla Yüksekliği (cm)		
		2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.
	Nova	100.40	85	92.70	1.43	1.50	1.46	13.80	15.20	14.50
	SA-88	87.20	71.60	79.40	1.01	1.30	1.15	23.94	26.40	25.17
	ATAEM-7	77.60	86.40	82	1.59	1.84	1.71	20.01	23.40	21.70
	Bravo	69	93.40	81.20	1.24	1.52	1.38	22.40	25.20	23.80
	A-3127	74.40	87.40	80.90	1.24	1.52	1.38	21.78	24.40	23.09
	Arısoy	93.20	103.40	98.30	1.33	1.62	1.47	23.45	26.80	25.12
	Yeşilsoy	101.80	101.80	101.80	1.63	1.80	1.71	21.98	24	22.99
Yemsoy	101.80	113.60	107.70	1.58	1.76	1.67	21.96	24.20	23.08	
Ortalama	88.18 b	92.83 b	90.50 B	1.38 a	1.61 b	1.49	21.16 a	23.70 a	22.43	
ÇEŞİTLERİN ORTALAMASI	Çeşitler	Bitki Boyu (cm)			Dal Sayısı (adet)			İlk Bakla Yüksekliği (cm)		
		2014	2015	Ort	2014	2015	Ort	2014	2015	Ort
	Nova	86.33 F	96 C	91.17 C	1.51	1.61	1.56	13.68	15.53	14.61
	SA-88	94.20 C	82 F	88.10 CD	1.43	1.65	1.54	18.11	20.66	19.39
	ATAEM-7	87.47 E	86,60 E	87.04 D	1.42	1.65	1.54	18.95	21.20	20.08
	Bravo	70.07 H	81.87 F	75.97 F	1.14	1.34	1.24	17.87	20.53	19.20
	A-3127	78.33 G	81.67 F	80 E	1.30	1.55	1.43	16.31	18.67	17.49
	Arısoy	89.53 D	92.80 D	91,17 C	1.33	1.71	1.52	19	16.70	17.85
	Yeşilsoy	113,93 A	112,53 A	113,23 A	1.40	1.65	1.53	23.03	25.06	24.05
Yemsoy	104.13 B	104 B	104,07 B	1.45	1.65	1.55	20.57	22.67	21.62	
Yılların Ortalaması	90.04	92.18	91.11	1.37	1.60	1.49	18.44	20.77	19.61	

Ekim Zamanı	Çeşitler	Bakla Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Bakla Başına Tohum Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Tohum Verimi (kg/da)		
		2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.
1 NİSAN	Nova	46.80	60.20	53.50	2.41	2.78	2.60	141.40	184	162.70
	SA-88	65.20	60.26	62.73	2.40	2.65	2.53	118.60	146	132.30
	ATAEM-7	68.40	56.30	62.35	2.38	2.65	2.52	108.20	138	123.10
	Bravo	48	56.20	52.10	2.30	2.55	2.43	129.60	131	130.30
	A-3127	53.20	61.10	57.15	2.43	2.52	2.48	138.40	146	142.20
	Arisoy	40.60	80.10	60.35	2.38	2.44	2.41	108.60	142	125.30
	Yeşilsoy	70.20	82.14	76.17	2.50	2.56	2.53	121.45	142	131.73
	Yemsoy	52.06	53.20	52.63	2.60	2.64	2.62	198.22	210	204.11
	Ortalama	55.56 a	63.69 b	59.63	2.43 a	2.60 a	2.52	133.06 A	154.90 A	143.97 A
15 NİSAN	Çeşitler	Bakla Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Bakla Başına Tohum Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Tohum Verimi (kg/da)		
		2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.
	Nova	53.40	61.25	57.33	1.99	2.70	2.35	84.40	172	128.20
	SA-88	58.60	58.24	58.42	2.01	2.57	2.29	128	134	131
	ATAEM-7	67.20	58.10	62.65	2.08	2.52	2.30	115.80	124	119.90
	Bravo	46.40	58.25	52.33	2.03	2.44	2.24	68.40	121	94.70
	A-3127	53.20	58.15	55.68	2.34	2.48	2.41	111.60	134	122.80
	Arisoy	84.80	76.70	80.75	2.46	2.40	2.43	138.60	134	136.30
Yeşilsoy	72.10	80.10	76.10	2.56	2.50	2.53	138.97	132	135.50	
Yemsoy	53.65	52.10	52.88	2.53	2.60	2.57	202.24	191	196.62	
	Ortalama	61.17 a	62.86 ab	62.02	2.25 c	2.53 c	2.39	123.50 B	142.75 C	133.13 B
30 NİSAN	Çeşitler	Bakla Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Bakla Başına Tohum Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Tohum Verimi (kg/da)		
		2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.	2014	2015	Ekim Zam.Ort.
	Nova	55.60	60.05	57.83	2.11	2.73	2.42	89.80	176	132.90
	SA-88	43.20	60.44	51.82	3.33	2.68	3.01	80.20	140	110.10
	ATAEM-7	53.60	61.20	57.40	2.18	2.55	2.37	111	120	115.50
	Bravo	46.80	60.20	53.50	2.19	2.50	2.35	185.80	138	161.90
	A-3127	54	63.10	58.55	2.52	2.50	2.51	117.80	136	126.90
	Arisoy	48.20	78.10	63.15	2.65	2.41	2.53	89.40	130	109.70
Yeşilsoy	66.04	76.23	71.14	2.36	2.53	2.45	143.92	130	136.96	
Yemsoy	50.22	50.10	50.16	2.46	2.61	2.54	178.54	190	184.27	
	Ortalama	52.21 c	63.68 a	57.94	2.48 a	2.56 b	2.52	124.56 B	145 B	134.78 B
ÇEŞİTLERİN ORTALAMASI	Çeşitler	Bakla Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Bakla Başına Tohum Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)			Tohum Verimi (kg/da)		
		2014	2015	Ort	2014	2015	Ort	2014	2015	Ort
	Nova	51.93 E	60.50 B	56.22 D	2.17	2.74	2.46	105.20 E	177.33 B	141.27 B
	SA-88	55.67 D	59.65 BC	57.66 D	2.58	2.63	2.61	108.93 D	140 C	124.27 E
	ATAEM-7	63.07 B	58.53 C	60.80 C	2.21	2.57	2.39	111.66 D	127.33 E	119.50 F
	Bravo	47.07 F	58.22 C	52.65 E	2.17	2.50	2.34	127.93 C	130 D	128.97 D
	A-3127	53.47 DE	60.78 B	57.13 D	2.43	2.50	2.47	122.60 C	138.67 C	130.64 CD
	Arisoy	57.87 C	78.30 A	68.09 B	2.50	2.42	2.43	112.20 CD	135.33 C	123.77 E
Yeşilsoy	69.45 A	79.49 A	74.47 A	2.47	2.53	2.50	134.78 B	134.66 C	134.72 C	
Yemsoy	51.98 E	51.80 D	51.89 E	2.53	2.62	2.58	193 A	197 A	195 A	
Yılların Ortalaması		56,31 a	63,41 b	59,86	2,39	2,29	2,28	127,04 B	147,55 A	137,30

	Bitki Boyu (cm)	Dal Sayısı (adet)	İlk Bakla Yüksekliği (cm)	Bakla Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)	Bakla Başına Tohum Sayısı (adet/ bitki ⁻¹)	Tohum Verimi (kg/da)
Ç	**	**	ös	**	ös	**
E	**	ös	ös	ös	ös	**
Y	ös	ös	ös	*	ös	**
ÇxE	*	*	*	*	*	**
ÇxY	ös	*	ös	*	ös	**
ExY	*	*	ös	*	ös	**
ÇxExY	*	*	*	*	*	**

Ç:Çeşitler; E:Ekim Zamanı, Y:Yıl, ÇxE: Çeşitler x Ekim Zamanı arasındaki interaksyon , ÇxY: Çeşitler x Yıllar arasındaki interaksyon, ExY: Ekim Zamanı xYıllar arasındaki interaksyon
ÇxExY: Çeşitler x Ekim Zamanı x Yıllar arasındaki interaksyon ÖS:Önemsiz; *p<0,05, **p<0,01 a,b,c,d,e,f

Yaptığımız çalışma Doğan vd., 2015'in değerlerinden yüksek çıkarırken; Ünal (2007), ve Kınacı (2011)'nin yaptığı çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Ancak Yaver ve Paşa (2009)'un çalışmalarından düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bakla sayısının yüksek olması istenir, verimle yakın bir ilişki içindedir. Çeşitlerin genetik yapıları ve ekim zamanları bakla sayısını etkilemektedir (Yaver ve Paşa, 2009). Ayrıca yapılan kültürel uygulamaların da (bitki sıklığı, sulama, gübreleme vb.) etki edebileceği düşünülmektedir. Araştırmamızdan elde edilen sonuçlar, iklim özellikleri ve genotipik faktörlerden kaynaklanıyor olabilir.

Bakla başına tohum sayısında çeşitler, ekim zamanları, yıl, çeşit x yıl, ekim zamanı x yıl interaksiyonları arasındaki fark önemsiz bulunurken, çeşit x ekim zamanı ve çeşit x ekim zamanı x yıl uygulaması interaksiyonları %5 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 3). En yüksek bakla başına tohum sayısı 2014 yılında 2.65 (adet bitki⁻¹) ile Arısoy çeşidinden, 2015 yılında ise 2.78 (adet bitki⁻¹) ile Nova çeşidinden elde edilmiştir. Çeşitler bakımından en yüksek ortalama değer 2.61 (adet bitki⁻¹) ile SA-88 çeşidinden elde edilmiştir. Ekim zamanı açısından 1 ve 30 Nisan tarihli uygulamalar (2.52 adet bitki⁻¹) en yüksek değerleri vermişlerdir (Tablo 3). Baklada tohum sayısı ile ilgili yapılan çalışmalarda, 1.8-3.0 adet ile Karasu vd., (2002); 1.9-2.7 adet ile Sincik vd., (2005); 2.1-2.5 adet ile Yılmaz vd., (2005); 2-3 adet ile Kınacı (2011); 1.2-2.2 adet ile Karagül vd., (2011); 2.6-3.9 adet ile Dolapçı (2012); 2.43-2.78 adet ile de Altınyüzük (2017) farklı sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuçlarımız çalışmaların bazıları ile benzerlik gösterirken, diğer çalışmalardan ise düşük veya yüksek bulunmuştur. Bunun sebebinin araştırmaların yürütüldüğü çevre koşulları ile kullanılan çeşitler ve uygulanan kültürel işlemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tohum verimlerine bakıldığında en yüksek verim 2014 ve 2015 yıllarında 202.24 kg/da ve 210 kg/da ile Yemsoy çeşidinde tespit edilmiştir. Ekim zamanı açısından 1 Nisan tarihli uygulamadan (143.97 kg/da) en yüksek değer elde edilmiştir (Tablo 3). Çeşitler, ekim zamanı, yıl, çeşit x ekim zamanı, çeşit x yıl, ekim zamanı x yıl ve çeşit x ekim zamanı x yıl uygulaması interaksiyonları ise %1 seviyesinde çok önemli bulunmuştur (Tablo 3). Konuyla yapılan farklı ekim zamanı çalışmalarında tohum veriminde en yüksek değer 371.8 (kg/da) ile Karaaslan vd., (1998)'nin 10 Mayıs tarihli ikinci ekim zamanı uygulamasından; Kara ve Okcu, (2003), dekara 87.3 kg ile en yüksek tohum

verimini 11 Mayıs tarihli ikinci ekim zamanından, Gizlenci vd.,(2005) 416.2 (kg/da) ile ekim zamanı olarak ikinci uygulaması olan 10 Mayıs tarihinden, Çetintaş ve Koç (2005) ise 510 (kg/da) ile 1 Mayıs uygulaması olan ikinci ekim zamanından elde ettiklerini bildirmişlerdir. Elde ettiğimiz sonuçlar, yapılan çalışmaların bazılarından düşük olurken, Kara ve Okcu (2003)'ten yüksek çıkmıştır. Ayrıca Boydak vd., (1998), yapmış oldukları çalışmada en yüksek verimi ilk ekim zamanından elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bu sonuç bizim çalışmamızda da aynı neticeyi vermiş ve en yüksek değer ilk ekim zamanından elde edilmiştir.

Tohum verimi sonuçlarının değişkenlik göstermesinin nedeni, araştırmaların farklı ekolojik koşullarda yapılması ve tespit edilen ekim tarihlerinin özellikle sıcaklık açısından lokasyonlardaki değişimden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Kısa gün bitkisi olan soya, verimle ilgili parametreler açısından değişkenlik göstermekte, neticede ayrı lokasyonlarda yapılan böyle çalışmalarda farklı neticeler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca araştırmaların farklı lokasyonlarda yürütülmesi, farklı çeşit kullanımı, uygulanan bakım işlemleri ve iklim koşulları değişikliği ile de farklı durumların ortaya çıkacağı söylenebilir.

4. Sonuçlar

Tarla tarımında verim üzerine en fazla etki yapan unsurlardan biri ekim zamanıdır. Soya üretiminde de yaygın bir şekilde kullanılan kültürel uygulamalardan olması ve verimini artırması bakımından ekim zamanı en önemli uygulamalardan biridir. Ekim zamanı, soyanın gelişim aşamalarını etkileyerek, verim üzerine direkt etki yapabilir. Özellikle geç ekim ve olumsuz çevre şartları bunu olumsuz etkilerken, sıcaklık ve fotoperiyotta etkileyen faktörlerden birkaçıdır. Vejetasyon periyodu içerisinde geç ekilen soya, vejetatif gelişimini tamamlamak için daha az süreye sahip olacaktır.

Sonuç olarak iki yıl süresince Gümüşhane ili'nde yürütülen bu çalışmada 8 farklı soya çeşidinin 3 farklı ekim zamanı uygulamasına tabi tutularak performansları belirlenmiş, bu bulgular ışığında Yemsoy ve Yeşilsoy çeşitleri en verimli çeşitler oldukları belirlenmiştir. Ekim zamanı açısından ise 1 Nisan tarihli uygulama incelenen parametrelerde en yüksek değerleri vermiştir.

Teşekkür

Bu Araştırma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (GÜ-BAP) 15.B0123.02.01. proje numarasıyla desteklenmiştir. Maddi katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

Acar, F., 2015. Doğu Geçit Bölgesi Koşullarında Bazı Soya (*Glycine max.* L) Çeşitlerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bingöl,76s.

Ali, N., 2010. Soybean Processing and Utilization, The Soybean Botany, Production and Uses, Editor”, Singh, G., <http://www.cabi.org>

Altınyüzük, H., 2017. Soya Çeşitlerinin Çukurova Koşullarında II. Ürün Olarak Verim ve Kalite Özelliklerinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi,Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya,84s.

Bellaloui, N., Hu, Y., Mengistu, A., Kassem, M.A. ve Abel, C.A., 2013. Effects of Foliar Boron Application on Seed Composition, Cell Wall Boron, and Seed ¹⁵N and ¹³C Isotopes In Water-Stressed Soybean Plants. *Frontiers in Plant Science*, 4, 1-12.

Bohn, T., Cuhra, M., Travail, T., Sanden, M., Fagan, J. ve Primicerio, R., 2014. Compositional Differences In Soybeans on The Market: Glyphosate Accumulates in Roundup Ready GM Soybeans. *Food Chemistry*, 153, 207-215.

Boquet, D.J. ve Clawson, E.L., 2007. Planting Dates For Soybean Varieties in North Louisiana. *Ouisiana Agriculture Magazine*, LSUA, www.lsucenter.com/portals/communications/publications/agmag/archve/2007.

Boydak, E., Kayantaş, B., Acar, F. ve Fırat, R., 2018. Bazı Soya Fasulyesi (*Glycine max.* L) Çeşitlerinin Yüksek Rakımlarda Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(4), 544-550.

Boydak, E., İşler, N. ve Karaarslan, D., 1998. Harran Ovası Şartlarında II. Ürün Soyanın (*Glycine max* L.) En Uygun Ekim Zamanının Belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 25-34.

Calvino, P.A., Sadras, V.O. ve Andrade, F.H., 2003a. Quantification of Environmental and Management Effects on The Yield of Late-Sown Soybean. *Field Crops Research*, 83, 67-77.

Calvino, P.A., Sadras, V.O. ve Andrade, F.H., 2003b. Development, Growth and Yield of Late-Sown Soybean in the Southern Pampas. *European Journal of Agronomy*. 19, 265-275.

Chen, G.H. ve Wiatrak, P. 2010. Soybean Development and Yield Are Influenced By Planting Date and Environmental Conditions In Southeastern Coastal Plan, United States. *Agronomy Journal*. 102, 1731-1737.

Çetintaş, Z. ve Koç, H., 1993. Tokat Yöresinde Farklı Ekim Zamanlarının Farklı Soya (*Glycine max* (L.) Merril) Çeşitlerinin Verim ve Kalitesine Etkileri Üzerinde Araştırmalar. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10, 193-201.

Dolapçı, F., 2012, Kahramanmaraş Ekolojik Koşullarında Bazı Soya Çeşitlerinin Tohum ve Yağ Verimi ile Verim Unsurlarını Belirlemek Amacı ile Yürütülen Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş,61s.

Doğan, Y., Koyutürk, Ö. ve Aktaş, H., 2015. Mardin-Kızıltepe Ekolojik Koşullarında Ekim Zamanı Uygulamalarının Bazı Soya Fasulyesi (*Glycine max.* L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Ögeleri Üzerine Etkisi. *Y.Y.Ü. Tarım Bilimleri Dergisi*.25(3), 293-303.

Erdoğan, M., Arslan, D. ve Olgun, H., 2007. Bazı Soya Çeşitlerinin Organik ve Geleneksel Yetiştirme Sistemlerinde Performanslarının Karşılaştırılması. 28-31 Mayıs 2007, 1.Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, Poster Bildiriler Kitabı (editörler:H.Özcan,M.Durmuş)439-442. Samsun.

Ghodrati, G.R., Sekhavat, R. ve Gholami, A., 2013. Evaluation of Correlations and Path Analysis of Components Seed Yield in Soybean. *International Journal of Agriculture*, 3, 795-800.

Gizlenci, Ş., Üstün, A., Acar, M., Dok, M. ve Aygün, Y., 2005. Orta Karadeniz Sahil Kuşağında Orta Erken ve Erken Soya İçin En Uygun Ekim Zamanının Belirlenmesi. 5-9 Eylül 2005, Türkiye IV. Tarla Bitkileri Kongresi, 381-386, Antalya.

Han, T.F., C.X. Wu, Z. Tong, R.S. Mentreddy, K.H. Tan ve Gai, J.Y., 2006. Post Flowering Photoperiod Regulates Vegetative Growth and Reproductive Development of Soybean. *Environmental and Experimental Botany*.55, 120-129.

Hoelt, R.G., Aldrich, S.R., Nafziger, E.D., Johnson, R.R., 2000. *Modern Corn and Soybean*

- Production. Publisher: Champaign, III:MCSP Publications,1st ed.353p.
- Hu, M.ve Wiatrak, P., 2012. Effect of Planting Date on Soybean Growth, Yield, and Grain Quality: Review. *Agronomy Journal*, 104, 785-790.
- İlisulu, K., 1973. Yağ Bitkileri ve Islahı: Ankara, Çağlayan Kitabevi, 195-199.
- Kang, B-K., H-T. Kim, M-S. Choi, S-C. Koo, J-H. Seo, H-S. Kim, S-O. Shin, H-T. Yun, I-S. Oh, K.P. Kulkarni ve J.D. 55 Lee. 2017. Genetic and Environmental Variation of First Pod Height in Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Plant Breeding Biotechnology*. 5(1):36~44. <https://doi.org/10.9787/PBB.2017.5.1.36>.
- Kara, K. ve Okçu, M., 2003. Erzurum Şartlarında Soyanın Farklı Olgunlaşma Dönemlerinde Hasadının Ot Verim ve Kalitesi Üzerine Etkileri, Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi, Ekim 2003, Diyarbakır, Türkiye, s. 649-654.
- Karaaslan, D., Boydak, E. ve Gür, M.A., 1998. Farklı Ekim Zamanlarının Bazı Soya Fasulyesi (*Glycine max* L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim Komponentlerine Etkisi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(4), 55-64.
- Karagül, E.T., Ay, N., Nazlıcan, N.A. ve Demircioğlu, M.C., 2011. Ege Bölgesi İkinci Ürün Koşullarında Bazı Soya Fasulyesi (*Glycine Max* L. Merr.) Genotiplerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, 12-15 Eylül 2011,Türkiye 9.Tarla Bitkileri Kongresi, Cilt II, 1057-1062. Bursa.
- Karasu, A., Öz, M. ve Göksoy, A. T., 2002. Bazı Soya Fasulyesi [*Glycine max* (L.) Merrill] Çeşitlerinin Bursa Koşullarına Adaptasyonu Konusunda Bir Çalışma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 25-34.
- Kınacı, M., 2011. Çanak kale Koşullarında Soya Fasulyesi Çeşitlerinin Verim Bazı Kalite Unsurlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,76s.
- Kumudini, S.V., Pallikonda, P.K. ve Steele, C., 2007. Photoperiod and E-Genes Influence The Duration of The Reproductive Phase in Soybean. *Crop Science*, 47, 1510–1517.
- Naeve, S.L., Potter, B.D., Quiring, S.R., O'Neil, T.A. ve Kurle, J.E., 2004. Influence of Soybean Plant and Population and Row Spacing On Development and Yield Across Planting Dates in Minnesota, www.soybeans.umn.edu/pdfs/2004asaposter_1_spacingplanting_screen.pdf.
- Ngalamu, T., Meseka, S. ve Ashraf, M., 2012. Performance of Soybean (*Glycine max*. L. Merrill) Genotypes Under Different Planting Dates in Sennar State of The Sudan. *Journal of Applied Biosciences*, 49, 3363-3370.
- Okcu, M., Tozlu, E., Pehluvan, M., Kaya, C., Kumlay, M. ve Dizikisa, T., 2007. Erzurum- Pasinler Ekolojik Şartlarında Farklı Soya Fasulyesi (*Glycine max* L.) Çeşitlerinin Uyumu Üzerine Bir Araştırma, 28-31 Mayıs 2007.1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu, Sunulu Bildiriler Kitabı (editörler:H.Özcan,M.Durmuş),219-224. Samsun.
- Oz, M., Karasu, A., Goksoy, T.A. ve Turan, M., 2009. Interrelationships of Agronomical Characteristics in Soybean (*Glycine max*) Grown in Different Environments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 11(1), 85–88.
- Rahman, M.M., Hampton, J.G. ve Hill, M.J. 2005. Soybean Seed Yield As Affected By Time of Sowing in A Cool Temperature Environment. *Seed Science Technology*, 7, 1-15.
- Ram, H., Singh, G. ve Aggarwal, N., 2010. Effect of Time of Sowing on The Performance of Soybean [*Glycine Max* (L.) Merrill] In Punjab. *Journal Research Punjab Agric Univ* 47 (3 & 4): 127-31, Sep. & Dec. 2010
- Ramteke, R., Singh, D. ve Murlidharan, P., 2012. Selecting Soybean (*Glycine Max*) Genotypes For Insertion Height of The Lowest Pod, The Useful Trait For Combine Harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 82(6), 511–515.
- Rehman, M., Khaliq, T., Ahmad, A., Wajid, S.A., Rasul, F., Hussain, J. ve Hussain, S., 2014. Effect of Planting Time and Cultivar on Soybean Performance in Semi-Arid Punjab, Pakistan. *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary*, 14(3), 41-45.
- Robinson, A.P., Conley, S.P., Volenec, J.J. ve Santini, J.B., 2009. Analysis of High Yielding, Early-Planted Soybean in India. *Agronomy Journal*, 101, 131-139.
- Sadeghi, S.M. ve Niyaki, S.A., 2013. Effects of Planting Date and Cultivar on The Yield and Yield Components of Soybean in North of Iran. *ARN Journal of Agricultural and Biological Science*, 8(1), 81-85.
- Sezen, Y., 1991. Gübreler ve Gübreleme: Erzurum, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 679, s. 39-96.

- Sincik, M., Göksoy, A. T. ve Turan, Z. M., 2005. Bursa Koşullarında Bazı Soya (*Glycine max* (L.) Merrill) Çeşitlerinin Verim ve Verim Ögelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, 5-9 Eylül 2005. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi, (Araştırma Sunusu II), Antalya, 1095-1099.
- Ünal, İ., 2007. Melezleme Yöntemiyle Elde Edilen Soya [*Glycine max* (L.) Merr.] Hatlarının Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 60s.
- Wade, F.F. ve Johnston T.H., 1975. Effect of Seeding Date on Growth And Performance of Rice in Arkansas. Agricultural Experiment Station University of Arkansas, Report Series, Arkansas, 224p.
- Whigham, D.K. ve Minor, H.C., 1978. Agronomic Characteristics and Environmental Stress, Soybean Agronomy, Physiology, and Utilization: London, Academic Press, 247p.
- Yaver, S. ve Paşa, C., 2009. Tekirdağ Koşullarında Bazı Soya Fasulyesi Çeşitlerinin Verim Kriterleri Üzerine Bir Araştırma, 19-22 Ekim 2009. Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi, Hatay, 197-200.
- Yıldız, N. ve Bircan, H., 1994. Araştırma ve Deneme Metodları. Atatürk Üniversitesi No: 697, Ziraat Fakültesi No: 305, Ders Kitabı No: 57, Erzurum. 277 s.
- Yılmaz, A., Beyyavaş, V., Cevheri, İ. ve Haliloğlu, H., 2005, Harran Ovası Ekolojisinde İkinci Ürün Olarak Yetiştirilebilecek Bazı Soya (*Glycine max*. L. Merrill.) Çeşit ve Genotiplerinin Belirlenmesi, HÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(2), 55-61.
- Zhang, Qiu-ying., Qing-lu Gao, S.J., Herbert, Yan-sheng Li ve Hashemi, A.M. 2010. Influence of Sowing Date on Phenological Stages, Seed Growth And Marketable Yield of Four Vegetable Soybean Cultivars in North-Eastern USA. African Journal Agriculture Research, 5(18), 2556-2562.

Elazığ İlinde Yetiştirilen *Morus nigra* L. Ekstraktlarının Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin ve Antibiyotiklerle Sinerjistik Etkisinin Belirlenmesi

Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities and Synergistic effect with Antibiotics of Morus nigra L. Extracts Grown in Elazığ Province

Osman AKMEŞE^{1,a}, Tuba ACET^{*2,b}, Kadriye ÖZCAN^{3,c}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı, 29100, Gümüşhane

² Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, 29100, Gümüşhane

³ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 27.04.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 27.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 31.08.2020

Öz

Antimikrobiyal ajan olarak kullanılan ilaçların olası yan etkileri ve mikroorganizmaların bu ilaçlara karşı direnç kazanması, insan sağlığı için büyük tehlike oluşturmaktadır. Bu durum bilim çevrelerini yeni arayışlara itmiştir. Gıda olarak tüketilen pek çok bitkisel ürünün aynı zamanda hastalıklardan korunma amacıyla da halk tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, bunlardan pek çoğu halen bilimsel verilerle doğrulanmamıştır. Bu bakımdan, mevcut çalışmada Elazığ ilinden toplanan ve yöre halkı tarafından geleneksel olarak pek çok rahatsızlığın hafifletilmesinde kullanılan *Morus nigra* L. (karadut) taze meyve ekstraktlarının (etanol, metanol ve etil asetat) pomolojik özellikleri, toplam fenolik ve toplam flavonoid içerik değerleri ile toplam antioksidan kapasiteleri belirlendi. Bununla birlikte, etanol ekstraktının fitokimyasal içeriği RP-HPLC ile değerlendirildi. Ayrıca bunların, antimikrobiyal özellikleri ve antibiyotiklerle (kloramfenikol, novobiosin ve nalidiksik asit) olan sinerjileri test edildi. Etanol ekstraktının toplam fenolik içerik değeri ve antioksidan özellikleri diğerlerine göre anlamlı derecede yüksek bulundu. Bu ekstraktın major bileşeni ise klorojenik asit olarak tespit edildi. Ekstraktların test mikroorganizmalarına karşı düşük etkinlik gösterdiği, bununla beraber metanol ekstraktı/kloramfenikol kombinasyonu haricinde tüm ekstrakt antibiyotik karışımlarının ciddi bir patojen olan *P. aeruginosa* üzerine tam sinerjik etki gösterdiği tespit edildi. Tam sinerji olması ise, antibiyotiğin daha düşük dozda daha etkili olmasını sağlaması açısından oldukça önemlidir. Sonuç olarak, *M. nigra* meyve ekstraktlarının sahip olduğu biyolojik aktiviteleri nedeniyle, gıda ve ilaç endüstrilerinde doğal ve alternatif bir kaynak olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Antimikrobiyal, Antioksidan, HPLC, *Morus nigra* L., Sinerjik Etki

Abstract

Possible side effects of drugs used as antimicrobial agents and microorganisms' resistance to these drugs pose a great danger to human health. This situation led to the scientific community to new searches. It is known that many herbal products consumed as food are also used by the public for the protection of diseases. However, many of these are still not confirmed by scientific data. In this regard, in the current study, *Morus nigra* L. (black mulberry) fresh fruit extracts (ethanol, methanol and ethyl acetate) collected from Elazığ province and used by local people to alleviate many diseases, total antioxidant content of total phenolic and total flavonoids capacities were determined. However, the phytochemical content of the ethanol extract was evaluated by RP-HPLC. In addition, their antimicrobial properties and synergies with antibiotics (chloramphenicol, novobiosin and nalidixic acid) were tested. The total phenolic content value and antioxidant properties of ethanol extract were significantly higher than the others. The major component of this extract was determined as chlorogenic acid. It was determined that the extracts showed low efficacy against the test microorganisms, however, all extract antibiotic mixtures exhibited a full synergistic effect on *P. aeruginosa*, a serious pathogen, except for the methanol extract / chloramphenicol combination. The full synergy is important in terms of ensuring that the antibiotic is more effective at a lower dose. As a result, due to the biological activities of *M. nigra* fruit extracts, it is thought to have the potential to be used as a natural and alternative source in the food and pharmaceutical industries.

Keywords: Antimicrobial, Antioxidant, HPLC, *Morus nigra* L., Synergistic Effect

*^b Tuba ACET; tubaacet@hotmail.com, Tel: (0456) 233 1000 (dâhili:1881), orcid.org/0000-0002-0981-9413

^a orcid.org/0000-0001-9300-8324

^c orcid.org/0000-0002-4913-6035

1. Giriş

Genellikle dut olarak adlandırılan *Morus* cinsi, 16'dan fazla tür içerir ve Moraceae familyasına mensuptur (Ercişli ve Orhan, 2007). Dut ağaçları dünya genelinde tropikal, subtropikal ve ılımlı olmak üzere farklı iklimsel koşullarda yaşayabilirler ve deniz seviyesinden itibaren 4000 metreyi aşan yüksekliklere kadar geniş bir yayılım göstermektedirler (Vijayan vd., 2011). Bunlardan özellikle *Morus nigra* L. (karadut), sahip olduğu zengin antioksidan içerik ve lezzetinden dolayı hem gıda olarak hem de pek çok rahatsızlığın hafifletilmesi amacıyla insanlar tarafından sıklıkla tüketilmektedir (Kostic vd., 2013). Örneğin, karadutun çeşitli kısımları (meyve, kök ve kabuk gibi) boğaz ağrısı, anemi, demir eksikliği, bademcik iltihabı, yara iyileştirme, hipertansiyon, diyabet ve artrit tedavisinde; ateş düşürücü ve diüretik olarak karaciğeri koruma amaçlı, görme güçlüğüne tedavi edici, kan basıncını azaltma ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde geleneksel tıpta kullanılmaktadır (Jiang, 2011). Bu bitkinin önemli miktarlarda biyoaktif maddeler barındırdığı ve antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antioksidatif, antidiyabetik, antiaterojenik, antiaging, antiobezite ve nöroprotektif gibi farklı pek çok biyolojik aktiviteler sergilediği bilimsel çalışmalarla da ortaya konmuştur (Hojjatpanah vd., 2011; Diab vd., 2020). Sergilemiş olduğu çeşitli farmakolojik aktiviteleri, gıda katkı maddesi olarak güvenli kullanımı ve buna bağlı olarak ulusal ekonomide yüksek değere sahip oluşu ile, *Morus* cinsi bitkiler son yıllarda giderek daha fazla dikkat çekmektedir (Yan vd., 2020).

Küresel iklim değişikliği ve yaşam biçimlerinin değişmesiyle pek çok problem ortaya çıkmıştır. Bunların başında da dünya genelinde halk sağlığını ciddi biçimde tehdit eden, antibiyotik dirençli organizmaların neden olduğu enfeksiyonlar gelmektedir (Özcan ve Acet, 2018). Bu problemin çözümünde de ne yazık ki mevcut antibiyotikler yetersiz kalmaktadır ve bu durum acil olarak çözülmesi gereken bir hal almıştır. Bilim insanları yeni antibiyotikler keşfetme veya doz artırımı gibi birtakım çabalar içinde olsalar da, bunlar patojen suşlar üzerinde ya yetersiz kalmakta ya da insanlar üzerinde ciddi yan etkilere neden olmaktadır (Rehman vd., 2020). Bu bakımdan, bilinen antibiyotiklerin doğal bileşenlerle zenginleştirilerek etkinliğinin artırılması yaklaşımı doğmuştur (Wang vd., 2020). Özellikle bitki ekstraktları ile antibiyotiklerin sinerjistik etkilerinin bilinmesi, doğal, ucuz ve daha az yan etkiye sahip alternatif bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Böylelikle

daha düşük dozda antibiyotik kullanılarak daha etkili sonuçlar elde etmek mümkün olabilmektedir. *Morus nigra*'nın başta antioksidan ve antimikrobiyal özellikler olmak üzere, pek çok biyolojik aktiviteler sergilediği bilinmektedir (Budiman vd., 2020; Thakur vd., 2020). Ancak, literatürde Elazığ ilinden toplanan karadut ile yapılan benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bölgenin özelliği farklı iklim ve yükseltiyeye sahip olmasıdır. Bitkilerin bu zorlu koşullarda hayatta kalabilmek için, onların biyolojik aktivitelerinden sorumlu olan, sekonder metabolit kompozisyonlarını değiştirdiği bilinmektedir (Alhaithloul vd., 2020). Bu yüzden mevcut çalışmamızda, Elazığ ilinin yüksek kesimlerinden toplanan ve yerel halk tarafından geleneksel olarak tedavi amaçlı kullanılan, *Morus nigra* L. (karadut) taze meyvelerinin: *i-*) pomolojik, *ii-*) toplam fenolik, toplam flavonoid içerik değerleri ve antioksidan, *iii-*) antimikrobiyal ve *iv-*) antibiyotiklerle sergilediği sinerjik aktivitelerinin belirlenmesi ve *v-*) fenolik bileşenlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklerin Toplanması

Morus nigra L. meyve örnekleri 2018 tarihinin Temmuz ayında Elazığ ilinden toplandı (lokasyonu 38.77082° kuzey-38.91900° güney ve rakımı ise 1242 m olarak belirlendi). Örnekler toplanırken meyvelerin ezilmemesi amacıyla porsiyonlara ayrıldı ve hava geçirmeyen kilitli poşetlere konarak sonraki analizler için -20 °C'de muhafaza edildi.

2.2. Örneklerin Pomolojik Özellikleri

Meyve örnekleri toplanırken pomolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla rastgele seçilen 10 adet meyvenin boy ve en ölçümleri 0.05 mm hassasiyete sahip kumpas ile yapıldı ve daha sonra hassas terazide (Kern, ABJ-NM/ABS-N, Balingen-Almanya) meyvelerin ağırlıkları ölçüldü. Meyvelerin nem oranının belirlenmesi amacıyla örnekler 40 °C'ye ayarlanmış etüve (Daihan Scientific, ThermoStable IG-105, Güney Kore) yerleştirilip belirlenen zaman aralıklarında ağırlık ölçümleri yapıldı ve ağırlığın değişmediği ardışık tartımla birlikte işlem sonlandırılarak kuru ağırlık hesaplaması yapıldı. *Morus nigra* L. meyve örneklerinin pH değerinin belirlenmesi amacıyla meyve homojenize edilerek kaba filtre kâğıdından geçirildi. Elde edilen meyve suyunun pH'sı pH metre cihazı (Metler Toledo, SevenCompact S210, ABD) ile ölçüldü. Son

olarak örneklerin renk ölçümleri renk ölçer cihazı ile ölçüldü.

2.3. Örneklerin Ekstraksiyonu

Meyve örneklerinin ekstraksiyonu bazı modifikasyonlar uygulanarak [Sánchez-Salcedo vd., \(2015\)](#)'e göre yapıldı. Ekstraksiyon çözeltisi olarak etanol, metanol ve etil asetat çözeltileri kullanıldı. Ekstraksiyon için örnekler önce oda sıcaklığında homojenize edildi ve ardından 2.5 g örneklerin üzerine 10 ml ekstraksiyon çözücüleri eklendi ve örnekler 1 saat boyunca 25 °C'de ultrasonik su banyosunda (Wisd Laboratory Instruments, WUC-D10H, Almanya) sonikasyona tabi tutuldu. Daha sonra karışım, 5 dakika boyunca 2500 rpm'de santrifüjlendi (Beckman Coulter, Allegra X-30R Centrifuge, ABD) ve süpernatant kısım alındı. Pellet kısım üzerine 5 ml çözücü ilave edildi ve iki ek ekstraksiyon daha yapıldı. Son ekstraksiyon öncesi ekstraksiyon çözeltisi eklenen pellet kısım bir gece boyunca +4 °C'de soğutucuda bekletildi ve tekrar 1 saat süreyle sonike edilip ardından santrifüj işlemine tabii tutuldu. Toplanan üç süpernatant kısmının son hacmi 25 ml olacak biçimde kendi çözücüleri ile tamamlandı. Ekstraktlar 0.45 µm por çapına sahip şırınga ucu filtreden geçirildikten sonra 5 ml hacimdeki porsiyonlara ayrıldı ve sonraki analizler için -20 °C'de muhafaza edildi. Ekstraksiyon sonrasında örnek ekstraktları; MN1 (etanol *Morus nigra* L. meyve ekstraktı), MN2 (metanol *M.nigra* L. meyve ekstraktı), MN3 (etil asetat *M. nigra* L. meyve ekstraktı) olmak üzere kodlandı.

2.4. Toplam Fenolik İçeriğin Belirlenmesi

Ekstraktların toplam fenolik madde analizi Folin-Ciocalteu yönteminde küçük uyarlamalarla 96 kuyucuklu plakalarda yapıldı ([Beara vd., 2014](#)). Dut ekstraktları kendi çözücüleri ile 10 kat seyreltildi. Ekstraksiyon ve standart çözeltilerinden 25 µl alınarak üzerine 125 µl, 1/10 yoğunluktaki Folin-Ciocalteu fenol reaktifi eklendi. 10 dakika beklendikten sonra karışıma 100 µl Na₂CO₃ (%7.5) çözeltisi eklendi ve oda sıcaklığında karanlıkta 2 saat reaksiyonun tamamlanması beklendi, 760 nm dalga boyunda köre karşı okundu. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri/taze meyve (mgGAE/gTM) olarak hesaplandı.

2.5. Toplam Flavonoid İçeriğin Belirlenmesi

Dut ekstraktlarının toplam flavonoid içeriğini belirlemek amacıyla 96 kuyucuklu plakaya

uyarlanan alüminyum klorür kolorimetrik yöntem kullanıldı ([Beara vd., 2014](#)). Ekstraktlardan ve gerekli seyreltmeler yapılan standart çözeltilerden 30 µl alınarak üzerine sırasıyla 80 µl metanol, 6 µl %10'luk alüminyum klorür, 6 µl 1 mol/l potasyum asetat ve 125 µl ultra saf su ilave edildi. Oda sıcaklığında ve karanlıkta 30 dakika reaksiyonun gerçekleşmesi için beklendi. Mikroplaka okuyucuda, 415 nm dalga boyunda köre karşı okuma yapıldı. Sonuçlar kuersetin eşdeğeri/taze meyve (mg QE/g TM) olarak verildi.

2.6. Antioksidan Aktivite Analizleri

2.6.1. DPPH Radikali Süpürme Yöntemi

Dut ekstraktlarının, DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikali süpürücü etkisi, [Soler-Rivas vd., \(2000\)](#)'nin 96-kuyucuklu mikroplakalar için metoda göre yapıldı. Ekstraktlardan ve gerekli seyreltmeler yapılan standart çözeltilerden 10 µl alınarak üzerine 100 µl DPPH çözeltisi eklendi ve karışım metanol ile 190 µl'ye tamamlandı. Oda sıcaklığında karanlıkta 1 saat bekleme süresinden sonra 515 nm dalga boyunda mikroplaka okuyucuda köre karşı okundu. Sonuçlar hem standart eğri grafiği oluşturularak hem de IC₅₀ yöntemiyle değerlendirildi. Standart ve pozitif kontrol olarak sentetik ve doğal antioksidan kimyasallar kullanıldı. Doğal antioksidan olarak askorbik asit, sentetik antioksidan olarak troloks tercih edildi. Sonuçlar hem eşdeğerlik hem de IC₅₀ olarak verildi.

2.6.2. ABTS Radikali Süpürme Yöntemi

Dut ekstraktlarının ABTS giderme aktiviteleri, [Silva vd., \(2007\)](#)'e göre 96-kuyucuklu mikroplakalarda gerçekleştirildi. Ekstraktlardan ve gerekli seyreltmeler yapılan standart çözeltilerden 8 µl alınarak, üzerine 230 µl ABTS (saf su ile seyreltilerek 734 nm dalga boyunda 0.7 Abs olarak ayarlandı) çözeltisi ilave edilerek reaksiyon başlatıldı. Karanlıkta, 30 °C'de 6 dakika reaksiyonun bitmesi beklendi. Reaksiyonun bitişiyile birlikte örnekler ve standart çözeltiler 734 nm dalga boyuna ayarlanmış olan mikroplaka okuyucuda köre karşı okundu. Sonuçlar hem standart eğri grafiği oluşturularak hem de IC₅₀ yöntemiyle değerlendirildi. Standart ve pozitif kontrol olarak sentetik ve doğal antioksidan kimyasallar kullanıldı. Doğal antioksidanları temsilen askorbik asit, sentetik antioksidanları temsilen troloks tercih edildi. Sonuçlar hem eşdeğerlik hem de IC₅₀ olarak verildi.

2.6.3. Toplam Antioksidan Kapasite (Fosfomolibdat) Yöntemi

Ekstraktların toplam antioksidan kapasitesi, fosfomolibdat test yönteminde küçük değişiklikler yapılarak 96 kuyucuklu mikrolakalarda spektrofotometrik olarak ölçüldü (Zengin vd., 2014). Bunun için önce, 300 µl numune üzerine 300 µl fosfomolibdik asit kompleksi ilave edildi. Reaksiyonun gerçekleşmesi için deney tüpleri daha önceden ayarlanan 95 °C'deki su banyosunda (Memmert, WNE 10, Almanya) 90 dakika bekletildi. Ardından, soğumuş karışım otomatik pipet yardımıyla 96 kuyucuklu plakaya 250 µl hacimde enjekte edildi ve mikrolaka okuyucuda 695 nm'de köre karşı (distile su) okundu. Toplam antioksidan kapasite askorbik asit eşdeğeri (mg AAE/g ekstrakt) ve troloks eşdeğeri (mg TE/g TM) olarak hesaplandı.

2.6.4. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) Analizi ile Fenolik Madde İçeriğinin Belirlenmesi

Toplam fenolik madde miktarı en yüksek olan etil asetat ekstraktının fenolik bileşen analizi Özcan vd., (2019)'a göre gerçekleştirildi. Analiz kapsamında, Shimadzu Marka HPLC cihazı ile dut bitkilerinde yaygın olarak görülen 23 adet fenolik bileşiğin varlığı araştırıldı. Gallik asit, protokatekuik asit, kateşin, *p*-hidroksi benzoik asit, klorojenik asit, kafeik asit, epikateşin, şiringik asit, vanilin, *p*-kumarik asit, ferulik asit, sinapnik asit, benzoik asit, *o*-kumarik asit, rutin, hesperidin, rosmarinik asit, eriodiktiol, sinnamik asit, kuersetin, luteolin, kaemferol ve apigenin fenolik bileşiklerinin miktarları µg/g ekstrakt olarak verildi.

Analiz için pompa (LC-10 ADvp), degazör ünitesi (DGU-14A), otosampler (SIL-10 ADvp) ve detektör (DAD, λ max=278) içeren Shimadzu Marka HPLC sistemi ve Agilent Eclipse XDB-C18 (250×4.60 mm, 5 µm partikül büyüklüğü) kolonu, CTO-10Avp kolon fırını kullanıldı. Mobil faz %3'lük asetik asit çözeltisi (Mobil faz A) ve metanol (Mobil faz B), faz akış hızı 0.8 ml/dk., akış tipi gradient elüsyonu ve enjeksiyon hacmi ise 20 µl olarak belirlendi.

2.7. Dut Ekstraktlarının Antimikrobiyal Özelliklerinin ve Antibiyotiklerle Olan Sinerjisinin Belirlenmesi

2.7.1. Disk Difüzyon Yöntemi

Dut ekstraktlarının antimikrobiyal etkinlikleri disk difüzyon yöntemiyle belirlendi (CLSI, 2007). Gram pozitif bakteriler olarak *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, Vankomisin dirençli *Enterococcus faecium* DSMZ 13590, Metisilin dirençli *Staphylococcus aureus* ATCC 43300, *Bacillus cereus* ATCC 9634, *Listeria monocytogenes* ATCC 7644; gram negatif bakteriler olarak *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Yersinia enterocolitica* ATCC 27729, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802, *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150, *Proteus vulgaris* FMC 1 ve maya- küf olarak *Candida tropicalis* ATCC 13803, *Aspergillus flavus* ATCC 46283 test organizmaları olarak kullanıldı.

Test organizmalarının taze kültürleri hazırlandı ve 0.5 McFarland bulanıklığına (1.5×10^8 mikroorganizma/ml) seyreltildi. Daha sonra her bir mikroorganizmanın Müller-Hinton agar besiyeriye inokülasyonu gerçekleştirildi. Test mikroorganizması uygulanmış petrilerin üzerine 6 mm çapında steril boş disk yerleştirildi ve disklere 60 mg/ml konsantrasyondaki 20 µl ekstrakt solüsyonu emdirildi. Petriler 2 saat 4°C'de bekletilerek ekstraktlarının agara difüzyonu sağlandı. Pozitif kontrol olarak kloramfenikol, novobiosin, nalidiksik asit; negatif kontrol olarak DMSO kullanıldı. Bakteriler için 37 °C'de 24 saat, mayalar için 28 °C'de 48 saat inkübasyon sonrasında disklerin çevresinde oluşan zon çapları dijital kumpasla ölçüldü.

2.7.2. Dut Ekstraktlarının MİK ve MBK Değerlerinin Belirlenmesi

Dut ekstraktlarının MİK (minimum inhibisyon konsantrasyonu) değerleri broth dilüsyon metodu kullanılarak 96-kuyucuklu mikrolakalar ile belirlendi (CLSI, 2007). Besiyeri olarak Müller-Hinton Broth kullanıldı. Öncelikle tüm kuyucuklara 100 µl sıvı besiyeri dağıtıldı. Daha sonra ise dut ekstraktlarından 100 µl alınarak ilk kuyucuğa eklendi ve seri dilüsyonla seyreltme işlemi gerçekleştirildi. Seri seyreltme ile 0.016-8.2 mg/ml aralığında 10 farklı konsantrasyon elde edildi. Aynı şekilde novobiosin, nalidiksik asit, kloroform ve kloramfenikol için seri seyreltmeyle 0.25-128 µg/ml aralığında 10 farklı konsantrasyon elde edildi. Son olarak, 10 µl mikroorganizmaların süspansiyonları (0.5 MacFarland bulanıklığı) mikrolakalara inoküle edildi. Bakteriler için 37 °C'de 24 saat boyunca, mayalar için 28 °C'de 48 saat boyunca inkübasyondan sonra mikroorganizmaların

üremesi kontrol edildi. Dut ekstraktları ve seçilen antibiyotiklerin, mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyen en düşük konsantrasyonları MIC değerleri olarak belirlendi. Pozitif kontrol olarak kloramfenikol, novobiosin, nalidiksik asit; negatif kontrol olarak DMSO kullanıldı.

MBK (minimal bakterisidal konsantrasyon) değerlerinin belirlenmesi için ise her kuyudan 10 µl broth alındı, Müller-Hinton agara aşılandı ve 37 ° C’de 24 saat boyunca bakteriler için, 28 °C’de 48 saat boyunca mayalar için inkübasyona bırakıldı. Dut ekstraktlarının bakterilerin %99.9’unu öldürdüğü en düşük konsantrasyon MBC değeri olarak belirlendi.

2.7.3. Dut Ekstraktlarının Antibiyotiklerle Olan Sinerjisinin Belirlenmesi

Checkboard yöntemi; dut ekstraktları ile seçilen antibiyotikler arasındaki sinerji checkboard yöntemi ile incelendi (Fadli vd., 2012). Ekstrakt ve antibiyotik kombinasyonlarının sinerjilerinin belirlenmesi amacıyla Vankomisin dirençli *Enterococcus faecium* DSMZ 13590, MRSA ATCC 43300 ve *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 test mikroorganizmaları olarak seçildi. Novobiosin, nalidiksik asit, kloramfenikol ve dut ekstraktlarının başlangıç konsantrasyonu 16xMIC olarak hazırlandı. Ekstrakt ve antibiyotik kombinasyonlarını oluşturmak için her seyreltik 1:1 oranında karıştırıldı ve elde edilen kombinasyon karışımları 100 µl hacimde olacak şekilde ilk kuyucuklara pipetlendi. Seri iki kat seyreltme ile 4xMIC’den MIC/128’e kadar 10 farklı dilüsyon elde edildi. Daha sonra ise 10 µl 0.5 MacFarland bulanıklığına ayarlanan mikroorganizmalar kuyucuklara inoküle edildi. Son olarak mikropalakalar 37 °C’de 24 saat boyunca inkübe edildi. Mikroorganizmal büyümenin olmadığı en düşük konsantrasyon, kombinasyonların MIC değeri olarak belirlendi.

Kombinasyon analiz sonuçları aşağıdaki denklemden faydalanılarak, FICI (fraksiyon inhibitör konsantrasyon indeksi) değerleri hesaplanarak elde edildi (Didry vd., 1993).

$$FICI = (MICA/B / MICA) + (MICB/A / MICB)$$

Bu eşitlikte;

MICA; sadece dut ekstraktlarının,

MICB; sadece antibiyotiklerin,

MICA/B; dut ekstraktlarının kombinasyon içindeki,

MICB/A; antibiyotiklerin kombinasyon içindeki MIC değerlerini temsil etmektedir.

$FICI \leq 0.5$ tam sinerji, $0.5 < FICI \leq 0.75$ kısmi sinerji, $0.76 < FICI \leq 1$ sinerjistik etkileşimin olmaması ve $FICI > 2$ antagonistik etkileşim olarak yorumlandı (Kuok vd., 2017).

2.8. İstatistiksel Analizler

Yapılan analizler 3 tekrarlı olarak çalışıldı ve elde edilen sonuçlar IBM SPSS Statistics 21 programında, One-way ANOVA ile hesaplandı ve önemli farklılıklar Duncan’ın çoklu sıra testleri ile belirlenip $p < 0.05$ değerleri anlamlı olarak kabul edildi.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. *Morus nigra* L. Meyve Örneklerine Ait Pomolojik Özellikler

Rastgele seçilen meyvelerin boy-en, ağırlık ve renk ölçümleri yapılmıştır (Tablo 1-2). Elde edilen sonuçlara göre, örneklerinin ortalama ağırlığının (4.61 g), karadut üzerine yapılan benzer çalışmalara oranla, daha yüksek olduğu görülmüştür (Güneş ve Çekiç, 2004; Ercişli ve Orhan, 2007).

Tablo 1. Meyve örneklerinin boy-en ve ağırlık ölçümleri

	Ortalama
Boy ölçümleri (cm)	2.51±0.18
En ölçümleri (cm)	1.69±0.14
Ağırlık ölçümleri (g)	4.61±0.33

Tablo 2. Meyve örneklerinin renk ölçüm değerleri

	Ortalama
L*	15.79±0.94
a*	13.50±2.59
b*	-2.32±0.78
ΔL^*	7.48±0.94
Δa^*	17.07±2.62
Δb^*	-5.11±0.78
ΔE^*	19.43±2.19

Sonuçlar ortalama ± standart sapma ile gösterildi. L*: Rengin açıklığı, a*: Kırmızı-yeşil renk eksenini, b*: Sarı-mavi renk eksenini. L*, a*, b*: Mutlak değer; ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* : Renk farkı.

Yapılan analizler sonucunda karadut meyve örneklerinin toplam kuru ağırlığı %24.17±0,71 olarak hesaplanmıştır. Benzer çalışmalarla kıyaslandığında, çalışmada kullanılan karadut meyvelerinin kuru ağırlık bakımından ortalamasının üzerinde bir değere sahip olduğu söylenebilir (Güneş ve Çekiç, 2004; Ercişli ve Orhan, 2007).

Meyvelerin pH değeri ise $3.66 \pm 0,8$ olarak belirlenmiştir. [Yılmaz vd., \(2012\)](#)'nin Erzincan bölgesindeki karadutlar üzerine yapmış oldukları çalışmada, benzer pH değerleri rapor edilmiştir.

Bir meyvenin pomolojik özellikleri onun kalitesini gösteren parametrelerdendir. Elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan karadut meyvesinin literatüre göre daha yüksek kalitede olduğu söylenebilir.

3.2. Toplam Fenolik-Flavonoid İçerikleri

Morus nigra L.'nin farklı ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid içerik değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, MN1 (2.54 mg GAE/g TM) en yüksek toplam fenolik ve flavonoid (0.35 mg QE/g TM) içeriğe sahipken, her iki analizde de benzer biçimde $MN2 > MN3$ sıralaması gözlenmiştir ($p < 0.05$). Dört farklı karadut genotipi üzerinde yapılan bir çalışmada, toplam fenolik içerik 1.83-2.49 mg/g (GAE/TM) aralığında bulunmuştur ([Ercişli vd., 2010](#)). Buna göre, çalışmada kullanılan etanolik meyve ekstraktlarının fenolik içerik bakımından ortalama bir değerle, literatüre uygun olduğu görülmüştür. Ancak, flavonoid içerik bakımından literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında, tüm ekstraktların daha düşük değere sahip olduğu ortaya çıkmıştır ([Ercişli ve Orhan, 2007](#); [Mahmoud vd., 2014](#)). Bu durumun, kullanılan ekstraksiyon metodundan veya bitkinin yetiştirme koşullarından kaynaklanması muhtemeldir.

Tablo 3. Ekstraktların toplam fenolik ve flavonoid içerik analiz sonuçları

Ekstraktlar	Toplam Fenolik Miktarı mg/g (GAE/TM)	Toplam Flavonoid Miktarı (QE/TM)
MN1	2.54 ± 0.11^a	0.35 ± 0.002^a
MN2	1.79 ± 0.09^b	0.23 ± 0.01^b
MN3	1.54 ± 0.04^c	0.15 ± 0.01^c

GAE: Gallik asit eşdeğeri, QE: Kuersetin eşdeğeri, TM: Taze meyve, MN1: *M. nigra* L. etanol ekstraktı, MN2: *M. nigra* L. metanol ekstraktı, MN3: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı. Sonuçlar ortalama \pm standart sapma ile gösterildi ve $p < 0.05$ değerleri anlamlı olarak kabul edildi. Aynı sütunda yer alan küçük harfler (^{a, b, c}) istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.

3.3. Antioksidan Aktivite Analizleri

Karadut meyve örneklerinin antioksidan kapasitesinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan DPPH, ABTS ve Fosfomolibdat metotları tercih edilmiştir. DPPH radikali süpürme

aktivitesi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre, MN2'nin IC_{50} (bu değer düşük olması aktivitenin yüksek olduğunu belirtmektedir) değerinin ($143 \pm 0.2 \mu\text{g/ml}$) en düşük olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0.05$). Ayrıca, askorbik asit eşdeğeri bakımından ise MN1 ($6.96 \pm 0.36 \text{ mg AAE/g TM}$), troloks eşdeğeri olarak MN2'nin ($7.25 \pm 0.49 \text{ mg TE/g TM}$) en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). MN3'ün radikal süpürme etkinliğinin de diğerlerine oranla en düşük olduğu tespit edilmiştir ($IC_{50}: 722.7 \pm 0.3 \mu\text{g/ml}$) ($p < 0.05$). Bütün bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, antioksidan içerikleri yüksek olan ekstraktların antioksidan aktivite bakımından da yüksek olduğu gibi bir çıkarım yapılabilir. [Ercişli vd., \(2010\)](#) dört farklı karadut genotipi üzerinde yaptıkları çalışmada örneklerin DPPH analiz sonuçlarını $4.06-5.30 \text{ mg TE/g TM}$ olarak rapor etmişlerdir. [Li vd., \(2018\)](#)'e göre ise karadut örneklerinin antioksidan kapasiteleri benzer yöntemle 6.43 mg AAE/g TM olarak bulunmuştur. [Jelled vd., \(2017\)](#) ise aynı iklimik etmenler altında fakat farklı bölgelerde yetişen dört karadut örneğinin antioksidan kapasitelerini IC_{50} parametresine göre değerlendirmiş ve DPPH radikali yakalama analizi için, $1.1-6.11 \text{ mg/ml}$ olarak rapor etmişlerdir. Bu bilgiler ışığında, çalışmada kullanılan karadut meyvelerinin yüksek bir radikal süpürücü etkisi olduğu söylenebilir.

Karadut meyvelerinin antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ABTS radikali süpürücü aktivitesi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, sırasıyla ekstraktların aktiviteleri $MN1 > MN2 > MN3$ olarak bulunmuştur ($p < 0.05$). Diğer yandan, MN1 ve MN2'nin ABTS radikali süpürme kapasitesinin, standart olarak kullanılan troloks ve askorbik asitin kapasitesine yakın olduğu belirlenmiştir. 14 karadut çeşidi üzerine yapılan bir çalışmada ABTS radikali süpürme aktivitesinin $1.7-3.6 \text{ mg TE/g TM}$ olduğu rapor edilmiştir ([Kafkas vd., 2008](#)). Benzer yöntemin kullanıldığı başka bir çalışmada ise, karadut örneklerinin aktivitesi 2.51 mg AAE/g TM olarak belirlenmiştir ([Li vd., 2018](#)). [Jelled vd., \(2017\)](#) ise aynı iklimik etmenler altında fakat farklı bölgelerde yetişen dört karadut örneğinin IC_{50} değerlerinin $3.0-6.5 \text{ mg/ml}$ olduğunu rapor etmişlerdir. Sonuçlar kendi içinde de kıyaslandığında, ekstraktların DPPH aktiviteleri ile de uyumlu olduğu ve radikal süpürme aktivitesi bakımından etanol ekstraktının ön plana çıktığı görülmektedir ($p < 0.05$). Ayrıca, elde edilen sonuçlar antioksidan aktivite ile toplam biyoaktif madde içerikleri arasında bir ilişki olduğuna dikkat çekmektedir.

Karadut meyve örneklerinin antioksidan kapasitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılan diğer bir yöntem olan fosfomolibden analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. MN1 ve MN2 toplam antioksidan kapasite açısından daha yakın sonuçlar sergilerken, MN3'ün anlamlı bir biçimde diğerlerinden düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Literatürde, benzer yöntemin kullanıldığı kısıtlı çalışmalar bulunmaktadır.

Örneğin, bir çalışmada *M. nigra* L. meyvelerinin toplam antioksidan kapasitesi 1.8 mg AAE/ g TM olarak tespit edilmiştir (Özden ve Özden, 2014). Buna göre, mevcut çalışmadan elde edilen sonuçların (MN1: 21.70, MN2: 20.83, MN3: 15.41 mg AAE/g TM) literatürle karşılaştırıldığında hayli yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Ekstraktların antioksidan özellikleri

	DPPH			ABTS		TAK	
	mgAAE /gTM	mgTE /gTM	IC ₅₀ (µg/ml)	mgAAE /gTM	mgTE /gTM	IC ₅₀ (µg/ml)	mgAAE /gTM
MN1	6.96±0.36 ^a	6.63±0.36 ^b	172.5±0.19 ^b	5.22±0.01 ^a	4.36±0.15 ^a	218.2±0.17 ^c	21.70±0.21 ^a
MN2	6.47±0.22 ^a	7.25±0.49 ^a	143±0.2 ^c	3.93±0.07 ^b	3.45±0.24 ^b	295.1±0.4 ^b	20.83±0.06 ^b
MN3	1.08±0.01 ^b	1.03±0.02 ^c	722.7±0.3 ^a	1.05±0.03 ^c	1.09±0.08 ^c	622.2±0.3 ^a	15.41±0.10 ^c
AA			64.2±0.16 ^d			72.8±0.18 ^d	
T			52.7±0.17 ^e			64.1±0.1 ^e	

Sonuçlar ortalama ± standart sapma ile gösterildi. TAK: Toplan antioksidan kapasite, A.A: Askorbik asit, T: Troloks, AAE: Askorbik asit eşdeğeri, TE: Troloks eşdeğeri, TM: Taze meyve, MN1: *M. nigra* L. etanol ekstraktı, MN2: *M. nigra* L. metanol ekstraktı, MN3: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı. Meyve ekstraktlarının analiz sonuçları arasındaki farklılıklar Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi ile analiz edildi ve $p<0.05$ değerleri anlamlı olarak kabul edildi. Aynı sütunda yer alan küçük harfler (a, b, c, d, e) istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.

3.4. Fenolik Bileşik İçerik Analiz Sonuçları (HPLC)

Total fenolik, total flavonoid ve toplam antioksidan analizleri sonucunda en yüksek içeriğe sahip olan MN1 (etanol ekstraktı)'in HPLC ile fenolik içerik analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 5'te belirtilmiştir. Kromatogramlar ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Sonuçlara göre, etanol ekstraktında 23 fenolik bileşik taranmış ve bunlardan 11 tanesinin bulunduğu görülmüştür. Bununla birlikte, ekstraktta en fazla bulunan bileşenin klorojenik asit (405.9 µg/g ekstrakt) olduğu ve bunu rutin (313.3 µg/g ekstrakt), protokatekuik asit (133.0 µg/g ekstrakt), apigenin (112.4 µg/g ekstrakt), kuersetin (108.5 µg/g ekstrakt), sinnamik asit (57.0 µg/g ekstrakt), kaemferol (47.9 µg/g ekstrakt), *p*-hidroksi benzoik asit (43.0 µg/g ekstrakt), gallik asit (37.4 µg/g ekstrakt), kafeik asit (17.4 µg/g ekstrakt) ve *p*-kumarik asit (14.7 µg/g ekstrakt)'in takip ettiği görülmüştür. Bunlardan özellikle, klorojenik asit'in bitkilerde antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteler başta olmak üzere, pek çok biyolojik aktiviteden sorumlu olduğu bilinmektedir (Özcan, 2019; Acet, 2020). Yine, klorojenik asit'in dut meyvelerinde bulunan başlıca fenolik bileşenlerden biri olduğu ve bu durumun bitkinin

geniş çaplı teropatik kullanımları ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir (Dhiman vd., 2020). Gundogdu vd., (2011)'nin kara dut üzerine yapmış olduğu bir çalışmada, klorojenik asit'in 3.106 mg/g TM olduğu bulunmuştur. Bu sonucun mevcut çalışmaya göre yüksek olduğu görülmektedir ancak bu farklılığın ekstraksiyon metodundaki farklılıktan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, *M. nigra* meyve ekstraktlarının HPLC ile fenolik içeriğinin aydınlatıldığı başka bir çalışmada klorojenik asit'in 358 µg/g TA olduğu bulunmuştur (Pehluvan vd., 2015). Bununla birlikte, Turan vd., (2017) karadut üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, klorojenik asit miktarını 309.6 µg/g ekstrakt olarak tespit etmişleridir. Bununla kıyaslandığında, mevcut çalışmadaki meyve ekstraktının fenolik miktarının (405.9 µg/g ekstrakt), daha yüksek olduğu ve elde edilen sonuçların literatürle kıyaslanabilir olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, ekstrede tespit edilen diğer bileşenlerin pek çok biyolojik aktiviteden sorumlu oldukları daha önceki çalışmalarla ortaya konmuştur (Özcan vd., 2019; Dhiman vd., 2020). Dolayısıyla, ekstrakttaki majör ve minör fenolik bileşenlerin mevcut antioksidan ve antimikrobiyal etkinliklerden sorumlu olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 5. Etanol ekstraktının fenolik bileşen analizi

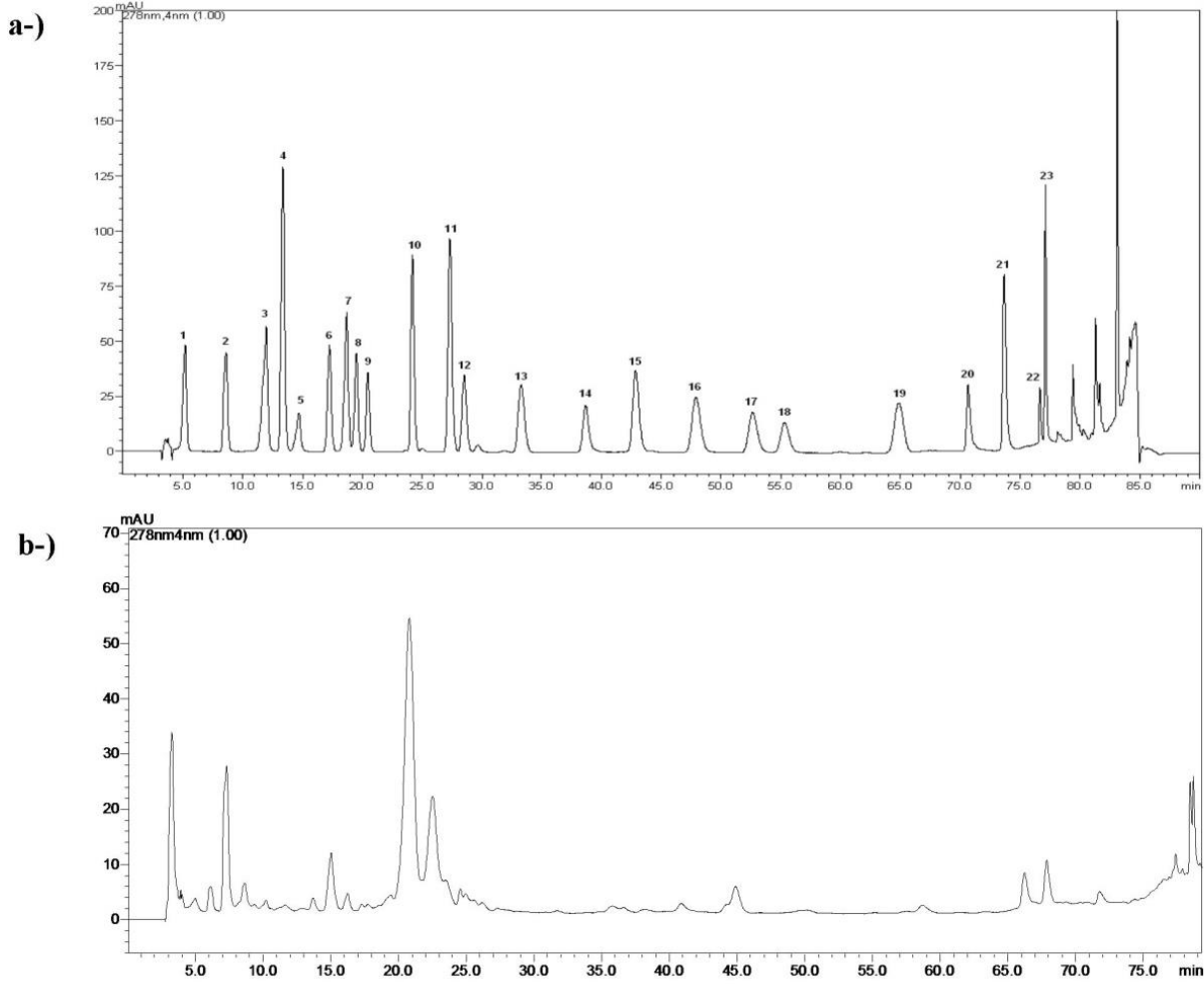
No	Fenolik bileşen	Miktar ($\mu\text{g/g}$ ekstrakt)
1	Gallik asit	37.4 \pm 0.31
2	Protokatekuik asit	133.0 \pm 0.80
3	Kateşin	*
4	<i>p</i> -hidroksi benzoik asit	43.0 \pm 0.25
5	Klorojenik asit	405.9 \pm 0.61
6	Kafeik asit	17.4 \pm 0.25
7	Epikateşin	*
8	Şiringik asit	*
9	Vanilin	*
10	<i>p</i> -kumarik asit	14.7 \pm 0.15
11	Ferulik asit	*
12	Sinapinik asit	*
13	Benzoik asit	*
14	<i>o</i> -kumarik asit	*
15	Rutin	313.3 \pm 0.35
16	Hesperidin	*
17	Rosmarinik asit	*
18	Eriodiktiol	*
19	Sinnamik asit	57.0 \pm 0.15
20	Kuersetin	108.5 \pm 0.26
21	Luteolin	*
22	Kaemferol	47.9 \pm 0.21
23	Apigenin	112.4 \pm 0.32

Sonuçların üç paralel üzerinde ortalaması alındı ve ortalama \pm standart sapma olarak verildi. *Tespit edilemedi.

3.5. Dut Ekstraktlarının Antimikrobiyal Özelliklerinin ve Antibiyotiklerle Olan Sinerjisinin Belirlenmesi

Ekstraktların antimikrobiyal aktivitesi disk difüzyon ve mikrodilüsyon yöntemleriyle belirlenmiştir. Ekstraktlara ait disk difüzyon inhibisyon ölçümleri Tablo 6, mikrodilüsyon testi sonucu belirlenen MİK değerleri Tablo 7 ve MBK değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Standart antibiyotik olarak novobiosin, kloramfenikol ve nalidiksik asit kullanılmıştır. Ekstraktların kullanılan antibiyotikler ile seçilen önemli dirençli patojen organizmalar (*Enterococcus faecium* DSMZ 13590, MRSA ATCC 43300 ve *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853) üzerine Checkboard yöntemi ile belirlenen sinerjistik etkisinin ifade edilmesinde kullanılan FICI değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Karadut ile yapılan çalışmalarda Dimitrova vd., (2014) agar difüzyon yöntemi ile karadut meyvelerinin antimikrobiyal etkinliklerini *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*'ye karşı test ettiklerini ve sırasıyla 12, 6, 11 mm'lik zon çapları belirlediklerini rapor etmişlerdir. Çalışmamızda da kullanılan ekstraktların *Staphylococcus aureus*'a karşı göstermiş olduğu antimikrobiyal etkinin dikkate değer olduğu görülmektedir. Başka bir çalışmada ise Yiğit ve Yiğit (2008), karadut meyvelerinin metanolik ekstraktlarının antimikrobiyal etkisini; *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* için 10 mm zon çapı olarak belirlemişlerdir. *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı ise antimikrobiyal bir aktivite belirlemediklerini rapor etmişlerdir.



Şekil 1. *Morus nigra*'nın fenolik bileşenlerine ait RP-HPLC kromotogramları, a-) Standartlar (*), b-) bitkinin etanol ekstaktı

(*) **1:** gallic acid, **2:** protocatechic acid, **3:** catechin, **4:** p-hydroxy benzoic acid, **5:** chlorogenic acid, **6:** caffeic acid, **7:** epicatechin, **8:** syringic acid, **9:** vanilin, **10:** p-coum acid, **11:** ferulic acid, **12:** sinapinic acid, **13:** benzoic acid, **14:** o-coum acid, **15:** rutin, **16:** hesperidin, **17:** rosmarinic acid, **18:** eriodictiol, **19:** cinnamic acid, **20:** quercetin, **21:** luteolin, **22:** kamferol, **23:** apigenin

Çalışmamızda *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı antibakteriyel aktivite tespit edilmiştir. Ekstraktların patojen mikroorganizmalar üzerine etkinlik konsantrasyonunu belirleyen MİK değerlerine bakıldığında düşük etkinlik gösterdikleri anlaşılmaktadır. MN3 ekstraktının *E. faecalis*: 256 µg/ml ve *L. monocytogenes*: 512 µg/ml MİK değerleri diğer ekstraktlara nazaran daha etkili bulunmuştur. Yiğit ve Yiğit (2008), karadut meyvelerinin metanolik ekstraktlarının *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*'ye karşı 0.625 mg/ml'lik MİK değeri gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Yapılan literatür taraması sonucunda *Morus nigra* L. meyvelerinin antibiyotiklerle sinerjistik etkisini irdeleyen çalışma tespit edilememiştir. Fakat farklı bitki ekstraktlarının antibiyotiklerle sinerjistik etkileşimlerde buldukları üzerine çalışmalar mevcuttur (Özcan ve Acet, 2018; Vambe vd., 2018; Kuok vd., 2017). Dut

ekstraktları/novobiosin denemelerinde test edilen mikroorganizmalara karşı MN3/novobiosin haricinde tam sinerji görülmüştür. Dut ekstraktları/kloramfenikol uygulamalarında MN3/kloramfenikol tüm organizmalar, MN1/kloramfenikol ise *P. aeruginosa* üzerine tam sinerji gösterirken, dut ekstraktları/nalidiksik asit uygulamalarında tüm ekstraktlar sadece *P. aeruginosa*'ya tam sinerji sergilerken diğer ekstrakt ve antibiyotik kombinasyonları herhangi bir sinerjistik etkileşim göstermemiştir. Tüm sonuçlar beraber değerlendirildiğinde ekstrakt ve antibiyotiklerin birlikte uygulamaları *P. aeruginosa* üzerine oldukça etkili bulunmuştur. Ekstraktların antibiyotiklerle sinerjik aktivite göstermeleri daha düşük antibiyotik uygulamaları ile ilgili patojenlerle mücadele edilebileceğini göstermektedir. Bu durumda normalde antimikrobiyal etkinliği düşük olan dut ekstraktlarının kullanılan antibiyotiklerin etkinliğini arttırdığı açıkça görülmektedir.

Tablo 6. Ekstraktların patojen mikroorganizmalara karşı inhibisyon zon ölçümleri (mm)

Ekstraktlar	MN1	MN2	MN3	Nov.	Klor.	Nal.
Gram (+) bakteriler						
<i>E. faecalis</i>	10.84±0.09	10.24±0.12	9.59±0.04	14.66±0.22	14.88±0.12	14.21±0.17
<i>S. aureus</i>	11.10±0.15	11.33±0.12	10.30±0.06	15.09±0.18	15.41±0.17	15.05±0.24
<i>E. faecium</i>	10.26±0.05	10.19±0.13	10.24±0.03	14.39±0.15	15.01±0.10	14.56±0.46
<i>B. cereus</i>	9.50±0.15	9.50±0.11	9.90±0.05	14.73±0.15	14.74±0.17	14.54±0.18
<i>L.monocytogenes</i>	9.55±0.10	9.12±0.07	8.90±0.04	15.05±0.19	14.52±0.28	14.44±0.21
MRSA	8.91±0.14	8.82±0.07	8.59±0.03	13.23±0.22	13.15±0.18	13.23±0.22
Gram (-) bakteriler						
<i>P. aeruginosa</i>	10.21±0.11	10.09±0.09	11.39±0.08	14.43±0.11	14.50±0.15	14.47±0.16
<i>Y.enterocolitica</i>	8.86±0.11	8.42±0.06	8.17±0.17	13.80±0.22	14.10±0.23	13.47±0.20
<i>K. pneumoniae</i>	9.20±0.06	9.02±0.06	8.82±0.05	14.80±0.13	14.74±0.10	14.45±0.12
<i>V.parahaemolyticus</i>	9.83±0.11	10.73±0.05	10.25±0.10	14.47±0.17	14.84±0.12	14.27±0.17
<i>E.coli</i> O157:H7	10.36±0.13	9.30±0.06	9.04±0.07	14.87±0.10	14.71±0.15	14.19±0.23
<i>P. vulgaris</i>	10.11±0.14	9.87±0.10	9.55±0.09	14.83±0.18	14.94±0.19	14.18±0.16
Maya ve Küf						
<i>C. tropicalis</i>	11.97±0.12	9.79±0.03	9.91±0.04	-	-	-
<i>A. flavus</i>	10.58±0.13	9.25±0.06	9.05±0.10	-	-	-

MN1: *M. nigra* L. etanol ekstraktı, MN2: *M. nigra* L. metanol ekstraktı, MN3: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı, Nov.: Novobiosin, Klor.: Kloramfenikol, Nal.: Nalidiksik asit.

Tablo 7. Ekstraktlar ve antibiyotiklerin mikroorganizmalara karşı MİK değerleri (mg/ml)

Ekstraktlar	MN1	MN2	MN3	Nov.	Klor.	Nal.
Gram (+) bakteriler						
<i>E. faecalis</i>	4.1	2.05	0.256	0.016	0.016	0.016
<i>S. aureus</i>	8.2	8.2	8.2	0.128	0.128	0.064
<i>E. faecium</i>	4.1	2.05	1.025	0.001	0.004	0.064
<i>B. cereus</i>	8.2	8.2	8.2	0.016	0.016	0.032
<i>L.monocytogenes</i>	8.2	8.2	0.512	0.016	0.016	0.032
MRSA	1.25	2.05	4.1	0.001	0.032	0.032
Gram (-) bakteriler						
<i>P. aeruginosa</i>	4.1	4.1	4.1	0.001	0.004	0.032
<i>Y.enterocolitica</i>	4.1	4.1	4.1	0.032	0.032	0.064
<i>K. pneumoniae</i>	4.1	4.1	4.1	0.032	0.032	0.128
<i>V.parahaemolyticus</i>	8.2	8.2	8.2	0.128	0.064	0.128
<i>E.coli</i> O157:H7	8.2	8.2	8.2	0.064	0.016	0.064
<i>P. vulgaris</i>	2.05	2.05	2.05	0.064	0.032	0.032
Maya ve Küf						
<i>C. tropicalis</i>	8.2	8.2	8.2	0.008	0.016	0.032
<i>A. flavus</i>	8.2	8.2	8.2	0.008	0.016	0.064

MN1: *Morus nigra* L. etanol ekstraktı, MN2: *Morus nigra* L. metanol ekstraktı, MN3: *Morus nigra* L. etil asetat ekstraktı.

Tablo 8. Ekstraktların patojen mikroorganizmalara karşı MBK değerleri (mg/ml)

Ekstraktlar	MN1	MN2	MN3
Gram (+) bakteriler			
<i>E. faecalis</i>	4.1	4.1	0.512
<i>S. aureus</i>	8.2	8.2	8.2
<i>E. faecium</i>	4.1	4.1	2.05
<i>B. cereus</i>	8.2	8.2	8.2
<i>L.monocytogenes</i>	8.2	8.2	1.025
MRSA	2.05	4.1	4.1
Gram (-) bakteriler			
<i>P. aeruginosa</i>	4.1	4.1	4.1
<i>Y.enterocolitica</i>	4.1	4.1	4.1
<i>K. pneumoniae</i>	4.1	4.1	4.1
<i>V.parahaemolyticus</i>	8.2	8.2	8.2
<i>E.coli</i> O157:H7	8.2	8.2	8.2
<i>P. vulgaris</i>	4.1	4.1	4.1
Maya ve Küf			
<i>C. tropicalis</i>	8.2	8.2	8.2
<i>A. flavus</i>	8.2	8.2	8.2

MN1: *M. nigra* L. etanol ekstraktı, MN2: *M. nigra* L. metanol ekstraktı, MN3: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı, TM: Taze meyve.

Tablo 9. Ekstrakt ve antibiyotik karışımlarının FICI değerleri

Ekstrakt+antibiyotik	<i>P. aeruginosa</i>	MRSA	<i>E. faecium</i>
MN1/Nov.	0.25	0.25	0.5
MN2/Nov.	0.25	0.25	0.25
MN3/Nov.	0.06	0.12	1
MN1/Klor.	0.5	1	1
MN2/Klor.	1	1	2
MN3/Klor.	0.06	0.06	0.12
MN1/Nal.	0.5	2	1
MN2/Nal.	0.5	2	2
MN3/Nal.	0.03	1	2

MN1/Nov.: *M. nigra* L. etanol ekstraktı + novobiosin, MN1/Klor.: *M. nigra* L. etanol ekstraktı + kloramfenikol, MN1/Nal.: *M. nigra* L. etanol ekstraktı + nalidiksik asit, MN2/Nov.: *M. nigra* L. metanol ekstraktı + novobiosin, MN2/Klor.: *M. nigra* L. metanol ekstraktı + kloramfenikol, MN2/Nal.: *M. nigra* L. metanol ekstraktı + nalidiksik asit, MN3/Nov.: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı + novobiosin, MN3/Klor.: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı + kloramfenikol, MN3/Nal.: *M. nigra* L. etil asetat ekstraktı + nalidiksik asit. FICI≤0.5 tam sinerji, 0.5<FICI≤ 0.75 kısmi sinerji, 0.76<FICI≤1) sinerjistik etkileşimin olmaması ve FICI>2 antagonistik etkileşim olarak değerlendirildi.

4. Sonuçlar

Sonuç olarak, bu çalışmada Elazığ'dan toplanan *Morus nigra* meyvelerine ait ekstraktların sinerjistik aktivitesi ilk defa rapor edilmiştir. Bu bağlamda, çalışılan ekstraktların antibiyotiklerle beraber kullanıldığında antibiyotiklerin antimikrobiyal etkinliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Böylece antibiyotiklerin daha düşük dozlarda kullanılabilirliği ile antibiyotik dirençlilik konsantrasyonlarının düşük tutulması mümkün olabilecektir. Ayrıca klorojenik asit, etanol ekstraktının ana bileşeni olarak tespit edilmiştir. Ekstraktların antioksidan ve antimikrobiyal etkilerinin içerdikleri majör ve minör bileşenlerin birlikte oluşturduğu etkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dut ekstraktlarının doğal antioksidan ve antibiyotiklerle beraber kullanma potansiyeli farmasötik açıdan kullanılabilirliği olduğunu işaret etmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma Osman Akmeşe'nin "*Morus nigra* L. (Karadut) Meyve Ekstraktlarının Antimikrobiyal Aktivitesinin ve Antibiyotiklerle Sinerjistik Etkisinin Belirlenmesi" adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir. Çalışmalar Gümüşhane Üniversitesi ve Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik araştırma laboratuvarlarında yürütülmüştür.

Kaynaklar

Acet, T., 2020. Determining the Phenolic Components by Using HPLC and Biological Activity of *Centaurea triumfetti*. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology, doi: 10.1080/11263504.2020.1722275.

Alhaithloul, H.A., Soliman, M.H., Ameta, K.L., El-Esawi, M.A. ve Elkelish, A., 2020. Changes in Ecophysiology, Osmolytes, and Secondary Metabolites of the Medicinal Plants of *Mentha piperita* and *Catharanthus roseus* Subjected to Drought and Heat Stress. Biomolecules, 10, 43.

Beara, I.N., Lesjak, M.M., Cetojevic-Simin, D.D., Marjanovic, Z.S., Ristic, J.D., Mrkonjic, Z.O. ve Mimica-Dukic, N.M., 2014. Phenolic Profile, Antioxidant, Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activities of Black (*Tuber Aestivum* Vittad.) and White (*Tuber Magnatum* Pico) Truffles. Food Chemistry, 165, 460–466.

Budiman, A., Sofian, F.F., Santi, N.M. ve Aulifa, D.L. 2020. The Formulation of Lozenge Using Black Mulberries (*Morus Nigra* L.) Leaf Extract as An A-Glucosidase Inhibitor. Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 12, 171-176.

CLSI (Clinical and Laboratory Standards), 2007. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 17th Informational Supplement, M100-S17, 27, 1.

Diab, K.A., Fahmy, M.A., Hassan, E.M., Hassan, Z.M., Omara, E.A. ve Abdel-Samie, N.S., 2020. Inhibitory Activity of Black Mulberry (*Morus Nigra*) Extract Against Testicular, Liver and Kidney Toxicity Induced by Paracetamol in Mice. Molecular Biology Reports, 47, 1733-1749. doi.org/10.1007/s11033-020-05265-1.

Dimitrova, M.P., Mihaylova, D.S., Popova, A.T., Sapundzhieva, T.N., Alexieva, I.N. ve Fidan, H.N., 2014. Phenolic Content, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Mulberry Fruit, International Scientific-Practical Conference Food, Technologies and Health, 2014, s. 23-27.

Dhiman, S., Kumar, V., Mehta, C.M., Gat, Y. ve Kaur, S., 2020. Bioactive Compounds, Health Benefits and Utilisation of *Morus* Spp.–A

- Comprehensive Review. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 95(1), 8-18. doi: 10.1080/14620316.2019.1644969.
- Ercisli, S. ve Orhan, E., 2007. Chemical Composition of White (*Morus alba*), Red (*Morus rubra*) and Black (*Morus nigra*) Mulberry fruits. Food Chemistry, 103, 1380-1384.
- Ercisli, S., Tosun, M., Duralija, B., Voca, S., Sengul, M. ve Turan, M., 2010. Phytochemical Content of Some Black (*Morus nigra* L.) and Purple (*Morus rubra* L.) Mulberry Genotypes. Food Technology and Biotechnology, 48(1), 102-106.
- Fadli, M., Chevalier, J., Saad, A., Mezrioui, N.E., Hassani, L. ve Pages, J.M., 2012. Antibacterial Activity of *Thymus maroccanus* and *Thymus broussonetii* Essential Oils Against Nosocomial Infection-Bacteria and Their Synergistic Potential with Antibiotics. Phytomedicine, 19, 464-471.
- Gundogdu, M., Muradoglu, F., Gazioglu Sensoy, R.I. ve Yilmaz, H., 2011. Determination of Fruit Chemical Properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC. Scientia Horticulturae, 132, 37-41.
- Gunes, M. ve Cekic, C., 2004. Some Chemical and Physical Properties of Fruits of Different Mulberry Species Commonly Grown in Anatolia, Turkey. Asian Journal of Chemistry, 16, 1849-1855.
- Hojjatpanah, G., Fazaeli, M. ve Emam-Djomeh, Z., 2011. Effects of Heating Method and Conditions on the Quality Attributes of Black Mulberry (*Morus nigra*) Juice Concentrate. International Journal of Food Science and Technology, 46(5), 956-962.
- Jelled, A., Ben Hassine, R., Thouri, A., Flamini, G., Chahdoura, H., El Arem, A., Ben Lamine, J., Kacem, A., Haouas, Z., Ben Cheikh, H. ve Achour, L., 2017. Immature Mulberry Fruits Richness of Promising Constituents in Contrast with Mature Ones: A Comparative Study Among Three Tunisian Species. Industrial Crops and Products, 95, 434-443.
- Jiang, H., Xu, L., Liu, J.C. ve Huang X.Z., 2011. Research Progress on Active Ingredients and Pharmacological Functions of Black Mulberry (*Morus nigra* L.). Science of Sericulture, 1, 20.
- Kafkas, S., Özgen, M., Doğan, Y., Özcan, B., Ercişli, S. ve Serçe, S., 2008. Molecular Characterization of Mulberry Accessions in Turkey by AFLP Markers. Journal of American Society for Horticultural Science, 133593-597.
- Kostic, D.A., Dimitrijevic, D.S., Mitic, S.S., Mitic, M.N., Stojanovic, G.S. ve Zivanovic, A.V., 2013. A Survey on Macro- and Micro-Elements, Phenolic Compounds, Biological Activity and Use of *Morus* Spp. (Moraceae). Fruits, 68(4), 333-47.
- Kuok, C.F., Hoi, S.O., Hoi, C.F., Chan, C.H., Fong, I.H., Ngok, C.K. ve Fong, P., 2017. Synergistic Antibacterial Effects of Herbal Extracts and Antibiotics on Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: A Computational and Experimental Study. Experimental Biology and Medicine, 242(7), 731-743.
- Li, Y., Bao, T. ve Chen, W., 2018. Comparison of the Protective Effect of Black and White Mulberry Against Ethyl Carbamate-induced Cytotoxicity and Oxidative Damage. Food Chemistry, 243, 65-73.
- Mahmoud, H.I., El Rab, S.M.G., Khalil, A.F. ve Ismael, S.M., 2014. Hypoglycemic Effect of White (*Morus alba* L.) and Black (*Morus nigra* L.) Mulberry Fruits in Diabetic Rat. European Journal of Chemistry, 5(1), 65-72.
- Özcan, K., Acet, T. ve Çorbacı, C., 2019. *Centaurea hypoleuca* DC: Phenolic Content, Antimicrobial, Antioxidant and Enzyme Inhibitory Activities. South African Journal of Botany, 127, 313-318.
- Özcan, K. ve Acet, T., 2018. Antimicrobial and Antioxidant Screening, Synergy Studies of *Helichrysum chionophilum* Extracts Against to Resistant Microbial Strains. Fresenius Environmental Bulletin, 27, 5045-5052.
- Özden, M. ve Özden, A.N., 2014. Farklı Renkteki Meyvelerin Toplam Antosiyanin, Toplam Fenolik Kapsamlarıyla Toplam Antioksidan Kapasitelerinin Karşılaştırılması, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 9(2), 1-12.
- Pehlivan, M., Kaya, T., Doğru, B., Lara, İ., 2015. The Effect of Frozen Storage on the Phenolic Compounds of *Morus nigra* L. (Black Mulberry) and *Morus alba* L. (White Mulberry) Fruit. Fruits, 70(2), 117-122. doi: doi.org/10.1051/fruits/2015004.
- Rehman, K., Kamran, S.H. ve Akash, M.S.H., 2020. Chapter 16-Toxicity of Antibiotics, In Advances in Environmental Pollution Research Series, Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment, Elsevier, ISBN 9780128188828, 1, 234-252p. doi: doi.org/10.1016/B978-0-12-818882-8.00016-4.
- Sánchez-Salcedo, E.M., Mena, P., García-Viguera, C., Hernández, F. ve Martínez J.J. 2015. (Poly)phenolic Compounds and Antioxidant Activity of White (*Morus alba*) and Black (*Morus nigra*) Mulberry Leaves: Their Potential

- for New Products Rich in Phytochemicals. *Journal of Functional Foods*, 18, 1039-1047.
- Silva, E.M., Souza, J.N.S., Rogez, H., Reesb, J.F. ve Larondellea, Y., 2007. Antioxidant Activities and Polyphenolic Contents of Fifteen Selected Plant Species from the Amazonian Region. *Food Chemistry*, 101(3), 1012-1018.
- Soler-Rivas, C., Espín, J.C. ve Wichers, H.J., 2000. An Easy and Fast Test to Compare Total Free Radical Scavenger Capacity of Foodstuffs. *Phytochemical Analysis*, 11, 330-338.
- Thakur, N., Bashir, S. F. Ve Kumar, G., 2020. Assessment of Phytochemical Composition, Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Methanolic Extracts of *Morus nigra* and *Artocarpus heterophyllus* Leaves. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 21(3-4), 83-91.
- Turan, İ., Demir, S., Kilinc, K., Arslan Burnaz, N., Ozer Yaman, S., Akbulut, A., Mentese, A., Aliyazicioglu, Y. ve Deger, O., 2017. Antiproliferative and Apoptotic Effect of *Morus nigra* Extract on Human Prostate Cancer Cells. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25 (2), 241-248.
- Vambe, M., Aremu, A.O., Chukwujekwu, J.C., Finnie, J.F. ve Staden, J.V., 2018. Antibacterial Screening, Synergy Studies and Phenolic Content of Seven South African Medicinal Plants Against Drug-sensitive and -resistant Microbial Strains. *South African Journal of Botany*, 114, 250-259.
- Vijayan, K., Tikader, A., Weiguo, Z., Nair, C.V., Ercisli, S. ve Tsou, C.H., 2011. *Morus*, in: Kole C (ed) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Tropical and Subtropical Fruits*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.75–95.
- Wang, Y., Liang, Y. ve Cock, I.E., 2020. *Rosa canina* L. Fruit Extracts Inhibit the Growth of Bacterial Triggers of some Autoimmune Inflammatory Diseases and Potentiate the activity of Conventional Antibiotics. *Pharmacognosy Communications*, 10(1), 7-17.
- Yan, J., Ruan, J., Huang, P., Sun, F., Zheng, D., Zhang, Y. ve Wang, T., 2020. The Structure–Activity Relationship Review of the Main Bioactive Constituents of *Morus* Genus Plants. *Journal of Natural Medicine*, 74, 331-340. Doi: doi.org/10.1007/s11418-019-01383-8.
- Yiğit, D. ve Yiğit, N., 2008. Antibacterial Activity of Black Mulberry (*Morus nigra*) Fruits and Leaves. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 39-47.
- Yılmaz, K.U., Zengin, Y., Ercisli, S., Demirtas, M.N., Kan, T. ve Nazli, A.R., 2012. Morphological Diversity on Fruit Characteristics Among Some Selected Mulberry Genotypes from Turkey. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(1), 211-214.
- Zengin, G., Sarikurkcu, C., Aktumsek, A. ve Ceylan, R., 2014. *Sideritis galatica* Bornm.: A Source of Multifunctional Agents for the Management of Oxidative Damage, Alzheimer's's and Diabetes Mellitus. *Journal of Functional Foods*, 11, 538-547.

***Anthemis tinctoria* L. var. *tinctoria* L. Bitkisine Ait Fenolik Bileşiklerin LC-ESI-MS/MS ile Miktar Tayini ve Bitkinin Biyolojik Aktivitelerinin Belirlenmesi**

*Quantification of Phenolic Compounds of *Anthemis tinctoria* L. var. *tinctoria* L. by LC-MS/MS and Determination of Biological Activities of the Plant*

Ahmet EMİR^{*1,a}, Ceren EMİR^{1,b}

¹ Ege Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmakognози Anabilim Dalı, 35040, Bornova/İzmir, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 10.02.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 30.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 04.09.2020

Öz

Mevcut çalışmada, Tire/İzmir'den toplanan ve halk arasında, boyacı papatyası veya sarı papatya olarak adlandırılan *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* bitkisi fenolik profili ve biyolojik aktiviteleri bakımından incelenmiştir. Toplam fenolik ve flavonoid içeriği spektrofotometrik olarak belirlenmiş olup, 30 adet fenolik bileşiğin dedeksiyonu ve miktar tayini LC-ESI-MS/MS cihazı ile yapılmıştır. Bitkinin metanol ekstresine ait asetilkolinesteraz, bütirilkinesteraz ve tirozinaz enzim inhibisyonları 96 kuyucuklu mikropilaka okuyucu ile saptanmıştır. Ayrıca bitkinin antioksidan kapasite tayini DPPH ve CUPRAC yöntemleriyle belirlenmiştir. Metanol ekstresinin toplam fenolik ve flavonoid miktarları sırasıyla 21.4±4.2 (mg GAE/g ekstre) ve 9.7±2.56 (mg QE/g ekstre) olarak bulunmuştur. Miktar tayininde, fenolik asit olarak 3-hidroksibenzoik asit (1167.3±0.72 µg/g ekstre) ve ferulik asit (845.8±1.98 µg/g ekstre), flavonoid olarak morin (1598.4±2.15 µg/g ekstre) ve kersetin (1416.0±1.83 µg/g ekstre) bileşikleri en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Asetilkolinesteraz, bütirilkinesteraz ve tirozinaz enzim inhibisyonlarının IC₅₀ değerleri ise sırasıyla 254.7 ±4.86 µg/mL, 166.2±3.74 µg/mL ve 415.7±1.85 µg/mL olarak hesaplandı. Ayrıca bitkinin antioksidan kapasitesi sırasıyla 302.18±2.74 ve 514.62±3.82 mg TE/g ekstre olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: *Anthemis tinctoria*, Fenolikler, Kolinesterazlar, Tirozinaz

Abstract

In the present study, *Anthemis tinctoria* var *tinctoria* plant, collected from Tire / İzmir and named as the painter's daisy or yellow daisy among the people, was examined in terms of its phenolic profile and biological activities. Total phenolic and flavonoids content were determined spectrophotometrically. Detection and quantification of 30 phenolic compounds were performed by LC-ESI-MS/MS. Acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase and tyrosinase enzyme inhibition of methanol extract of the plant were determined by 96-well microplate reader. In addition, antioxidant capacity of the plant was determined by DPPH and CUPRAC methods. Total phenolic and flavonoid contents of methanol extract were 21.4±4.2 (mg GAE/g extract) and 9.7±2.56 (mg QE/g extract), respectively. In the quantification assay, 3-hydroxybenzoic acid (1167.3±0.72 µg/g extract) and ferulic acid (845.8±1.98 µg / g extract) as phenolic acid, morin (1598.4±2.15 µg/g extract) and quercetin (1416.0±1.83 µg/g extract) as flavonoids were found at the highest concentration. IC₅₀ values of acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase and tyrosinase inhibition were 254.7±4.86 µg/mL, 166.2±3.74 µg/mL and 415.7±1.85 µg/mL, respectively. In addition, the antioxidant capacity of the plant was found as 302.18±2.74 and 514.62±3.82 mg TE/g extract, respectively.

Keywords: *Anthemis tinctoria*, Phenolics, Cholinesterases, Tyrosinase

*a Ahmet EMİR; ahmet.emir@ege.edu.tr, Tel: (0505) 393 21 09, orcid.org/0000-0002-0971-7716

^b orcid.org/0000-0001-8516-9830

1. Giriş

Sekonder metabolitler, kimyasal yapıları birbirinden oldukça farklı olan ve bitkilerdeki farklı yollardan sentezlenen maddelerdir. Bu metabolitler bitkilerin temel işlevleri için doğrudan gerekli değildir, ancak fizyolojik faaliyetler için olduğu kadar insektisitlerden, oksidan ajanlardan ve ultraviyole radyasyon gibi dış etkenlerden korunmak amacıyla sentezlendiği düşünülmektedir. Bitki fenolikleri de biyogenetik olarak şikimik asit ya da malonat/asetat yolakları aracılığıyla oluşturulan, temel kimyasal iskeletlerine göre 16 gruba ayrılan en büyük sekonder metabolit gruplarından biridir (Lattanzio, 2013). Günümüzde birçok araştırmacı, çok çeşitli biyolojik ve farmakolojik etkileri nedeniyle fenolik bileşiklere odaklanmıştır. Kimyasal yapılarındaki fenil halkaları ve hidroksil grupları, bu moleküllerin güçlü antioksidan aktivite göstermesine neden olur. Redoks özellikleri, reaktif oksijen türlerini etkisizleştirmeyi, oksidanları indirgemeyi ve metal şelatlamayı sağlar (Afanasev vd., 1989). Ayrıca, fenolik bileşiklerin α -amilaz ve α -glukosidaz, lipaz, kolinesterazlar ve tirozinaz gibi enzimlere karşı önleyici potansiyelleri ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Gonçalves ve Romano, 2017). Enzimler, çeşitli biyolojik yaşam süreçleri ve hastalıkların patofizyolojisindeki katalitik rolleri nedeniyle birçok kronik hastalıkta temel moleküler hedeflerdir. Bunu, pazarlanan tüm küçük moleküllü ilaçların % 47'sinin enzimlerin inhibisyonunu etkilemesi açıkça desteklemektedir (Hopkins ve Groom, 2002). Yaygın olarak kullanılan bu ilaçlara örnek olarak kolinesteraz inhibitörleri verilebilir. Kolinesteraz inhibitörleri, belirgin ve kesin bir tedavisi olmayan nörodejeneratif Alzheimer hastalığının semptomatik tedavisinde en fazla kullanılan ilaçlardır. Bu ilaç etken maddelerinden takrin, rivastigmin ve memantin hem asetilkolinesteraz (AChE) hem de butirilkolinesteraz (BuChE) enzimleri üzerinde etkiliyken, galantamin ve donezepil AChE için seçicidir. Bu ilaçlar, kolinerjik etkinliği arttırarak hastanın yaşam kalitesinde artış ve hastalık evresinde stabilizasyon sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu ilaçların mide bulantısı, kusma, ishal, baş dönmesi, karın ağrısı ve baş ağrısı gibi hastaların yaşam kalitesini olumsuz etkileyen birçok yan etkisi vardır (Weinstock, 1999). Bu nedenle, minimal yan etkileri olan doğal enzim inhibitörlerini bulma çalışmaları birçok araştırmacının çalışma konusu olmuştur. Diğer yandan, glikoprotein yapısına sahip olan tirozinaz

enzimi ise, insanda temel olarak tirozinin monofenolaz etkisi ile hidroksilasyonu ve 3,4-dihidroksifenilalaninin (L-DOPA) difenolaz etkisi ile *o*-dopakinona oksidasyonu ile melanin sentezinde rol oynamaktadır. Melaninin fotoprotektif etkisine rağmen, fazla miktarda sentezlenmesi farklı deri hastalıklarına sebep olabilmektedir. Ayrıca meyve ve sebzelerde polifenolik bileşiklerin oksidasyonuna bağlı olarak gerçekleşen renk kararmasından yine tirozinaz enzimi sorumludur. Bu etkilerinin yanında, beyinde tirozinaz enziminin katalizlediği bir reaksiyon sonucu oluşan nöromelanin, Parkinson hastalığındaki duyarlı nöronlarda nörodejenerasyona neden olmaktadır (Martinez ve Whitaker, 1995; Asanuma vd., 2003; Zolghadri vd., 2019). Bu sebeplerden dolayı tirozinaz enzimini inhibe eden doğal ürünlerin araştırılması da önemli hale gelmiştir.

Anthemis cinsi, dünya genelinde yaklaşık 210 türle temsil edilen ve Compositae familyasının en geniş ikinci genusudur. Ülkemizde ise 83 taksonu bulunmakla birlikte bunların % 54'ü endemiktir (Bremer ve Humpries, 1993; Güner vd., 2000). Halk arasında, boyacı papatyası veya sarı papatya olarak adlandırılan *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* bitkisi grimsi-yeşil renkte, 20-50 cm yükseklikte, sarı çiçekli ve çok yıllık bir bitki olup, Anadolu'da yaygın bir şekilde bulunmaktadır (Baytop, 1999). Etnobotanik çalışmalarda *A. nobilis* bitkisinin diyaforetik, karminatif (Al-Snafi, 2016), *A. cretica*'nın karın ağrısı ve böbrek taşında (Uğurlu ve Seçmen, 2008), *A. cotula*'nın psöriazis, ateş, gastrointestinal sistem sorunlarında (Shawahna ve Jaradat, 2017) yine *A. cretica* ssp. *tenuiloba* ve *A. austriaca* bitkilerinin infüzyonlarının karın ağrısına dekoksasyonlarının hemoroid ve soğuk algınlığına karşı kullanıldığı belirtilmiştir (Honda vd., 1996). *A. tinctoria* var. *tinctoria* çiçeklerinden hazırlanan dekoksasyonun antidiyabetik ve antispazmodik amaçlı kullanıldığı rapor edildiği çalışmada endemik *A. wiedemanniana* bitkisinin sedatif, antispazmodik etkili ve üriner problemlerde kullanıldığı bildirilmiştir (Cakilcioglu vd., 2011). Daha önce yayınlanan bilimsel araştırmalarda, *Anthemis* türlerine ait yapılan fitokimyasal çalışmalar sonucu elde edilen polifenolik bileşikler ile mono- ve seskiterpenlerin antioksidan (Papaioannou vd., 2007), antiproliferatif (Conforti vd., 2012), antidiyabetik (Afifi ve Kasabri, 2013), antiprotozoal (De Mieri vd., 2017), antispazmodik (Karim vd., 2010) potansiyellerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Yine literatürde, farklı *Anthemis* türlerinin farklı çözücülerle hazırlanmış ekstraktlarının LC-MS ve

HPLC uygulamaları aracılığıyla fenolik bileşimlerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. *A. kotschyana* türünün etanol ve su ekstralarında LC-MS/MS dedeksiyonunda, 27 bileşik arasında ramnetin ve kinik asit majör maddeler olarak belirlenmiştir (Bursal vd., 2020). Bir diğer örnek ise nadir bir endemik olan *A. fulvida* (= *Cota fulvida*)'nın metanol ekstresine aittir. Bu çalışmada şiringik asit, kaftarik asit, kinik asit türevleri, kersetin glikozitleri ve luteolinin varlığının tespit edildiği belirlenmiştir (Özek vd., 2019). Bunlara ek olarak, polifenolik içeriğiyle birlikte seskiterpenik maddelerinde varlığının tespit edildiği makalelerde *A. tinctoria* var. *pallida*, *A. cretica* subsp. *tenuiloba* ve *A. cotula* bitkileri çalışılmıştır (Orlando vd., 2019; Sut vd., 2019). Görüldüğü gibi literatürde, *A. tinctoria* L. bitkisinin farklı varyeteleri ile ilgili çalışmalar yer alırken, *A. tinctoria* var. *tinctoria* taksonu hakkında sınırlı sayıda araştırma rapor edilmiştir. Bunlardan, Papaioannou vd., (2007)'nin yapmış oldukları çalışmada, Yunanistan'dan toplanan *A. tinctoria* subsp. *tinctoria* var. *pallida* bitkisinin fitokimyasal izolasyonu sonucu kondurol glikozidi, nikotiflorin, izokersetin, rutin ve patulitrin maddeleri elde edilmiş ve antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. Yine Beypazarı/Ankara bölgesinden toplanan bu *Anthemis* türünün antiviral aktivitesi ve sitotoksitesi araştırılmıştır (Orhan vd., 2009). Bir diğer multidisipliner çalışmada ise, *A. tinctoria* var. *tinctoria* bitkisinin etanol ve su ekstralarıyla harmanlanmış viskoz, pamuk, yün gibi kumaşların boyama, dayanıklılık, sitotoksite özelliklerine bakılmıştır (Eser vd., 2017).

Tüm bu bilgiler ışığında, söz konusu *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* bitkisinin geniş kapsamda biyoaktif fenolik bileşiklerinin miktar tayini LC-ESI-MS/MS cihazıyla gerçekleştirilmiş olup spektrofotometrik yöntemlerle, bitkinin toplam fenolik içeriği, toplam flavonoid içeriği, antioksidan kapasitesi, asetilkolinesteraz, bütirilkolinesteraz ve tirozinaz enzim inhibitör aktiviteleri tarafımızdan saptanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasallar

LC-MS/MS çalışmalarında standart olarak kullanılan (+)-kateşin, (-)-epikateşin, (-)-epigallokateşin gallat, benzoik asit, 3-hidroksibenzoik asit, 4-hidroksibenzoik asit, kateşol, krisin, ferulik asit, 3-hidroksiflavon, galangin, genistein, izoramnetin, kemferol, luteolin, *p*-kumarik asit, morin, mirsetin,

naringenin, fenil asetat, daidzein, viteksin, kersetin, 3-*O*-metilkersetin, sirinjik asit, vanillik asit, gallik asit, fisetin, hesperidin, rutin; ve enzim inhibisyon aktivitelerinde kullanılan AChE (*Electrophorus electricus*), BuChE (at serumu), Asetiltiyokolin/Butiriltiyokolin iodyd, DTNB (Ellman reaktifi) [5,5'-ditiyo-bis-(2-nitrobenzoik asit)], galantamine hidrobromür, tirozinaz (mantar), L-Dopa ve α -kojik asit Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) markasından temin edilmiştir. Folin-Ciocalteu reaktifi, sodyum karbonat, alüminyum klorür, potasyum asetat ve dimetilsülfoksit (DMSO) ile antioksidan aktivite çalışmalarında kullanılan 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil, neokuprin ve bakır (II) klorür yine aynı firmadan alınmıştır. Ayrıca ekstraksiyonda ve MS analizinde kullanılan ultra saf su, metanol ve formik asit analitik (LC grade, Sigma-Aldrich) kalitede tercih edilmiştir.

2.2. Bitki Örneği

Anthemis tinctoria var. *tinctoria* bitkisi, Tire/İzmir' den Haziran 2018 tarihinde toplanmıştır. Toplanan bitki oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Tür teşhisi Dr. Ahmet Emir tarafından yapılmış olup, bitkiye ait herbaryum örneği Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmakognozi Anabilim Dalı'nda 1630 kod numarası ile bulunmaktadır.

2.3. Bitki Ekstresinin Hazırlanışı

Ekstraksiyon işlemi önceki çalışmamızda (Emir vd., 2020a) tarif edildiği şekilde gerçekleştirildi. Oda sıcaklığında kurutulmuş ve toz edilmiş bitkinin toprak üstü kısmından bir gram tartılarak falkon tüpe aktarıldı. Daha sonra tüp içerisine 20 mL metanol (LC grade) konulup, ekstraksiyon için rotator cihazında (ISOLAB Laborgeräte GmbH) bir saat süre ile çalkalandı ve metanollü kısım süzülerek 100 mL'lik balona aktarıldı. Ekstraksiyon işlemi 3 kez tekrarlandı ve süzüntü metanolden rotavapor (Büchi, Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) cihazında 40°C'de, düşük basınç altında kurtarıldı ve metanol ekstresi elde edildi. Bitkinin metanol ekstresi kromatografik analiz ve diğer biyolojik aktivitelerde kullanılmak üzere 4°C'de ve karanlık ortamda bekletildi. LC-MS/MS çalışması için 0.22 µm PTFE filtre kullanıldı.

2.4 Toplam Fenolik İçeriği

Ekstrenin toplam fenolik içerik tayini, bazı modifikasyonlar ile birlikte belirtilen metoda (Singleton vd., 1999) göre yapıldı. Flakonlara 1

mg/mL konsantrasyonda 1 mL ekstrakt, Folin-Ciocalteu reaktifi (1/10 oranında seyreltilmiş) ve 4 mL sodyum karbonat çözeltisi (%7.5) ilave edildi. 25°C'de 20 dakika inkübasyondan sonra, absorbans değerleri 765 nm'de (Thermo Scientific Evolution Array) ölçüldü. Kalibrasyon eğrisi için benzer prosedür uygulanmış olup, pozitif kontrol için gallik asit kullanıldı ve sonuçlar gallik asit eşdeğerleri (mg GAE/g ekstre) olarak ifade edildi.

2.5 Toplam Flavonoit İçeriği

Ekstrenin toplam flavonoit içeriği, AlCl₃ metoduna göre (Dziri vd., 2012) saptandı. Buna göre, 2 mL ekstrakt, 0.1 mL % 10' luk AlCl₃ çözeltisi, 0.1 mL potasyum asetat ve 2.8 mL distile su bir flakona ilave edildi. 30 dakika süre ile oda sıcaklığında inkübasyondan sonra, absorbans 415 nm'de (Thermo Scientific Evolution Array) ölçüldü. Kersetin pozitif kontrol olarak kullanıldı ve sonuçlar kersetin eşdeğerleri (mg KE/g ekstre) olarak ifade edildi.

2.6. Fenolik Bileşiklerin Saptanması ve Miktar Tayini

30 tane fenolik bileşiğin analizi, TSQ Quantum™ Access MAX Triple Quadrupole Mass Spectrometer (Thermo Scientific™) cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Kromatografik ayırım için GL Sciences ODS C₁₈ (150 mm×4.6 mm×5 µm) kolon ve gradiyent mobil faz sistemi kullanıldı (Emir vd., 2020b). Solvan A olarak 0.1 % formik asit içeren su, solvan B olarak 0.1 % formik asit içeren metanol kullanıldı (Tablo 1). Mobil fazın akış hızı 1.0 mL/dk, enjeksiyon hacmi ise 5 µL olacak şekilde ayarlandı. Kolon sıcaklığı 25°C'de sabitlendi. Cihaza ait ESI parametreleri: iyon kaynağı (HESI) 3000 püskürtme voltajı, kapiler sıcaklık 400°C, buharlaştırıcı sıcaklığı 500°C, sheath gazı, aux gazı ve sweep gazı akış hızı sırasıyla 75 arb, 20 arb ve 0 arb şeklindedir; bileşiklere ait MS parametreleri ise Tablo 2'de ayrıntılı şekilde yer almaktadır. Miktar tayini için, external standart yöntem kullanıldı. Her bir fenolik bileşiğin miktarı kalibrasyon eğrileri kullanılarak µg/g ekstre şeklinde ifade edildi (Tablo 3).

2.7. Anti-kolinesteraz Aktivite

Ekstrelerin asetilkolinesteraz ve bütirikolinesteraz inhibitör aktivitesi Ellman (1961) metodunda yapılan birtakım

modifikasyonlarla, 96 kuyucuklu mikropilaka okuyucu (Varioskan Flash Multimode Reader, Thermo Scientific, USA) kullanılarak yapıldı. Ekstreye, 0.05 M fosfat tamponu kullanılarak 0.001-1000 mg/mL konsantrasyon aralığında olacak şekilde seyreltmeler yapıldı. Plakaya aktarılan örnekler üzerine 0.25 U/mL enzim ilave edildi ve substrat konulmadan önce 30 dk inkübasyona bırakıldı. Daha sonra substrat olarak 0.24 mM asetiltiyokolin iodid/bütiritiyokolin iodid çözeltisi ve 0.2 mM Ellman reaktifi (5,5-dithiobis-2-nitrobenzoic acid) (DTNB) ilave edildi. Son olarak mikropilaka okuyucu yardımıyla 405 nm'de absorbans değişimine dayalı ölçümler yapıldı. Standart olarak galantaminin kullanıldığı deneyde enzim inhibisyonlarına ait IC₅₀ değerleri üç bağımsız ölçümden alınan sonuçlara göre GraphPad Prism V5.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) yazılımı kullanılarak hesaplandı.

Tablo 1. Gradyent faz değerleri

Zaman	A %	B%	Akış µl/dk
0	95	5	1000
1.50	80	20	1000
3.00	70	30	1000
4.75	50	50	1000
6.25	30	70	1000
7.50	20	80	1000
10.0	10	90	1000
12.5	5	95	1000
15.0	95	5	1000

2.8. Anti-tirozinaz aktivite

Ekstrelerin tirozinaz inhibisyon aktivitesi modifiye edilmiş dopakrom yöntemi kullanılarak belirlendi (Masuda vd., 2005). Deneyler, 96 kuyucuklu mikropilaka okuyucu kullanılarak gerçekleştirildi. % 5 DMSO içeren 1/15 M potasyum fosfat tamponu (pH 6.8), 7 farklı konsantrasyondaki metanol ekstresi (1000, 750, 500, 250, 100, 10, 1 µg / mL) ve tirozinaz enzim çözeltisi (46 U/mL) hazırlamak için kullanıldı. Ekstre ve enzim kuyucuklara eklendikten sonra 25 °C' de 10 dakika inkübe edilip, 2.5 mM L-Dopa substrat çözeltisi ilave edildi. Daha sonra tekrar 25 °C' de 20 dakika inkübe edildi ve absorbans 475 nm' de ölçüldü. Üç bağımsız ölçümden alınan sonuçlara göre GraphPad Prism V5.0 yazılımı kullanılarak IC₅₀ değerleri hesaplandı. Pozitif standart olarak α-kojik asit kullanıldı.

Tablo 2. Bileşiklere ait MS/MS parametreleri

Molekül No	Molekül Adı	Kollezyon Enerjisi	İyonizasyon Modu	Prekürsör İyon	Prodak İyon
1	Kateşol	27	Negatif	109.22	108.10
2	(+)-Kateşin	22	Negatif	289.10	203.07
3	(-)-Epikateşin	15	Negatif	291.22	139.10
4	(-)-Epigallokateşin gallat	15	Negatif	549.18	139.10
5	Benzoik asit	15	Negatif	121.18	77.23
6	3-Hidroksibenzoik asit	15	Negatif	137.18	93.18
7	4-Hidroksibenzoik asit	15	Negatif	137.15	93.15
8	<i>p</i> -Kumarik asit	13	Negatif	163.01	119.08
9	Vanillik asit	7	Negatif	167.10	152.60
10	Gallik asit	15	Negatif	169.07	125.02
11	Ferulik asit	15	Negatif	193.04	134.10
12	Sirinjik asit	15	Negatif	191.11	182.18
13	Daidzein	34	Negatif	252.84	223.10
14	Krisin	35	Negatif	253.18	143.06
15	Kemferol	35	Negatif	285.10	238.95
16	Luteolin	30	Negatif	284.96	238.95
17	Fisetin	30	Negatif	285.10	135.01
18	Morin	23	Negatif	301.22	150.94
19	Kersetin	26	Negatif	301.20	150.94
20	3- <i>O</i> -Metilkersetin	20	Negatif	315.10	290.99
21	İzoramnetin	35	Negatif	315.09	300.02
22	Galangin	25	Negatif	271.20	153.11
23	Mirsetin	20	Negatif	317.05	191.00
24	Viteksin	20	Negatif	431.29	310.96
25	Hesperidin	20	Negatif	609.40	300.88
26	3-Hidroksiflavon	24	Negatif	239.10	165.08
27	Naringenin	22	Negatif	271.05	151.01
28	Genistein	30	Negatif	271.09	153.11
29	Rutin	35	Negatif	609.24	299.91
30	Fenil asetat	10	Negatif	137.12	95.15

2.9. Ekstrenin Antioksidan Aktivitelerinin Saptanması

2.9.1. DPPH Yöntemi

1000-1 ppm aralığındaki farklı konsantrasyonlarda hazırlanan metanol ekstralarında, kararlı yapıda bir azot radikali olan 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) kullanılarak Blois'in (1958) metoduna göre çalışıldı. Belirlenen konsantrasyondaki ekstreten 3 mL cam flakona konuldu. Üzerine, 1 mg tartılarak balon jojede hazırlanan 0.1 mM DPPH çözeltisinden 1 mL ilave edildi. Daha sonra karanlık ortamda 30 dk bekletildikten sonra absorbans değerleri spektrofotometrede (Thermo Scientific, Evolution Array) 517 nm' de ölçüldü. Kontrol grubunda ise 1 mL DPPH çözeltisi ile 3 mL metanolden oluşan karışım 30 dk karanlık ortamda bekletildikten sonra aynı şartlarda absorbans ölçümü gerçekleştirildi. Üç paralel ile gerçekleştirilen çalışmada pozitif standart olarak troloks kullanıldı ve sonuçlar troloks ekivalanı olarak (mg TE/g ekstre) verildi.

2.9.2. CUPRAC Yöntemi

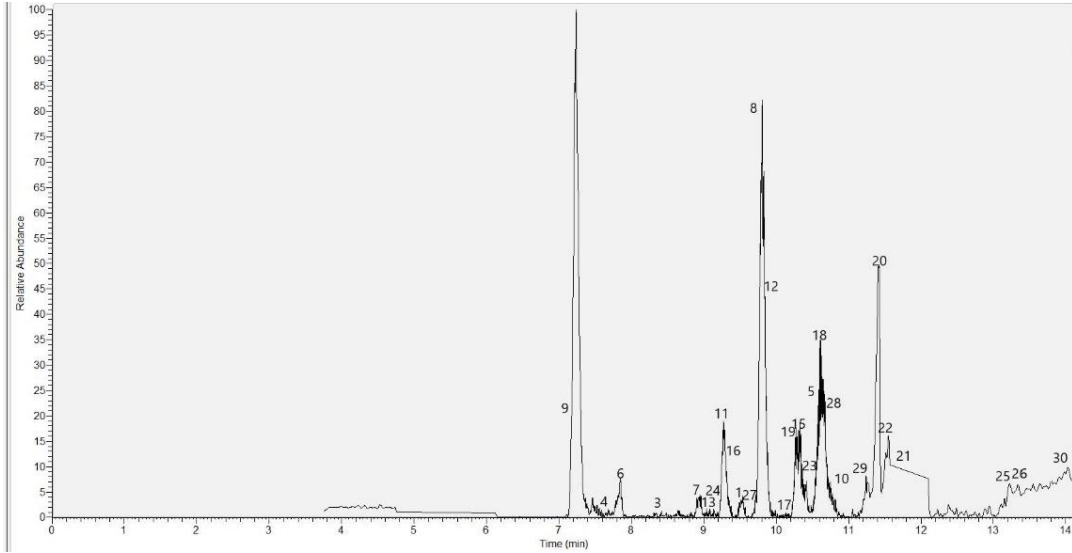
Bakır indirgeme antioksidan kapasite yöntemi olan (CUPRAC) metodunda, Cu (II)' nin indirgenmesi sonucu oluşan Cu (I)' in neokuprin ile kompleks oluşturma esasına göre çalışıldı (Apak vd., 2008). CUPRAC reaktifi düşük redoks potansiyeline sahip olduğu için, şeker ve sitrik asit gibi gerçekte antioksidan olmayan fakat indirgeyici özelliği bulunan maddelerin girişim yapmasını engeller. Ayrıca, bu yöntemde tiyol bazlı antioksidanlar hızlı bir şekilde reaksiyon verir. Ölçümler yapılmadan önce deneyde kullanılacak çözeltiler hazırlandı. Öncelikle CuCl₂' den 0.134 g tartılarak balonjojede 10 mM' lık çözeltisi hazırlandı. Daha sonra neokuprin 0.023 g tartılarak balon jojede 7.5 mM' lık çözeltisi elde edildi. Deney ortamının pH' ını ayarlamak için 19,27 g amonyum asetat tartılarak 1M amonyum asetat tamponu hazırlandı. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan metanol ekstraları, pH=7.0' de neokuprin ile bakır (II)' nin karışımı ile muamele edildikten sonra 30 dk karanlık ortamda inkübasyona bırakıldı. Daha sonra absorbans değerleri 450 nm' de ölçüldü. Üç paralel ile gerçekleştirilen çalışmada pozitif standart olarak

troloks kullanıldı ve sonuçlar troloks ekivalanı olarak (mg TE/g ekstre) verildi.

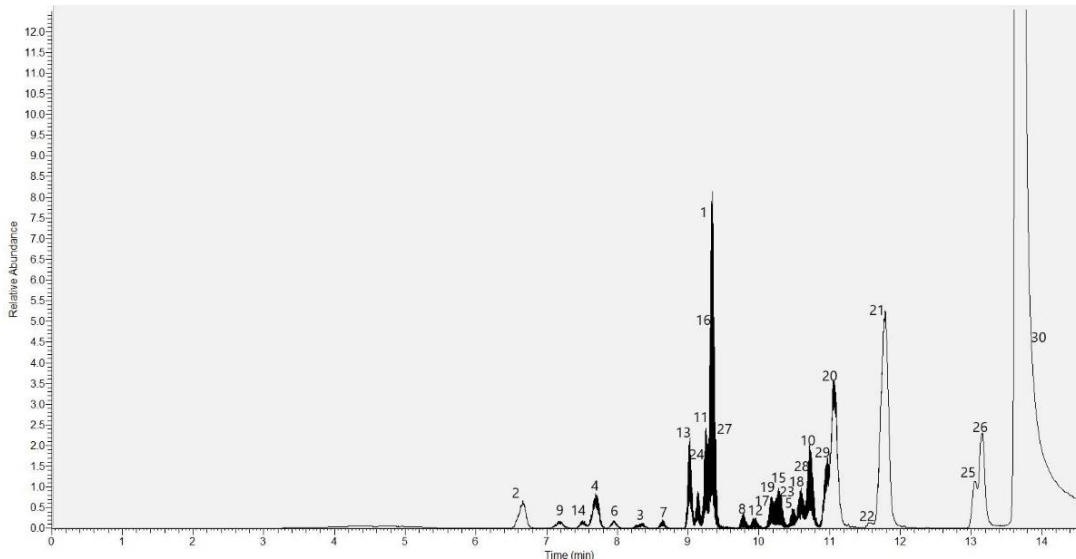
3. Bulgular

Kolay uygulanabilen, basit ve etkili bir ekstraksiyon metodu uygulanarak, ekstrede % 27 verim elde edildi. Ekstrenin toplam fenolik ve flavonoit içeriği sırasıyla 21.4±4.2 (mg GAE/g ekstre) ve 9.7±2.56 (mg QE/g ekstre) olarak bulundu. Hazırlanan ekstre üzerinde 30 adet fenolik bileşiğin varlığı ve miktar tayini LC-MS/MS cihazı kullanılarak yapıldı ve sonuçlar µg/g ekstre olarak verildi. Ekstre ve standart madde karışımına ait kromatogramlar sırasıyla Şekil 1 ve 2' de verilmiştir. Bunlardan 24 tanesinin miktar tayini gerçekleştirildi; (-)-epikateşin, (-)-epigallokateşin gallat, daidzein ve fisetin eser miktarda bulunurken, (+)-kateşin ve

krisin bileşiklerinin varlıkları örnekte saptanmadı (Tablo 3). Yapılan biyolojik aktivite deneylerine ait sonuçlar Tablo 4' de verilmiştir. DPPH ve CUPRAC yöntemleriyle yapılan antioksidan kapasite tayini deneylerinde ise sonuçlar sırasıyla 302.18±2.74 ve 514.62±3.82 mg TE/g ekstre olarak bulundu. Metanol ekstresinin, asetilkolinesteraz ve bütirikolinesteraz enzim inhibisyonlarının çalışıldığı deneyde galantamin hidrobromür standart olarak kullanıldı ve IC₅₀ değerleri sırasıyla 0.106±0.05 µg/mL ve 1.04±0.12 µg/mL olarak hesaplandı. Örneğimizde ise bu değerler 254.7±4.86 µg/mL ve 166.2±3.74 µg/mL olarak saptandı. Anti-tirozinaz aktivite deneyinde α-kojik asit pozitif standart olarak kullanıldı. Standart bileşiğe ve ekstreye ait IC₅₀ değerleri sırasıyla 7.9±0.54 µg/mL ve 415.7±1.85 µg/mL olarak hesaplandı.



Şekil 1. Ekstreye ait MS/MS kromatogramı



Şekil 2. Standart madde karışımına ait MS/MS kromatogramı

Tablo 3. LC-MS/MS analiz sonuçları

Molekül No	Molekül Adı	Miktar (µg/g ekstre)	Doğrusal denklem	R ²	LOD (ng/ml)	LOQ (ng/ml)	RSS, % (10 µg/ml)
1	Kateşol	53.3 ± 1.06	y = 2.7042x + 4.0149	0.9982	14	45	1.26
2	(+)-Kateşin	*	-	-	32	95	0.95
3	(-)-Epikateşin	T	-	-	18	55	0.58
4	(-)-Epigallokateşin gallat	T	-	-	21	62	0.73
5	Benzoik asit	82.9 ± 0.55	y = 50.437x + 99.762	0.9972	9	28	1.16
6	3-Hidroksibenzoik asit	1167.3 ± 0.72	y = 8.7122x - 170.8	0.9985	15	44	1.43
7	4-Hidroksibenzoik asit	246.7 ± 1.68	y = 14.089x + 106.25	0.9993	8	25	0.81
8	p-Kumarik asit	178.7 ± 0.23	y = 42.156x + 245.83	0.9995	17	53	0.26
9	Vanillik asit	51.0 ± 1.03	y = 2.9519x + 0.2917	0.9971	24	74	2.08
10	Gallik asit	139.2 ± 2.11	y = 1.9995x + 0.9041	0.9985	21	60	1.55
11	Ferulik asit	845.8 ± 1.98	y = 1.5133x + 10.198	0.9988	31	94	0.62
12	Sirinjik asit	38.9 ± 0.39	y = 2.0696x + 0.0417	0.9992	29	88	0.28
13	Daidzein	T	-	-	16	49	0.47
14	Krisin	*	-	-	35	104	1.52
15	Kemferol	37.4 ± 1.45	y = 0.9948x + 1.2839	0.9974	12	35	1.85
16	Luteolin	5.6 ± 0.31	y = 247.11x + 47.917	0.9993	6	19	2.19
17	Fisetin	T	-	-	9	28	2.07
18	Morin	1598.4 ± 2.15	y = 39.941x + 341.46	0.9994	23	69	0.88
19	Kersetin	1416.0 ± 1.83	y = 34.225x + 1813.4	0.9988	11	34	0.65
20	3-O-Metilkersetin	60.5 ± 0.94	y = 11.536x + 12.008	0.9985	27	83	0.36
21	İzoramnetin	492.8 ± 0.38	y = 18.054x + 64.6	0.9972	34	104	1.47
22	Galangin	22.6 ± 1.29	y = 259.14x - 44.5	0.9962	23	71	2.15
23	Mirsetin	4.7 ± 0.88	y = 77.896x + 4.3804	0.9992	19	59	0.73
24	Viteksin	1.6 ± 0.14	y = 254.92x + 26.189	0.9974	8	23	1.92
25	Hesperidin	7.4 ± 1.08	y = 131.49x - 20.833	0.9992	12	37	1.53
26	3-Hidroksiflavon	1.2 ± 0.33	y = 5604.8x + 625	0.9988	9	28	0.78
27	Naringenin	9.9 ± 0.78	y = 634.26x + 39.583	0.9954	33	99	0.49
28	Genistein	4.9 ± 0.69	y = 93.898x - 4.1667	0.9994	24	74	0.83
29	Rutin	4.7 ± 1.17	y = 1838.7x + 410.52	0.9985	7	23	2.17
30	Fenil asetat	19.2 ± 1.36	y = 356.35x + 708.33	0.9984	16	49	1.66

LOD (Limit of Detection): Tespit limiti, LOQ (Limit of Quantitation): Tayin limiti, T: Tayin edilebilir limitin altında, *: Tespit edilebilir limitin altında)

Tablo 4. *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* bitkisine ait biyolojik aktivite sonuçları

Biyolojik Aktivite	Fenolik Madde Miktar Tayini		Antioksidan Aktivite		Antikolinesteraz Aktivite ^d		Antitirozinaz Aktivite ^d
	TPC ^a	TFC ^b	DPPH ^c	CUPRAC ^c	AChE	BuChE	
Metanol ekstresi	21.7±4.2	9.7±2.56	302.18±2.74	514.62±3.82	254.7±4.86	166.2±3.74	415.7±1.85
Galantamin HBr*	-	-	-	-	0.106±0.05	1.04±0.12	-
Kojik asit*	-	-	-	-	-	-	7.9±0.54

^agallik asit eşdeğeri (mg GAE/g ekstre); ^bkersetin eşdeğeri (mg KE/g ekstre); ^ctroloks eşdeğeri (mg TE/g ekstre)
^dIC₅₀ (µg/mL ekstre); *pozitif standart

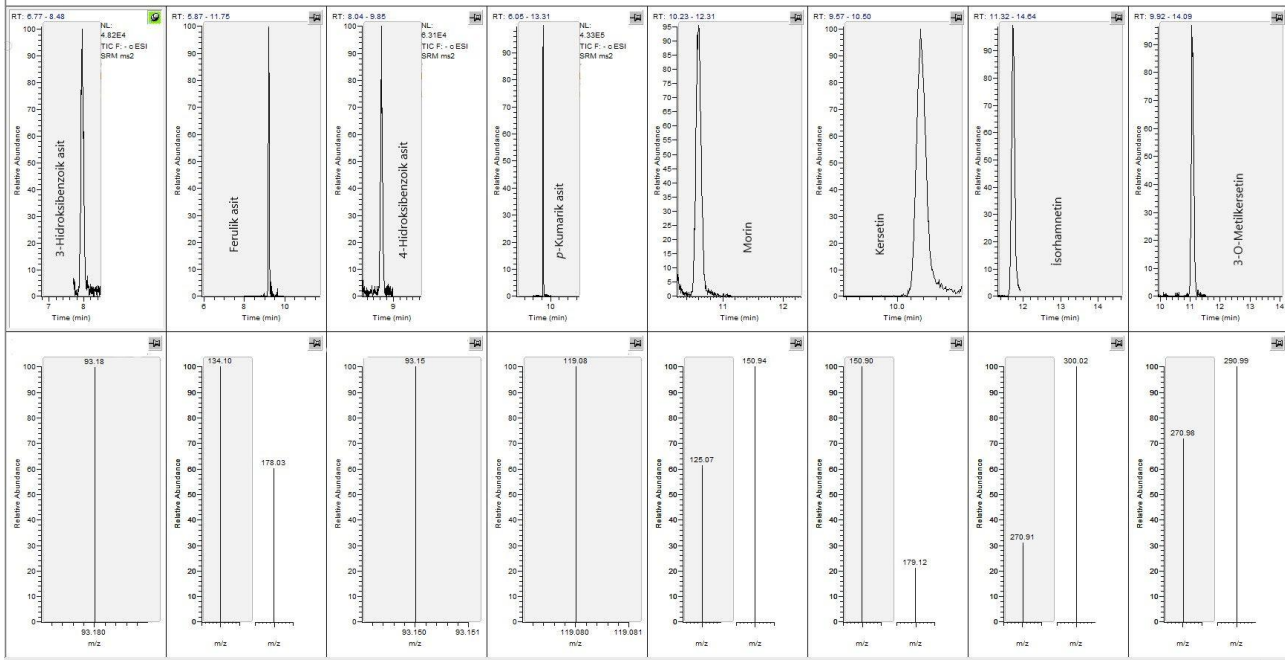
4. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışmamızda, Tire/İzmir' de yabani olarak yetişen *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* bitkisinin fenolik kompozisyonu, antioksidan kapasitesi ve çeşitli enzim inhibisyon aktiviteleri incelenmiştir. Bitkinin ekstraksiyonu için, analiz edilecek madde grubunun kimyasal yapısına bağlı olarak polar veya apolar karakterde farklı çözücüler kullanılabilir. Dolayısıyla, fenolik bileşiklerin bitkiden ekstraksiyonu için en uygun polar ve organik çözücü olarak metanol tercih edilmiştir.

Söz konusu türe ait, daha az sayıda bileşikle miktar tayini deneyi literatürde bulunmakla birlikte kapsamlı bir fitokimyasal tarama ilk kez tarafımızdan rapor edilmektedir. LC-MS/MS çalışmamızda, bileşiklerin tayini referans standartlar kullanılarak ve kütle fragmentasyonları esas alınarak gerçekleştirildi. Buna göre, benzoik asit türevlerinden 3-hidroksibenzoik asit ve ferulik asit, flavonoidlerden ise morin ve kersetin majör bileşikler olarak tespit edilmiştir. Majör bileşiklerin kromatogramları ve kütle bölümleri Şekil 3' de gösterilmiştir. Daha önce rapor edilen,

Çankırı'dan toplanan aynı tür üzerinde yapılan çalışmada, 7 polifenolik maddenin (gallik asit, *p*-kumarik asit, 4-hidroksibenzoik asit, vanillik asit, rutin, kersetin ve naringenin) miktar tayini gerçekleştirilmiştir ve 4-hidroksibenzoik asit maddesi diğerlerine göre en yüksek oranda bulunmuştur (Eser vd., 2017). Bu madde

miktarlarının bizim çalışmamızda farklı çıkmasının nedeni, oksidatif stres, tozlaşma, korunma gibi bitkiye ait faktörler olabileceği gibi çevresel etkenler de olabilir. Dolayısıyla farklı lokasyonlardaki aynı türlerin kendine özgü kimyasal profili ve biyolojik aktivitesi bulunabilir.



Şekil 3. Majör bileşiklerin kromatogramları ve kütle fragmentasyonları

Bitkide bulunan toplam biyoaktif maddelerin belirlenmesi amacıyla, spektrofotometrik olarak yapılan toplam fenolik ve flavonoid miktar tayini çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu tür üzerinde bu tayinlerin rapor edildiği bir çalışma yoktur ancak, değerler diğer *Anthemis* türlerinde rapor edilen çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olarak bulunmuştur. Bunlara örnek olarak, *A. stiparum* subsp. *sabulicola* bitkisinde sırasıyla 13.6 (pirokateşol E/g) ve 5.9 (QE/g) (Chemsal vd., 2018), *A. fumariifolia* bitkisinde 31.94 (GAE/g) ve 12.88 (QE/g), *A. cretica* subsp. *argaea* bitkisinde 48.51 (GAE/g) ve 11.49 (QE/g) (Albayrak ve Aksoy, 2013), *A. cotula* bitkisinde ise 54.32 (GAE/g) ve 39.14 (RutinE/g) (Sut vd., 2019) değerlerini gösterebiliriz.

Miktar tayini dışında, örneğimizde asetilkolinesteraz, bütirikolinesteraz ve tirozinaz enzimlerinin inhibisyon değerleri saptanmıştır. Literatürde bu *Anthemis* türüne ait açıklanan aktivitelerle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kısıtlı sayıda farklı *Anthemis* türleri (Chemsal vd., 2018; Sut vd., 2019; Orlando vd., 2019) üzerinde bu çalışmalar yapılmış olup değişken aralıkta aktivite saptanmıştır. Ancak bu çalışmalarda

sonuçlar IC₅₀ değeri üzerinden değil, % inhibisyon veya kojik asit ve galantamin eşdeğeri olarak verilmiştir. Dolayısıyla çalıştığımız türün biyolojik aktivitesini diğer türlerle tam olarak karşılaştırmamız mümkün değildir. Bitkimizin enzim inhibisyon değerleri çok yüksek kapasitede bulunmamıştır ancak ekstrenin antikolinesteraz aktivitesine LC-MS/MS çalışmasında miktarlarını yüksek olarak belirlediğimiz morin ve kersetin bileşiklerini pozitif katkı sağlamış, düşük konsantrasyona sahip luteolin, kemferol, naringenin ve rutin bileşiklerini ise negatif yönde etkilemiş olabilir. Zira, bu bileşiklerin güçlü antikolinesteraz aktiviteye sahip olduklarının belirtildiği çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Katalinic vd., 2010; Remya vd., 2012). Bunun yanı sıra, bu bileşiklerin birbirleriyle de etkileşime girebilecekleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Antitirozinaz aktivitede ise fenolik asit grubundan yüksek konsantrasyondaki 4-hidroksibenzoik asit ve *p*-kumarik asit bileşiklerinin inhibisyon kapasitesini arttırmış olabileceği düşünülmektedir. Yine literatürde, bu bileşiklerin tirozinaz enziminin inhibisyonunda yer aldığı çalışmalar mevcuttur (Wang vd., 2011).

Son olarak bitkinin antioksidan kapasitesini belirlemek amacıyla, radikal süpürücü aktivite DPPH metodu ve indirgeme gücü CUPRAC metodu ile çalışıldı. Sonuçların troloks ekivalanı olarak verildiği *Anthemis* türleri incelendiğinde, farklı ekstraksiyon yöntemleri uygulanan *A. cotula* bitkisinin DPPH deneyi sonuçları 66.87-103.44, CUPRAC deneyi sonucu ise 307.66-435.32 mg TE/g ekstre aralığında çıkmıştır. Dolayısıyla çalıştığımız türün her iki aktivitesi de daha yüksek bulunmuştur. *A. tinctoria* var. *pallida* ve *A. cretica* subsp. *tenuiloba* türlerinin incelendiği başka bir çalışmada, metanol ekstrelerine ait DPPH deneyi sonuçları sırasıyla 407.07 ve 97.22, CUPRAC deneyi sonuçları ise 691.17 ve 223.09 mg TE/g ekstre olarak rapor edilmiş olup, bitkimizin antioksidan aktivitesi birinci türden düşük ikincisinden ise yüksek gözlenmiştir. Sonuç olarak, yapılan çalışmada İzmir kaynaklı *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* türü fitokimyasal olarak incelenmiş olup, bitkinin biyoaktif moleküller için kaynak olabileceği belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Afanasev, I.B., Dcrozhko, A.I., Brodskii, A.V., Kostyuk, V.A. ve Potapovitch, A.I., 1989. Chelating and Free Radical Scavenging Mechanisms of Inhibitory Action of Rutin and Quercetin in Lipid Peroxidation. *Biochemical Pharmacology*, 38, 1763–1769.
- Afifi, F.U. ve Kasabri, V., 2013. Pharmacological and Phytochemical Appraisal of Selected Medicinal Plants from Jordan with Claimed Antidiabetic Activities. *Scientia Pharmaceutica*, 81(4), 889-932.
- Albayrak, S. ve Aksoy, A., 2013. Evaluation of Antioxidant and Antimicrobial Activities of Two Endemic *Anthemis* Species in Turkey. *Journal of Food Biochemistry*, 37(6), 639–645.
- Al-Snafi, A.E., 2016. Medical Importance of *Anthemis nobilis* (Chamaemelum nobile)-A review. *Asian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 6(2), 89–95.
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M. ve Çelik, S.E., 2008. Mechanism of Antioxidant Capacity Assays and the CUPRAC (Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity) Assay. *Microchimica Acta*, 160(4), 413–419.
- Asanuma, M., Miyazaki, I. ve Ogawa, N., 2003. Dopamine- or L-DOPA-Induced Neurotoxicity: The Role of Dopamine Quinone Formation and Tyrosinase in a Model of Parkinson's Disease. *Neurotoxicity Research*, 5(3), 165-76.
- Baytop, T., 1999. Türkiye'de Bitkilerle Tedavi, Geçmişte ve Bugün: İstanbul, Nobel Tıp Kitabevi, s. 313.
- Blois, M.S., 1958. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181, 1199-1200.
- Bremer, K. ve Humpries, C.J., 1993. Generic Monograph of the Asteraceae-Anthemideae. *Bulletin of the Natural History Museum*, 23(2), 71-177.
- Bursal, E., Aras, A., Kılıç, A. ve Buldurun, K., 2020. Chemical Constituent and Radical Scavenging Antioxidant Activity of *Anthemis Kotschyana* Boiss. *Natural Product Research*, doi: 10.1080/14786419.2020.1723089.
- Cakilcioglu, U., Khatun, S., Turkoglu, I. ve Hayta, S., 2011. Ethnopharmacological Survey of Medicinal Plants in Maden (Elazig-Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 137, 469-486.
- Chemsa, A.E., Zellagui, A., Öztürk, M., Erol, E., Ceylan, O., Duru, M. E. ve Lahouel, M., 2018. Chemical Composition, Antioxidant, Anticholinesterase, Antimicrobial and Antibiofilm Activities of Essential Oil and Methanolic Extract of *Anthemis stiparum* subsp. *sabulicola* (Pomel) Oberpr. *Microbial Pathogenesis*, 119(March), 233–240.
- Conforti, F., Menichini, F., Formisano, C., Rigano, D., Senatore, F., Bruno, M., Rosselli, S. ve Çelik, S., 2012. *Anthemis wiedemanniana* Essential Oil Prevents LPS-Induced Production of NO in RAW 264.7 Macrophages and Exerts Antiproliferative and Antibacterial Activities *in vitro*. *Natural Product Research*, 26(17), 1594-1601.
- De Mieri, M., Monteleone, G., Ismajili, I., Kaiser, M. ve Hamburger, M., 2017. Antiprotozoal Activity-Based Profiling of a Dichloromethane Extract from *Anthemis Nobilis* Flowers. *Journal of Natural Products*, 80(2), 459-470.
- Dziri, S., Hassen, I., Fatnassi, S., Mrabet, Y., Casabianca, H., Hanchi, B. ve Hosni, K., 2012. Phenolic Constituents, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Rosy Garlic (*Allium roseum* var. *odoratissimum*). *Journal of Functional Foods*, 4(2), 423–432.
- Ellman, L., Courtney, K.D., Andres, Jr V. ve Featherstone, R.M., 1961. New and Rapid Colorimetric Determination of Acetylcholinesterase Activity. *Biochemical Pharmacology*, 7, 88–95.
- Emir, A., Emir, C. ve Yıldırım, H., 2020a. Characterization of Phenolic Profile by LC-ESI-MS / MS and Enzyme Inhibitory Activities of

- Two Wild Edible Garlic: *Allium Nigrum* L. and *Allium Subhirsutum* L. The Journal of Food Biochemistry, 44(4), e13165.
- Emir, A., Emir, C. ve Yıldırım, H., 2020b. Chemical and Biological Comparison of Different Parts of two *Allium* Species: *Allium Paniculatum* L. Subsp. *Villosulum* (Hal.) Stearn and *Allium Paniculatum* L. Subsp. *Paniculatum* L. Chemical Papers, doi: 10.1007/s11696-020-01311-1.
- Eser, F., Yaglioglu, A.S., Dolarslan, M., Aktas, E. ve Onal, A., 2017. Dyeing, Fastness, and Cytotoxic Properties, and Phenolic Constituents of *Anthemis Tinctoria* Var. *Tinctoria* (Asteraceae). The Journal of The Textile Institute, 108(9), 1489-1495.
- Gonçalves, S. ve Romano, A., 2017. Inhibitory Properties of Phenolic Compounds Against Enzymes Linked with Human Diseases, in: Soto-Hernández, M. (Ed), Phenolic Compounds - Biological Activity. IntechOpen, London, pp. 99-118.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. ve Başer, K.H.C., 2000. Flora of Turkey and The East Aegean Islands: Edinburgh, Edinburgh University Press, pp. 92-94.
- Honda, G., Yesilada, E., Tabata, M., Sezik, E., Fujita, T., Takeda, Y., Takaishi, Y. ve Tanaka, T., 1996. Traditional Medicine in Turkey. VI. Folk Medicine in west Anatolia: Afyon, Kütahya, Denizli, Muğla, Aydın provinces. Journal of Ethnopharmacology, 53(2), 75-87.
- Hopkins, A.L. ve Groom, C.R., 2002. The Druggable Genome. Nature Reviews Drug Discovery, 727-730.
- Karim, A., Berrabah, M., Mekhfi, H., Ziyat, A., Legssyer, A., Bouali, A., Haloui, B., Amrani, S. ve Aziz, M., 2010. Effect of Essential Oil of *Anthemis Mauritiana* Maire & Sennen Flowers on Intestinal Smooth Muscle Contractility. Journal of Smooth Muscle Research, 46(1), 65-75.
- Katalinic, M., Rusak, G., Barović, J.D., Sinko, G., Jelic, D., Antolovic, R. ve Kovarik, Z., 2010. Structural Aspects of Flavonoids as Inhibitors of Human Butyrylcholinesterase. European Journal of Medicinal Chemistry, 45(1), 186-192.
- Lattanzio, V., 2013. Phenolic Compounds: Introduction, in: Ramawat, K.G., Merillon, J.M. (Eds.), Handbook of Natural Products. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1544-1573.
- Martinez, M.V. ve Whitaker, J.R., 1995. The Biochemistry and Control of Enzymatic Browning. Trends in Food Science & Technology, 6, 195-200.
- Masuda, T., Yamashita, D., Takeda, Y. ve Yonemori, S., 2005. Screening for Tyrosinase Inhibitors Among Extracts of Seashore Plants and Identification of Potent Inhibitors from *Garcinia Subelliptica*. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 69(1), 197-201.
- Orhan, I., Deliorman-Orhan, D. ve Özçelik, B., 2009. Antiviral Activity and Cytotoxicity of The Lipophilic Extracts of Various Edible Plants and Their Fatty Acids. Food Chemistry, 115, 701-705.
- Orlando, G., Zengin, G., Ferrante, C., Ronci, M., Recinella, L. ve Menghini, L., 2019. Comprehensive Chemical Profiling and Multidirectional Biological Investigation of Two Wild *Anthemis* Species (*Anthemis tinctoria* var. *pallida* and *A. cretica* subsp. *tenuiloba*): Focus on Neuroprotective Effects. Molecules, 24, 2582.
- Özek, G., Özbek, M.U., Yur, S., Göger, F., Arslan, M. ve Özek, T., 2019. Assessment of Endemic *Cota fulvida* (Asteraceae) for Phytochemical Composition and Inhibitory Activities Against Oxidation, α -amylase, Lipoxygenase, Xanthine Oxidase and Tyrosinase Enzymes. Records of Natural Products, 13(4), 333-345.
- Papaoannou, P., Lazaria, D., Kariotib, A., Soulelesa, C., Heilmann, J., Hadjipavlou-Litinad, D. ve Skaltsa, H., 2007. Phenolic Compounds with Antioxidant Activity from *Anthemis tinctoria* L. (Asteraceae). Zeitschrift für Naturforschung C- A Journal of Biosciences, 62c, 326-330.
- Remya, C., Dileep, K.V., Tintu, I., Variyar, E.J. ve Sadasivan, C., 2012. Design of Potent Inhibitors of Acetylcholinesterase Using Morin As The Starting Compound. Frontiers in Life Science, 6(3), 107-117.
- Shawahna, R. ve Jaradat, N.A., 2017. Ethnopharmacological Survey of Medicinal Plants Used by Patients With Psoriasis in The West Bank of Palestine. BMC Complementary and Alternative Medicine, 17(1), 4.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. ve Lamuela-Raventos, R.M., 1999. Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. Methods in Enzymology, 299, 152-178.
- Sut, S., Dall'Acqua, S., Zengin, G., Senkardes, I., Bulut, G., Cvetanović, A. ve Mahomoodally, F., 2019. Influence of Different Extraction Techniques on the Chemical Profile and Biological Properties of *Anthemis cotula* L.: Multifunctional Aspects for Potential

Pharmaceutical Applications. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 173(May), 75–85.

Ugurlu, E. ve Secmen, O., 2008. Medicinal Plants Popularly Used in The Villages of Yunt Mountain (Manisa-Turkey). Fitoterapia, 79(2), 126–131.

Wang, H.M., Chou, Y.T., Hong, Z.L., Chen, H.A., Chang, Y.C., Yang, W.L., Chang, H.C., Mai, C.T. ve Chen, C.Y., 2011. Bioconstituents From Stems of *Synsepalum Dulcificum* Daniell (Sapotaceae) Inhibit Human Melanoma Proliferation, Reduce Mushroom Tyrosinase Activity and Have Antioxidant Properties. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 42, 204–211.

Weinstock, M., 1999. Selectivity of Cholinesterase Inhibition: Clinical Implications for The Treatment of Alzheimer's Disease. CNS Drugs, 12(4), 307–323.

Zolghadri, S., Bahrami, A., Hassan Khan, M.T., Munoz-Munoz, J., Garcia-Molina, F., Garcia-Canovas, F. ve Saboury, A.A., 2019. A Comprehensive Review on Tyrosinase Inhibitors. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 34(1), 279–309.

Elazığ Bölgesinin Kırmataş Potansiyeli ve Kullanım Alanları

Crushed Stone Potential of Elazığ Region and Usage Areas

Zülfü GÜROCAK^{*1,a}, Emre Burak KÜRÜM^{2,b}

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

²Türkiye Büyük Millet Meclisi, Ankara

• Geliş tarihi / Received: 05.06.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 24.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 04.09.2020

Öz

Bu çalışmada, Elazığ çevresinde yüzeyleyen kayaların kırmataş potansiyeli ve kullanım alanları incelenmiştir. Bu amaçla, Keban Metamorfileri, Kömürhan Ofiyolitleri, Elazığ Magmatitleri, Harami Formasyonu, Maden Karmaşığı, Seske Formasyonu, Kırkgeçit Formasyonu ve Karabakır Formasyonu'ndan alınan bloklardan agrega örnekleri hazırlanmış ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar, şartname ve standartlarda verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak, incelenen kayaların beton agregası, balast ve yol üst yapı malzemesi olabirliği ortaya konulmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitler, Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar ve Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitler demiryolu balastı olarak kullanılmaya uygundur. Ayrıca, Harami, Seske ve Kırkgeçit Formasyonlarına ait kireçtaşları ile Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar tüm katmanlarda yol üst yapı malzemesi olarak kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Agregata, Balast, Elazığ Bölgesi, Yol Üst Yapı Malzemesi

Abstract

In this study, the crushed stone potential and usage areas of the formations cropped out around Elazığ was investigated. For this purpose, aggregate samples were prepared from block samples collected from Keban Metamorphites, Kömürhan Ophiolites, Elazığ Magmatics, Harami Formation, Maden Complex, Seske Formation, Kırkgeçit Formation and Karabakır Formation and experimental studies were conducted. The results obtained from the experiments were compared with the limit values given in the technical specifications and standards and the usability of the rocks as concrete aggregate, ballast and road superstructure material was determined. The results of this study show that the andesites of Elazığ Magmatics, the limestones of Harami Formation, the basalts of Maden Complex and the limestones of Kırkgeçit Formation can be used as concrete aggregate. The andesites of Elazığ Magmatics are suitable for use as railway ballast. Also, the limestones of Harami, Seske and Kırkgeçit formations and the basalts of Maden Complex are usable in all layers of the road superstructure.

Keywords: Agregata, Ballast, Elazığ Area, Road Superstructure Material

*a Zülfü GÜROCAK; zgurocak@firat.edu.tr, Tel: (0532) 355 36 47, orcid.org/ 0000-0002-1049-8346

b orcid.org/0000-0003-0181-157X

1. Giriş

Hızla artan temel ihtiyaçlar büyük boyutlu mühendislik yapılarını da (otoyol, köprü, baraj vb.) beraberinde getirmektedir. Doğal olarak, bu yapıların inşası kırmataşa olan ihtiyacı da önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle, yeni kırmataş kaynakların bulunması ve mevcut üretim alanlarının geliştirilerek inşaat sektörünün kullanımına sunulması planlanan projelerin gerçekleştirilebilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, farklı kökene sahip kayaçların doğal taş endüstrisinde mermer, inşaat sektöründe agrega ve ulaşım sektöründe ise anroşman, balast ve mıcır olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, bölgesel bazda yapılacak çalışmalar ile kırmataş potansiyelinin ortaya konulması gerekmektedir.

Bir kayacın kırmataş olarak kullanılabilirliğini belirleyen temel faktörler, o kayacın kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleridir. Günümüze kadar birçok araştırmacı farklı kökene sahip kayaçların kırmataş olarak değerlendirilebilirliği konusunda gerçekleştirdikleri münferit çalışmalarda (Hartle, 1974; Ramsay vd., 1974; Less ve Kenedy, 1975; Kazi ve Mansour, 1980; Özturan ve Çeçen, 1997; Tasong vd., 1998; Zarif vd., 2003; Korkanç ve Tuğrul, 2004; Gürocak, 2016) bu özellikleri dikkate alarak değerlendirmeler yapmışlardır. Gerek ulusal ve gerekse uluslararası standart kuruluşlarının (TSE, BS, ASTM, CSA gibi) önerdiği standartlar incelendiğinde, her ne kadar sınır değerlerde farklılıklar olsa da bu standartların tamamında kayacın kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belli limit değerlere sahip olması gerekliliği vurgulanmaktadır.

Kırmataş konusunda yapılan çalışmalara genel olarak bakıldığında, kayaçların agrega olabirlikleri konusunda yapılan çalışmaların önemli bir yer tuttuğunu görmek mümkündür. Agregası, doğal (dere yatağı alüvyonu) veya yapay (kırmataş) olarak elde edilen, hazır beton sektöründe beton agregası olarak kullanımı ile birlikte, demiryollarında balast malzemesi, karayolu inşaat sektöründe ise üst yapı malzemesi olarak da kullanılan malzemedir. Betonun imalatında kullanılan ve beton hacminin yaklaşık % 60-80'ini oluşturan agrega, mineral kökenli ve taneli doğal malzemedir. Beton literatüründe (TSE 706 EN 126020, 2009) kabaca 4.75 mm'den küçük ince taneli malzemeye ince agrega, 4.75 mm ile en büyük boyut ($d_{max} = 40$ mm) arasında olan agregaya ise iri agrega denir.

Literatürde kayaçların kırmataş olarak kullanımı konusunda yapılmış olan bilimsel çalışmalar, istenilen dayanıma sahip kaliteli bir beton üretimi ile sağlıklı ve ekonomik karayolu ve demiryolu inşasının ana ayağını, standartlara uygun özelliklere sahip agrega kullanımının oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, şehirleşmenin var olduğu alanlar ve yakın çevresinde yüzeyleme veren kayaçların kırmataş olarak kullanılıp kullanılmayacağı konusunda çalışmaların yapılması, yeni ve kaliteli agrega kaynaklarının kullanıma kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalara bakıldığında, kayaçların beton agregası (Gürcü, 1998; Kocal, 1999; Zarif vd., 2003; Zarif ve Tuğrul, 2003; Korkanç ve Tuğrul, 2004; Doğan, 2006; Çokmak, 2007; Öz, 2007; Gürocak, 2016, Güçlüer vd., 2017; Coşkun ve Zorlu, 2018), balast (Oğul vd., 2012; Koralay vd., 2014; Apaydın ve Yılmaz, 2019) ve yol üst yapı malzemesi (Kırca, 2001; Tayfur vd., 2003; Kılıç ve Keskin, 2003; Akpınar vd., 2004; Temiz vd., 2006; Karacan, 2006; Davraz vd., 2007, Turabi ve Okucu, 2007; Konak vd., 2009; Akbulut vd., 2009; Yağız, 2010) olarak kullanılabilirliği konusunda bir çok çalışmanın yapıldığını görmek mümkündür. Kayaçların kırmataş olarak kullanılabilirliği konusunda yapılacak olan yeni çalışmalar ile farklı alanlarda yüzeyleme veren kayaçların kırmataş sektörüne kazandırılması önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Elazığ İli merkezi ve yakın çevresinde yüzeyleme veren, litolojik olarak kırmataş olabilme potansiyeline sahip olduğu düşünülen, Keban Metamorfittleri'ne ait rekristalize kireçtaşları, Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolar, Elazığ Magmatitleri'ne ait granitler ve andezitler, Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları, Seske Formasyonu'na ait kireçtaşları, Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların kırmataş olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiş, elde edilen veriler standartlarda önerilen limit değerler ile karşılaştırılarak, incelenen kayaçların beton agregası, balast ve yol üst yapı malzemesi olarak kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

2. Bölgenin Jeolojik Özellikleri

Ketin (1966) Türkiye arazisini tektonik açıdan, kuzeyden güneye doğru Pontidler, Anadolidler, Toridler ve Kenar kıvrım kuşağı olmak üzere dört tektonik birliğe ayırmıştır. Bu çalışmanın konusu olan bölge, Torid tektonik birliğinin doğu

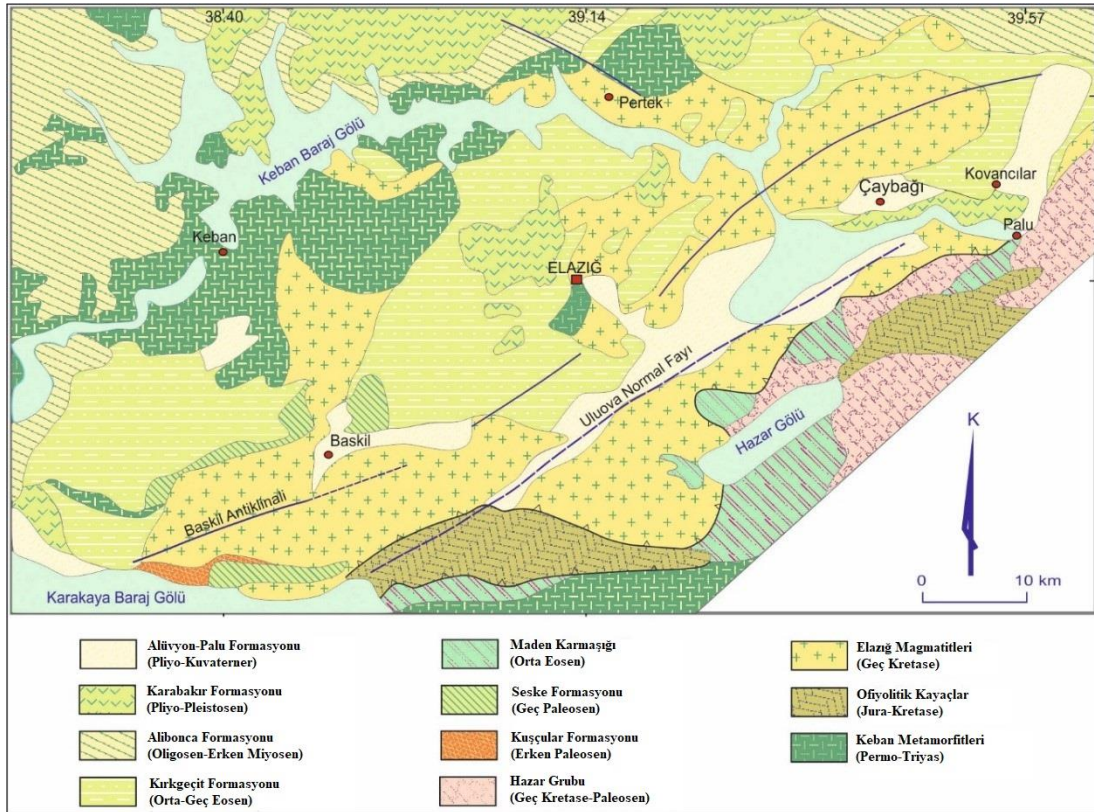
kesimini oluşturan Doğu Toridler'de bulunmaktadır. Bölgede Doğu Anadolu Fay Sistemi gibi dünyanın önemli kıta içi aktif transform faylarından birinin bulunması, Keban, Maden ve Guleman'daki metalik maden yatakları ile Keban ve Karakaya barajları gibi büyük mühendislik yapılarının bulunması, bölgeyi jeolojik açıdan ilginç bir hale getirmiş ve bölgede farklı amaçlara yönelik olarak çok sayıda jeolojik çalışma yapılmıştır (Sungurlu, 1979; Şengör 1979; Perinçek ve Özkaya, 1981; Yazgan, 1984; Yılmaz vd., 1993; Yiğitbaş ve Yılmaz, 1996; Altunbey ve Çelik, 2005). Bu çalışmalar ile bölgenin jeolojik özellikleri, jeotektonik evrimi ve bölgedeki ekonomik değere sahip cevherleşmelerin özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Elazığ ve yakın çevresinde yüzeyleme veren formasyonları yaşlıdan gence doğru şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. Keban Metamorfileri (Geç Devoniyen-Jura)
2. Kömürhan Ofiyolitleri (Geç Kretase)
3. Elazığ Magmatitleri (Geç Kretase)
4. Harami Formasyonu (Geç Kampaniyen-Maastrichtiyen)

5. Hazar Grubu (Geç Kretase-Paleosen)
6. Kuşçular Formasyonu (Erken Paleosen)
7. Seske Formasyonu (Paleosen-Erken Eosen)
8. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)
9. Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen)
10. Alibonca Formasyonu (Oligosen-Erken Miyosen)
11. Karabakır Formasyonu (Pliyo-Pleistosen)
12. Alüvyonlar (Kuvaterner)

Elazığ çevresinde temel kayayı, Geç Devoniyen-Jura yaşlı Keban Metamorfileri oluşturmaktadır. Bu kayalar en yaygın yüzeylemelerini Elazığ'ın kuzey ve kuzeybatısındaki alanlarda verirler (Şekil 1). Elazığ il merkezine en yakın yüzeyleme ise Meryem Dağı ve civarındaki yüzeylemelerdir. Kaya (2014), Keban Metamorfileri'nin mermer, fillit-klorit-serizitist, metakonglomera-metakumtaşı, kristalize kireçtaşı-kalkışit, masif dolomitik-kristalize kireçtaşı ve metaklastik (metaşeyl, kalkfillit, kalkışit) kayalardan meydana geldiğini ve bu metamorfik kayalar topluluğunun yaşını fosil bulgularına dayanarak Geç Devoniyen-Jura olarak belirtmektedir.



Şekil 1. Elazığ ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Aksoy vd., 2005)

Kömürhan Ofiyolitleri, ilk defa Yazgan (1981) tarafından adlandırılmış ve sonraki çalışmalarda bu ofiyolitik kayalar için bu isim kullanılmıştır. Yazgan (1983), genel olarak allokon özellikteki

bu ofiyolitik kayaların Guleman Ofiyoliti'nin batı; İspendere Ofiyoliti'nin ise doğu uzantısı olduğunu ifade etmektedir. Rızaoğlu (2006), özellikle Elazığ'ın batısında yüzeyleme veren

(Şekil 1) Kömürhan Ofiyolitleri'nin tabandan tavana doğru tektonitler, kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi ve volkanitlerden oluştuğunu belirtmektedir.

Geç Kretase yaşlı Elazığ Magmatitleri, GD Anadolu kuşağı boyunca yaygın olarak yüzeyler ve Yüksekova Karmaşığı olarak da bilinir (Perinçek, 1979a). Kürüm ve Tanyıldızı, (2017), bu magmatik kayaçların Elazığ çevresinde gabro, diyorit ve kuvarslı diyorit bileşiminde mafik plütonik kayaçlar ve bunların eşlenikleri olan diyabaz, mikrodiyorit, kuvarslı mikrodiyorit, diyorit porfir gibi yarı derinlik kayaçları ile temsil edildiğini belirtmektedirler.

Geç Kretase yaşlı Harami Formasyonu, kırmızı renkli konglomeralar ile başlayıp kumtaşı ve kristalin kireçtaşlarıyla devam eden bir istif sunmaktadır (Aksoy, 1993; Özgen vd., 1993). Elazığ çevresinde genellikle olistolitik kireçtaşları şeklinde ve özellikle Harput ve çevresinde yaygın bir şekilde gözlenmektedir. Ancak, formasyon çok küçük alanlarda yüzeyleme verdiği için Şekil 1'de verilen jeoloji haritasında bu formasyona ait yüzeylemelerin sınırları görülememektedir.

Geç Kretase-Paleosen yaşlı Hazar Grubu, Elazığ ilinin güneydoğusunda Hazar Gölü çevresi ve Palu ilçesine doğru uzanan alanlarda geniş yüzeylemeler vermektedir (Şekil 1). Aktaş ve Robertson (1984) grubu, alttan üste doğru konglomeralarla temsil edilen Ceffan Formasyonu, kumtaşı, şeyl ve marn araldanmasından oluşan Simaki Formasyonu ve en üstte de yanallı devamlılığı olmayan ve kalın tabakalanmalı, gri renkli kireçtaşları ile temsil edilen Gehroz Formasyonu olmak üzere üç formasyona ayırmışlardır. Hazar Grubu'na ait kayaçlardan sadece Gehroz Formasyonu'na ait kireçtaşlarının kırmataş olabilme potansiyeli vardır. Ancak, yüzeylemelerin yerleşim alanlarına ve yol güzergahlarına çok uzak olması, ayrıca yüksek rakımlarda bulunması nedeniyle, Gehroz Formasyonu'na ait kireçtaşları bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

Erken Paleosen yaşlı Kuşçular Formasyonu Keban ve Baskil arasında, dar bir bölgede yüzeyleme verir ve kuzeydeki alanlardaki kayaçlardan türemiş kırmızı konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve evaporit litolojisindeki alüvyon yelpazesi fasiyesindedir (İbiliöglü, 2008). Formasyona ait kayaçların litolojik olarak kırmataş olabilme potansiyelinin bulunmaması nedeniyle, Kuşçular Formasyonu'na ait

konglomera litolojisindeki kayaçlar bu çalışma kapsamında incelenmemiştir.

Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı Seske Formasyonu, Elazığ civarında Baskil ilçesi çevresinde ve Kömürhan Köprüsü kuzeyinde yüzeylenmektedir (Şekil 1). Genellikle sıg denizel kireçtaşlarıyla temsil edilen formasyona ait kireçtaşlarının kırmataş olabilirliliğini belirlemek amacıyla Kömürhan-Kuşarayı (Baskil) yolu kireçtaşlarından örnekleme yapılmıştır.

Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, en iyi yüzeylemelerinin görüldüğü Siirt bölgesinde tabanda konglomeratik bir istiften başlayan ve tabakalı kireçtaşı, şeyl, kumtaşı, siltaşı, kumlu kireçtaşı marn ve bunların araldanmaları ile devam eden bir birim özelliği göstermektedir. Yazgan (1981), birim içerisinde tanımladığı ve daha sonra Perinçek (1979b) ile Erdoğan (1982) tarafından da "üst volkanik birim" olarak adlandırılan Karadere Formasyonu'nun tuf, lapillitaşı, aglomera, alüminyumca zengin bazaltlar, dasit, mikrogranit, siyenit, diyabaz, mikrogabro gibi piroklastik-volkanik ve yarı derinlik kayaçlarından oluştuğunu ifade etmiştir. (Şekil 1).

Orta-Geç Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, Elazığ ve yakın çevresinde oldukça yaygın yüzeylemeler verir (Şekil 1). Formasyon, tabandan tavana doğru konglomera, kumlu killi kireçtaşı, kumtaşı, şeyl, marn ve kireçtaşı litolojisindedir (İbiliöglü, 2008).

Elazığ bölgesinde küçük yüzeylemeler halinde görülen Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Alibonca Formasyonu, tabanda Kırkgeçit Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelir. Elazığ çevresinde farklı kalınlıklarda konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve killi kireçtaşı litolojisindedir. Kireçtaşları sarımsı bej-kirli beyaz renkli, orta-kalın tabakalanmalı olup, tabaka düzlemleri iyi gelişmemiştir. Formasyonun litolojik özellikleri kırmataş olarak kullanılmaya uygun görülmediği için, bu formasyondan örnekleme yapılmamıştır.

Pliyo-Pleistosen yaşlı Karabakır Formasyonu, Elazığ çevresinde esas olarak bazaltik bileşimli lav akıntıları ile yer yer volkanik breş ve tuf gibi piroklastik kayaçlardan oluşan bir litoloji sunar (Kürüm ve Tanyıldızı, 2017). Bölgede farklı çıkış merkezlerine bağlı olarak yerel farklılıklar sunan volkanitlerin en geniş yayılımı Cip Köyü ve kuzeye doğru olan yayılımdır ve bazaltik bileşimli bu kayaçlar alkanin özellik gösterirler (Di Giuseppe vd., 2018) (Şekil 1).

Bölgenin en genç birimi akarsu yatakları ile ovalık kesimlerde depolanan, bölgedeki daha yaşlı kayalardan türemiş, blok boyutundan kil boyutuna kadar değişen boyutlarda ve çimentolanmamış malzemenin oluşan güncel alüvyonlardır (Şekil 1). Bu alüvyonlara ait bloklar farklı kökenlere sahip olduklarından ve bu yüzden kırmataş olarak kullanımları uygun olmadığından bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

3. Deneysel Çalışmalar

Kaya malzemesinin kırmataş olarak kullanılabilirliği mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özelliklerinin TS, BS, ASTM gibi farklı standartlarda belirtilen limit değerlere uygunluğu ile mümkündür. Bu nedenle, kırmataş olarak kullanılacak kaya malzemesinin bu özelliklerini belirlenmesi ve elde edilen sonuçların standartlarda verilen sınır değerler ile karşılaştırılması gereklidir.

Bölgenin jeolojik özelliklerinin verildiği bölümde de görüleceği gibi, Elazığ ve yakın civarında farklı yaş ve litolojik özelliklere sahip 12

formasyon yüzeyleme vermektedir. Bu formasyonlardan bazıları litolojik olarak kırmataş olmaya uygun olmadığından, bazı formasyonlar da yerleşim ve yol güzergahlarına çok uzak alanlarda yüzeyleme verdiğinden dolayı bu formasyonlardan örnekleme yapılmıştır. Yapılan ön değerlendirme sonrasında Keban Metamorfikleri'ne ait kristalize kireçtaşları (1), Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolar (2), Elazığ Magmatitleri'ne ait granitler (3) ve andezitler (4), Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları (5), Seske Formasyonu'na ait kireçtaşları (6), Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar (7), Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları (8) ve Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların (9) kırmataş olarak kullanılabilirlikleri sonucuna varılmıştır. Bu formasyonlardan derlenen blok örneklerden hazırlanan agrega örneklerinin fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. TS 706 EN 12620 (2009) standardında yapılması önerilen deneyler ve bu deneylere ait standartlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapılan deneyler ve ilgili standartlar

DENEYLER	STANDARTLAR
Kuru Özgöl Ağırlık	
Doygun Özgöl Ağırlık (yüzey kuru)	TS EN 1097-6 (2013)
Görünür Özgöl Ağırlık	
Su emme	
İnce madde oranı	TS EN 933-10 (2010)
Çok ince madde oranı	
MgSO ₄ çözültisinde don kaybı	TS EN 1367-2 (2010)
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 (2016)
Mikro-deval aşınma dayanımı	TS EN 1097-1 (2011)
Alkali-Silika reaktivitesi	CSA A23.2-25A (2014)
Şekil endeksi	TS EN 933-4 (2009)
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 (2012)
Gevşek yığın yoğunluğu	TS EN 1097-3 (1999)
Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9 (2014)
Ana oksit yüzdeleri	
Asitte çözünebilir sülfat miktarı	TS EN 1744-1 (2013)
Suda çözünebilir klorür miktarı	
Toplam kükürt miktarı	
Mineralojik ve petrografik analiz	TS 10088 EN 932-3 (2006)

Tablo 1'de verilen standartlara göre gerçekleştirilen fiziksel, mekanik ve kimyasal deneylere ait sonuçlar Tablo 2 ve 3'de, petrografik incelemelere ait değerlendirmeler ise Tablo 4'de sunulmuştur.

İncelenen kayaların mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla, F.Ü. Jeoloji Mühendisliği İnce Kesit Laboratuvarı'nda ince

kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitlerde TS 10088 EN 932-3 (2006) standardına uygun olarak mikroskopik çalışmalar yapılmış ve sedimenter kayalar Dunham (1962) sınıflamasına, magmatik kayalar ise Streckeisen (1976) tarafından önerilen QAPF diyagramı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Yapılan petrografik çalışmalara ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2. Agrega örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait ortalama değerler

DENEYLER	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kuru Özgül Ağırlık	2.61	2.89	2.49	2.75	2.67	2.66	2.82	2.64	2.66
Yüzey Kuru Doygun Özgül Ağırlık	2.63	2.90	2.55	2.78	2.69	2.68	2.84	2.66	2.68
Görünür Özgül Ağırlık	2.67	2.93	2.63	2.84	2.71	2.73	2.89	2.71	2.72
Su Emme Oranı, (%)	0.88	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
Yıkabilen İnce Madde oranı (%)	0.92	0.41	1.28	0.59	0.45	0.14	0.31	0.96	1.52
İnce Madde oranı (%) (0.5 mm altı)	0.52	1.18	3.78	1.04	1.66	0.95	1.02	2.13	2.64
Yassılık Endeksi (%)	2	19	7	5	11	7	5	2	1
Şekil Endeksi (%)	11	12	37	17	6	10	8	6	9
Gevşek Yığın Yoğunluğu (kg/dm ³)	1.63	1.74	1.55	1.73	1.68	1.67	1.79	1.65	1.51
Metilen Mavisini (MB)	0.50	1.25	3.10	1.60	0.75	0.55	0.85	0.50	2.50
Los Angeles Parçalanma Dayanımı (LA)	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro-Deval Aşınma dayanımı (MDE)	27	15	20	15	17	10	11	18	13
MgSO ₄ Çözeltilisinde Don Kaybı (%)	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Alkali-Silika Reaktivitesi (14 günlük genleşme, %)	0.040	0.134	0.073	0.142	0.012	0.015	0.135	0.014	0.025

Tablo 3. Agrega örneklerinin kimyasal özellikleri

ANA OKSİT (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	1.50	37.10	61.6	41.70	2.70	0.90	43.10	0.50	47.20
CaO	5.50	16.10	2.6	15.20	53.10	54.80	10.20	56.20	9.00
Al ₂ O ₃	0.20	14.50	18.1	14.70	1.20	0.40	17.30	0.20	19.60
Fe ₂ O ₃	0.20	13.00	4.8	9.80	1.00	0.40	10.20	0.10	8.70
MgO	0.80	6.30	1.1	3.90	0.70	0.50	8.00	0.30	4.20
Na ₂ O	0.20	2.00	5.4	3.00	0.30	0.20	2.60	0.20	4.70
P ₂ O ₅	<0.10	0.40	0.1	0.10	<0.10	<0.10	0.20	<0.10	0.80
K ₂ O	<0.10	0.50	3.4	0.60	0.10	<0.10	1.00	<0.10	2.10
TiO ₂	<0.10	1.10	0.6	0.80	0.10	<0.10	0.90	<0.10	1.70
MnO	<0.10	0.30	0.1	0.20	<0.10	<0.10	0.20	<0.10	0.20
Ateş Kaybı	42.05	8.30	1.85	9.65	40.70	42.50	6.25	42.40	1.50
Suda Çözünebilir Klorür (%)	0.0033	0.0073	0.0041	0.0031	0.0032	0.0012	0.0011	0.0030	0.0036
Asitte Çözünebilir Sülfat (%)	0.09	0.07	0.14	0.07	0.07	0.27	0.06	0.08	0.05
Toplam Kükürt (%)	0.11	0.10	0.14	0.08	0.08	0.12	0.03	0.09	0.05

Keban Metamorfizmaları: Kayaç esas olarak öz ve yarı öz şekilli açık bej-kirli beyaz renkli kalsit, klorit, serizit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Klorit ve serizitler lepidoblastik dokudadır ve kink-bant yapısı göstermektedir. Kuvars kristallerinde ise dalgalı sönmeler mevcuttur. Kayaç re-kristalize kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

Kömürhan Ofiyolitleri: Genel olarak %90'dan fazla oranda Labrador türü plajiyokalslardan oluşan kayaçta, labradorlar öz-yarı öz şekilli ortairi taneli, hem albit hem de polisentetik ikizlenmeleri gösterirler. Metamorfizma etisiyle gelişmiş deformasyonlar ile kısmen serizitleşme ve killeşme belirlenmiştir. İri taneli poikilitik doku gösteren hornblend mineralleri yer yer aktinolit-tremolite dönüşmüştür. Kayaç ikincil mineral olarak kalsit, silis ve klorit içermektedir. Kayaç gabro olarak tanımlanmıştır.

Elazığ Magmatitleri: Bu magmatit kayaçlardan derlenen ilk örnek; %50-60 oranında plajiyoklas, %20-30 oranında kuvars, %30-40 oranında potasyum feldspat, ayrıca az miktarlarda amfibolit, apatit ve opak minerallerden

oluşmaktadır. Plajiyoklaslar Albit ikizlenmeleri göstermektedir. Kuvarlar faklı boyutlardadır ve dalgalı sönmeler gösterirler. Amfibollerde kloritleşme görülmektedir. Kayaç granit olarak tanımlanmıştır.

Aynı magmatitlerden derlenen diğer örnekte yapılan ince kesit çalışmalarında, kayacın genel olarak %90'dan fazla oranda plajiyoklas, az oranlarda ise hornblend, biyotit ve camı malzemenin oluştuğu ve porfirik dokulu olduğu belirlenmiştir. Ayrışma tipi olarak kloritleşme gözlenmektedir. Kayaç andezit olarak tanımlanmıştır.

Harami Formasyonu: Kayaç esas olarak spartik çimentolu yarı öz şekilli kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Az olarak ekstraklastlar da görülmektedir. Taneler arası boşlukları spartik çimento doldurmuş durumdadır. Kayaç rudist ve mercan parçacıkları içermektedir. Kayaç tanetaşı (kireçtaşı) olarak tanımlanmıştır.

Seske Formasyonu: Esas olarak yarı öz şekilli birincil kalsit ve ikincil kalsit kristallerinden

oluşan kayaçta çimento büyük oranda karbonat çumuru. Kayaç bol miktarda fosil de içermektedir. Kayaç istiftaşı (kireçtaşı) olarak tanımlanmıştır.

Maden Karmaşığı: Kayaç esas olarak (>%90) camısı malzeme ve plajiyoklas mikrolitlerinden oluşan hamur içerisindeki labrador ve ojit fenokristallerinden oluşmaktadır. Vitroporfirik ve amigdoidal dokulu kayacın amigdalleri klorit, kalsit ve zeolit gibi ikincil mineraller tarafından doldurulmuştur. Kayaç bazalt olarak tanımlanmıştır.

Kırkeçit Formasyonu: Esas olarak kalsit kristallerinin oluşturduğu kayaçta, bu kalsit kristalleri spartit çimento ile birbirine bağlanmıştır. Kayaç içerisinde iri kuvars taneleri ve bol miktarda fosil, az olarak da kayaç parçacıkları gözlenmektedir. Kayaç bağlamtaşı (kireçtaşı) olarak tanımlanmıştır.

Karabakır Formasyonu: Kayaç %90-94 oranında plajiyoklaslardan az oranlarda ise olivin, piroksen ve amfibolden oluşmaktadır. Ayrıca alterasyon sonucu oluşan iddingsit ve karbonat mineralleri ile gaz boşluklarını dolduran kalsit ve epidot gibi ikincil minerallere de görülmektedir. Plajiyoklaslar genellikle uzamış küçük prizmatik latalar ve mikrolitler halindedir. Olivinler fenokristal boyutundan mikrolit boyutuna kadar değişen kristaller halinde ve genelde öz şekilli veya yarı öz şekilli olarak bulunurlar ve iddingsitlemiştir. Piroksenler ise genellikle fenokristaller halindedir ve hamur içerisinde mikrolitler halinde olanları da mevcuttur. Kayaç bazalt olarak tanımlanmıştır.

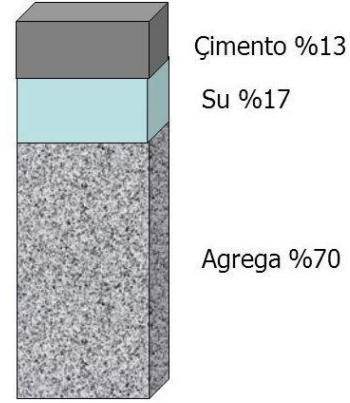
4. Laboratuvar Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elazığ ve yakın çevresinde kırmataş olabilme potansiyeline sahip kayaçlardan derlenen bloklardan hazırlanan agrega örneklerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları değerlendirilerek, bu kayaçların betonda ve asfalt karışımında agrega, demiryollarında balast ve karayollarında alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1. Kayaçların Beton Agregası Olabilirliği

Beton karışımının yaklaşık olarak %70'ini oluşturan agrega (Şekil 2), hazır beton üretiminde ekonomi ve dayanım yönünden önemli bir işleve sahiptir. Nitekim, agreganın maliyeti çimentoya nazaran daha düşük olduğu için, beton üretiminde kullanılan ve maliyeti düşük olan bir yapı malzemesi olarak kabul görmektedir. Ancak,

kayaçların agrega olarak değerlendirilebilmeleri için belli özelliklere sahip olması gereklidir.



Şekil 2. Beton bileşenleri ve yaklaşık hacimce yüzdeleri

Postacıoğlu (1987), kırmataşlardan elde edilen agregaların yüzeylerinin dere malzemesine nazaran daha pürüzlü olması sebebiyle çimento hamuru ile agrega arasında daha sağlıklı bir bağ ortaya çıktığını, pürüzlü kısımların büyük olması, kırmataş agrega ile çimento hamurunun temas yüzeyinin de o kadar geniş olmasını sağladığını belirtmektedir. Araştırmacı, bu sebepten ötürü kırmataş agrega ile üretilen betonlarda dayanımların arttığını ve agrega danelerinin nispeten kübik veya küre şekline yakın olmasının, daha kaliteli bir beton üretimi için büyük önem arz ettiğini ifade etmektedir.

Cilason (1992), beton üretiminde agrega kullanımının, sertleşen betonun hacimsel değişikliklerini azalttığını, çevresel etkilere karşı betonun dayanımını artırdığını ve üretilen betonda istenilen dayanımın elde edilmesinde öncü bir görev üstlendiğini belirtmektedir.

Giaccio vd. (1992) ise granit, bazalt ve kireçtaşı agregası kullanılarak elde edilen betonlar üzerinde basınç testi, elastisite modülü, çekme dayanımı ve eğilme testleri yaparak betonun iç bağındaki çözümleri ve süreksizlik sınırlarını inceledikleri araştırmalarında, takip betonun iç bağında meydana gelen bozulmaların nedeninin, agreganın sıkıştırılmasına, temizliğine, karışımına ve agrega türüne göre farklılık gösterdiğini, süreksizlik sınırının ise agreganın cinsine bağlı olarak bir farklılık göstermediğini belirtmişlerdir. Bu araştırmada ayrıca, daha sert kayaçlardan elde edilen agregaların kullanıldığı betonun dayanım değerlerinin de yüksek çıktığı ifade edilmektedir.

Alexander ve Milne (1995), dört farklı agrega tipi kullanılarak elde edilen beton numunelerinde, agrega ile çimento geçiş bölgelerinin, agreganın doğal ve mineral yapısına bağlı olarak değişiklikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Tasong vd. (1998), farklı mineral yapısına sahip agregalar arasında ciddi farklılıklar tespit edildiğini ifade ederek, kayaç yapısının ve kimyasal reaksiyonların betonun dayanımında önemli bir parametre olarak ele alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yeğinobalı (1999), yüzeyi pürüzlü ve nispeten köşeli agregaların yuvarlak daneli agregalara göre çimento karışımı ile daha sağlıklı bir bağ oluşturabildiğini, agrega yüzeyinin gözenekli olması halinde ise çimento karışımının bu bağ daha da sağlamlaştırdığını, agreganın mineralojik yapısının da oluşacak bu aderansa etkisinin büyük olduğunu belirtmektedir.

Şimşek (2003), kaliteli bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken koşulları şu şekilde vermektedir;

- Agregalar sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı ve dağılmamalıdır.
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.
- Danelerin biçimi, dokusu iyi olmalıdır.
- Danelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalıdır.
- Agrega içinde betona zarar verecek maddeler bulunmamalıdır.

Baska (2006) ise yapı tasarımı yapılırken inşa esnasında kullanılacak betonun basınç değerinin önemli bir tasarım parametresi olduğunu ve betonarme elemanlarda betonun basınç dayanımının o elemanın taşıma gücünü doğrudan etkilediğini belirtmektedir.

Agregaların ekonomik ve dayanımlı olmaları, beton yapımında kullanılabilmeleri için en önemli etkenler olarak sıralanmaktadır. Agregası, betonun dayanımı ile beraber, davranışını da direkt olarak etkilemektedir. Betonun kısa veya uzun süreli performansında agrega ile çimento harcı arasındaki aderansın da etkisi yok sayılamayacak kadar önemlidir. Agregası granülometrisinin uygun olması halinde, karışım hazırlanırken daha az çimentoya ihtiyaç duyulacağı bilinmektedir. Diğer yandan, beton üretiminde kullanılan agreganın dane şekli, mineral yapısı, dane dağılımı, aşınma dayanımı, don dayanımı, özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı, su emmesi, boşluk oranı, sertliği ve

kimyasal etkilere karşı dayanımı üretilecek betonun dayanımını direkt olarak etkileyen önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır (Erdoğan, 1995).

Kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliği, bu kayaçlardan elde edilen agrega örneklerinin bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini belli limit değerlere uygunluğu ile mümkündür. Kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliği Tablo 4'te değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmelere göre, Keban Metamorfileri'ne ait rekristalize kireçtaşlarının (1) fiziksel ve kimyasal özellikleri beton agregası olarak kullanılabilmeye uygundur. Ancak, bu kayaçların Los Angeles parçalanma dayanımı değeri limitler içerisinde olmasına rağmen az da olsa düşüktür (LA₂₄). Ayrıca, tüm birimler arasında Mikro-Deval aşınma dayanımı en az olan birim bu re-kristalize kireçtaşlarıdır ve Mikro-Deval aşınma kaybı değeri TS EN 1097-1 (2011) standardında belirlenen MDE₂₅ sınır değerinin üstündedir. Bu nedenle aşınmaya maruz kalabilecek alanlarda kullanılmasından kaçınılması gerekmektedir.

Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabroların (2) MgSO₄ çözeltisinde don kaybı değeri %19.92 olarak belirlenmiştir. Bu değer TS EN 1367-2 (2010)'da verilen limit değerinin az da olsa üstündedir. Ayrıca, birime ait agregaların yassılık endeksi değeri de %19'dur ve TS EN 933-3 (2012)'de verilen üst sınır değere çok yakındır. Birimin 14 günlük Alkali-Silika reaktivitesi genleşme değeri (% 0.134) limit değerlerin altında olmasına karşın, 28 günlük genleşme değeri % 0.314 olarak belirlenmiştir. Bu genleşme değeri, Alkali-Silika reaktivitesinin meydana gelmesi açısından oldukça riskli bir duruma işaret etmektedir. Bu veriler ışığında, Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabroların beton üretiminde kullanılmasından kaçınılması gerekmektedir.

Elazığ Magmatitleri'ne ait granitlere (3) ait sonuçlar bu kayaçların beton üretiminde kesinlikle kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Nitekim, granitlerin Metilen Mavisi değeri 3.10 olarak belirlenmiş ve sınır değer olarak verilen 2.00 değerinden çok yüksektir. Ayrıca, Los Angeles parçalanma dayanımı LA₅₁ ve MgSO₄ çözeltisinde don kaybı ise % 45.17 olarak belirlenmiştir. Granitlere ait şekil endeksi değeri %37 dir ve tüm birimler içerisinde en yüksek şekil endeksi değeridir. Mikro-Deval aşınma dayanımı da MDE₂₀ olarak belirlenmiş ve üst sınır değere çok yakındır. Sonuç olarak, bu granitlerden elde

edilecek agregaların beton imalatında kullanılması mümkün değildir.

Seske Formasyonu'na ait kireçtaşlarına (6) ait sonuçlara göre, bu kireçtaşlarının asitte çözünebilen sülfat oranı % 0.27 olarak belirlenmiştir. Bu değer TS EN 1744-1 (2013) standardında önerilen % 0.20 üst limit değerinden yüksektir. Sülfat, çimentonun hidrate bileşenleri olan Kalsiyum Hidroksit $Ca(OH)_2$ ve Trikalsiyum Alüminat (C_3A) ile tepkimeye girerek etrenjit ve alçı taşı oluşumuna neden olurlar. Bu reaksiyon ürünleri betonda genleşmeye, dolayısıyla

çatlaklara ve dağılmaya neden olur. Meydana gelen bu olaylar sonucunda agrega-çimento aderansının etkilenmesiyle betonun dayanımı önemli ölçüde azalır. Seske Formasyonu'na ait kireçtaşlarında sülfat miktarının yüksekliği, bu kireçtaşlarının içerdiği evaporitik seviyelerden kaynaklanabilir. Bu nedenle, bu kireçtaşlarının agrega olarak kullanımında dikkatli davranmak gerekir. Agreganın içerdiği sülfat oranının değişiklik gösterebileceği unutulmamalı ve belli aralıklarla sülfat tayini yapılarak bu değerlerin aşırı yükselmesi durumunda bu kireçtaşları agrega olarak kullanılmamalıdır.

Tablo 4. Agregta örneklerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve sınır değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Yüzey Kuru Doygun Özgül Ağırlık	TS EN 1097-6 ≥ 2.55	2.63	2.90	2.55	2.78	2.69	2.68	2.84	2.66	2.68
Su Emme oranı, (%)	TS EN 1097-6 $< \%3.0$	0.88	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
Çok İnce Madde oranı (%) (0.063 mm altı)	TS EN 933-10 $< \%5$	0.92	0.41	1.28	0.59	0.45	0.14	0.31	0.96	1.52
İnce Madde oranı (%) (0.5 mm altı)	TS EN 933-10 $< \%5$	0.52	1.18	3.78	1.04	1.66	0.95	1.02	2.13	2.64
Yassılık Endeksi (%)	TS EN 933-3 $\leq \%20$	2	19	7	5	11	7	5	2	1
Şekil Endeksi (%)	TS EN 933-4 $\leq \%55$	11	12	37	17	6	10	8	6	9
Gevşek Yığın Yoğunluğu (kg/dm^3)	TS EN 1097-3 1.5-1.9	1.63	1.74	1.55	1.73	1.68	1.67	1.79	1.65	1.51
Metilen Mavisi	TS EN 933-9 (kireçtaş ≤ 1.5) (magmatik ≤ 2.0)	0.50	1.25	3.10	1.60	0.75	0.55	0.85	0.50	2.50
Los Angeles Parçalanma Dayanımı (LA)	TS EN 1097-2/D1 LA ₃₀ (≤ 30)	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro-Deval Aşınma dayanımı (MDE)	TS EN 1097-1 MDE ₂₅ (≤ 25)	27	15	20	15	17	10	11	18	13
MgSO ₄ Çözültisinde Don Kaybı (%)	TS EN 1367-2 $\leq \%18$	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Alkali-Silika Reaktivitesi (%)	CSA A23.2-25A $< \%0.15$ (14 günlük)	0.040	0.134	0.073	0.142	0.012	0.015	0.135	0.014	0.025
Suda Çözünebilen Klorür	TS EN 1744-1 $< \%0.04$	0.0033	0.0073	0.0041	0.0031	0.0032	0.0012	0.0011	0.0030	0.0036
Asitte Çözünebilen Sülfat	TS EN 1744-1 $< \%0.2$	0.09	0.07	0.14	0.07	0.07	0.27	0.06	0.08	0.05
Toplam Kükürt	TS EN 1744-1 $< \%1.0$	0.11	0.10	0.14	0.08	0.08	0.12	0.03	0.09	0.05

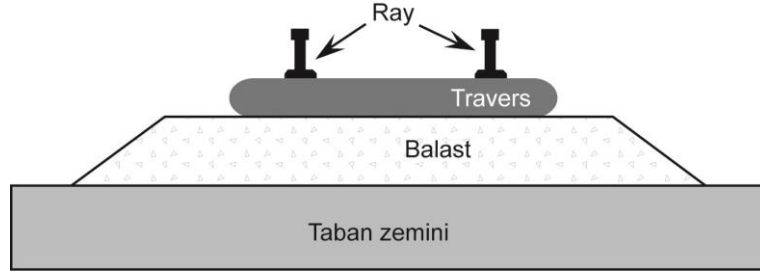
Not: Gri alanlardaki değerler standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Elazığ Bölgesi'nde yüzeyleyen kayalardan beton agregası olarak kullanılmaya uygun olmadığı belirlenen son birim ise Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlardır (9). Bu bazaltlar halen yoğun bir şekilde hazır beton üretiminde kullanılmasına karşın, metilen mavisi deneyi sonucunda bazaltların (MB) değeri 2.50 olarak belirlenmiştir. Ancak, TS EN 933-9 (2014) standardında magmatik kökenli kayalarda bu değer en fazla 2.00 olması gerektiği belirtilmektedir. MB

değerinin yüksek olması, agregada çok ince malzeme miktarının fazla olduğu, yani agreganın kirli olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, bu bazaltların MgSO₄ çözeltisinde don kaybı değeri ise %16.27'dir ve bu değer TS EN 1367-2 (2010)'da verilen limit değer olan %18 değerine çok yakındır. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlarda Metilen mavisi ve MgSO₄ çözeltisinde don kaybı değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni, bu bazaltların yoğun miktarda gaz boşlukları

bulundurması ve bu boşlukların ikincil mineraller içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu ikincil mineraller agreganın Metilen mavisi (MB) değerinde artışa, boşluklar ise kayacın dona karşı dayanımında azalmaya neden olmaktadır. Bu sebeple, bazaltların agrega olarak kullanımında dikkatli olunması, kırıcıdan geçen agreganın çok iyi yıkanması ve agrega üretiminde bu formasyona ait boşluksuz bazaltların seçimine özen gösterilmesi gerekmektedir.

Elazığ bölgesinde yüzeyleme veren Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitler (4), Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları (5), Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar (7) ve Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının (8) tüm fiziksel ve kimyasal özellikleri, bu birimlerden elde edilecek olan agreganın beton üretiminde kullanılması açısından herhangi bir sakınca olmadığını göstermektedir.



Şekil 3. Balastlı demiryolu en kesiti (Yılmaz, 2015)

Huang (2010)'a göre, genel olarak 31.50 mm ile 63.00 mm çapındaki köşeli olan balastın elde edildiği kayacın türü, şekli, dona, aşınmaya ve parçalanmaya karşı dayanımı yukarıda verilen amaçları sağlayabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Selig ve Waters (1994), karakteristik olarak, köşeli, kırılmış, uniform derecelenmiş, toz ve kirden arındırılmış ve çimentolanma davranışı göstermeyen sert kayaların iyi balast malzemesi olabileceğini belirterek, kayacın balast olarak kullanılabilirliği ve ekonomik oluşunun balast malzemesinin seçiminde dikkate alınan başlıca faktörler olduğunu ifade etmektedirler. Araştırmacılar, balastın en önemli işlevlerini şu şekilde sıralamaktadırlar;

- Yolu istenen konumda tutarak transverslere uygulanan düşey (kaldırma kuvveti dahil), yan ve boyuna kuvvetlere karşı koymak,
- Yola esneklik vermek ve enerji emilimini sağlamak,
- Balast içindeki kirli malzemenin depolanması için büyük boşluklar oluşturmak ve balast boyunca parçacıkların hareketini sağlamak,

4.2. Kayaçların Balast Olabilirliği

Günümüzde hızla artan sadece hazır beton imalatı için gerek duyulan agrega ihtiyacı değildir. Artan ulaşım talebini karşılayabilmek yeni hızlı tren projeleri balasta olan talebin de hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Şekil 3'de verilen tipik bir raylı sistem kesitinde, rayları taşıyan transverslerin üzerinde yer aldığı balast, ray ve transvers gibi üst yapı elemanlarına istenen esneklikte mesnetlik ederek yol yatağının duraylılığının sağlanması, dingil yüklerinden kaynaklanan normal gerilmelerin alt katmanlara yayılarak azaltılması, yüzey sularının drene edilmesi, tren titreşimlerini söndürülmesi ve yeterli elektrik yalıtımının sağlanması amacıyla demiryolu güzergahına serilen malzeme olarak tanımlanır (Arioğlu vd., 2009).

- Buraj makinesi ile balast parçacıklarının yeniden düzenlenmesi sayesinde yüzey ve tabaka işlemlerinin bakımını kolaylaştırmak,
- Yol üzerine düşen suyun anında drenajını sağlamak,
- Gerilmeleri alttaki malzeme için kabul edilebilir seviyelere indirgemektir.

Adam vd. (2010) ise balastın yoğun ve düzgün sıkıştırılmasının, dinamik trafik yükleri sonucunda oluşan bozulmaları önlemek için gerekli olduğunu, bunun için teorik tasarım modelleri, geniş kapsamlı testler ve yerinde yapılan ölçümlerle doğrulama gerektiğini belirtmektedirler.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından önerilen standartlardan TS 7043 EN 13450 (2004) standardı, kayaçların demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği ile ilgilidir. Ülkemizde demiryollarında kullanılacak olan balast malzemesinin hangi özelliklere sahip olması gerektiği TCDD Teknik Şartnamesi (2017)'de belirtilmektedir. Bu şartnameye göre, balast olarak kullanılacak kaya malzemesinin

özelliklerinin **TS 7043 EN 13450 (2004)** standardına uygun olması gerekmektedir. Ayrıca, mineralojik ve petrografik incelemeler sonucunda bazalt, granit, granadiyorit, diyorit, gabro, riyolit, ve diyabaz gibi magmatik kökenli, daha çok bazik karakterli derinlik, yarı derinlik ve yüzey kayalarının balast olarak uygun olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle, öncelikle Elazığ bölgesinde yüzeyleme veren formasyonların litolojik özellikleri incelenmiş ve magmatik kökenli kayaç litolojine sahip olan Kömürhan

Ofiyolitleri'ne ait gabrolar (2), Elazığ Magmatitleri'ne ait granitler (3) ve andezitler (4), Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar (7) ile Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların (9) balast olabirlikleri incelenmiştir.

Bu kayaçlardan elde edilen agrega örnekleri üzerinde **TS 7043 EN 13450 (2004)** standardında önerilen laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçların değerlendirilmesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Agrega örneklerinin balast olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	2	3	4	7	9
Su emme	TS EN 1097-6 < % 1.5	0.52	2.10	1.16	0.96	1.84
MgSO ₄ çözeltilinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 < %5	19.92	45.17	3.32	9.19	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı (1000 devir)	TS EN 1097-2 < %20	16	51	11	8	14
İnce malzeme miktarı (0.5mm altı)	TS EN 933-1 < % 1.0	0.77	1.28	0.19	0.59	1.40
Çok ince malzeme miktarı (0.063mm altı)	TS EN 933-1 < %0.5	0.41	3.78	0.48	0.31	1.52
Şekil endeksi	TS EN 933-4 < %25	12	37	17	8	9
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 < %20	19	7	5	5	1
Zararlı bileşenler	TS 1744-1 < %0.5	0.077	0.284	0.073	0.061	0.059

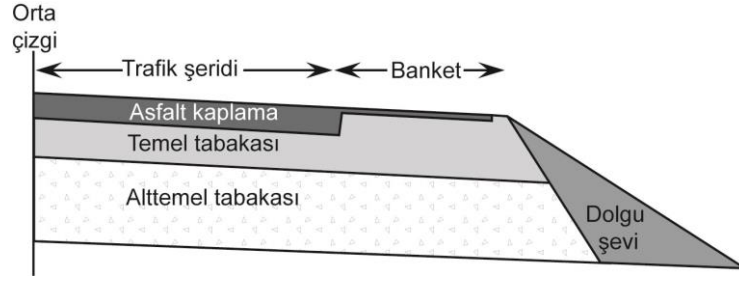
Not: Gri alanlardaki değerler standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Tablo 5'te verilen değerlendirmeye göre, Elazığ bölgesinde yüzeyleme veren kayaçlardan sadece Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitlerin (4) tüm fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri bu kayaçların demiryolu balastı olarak kullanılmasına uygundur. Diğer kayaçlardan Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolar (2) ve Maden Karmaşığı'na ait bazaltların (7) MgSO₄ çözeltilisindeki don kaybı değerleri limit değerinin çok üzerindedir. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların (9) su emme, MgSO₄ çözeltilisinde don kaybı, ince ve çok ince malzeme miktarları limit değerlerin içerisinde olmadığından bu bazaltlar da balast olarak kullanılabilme özelliğine sahip değillerdir. Elazığ Magmatitleri'ne ait granitlerin (3) tüm fiziksel ve mekanik özelliklerinin bu granitlerin balast olarak kullanılmaya uygun olmadığı belirlenmiştir.

4.3. Kayaçların Yol Üst Yapı Malzemesi Olabilirliği

Karayolu inşaat sektöründe agrega, beton imalatı haricinde yol üst yapısında da kullanılan en önemli doğal malzemedir. Yol çalışmalarında kullanılan agregalar, hem kaplamanın stabilitesine olan büyük katkısı hem de büyük miktarda gereksinim duyulmasından dolayı önemli bir yol malzemesidir. Çünkü, bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça % 90-95'i ve hacimce % 80-85'i, beton kaplamaların ağırlıkça %70-80'i ve hacimce %60-75'i agregalardan oluşur (Çetin, 2007).

Karayolu üstyapıları, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olmak üzere iki şekilde inşa edilirler. Rijit üstyapının kaplama tabakası çimento betonundan oluşur. Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılar ise esnek üstyapılardır. Karayolu esnek üstyapıları tabakalı bir üstyapı tipidir ve bu tabakalar, en üstten alta doğru, kaplama, temel ve alt temel tabakalarından oluşurlar (Şekil 4)



Şekil 4. Esnek üst yapı tip kesiti (Yılmaz vd., 2012)

Temel zeminin üzerine inşa edilen alt temel tabakasının görevi, yapısal olarak üstteki tabakalardan gelen yükleri dağıtarak taban zeminine iletmek ve üstteki tabakaları yeraltı suyunun zararlı etkilerinden ve don olayından korumaktır. İyi bir şekilde yapılmış olan bir alttemel tabakası, üstyapının yük taşıma kapasitesinin esasını teşkil etmesi sebebiyle üstyapıdaki oturmaları ve defleksiyonları önleyecektir. Karayolu esnek üstyapıları alt temel tabakasında, ekonomi sağlamak amacıyla yörenin yerel malzemeleri kullanılır. Çoğunlukla daha ekonomik olduğu için alt temel malzemesi olarak atık olarak tabir edilen malzemeler tercih edilmektedir. Alttemel tabakasında kullanılan malzeme özellikleri yol mühendisliği için, özellikle taban zemini taşıma gücü düşük zeminlerde ve don tehlikesi olan zeminlerde önem arz etmekte ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Alttemel tabakasında özellikle granüler malzemeler kullanıldığından dolayı agregaların önemi oldukça fazladır. Üstyapının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkileyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Fındık ve Saltan, 2005).

Alttemelin üzerinde yer alan temel tabakası üstyapının ana yapısal elemanlarından biridir. Bu katmanın görevi alttemel ve tabana gelecek olan gerilmeleri kabul edilebilir seviyeye düşürerek, esneklik sağlamak ve kaplamanın hasar görmesini engellemektir. Bu nedenle, temel tabakasında iyi kalite malzeme kullanılır. Genel olarak granüler malzemenin kullanıldığı temel tabakasında duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcı karışım, stabilize edilmiş malzemeler de kullanılabilirler.

Esnek üst yapı tipinde, en üst seviyeyi oluşturan yol kaplamaları, kaplandığı yüzeyi ve altındaki tabakaları dış etkilerden koruyarak, iyi ve estetik bir görünüm ile yol güvenliği ve yeterli konforu sağlarlar. Ayrıca, trafik ve çevre etkilerine karşı koyarak trafik yüklerini alt tabakalara iletirler. Bir

asfalt kaplama yapısı, asfalt-agrega karışımından meydana gelmektedir ve kaplama içerisindeki agrega oranı hacimce %80-85 civarındadır. Asfalt beton yol olarak tanımlanan bu yol tipinde, yollar bitümlü karışımlardan oluşan binder ve aşınma tabakalarından meydana gelmektedir. Dingil yüküne yakın olan bu seviye büyük gerilmelere maruz kaldığı için, kullanılacak malzemenin kaliteli olması gereklidir. Bu nedenle, üst tabakalar elastisite modülü yüksek bitümlü karışımlardan oluşmaktadır. Bitümlü sıcak karışımın (BSK) hacminin yaklaşık %85 gibi yüksek bir miktarını oluşturan agreganın özellikleri karışım performansını etkileyen en önemli faktördür. Yol kaplamalarındaki bozulmaların ana nedenlerinden birisi, karışımda kullanılan agreganın yeterli kalitede olmamasıdır. Agreganın tipi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi mühendislik özellikleri BSK'nın yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir (Tayfur vd., 2003).

Yol üstyapı malzemesi olarak kullanılacak olan agregaların sahip olması gereken özellikler ve bu özelliklere ait limit değerler Karayolları Teknik Şartname (2013)'inde verilmiştir. Bu çalışmada incelenen kayaçların yol üst yapı olabilirliğini belirlemek için, laboratuvar deneylerine ait sonuçlar Karayolları Teknik Şartname (2013)'inde verilmiş olan limit değerler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6- 14).

İncelenen kayaçlardan Keban Metamorfite'ne ait kristalize kireçtaşları (1) ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabroların (2) Los Angeles parçalanma dayanımları ile Elazığ Magmatitleri'ne ait granitlerin (3) Los Angeles parçalanma dayanımı ve $MgSO_4$ çözeltisindeki don kaybı değerleri limit değerlerin üstündedir (Tablo 6). Dolayısıyla bu kayaçlar alttemel malzemesi olarak kullanılmaya uygun değildir. Diğer kayaçlar ise alttemel malzemesi olarak kullanılabilirler.

Tablo 6. Agrega örneklerinin alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 3.5	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 25	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 45	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 30	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlardaki değerler standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Tablo 7'ye göre kayaçların temel malzemesi olarak kullanılmaya uygun olmayan tek birim Elazığ Magmatitleri'ne ait granitlerdir (3). Diğer kayaçlara ait değerler (Tablo 7), [Karayolları](#)

[Teknik Şartname \(2013\)](#)'sinde verilmiş olan limit değerlere uygundur ve temel malzemesi olarak kullanılabilirler.

Tablo 7. Agrega örneklerinin temel malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 3.0	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 20	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 35	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 25	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlardaki değerler standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Kayaçlar bitümlü sathi kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirildiğinde (Tablo 8), Keban Metamorfite'ne ait kristalize kireçtaşlarının (1) Mikro Deval aşınma direncinin ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabroların (2) ve

Elazığ Magmatitleri'ne ait granitlerin (3) MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı değerlerinin limit değerlerin üstünde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, bu kayaçların bitümlü sathi kaplama malzemesi olarak kullanılması sakıncalıdır.

Tablo 8. Agrega örneklerinin bitümlü sathi kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 2.5	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 18	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 35	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro Deval aşınma direnci	TS EN 1097-1 ≤ % 25	27	15	20	15	17	10	11	18	13
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 20	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Bu çalışmada incelenen kayaçların makadam sathi kaplama, bitümlü koruyucu sathi kaplama, bitümlü temel ve binder malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirildiğinde; Keban Metamorfite'ne ait kristalize kireçtaşlarının (1) Mikro Deval aşınma direnci, Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabroların (2) MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı ve Elazığ

Magmatitleri'ne ait granitlerin (3) MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı ile Los Angeles parçalanma direnci değerlerinin standartlarda verilen limit değerlere uygun olmadığı belirlenmiştir (Tablo 9, 10 ve 11). Bu nedenle, bu kayaçların makadam sathi kaplama, bitümlü koruyucu sathi kaplama, bitümlü temel ve binder malzemesi olarak kullanılmamalıdır.

Tablo 9. Agrega örneklerinin makadam sathi kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 3.0	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 18	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 30	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro Deval aşınma direnci	TS EN 1097-1 ≤ % 25	27	15	20	15	17	10	11	18	13
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 20	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Tablo 10. Agrega örneklerinin bitümlü koruyucu sathi kaplama ve bitümlü temel malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 2.5	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 18	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 30	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro Deval aşınma direnci	TS EN 1097-1 ≤ % 25	27	15	20	15	17	10	11	18	13
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 20	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Tablo 11. Agrega örneklerinin asfalt betonu (binder) malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 2.5	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 18	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 30	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro Deval aşınma direnci	TS EN 1097-1 ≤ % 25	27	15	20	15	17	10	11	18	13
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 25	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Kayaçların binder malzemesi olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi Tablo 12’de verilmiştir. Bu değerlendirmeye göre; Keban Metamorfileri’ne ait kristalize kireçtaşlarının (1) Mikro Deval aşınma direnci, Kömürhan Ofiyolitleri’ne ait gabrolar (2) ile Karabakır Formasyonu’na ait bazaltların (9) MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı ve Elazığ Magmatitleri’ne ait granitlerin (3) MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı ve Los Angeles parçalanma direnci değerlerinin şartnamede belirtilen limit değerlere uygun olmadığı ve bu kayaçların beton asfaltta aşınma malzemesi olarak kullanılmaya uygun olmadığı belirlenmiştir.

İncelenen kayaçlardan Keban Metamorfileri’ne ait kristalize kireçtaşlarının (1) Mikro Deval aşınma direnci, Kömürhan Ofiyolitleri’ne ait gabrolar (2), Elazığ Magmatitlerine ait andezitler (4) ve Karabakır Formasyonu’na ait bazaltların (9) MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı değerleri, Elazığ Magmatitleri’ne ait granitlerin (3) ise su emme, MgSO₄ çözeltisindeki don kaybı ve Los Angeles parçalanma direnci değerleri Karayolları Teknik Şartname (2013)’inde verilmiş olan limit değerlere uygun değildir (Tablo 13). Bu nedenle, taş mastik malzemesi olarak kullanılamazlar.

Tablo 12. Agrega örneklerinin asfalt betonu (aşınma) malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 2.0	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 16	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 27	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro Deval aşınma direnci	TS EN 1097-1 ≤ % 20	27	15	20	15	17	10	11	18	13
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 20	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Tablo 13. Agrega örneklerinin taş mastik malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 2.0	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 14	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 25	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Mikro Deval aşınma direnci	TS EN 1097-1 ≤ % 20	27	15	20	15	17	10	11	18	13
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 20	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

Kayaçlara ait laboratuvar sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda (Tablo 14), Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolar (2) ile

Elazığ Magmatitleri'ne ait granitlerin (3) bitümlü karışım bakım malzemesi olarak kullanılmaya uygun olmadıkları belirlenmiştir.

Tablo 14. Agrega örneklerinin bitümlü karışım bakım malzemesi olarak kullanılabilirliği

DENEYLER	Standartlar ve Limit Değerler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Su emme (%)	TS EN 1097-6 ≤ % 2.5	0.55	0.52	2.10	1.16	0.64	0.95	0.96	1.09	1.84
MgSO ₄ çözeltisinde don kaybı (%)	TS EN 1367-2 ≤ % 18	9.96	19.92	45.17	15.32	7.20	8.24	9.19	6.80	16.27
Los Angeles parçalanma dayanımı	TS EN 1097-2 ≤ % 30	24	16	51	9	21	20	8	23	14
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 ≤ % 25	2	19	7	5	11	7	5	2	1

Not: Gri alanlar standartlara uygun olan değerleri göstermektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Elazığ bölgesinde yüzeyleme veren ve kırmataş olarak kullanıma potansiyeline sahip olduğu düşünülen formasyonlardan derlenen örneklerde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerine ait sonuçlar, beton agregası, balast, yol üst yapı malzemesi gibi kullanım alanına göre standartlarda verilen limit değer ile karşılaştırılmış ve bu kayaçların beton agregası, balast ve yol üst yapı malzemesi olabirlikleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçları kısaca şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. Kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliği konusunda yapılan değerlendirmeler Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitler (4), Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları (5), Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar (7) ve Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının (8) beton agregası olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bölgede yüzeyleme veren diğer kayaçlara ait sonuçlara göre, bu kayaçların beton

agregası olarak kullanılması sakıncalıdır veya kullanırken dikkatli olunmalıdır. Nitekim, halen beton agregası olarak kullanılan Keban Metamorfileri'ne ait kristalize kireçtaşlarının (1) mikro deval aşınma direnci düşük olduğundan, bu kayalara ait agregalar ile üretilen betonun aşınmaya maruz kalacak alanlarda kullanılmasından kaçınılması gerekmektedir. Ayrıca, Seske Formasyonu'na ait kireçtaşlarının (6) asitte çözünebilen sülfat değeri ile Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların (9) metilen mavisi değerleri (MB) limit değerlerden fazla olmasına karşın, bu kayalarda beton agregası olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşı agregasının (6) sülfat oranı değişiklik gösterebileceğinden, sülfat değerinin rutin olarak kontrol edilmesi ve aşırı yükselim durumunda bu kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılmaması gerekmektedir. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlarda (9) ise metilen mavisi değeri (MB) limit değerlerin üstündedir. Bu durum agregada çok ince malzeme miktarının fazla olduğunu ve agreganın kirli olduğunu göstermektedir. Bu kirliliğin, bazaltlardaki gaz boşluklarında var olan ikincil minerallerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle beton agregası olarak kullanılacak bazaltların gaz boşluksuz olmasına dikkat edilmelidir.

2. İncelenen kayalardan demiryolu balastı olabilecek litolojiye sahip olan Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolar (2), Elazığ Magmatitleri'ne ait granitler (3) ve andezitler (4), Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar (7) ile Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlara (9) ait sonuçlar, bu kayalardan sadece Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitlerin (4) demiryolu balastı olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Diğer kayaların ise özellikle $MgSO_4$ çözeltisindeki don kayıpları oldukça yüksektir. Bu kayaların balast olarak kullanılması durumunda, balast kirlenmesi gerçekleşecek ve balast fiziksel özelliklerini kaybederek işlev göremez hale gelecektir. Bölgenin balast olarak kullanılabilir tek birimi olan bu andezitik kayaların yayılım ve özelliklerini daha detaylı olarak belirlenmesi, önümüzdeki süreçte devam edecek olan hızlı tren projelerinin balast ihtiyacının karşılanabilmesi açısından önem taşımaktadır.

3. Bölgedeki kayaların yol üst yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından yapılan değerlendirmelerde, bölgedeki kayalardan Harami Formasyonu'na ait kireçtaşları (5), Seske Formasyonu'na ait kireçtaşları (6), Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar (7) ve Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşlarının (8) yol üst yapısındaki tüm katmanlarında

kullanılabilecek özellikte olduğunu göstermektedir. Elazığ Magmatitleri'ne ait granitler (3) ise yol üst yapı malzemesi olarak kullanılabilir değildir. Diğer kayalardan Keban Metamorfileri'ne ait kristalize kireçtaşları (1) sadece temel ve bitümlü karışım bakım malzemesi olarak kullanılmaya uygun iken, Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolar (2) ise sadece temel malzemesi olarak kullanılabilmeye uygundur. Elazığ Magmatitleri'ne ait andezitlerin (4) taş mastik malzemesi haricinde, yol üst yapısının bütün alanlarında kullanılabilir özellikte olduğu, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltların (9) ise aşınma ve taş mastik malzemesi hariç diğer alanlarda kullanılmaya uygun özelliklerde olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, yol üst yapı malzemesi için yapılan değerlendirmelerde, sadece iri agrega özelliklerinin dikkate alınmıştır. Bu nedenle, bu kayaların kesin olarak kullanılabilir olduğuna karar verebilmek için [Karayolları Teknik Şartname \(2013\)](#)'inde önerilen ince agrega ve bitümlü karışımlarda yapılması gereken diğer deneylerin de yapılması gereklidir.

4. Bu çalışma sonucunda elde edilen değerlerin, örnek alınan lokasyonları temsil ettiği, litolojik özellikler aynı olsa bile farklı lokasyonlardan yapılacak olan örneklerden ortaya çıkacak sonuçların farklı olabileceği, bu nedenle kırmataş olarak işletilmesi planlanan alanlar için örnekleme yapılarak deneylerin gerçekleştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Kaynaklar

- Adam, D., Brandl, H. ve Paulmichl, I., 2010. Dynamic Aspects of Rail Tracks for High-Speed Railways. *International Journal of Pavement Engineering*, 11, 281-291.
- Akbulut, H., Çetin, S. ve Gürer, C., 2009. Andezit Agregasının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildirileri, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, s. 167.
- Akpınar Ş., Gonak G. ve Pamukçu, Ç. 2004. Değişik Kökenli Agregaların Beton Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildirileri. 13-14 Mayıs 2004, İzmir, s. 374-382.
- Aksoy, E., Türkmen, İ., ve Turan, M., 2005. Tectonics And Sedimentation in Convergent Margin Basins: An Example From The Tertiary Elazığ Basin, Eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, 459-472.

- Aksoy, E., 1993. Elazığ Batı ve Güneyinin Genel Jeolojik Özellikleri. Doğa Türk Yerbilimleri Dergisi, 1(1), 113-123.
- Aktaş, G. ve Robertson, A.H.F., 1990. Late Cretaceous–Early Tertiary Fore-Arc Tectonics And Sedimentation: Maden Complex, 1-6 October 1990, SE Turkey, in Proceedings of the International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, (Eds. Savaşçın, M.Y., and Eronat, A.H.), İzmir, pp. 271-276.
- Alexander, M.G. ve Milne, T.I., 1995. Influence of Cement Blent and Aggregate Type on Stress Strain Behavior and Elastic Modulus of Concrete. ACI Materials Journal, 92(May–June), 227-235,.
- Altunbey, M. ve Çelik, S., 2005. Anayatak (Maden-Elazığ) Bakır Cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. Geosound/Yerbilimleri, 47, 63-90.
- Apaydın, Ö.F. ve Yılmaz, M., 2019. Bazaltik Kayaçların Balast Kirilenmesi Yönünden Karşılaştırılması. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1), 296-311.
- Arıoğlu, E., Kurt, G., Yoldaş, R. ve Yalçın, H., 2009. Kimi kayaçların Çok Yüksek Devirli (>500) Los Angeles Aşınma Değerleri, 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildirileri, 1-2 Aralık 2009, İstanbul, s. 93-101
- Baska M.A., 2006. Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 50s.
- Canadian Standards Association (CSA), 2014., CANADA CSA A23.2-25A-14 / Test Method for Detection of Alkali-Silica Reactive Aggregate by Accelerated Expansion of Mortar Bars. CSA A23.2-00: Methods of Test for Concrete, Canadian Standards Association, Mississauga (ON).
- Cilason., N., 1992. Beton: İstanbul, STFA Yayınları, No: 21, 256 s.
- Coşkun, E. ve Zorlu, K., 2018. Ultramafik Kayaçların Agregada Üretiminde Kaynak Kayaç Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, 23-27 Nisan 2018, Ankara, s. 649-650.
- Çetin, S., 2007. Afyon Karahisar Bölgesi Volkanik Kayaçlarının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agregada Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 90s.
- Çokmak, B., 2007. Isparta Yöresinde Çıkarılan ve Beton Üretiminde Agregada Olarak Kullanılan Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 47s.
- Davraz, M., Gündüz, L., Şapçı, N. ve Başpınar, E. 2007. Isparta Cıvarı Volkanik Kayaçların Mühendislik Özellikleri ve Taşıyıcı Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, 6. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildirileri, 1-3 Şubat 2007, İzmir, s. 172-184.
- Di Giuseppe, P., Agostini, S., Lustrino, M., Karaoğlu, Ö., Savaşçın, M.Y., Manetti, P. ve Ersoy, Y., 2018. Transition from Compression to Strike-Slip Tectonics Revealed by Miocene Pleistocene Volcanism West of the Karlıova Triple Junction (East Anatolia). Journal of Petrology, 58(10), 2055-2087.
- Doğan, K. S., 2006. Zonguldak-Sapça Taş Ocağı Agregalarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 56s.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, in: W.E. Ham. (Ed.), Classification of Carbonate Rocks, Tulsa, Oklahoma, pp.108-121.
- Erdoğan, B., 1982. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçları. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 49-50.
- Erdoğan, Y.T., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler; AGREGA: İstanbul, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 110s.
- Fındık F.S. ve Saltan M., 2005. Hafif Agregaların Esnek Üstyapı Alttemelinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi Bildirileri, 22-24 Eylül 2005, Antalya, s. 384.
- Giaccio, G., Rocco, C., Violini, D., Zappitelli, J. ve Zerbino, R., 1992. High-Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates. ACI Materials Journal, 3, 242-246.
- Güçlüer, K., Günaydin, O., Tekin, Ö.F. ve Şahan, M.F., 2017. Farklı Tipte Agregada Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1), 107-114.
- Gürbüz, G., 1998. Amasya Bölgesi Agregada Rezervlerinin Hazır Beton Agregası Olarak Kullanım İmkanlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 77s.

- Gürocak, Z., 2016. Dedeyolu Köyü (Sivrice-Elazığ) Civarındaki Geç Kretase Yaşlı Bazaltların Kırmataş Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 527-534.
- Hartle A., 1974. A Review of the Geological Factors Influencing the Mechanical Properties on Road Surface Aggregates. Engineering Geology, 7(1), 69-100.
- Huang, H., 2010. Discrete Element Modeling of Railroad Ballast Using Imaging Based Aggregate Morphology Characterization. PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering University of Illinois at Urbana Champaign, 164p.
- İbilioglu, D., 2008. Elazığ Havzası Paleojen İstifinin Mikropaleontolojik (Planktonik Foraminifer ve Ostrakodlarının) İncelenmesi ve Ortamsal Yorumu. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 189s.
- Karacan, D.S., 2006. Zonguldak-Sapça Taş Ocağı Agregalarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 112s.
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Yol Alt Yapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üst Yapı ve Çeşitli İşler. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kaya, A., 2014. Keban Metamorfitleri'nin Stratigrafisine İlişkin Yeni Yaş Bulguları. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(3), 189-199.
- Kazi, A. ve Al-Mansour, Z.R., 1980. Influence of Geological Factors on Abrasion and Soundness Characteristics of Aggregates. Engineering Geology, 15(3-4), 195-203.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
- Kılıç, A. ve Keskin, M., 2003. Doğu Karadeniz Yöresi Taş Ocakları Malzemelerinin Kırmataş Olarak Değerlendirme Olanakları. III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildirileri, 3-4 Aralık 2003, İstanbul, s.301-306.
- Kırca, S., 2001. Sütçüler-Menteşe Çakıl Agregasının Beton İmalinde Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 88s.
- Kocal, F., 1999, Trabzon-Maçka Başar Taşocağındaki Kireçtaşının Agregat Olma Açısından İncelenmesi. Türkiye 16. Madencilik Kongresi Bildirileri, 15-18 Haziran 1999, Ankara, s. 279-285.
- Konak, G., Onur, H.A., Karakuş, D. 2009. İnşaat Sektörünün İhtiyacı Olan Agreganın İşletilmesi ve Kentsel Faydaları. TMMOB İzmir Kent Sempozyumu Bildirileri, 10 Ocak 2009, İzmir, s. 229-236.
- Koralay, T., Çobanoğlu, İ. ve Demir, M., 2014. Ofiyolitler İçerisindeki Gabro Dayklarının Balast Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği: İnceler (Bozkurt-Denizli) Örneği. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(2), 32-48.
- Korkanç, M. ve Tuğrul, A., 2004. Evaluation of Selected Basalts from Niğde, Turkey, as Source of Concrete Aggregate. Engineering Geology, 75(3-4), 291-307.
- Kürüm, S. ve Tanyıldızı, Ö., 2017. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Upper Cretaceous (Calc-alkaline) and Miocene (Alkaline) Volcanic Rocks: Elazığ, Eastern Taurides, Turkey. Journal of African Earth Sciences, 134, 332-344.
- Lees, G. ve Kennedy, C.K., 1975. Quality, Shape and Degradation of Aggregates. Quarterly Journal of Engineering Geology, 8, 28-35.
- Oğul, K., Topal, İ. ve Poşluk, E., 2012. Ankara - İstanbul Yüksek Hızlı Tren Demiryolunda Balast Hammaddesi Olarak Granit ve Bazaltın Birlikte Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Aşınma Dayanımlarına Etkisi. Yeraltı Kaynakları Dergisi, 1(1), 81-89.
- Öz, E., 2007. Nevşehir Dolaylarında Yüzeyleyen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 52s.
- Özgen-Erdem, N., İnan, N. ve Akyazı, M., 1993. Harabekayış, Formasyonu'nun (Elazığ) tanımlaması. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 8, 135-147.
- Özturan, T. ve Çeçen, C., 1997. Effect of Coarse Aggregate Type Onmechanical Properties of Concretes With Different Strengths. Cement and Concrete Research, 27(2), 165-170.
- Perinçek, D., 1979a. The Geology of Hazro-Korudağ-Cungus-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Area: Guide Book, Türkiye. Jeoloji Kurumu. Bülteni, 33s.
- Perinçek, D., 1979b. Interrelations of the Arabian and Anatolian Plates. Guide Book for Excursion 'B' First Geological Congress on Middle East, the Geological Society of Turkey, 4-7 September 1979, Ankara, 34p.
- Perinçek, D. ve Özkaya, I., 1981. Arabistan Levhası Kuzey Kenarının Tektonik Evrimi. Yerbilimleri, 8, 91-101.

- Postacioğlu, B., 1987. Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 2: İstanbul, Teknik Kitaplar Yayınevi, 404s.
- Ramsay, D.M., Dhir, R.K. ve Spence, I.M., 1974. The Role of Rock and Clast Fabric in the Physical Performance of Crushed-Rock Aggregate. *Engineering Geology*, 8(3), 267-285.
- Rızaoğlu, T., 2006. Baskil-Sivrice (Elazığ) Arasında Yüzeyleyen Tektono-magmatik Birimlerin Petrografisi ve Jeokimyası. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 218s.
- Selig, E.T. ve Waters, J.M., 1994. *Track Geotechnology and Substructure Management*: London, Thomas Telford Publications, 446p.
- Streckeisen, A., 1976. To Each Plutonic Rock Its Proper Name. *Earth Science Reviews*, 12(1), 1-33.
- Sungurlu, O., 1979. Güneydoğu Sürüklenme Kuşağı Tersiyer Sürüklenimleri, 33. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, 5-9 Mart 1979, Ankara, s. 121-122.
- Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance. *Journal of Geological Society London*, 136, 269-282.
- Şimşek, O., 2003. Yapı Malzemesi II: Ankara, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., 211s.
- Tasong, W.S., Lynsdale, C.J. ve Cripps, J.C., 1998. Aggregate-Cementpaste Interface: II. Influence of Aggregate Physical Properties. *Cement and Concrete Research*, 28(10), 1453-1465.
- Tayfur, S., Eren, K., Özen, H. ve Yıldırım, S.A., 2003. Sıcak Asfalt Karışımı (BSK) Üretimi Açısından İstanbul Taşocaklarının Genel Değerlendirilmesi: Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, İstanbul, s.199-204.
- Temiz, H. Binici, H., Bodur Nuri, M., Kara, O., 2006. Kahramanmaraş Doğal Agregalarının Mühendislik Özellikleri. *KSÜ, Fen ve Mühendislik Dergisi*. 9(2), 61-65.
- TC Devlet Demir Yolları (TCDD), 2017. Balast Taşı Teknik Şartnamesi. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 7043 EN 13450, 2004. Demiryolu Balastları için Agregalar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3, 2006. Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-4, 2009. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Şeklinin Tayini – Şekil İndisi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-10, 2010. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 10: İnce Malzeme Tayini – İnce Dolgu Malzemelerinin Tane Büyüklüğüne Göre Sınıflandırılması (Hava Jetiyle Eleme), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-1, 2011. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Tane Şekli Tayini – Yassılık Endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2013. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Kimyasal Analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9, 2014. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini – Metilen Mavisini Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2016. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Yöntemler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turabi, A. ve Okucu, A., 2007. Balıkesir İli Yol Çalışmalarında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Şartnameye Uygunluğu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 45-51.
- Yağız S. 2010. Geomechanical Properties of Construction Stones Quarried in Southwestern

- Turkey. Scientific Research and Essays 5, 750-757.
- Yazgan, E., 1981. Doğu Toroslar'da Etkin Bir Paleokıta Kenarı Etüdü (Ust Kretase-Orta Eosen). H.U. Yerbilimleri, 7, 83-104.
- Yazgan, E., 1983. Geotraverse between the Arabian Platform and the Munzur Nappes. Int. Symp., On the Geology of the Taurus Belt, Field Guide Book for Excursion V, Ankara. p.17.
- Yazgan, E., 1984. Geodynamic Evolution of the Eastern Taurus Region (Malatya- Elazığ area, Turkey), Proceedings of International Symposium, Geology of Taurus Belt, 26-29 September 1983, Ankara, p. 199-208.
- Yeğınobalı, A., 1999. Betonun İç Yapısı. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı Notları, No: 3, Ankara.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E. ve Genç, Ş.C., 1993. Ophiolitic and Metamorphic Assemblages of Southeast Anatolia and Their Significance in the Geological Evolution of the Orogenic Belt. Tectonics, 12, 1280-1297.
- Yılmaz, A., Saltan, M. ve Akıllı, A., 2012 Goller Yöresinde İşletilen Kireçtaşı Agregalarının Yol İnşaatı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3), 199-207.
- Yılmaz, A., 2015, Demiryolu Üstyapısında Balast Kirliliğı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6(1), 11-17.
- Yiğitbaş, E. ve Yılmaz, Y., 1996. New Evidence and Solution to the Maden Complex Controversy of the Southeast Anatolian Orogenic Belt (Turkey). Geologische Rundschau, 85, 250-263.
- Zarif, I.H., Tuğrul, A. ve Dursun, G., 2003. İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 16(1), 61-70.
- Zarif, I.H. ve Tuğrul, A., 2003. Aggregate Properties of Devonian Limestones for Use in Concrete in Istanbul, Turkey. Bulletin Engineering Geology and the Environment, 62(4), 379-388.

Kapalı Otobüs Durağı Uygulamalarının Kullanıcı Beklentileri ve Memnuniyeti Doğrultusunda İncelenmesi: Gümüşhane ve Antalya Örneği

Investigation of Enclosed Bus Station Applications in Terms of User Expectations and Satisfaction: Case of Gümüşhane and Antalya Cities

Emine ÇORUH^{1,a}, Metin Mutlu AYDIN^{*2,b}, Eren DAĞLI^{1,c}, Ömer Faruk ÖZTÜRK^{3,d}, Mehmet Sinan YILDIRIM^{4,e}

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun

³Giresun Üniversitesi, Tirebolu Mehmet Bayrak Meslek Yüksek Okulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, 28500, Giresun

⁴Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45110, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 09.03.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 26.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 10.09.2020

Öz

Son yıllarda otobüs ve minibüs duraklarının kalitesini arttırmak amacıyla tamamen kapalı, dijital ya da görsel bilgilendirme vb. birçok özelliğe sahip kapalı durak tasarımları uygulanmaktadır. Fakat bu kapalı durakların özellikleri, benzer karakteristik özelliklere sahip kentlerde benzer ihtiyaç ve kullanıcı beklentilerine sahip olabilmektedir. Bu yüzden ülke genelinde benzer karakteristik özelliklere sahip kentler için ortak bir kapalı durak tipi belirleyerek onu ihtiyaç olan şehirlerde uygulamak, durakların kalitesi konusunda bir iyileşme sağlayabilecektir. Bu kapsamda bu tür ortak özelliklere sahip şehirler için tasarlanacak duraklarda kullanıcıların beklentilerinin önceden belirlenmesi, durakların işlevselliğine önemli katkı sağlayabilecektir. Bu amaçla çalışmada kapalı durak tasarımı için kullanıcıların özellikle farklı hava koşullarına sahip büyük/küçük ölçekli şehirlerdeki mevcut kapalı duraklardan memnuniyeti ile bu duraklarda olmasını istedikleri özellikler bir anket çalışması ile incelenerek ortak bir durak yapısı önerilmeye çalışılmıştır. Analizler kapsamında hazırlanan anket soruları, yüz yüze yapılan anketlerden elde edilen sonuçlara göre faktör analizi ile alt gruplara ayrılmıştır. Sonrasında ise durak kullanıcıları ve bunların duraklardan memnuniyetleri arasındaki ilişki Sıralı Logit Regresyon (SLR) analizi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kapalı durak kullanıcılarının yaşadığı şehrin, meslek grubunun memur ve öğrenci olmasının, durakta bekleyen kişi sayısının ve durakta bekleme süresinin 10'dk ve daha fazla olmasının durak memnuniyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değişkenler olduğu belirlenmiştir. Yine sonuçlardan kapalı durak kullanıcıları, mevcut duraklardan memnun gibi görünse de bu tür duraklarda olmasını bekledikleri bazı farklı ve önemli özelliklerin olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kapalı Otobüs Durağı, Kullanıcı Beklentileri, Otobüs Durak Kullanımı, Tasarım Konsepti, Toplu Taşıma

Abstract

In recent years, to increase the quality of bus and minibus stations, fully enclosed station designs with many features such as digital or visual information etc. are implemented. However, features of these stations, may have similar needs and user expectations in cities with similar characteristics. Therefore, applying enclosed stations, by determining a common enclosed station for similar cities in all over the country, will provide an improvement in the quality. For this scope, pre-determining the expectations of the users in the stations for similar cities with such common features can make a significant contribution to the functionality. For this aim, in the study, user satisfactions from the stations in large and small-scale cities with different weather conditions were investigated and the features of the stations were determined by conducting face to face surveys. Survey questions were prepared by dividing questions into sub-groups with factor analysis according to obtained results from the surveys. Subsequently, station users and the relationship between their satisfactions from the stations were examined with Ordinal Logistic Regression (OLR). According to results, it was determined that the cities where the passenger use enclosed station live in, user occupation (student or public staff), the number of people waiting at the station and the waiting time at station for 10 minutes or more were statistically significant variables on satisfaction. It was also seen from the results, even though the passengers of the enclosed stations seem to be satisfied from the current stations, users still wait some different and important features.

Keywords: Enclosed Bus Station, User Expectations, Bus Station Utilization, Design Concept, Public Transportation

*^{1b} Metin Mutlu AYDIN; metinmutluaydin@gmail.com, Tel: (0506) 269 91 49, orcid.org/0000-0001-9470-716X

^a orcid.org/0000-0002-3251-9179

^c orcid.org/0000-0002-3892-0270

^d orcid.org/0000-0002-7397-4274

^e orcid.org/0000-0001-5347-2456

1. Giriş

Ulaştırma sistemleri; insan ve yük/eşyanın belirli bir amaç için bir yerden başka bir yere hareketinin, istenilen koşullarda, belirli ve iyi tanımlanmış bir şekilde hizmet vermesini sağlamak için işlevleri ve karşılıklı etkileşimleri, organize edilen ilgili tüm fiziksel, sosyal, ekonomik ve kurumsal bileşenlerin kümesidir (Yaşar, 2009; Murat ve Çakici, 2017). Dünya çok hızlı bir şekilde kentleşirken, şehirlerde kalkınma ve hareketlilik (ulaşım hareketliliği) kalıpları açısından büyük bir değişim gözlenmektedir (Hickman vd., 2010). Yapılan tahminlere göre şu andaki büyüme hızı ile dünya nüfusunun %66'sının 2050 yılında kentlerde olacağı tahmin edilmektedir (URL-1, 2019). Türkiye'de ise 1927 yılında nüfusun %75.8'i kırsal alanlarda ve sadece %24.2'si kentsel alanlarda yaşarken, bugün bu durum tam tersine dönmüş ve 81 milyonluk ülkemizde ciddi bir değişimle %92.1 oranında insan kentlerde yaşamakta ve ulaşım hareketliliği göstermektedir (TÜİK, 2018). Günümüzde, dünya genelindeki nüfusun büyük bir çoğunluğu şehirlerde yaşamakta ve şehirlerde artan nüfus, insanların iş, gezi vb. çeşitli sebepler ya da ihtiyaçlar nedeniyle sürekli hareket halinde bulunmasına neden olmaktadır. Ulaşımın büyüklüğünü belirtmek için, "hareketlilik" kavramı ile ifade edilen bir ölçü birimi kullanılmaktadır ve "hareketlilik", bir taşıt veya bir yaya için belirlenen günlük ortalama yolculuk sayısı olarak tanımlanmaktadır (Akbaş ve Akdoğan, 2001). Bireysel araç kullanılmadan yapılan yolculuklarda, kullanılan bütün ulaşım sistemleri genel olarak toplu taşıma olarak tanımlanmaktadır (Kim vd., 2009). Bilimsel olarak ise toplu taşıma, belirli ve sabit bir güzergâhı olan, fiyatı bilinen, zaman tarifesi olan, isteyen herkesin yararlanabileceği, kent içi yolcu taşımacılığında kullanılan sistemlerin genel adı olmaktadır (Ilıcalı vd., 2011).

Günümüzde kentsel ulaşımında bisiklet, otomobil, otobüs, tramvay vb. birçok farklı ulaşım türü mevcuttur (Tekin vd., 2018). Öyle ki toplu taşımanın daha da özendirilmesi amacıyla bisiklet paylaşımı, araç paylaşımı gibi birçok yeni türde ortaya çıkmış olup yaygın şekilde kullanılmaktadır (Aydın ve Yıldırım, 2019; Saphioğlu ve Aydın, 2018). Her ne kadar farklı birçok ulaşım türü olsa da otobüs ile toplu taşıma halen birçok ülkede en çok kullanılan ulaşım türüdür. Otobüs ile toplu taşıma uygulamalarının yaygınlaşması ve efektif kullanımı üzerindeki en önemli etkenlerden birisi de şüphesiz otobüs duraklarıdır. Otobüs durakları, kentiçi toplu

taşımada erişilebilirlik açısından kent yaşamı, planlı ve sürdürülebilir ulaşım için son derece önemlidir. Ayrıca bu durakların düzenlenmesi; otobüs güzergâhlarının, dolayısı ile otobüs hatlarının kullanılabilirliği ve konforu için de önemli bir bileşendir. Otobüs durağını sadece bir indi-bindi noktası olarak görmek ulaşım açısından eksik veya yetersiz bir planlamaya yol açmaktadır. Durakların; toplu taşıma yolcusunun, yaya profilinden yolcu profiline geçtiği, belli bir zaman geçirdiği, gerekli ise, tür-içi veya türler arası aktarma yaptığı bir yer olarak ele alınması gerekmektedir. Dolayısı ile otobüs durakları indi-bindi hareketine ek olarak bekleme, otobüs tarifesi konusunda ve kent bilgi sistemi destekli kentsel mekân ve aktiviteleri kullanma konusunda bilgilenme ve bunlarla ilişkili bazı gereksinimlerin karşılandığı bir ulaşım mekânı olarak tanımlanabilmektedir (Kaplan, 2010). Yol üzeri durak noktalarının oluşturulması gerek kaldırımı kullanan yayalar, gerek bineceği otobüsü bekleyen yolcular gerekse de trafikte bir otobüs arkasında ilerlemekte olan trafik akımı açısından büyük bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra otobüs durak yerlerinin, trafik ana kontrol noktaları olarak değerlendirilebilecek sinyalizasyon kavşakları açısından da oldukça önemli etkiler yarattığı dikkate alınmalıdır (Nehir, 2009).

Mevcut çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde araştırmacıların, toplu taşıma planı ve işletmecilerinin daha çok kullanıcıların toplu taşıma sistemlerinin performansı üzerine araştırmalar yaptıkları gözlemlenmektedir (Weng vd., 2018; Shaaban vd., 2013; Wojude ve Badiora, 2017; Eboli ve Mazzula, 2009; Bordagaray vd., 2014). Bu kapsamda bazı araştırmacılar toplu taşıma performans indeksi geliştirerek, sistemlerin performansını etkileyen parametreleri araştırmışlardır (Ona vd., 2016; Bordagaray vd., 2014). Tyrinopoulos ve Antoniou (2008) yaptıkları çalışma ile Yunanistan'ın iki büyük şehri olan Atina ve Selanik'te kullanıcıların toplu taşıma sistemlerinden memnuniyet seviyelerini araştırmışlardır. Beş farklı toplu taşıma şirketinin işlettiği üç farklı ulaşım modu (otobüs, trolleybüs, ve metro) üzerinde yapılan memnuniyet araştırmalarına göre kullanıcıların en çok servis sıklığı, bekleme süresi, erişilebilirlik ve araçların temizliğine memnuniyet açısından oldukça büyük önem verdikleri belirlenmiştir. Bir başka çalışmada ise Ali (2010), şehirlerdeki otobüs ile yapılan toplu taşımaya ait performansların şehirlerdeki farklı bölgelere değişiklik gösterdiğini gözlemlemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, şehirlerdeki farklı bölgelerde bekleme süresindeki değişiklikler ve otobüs servis

sıklıklarının değişiklik göstermesinin performans üzerinde etkili olan önemli değişkenler olduğunu belirlemişlerdir. [Kamaruddin vd. \(2012\)](#) ise çalışmasında, yolcuların toplu taşıma sistemlerinden en önemli beklentilerini incelemiş güvenlik, erişebilirlik, uygun ücret, iletişim ve yolculuk konforunun Malezya'daki kullanıcılar için toplu taşıma performansında beklenen en önemli parametreler olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bir başka çalışmada ise [Ali \(2014\)](#), Abuja/Nijerya şehri özelinde yolcuların toplu taşıma sistemleri üzerindeki performans değerlendirmelerini araştırmıştır. Analiz sonuçlarına göre, dört önemli faktörün memnuniyet üzerindeki en önemli etkenler olduğu belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla konfor, erişebilirlik, otobüs durak olanakları (efektif durak tasarımı) ve gelen otobüslerin kapasitesinin yeterli olması olarak belirlenmiştir. Benzer bir diğer çalışmada ise [Fellsson ve Friman \(2008\)](#), dokuz farklı Avrupa şehrinde kullanıcıların toplu taşıma sistemlerinin performansı hakkındaki memnuniyetlerini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgulara göre sistemde çalışan toplu taşıma araçlarının duraklara zamanında gelmesi, servis sıklığı (frekansı) ve araçların geliş zamanları hakkında yeterli bilginin kullanıcılara doğru olarak verilmesi, otobüs durak tasarımı ve güvenliğinin memnuniyet üzerindeki önemli parametreler olduğu belirlenmiştir. [Murat ve Demirkollu \(2017\)](#) otobüs ile günlük toplu taşıma yolculuklarında ideal sefer sıklığını hedef programlama yöntemi ile belirleyerek, ideal sefer sıklığının toplu taşıma performansı üzerine etkisine dikkat çekmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada ise [Murat vd. \(2014\)](#) bulanık optimizasyon ve doğrusal hedef programlama yaklaşımları ile şehiriçi otobüs duraklarının yeri ve sefer sıklığı arasındaki ilişkiyi inceleyerek optimum tasarımı belirlemişlerdir. Böylece sefer sıklığı ve otobüs duraklarını arasındaki ilişkiye göre en iyileme yaparak toplu taşıma performansını arttırmayı hedeflemişlerdir.

Mevcut literatürden de görüldüğü üzere yapılan çalışmalar daha çok toplu taşıma sistemlerindeki sorunların tespiti ve sistemi en iyileme üzerine olmaktadır. Halbuki yapılan bazı araştırmalarda da dikkat çekildiği üzere otobüs duraklarının doğru tasarımı kullanıcı memnuniyeti üzerindeki en önemli parametrelerden birisidir. Bu amaçla son yıllarda ülkemizde birçok şehirde tüm toplu taşıma türlerini, küçük ölçekli şehirlerde ise otobüs ile ulaşımı daha da yaygınlaştırmak amacıyla toplu taşıma araçları ve durak kalitesini arttırmaya büyük önem verilmektedir. Birçok şehirde yaygın olarak kullanılan toplu taşıma araçlarından olan otobüs ve minibüs duraklarının

kalitesini arttırmak amacıyla özellikle tamamen kapalı, ısıtma/soğutma özelliği olan, dijital ya da görsel bilgilendirme vb. daha birçok özelliğe sahip kapalı durak tasarımları yapılmakta ve uygulanmaktadır. Fakat toplu taşıma sistemlerinin önemli bir parçası olan bu kapalı durakların tasarım özellikleri, inşa edildiği şehrin belirleyici özelliklerine (hava koşulları, kullanıcı yapı, vb.) ve kullanıcıların beklentilerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu yüzden benzer karakteristik özelliklere ve kullanıcı beklentilerine sahip şehirlerde tek bir kapalı durak tipi belirleyerek onu tüm şehirlerde uygulamak amacıyla ortak bir kapalı durak kavramının oluşturulması tüm şehirlerde durakların kalitesi konusunda bir birlikteliği sağlayabilmek açısından oldukça önemlidir ve tüm şehirlerdeki kullanıcılara aynı kalitede hizmet verebilmek için gereklidir.

Bu amaçla çalışma kapsamında bir örnek olarak kullanıcıların özellikle farklı hava koşullarına sahip büyük ve küçük ölçekli şehirlerdeki mevcut kapalı duraklardan memnuniyeti ile kapalı duraklardan olmasını istediği beklentiler incelenerek, sistemin önemli bir bileşeni olan durakların kullanıcı beklentileri doğrultusunda etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda büyük ölçekli pilot şehir olarak Antalya, küçük ölçekli pilot şehir olarak Gümüşhane il merkezleri seçilmiş ve buradaki otobüs duraklarından saha gözlemleri ve yüz yüze yapılan anketler ile veriler elde edilerek analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile incelenen pilot şehirlerdeki kapalı durak kullanıcılarının, mevcut duraklar hakkındaki düşünce ve beklentileri sayısal olarak incelenerek kullanıcı beklentilerini karşılayacak kapalı durak önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu tür şehirlerdeki kapalı duraklarda, kullanıcı beklentileri doğrultusunda olması gereken yapısal özellikler belirlenmiş ve yetkililere bu konuda yol gösterilmeye çalışılmıştır. Böylece hem literatürde hem uygulama da bu konudaki eksik giderilmeye çalışılmıştır.

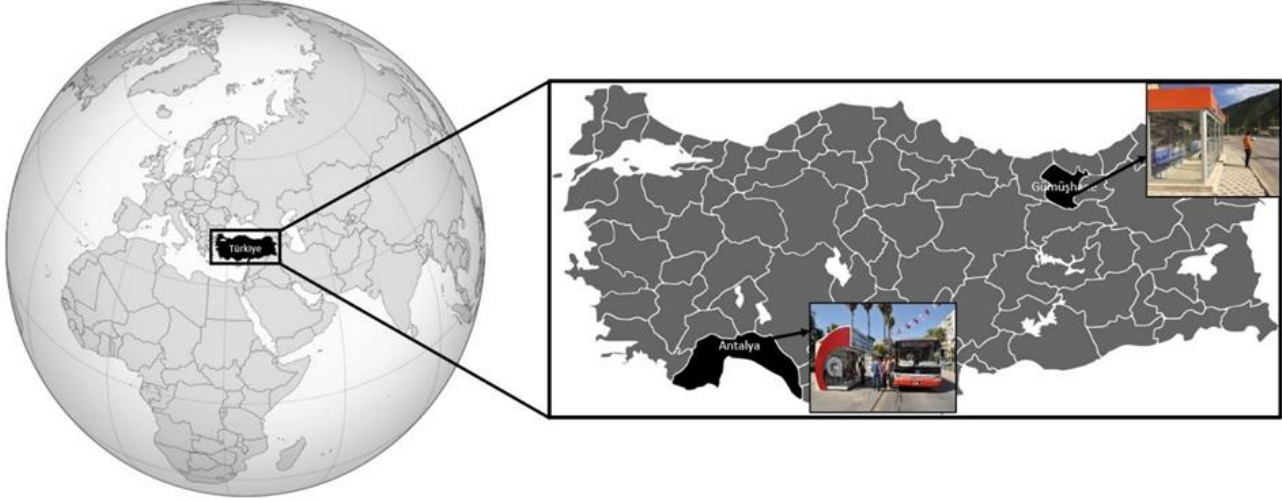
2. Materyal ve Metot

2.1. Pilot Kentlerin Seçilmesi ve Verilerin Toplanması

Çalışma kapsamında verilerin toplanması amacıyla kış aylarında oldukça soğuk kentlere örnek olarak pilot kent olarak Gümüşhane il merkezi ve yaz aylarında sıcak kentlere örnek olarak ise oldukça sıcak bir kent olan Antalya il

merkezi seçilmiştir (Şekil 1). Gümüşhane il merkezi toplu taşıma türü olarak otobüslerin kullanıldığı ve dolayısıyla da açık ve özellikle kapalı otobüs duraklarının yaygın olarak bulunduğu bir şehirdir. Benzer şekilde Antalya'da toplu taşıma da otobüs kullanımının oldukça yaygın olduğu özellikle yaz aylarında otobüs

beklerken gölge ve serin bir yer ihtiyacının ön plana çıktığı bir şehirdir. Her iki şehrin ortak özelliğe toplu taşıma sisteminde otobüs ve dolayısıyla durak kullanımının oldukça yoğun olması ve farklı mevsimlerde de olsa kapalı otobüs duraklarının kullanımının şart olmasıdır.



Şekil 1. Çalışma kapsamında seçilen iki farklı pilot kentin harita üzerindeki konumları

Çalışma kapsamında ilk olarak her iki şehirdeki açık ve kapalı otobüs durakları incelenmiştir. Yapılan incelemelerden açık durakların ya sadece bir levhadan ya da üstü, bir yanı veya arkasının kısmen kapalı olduğu bir tasarımdan oluştuğu belirlenmiştir. Yine incelemelerden her iki şehirdeki açık durak tasarımlarının geometrik ve belirleyici özelliklerinin birbirine oldukça benzediği görülmüştür. Yapılan bu gözlemler sonucu elde edilen bilgilere göre açık durak tasarımı konusunda ülkemizde, kullanımı yaygın bir tasarımın var olmasının etkili olduğu söylenebilmektedir. Her iki şehirdeki kapalı duraklar incelendiğinde ise her ne kadar aynı amaç için inşa edilmiş olsalar da geometrik ve belirleyici özelliklerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiş ve bu durum çalışmanın amacını daha da ön plana çıkarmıştır. Yapılan saha incelemelerinden, Antalya il merkezindeki kapalı otobüs duraklarını genel olarak 9.4 m² alana sahip olduğu ve yolcu hareketliliğinin fazla ya da az olduğu duraklarda bu alanının değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Kapalı durak sayısı sürekli olarak değişkenlik gösterdiği için bu çalışma içerisinde net bir sayı verilmemiştir. Antalya'daki kapalı duraklarda; genel olarak üç adet ikişerli koltukların (genellikle 8 kişilik), durak içerisinde yolcuların cep telefonlarını şarj edebilmeleri için 220 volt prizlerin, dijital bilgilendirme sistemlerinin, kışın ısıtma ve yazın ise soğutma için klima sistemlerinin bulunduğu

fakat bu havalandırma sistemlerinin verimli çalışmadıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca tüm kapalı duraklarda o duraktan geçen tüm otobüs hatlarının numaraları ve güzergâhlarına ait bilgilerin olduğu görsellerin olduğu belirlenmiştir. Antalya'daki kapalı otobüs duraklarına ait örnek görseller Şekil 2'de verilmiştir.

Benzer şekilde Gümüşhane il merkezindeki kapalı duraklar incelendiğinde ise kapalı otobüs durakların 7.5 m² ve 12.6 m² alana sahip oldukları ve yolcu hareketliliğinin fazla olduğu duraklara göre büyük ya da küçük alana sahip durak uygulamasının olduğu görülmüştür (Şekil 3). Küçük alana sahip duraklarda ise genel olarak iki adet üçerli veya dörderli (6-8 kişilik) ya da bütünleşik şekilde 10 kişilik koltukların, kışın ısıtma için havalandırma sistemlerinin mevcut olduğu ve bunlarında Antalya'da olduğu gibi ne yazık ki verimli çalışmadıkları gözlemlenmiştir. Durak içerisinde Antalya'daki durumun aksine şehirde farklı yöne giden otobüs hatları olmadığı için Antalya'daki gibi otobüs hatlarının numaraları ve güzergâhlarına ait bilgiler yerine reklam panoları bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında veriler, kullanıcıların kapalı duraklardan beklentilerini ve mevcut duraklar hakkındaki memnuniyetlerini, kullanıcıların belirleyici özelliklerine göre her iki şehirde kapalı otobüs duraklarını kullanan yolcularla yüz yüze yapılan anketler sonucu elde edilmiştir.



Şekil 2. Antalya kent merkezinde bulunan kapalı duraklara ait örnek görseller



Şekil 3. Gümüşhane kent merkezinde bulunan kapalı duraklara ait örnek görseller

Anketler iki bölüm olarak hazırlanmış olup ilk bölümde kullanıcıların belirleyici özelliklerinin ve durak kullanımı hakkındaki bazı bilgilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. İkinci bölümde ise kullanıcılara 22 sorudan oluşan ve 5'li likert ölçeği ile elde edilen değişkenler kullanılarak (1. Kesinlikle Katılmıyorum, 2. Katılmıyorum, 3. Kararsızım, 4. Katılıyorum, 5. Kesinlikle Katılıyorum) bir anket uygulanmış ve kapalı durak kullanıcılarının mevcut duraklar hakkındaki düşünce ve beklentilerini ölçmek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen şehirlerde toplam kapalı durak kullanıcı sayısı bilinmediği için örneklem sayıları (evrendeki eleman sayısı bilinmiyor) Denklem 1 yardımıyla belirlenmiştir.

$$n = \frac{t^2 \times p \times q}{d^2} \quad (1)$$

Burada;
 n: Örneklem alınacak birey sayısı
 t: Belirli serbestlik derecesinde ve saptanan yanılma düzeyinde t Çizelgesinde bulunan teorik değer ($\alpha = 0.05$ ve ∞ serbestlik derecesi için 1.96'dır)

p: İncelenen olayın görülüş sıklığı (olasılığı)
 q: İncelenen olayın görülmemiş sıklığı (olasılığı)
 d²: Olayın görülüş sıklığına göre yapılmak istenen + sapma

Çalışma kapsamında her iki şehirdeki duraklarda kullanıcı sayısının oldukça fazla olması nedeniyle durak kullanım oranının değişkenliği net olarak bilinmemektedir. Bu nedenle tahmin yaparken yanlılığı önlemek için $p=0.5$ (maksimum değişkenlik) değeri olasılık değeri olarak kullanılmıştır (Saphioğlu ve Aydın, 2018). Denklem 1 yardımıyla yapılan örnekleme hesabından her iki şehir için minimum değer olarak 385 kişi belirlenmiştir.

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.05}{0.05^2} = 385 \quad (2)$$

Çalışmada Antalya'dan 590 kişi, Gümüşhane'den ise 404 kişi ile farklı duraklarda yüz yüze anket yapılarak; durak kullanıcılarının belirleyici ve durak kullanım özelliklerine bağlı olarak her iki şehirden veriler toplanmıştır.

3. Bulgular

3.1. Tamamlayıcı Sonuçlar

Çalışma kapsamında yüz yüze yapılan anketler ile Antalya'dan 590, Gümüşhane'den ise 404 kişiye ulaşılarak toplam 994 kişiye ait anket verisi toplanmıştır. Yapılan analizlerden ankete katılan

durak kullanıcılarının yaş ortalaması 26.9 ± 10.5 olarak hesaplanmıştır. Yapılan anketlerde kapalı durak kullanıcılarının genel yaş perspektifini yansıtabilmek amacıyla minimum 11 yaş, maksimum 73 yaş aralığında farklı yaşlara sahip ve farklı cinsiyetteki kullanıcılara ulaşılmıştır. Verilerin analizi ile elde edilen bazı istatistiksel sonuçlar Tablo 1'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Ankete katılan durak kullanıcılara ait bazı özet istatistiksel bilgiler

Değişken Adı	Türü	Örneklem Boyutu	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kadın	406	40.8
	Erkek	588	59.2
Meslek	İşçi	157	15.8
	Memur	151	15.2
	Öğrenci	595	59.9
	Serbest Meslek	51	5.1
	Çalışmıyor	40	4.0
	Eğitim Durumu	İlköğretim	67
	Lise	414	41.6
	Önlisans	124	12.4
	Lisans	368	37.1
	Yüksek Lisans	14	1.4
	Doktora	7	0.6
Aylık Gelir	0-1000 TL	470	47.3
	1000-2000 TL	186	18.7
	2000-3000 TL	151	15.2
	3000-4000 TL	68	6.9
	4000-5000 TL	77	7.7
	5000 TL ve Üzeri	42	4.1
Ehliyet Sahipliği	Var	562	56.5
	Yok	432	43.5
Araç Sahipliği	Var	205	20.6
	Yok	789	79.3
Durağa Erişim Süresi	0-5 dk	457	46.0
	5-10 dk	404	40.7
	10-15 dk	112	11.2
	15 dk'dan fazla	21	2.1
	Durakta Bekleyen Ort. Kişi Sayısı	0-5 kişi	288
	5-10 kişi	520	52.3
	10-15 kişi	140	14.1
	15 kişiden fazla	46	4.6
Durakta Ortalama Bekleme Süreniz	0-5 dk	87	8.7
	5-10 dk	425	42.7
	10-15 dk	342	34.4
	15 dk'dan fazla	140	14.1
Ortalama Durak Kullanma Sıklığı	Günlük bazda en az bir kez	425	42.7
	Haftalık bazda en az bir kez	341	34.3
	Aylık bazda en az bir kez	228	22.9

Tablo 1 detaylı olarak incelendiğinde çalışma kapsamında farklı belirleyici özellikteki yolculara ulaşıldığı ve farklı kesimlerin görüşlerinin alındığı görülmektedir. Yapılan anket çalışması kapsamında ayrıca, kullanıcıların durak kullanım amacı ve durakta nasıl vakit geçirdikleri hakkında daha detaylı bilgi edinebilmek amacıyla çoklu (birden fazla) seçmeli sorularda yöneltilmiştir. Durak kullanım amacı için elde edilen çoklu

seçmeli sorulara ait sonuçlar Tablo 2'de, duraklarda mevcut durumda vakitlerini nasıl değerlendirdiklerini belirlemeye yönelik çoklu seçmeli sorulara ait elde edilen sonuçlar ise Tablo 3'te özetlenmiştir. Çoklu (birden fazla) seçmeli sorulara göre elde edilen sonuçlardan kapalı duraklarda en öncelikli amacın otobüs beklemek, bu tür duraklarda bekleyenlerin bekleme

esnasında zaman geçirmek amacıyla en fazla teknolojik aletlerle ilgilendikleri belirlenmiştir.

Tablo 2. Çoklu seçmeli sorularla elde edilen kapalı durak kullanım amacı

Cevaplar	Otobüs Bekleme	Otomobil Bekleme	Arkadaş Bekleme/Buluşma	Soğuktan/Sıcaktan Korunma	Dinlenme	Diğer	Toplam (Σ)
Otobüs Bekleme	899	35	50	61	47	-	1092
Otomobil Bekleme	35	28	-	2	-	-	65
Arkadaş Bekleme/Buluşma	50	-	24	-	-	-	74
Soğuktan/Sıcaktan Korunma	61	2	-	22	-	-	85
Dinlenme	47	-	-	-	13	-	60
Diğer	-	-	-	-	-	11	11
Toplam (Σ)	1092	65	74	85	60	11	1387

Tablo 2 incelendiğinde, örneğin durakta otobüs bekleyen 899 kişinin sadece otobüs beklemediği, duraklarda bazen otomobil (35 kişi) bazen arkadaş/bekleme (50 kişi), soğuktan/sıcaktan korunma (61 kişi) ve dinlenme (47 kişi)

amaçlarıyla da duraklarda bekledikleri görülmektedir. Benzer durum Tablo 3 için de geçerli olup Tablo 3 incelendiğinde kullanıcıların kapalı duraklarda nasıl vakit geçirdikleri üzerine elde edilen bilgiler verilmiştir.

Tablo 3. Çoklu seçmeli sorularla elde edilen kullanıcıların kapalı durakta nasıl vakit geçirdiklerine ait bilgiler

Cevaplar	Teknolojik aletlerle ilgilenme	Etrafı İzleme	Duraktakilerle Sohbet Etme	Kitap Okuma/Ders Çalışma	Diğer	Toplam (Σ)
Teknolojik Aletlerle İlgilenme	560	82	29	13	2	686
Etrafı İzleme	82	338	2	-	-	422
Duraktakilerle Sohbet Etme	29	2	42	-	-	73
Kitap Okuma/Ders Çalışma	13	-	-	14	0	28
Diğer	2	-	-	-	11	13
Toplam (Σ)	686	422	73	28	13	1223

3.2. Duraklar Hakkındaki Görüş ve Önerilerin Gruplandırılması

Çalışma kapsamında, kullanıcıların mevcut duraklar hakkındaki düşünce ve beklentilerini ölçmek amacıyla 5'li likert ölçeği ile elde edilen değişkenler kullanılarak (1.Kesinlikle Katılmıyorum, 2. Katılmıyorum, 3. Kararsızım, 4. Katılıyorum, 5. Kesinlikle Katılıyorum) hazırlanan sorular ile yapılan anket sonucu elde edilen veriler, faktör analizi ile irdelenmiştir. Hazırlanan 22 soru boyut indirgeyerek faktörler yardımıyla açıklanmaya çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te özetlenmiştir. Analizlerde, elde edilen verilerin faktör analizine uygunluğunu belirleyebilmek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değeri incelendiğinde bu değer 1'e yakın olduğu (KMO=0.839) yani verilerin faktör analizi için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Bartlett küresellik testi için test istatistiği=4911.206; P değeri (Sig.)=0.000 ve

varyans açıklama oranı=0.606 olarak hesaplanmıştır. P<0.01 olduğundan korelasyon matrisinin birim matrise eşit olduğu yokluk hipotezi reddedilmiş ve Bartlett testine göre de veri setinin faktör analizine uygun olduğu hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucu Türkiye'de kapalı durak kullanıcılarının mevcut duraklar hakkındaki düşünce ve beklentileri faktör yükü 0.40 alınarak 5 faktörlük bir ölçekle açıklanmıştır. Hazırlanan ölçeğin ne kadar güvenilir olduğunu belirlemek amacıyla Cronbach Alpha (Cronbach'Alpha=0.825) katsayısına bakıldığında bu değer 1'e yakın olduğu yani faktör analizi ile elde edilen ölçeğin güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 4 detaylı olarak incelendiğinde faktör analizi ile yapılan gruplandırmaya göre kapalı durak kullanıcıları, mevcut duraklar hakkında olumlu düşüncelere sahip olsalar da kullanıcıların duraklarda olmasını istediği diğer bazı özelliklerin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Analiz sonucuna göre kullanıcıların

duraklardan; kullanıcıları bilgilendirici, onların beklerken zaman geçirebilmesini sağlayan ve birçok ihtiyaca cevap verecek teknolojik bir altyapıya sahip olmasını istedikleri belirlenmiştir.

Ayrıca bazı kullanıcıların duraklarda kendilerince önemli gördüğü (gazete/kitap olması, yiyecek-içecek otomatı vb.) bazı özelliklerinde olmasını istedikleri görülmüştür.

Tablo 4. Kapalı durak kullanıcılarının mevcut duraklar hakkındaki düşünce ve beklentilerinin gruplandırılması

Faktör 1: Mevcut duraklar hakkındaki genel düşünce

(Varyans açıklama oranı: %17.46, Cronbach' Alpha=0.847)

F01: Duraklarda ısıtma ve havalandırma sisteminden memnunuz.

F02: Durakların görsel tasarımından/estetiğinden memnunuz.

F03: Duraklardaki oturaklar konforludur

F04: Duraklarda kapı sensörleri (el) hatasız çalışmaktadır.

F05: Duraklardan memnunuz.

F06: Durakların sayısından ve sıklığından memnunuz.

F07: Duraklarda kapı açılma-kapanma süreleri yeterlidir.

Faktör 2: Durakların bilgilendirici bir altyapıya sahip olması isteği

(Varyans açıklama oranı: %14.38, Cronbach' Alpha=0.815)

F08: Duraktan geçen otobüslerin güzergâh ve sefer saatlerini bilmeliyim

F09: Beklediğim otobüsün kaç dakika veya kaç durak öncesinde olduğunu bilmeliyim

F10: Beklediğim otobüsteki boş koltuk sayısını görebilmeliyim.

F11: Otobüslerin, gideceğim durağa tahmini varış süresini bilmeliyim.

Faktör 3: Durakların birçok ihtiyaca cevap verecek teknolojik bir altyapıya sahip olması isteği

(Varyans açıklama oranı: %12.54, Cronbach' Alpha=0.798)

F12: Telefon/Tabletime uygun ücretsiz şarj aleti bulunmalıdır.

F13: Durakta telefon/tablet şarj edebilmek için priz bulunmalıdır.

F14: Ücretsiz internet erişimi olmalıdır.

F15: Beklediğim esnada yaşadığım şehirle ilgili haberler ve güncel gelişmeleri izleyebileceğim dijital ekranlar olmalıdır.

Faktör 4: Durakların kapasitesi hakkındaki genel görüşler

(Varyans açıklama oranı: %10.29, Cronbach' Alpha=0.735)

F16: Duraklarda oturmak için boş yer bulabiliyorum.

F17: Duraklarda yoğun saatlerde kapalı alanda yer bulabiliyorum.

F18: Durak içleri yeterli kullanım alanına sahiptir.

Faktör 5: Duraklarda olması beklenen diğer bazı önemli özellikler

(Varyans açıklama oranı: %5.95, Cronbach' Alpha=0.691)

F19: Durakta Gazete/kitap vb. olmalıdır.

F20: Durak içerisinde ya da yanında yiyecek içecek otomat makinası olmalıdır.

F21: Duraklar ve durak çevresi yaşlı, engelli ve bebek arabalıları için uygun tasarıma sahip olmalıdır.

F22: Durakta kart satın alabileceğim ya da bakiye yükleyebileceğim elektronik makineler olmalıdır.

3.3. Kullanıcılar ve Durak Memnuniyetleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Çalışma kapsamında kapalı durak kullanıcılarının mevcut duraklardan memnuniyetleri ile kullanıcıların belirleyici ve durak kullanım özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Sıralı Logit Regresyon Analizi yapılmıştır. Analizlerde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler Tablo 5'te özetlenmiştir. Analiz sonucunda $P=0.000<0.01$ olduğundan tahmin edilen modelin anlamlı bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Modelde tek bir sürekli bağımsız değişken olduğu için rassal bağlantı sorunu olmadığı tespit edilmiştir. Modelde bir

spesifikasyon hatasının olup olmadığını incelemek amacıyla link testi yapılmıştır. Elde edilen hatsq (tahmin edilen değerlerin karesi) değişkenine ait katsayı istatistiksel olarak anlamsız olduğundan (katsayı=0.0996 ve $P=0.154>0.10$) tahmin edilen modelde herhangi bir model spesifikasyon (eksik ya da yanlış değişken) hatasının olmadığı görülmüştür. Paralel regresyon varsayımını incelemek amacıyla ise Olabilirlik Oran ve Bratt testleri yapılmıştır. Olabilirlik Oran testine ait sonuçlar irdelendiğinde test istatistiği 176.62 ve $P=0.132$ olarak hesaplanmıştır. $P=0.132>0.10$ olduğundan odds oranlarının bağımlı değişkenin düzeyleri arasında değişmediğini söyleyen yokluk hipotezi 0.10 yanılma düzeyinde kabul edilmiştir.

Yani oransal odds varsayımı ya da paralel regresyon varsayımı sağlanmıştır. Paralel regresyon varsayımı için diğer test olan Brant testi sonuçlarına göre Ki-kare test istatistiği 23.58 ve $P=0.111$ olarak hesaplanmıştır. $P=0.111>0.10$ olduğundan paralel regresyon varsayımının

sağlandığını ima eden yokluk hipotezi 0.10 yanılma düzeyinde kabul edilmiş ve paralel regresyon varsayımının bozulmadığı yani Logit Regresyon analizinin verilerin incelenmesi için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5. Sıralı logit regresyon analizinde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler ile elde edilen tahmin sonuçları

Bağımlı değişken: Memnuniyet Düzeyi:			
1.Hiç Memnun Değilim, 2.Biraz Memnunum 3.Kararsızım, 4.Memnunum, 5.Çok Memnunum			
Bağımsız Değişkenler	Katsayı	Odds Oranı	Marjinal Etki
Toplandığı Şehir			
Antalya	-1.678*** (0.000)	0.186*** (0.000)	-0.028*** (0.000)
Cinsiyet			
Kadın	0.175 (0.342)	1.192 (0.342)	0.002 (0.347)
Meslek			
İşçi	-0.084 (0.841)	0.919 (0.841)	-0.003 (0.839)
Memur	-1.382*** (0.000)	-0.251*** (0.000)	-0.030*** (0.009)
Öğrenci	-0.668*** (0.009)	-0.512*** (0.009)	-0.019*** (0.008)
Serbest meslek	-0.087 (0.321)	0.916 (0.321)	-0.003 (0.871)
Eğitim Durumu			
Lise	-0.303 (0.418)	0.738 (0.418)	-0.005 (0.475)
Önlisans	0.336 (0.461)	1.399 (0.461)	0.008 (0.451)
Lisans	-0.479 (0.218)	0.619 (0.218)	-0.008 (0.309)
Yüksek Lisans	-0.031 (0.968)	0.969 (0.968)	-0.001 (0.968)
Doktora	-1.342 (0.284)	0.261 (0.284)	-0.016 (0.144)
Gelir Düzeyi			
1000–2000 TL	0.129 (0.610)	1.137 (0.610)	0.002 (0.617)
2000–3000 TL	-0.072 (0.843)	0.930 (0.843)	-0.001 (0.841)
3000–4000 TL	-0.333 (0.507)	0.716 (0.507)	-0.005 (0.477)
4000–5000 TL	-0.291 (0.587)	0.747 (0.587)	-0.004 (0.562)
5000 üzeri TL	-0.175 (0.777)	0.838 (0.777)	-0.002 (0.765)
Erişim Süresi			
5 dk – 10 dk	0.134 (0.477)	1.144 (0.477)	0.002 (0.485)
10 dk – 15 dk	0.230 (0.454)	1.258 (0.454)	0.004 (0.488)
15 dakikadan fazla	0.494 (0.430)	1.639 (0.430)	0.009 (0.525)
Bekleyen Kişi Sayısı			
5 kişi – 10 kişi	-0.573*** (0.006)	-0.563*** (0.006)	-0.011*** (0.009)
10 kişi – 15 kişi	-0.665** (0.022)	-0.513** (0.022)	-0.012** (0.034)
15 kişiden fazla	-0.368** (0.023)	-0.691** (0.023)	-0.007** (0.037)
Ortalama Bekleme Süresi			
5 dk – 10 dk	-0.427 (0.187)	0.651 (0.187)	-0.010 (0.264)
10 dk – 15 dk	-0.764** (0.024)	-0.465** (0.024)	-0.016** (0.045)
15 dakikadan fazla	-0.917** (0.023)	-0.399** (0.023)	-0.018* (0.074)
Yaş	-0.016 (0.201)	-0.983 (0.201)	-0.000 (0.218)

1. N=994, LR Ki-kare=176.62 ($P=0.000$), Pseudo $R^2=0.1389$

2. Parantez içerisinde P değerleri verilmiştir (*:0.10; **:0.05; ***:0.01 yanılma düzeyinde anlamlıdır).

3. Toplandığı şehir için "Gümüshane", cinsiyet değişkeni için "Erkek", Meslek değişkeni için "Çalışmıyor", Eğitim değişkeni için "İlköğretim", Gelir değişkeni için "0-1000 TL", Erişim süresi değişkeni için "0-5 dk.", Bekleyen kişi sayısı değişkeni için "0-5 kişi", Bekleme süresi değişkeni için "0-5 dk." temel düzey şeklindedir.

4. Marjinal etkiler bağımlı değişkenin "Çok Memnunum" düzeyi için hesaplanmıştır.

5. Çoklu doğrusal bağımlı için, Maks. VIF=1

6. Model spesifikasyon hatası için Link testine göre hatsq=0.0996 $P=0.154$

7. Paralel regresyon varsayımı için, olabilirlik oran testine göre Ki-kare=176.62; $P=0.132>0.10$ ve Brant testine göre Ki-Kare=23.58, $P=0.111>0.10$. Paralel regresyon varsayımı 0.10 yanılma düzeyinde kabul edilmiştir.

Yapılan analizlerden Cinsiyet, Eğitim Durumu, Gelir Düzeyi, Durağa Erişim Süresi ve Yaş

değişkenlerinin katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($P>0.1$) yani kullanıcılara ait bu

özelliklerin durak memnuniyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Yine yapılan analizlerden Antalya’da kapalı durak kullanma değişkeni katsayısı -1.678 olarak hesaplanmıştır ve bu katsayı istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuç, Antalya’daki kapalı durak kullanıcılarının Gümüşhane’dekilere göre memnun olma olasılıklarının daha düşük olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde meslek değişkenine ait analiz sonuçları incelendiğinde, durak kullanıcılarının mesleklerinin “memur” ve “öğrenci” olması durumunda katsayılar sırasıyla -1.382 ve -0.668 olarak hesaplanmıştır. Bu katsayılar negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır (P<0.01). Bu durum memur ve öğrencilerin duraklardan memnun olma olasılıklarının hiç çalışmayan kullanıcılara göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca yapılan analizlerden işçilerin ve serbest mesleğe sahip olan kullanıcılara ait katsayıların istatistiksel olarak anlamsız olduğu (P>0.1) ve dolayısıyla kullanıcıların bu mesleklere sahip olmalarının durak memnuniyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Kullanıcıların durakta bekleme süresi değişkeni incelendiğinde ise durakta 5-10 dk. arasında bekleme süresine ait katsayının istatistiksel olarak anlamsız olduğu yani durak memnuniyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Durakta bekleyen kişi sayısı incelendiğinde ise, durakta bulunan kişi sayısı değişkenlerinin katsayılarının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu hesaplanmıştır (p<0.01). Bu sonuç, durakta bekleyen kişi sayısının artmasının kullanıcıların, duraklardan memnun olma olasılıklarının durakta ortalama kişi sayısının 0-5 kişi arasında olması durumuna göre daha düşük olduğunu göstermiştir. Durakta ortalama bekleme süresinin artması yani 10 dk.’dan daha fazla olmasına ait değişkenlerin katsayılarının negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu hesaplanmıştır (P<0.05). Bu durumda durakta ortalama bekleme süresi 10 dk.’dan fazla olan kullanıcıların duraklardan memnun olma olasılıklarının 0-5 dk. bekleyenlere göre daha düşük olduğunu ortaya koymuştur.

Her bir değişken için oransal odds oranları incelendiğinde ise kapalı durak kullanıcılarının yaşadığı şehir, meslek grubunun memur ve öğrenci olmasının, durakta bekleyen kişi sayısının ve durakta bekleme süresinin 10’dk ve daha fazla olmasına ait oranların istatistiksel olarak anlamlı olduğu hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Antalya’da yaşayan kapalı durak kullanıcıları için odds oranı 0.186 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca

göre, Antalya’da yaşayanların daha üst bir memnuniyette olma olasılığı Gümüşhane’de yaşayanların %18.6’sı kadardır. Örneğin, Antalya’da yaşayan ve “Kapalı duraklardan çok memnunum” şeklinde cevap veren bir kullanıcının Antalya’daki duraklardan memnun olarak kalma olasılığı Gümüşhane’deki kullanıcıların %18.6’sı kadardır. Benzer şekilde meslek grubunun memur ve öğrenci olması durumunda çalışmayan durak kullanıcılarına göre duraklardan memnun kalma olasılığı çalışmayan kullanıcılara göre daha azdır. Durakta bekleyen kişi sayısına göre durum incelendiğinde ise durakta ortalama bekleyen kişi sayısının 5 ve 5’ten büyük olması durumunda kullanıcıların duraklardan memnun kalma olasılığı durakta bekleyen kişi sayısının ortalama 5 kişiden az olması durumuna göre daha azdır. Kullanıcıların durakta ortalama bekleme süresine göre durum incelendiğinde ise durakta ortalama bekleme süresinin 10 dk.’dan fazla olması durumunda kullanıcıların duraklardan memnun kalma olasılığı durakta ortalama bekleme süresi 0-5 dk. arasında olanlara göre daha az olması beklenmektedir.

Sıralı Logit Regresyon ile ayrıca tahmin edilen olasılıklardaki değişimler marjinal etkiler olarak hesaplanmıştır. Yani bağımsız değişkenden bir birimlik artışın tahmin edilen olasılık üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kapalı durak kullanıcılarının yaşadığı şehir, meslek grubunun memur ve öğrenci olması, durakta bekleyen kişi sayısının ve durakta bekleme süresinin 10’dk ve daha fazla olmasına ait marjinal etkiler için katsayılar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Örneğin Antalya’da yaşayan kapalı durak kullanıcıları için marjinal etki katsayısı -0.028 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre, Antalya’da durak kullanıcısı olma durumundaki bir birimlik artış, mevcut duraklardan çok memnun olma olasılıklarını -0.028 birim azaltmaktadır. Benzer şekilde meslek grubunun memur ve öğrenci olmasındaki bir birimlik artış, mevcut duraklardan çok memnun olma olasılıklarını, katsayılarının negatif olmasından dolayı azalacaktır. Durakta bekleyen ortalama kişi sayısı ve bekleme süresine göre durum incelendiğinde ise durakta ortalama bekleyen kişi sayısının 5 ve 5’ten büyük olması ve durakta ortalama bekleme süresinin 10 dk.’dan fazla olması durumlarındaki bir birimlik artış yine duraklardan çok memnun olma olasılıklarını, katsayıların negatif olmasından dolayı azaltması beklenmektedir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Son yıllarda artan araç ve nüfusa bağlı olarak toplu taşıma kullanıcılarının dikkat çektiği en

önemli sorunların başında duraklara erişim ve durakların kötü fiziksel koşullara sahip olması gelmektedir. Belirtilen bu soruna çözüm bulabilmek ve toplu taşıma kullanımını daha da yaygınlaştırmak amacıyla topluma taşıma yetkilileri çok sayıda konforlu ve akıllı duraklar inşa etmekte ve kullanıcılara daha iyi koşullarda durakta bekleme olanağı sunmaya çalışmaktadır. Ülkemizdeki açık ve kapalı duraklar incelendiğinde, açık durak tasarımlarının geometrik ve belirleyici özelliklerinin birbirine oldukça benzediği görülmüştür. Yapılan bu gözlemler sonucu elde edilen bilgilere göre açık durak tasarımı konusunda ülkemizde kullanımı yaygın bir tasarımın olmasının etkili olduğu söylenebilmektedir. Ülkemiz şehirlerindeki kapalı duraklar incelendiğinde ise her ne kadar aynı amaç için inşa edilmiş olsalar da geometrik ve belirleyici özelliklerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu durum üzerinde, toplu taşıma sistemlerinin önemli bir parçası olan bu kapalı durakların, inşa edildiği şehrin belirleyici özelliklerine ve kullanıcıların beklentilerine göre değişiklik göstermesi oldukça etkilidir. Bu yüzden ülke genelinde tek bir kapalı durak tipi belirleyerek onu ihtiyaç duyulan şehirlerde uygulamak amacıyla ortak bir kapalı durak tasarımının oluşturulması ihtiyaç olan tüm şehirlerde durakların kalitesi konusunda bir birlikteliği sağlayabilmek açısından oldukça önemlidir.

Çalışma kapsamında mevcut kapalı durak kullanıcılarının, farklı hava koşullarına sahip, büyük ve küçük ölçekli şehirlerdeki mevcut kapalı duraklardan memnuniyetleri ile kapalı duraklarda olmasını bekledikleri özellikler incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre durak kullanıcılarının, kapalı duraklarda en öncelikli amaçlarının otobüs beklemek olduğu ve bekleme esnasında zaman geçirmek amacıyla en fazla teknolojik aletlerle ilgilendikleri belirlenmiştir. Hazırlanan ölçek sorularının faktör analizi ile gruplandırılması ile elde edilen sonuçlara göre ise kullanıcıların; durakların kullanıcıları bilgilendirici, onların beklerken zaman geçirebilmesini sağlayan ve birçok ihtiyaca cevap verecek teknolojik ve fiziksel bir altyapıya sahip olmasını istedikleri belirlenmiştir. Ayrıca bazı kullanıcıların duraklarda kendilerince önemli gördükleri (gazete/kitap olması, yiyecek-içecek otomatı vb.) bazı özelliklerinde olmasını istedikleri tespit edilmiştir. Kullanıcıların mevcut duraklardan memnuniyetleri ile kullanıcıların belirleyici ve durak kullanım özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılan Sıralı Logit Regresyon analizi sonuçlarına göre ise cinsiyet,

eğitim durumu, gelir düzeyi, durağa erişim süresi ve yaş değişkenlerinin durak memnuniyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Kapalı durak kullanıcılarının yaşadığı şehir, meslek grubunun memur ve öğrenci olmasının, durakta bekleyen kişi sayısının ve durakta bekleme süresinin 10'dk ve daha fazla olmasının durak memnuniyeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değişkenler olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizlerden kullanıcıların duraklardan beklentilerinin büyük farklılık göstermediği ve kullanıcılarının büyük bir kısmının özellikle durakların akıllı durak olması görüşünde ortak bir talebe sahip oldukları belirlenmiştir. Yine elde edilen sonuçlara göre kapalı durak kullanıcıları mevcut duraklardan memnun gibi görünse de yine de bu tür duraklarda olmasını bekledikleri bazı özelliklerin olduğu görülmüştür. Ülkemizde ihtiyaç olan tüm kapalı otobüs duraklarının aynı hizmet kalitesine sahip olmasının sağlanmasının kullanıcıların memnuniyeti ve toplu taşıma kullanımı konusunda, oldukça önemli olduğu bilinen bir durumdur. Bu amaçla çalışma kapsamında elde edilen anlamlı değişkenler göz önüne alınarak tasarlanan ortak bir kapalı durak modelinin oluşturulmasının; şehirlerde çok sık kullanılan durakların kalitesi konusunda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Çalışmaya olan değerli katkılarından dolayı yazarlar İnş. Müh. İsmail Furkan ÇOLAKOĞLU'na teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Akbaş, A. ve Akdoğan, E., 2001. İstanbul Kent İçi Trafik Kontrol Sistemi Üzerine Bir Durum Değerlendirmesi, İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu, 28-30 Haziran, İstanbul, Türkiye, 28-30.
- Ali, A.N., 2010. An Assessment of the Quality of Intra-Urban Bus Services in the City of Enugu, Enugu State, Nigeria. Theoretical and Empirical Researches in Urban Management, 6(15), 74-91.
- Ali, A.N., 2014. Assessment of Passenger Satisfaction with Intra-City Public Bus Transport Services in Abuja, Nigeria. Journal of Public Transportation, 17(1), 91-119.
- Aydın, M.M. ve Yıldırım, M.S., 2018. Bisiklet Paylaşım Sistemlerindeki Yolculuk Uzunluğu Üzerinde Etkili Parametrelerin İncelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 163-172.

- Bordagaray, M., dell'Olio, L., Ibeas, A. ve Cecin, P., 2014. Modelling User Perception of Bus Transit Quality Considering User and Service Heterogeneity. *Transportmetrica*, 2014(10), 705-721.
- Eboli, L. ve Mazzulla, G.A., 2009. A New Customer Satisfaction Index for Evaluating Transit Service Quality. *Journal of Public Transportation*, 12(3), 21-37.
- Fellessen, M. ve Friman, M., 2008. Perceived Satisfaction with Public Transport Service in Nine European Cities. *Journal of the Transportation Research Forum*, 47(3), 93-103.
- Hickman, R., Ashiru, O. ve Banister D., 2010. Transport and Climate Change: Simulating the Options for Carbon Reduction in London. *Transport Policy*, 17(2), 110-125.
- İlcalı, M., Camkesen, N. ve Kızıldağ, M., 2011. Kent içi Toplu Taşımada Verimliliğin Artırılması, 2.Toplu Taşıma Haftası 4.Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi (TRANSİST 2011), 1-2 Aralık, İstanbul, Türkiye, 1-2.
- Kamaruddin, R., Osman, I. ve Pei, C.A.C., 2012. Public Transport Services in Klang Valley: Customer Expectations and its Relationship Using SEM. *Procedia –Social and Behavioral Sciences*, 36, 431-38.
- Kaplan, H., 2010. Kentiçi Toplu Taşımada Durak Erişilebilirliği, Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi (TRANSİST 2010), 1-3 Aralık, İstanbul, Türkiye, 131-144.
- Kim, S., Ulfarsson, G.F. ve Hennessy, J.T., 2007. Analysis of Light Rail Rider Travel Behavior: Impacts of Individual, Built Environment and Crime Characteristics on Transit Access. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(6), 511-522.
- Murat, Y.S. ve Cakici, Z., 2017. Comparative Analysis of Public Transport Users' Perception Targeting Sustainable Transportation, in: Hermann Knoflacher, H. and Ocalir-Akunal E.V., (Eds.), *Engineering Tools and Solutions for Sustainable Transportation Planning*, IGI Global Publishing, Pennsylvania, USA, 4, 76-98.
- Murat, Y.S. ve Demirkollu, M., 2017. Determination of an Ideal Frequency of Daily Bus Trips with Goal Programming Method. *First International Turkish World Engineering and Science Congress*, 7-10 December, Antalya, Turkey, 18-20.
- Murat, Y.Ş., Kutluhan, S. ve Uludağ, N., 2014. Use of Fuzzy Optimization and Linear Goal Programming Approaches in Urban Bus Lines Organization, *Soft Computing in Industrial Applications*. Springer, 223, 277-287.
- Nehir, Y., 2009. İzmir'de Otobüs Duraklarının Etkin Kullanımları Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 180s.
- Oña, J.D., Oña, R.D. ve López, G., 2016. Transit Service Quality Analysis Using Cluster Analysis and Decision Trees: A Step Forward to Personalized Marketing in Public Transportation. *Transportation*, 43, 725-747.
- Saplıoğlu, M. ve Aydın, M.M., 2018. Choosing Safe and Suitable Bicycle Routes To Integrate Cycling and Public Transport Systems. *Journal of Transport & Health*, 10, 236-252.
- Shaaban, K. ve Khalil, R.F., 2013. Investigating the Customer Satisfaction of the Bus Service in Qatar. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104(2), 865-874.
- Tekin, S., Köfteci, S., Aydın, M.M. ve Yıldırım, M.S., 2018. Trip Optimization for Public Transportation Systems with Linear Goal Programming (LGP) Method. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences*, 36(4), 921-933.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2018. 2018 Yılı Nüfus İstatistikleri, Ankara, Türkiye.
- Tyrinopoulos, Y. ve Constantinos A., 2008. Public Transit User Satisfaction: Variability and Policy Implications. *Transport Policy*, 15(4), 260-272.
- United Nations (UN), 2014. World's Population Increasingly Urban with More than Half Living in Urban Areas, <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>.
- URL-1, <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>. 5 Mayıs 2019.
- Weng, J., Di, X., Wang, C., Wang, J. ve Mao, L., 2018. A Bus Service Evaluation Method From Passenger's Perspective Based on Satisfaction Surveys: A Case Study of Beijing, China. *Sustainability*, 10(8), 2723-2738.
- Wojuade, C.A. ve Badiora, A.I., 2017. Users Satisfaction with Public Transport Operations in Ibadan, Nigeria. *The Journal of Social Sciences Research*, 3(9), 88-96.
- Yaşar, A.B., 2009. Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Talep Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 82s.

Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Basalt and Carbon Fiber Reinforced Concrete

Behçet DÜNDAR*^{1,a}, Emriye ÇINAR^{1,b}, Servet PEŞİN^{1,c}

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, 80010, Osmaniye

• Geliş tarihi / Received: 09.03.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 15.06.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 10.09.2020

Öz

Bu çalışmada farklı lif çeşitleri kullanılarak üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Betonların üretiminde su/çimento oranı 0.55 ve çimento miktarı da 300 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Agrega olarak 0-4 mm tane büyüklüğüne sahip kırma kum ve 4-16 mm boyutlarına sahip kırma taş agregası kullanılmıştır. Lif çeşiti olarak bazalt ve karbon seçilip beton içerisine hacimce %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında ilave edilmiştir. Basınç dayanımı ve arşimet tartımları için 100x100x100 mm, eğilme dayanım tayini için 100x100x350 mm, böhme (aşınma) deneyi için 71x71x71 mm boyutlarında beton numuneleri üretilmiştir. Beton numuneleri arşimet, ultrases, böhme (aşınma), eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Beton numuneler kalıptan alındıktan sonra 7 ve 28 gün süre ile standart kür havuzunda kür edilmiştir. 7. günü dolduran beton numunelerinin basınç dayanımları ölçülmüştür. 28 günü dolduran numunelerin su emme yüzdesi, porozite ve birim hacim ağırlık, böhme deneyindeki ağırlık kayıpları gibi fiziksel özellikleri belirlenip, eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Lif oranının artmasıyla birlikte su emme ve porozite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ultrases geçiş hızları incelendiğinde bazalt lifi kullanılan numunelerde karbon lifi kullanılan betonlara oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik dayanımlarda ve aşınma dirençlerinde bazalt lifinin karbondan daha fazla direnç gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bazalt Lif, Karbon Lif, Lifli Takviyeli Beton

Abstract

In this study, physical and mechanical properties of concretes produced by using different fiber types were investigated. In the production of concrete, the water / cement ratio was kept as 0.55 and the cement amount was kept constant as 300 kg/m³. As aggregate, 0-4mm crushed sand and 4-16mm crushed stone aggregate were used. Basalt and carbon were selected as fiber type and 0.5%, 1%, 1.5% and 2% by volume were added to the concrete. Concrete samples with dimensions of 100x100x100mm for compressive strength and Archimedes weighing, 100x100x350mm for determination of flexural strength and 71x71x71mm for abrasion test were produced. Concrete samples were subjected to Archimedes, ultrasounds, abrasion, bending and pressure tests. The concrete samples were cured in the standard curing pool for 7 and 28 days after being taken from the mold. The compressive strength of the concretes filled on the 7th day were measured. The physical properties of the samples that were completed after 28 days such as water absorption percentage, porosity and unit volume weight, weight losses in bending test were determined and their flexural and compressive strengths were measured. Water absorption and porosity values increased with increasing fiber ratio. When the ultrasound transition rates were examined, it was observed that the samples using basalt fiber were higher than the concretes using carbon fiber. It has been observed that basalt fiber has more resistance than carbon in mechanical strength and abrasion resistance.

Keywords: Basalt Fiber, Carbon Fiber, Fiber Reinforced Concrete

*a Behçet DÜNDAR; behcetdundar@osmaniye.edu.tr, Tel: (0554) 583 43 06, orcid.org/0000-0003-0724-9496

^b orcid.org/0000-0002-9435-2935

^c orcid.org/0000-0000-0000-0000

1. Giriş

Çimento esaslı malzemeler çekme dayanımı açısından zayıf malzemeler olduğundan betonun kırılma bir davranışı sonucu çatlakların oluşması kaçınılmazdır (Hameed vd., 2010; Kaufmann 2013). Uygulanan yük betonun çekme dayanımını aştığında, farklı büyüklüklerde çatlaklar oluşur (Shah, 1992; Park vd., 2017). Ek olarak, betonun büzülmesi, erken aşamalarda çatlamaya ve daha sonra zararlı maddelere maruz kalma sonucu beton yapısının hizmet verilebilirliğinin kısılmasına neden olabilir (Afroughsabet vd., 2019). Beton karışımına lif eklenmesi, çatlak oluşumunu geciktirerek çatlak yayılımını engellediğinden betona süneklik kazandırır (Thomas, 2007; Alberti vd., 2017). Yüksek mukavemet, tokluk ve dayanıklılık için liflerle güçlendirilmiş yüksek performanslı betonlar geliştirilmiştir (Habel vd., 2006; Afroughsabet vd., 2016). Ayrık liflerin ilavesi, artan mekanik özelliklere sahip kompozitlerin imalatında uygun bir çözüm olarak kabul edilir ve bu sayede çatlakların yayılmasını kontrol eder (Biolzi vd., 2000; Biolzi vd., 2017). Aynı zamanda lifler, beton matrisinin sünekliğini arttırdığından eğilme deformasyonunu azaltabilir, fiziksel olarak büzülmeyi sınırlandırmaya katkıda bulunur veya çatlakları kontrol eder (Li vd., 2006). Bununla birlikte, lif takviyeli betonlarda lifin kazandırdığı süneklik, tokluk gibi kazandırdığı özellikler, lif tipi, lif elastik modülü ve lifin en boy oranı gibi önemli faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Barr vd., 2003) Son yıllarda yapılan araştırmalar, ayrık lif kullanımının mekanik yükler altında ani parçalanmalara karşı dayanımı ve sünekliği büyük ölçüde arttırdığını ve geleneksel betonarme elemanın nihai dayanım yükünü aşan yapısal bütünlüğü koruduğunu göstermiştir (Sicakumar ve Santhanam, 2004). Yeni tasarım ve teknoloji sayesinde, lif betonun kırılma tokluğunu, yorulma direncini, darbe dayanımını, eğilme dayanımı, ısıl çatlak direncini vb. iyileştirebileceğini ortaya koymaktadır. Bu iyileştirmenin büyüklüğü, kullanılan liflerin miktarına ve türüne bağlıdır (Craig 1987; Campione vd., 2006). Lifler çatlakları köprüleyerek betonun sünekliğini artırır. Liflerin köprüleme hareketi, çekme direnciyle ilgilidir ve elemanlarda dağıntık çatlaklara neden olur. Ayrıca, kompozitin yüksek çekme dayanımı ve çekme kapasitesi nedeniyle, boyuna çelik donatılarda yüksek çekme deformasyonları söz konusudur ve sonuç olarak elemanların yüksek sünekliğine ulaşmaktadır. Beton içerisinde kullanılan polipropilen, cam, aramid, bazalt ve karbon lif çeşidi bulunmaktadır. Bazalt lif, çevre dostu ve yüksek performanslı

özelliklere sahip ve birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kızılkanaat vd., 2015; Jiang vd., 2014; Branston vd., 2016). Bazalt lifi, çimento bağlayıcılı kompozitlerin kırılma enerjisinin yanı sıra eğilme dayanımı ve tokluğu artırabilir (Ralegaonkar vd., 2018). Karbon lifi, günümüzde yüksek dayanımlı, yüksek elastisite modüllü, hafifliği ve yüksek aşındırıcılık direncinin gibi özelliklerinden kaynaklı çimento esaslı malzemelerdeki kullanımı konusunda yoğun ilgi görmektedir (Chung, 2000; Gao vd., 2018). Bu çalışmada hem lif kullanımının hem de lif çeşidi farklılığının betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda lif çeşidi olarak bazalt ve karbon seçilmiştir. Betonların üretiminde net su/çimento oranı 0,55 ve çimento miktarı da 300 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Lif tipi olarak bazalt ve karbon seçilip beton içerisine hacimce %0,5, %1, %1,5 ve %2 oranlarında ilave edilmiştir. Lif takviyesi Beton numuneleri arşimet, ultrases, böhme(aşınma), eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Lif oranının artmasıyla birlikte su emme ve porozite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ultrases geçiş hızları incelendiğinde bazalt lifi kullanılan numunelerde karbon lifi kullanılan betonlara oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik dayanımlarda ve aşınma dirençlerinde bazalt lifinin karbondan daha fazla direnç gösterdiği gözlemlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Betonların üretiminde su/çimento oranı 0,55 ve çimento miktarı da 300 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Birim hacim için (1 m³) için gerekli olan malzeme miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Beton üretiminde üretimin de bağlayıcı olarak TS EN 197-1 (2012)'e uygun CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır ve özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Beton üretiminde 0-4 mm kırma kum ve 4-16 mm kırma taş kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kırma kumun deneylerde kullanım uygunluğu TS 706 EN 12620+A1 (2009) standartlarından kontrol edilmiştir. Betonda en büyük tane boyutu 16 mm olarak belirlenmiştir. İnce ve iri agreganın yüzey kuru suya doygun yoğunlukları sırasıyla 2.67 ve 2.70 g/cm³'dir. Kullanılan agregaların granülometrisi standartlara uygundur. Numune kodlaması yapılırken lif içermeyen beton numuneleri Ref. kısaltması ile ifade edilirken, lif takviyeli betonlarda kullanılan lifin ilk harfi ve yüzde oranı yazılacak şekilde kodlanmıştır (örneğin; B0.5: Bazalt lifinin %0.5

oranında kullanıldığı anlamına gelmektedir). Bazalt ve karbon olmak üzere iki çeşit lif kullanılmıştır. Kullanılan liflerin özellikleri üretici

firmalar tarafından temin edilmiştir. Temin edilen liflerin teknik özellikler Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 1. 1 m³ beton için gerekli malzeme miktarları

Numune Adı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)	Kim. K. (kg/m ³)	Karbon Lif (kg/m ³)	Bazalt Lif (kg/m ³)
Ref.	350	175	1030	845	3.5	0	0
B0.5	350	175	1030	845	3.5	0	4.54
B1.0	350	175	1030	845	3.5	0	9.08
B1.5	350	175	1030	845	3.5	0	13.62
B2.0	350	175	1030	845	3.5	0	18.16
K0.5	350	175	1030	845	3.5	4.54	0
K1.0	350	175	1030	845	3.5	9.08	0
K1.5	350	175	1030	845	3.5	13.62	0
K2.0	350	175	1030	845	3.5	18.16	0

Tablo 2. CEM I 42.5 R tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	CEM I 42.5R
CaO	64.7
SiO ₂	20.7
Al ₂ O ₃	5.55
Fe ₂ O ₃ (%)	2.9
MgO (%)	2.58
SO ₃ (%)	2.76
Diğer Özellikleri	
Kızdırma Kaybı (%)	3.26
Yüzey alanı (cm ³ /g)	3102
Hacim Genleşmesi (mm)	1
Priz Başı (dk)	260
Priz Sonu (dk)	300

Tablo 3. Bazalt lifin teknik özellikleri (URL1)

Teknik Özellikler	Bazalt Lif
Çekme Dayanımı	4840 Mpa
Elastisite Modülü	89 Gpa
Uygulama Sıcaklık limitleri	-260°C - +982°C
Erime Sıcaklığı	1450°C
Özgül Ağırlık	2.60-2.80 g/cc
Lif Çapı	9-23 mikron
Lif Uzunluğu	12 mm

2.2 Metot

2.2.1. Eğilme-Basınç Deneyi

Beton numunelerinin eğilme-basınç tayini deneyleri için, 100x100x100 mm ve 100x100x350 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. 24 saat

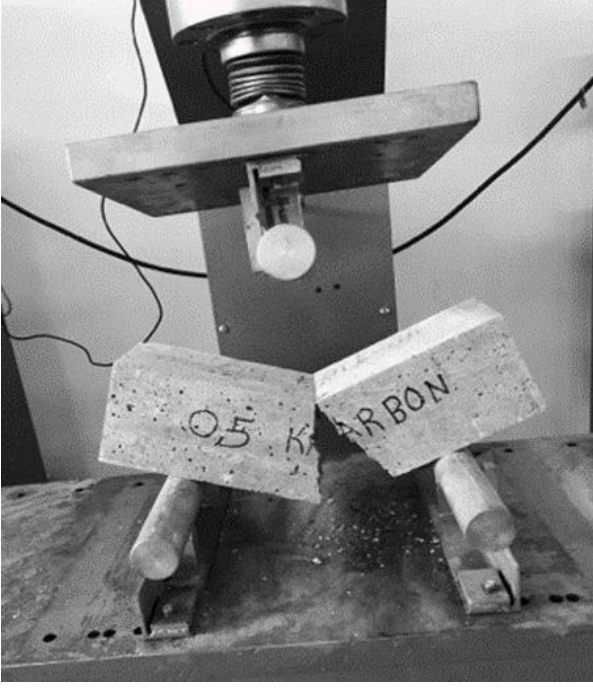
kalıpta prizini tamamlayan beton numuneleri kalıplardan çıkartılarak 7 gün süre ile kür edildikten sonra basınç dayanımı tayin edilmiştir. Kür havuzunda 28 gün süre ile kür edilen numunelerin hem basınç hem de eğilme dayanımları tayin edilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımları 200 ton kapasiteli TS EN 12390-4 (2019) standardına uygun cihaz aracılığı ile uygulanmıştır. Basınç dayanımı TS EN 12390-3 (2019) standardına göre eğilme dayanımı ise TS EN 12390-5 (2019) standardına göre belirlenmiştir.

Tablo 4. Karbon lifin teknik özellikleri (URL1)

Teknik Özellikler	Karbon Lif
Isıl iletkenlik	20 W/M*K
Germe Modülü	220-240 GPa
Germe Dayanımı	3450-4850 Mpa
Kopma uzaması	%1.6-2.2
Özgül Ağırlık	1.8 g/cm ³
Lif Çapı	5-8 µm
Lif Uzunluğu	12 mm

2.2.2. Böhme Deneyi

Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için TS 2824 EN 1338 (2005)'e uygun olarak kenar uzunlukları 71 mm olan küp biçiminde deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerde temas eden ve ona karşı gelen yüzü paralel ve düz olmalıdır. Deneylerde 20 g zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve çelik manivela aracılığı ile 294 N ile yüklenir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenir.



Şekil 1. Eğilme deneyi

Yeniden 20 g zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her numune için 22 devirden meydana gelen deney, numuneye 16 defa uygulanır. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra numune hassas terazide tartılır ve ağırlık kaybı not edilir.



Şekil 2. Böhme deneyi mekanizması

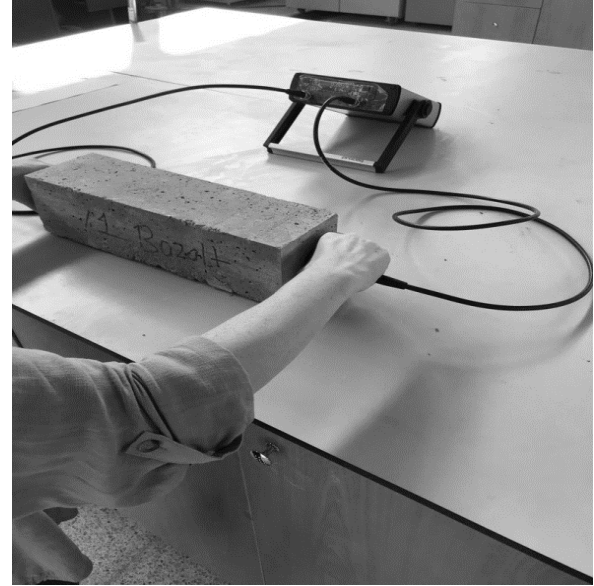
2.2.3. Arşimet Deneyi

Tüm seriler üzerinde arşimet prensibi ile çalışan terazi yardımıyla porozite ve su emme özellikleri TS EN 1170-6 (1999) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Beton numuneleri 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılıp tartının su içerisindeki sepete koyularak Arşimet Terazisi yardımıyla ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra yüzeyleri bir bez yardımı ile kurularak havadaki

ağırlıkları alınmıştır. Numuneler 110 °C'de etüvde 24 saat boyunca kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılmıştır. Ağırlık ölçümleri her seri için 3'er numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.

2.2.4. Ultrases Deneyi

Numunelerin ultrases geçiş hızı ölçümleri Şekil 3'deki Ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır. 28 gün standart kür havuzunda bekletilen numuneler etüv kurusu hale getirilerek ultrases deneyi TS EN 12504-4 (2004) standardına göre uygulanmıştır. Numunelerin iki yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçülüp, ölçüm yapılacak yüzeylerde hava boşluğunun kalmaması için ultrason jeli ile pürüzsüz olması sağlanmıştır. Propların (verici-almacı) arasına numune yerleştirilerek aynı hizaya getirilmiş ve cihaz çalıştırılmıştır. Cihazdaki ses dalgasının geçiş süresi kaydedilmiştir. Proplar arası ara mesafe ve kayıt aldığımız ses geçiş hızı yardımı ile formülde gerekli hesaplamalar yapılarak ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır.



Şekil 3. Ultrases Deneyi

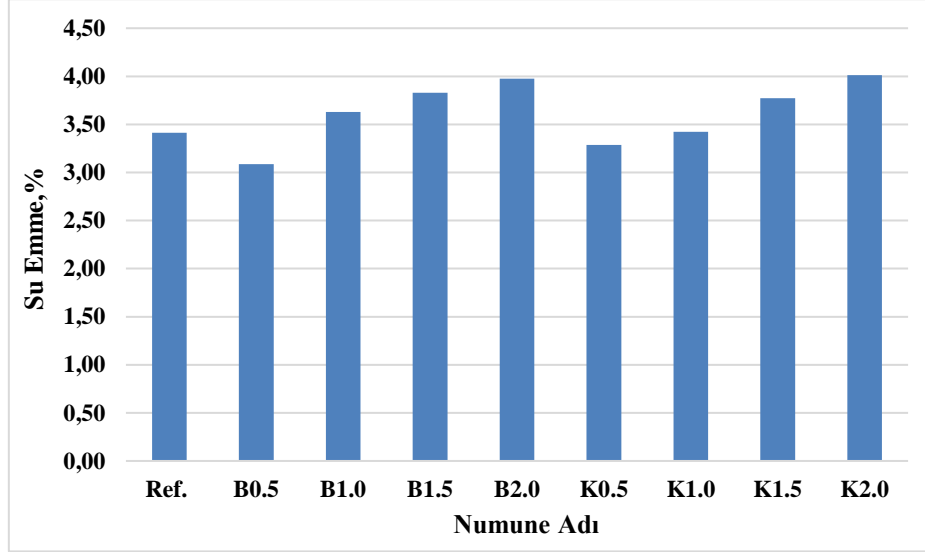
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fiziksel Özellikler

Bazalt ve karbon takviyeli beton numunelerinin su emme yüzdeleri Şekil 4'te verilmiştir. Bazalt lif %0.5 oranında ilave edildiğinde referans numuneye göre su emme yüzdesinde %9.38 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1, %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla

%6.45, %12.31 ve %16.42 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir. Karbon lif %0.5 oranında ilave edildiğinde referans numuneye göre su emme yüzdesinde %3,51 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1, %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla %0.29, %10.55 ve %17.59 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir.

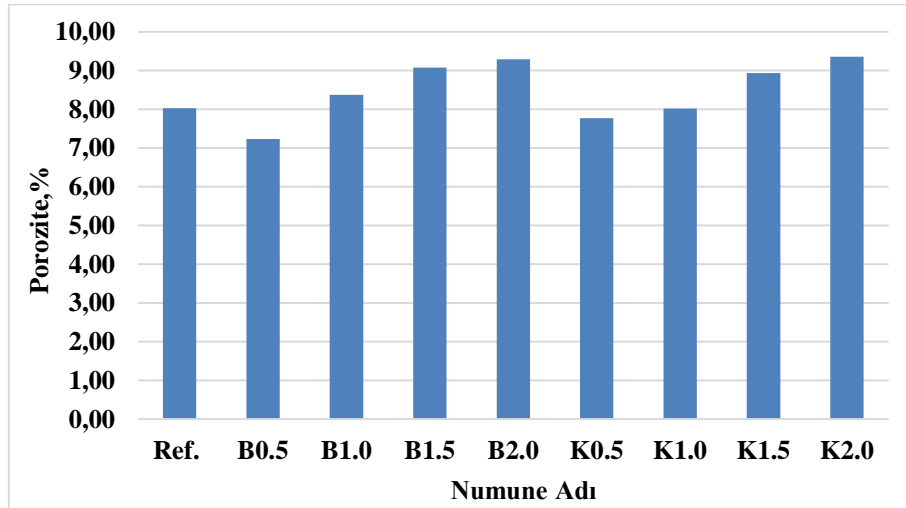
En fazla su emme yüzde değeri %4.01 oranında %2K numunesinde meydana gelmiştir. Lif oranının artışı ile birlikte daha boşluklu yapı meydana geldiğinden su emme değerleri de aynı doğrultuda artış göstermektedir. Bazaltın karbona oranla daha düşük su emme değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 4. Numunelerin su emme yüzde değerleri

Bazalt ve karbon takviyeli üretilen beton numunelerinin porozite yüzdeleri Şekil 5'te verilmiştir. Bazalt lif %0.5 oranında ilave edildiğinde referans numuneye göre su emme yüzdesinde %9.83 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1, %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla %4.35, %13.07 ve %15.69 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir. Karbon lif %0.5 ve %1 oranında ilave edildiğinde referans numuneye göre su emme yüzdesinde sırasıyla %3,11 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında

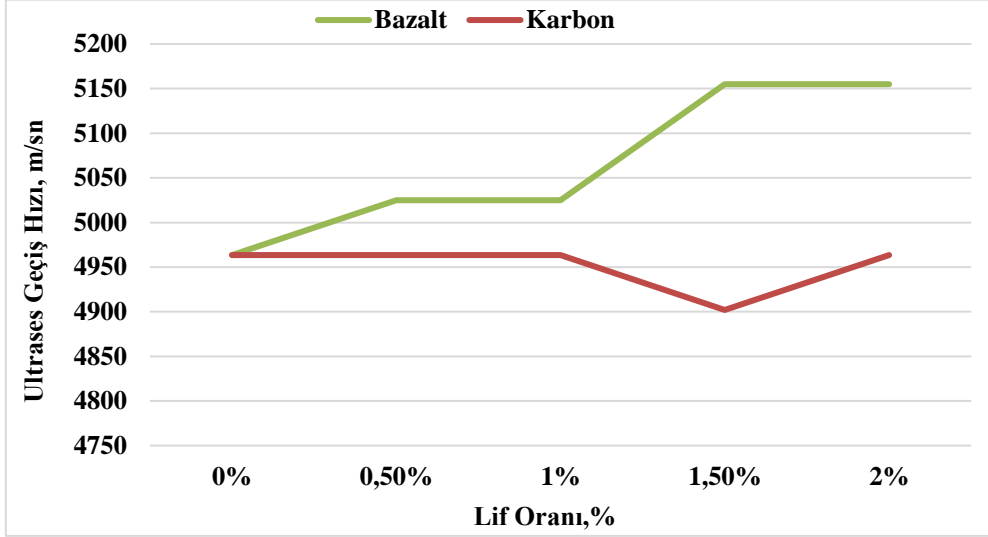
sırasıyla %11.33 ve %16.56 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir. En fazla porozite değeri %9.36 oranında %2K numunesinde meydana gelmiştir. Lif miktarının artmasıyla birlikte işlenebilirlikte meydana gelen güçlükler sonucun yerleşme problemi ortaya çıkmakta bundan kaynaklı boşluklu yapılar elde edildiğinden en fazla su emme değeri lif oranının en yüksek olduğu serilerde gözlemlenmiştir. Bazaltın karbona oranla daha düşük porozite değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 5. Numunelerin porozite yüzde değerleri

Bazalt ve karbon takviyeli üretilen beton numunelerinin ultrases geçiş hızları Şekil 6'da verilmiştir. Referans numuneye oranla lif ilavesi ile genel olarak ultrases geçiş hızlarının attığı görülmüştür. Ultrases geçiş hızı beton içerisindeki boşlukların bir göstergesi olarak kabul edilir (Yaşar vd., 2004). Lif kullanımı ile betondaki boşluk oranının azalması ile birlikte daha yüksek ultrases geçiş hızları elde edilmiştir. En yüksek

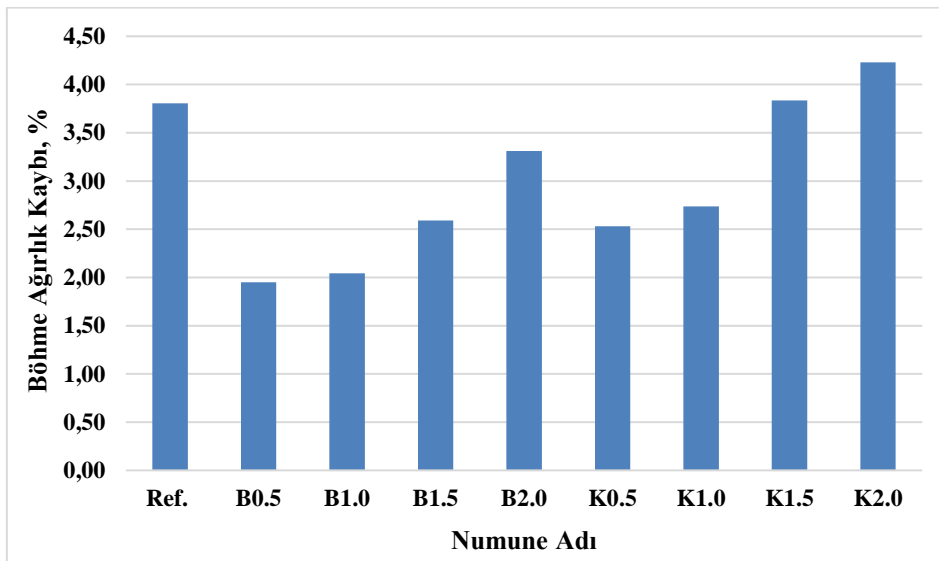
geçiş hızı %2 oranında bazalt lifi ilave edilen beton numunelerinde 5155 m/sn olarak ölçülmüştür. En düşük ultrases geçiş hızı %1.5 oranında karbon lifi ilave edilen betonlarda 4902 m/sn olarak ölçülmüştür. Bazalt lif kullanımında, karbon lif kullanımına göre daha yüksek ultrases geçiş hızları elde edilmiştir. Lif oranının artması ile bazalt lifinde karbon lifine oranla daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri

Üretilen beton numunelerinin 28 gün sonunda hesaplanan ağırlık kayıpları Şekil 7'de verilmiştir. Lif kullanımı sonucunda ağırlık kayıplarında azalma meydana gelmiştir. Lif kullanımının betonların aşınmaya karşı direncini arttırdığı bilinmektedir (Kabay, 2014). Bazalt lif %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında kullanıldığında ağırlık kayıpları sırasıyla %48.81, %46.45, %32.02 ve %13.12 oranlarında azalma meydana gelmiştir.

Karbon lif %0.5 ve %1 oranlarında kullanıldığında ağırlık kayıplarında sırasıyla %33.59 ve %28.08 oranlarında azalma olduğu, %1.5 ve %2 oranlarında kullanıldığında ağırlık kayıpları sırasıyla %0,52 ve %11.02 oranlarında artış görülmektedir. Bazalt lifinin kullanılması karbon lifinin kullanımına kıyasla aşınmaya karşı dirençli olduğu görülmüştür.

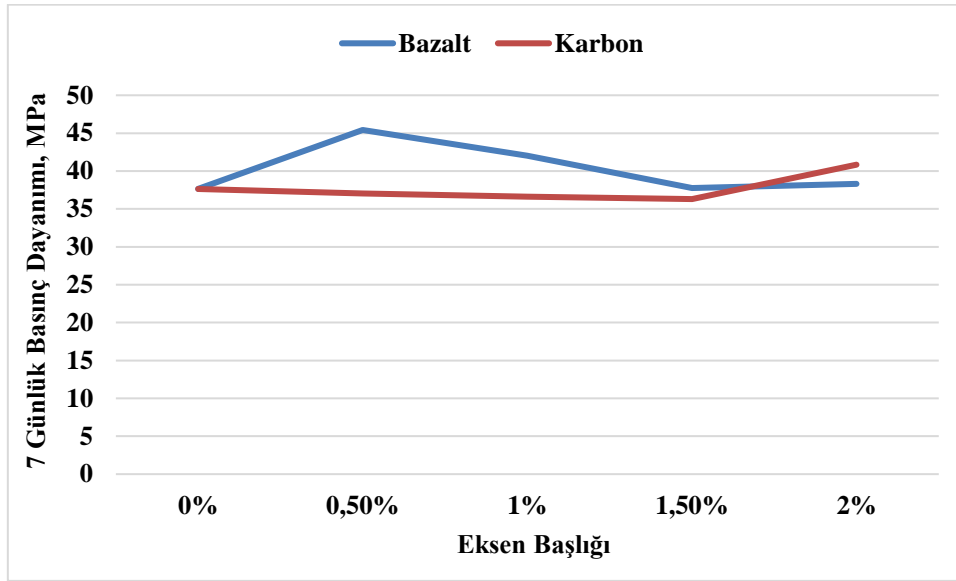


Şekil 7. Böhme ağırlık kaybı değerleri

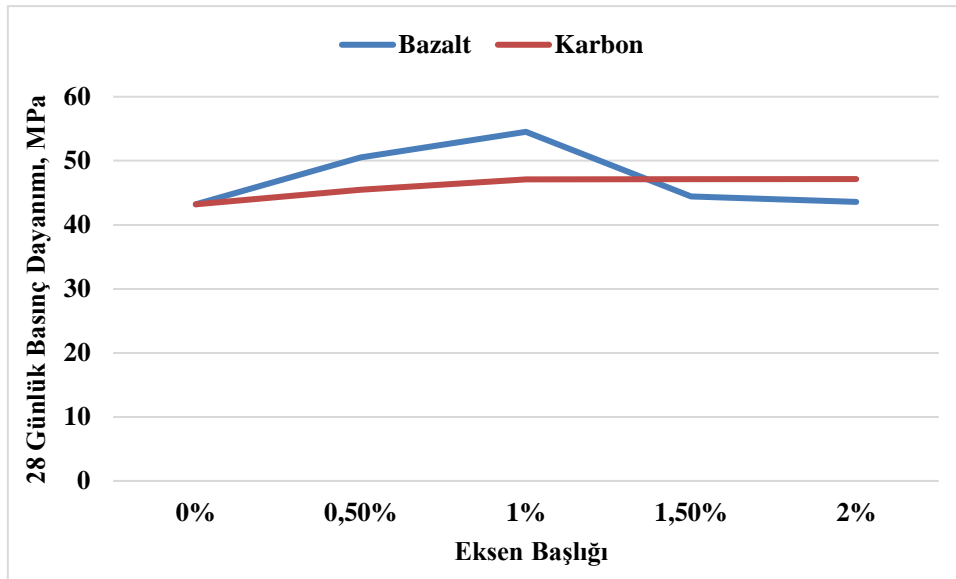
3.2. Mekanik Özellikler

Üretilen beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde bazalt lif takviyeli numuneler karbon lif takviyeli numunelere göre daha fazla dayanım sağladığı görülmektedir. Lif ilave oranları arttığında dayanım artışı meydana gelmiştir. En fazla 7 günlük basınç dayanımı %0.5 oranında bazalt lif takviyeli numunede 45.42 MPa değerinde meydana gelmiştir. Bazalt lifi kullanımında %0.5 oranında basınç dayanımında

artıştan sonra azalış meydana gelirken, karbon lif oranında bu artış %1.5 oranında kullanılması ile elde edilmiştir. Lifli kompozitler betonların basınç dayanımını arttırdığı ancak eğilme kadar önemli bir dayanım artışına sebep olmadığı bilinmektedir (Açıkgenç vd., 2015). Fiore ve ark. Yapılmış olduğu çalışmada bazalt lifinin oranının artması ile birlikte basınç dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir (Fiore vd., 2015). Deneylerden elde edilen basınç dayanımındaki meydana gelen düşük oranda artış literatür ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 8. Beton numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerleri



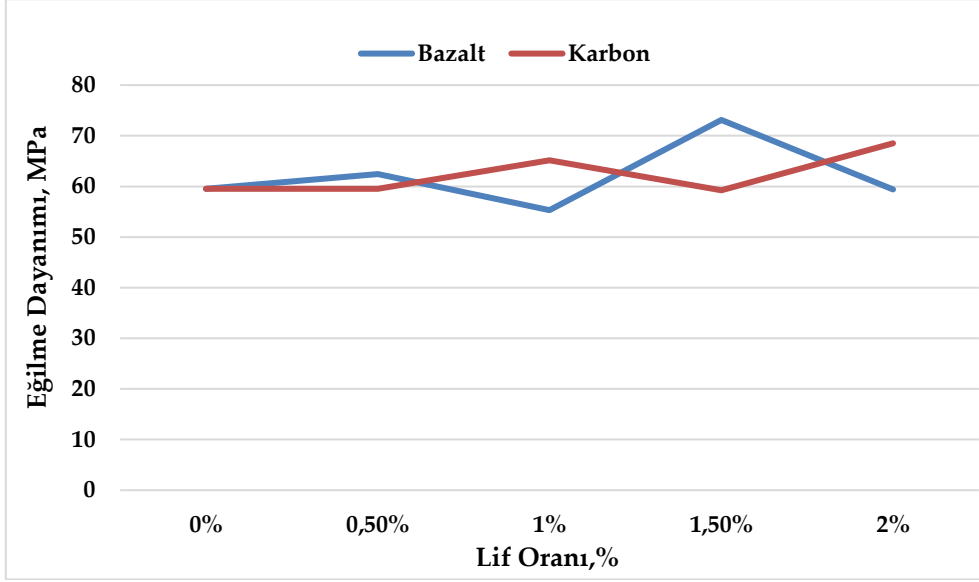
Şekil 9. Beton numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerleri

Üretilen beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımları Şekil 10'da verilmiştir. Lif takviyesi özellikle betonun eğilme dayanımını arttırmak

için kullanılmaktadır ve eğilme dayanımları incelendiğinde lif kullanımı ile eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir.

Numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde bazalt lif takviyeli numuneler karbon lif takviyeli numunelere göre daha fazla dayanım sağladığı görülmektedir. Lif ilave oranları arttığında dayanım artışı meydana gelmiştir. En yüksek eğilme dayanımı %1.5 oranında bazalt lifi takviyeli beton numunesinde 73.125 MPa olarak,

en düşük eğilme dayanımı ise lif içermeyen referans numunede meydana gelmiştir. Eğilme dayanımlarda artış lif takviyesi ile betonların maksimum eğilme dayanımıdır. Beton maksimum eğilme dayanımına ulaşınca çatlaklar, lifler devreye girer. Meydana gelen bu maksimum dayanım lifli kompozitin dayanımıdır (Mehta vd., 2006).



Şekil 10. Beton numunelerin 28 günlük eğilme dayanım değerleri

4. Sonuçlar

Bazalt ve karbon olmak üzere iki çeşit lif ilave edilen beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri incelendiğinde uygulanan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Bazalt lif %0.5 oranında ilave edildiğinde su emme yüzdesinde %9.38 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1, %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla %6.45, %12.31 ve %16.42 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir.
- Karbon lif %0.5 oranında ilave edildiğinde su emme yüzdesinde %3,51 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1, %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla %0.29, %10.55 ve %17.59 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir.
- Bazalt lif %0.5 oranında ilave edildiğinde su emme yüzdesinde %9.83 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1, %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla %4.35, %13.07 ve %15.69 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir.
- Karbon lif %0.5 ve %1 oranında ilave edildiğinde su emme yüzdesinde sırasıyla %3,11 oranında düşüş olduğu ancak lif oranının %1.5 ve %2 oranında kullanıldığında sırasıyla %11.33 ve %16.56 oranlarında artış yaşandığı gözlenmiştir.
- Referans numuneye oranla lif ilavesi ile genel olarak ultrases geçiş hızlarının attığı görülmüştür. Lif kullanımı ile betondaki boşluk oranının

azalması ile birlikte daha yüksek ultrases geçiş hızları elde edilmiştir.

- Bazalt lif kullanımında, karbon lif kullanımına göre daha yüksek ultrases geçiş hızları elde edilmiştir.
- Lif kullanımı sonucunda ağırlık kayıplarında azalma meydana gelmiştir.
- Bazalt lifinin kullanılması karbon lifinin kullanımına kıyasla aşınmaya karşı dirençli olduğu görülmüştür.
- Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde bazalt lif takviyeli numuneler karbon lif takviyeli numunelere göre daha fazla dayanım sağladığı görülmektedir. Lif ilave oranları arttığında dayanım artışı meydana gelmiştir.
- Lif takviyesi özellikle betonun eğilme dayanımını arttırmak için kullanılmaktadır ve eğilme dayanımları incelendiğinde lif kullanımı ile eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir.
- Numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde bazalt lif takviyeli numuneler karbon lif takviyeli numunelere göre daha fazla dayanım sağladığı görülmektedir.
- Sonuç olarak lif takviyeli betonlarda kullanılan bazalt lifinin karbon lifine göre daha iyi sonuçlar verdiği, ancak lif kullanımının hedeflendiği gibi özellikle eğilme ve aşınma dayanımlarını artırıcı etkisi görülmüştür.

Kaynaklar

- Açıkgenç, M., 2015. A Graphic Based Approach for the Mix Design of Steel Fiber Reinforced Concrete, Ph.D. Thesis, Firat University, Elazig, Turkey, p. 186 (in Turkish).
- Afrouhsabet, V., Biolzi, L. ve Ozbakkaloglu, T., 2016. High-performance Fiber-reinforced Concrete: A Review, *Journal of Materials Science*, 51(14) 6517–6551.
- Alberti, M.G., Enfedaque, A. ve Gálvez, J.C., 2017. Fibre Reinforced Concrete with A Combination of Polyolefin and Steel-hooked Fibres, *Composite Structures*, 171, 317–325.
- Barr, B., Hoseinian, S.B. ve Beygi, M.A., 2003. Shrinkage of Concrete Stored in Natural Environments. *Cement and Concrete Composites*, 25, 19–29.
- Biolzi, L., Cattaneo, S. ve Guerrini, G.L. 2000. Fracture of Plain and Fiber-reinforced High Strength Mortar Slabs with EA and ESPI Monitoring. *Applied Composite Materials*, 7, 1–12.
- Biolzi, L. ve Cattaneo, S., 2017. Response of Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete Beams: Experiments and Code Predictions. *Cement and Concrete Composites*, 77, 1–13.
- Branston, J., Das, S., Kenno, S.Y. ve Taylor, C., 2016. Mechanical Behaviour of Basalt Fibre Reinforced Concrete, *Construction and Building Materials*, 124, 878–886.
- Campione, G., Mendola, L.L. ve Papia M., 2006. Shear Strength of Fiber Reinforced Beams with Stirrups. *Structural Engineering and mechanics*, 24(1), 107–36.
- Chung, D.D.L., 2000. Cement Reinforced with Short Carbon Fibers: A Multifunctional Material. *Composites Part B: Engineering*, 31(6), 511–526.
- Craig, R., 1987. Flexural Behaviour ve Design of Reinforced Fiber Concrete Members, SP-105. American Concrete Institute, Detroit, 517-563.
- Fiore V, Scalici T, Di Bella G ve Valenza A., 2015. A Review on Basalt Fibre and Its Composites. *Composites Part B: Engineering*, 74, 74–94.
- Gao, J., Sha, A., Wang, Z., Hu, L., Yun, D., Liu, Z. ve Huang, Y., 2018. Characterization of Carbon Fiber Distribution in Cement-based Composites by Computed Tomography. *Construction and Building Materials*, 177, 134-147.
- Habel, K., Viviani, V., Denarié, E. ve Brühwiler, E., 2006. Development of the Mechanical Properties of an Ultra-high Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC), *Cement and Concrete Research*, 36(7) 1362–1370.
- Hameed, R., Turatsinze, A., Duprat, F. ve Sellier, A., 2010. A Study on the Reinforced Fibrous Concrete Elements Subjected to Uniaxial Tensile Loading. *KSCE Journal Civil Engineering*, 14, 547–556.
- Jiang, C., Fan, K., Wu, F. ve Chen, D., 2014. Experimental Study on the Mechanical Properties and Microstructure of Chopped Basalt Fibre Reinforced Concrete, *Materials & Design*, 58, 187–193.
- Kabay N. 2014. Abrasion Resistance ve Fracture Energy of Concretes with Basalt Fibre. *Construction and Building Materials*, 50, 95–101.
- Kaufmann, W. 1998. Strength and Deformations of Structural Concrete Subjected to InPlane Shear and Normal Forces. Report No. 234, Institute of Structural Engineering, ETH, Zurich.
- Kizilkanat, A.B., Kabay, N., Akyüncü, V., Chowdhury, S. ve Akça, A.H., 2015. Mechanical Properties and Fracture Behavior of Basalt and Glass Fiber Reinforced Concrete: An Experimental Study, *Construction and Building Materials*, 100, 218–224.
- Li, Z., Lara, M.A.P. ve Bolander, J.E., 2006. Restraining Effects of Fibers During Non-uniform Drying of Cement Composites. *Cement and Concrete Research*, 36, 1643–1652.
- Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M., 2006. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 3rd Edition. McGraw-Hill, New York.
- Park, J.J., Yoo, D.Y., Park, G.J. ve Kim, S.W., 2017. Feasibility of Reducing the Fiber Content in Ultra-high-Performance Fiber-reinforced Concrete under Flexure. *Materials*, 10, 118.
- Ralegaonkar, R., Gavali, H., Aswath, P. ve Abolmaali, S., 2018. Application of Chopped Basalt Fibers in Reinforced Mortar: A review, *Construction and Building Materials*, 164, 589–602.
- Sivakumar, A. ve Santhanam, M., 2007. Mechanical Properties of High Strength Concrete Reinforced with Metallic and Non-metallic Fibres. *Cement and Concrete Composites*, 29, 603–608.
- Shah, S.P., 1992. Do Fibers Increase the Tensile Strength of Cement-based Matrix? *ACI Materials Journal*, 88, 595–602.
- Thomas, J.A., 2007. Ramaswamy, Mechanical Properties of Steel Fiber-reinforced Concrete,

Journal of Materials in Civil Engineering, 19(5),
385–392.

- TS EN 197-1, 2012. Cement- Stage 1: General Cements – Component, TSE, Ankara Turkey.
- TS 706 EN 12620+A1 2009. Beton Agregaları, TSE, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390-4, 2019. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390-4, 2019. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 4: Basınç Dayanım Deney Makinelerinin Özellikleri, TSE, Ankara, Türkiye
- TS EN 12390-5 2019. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara Türkiye
- TS 2824 EN 1338, 2005, Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1170-6, 1999. Ön Yapımlı Beton Mamuller-Cam Elyaf Takviyeli Çimento (etc) Deney Metodu-Bölüm 6: Suya Daldırma Yoluyla Su Emme ve Kuru Yoğunluk Tayini, TSE, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12504-4 2004. Beton Deneyleri-Bölüm 4: Ultrases Geçiş Hızının Tayini, TSE, Ankara Türkiye.
- Yaşar, E., Erdogan, Y. ve Kılıç, A., 2004. Effect of Limestone Aggregate Type and Water-Cement Ratio on Concrete Strength. Materials Letters, 58 (5), 772-777.
- URL-1, <https://www.dostkimya.com/tr>. 05 Mart 2020.

Pasif Radar Uygulamalarında Çoklu Ardışık OFDM Kanalı Kullanımının Menzil Çözünürlüğüne Etkilerinin İncelenmesi

Effects of the Successive Multiple OFDM Channels on Range Resolution in Passive Radar Applications

Büşra KARANFİL^{1,a}, Burak TÜYSÜZ^{*,1,b}

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 04.01.2019

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 21.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 19.09.2020

Öz

Uzaktan cisim tespiti ve takibi yapabilen sistemlerin performansını arttırmak, kapsama alanını genişletmek ve maliyetini azaltmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Pasif radar sistemleri kapsama alanını maliyet etkin olarak arttırabilmek için iyi bir seçenektir. Pasif radarlar, kendilerine ait vericisi bulunmayan ancak ortamda hali hazırda var olan ticari vericileri kullanarak hedef tespit ve takibi yapan sistemlerdir. Bununla birlikte sistemlerin hedef tespit performansı kullanılan ticari vericinin sinyal özelliklerine göre değişmektedir. Sistemlerin integrasyon zamanına bağlı olarak Doppler çözünürlüğü değiştirilebilirken, menzil çözünürlüğü sinyalin bant genişliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu makalede, OFDM sinyallerini kullanan pasif radar sistemlerinde çoklu ardışık OFDM kanalı kullanımının menzil çözünürlüğüne etkileri incelenmiştir. Öncelikle OFDM tabanlı bir sinyalin benzetimi yazılım tabanlı radyo ile yapılmıştır ve öz-belirsizlik fonksiyonu analiziyle bu sinyalin menzil çözünürlüğü özellikleri incelenmiştir. Ardından ardışık kanallar eklenerek öz-belirsizlik fonksiyonu analiz edilmiş ve menzil çözünürlüğündeki değişimler gözlemlenmiştir. Ardışık beş OFDM kanalı kullanıldığında menzil çözünürlüğünün korelatif özelliklerini kaybetmeden %48 oranında iyileştirilebileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Belirsizlik Fonksiyonu, Menzil Çözünürlüğü, OFDM, Pasif Radar, Yazılım Tabanlı Radyo

Abstract

Studies are carried out to increase the performance of the systems that can perform remote object detection and tracking, to extend the coverage area and to reduce the cost. Many passive radar systems are a good candidate for cost-effective coverage. Passive radar systems are capable of target detection and tracking using commercially available commercial donors without their own transmitter. However, the target detection performance of the systems varies according to the signal characteristics of the commercial transmitter used. While the Doppler resolution of the systems can be changed depending on the integration time, the range resolution varies depending on the bandwidth of the signal. In this article, the effects of multiple consecutive OFDM channel usage on range resolution were investigated in passive radar systems using OFDM signals. First of all, using a software-based radio, an OFDM-based signal was simulated and the range resolution characteristics of this signal were analyzed by self-uncertainty function analysis. Then, sequential channels were added to analyze the self-uncertainty function and changes in range resolution were observed. Since five consecutive channels were used, it was observed that the range resolution could be improved by 42% without losing the correlative properties.

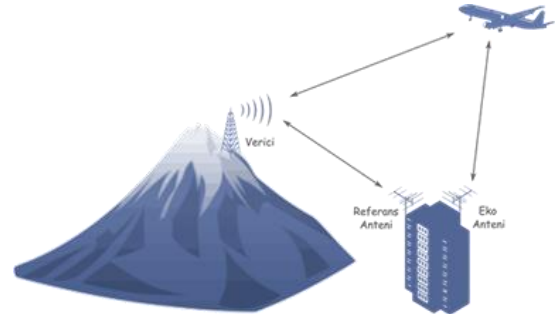
Keywords: Ambiguity Function, OFDM, Passive Radar, Range Resolution, Software Defined Radio

*b Burak TÜYSÜZ, burak.tuysuz@erdogan.edu.tr, Tel: (0464) 223 75 18, orcid.org/0000-0002-2053-3715

a orcid.org/0000-0001-7088-2553

1. Giriş

Gelişen teknolojiyle birlikte kablosuz cihaz kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu cihazlardan yayılan sinyaller frekans spektrumunda doluluğa sebep olmanın yanı sıra çevre ve insan sağlığını da olumsuz etkileyebilmektedir (Tüysüz ve Mahmutoğlu, 2017). Bu sebeple mevcut kablosuz vericiler kullanılarak yapılan hedef tespit ve takip uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Bu sistemlere en iyi örnek olarak bistatik radarların bir alt kolu olan pasif radarlar verilebilir. Bistatik radarlar, alıcı ve aydınlatıcı antenlerini farklı coğrafik konumlarda bulduran sistemlerdir. Bu sistemlerde hedef tespiti, aydınlatıcı sinyalin hedef üzerinden yansması ve bu yansımanın alıcı sistem tarafından izlenmesi ile yapılır. Bistatik radarların başlıca avantajları şunlardır. Alıcı sistem tamamen pasif durumda olduğu için konumu ve özellikleri tespit edilemez aynı zamanda alıcı sisteminin pasif olması maliyeti düşürür. Bu sistemler, hayalet uçaklara karşı daha dirençlidir, hayalet uçaklar yapısı gereği radar ışınlarını bistatik yöne doğru dağıtacaktır (Griffiths ve Baker, 2005a). Ayrıca mono statik radarı yenmek için geliştirilen teknolojiye karşı koymaktadırlar. Pasif radarlar ise kendisine ait vericisi olmayan ancak konumlandırıldığı ortamdaki vericileri kullanarak hedef tespit ve takibi yapabilen sistemlerdir (Tüysüz, 2018). Pasif radarlar ortamda bulunan kablosuz bağlantı alanı (Wi-Fi), küresel konumlama sistemi (GPS), mobil iletişim küresel takip sistemi (GSM), televizyon, radyo gibi vericilere ait sinyalleri kullanarak hedef tespit ve takibi yapabilmektedir (Lauri vd., 2007; Colone vd., 2012; Brisken vd., 2017; Milani vd., 2018). Bu sebeple tespit edilmeleri zordur ve gizlilik gerektiren hedef tespit ve takip uygulamalarında kullanılabilirler. Bu sistemler en temel haliyle ticari bir verici, bir referans anteni ve bir eko anteninden oluşmaktadırlar. Pasif radar sistemine ait en genel geometri Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi referans anteni vericiden yayılan sinyalleri toplamakla görevlidir. Vericiden yayılan sinyallerin hedeften yansıyan kopyaları ise sistemde bulunan bir diğer anten olan eko anteni tarafından toplanmaktadır. Bu sistemlerde hedef tespit ve takibi, referans anteni ve eko anteni tarafından toplanan sinyallerin karşılaştırılmasıyla yapılabilmektedir (Berger vd., 2010; Tüysüz vd., 2013).



Şekil 1. Pasif radar sistemine ait temel bir geometri.

Pasif radar sistemlerinde ortamda var olan vericilere ait sinyallerin menzil ve Doppler çözünürlüğü, hedef tespit performansını belirleyen en temel unsurlardır (Zheng ve Wang, 2017). Sistemin Doppler çözünürlüğü, hedef hızına bağlı olarak integrasyon süresi artırılarak geliştirilebilir. Menzil çözünürlüğü ise vericinin bant genişliği artırılarak iyileştirilebilmektedir. Ancak pasif radar sistemlerinde vericiler operatörün kontrolünde olmadığından bant genişliği artırılamamakta ve buna bağlı olarak menzil çözünürlüğü iyileştirilememektedir (Griffiths ve Baker, 2005b).

Literatürde çoklu ardışık kanalların kullanımını temel alan çalışmalar bulunmaktadır. Taşdelen ve Koymen (2006) tarafından yapılan bir çalışmada çoklu FM radyo kanallarının kullanımının menzil çözünürlüğüne etkileri incelenmiş ve olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir. Conti vd. (2012) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise çok kanallı DVB-T vericisi kullanılarak yüksek menzil çözünürlüğü sağlanmıştır. Lu vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ise çok kanallı GSM tabanlı bir pasif radar sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem hava hedeflerinin takibinin yapılmasına olanak sağlamıştır.

Bu çalışmada, özellikle Wi-Fi gibi kanalların birbiri ile örtüştüğü durumlarda birden fazla kanalın birlikte kullanılmasıyla menzil çözünürlüğünün iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Bu amaçla ilk olarak tek kanalda benzetimi yapılan OFDM sinyal kaynağına ait öz-belirsizlik fonksiyonu incelenmiştir. Ardından ardışık çok kanal kullanılarak benzetimi yapılan OFDM sinyal kaynağına ait öz-belirsizlik fonksiyonu ve menzil çözünürlüğündeki değişimler karşılaştırılmıştır.

Bu makalenin 2. bölümünde öz-belirsizlik fonksiyonu hakkında bilgi verilmiştir. 3. bölümünde ise yazılım tabanlı radyo kullanarak ardışık OFDM sinyallerinin üretimi gösterilmiştir. Devamında 4. bölümünde yazılım tabanlı radyo ile

üretilecek ardışık OFDM sinyallerinin öz-belirsizlik fonksiyonu grafikleri ve bunların menzil kesiti grafiklerinin analizi yapılmıştır. Son olarak 5. bölümünde ise sonuçlar paylaşılmıştır.

2. Öz-Belirsizlik Fonksiyonu

Radar sinyallerinin menzil ve Doppler çözünürlüğünün belirlenmesi için teorik formüllerden yararlanılabilir. Fakat pasif radar sistemlerinde fırsat vericisinin modülasyon içeriği sinyalin çözünürlüğünü değiştirmektedir. Bu yüzden sinyalin menzil ve Doppler çözünürlüğünün belirlenmesinde matematiksel bir araç olan öz-belirsizlik fonksiyonu kullanılmaktadır (Skolnik, 2007). Belirsizlik fonksiyonu Denklem (1)'de verilmiştir.

$$\chi(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s^*(t - \tau)e^{i2\pi f\tau} dt \quad (1)$$

Belirsizlik fonksiyonu denkleminde incelenen sinyal $s(t)$, zaman gecikmesi τ , Doppler kayması f ve karmaşık eşlenik $*$ ile ifade edilmektedir. Bu ifade ile sinyal içerisinde bulunan benzerlikler irdelenmektedir. Eğer sinyal kendi içerisinde benzersiz ise öz-belirsizlik grafiğinde sadece gecikmenin ve Doppler kaymasının sıfır olduğu $\chi(0,0)$ noktasında bir tepe oluşması, kalan tüm noktaların sıfır olması beklenmektedir. Bu durumda, ideal belirsizlik fonksiyonun şekli ters konumlandırılmış bir raptiyeye benzetilebilir. Merkezdeki bu noktanın menzil ve Doppler eksenlerindeki büyüklüğü, incelenen sinyalin menzil ve Doppler çözünürlükleri hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada oluşturulan OFDM sinyallerinin çözünürlük analizleri için öz-belirsizlik fonksiyonundan faydalanılmıştır.

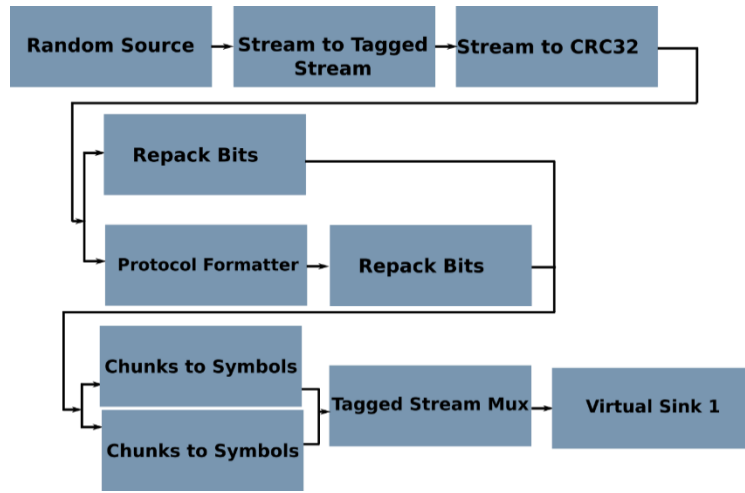
3. Yazılım Tabanlı Radyo İşlevleri

Son yıllarda birim sinyal işleme maliyetlerinin azalması ile giderek yaygınlaşan yazılım tabanlı radyo teknolojisi, radyo sinyallerinin dirençler, kapasitörler ve geri besleme devreleri gibi analog devre elemanları yerine sayısallaştırarak işlenmesi fikrini benimsemektedir. Böylece analog devre elemanlarının kullanımı sebebiyle oluşan maliyet giderilerek sistemlere esneklik kazandırılmaktadır.

Bu çalışmada, öz-belirsizlik fonksiyonu incelenen OFDM sinyallerinin üretilmesi, bu sinyallerin ardışık kanallara ayrılması ve dosyalanıp işlem yapılacak bilgisayara kaydedilmesi için GNU Radio yazılımı kullanılmıştır (Bloessl vd., 2013). GNU Radio, yazılım tabanlı radyo sistemlerini gerçekleştirmek için sinyal işleme blokları sağlayan, ücretsiz, açık kaynaklı bir yazılım geliştirme araç setidir (URL-1, 2018). Aynı zamanda herhangi bir donanıma ihtiyaç duymadan kullanılabilmesi sistemlere esneklik kazandırmaktadır.

OFDM sinyallerinin GNU Radio yazılımı kullanılarak üretimi Şekil 2'de ve OFDM vericisi oluşturulması Şekil 3'te verilmektedir. Şekil 2'den görülebileceği gibi öncelikle 'Random Source' bloğu kullanılarak rastgele sinyal oluşturulmuştur. Oluşturulan sinyal 'Stream to Tagged Stream' bloğuna gönderilmiştir ve bu blok ile akışın etiketlenmesi sağlanmıştır. Burada etiketlenen sinyal 'Stream CRC32' bloğuna gönderilerek bayt akışlı sinyal elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise sanal kaynaktan 'Repack Bits' bloğuna gönderilmiştir. Bu blok ile hiçbir bit kaybolmadan girdi akışın bitleri ile çıkış bitleri yeniden paketlenmiştir. Son olarak 'Tagged Stream Mux' bloğu ile her bir akış paket uzunlukları ile etiketlenmiştir ve bu bloğun çıkışında elde edilen sinyal tüm akışların uzunluk etiketlerinin toplamına sahip olan yeni bir uzunluk etiketine sahip olmuştur. Bu işlemler sonucunda OFDM sinyalinin üretimi tamamlanmıştır ve oluşturulan sinyal, 'Virtual Source 1' olarak OFDM vericisinin oluşturulduğu bloklar dizinine gösterilmiştir.

Sonraki aşamada 'Virtual Source 1' olarak gönderilen sinyal 'OFDM Carrier Allocator' bloğu ile OFDM vericisinde Ters Fourier Dönüşümü (IFFT) için girdi olan vektörlere dönüştürülmüştür. Aynı zamanda bu blok ile sinyalin pilot sembolleri eklenmiştir. Son olarak, 'FFT' bloğu ile Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak aralarında boşluk bırakılmış ve OFDM sinyali elde edilmiştir. Uygulanan bu işlemler sonucunda sinyal vericiden yayılan bir OFDM sinyali haline getirilmiştir. GNU Radio ile oluşturulan bu OFDM sinyali 22 MHz bant genişliğine sahiptir.



Şekil 2. OFDM sinyali üretimi GNU Radio blok diyagramı.

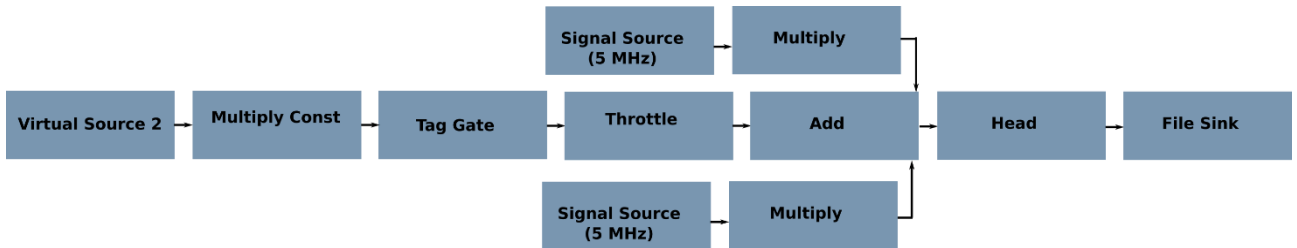


Şekil 3. OFDM vericisi GNU Radio blok diyagramı.

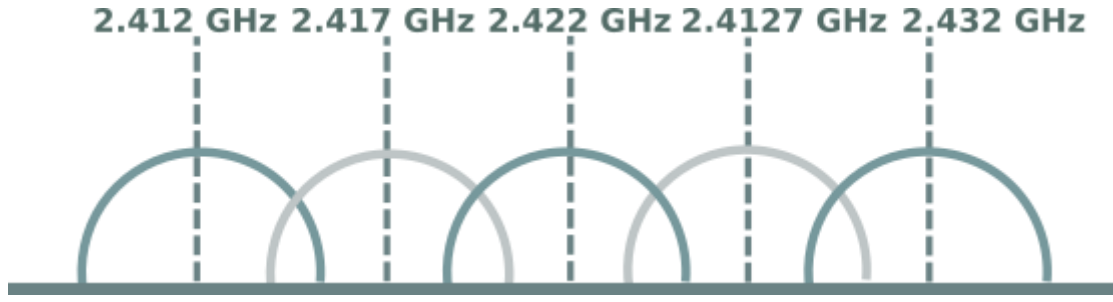
Oluşturulan OFDM sinyallerinin kanallara ayrılması ve dosyalanması için kullanılan GNU Radio yazılımı blok diyagramı Şekil 4'te gösterilmektedir. Burada, 'Virtual Source 2' bloğundan iletilen sinyal taşıyıcı frekansı +5 MHz ve taşıyıcı frekansı -5 MHz olan sinyal kaynaklarıyla 'Multiply' bloğu kullanılarak çarpılmıştır. Böylelikle ardışık üç kanallı OFDM sinyali üretilmiştir. Ardışık beş kanallı OFDM sinyali elde etmek için ise 10 MHz ve -10 MHz frekanslara sahip sinyal kaynakları sisteme eklenerek çarpılmıştır. Ardından elde edilen OFDM sinyalleri belirlenen süre boyunca dosyalanmış ve öz-belirsizlik fonksiyonu

analizlerinin yapılabilmesi için 'File Sink' bloğu kullanılarak ilgili birimde kayıt altına alınmıştır. Oluşturulan OFDM sinyallerinin WiFi sinyali olduğu varsayıldığında bu işlemler sonucunda oluşacak frekans spektrumu Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu sinyallerinin, çoklu kanal ile kullanımında kanalların bant genişliği Denklem (2)'de verildiği gibi hesaplanmıştır. Buna göre tek kanalda 22 MHz bant genişliği elde edilirken, ardışık üç OFDM kanalı kullanıldığında bant genişliği 32 MHz olmuştur. Ardışık beş kanal kullanımında ise bant genişliği 42 MHz olmaktadır.

$$\text{Bant Genişliği} = 2 \times \left(\left(\frac{\text{Kanal Sayısı} - 1}{2} \right) \times (\text{taşıyıcı sinyal frekansı}) \right) + \left(\frac{\text{Tek Kanal Bant Genişliği}}{2} \right) \quad (2)$$



Şekil 4. Dosyalama işlemi için kullanılan GNU Radio blok diyagramı.



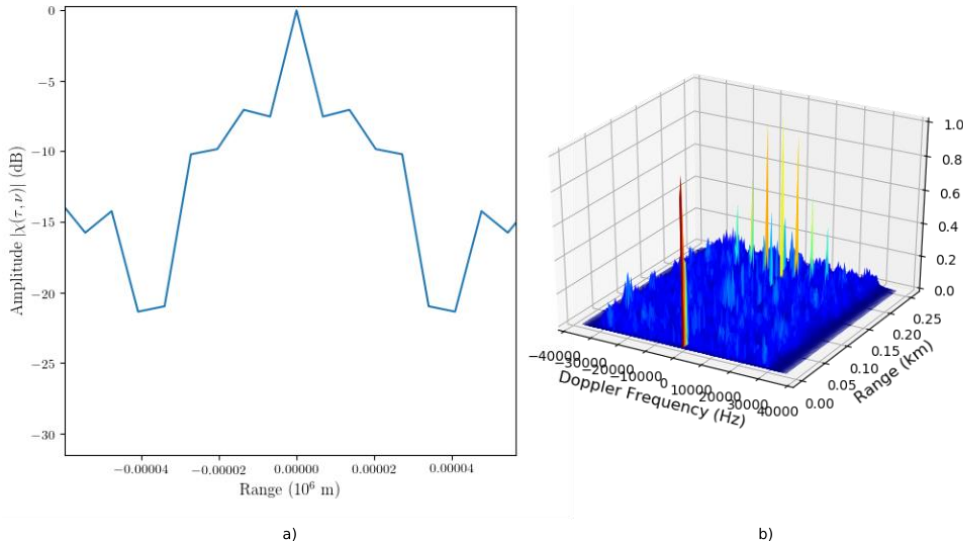
Şekil 5. Benzetimi yapılan ardışık OFDM kanallarının frekans spektrumu gösterimi.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Öz-Belirsizlik Fonksiyonu Analizleri

Bu bölümde oluşturulan OFDM sinyallerinin öz-belirsizlik fonksiyonları incelenerek menzil çözünürlükleri karşılaştırılmıştır. Tüm verilerin öz-belirsizlik fonksiyonunun analizinde integrasyon zamanı 0.1 saniye olarak kullanılmıştır. İlk olarak tek kanallı bir OFDM sinyalinin öz-belirsizlik fonksiyonu incelenmiştir. Bu sinyalin 3 boyutlu öz-

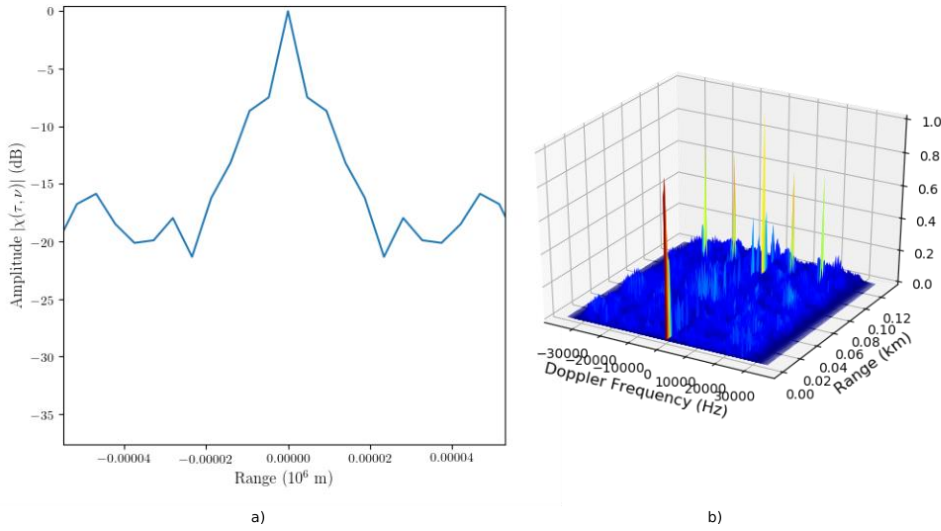
belirsizlik fonksiyonu grafiği ve menzil kesiti Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere ideal belirsizlik fonksiyonu tanımında olduğu gibi $\chi(0,0)$ noktasında bir tepe oluşmuştur. Aynı zamanda beklenildiği gibi OFDM kodlama şeması nedeniyle başka pikler de oluşmuştur. Menzil kesitinden de görülebileceği gibi 22 MHz bant genişliği ve 0.1 saniye integrasyon süresine sahip tek bir OFDM kanalı için menzil çözünürlüğü yaklaşık 35 metre olmuştur.



Şekil 6. 22 MHz bant genişliğine sahip tek kanallı OFDM sinyallerinin 0.1 saniye integrasyon süreli öz-belirsizlik fonksiyonu grafiği. (a) Menzil kesiti. (b) Öz-belirsizlik fonksiyonu.

Ardından ardışık üç kanallı OFDM sinyali elde etmek için tek kanallı sinyal taşıyıcı frekansı +5 MHz ve taşıyıcı frekansı -5 MHz olan sinyal kaynaklarıyla çarpılmıştır. Tek kanalda yapılan analize benzer şekilde 0.1 saniyelik integrasyon süresi için öz-belirsizlik fonksiyonu ve menzil kesiti Şekil 7'de verilmiştir. Ardışık üç kanallı OFDM sinyalinin menzil kesiti incelendiğinde $\chi(0,0)$ noktasındaki bükülmelerin tek kanallı sinyale göre azaldığı görülmektedir. Bu durumda

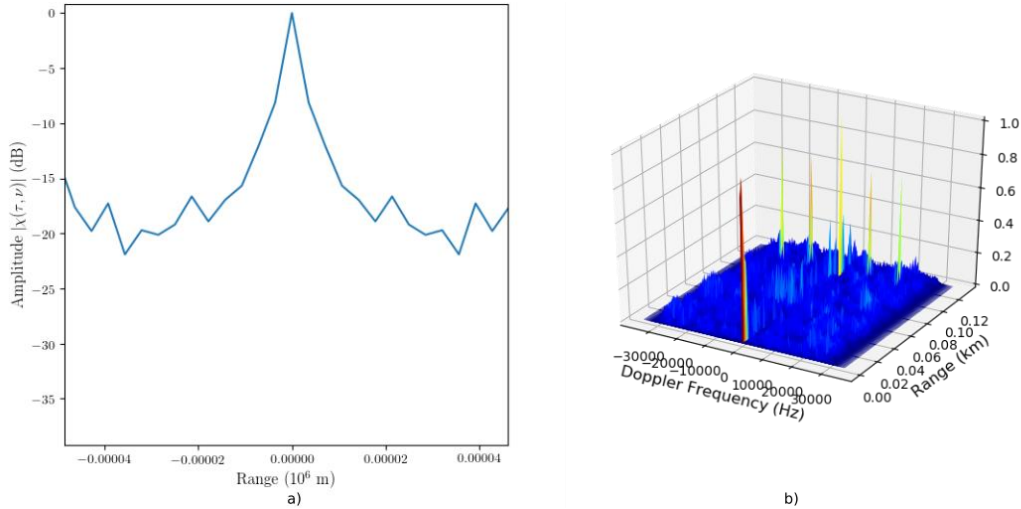
menzil çözünürlüğü yaklaşık 22 metredir. Tek kanallı OFDM sinyali ile kıyaslandığında ardışık üç kanallı sinyal kullanıldığında menzil çözünürlüğünde belirgin bir iyileşme görülmektedir. Sinyalin öz-belirsizlik fonksiyonu grafiği incelendiğinde ideal belirsizlik fonksiyonu yapısının korunduğu görülmektedir. Bununla birlikte OFDM kodlama örnekleri nedeniyle yan tepeliklerin gücünde artış olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 7. Ardışık üç kanallı 32 MHz bant genişliğine sahip OFDM sinyalinin öz-belirsizlik fonksiyonu grafiği. (a) Menzil kesiti. (b) Öz-belirsizlik fonksiyonu.

Son olarak menzil çözünürlüğündeki değişimleri daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla ardışık beş kanallı OFDM sinyali ile analiz yapılmıştır. Bu durumda bant genişliği 42 MHz'dir. Sinyalin 0.1 saniyelik integrasyon süresi için öz-belirsizlik fonksiyonu ve menzil kesiti grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Bu grafiğe göre menzil kesiti yaklaşık 17 metredir. Tek kanallı ve ardışık üç kanallı OFDM sinyallerin menzil kesitlerinde -5 dB, -10 dB arasında görülen bükülmelerin ardışık beş kanallı OFDM sinyali kullanıldığında ortadan kalktığı görülmektedir. Tek kanallı sinyal ile

karşılaştırıldığında ardışık beş kanal ile menzil çözünürlüğü yaklaşık %48 oranında iyileştirilmiştir. Aynı zamanda öz-belirsizlik fonksiyonu grafiği incelendiğinde grafiğin ters duran bir raptiyeye benzediği, ideal belirsizlik fonksiyonu yapısının korunduğu görülmektedir. Bunların yanında belirsizlik fonksiyonunda oluşan yan tepeliklerin gücünde artış olduğu da görülmüştür. Fakat bu oluşan yan tepeliklerin arındırılması çeşitli sinyal işleme algoritmaları kullanılarak kolaylıkla sağlanabilir (Tao vd., 2012).



Şekil 8. Ardışık 5 kanallı 42 MHz bant genişliğine sahip OFDM sinyalinin öz-belirsizlik fonksiyonu grafiği. (a) Menzil kesiti. (b) Öz-belirsizlik fonksiyonu.

5. Sonuçlar

Kablosuz vericilerin artması elektromanyetik kirliliğe neden olmakta ve frekans spektrumunu her geçen gün doldurmaktadır. Frekans spektrumunu verimli bir şekilde ayırtmak için bazı bilimsel

yaklaşımlar vardır ancak uygulama olanakları şu anda sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, kablosuz vericileri başka amaçlarla çevreye yaymadan kullanmak önemlidir. Pasif radarlar bu kullanımın iyi bir örneğidir. Ancak bu tür sistemler vericinin menzil çözünürlüğüne bağlıdır.

Bu çalışmada, pasif radar sistemlerinde ardışık OFDM kanalı kullanılarak sinyalin bant genişliği artırılmıştır ve bu durumun menzil çözünürlüğüne etkileri incelenmiştir. İlk olarak bir OFDM vericisinin benzetimi yazılım tabanlı radyo kullanılarak yapılmıştır ve sinyalin menzil çözünürlüğü araştırılmıştır. Ardından ardışık OFDM kanalları eklenerek menzil çözünürlüğündeki iyileşme gözlemlenmiştir. Tek kanal, üç kanal ve beş kanallı OFDM sinyalleri kullanıldığında elde edilen menzil çözünürlükleri Tablo 1’de verilmektedir. Tek kanallı bir OFDM sinyalinin menzil çözünürlüğü Tablo 1’den de görüldüğü üzere 35 metredir. Ardışık beş OFDM kanalı kullanılarak menzil çözünürlüğünün %48 oranında artırabileceği görülmüştür. Bununla birlikte OFDM kodlama örnekleri nedeniyle öz-belirsizlik fonksiyonunda yan tepeliklerin görülmesi beklenen bir durumdur. Yan tepelikleri temizlemek için ek sinyal işleme algoritmaları gerekmektedir.

Tablo 1. Tek kanal, ardışık üç kanal ve beş kanallı OFDM sinyalleri kullanıldığında elde edilen menzil çözünürlükleri.

OFDM Kanal Sayısı	Menzil Çözünürlüğü
1	35 metre
3	22 metre
5	17 metre

Yapılan çalışma sonucunda pasif radar sistemlerinde ardışık OFDM kanalı kullanıldığında belirsizlik fonksiyonunun genel yapısına zarar verilmediği görülmektedir. Bununla birlikte pasif radar sistemlerinde ardışık OFDM kanalı kullanımı ile sistemlerin etkinliğinin artırılacağı ve yeni uygulama alanları kazandırılacağı düşünülmektedir. Önerilen yaklaşım ile kısa mesafede Wi-Fi, uzun mesafede ise daha yüksek çıkış gücü sunan DVB-T gibi OFDM tabanlı verici yayınları kullanılarak çözünürlüğüne bağlı olarak yakın menzillerde bulunan çoklu hedeflerin birbirinden ayrıştırılması sağlanabilir.

Kaynaklar

Berger, C. R., Demissie, B., Heckenbach, J., Willett, P. ve Zhou, S., 2010. Signal Processing for Passive Radar Using OFDM Waveforms. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 4(1), 226-238.

Bloessl, B., Segata, M., Sommer, C. ve Dressler, F., 2013. An IEEE 802.11 a/g/p OFDM Receiver for GNU Radio. In *Proceedings of the Second*

Workshop on Software Radio Implementation Forum, 9-16.

Briskin, S., Moscadelli, M., Seidel, V. ve Schwark, C., 2017. Passive Radar Imaging Using DVB-S2. In *Radar Conference (RadarConf), 2017 IEEE*, 0552-0556.

Colone, F., Falcone, P., Bongioanni, C. ve Lombardo, P., 2012. WiFi-Based Passive Bistatic Radar: Data Processing Schemes and Experimental Results. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48(2), 1061-1079.

Conti, M., Berizzi, F., Martorella, M., Dalle Mese, E., Petri, D. ve Capria, A., 2012. High Range Resolution Multichannel DVB-T Passive Radar. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 27(10), 37-42.

Griffiths, H. D. ve Baker, C. J., 2005a. Passive Coherent Location Radar Systems. Part 1: Performance Prediction. *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, 152(3), 153-159.

Griffiths, H. D. ve Baker, C. J., 2005b. Measurement and Analysis of Ambiguity Functions of Passive Radar Transmissions. In *Radar Conference, 2005 IEEE International*, pp. 321-325.

Lauri, A., Colone, F., Cardinali, R., Bongioanni, C. ve Lombardo, P., 2007. Analysis and Emulation of FM Radio Signals for Passive Radar. In *Aerospace Conference, 2007 IEEE*, pp. 1-10.

Lu, Y. L., Tan, D. K. P. ve Sun, H. B., 2007. Air Target Detection and Tracking Using a Multi-channel GSM Based Passive Radar. In *Waveform Diversity and Design Conference*. pp. 122-126.

Milani, I., Colone, F., Bongioanni, C. ve Lombardo, P., 2018. WiFi Emission-Based vs Passive Radar Localization of Human Targets. In *Radar Conference (RadarConf18), 2018 IEEE*, 1311-1316.

Skolnik, M. I., 1962. Introduction to radar. *Radar handbook*, 2, McGraw-Hill. Boston, 15p.

Stein, S., 1981. Algorithms for Ambiguity Function Processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 29(3), 588-599.

Tao, R., Gao, Z. ve Wang, Y., 2012. Side peaks interference suppression in DVB-T based passive radar. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48(4), 3610-3619.

Tasdelen, A. S. ve Koymen, H., 2006. Range Resolution Improvement in Passive Coherent Location Radar Systems Using Multiple FM Radio Channels. *IET Forum on Waveform Diversity and Design in Communications, Radar and Sonar*, 23-31.

Tüysüz, B., Urbina, J. ve Lind, F. D., 2013. Development of a Passive VHF Radar System Using Software-Defined Radio for Equatorial Plasma Instability Studies. *Radio science*, 48(4), 416-426.

Tüysüz, B. ve Mahmutoglu, Y., 2017. Measurement and Mapping of the GSM-Based Electromagnetic Pollution in the Black Sea Region of Turkey. *Electromagnetic biology and medicine*, 36(2), 132-140.

Tüysüz, B., 2018. Hava Hedeflerinin Tespiti İçin Yakın Gerçek Zamanlı Çoklu Frekans Destekli Pasif Radar Sisteminin Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 191-200.

URL-1, <http://www.gnuradio.org/>. 24 Kasım 2018.

Zheng, L. ve Wang, X., 2017. Super-Resolution Delay-Doppler Estimation for OFDM Passive Radar. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 65(9), 2197-2210.

Üç Boyutlu Yazıcılarda Üretilen Birleştirme Elemanlarının “L” Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerde Momenti Kapasitesine Etkisinin Belirlenmesi

Determination of Bending Moment Capacity on “L” Type Furniture Corner Assembly Elements Produced by 3D Printers

Abdurrahman KARAMAN^{*1,a}, Mehmet Nuri YILDIRIM^{2,b}, Şekip ŞADIYE YAŞAR^{3,c}

¹Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 64500, Uşak

²Karabük Üniversitesi Safranbolu Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, 78610, Karabük

³Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 10.05.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 19.09.2020

Öz

Bu çalışmada, üç boyutlu yazıcılarda üretilen bisküvi tipi birleştirme elemanlarının “L” tipi köşe birleştirmelerde eğilme momenti direncine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Deneysel örneklerinin hazırlanmasında ahşap esaslı malzeme 18 mm kalınlığında MDF-lam, ahşap esaslı bisküvi ile üç boyutlu yazıcı ile üretilen Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) ve Polilaktik Asit (PLA) termoplastik esaslı filamentlerden elde edilen bisküvi birleştirme elemanları kullanılmıştır. Deneysel örnekleri, (ASTM D 1037-06a, 2006) standartlarına göre; diyagonal çekme ve basınç momenti testlerine tabi tutulmuştur. Deneysel sonuçlarına göre, çekme momenti değerleri, basınç momenti değerlerinden daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanının en yüksek değerlere sahip olduğu, basınç deneyinde bunu sırasıyla 3-D yazıcıda üretilmiş PLA ve ABS esaslı malzemelerden elde edilen bisküvi birleştirme elemanlarının takip ettiği, çekme deneyi sonucunda ise ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanının en yüksek değerlere sahip iken bunu sırasıyla ABS ve PLA bisküvi birleştirme elemanları izlemiştir. Çekme deneyinde, 3D yazıcı teknolojisi ile üretilen bisküvi birleştirme elemanlarının ahşap bisküvili birleştirme elemanına yakın değer verdiği ve bu elemanların mobilya elemanları birleşme köşelerinde ahşap esaslı bisküvi elemanına alternatif olarak kullanılabilmesine ilişkin değerler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ahşap Esaslı Levhalar, Birleştirme Elemanı, 3-D Yazıcı, Köşe Birleştirme, Moment Kapasitesi

Abstract

In this study, determining the impact of biscuit-type joining elements produced in 3-D printers on the bending moment resistance was aimed in “L” type corner joining. For this purpose, wood-based material 18 mm thick MDF-lam, wood-based biscuit, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and Polylactic Acid (PLA) produced with 3-D printer, biscuit joining elements obtained from thermoplastic based filaments are used. Test samples, according to (ASTM D 1037-06a, 2006) standards were subjected to; diagonal tensile and compression moment tests. According to the experiment results, the tensile moment values was determined to be higher than the compression moment values. The wood-based biscuit joining element has the highest values, the wood-based biscuit joining element was followed by the biscuit assembly elements obtained respectively from PLA and ABS-based materials produced in 3-D printer in the compression test; while the wood-based biscuit joining element has the highest values in the tensile test, this was followed by ABS and PLA biscuit joining elements. In the tensile test, it was observed that the biscuit joining elements produced with 3-D printer technology gave close values to the wood based biscuit joining element and that these elements can be used as an alternative to the wood-based biscuit element for the corner joining of the furniture elements.

Keywords: Wood Based Boards, Assembly Element, 3-D Printer, Corner Joint, Moment Capacity

*aAbdurrahman KARAMAN; abdurrahman.karaman@usak.edu.tr, Tel: (0276) 221 21 50, ^aorcid.org/0000-0002-5925-7519

^borcid.org/0000-0002-0180-4479

^corcid.org/0000-0002-3500-4453

1. Giriş

Üç boyutlu yazıcılar ilk olarak 1970’li senelerin sonlarına doğru bilim dünyasının gündemine yerleşmeye başlamıştır. O yıllarda boyutsal anlamda çok büyük olup oldukça pahalı makinelerdi. İlk üç boyutlu yazıcı Charles Hull tarafından 1984 yılında üretilmiştir. 1986 yılında üç boyutlu yazıcılar için ilk şirket kurulmuştur. 1988 yılında kurulan bu şirket tarafından geliştirilen SLA-250 adında ilk üç boyutlu yazıcı tanıtılmıştır. Ve yine aynı yıl içerisinde Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modelling (FDM) teknolojileri keşfedilmiştir. İlk renkli baskılar bu yazıcılarda üretildi. 1995 yılında üç boyutlu yazıcıların satışı yapılmaya başlandı. 1996 yılında Z Corporation yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcıyı tasarladı. 2007 yılında Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar piyasaya çıkmaya başladı. Dolayısıyla üç boyutlu yazıcıları geliştirme imkânı hızla arttı. 2008 yılında Object Geometries şirketi, Connex500 ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretebildi. 2009 yılından itibaren Makerbot ve 3D Systems’in geliştirmiş olduğu Cubify gibi modeller sayesinde ev tipi üç boyutlu yazıcıların satışları giderek artmıştır (Kruth vd., 1998).

Üç boyutlu yazıcılar günümüzde farklı alanlarda kullanılan ve hızla gelişen bir teknolojidir. 3D yazıcı teknolojisi geliştikçe ve kullanımı yaygınlaştıkça yeni kullanım alanları ortaya çıkmaktadır (Aydın vd., 2018). 3D yazıcı teknolojisi, sanal ortamda tasarlanmış olan 3 boyutlu objeler, kullanım yeri ve amacına uygun çeşitli malzemeler kullanılarak, 2 boyutlu bir düzlem üzerinde, üst üste ince katmanlar şeklinde yığılarak tasarlanmış obje somut hale getirilir. Eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak parça üretilebilmesi için çeşitli CAD/CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli İmalat) programları kullanılmaktadır. Bu programlardan bazıları SolidWorks®, AutoCad®, Google SketchUp® gibi 3 boyutlu tasarım yapılmasına imkân sunan programlardır. Tasarlanan obje “.stl” uzantısında dışa aktarılır ve 3 boyutlu yazıcı “.stl” uzantısını algılayarak üretim işlemini gerçekleştirir (Laureijs vd., 2017; Kashani vd., 2018).

Geleneksel yöntemlerle üretilen bağlantı elemanları maliyetli ve zaman alıcıdır. 3D boyutlu yazıcılar vasıtasıyla geleneksel olarak üretilen parçanın optimizasyonu sağlanarak üretilen parçanın maliyeti ve doluluk oranının azaltılmasıyla birlikte daha hızlı zamanda

üretmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle üç boyutlu yazıcı teknolojisi; tasarımcılara, üreticilere ve tüketicilerine kolaylıklar sağlamaktadır (Hacıoğlu vd., 2016; Yıldırım vd., 2019).

Birleştirme Yığıma ve Modelleme (Fused Deposition Modelling-FDM), birleştirmeli yığıma ve modelleme sistemi olan FDM teknolojisi eski ve yaygın olarak kullanılan, düşük maliyetli bir yöntemdir. Scott Crump tarafından 20 yıl gibi süre önce icat edilmiştir. Masaüstü yazıcıların çoğunda bu yöntem kullanılmaktadır. Uygulama bakımından kolay ve hızlı olması sebebi ile herkes tarafından tercih edilen bir yöntemdir (URL-1, 2019). 3D boyutlu yazıcıların kullanıldığı birleştirme yığıma ve modelleme yöntemi (FDM) avantajları incelendiğinde; insan hatası durumu olmadığı için daha güvenli olması, sınırsız tasarım imkânı sunması, tasarımın kısa üretime geçilmesi, doluluk oranına göre malzemenin etkin kullanımı ve kullanım yerine göre malzeme seçeneği sunması şeklinde sıralanabilir (Karagöl, 2015; Thompson vd., 2016; Gökçe vd., 2018; Yıldırım vd., 2019).

İşletmeler açısından incelendiğinde; 3-D boyutlu yazıcılar ile yazmanın baskı yapılan ürünlerin tüketim noktalarına yakın olması, dolayısıyla mesafelerin kısılması ve günümüzün önemli sorunu olan ekolojik ayak izi problemlerinin çözümüne de katkı sağlamaktadır (Kietzmann vd., 2015). Üretim sırasında materyaller tabaka tabaka eklendiği için üretimde sadece ihtiyaç kadar malzeme kullanılır ve bu yüzden de sıfır atık ortaya çıkmaktadır (Campbell vd., 2011). Ürün tasarımı, pazarlama ve üretim aşamaları hızlı ve kaliteli bir iş birliği sağlamaktadır (Troselj, 2014). Tedarik zinciri süreçlerindeki karmaşıklığı azaltmaktadır (Jansen vd., 2014), 3B yazıcılar ile sadece satılacak ürünler imal edilir, böylelikle depolamadaki aşırı stok maliyeti azaltmaktadır (Çetinkaya ve Özceylan, 2015).

Bu çalışmanın amacı, FDM yöntemiyle üç boyutlu yazıcıda üretilen bisküvi birleştirme elemanları ile presleme yöntemiyle üretilen ahşap esaslı bisküvi bağlantı elemanının; çekme momenti ve basınç momentini belirlemek ve FDM yöntemiyle ABS ve PLA malzemeleri kullanarak üç boyutlu yazıcılardan %80 doluluk oranı ile üretilen bisküvi birleştirme elemanlarının mobilya elemanlarının köşe birleştirmelerinde kullanılıp kullanılmayacağına belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirtilen amaca ulaşmak için “L” tipi demonte tipi konstrüksiyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan konstrüksiyonlarda; MDF-lam ve bağlantı elemanı

olarak pres yöntemiyle elde edilen Ahşap bisküvi elemanı ile üç boyutlu yazıcı ile üretilen ABS ve PLA malzemelerden üretilen bisküvi birleştirme elemanları kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Esaslı Malzeme

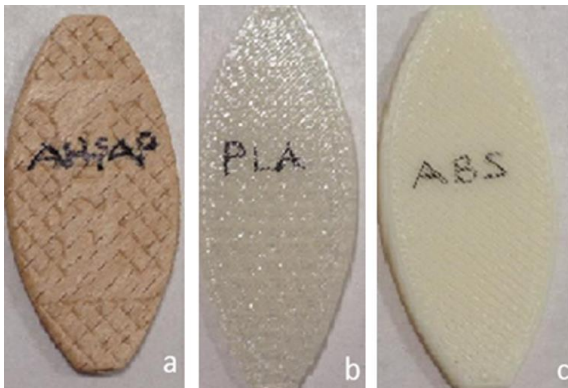
Deney örneklerinin hazırlanmasında ahşap esaslı malzeme olarak piyasada yaygın olarak kullanılan 18 mm kalınlığında MDF-lam kullanılmıştır. MDF-lam malzemenin sırasıyla rutubeti %6.5, yoğunluğu, 0.72 gr/cm³, elastikiyet modülü 3350 N/mm², eğilme direnci ise 22.45 N/mm² olarak belirlenmiştir.

2.1.2. Bisküvi Tipi Birleştirme Elemanları

Birleştirme elemanı olarak 20 numara (56 x 23 x 4 mm) ölçülerinde, ahşap esaslı malzemeden elde edilen ahşap bisküvi, ABS malzemeden elde edilen bisküvi ve PLA malzemeden elde edilen bisküvi kullanılmıştır. Çalışmada termoplastik davranış gösteren ABS ve PLA polimerler kullanılmıştır. ABS malzemesi kullanarak yazdırılan ürünler, 20 °C ile 80°C arasında kullanıma uygundur. ABS yüksek dayanım ve darbe direnci nedeniyle üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilen bir malzeme türüdür. Mühendislik alanında prototip amaçlı 3D modeller, arabalar, elektrik ekipmanları gibi alanlarda kullanılmaktadır. PLA malzemesi yapılan istatistiklere göre en çok kullanılan üç boyutlu yazıcı malzemesidir. ABS ve PLA malzemelerin teknik özellikleri Tablo 1’de, Birleştirme elemanlarına ilişkin resimler ise Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. ABS ve PLA malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri (URL-2, 2019)

Mekanik/Fiziksel Özellikler	Malzeme Türü	
	ABS	PLA
Çekme Dayanımı (MPa)	41	65
Eğilme Dayanımı (MPa)	63	97
Elastikiyet Modülü (MPa)	2200	3600
Erime Akış İndeksi (cm ³ /10 dk)	9.7	10,3
Basım Sıcaklığı (°C)	230-250	190-220
Kırılma Sıcaklığı (°C)	105	60-65
Gevşeme Sıcaklığı (°C)	110-125	70-80
Erime Sıcaklığı (°C)	210-240	160-190
Yatak Sıcaklığı (°C)	80-120	50-70
Yoğunluk (g/cm ³)	1,2	1,3



Şekil 1. Bisküvi tipi birleştirme elemanları

2.1.3. Tutkal

Çalışmada poliüretan tutkalı kullanılmış olup bu tutkal; tek komponentli, hızlı kürleşen, poliüretan bazlı ahşap yapıştırıcıdır. Kolay uygulanabilen,

düşük viskoziteye ve yüksek yapışma gücüne sahip, suya dayanıklı, 15-20 dk. pres süresine ve 5-10 dk. yüzey kuruma süresine sahip olup bir yapıştırıcıdır (URL-3, 2019).

2.2. Metot

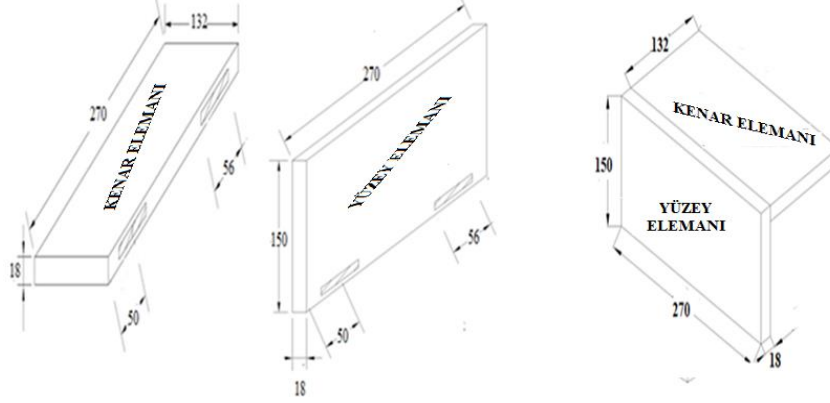
2.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Bu çalışmada, malzeme olarak; MDF-Lam, bağlantı elemanı olarak; ahşap bisküvi, PLA bisküvi ve ABS bisküvi ve tutkal olarak ise poliüretan (PU-D4) tutkal kullanılmıştır. Deney örneklerinin hazırlanmasında daha önceden yapılmış çalışmalardan yararlanılmıştır (Karaman vd., 2020, Karaman, 2020). Her bir deney örneği kenar ve yüzey olmak üzere iki elemandan oluşmaktadır. Kenar elemanı 270 x 132 mm, yüzey elemanı ise 270 x 150 mm ölçülerindedir. Deneylerde “L” biçiminde hazırlanan örneklerin

birleştirme arakesit yüzeyleri ölçü olarak ve genel görünüşü Şekil 2' deki gibidir.

Kenar elemanın kenar kısmına simetrik olacak şekilde kenardan merkezleri 50 mm içeride, levha kalınlığının ortasından olacak şekilde, kalınlığı 4 mm, derinliği 12 mm, genişliği 56 mm ve yarıçapı 45.5 mm olan yay parçasının geçeceği iki adet çıta yuvası, Yüzey elemanın yüzüne kenardan merkezleri 50 mm, maktan yüzeye merkezi 9

mm içeride, kalınlığı 4 mm, derinliği 12 mm, genişliği 56 mm ve yarıçapı 45.5 mm olan yay parçasının geçeceği iki adet çıta yuvası açılmıştır ve bisküvi tipi birleştirme elemanların açılan deliklere montajı Şekil 5'de gösterilmiştir. A ve B elemanlarının yüzeylerine ve birleştirme elemanların yuvalarına uygulamada kullanılacak olan tutkallar (200 gr/m²) tatbik edilerek montajları yapılmıştır.



Şekil 2. Deneysel örneklerinin birleştirme elemanların delik merkezleri (mm)

Deneysel 3 bağlantı elemanı (Ahşap Bisküvi, PLA Bisküvi ve ABS Bisküvi), 2 yükleme biçimi 10 adet olmak üzere toplam 60 adet deneysel örnekleri hazırlanmıştır. Deneysel örnekleri deneysel deneylerden önce 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem şartlarında iklimlendirme odasında, 3 hafta denge rutubetine ulaşmaya kadar bekletilmiştir.

2.2.2. Deneysel Yapısı

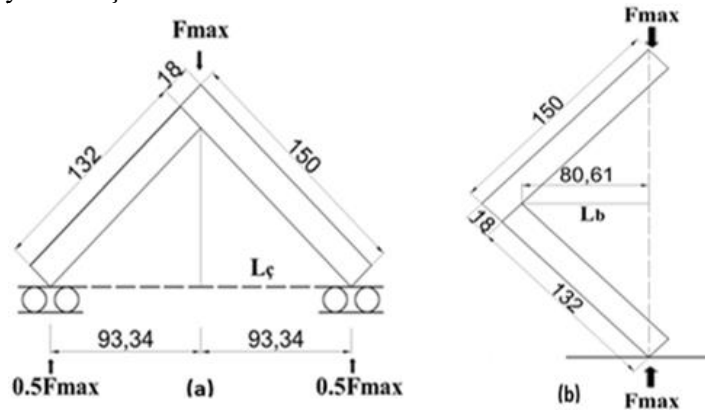
Deneysel için Karabük Üniversitesi Safranbolu Meslek Yüksekokulu Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Test Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli "Üniversal Test Cihazı" kullanılmıştır. Yükleme hızı uygulama süresinin 30 ila 60 sn arasında olabilmesi için 5 mm/dak yol alacak şekilde ayarlanmıştır. Testlerin

yapılmasında (ASTM D 1037-06a, 2006) esaslarına uyulmuştur. Diyagonal çekme ve basınç deneyselinde yükleme şekli ve deneysel düzenekleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Diyagonal basınç deneyselinde (M_b) ve diyagonal çekme deneyselinde moment (M_c) aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$M_b = F_{max} \times L_b \quad (1)$$

$$M_c = 0.5F_{max} \times L_c \quad (2)$$

Burada; M_b = Basınç kuvveti altında taşınan moment (Nm), M_c = Çekme kuvveti altında taşınan moment (Nm), F_{max} = Maksimum kuvvet (N), L_c = Moment kolu (0,09334 m), L_b = Moment kolu (0,08061 m) olarak alınmıştır.



Şekil 3. Deneysel Metodu. (a) Diyagonal çekme deneysel. (b) Diyagonal basınç deneysel (mm)

2.2.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Bisküvi tipi birleştirme elemanlı “L” tipi köşe birleştirmelerde birleştirme eleman türünün çekme ve basınç momenti üzerine etkilerini belirlemek için One Way Anova (tek yönlü varyans analizi) yapılmış ve gruplar arasındaki homojenlik gruplarını belirlemek için Tukey testi uygulanmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde ve hesaplanmış değerlerin bulunmasında Minitab 18 paket programı kullanılmıştır.

Tablo 2. Çekme ve basınç moment değerleri (Nm)

Birleştirme Eleman Türü	Çekme Momenti		Basınç Momenti	
	X _{ort.}	Std.	X _{ort.}	Std.
Ahşap Bisküvi	74.70	7.90	70.66	6.27
PLA Bisküvi	60.55	6.27	48.01	7.38
ABS Bisküvi	62.15	4.84	38.93	7.34

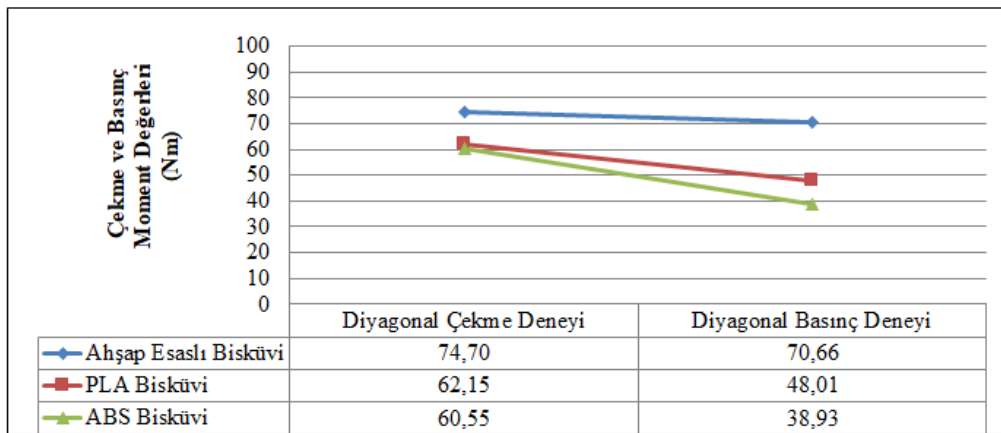
X_{ort.}: Ortalama değer Std: Standart sapma

Tablo 2’de verilen çekme momenti değerleri incelendiğinde; Ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanının maksimum çekme momenti taşıdığı ve bunun sırasıyla ABS ve PLA termoplastik malzemeden elde edilen birleştirme elemanı olduğu belirlenmiştir. Solmaz ve Çelik (2018)

3. Bulgular

Bisküvi tipi birleştirme elemanı kullanılarak hazırlanan “L” tipi köşe birleştirmelerin diyagonal çekme ve basınç deneylerinde elde edilen moment değerlerinin ortalamaları Tablo 2 ve Şekil 4’de, One Way Anova varyans analizi sonuçları Tablo 3’de, Tukey testi sonuçları ise Tablo 4’de verilmiştir.

yaptıkları çalışma sonucunda PLA malzemenin ABS malzemeye göre daha üstün özelliklere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Çekme ve basınç momenti değerlerine ilişkin grafik Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Çekme ve basınç momenti (Nm)

Tablo 3. One Way Anova varyans analizi sonuçları

Deney Şekli	Varyans Kaynakları	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Diyagonal Basınç	Gruplar Arası	2	5341,961	2670,981	54,275	0,000*
	Gruplar İçi	27	1328,735	49,212		
	Toplam	29	6670,696			
Diyagonal Çekme	Gruplar Arası	2	1200,352	600,176	14,935	0,000*
	Gruplar İçi	27	1125,065		41,693	
	Toplam	29	2326,065			

Tablo 3’de görüldüğü gibi eğilme momenti üzerine deney gruplarının etkisi diyagonal çekme

ve basınç deneylerinde istatistiksel olarak ($p < 0.05$) hata payı ile önemli olduğu tespit

edilmiştir. Farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için Tukey testi

uygulanmıştır. Birleştirme eleman türüne göre Tukey testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Tukey testi sonuçları (Nm)

Deney Grupları	Diyagonal Basınç		Diyagonal Çekme	
	\bar{X}_{ort}	HG	\bar{X}_{ort}	HG
Ahşap Esaslı Bisküvi	70.66	A	74.69	A
PLA Bisküvi	48.01	B	60.55	B
ABS Bisküvi	38.93	C	62.15	B

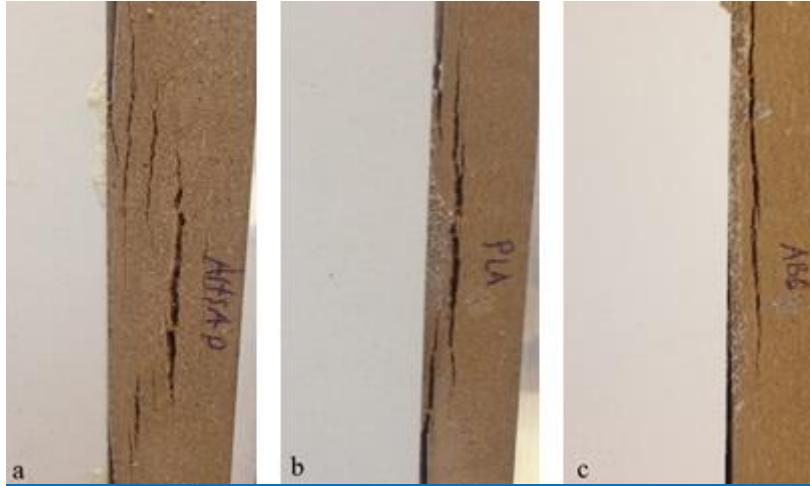
HG: Homojenlik grup

Tablo 4'e göre; diyagonal basınç deneylerinde birleştirme elemanları (Ahşap esaslı bisküvi, PLA bisküvi ve ABS bisküvi) istatistiksel olarak birbirinde farklı ve maksimum moment değerini ahşap esaslı bisküvi elemanı (70.66 Nm), minimum moment değerini ise ABS bisküvi (38.93 Nm) elemanın taşıdığı belirlenmiştir. Ahşap esaslı bisküvi, PLA bisküviden %32.05, ABS bisküviden ise %44.90 daha fazla basınç momenti değeri taşıdığı tespit edilmiştir. Diyagonal çekme deneyinde birleştirme elemanları; Ahşap esaslı bisküvi elemanı farklı grupta, PLA ve ABS bisküvi birleşme elemanlarının ise istatistiksel olarak aynı grupta olduğu görülmektedir. Çekme deneyinde; maksimum moment değerini ahşap esaslı bisküvi elemanı (74.69 Nm), minimum moment değerini ise PLA bisküvi (60.55 Nm) elemanının taşıdığı belirlenmiştir. Ahşap esaslı bisküvi elemanı, PLA

bisküvi elemanından %18.93 ve ABS bisküvi elemanından ise %16.78 daha fazla moment değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak birleştirme elemanı olarak ahşap esaslı bisküvinin kullanılması önerilebilir.

Deformasyon Karakteristikleri

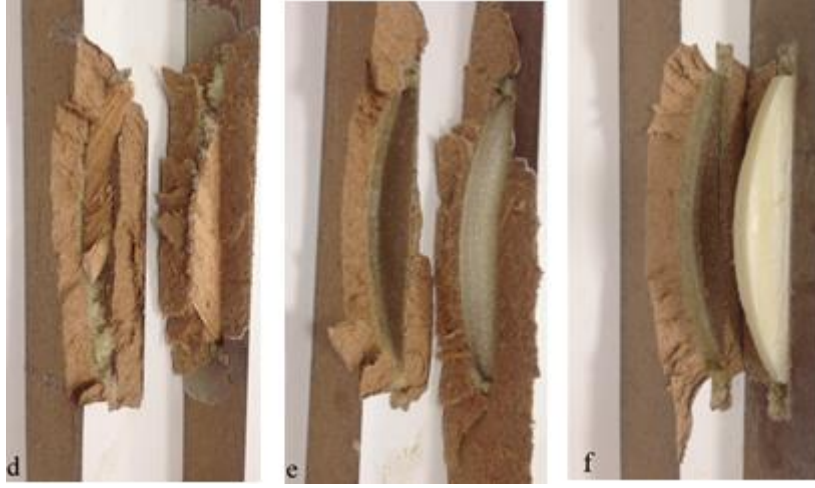
MDF-lam ana konstrüksiyon malzemesi olmak üzere, ahşap, ABS ve PLA bisküvi birleştirme elemanları ile hazırlanan L tipi konstrüksiyonları (ASTM-D 1037, 2006) standartına göre; eğilme'de çekme momenti ve eğilme'de basınç momenti deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, eğilmeye çekme momenti deformasyonları Şekil 5'te, eğilmeye basınç momenti deformasyonları ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Çekme momenti deformasyonları. (a) Ahşap esaslı bisküvi. (b) PLA bisküvi. (c) ABS bisküvi

Şekil 5'te görüldüğü gibi ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanı birleştirilen konstrüksiyonda deformasyon derinliği konstrüksiyon parçası kalınlığının yarısını geçtiği görülmektedir. Ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanının konstrüksiyon malzemesi ile güçlü bağ oluşturduğu söylenebilir. PLA ve ABS bisküvi birleştirme elemanlarının

konstrüksiyon parçasının yarısına kadar gelmeyip, çizgisel bir hat izlediği görülmektedir. PLA ve ABS bisküvi birleştirme elemanlarının yüzeyinin pürüzsüz olması konstrüksiyon malzemesi ile arasındaki bağ kuvvetinin zayıflamasına sebep olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Basınç momenti deformasyonları. **(d)** Ahşap esaslı bisküvi. **(e)** PLA bisküvi. **(f)** ABS bisküvi

Şekil 6'da görüldüğü gibi ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanı konstrüksiyon içerisinde kırıldığı görülmektedir. PLA ve ABS bisküvi birleştirme elemanlarında herhangi bir kırılmanın olmadığı, elemanların alt ve üst kısımlarında çekme ve eğilmeden dolayı zor farkedilebilen deformasyonlar mevcuttur. PLA ve ABS bisküvi birleştirme elemanlarının kırılmaması; yüzeyinin pürüzsüz olması konstrüksiyon malzemesi ile arasındaki bağ kuvvetinin zayıflaması neticesinde kolaylıkla yüzeyden ayrıldığı düşünülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, MDF-lam malzemede, ahşap esaslı bisküvi ve 3-D yazıcıdan FDM yöntemiyle üretilmiş bisküvi tipi birleştirme elemanları ile hazırlanan L-tipi köşe birleştirmelerin eğilme çekme momenti ve eğilmede basınç momenti değerleri üzerine etkileri belirlenmiştir.

FDM yöntemiyle ABS ve PLA termoplastik malzemelerden üretilen bisküvi birleştirme elemanlarının çekme momenti değerlerinin, basınç momenti değerlerinden daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanın 3-D yazıcı ile FDM yöntemiyle PLA ve ABS termoplastik malzemelerden üretilen bisküvi birleştirme elemanlarından hem çekme momenti hemde basınç momenti değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasının sebebi tutkalın ahşap malzemenin içerisine nüfuz ederek adhezyon bağ kuvvetinin artması neticesinde olduğu düşünülmektedir. Öncelik ahşap bisküvi birleştirme elemanı olmak üzere, PLA ve ABS bisküvi birleştirme elemanlarında alternatif birleştirme elemanı olarak kullanılabilir.

Çalışmada, ahşap esaslı bisküvi elemanın konstrüksiyonda güçlü bir bağ oluşturduğu ve bu nedenle değerlerin yüksek çıktığı ve konstrüksiyon içerisinde kırıldığı, PLA ve ABS bisküvi elemanlarının ise konstrüksiyon içerisinde kırılmadığı ama basit deformasyonların olduğu, ahşap esaslı bisküvi birleştirme elemanına oranla moment taşıma kapasitelerinin düşük olduğu, düşük moment taşımasının esas nedenin yüzeylerin pürüzsüz olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Üç boyutlu yazıcılardan farklı yüzey pürüzlülüğe sahip elemanlar üretilerek bu konu ile ilgili bir çalışma yapılması önerilebilir.

Üç boyutlu yazıcıdan üretilen bisküvi elemanları karşılaştırıldığında; basınç deneyinde PLA malzemesinde elde edilen bisküvi birleştirme elemanın, ABS malzemesinden elde edilen bisküvi birleştirme elemanından daha iyi performans gösterdiği, çekme deneyinde ise ABS malzemesinde elde edilen bisküvi birleştirme elemanın, PLA malzemesinden elde edilen bisküvi birleştirme elemanından daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

Kaygusuz ve Özerinç (2018) yaptıkları bir çalışmada EYM yöntemiyle PLA basımında, nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu parametrelerinin malzemenin içyapısına ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; %20'lik dolgu yoğunluğuna sahip numuneler, %100 yoğunluktaki numunelerin %50'sine varan bir dayanım sağladıkları tespit edilmiştir. Yüksek üretim hızı ve düşük ağırlık gerektiren uygulamalarda düşük dolgu yoğunluğu sahip malzemeleri avantaj sağladığı, yüksek darbe dayanımı ve sünekliğin önem taşıdığı durumlarda

ise yüksek dolgu yoğunluğunun tercih edilmesi önerilmektedir.

Üç boyutlu yazıcı kullanılarak 3 farklı hücre boyutu ve 3 farklı hücre yüksekliğinde üretilen bal peteği yapılı sandviç kompozitlerin basma kuvveti etkisi altındaki davranışlarının incelendiği bir çalışmada; En yüksek kritik burkulma yükünün 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit numunede, en düşük kritik burkulma yükünün ise 25 mm hücre boyutu ve 40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit numunede elde edildiği bildirilmiştir (Solmaz ve Çelik, 2018).

İşletmeler, 3B yazıcılar sayesinde karmaşık parçaların dizaynını çok daha kısa sürede gerçekleştirebilirler (Selko, 2015). 3B olarak yazdırılmış nesnelere daha karmaşık olabilirler ve hem dizaynı hem de üretimin dijitalleşmesini sağlarlar. Bu dijitalleşme büyük olasılıkla dizaynırların isteklerini geleneksel metodlara göre daha fazla nihayi ürünlere yansıtması anlamına gelir aynı zamanda parçaların karmaşıklığını da azaltarak maliyetleri düşürürler (Mackley, 2014). 3B yazıcı ile üretim, tedarik zinciri ile yüksek derecede bütünleşmiş olan geleneksel üretim sistemlerinin aksine, ihtiyaç duyulan doğru parçaların doğru zamanda birden fazla tedarikçiden temin edilmesini sağlar (Mashhadi vd., 2015).

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin farklı üretim yöntemi ve farklı malzemeler üzerinde denemesi mobilya endüstrisinde; tasarım, prototip (modelleme) ve üretim aşamalarını kolaylaştıracağını ve üretimde sorunlarının giderilmesinde önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- ASTM D 1037-06a, 2006. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Aydın, A. ve Kahraman, F., 2018. 3B Baskı Teknolojisi Kullanılarak Hızlı Prototipleme Yapımı ve Nesnelere Üretimi, 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Antalya, Turkey, s.419-428.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., Garrett, B., 2011. Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Strategic Foresight

Report, The Atlantic Council of the United States, Washington, USA, 17p.

Report, Atlantic Council, Ideas. Influence. Impact. <http://www.atlanticcouncil.org/publications/reports/could-3d-printing-change-the-world>. son erişim tarihi: 13.10.2016.

Hacıoğlu, H.S., Eraslan, F. ve Şimşek, Y., 2016. ABBAS V1 Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Sunumu ve Uygulamaları. Lisans Bitirme Tezi, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Karabük, 86s.

Gökçe, H.C., Öteyaka, M.Ö. ve Yazar, I., 2018. Havacılık Alanında Eriyik Yığma Modelleme Uygulaması: Boeing 737- 800 Model Uçağın 3 Boyutlu Ölçekli Modellenmesi. International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry 2(3), 37-44.

Janssen, R., Blankers, I., Moolenburgh, E. ve Posthumus, B., 2014. TNO: The Impact of 3D Printing on Supply Chain Management. TNO Innovation for Life, <http://3din.nl/wpcontent/uploads/2014/02/TNO-Whitepaper-3-D-Printing-and-Supply-Chain-Management-April2014-web.pdf>.

Karagöl, B., 2015. 3D Printing: What does it offer and for whom? Science And Technology Policies Research Center, Metu-Tekpol. Working Paper Series; 15,1-17.

Karaman, A., Sofuoğlu, S.D. ve Yeşil, H., 2020. L Tipi Demonte Mobilya Köşe Birleştirmelerde Bağlantı Elemanlarının Eğilme Momenti Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Turkish Journal of Forestry, 21(2), 159-165.

Karaman, A., 2020. The Effect of Fastener Type (Clamex P14 and Tenso P14) and Adhesive Type on Diagonal Compression and Diagonal Tension Performance. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22(1), 144-152.

Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q. ve Hui, D., 2018. Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. Composites Part B Engineering, 143,172- 196.

Kaygusuz B. ve Özerinç, S., 2018. 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Makina ve İmalat Dergisi, 16 (1),1-6.

Kietzmann, J., Pitt, L. ve Berthon, P., 2015. Disruptions, Decisions, and Destinations: Enter the Age of 3-D Printing and Additive manufacturing. Marketing & Technology, Business Horizons, 58, 20-215.

- Kruth, J.P., Leu, M.C. ve Nakagawa, T., 1998. Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. Keynote Papers, 47(2), 525-540.
- Laureijs R.E., Roca, J.B., Narra, S.P., Montgomery, C., Beuth, J.L. ve Fuchs, E.R.H., 2017. Metal Additive Manufacturing: Cost Competitive Beyond Low Volumes. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 139 (8), 1-9.
- Mackley, C.J., 2014. Reducing Costs and Increasing Productivity in Ship Maintenance Using Product Lifecycle Management, 3D Laser Scanning, and 3D Printing. Naval Postgraduate School Thesis, Monterey, California.
- Mashhadi, A.R., Esmaeillian, B. ve Behdad, S., 2015. Impact of Additive Manufacturing Adoption on Future of Supply Chains. Proceeding of the ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference, June 8-12, Charlotte, North Carolina, USA.
- Troselj, M., 2014. The Impact of 3D Printing, MHD Supply Chain Solutions, May / June. Uzayda 3B yazıcılar, https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/3DPrinting1.JPG, son erişim: 02.12.2016.
- Thompson, M.K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B. ve Martina, F., 2016. Design for Additive Manufacturing: Trends, Opportunities, Considerations, and Constraints. CIRP Annals, 65,737–760.
- Selko, A., 2015. 3-D Technology Shrinks the Supply Chain. Material Handling & Logistics, 1820. <http://mhlnews.com/technology-automation/3-d-technology-shrinks-supply-chain>.
- Solmaz, M.Y. ve Çelik, E., 2018. 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yüğü Altındaki Performanslarının Araştırılması. Science and Eng. J of Firat University. 30(1), 277-286.
- URL-1,www.stlindir.com/fdm-teknolojisi-nedir. 09.09.2019.
- URL-2,www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri. 15 Aralık 2019.
- URL-3,www.romabant.com/tr/mobilya-tutkallari/33/ 25 Kasım 2019.
- Yıldırım, M.N., Doruk, Ş. ve Karaman, A., 2019. 3D Yazıcıda Üretilmiş Kavela Bağlantı Elemanının L Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Kullanımı, 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2019), October 2019, Ankara, Turkey, s.174-177.
- Yıldırım, M.N., Karaman, A. ve Doruk, Ş., 2019. 3D Yazıcıda Üretilmiş “T” Tipi Bağlantı Elemanlarının Mobilya Köşe Birleştirmelerinde Kullanımı, 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2019), October 2019, Ankara, Turkey, s.169-173.

Kanalizasyon Sistemlerinde Rehabilitasyonda Öncelikli Bölgelerin PROMETHEE ve MAUT Yöntemleri ile Belirlenmesi

Identification of Priority Regions in Rehabilitation in Sewerage Systems by PROMETHEE and MAUT Methods

Cansu ORHAN^{1,a}, Mahmut FIRAT^{2,b}

¹ Ardahan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Ardahan, Türkiye

² İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 27.02.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 16.09.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.09.2020

Öz

Kanalizasyon sistemlerinde, fiziksel, çevresel, hidrolik, işletme gibi faktörlere bağlı olarak hasar, tıkanma, çökme, geri tepme gibi arızalar oluşmakta ve işletme koşulları bozulmaktadır. Bu arızaların sıklığının artması, sistem işletme maliyetini, lokal olarak boru değiştirme, bakım-onarım maliyetini arttırmakta ve hizmet kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle, kanalizasyon sistemlerinde arızaya sebep olabilecek faktörler göz önüne alınarak rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi maliyetlerin düşürülmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla, detaylı literatür araştırması yapılarak belirlenen 26 faktöre ait saha verileri esas alınarak Fuzzy Elimination and Choice Translating Reality English (ENTROPI) yöntemi ile ağırlıklar hesaplanmıştır. Faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations-2 (PROMETHE-2) ve Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir. ENTROPI yöntemi ile hesaplanan ağırlık katsayılarının incelenen problemin doğal yapısı ile uyumlu ve anlamlı olduğu görülmüştür. Faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak PROMETHE-2 ve MAUT yöntemine göre belirlenen öncelikli bölgelerin, özellikle ilk 5 bölgenin genel anlamda uyumlu olduğu ve benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Atık Su Sistemleri, Rehabilitasyon, Yapısal Kusur

Abstract

Depending on factors such as physical, environmental, hydraulic, and operation in sewage systems, malfunctions such as damage, clogging, collapse, rebound occur and operating conditions deteriorate. The high frequency of these failures causes an increase in system operating costs and local pipe replacement, maintenance and repair costs and decreases the service quality. Therefore, it is important to determine the priority of rehabilitation by considering the factors that may cause failures and structural damages in the sewage systems. In this study, multiple criteria decision-making methods were applied to determine the priority of rehabilitation in sewage systems. For this purpose, weights of factors were calculated using the ENTROPI method based on the field data of 26 factors determined by conducting detailed literature research. Priority areas in rehabilitation were determined according to PROMETHE-2 and MAUT method using factor weights and field data of factors. The weight coefficients calculated with the ENTROPI method were found to be compatible and significant with the natural structure of the problem under study. Using the factor weights and the field data of the factors, it can be said that the priority regions determined according to the PROMETHE-2 and MAUT method, especially the first 5 regions, are generally compatible and show similarity.

Keywords: Wastewater Systems, Rehabilitation, Structural Damages

*b Mahmut FIRAT; mahmut.firat@inonu.edu.tr, Tel: (0422) 377 48 01 /121, orcid.org/0000-0002-8010-9289

a orcid.org/0000-0002-0987-1297

1. Giriş

Aboneler tarafından kullanılan suyun çevreye zarar vermeden uzaklaştırılmasında ve yönetilmesinde kanalizasyon sistemlerinin normal işletme koşullarının sağlanması oldukça önemlidir. Sürekli tıkanma, çökme, geri tepme, ters eğimden dolayı su birikmesi gibi sorunların gözlemlendiği sistemlerde işletme maliyetinin artmasının yanı sıra hizmet kalitesi düşmekte, çevre ve vatandaş sağlığı açısından olumsuz etkileri ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, kanalizasyon hatlarında yapısal kusurların tespit edilmesi, etkilerinin en aza indirilmesi, sürekli arıza üreten ve işletme maliyetini arttıran bölgelerin belirlenmesi ve rehabilitasyon programının oluşturulması sürdürülebilir kentsel alt yapı yönetimi açısından oldukça önem taşımaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, kentsel alt yapı sistemlerinde rehabilitasyon önceliği bölgelerin belirlenmesi gerektiği ve bunun ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yönetilmesi açısından büyük öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (Kim vd., 2005; Chughtai vd., 2008; Shahata vd., 2010; Ammar vd., 2012; Ennaouri vd., 2013; Bowering vd., 2014; Marzouk vd., 2015; Kessili vd., 2016; Inanloo vd., 2016). Barreto vd. (2010) çok amaçlı optimizasyon ve hidrodinamik model kombinasyonunu sağlayarak kentsel drenaj rehabilitasyon sistemini analiz etmeyi hedeflemiştir. Bu çalışmada boru uzunluğu, boru tipi, bağlantı tipi, boru çapı, arıza tipi şeklinde değişkenler kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Ana vd. (2010) kentsel drenaj hatlarında yapısal bozulma sebeplerinin tahmin edilmesinde yapay zeka ve farklı istatistiksel modelleri kullanmıştır. Çalışma sonunda kentsel drenaj altyapı varlık yönetim sistemleri için uygulamalar elde edilmiştir. Tagherouit vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, yapısal ve hidrolik performans etkileri dikkate alınarak kanalizasyon şebekesinin performansının değerlendirilmesi için sistematik bir yöntem geliştirmek ve kanalizasyon rehabilitasyonu öncelikleri için bir sıralama düzeni oluşturmak hedeflenmiştir. Vucijak vd. (2011) atık su sistemlerinde öncelik ölçütleri için bir dizi seçim sunmayı amaçlamıştır. Bu çalışma için çoklu seçim yöntemlerinden Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemi uygulanmıştır. Bu metodoloji ile kriterlerin ağırlık katsayıları büyükten en küçüğe doğru sıralanarak kriterlerin ağırlık vektörleri elde edilmiştir. Hosseini vd. (2012) ayrıık kanalizasyon sistemlerinde hidrolik performansı; derinlik ve borularda akış hızı

açısından değerlendirmeyi, belirsizlik analizi ve sistemdeki belirsizliklerin seçilmesi dahil tüm parametreleri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma sonunda geliştirilen bulanık tabanlı model, belirsizlik içeren parametreler altında ayrıık kanalizasyon sistemlerinin hidrolik performans analizi için kullanılmıştır. Rokstad vd. (2015) altyapı varlık yönetimi için planlanan kanalizasyon bozulma modellerini uygulamış ve modellerin hangi ağ oranının bir fonksiyonu olduğu hakkında değerlendirmeleri tartışmıştır. Değerlendirmeler bir bütün olarak ağ üzerindeki her bir durumu değerlendirmek, kanalizasyon sınıfı oranlarını tahmin etmek, ayrıık boruları tanımlamak, kritik durum sınıfını değerlendirmek için bir ağ üzerinde yapılmıştır. Hlodversdottir vd. (2015) simülasyon tahminleri ile sistem ağındaki zayıf noktaları tespit etmişlerdir. Uygun kanalizasyon modellemesinin bulunması için CBS kullanılmıştır. Sonuç olarak kanalizasyon hatlarında güvenlik açıklıklarını içeren sonuçlara ulaşım taşkın riskine dayanıksız olan bacaların tespiti ve düşük ya da büyük ölçüde değişen boru çaplarının azaltılması gereği vurgulanmıştır. Tscheikner vd. (2016) su dağıtım ve kanalizasyon şebekesinin rehabilitasyonunda teknik olarak gerekli olan alanların Analytic Hierarchy Process (AHP) yöntemi ile belirlemeyi amaçlamıştır. Al-Zahrani vd. (2015) herhangi bir su dağıtım ağında bölgesel riske göre öncelik vermek için bulanık tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Modelde, su kalitesi, hidrolik, yapısal olmak üzere farklı kategorilerde toplamda 19 faktör göz önünde bulundurulmuştur. Zhu vd. (2016) su taşkın risklerinin değerlendirilmesi amacıyla yeni bir kentsel drenaj sistemi için bir yağmur suyu yönetim modeli önermeyi amaçlamıştır. Çalışmada bir bölgede yedi değerlendirme endeksi seçilmiş ve yağış-akış olaylarının kalibre edilmesi için Yağmur Suyu Yönetim Modeli (YSYM) ve K-ortalama Kümeleme Yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ani bir sel veya taşkın durumunda başarılı olabilecek ve yağış yoğunluğu ve selden etkilenen bölgeler arasında olan ilişkiyi logaritmik olarak sunan yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Bu çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla, detaylı literatür araştırması yapılarak belirlenen 26 faktöre ait saha verileri kullanılarak ENTROPI yöntemi ağırlıklar hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak PROMETHE-2 ve MAUT yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir.

Bunun için Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. PROMETHEE 2

PROMETHEE yöntemi, sonlu sayıda bir alternatif için ortak bir başlık halinde değerlendirilmesi yapılamayan çoklu ölçütlerin sıralanması esasına dayanmaktadır (Brans vd., 1985). Bu yöntemde alternatiflerin sıralamasında üstünlük durumu kullanılmakta ve tercih yapısında ikili karşılaştırma matrisleri esas alınmaktadır. Değerlendirme kriterinin tanımlanmasından sonra tercih eşikleri seçilmekte ve son olarak değerlendirme matrisi tablosu oluşturulmaktadır (Brans vd., 2005). Bu yöntemi diğer karar verme yöntemlerinden ayıran temel fark, değerlendirme parametrelerinin birbirleri arasındaki ilişkilerini gösteren ağırlık katsayıları ve değerlendirmede her bir parametrenin kendi aralarında olan ilişkilerinin dikkate alınmasıdır (Roozbahani vd., 2012). Bu yöntemde veri matrisi alternatifler, parametreler ve parametre ağırlıklarından oluşmaktadır. Veri matrisi oluşturulurken atık su sisteminde arıza oranını etkileyebilecek parametreler f_1, f_2, \dots, f_n (bu çalışmada $n=26$ 'ya eşittir) şeklinde sütunlarda yer almaktadır. Bu parametrelerin etkilediği alternatif noktalar (a, b, c ; bu çalışmada bölgeleri temsil etmekte ve bunun için 19 bölge belirlendi) ve parametrelerin ağırlık katsayıları (w_1, w_2, \dots, w_n) ise satırlarda yer almaktadır (denklem 1). Bu yöntem için önerilen tercih fonksiyonları, olağan fonksiyon, U şekli, V şekli, seviye fonksiyonu, doğrusal ve Gaussian fonksiyonu şeklinde verilebilir (Brans vd., 1985). Uygulamada, parametreleri ve bu parametrelerin hangi tercih fonksiyonu çeşidi için uygun olacağını belirlemek zor olabilmektedir. Bunun için alternatiflerin ikili kıyasında a ve b alternatifleri için C parametresi arasındaki fark uyarlanır (denklem 2) (Roozbahani vd., 2012).

$$veri = \begin{bmatrix} f_1(a) & f_1(b) & \dots & w_1 \\ f_2(a) & f_2(b) & \dots & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_i(a) & f_i(b) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n(a) & f_n(b) & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P_i(a, b) = \begin{cases} 0, & C_i(a) - C_i(b) \leq 0 \\ 1, & C_i(a) - C_i(b) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

P_i fonksiyonu, iki alternatif olan a ve b 'nin ikili değerlendirilmesi ile aralarındaki farkın 0 ile 1 arasında değişmekte olan tercih derecesine

denklem (4) ile çevirmektedir (Marescha vd., 1985). Bu yöntemde, ikili alternatif için sırasıyla tercih indeksi hesabı denklem (3) ile yapılmaktadır. Bütün alternatif çiftleri için toplam üstün tercih indeksi hesabı ise denklem (5) ile hesaplanır (Kessili vd., 2016).

$$P_i(a, b) = F_i[C_i(a) - C_i(b)] \quad (3)$$

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n P_i(a, b) * w_i \quad (4)$$

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(a, b) * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5)$$

Burada, C_i : parametreler (bu çalışmada 26 parametre belirlendi), a, b : alternatifler (bu çalışmada 19 bölge belirlendi), F_i ise C_i parametrelerine bağlı olarak a ve b alternatifleri arasındaki eğilimin azalan bir fonksiyonunu w_i ise alternatiflerin ağırlık katsayılarını ifade etmektedir. Alternatif üstünlüklerinin belirlenmesinde, bir alternatifin diğer alternatif üzerindeki hakimiyet derecesini gösteren pozitif ve negatif üstünlükler denklem (6) ve (7) ile hesaplanmaktadır (Kessili vd., 2016). Bu denklemlerde ikili karşılaştırma için a alternatifi sabit tutulur ve sırasıyla b, c, \dots, n alternatiflerine kadar ikili karşılaştırması yapılmaktadır (Marescha vd., 1985). Bu yöntemde son olarak, üstünlük değerlerine göre alternatiflerin hepsi aynı düzlemde değerlendirilmekte ve sıralaması oluşturulmaktadır (denklem 8) (Kessili vd., 2016). Eğer $\emptyset(a)$ değeri $\emptyset(b)$ değerinden büyük çıkarsa bu a alternatifinin b alternatifinden üstün olduğu, sıralamada daha önde geleceğini göstermektedir. Eğer $\emptyset(a)$ değeri $\emptyset(b)$ değerine eşit çıkarsa da her iki alternatif birbirinden farksız çıkmıştır, bu durumda da sıralamada aynı sırada yer almaları gerekmektedir (Kessili vd., 2016).

$$\emptyset^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (6)$$

$$\emptyset^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (7)$$

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \quad (8)$$

2.2. MAUT Yöntemi

MAUT yöntemi ilk olarak Fisburn (1967) önermiş, Keeney (1974) kullanmış ve Loken (2007) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem 5 temel işlem adımından oluşmaktadır (Loken, 2007). Karar matrisinin oluşturulması; karar vermede etkili olan parametreler belirlenmekte (bu çalışmada 26 olarak belirlendi) ve ardından bu parametrelerin etkilediği alternatif noktalar (bu

çalışmada 19 bölge belirlendi) tayin edilerek hiyerarşik ağ oluşturulmaktadır. Bu yöntemde, atıksu sistemleri için belirlenen 26 parametre için toplamları 1'e eşit olacak şekilde her bir parametre için ağırlık katsayıları atanmaktadır. *Faktör değerinin atanması*; nicel parametreler için karar noktalarından elde edilen verileri kullanırken nitel olan parametreler için de parametreler arasında ikili karşılaştırmalar yaparak farklı puanlandırma yapısına göre değer atamaları yapılmaktadır. *Karar matrisinin normalizasyonu*; nicel ve nitel parametreler için atanan değerler birleştirilerek bir karar verme matrisi kurulmakta ve normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı olarak belirlenen 26 parametre için öncelikle en iyi ve en kötü olan değerler tespit edilmektedir. En iyi değer için 1 sayısı atanırken, en kötü değer için 0 sayısı atanmakta, ara değerler için ise denklem (9) kullanılarak değerler atanmaktadır (Loken, 2007). *Karar noktalarının fayda değerlerinin tayini*; normalleştirilmiş karar matrisi üzerinde her bir satır için 26 parametre ve 19 karar noktaları (bölgeler) için belirlenen fayda değerlerinin ağırlık katsayısı ile çarpımlarının toplamından oluşan eşitlik ile fayda değerlerinin atandığı işlem adıdır (Loken, 2007).

$$u_i(x_i) = \frac{x - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (9)$$

$$u(x) = \sum_1^m u_i(x_i) * w_i \quad (10)$$

Burada, $u(x)$, 19 karar noktası için fayda değeri, $u_i(x_i)$, parametre ve karar noktaları için fayda değeri, w_i , parametreler için toplamları 1'e eşit olan ağırlık katsayıları, x_i^+ , parametre için en iyi değeri ifade ederken x_i^- en kötü değeri göstermekte, x ; işlem yapılan satır için fayda değeridir.

2.3. ENTROPI Yöntemi

ENTROPI yöntemi, satırlarında karar noktalarını sütunlarda ise bu karar noktalarını etkileyen parametreleri bulunduran karar verme matrisinin oluşturulduğu durumda uygulanabilen yöntemdir (Riley vd., 2010). Atık su sistemlerinde bozulma sürecini etkileyen değişkenlerin ağırlık katsayılarının hesaplanabilmesi, bölgelerin performansının ve rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesine ışık tutacaktır. Bu yöntem temel olarak 3 işlem adımından oluşmaktadır (Lee vd., 2012). İlk olarak alternatif bölgelere ait değişken bilgilerini içeren karar verme matrisi olan X_{ij} kurulmalıdır. Bu matriste, i

yani satırlar çalışmamızdaki 19 bölgeyi ifade etmektedir. Sütunlarda (j) ise atık su sisteminde arıza oranını etkileyebilecek parametreler bulunmaktadır (D1 (boru çapı), D2 (boru yaşı) gibi). Karar matrisinde normalizasyon işlemi; denklem (11) ile karar matrisinin her hücresi için aşağıda verilen standartlaştırılmış normalizasyon formülü kullanılarak tamamlanan işlem adıdır (Chang vd., 2006). Her bir parametre için ENTROPI değeri olan e_j denklem (12) ile bulunmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{Max_j} \quad (11)$$

$$e_j = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (12)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_1^j x_{ij}} \quad (12a)$$

Burada i , karar noktalarını gösterirken j , parametreleri göstermektedir. p_{ij} , normalize edilen değerler ve x_{ij} , verilen fayda değerleridir. k , ENTROPI katsayısı ve p_{ij} , normalize edilen değerler, n ; karar verme noktası sayısıdır. Son işlem adımında her bir parametre için ağırlık katsayıları denklem (14) ile hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{1}{\ln(n)} \quad (13)$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_1^m (1 - e_j)} \quad (14)$$

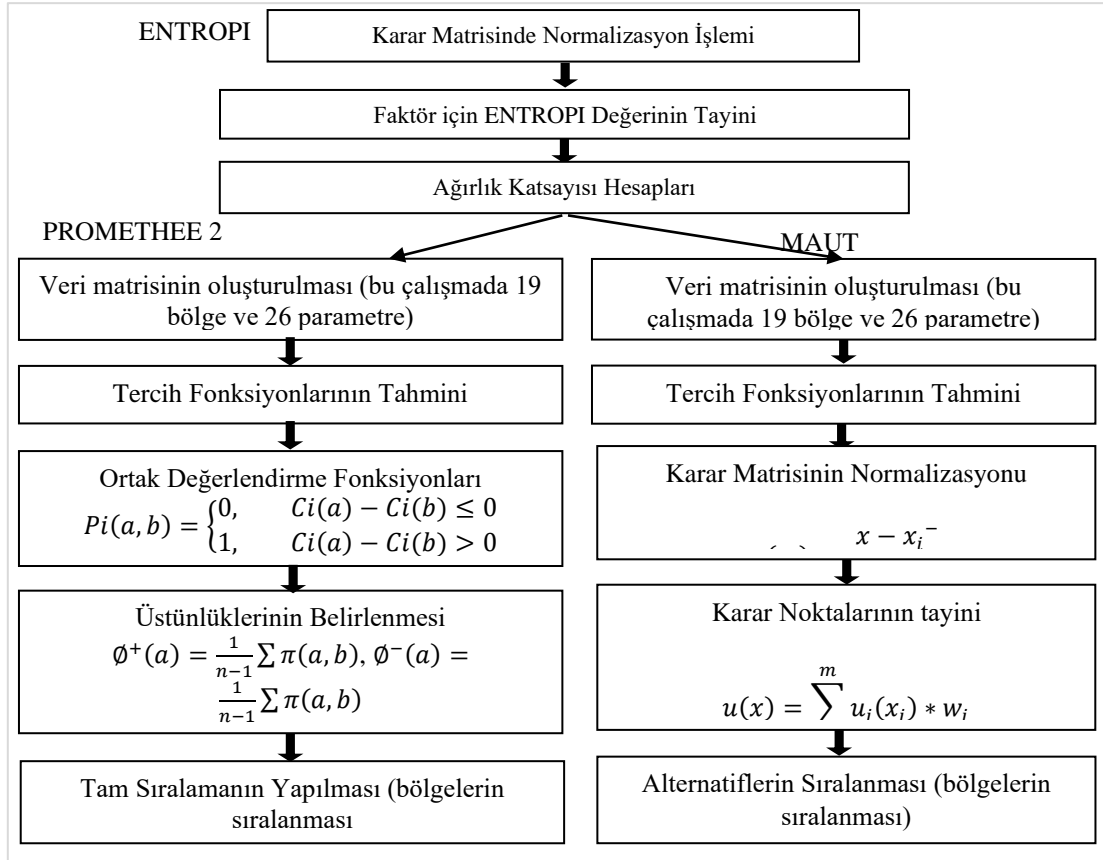
w_j , parametrelerin ağırlık katsayılarını temsil etmekte ve toplamı 1'i vermektedir ($\sum_1^m w_j = 1$).

3. Uygulama Alanı ve Faktörler

Bu çalışmada Malatya ili merkezde yer alan 19 bölge için (kanalizasyon sistemi verisine ulaşılabilen) uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama alanında faktörlere ait verilerin elde edilmesi Malatya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (MASKİ) CBS veri tabanı, sahada doğrulanmış projeler, arıza yönetim sistemi ve yapısal kusurların belirlenmesinde Close Circuit TeleVision (CCTV) görüntüleri esas alınmıştır. Yapısal kusur sayısının incelenen sokaktaki toplam hat uzunluğuna bölünmesi ile yapısal kusur yüzdesi elde edilmiştir (Orhan, 2018). Kanalizasyon hatlarında kullanılacak faktörlerin belirlenmesi için, literatürde farklı modelleme yöntemleri kullanılarak atık su sistemlerinde bozulma faktörü üzerinde yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve toplamda 226 farklı faktör tespit edilmiştir. Bu

kadar farklı nitelikteki faktörlerin incelenmesi ve analizlerde kullanılması oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle faktörlerin uygunluğu, ölçülebilirliği, tutarlılığı, uygulanabilirliği ve karşılaştırılabilirliği gibi ölçütler göz önünde bulundurularak toplam 26 faktör belirlenmiştir. Bu faktörlere ait verilerin elde edilmesinde, pilot bölgelerde atık su projelerinin detaylı analizi yapılmış, saha ile doğrulanmış ve borunun içyapısıyla ilgili veriler için kanal görüntüleme yöntemi kullanılmıştır (Orhan, 2018). Çalışmada sözel verileri içeren boru malzemesi, zemin özelliği, trafik hacmi, sokak sınıfı, hat tipi parametrelerinin değerleri sayısal verilere dönüştürülerek kullanılmıştır. Sözel ifadelerin sayısal verilere dönüştürülmesi

işleminde arızayı etkileme durumu göz önüne alınmış ve yüksek risk taşıyanlara büyük numaralar verilmiştir. Örneğin, trafik hacmi için düşük, orta ve yüksek şeklinde sınıflandırma yapılırken sırasıyla 1, 2 ve 3 şeklinde numaralandırma yapılmıştır. Sokak sınıfı sınıflandırmasında 20 m değeri eşik kabul edilerek sokaklar 20 metreden büyük ve küçük şeklinde incelenmiş ve büyük sokaklar için 2, küçük sokaklar için 1 numaraları verilmiştir. Kanalizasyon hat tipi ayrık ve birleşik sistemden oluşmaktadır. Birleşik sistemlerde arıza potansiyeli daha yüksek olduğu için birleşik sistem için 2, ayrık sistem için mahallelere 1 numaralandırması yapılmıştır.



Şekil 1. Yöntemlerin uygulanmasında izlenen yol (Orhan, 2018)

Tablo 1. Değişkenlere ait sayısal veriler (Orhan, 2018)

MAHALLE	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
BAŞHARIK	200	21	1	1.95	2.156	0.742	0.730	0.004	1.51	65	14.79	183	0.40
ÇÖŞNÜK	400	20	1	2.10	2.075	1.590	0.047	0.048	1.24	75	7.71	184	0.40
FIRAT	300	16	1	2.51	2.003	0.951	0.078	0.043	1.02	72	18.73	180	0.50
GÖZTEPE	200	25	1	2.13	1.928	2.618	0.212	0.011	1.46	168	14.85	137	0.50
TANDOĞAN	200	25	1	2.09	2.232	2.677	0.141	0.033	6.4	58	6.32	39	0.30
BGAZİ	300	20	1	2.50	2.703	1.600	0.001	0.131	0.85	58	18.46	13	0.70
K.M. PAŞA	200	10	1	2.00	2.203	0.430	0.001	0.003	27.1	47	1.73	38	0.40
B.M. PAŞA	200	10	2	2.00	2.203	4.000	0.001	0.002	11.7	23	5.82	2	0.50

ZAFER	200	25	1	2.42	2.478	2.080	0.235	0.010	0.19	60	12.08	128	0.70
PAŞAKÖŞKÜ	200	15	1	2.36	2.501	2.940	0.250	0.051	2.97	54	17.66	103	0.70
HACI ABDİ	200	15	1	2.73	2.933	0.650	0.265	0.051	8.5	56	5.19	20	0.60
ÇİLESİZ	200	8	1	2.21	1.923	0.480	0.037	0.203	2.88	65	17.22	56	0.50
ÖZALPER	200	10	1	2.33	1.920	0.415	0.001	0.013	6.76	63	4.44	70	0.60
GAZİ	200	25	1	2.00	2.203	0.440	0.001	0.002	19.7	36	8.91	6	0.50
M. FATİH	200	25	1	2.02	2.240	1.420	0.001	0.024	9.84	52	6.94	42	0.60
ATATÜRK	200	25	1	2.00	2.203	0.498	0.030	0.002	0.88	57	3.44	55	0.80
KOŞU	200	25	1	2.00	2.203	0.907	0.001	0.002	1.75	53	40.18	59	0.80
T. ÖZAL	300	15	1	2.38	2.588	2.020	0.229	0.036	0.64	60	11.52	45	0.70
SAMANLI	200	13	1	1.87	2.087	3.285	0.001	0.011	0.81	60	6.14	12	0.60

Tablo 2. Değişkenlere ait sayısal veriler (Orhan, 2018)

MAHALLE	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26
BAŞHARIK	39	2	1	2	1	229	3442	3	272031	52	686069	1323	127
ÇÖŞNÜK	33	2	1	3	2	323	4264	7	836126	34	1255937	2385	220
FIRAT	43	2	1	2	2	282	3047	5	493044	43	916503	1838	62
GÖZTEPE	43	1	2	3	1	264	1803	2	322162	28	708766	1273	196
TANDOĞAN	13	1	2	3	2	182	1401	1	74967	21	167581	287	59
BGAZİ	14	2	2	2	1	97	540	2	98698	8	226882	470	0.10
K.M. PAŞA	9	1	2	3	1	88	978	2	23413	16	167514	347	0.10
B.M. PAŞA	2	1	2	2	1	43	554	1	2905	7	16566	34	0.10
ZAFER	34	1	1	2	1	150	2590	2	166880	50	519258	881	195
PAŞAKÖŞKÜ	25	1	1	3	1	170	1970	2	105319	15	398165	695	130
HACI ABDİ	8	1	2	2	1	20	406	1	25071	17	102063	180	31
ÇİLESİZ	47	2	2	3	2	230	3410	1	607234	45	998829	2039	33
ÖZALPER	20	1	2	2	1	110	736	2	201315	14	339115	586	116
GAZİ	2	1	1	1	1	19	102	1	7483	4	27049	56	0.10
M. FATİH	16	1	1	1	1	71	278	1	58012	23	297745	562	55
ATATÜRK	15	1	1	2	1	113	494	1	36783	9	257715	534	0.10
KOŞU	15	1	1	2	1	88	364	1	47367	19	194487	403	0.10
T. ÖZAL	13	1	2	3	2	134	2889	2	178618	25	550516	1058	83
SAMANLI	12	2	2	2	2	32	195	1	36002	9	174739	360	1.7

Bu faktörler; D1: Boru çapı (mm), D2: Boru yaşı, D3: Boru malzeme türü (Beton:1, Korige:2), D4: Borunun derinliği (m), D5: Gömlek malzeme ve asfalt kalınlığının toplamı, D6: Boru eğimi, D7: Ters eğim oranı, D8: Sokak ortalama eğimi, D9: Bacası arası minimum mesafe (m), D10: Baca arası maksimum mesafe (m), D11: Yapısal kusur oranı, D12: Bina bağlantı sayısı, D13: Aşırı yüklenme oranı, D14: 250 mm'den küçük boru oranı, D15: Hat tipi, D16: Zemin özelliği, D17: Trafik yoğunluğu, D18: Yol genişliği, D19: Konut yoğunluğu, D20: Nüfus, D21: Özel tüketimli abone sayısı (okul, hastane), D22: Bölge alanı (m²), D23: Arıza sıklığı, D24: Boru yenileme maliyeti, D25: CCTV metrajı, D26: Temizlik

yapılmayan hat metrajıdır (Orhan, 2018). Çalışmada, 19 bölge için atık su projeleri detaylı incelenmiş, kamera kullanılarak borularda oluşan hasarlar ve yerleri belirlenmiştir (Tablo 1 ve 2). Tespit edilen yapısal kusurlar temel olarak; yağ ve gres, boru malzemesi bütünlüğü ve çökme, Bozulma ve deformasyon, Kum-Çakıl-Mıcır birikmesi, Tıkanıklık, Bina bağlantı yanlış imalatı, Aşırı yüklenme, Ters eğim oranı şeklinde verilebilir (Orhan, 2018).

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kanalizasyon borularını değerlendirilmesi ve rehabilitasyonda öncelik

sıralamasının yapılması için öncelikli olarak sahada verisi toplanan 26 faktör için ENTROPI yöntemi ile ağırlık katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 3). Faktörlere ait ağırlık katsayıları bölge performansının belirlenmesi, rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesinde kullanılacak olup bu katsayıların doğru bir şekilde hesaplanması oldukça önemlidir.

Tablo 3. Faktörlere ait ağırlık katsayıları (Orhan, 2018)

Faktörler	Ağırlıklar	Faktörler	Ağırlıklar
D1	0.0036	D14	0.0317
D2	0.0083	D15	0.0083
D3	0.0026	D16	0.0078
D4	0.0008	D17	0.0060
D5	0.0010	D18	0.0083
D6	0.0980	D19	0.0310
D7	0.1238	D20	0.0509
D8	0.0994	D21	0.0310
D9	0.0596	D22	0.0824
D10	0.0110	D23	0.0280
D11	0.0750	D24	0.0452
D12	0.0492	D25	0.0457
D13	0.0043	D26	0.0877

En yüksek ağırlık katsayısının ters eğim oranı (0.1238) için hesaplandığı, boru eğimi ve sokak eğimi için hesaplanan ağırlık katsayılarının da yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 3). Ters eğim özellikle suyun boru içinde birikmesine ve bunun sonucunda bina bağlantılarından veya bacalardan geri tepmesine neden olmaktadır (Orhan, 2018). Bu sonuçlar, projelendirmede en uygun eğimin seçilmesinin ve inşaatının projesine uygun olarak yapılmasının oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Boru eğiminin yanlış

planlanması veya yanlış imalat, hattın normal işletme koşullarının bozulmasına neden olabilmektedir. Tablodan, temizlik yapılmayan hat uzunluğuna ait ağırlık katsayısının da yüksek olduğu görülmekte ve bu faktörün tıkanma, çökme gibi yapısal kusurların önlenmesinde önemli olduğu bilinmektedir (Orhan, 2018). Saha verilerine göre, hatlarda tıkanmalara sebep olan diğer önemli faktör ise bina bağlantılarında imalat, işçilik hataları ve yanlış kullanım gösterilebilir. Bina bağlantısının artmasına bağlı olarak arıza sıklığı ve bakım-onarım maliyeti artmaktadır. Baca arası minimum mesafe için katsayının 0.0596 olarak hesaplandığı ve bunun da diğer birçok değişkene göre yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle ters eğim oranına bağlı olarak meydana gelen tıkanmaların temizlenmesinde ve hattın kontrol edilmesinde baca arası mesafe oldukça önemlidir. Yapılan bu değerlendirmelere göre, hesaplanan ağırlık katsayılarının incelenen problemin doğal yapısı ile uyumlu ve anlamlı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre, ENTROPI yöntemi ile elde edilen katsayıların problemin doğal yapısını temsil edebileceği ve bir sonraki aşamada rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesi kullanılabileceği düşünülmektedir (Orhan, 2018).

Çalışmanın ikinci aşamasında, faktörlere ait ağırlıklar hesaplandıktan sonra, PROMETHE-2 ve MAUT yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir. Bu amaçla, faktör ağırlıklarının yanı sıra, faktörlere ait saha verileri esas alınmış ve önceki bölümlerde verilen işlem adımları izlenerek analiz gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 4 ve Şekil 2’de verilmiştir (Orhan, 2018).

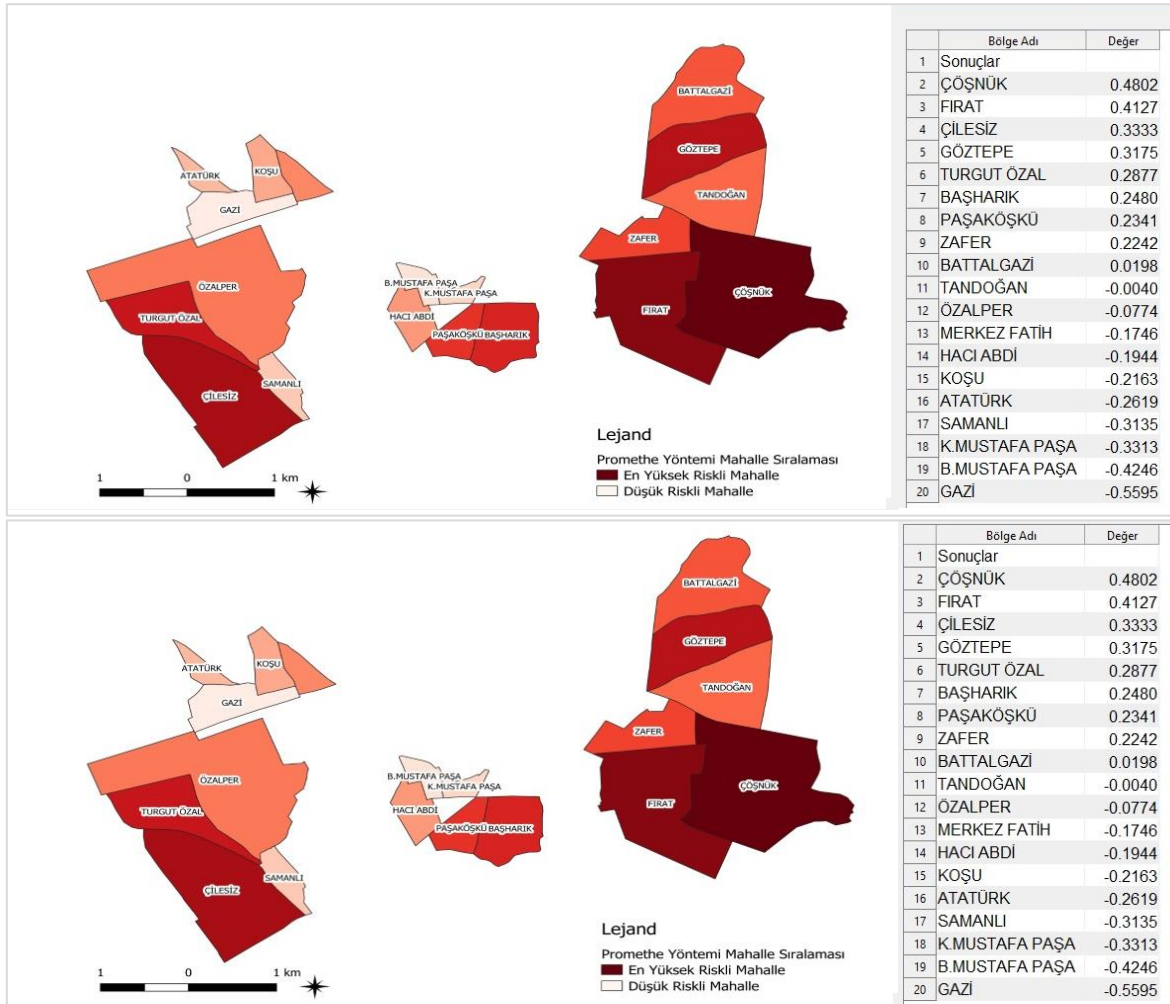
Tablo 4. Rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin nihai sıralaması (Orhan, 2018)

PROMETHE-2					MAUT		
Bölge	$\phi^+(a)$	$\phi^-(a)$	Değer	Sıralama	Bölge	Değer	Sıralama
Çöşnük	0.696	0.216	0.480	1	Çöşnük	0.6341	1
Fırat	0.657	0.244	0.412	2	Çilesiz	0.5186	2
Çilesiz	0.603	0.270	0.333	3	Başharık	0.5159	3
Göztepe	0.573	0.256	0.317	4	Fırat	0.4684	4
Turgut Özal	0.581	0.294	0.287	5	Göztepe	0.4376	5
Başharık	0.558	0.310	0.248	6	Zafer	0.3847	6
Paşaköşkü	0.538	0.304	0.234	7	Paşaköşkü	0.3447	7
Zafer	0.526	0.302	0.224	8	Turgut Özal	0.3305	8
Battalgazi	0.435	0.415	0.019	9	Tandoğan	0.2332	9
Tandoğan	0.421	0.425	-0.004	10	Özalper	0.2108	10
Özalper	0.371	0.448	-0.077	11	Battalgazi	0.1910	11

Merkez Fatih	0.325	0.500	-0.174	12	K.Mustafa Paşa	0.1789	12
Hacı Abdi	0.317	0.512	-0.194	13	Hacı Abdi	0.1670	13
Koşu	0.282	0.498	-0.216	14	Merkez Fatih	0.1666	14
Atatürk	0.266	0.528	-0.261	15	Koşu	0.1292	15
Samanlı	0.266	0.579	-0.313	16	Samanlı	0.1090	16
K.Mustafa Paşa	0.238	0.569	-0.331	17	B.Mustafa Paşa	0.1040	17
B.Mustafa Paşa	0.196	0.621	-0.424	18	Atatürk	0.1014	18
Gazi	0.117	0.677	-0.559	19	Gazi	0.0838	19

Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde, her iki yöntem sonuçlarının, özellikle ilk 5 bölge, genel anlamda uyumlu olduğu ve benzerlik gösterdiği söylenebilir. Rehabilitasyonda öncelikli ilk 5 beş bölge içinde dört bölgenin ortak olduğu görülmektedir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçların uyumlu olması; faktörlerin belirlenmesinde detaylı literatür incelemesi yapılması ve uygunluk-ölçülebilirlik-

karşılaştırılabilirlik gibi ölçütler esas alınması, faktörlere ait ağırlıkların hesaplanmasında uzman görüşleri veya anket uygulamasından farklı olarak saha verilerini esas alan yöntemin kullanılması, hesaplanan ağırlıkların problemin doğal yapısı ile uyumlu olması ve problemi temsil edecek nitelikte olması, öncelikli bölgelerin belirlenmesinde saha verilerinin ve saha verileri esas alınarak belirlenen ağırlıkların kullanılması, şeklinde verilebilir.



Şekil 2. Rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin nihai sıralaması (Orhan, 2018)

Öncelikli bölgelerin belirlenmesinde benzerliklerin yanı sıra farklılıkların da olduğu görülmektedir. Bu durum PROMETHEE ve MAUT yöntemlerinin çalışma prensibi ile

açıklanabilmektedir. PROMETHEE yönteminde veri matrisi oluşturulduktan sonra her bir değişken için mahallelerin ikili karşılaştırmaları yapılmakta ve ortak tercih fonksiyonları belirlenmektedir. Bir

bölge için parametrelerin farkına göre negatif değerlere 0, pozitif değerlere ise 1 değeri verilerek ikili karşılaştırmalar tamamlanmakta ve değişkenlerin ENTROPI ile belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpımı gerçekleştirilmektedir. Her bölge için pozitif ve negatif üstünlük farkları alınarak sıralama puanları oluşturulur. MAUT yönteminde karar matrisinde her sütun için minimum ve maksimum değerler belirlenir. Normalize karar matrisi ile değişkenlerin ENTROPI ile belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpımı ile $u(x)$ matrisi elde edilmektedir. Sıralama işlemi ise $u(x)$ matrisinde her bir satırın toplamları bulunur ve alternatif noktalar için sıralama yapılır. Görüldüğü üzere MAUT yönteminde parametreler arasında ikili karşılaştırma yapılmamaktadır. Parametreler arasında maksimum fayda bu çalışma için atık su sisteminde bozulmaya maksimum etki edecek parametreleri bulmaya yönelik işlem yapmaktadır. Ayrıca PROMETHEE yönteminde pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin farkına göre sıralama yapılırken MAUT yönteminde ilgili mahalle için tüm değişkenlerin fayda değerlerinin toplamına göre sıralama yapılmaktadır. Yöntemler arasındaki bu farklılıklardan dolayı sıralamada bazı kısımlarda farklılık ortaya çıkabilmektedir.

Rehabilitasyonda öncelikli olarak belirlenen ilk 5 bölge için değerlendirme yapılacak olursa, arıza sıklığının ve boru yenileme maliyetlerinin özellikle Başharık, Çöşnük, Çilesiz ve Fırat mahallerinde yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Bu iki faktör özellikle İdare açısından önemli işletme maliyetleri oluşturmaktadır. Yapılacak rehabilitasyon programı ile maliyetlerin azaltılması ve normal işletme koşullarının oluşturulması sağlanabilir. Benzer şekilde bu bölgelerde konut yoğunluğunun fazla olması, özellikle yanlış kullanımdan kaynaklanan yapısal kusur oranı üzerinde etkisi söz konusu olabilmektedir. Sonuç olarak, arıza potansiyeli en yüksek olan boruların belirlenerek öncelikli olarak bakım ve onarımının yapılabileceği ve rehabilitasyon kapsamında olan cadde ve sokaklar incelendiğinde bakım ve onarıma ihtiyaç duymayan boruların tespit edilmesiyle hem rehabilitasyon süresinin kısılması açısından hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanabileceği düşünülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde rehabilitasyon önceliğinin belirlenmesi için çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri uygulanmıştır. Bu amaçla, detaylı literatür araştırması yapılarak

belirlenen 26 faktöre ait saha verileri kullanılarak ENTROPI yöntemi ağırlıklar hesaplanmıştır. En yüksek ağırlık katsayısının, sırasıyla ters eğim oranı, bina bağlantı sayısı, temizlik yapılmayan hat uzunluğu faktörleri için hesaplanmıştır. Yapılan bu değerlendirmelere göre, hesaplanan ağırlık katsayılarının incelenen problemin doğal yapısı ile uyumlu ve anlamlı olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre, ENTROPI yöntemi ile elde edilen katsayıların problemin doğal yapısını temsil edebileceği ve bir sonraki aşamada rehabilitasyonda öncelikli bölgelerin belirlenmesi kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında, faktör ağırlıkları ve faktörlere ait saha verileri kullanılarak PROMETHEE-2 ve MAUT yöntemine göre rehabilitasyonda öncelikli bölgeler belirlenmiştir. Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde, her iki yöntem sonuçlarının, özellikle ilk 5 bölgenin genel anlamda uyumlu olduğu ve benzerlik gösterdiği söylenebilir. Rehabilitasyonda öncelikli olarak belirlenen ilk 5 bölge için değerlendirme yapılacak olursa, arıza sıklığının ve boru yenileme maliyetlerinin özellikle Başharık, Çöşnük, Çilesiz ve Fırat mahallerinde yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, arıza potansiyeli yüksek olan bölgelerin tespit edilmesiyle rehabilitasyon çalışmasının başlangıç noktası belirlenerek bu noktalarda oluşabilecek büyük çapta arıza ve mağduriyetlerin önüne geçilebileceği, belirlenen en riskli mahallelerin sokak bazlı ve hatta bacadan bacaya kullanılan boru bazlı da incelenebileceği ve bu sebeple arıza potansiyeli en yüksek olan boruların belirlenerek öncelikli olarak bakım ve onarımının yapılabileceği ve rehabilitasyon kapsamında olan cadde ve sokaklar incelendiğinde bakım ve onarıma ihtiyaç duymayan boruların tespit edilmesiyle hem rehabilitasyon süresinin kısılması açısından hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, 2018 yılında Cansu ORHAN tarafından tamamlanan Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir. Çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FYL-2017-582) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, İÜBAP Birimi'ne ve veri ve teknik destekten dolayı MASKİ Genel Müdürlüğüne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

Al-Zahrani, M., Abo-Monasar, A. ve Sadiq, R., 2015. Risk-Based Prioritization of Water Main Failure Using Fuzzy Synthetic Evaluation Technique.

- Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA, 65, 2, 145-161.
- Ammar, M. A., Moselhi, O. ve Zayed, T.M., 2012. Decision Support Model for Selection of Rehabilitation Methods of Water Mains. Structure and Infrastructure Engineering, 8, 847-855.
- Ana, E.V. ve Bauwens, W., 2010. Modeling The Structural Deterioration of Urban Drainage Pipes: The State-of-The-Art in Statistical Methods. Urban Water Journal, 7, 47-59.
- Barreto, W., Vojinovic, Z., Price, R. ve Solomatine, D., 2010. Multiobjective Evolutionary Approach to Rehabilitation of Urban Drainage Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 136, 547-554.
- Bowering, E.A., Peck, A.M. ve Simonovic, S.P., 2014. A Flood Risk Assessment to Municipal Infrastructure Due to Changing Climate Part I: Methodology. Urban Water Journal, 11, 20-30.
- Brans, J.P. ve Mareschal, B., 2005. Promethee Methods. (Pp 163-186) In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of The Art Surveys. International Series in Operations Research & Management Science, 78. Springer, New York, NY.
- Brans, J.P., Vincke, Ph. ve Mareschal, B., 1985. How to Select and How to Rank Projects: The Promethee Method. European Journal of Operational Research, 24, 228-238.
- Chang, C.-I., Du, Y., Wang, J., Guo S.-M., Thouin, P.D., 2006. Survey and Comparative Analysis of Entropy and Relative Entropy Thresholding Techniques. IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing, 6, 837 - 850.
- Chughtai, F. ve Zayed, T., 2008. Infrastructure Condition Prediction Models for Sustainable Sewer Pipelines. Journal of Performance of Constructed Facilities, 22, 333-341.
- Ennaouri, I. ve Fuamba, M., 2013. New Integrated Condition-Assessment Model for Combined Storm-Sewer Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 139, 53-64.
- Fishburn P., 1967. Additive Utilities with Finite Sets: Applications in The Management Sciences. Naval Research Logistics Quarterly, 14(1), 1-13.
- Hlodversdottir, A.O., Bjornsson, B., Andradottir, H. O., Eliasson, J. ve Crochet, P., 2015. Assessment of Flood Hazard in A Combined Sewer System in Reykjavik City Centre. Water Science and Technology, 71, 1471-1477.
- Hosseini, S. M. ve Ghasemi, A., 2012. Hydraulic Performance Analysis of Sewer Systems with Uncertain Parameters. Journal of Hydroinformatics, 14, 682-696.
- Inanloo, B., Tansel, B., Shams, K., Jin, X. ve Gan, A., 2016. A Decision Aid GIS-Based Risk Assessment and Vulnerability Analysis Approach for Transportation and Pipeline Networks. Safety Science, 84, 57-66.
- Keeney, R. ve Fishburn, P., 1974. Seven Independence Concepts and Continuous Multiattribute Utility Functions. Journal of Mathematical Psychology, 11(3), 294-327
- Kessili, A. ve Benmamar, S., 2016. Prioritizing Sewer Rehabilitation Projects Using AHP-PROMETHEE II Ranking Method. Water Science and Technology, 73, 283-291.
- Kim, E.S., Baek, C.W. ve Kim, J.H., 2005. Estimate of Pipe Deterioration and Optimal Scheduling of Rehabilitation. Water Science and Technology: Water Supply, 5, 39-46.
- Lee, P. T. W., Lin, C. W., Shin ve S. H., 2012. A Comparative Study on Financial Positions of Shipping Companies in Taiwan and Korea Using Entropy and Grey Relation Analysis. Expert Systems with Applications, 39, 5649-5657.
- Loken, E., 2007. Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 1584-1595.
- Marzouk, M., Hamid, S. A. ve El-Said, M., 2015. A Methodology for Prioritizing Water Mains Rehabilitation In Egypt. HBRC Journal, 11, 114-128.
- Orhan, C., 2018. Atık Su Sistemlerinde Rehabilitasyon İçin Öncelikli Bölgelerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 120s.
- Riley, M.A., Baker, A.A., Schmit, J.M. ve Weaver, E., 2010. Effects of Visual and Auditory Short-Term Memory Tasks on The Spatiotemporal Dynamics and Variability of Postural Sway. Journal of Motor Behavior, 37, 311-324.
- Rokstad, M. M. ve Ugarelli, R. M., 2015. Evaluating The Role of Deterioration Models for Condition Assessment of Sewers. Journal of Hydroinformatics, 17, 789-804.
- Roobahani, A. ve Banafsheh, Z., 2012. PROMETHEE With Precedence Order in The Criteria (PPOC) As A New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply

- Management. *Water Resources Management*, 26, 3581–99.
- Shahata, K. ve Zayed, T., 2010. Integrated Decision-Support Framework for Municipal Infrastructure Asset. *ASCE Pipelines Proceedings*, 514, 1492–1502.
- Tagherouit, W. B., Bennis, S. ve Bengassem, J., 2011. A Fuzzy Expert System for Prioritizing Rehabilitation of Sewer Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26, 146–152.
- Tscheikner-Gratl, F., Sitzenfrei, R., Rauch, W. ve Kleidorfer, M., 2016. Integrated Rehabilitation Planning of Urban Infrastructure Systems Using A Street Section Priority Model. *Urban Water Journal*, 13, 28-40.
- Vucijak, B. ve Ceric, A., 2011. Multicriteria Prioritization of Wastewater Projects on Example of Bihac Municipality. *Annals of DAAAM And Proceedings of The International DAAAM Symposium*. 22, 933–935.
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X. ve He, P., 2016. Approach for Evaluating Inundation Risks in Urban Drainage Systems. *Science of The Total Environment*, 553, 1–12.

Metal Kaplama Tesisi Atıksuyundan Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Fosfat Giderimi

Phosphate Removal from Metal Coating Plant Wastewater by Electrocoagulation

Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR*^{1,a}

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 28.04.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 01.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.09.2020

Öz

Bu çalışmada, otomotiv sektörü metal kaplama atıksuyundan fosfat giderimi için elektrokoagülasyon (EC) yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışma, Demir (Fe) elektrot kullanılarak 25, 50, 75 ve 100 mA/cm² akım yoğunluğunda 1 saat kesikli olarak yürütülmüştür. Sonuçlar en yüksek akım yoğunluğunda fosfat giderim veriminin en yüksek %89,5 olduğunu göstermiştir. Ancak arıtım sürecinde 30 dk' dan sonra elektriksel iletkenlik ve pH' da artışa bağlı olarak giderimin veriminin azalarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek akım yoğunluğunda, arıtmadan kaynaklanan çamurun en yüksek oranda çökeldiği ve çökeltme hacminin 14 mL olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtım, Atıksu, Demir Elektrot, Elektrokoagülasyon, Fosfat, Giderim

Abstract

In this study, the applicability of electrocoagulation method for phosphate removal from metal coating wastewater was investigated. The experiments were performed in a batch EC reactor using Fe electrode during an hour in 25, 50, 75 ve 100 mA/cm² current density. The results showed that the highest phosphate removal efficiency was 89.5% at the highest current density. However, it was determined that the removal efficiency decreased after 30 minutes during the treatment process due to the increasing of electrical conductivity and pH. In addition, it was observed that at the highest current density, the sludge resulting from the treatment was exposed to the highest settling and the settling sludge volume was the lowest 14 mL.

Keywords: Treatment, Wastewater, Iron Electrode, Electrocoagulation, Phosphate, Removal

*^a Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR; ummukulsum.akdemir@giresun.edu.tr, Tel: (0454) 310 17 40, orcid.org/0000-0002-1318-6655

1. Giriş

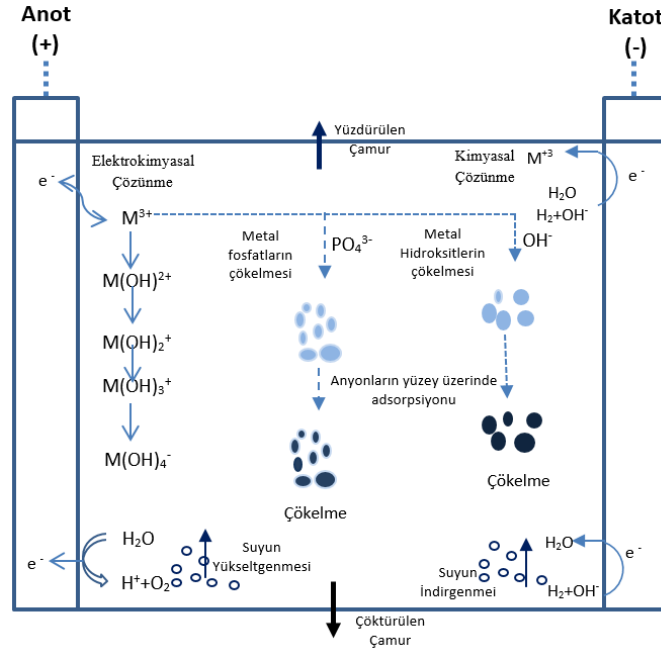
Fosfat bitki ve mikroorganizmaların fizyolojik prosesleri için gerekli olan temel besinlerden biridir. Bu nedenle fosfat sularda ortofosfat, polifosfat ve organik fosfat formunda bulunur (Bakshi vd. 2020). Yüzey sularına deşarj edilen bu fosfat formları, ötrofikasyonu hızlandırdığı için, çevresel su kaynaklarının incelenmesinde en önemli problemleri oluşturur (Bektaş vd., 2004; Vasudevan vd. 2009, Sun vd. 2020). İçme suyunda alglerin aşırı büyümesine neden olan bu olay, başlıca zirai alanlarda gübre kullanımı, kentsel ve endüstriyel atıksuların çevreye deşarjı ve atmosferik çökeltme gibi yüksek fosfat konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır (Vasudevan vd. 2009, Nassef 2012). Alıcı ortama deşarj edilen fosfat çözünmüş oksijenin azalmasına, sucul organizmaların ölümüne, su kalitesinde azalmaya bağlı olarak arıtma sistemlerinde arızalanmaya neden olur (Bakshi 2020, Sun vd. 2020). İnsan popülasyonuna paralel olarak su tüketiminin artması tüm su kaynaklarını kurtarma ve koruma çabalarını arttırmaktadır. Fosfor içeren kimyasal atıkların ve atıksuların azaltılmasının yanında, fosfat içeren atıksuların arıtılması gerekmektedir (Attour vd., 2014). Deşarj limitlerine bağlı olarak fosfat arıtımında nitrifikasyon, denitrifikasyon, kırılma noktası klorlaması, kimyasal çöktürme, kristalizasyon, iyon değişimi, membran filtre, sulak alan, mikrodalga radyasyon, kapasitif deiyonize metotlar ve adsorpsiyon gibi çeşitli metotlar uygulanmaktadır (Bakshi 2020, Sun vd. 2020). Atıksulardan fosfat gideriminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotlar çok yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, bu metotlar kendi içlerinde değerlendirildiğinde birçok dezavantaja sahiptirler (Stafford vd. 2014). Elektrodializ veya ters osmoz gibi fiziksel yöntemler, çok pahalıdır ve toplam fosfatın sadece %10' u gibi düşük bir giderim verime sahiptir (Vasudevan vd. 2009, Chen vd. 2014). Kimyasal çökeltme ile fosfat gideriminde alüminyum sülfat ve demir klorür çok yaygın kullanılır (Bektaş vd., 2004). Bu yöntem, yüksek bakım maliyeti ve genelde kimyasal çöktürücülerin fosfat giderimi için önerilen teorik stokiyometri seviyesinin üstünde uygulanarak yüksek çamur üretimi ve bertaraf maliyetleri gibi dezavantajlara sahiptir (Bektaş vd. 2004, Attour vd. 2014). Ayrıca, işlem süresince kalsiyum ile çöktürme için alkali koşul gereklidir ve alüminyum ve demir kullanılırsa, asidik ortamları nötralize etmek gerekir. Bu sadece

kimyasal maliyetini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda biyolojik arıtma işlemlerine de zarar verir (Bektaş vd., 2004). Biyolojik metotlar, uygun maliyetli ve fiziksel ve kimyasal süreçlerden daha az çamur üretir. Ancak, bu yöntemde ise arıtma süresi daha uzundur ve düşük fosfat giderimi söz konusudur (Chen vd. 2014). Biyolojik süreçlere ise, fosfatın sıvıdan çamur fazına aktarılması gerekmekte ve bu durumda, uzaklaştırma verimi genellikle %30' u aşmamaktadır. Bu nedenle kalan fosfatın başka tekniklerle uzaklaştırılması gerekmektedir (Vasudean vd. 2009).

Elektrokoagülasyon (EC) bu konvansiyonel proseslere bir alternatif olarak atıksu arıtımında büyük ilgi görmektedir. Bu yüzden, son yıllarda organik bileşikler, ağır metaller, anyonlar (nitrat, florür ve fosfat gibi) gibi farklı türlerde kirleticilerin ve sertlik gideriminde, boya ve tekstil atıksuyu, süt endüstrisi atıksuyu, biyodizel atıksuyu ve petrol rafinerisi atıksuyu arıtımında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Behbahami vd. 2011). Elektrokoagülasyon, çökeltme ve koagülasyon mekanizmaları yoluyla kirleticileri uzaklaştıran, yerinde koagulant üretimi için (metal iyonları üretmek için) verici metal elektrotlar boyunca elektrik akımı geçiren bir işlemdir (Stafford vd., 2014, Lacasa vd., 2011). Lacasa vd. (2011) EC prosesinin fosfat giderim mekanizması Şekil 1' deki gibi özetlemiştir.

EC metodu kimyasal metotlara göre, daha az koagülant iyonu gerektirmesi, kimyasal ilavesi gerektirmemesi, oldukça küçük alana ihtiyaç duyması, düşük yatırım maliyeti ve kolay işletilebilmesi, daha az çamur üretmesi, kısa alıkonma süresine sahip olması ve daha büyük floklara sahip olması ile karakterize edilir. Ayrıca daha kararlı oldukları için filtrasyona da müsaittirler (Bektaş vd. 2004, Inan ve Alaydın 2014). Diğer yandan, proses verimi elektrik voltajı, iyonik konsantrasyon, elektrot materyali ve alıkonma süresi ve sıcaklığı gibi faktörlere bağlı olduğu için bu faktörleri optimize etmek prosesin başarısında önemli rol oynamaktadır (Inan ve Alaydın 2014).

Bu çalışmada metal kaplama tesisinden alınan fosfatlı atıksuyun elektrokoagülasyon ile giderimi farklı akım şartları altında araştırılmıştır ve fosfat giderimi esnasında elektriksel iletkenlik, pH değişimi ve çamur oluşumu belirlenmiştir.



Şekil 1. Elektrokoagülasyonla fosfat gideriminin mekanizması (Lacasa vd. (2011) den düzenlenmiştir

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan atıksu Samsun organize sanayinde yedek parça üreten Sampa Otomotiv A.Ş.' den alınmıştır. Atıksu tesiste yüzey işleme ünitesi 1.durultucu tankından alınmıştır. Bu ünite Yarı Mamul, Yağ Alma, Kumlama, Yüzey İşlem ve Boya ünitelerinden oluşmaktadır. Alınan atıksuya ait karakter analizi Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Metal kaplama tesisi atıksu özellikleri

Parametre	Değer
pH	5.3
Sıcaklık (°C)	20
Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	850
PO ₄ ⁻ (mg/L)	54.7
KOI (mg/L)	175

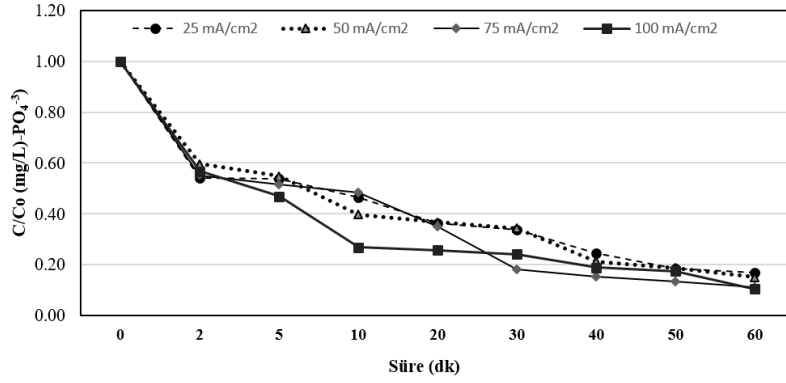
Arıtımda kullanılan elektrokoagülasyon reaktör pleksiglas malzemeden üretilmiştir. Reaktörün boyutları 6.45 cm x 9.95 cm x 11.2 cm olarak tasarlanmıştır. Reaktörde 3 adet demir elektrot (anot) ve 3 adet Çelik (S) elektrot (Katot) kullanılmıştır. Elektrot boyutları 4.5 cm x 7.33 cm x 0.25 cm dir. Elektrotlar arası mesafe 0.6 cm dir. Elektrotlar reaktör içerisine paralel bağlı monopolar olarak bağlanmıştır. Reaktörlere 610 mL atıksu eklenerek elektrotların su içerisinde kalması sağlanmıştır. Sistemde doğru akım için GW marka GPS-3060D model DC güç kaynağı kullanılmıştır. Reaktörde arıtım için karışım, 2.5 cm x 0.75 cm ebatlarındaki pedallı VELP marka JLT 6 model jar testi ile 200 rpm de yapılmıştır.

Arıtım kesikli olarak yapılmış olup, 25, 50, 75 ve 100 mA/ cm² akım yoğunluğuna karşılık gelen akım EC deney düzeneğine verilmiştir.

Reaktör içerisinden 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakika sonunda 5 mL numune alınarak örnekler çökelmeye bırakıldıktan sonra berrak kısımlarına fosfat tayini yapılmıştır. Reaktörün bu zaman aralıklarında elektriksel iletkenliği ve pH ölçümleri, Thermo Scientific Orion 3-Star marka pH multi parametre ile ölçülmüştür. Fosfat tayini EPA 365.2+3, APHA 4500-P E, ve DIN EN ISO 6878 standartlarına uygun olan Merck reagent test (1.00798.0001) ile Nova 60 fotometre ile gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

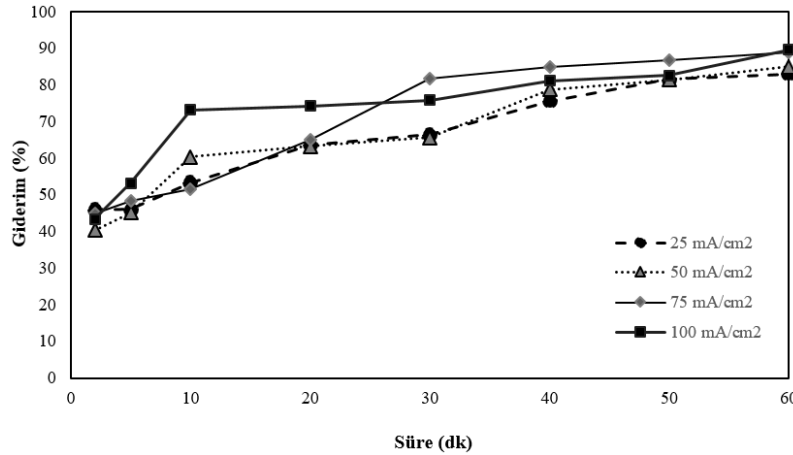
Farklı akım yoğunlukları için 1 saat süreyle kesikli elektrokoagülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2' de farklı akım yoğunluklarında fosfat konsantrasyonu değişimi görülmektedir. Giriş PO₄⁻³ konsantrasyonu 54.7 mg/L olan atık suyun 60 dakikalık arıtım neticesinde PO₄⁻ konsantrasyonu en düşük (25 mA/cm²) akım yoğunluğunda 9.3 mg/L olarak gerçekleşmiştir. Yüksek akım yoğunluğu, yüksek fosfat giderimini sağlamıştır. Sonuçlar, Kopya vd. 2010 ve Franco vd. 2017 tarafından yapılan diğer çalışmaların sonuçlarını desteklemektedir.



Şekil 2. Farklı akım yoğunluklarında fosfat giriş ve çıkış konsantrasyon oranlarının değişimi

25 mA/cm², 50 mA/cm², 75 mA/cm² ve 100 mA/cm² lik akım yoğunluklarında yapılan deneysel çalışmalara ait % giderim verimleri Şekil 3’ de gösterilmiştir. Akım yoğunluğundaki artış fosfat gideriminde de artışa neden olmuştur. 60 dakika sonunda; en yüksek fosfat giderim verimi % 89.57 ile 100 mA/cm² de gerçekleşirken, en düşük fosfat giderim verimi % 83 ile 2.5 mA/cm²

lik akım yoğunluğunda gerçekleşmiştir (Şekil 3). Arıtım sonunda (60. dk) farklı akım yoğunluklarında giderim verimlerinin çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak 75 ve 100 mA/cm² yüksek akım yoğunlukları için 30. dk dan sonra arıtım veriminin azalan bir artış gösterdiği belirlenmiştir.

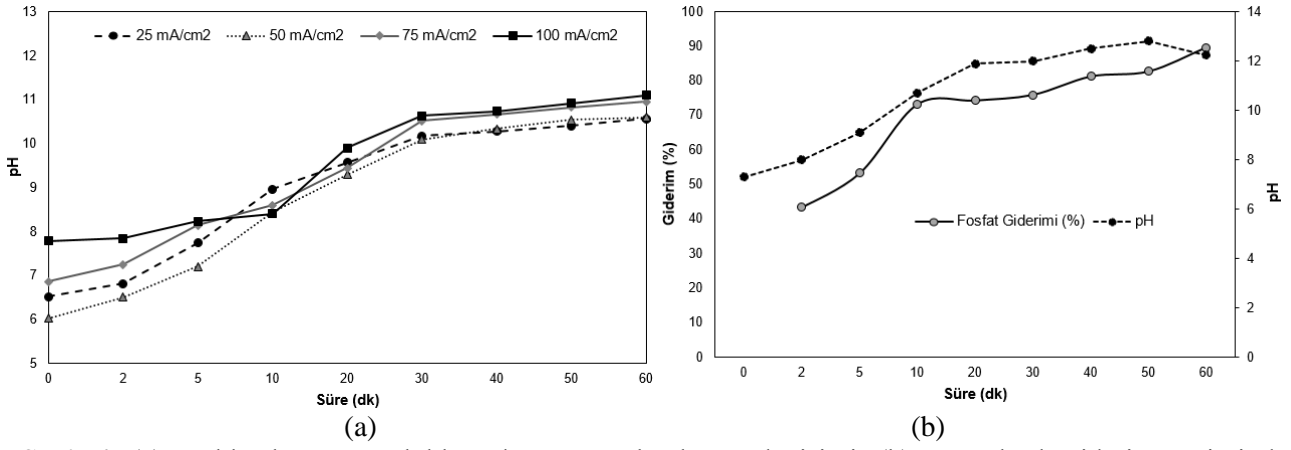


Şekil 3. Farklı akım yoğunlukları için PO₄⁻ giderimi

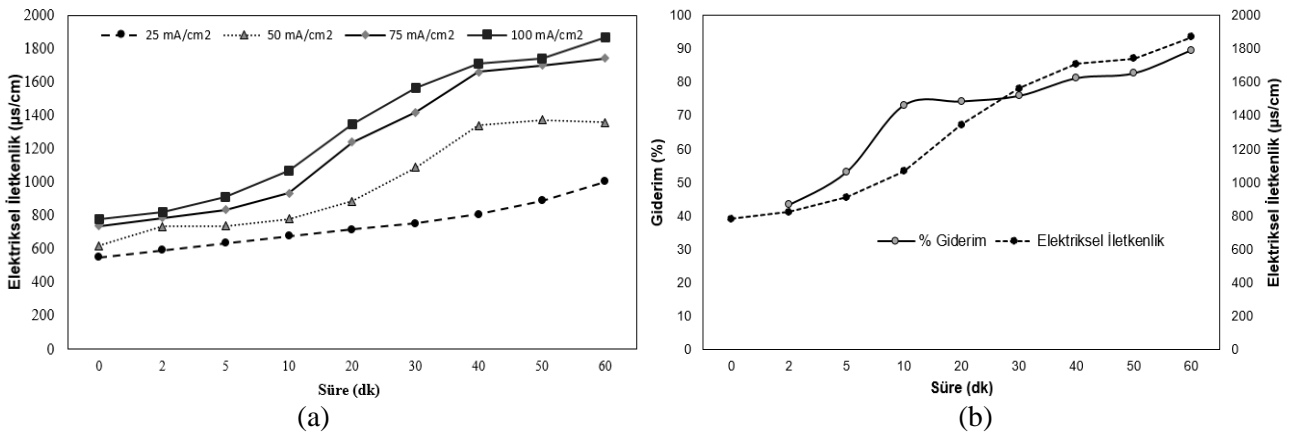
Behbahani vd. (2011) Fe elektrot ile yapmış oldukları çalışmada, en yüksek arıtım veriminin elde edildiği 3 ve 7 giriş pH’ında en yüksek 7.2 ve 10.5 çıkış pH’ına ulaşıldığını göstermişlerdir. Akım yoğunluğundaki artış fosfat giderim veriminde de artışa neden olmakla birlikte sınırlayıcı etmen pH’dır. Şekil 4-a’da farklı yoğunluklarında arıtımın 30. dk’ında pH 10.1-10.63 arasında değiştiği görülmektedir.

Yüksek pH değerlerinde oksitlenen yüzey net negatif yükü kapanır ve anyonik fosfat itme eğilimi gösterir. Çözünmeyen metal hidroksitleri, pH’ın artışıyla meydana gelir ve demir hidroksitleri ilk önce oluşur. Numunedeki OH⁻ iyonları arttığından dolayı elektriksel iletkenlik

artışı ile pH artar. Asidik şartlardaki pH artışı katyonda Hidrojen iyonu oluşumuna katkı sağlar. EC prosesindeki pH’ın bu değişimi, suyun elektrolizi ve koagülasyon prosesinin kimyası ile ilişkilidir. Bu nedenle proses yüksek elektriksel yük uygulaması altında olduğundan başlangıçtaki fosfor giderim safhası komplekstir. Belli bir süre sonra anot tarafından tüketilen hidroksit (OH⁻) iyonu karşılanamadığı için pH artışı sabit hale gelir. Oluşan OH⁻ iyonu yeterli olmaz. Sürekli çökeltme için OH⁻ iyonları kullanıldığından pH 30 dakikadan sonra sınırlanabilir değerde kalmıştır (Şekil 4 ve 5). Optimum bekleme süresinden sonra (yaklaşık 30-40 dakika) pH düzeyi stabil hale gelmiştir. Bu durum tüm akım değerleri için geçerlidir.



Şekil 4. (a) Farklı akım yoğunluklarında zamana bağlı pH değişimi, (b) En yüksek giderim veriminde zamana bağlı pH değişimi



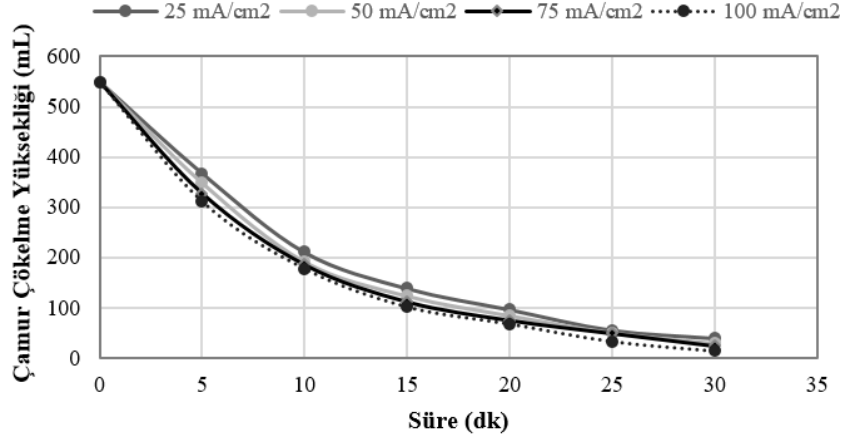
Şekil 5. (a) Farklı akım yoğunluklarında zamana bağlı elektriksel iletkenlik değişimi, (b) En yüksek giderim veriminde zamana bağlı elektriksel iletkenlik değişimi

Tablo 2. Elektrokoagülasyon ile fosfat giderimleri ile ilgili diğer çalışmalar

Atıksu Türü	Elektrotlar	Co (PO ₄ ³⁻) (mg/L)	Akım Yoğunluğu	Reaksiyon Süresi (dk)	pH	Giderim (%)	Kaynak
Ham Atıksu	Çelik-Çelik	10-50	0.5 mA/cm ²	20	6.5	98.5	Vasudevan vd. 2008
İçme suyu	Zn-Çelik	10-40	0.05 A/dm ²	30	7	98.8	Vasudevan vd.2009
Sentetik	Fe-Fe	5	0.8 mA/cm ²	55	5.2	89.2	Dian vd. 2013
Sentetik Atıksu	Al-Fe	110	8 mA/cm ²	60	8	99	Chen vd. 2014
Sentetik Atıksu	Al-Al Fe-Fe	50	1 mA/cm ²	40	-	98.9 93.5	Duricic vd.2016
Ham Atıksu	Grafit-Al	20	1 mA/cm ²	15	7	98	Tian vd.2016
Sentetik Atıksu	Al-Al	0.07-1.75 (TP)	-	50- 60	5	99	Franco vd. 2017
Sentetik Atıksu	Al-Al	25-100	10 mA/cm ²	120	7	97.65	Tibebe vd.2019
Sentetik Atıksu	Fe-Çelik	500	11.7 mA/cm ²	60	5	92	Dura vd.2019a
Ham Atıksu	Al-Al	100	6 mA/cm ²	60	6	99	Hashim vd. 2019
Ham Atıksu	Al-Mg	20	5 mA/cm ²	20	5	95	Dura vd.2019b
Ham atıksu	Fe-Çelik	54.7	100 mA/cm ²	60	7.29	89.57	Bu Çalışma

Bu çalışmadan elde edilen fosfat giderim verimlerinin farklı metal elektrotların kullanıldığı fosfat giderimi ile ilgili diğer çalışmaların karşılaştırmalı halini Tablo 2’ de verilmiştir. Yapılan çalışmalarda Fe elektrot kullanımında Al

elektrot kullanımına göre daha düşük fosfat giderimi sağladığı bildirilmiştir (Duricic vd.2016). Fe elektrot kullanılan bu çalışmada arıtım veriminin %89,57 olmasının elektrot seçiminden kaynaklandığı görülmektedir.

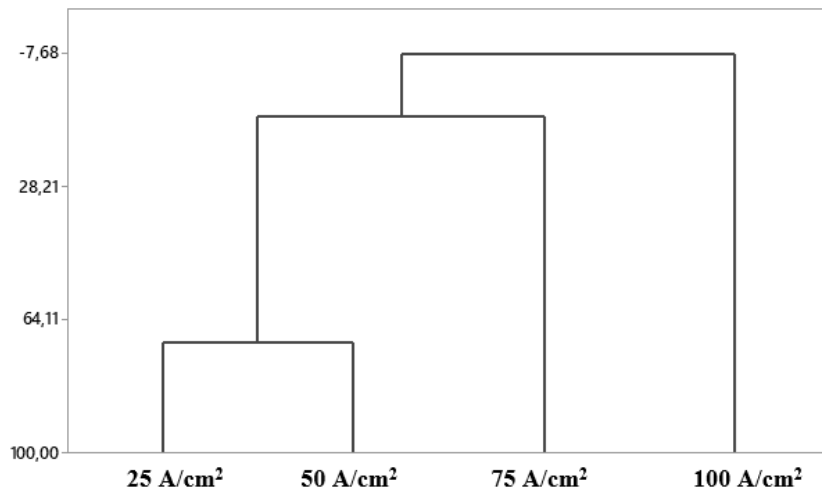


Şekil 6. Farklı akım yoğunluklarında oluşan çamur miktarları

Akım yoğunluklarına bağlı olarak oluşan çamur miktarları Şekil 6' da verilmiştir. EC prosesi ile oluşan çamur kolayca çökebilir ve susuzlaştırılabilir. Akım yoğunluğuna karşılık gelen çamurun çökme miktarı Şekil 6' da verilmiştir. Akım yoğunluğunun artışı ile hacim olarak çökelmiş çamur miktarının daha az olduğu ancak hemen hemen birbirine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 6). Akım yoğunluğundaki artış ile kabarcık yoğunluğu artarken kabarcık büyüklüğü azalmaktadır. Bunun kabarcıkların çökmesi üzerinde olumsuz bir etkisinin olacağı düşünülmese de rağmen artan akım yoğunluğu ile anotta daha fazla demir çözüneceğinden daha yüksek koagülasyon performansı gözlenecektir. Bu durum 100mA/cm² akım yoğunluğunda çamur çökme yüksekliğinin daha düşük olması ile açıklanmaktadır. Arıtım esnasında oluşan flokların büyüklüğü, daha fazla çamurun

çökmesini sağlayacağı için arıtım sonrası bekleme süresi ve çamur depolama yerinin tasarımında önemli olacaktır.

Akım yoğunluklarının arıtımı verimine etkisinde aralarındaki benzerliği belirlemek için Ward Linkage, Euclidean Distance metodu ile kümeleme analizi yapılmıştır. Şekil 7' de yatay eksen farklı akım yoğunluklarını dikey eksen ise fosfat giderim verimleri vermektedir. Kümeleme analizinde akım yoğunlukları kümelemesi içerisinde giderim verimlerine bağlı olarak düşük akım yoğunluklarının birbiri içerisinde benzer olduğu akım yoğunlukları arttıkça kümelemenin zayıfladığı görülmektedir. 100 mA/cm² nin tek başına tek bir grup oluşturduğu, 25, 50 ve 75 mA/cm²' nin kendi içinde gruplandığı görülmüştür.



Şekil 7. Akım yoğunluklarına göre dendrogram gösterimi

Akım yoğunluğunun elektrokoagülasyonun en hassas işletme parametresi olduğu düşünülürse, yüksek akımda arıtım daha hızlı gerçekleşmektedir. Çünkü yüksek akımda daha

fazla hidrojen gazı çıkışı gerçekleşir ve oluşan küçük kabarcık halindeki hidrojen gazı flotasyon ile fosfat gideriminde artışa neden olur. Ayrıca pH arttıkça OH⁻ oluşumu katotta artar ve akım

yoğunluğu da bundan etkilenir. Düşük akım yoğunluklarında anot yüzeyinde beyaz bir tabaka oluşurken yüksek akım yoğunluklarında bu tabaka oluşmaz. Hidrojen anyonlarının oluşumu hassas olduğu için katottaki kimyasal korozyon oluşumu yüksek akım yoğunlukları için açıklanabilir (Attour vd. 2014). Enerji tüketiminin akım yoğunluğu ile doğru orantılı olduğunu bilinmektedir. Optimum akım yoğunluğunun bulunması, EC' nin klasik kimyasal arıtım metodu olarak kullanılabilmesi ve düşük maliyet için önemlidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı akım yoğunlukları dikkate alınarak elektrokoagülasyon ile fosfor giderim performansları incelenmiştir. Elektroliz süresi arttıkça atıksudaki fosfat konsantrasyonu azalmaktadır. Akım ve bekleme süresindeki değişiminin fosfat giderimine etkisi olduğu görülmüştür. Sonuçlar, yüksek elektriksel iletkenliğin artışı ile fosfat gideriminin arttığını göstermiştir. 25, 50, 75 ve 100 mA/cm² akım yoğunluklarında sırasıyla %83,85, 88.85 ve 89.57 fosfat giderimi sağlamıştır. Giderim verimlerinin çok yakın olması sebebi ile en uygun akım yoğunluğu 75 mA/cm² olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

Attour, A., Touati, M., Tlili, M., Ben Amor, M., Lapique, F. ve Leclerc J.P., 2014. Influence of Operating Parameters on Phosphate Removal from Water by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes. Separation and Purification Technology, 123, 124-129.

Bakshi, A., Verma, A.K. ve Dash, A.K., 2020. Electrocoagulation for Removal of Phosphate from Aqueous Solution: Statistical Modeling and Techno-Economic Study. Journal and Cleaner Production, 246. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118988

Bektaş, N., Akbulut, H., İnan, H. ve Dimoglo A., 2004. Removal of Phosphate from Aqueous Solution by Electro-Coagulation. Journal of Hazardous Materials, 106B, 101-105.

Behbahani, M., Alavi Moghaddam, M.R. ve Arami M., 2011. A Comparison Between Aluminum and Iron Electrodes on Removal of Phosphate from Aqueous Solution by Electrocoagulation Process. International Journal of Environmental Research, 5, 2, 403-412.

Chen, S., Shi, Y., Wang, W., Li, Z., Gao, J. ve Bao K., 2014. Phosphorus Removal from Continuous Phosphate-Contaminated Water by Electrocoagulation Using Aluminum and Iron

Plates. Separation Science and Technology, 49, 939-945.

Dian, K.M., Zhang, B., Feng, C. ve Cellou, K., 2013. Phosphorus Removal from Wastewater by Electrocoagulation Using Iron Electrode. Advanced Materials Research, 726-731, 2498-2501.

Dura, A. ve Breslin, C.B., 2019a. Electrocoagulation Using Stainless Steel Anodes: Simultaneous Removal of Phosphates, Orange II And Zinc Ions. Journal of Hazardous Materials, 379, 152-158.

Dura, A. ve Breslin C.B., 2019b. The Removal of Phosphates Using Electrocoagulation with Al-Mg Anodes. Journal of Electroanalytical Chemistry, 846, 223161, 1-8.

Duricic, T., Malinovic, B.N. ve Bijelic, D., 2016, The Phosphate Removal Efficiency Electrocoagulation Wastewater Using Iron and Aluminum Electrodes. Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina, 47, 33-38.

Franco, D., Lee, J., Arbelaez, S., Cohen, N. ve Kim, J.Y., 2017. Removal of Phosphate from Surface and Wastewater via Electrocoagulation. Ecological Engineering, 108, 589-596

Hashim, K.S., Khaddar, R.A., Jasim, N., Shaw, A., Phipps, D., Kot, P., Pedrola, M.O., Alattabi, A.W., Abdulredha, M. ve Alawsh, R., 2019. Electrocoagulation as a Green Technology for Phosphate Removal from River Water. Separation and Purification Technology, 210, 135-144.

Inan E. ve Alaydın E., 2014. Phosphate and Nitrogen Removal by Iron Produced in Electrocoagulation Reactor. Desalination and Water Treatment, 52, 1396-1403.

Kobyas, M., Demirbas, E., Dedeli, A. ve Sensoy, M.T. 2010. Treatment of Rinse Water From Zinc Phosphate Coating by Batch and Continuous Electrocoagulation Processes. Journal of Hazardous Materials, 173, 326-334.

Lacasa, E., Canizares, P., Saez, C., Fernandez, F.J. ve Rodrigo, M.A., 2011. Electrochemical Phosphates Removal Using Iron and Aluminium Electrodes. Chemical Engineering Journal, 172, 137-143.

Nassef E., 2012. Removal of Phosphorous Compounds by Electrochemical Technique. Engineering Science and Technology: An International Journal, 2, 3, 403.

Sun, D., Hong, X., Wu, K., Hui, K.S., Du, Y. ve Hui, K.N. 2020. Simultaneous Removal of Ammonia

and Phosphate by Electrooxidation and Electrocoagulation Using RuO₂/Ti and Microscale Zero-Valent Iron Composite Electrode. *Water Resource*, 169, 115239, 1-11.

Stafford, B., Dotro, G., Vale, P., Jefferson, B. ve Jarvis, P., 2014. Removal of Phosphorus from Tricling Filter Effluent by Electrocoagulation. *Environmental Technology*, 35, 24, 3139-3146

Tian, Y., He, W., Zhu, X., Yang, W., Ren, N. ve Logan, B.E., 2017. Improved Electrocoagulation Reactor for Rapid Removal of Phosphate from Wastewater. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5, 67-71.

Tibebe, D., Kassa, Y. ve Bhaskarwar, A.N., 2019. Treatment and Characterization of Phosphorus

from Synthetic Wastewater Using Aluminum Plate Electrodes in the Electrocoagulation Process. *BMC Chemistry*, 13, 107, 1-14.

Vasudevan, S., Sozhan, G., Ravichandran, S., Jayaraj, J., Lakshmi, J. ve Sheela, S.M., 2008. Studies on the Removal of Phosphate from Drinking Water by Electrocoagulation Process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47, 6, 2018-2023.

Vasudevan, S., Lakshmi, J. ve Sozhan, G., 2009. Optimization of the Process Parameters for the Removal Of Phosphate from Drinking Water by Electrocoagulation. *Desalination and Water Treatment*, 12, 407-414.

Kaolin Dağılımının Spektral Sınıflama Yöntemleri ile Belirlenmesi: Geminbeli Kaolin Yatağı (Sivas) ve Çevresi

Determination of Kaolin Distribution by Using Spectral Classification Methods: Geminbeli Kaolin Deposit (Sivas) and Its Surroundings

Oktay CANBAZ*^{1,a}, Önder GÜRSOY^{2,b}, Ahmet GÖKCE^{1,c}

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

²Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

• Geliş tarihi / Received: 29.04.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 30.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 20.09.2020

Öz

Kaolin grubu killer, günümüzde kağıt, çimento, boya, ilaç, seramik ve plastik sanayisi gibi oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Türkiye’ de özellikle çimento ve seramik sanayisinin yüksek ekonomik değerli hammaddesini oluşturmaktadır. Bu tür sahaların tespiti ve halihazırda işletilenlerin ise iyileştirilmesi için arazi ve laboratuvar süreçleri oldukça önemlidir. Son yıllarda, uydu verileri ile mineral haritalama çalışmaları yapılmakta olup madencilik sektörüne katkı sunacak olumlu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, uydu verilerinin yoğun killeşme alanlardaki performansını belirlemeye yönelik gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanı, Sivas ili Zara ve Suşehri ilçeleri arasında kalan bölgede mevcut bir kaolin işletmesi ve çevresini kapsamaktadır. Araziden alınan temsili örnekler de yapılan petrografik ve XRD incelemelerinde, kaolinit, illit, smektit ve klorit kil türleri tespit edilmiştir. Çalışmada, ASTER uydu görüntüsüne Spektral Açılı Haritalama (SAM) ve Eşlenen Filtreleme (MF) spektral sınıflandırma yöntemleri uygulanarak, killeşme gösteren alanlarda kaolinit, illit, smektit ve klorit dağılımları ortaya çıkarılmıştır. Kaolinit için, uydu verilerinden elde edilen sonuçlar ile arazi verilerinin yüksek oranda örtüştüğü belirlenmiştir. Ayrıca MF yönteminin, illit, klorit ve smektit dağılımlarının belirlenmesinde SAM yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Eşlenen Filtreleme, Hidrotermal Alterasyon, Kaolin Yatağı, Spektral Açılı Haritalama, Spektral Sınıflama

Abstract

In the nowadays, kaolin group clays have a wide range of areas of utilization such as paper, cement, paint, pharmaceutical, ceramic and plastic industries. It is a raw material with high economic value in especially cement and ceramic industries in Turkey. The field and laboratory processes are crucial for the detection of such sites and for the improvement of already mining operated sites. In recent years, mineral mapping studies have been carried out with satellite data and useful results have obtained that contribute to the mining process. In this study, it was carried out to determine the performance of satellite data in argillisation areas. The study area is located between Zara and Suşehri Towns of Sivas Province and include a kaolin deposit. In the petrographic and XRD investigations, which were also carried out in representative samples taken from the study area, kaolinite, illite, smectite and chlorite clays were determined. In the study, kaolinite, illite, smectite and chlorite distributions were determined by using the SAM (Spectral Angle Mapper) and MF (Matched Filtered) spectral classification methods in the argillization areas. For kaolinite, it has been determined that the results obtained from satellite data substantially coincided with the field study data. Furthermore, it has been observed that MF method gives better results in illite, chlorite and smectite distributions than SAM method.

Keywords: Matched Filtering, Hydrothermal Alteration, Kaolin Deposit, Spectral Angle Mapper, Spectral Classification

*a Oktay CANBAZ; ocanbaz@cumhuriyet.edu.tr, orcid.org/0000-0002-8161-1326

^b orcid.org/0000-0002-1531-135X

^c orcid.org/0000-0001-7776-1893

1. Giriş

Hidrotermal alterasyonlar, özellikle porfiri tipi, damar tipi, volkanojenik masif sülfid ve epitermal maden yatakları çevresinde bu yatakları oluşturan çözeltilerle meydana gelirler (Pirajno, 2009). Bu oluşumlar OH – içeren mineraller, sülfatlar, karbonatlar, demir oksitler ve hidroksitler gibi belirli mineral parajenezine sahiptirler (Pirajno, 2009). Parajenezi oluşturan bu mineraller kendilerine ait 0.4–1.0, 1.3–2.5, and 8.0–14.0 aralıklarında değişen elektromanyetik spektral özelliklere sahiptirler (Clark, 1999; Gupta, 2003). Bu özellikleri, uydu verilerinde görüntü işleme ve spektral sınıflama yöntemleri kullanılarak kendilerine ait dağılım haritaları belirlenmesinde ve litolojik özelliklerin ortaya çıkarılmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Elde edilen sonuçlarda, değerli maden yataklarının aranmasında hedef sahaların belirlenmesine öncülük edebilmektedirler.

Son yıllarda, birçok araştırmacı tarafından Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Landsat, Sentinel 2A, Hyperion ve WorldView-3 (WV-3) gibi multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinden yararlanılarak bu tür sahalarda litolojik birimlerin ve hidrotermal alterasyon minerallerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir (Gad ve Kusky 2007; Yang vd., 2012; Kruse, 2012; Pour ve Hashim 2012; Kruse ve Perry, 2013; Ayoobi ve Tangestani 2017; Mahanta ve Maiti 2018; Hu vd., 2018; Canbaz vd., 2018; Rajedran ve Nasir, 2018; Abrams ve Yamaguchi, 2019; Salehi ve Tangestani, 2020).

Bu çalışmada kullanılan ASTER uydusuna ait multispektral görüntü, 0.52 ile 0.86µm bant aralığına sahip 3 adet Görünür Bölge Yakın Kızılötesi Radyometre (VNIR), 1.6 ile 2.43µm bant aralığına sahip 6 adet Kısa Dalga Kızıl Ötesi Radyometre (SWIR) ve 8.125 ile 11.65µm bant aralığına sahip 5 adet Termal Kızıl Ötesi Radyometre (TIR) bölgelerini kapsayan bantlardan oluşmaktadır. ASTER uydusu SWIR bantları, özellikle hidrotermal alterasyon alanlarında mineralleri tanımda oldukça yüksek potansiyele sahiptirler (Abrams ve Hook, 1995). Bu nedenle, çalışmanın konusunu oluşturan kaolin kil türünün bölgedeki dağılımını belirlemek için SWIR bantlarından yararlanılmıştır.

Killer, genellikle feldispat, mika, kuvars ve demir oksitlerin yüzeysel ve/veya hidrotermal koşullar altında bozunmasıyla oluşmakta olup çok karmaşık bir mineral yapısına sahiptirler.

Kimyasal içerikleri, yapısal ve mineralojik özelliklerine göre kaolin, smektit (montmorillonit), illit, klorit ve diğer (sepiyolit veya attapulgit) gruplara ayrılmaktadırlar (Malayoğlu ve Akar, 1995). Kaolin grubu killerin, ana hammaddesini feldispatların bozunması ile oluşan alümina hidrosilikat minerali olan kaolinit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) oluşturmakta olup bununla birlikte oluşum ortamında bulunan mika, kuvars ve demir oksitlerden türemiş kil minerallerini de içerebilmektedirler (Malayoğlu ve Akar, 1995). Oluşum şekli ve ortamına göre hidrotermal, rezidual ve sedimanter kaolin yatakları şeklinde ayrılmaktadırlar (URL-1). MTA (Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü) tarafından yapılan araştırmalar, Türkiye'deki kaolin yataklarının büyük bir bölümünün hidrotermal kökenli olduğunu göstermektedir. Kaolin yatakları, kâğıt, çimento, boya, ilaç, seramik ve plastik gibi birçok sanayi alanında yüksek ekonomik değere sahip hammaddeyi oluşturmaktadır. Dünyada, özellikle kâğıt üretiminde ilk sırayı almakta olup Türkiye'de ise çoğunluğu çimento ve seramik üretiminde kullanılmaktadır. Bu kadar geniş kullanım alanına sahip olan kaolinleri içeren sahaların tespiti ülke ekonomisi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışma, Sivas ili Zara ve Şuşehri ilçeleri arasında kalan bölgede, hidrotermal çözeltiler faaliyetleri sonrasında yoğun hidrotermal alterasyon içeren siyenitik ve volkanik kayalarla kaplı sahada, kaolin potansiyelini belirlemeye yönelik gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada spektral sınıflandırma yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin, gerek halihazırda işletilen Geminbeli kaolin sahasının geliştirilmesinde gerekse de yeni kaolin sahalarının keşfine yönelik yapılacak çalışmalardaki katkıları değerlendirilmiştir.

2. Jeolojik Özellikler

İnceleme alanı, Neo-Tetis okyanusun kapanması sonrasında gelişen İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonunun üzerinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölgenin temelini Paleozoyik yaşlı Tokat Metamorfikleri ile bunları tektonik dokunak ile üzerleyen Mesozoyik yaşlı Refahiye Ofiyolitli Karmaşığı oluşturmaktadır. Birim, volkanik ara katkılı kumtaşı-siltaşı ardalı gösteren Akıncılar Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Yılmaz vd., 1985). İnceleme alanı sınırları içinde kalan ve yoğun killeşme gösteren Eosen yaşlı Karataş Volkanitleri ile Lütésiyan yaşlı Köseadağ Siyeniti ise bu birimleri keserek bölgeye yerleşmişlerdir (Kalkancı, 1974; Yılmaz

vd., 1985; Başbüyük, 2006; Boztuğ, 2008; Eyuboglu vd., 2017) (Şekil 2).

Kösedağ Siyeniti ve Karataş Volkanitleri, inceleme alanı ve çevresinde saçınımlı ve damar tipi Cu-Pb-Zn ±Au hidrotermal zenginleşmeleri içeren yankayaçları oluşturmaktadırlar (Efe ve Gökce, 1999; Canbaz vd., 2018). Bu cevherleşmeleri oluşturan çözeltiler aynı zamanda, siyenit ve volkaniklerden oluşan yan kayaçlarda yoğun killeşme, kloritleşme ve limonitleşme/hematitleşme gibi hidrotermal alterasyonlara neden olmuştur. Killeşmelerin, bu yankayaçların özellikle kırık ve çatlak sistemlerinde yoğunlaştığı gözlenmekte olup yer yer masif pirit oluşumları içerdikleri arazi çalışmalarında gözlenmiştir (Şekil 3).

3. Materyal ve Metod

3.1. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

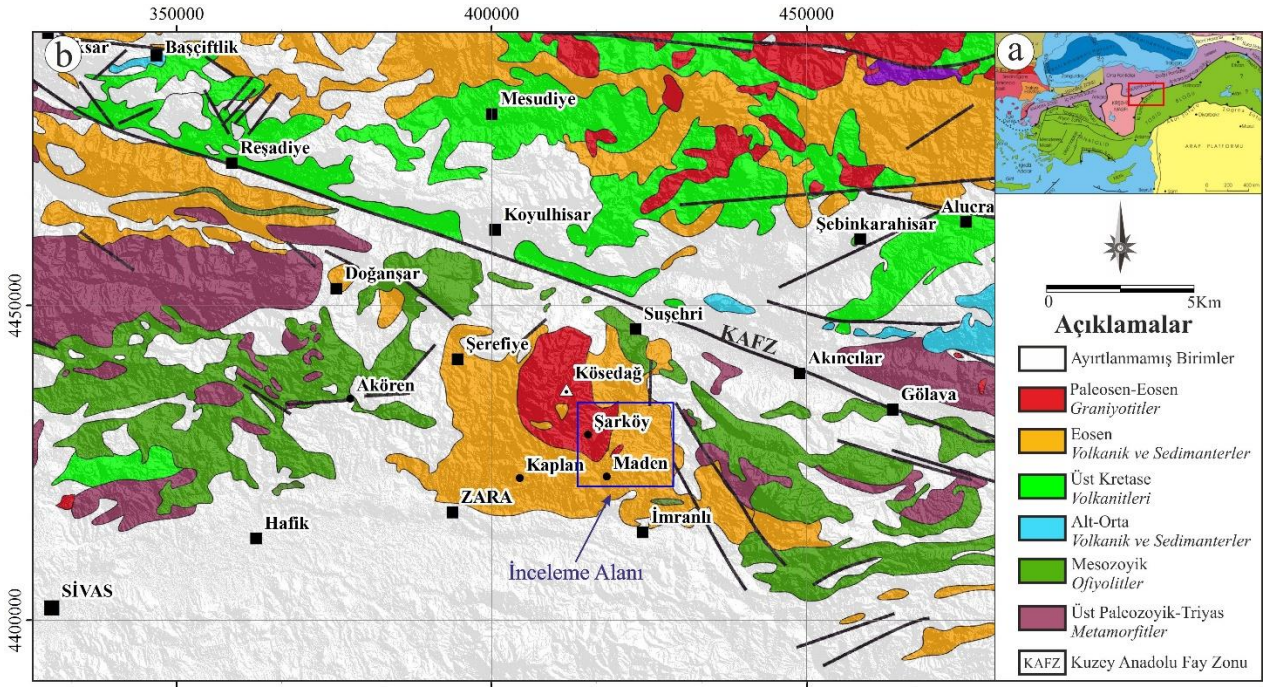
Yoğun bitki örtüsünün hakim olduğu bölgede, arazinin sarp ve engebeli olması nedeniyle örneklemler ulaşımı kolay bölgelerden yapılmıştır (Şekil 2). Çalışmada, özellikle killeşme türü alterasyon gösteren alanlardan temsili 30 adet örnek toplanmıştır. Bu örneklerden incekesit hazırlanabilenlerin mikroskopik incelemeleri Leica DM 2500 alttan ve üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Kil ayrıştırma yöntemi gerçekleştirilecek örneklerin, kil ve mineral içeriğini belirlemek amaçlı tüm kayaç X-Ray Difraktomları (XRD-TK) çekilmiştir. Kil içeriğinin yoğun ve kil elde edilebilecek 10 örnekte ise kil ayırma işlemleri gerçekleştirilmiş olup kil fraksiyon X-Ray Difraktomları (XRD-KF) çekilmiştir. Kil ayırma, kırma ve öğütme işlemlerinden sonra toz numune haline getirilen örneklerin, kimyasal çözme, santrifüj, dekantasyon, dinlendirme, yıkama ve sifonlama gibi işlemlerden geçirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Kil fraksiyonları için üç farklı preparat kesit hazırlanmıştır. Bunlar, normal (oda koşullarında su içeriği uzaklaştırılmış), glikollü (ortalama 60°C'de desikatör içerisinde etilen glikol buharında bekletilmiş) ve fırınlanmış (490 °C'de yaklaşık 4 saat ısıtma işleminden geçirilmiş) preparatlar şeklindedir. XRD çekimleri Rigaku marka DMAX IIIC model X-ışınları difraktometresinde (Anot = 1.541871Å), Filtre = Ni, Gerilim = 35 kV, Akım = 15 mA, Gonyometre

hızı = 2°/dak., Kağıt hızı = 2cm/dak., Zaman sabiti = 1 sn, Yarıklar = 1° 0.15 mm 1° 0.30 mm, Kağıt aralığı = 2θ = 5-35°) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

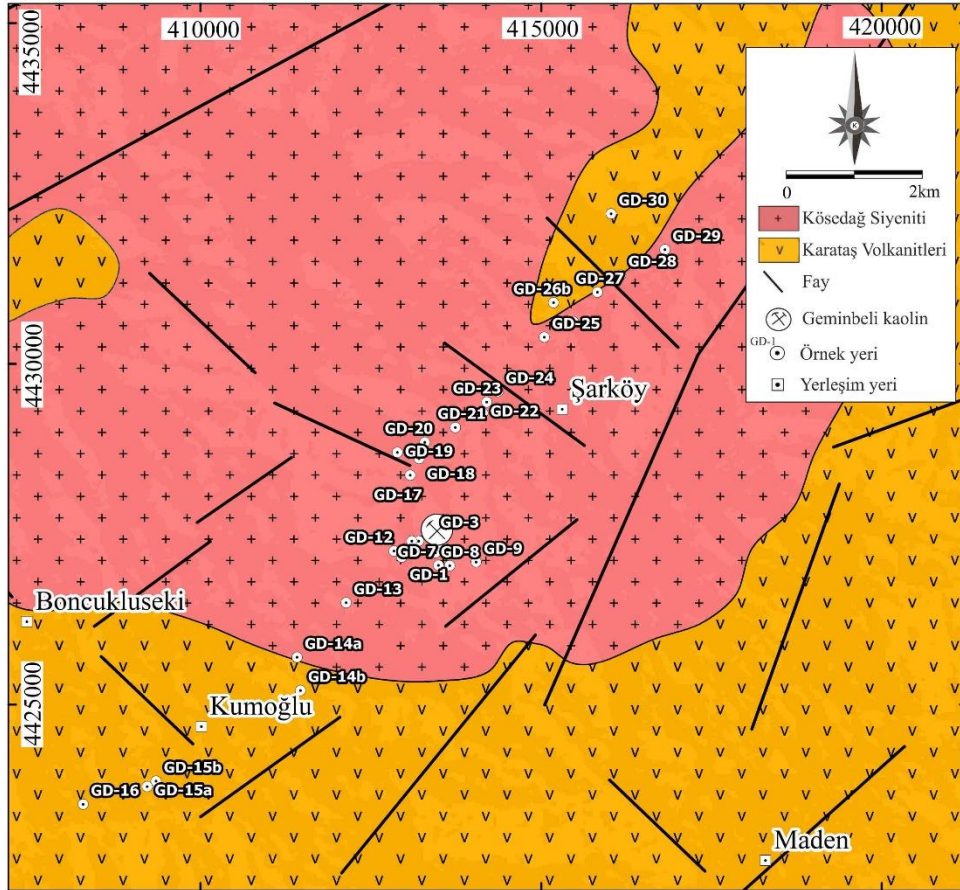
Hidrotermal alterasyon mineralojisi ve kil tayini yapılan örneklerin spektral imza ölçümleri Analytical Spectral Devices (ASD) Fieldspec Pro spektrometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm laboratuvar çalışmaları Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji ve Harita Mühendisliği Bölümlerinde yapılmıştır. Sınıflandırma yöntemlerinde kullanılmak üzere kaolinit ve illit spektral imzaları ile USGS kütüphanesinden alınan smektit ve klorit yansıma değerleri, ASTER SWIR bant aralığına yeniden örneklendirilmiştir (Şekil 4).

3.2. Uydu Verisi

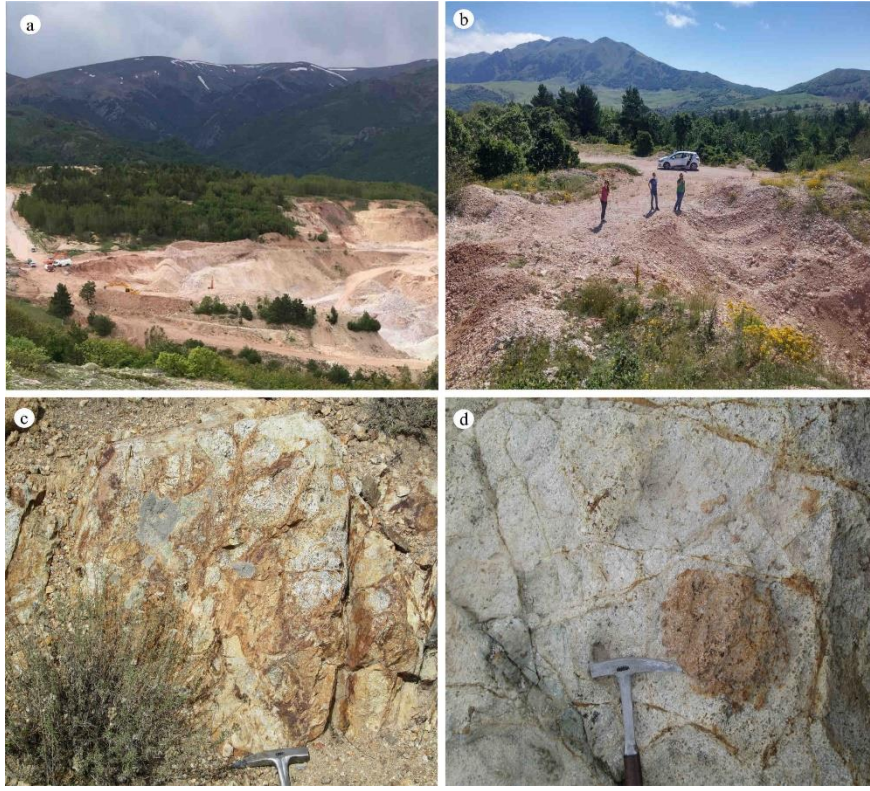
Çalışmada, 16.08.2005 tarihli ASTER L1B uydu görüntüsünün SWIR bantları kullanılmıştır. SWIR bantları, bölgesel ölçekte litolojik özelliklerin ortaya çıkarılmasında kullanıldığı gibi Al-OH, Mg-OH, Si-O-H, FeOX ve CO₃ gibi hidrotermal alterasyon minerallerinin tespiti ve dağılımlarının tayininde de kullanılmaktadır (Hunt, 1977; Abrams ve Hook, 1995; Yamaguchi vd., 1998; Abrams, 2000). ASTER uydu görüntüleri, algılayıcı yapısından kaynaklanan hatalar ile atmosferik etkilerden olumsuz olarak etkilenmektedirler. ASTER L1B uydu görüntüleri atmosferik düzeltmeler yapılmadan üretilirler (Abrams, 2000). Spektral sınıflama yöntemlerinde elde edilen sonuçların doğruluğunu artırmak için bu hataların giderilmesi ve atmosferik etkilerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu etkileri ortadan kaldırmak için görüntüde çapraz karışım düzeltmesi (Cross-Talk), radyans kalibrasyonu ve atmosferik düzeltme gibi işlemler gerçekleştirilmiştir. Çapraz karışım düzeltme işlemi için ERSDAC yazılımı kullanılmıştır. Yazılım, Iwasaki ve Tonaka (2005) tarafından önerilen bağıntıyı otomatik olarak uygulamaktadır. Radyans kalibrasyonu, Abrams ve Hook (1995) bağıntısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Atmosferik düzeltmede ise Achard ve D'Souza (1994) ile Eva ve Lambin, (1998) bağıntısı kullanılmıştır. Bu her iki işlemde de ER MAPPER yazılımı kullanılmış olup görüntüye ait bantlara tek tek uygulanmıştır.



Şekil 1. (a) Türkiye' nin ana suturları ve kıtasal blokları gösteren tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999). (b) Bölgesel jeoloji haritası (MTA, 2002' den revize edilerek hazırlanmıştır)



Şekil 2. İnceleme alanı yerel jeoloji haritası (Kalkancı, 1974; Yılmaz vd.,1985; MTA, 2002; Başibüyük, 2006; ve Canbaz vd., 2018) 'den revize edilerek hazırlanmıştır)



Şekil 3. (a) Geminbeli kaolin yatağı işletme alanı görünümü. **(b)** GD-12 nolu örnek lokasyonuna ait görünüm. **(c-d)** Kırık ve çatlak sistemlerinde killeşme görüntüleri

3.3. Spektral Sınıflama Yöntemleri

Bu çalışmada, litolojik ve mineralojik farklılıkların ortaya çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan Spektral Açık Haritalama (SAM) ve Eşlenen Filtreleme (MF) spektral sınıflama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çizim ve uydu verilerinin değerlendirilmesinde ENVI 5.3 ve ARCGIS yazılımları kullanılmıştır.

SAM, iki Nesne Tabanlı Referans Spektral (NTRS) arasındaki benzerlik derecesinin kullanıldığı bir sınıflama yöntemidir. Yöntem, spektral yansıtım verilerine göre oluşturulan referans vektörü ile uydu görüntüsü piksel değerlerinden meydana gelen vektör ile sınıflı bilinmeyen piksel değerleriyle oluşturulan vektör arasındaki açının hesaplanmasıyla uygulanır (Hawkesworth vd., 1997; Rowan vd., 2005; Massironi vd., 2008). Hedef yansıtım özelliklerinin vurgulanarak açığa çıkarılmasında gölgeleme etkilerini ortadan kaldırır (De Carvalho ve Meneses, 2000). Görüntü spektrumlarının spektral benzerliğini referans olarak verilen spektrumlara kolay ve hızlı eşlemek en temel avantajlarından bir tanesidir. Bu yöntemde ki temel dezavantaj ise elde edilen referans spektrumun saf olduğu varsayımı olup bu durum yöntemin eksik ve/veya fazla sınıflandırma yapmasına neden olmaktadır (Girouard vd., 2004).

MF, mineral olasılığını tahmin edebilmekle birlikte mineral ayrımı için tespit edilebilirlik ve seçicilik sunan spektral sınıflandırma yöntemlerinden bir tanesidir (Boardman, 1998). Yöntem de referans olarak gösterilen spektral yansıma ölçümlerinin bolluk oranına göre sınıflama yapılmakta olup referansa ait yansımalar en üst düzeye çıkarılarak, ilgisiz yansımaların ise bastırılmasıyla sonuç elde edilmektedir (Harsanyi ve Chang, 1994; Boardman, 1998; Mehr vd., 2013). MF spektral sınıflandırma yöntemi, spektral kütüphaneye dayalı olarak hızlı bir şekilde sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemin en önemli sorunlarından bir tanesini karışık piksel problemi oluşturmaktadır.

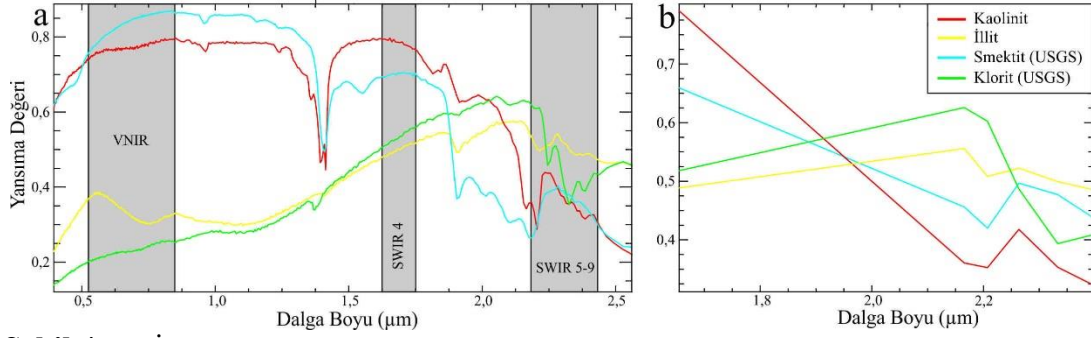
4. Bulgular

Killeşme gösteren alanlardan toplanan örneklerde yer yer pirit mineralleri makroskopik olarak gözlenebilmektedir. Petrografik inceleme yapılabilecek özellikte olan ve killeşme gösteren örneklerde eser miktarda kuvars içeriği saptanmıştır. Yine bu örneklerde yapılan XRD-TK çekimlerinde ise, kuvars, feldispat, amfibol, piroksen, epidot, kalsit, klorit, hematit, muskovit, jips ve kil pikleri tespit edilmiştir (Şekil 5). Kaolin işletmesi ve yakın çevresinden alınan XRD-KF çekimleri yapılmış örneklere ait sonuçlar Çizelge

1'de verilmiştir. İşletme içerisinde ve yakın çevresinden alınan örneklerde kaolinit hakim olup az da olsa illit oluşumları gözlenmiştir (Şekil 6). İşletmeden uzak alanlardan alınan bazı örneklerde ise illit, smektit ve klorit içeriği saptanmıştır.

XRD-KF sonuçlarına göre, geniş yayılım gösteren bu yoğun hidrotermal alterasyonlu bölgelerde

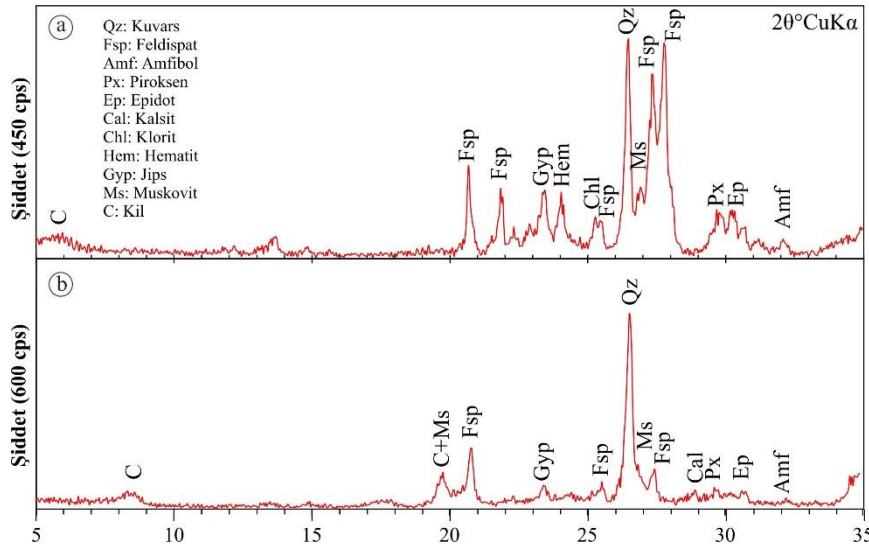
gelişen killeşmeler çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliği ortaya çıkarmak ve dağılımlarını belirlemek amaçlı SAM ve MF spektral sınıflama yöntemleri kullanılmıştır. Belirlenen kil grubu minerallere ait spektral imzalar bu yöntemler de ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların uzaysal dağılımları ve coğrafik konumları uydu görüntüsü üzerinde gösterilmiştir (Şekil 7).



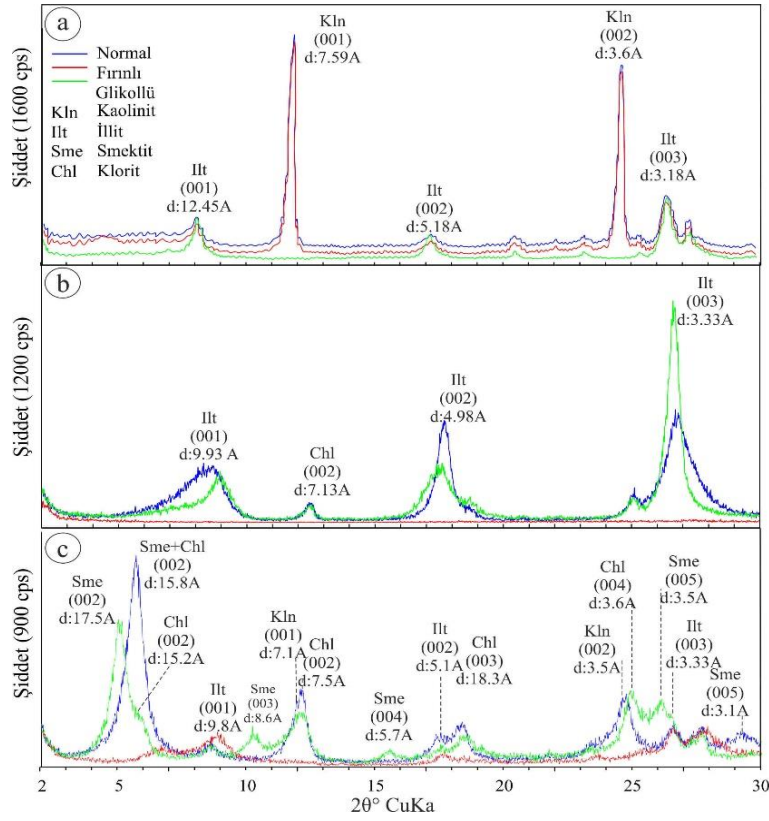
Şekil 4. (a) İnceleme alanında dağılım gösteren alterasyon minerallerinin spektral yansıma değerleri (smektit ve klorit spektral yansıma değerleri USGS (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) kütüphanesinden alınmıştır). (b) ASTER SWIR bant aralığına yeniden örneklenmesi

Tablo 1. İnceleme alanı temsili örneklerde XRD-KF çekim sonuçlarında kil dağılımları

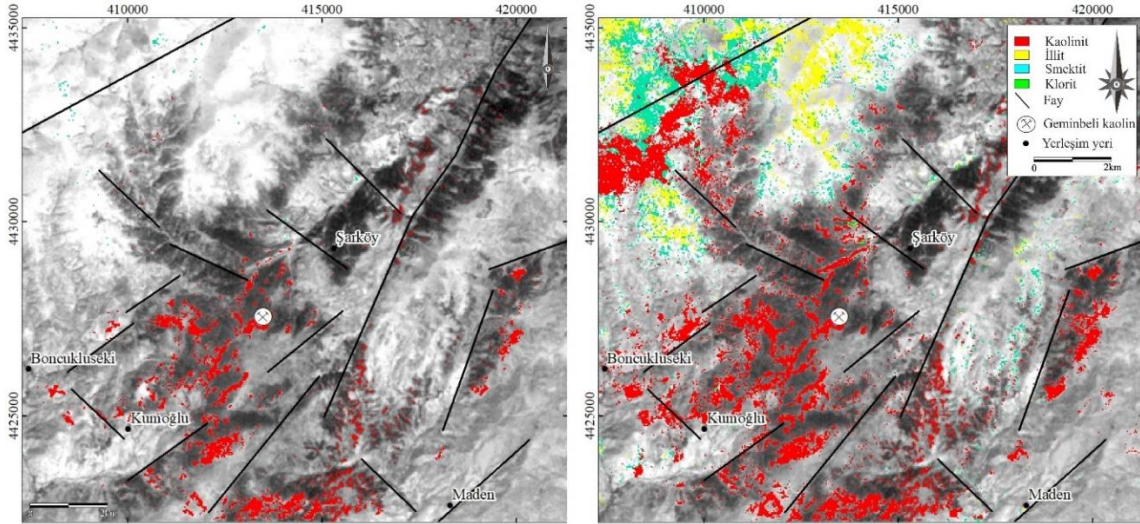
Örnek	Kaolinit	İllit	Smektit	Klorit
GD-3	+	+	-	-
GD-8	+	+	-	-
GD-12	+	+	-	-
GD-13	+	+	-	-
GD-16	+	+	-	-
GD-18	+	+	-	-
GD-21	+	+	-	-
GD-14a	+	+	-	-
GD-15b	+	+	+	+
GD-23	+	+	+	+
GD-27	-	+	-	+
GD-29	+	+	+	+



Şekil 5. Killeşme gösteren kayaç gruplarında XRD-TK çekimi. (a) Altere siyenit örneği (örnek no: GD-20). (b) Altere volkanit örneği (örnek no: GD-16)



Şekil 6. Kil ayrımı yapılan örneklerde XRD-KF çekimleri. (a) Geminbeli kaolin yatağından alınan kaolinit içeriği fazla olan altere örnek (No: GD-3). (b) İllit içeriği fazla olan altere örnek (No: GD-27). (c) Smektit/klorit içeren altere örnek (No: GD-23)



Şekil 7. Geminbeli kaolin yatağı ve çevresinin spektral sınıflandırma yöntemleri ile kil minerallerinin coğrafik konumları ve uzaysal dağılımları. (a) SAM sonuçları. (b) MF sonuçları

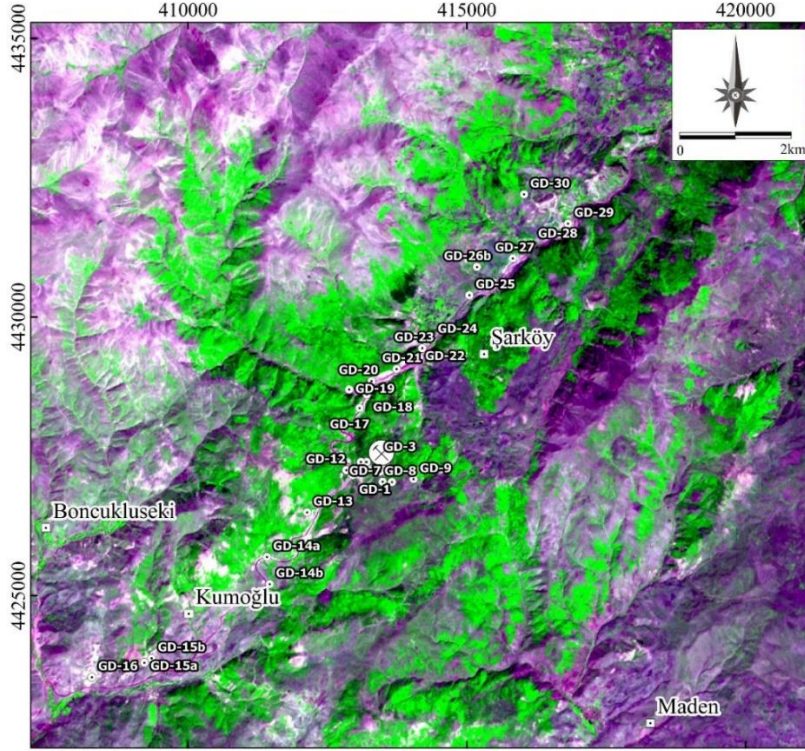
5. Tartışma ve Sonuçlar

İnceleme alanı içerisinde yoğun bitki örtüsünün hakim olması nedeniyle spektral sınıflamalarda negatif yönde bir etki göstereceği düşünülmüş olup bu alanlara analizler sırasında maskeleme uygulanmıştır. ASTER uydusu VNIR bantlarının kombinasyonu ile oluşturulmuş görüntüde

işletilen kaolin sahası ile çevresinde gözlenen killeşme alanları aynı renk tonlarında gözlenmektedir (Şekil 8). Bu görüntü dikkate alınırca, görüntüdeki bütün beyazımsı renkli alanların kaolin sahası olması beklenir. Fakat arazi ve laboratuvar çalışmaları, bu alanlarda kaolinit ile birlikte illit, smektit ve klorit türü killerin de dağılım gösterdiğini ortaya

koymaktadır. Kil türlerindeki bu çeşitlilik killeşmeleri meydana getiren hidrotermal çözeltilerin yan kayaçlarda aynı oranlarda etkileşime girmediğini ve farklı değişimlere neden olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında bu kil türlerine göre bir haritalama yapmak için mümkün olduğunca sık ve sistematik örnekleme yapılması

gerekmektedir. Alınacak bu örneklerin her birinde XRD-KF çekimleri yapılarak elde edilen sonuçlara göre ancak bir kil dağılım haritası çıkarılabilecektir. Bu da uzun ve maliyetli bir süreci gerektirmektedir. Bu nedenle, uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanılarak bu haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. VNIR bantlarının kombinasyonu ile oluşturulmuş arazi görünümü (K:VNIR1, Y:VNIR 3, M: VNIR 2)

SAM ve MF sınıflandırma yöntemlerine ait sonuçlarda, 4 kil grubuna ait dağılım haritaları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre elde edilen kil türü dağılımları ile XRD-KF sonuçları karşılaştırıldığında, XRD sonuçlarında kaolinit içeriği yoğun olarak tespit edilen örneklerin elde edilen dağılım haritaları ile örtüştüğü görülmektedir. Aynı şekilde, yoğun illit içeren GD-27 nolu örnek lokasyonunun her iki sınıflandırmada elde edilen dağılım haritaları ile örtüştüğü görülmektedir. Klorit ve smektit içeren örneklerin XRD sonuçları ile MF sonuçları birbiri ile örtüşmekte olup SAM sonuçları ile örtüşmemektedir. Bu nedenle, MF yönteminin SAM yöntemine göre daha etkili ve detay sonuçlar verdiği söylenebilir.

XRD-KF sonuçları, örneklerde kaolinit, illit, klorit ve smektit türü killerin birlikte bulunabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, SAM ve MF sınıflandırma yöntemlerinde elde edilen dağılım haritalarındaki kil türlerinin, buldukları lokasyonlarda tek başlarına

ve/veya diğer kil türleri ile birlikte bulunabileceği ihtimalini doğurmaktadır. Ayrıca, XRD sonuçlarında yoğun olan kil türlerinin sınıflandırma yöntemlerinde de baskın sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, kil tayini ve dağılımlarının ortaya çıkarılmasında SAM ve MF spektral sınıflandırma yöntemlerinden oldukça kullanışlı veriler elde edilmiştir. Bu verilerin, daha az maliyet ve daha kısa sürelerde mevcut işletilen kaolin sahasının geliştirilme aşamalarında ve yeni kaolin sahaslarının tespit çalışmalarında önemli katkılar sunacağı öngörülmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (CÜBAP) tarafından M-754 numaralı proje desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abrams, M. 2000. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): Data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra Platform. *International Journal of Remote Sensing*, 21(5), 847-859.
<https://doi.org/10.1080/014311600210326>
- Abrams, M., ve Hook, S. J. 1995. Simulated Aster Data for Geologic Studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(3), 692-699. <https://doi.org/10.1109/36.387584>
- Abrams, M., ve Yamaguchi, Y. 2019. Twenty Years of ASTER Contributions to Lithologic Mapping and Mineral Exploration. *Remote Sensing*, 11(11), 1394.
<https://doi.org/10.3390/rs11111394>
- Archard, F., ve D'Souza, G. 1994. Collection and Pre-Processing of NOAA-AVHRR 1km Resolution Data for Tropical Forest Resource Assessment. Report EUR 16055, European Commission, Luxembourg, 56.
- Ayoobi, I., ve Tangestani, M. H. 2017. Evaluating the Effect of Spatial Subsetting on Subpixel Unmixing Methodology Applied to ASTER Over a Hydrothermally Altered Terrain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 62, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.05.008>
- Başbüyük, Z., 2006. Eosen Volkaniklerinin Hidrotermal Alterasyon Mineralojisi-Petrografisi ve Jeokimyası: Zara-İmranlı-Suşehri-Şerefiye Dörtgeni'nden Bir Örnek (Sivas Kuzeydoğusu, İç-Doğu Anadolu, Türkiye). Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 299s.
- Boardman, J. W., 1998. Leveraging the High Dimensionality of AVIRIS Data for Improved Subpixel Target Unmixing and Rejection of False Positives: Mixture Tuned Matched Filtering."In Proceedings of the 5th JPL Geoscience Workshop, edited by R. O. Green, Pasadena, CA: NASA Jet Propulsion Laboratory 55-56.
- Boztuğ, D., 2008. Petrogenesis of The Kösedag Pluton, Suşehri-NE Sivas. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 241-262.
- Canbaz, O., Gürsoy, Ö. ve Gökce, A., 2018. Detecting Clay Minerals in Hydrothermal Alteration Areas with Integration of ASTER Image and Spectral Data in Kösedag-Zara (Sivas), Turkey. *Journal of Geological Society of India*, 91(4), 389-516.
- Clark, R. N. 1999. Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy. *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*, Ed.: Rencz, A.N.). John Wiley and Sons, New York, 3-58.
- Efe, A. ve Gökce, A., 1999. Geology and Fluid Inclusion Studies of the Maden Village (Imranli-Sivas) Pb-Zn Deposits. *Bulletin of Faculty of Engineering of Cumhuriyet University, Series-Earth Sciences*, 16, 29-38.
- Eyuboglu, Y., Dudas, F. O., Thorkelson, D., Zhu, D. C., Liu, Z., Chatterjee ve N., Santosh, M., 2017. Eocene Granitoids of Northern Turkey: Polybaric Magmatism in an Evolving Arc-Slab Window System. *Gondwana Research*, C. 50, 311-345.
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.05.008>
- Eva, H., ve Lambin, E. F. 1998. Burnt Area Mapping in Central Africa Using Atsr Data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(18), 3473-3497.
<https://doi.org/10.1080/014311698213768>
- De Carvalho, O. A., ve Meneses, P. R. 2000. Spectral Correlation Mapper (SCM); An Improvement on the Spectral Angle Mapper (SAM). *Summaries of the 9th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 00-18, 9 p
- Gad, S., ve Kusky, T. 2007. ASTER Spectral Ratioing for Lithological Mapping in the Arabian-Nubian Shield, the Neoproterozoic Wadi Kid Area, Sinai, Egypt. *Gondwana Research*, 44, 196-202.
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.02.010>
- Girouard, G., ve Bannari, a. 2004. Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative Study Between QuickBird and Landsat-TM. XXth ISPRS Congress Istanbul, 599-604.
- Gupta, R. P. 2003. *Remote Sensing Geology*. Berlin. Springer, 415.
- Harsanyi, J. C., ve Chang, C. I. 1994. Hyperspectral Image Classification and Dimensionality Reduction: An Orthogonal Subspace Projection Approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(4), 779-785.
<https://doi.org/10.1109/36.298007>
- Hawkesworth, C. J., Turner, S. P., McDermott, F., Peate, D. W. ve Van Calsteren, P., 1997. U-Th Isotopes in Arc Magmas: Implications for Element Transfer From the Subducted Crust. *Science*, 276(5312), 551-555.
<https://doi.org/10.1126/science.276.5312.551>
- Hu, B., Xu, Y., Wan, B., Wu, X., ve Yi, G. 2018. Hydrothermally Altered Mineral Mapping Using Synthetic Application of Sentinel-2A MSI, ASTER and Hyperion data in the Duolong

- Area, Tibetan Plateau, China. *Ore Geology Reviews*, 101, 384-397. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.07.017>
- Hunt, G. R. 1977. Spectral Signatures of Particulate Minerals in The Visible and Near Infrared. *Geophysics*, 42(3), 501. <https://doi.org/10.1190/1.1440721>
- Iwasaki, A., ve Tonoka, H. 2005. Validation of A Crosstalk Correction Algorithm 371 for ASTER/SIWR. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, 2747-2751.
- Kalkancı, Ş., 1974. Etüde Geologique et Petrochimique du Sud de la Region de Suşehri. Geochronologie du Massif Syenitique de Köseadağ (Sivas Turquie). These de Doctoral de 3 e Cycle, L'Universite de Grenoble, 135.
- Kruse, F. A. 2012. Mapping Surface Mineralogy Using Imaging Spectrometry. *Geomorphology*, 137(1), 41-56. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.09.032>
- Kruse, F. A., ve Perry, S. L. 2013. Mineral Mapping Using Simulated Worldview-3 Short-Wave-Infrared Imagery. *Remote Sensing*, 5(6), 2688-2703. <https://doi.org/10.3390/rs5062688>
- Mahanta, P., ve Maiti, S. 2018. Regional Scale Demarcation of Alteration Zone Using Aster Imageries in South Purulia Shear Zone, East India: Implication for Mineral Exploration in Vegetated Regions. *Ore Geology Reviews*, 102, 846-861. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.07.028>
- Malayoğlu, U. ve Akar, A., 1995. Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 21-22 Nisan 1995, İzmir, Bildiri Özleri Kitabı, s. 125-132.
- Massironi, M., Bertoldi, L., Calafa, P., Visonà, D., Bistacchi, A., Giardino, C. ve Schiavo, A., 2008. Interpretation and Processing of ASTER Data for Geological Mapping and Granitoids Detection in the Saghro Massif (Eastern Anti-Atlas, Morocco). *Geosphere*, 4(4), 736-759. <https://doi.org/10.1130/GES00161.1>
- Mehr, G., S., Ahadnejad, V., Abbaspour, R. A., ve Hamzeh, M. 2013. Using the mixture-tuned matched filtering method for lithological mapping with Landsat TM5 images. *International Journal of Remote Sensing*, 34(24), 8803-8816. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.853144>
- MTA., 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Sivas Paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Okay, A. I., ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 156 (1), 475-515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Pirajno, F. 2009. Hydrothermal Processes And Mineral Systems, 1241. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7>
- Pour, A. B., ve Hashim, M. 2012. The Application of ASTER Remote Sensing Data to Porphyry Copper and Epithermal Gold Deposits. *Ore Geology Reviews*, 44, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.09.009>
- Rajendran, S., ve Nasir, S. 2018. Mapping Of Hydrothermal Alteration in The Upper Mantle-Lower Crust Transition Zone of The Tayin Massif, Sultanate of Oman Using Remote Sensing Technique. *Journal of African Earth Sciences*, 150, 722-743. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.10.001>
- Rowan, L. C., Mars, J. C. ve Simpson, C. J., 2005. Lithologic Mapping of the Mordor, NT, Australia Ultramafic Complex by Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 105-126. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.021>
- Salehi, T., ve Tangestani, M. 2020. Evaluation of WorldView-3 VNIR and SWIR Data for Hydrothermal Alteration Mapping for Mineral Exploration: Case Study from Northeastern Isfahan, Iran. *Natural Resources Research*, (online paper). <https://doi.org/10.1007/s11053-020-09703-6>
- Yamaguchi, Y., Kahle, A. B., Tsu, H., Kawakami, T., ve Pniel, M. 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1062-1071. <https://doi.org/10.1109/36.700991>
- Yang, R., Li, Z., ve Chen, X. 2012. Information Extraction of Typical Alteration Mineral Assemblage in Porphyry Copper Using ASTER Satellite Data, Arequipa Province of South Peru. *Geo-information Science*, 14(3), 411-418. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1047.2012.00411>
- Yılmaz, A., Okay, A. ve Bilgiç, T., 1985. Yukarı Kelkit Çayı Yöresi ve Güneyinin Temel Jeoloji Özellikleri ve Sonuçları: MTA Rapor No: 7777 (Yayınlanmamış), Ankara.
- URL-1, [https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/seramik-killer.\(06.08.2020\)](https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/seramik-killer.(06.08.2020)).

Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) Cevherleşmesinin Jeolojik ve Mineralojik İncelenmesi

Geological and Mineralogical Investigation of Kılıçören (Gümüşhane) Pb-Zn-Cu±Au±Ag Mineralization

Enver AKARYALI*^{1,a}, Fatih ŞAL^{2,b}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

² Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 02.06.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 24.09.2020

Öz

İnceleme alanı Gümüşhane İline bağlı Kılıçören Köyü, Madenin Sırtı mevkiinde yer alır. Çalışma alanında bulunan cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'na ait volkanik kayalar içinde gelişmiştir. Volkanik kayaların Nb/Y ve Zr/TiO₂ oranları, kayaların andezit ve andezit/bazalt türünde olduğunu işaret etmektedir. AFM, SiO₂'ye karşı K₂O ve Th-Co diyagramlarına göre ise volkanitlerin kalk-alkali karaktere sahip oldukları belirlenmiştir. Cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonuna ait andezitlerde gelişen KB-GD doğrultulu kırık hatlarına damar şeklinde yerleşmiş olarak gözlenmektedir. Arazide gözlenen damarlar birkaç santimetreden bir iki metreye kadar değişen kalınlıklarda ve birkaç metre devam eden uzunlukta gelişmiştir. Alanda K25°B doğrultulu, yaklaşık olarak 5 m kalınlığa ve 50 m uzunluğa sahip silis kafası gözlenmekte olup oluşumu itibariyle epitermal sistemi işaret etmektedir. Sahada silisleşmenin yanı sıra hematitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve kükürtleşme gibi alterasyon ürünleri tespit edilmiştir. Cevherleşmenin parajenezi pirit, kalkopirit, galen, sfalerit, fahlerz ve kuvarstan oluşmaktadır. İki farklı evrede gelişen cevherleşmede gözlenen en önemli doku türleri ornatım, ayrılım, kapanım ve kataklastik dokulardır. Özellikle kuvars içeren örneklerde, öz şekilli kuvars kristallerinin yanı sıra boşluk dolgusu ve taraklı yapının gözlenmesi, sahadaki cevherleşmenin epitermal sistemde gelişmiş olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Bakır-Kurşun-Çinko, Epitermal, Kılıçören (Gümüşhane), Ornatım, Parajenez

Abstract

The study area is located in Madenin Sırtı region of Kılıçören village of Gümüşhane. The mineralization found in the study area is developed within andesitic rocks of Early-Mid Jurassic Şenköy Formation. The ratios of Nb/Y and Zr/TiO₂ of volcanic rocks in the area indicated these rocks are andesite and andesite/basalt according to the chemical analyzes. It is determined that the volcanics have calc-alkaline character based on the AFM, SiO₂ versus K₂O and SiO₂ versus Th-Co diagram. The mineralization is observed as a vein situated in the NW-SE trending fractures developed in andesites belonging to Early-Middle Jurassic Şenköy Formation. The veins observed in the field have the thicknesses ranging from a few centimeters to several meters and length continues for several meters. The silicified ridge pointing to an epithermal system is about 5 meters in thickness and 50 meters long, having a bearing of N25°W. In the field, besides to silicification, the alteration types such as hematitization, limonitization, chloritization and sulfurization have been identified in the rocks around the mine. The pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, fahlerz and quartz form the paragenesis of mineralization. In the mineralization, which is developed in two different phases, the replacement, separation, inclusion and cataclastic textures are the most important texture types observed. Especially, the observation of space filling and comb textures in quartz-containing samples, suggests that the mineralization in the field may have developed in the epithermal system.

Keywords: Copper-Lead-Zinc, Epithermal, Kılıçören (Gümüşhane), Replacement, Paragenesis

*a Enver AKARYALI; eakaryali@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/ 0000-0003-1495-9186

^b orcid.org/0000-0001-5469-2928

1. Giriş

Çalışma konusunu oluşturan Kılıçören Köyü (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) cevherleşmesi Doğu Pontid metalojenik provensi içinde yer almaktadır. Bu bölge değişik türlerde çok sayıda Cu, Pb, Zn, Mo, Fe ve Mn cevherleşmesi içermesinin yanı sıra, çalışma sahasının içinde yer aldığı Gümüşhane ve çevresi altın ve gümüş gibi değerli metaller açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Çalışma sahasının da içinde bulunduğu Doğu Pontidler'de yer alan maden yatakları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Lermi, 1996; Akçay vd., 1998; Tüysüz, 2000; Çiftçi, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Eyüboğlu vd., 2014; Akaryalı, 2010; Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Aktaş, 2018; Kurt, 2018).

Gümüşhane yöresinde farklı türde gelişen birçok maden yatağı bulunmakta olup bu yataklar birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Türk-Japon Ekibi (1985), Gümüşhane ve çevresinde yaklaşık 2800 m²'lik bir alanda önemli bazı maden sahalarının jeolojik harita yapımını ve jeokimyasal arama çalışmalarını yaklaşık gerçekleştirmiştir. Yalçınalp (1992), Güzelyayla Mo-Cu cevherleşmesinin oluşumunu genç granitik intrüzyonlarla ilişkilendirmiş ve sahada arjilik alterasyonun gözlemlenmediğini ve söz konusu cevherleşmenin 280-460°C aralığında mezotermal evrede geliştiğini ifade etmiştir. Lermi (2003), Midi Pb-Zn (Karamustafa-Şiran) madeninde; cevherleşmenin Şenköy formasyonu içinde kırık ve çatlaklara yerleştiği, mineral parajenezinde baz metal sülfidlerin yanı sıra nabit altın, elektrik, enarjit-luzonit, minerallerinin yer aldığı ve cevherleşmenin mezo-epitermal geçiş evresinde oluştuğunu belirtmiştir. Demir (2005), Istala ve Köstere (Gümüşhane) damar tip cevherleşme sahalarında her iki sahadaki cevher parajenezinin benzer olduğunu ve sıvı kapanım çalışmalarına göre cevherleşmelerinin orta-düşük (100-290 °C) sıcaklıkta geliştiğini ifade etmiştir. Akaryalı (2010), Arzular (Gümüşhane) yöresinde, altın cevherleşmesinin hidrotermal damar tip, düşük sülfidasyon epitermal sistemde oluştuğu sonucuna varmıştır. Sipahi ve Sadıklar (2010), Zigana (Gümüşhane) yöresindeki volkanitlerinin üzerine yaptıkları çalışmada, volkanitlerde gözlenen alterasyon ürünlerinin muhtemelen mezo-epitermal evrede oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. Aslan ve Akçay (2010), Gümüşhane ili Mastra Au madeninde yaptıkları sıvı kapanım (113-390°C) ve kükürt izotop jeotermometre (147-365°C) çalışmalarına göre cevherleşmenin epitermal sistemde geliştiğini belirtmişlerdir.

Turan (2012), Zigana (Torul, Gümüşhane) yöresinde damar tip Pb-Zn-Cu±Barit cevherleşmesinin oluşumunda yüzeysel kökenli çözeltilerle kısmen seyreltilmiş magmatik kökenli çözeltilerin etkili olduğunu vurgulamıştır. Akaryalı, (2016), Altınpınar (Torul) Pb-Zn cevherleşmesinin kökenine yönelik olarak gerçekleştirdiği sıvı kapanım, mineral kimyası ve duraylı izotop analizlerinden elde ettiği verilere dayanarak Liyas yaşlı volkanitler içinde gelişen cevherleşmenin granitik kayalarla ilişkili epitermal damar tip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Akaryalı ve Akbulut (2016), Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) yöresinde gelişen Pb-Zn cevherleşmesinde mineral parajenezinin pirit, kalkopirit, sfalerit, galenit, altın, kuvars ve kalsitten oluştuğunu, sıvı kapanım, mineral kimyası ve duraylı izotop çalışmalarına göre cevherleşmenin damar tip ve epitermal sitemde geliştiğini ortaya çıkarmıştır. Aktaş (2018), Leriköy ve Aktutan (Gümüşhane) yörelerinde Eosen volkanikleri üzerinde gelişen hidrotermal alterasyonların modellenmesi üzerine yaptığı kütle değişim hesapları sonuçlarına göre söz konusu sahaların potansiyel birer altın sahası olduğu sonucuna varmıştır. Kurt (2018), Gümüşdamla (Aydıntepe-Bayburt) yöresindeki skarn yatağında yaptığı mineral kimyası çalışmalarına göre cevherleşmenin Fe-Skarn tipinde olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Çalışma konusu olan Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) cevherleşmesi üzerine ise özel şirketler ve/veya Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan yüzeysel jeokimyasal prospeksiyon çalışmaları dışında yapılan herhangi çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında söz konusu cevherleşmenin; jeolojik ve petrografik özellikleri ile cevherleşmenin içinde bulunduğu kayaların jeokimyası ve cevher mikroskobisi özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, incelenen bölgede yüzeyleyen birimler stratigrafik adlama kuralları dikkate alınarak ayırtlanmış, seçilen volkanik kayalardan yapılan jeokimyasal analizler ile cevherli örneklerin mikroskobik incelemesinden elde edilen bulgular Doğu Pontid Orojenik Kuşağında yapılan diğer çalışmalarla da denestirilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarının ilk etabı, Madenin Sırtı bölgesindeki cevherleşmenin de içinde bulunduğu yaklaşık 14 km²'lik bir alanda yaygın birimlerin tanınması,

stratigrafik dizilimin ortaya konması ve yapısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalardır. Bu amaç doğrultusunda, Madenin Sırtı ve çevresinde yaygın olan birimlerde yapılan gözlemler neticesinde mevcut yapısal unsurlardan (kırık, çatlak vb.) ölçümler alınmış, formasyon sınırları haritaya işlenmiş ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. 1/25.000 ölçekli haritalama işlemleri sırasında, birimleri temsil eden kayalardan petrografik ve kimyasal analiz amaçlı örnekler ile çalışılan cevherleşmenin parajenez ve süksesyonu belirlenmeye yönelik örnekler alınmıştır.

2.1. İnce ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması

Çalışma sahasından toplanan kayaların, petrografik ve mineralojik tayinlerine yönelik ince kesitler, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. İnce kesit hazırlama esnasında kayalardan alınan 0.5x2x4 cm boyutundaki plakacıklar, bir yüzeylerinin pürüzlülükleri giderildikten sonra 1 mm kalınlığındaki 2.5x5 cm boyutundaki cam üzerine kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan plaka, dereceli aşındırıcılar yardımıyla 0.025 mm kalınlığa kadar inceltilecek petrografik tayin için hazır hale getirilmiştir. Madenin Sırtı cevherleşme sahasından derlenen cevher ve yan kayaç örneklerinden, cevher mineral parajenezini ve süksesyonu ortaya çıkarmak için parlak kesitler hazırlanmıştır. Araziden toplanan örnekler, amaca yönelik olarak 2x2x2 cm boyutunda kesilmiştir. Kesilen bu parçalar öncelikle çeşitli boyutlarda aşındırıcılar kullanılarak kaba parlatma işlemine tabi tutulmuş ve son olarak 0.1 mikron boyutunda alüminyum oksit tozuyla uygun yüzeyleri amaca uygun olarak parlatılmıştır. Hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskopta incelenerek kayaların petrografik özellikleri ve alterasyon mineralojileri tayin edilmiştir. Cevher örneklerinden hazırlanan parlak kesitler ise üstten aydınlatmalı cevher mikroskobu ile incelenerek cevherleşmenin mineral parajenezi ve süksesyonu belirlenmiştir.

2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması ve Analiz Yöntemleri

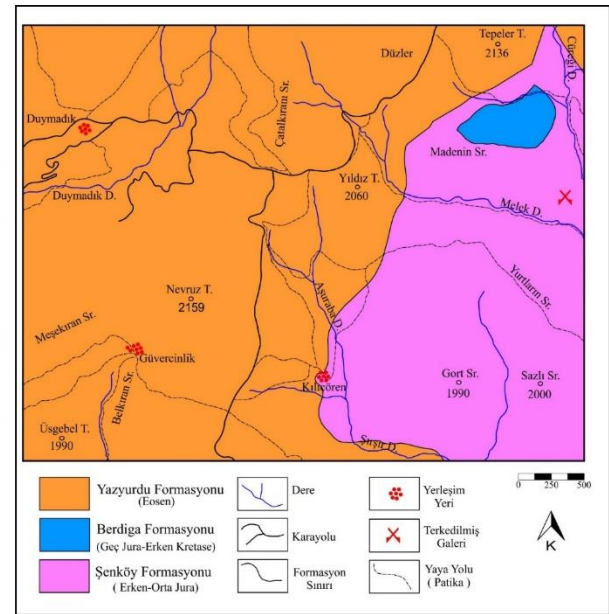
İnceleme alanından volkanik kayalardan seçilen örneklerden ana, iz ve nadir toprak element analizi yapılmıştır. Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği

Bölümü, örnek hazırlama laboratuvarında örnekler kimyasal analize gönderilmiştir. Volkanik kayalardan 6 örneğin ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (Vancouver-Kanada)'de ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) ve ICP-AES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi) analiz edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

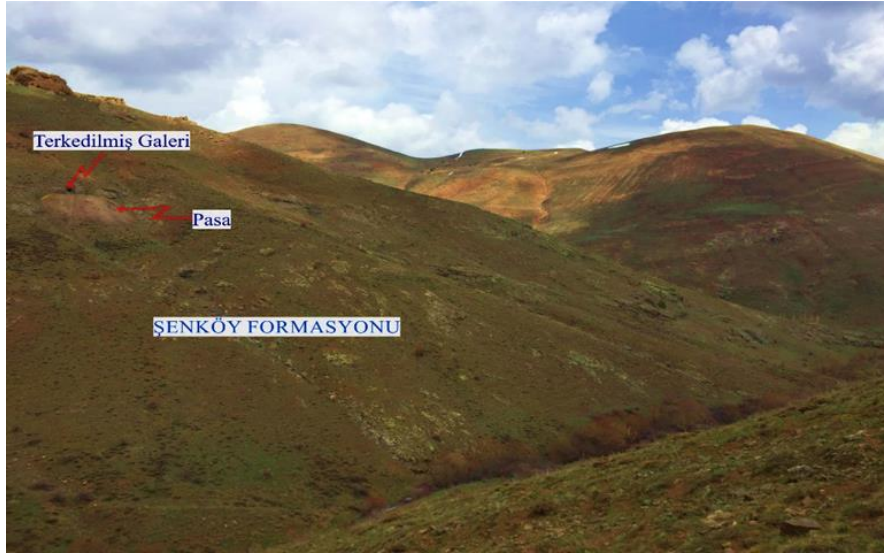
3.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi ve Petrografisi

İnceleme alanı Doğu Pontid Orojenik Kuşağının (Ketin, 1966) Güney Zonu'nda (Gedikoğlu vd., 1979) yer almaktadır. İnceleme alanındaki jeolojik birimler litostratigrafik esaslara bağlı olarak ayırtlanmış ve jeolojik haritası hazırlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası.

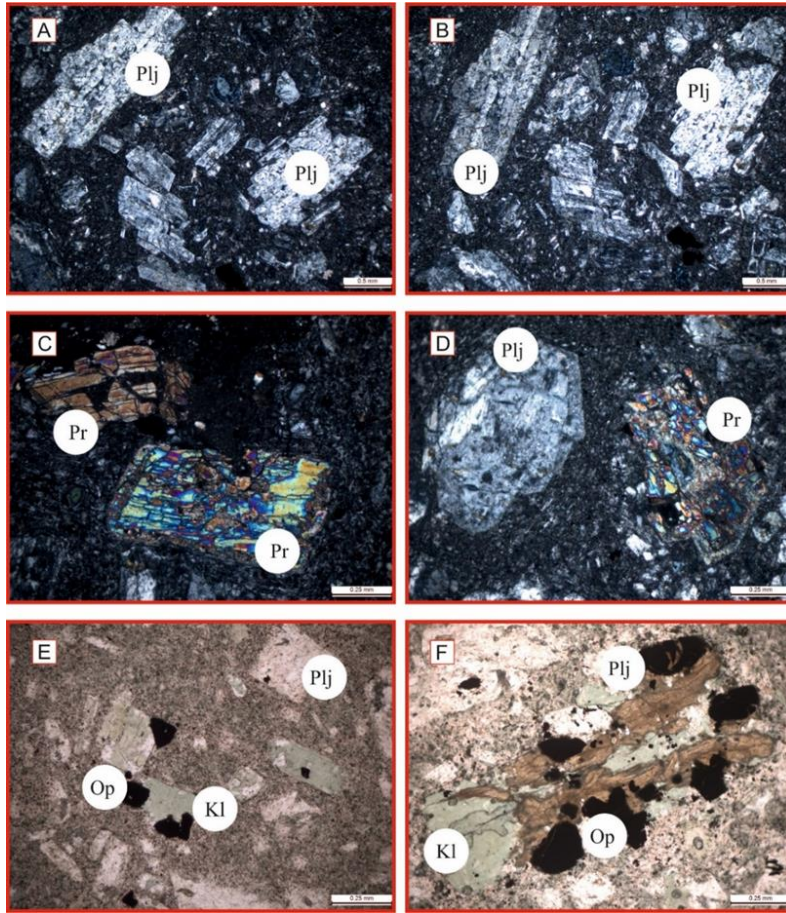
Kılıçören cevherleşmesine ev sahipliği yapan Şenköy formasyonu (Kandemir, 2004) bölgede çok farklı litolojik özelliklere sahip olmakla birlikte, inceleme alanında kumtaşı ile başlayıp kırmızı renkli kireçtaşları, kıltaşı ve marn ardalanması ve üzerine gelen volkano tortul bir istif ile devam eder. Birim içerisindeki volkanik kayalar aynı zamanda cevherleşmenin içinde geliştiği (Şekil 2) andezit ve bazaltlardan oluşmaktadır. Birim içinde yer alan andezitik kayalar gri- yeşilimsi gri renklere ve oldukça kırıklı ve çatlaklı yapıda izlenmektedir. Söz konusu kırıklar genel olarak kalsit ve kil dolguludur.



Şekil 2. Şenköy formasyonu içerisinde izlenen andezitlerin arazideki genel görünümü.

Birimden alınan örneklerin petrografik incelemelerinde, volkanitlerin porfirik ve mikrolitik porfirik doku gösterdiği, plajiyoklas, piroksen ve opak minerallerden meydana geldiği belirlenmiştir. Çoğunlukla orta ve iri kristalli, özşekilli ve yarı özşekilli olan plajiyoklaslar yer

yer serizitleşmiş ve epidotlaşmıştır. Yapılan cins tayinine göre plajiyoklasların andezin (An30-34) bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Hamur içinde yer yer öz şekilli opak mineraller izlenmektedir (Şekil 3).

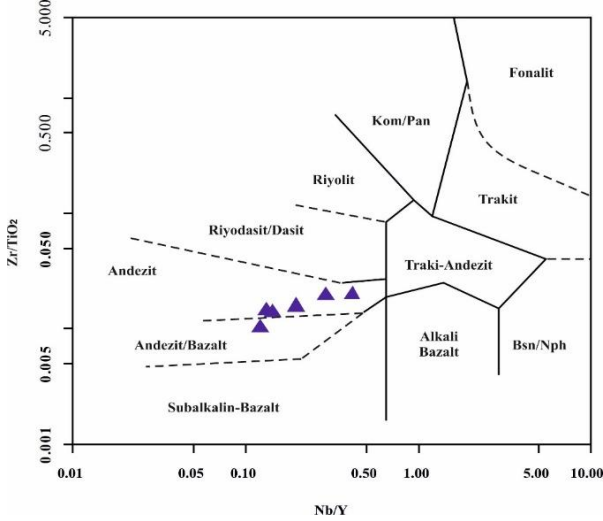


Şekil 3. Şenköy formasyonu içindeki andezitlerde plajiyoklas (Plj), piroksen (Pr), klorit (Kl) ve opak (Op) minerallerin oluşturduğu porfirik ve mikrolitik porfirik doku (A, B, C ve D: +N; E ve F: //N).

3.2. Volkanik Kayaçların Jeokimyası

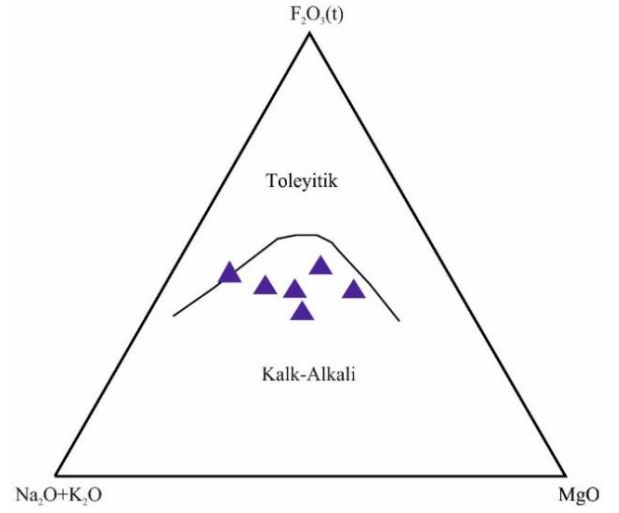
Çalışılan cevherleşmenin içinde geliştiği Şenköy formasyonu'na ait volkanik birimlerin petrokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla seçilen örneklerden ana (%) iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarından yararlanılarak yan kayaçların jeokimyasal karakteristikleri ortaya konmuştur. Alınan örneklerin kimyasal adlandırılmasında Winchester ve Floyd (1976) tarafından önerilen Nb/Y'ye karşı Zr/TiO₂*0.0001 diyagramı tercih edilmiştir. Bu diyagrama göre örneklerin andezit, andezit/bazalt alanlarında yer aldığı (Şekil 4), Irvine ve Baragar (1971) tarafından oluşturulan AFM diyagramında ise kayaçların kalk-alkali karaktere sahip oldukları görülmektedir (Şekil 5).

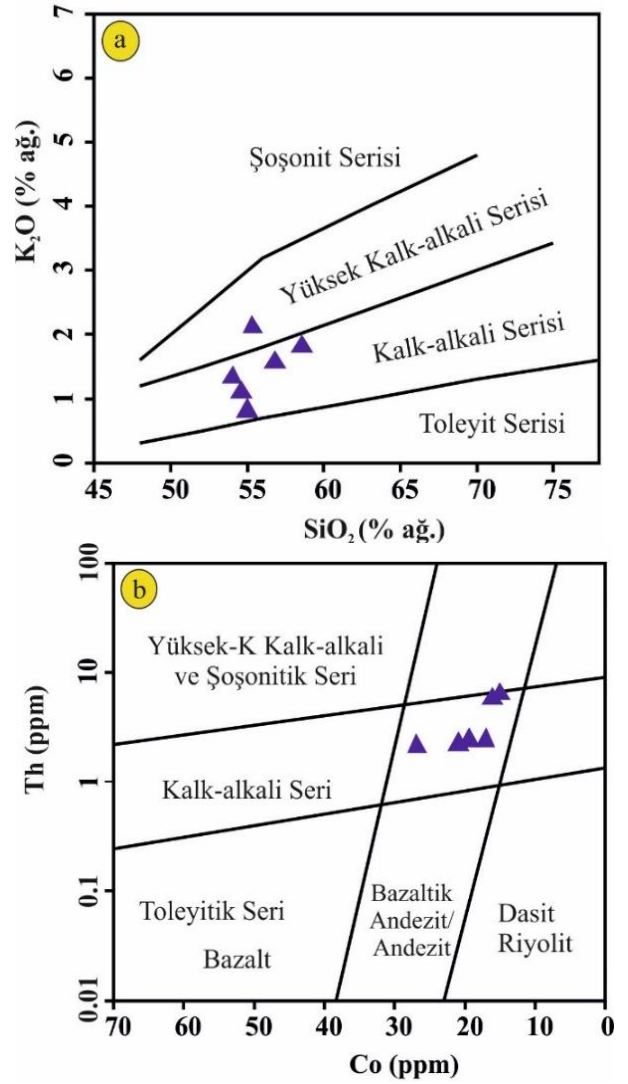


Şekil 4. Volkanik kayaçların Nb/Y'ye karşı Zr/TiO₂*0.0001 diyagramı

Volkanik kayaçların SiO₂ ve K₂O içeriklerine göre örnekler kalk-alkali karakterli bir magmadan türeyen kayaçlar ile benzerlik gösterirken (Peccerillo ve Taylor, 1976; Şekil 6a), Th ve Co içerikli kalk-alkali bileşimli bazaltik/andezit ve andezit bileşimi (Hastie vd., 2007; Şekil 6) yansıtmaktadır.



Şekil 5. Volkanik kayaçlarının AFM üçgen diyagramı (toleyitik ve kalk-alkali ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'dan alınmıştır.).



Şekil 6. Volkanik kayaçlarının (a) SiO₂'ye karşı K₂O (Peccerillo ve Taylor, 1976) ve (b) Co karşı Th (Hastie vd., 2007) diyagramı.

Tablo 1. Volkanik kayaların ana (% ağı.), iz (ppm) ve nadir toprak (ppm) element analiz sonuçları.

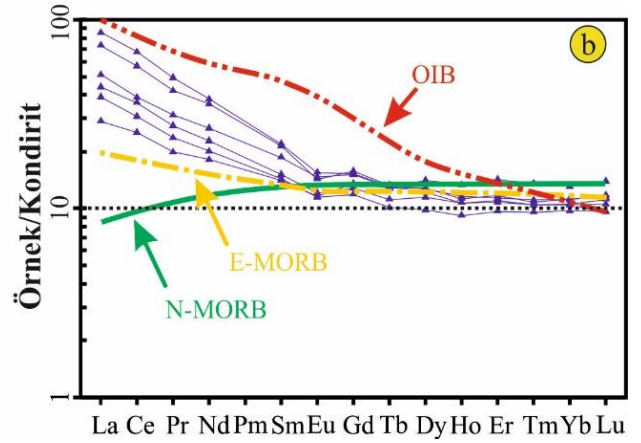
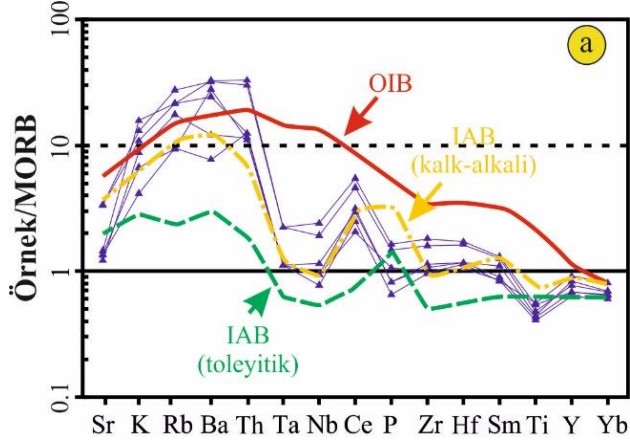
Örnek No	CS6	CS8	HS18	HS17	HS15	HS14
SiO ₂	59.32	57.00	55.06	53.24	54.56	54.06
Al ₂ O ₃	16.68	17.28	16.74	16.79	16.41	16.30
Fe ₂ O ₃ *	6.72	5.60	7.46	7.78	7.58	7.84
MgO	2.78	1.25	5.41	4.19	4.19	6.11
CaO	6.49	8.04	3.73	6.28	4.32	6.92
Na ₂ O	3.30	3.06	3.61	2.27	4.54	2.30
K ₂ O	1.95	1.63	2.36	1.31	0.62	1.00
TiO ₂	0.72	0.81	0.64	0.66	0.84	0.61
P ₂ O ₅	0.18	0.20	0.10	0.10	0.13	0.08
MnO	0.13	0.10	0.14	0.12	0.16	0.14
Cr ₂ O ₃	0.004	0.004	0.011	0.012	0.002	0.030
A.K.	1.50	4.80	4.50	7.10	6.50	4.40
Toplam	99.77	99.77	99.76	99.85	99.85	99.79
Ba	643	655	488	242	154	558
Sc	21	22	27	29	26	30
Co	16.1	14.9	19.4	20.9	17.1	26.8
Cs	1.7	1.0	0.9	2.1	1.8	0.7
Ga	15.0	15.7	15.4	16.5	12.7	14.0
Hf	3.9	4.1	2.8	2.8	2.7	2.5
Nb	6.7	8.4	4.0	3.3	3.3	2.7
Rb	55.0	43.2	42.7	35.2	19.0	18.7
Sr	403.7	399.0	174.0	145.7	161.7	162.9
Ta	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
Th	6.0	6.6	2.5	2.3	2.5	2.2
U	1.6	1.4	0.7	0.5	0.6	0.5
V	163	176	172	184	181	188
W	0.6	0.8	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	143.1	162.9	102.2	96.4	87.6	85.6
Y	23.0	20.4	20.5	25.1	27.2	18.9
Cu	52.3	26.3	39.4	17.4	11.9	13.7
Pb	1.7	3.5	15.2	3.4	2.2	3.2
Zn	24	21	85	84	118	61
Ni	3.7	4.1	21.9	24.6	6.3	57.3
La	22.7	26.6	13.7	15.9	9.0	12.1
Ce	46.0	54.6	29.4	31.4	20.5	24.9
Pr	5.15	6.02	3.36	3.82	2.43	2.90
Nd	21.5	22.8	13.7	16.0	10.9	12.1
Sm	4.18	4.29	2.95	3.64	2.75	2.81
Eu	1.05	1.14	0.89	1.08	0.85	0.84
Gd	4.09	3.97	3.33	3.92	3.50	3.08
Tb	0.63	0.62	0.53	0.61	0.61	0.48
Dy	4.09	3.93	3.70	4.14	4.55	3.16
Ho	0.83	0.77	0.77	0.81	0.96	0.66
Er	2.38	2.26	2.32	2.46	2.99	2.03
Tm	0.36	0.34	0.34	0.35	0.44	0.31
Yb	2.33	2.18	2.21	2.36	2.74	2.03
Lu	0.38	0.34	0.36	0.37	0.45	0.31
Mg#	29	18	42	35	36	44

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeOT)*100.

Çalışılan sahadan alınan Liyas yaşlı volkanik kayaların ana ve iz element analiz sonuçlarına göre; SiO₂ (% 59.32-53.24), Na₂O (%4.54-2.27), Al₂O₃ (% 17.28-16.30), Fe₂O₃ (% 7.84-5.60), MgO (% 6.11-1.25), CaO (% 8.04-3.73), K₂O (% 2.36-0.62), TiO₂ (% 0.81-0.61) değerleri arasında değişmektedir.

Volkanik örneklerinin MORB'a göre (Sun ve McDonough, 1989) normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil element (LILE) konsantrasyonları bakımından zenginleşme yüksek çekim alanlı elementler bakımından fakirleşme görülmektedir (Şekil 7a). Volkaniklerinin kondrite göre (Boynnton, 1984) normalize edilmiş nadir toprak

element dağılımlarında özellikle hafif nadir toprak elementlerin, ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleştiği dikkat çekicidir (Şekil 7b). Söz konusu diyagramda gözlenen konkav yapı ise çalışılan kayaçların oluşumu sırasında klinopiroksen ve hornblend ayrımlaşmasının



Şekil 7. Volkanik kayaçlarının iz element dağılım diyagramları, (a) MORB'a göre, (b) kondirite normalize edilmiş NTE dağılımları (MORB: Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları, OIB: Okyanus Adası Bazaltları, IAB: Ada Yaylı Bazaltları. Normalleştirme değerleri, N-MORB ve E-MORB; Sun ve McDonough, (1989)'dan, Boynton (1984); IAB: Pearce, (1982)'den alınmıştır)

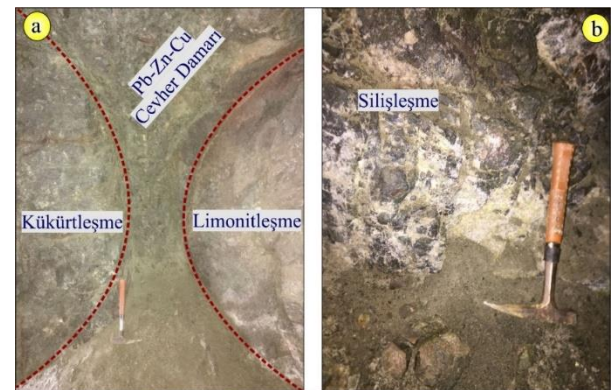
Sonuç olarak, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler, yüksek çekim alanlı elementler, hafif nadir toprak elementler ve ağır nadir toprak elementler kapsamında elde edilen verilerin Şekil 7a ve b'de gözlenen negatif Nb, Ta, Ti ve Zr anomalileri volkanitlerin yitim ilişkili kıtasal yay magması özelliğinde olduğunun göstergesidir (Pearce 1983; Ringwood 1990; Stolz vd., 1990; Kelemen vd., 1990).

3.3. Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) Cevherleşmesinin Jeolojisi

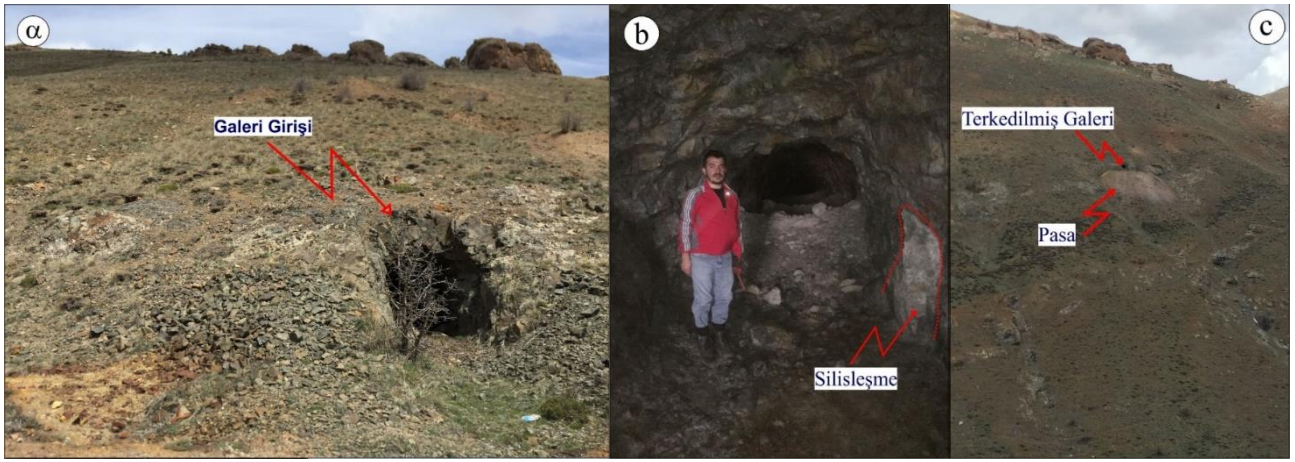
Kılıçören cevherleşmesi Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonuna ait andezitler içerisinde oluşan polimetalik bir cevherleşmedir. Cevherleşmeye neden olan ısı kaynağı inceleme alanı dışında yer alan Üst Kretase yaşlı Kaçkar-I Granitoidi'dir (Güven, 1993). Cevherleşmenin oluşumunda birincil etken söz konusu magmatik sokulumun sığ derinliklere yükselmesi ve hidrotermal ergiyiklerin uygun kırık ve çatlaklara gelip yerleşmesidir.

3.3.1. Cevherleşme Jeolojisi ve Gelişen Alterasyonlar

Çalışılan cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonu içerisindeki andezit kayaçları içinde gelişen KB-GD doğrultulu kırık hatlarına yerleşmiş olarak gözlenmektedir. Arazide gözlenen damarlar birkaç santimetreden bir iki metreye kadar değişen kalınlıklarda ve birkaç metre uzunluğundadır (Şekil 8). Cevherleşmenin en iyi gözlemlendiği alan olan Madenin Sırtı bölgesinde 2151 m yükseklikte, K10°B doğrultulu 2.5 m genişliğinde 3 m yüksekliğinde yaklaşık 100 m devam eden bir galeri mevcuttur. Ayrıca galeri çıkışında pasa da bulunmaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. Galeri içerisinde a) andezitlerikesen cevher damarının ve b) silisleşmenin görünümü



Şekil 9. Madenin Sırtı bölgesindeki terkedilmiş maden galerisi ve pasasından görünüm

Bunun yanı sıra çalışma sahasında $K25^{\circ}B$ doğrultulu yaklaşık 5 kalınlığında ve 50 m uzunluğunda bir silisifiye zon tespit edilmiştir. Silis kafası olarak da adlandırılan silisifiye zonlara

ait mostraların çalışılan alanda gözlenmesi, cevherleşmenin düşük sıcaklıkta, bir başka ifade ile epidermal sistemde geliştiğine işaret etmektedir (Şekil 10).



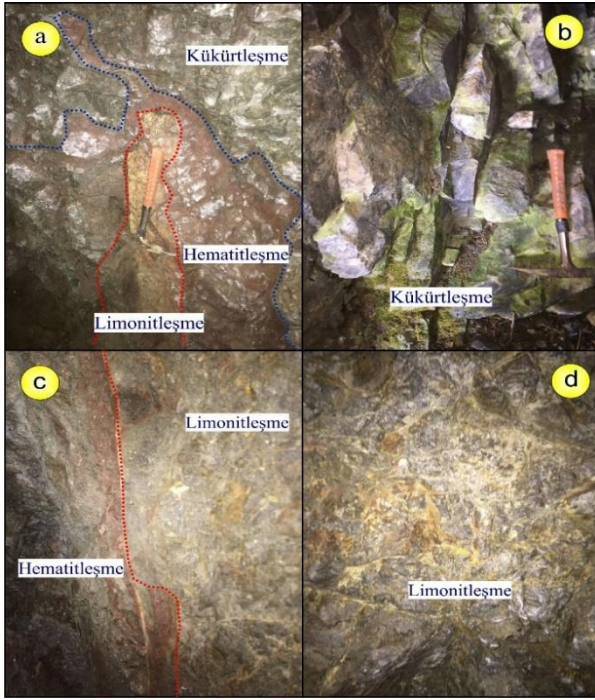
Şekil 10. İnceleme alanında gözlen (a) silisifiye zonun, (b) ve (c) silisleşmenin ince kesit görünümü (Q: Kuvars)

Yapılan arazi gözlemleri neticesinde gerek galeri içinden gerekse çevresinden alınan örneklerde pirit, kalkopirit, sfalerit, galenit ve kuvars makroskobik olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra bölgede cevherleşmeye işaret eden hidrotermal çözeltilerin meydana getirdiği pek çok alterasyon türü gözlenmektedir. Özellikle cevher damarına yakın kesimlerde gözlenen silisleşmeye ek olarak, piritlerin oksidasyonu sonucu hematitleşme ve limonitleşme en sık gözlenen alterasyon ürünleridir (Şekil 11). Sahada lokal olarak kloritleşme ve kükürtleşme türü alterasyonlar da gözlenmektedir.

3.3.2. Cevher Mikroskobisi

Kılıçören Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin bulunduğu alanda yer alan galeri, damar ve pasadan derlenen cevherli örnekler üzerinde mikroskobik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Buna göre çalışılan madende cevher oluşumunun 2 farklı evrede gerçekleştiği tespit edilmiştir (Tablo 2). Birinci evreden sonra kataklastik dokuların ortaya çıkmasına sebebiyet veren kırılma olayı ve ornatım, ikinci evreden sonra ise sadece ayrılma dokuları ile ornatımın yanı sıra kırılma da gerçekleşmiştir. Her iki evrenin sonunda ise oksidasyon evresinde hematit ve limonit mineralleri oluşurken, malakit-azurit ile kovellin-kalkozin kalkopirit ve galenlerin çevresi ve

kırıkları boyunca ikincil mineraller nadir olsa da gözlenmektedir.



Şekil 11. Arazide gözlenen alterasyonlar (a) limonitleşme, hematitleşme, kükürtleşme, (b) kükürtleşme, (c): limonitleşme ve hematitleşme, (d) limonitleşme

Tablo 2. Cevherleşmenin parajenezi ve süksesyonu

Başlıca Sülfür Mineralleri	I. FAZ	II.FAZ	Süperjen Mineralleri
Pirit	—————	—————	
Kalkopirit	—————	—————	
Sfalerit	- - - - -	—————	
Galen	—————	- - - - -	
Fahlerz	—————	- - - - -	
Kuars	—————	—————	- - - - -
Hematit			—————
Limonit			—————
Malakit			—————
Azurit			—————
Kalkosin			—————
Kovellin			—————

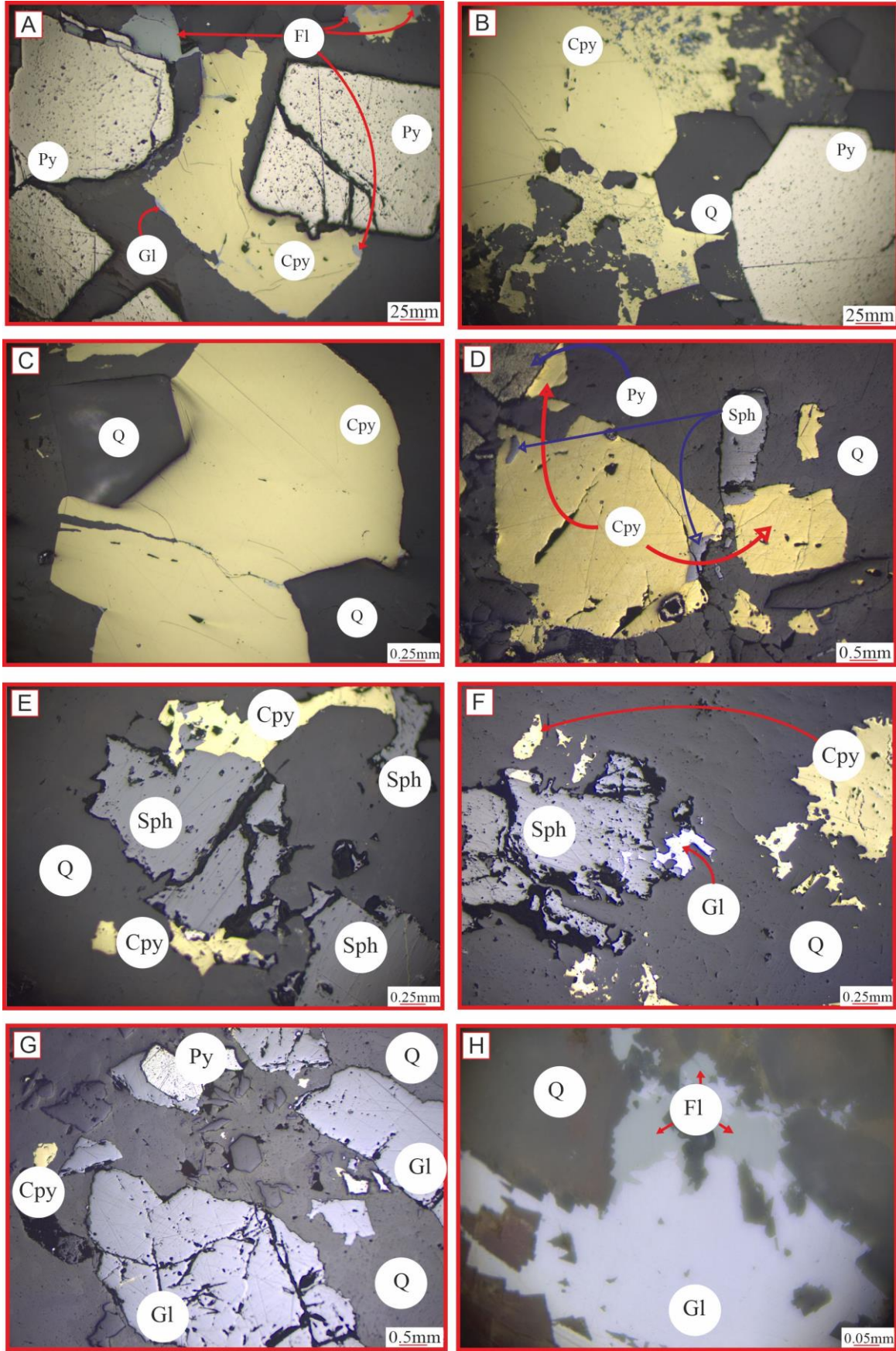
Pirit ilk oluşan cevher minerali olmakla birlikte genel olarak kalkopirit, sfalerit ve kuvars ile birlikte gözlenmektedir. Kesitlerde çoğunlukla yarı

öz şekilli ve şekilsiz nadiren de öz şekilli olarak gözlenir. Genellikle kuvars içerisinde kapanım halinde bulunan pirit kırılma tektoniğine bağlı olarak kırıklı ve parçalı bir yapıda görülmektedir (Şekil 12A ve B).

Kalkopirit, kesitlerde genel olarak orta ve iri kristalli, öz şekilsiz ve çoğunlukla da pirit, sfalerit ve kuvars ile birlikte görülmektedir. Kataklastik izleri de görülen kalkopirit gerek sfaleriti ornatmış halde gerekse de sfalerit içinde ayrılım şeklinde gözlenir. Çoğunlukla öz şekilli ve yarı özşekilli pirit kapanımları içeren kalkopiritler nadiren de galeniti ornatmış olarak görülürler. Kırılma tektoniğine bağlı olarak kalkopiritlerin çatlaklarında ve dokanaklarında öz şekilli kuvars gözlenmektedir (Şekil 12D ve C).

Sfalerit genelde iri kristalli düzensiz şekilli geniş yüzeyli ve bazen de küçük-orta kristaller şeklinde gri-açık ve gri renklerde izlenir. Çoğunlukla kalkopirit ile ilişki içinde olan sfalerit minerali bazen kalkopirit tarafından ornatılmış bazen de kalkopiriti ornatmış olarak gözlenmesinin yanı sıra eş oluşumu ifade eden kalkopirit ayrımları da içermektedir (Şekil 12E ve F). Kataklastik yapılanmadan dolayı sfalerit içinde oluşan kılcal çatlaklara kalkopirit yerleşimi (Şekil 14E) gerçekleşmiş ve yıldız dokusunu oluşturmuştur. Kesitlerde nadiren de olsa sfaleritin galen mineralini ornatmış görülmektedir. Cevher oluşumunun son evresine karşılık gelen kuvars gangı yerleşimi sırasında, kuvars diğer cevher minerallerinin kırıklarına yerleştiği gibi, sfaleritin kırıklarına yerleşmiştir (Şekil 12F).

Çelik mavisi veya krem mavisi renklerde izlenen ve sfalerite göre daha açık renkler sergileyen galen, belirgin olarak derin parlatma çizikleri (Şekil 12G) içermesinin yanı sıra karakteristik tanınma özelliği olan üçgen dilinim yüzeylerine de sahiptir (Şekil 12G). Galen minerali çoğunlukla sfalerit, kalkopirit ve pirit ile birlikte izlenir. Pirit tarafından ortanılmış halde gözlenen galen, aynı zamanda kalkopirit içinde kapanım halinde gözlenmektedir. Bunun yanı sıra galenit içerisinde fahlerz kapanımları da bulunmaktadır (Şekil 12H). Galenit kırık tektoniği etkisine maruz kalmış ve diğer cevher minerallerinde olduğu gibi parçalanmış galenit aralarına ise öz şekilli kuvars mineralleri yerleşmiştir (Şekil 12G).



Şekil 12. Cevher minerallerinin mikroskobik görünüşleri. (A-B): Pirit, (C-D): Kalkopirit, (E-F): Sflerit, (G): Galen, (H): Fahlerz. (Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Sph: Sflerit, Gl: Galen, Fl: Fahlerz, Q: Kuvars)

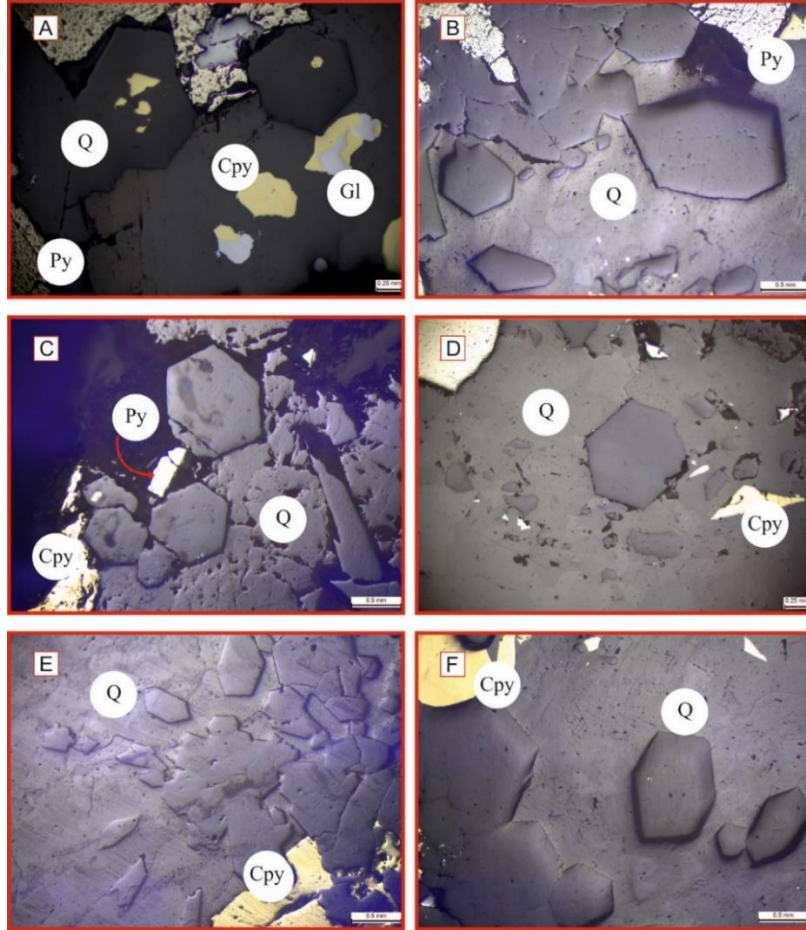
Parajenezde nadiren gözlenen fahlerz yeşilimsi gri renklerde çoğunlukla da galenit içerisinde kapanım

şeklinde gözlenir. Fahlerz, cevher oluşumunun birinci evresinde kalkopirit içerisinde (Şekil 12H)

gözlenirken cevher oluşumunun ikinci evresinde ise galenit içerisinde gözlenmektedir.

Parlak kesitlerde genellikle öz şekilli olarak gözlenen kuvars, cevherleşmenin her iki evresinde de gözlenmektedir. Cevherleşmenin birinci evresinde gözlenen kuvars, kırık tektoniğine bağlı olarak cevher minerallerinde gözlenen kırıklar arasına dolgu olarak yerleşmiştir (Şekil 13A).

Sıcaklığın düştüğü cevher oluşum sürecinin tamamlanmaya başladığı zaman gelen ikinci evrede ise öz şekilli kuvars kristalleri gözlenmektedir. Söz konusu kuvarslar boşluk dolgusu ve taraklı yapı göstermektedir (Şekil 13B, C ve D). Bu şekilde gözlenen kuvarslar mineralleri cevherleşmenin epitermal sistemde geliştiğine işaret etmektedir (Akaryalı, 2010; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016).

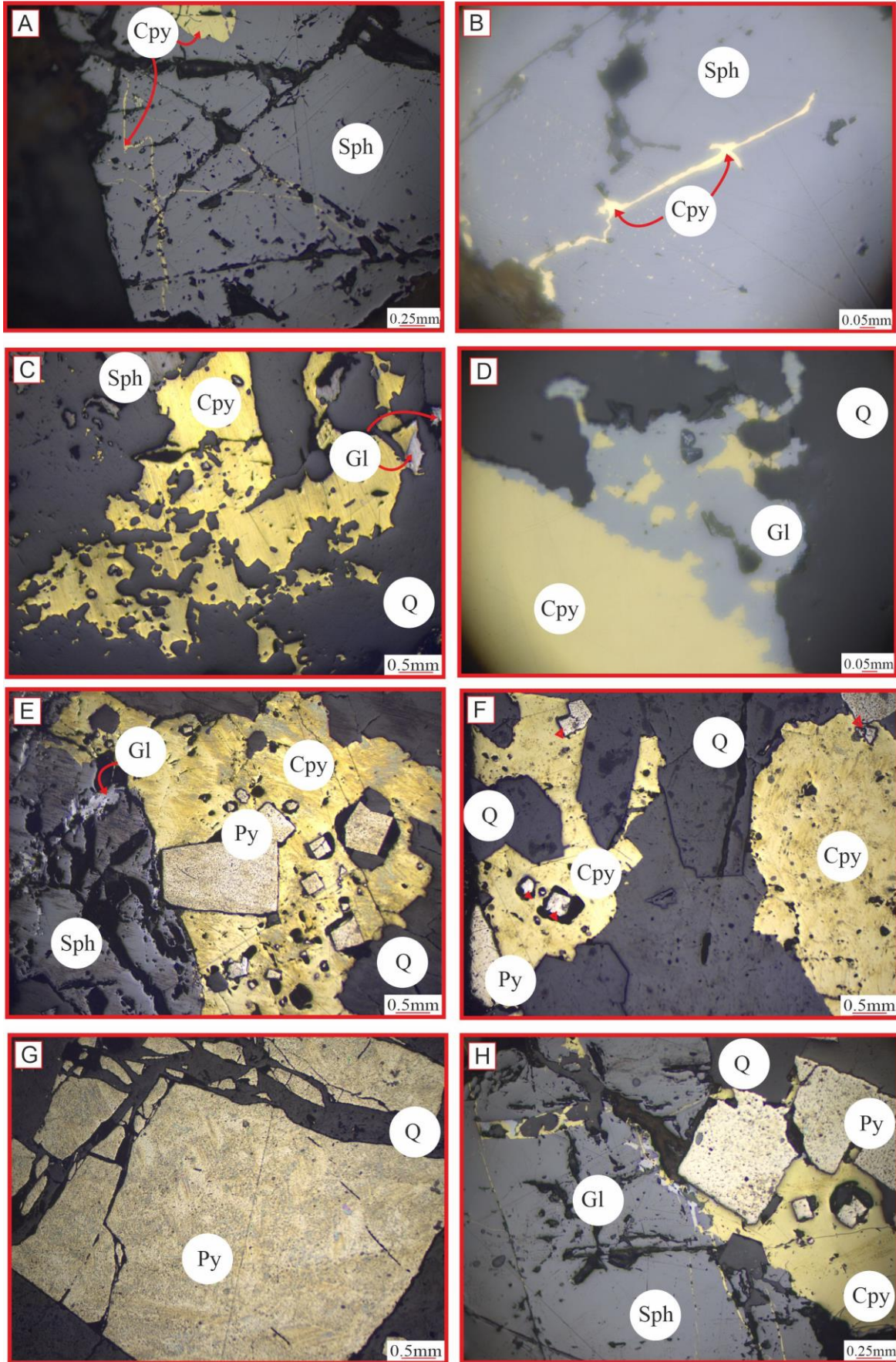


Şekil 13. Boşluk dolgusu ve taraklı yapı gösteren kuvarsların mikroskopik görünüşleri (Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Gl: Galen, Q: Kuvars)

3.3.3. Dokuların Petrografik Anlamı

Cevherleşmenin oluşumunu ve geçirdiği değişimleri gerçek anlamda ortaya çıkarabilmek için cevher minerallerinin yapı-doku ilişkilerinin belirlenmesi zorunlu bir ihtiyaçtır. Cevher minerallerinin birbirleriyle olan ilişkileri cevherin dokusal, minerallerinin tane sınırlarının durumu ise yapısal özelliklerini temsil eder. Bu çalışma kapsamında yürütülen mikroskopik incelemeler neticesinde cevherleşmede ornatım, kapanım, ayrılım ve kataklastik dokularının gözlemlendiği tespit edilmiştir. En karakteristik ayrılım dokusu kalkopirit ve sfalerit mineral çifti arasında

gözlenmektedir. Kalkopirit ayrımları sfaleritlerin içinde geliştiği güzel dağılmış kümelenmelerinin yanı sıra sfaleritin kenar kısımlarında yoğunlaşma şeklinde gözlenmektedir (Şekil 14A ve B). Söz konusu sfaleritin kenar kısımlarındaki kalkopirit yoğunlaşmasını Eldridige vd., (1983) eş oluşumdan ziyade ard oluşumlu ornatım yoluyla oluşmaya bağlamaktadır. Midi Pb-Zn madeni üzerinde çalışmalar gerçekleştiren Lermi (2003) söz konusu bu tip kalkopirit ayrımlarını, cevher oluşum sırasında ortam sıcaklığının artmasından dolayı gelişen yeniden kristallenme ile ilişkilendirmiştir.



Şekil 14. Cevher mineralleri arasında gözlenen (A-B): Ayrılım dokuları, (C-D): Ornatım dokuları, (E-F): Kapanım dokuları, (G-H): Kataklastik dokular (Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Sph: Sfalerit, Gl: Galen, Fl: Fahlerz, Q: Kuvars)

Herhangi bir cevher mineralinin başka bir cevher minerali tarafından yerinin alınması (ornatılması) cevher mikroskobisi incelemelerinde en sık gözlenen dokusal özelliktir. Elde edilen bulgular özellikle sfalerit ve galenitin kalkopirit tarafından ornatıldığını göstermektedir. Bunun yanı sıra kalkopirit-pirit ve kalkopirit-kuvarslar arasında da ornatım dokuları gözlenmektedir (Şekil 14C ve D). Cevher mikroskobisi incelemelerine göre kalkopirit içerisinde pirit, sfalerit içerisinde ise kalkopirit-pirit şeklinde kapanım dokuları tespit edilmiştir (Şekil 14E ve F).

Cevher oluşumundan sonra meydana gelen tektonik hareketler neticesinde, cevher minerallerinin kırılıp parçalanması şeklinde ortaya çıkan kataklastik doku (Şekil 14G ve H) kapanım dokularının çeşitliliğini artırmıştır. Cevherlerde meydana gelen kırıklar arasına yerleşen kuvarslar da hemen hemen her cevher mineralinde kapanım şeklinde gözlenmektedir.

Gümüşhane yöresi, bulunduğu tektonik ortam ve geçirdiği jeodinamik evrime bağlı olarak değişik kayaç türleri ile ilişkili olarak farklı tiplerde cevherleşmeler barındırmaktadır. Bunlardan kuşkusuz en önemli olanları epitermal sitemde gelişmiş Au-Ag yataklarıdır. Bunun yanı sıra bu çalışma konusunu da oluşturan Cu-Pb-Zn yatakları da Gümüşhane yöresinde bulunmaktadır. Özellikle çalışma konusunu oluşturan Kılıçören Cu-Zn-Pb cevherleşmesi, cevherleşmenin içinde litolojik birim (Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu) bakımından, Gümüşhane ilinde bulunan Midi-Karamustafa (Şiran-Gümüşhane) Pb-Zn (Lermi 2003), Altınpınar (Torul-Gümüşhane) Pb-Zn ± Au (Akaryalı, 2016) ve Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn-Cu±Au (Akaryalı ve Akbulut, 2016) cevherleşmeleri ile benzerlik göstermektedir. Her üç cevherleşme de Şenköy formasyonuna ait andezitik kayaçlarda gelişen kırıklara yerleşmiştir. Bu çalışma kapsamında Kılıçören cevherleşmesine yönelik elde edilen alterasyon, mineral birlikteliği, cevherleşmenin oluşum sırası gibi veriler de Midi-Karamustafa, Altınpınar ve Ünlüpınar cevherleşmeleri ile benzer özelliklere sahiptir. Midi-Karamustafa, Altınpınar ve Ünlüpınar cevherleşmeleri üzerine yapılan detaylı jeokimyasal ve izotop çalışmaları, söz konusu cevherleşmelerin epitermal sitemde gelişmiş damar tip cevherleşme olduğunu ortaya koymaktadır. Kılıçören cevherleşme sahasında gözlenen silisifiye zonlar (silis kafası) ile cevher mikroskobisi çalışmalarında tespit edilen öz şekilli kuvars ve bu mineralin oluşturduğu boşluk dolgusu ve tarak yapısı da cevherleşmenin epitermal sitemde gelişmiş olabileceğini düşündürmektedir.

4. Sonuçlar

Kılıçören Köyü (Gümüşhane) Madenin Sırtı yöresinde bulunan Pb-Zn-Cu±Au cevherleşmesinde gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Gümüşhane iline bağlı Kılıçören Köyü (Gümüşhane) Madenin Sırtı yöresinde gelişen cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonuna ait andezitik kayaçlar içinde KB-GD doğrultulu kırık hatlarında, kalınlıkları ve uzunlukları birkaç metreye varan damarlara yerleşmiş olarak gözlenmektedir. Ayrıca K25°B doğrultulu yaklaşık 5 kalınlığında ve 50 m uzunluğunda gözlenen silisifiye zon (silis kafası) cevherleşmenin epitermal sitemde geliştiğine işaret etmektedir. Sahada silisleşmenin yanı sıra hematitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve kükürtleşme şeklinde alterasyon ürünleri de gelişmiştir. Cevher mikroskobisi çalışmaları neticesinde, cevherleşmenin iki evrede geliştiği ve parajenezinin ise pirit, kalkopirit, galen, sfalerit, fahlerz ve kuvarslardan oluştuğu tespit edilmiştir. Kayaçlarda gözlenen ornatım, ayrılım, kapanım ve kataklastik dokular cevher mineralleri arasında gözlenen en önemli doku türlerini oluşturmaktadır. Özellikle kuvars içeren örneklerde, öz şekilli kuvars kristallerinin yanı sıra boşluk dolgusu ve taraklı yapının gözlenmesi, sahadaki cevherleşmenin epitermal sitemde gelişen damar tip bir cevherleşme olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulguların ileride yapılacak mineral kimyası, sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmaları ile desteklenmesi sonucu cevherleşmenin oluşum modeli ortaya çıkarılabilir. Bu sayede, elde edilecek yeni bulgular bölgede yapılacak yeni maden sahası aramalarına katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu araştırma, ikinci yazarın yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmaktadır. Yazarlar arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Ali Hakim KURT'a, tez çalışması sırasındaki katkılarından dolayı ise Dr. Mehmet Ali GÜCER'e teşekkür eder.

Kaynaklar

Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 174s.

- Akaryalı, E. ve Tüysüz, N., 2013. The Genesis of the Slab Window-Related Arzular Low- Sulfidation Epithermal Gold Mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). *Geoscience Frontiers*, 4(4), 409-421.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, Fluid Inclusion and isotopic (O, H and S) Constraints on the Origin of Pb–Zn ± Au Vein-Type Mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). *Ore Geology Reviews*, 74, 1-14.
- Akaryalı, E. ve Akbulut, K., 2016. Constraints of C–O–S Isotope Compositions and the Origin of the Ünlüpınar Volcanic-Hosted Epithermal Pb–Zn ± Au Deposit, Gümüşhane, NE Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 117, 119-134.
- Akçay, M., Gündüz, Ö. ve Çoban, H., 1998. A Multi-phase Intrusion around the Gümüşhane Village (Artvin) and Associated Mineralization Types: A Geologic and Geochemical Approach. *Geosound*, 33, 1-18.
- Aktaş, F.K., 2018. Canca-Aktutan ve Leriköy (Yitirmez) – Dölek (Gümüşhane, KD Türkiye) Yöresi Eosen Yaşlı Volkanitlerin Hidrotermal Alterasyonu ve Altın Potansiyelinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gümüşhane, 59s.
- Aslan, N., ve Akçay, M., 2011. Mastra (Gümüşhane) Au-Ag Yatağının Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. 64. Jeoloji Kurultayı Bildirileri, 25-29 Nisan 2010, Ankara, s. 181-182.
- Bektaş, O., Sen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N., 1999. Migration of the Upper Cretaceous Subduction-Related Volcanism towards the Back-Arc Basin of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 95-106.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies, in: Henderson, P. (Ed), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam., pp. 63-114.
- Çiftçi, E., 2000. Mineralogy, Paragenetic Sequence, Geochemistry and Genesis of the Gold and Silver Bearing Upper Cretaceous Mineral Deposits, North eastern Turkey. Ph.D Thesis, University of Missouri-Rolla, Missouri, 251p.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü. Doçentlik Tezi, İ.Ü Maden Mühendisliği, İstanbul, 186s.
- Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Torul-Gümüşhane) Madenlerinin Mineralojik ve Dokusal Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 109s.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafız, M., Jacoby, W.R. ve Özer, R., 2006. Three- directional Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geologica Carpathica*. 57(5), 337-346.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Keewook, Yi., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Akaryalı, E., Dudas, F.O. ve Bektaş, O., 2014. The Eastern Black Sea-type Volcanogenic Massive Sulfide Deposits: Geochemistry, Zircon U–Pb Geochronology and an Overview of the Geodynamics of Ore Genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29-54.
- Fujimaki, H., Tatsumoto, M. ve Aoki, K., 1984. Partition Coefficients of Hf, Zr and REE between Phenocrysts and Groundmasses, Proceedings of the Fourteenth Lunar and Planetary Science Conference, 15 February 1984. *Journal of Geophysical Research*, 89, 662-672.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. The Main Lines of Geotectonic Development of the Eastern Pontides in Mesozoic era, Proceeding of the 1st Geological Congress of the Middle East, 4-7 September 1979, Ankara, p. 555-580
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu: MTA Yayınları, Ankara, 65 s.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. ve Mitchell, S.F., 2007. Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks Using Immobile Trace Elements: Development of The Th-Co Discrimination Diagram. *Journal of Petrology*, 48(12), 2341-2357.
- Irvine, T.N. ve Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 272s.
- Kelemen, P.B., Johnson, K.T.M., Kinzler, R.J. ve Irving, A.J., 1990. High-Field-Strength Element Depletions in Arc Basalts due to Mantle–Magma Interaction. *Nature*, 345, 521-524.
- Keskin, İ., Korkmaz, S., Gedik, İ., Ateş, M., Gök, L., Küçümen, Ö. ve Erkal, T. 1989. Bayburt Dolayının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rap. No. 8995, (yayımlanmamış), Ankara.
- Ketin, İ 1966: Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi 66, 20-34.

- Kurt, A.H., 2018. Gümüşdamla (Aydıntepe-Bayburt) Skarn Cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Kökensele İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gümüşhane, 55s.
- Lermi, A., 1996. Kanköy (Yomra-Trabzon) Cevherinde Toprak-Bitki Jeokimyasının Uygulanması ve İndikatör Bitki Türü Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 115s.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelenmesi. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 266s.
- Pearce, J.A. ve Cann, J.R., 1973. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. Earth and Planetary Science Letters, 19, 290-300.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub-continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins, in: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J., (Eds.), Continental Basalts and Mantle Xenoliths, Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass., Shiva, Nantwich, UK 230-249.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, Trabzon, KTÜ yayını: 87, 103.
- Ringwood A.E., 1990. Earliest History of the Earth-Moon System, in Origin of the Earth, in Newsom, H. E., Jones J. H., (Eds.), Oxford University Press, 101-134.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, B., 2010. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 53, 2-3.
- Stolz, A.J., Jochum, K.P., Spettel, B. ve Hofmann, A.W., 1996. Fluid and Melt Related Enrichment in the Subarc Mantle: Evidence from Nb/Ta Variations in Island Arc Basalts. Geology, 24, 587-590.
- Sun, S.S. ve McDonough, W.F. 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts; Implications for Mantle Composition and Processes, in Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins Geological Society of London, London 42, 313-345.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.-H., Dokuz, A. ve Meyer, H.-P., 2007. Variscan Amphibolite-facies Metamorphic Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex (Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey). International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Turan, S., 2012. Zigana (Torul, Gümüşhane, KD Türkiye) Yöresi Damar Tip Pb-Zn-Cu±Barit Cevherleşmelerinin Kökensele Açısından Karşılaştırmalı İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 132s.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area. Phase 1, 72p.
- Tüysüz, N., 2000. Geology, Lithochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE Turkey. Chemie der Erde, 60, 231-250.
- Winchester, J.A. ve Floyd, P.A., 1977. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. Chemical Geology, 20, 97-127.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 175s.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimentolojik Kayıtları ve Kontrol Etkenleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 45(1), 141-165.
- Yılmaz, Y., 1973. Gümüşhane Granitinin Yerleşmesi, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bidirileri, 17-19 Aralık 1973, Ankara, s.485-490.

Elektronik Beton İzleme Sistemi Sonrası Yapı Denetimli Yapılarda Kullanılan Hazır Beton Kalitesinin Isparta İli Ölçeğinde Değerlendirilmesi

Evaluation Of Ready-Mixed Concrete Quality In Isparta Scale After Electronic Concrete Monitoring System

Habib DOĞAN*

* Isparta Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 32200, Isparta

• Geliş tarihi / Received: 03.04.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 17.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 24.09.2020

Öz

Nüfusunun neredeyse tamamına yakını deprem riski içerisinde bulunan ülkemizde yapıların depreme dayanıklı olarak yapılması büyük önem arz etmektedir. Yapıların depreme dayanıklılığında belirleyici parametrelerin başında ise demir ve beton tasarımları gelmektedir. Hazır beton sisteminin ülkemizde yaygınlaşmasıyla beton kalitesinde büyük oranlarda iyileşmeler sağlanmış olmakla birlikte benzer ölçekteki depremlerde gelişmiş ülkelerdekine nazaran daha fazla hasarla karşılaşmamız, istenilen ölçüde kaliteyi yakalayamadığımızı göstermektedir. Bu amaçla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından yapı denetimi kapsamında inşa edilen yapıların hazır beton denetimlerindeki suüstimleri önlemek adına dünyada ilk defa beton numunelerinin elektronik olarak izlendiği bir sistem, Elektronik Beton İzleme Sistemi (EBİS) devreye sokulmuştur. Bu çalışmada 2019 yılında Isparta ilinde yapı denetim kapsamında numune alınarak teste tabi tutulan sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Kullanılan tüm numuneler Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) etiketleriyle alınmış C25/30, C30/37, C35/45 beton sınıfındaki 12650 adet hazır beton numunelerinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçların, Isparta’da yapı denetimli binalarda kullanılan hazır betonların basınç dayanım sonuçlarında bir sorun olmadığını göstermesine karşılık beton kalitesinde dikkate alınması gereken noktalarla karşılaşılmış ve bu hususlara vurgu yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton Basınç Dayanımı, EBİS, Hazır Beton, Yapı Denetim

Abstract

Almost all of the population of our country is at risk of earthquakes and it is of great importance that the structures are constructed to be earthquake resistant. Iron and concrete designs are the main determinant parameters of earthquake resistance of buildings. Although the ready-mixed concrete system has become widespread in our country and improvements in concrete quality have been achieved, the fact that we encounter more damage in similar earthquakes compared to developed countries shows that we have not achieved the desired quality yet. For this purpose, in order to prevent abuse of ready-mixed concrete inspections of buildings constructed by The Ministry of Environment and Urbanization (MEU) within the scope of building inspection, a system for monitoring concrete samples electronically (EBIS) was put into use for the first time in the world. In this study, in 2019, all the results which were tested in Isparta province were sampled and evaluated. The samples used consist of 12650 ready-mixed concrete samples in C25/30, C30/37, C35/45 concrete classes, all of which were taken with Radio Frequency Identification (RFID) tags. Although the results obtained show that there is no problem in the compressive strength results of ready-mixed concrete used in controlled buildings in Isparta, points to be considered in concrete quality have been encountered and these issues have been emphasized.

Keywords: Concrete Compressive Strength, ECMS, Ready-Mixed Concrete, Building Inspection

* Habib DOĞAN; habib.dogan@csb.gov.tr, Tel: (0246) 224 13 00, orcid.org/ 0000-0001-8685-9569

1. Giriş

Kalsiyum esaslı bağlayıcı maddelerin yapı malzemesi olarak kullanımı milattan önceki yıllara uzanmakla birlikte bildiğimiz anlamda ilk çimentonun patenti 1824 yılında Joseph Aspdin tarafından alınmıştır. Daha sonraları Charles Johnson tarafından kil ve kireç karışımlarının kızdırma sıcaklıkları artırılarak bugünkü anlamında portland çimento elde edilerek aynı yüzyılda betonarme binalarda kullanılmaya başlanmıştır (Uğur ve Güleç, 2014). Çimento, su, agrega ve katkı malzemelerinden oluşan beton, yapı malzemelerinde en çok kullanılan bileşen özelliğini taşımaktadır. Hazırlanışı ve kullanımının kolaylığı inşaatlarda kullanımını artıran faktörlerdendir. İlk olarak elle ya da mekanik olarak bileşenlerin karıştırılmasıyla elde edilen beton, daha sonraları otomatik olarak hazırlanmaya başlanmıştır. 20. Yüzyılın hemen başlarında ilk olarak Almanya ve ABD’de üretilmeye başlayan hazır beton gittikçe artan bir oranda yaygın kullanıma ulaşmıştır. Ülkemizde ise ilk olarak 1970 li yıllarda hazır beton üretimi yapılmış 1990’lı yıllarda yaygınlaşmıştır. Son yıllarda Türkiye yıllık üretim miktarının 100 milyon metreküp seviyesini aşmasıyla Avrupa lideri konumuna yükselirken, dünyada da Çin ve ABD’den sonra en büyük hazır beton üreticisi konumundadır (Akakın vd., 2013; URL-2, 2019).

Türkiye %93’ü deprem kuşağında bulunan bir coğrafyadır. Meydana gelen büyük ölçekli depremlerde gelişmiş ülkelerdeki benzer büyüklükteki depremlere göre daha fazla kayıpların olması yapı kalitesinin düşük olmasından kaynaklanan bir durum olarak görülmektedir. 1999 yılında yaşanan Marmara depremi sonrası Yapı Denetim Sistemi kurulmuş ve pilot illerde denenip değerlendirmeler yapıldıktan sonra 2011 yılından itibaren tüm illere yaygınlaştırılmıştır. Yapı denetim firmaları inşaat faaliyetlerinin tüm aşamalarında denetim görevini yerine getirmekle yükümlü olduklarından beton dökümlerinin kontrolü de ÇŞB tarafından yetkilendirilmiş yapı laboratuvarları aracılığı ile yapı denetim firmaları tarafından yürütülmektedir. Laboratuvarlar tarafından şantiye mahallinde alınan beton numuneleri 7 ve 28 gün kür havuzlarında bekletildikten sonra basınç dayanım testine tabi tutulmakta ve sonuçlar hakkında yapı denetim firmaları bilgilendirilmektedir. Bu testler sonucu standartları sağlamayan beton test sonuçları hakkında karot alınarak tekrar değerlendirme yapılmakta, alınan karot sonuçlarına göre performans değerlendirmesi yapılarak projelerde öngörülen kriterleri sağlayıp

sağlamadığı belirlenmektedir. Yapı denetim sistemi gelmeden önceki hazır beton kalitesini değerlendirecek sonuçlara ancak hazır beton üretimi yapan firma kayıtlarından ulaşmak mümkün olduğu için bu konuda çok fazla bir çalışmaya rastlanılmamış olup, yapı denetim sistemi öncesi hazır beton verileri hakkında bilgiler sunan nadir çalışmalardan bazıları İstanbul, Antalya, Isparta ve Eskişehir illeri için yapılmıştır (Davraz vd., 2012; Topçu ve Demir, 2004; Topçu ve Boğa, 2005; Akyüz ve Uyan, 1989; Fırat, 2005). Yapı denetim sistemine geçildikten sonra kayıtların laboratuvarlar üzerinden erişilebilir olması birçok ildeki hazır betonların değerlendirmesiyle ilgili çalışmaların artmasıyla neticelenmiş ve Ankara, Afyonkarahisar, Osmaniye, Bolu, Sinop, Kastamonu ve Kütahya illerindeki hazır beton kalitesiyle ilgili çalışmalar yapılarak literatüre kazandırılmıştır (Topçu ve Uzunömeroğlu, 2019; Ergün ve Başaran, 2011; Öztoprak vd., 2018; Memiş vd., 2016; Dündar vd., 2017; Topçu ve Ateşin, 2013; Memiş vd., 2016b). Bu çalışmalarda genelde beton denetimlerini gerçekleştiren ve ÇŞB’na bağlı olarak çalışan yapı laboratuvarlarının kayıtları esas alınmış, bazılarında da Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri (ÇŞM) tarafından yapılan denetimler sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır.

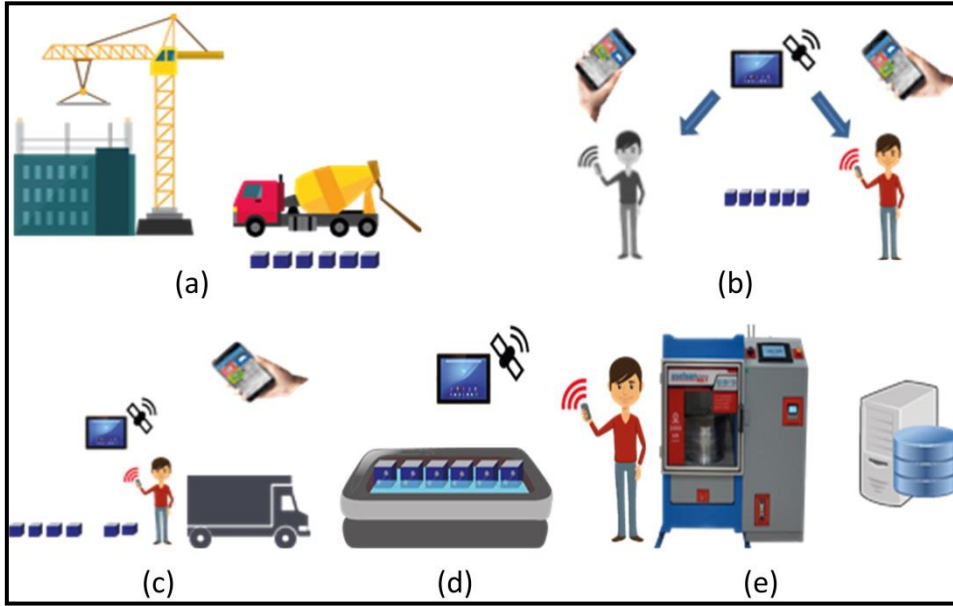
Kullanılan hazır betonun kalitesi ve performansı yapı ve tesislerin dinamik ve statik açıdan değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin başında gelmekte olup bu kalite, kullanılan çimento, agrega ile bunlar arasındaki kenetlenmeye bağlıdır. Yapıların kullanma amacına göre değişmekle birlikte betondan beklenen en önemli performans onun basınç dayanımıdır. Bu yüzden, deprem anında dinamik yüklerin binmesi durumunda yapıların davranışını genel anlamda bu basınç dayanımı belirlemektedir (Memiş vd., 2016). Betonun kalitesi tasarım aşamasında başlayıp, üretim, taşıma, yerleştirme ve bakım periyotlarından oluşan bir süreç sonunda ortaya çıkan bir kavram olup (Topçu ve Uzunömeroğlu, 2019), kaliteli malzeme, kapsamlı beton tesisleri, standartlara uygun tasarımların yapılması, uygun üretim ve kontrol sisteminin oluşturulması gibi birçok değişkenlerin belirlediği bir parametredir (Öztoprak vd., 2018).

Hazır beton santrallerinin gelişmesiyle birlikte hızlı, daha kolay ve sürdürülebilir kalitede beton üretimi sağlanabilmektedir (Memiş vd., 2016b). Ülkemizde 2018 yılı verilerine göre hazır beton üretimi gerçekleştiren kurulu 495 firma ve 1100 hazır beton santrali mevcuttur (URL-1, 2019). Bu

santraller yetkili kuruluşlarca sürekli denetlenmekte ve kalite süreçleri belgelendirilmektedir. Ayrıca ÇŞB taşra teşkilatı vasıtasıyla hazır beton santrallerini belli periyotlarla sürekli denetlemekte ve Piyasa Gözetimi ve Denetimi (PGD) kapsamında aldığı numuneleri kendi laboratuvarlarında test ederek, standartlara uymayan üreticiler hakkında yasal yaptırımlara başvurmaktadır. Sektörün içerisinde aktif olarak bulunanların hazır beton testleri ile ilgili gördüğü en büyük problem laboratuvarların sahte beton sonuçları raporlamalarıdır (Topçu ve Uzunömeroğlu, 2019). Paydaşlardan gelen bu yoğun şikâyetler üzerine bakanlık dünyada ilk defa elektronik etiketlerin kullanıldığı beton takip sistemi geliştirerek 25.12.2018 tarihi itibarıyla Elektronik Beton İzleme Sistemine (EBİS) geçmiştir. Tüm laboratuvarlara AselsanNET tarafından geliştirilen beton test kırım cihazları dağıtılmış ve şantiye mahallinde alınan numuneler içerisine RFID etiketler yerleştirilerek, kırım sonuçlarının doğrudan merkeze aktarılması sağlanmıştır. Beton Kırım Cihazı içerisine yerleştirilen kameralarla kırım süreci görüntülü olarak da kayıt altına alınmaktadır. Kırım sonuçlarına manuel bir müdahalenin mümkün

olmaması, hazır betonların kalite değerlendirmesinde EBİS çerçevesinde alınan betonların daha fazla fikir vereceği düşünülmekte, ayrıca sistemin elektronik olarak kayıt altında tutulması nedeniyle şantiye mahallinden geç alınma, kür havuzuna geç konulma, erken veya geç kırım yapma yahut da sonuçları değiştirme gibi ihtimalleri ortadan kaldırması sebebiyle de hazır beton kalitesi üzerinde pozitif bir etki yapacağı varsayılmaktadır.

Şekil 1’de elektronik beton izleme sistemi vasıtasıyla gerçekleştirilen numune alma süreci gösterilmiştir. Şekil 1a’da şantiye mahallinde ÇŞB’nin genelgesi doğrultusunda transmikserlerden numune alınması, Şekil 1b’de hem yapı denetim elemanı hem de laboratuvar görevlisi nezaretinde numunelere RFID etiket yerleştirip kayıt altına alınması görülmektedir. Şekil 1c’de, şantiyede 16-72 saat arası bekletilen numunelerin taşınması, Şekil 1d’de 7 veya 28 günlük sürelerde havuzlarda numunelerin kürlenmesi, Şekil 1e’de ise bekletilen bu süreler sonunda otomatik olarak kırımın yapıp sisteme yüklenmesi adımları gösterilmiştir (URL-3, 2020).



Şekil 1. Elektronik beton izleme sistemi vasıtasıyla numune alınma süreci(ebistr.com)

Isparta ili genel olarak büyük yer ivmelerine sahip bölgeler içerisinde yer almakta olup, tarihsel süreçte büyüklüğü 6.0’ın üzerinde olan depremlere yol açan ve halen aktif olan iki fay hattının arasında bulunmaktadır. Ayrıca yapılaşmanın genelde alüvyon zemin üzerine oturması bu bölgedeki depremlerin daha fazla hissedilmesine yol açmaktadır (Davraz vd., 2012). Betonarme binalarda sistemin en önemli iki elemanı beton ve donatıdır. Betonarme sistemin

niteliği ve deprem anındaki davranışı da büyük oranda bu iki elemana bağlıdır. Türkiye’de farklı depremler sonrası yapılan araştırmalarda sorumluluğun büyük oranda beton basınç dayanımıyla alakalı olduğunu ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır (Uğurlu, 2013). Dolayısıyla piyasaya sürülen hazır betonların basınç dayanımlarının yönetmelik kriterlerini sağlayıp sağlamadığının sürekli olarak denetlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada 2019 yılı boyunca Isparta il merkezi ve ilçelerinde yapı denetim kapsamında inşa edilen yapıların EBİS vasıtasıyla alınmış hazır beton test sonuçları değerlendirilmiştir. Isparta yerinde faaliyet gösteren 7 farklı firmaya ait 11 hazır beton santralinde üretilen ve yıl boyunca alınan tüm sonuçlar çalışmaya dâhil edilerek istatistiksel metotlarla değerlendirilmeye tabi tutulmuş ve Isparta yöresi için hazır beton kalitesi hakkında fikir elde edilmeye çalışılmıştır. 2. Bölümde çalışmanın yöntemleri verilmiş, elde edilen sonuçlar 3. Bölümde verilmiş ve bu sonuçların değerlendirilmesi ise 4. Bölümde yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Isparta il merkezi ve ilçelerinde toplam 6 adet firmanın 13 adet hazır beton santrali mevcut olup bunlardan 4 adedi il merkezinde faaliyet gösterirken 7 adedi ise ilçelerde faaliyet göstermektedir. 2 santral ise 2019 yılı içerisinde aktif olarak üretim yapmamıştır. İl merkezinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığında izin almış 2 adet yapı laboratuvarı mevcut olup tüm hazır beton numuneleri bu laboratuvarlar tarafından alınmaktadır (URL-4, 2020). 25 Aralık 2018 tarihinden itibaren bu iki laboratuvara

AselsanNET tarafından kırım cihazları kurulumu yapılmış ve gerekli teçhizat teslim edilmiştir. Yapı denetim firmaları tarafından yapı denetim hizmet bedeli içerisinde yapı sahibinden tahsil edilen bedelle temin edilen RFID etiketler anlaşmalı oldukları laboratuvarlara teslim edilmekte ve numune alımı sırasında yapı denetim firmasından elemanlar şahitliğinde kullanılmaktadır.

2019 yılı için bu laboratuvarlar tarafından yapı denetimli yapıların denetimi kapsamında 1541 şantiyeden 12688 hazır beton numunesi alınmış ve kırım testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler 15x15x15 cm boyutlarına sahip küp şeklindeki numune kapları ile alınmıştır. Bu test sonuçları kırım anında otomatik olarak EBİS merkez veri tabanına aktarılmakta ve www.ebistr.com adresinden erişime açılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sonuçlar ÇŞB'nin, İl Müdürlüklerindeki yapı denetim sistemi kullanıcılarına vermiş olduğu rol çerçevesinde www.ebistr.com internet adresi üzerindeki verilere erişmek suretiyle elde edilmiştir. Şekil 2 de verilerin elde edildiği alan gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere sisteme 05.01.2020 tarihinde erişim sağlanmış ve aynı gün kırılan hazır beton sonuçları sistemde aktif olarak görülebilmektedir.

İşlem	Durumu	Alınma Tarihi	Gönderilme Tarihi	Kırılma Tarihi	Kırım Günü	Yıbf	Lab Rapor No	BRN
		29.12.2019	05.01.2020		7	1620452	1158-19	17073261
		28.12.2019	05.01.2020	04.01.2020	7	1552177	1172	17071745
		28.12.2019	05.01.2020	04.01.2020	7	1553280	1156-19	7071755
		28.12.2019	05.01.2020	04.01.2020	7	1565765	1155-19	17071629
		28.12.2019	05.01.2020	04.01.2020	7	1617683	1171	17071742

Şekil 2. Elektronik beton izleme sisteminde sonuçların izlenmesi (ebistr.com)

Sistemden elde edilen veriler işlenebilir forma dönüştürülüp, istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Verilerin analizinde hazır beton testleri ile ilgili Türk Standartları (TSE, 2019) dikkate alınmış ve çıkan sonuçların kalite açısından değerlendirilmesinde de ACI (American Concrete Institute) kriterleri (ACI, 2011) kullanılmıştır. Değerlendirmeye alınan her üç grup beton sınıfı (C25/30, C30/37, C35/45) için

ayrı ayrı standart sapmalar ve değişim katsayıları elde edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Standart sapma değerinin küçük çıkması üretilen hazır betonların ortalama değere yakın yoğunlukta üretildiğini ve kalitenin sürdürülebilirliğinin yüksek olduğunu, tam tersi durum ise betonlarda kalite açısından sıkıntılarının varlığını göstermektedir (Dündar vd.,2017). Ülkemizde 2007 Deprem Yönetmeliğinde yapılarda

kullanılabilecek en küçük beton sınıfı C20 olarak belirlenmişken, 2018 yönetmeliğinde bu değer C25 olarak belirlenmiştir (URL-2, 2018). Dolayısıyla elde edilen sonuçlardan, üretilen betonların basınç dayanımlarının bahsedilen yönetmelik kriterlerini ne oranda sağlayıp sağlamadığı da görülebilecektir.

Alınan numunelerin beton basınç değerlerinin belirlenmesinde standart deney yöntemi kullanılmakta olup, bu yöntemde numuneler 15x15x15 cm boyutlarında küp ya da 15x30 cm boyutlarında silindirik kaplar kullanılarak alınmakta, 7 ve 28 günlük sürelerde sıcaklığı $+20\pm 2$ °C olan havuzlarda kürelemeye tabi tutulmakta ve bu süreler sonunda uniform basınç yükü altında basınç dayanımı testine tabi tutulmaktadır (Memiş vd., 2016). 28 günlük kırım sonuçlarının değerlendirilmesi, TSE 13515:2019 standardında verilen aşağıdaki kriterlere göre yapılmaktadır.

Tablo 1. Basınç dayanımı deney sonuçları ile denetim kriterleri

Belirli hacimdeki betondan elde edilen deney sonucu adedi "n"	1. Kriter "n" adet deney sonucu ortalaması (f_{cm}) N/mm ²	2. Kriter Herhangi tek deney sonucu (f_i) N/mm ²
1	Uygulanmaz	$\geq f_{ck}$
2-4	$\geq f_{ck} + 1.0$	$\geq f_{ck} - 4.0$
≥ 5	$\geq f_{ck} + 2.0$	$\geq f_{ck} - 4.0$

Burada f_{ck} , o sınıf için belirlenmiş karakteristik basınç dayanım değerini gösterirken, f_{cm} , elde edilen ortalama basınç dayanım değeridir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının genelgesi doğrultusunda 17.05.2019 tarihine kadar her bir transmikserden 3 adet numune alınarak yapılan denetim, bu tarihten sonra her bir transmikserden

4 adet 15x15x15'lik küp numune alınarak yapılmaktadır. 3 veya 4 adet şeklinde aynı transmikserden alınan numune seti bir deney seti olarak kabul edilmektedir. Bu numunelerden bir tanesi 7, diğer numuneler ise 28 günlük küreleme sonrası basınç dayanımı testine tabi tutulmaktadır. Değerlendirmeler tek bir deney seti üzerinden yapılabildiği gibi, o şantiyeden alınan tüm deney setleri üzerinden de yapılmaktadır. Değerlendirme sonucunun olumlu olması için her iki değerinde birlikte sağlanması gerekmektedir. TSE 13515:2019 standardının Ek B1 6. Maddesine göre; "beton basınç dayanımının uygunluğu, 28 gün yaşta deneye tabi tutulmuş numuneler üzerinde tayin edilir. Elde edilen beton basınç dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesinde; aynı taze beton harmanından iki veya daha fazla sayıda deney numunesi hazırlandığında ve bu numunelerden elde edilen sonuçlardan herhangi birinin, ortalama sonuca göre sapmasının %15'den daha fazla olması durumunda, numune sonuçlarının hepsi reddedilir. Ancak, ikiden fazla numune olması durumunda, numuneler ve sonuçlar üzerinde yapılacak incelemeye göre sonuçlardan herhangi birinin ortalamaya dâhil edilmemesini haklı gösterecek bir sebep varsa yalnızca bu sonuç ortalamaya dâhil edilmez ve değerlendirmede geriye kalan numune sonuçları kullanılır (TSE, 2019). Böylece numune saklama, taşıma, küreleme veya uygun olmayan kırım şekllinden dolayı üreticinin mağdur olmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca TSE 13515:2019 standardının Ek B1 5. Maddesine göre bir şantiyede dökülen beton miktarına göre alınması gereken numune sayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Numune alma planı

1. Kriter Üretim birimine giren beton miktarı (m ³)	2. Kriter Üretim birimi için kat döşeme alanı veya perde (tek yüzey) alanı (m ²)	Numune alınacak asgari beton yükü veya transmikser sayısı
0-24		2
25-100	<450	3
101-150	451-650	4
151-200	651-850	5
201-250	851-1050	6
251-300	1051-1250	7
301-400	1251-1450	8
401-500	1451-1650	9
501-600	1651-1650	10
>600	>1850	İlave her 200 m ³ hacim veya ilave her 200 m ² alan için yukarıdaki sayılara 1 ilave edilir.

Not - Numune alma işlemi, bütün imalâta yayılmalı ve numune alınan iki beton yükü (transmikser) arasında en az 25 m³ beton hacmi bırakılmalıdır.

3. Bulgular

Tablo 3'te Isparta ilinde 2019 yılı içerisinde aylara göre dökülen beton miktarlarının sınıflara göre dağılımı verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, özellikle C35/45 beton sınıfındaki hazır beton kullanım miktarının il merkezinde oldukça yüksek miktarda olduğu ve Türkiye ortalamasının (%25.5) üzerinde bir değerde kullanım oranına sahip olduğu görülmektedir (THHB, 2019). Yıl içerisinde toplam 125.896 m³ hazır beton kullanımı gerçekleşmiş olup, bu miktarın 100.819 m³'ü merkezde, kalan miktarı ise ilçelerde

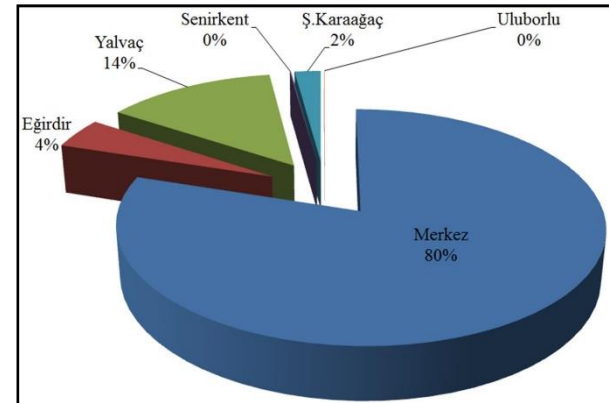
dökülmüştür. İl merkezinde sınıflara göre kullanımı sırasıyla C25/30 için % 12, C30/37 için %42, C35/45 sınıfı için %46 şeklindedir. İlçelerde ise %56 gibi büyük bir oranda C25/30 sınıfı hazır beton kullanıldığı, %33 oranında C30/37, %11 gibi çok küçük bir oranda da C35/45 sınıfı hazır beton kullanıldığı anlaşılmaktadır. İl merkezindeki C35/45 sınıfı hazır beton kullanımının yüksek miktarda olması kentsel dönüşüm projelerinin yoğun bir şekilde uygulanması ve uygulanan bu projelerdeki yapıların kat yüksekliğinin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3. Isparta il ve ilçelerinde 2019 yılı içerisinde yapı denetimli binalarda kullanılan beton miktarları (m³)

	C25/30		C30/37		C35/45	
	Merkez	İlçeler	Merkez	İlçeler	Merkez	İlçeler
Ocak	95	145	2058.5	0	2054.24	0
Şubat	935	780	3332.5	225	3095	1019
Mart	782	2166	2900.23	1000	4748.22	363
Nisan	233.2	1505	2515.24	1501.74	3936.8	63
Mayıs	734.5	1927	3765	962.24	4863.19	262
Haziran	2427	683	2535	457	2931	333
Temmuz	1653	812	4880	441	4349.87	571
Ağustos	1660	917.5	3290.22	641	2785	98
Eylül	2473	1404	3947	842	3627.5	0
Ekim	390	1601.19	4867.5	651	5330.25	0
Kasım	115	1187	5321	611	4650.5	0
Aralık	323	978	3026	895	4189	35
TOPLAM	11820.70	14105.69	42438.19	8226.98	46560.57	2744.00

Tablo 3'teki verilere bakıldığında Isparta'da 2019 yılı içerisinde 126143 m³ hazır beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Bu miktarın görece olarak azlığının 2019 yılındaki inşaat sektöründe yaşanan kriz kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Isparta genelinde 2017 yılı için 832, 2018 yılı için 525 adet inşaat ruhsatı (yapı denetim kapsamına giren) alınmışken bu sayı 2019 yılı için 140 adet gibi çok az bir rakamda kalmıştır. Bu 140 adet inşaat ruhsatının yaklaşık 100 adedi yılın son çeyreğinde alınmış olup çoğu inşaata başlamamış durumdadır. 2019 yılı içerisinde dökülen tüm betonların il ve ilçelere göre dağılımı ise Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde yapı denetimi kapsamındaki inşaatlarda dökülen betonların %80 gibi il merkezinde yoğunlaştığı görülmektedir. İlçe nüfuslarının düşük olması bu oranlarda etken husustur. Dört ilçe nüfusunun 5.000'nin altında kalması, 500 m² ye kadar olan inşaatların yapı denetim dışında kalmasını netice vermektedir.



Şekil 3. Isparta genelinde dökülen beton miktarlarının il ve ilçelere göre dağılım yüzdesi

2019 yılı içerisinde hazır beton sınıfı bazında alınan numune sayıları ve istatistiksel değerlendirmeye ait veriler Tablo 4'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde standart sapma değerlerinin yüksek olduğu, değişkenlik katsayısının da benzer şekilde yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir. Bu durum beton

firmalarının üretiminde bir kalite sürekliliğinin zayıf olduğunu, minimum ve maksimum değerler arasında beklenilenden fazla fark olduğunu göstermektedir. ACI 214R-11 değerlendirme kriterlerine göre $f_{ck} \leq 35$ MPa lık bir basınç dayanımına sahip olan sınıflar standart sapma değerine bakılarak kalite sınıflandırılması

yapılırken, $f_{ck} \geq 35$ MPa değerine sahip olan sınıflar değişkenlik katsayısına bakılarak sınıflandırılır (ACI, 2011). Bu değerlendirme kriterlerine göre Isparta genelinde üretilen C25/30 betonların kalitesi “kötü” sınıfında iken, C30/37 ve C35/45 sınıfı betonların kaliteleri “orta” ve “iyi” seviyelerde çıkmaktadır.

Tablo 4. İl genelinde alınan tüm numunelerin istatistiksel verileri

	Alınan Numune Sayısı	Ortalama	Minimum Değer	Maksimum Değer	Standart Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)	Kalite Değerlendirmesi
C25/30	2320	42.39	20.3	63.2	5.84	13.78	Kötü
C30/37	5472	47.01	25	71.7	6.01	12.78	Orta
C35/45	4896	53.81	24.3	81.2	7.00	13.01	İyi

Tablo 5’te ise, santral bazlı olarak bir istatistiksel veri kümesi gösterilmiştir. Burada il merkezinde veya ilçelerde faaliyet gösteren ve numune alınan firmalar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Firma bazında bakıldığında G santralının C30/37 sınıfındaki verilerinin standardın öngördüğü ortalama değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle bu firma kalite değerlendirilmesine tabi tutulmamıştır. Aynı şekilde değişkenlik katsayılarına bakıldığında en kötü durumun F santraline ait C25/30 sınıfında, en iyi durumda E santraline ait C30/37 sınıfında elde edildiği görülmektedir. G firmasının yapı denetimli

yapılarda sadece C30/37 beton sınıfında hazır beton ürettiği görülürken, yapı denetimli yapılarda ilçelerde faaliyet gösteren tüm santrallerin C35/45 sınıfında hazır beton üretmediği görülmektedir. İlçelerde dökülen ve Tablo 3’te görülen C35/45 sınıfındaki hazır betonların il merkezinde faaliyet gösteren santrallerde üretildiği tespit edilmiştir. Genel anlamda il merkezindeki santrallerin değişkenlik katsayılarının ilçe merkezlerinde üretim yapan santrallere göre sınıf bazında birbirlerine yakın olduğu görülebilir. Bu da ilçe merkezlerindeki kalite sürekliliğinin daha kötü olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. İl ve ilçe merkezlerinde üretim yapan santrallere göre istatistiksel veriler

		İL MERKEZİ SANTRALLERİ				İLÇE SANTRALLERİ		
		A	B	C	D	E	F	G
C25/30	ORT	40,06	44,42	40,04	40,73	42,32	39,64	
	MİN	31	33,5	31,3	27,8	29,4	20,3	
	MAK	49,4	60,8	56	52,9	57,8	55,2	
	SS	4,6	5,1	4,02	4,92	5,45	5,33	
	DK(%)	11,47	11,5	10,04	12,08	12,87	13,45	
C30/37	ORT	45,44	49,34	45,09	43,91	45,38	44,2	34,52
	MİN	30	32,5	28,3	26,2	34,9	28,4	25
	MAK	58,8	65	58,9	61,6	57,1	56,3	43,6
	SS	5,12	5,3	4,91	5,43	4,25	5,08	3,87
	DK(%)	11,28	10,75	10,89	12,36	9,37	11,48	11,2
C35/45	ORT	49,9	53,64	55,65	49,34			
	MİN	32	33,2	32	24,3			
	MAK	67,7	75,1	73,5	67,6			
	SS	5,9	5,88	6,03	5,6			
	DK(%)	11,92	10,95	10,84	11,35			

Burada (SS) standart sapmayı, (DK) ise yüzde olarak değişim katsayısını göstermektedir. Tablo 5, ACI-214R-1 değerlendirme kriterlerine göre incelendiğinde C25/30 hazır beton sınıfında, B, D, E ve F santrallerinin ürettiği beton kalitesi “kötü” sınıfında iken, A ve C santrallerinin ürettiği C25/30 sınıfı hazır betonlar “orta” kalite

sınıfındadır. C30/37 sınıfı için bakıldığında, B, C ve E sınıfı santrallerin betonları “iyi”, A, D ve F santrallerinin ürettiği hazır betonlar “orta” kalite sınıfındadır. C35/45 hazır beton sınıfına göre bir değerlendirme yapıldığında ise, B ve C santrallerinin ürettiği hazır betonların kalitesi “iyi” sınıfında iken, A ve D santrallerinin ürettiği

hazır betonlar “orta” kalite sınıfındadır. Santral bazında kalite değerlendirmesi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Santrallere göre ürettikleri betonları kalite sınıflandırılması

SANTRAL	Beton Sınıfı		
	C25/30	C30/37	C35/45
A	Orta	Orta	Orta
B	Kötü	İyi	İyi
C	Orta	İyi	İyi
D	Kötü	Orta	Orta
E	Kötü	İyi	-
F	Kötü	Orta	-
G	Değerlendirilmemiştir		

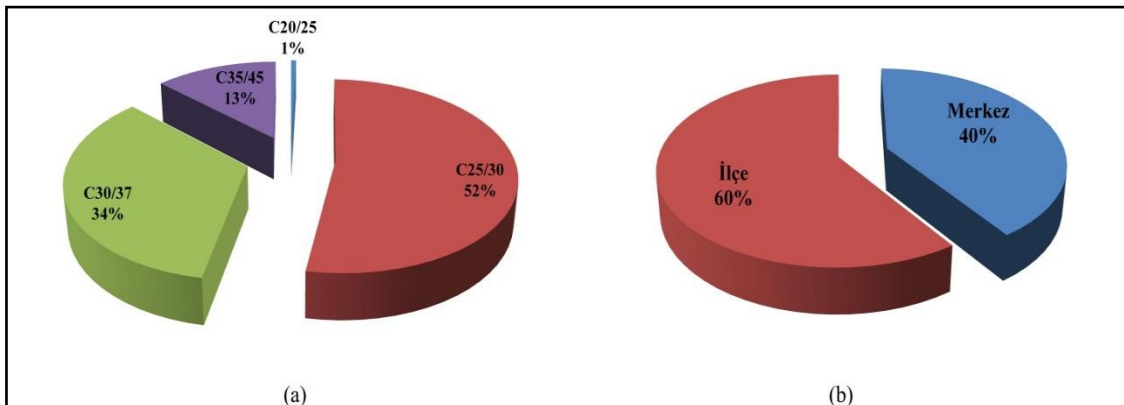
Tablo 6 tüm santrallerin C25/30 beton sınıfında sundukları betonların kalitesinin %67 oranında kötü olduğunu göstermektedir. Bu durum beton basınç dayanım testlerinin olumsuz olmasından çok bu sınıftaki minimum ve maksimum değerler arasında fazla fark olmasından doğmaktadır.

Ayrıca sistem üzerinden yapılan incelemede beton numunesi alınan toplam şantiyelerin %5’ne denk gelen 77 şantiyeden alınan hazır betonların basınç dayanım testlerinin standart değerlerin altında çıktığı, bu sonuçların genelde Tablo 1’de verilen 1. Kriteri sağlamadığı tespit edilmiştir. 2019 yılında olumsuz çıkan beton sonuçları ve aylara göre dağılımı Tablo 7’de verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, düşük değerlerin %65’i C35/45, %34’ü C30/37 ve %1’i C25/30 beton sınıflarında meydana geldiği, ayrıca yaz aylarında daha fazla olumsuz beton sonucuyla karşılaşıldığı görülmektedir. Verilen sayılar şantiye sayısını göstermekte olup, bu şantiyelerde dökülen hazır beton miktarının toplamı 4596 m³’ü bulmaktadır.

Tablo 7. 2019 yılında olumsuz çıkan beton sonuçları ve aylara göre dağılımı

	C25/30	C30/37	C35/45
Ocak	1	-	1
Şubat	-	1	1
Mart	-	-	5
Nisan	-	4	5
Mayıs	-	3	9
Haziran	-	1	6
Temmuz	-	4	10
Ağustos	-	5	5
Eylül	-	-	1
Ekim	-	2	3
Kasım	-	4	2
Aralık	-	1	2

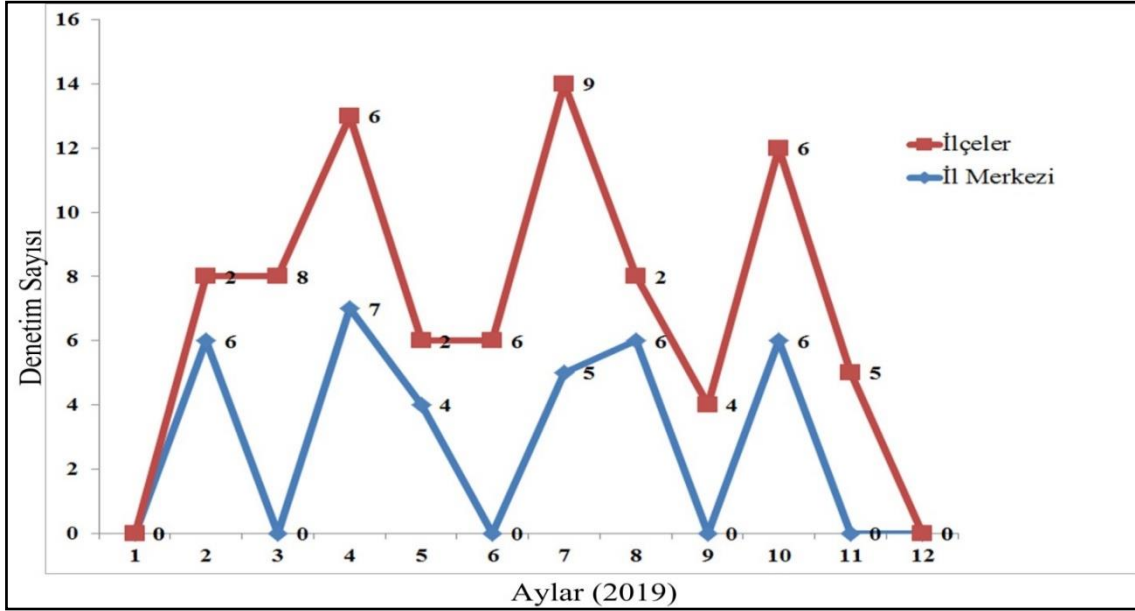
Isparta merkezli beton santrallerinin ürettikleri betonların yapı denetim kapsamında olanları Bakanlık onaylı laboratuvarlar tarafından denetlenirken, aynı zamanda Çevre ve Şehircilik Bakanlığının taşra teşkilatındaki Yapı Malzemeleri Şubesi tarafından da PGD kapsamında üretilen hazır betonlar denetlenmekte, alınan numuneler İl Müdürlüğü laboratuvarında test edilmektedir. Bu denetimlerde hem yapı denetim sistemine tabi olan yapılardan hem de bu sisteme tabi olmayan şantiyelerden numune alınabilmektedir. ÇŞB’nin 27.04.2015 tarihli ve 2015/04 sayılı genelgesine (URL-5; 2020) göre her santral yılda en az 3 kez denetime tabi tutulmak zorundadır. Isparta ÇŞM, PGD kapsamında 2019 yılı içerisinde 20 tanesi bir adet, 20 tanesi 2 adet geri kalan 44 tanesi 3 adet numuneden oluşan 84 adet deney testi gerçekleştirmiştir. Toplamda 193 adet olan numunenin 101 adedi C25/30, 66 tanesi C30/37, 25 tanesi C35/45 ve 1 tanesi C20/25 beton sınıflarından oluşmaktadır. Şekil 4, PGD kapsamında yapılan bu denetimlere ait bilgileri göstermektedir. Şekil 4a’da hazır beton sınıflarına göre yapılan denetimlerin dağılım yüzdesi gösterilirken, Şekil 4b’de ise il merkezi ve ilçelerde yapılan denetimlerin oranı verilmiştir.



Şekil 4. PGD kapsamında yapılan denetimlere ait bilgiler

Ayrıca ÇŞM tarafından yapılan denetimlerin aylara göre dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde yılın ilk ve son aylarında denetim yapılmadığı, ayrıca il merkezindeki santrallerin daha az denetlendiği görülmektedir. Her ne kadar bu durum üretilen betonlarla ters bir orantı

sergilese de, il merkezindeki betonların genelde yapı denetim kapsamındaki yapılarda kullanıldığı ve laboratuvarlar tarafından test edildiği göz önüne alındığında, ilçelerdeki yapı denetim dışında kalan betonların denetlenmesi açısından olumlu olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 5. Aylara göre PGD kapsamında gerçekleştirilen hazır beton denetim sayıları

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Isparta ili genelinde EBİS çerçevesinde, 1540 farklı şantiyeden, 4589 grup ve 12650 tekil numune şeklinde alınan hazır beton numune sonuçlarının basınç dayanımı test sonuçları değerlendirilmiştir. EBİS sonrası laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilen kırım sonuçları doğrudan merkez veri tabanına aktarılmakta ve paydaşlar tarafından anlık olarak izlenebilmektedir. Yapı denetim ve laboratuvar firmalarının şahitliğinde elektronik etiketlerle konum ve zaman bilgilerinin sayısal olarak izlendiği bu sistemin uygulamada gerçek değerlerin elde edilmesini sağlayacağı ve yapı sahiplerini olumsuz durumlardan koruyarak daha sağlam yapıların yapılmasına yol açacağı düşünülmektedir. Bu sisteme geçildikten sonra olumsuz kırım sonuçlarının çok daha fazla raporlanması bu kanaati güçlendirmektedir. Ayrıca sistem üzerinden olumsuz sonuçların ÇŞM'ndeki yapı denetimlerden sorumlu elemanların erişimine açılması, olumsuz durumlara müdahalelerin daha etkin biçimde yapılmasının önünü açmıştır.

Isparta ili genelindeki hazır beton sonuçları değerlendirildiğinde karakteristik basınç dayanım değerlerinde genel bir problem görülmemekle

birlikte, sınıf içerisindeki standart sapma ve değişkenlik katsayısının yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle C25/30 beton sınıfındaki hazır betonların sonuçları arasındaki değişkenlik dikkat çekici düzeydedir. Bu değerlerin yüksekliği sınıf içerisindeki minimum ve maksimum değerler arasındaki farkların büyük olduğunu göstermektedir. Bu ise santrallerin kalite sürdürülebilirliği açısından zayıf olduğunu, farklı zamanlarda farklı değerlere sahip ürün çıkardıklarını göstermektedir. Bu tür sonuçlar kullanılan malzemelerin uniformluğundaki sürekliliğin sağlanamamasından kaynaklanabileceği gibi santrallerin bu tür bir değerlendirme yapabilecek teknik kapasiteden yoksun olarak da çalışma yapmış olabileceklerinden kaynaklanabilir.

Ayrıca sonuçlara bakıldığında yapı denetimli beton dökümünün il merkezinde %80 gibi çok yüksek değerde olduğu ilçelerdeki yapıların genelde yapı denetim kapsamına girmeyecek büyüklükte olduğu görülmektedir. Aslında 4708 sayılı Yapı Denetim Hakkında Kanunda belirtilen nüfusu 5.000 kişinin altında olan belediye yerlerde veya belediye mücavir alanlar dışındaki 500 m² ye kadar olan binaların yapı denetim sistemi dışında bırakılması, bu yapılarda kullanılan hazır betonların denetim dışı kalmasına

yol açmaktadır. Bodrum katı dışında en çok iki katlı ve inşaat alanı 500 metrekareyi geçmeyen bu yapılarda da kullanılan hazır betonların bir şekilde laboratuvar denetimine sokulması olası depremlerde kırsal bölgelerdeki karşılaşılabilecek yüksek hasarların önüne geçebilecektir. İl Müdürlüğünün daha çok ilçelerde denetim gerçekleştirmesi bu alandaki olumsuz etkiyi ortadan kaldırmaya yönelik pozitif bir adım olarak düşünülebilir.

Sistemin olumsuz raporladığı sonuçlar hakkında Yapı Denetim firmaları tarafından karot alımı gerçekleştirilerek yeniden bir değerlendirme yapılmakta, bu durumda ise genelde olumlu rapor verilmektedir. PGD kapsamında yapılan denetimlerde olduğu gibi olumsuz bir durumla karşılaşılması durumunda doğrudan idari yaptırıma gidilmesi hazır beton firmalarının daha dikkatli üretim yapmasını, alınan numunelerin standartlara uygun olarak alınmasını, saklanmasını ve taşınmasını netice verecektir.

Sistem tarafından olumsuz olarak raporlanan test sonuçlarına bakıldığında numune alınan toplam şantiyelerin %5'inden alınan sonuçların negatif olduğu, bununda azımsanmayacak bir değer olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca bu olumsuz sonuçların %65 gibi bir oranının C35/45 sınıfında çıkması dikkat çekicidir. Çok katlı inşaatların arttığı günümüzde C35/45 sınıfındaki kullanımlar gittikçe artmakta olup, bu sınıfta üretilen betonların özellikle üretim kalitesinin sıkı tutulmasının gerektiği görülmektedir. EBİS öncesi bu kadar olumsuz bir durumun rapor edilmemesi ise laboratuvarların güvenilirliği açısından sorgulanması gereken ayrı bir husustur.

Sistem üzerinden erişilen raporlarda olumsuz olarak dikkat çeken bir hususta laboratuvar görevlileri tarafından saat, sıcaklık ve slump değerlerinin sabit olarak girilmesinin tercih edilmesidir. Bazı raporlarda gün içerisinde çok uzun bir zaman süresinde dökümü gerçekleştirilen raporlamalarda sıcaklık değerlerinin, slump değerlerinin hiç değişmemesi bu değerlerin görevliler tarafından rastgele girildiğini ispatlamaktadır. Şifahi olarak bu görevlilerle gerçekleştirilen görüşmelerde bu değerlerin sistem tarafından önemsenmediğini, bu nedenle doğru değerlerin girilmediğini beyan etmeleri negatif bir durum olarak görülmektedir. El terminallerine yüklenecek bir program vasıtasıyla sıcaklık ve saat bilgilerinin otomatik olarak sistem tarafından yüklenilmesi bu verilerin güvenilirliğini artıracaktır.

Sonuç olarak EBİS sonrası elde edilen verilerin bu sistem öncesi verilere oranla daha güvenilir olacağı, paydaşlar tarafından raporlanan olumsuz durumları azaltacağı, yapı sahiplerinin istenilen sınıf dışında bir hazır beton kalitesiyle karşılaşmalarını azaltacağı düşünülmektedir. Sistemin çok yeni olması, zamanla aksayan yönlerinin düzeltilerek daha aktif bir kullanım sağlayacağı, bununda hazır beton kalitesine olumlu olarak yansıtacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın verilerini değerlendirmek için izin veren Isparta Çevre ve Şehircilik İl Müdürü Sayın Abdullah BORCA'ya teşekkür ederim.

Kaynaklar

- ACI Committee 214R-1, 2011. Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete: Michigan, American Concrete Institute, Farmington Hills. 20 p.
- Akakin, T., Kılınç, C., Işık, A. ve Zengin, H., 2013. Hazır Beton Sektörü ve Beton Kullanımındaki Gelişmeler. Hazır Beton Dergisi, 116, 66-72.
- Akyüz, S. ve Uyan, M., 1989. İstanbul ve Çevresindeki Betonların Niteliği Üzerine Bir Deneme, 1. Ulusal Beton Kongresi, Mayıs 1989, İstanbul, Türkiye, s.160-171.
- Davraz, M., Başpınar, E. ve Ceylan, H., 2012. Yapı Denetim Kurumları Öncesi Isparta ve Yakın Çevresindeki Hazır Beton Kalitesi. Teknik Bilimler Dergisi, 2(1), 18-25.
- Dündar, B., Atabey, İ. ve Ümit, Y., 2017. Osmaniye İlinde Hazır Beton Santrallerinde Üretilen Beton Kalitelerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi. Selçuk-Teknik Dergisi, 16(2), 71-86.
- Ergün, A. ve Başaran, V., 2011. Afyonkarahisar'da Üretilen Hazır Beton Kalitelerinin Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2), 51-58.
- Fırat, F. K., 2005. Antalya Yöresinde Kullanılan Betonun Niteliğinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi, Antalya Bölgesinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Eylül 2005, Antalya, Türkiye, s.165-172.
- Memiş, S., Mütevellî, İ.G. ve Yılmazoğlu, M.U., 2016. Sinop İlinde Üretilen Hazır Betonların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi. Engineering Sciences, 11(4), 83-92. doi:10.12739/NWSA.2016.11.4.1A0365.

- Memiş, S., Yılmazoğlu, M.U. ve Mütevelli, İ.G., 2016b. Kastamonu İlinde Kullanılan Betonların Nicel Analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 756-764.
- Öztoprak, B., Sözen, Ş. ve Çavuş, M., 2018. Bolu Bölgesindeki Hazır Beton Tesislerinin Durumu ve Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7(3), 1-11.
- Topçu, İ.B. ve Demir, A., 2004. Eskişehir’de Dökülen Betonların Niteliği Üzerine İstatistiksel Bir Değerlendirme. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(2), 41-50.
- Topçu, İ.B. ve Boğa, A.R., 2005. Eskişehir’deki Hazır Beton Firmalarının Beton Kalitelerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1), 19-31.
- Topçu, İ.B. ve Uzunömeroğlu, A., 2019. Ankara’da Üretilen Hazır Betonların İstatistiksel Analizi. Nicel Bilimler Dergisi, 1(1), 16-42.
- Topçu, İ.B. ve Ateşin, Ö., 2013. Kütahya’da Üretilen Betonların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30, 56-63.
- TSE 13515:2019. TS EN 206’nın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uğur, T. ve Güleç, A., 2014. Harç, Sıva ve Diğer Kompozit Malzemelerde Kullanılan Bağlayıcılar ve Özellikleri. Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 17, 77-91.
- Uğurlu, A., 2013. Depremde Beton ve Davranışı. İMO Mühendislik Haberleri, 476(2), 57-63.
- URL-1, <https://www.thbb.org/sector/istatistikler/> 2018 Yılı Hazır Beton İstatistikleri, 2019. Türkiye Hazır Beton Birliği. 15 Mart 2020.
- URL-2, <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=7.5.24468&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=Deprem%20Y%C3%B6netmeli%C4%9Fi> 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 15 Mart 2020.
- URL-3, <https://ebistr.com/pages/publicDocument>. 07 Ocak 2020.
- URL-4, https://webdosya.csb.gov.tr/db/isparta/menu/faaliyet-raporu--2019_20190321082946.pdf. Isparta Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Faaliyet Raporu. 07 Ocak 2020.
- URL-5, <https://yapiisleri.csb.gov.tr/beton-numuneleri-hakkinda-genelge-i-5165>. 17.09.2020

Kaynağından Akdeniz'e Deliçay'ın (Mersin) Debisi ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

Assessment of Discharge and Water Quality of Deliçay (Mersin) from Its Source to Mediterranean Sea

Ümit YILDIRIM^{*1, a}, Cüneyt GÜLER^{2, b}, Mehmet Ali KURT^{3, c}, Onur GÜVEN^{2, d}

¹ Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Baberti Külliyesi, 69000, Bayburt.

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343, Mersin.

³ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343, Mersin.

• Geliş tarihi / Received: 04.05.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 14.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 25.09.2020

Öz

Bu çalışmada, Orta Toroslardaki Güzelyayla (Mersin) yerleşimi yakınlarında doğan ve Akdeniz'e dökülen Deliçay'ın, kaynağı ile boşalım noktası arasında belirlenen 11 farklı lokasyonda, akarsu debisi belirlenmiş ve akış yolu boyunca su kimyasında meydana gelen değişimleri ortaya koymak amacıyla yerinde fiziksel parametre ölçümleri yapılarak su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinin majör anyon/kasyon ve iz element içerikleri laboratuvarında spektrofotometre, iyon kromatografisi, titrasyon ve ICP-MS yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çeşitli grafik yöntemler kullanılarak değerlendirilmiş ve tarımsal sulama amaçlı kullanıma uygunlukları değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda; Deliçay'dan alınan tüm su örneklerinin tarımsal sulama amaçlı kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Akarsu örneklerinde kirlilik göstergesi olabilecek parametrelerin ise havza çıkış noktasına doğru artış gösterdiği ve bu artışın sebebinin tarımda kullanılan çeşitli kimyasallar (gübreler ve tarımsal ilaçlar) ile evsel/endüstriyel atıkların akarsuya kontrolsüz deşarjı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Akarsu Havzası, Debi, Deliçay, Hidrokimya, Su Kalitesi

Abstract

In this study, at 11 different points along the Deliçay, which originates near Güzelyayla (Mersin) settlement in the Central Taurus Mountains and discharging into the Mediterranean Sea, streamflow was determined and water samples were collected after in-situ physical parameter measurements to reveal the changes in water chemistry. Major anion/cation and trace element contents of the water samples taken were analyzed in the laboratory using spectrophotometer, ion chromatography, titration, and ICP-MS methods. The results obtained were evaluated using various graphical methods and their suitability for agricultural irrigation purposes were evaluated. As a result, it has been determined that all water samples taken from Deliçay are suitable for agricultural irrigation. It was concluded that the parameters that may indicate pollution in the samples increase towards the basin outlet and the reason for this increase was interpreted as the uncontrolled discharge of various chemicals (fertilizers and agrochemicals) and domestic/industrial wastes into the river.

Keywords: River Basin, Discharge, Deliçay, Hydrochemistry, Water Quality

*a Ümit YILDIRIM; umit.yildirim.1907@gmail.com/umityildirim@bayburt.edu.tr, Tel: (0 544) 729 6632, orcid.org/ 0000-0002-7631-7245

^b orcid.org/0000-0001-8821-6532

^c orcid.org/0000-0001-7255-2056

^d orcid.org/0000-0001-5608-7633

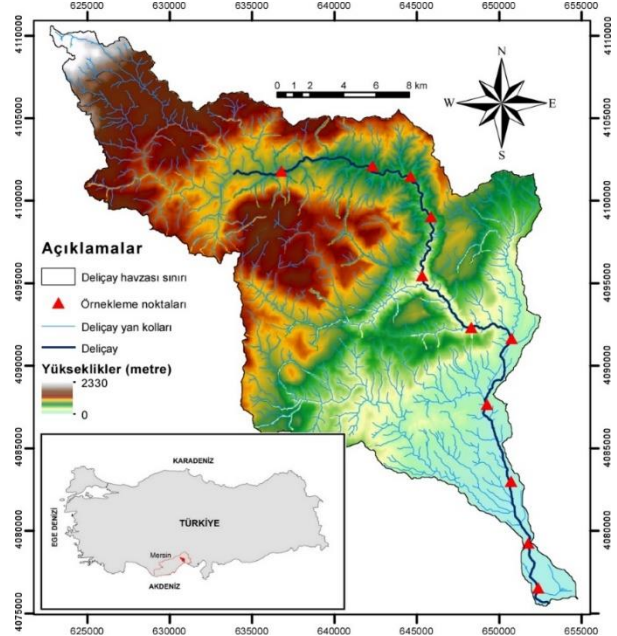
1. Giriş

İnsan nüfusu sürekli olarak artmakta ve buna paralel olarak çeşitli ihtiyaçlar da artış göstermektedir. Bu ihtiyaçların en başında da kuşkusuz temiz ve sağlıklı içme-kullanma ve sulama suyu temini gelmektedir. Yeryüzündeki içme suyu kaynaklarının büyük bir bölümünü nehirler ve göller gibi yüzey suları oluşturmaktadır. Sürekli olarak artan ihtiyaçların ve üretimin sonucunda, bu kaynaklar üzerindeki baskılar da artmaktadır. Bu baskıların en başında, insan faaliyetleri sonucu oluşan çeşitli tarımsal, evsel ve endüstriyel atıklar gelmektedir (Sillanpää vd., 2004). Bu atıkların güvenli bir şekilde yönetilememesi durumunda, nehirler, göller ve yeraltı suları gibi içme-kullanma suyu kaynakları kirlenebilmekte, mevcut kullanılabilir su potansiyeli zarar görmektedir (Toroğlu vd., 2006; Hernes vd., 2008; Chatterjee, 2010; Yıldırım, 2018). Jeolojik kaynaklı çeşitli doğal etkenler de yeraltı ve yüzey sularının kimyasını etkileyerek zaman zaman kirlilik yaratabilmektedir (Al Fraij vd., 1999; Zvinowanda vd., 2008).

Su kaynaklarının kalitesinin yanında, miktarı da büyük önem arz etmektedir. Günümüzde, küresel iklim değişikliğinin belirgin etkileri nedeniyle su kaynaklarının miktarlarındaki azalma önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu durum, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin önemini giderek artırmaktadır. Bu anlamda, akarsu kalitesi ve miktarına yönelik çalışmaların literatürdeki sayıları giderek artmaya başlamıştır (Anderson vd., 2003; Toroğlu vd., 2006; Şen ve Gölbaşı, 2008; Bulut vd., 2010; Kroon vd., 2012; Martinez vd., 2015; Chen vd., 2018; Prabakaran vd., 2020). Deliçay havzasının farklı kesimlerinde yapılmış çeşitli yüzey ve yeraltı suyu çalışmaları bulunmakla birlikte (Hatipoğlu ve Bayarı, 2005; Güler vd., 2007; Güler, 2009; Güler vd., 2010; Kurt, 2010; Güler vd., 2012; Güler vd., 2013; Yıldırım, 2018), Deliçay'ın kaynağından denize (Doğu Akdeniz) döküldüğü yere kadar sistematik örneklemelemlerle yapılmış bütüncül bir çalışma bulunmamaktadır.

Deliçay havzası, küresel ısınmanın en fazla etkilediği bölgelerden biri olan Akdeniz kuşağında yer almakta olup Türkiye'nin 25 büyük akarsu havzasından biri olan Doğu Akdeniz Havzası içerisinde yaklaşık 440 km²'lik bir alan kaplamaktadır. Havza, 36°48.697'–37°7.942' Kuzey enlemleri ile 34°22.817'–34°44.233' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kuzey-güney uzanımlı havzada, deniz seviyesinden başlayan topografik yükseklikler, Toros Dağları'nda 2330

m'ye kadar ulaşmaktadır (Şekil 1). Havzanın kuzeyinde bulunan Kızıldağ, Arslanköy, Ayvagediği ve Gözne yerleşim alanlarında bulunan birçok kaynak ve derenin birleşmesiyle oluşan Deliçay'ın uzunluğu yaklaşık 55 km'dir. Akarsu, Mersin ilinin doğusunda, Kazanlı ve Karaduvar arasından Akdeniz'e dökülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının (Deliçay havzası, Mersin) yer bulduru haritası.

Deliçay havzası, doğudan Ecemiş, batıdan ise Kırkkavak fayları tarafından sınırlandırılmış Orta Toros Kuşağı (Özgül, 1984) içerisinde yer almaktadır. Havza, kuzey kesimlerde KD-GB uzanımlı irili ufaklı çok sayıda fay tarafından dilimlere ayrılmıştır (Şekil 2a). Havzada, yaşlıdan gence doğru Mesozoyik, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı jeolojik birimler yüzeylenmektedir (Şekil 2a). Bu çalışma kapsamında, havza alanı içerisinde bulunan Mesozoyik birimleri, "Karbonat Kayaçlar (M_{Kar})" ve "Ofiyolitik Kayaçlar (M_{Ofi})" olarak, Tersiyer birimleri ise "Kırıntılı Kayaçlar (T_{Kır})" ve "Karbonat Kayaçlar (T_{Kar})" olarak sınıflandırılmıştır.

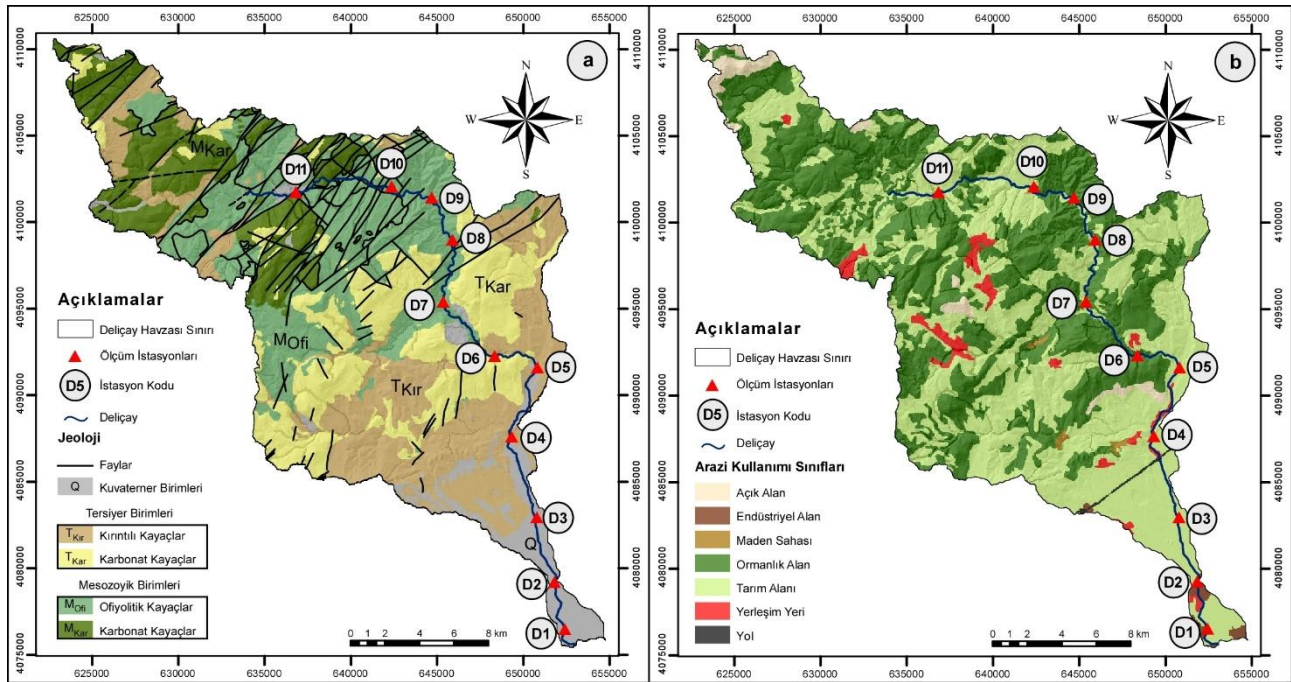
Mesozoyik birimleri, altta kırıntılı kayaç ara katkılı karbonat kayaçlarla başlar ve tektonik dokanak ile Geç Kretase yaşlı Mersin Ofiyoliti tarafından üzerlenir. Mersin Ofiyoliti ise Mersin Ofiyolitik Melanjı tarafından üzerlenmektedir (Demirtaşlı, 1967; Poisson, 1977; Juteau, 1980; Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007). Tersiyer birimleri ise bir uyumsuzluk ile Mesozoyik birimleri üzerine yerleşmişlerdir (Demirtaşlı, 1967; Alan vd., 2007). Bu birimlerden Kırıntılı Kayaçlar (T_{Kır}) olarak sınıflandırılan birim,

konglomera, kumtaşı, kiltası, marn litolojileri ile başlayıp kumtaşı, çakıltaşı, kumlu kireçtaşı ve marn litolojileri ile devam etmekte ve ardından kiltası, siltaşı, kumtaşı ve konglomeralar tarafından üzerlenmektedir (Gedik vd., 1979; Yetiş ve Demirkol, 1984; Yetiş ve Demirkol, 1986; Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007). Karbonat kayalar ise resifal nitelikli kireçtaşlarından oluşmakta olup kırıntılı kayalar ile yatay ve düşey geçişli dokanak sergilemektedir (Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007; Alan vd., 2011; Yetiş ve Demirkol, 1986). Çalışma alanında bulunan bütün birimler, genel olarak dere yataklarında ve akarsuyun denize döküldüğü bölgelerde, alüvyonlar, alüvyonel taraçalar, yamaç molozları, delta çökelleri ve kaliş birimleri tarafından üzerlenmektedir. Adı geçen bu güncel birimler, mevcut çalışma kapsamında “Kuvaterner Birimleri” olarak adlandırılmıştır.

Çalışma alanındaki en yaygın arazi kullanım sınıfları, tarım ve orman alanlarıdır (Şekil 2b). Bu arazi kullanım sınıfları sırasıyla havzanın %49 ve %46’sını kapsamaktadır. Geriye kalan %5’lik

kısım ise endüstriyel alanlar, açık alanlar, maden sahaları ve yerleşim yerlerinden oluşmaktadır (Şekil 2b). Orman alanları havzanın dağlık kuzey kesimlerinde oldukça yoğundur (Şekil 2b). Havzanın güneyinde, Deliçay’ın Akdeniz’e döküldüğü ovalık kesimlerde, tarım alanları, yerleşim yerleri ve endüstriyel alanlar yoğun olarak görülür. Mersin il çevre durum raporunda da (MÇDR, 2018) belirtildiği üzere; Deliçay havzasında yürütülen tarım-hayvancılık faaliyetleri ve fosseptik kaynaklı atıklar akarsu kalitesi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.

Deliçay’ın akış yolu boyunca yürütülen narenciye üretimi ve sebze-meyve yetiştiriciliği gibi tarımsal faaliyetler için gereken sulama suyunun büyük bir kısmı bu akarsudan sağlanmaktadır. Bu anlamda, akarsuyun miktar açısından değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, bölgede yetiştirilen tarımsal ürünler, hem ulusal, hem de uluslararası pazarlarda tüketime sunulduğundan, Deliçay’ın su kalitesi açısından değerlendirilmesi de oldukça önemlidir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait (a) jeoloji haritası (Şenol vd., 1998 ve Alan vd., 2007’den değiştirilerek) ve (b) arazi kullanımı haritası.

Bu çalışmada, Deliçay’ın ana kolu üzerinde, kaynağından başlayarak Akdeniz’e boşaldığı noktaya kadar 11 farklı lokasyonda (Şekil 1) yerinde debi ölçümleri ve fiziksel parametre analizleri ile bu noktalardan alınan örneklerin laboratuvarında kimyasal parametre analizleri yapılarak, akarsuyun hem miktar, hem de kalite açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

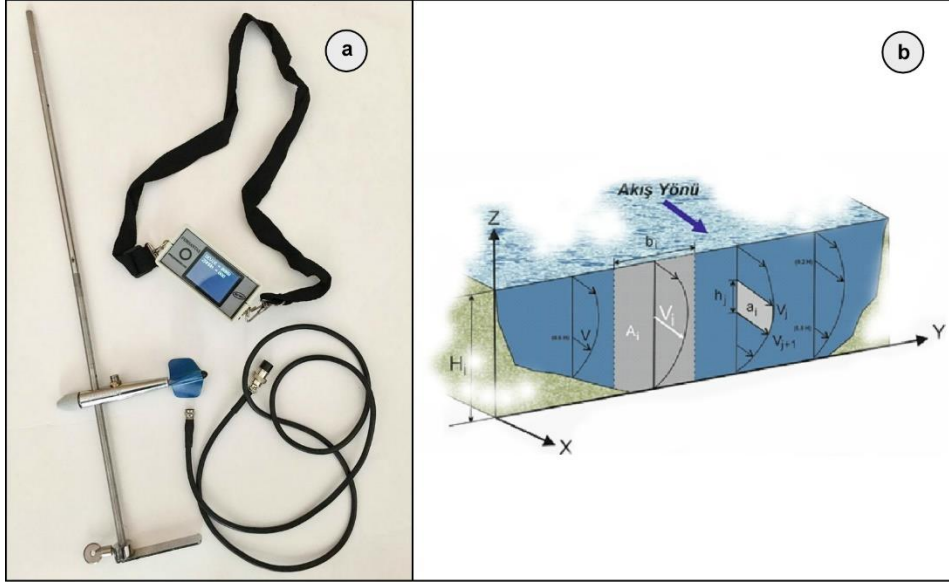
Bu çalışma kapsamında, Ocak 2018’de Deliçay’ın akış yolu boyunca belirlenen 11 farklı noktada PMPCM25 marka çüce muline yardımıyla akarsu akış hızları belirlenmiştir. Bu yöntemde akarsu, en kesiti boyunca belirli aralıklarla dilimlere ayrılarak, muline cihazı (Şekil 3a) yardımıyla her

bir dilim için (akarsuyun akış yönüne dik olacak şekilde) ortalama akarsu akış hızı (V_i) belirlenmektedir (Şekil 3b). Belirlenen hızlar, temsil ettiği dilimin alanı (A_i) ile çarpılarak, her bir dilimin debisi (q_i) hesaplanmaktadır (Eşitlik 1) (Ardıçlıoğlu vd., 2011). Son olarak, tüm dilimler için elde edilen debi değerleri toplanarak

akarsuyun toplam debisi (Q) belirlenmektedir (Eşitlik 2) (Ardıçlıoğlu vd., 2011).

$$q_i = V_i \times A_i \quad (1)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (2)$$



Şekil 3. Akarsu hızının ölçümünde kullanılan (a) muline cihazı ve (b) akarsu kesitinde ortalama hız hesabı (Ardıçlıoğlu vd., 2011'den değiştirilerek).

Örnekleme noktalarında, akarsuyun fiziksel parametre değerleri (pH, Eh, sıcaklık, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik) WTW Multi 340i/SET multiparametre ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Kimyasal parametre analizleri içinse, 250 mL'lik yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) plastik şişelere her noktadan 2'şer adet su örneği alınmıştır. Örnek kapları, öncelikle akarsu örneği ile en az üç kez çalkalanmış ve akarsuyun en az 20 cm derinliğine daldırılarak hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmuştur. İz element analizleri için, örnek kaplarından birine pH<2 olacak şekilde %65'lik HNO₃ ilave edilmiştir. Soğuk zincirle laboratuvara nakledilen örneklerin majör anyon/kasyon analizleri iyon kromatografisi ve spektrofotometre, iz element analizleri ICP-MS cihazı ve bikarbonat/karbonat analizleri ise titrasyon yöntemleriyle Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarı ve Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında (MEİTAM) yapılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen verilerin güvenilirliğini ve doğruluğunu test etmek amacıyla anyon-kasyon yük dengesi hatası

hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY, 2011) belirtilen içme-kullanma suyu standartlarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, Piper diyagramı (Piper, 1944) kullanılarak suların hidrokimyasal fasiyesi belirlenmiş, Wilcox (Wilcox, 1948) ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı (USSLS, 1954) diyagramları kullanılarak tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirlikleri incelenmiştir.

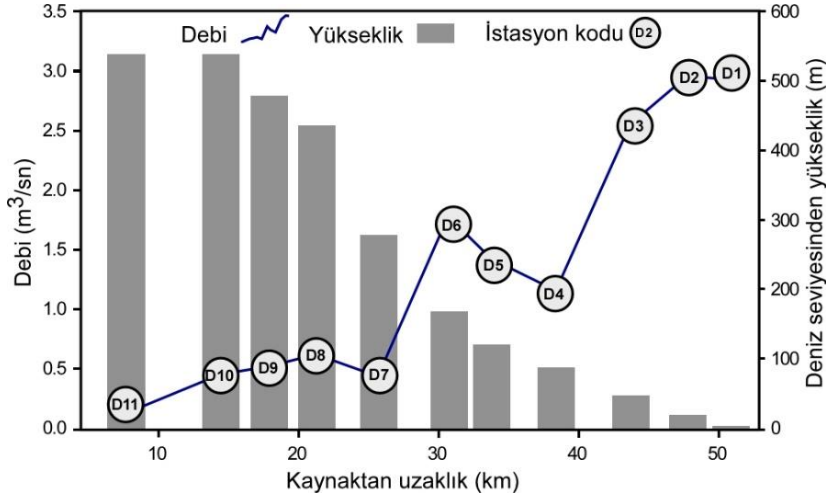
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Debi Ölçümleri

Akarsu akış yolu boyunca belirlenen 11 farklı noktada ölçülen debi değerleri 0.128 m³/s ile 2.962 m³/s arasında değişmektedir (Şekil 4). En düşük debi değeri, Toros Dağları'nın eteklerinde, suyun yüzeysel akışa geçerek akarsu yatağında toplanmaya başladığı ilk noktaya yaklaşık 8 km mesafede olan D11 istasyonunda (Şekil 2) ölçülmüştür. Buna karşın, en yüksek debi değeri ise Akdeniz'e 1.6 km akış mesafesindeki D1 istasyonunda (Şekil 2) ölçülmüştür. Genel olarak, havza çıkış noktasına doğru gidildikçe, akarsu yan kollarının katılımından kaynaklı debi değerlerinde artışlar meydana gelmektedir (Şekil 4). Ancak,

Şekil 4'te de görüleceği üzere, bazı ölçüm istasyonlarında (D7, D5, D4 ve D1) akarsu debi değerlerinde ani azalmalar meydana gelmektedir. Şekil 2b'de görüldüğü gibi D1, D4, D5 ve D7 istasyonlarının çevresinde tarım alanları göreceli olarak daha yaygın olup bu noktalarda akarsudan sulama amaçlı çekim yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bu istasyonlarda ölçülen akarsu debi değerlerinin, bir önceki istasyonda ölçülen

değerden daha düşük olmasını açıklamaktadır. Havzada ölçüm yapılan istasyonların deniz seviyesinden yükseklikleri ile debi arasında negatif bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 4). Topoğrafik yükseltilerin ani olarak azalmasıyla, arazinin eğimi artmakta ve dolayısıyla yüzeyde akışa geçen su miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 4. Örneklem istasyonlarında belirlenen yükseklik ve akarsu debi değerleri.

3.2. Su Kimyası

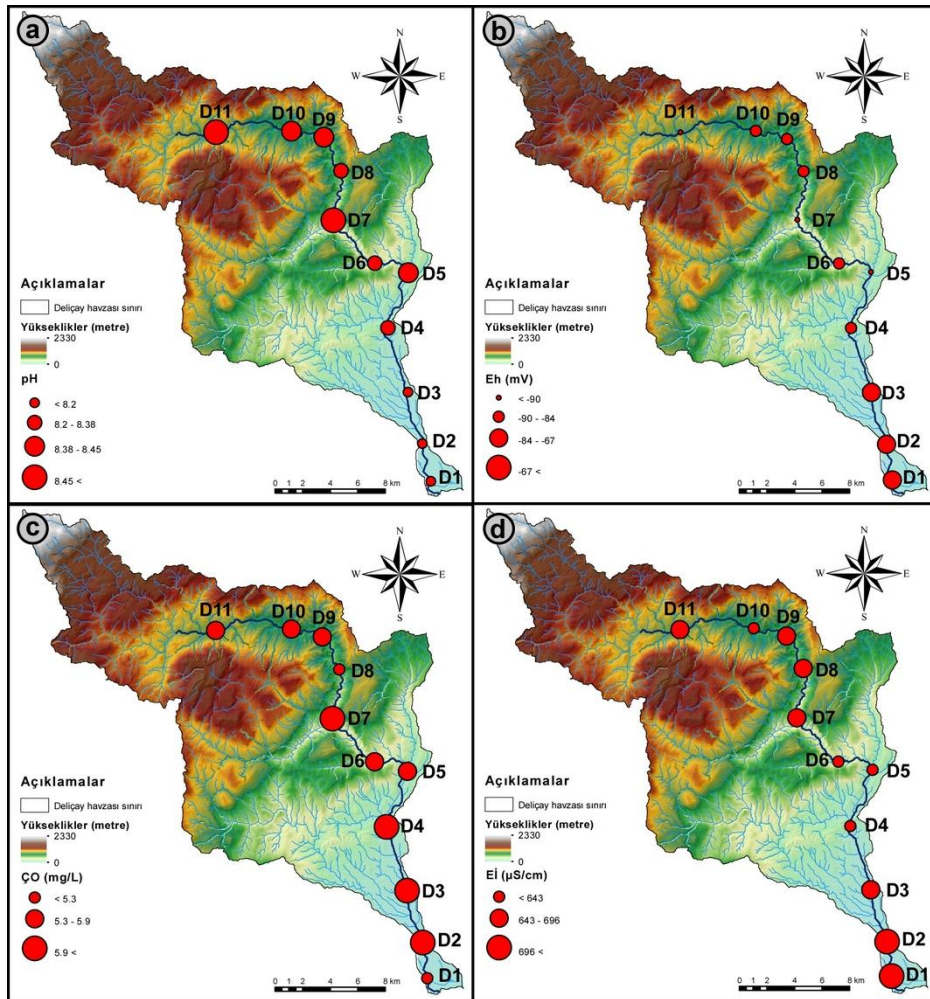
Çalışma kapsamında alınan 11 su örneğine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Akarsu örneklerinin tamamının anyon-kasyon yük dengeleri %5'in altında olup bu değerler -0.25 ile -2.78 arasında değişmektedir. Su örneklerinin pH değerleri 8.06 ile 8.52 arasında değişmekte olup bütün örnekler Şahinci (1991)'nin pH sınıflamasına göre bazik karakterdedir. Deliçay havzasının kuzeyinde, havzanın yaklaşık olarak %30'luk bir kesimini kaplayan ofiyolitik kayaların (Şekil 2a) yüksek pH değerleri üzerindeki etkisi büyüktür. Bazik karakterde olan ofiyolitik kayaların yüzlek verdiği havzalarda, yeraltı suyu ve akarsu pH değerleri de genellikle bazik karaktere sahiptir (Güler vd., 2017). Deliçay'ın kaynağından itibaren akış yolu boyunca (D6 nolu istasyondan D1 nolu istasyona doğru) karbonatlı kayalara geçiş başlamakta, bununla birlikte akarsu pH değerleri giderek azalmaktadır (Şekil 5a). Akarsu örneklerinin Eh değerleri ise -67 ile -94 mV arasında değişmekte olup kaynaktan Akdeniz'e doğru gidildikçe artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 5b). Akarsuyun en düşük çözünmüş oksijen miktarı, havza çıkış

noktasına yakın bir bölgede bulunan D1 istasyonunda ölçülmüştür (Şekil 5c). Akarsu örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri de 601 ile 872 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 1). En düşük çözünmüş oksijen miktarının belirlendiği istasyonda (D1) ölçülen elektriksel iletkenlik değeri de en yüksek değeri almaktadır (Şekil 5d). Bu bölge, yerleşim yerlerinin, endüstriyel ve tarımsal alanların yoğun olduğu bir bölgedir (Şekil 2b). Endüstriyel, evsel ve tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan atık veya atıksuların akarsuya karışması sonucu, akarsudaki çözünmüş oksijen miktarı azalmakta ve artan iyon yükü nedeniyle elektriksel iletkenlik değerlerinde artış gözlenmektedir. Hatipoğlu ve Bayarı (2005), Deliçay'ın kaynağına yakın bölgelerindeki su kaynaklarının, havza çıkış noktasına yakın bölgelerdeki su kaynaklarına göre; daha düşük elektriksel iletkenlik değerlerine, daha yüksek pH ve çözünmüş oksijen değerlerine sahip olduğunu vurgulamışlardır. Kurt (2010) ve Güler vd., (2012) ise bölgede yapmış oldukları çalışmalarda, Deliçay'ın Akdeniz'e döküldüğü noktaya yakın bölgelerde oldukça düşük çözünmüş oksijen miktarına sahip olduğunu, bu durumun da bölgedeki sanayi faaliyetlerinin yoğunluğundan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Tablo 1. Akarsu örneklerinde yerinde ölçülen fiziksel parametre değerleri.

Örnek Kodu	pH	Eh (mV)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)
D1	8.06	-67	5.21	872
D2	8.07	-67	6.22	772
D3	8.20	-75	6.39	676
D4	8.37	-85	6.18	629
D5	8.45	-90	5.91	611
D6	8.38	-85	5.87	601
D7	8.52	-94	6.35	668
D8	8.35	-84	5.30	696
D9	8.41	-87	5.73	688
D10	8.42	-88	5.58	643
D11	8.51	-93	5.68	690
WHO (2011) Sınır Değerler	6.5-8.5	*	*	*
SKKY (2011) Sınır Değerler	6.5-8.5** 6.5-9.0****	*	*	250-750*** 750-2000****

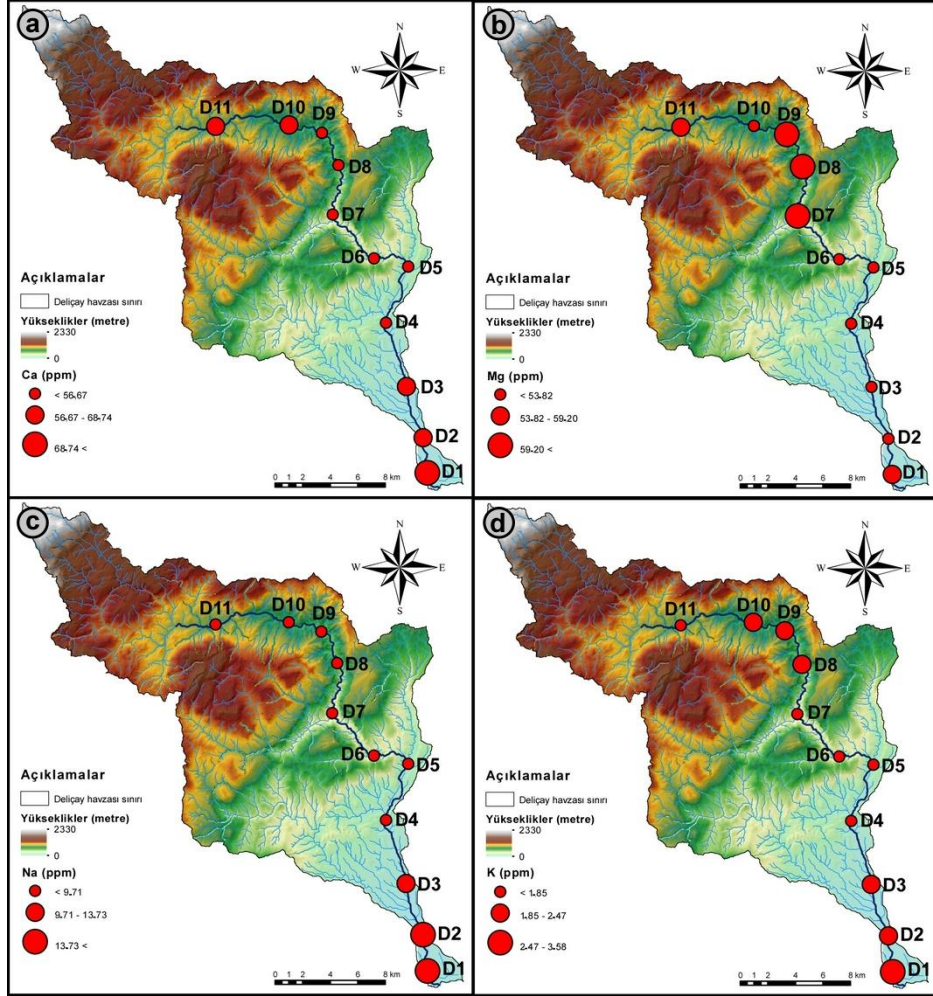
* Sınır değer belirtilmemiştir. ** 1. Sınıf (Çok İyi) sular; *** 2. Sınıf (İyi) sular; **** 3. Sınıf (Kullanılabilir) sular; ***** 4. Sınıf (İhtiyatlı kullanılmalı) sular.



Şekil 5. Akış yolu boyunca akarsu fiziksel parametrelerinin değişimi: (a) pH, (b) Eh, (c) Çözünmüş oksijen (ÇO) ve (d) Elektriksel iletkenlik (Eİ).

Akarsu örneklerinin kalsiyum (Ca^{+2}) değerleri genel olarak yüksek olup 45.96 ile 77.48 ppm arasında değişmektedir (Tablo 2). Akarsuyun kaynağına yakın kesimleri ile havza çıkış noktasına yakın kesimlerinde Ca^{+2} derişimlerinin havza ortasına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 6a). Kalsiyumun (Ca^{+2}) akarsulardaki derişimi genel olarak akarsuyun etkileşimde olduğu kayaçların mineralojik ve kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Yıldırım, 2018). Deliçay havzasının yaklaşık %35'lik bir bölümünü kaplayan karbonat

kayaçları (Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007), özellikle havzanın kuzey kesimleri ile çıkış noktalarında daha yoğun olarak gözlenmektedir (Şekil 2a). Bu litolojik etkiden dolayı, akarsuyun bazı kesimlerinde Ca^{+2} açısından zenginleşme görülmektedir. Havzanın orta kesimlerinde ise daha yoğun olarak magnezyum (Mg^{+2}) içeriği yüksek olan ofiyolitik kayaçlar yayılım göstermektedir (Şenol vd., 1998; Alan vd., 2007). Akarsuyun bu kesimlerinde ise magnezyum (Mg^{+2}) derişimleri daha yüksektir (Şekil 6b).



Şekil 6. Akış yolu boyunca akarsu majör katyon derişimlerinin değişimi: (a) kalsiyum (Ca^{+2}), (b) magnezyum (Mg^{+2}), (c) sodyum (Na^{+}) ve (d) potasyum (K^{+}).

Sodyum (Na^{+}) ve klor (Cl^{-}) iyonlarının değerleri, havza çıkış noktasına yakın bölgelerde aniden artarak yüksek derişimlere çıkmaktadır (Şekil 6c ve Şekil 7a). Denize yakın bölgelerdeki yüzey ve yeraltı sularında sodyumun (Na^{+}) en büyük kaynağı deniz suyu girişimi olmakla birlikte, sodyumca zengin kayaçlar (magmatik kayaçlar, evaporitler, vb.), tarımda kullanılan gübreler, evsel ve endüstriyel atıklar da sulardaki sodyumun kaynağı olabilmektedir (Hem, 1985). Akdeniz'den

rüzgârlarla aerosol şeklinde taşınan deniz tuzunun (NaCl) havza içinde birikmesi ve havza çıkış kesimlerinde yoğun olarak görülen antropojenik aktiviteler bu bölgelerdeki yüksek sodyum (Na^{+}) ve klor (Cl^{-}) içerikleri açısından önemlidir. Tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu bölgelerdeki D1, D2 ve D3 noktalarında (Şekil 2b) potasyum (K^{+}) derişimleri diğer noktalarla karşılaştırıldığında daha yüksektir (Şekil 6d). Tarımda kullanılan gübreler, yağmur suları ile

yıkılarak ya da süzülerek akarsulara taşınabilmekte ve potasyum (K^+) derişimin artmasına neden olmaktadır (Hem, 1985). Deliçay'ın bikarbonat (HCO_3^-) değerleri, 372.80 ile 282.23 mg/L arasında değişirken, karbonat değerleri ise 0 ile 43.03 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 2). Havzada karbonatlı kayaların yoğun olduğu kuzey ve güney kesimlerde bikarbonat derişimleri yüksek iken, ofiyolitik kayaların yoğun olduğu orta kesimlerde ise karbonat derişimleri daha yüksektir (Şekil 7b). Havza çıkış noktasına yakın kesimlerde, sülfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-) ve nitrit (NO_2^-) derişimleri de kayda değer miktarlarda artış göstermektedir (Şekil 7c-e). Bölgede yapılan

çalışmalarda da akarsuyun havza çıkış noktasına yakın kesimlerinde, hem yeraltı suyunda hem de Deliçay'da nitrat değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir (Hatipoğlu ve Bayarı, 2005; Kurt, 2010; Güler vd. 2013; Yıldırım, 2018). Yüksek sülfat ve nitrat derişimlerinin tarımda kullanılan gübreler ile evsel ve endüstriyel atıkların akarsuya karışması sonucu, nitritin ise evsel atıklar ile organik atıkların akarsuya karışması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir. Şekil 2b'de verilen arazi kullanım haritasından da görüleceği üzere, özellikle kirliliğin görüldüğü bölgelerde evsel, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler oldukça yoğundur.

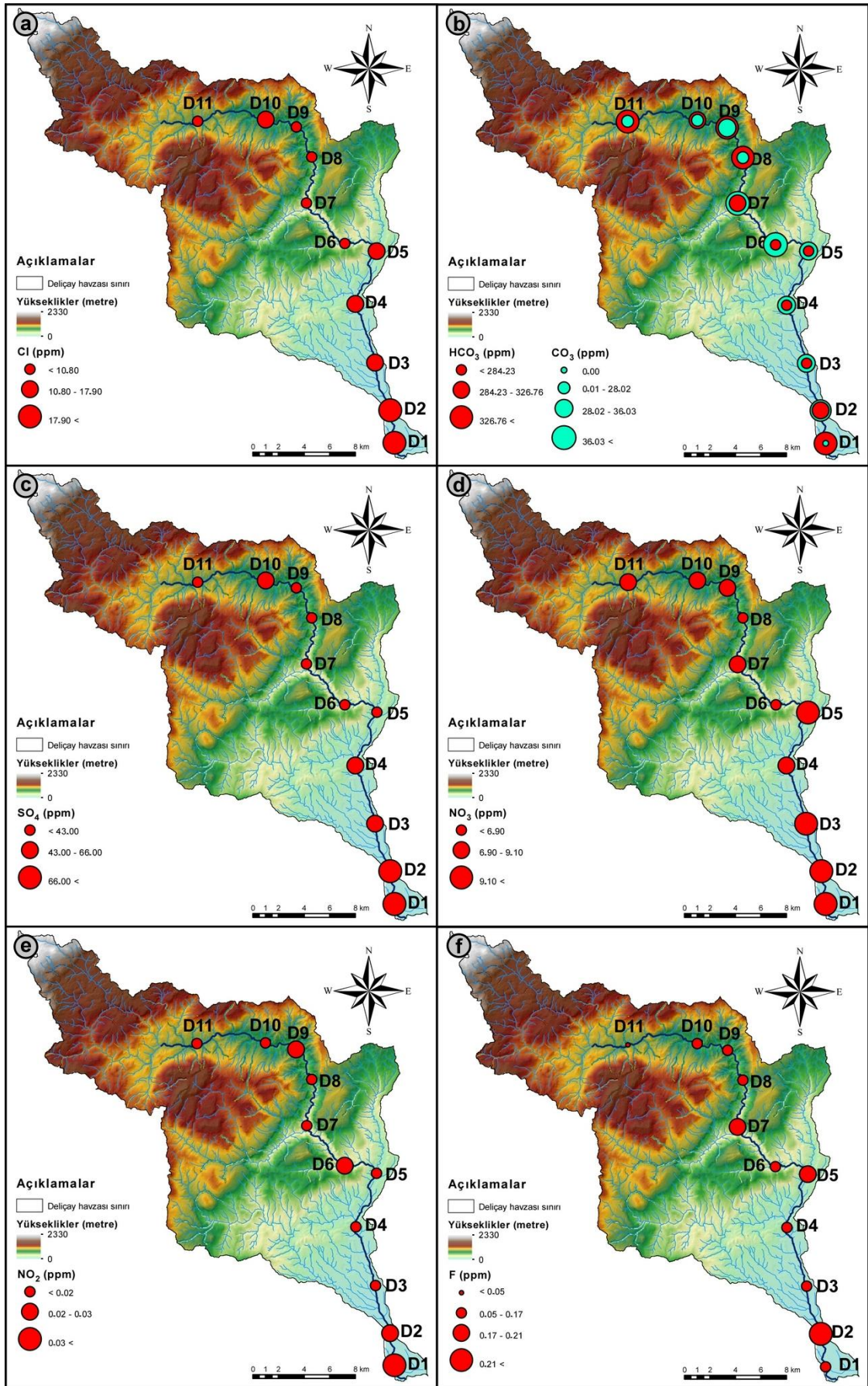
Tablo 2. Akarsu örneklerine ait majör katyon ve majör anyon analiz sonuçları (tüm değerler ppm cinsindedir).

Örnek Kodu	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	K^+	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{-2}	SO_4^{-2}	NO_3^-	NO_2^-	F^-
D1	77.48	57.17	39.21	3.58	46.5	353.78	0	95	10.2	0.320	0.14
D2	68.74	52.71	30.49	2.47	32.6	299.74	36.03	78	11.3	0.033	0.30
D3	60.61	53.82	13.73	2.12	17.9	282.73	33.03	66	10.6	0.020	0.15
D4	56.67	50.73	9.71	1.85	11.9	282.23	32.02	51	9.10	0.014	0.16
D5	56.17	49.31	9.09	1.74	13.1	284.23	32.03	38	10.4	0.018	0.21
D6	53.34	50.06	7.97	1.60	7.4	284.23	38.03	28	6.90	0.031	0.13
D7	47.73	67.11	7.69	1.79	10.2	326.76	43.03	38	7.90	0.018	0.21
D8	45.96	71.43	7.71	1.94	8.8	372.80	27.02	35	6.40	0.008	0.12
D9	50.95	68.64	8.38	1.99	9.9	354.28	32.03	43	8.50	0.023	0.11
D10	65.83	47.97	9.65	2.29	12.2	307.25	23.02	49	9.00	0.015	0.17
D11	67.20	59.20	7.92	1.27	10.8	348.28	28.02	34	8.60	0.012	0.05
WHO (2011) Sınır Değerler	*	*	0 - 200	*	0-250	*	*	0-500	0-50	0-0.2	0-1.5
SKKY (2011) Sınır Değerler	*	*	*	*	0-142**	*	*	0-192**	5-10*** 10-30****	*	0-1

* Sınır değer belirtilmemiştir. ** 1. Sınıf (Çok İyi) sular; *** 2. Sınıf (İyi) sular; **** 3. Sınıf (Kullanılabilir) sular.

Akarsu örneklerinin Al, Fe, Ni, Pb, Zn, As ve Cu analiz sonuçları Tablo 3'te verilmektedir. Doğal sularda iz element içerikleri genel olarak pH'a bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Asidik sularda iz element içerikleri genel olarak daha yüksektir. Deliçay'ın pH değerleri 8.06 ile 8.52 arasında değişmekte olup genel olarak bazik karakterdedir. Deliçay'ın iz element derişimleri genel olarak düşük olmasına karşın, havza çıkış noktasına yakın bölgelerde derişimlerde bir miktar artış olduğu gözlenmiştir. Güler vd., (2012), Deliçay'ın Akdeniz'e döküldüğü bölgelerdeki yeraltı sularında yapmış oldukları çalışmada, yüksek Fe ve Ni içeriklerinin bölgedeki yoğun trafik ve endüstriyel faaliyetlerden

kaynaklandığını, yüksek Zn değerlerinin ise tarımda kullanılan Zn (mikro besin) katkılı kimyasal gübreler ile endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da genel olarak, havza çıkış bölgesinde, iz element derişimlerindeki artışlar (özellikle Al, Fe, Ni ve As), Şekil 2b'de görüldüğü gibi bu bölgedeki tarımsal-endüstriyel aktiviteler ve yerleşim yerlerinin yoğunluğuyla açıklanabilir. Özellikle, Deliçay havzasının çıkışına yakın düzlük alanlarda yoğunlaşan petrokimya, çimento, cam, soda-krom ve gübre sanayileri ve ağır araç trafiği yüzey suyu kimyasını etkileyebilecek niteliktedir.



Şekil 7. Akış yolu boyunca akarsu majör anyon derişimlerinin değışimi: (a) klor (Cl⁻), (b) bikarbonat (HCO₃⁻) ve karbonat (CO₃⁻²), (c) sülfat (SO₄⁻²), (d) nitrat (NO₃⁻), (e) nitrit (NO₂⁻) ve (f) flor (F⁻).

Tablo 3. Akarsu örneklerine ait iz element analiz sonuçları (tüm değerler ppb cinsindedir).

Örnek Kodu		Al	Fe	Ni	Pb	Zn	As	Cu
D1		217.30	408.00	12.99	1.34	3.37	3.42	1.97
D2		201.60	343.90	11.72	0.88	1.59	2.22	1.54
D3		183.90	303.60	10.26	0.90	3.40	1.60	3.00
D4		155.40	332.40	9.59	0.80	22.77	1.43	1.29
D5		101.50	226.50	7.80	0.82	1.08	1.25	1.05
D6		95.33	191.40	7.02	0.77	1.98	1.19	1.16
D7		85.46	174.30	5.79	0.67	0.53	1.21	1.07
D8		61.88	126.80	5.32	0.85	5.68	1.10	3.75
D9		46.59	117.90	5.34	0.81	5.97	1.13	1.42
D10		51.95	107.00	5.44	0.66	2.08	1.17	1.43
D11		32.62	84.56	8.82	1.58	8.30	1.29	5.92
WHO (2011)	Sınır Değerler	100	300	70	10	*	10	2000
SKKY (2011)	Sınır Değerler	5000	5000	200	5000	2000	100	200

* Sınır değeri belirtilmemiştir.

Analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2011) içme suyu standartlarına göre değerlendirildiğinde; nitratın D1 noktasında; alüminyumun; D1, D2, D3, D4 ve D5 noktalarında; bakırın D3 noktasında ve demirin D1, D2, D3 ve D4 noktalarında sınır değerleri aştığı görülmektedir. D1 noktasında nitrit dışında tüm örnekleme noktalarındaki majör iyon içeriklerinin, WHO (2011) tarafından belirlenen içme suyu standart değerlerinin oldukça altında olduğu görülmüştür. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde (SKKY, 2011) belirtilen sulama suyu sınıflandırmalarına göre; tüm örneklerin pH, klor ve sülfat bakımından I. Sınıf (Çok iyi) olduğu görülmektedir. Elektriksel iletkenlik bakımından ise D1 ve D2 nolu örnekler III. Sınıf (Kullanılabilir) ve diğer örneklerin II. Sınıf (İyi) oldukları görülmektedir. Nitrat bakımından ise D1, D2 ve D3 örneklerinin III. Sınıf (Kullanılabilir), diğer örneklerin ise II. Sınıf (İyi) suları temsil ettiği görülmüştür. Diğer parametreler açısından bütün örnekler SKKY (2011)'ne göre kullanılabilir niteliktedir.

3.3. Suların Hidrokimyasal Sınıflandırılması

Deliçay'ın akış yolu boyunca alınan su örnekleri Piper (1944) diyagramına yerleştirildiğinde; örneklerin tamamının, katyon üçgeninde, C bölgesinde magnezyum (Mg) köşesine daha yakın kesimlerde "Magnezyum tipi suları", katyon üçgeninde, E bölgesinde "Bikarbonat+Karbonat tipi suları", eş kenar dörtgen üzerinde ise 1. bölgedeki "Kalsiyum-Magnezyum-Bikarbonat tipi suları" temsil ettiği görülür (Şekil 8). Yalnızca D1

ve D2 istasyonlarından alınan örnekler, bütün üçgenlerde orta kesimlerde "Karışık tipte sular" kesimine biraz daha yakın bölgelere düşmektedir. Bunun sebebi, akarsuyun bu kesimlerinde, tarımda kullanılan kimyasal gübreler ve deniz suyundan gelen tuzlu su etkisinden kaynaklanan nispeten yüksek sodyum, klor ve sülfat içerikleridir.

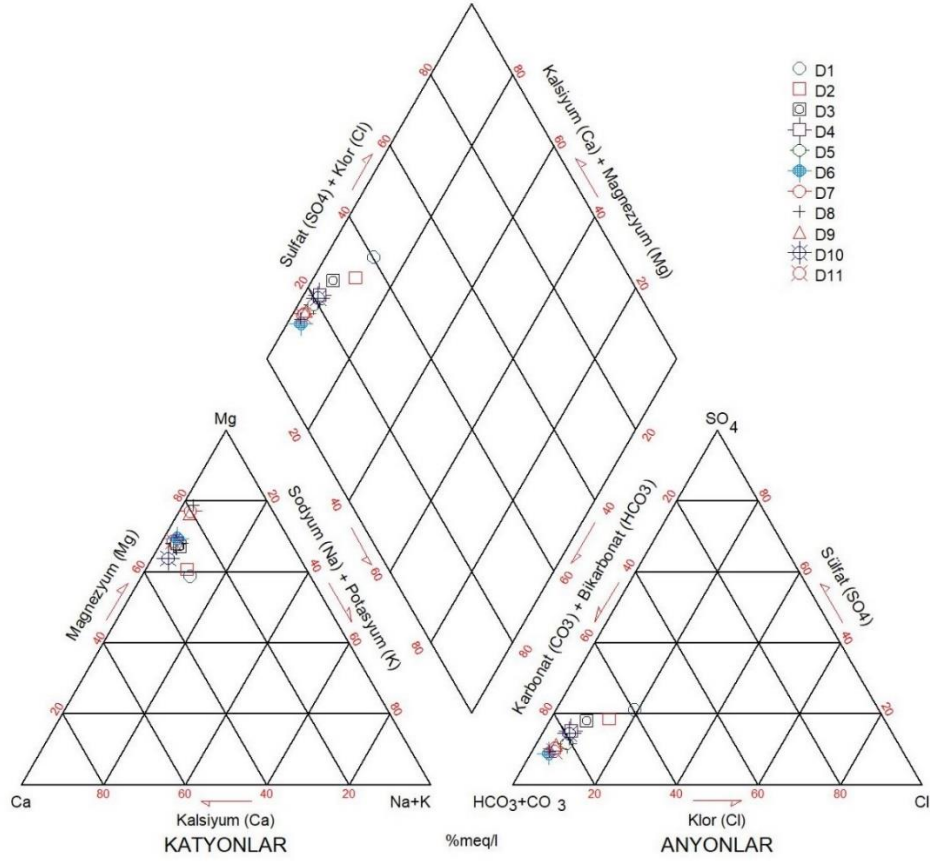
Su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki (USSLS, 1954) konumları Şekil 9'da verilmiştir. Bu diyagrama göre, örneklerin tamamı C2-S1 sınıfında olup tuzluluk açısından orta derecede tuzlu sulardır ve orta derecede tuza ihtiyacı olan bitkilerde sulama suyu olarak kullanılabilir niteliktedir. Sodyum açısından da örneklerin tamamı sodyumun az olduğu sular olup sodyuma karşı hassas bitkiler haricinde, diğer tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir nitelikte sulardır (Şekil 9a). Wilcox diyagramına (Wilcox, 1948) göre ise, su örneklerinin tamamı tarımda kullanılabilir niteliktedir (Şekil 9b).

3.4. Fiziko-kimyasal Parametreler ile Debi İlişkisi

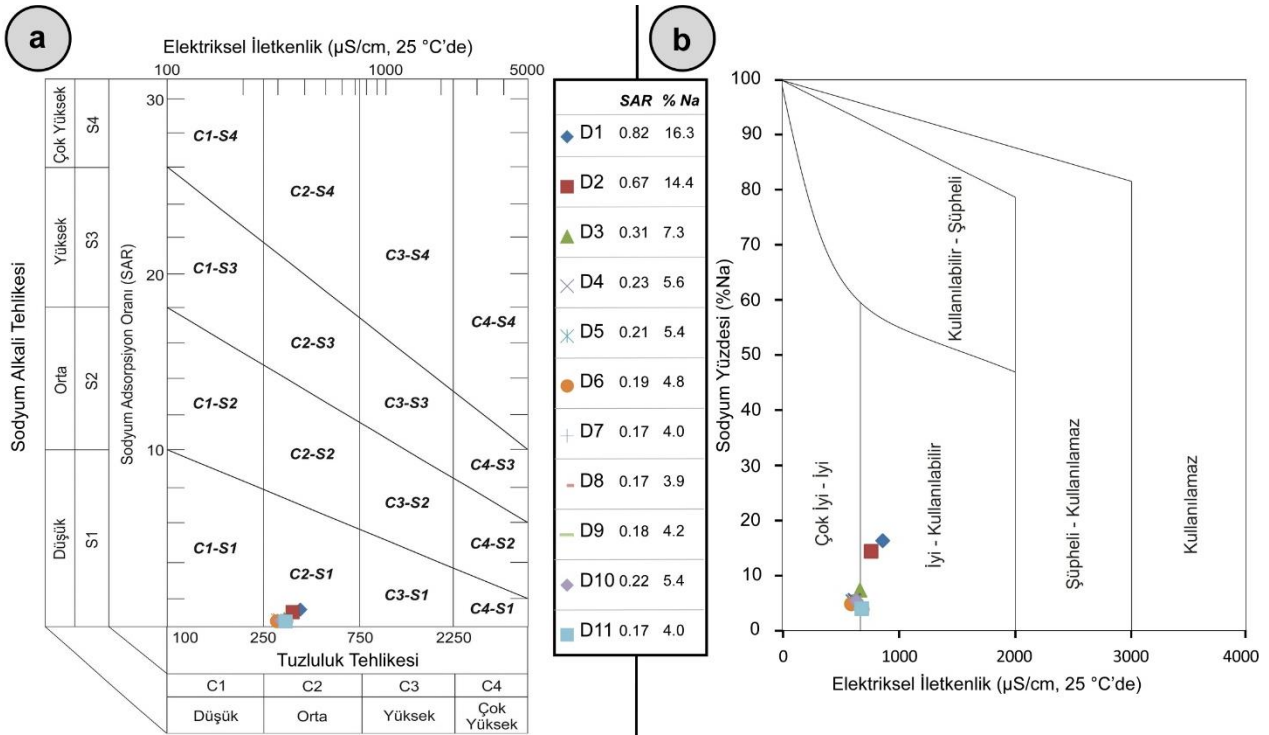
Bu çalışma kapsamında, örnekleme noktalarında ölçülen debi değerleri ile aynı noktalardan alınan akarsu örneklerinin fiziko-kimyasal parametre değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Buna göre; debi ile pH, Eh, Na⁺, Cl⁻ ve SO₄⁻² arasında kayda değer bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 10). Debi ile pH, Eh, Na⁺, Cl⁻ ve SO₄⁻² arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0.82; 0.82; 0.63; 0.60 ve 0.62'dir. Debi ile pH arasında ters bir korelasyon mevcut iken, Eh, Na⁺, Cl⁻ ve SO₄⁻²

değerlerinin debi ile korelasyonu pozitifdir. Deliçay havzasında, akarsuyun yavaş aktığı kesimlerde, debisinin de düşük olduğu görülmüştür. Akarsu hızının düşük olması, su-

kayaç etkileşiminin daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bu durumda akarsular, temas halinde oldukları kayalardan daha fazla iyonu su-kayaç tepkimeleri sonucu bünyesine alabilmektedir.



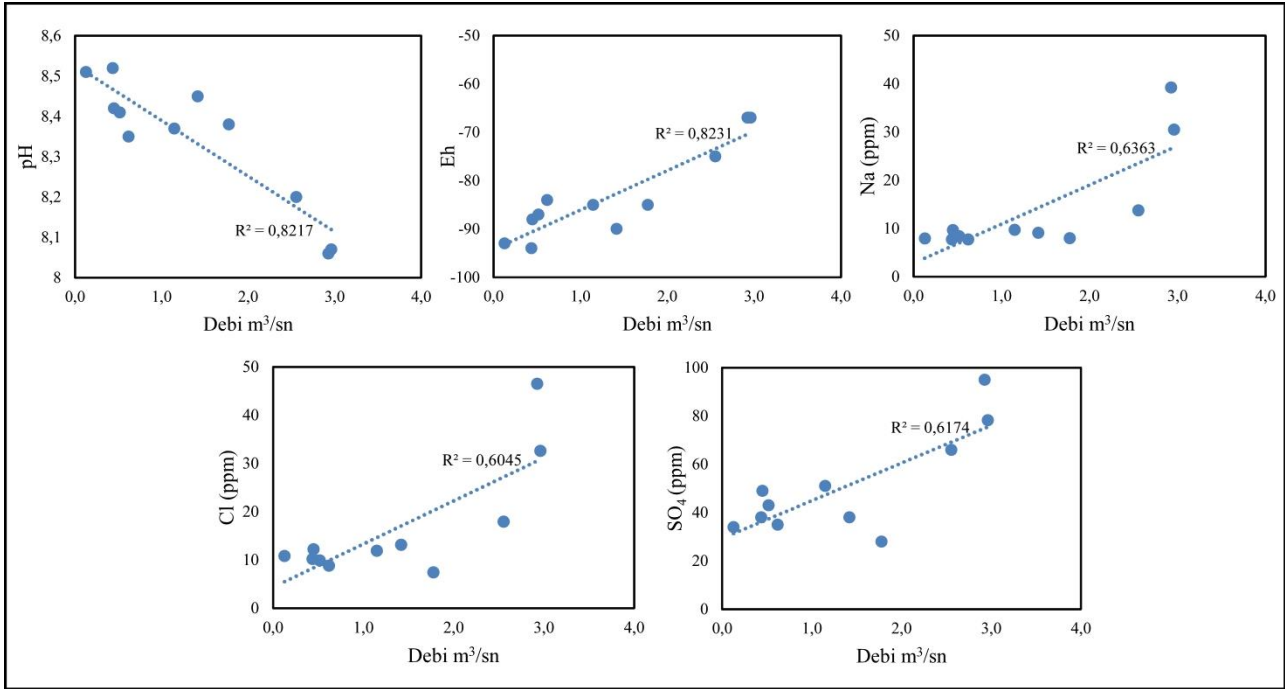
Şekil 8. Akarsu örneklerinin Piper diyagramındaki dağılımı.



Şekil 9. Akarsu örneklerinin (a) ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve (b) Wilcox diyagramlarındaki dağılımları.

Deliçay havzasında, suların bazik karakterde olmasının nedeni, havzanın orta kesimlerinde yüzlelenen ofiyolitik kayalardır. Akarsuyun düşük debiyle akması sonucunda, bu kayalar suyun kimyasını daha fazla etkileyerek pH değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Akarsu ile yeraltı suyu ilişkisi, akarsuyun hidrolojik ve kimyasal içeriklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Kazezyılmaz-Alhan ve Medina, 2008).

Debinin yüksek olduğu bölümlerde, bu ilişki daha kuvvetlidir (Boyras ve Kazezyılmaz-Alkan, 2011). Deliçay'ın havza çıkışına yakın kesimlerinde, yeraltı suyu akım yönünün Deliçay'a doğru olduğu bilinmektedir (Güler vd., 2012). Ayrıca bu bölgelerde, yapılan çalışmalarda yeraltı suyunun sodyum, klor ve sülfat içeriklerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kurt, 2010; Güler vd., 2012). Bu bölgelerde, yeraltı suyu akarsuyu besleyerek, büyük olasılıkla akarsu kimyasının (akifer-akarsu etkileşimi yoluyla) değişmesine neden olmaktadır.



Şekil 10. Akarsu örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerinin debi ile ilişkisi.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında; Mersin ili şehir merkezinin doğusunda bulunan Deliçay'ın kaynağından, Akdeniz'e boşaldığı noktaya kadar 11 farklı istasyonda debi ölçümü yapılarak, bu noktalarda suların fiziksel parametreleri ölçülmüş ve majör anyon-kasyon ve iz element analizleri için örnekler alınmıştır.

Deliçay debi bakımından değerlendirildiğinde; havza çıkış noktasına doğru gidildikçe, yan kolların katkısı nedeniyle debinin genel olarak arttığı, ancak akarsuyun tarımsal sulama amacıyla yoğun olarak kullanıldığı bölümlerinde debinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.

pH sınıflamasına göre; bazik özellikte olan akarsuyun, bu özelliğini havzada mevcut jeolojik birimlerden (özellikle ofiyolitik kayalar) kazandığı ve hidrokimyasal fasiyes tipinin de

havza jeolojisinin etkisiyle Ca-Mg-HCO₃ olduğu belirlenmiştir. Majör element olarak kalsiyum elementinin en önemli kaynağı havzada geniş alanlar kaplayan karbonat kayalardır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından tavsiye edilen içme suyu standartları açısından değerlendirildiğinde, akarsuyun havza çıkış noktasına yakın bölgelerde, Al, Fe ve NO₂⁻ parametrelerine ait sınır değerlerin aşıldığı belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'ne göre, havza çıkışına yakın noktalarda, elektriksel iletkenlik ve NO₃⁻ açısından suların III. Sınıf, akarsuyun kaynağına yakın kesimlerinde ise suların I. Sınıf karakterde olduğu belirlenmiştir. Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarına göre alınan tüm akarsu örnekleri, tarımsal sulamada kullanılabilir özelliktedir.

Çalışmada, akarsuyun debisi ile pH, Eh, Na⁺, Cl⁻ ve SO₄⁻² parametreleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Akarsuyun kaynağına yakın kesimlerinde Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NO₂⁻, Fe, Al ve Zn parametrelerinin derişimleri düşük değerler sergilerken, havza çıkış noktasına yakın bölgelerde aynı parametrelerin derişimleri yüksek değerler göstermektedir. Sonuç olarak, havza çıkışında yoğun olarak görülen evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan girdilerin akarsu kimyasını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı, editör ve hakemlere teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Al Fraij, K.M., El Aleem, M.K. ve Al Ajmy, H., 1999. Comparative Study of Potable and Mineral Waters Available in the State of Kuwait. Desalination, 123, 253–264. doi:10.1016/S0011-9164(99)00081-8.
- Alan, İ., Şahin, S., Keskin, H., Bakırhan, B., Balcı, V., Böke, N., Saçlı, L., Pehlivan, Ş., Kop, A., Hanilçi, N. ve Çelik, Ö.F., 2011. Orta Torosların Jeodinamik Evrimi Bozyazı-Aydıncık-Gülner-Silifke (Mersin) Yöresi Rapor: Rapor No. 11462, M.T.A., Ankara.
- Alan, İ., Şahin, S., Keskin, İ., Bakırhan, B., Balcı, V., Böke, N., Saçlı, L., Pehlivan, Ş., Kop, A., Hanilçi, N. ve Çelik, Ö.F., 2007. Orta Torosların Jeodinamik Evrimi Ereğli (Konya)-Ulukışla (Niğde)-Karsantı (Adana)-Namrun (İçel) Yöresi Rapor: Rapo No. 11006, M.T.A., Ankara.
- Anderson, S.P., Longacre, S.A. ve Kraal, E.R., 2003. Patterns of Water Chemistry and Discharge in the Glacier-fed Kennicott River, Alaska: Evidence for Subglacial Water Storage Cycles. Chemical Geology, 202, 297–312.
- Ardıçlıoğlu, M., Gemici, E. ve Özdin, S., 2011. Doğal Akarsularda Debinin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 4(2), 73–77.
- Boyras, U. ve Kazezyılmaz-Alhan, C.M., 2011. Hidrolojik Modellemede Yüzey Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşimlerinin Önemi, 5. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Eylül 2011, İstanbul, Türkiye, s. 649-659.
- Bulut, V.N., Bayram, A., Gundogdu, A., Soylak, M. ve Tufekci, M., 2010. Assessment of Water Quality Parameters in the Stream Galyan,

Trabzon, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 165, 1–13.

- Chatterjee, S.K., Bhattacharjee, I. ve Chandra, G., 2010. Water Quality Assessment Near an Industrial Site of Damodar River, India. Environmental Monitoring and Assessment, 161, 177–189. doi:10.1007/s10661-008-0736-1.
- Chen, X., Huang, Y., Pu, X., An, R., Huang, W., Li, J., Wang, W. ve Li, R., 2018. Spatial and Seasonal Distribution and Transportation of Different Forms of Phosphorus in the Middle Reaches of the Yarlung Zangbo River. Water, 10(12), 1858. doi:10.3390/w10121858.
- Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sarız-Mağara İlçeleri Arasındaki Sahanın Litostratigrafi Birimleri ve Petrol İmkanları Rapor: M.T.A. Rap No: 3489, (Yayımlanmamış), Ankara.
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H. ve Yoldaş, R., 1979. Mut-Ermenek-Silifke Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 8–26.
- Güler, C., 2009. Site Characterization and Monitoring of Natural Attenuation Indicator Parameters in a Fuel Contaminated Coastal Aquifer: Karaduvar (Mersin, SE Turkey). Environmental Earth Sciences, 59, 631–643. doi:10.1007/s12665-009-0060-2.
- Güler, C., Alpaslan, M., Kurt, M. ve Temel, A., 2010. Deciphering Factors Controlling Trace Element Distribution in the Soils of Karaduvar Industrial-Agricultural Area (Mersin, SE Turkey). Environmental Earth Sciences, 60, 203–218. doi:10.1007/s12665-009-0180-8.
- Güler, C., Alpaslan, M., Temel, A., Gizir, M. ve Sangün, M.K., 2007. Karaduvar (Mersin) Kıyı Akiferinde Yeraltı Suyu Kimyasını Etkileyen Kirletici Kaynakların Araştırılması ve Jeokimyasal Modellemesi. 104Y268 Nolu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu, Mersin, 277 s.
- Güler, C., Kaplan, V. ve Akbulut, C., 2013. Spatial Distribution Patterns and Temporal Trends of Heavy-Metal Concentrations in a Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Site: Karaduvar Coastal Aquifer (Mersin, SE Turkey). Environmental Earth Sciences, 70, 943–962. doi:10.1007/s12665-012-2186-x.
- Güler, C., Kurt, M.A., Alpaslan, M. ve Akbulut, C., 2012. Assessment of the Impact of Anthropogenic Activities on the Groundwater Hydrology and Chemistry in Tarsus Coastal Plain (Mersin, SE Turkey) Using Fuzzy Clustering, Multivariate Statistics and GIS Techniques. Journal of Hydrology, 414–415, 435–451. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.11.021.

- Güler, C., Thyne, G.D., Tağa, H. ve Yıldırım, Ü., 2017. Processes Governing Alkaline Groundwater Chemistry within a Fractured Rock (Ophiolitic Mélange) Aquifer Underlying a Seasonally Inhabited Headwater Area in the Aladağlar Range (Adana, Turkey). *Geofluids*, Article ID: 3153924, 1–21. doi:10.1155/2017/3153924.
- Hatipoğlu, Z. ve Bayarı, S., 2005. Mersin-Tarsus Kıyı ve Yamaç Akiferlerinin Hidrojeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 48(2), 59–72.
- Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254, U.S. Geological Survey, Alexandria, Virginia.
- Hernes, P.J., Spencer, R.G.M., Dyda, R.Y., Pellerin, B.A., Bachand, P.A.M. ve Bergamaschi, B.A., 2008. The Role of Hydrologic Regimes on Dissolved Organic Carbon Composition in an Agricultural Watershed. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(21), 5266–5277. doi:10.1016/j.gca.2008.07.031.
- Juteau, T., 1980. Ophiolites of Turkey. *Ofiyoliti*, 2, 199–233.
- Kazezyılmaz-Alhan, C.M. ve Medina, M.A. Jr., 2008. The Effect of Surface/Groundwater Interactions on Wetland Sites with Different Characteristics. *Desalination*, 226, 298-305.
- Kroon, F.J., Kuhnert, P.M., Henderson, B.L., Wilkinson, S.N., Henderson, A.K., Abbott, B., Brodie, J.E. ve Turner, R.D.R., 2012. River Loads of Suspended Solids, Nitrogen, Phosphorus and Herbicides Delivered to the Great Barrier Reef Lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 65, 167–181.
- Kurt, M.A. 2010. Deliçay ve Tarsus Çayı (Mersin) Arasında Kalan Alandaki Toprak Profillerinin Mineralojisi, Toprak ve Su Kirliliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin, 430s.
- Martinez, J.L., Raiber, M. ve Cox, M.E., 2015. Assessment of Groundwater–Surface Water Interaction Using Long-Term Hydrochemical Data and Isotope Hydrology: Headwaters of the Condamine River, Southeast Queensland, Australia. *Science of the Total Environment*, 536, 499–516.
- MÇDR, 2018. Mersin İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu. Mersin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Mersin, 143s.
- Özgül, N. 1984: Stratigraphy and Tectonic Evolution of the Central Taurides, in: Tekeli O., Göncüoğlu M.C. (Eds.): *Geology of Taurus Belt. Proceedings of International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*. Miner. Res. Explor. Inst. Turkey Special Publications, 77–90.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. *Transactions of American Geophysical Union*, 25, 914–923.
- Poisson, A., 1977. *Recherches Geologiques Dans Les Taurides Accidentales (Turquie)*, These de Docteur Es Sciences, Universite de Paris-Sud, Paris, 795 p.
- Prabakaran, K., Eswaramoorthi, S., Nagarajan, R., Anandkumar, A. ve Franco, F.M., 2020. Geochemical Behaviour and Risk Assessment of Trace Elements in a Tropical River, Northwest Borneo. *Chemosphere*, 252, 126430. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126430.
- Sillanpää, M., Hulkkonen, R.M. ve Manderscheid, A., 2004. Drinking Water Quality in the Alpine Pastures of the Eastern Tibetan Plateau. *Rangifer*, 15, 47–52.
- Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY), 2011. Türk Standartları, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, (4 Eylül 1988, sayı: 19919), Resmi Gazete, Ankara.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası: İzmir, Reform Matbaası, 548s.
- Şen, B. ve Gölbaşı, S., 2008. Hazar Gölü'ne Dökülen Kürk Çayı'nın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 25(4), 353–358.
- Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman, T.Y., 1998. Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüd Raporu, M.T.A. (yayımlanmamış), Ankara.
- Toroğlu, E., Toroğlu, S. ve Alaeddinoğlu, F., 2006. Aksu Çayı'nda (Kahramanmaraş) Akarsu Kirliliği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4(1), 93–103.
- United States Salinity Laboratory Staff (USSLS), 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, United States Department of Agriculture Handbook No. 60, US Government Printing Office: Washington, DC.
- Wilcox, L.V., 1948. *The Quality of Water for Irrigation Use*. U.S. Department of Agriculture Technology Bulletin, 962, 40.
- World Health Organization (WHO), 2011. *Guidelines for Drinking Water Quality*, 4th ed.: WHO Publications, Geneva, 631p.
- Yetiş, C. ve Demirkol, C., 1984. Adana Baseni Kuzey-Kuzeybatı Kesiminin Temel Stratigrafisine İlişkin Bazı Gözlemler. *Türkiye Jeoloji Kurumu* 38. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri

Özetleri Kitabı, 20-24 Şubat 1984, Ankara, s. 59-61.

Yetiş, C. ve Demirkol, C., 1986. Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeolojisi Etüdü: M.T.A. Rap. No: 8037, Ankara.

Yıldırım, Ü., 2018. Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) Arasında Yer Alan Akarsuların Morfometrik, Hidrolojik ve Hidrokimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin, 210 s.

Zvinowanda, C.M., Okonkwo, J.O. ve Gurira, R.C., 2008. Improved Derivatisation Methods for the Determination of Free Cyanide and Cyanate in Mine Effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 158, 196-201. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.01.059.

Adi ve Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Çözümlerinin Kollokasyon Yöntemiyle Bulunması

Collocation Method for Solution of Ordinary and Partial Differential Equations

Birkan DURAK*^{1,a}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Uçak Teknolojisi Programı, 34500, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 28.01.2020

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.09.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 25.09.2020

Öz

Mühendislik problemleri adi ve kısmi diferansiyel denklemler şeklinde matematiksel olarak ifade edilirler. Bu denklemlerin analitik çözümlerinin mümkün olmadığı durumlarda yaklaşık çözümler bulunmaya çalışılır. Çalışmada iki sınır değer probleminin yaklaşık çözümü kollokasyon metoduyla bulunmuştur. İlk problem homojen olmayan sınır şartlarına sahiptir. Problemin çözümde tanımlanan iki taban fonksiyonundan yararlanılmıştır. Aynı problem homojen olmayan sınır şartlarının homojenleştirilmesinin ardından iki kollokasyon noktası alınarak tekrar çözülmüştür. İkinci problem ise homojen olmayan sınır şartlarına sahip Laplace denklemdir. Her iki problemin analitik çözümleri ile kollokasyon metoduyla bulunan yaklaşık çözümleri karşılaştırılmıştır. Kollokasyon nokta sayısı arttıkça yaklaşık çözüm her iki problemde analitik çözüme yakınsamaktadır. Ayrıca çözümdeki katsayıları bulmak için oluşturulan sistemdeki denklemlerin sayısı, kollokasyon nokta sayısı ile birlikte arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Diferansiyel Denklemler, Kollokasyon Yöntemi, Sayısal Çözüm

Abstract

Engineering problems are often expressed mathematically as ordinary and partial differential equations. When analytical solution is not possible two base functions defined in solution of the problem were used. In this study, approximate solutions of two boundary value problem were found by collocation method. The first problem is that the selected two base functions are solved using nonhomogeneous boundary conditions. The same problem was resolved by homogenizing the nonhomogeneous boundary condition and taking two collocation points. The second problem is the Laplace equation with some nonhomogeneous boundary conditions. The analytical solution and collocation solution of this equation were compared. In both problems, as the number of collocation points increases, approximate solution approaches analytical solution. In addition, it was found that the number of equations in the system created to find the coefficients in the solution increased with the number of sorting points.

Keywords: Differential Equations, Collocation Method, Numerical Solution

*^a Birkan DURAK; birkand@istanbul.edu.tr, Tel: (0212) 866 37 00, orcid.org/0000-0002-8196-5407

1. Giriş

Mühendislik problemleri uygun sınır şartlarıyla verilmiş olan diferansiyel denklemlerle ifade edilirler. Bu diferansiyel denklemler için analitik çözüm bulmak çoğu zaman mevcut çözüm yöntemleriyle mümkün olmamaktadır. Bazı durumlarda ise bulunan çözüm ilgilenilen problem hakkında ayrıntılı bilgi verecek kadar basit bir yapıda olmayabilir. Bu durumda sayısal yöntemlerle bazı sonuçlara ulaşarak problem hakkında daha fazla bilgiye ulaşılmaya çalışılır.

Adi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan belirsiz parametreler yönteminde sınır değer probleminin yaklaşık bir çözümü bulunmaya çalışılır. Bu çözüme yaklaşım fonksiyonu adı verilir. Seçilen yaklaşım fonksiyonun sınır şartlarını veya diferansiyel denklemini sağlaması yöntemin esasını oluşturur. Yaklaşım fonksiyonun terim sayısının ve bu fonksiyonun tanım aralığının, problemin çözümüne en iyi yaklaşımı belirleyen önemli iki faktör olduğu belirtilmiştir (Üstün, 2013). Bu çalışmada yaklaşım fonksiyonun tanım aralığı daraldıkça daha iyi yaklaşım sağlanacağı belirtilmiştir. Kollokasyon yöntemi uygulanırken yaklaşım fonksiyonu olarak periyodik problemler için trigonometrik polinomlar, periyodik olmayan problemler için Legendre polinomları ve Chebyshev polinomları, yarı sonsuz aralıkta tanımlı problemler için Laguerre polinomları ve reel eksen üzerinde tanımlı problemler için Hermite polinomları alınabilir (Uzunboy, 2016).

Bazı problem tiplerinde ise kısmen sınır şartlarını veya kısmen de denklemini sağlayan yaklaşım fonksiyonları seçilir (Bakioğlu, 2011). Bu fonksiyonların sağlamadığı şartlar üzerine çeşitli kriterler konularak yaklaşık olarak sağlatılması gerekir ve ağırlıklı kalan yöntemi olarak adlandırılmasının nedeni diferansiyel denklemin kalanları üzerinde konulan şartların bir ağırlık fonksiyonuyla çarpılarak verilmesidir.

Kollokasyon yöntemi, ağırlıklı kalanlar yöntemlerinden birisidir. Belirlenmemiş parametrelerin sayısı kadar nokta göz önüne alınır. Bu noktalarda yaklaşım fonksiyonun diferansiyel denkleme yazılmasıyla elde edilen kalanın, sıfıra eşit olmasını sağlayacak şekilde parametreler ayarlanmaya çalışılır. Bu yöntemde kalanın, sıfır olduğu noktalar arasında bulunan tüm noktalarda sıfırdan uzaklaşmadığı kabul edilir (Crandall, 1968).

Kollokasyon yöntemi adi diferansiyel denklemler başta olmak üzere kısmi diferansiyel, integral, integro-diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Chebyshev kollokasyon metodu, adi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerini bulmakta kullanılmıştır (Wright, 1964; Dolapçı, 2004). Kollokasyon yöntemi integro-diferansiyel bir denklemin yaklaşık çözümünü bulmakta kullanılmıştır (Durak, 2018).

Bu çalışmada ise kollokasyon yöntemi adi ve kısmi diferansiyel denklemlerin çözümüne uygulanmıştır. Bu yöntemle bulunan yaklaşık ve analitik çözümler grafik olarak karşılaştırılmıştır. Kollokasyon nokta sayısı artışının yaklaşık çözüme olan etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

L bir diferansiyel operatör olmak üzere bir diferansiyel denklem

$$Lu = f(x) \quad (1)$$

şeklinde gösterilebilir. Denklemin yaklaşık çözümü

$$\hat{u} = \sum_{i=1}^n C_i \varphi_i(x) \quad (2)$$

olsun. Burada $\varphi_i(x)$ 'ler sınır şartlarını sağlayan taban fonksiyonlarıdır. Bu çözüm (1) denklemine yazılırsa

$$R(x) = L\hat{u} - f(x) \neq 0 \quad (3)$$

olacaktır. $R(x)$ 'e kalan (residual) denir. (2) denklemindeki c_i katsayıları (1) eşitliğini sağlayacak tarzda seçilirler. Kollokasyon yönteminde kalan, seçilmiş kollokasyon noktalarında sıfıra eşitlenir. Kollokasyon noktaları x_i ile gösterilirse

$$R(x_i) = L\hat{u}(x_i) - f(x_i) = 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

olacaktır. (4) ile verilen denklem, bir denklem sisteminin kapalı gösterimidir. Bu sistem n adet cebirsel denklemden oluşur ve çözülerek C_i katsayıları bulunur. Bu katsayılar (2) de yerine yazıldığında (1) ile verilen diferansiyel denklemin yaklaşık çözümüne ulaşılır.

2.1. Kollokasyon Yönteminin Adi Diferansiyel Denklemlere Uygulanması

Kollokasyon yöntemi, yukarıda bahsedilen işlem adımları göz önüne alınarak adi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerini bulmada kullanılabilir. Bu amaçla yöntem, aşağıda sınır şartlarıyla verilen bir diferansiyel denkleme uygulanarak yaklaşık çözüm bulunmuştur.

$$y'' + y = 0 \quad (5)$$

bu denklemin sınır şartları ise

$$y(0) = 1 \quad (6)$$

$$y(1) = 0 \quad (7)$$

$$R(x) = y'' + y = 2C_2 + C_1(1-x) + C_2(1-x)^2 = C_1(1-x) + C_2[2 + (1-x)^2] \quad (11)$$

(11) ile verilen kalanın, keyfi bir x değeri için sıfır olması sağlanırsa (5) ile verilmiş olan diferansiyel denklemin çözümüne ulaşılabilecektir. Kollokasyon noktası $x = 1/3$ olarak alınır

$$R(1/3) = 0 \Rightarrow 6C_1 + 22C_2 = 0 \quad (12)$$

denklemleri bulunacaktır. (10) ve (12) denklemlerinden aşağıda verilen denklem sistemine ulaşılır.

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 &= 1 \\ 6C_1 + 22C_2 &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

(13) ün çözümünden $C_1 = 1.375$ ve $C_2 = -0.375$ olarak hesaplanarak (9) da yerine yazılırsa diferansiyel denklemin yaklaşık çözümü

$$y(x) = 1.375(1-x) - 0.375(1-x)^2 \quad (14)$$

şeklinde bulunmuş olur. Verilen diferansiyel denklemden ilk sınır şartı homojen hale getirilerek farklı bir çözüme ulaşılabilir. Bu durumda 2 kollokasyon noktası kullanılmalıdır. Diferansiyel denklemin genel çözümü

$$R(x) = u'' + u + 1 - x = C_1[x - x^2 - 2] + C_2[x(1-x)^2 + 6x - 4] + 1 - x \quad (19)$$

olacaktır. Bu kalanın keyfi x_1 ve x_2 değerleri için sıfır olması sağlanırsa (17) ile verilmiş olan diferansiyel denklemin çözümüne ulaşılacaktır. Kollokasyon noktaları $x_1 = 1/3$ ve $x_2 = 2/3$ olarak seçilirse

olarak verilmiş olsun, denklemin analitik çözümü

$$y(x) = \cos(x) - \cot(1)\sin(x) \quad (8)$$

şeklinde dir. Denklemin sınır şartlarını sağlayan iki çözüm $(1-x)$ ve $(1-x)^2$ olarak seçilirse. C_1 ve C_2 keyfi sabitler olmak üzere denklemin genel çözümü

$$y(x) = C_1(1-x) + C_2(1-x)^2 \quad (9)$$

olacaktır. C_1 ve C_2 sabitlerini bulmak için (6) ile verilen homojen olmayan sınır şartı ve denklem (5) kullanılmalıdır.

$$y(0) = 1 \Rightarrow C_1 + C_2 = 1 \quad (10)$$

$$y(x) = u(x) + (1-x) \quad (15)$$

formunda olsun, bu çözüme (6) ve (7) ile verilen sınır şartları uygulanırsa

$$\begin{aligned} y(0) = 1 &\Rightarrow u(0) + 1 = 1 \\ y(1) = 0 &\Rightarrow u(1) + 0 = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

eşitliklerine ulaşılır. (15) ve (16) göz önüne alınarak (5) ile verilen denklem

$$\begin{aligned} u'' + u + 1 - x &= 0 \\ u(0) &= 0 \\ u(1) &= 0 \end{aligned} \quad (17)$$

haline gelir. (17) nin sınır şartlarını sağlayan iki çözüm $x(1-x)$ ve $x(1-x)^2$ dir. C_1 ve C_2 keyfi sabitler olmak üzere denklemin genel çözümü

$$u(x) = C_1 x(1-x) + C_2 x(1-x)^2 \quad (18)$$

olmaktadır. Bu çözüm (17) de yerine yazılırsa kalan

$$\begin{aligned} -45C_1 - 50C_2 &= -18 \\ -48C_1 + 2C_2 &= -9 \end{aligned} \quad (20)$$

şeklindeki denklem sistemine ulaşılır. Bu denklemlerden $C_1 = 0.1952$ ve $C_2 = 0.1843$ olarak bulunur. Bu değerler denklem (18) de yazılırsa denklem

$$y(x) = 0.1952x(1-x) + 0.1843x(1-x)^2 + (1-x)$$

olarak bulunur.

2.2. Kollokasyon Yönteminin Kısmi Diferansiyel Denklemlere Uygulanması

Kollokasyon yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümlerine de uygulanabilir. Bunun için aşağıda verilen Laplace denklemi göz önüne alsın.

Bu problemin analitik çözümü

$$u = \sum_{n=1}^{\infty} \left[-2[1 - (-1)^n + (-1)^n e^{n\pi}] e^{n\pi x} - 2e^{n\pi} [-(-1)^n - e^{n\pi} + (-1)^n e^{n\pi}] e^{-n\pi x} \right] \frac{\sin(n\pi y)}{n\pi(e^{2n\pi} - 1)}$$

şeklinde dir. Denklem in sınır şartlarını sağlayan iki çözüm $y(1-y)$ ve $y^2(1-y)$ olsun. $a_1(x)$ ve $a_2(x)$ keyfi fonksiyonlar olmak üzere denklem in genel çözümü

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = a_1''(x)(y - y^2) + a_2''(x)(y^2 - y^3) + a_1(x)(-2) + a_2(x)(2 - 6y)$$

haline gelecektir. Bu denklem keyfi olarak belirlenen y_1 ve y_2 kollokasyon noktalarında sıfıra eşitlenerek $a_1(x)$ ve $a_2(x)$ keyfi fonksiyonları bulunabilir. (26) ile verilen denklem $R(x)$ fonksiyonu olarak tanımlanırsa

$$\begin{aligned} R(y_1) &= 0 \\ R(y_2) &= 0 \end{aligned} \tag{27}$$

şeklindeki eşitlikler geçerlidir. Kollokasyon noktaları $y_1 = 1/3$ ve $y_2 = 2/3$ olarak alınıp (27) deki denklemlere yazılırsa

$$\begin{aligned} 6a_1''(x) + 2a_2''(x) - 54a_1(x) &= 0 \\ 6a_1''(x) + 4a_2''(x) - 54a_1(x) - 54a_2(x) &= 0 \end{aligned} \tag{28}$$

$$\begin{aligned} a_1(x) &= A_1 e^{r_1 x} + A_2 e^{r_2 x} + A_3 e^{r_3 x} + A_4 e^{r_4 x} \\ a_2(x) &= B_1 e^{r_1 x} + B_2 e^{r_2 x} + B_3 e^{r_3 x} + B_4 e^{r_4 x} \end{aligned}$$

$$u(x) = 0.1952x(1-x) + 0.1843x(1-x)^2 \tag{21}$$

haline gelir. (21) denklemi (15) denklemine yazılarak (5) denklemi ile verilen diferansiyel denklemin yaklaşık çözümü

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} &= 0 \quad 0 < x < 1, \quad 0 < y < 1 \\ u(x, 0) &= 0 \\ u(x, 1) &= 0 \\ u(0, y) &= 1 \\ u(1, y) &= y \end{aligned} \tag{23}$$

$$u(x, y) = a_1(x)y(1-y) + a_2(x)y^2(1-y) \tag{25}$$

olacaktır. (25) deki çözüm (23) de yerine yazılırsa denklem

denklemlerine ulaşılır. $a_1(x) = A e^{rx}$ ve $a_2(x) = B e^{rx}$ şeklinde alınan çözümler (28) de yazılır ve düzenlenirse

$$\begin{aligned} A(6r^2 - 54) + B(2r^2) &= 0 \\ A(6r^2 - 54) + B(4r^2 - 54) &= 0 \end{aligned} \tag{29}$$

olacaktır. (29) daki denklem sisteminde $A, B \neq 0$ şeklinde çözümün varlığı için katsayılar matrisinin determinantı sıfır olmalıdır. Buradan

$$(6r^2 - 54)(2r^2 - 54) = 0 \tag{30}$$

olacaktır. Böylece $r_1 = 3, r_2 = -3, r_3 = 3\sqrt{3}, r_4 = -3\sqrt{3}$ şeklinde bulunan dört kök

$$\tag{31}$$

ifadesinde yazılarak $a_1(x)$ ve $a_2(x)$ keyfi fonksiyonları

$$\begin{aligned} a_1(x) &= A_1 e^{3x} + A_2 e^{-3x} + A_3 e^{3\sqrt{3}x} + A_4 e^{-3\sqrt{3}x} \\ a_2(x) &= B_1 e^{3x} + B_2 e^{-3x} + B_3 e^{3\sqrt{3}x} + B_4 e^{-3\sqrt{3}x} \end{aligned} \quad (32)$$

şeklinde bulunur. Burada sekiz bilinmeyen katsayı vardır. (29) daki ilk denklem göz önüne alınarak B_k katsayıları A_k katsayıları cinsinden yazılabilir. Böylece bilinmeyen katsayılar dörde düşecektir.

$$B_k = \frac{54 - 6r_k^2}{2r_k^2} A_k \quad (33)$$

Katsayıları bulmak için (25) deki çözüme

$$\begin{aligned} u(0, \frac{1}{3}) &= a_1(0) (\frac{1}{3} - (\frac{1}{3})^2) + a_2(0) ((\frac{1}{3})^2 - (\frac{1}{3})^3) = 1 \\ u(0, \frac{2}{3}) &= a_1(0) (\frac{2}{3} - (\frac{2}{3})^2) + a_2(0) ((\frac{2}{3})^2 - (\frac{2}{3})^3) = 1 \\ u(1, \frac{1}{3}) &= a_1(1) (\frac{1}{3} - (\frac{1}{3})^2) + a_2(1) ((\frac{1}{3})^2 - (\frac{1}{3})^3) = \frac{1}{3} \\ u(1, \frac{2}{3}) &= a_1(1) (\frac{2}{3} - (\frac{2}{3})^2) + a_2(1) ((\frac{2}{3})^2 - (\frac{2}{3})^3) = \frac{2}{3} \end{aligned} \quad (36)$$

haline gelir. (36) denklemindeki $a_1(0)$, $a_1(1)$, $a_2(0)$, $a_2(1)$ ifadeleri

$$\begin{aligned} a_1(0) &= A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = \sum_{k=1}^4 A_k \\ a_2(0) &= B_1 + B_2 + B_3 + B_4 = \sum_{k=1}^4 B_k \\ a_1(1) &= A_1 e^3 + A_2 e^{-3} + A_3 e^{3\sqrt{3}} + A_4 e^{-3\sqrt{3}} = \sum_{k=1}^4 A_k e^{r_k} \\ a_2(1) &= B_1 e^3 + B_2 e^{-3} + B_3 e^{3\sqrt{3}} + B_4 e^{-3\sqrt{3}} = \sum_{k=1}^4 B_k e^{r_k} \end{aligned} \quad (37)$$

olmaktadır. Bu denklemler ise (34) deki sınır şartlarının (35) de yazılmasıyla elde edilmiştir. (33) deki eşitlikten faydalanılarak (37) deki

$$\begin{aligned} x=0 \text{ da } u &= 1 \\ x=1 \text{ de } u &= y \end{aligned} \quad (34)$$

(34) ile verilen sınır şartları uygulanırsa

$$\begin{aligned} u(0, y) &= a_1(0) (y - y^2) + a_2(0) (y^2 - y^3) \\ u(1, y) &= a_1(1) (y - y^2) + a_2(1) (y^2 - y^3) \end{aligned} \quad (35)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler seçilen $y_1 = 1/3$ ve $y_2 = 2/3$ kollokasyon noktaları için

ifadelerin tümü A_k ' lar cinsinden yazılır ve ardından (36) da yerine konursa

$$\begin{aligned} u(0, \frac{1}{3}) &= \sum_{k=1}^4 [\frac{2}{9} + \frac{2}{27} (\frac{54 - 6r_k^2}{2r_k^2})] A_k = 1 \\ u(0, \frac{2}{3}) &= \sum_{k=1}^4 [\frac{2}{9} + \frac{4}{27} (\frac{54 - 6r_k^2}{2r_k^2})] A_k = 1 \\ u(1, \frac{1}{3}) &= \sum_{k=1}^4 [\frac{2}{9} + \frac{2}{27} (\frac{54 - 6r_k^2}{2r_k^2})] A_k e^{r_k} = \frac{1}{3} \\ u(1, \frac{2}{3}) &= \sum_{k=1}^4 [\frac{2}{9} + \frac{4}{27} (\frac{54 - 6r_k^2}{2r_k^2})] A_k e^{r_k} = \frac{2}{3} \end{aligned} \quad (38)$$

şeklindeki denklem sistemine ulaşılır. Gerekli düzenlemelerin ardından bu denklem sisteminin matris gösterimi

$$\begin{bmatrix} \frac{2}{r_1^2} & \frac{2}{r_2^2} & \frac{2}{r_3^2} & \frac{2}{r_4^2} \\ \frac{36-2r_1^2}{9r_1^2} & \frac{36-2r_2^2}{9r_2^2} & \frac{36-2r_3^2}{9r_3^2} & \frac{36-2r_4^2}{9r_4^2} \\ \frac{2}{r_1^2}e^{r_1} & \frac{2}{r_2^2}e^{r_2} & \frac{2}{r_3^2}e^{r_3} & \frac{2}{r_4^2}e^{r_4} \\ \frac{36-2r_1^2}{9r_1^2}e^{r_1} & \frac{36-2r_2^2}{9r_2^2}e^{r_2} & \frac{36-2r_3^2}{9r_3^2}e^{r_3} & \frac{36-2r_4^2}{9r_4^2}e^{r_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0.33 \\ 0.66 \end{bmatrix} \quad (39)$$

gibi olmaktadır. Buradan katsayılar

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.1011 & B_1 &= 0 \\ A_2 &= 4.3989 & B_2 &= 0 \\ A_3 &= -0.0124 & B_3 &= 0.0249 \\ A_4 &= 0.0124 & B_4 &= -0.0249 \end{aligned} \quad (40)$$

olarak bulunur. Bu katsayılar (32) de yazılarak $a_1(x)$ ve $a_2(x)$ fonksiyonları

$$\begin{aligned} a_1(x) &= 0.1011e^{3x} + 4.3989e^{-3x} - 0.0124e^{3\sqrt{3}x} + 0.0124e^{-3\sqrt{3}x} \\ a_2(x) &= 0.0249e^{3\sqrt{3}x} - 0.0249e^{-3\sqrt{3}x} \end{aligned} \quad (41)$$

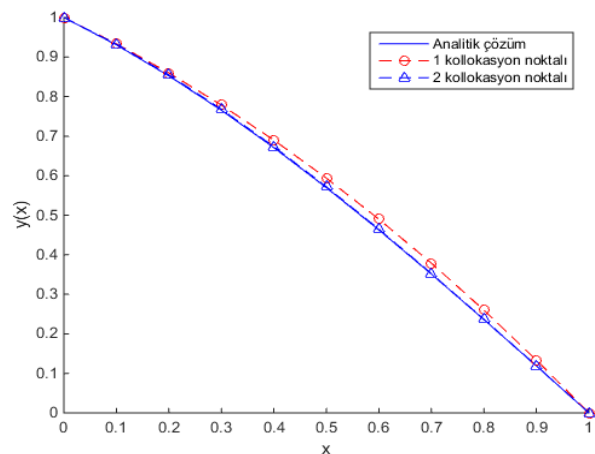
gibi bulunmuş olur. (41) de bulunan bu fonksiyonlar (25) de yerine yazılırsa aranan kollokasyon çözümü

$$\begin{aligned} u(x, y) &= [0.1011e^{3x} + 4.3989e^{-3x} - 0.0124e^{3\sqrt{3}x} + 0.0124e^{-3\sqrt{3}x} \\ &+ y(0.0249e^{3\sqrt{3}x} - 0.0249e^{-3\sqrt{3}x})] (y - y^2) \end{aligned} \quad (42)$$

olacaktır.

3. Bulgular

(5) denklemini ile verilen ve (6), (7) sınır şartlarına sahip olan adi diferansiyel denklemin yaklaşık çözümü denklem (14) deki gibidir. Bu problem verilen sınır şartları altında ve homojen olmayan sınır şartı homojenleştirilerek ayrı ayrı çözülmüştür. Problemin analitik çözümü ve iki yaklaşık çözümü Şekil 1 de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 1: Analitik ve kollokasyon çözümlerinin karşılaştırılması.

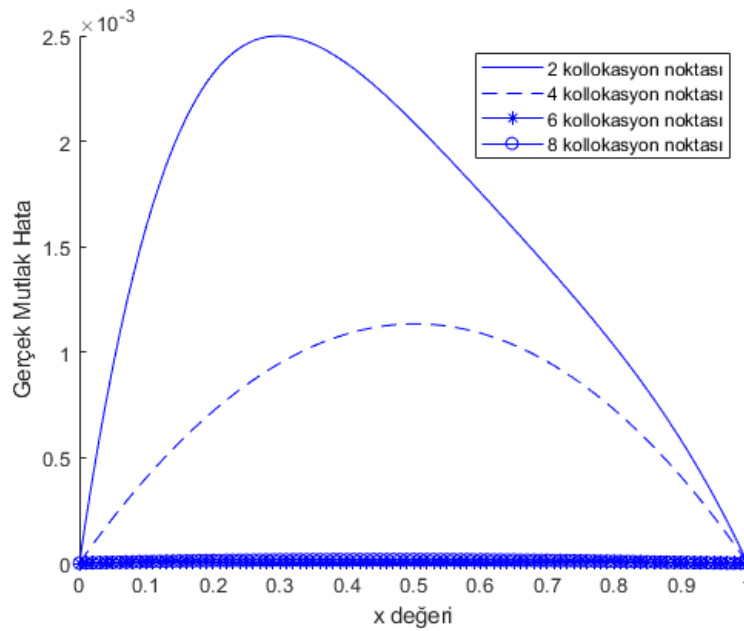
Tablo 1 de Analitik çözüm ve farklı kollokasyon nokta sayıları için bulunan yaklaşık çözümler verilmiştir.

Tablo 1. Çözümün kollokasyon nokta sayısı ile değişimi

x	Analitik Çözüm	2 Kollokasyon Noktası	4 Kollokasyon Noktası	6 Kollokasyon Noktası	8 Kollokasyon Noktası
0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000
0.1	0.9309018	0.9324963	0.9304970	0.9309001	0.9308941
0.2	0.8525024	0.8548224	0.8517818	0.8524989	0.8524893
0.3	0.7655851	0.7680841	0.7646369	0.7655798	0.7655690
0.4	0.6710183	0.6733872	0.6699317	0.6710116	0.6710010
0.5	0.5697469	0.5718375	0.5686125	0.5697396	0.5697294
0.6	0.4627828	0.4645408	0.4616919	0.4627760	0.4627664
0.7	0.3511947	0.3526029	0.3502388	0.3511893	0.3511812
0.8	0.2360976	0.2371296	0.2353681	0.2360943	0.2360884
0.9	0.1186415	0.1192267	0.1182300	0.1186402	0.1186375
1.0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

Şekil 2 de homojenleştirilmiş sınır şartlarına sahip denklemin yaklaşık çözümünde alınan kollokasyon nokta sayısına göre Gerçek Mutlak Hatanın değerleri çeşitli x ler için verilmiştir.

Gerçek Mutlak Hata, gerçek çözüm ve sayısal çözüm arasındaki fark olarak bilinen gerçek hatanın mutlak değeridir (Karaboğa, 2012).

**Şekil 2:** Gerçek mutlak hatanın kollokasyon nokta sayısı ile değişimi

Denklem (23) ile verilen Laplace denkleminin analitik çözümü değişkenlerin ayrıştırılması yöntemi kullanılarak (24) deki gibi bulunmuştur. Bu problemin kollokasyon yöntemi ile bulunan yaklaşık çözümü denklem (42) deki gibidir. Bu çözümün grafiği bir yüzey gösterir. Şekil 3 de incelenen Laplace denklemi için analitik çözüm, kollokasyon çözümü ve Gerçek Mutlak Hata grafikleri verilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Birinci problem için kollokasyon nokta sayısı arttıkça sayısal çözümün analitik çözüme yaklaştığı görülmektedir. Analitik çözüme daha

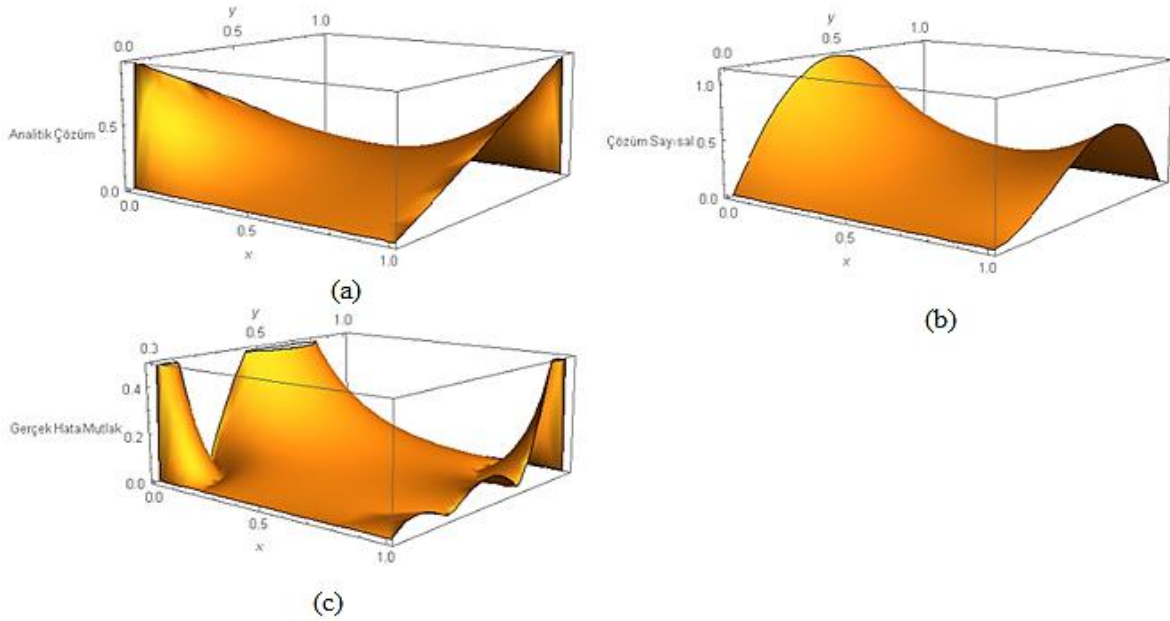
yakın sonuçlar bulabilmek için (9) ve (15) ile verilen genel çözümler

$$y(x) = \sum_{n=1}^N C_n (1-x)^n$$

$$y(x) = \sum_{n=1}^N C_n x(1-x)^n + 1-x$$

formunda alınarak farklı kollokasyon nokta sayıları için yaklaşık çözümler bulunmuştur.

Kollokasyon nokta sayısı arttırıldıkça Gerçek Mutlak Hatanın giderek küçüldüğü görülmektedir. Sayısal çözümler bulunurken kollokasyon nokta sayısı kadar denkleme sahip bir denklem sistemi oluşturularak çözülmektedir.



Şekil 3: Laplace denklemi için (a) Analitik çözüm, (b) Kollokasyon çözümü, (c) Gerçek mutlak hata

Şekil 2 incelendiğinde sekiz kollokasyon noktası alınarak yeterli hassaslıkta yaklaşık çözümlerin bulunabildiği görülmüştür.

İncelenen ikinci problemde (23) ile verilen kısmi diferansiyel denklemin analitik çözümü olan (24) denklemindeki terim sayısını arttırdıkça daha uygun sonuçlar bulunmaktadır. Yüksek sayıda terimin alınması halinde bulunan çözümün sınır şartlarını sağlayıp sağlamadığına dikkat edilmelidir. Bu diferansiyel denklemin kollokasyon çözümü (42) deki gibidir. Şekil 3 incelendiğinde Gerçek Mutlak Hatanın maksimum değerinin 0.6 dan küçük olduğu görülmektedir.

Probleme bağlı olarak hesaplamalarda kaç kollokasyon noktasının alınması gerektiği önemli bir sorundur. Hesaplama zamanının nokta sayısı ile doğru orantılı olduğu bulunmuştur. Daha karmaşık yapıdaki problemler çözülürken kaç kollokasyon noktasının alınacağını belirlemede Yaklaşık Mutlak Hatadan yararlanılabilir. Ardışık iki kollokasyon noktası için hesaplamalar yapılır. Bu iki hesaplama arasındaki farkın mutlak değeri belirli bir değerin altında ise çözüm yeterli hassaslıkta elde edilmiş olur.

Teşekkür

Yazar, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları değerli katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

Bakioğlu, M., 2011. Sayısal Analiz: İstanbul, Birsen Yayınevi, 543s.

Crandall, S., 1968. Mühendislik Analizi Sayısal Hesap Metotlarına Genel Bakış, (çev: Şenol Utku, Ender ve Yazar Özden): İstanbul, İTÜ Kütüphanesi Elektronik Hesap Merkezi Yayınları, 552s.

Dolapçı, İ.T., Arslan, 2004. Chebyshev Collocation Method for Solving Linear Differential Equations. Mathematical & Computational Applications, 9(1), 107-115.

Durak, B., 2018. Kabuk Yapılarda Akışkan-Elastik Cisim Etkileşiminin Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 96s.

Karaboğa, N., 2012. Sayısal Yöntemler ve Matlab Uygulamaları: İstanbul, Nobel Akademik Yayıncılık, 384s.

Uzunboy, M., 2016. Chebyshev Türevleme Matrisleri ve Bazı Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli, 57s.

Üstün, A., 2013. Jeodezide yaklaşım yöntemleri: Enterpolasyon ve Kollokasyon Lisansüstü Ders Notları, <https://docplayer.biz.tr/84760425-Jeodezide-yaklasim-yontemleri-enterpolasyon-ve-kollokasyon.html>. 8 Eylül 2020

Wright, K., 1964. Chebyshev Collocation Method for Ordinary Differential Equations. The Computer Journal, 6(4), 358-365.

Modülüs Fonksiyonu ile Tanımlanmış Genelleştirilmiş Büyük Lebesgue Dizi Uzaylarının Topolojik Bazı Özellikleri

Some Topological Properties of Generalized Grand Lebesgue Sequence Spaces Defined by Modulus Function

Oğuz OĞUR^{*1,a}

¹ Giresun Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 28200, Giresun

• Geliş tarihi / Received: 04.05.2020 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 08.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 25.09.2020

Öz

Bu çalışmada, Rafeiro vd. (2018) tarafından tanımlanan büyük Lebesgue dizi uzayları modülüs fonksiyonu yardımıyla genelleştirildi. Ayrıca, bu uzayların bazı topolojik ve kapsama özellikleri incelendi.

Anahtar kelimeler: Genelleştirilmiş Büyük Lebesgue Dizi Uzayları, Modülüs Fonksiyonu, Paranormlu Uzaylar.

Abstract

In this paper, the grand Lebesgue sequence spaces defined by Rafeiro vd. (2018) were generalized using modulus function. Also, some topological and inclusion properties of these spaces were examined.

Keywords: Generalized Grand Lebesgue Sequence Spaces, Modulus Function, Paranormed Spaces.

*a Oğuz OĞUR; oguz.ogur@giresun.edu.tr, Tel: (0454) 310 10 00, orcid.org/0000-0002-3206-5330

1. Giriş

Bu çalışmada, \mathbb{N} , \mathbb{R} ve \mathbb{C} sembolleri ile sırasıyla doğal sayılar, reel sayılar ve kompleks sayılar kümeleri gösterilsin. Modülüs fonksiyon kavramı ilk defa [Nakano \(1953\)](#) tarafından tanımlanmış ve temel bazı özellikleri verilmiştir. Aşağıdaki dört koşulu sağlayan $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonuna bir modülüs fonksiyonu denir:

- 1) $f(x) = 0 \Leftrightarrow x = 0$,
- 2) her $x, y \in [0, \infty)$ için $f(x + y) \leq f(x) + f(y)$,
- 3) f fonksiyonu artandır,
- 4) Sıfırın sağında f fonksiyonu süreklidir.

Böylece modülüs fonksiyonun $[0, \infty)$ aralığında sürekli olduğu sonucu çıkarılır. Modülüs fonksiyonları sınırlı veya sınırsız olabilirler. Örneğin, $f(x) = \frac{x}{x+1}$ fonksiyonu sınırlı fakat $0 < p < 1$ için $f(x) = x^p$ sınırsızdır. Modülüs fonksiyonunun tanımındaki 2) özelliğinden her $n \in \mathbb{N}$ için $f(nx) \leq nf(x)$ sağlanır. Buradan her $n \in \mathbb{N}$ için

$$f(x) \leq f\left(nx \frac{1}{n}\right) \leq nf\left(\frac{x}{n}\right) \quad (1)$$

ve böylece

$$\frac{1}{n}f(x) \leq f\left(\frac{x}{n}\right) \quad (2)$$

eşitsizliği elde edilir. f bir modülüs fonksiyonu ve w kompleks dizilerin uzayı olmak üzere

$$L(f) = \{x \in w: \sum_{k=1}^{\infty} f(|x_k|) < \infty\} \quad (3)$$

uzayı bir FK-uzayıdır ([Ruckle, 1973](#)). Ruckle, bu uzayı A. Wilansky' nin “ $\{e_1, e_2, \dots\}$ birim vektörlerinin sınırlı kümesini bulunduran en küçük FK uzayı var mıdır?” sorusunun cevabını ararken tanımlamıştır. Yine, bütün $L(f)$ uzaylarının arakesitinin sonlu bütün dizilerin uzayı olduğunu göstermiştir. Eğer pozitif x reel sayıları için $f(x) = x$ alınırsa $L(f)$ uzayı ℓ_1 uzayına indirgenir. Bu uzaylar birçok yazar tarafından çalışılmıştır ([Maddox, 1986](#); [Savaş, 1999](#); [Malkowsky ve Savaş, 2000](#); [Oğur, 2015](#)). Ayrıca, [Oğur ve Duyar \(2016\)](#) modülüs fonksiyonu yardımıyla Lorentz dizi uzaylarını genelleştirmiştir.

X bir vektör uzayı olmak üzere $p: X \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonuna aşağıdaki koşulları sağlaması durumunda bir paranorm denir;

- i) $p(0) = 0$,
- ii) her $x \in X$ için $p(-x) = p(x)$,
- iii) $x \in X, \lambda \in \mathbb{C}, (\lambda_n), \mathbb{C}$ uzayında bir dizi ve $(x_n), X$ vektör uzayında bir dizi olmak üzere eğer $n \rightarrow \infty$ iken $|\lambda_n - \lambda| \rightarrow 0$ ve $p(x_n - x) \rightarrow 0$ ise $p(\lambda_n x_n - \lambda x) \rightarrow 0$ sağlanır. (Bu özelliğe skalerle çarpımın sürekliliği denir).

$1 < p < \infty$ olmak üzere L^p büyük Lebesgue uzayı ilk olarak [Iwanec ve Sbordone \(1992\)](#) tarafından tanımlanmıştır. [Jain ve Kumari \(2012\)](#) bu uzayları $\Lambda_{q,w}, 0 < q < \infty$, büyük Lorentz uzaylarına taşımışlardır. [Samko ve Umarchadzhiev \(2018\)](#) bu uzayların bazı temel özelliklerini çalışmışlardır. [Rafeiro vd \(2018\)](#) $\ell^{p,\theta}, 1 \leq p < \infty$ ve $\theta > 0$, büyük Lebesgue dizi uzaylarını tanımlamış ve bu uzaylar üzerinde tanımlı bazı operatörlerin özelliklerini çalışmışlardır. Bu çalışmada, [Rafeiro vd \(2018\)](#) tarafından tanımlanan $\ell^{p,\theta}$ uzayı f modülüs fonksiyonu yardımıyla genelleştirilmiş ve bazı temel özellikleri gösterilmiştir. f modülüs fonksiyonu verilsin. $1 \leq p < \infty$ ve $\theta > 0$ için

$$\ell_{p,\theta}(f) = \left\{x \in w: \sup_{\varepsilon > 0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{\infty} [f(|x_k|)]^{p(1+\varepsilon)}\right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} < \infty\right\} \quad (4)$$

kümesi tanımlansın.

$\ell_{p,\theta}(f)$ için geçerli bütün özellikler, $f(x) = x$ alındığında $\ell^{p,\theta}$ büyük Lebesgue dizi uzayı elde edileceğinden, bu uzaylar üzerinde çalışmak daha avantajlı olacaktır.

2. Bulgular

Bu bölümde, $\ell_{p,\theta}(f)$ 'nin bazı topolojik ve kapsama özellikleri verilmiştir.

Teorem 2.1: f modülüs fonksiyonu olmak üzere $\ell_{p,\theta}(f)$, $1 \leq p < \infty$, kompleks sayılar cismi üzerinde bir vektör uzayıdır.

İspat: $\ell_{p,\theta}(f)$ 'nin w uzayının bir alt uzayı olduğunu göstermek yeterlidir. Keyfi $a = (a_k), b = (b_k) \in \ell_{p,\theta}(f)$ için

$$\begin{aligned} \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k + b_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} &\leq \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k| + |b_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\ &\leq \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k|) + f(|b_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \quad (5) \\ &\leq \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} + \\ &\quad + \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\ &< \infty. \end{aligned}$$

Keyfi $\mu \in \mathbb{C}$ için $|\mu| \leq T_\mu$ olacak şekilde bir $T_\mu \in \mathbb{N}$ vardır. Buradan, modülüs fonksiyonunun özelliğinden

$$\begin{aligned} \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|\mu a_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} &\leq \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|T_\mu a_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\ &\leq T_\mu \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \quad (6) \\ &< \infty \end{aligned}$$

bulunur. Bu ise $\ell_{p,\theta}(f)$ 'nin bir kompleks vektör uzayı olduğunu gösterir.

Teorem 2.2: $1 \leq p < \infty$ olmak üzere $\ell_{p,\theta}(f)$ uzayı

$$g_{\theta,f}(a) = \sup_{\varepsilon>0} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \quad (7)$$

fonksiyonu ile bir paranormlu uzayıdır.

İspat: $g_{\theta,f}$ fonksiyonunun tanımından $g_{\theta,f}(a) = g_{\theta,f}(-a)$ ve $g_{\theta,f}(0) = 0$ olduğu kolayca görülür. Ayrıca, (5) denkleminde $g_{\theta,f}(a + b) \leq g_{\theta,f}(a) + g_{\theta,f}(b)$ sağlanır. Eğer $g_{\theta,f}$ fonksiyonunun skalerle çarpımın sürekliliğini sağladığı gösterilirse ispat tamamlanır. Bunun için $m \rightarrow \infty$ iken $g_{\theta,f}(a^{(m)} - a) \rightarrow 0$ ve $|\lambda^{(m)} - \lambda| \rightarrow 0$ özelliklerini sağlayan $(a^{(m)}) \subset \ell_{p,\theta}(f)$ ve $(\lambda^{(m)}) \subset \mathbb{C}$ dizileri verilsin. $g_{\theta,f}$ fonksiyonunun üçgen eşitsizliği özelliğinden

$$g_{\theta,f}(\lambda^{(m)} a^{(m)} - \lambda a) \leq g_{\theta,f}(\lambda^{(m)} a^{(m)} - \lambda^{(m)} a) + g_{\theta,f}(\lambda^{(m)} a - \lambda a) \quad (8)$$

bulunur. $R = \left(\left\| \sup_m |\lambda^{(m)}| \right\| + 1 \right)$ olmak üzere modülüs fonksiyonunun monotonluğu kullanılırsa

$$\begin{aligned}
 g_{\theta,f}(\lambda^{(m)}a^{(m)} - \lambda^{(m)}a) &= \sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{\infty} [f(|\lambda^{(m)}a_k^{(m)} - \lambda^{(m)}a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\
 &= \sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{\infty} [f(|\lambda^{(m)}||a_k^{(m)} - a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\
 &\leq R \sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{\infty} [f(|a_k^{(m)} - a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\
 &= Rg_{\theta,f}(a^{(m)} - a)
 \end{aligned} \tag{9}$$

bulunur. Buradan $m \rightarrow \infty$ iken

$$g_{\theta,f}(\lambda^{(m)}a^{(m)} - \lambda^{(m)}a) \rightarrow 0 \tag{10}$$

olduğu görülür. $m \rightarrow \infty$ iken $|\lambda^{(m)} - \lambda| \rightarrow 0$ olduğundan her $m \in \mathbb{N}$ için

$$|\lambda^{(m)} - \lambda| \leq Q \tag{11}$$

olacak şekilde bir Q doğal sayısı bulunabilir. Keyfi pozitif δ sayısı verilsin. $a \in \ell_{p,\theta}(f)$ olduğundan öyle bir $k_0 \in \mathbb{N}$ vardır öyleki

$$\begin{aligned}
 \sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=k_0}^{\infty} [f(|\lambda^{(m)} - \lambda||a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} &\leq \sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=k_0}^{\infty} [f(Q|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\
 &\leq Q \sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=k_0}^{\infty} [f(|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\
 &< \frac{\delta}{2}
 \end{aligned} \tag{12}$$

olur. Buradan her $m \in \mathbb{N}$ için

$$\sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=k_0}^{\infty} [f(|\lambda^{(m)}a_k - \lambda a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} < \frac{\delta}{2} \tag{13}$$

olduğu elde edilir. Yine f modülüs fonksiyonunun sürekliliğinden $m \rightarrow \infty$ iken

$$\sup_{\varepsilon>0} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{k_0-1} [f(|\lambda^{(m)}a_k - \lambda a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} < \frac{\delta}{2} \tag{14}$$

bulunur. Buradan, (13) ve (14) ifadeleri kullanılırsa $m \rightarrow \infty$ iken

$$g_{\theta,f}(\lambda^{(m)}a - \lambda a) \rightarrow 0 \tag{15}$$

olur. Böylece, (10) ve (15) ifadelerinden $m \rightarrow \infty$ iken

$$g_{\theta,f}(\lambda^{(m)}a^{(m)} - \lambda a) \rightarrow 0 \tag{16}$$

elde edilir. Bu ise $\ell_{p,\theta}(f)$ uzayının $g_{\theta,f}$ fonksiyonu ile birlikte bir paranormlu uzay olduğunu gösterir.

Uyarı 2.1: (7) ifadesiyle verilen $g_{\theta,f}$ fonksiyonunun tanımdaki supremumun ε' nun sonlu bir aralığında alınması yeterlidir. $x > 0$ için $x \rightarrow xe^x$ fonksiyonunun ters fonksiyonu $W(x)$ (Lambert fonksiyonu) olmak üzere

$$g_{\theta,f}(a) = \sup_{0 < \varepsilon < \frac{1}{W(1/e)}} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{\infty} [f(|a_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \quad (17)$$

olur. Burada $W(1/e) \cong 3,57$ şeklindedir (Rafeiro vd, 2018).

Teorem 2.3: $1 \leq p < \infty$ olmak üzere $\ell_{p,\theta}(f)$ uzayı $g_{\theta,f}(a)$ paranormu ile bir tam uzaydır.

İspat: $(a^{(s)})$, $\ell_{p,\theta}(f)$ uzayında keyfi bir Cauchy dizisi olsun. Bu takdirde, her $\tau > 0$ için $s, t \geq n_0$ olduğunda

$$g_{\theta,f}(a^{(s)} - a^{(t)}) = \sup_{0 < \varepsilon < \frac{1}{W(1/e)}} \left(\varepsilon^\theta \sum_{m=1}^{\infty} [f(|a_m^{(s)} - a_m^{(t)}|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} < f(\tau) \left(\frac{1}{W(1/e)} \right)^{\frac{\theta}{1 + \frac{1}{W(1/e)}}} \quad (18)$$

olacak şekilde n_0 doğal sayısı vardır. Buradan, $s, t \geq n_0$ olduğunda

$$|a_m^{(s)} - a_m^{(t)}| < \tau \quad (19)$$

olur. Bu ise her m doğal sayısı için $(a_m^{(s)})$ dizisinin \mathbb{C} uzayında bir Cauchy dizisi olduğunu gösterir. Buradan, $s \rightarrow \infty$ iken

$$a_m^{(s)} \rightarrow a_m \quad (20)$$

olacak şekilde $a_m \in \mathbb{C}$ vardır. $a = (a_m)$ olarak tanımlansın. $a = a^{(s)} + (a^{(s)} - a)$ olduğundan $a \in \ell_{p,\theta}(f)$ olur. Ayrıca, $s, t \rightarrow \infty$ iken

$$g_{\theta,f}(a^{(s)} - a) \leq g_{\theta,f}(a^{(s)} - a^{(t)}) + g_{\theta,f}(a^{(t)} - a) \rightarrow 0 \quad (21)$$

bulunur. Bu $\ell_{p,\theta}(f)$ uzayının üzerindeki paranorm ile bir tam uzay olduğunu gösterir.

Teorem 2.4: f ve h iki modülüs fonksiyonu verilsin. Aşağıdaki kapsamalar sağlanır;

- i) Eğer $\limsup \frac{f(t)}{h(t)} < \infty$ ise $\ell_{p,\theta}(h) \subset \ell_{p,\theta}(f)$.
- ii) $1 \leq p < \infty$ için $\ell_{p,\theta}(h) \cap \ell_{p,\theta}(f) \subset \ell_{p,\theta}(f + h)$.

İspat:

i) Hipotezden, her t pozitif reel sayısı için

$$f(t) \leq Kh(t) \quad (22)$$

olacak şekilde $K > 0$ sayısı vardır. Böylece, $x \in \ell_{p,\theta}(h)$ için

$$f(x_k) \leq Kh(x_k) \quad (23)$$

yazılır. Buradan $\sup_{0 < \varepsilon < \frac{1}{W(1/e)}} \left(\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^{\infty} [f(|x_k|)]^{p(1+\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \leq Kg_{\theta,h}(x) < \infty$ (24)

bulunur. Bu ise $x \in \ell_{p,\theta}(f)$ olduğunu gösterir.

ii) $x \in \ell_{p,\theta}(h) \cap \ell_{p,\theta}(f)$ verilsin. Buradan,

$$\begin{aligned} \sup_{0 < \varepsilon < \frac{1}{W(1/e)}} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [(f+h)(|x_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} &\leq \sup_{0 < \varepsilon < \frac{1}{W(1/e)}} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [f(|x_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \\ &+ \sup_{0 < \varepsilon < \frac{1}{W(1/e)}} (\varepsilon^\theta \sum_{k=1}^\infty [h(|x_k|)]^{p(1+\varepsilon)})^{\frac{1}{p(1+\varepsilon)}} \quad (25) \\ &\leq g_{\theta,f}(x) + g_{\theta,h}(x) \\ &< \infty \end{aligned}$$

elde edilir. Bu ise $x \in \ell_{p,\theta}(f+h)$ olduğunu gösterir.

3. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, $1 \leq p < \infty$ olmak üzere büyük Lebesgue dizi uzayları modülüs fonksiyonu yardımıyla $\ell_{p,\theta}(f)$ uzayına genelleştirilmiş ve bu uzayın temel topolojik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, bazı kapsama özellikleri verilmiştir.

Kaynaklar

Iwaniec, T. ve Sbordone, C., 1992. On the Integrability of the Jacobian Under Minimal Hypotheses. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 119(2), 129-143.

Jain, P. ve Kumari, S., 2012. On Grand Lorentz Spaces and the Maximal Operator. *Georgian Mathematical Journal*, 19, 235-246.

Maddox, I.J., 1986. Sequence Spaces Defined by a Modulus. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 100, 161-166.

Malkowsky, E. ve Savaş, E., 2000. Some λ –Sequence Spaces Defined by a Modulus. *Archiv der Mathematik*, 36(3), 219-228.

Nakano, H., 1953. Concave Modular. *Journal of the Mathematical Society of Japan*, 5, 29-49.

Oğur, O., 2015. A New Double Cesaro Sequence Space Defined by Modulus Functions. *Journal of Applied Functional Analysis*, 10(1), 109-116.

Oğur, O. ve Duyar, C., 2016. On Generalized Lorentz Sequence Space Defined by Modulus Functions. *Filomat*, 30(2), 497-504.

Rafeiro, H., Samko, S., Umarchadzhiev S., 2018. Grand Lebesgue Sequence Spaces. *Georgian Mathematical Journal*, 19(2), 235-246.

Ruckle, W. H., 1973. FK-Spaces in which the Sequence of Coordinate Vectors is Bounded. *Canadian Journal of Mathematics*, 25, 973-978.

Samko, S. ve Umarchadzhiev S., 2017. On Grand Lebesgue Spaces on Sets of Infinite Measure. *Mathematische Nachrichten*, 290, 913-919.

Savaş, E., 1999. On Some Generalized Sequence Spaces Defined by a Modulus. *Indian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 30(5), 459-464.

Wilansky, A., 1964. *Functional Analysis*: New York, Blaisdell.

Kalk-alkalen Musalar Graniti'nin Petrografisi, Jeokimyası ve Yukarıgöçek (Bigadiç-Balıkesir) Ametist Oluşumun Kökeni; Kuzeybatı Anadolu (Türkiye)

Petrography, Geochemistry of the Calc-alkaline Musalar Granite and Origin of the Yukarıgöçek (Bigadiç-Balıkesir) Amethyst Formation; Northwest Anatolia (Turkey)

Hüseyin ŞAHİN^{1,a}, Zafer ASLAN^{*,2,b}

¹Balıkesir Üniversitesi, Dursunbey Meslek Yüksek Okulu, El Sanatları Bölümü, Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programı, 10800, Dursunbey/Balıkesir

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 10145, Altıeyül/Balıkesir

• Geliş tarihi / Received: 03.06.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 17.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 28.09.2020

Öz

Bu çalışmada, Yukarıgöçek (Bigadiç-Balıkesir) köyündeki ametist oluşumları ve bununla ilişkili Musalar Granitinin jeolojisi ve jeokimyasının incelenmesi amaçlanmıştır. Sakarya zonunda bulunan Biga Yarımadası'nda (KB Anadolu) magmatik ve volkanik faaliyetler Oligo-Miyosen döneminde yoğun olarak görülmektedir. Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı şistlerden meydana gelen Fazlıkonağı Formasyonu oluşturmaktadır. Birim, Kretase yaşlı ofiyolitik melanj tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Tüm bu birimler Oligo-Miyosen yaşlı Musalar Graniti tarafından kesilmektedir. Petrografik olarak Musalar graniti orta ve iri taneli, yer yer de poikilitik dokuya sahip olup plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars, biyotit, amfibol ve opak mineral içermektedir. Jeokimyasal olarak, yüksek potasyumlu ve kalkalkalen karakterli olup I-tipindedir. Büyük iyon yarıçaplı element ve hafif nadir toprak elementlerce zengin olup (La/Lu)N 13–34 arasında değişmektedir. Tektonik olarak, çarpışma sonrası volkanik yay granitlerinin özelliklerini göstermektedir. Plütonu oluşturan magma ise litosferik manto kökenli olup kıtasal kabuktan etkilenmiştir. Yukarıgöçek köyü civarında bulunan ametistler ofiyolitik kayaların kırık ve çatlak sistemlerinde 4–5 cm arasında değişen damarlar şeklinde görülmektedir. Kök ve dış kısımları net olarak görülen ametistlerin rengi genellikle açık mor veya liladır. Ametistler jeokimyasal olarak çok az oranda FeO ve MnO içermektedirler. Yapılan sıvı kapanım çalışmalarında homojenleşme sıcaklık değerleri 231 °C ile 278 °C arasında olup ortalama 255 °C'dir. Çalışılan ametist örneklerinin tuzluluk değerleri ile sıvı yoğunluk değerlerinin düşük olduğu ve bunların hidrotermal yol ile oluştukları söylenebilir. Sonuç olarak, Yukarıgöçek köyü ametistleri Musalar granitinin ofiyolitik melanj kesmesi ve beraberinde getirmiş olduğu silisöz zengin sıvı fazı 255 °C'de hidrotermal evrede ofiyolitik melanj içindeki mevcut çatlaklara bırakması ile oluştuğu değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ametist, Balıkesir, Jeokimya, Musalar Graniti, Sıvı kapanım, Yukarıgöçek

Abstract

In this study, it is aimed to investigate the amethyst formations in the village of Yukarıgöçek (Bigadiç-Balıkesir) and, geology and geochemistry of the associated Musalar Granite. The magmatic and volcanic activities in the Biga Peninsula (NW Anatolia), which are found in the Sakarya zone, are intense the Oligo-Miocene period. The basement rocks of the study area is Paleozoic aged Fazlıkonağı Formation. The units are tectonically overlain by an Cretaceous aged ophiolitic melange. All these units are cut by the Oligo-Miocene age Musalar granite. Petrographically, Musalar granite has medium and coarse grains, occasionally poikilitic texture and contains plagioclase, orthoclase, quartz, biotite, amphibole and opaque minerals. Geochemically, it is high-K, calc-alkaline character and I type granitic rocks. It is rich with large Ion Lithophile Element and light rare earth elements, and the value of (La/Lu)N ranges from 13–34. Tectonically, it shows the characteristics of the after collision volcanic arc granites. The magma of pluton is lithospheric mantle origin and has been affected by the continental crust. The amethysts located in around Yukarıgöçek village have a thickness of 4–5 cm diameter in the ophiolitic rocks and are seen as veins. The color of amethysts, the roots and teeth of which are clearly visible, is usually light purple or lilac. Geochemically amethysts contain very few FeO and MnO. In the liquid inclusion studies, the homogenization temperature values are between 231 °C and 278 °C and the average is 255 °C. It can be said that the salinity and liquid density values of the studied amethyst samples are low and they are formed by hydrothermal way. As a result, the amethysts of Yukarıgöçek village could be formed by the cutting of the ophiolitic melange of Musalar granite and the siliceous rich liquid phase comes in the existing cracks in the ophiolitic melange in the hydrothermal phase at 255 °C.

Keywords: Amethyst, Balıkesir, Geochemistry, Musalar Granite, Liquid inclusion, Yukarıgöçek

*^b Zafer ASLAN; zaslan@balikesir.edu.tr, Tel: (0266) 612 14 00, orcid.org/0000-0002-3418-4368

^b orcid.org/0000-0002-9997-1012

1. Giriş

Türkiye tektonik olarak Torid–Anatolid bloğu, Sakarya zonu, İntra–Pontid suture zonu ve Zagros suture zonu olmak üzere dört ana zona ayrılmıştır (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 1a). Sakarya zonu, Torid–Anatolid bloğundan İzmir–Ankara–Erzincan suture zonu ile ayrılmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz, 1990). Sakarya Zonu'nda bulunan Batı Anadolu Bölgesi'nde Paleozoyik'den Pliyosen'e kadar değişik yaşlı metamorfik, magmatik, tortul ve piroklastik kayalar çeşitlerinin tümü bulunmaktadır (Şekil 1b). Tetis Okyanus kabuğunun İzmir–Ankara–Erzincan suture zonu boyunca Sakarya Kıtasının altına dalması ile Üst Kretase'de ofiyolitik kayalar (başlangıç yaklaşık 105 my Okay vd., 2006) ve Eosen sonrası da Torid–Anatolid bloğunun Sakarya kıtası ile çarpışmasına bağlı olarak bölgede Tersiyer yaşlı magmatizma etkin olmuştur (Yılmaz vd., 2001; Okay ve Tüysüz, 1999; Karacık vd. 2008; Aslan vd. 2017). Orta Eosen'den başlayarak Pliyosen'e kadar devam eden bir volkanizma ile bunlara eşlik eden magmatizma bütün Batı Anadolu'da yüzlemler oluşturur (Şekil 1b). Magmatik kayalar tüm birimleri keserek yerleşmiş ve dokanak metamorfik ürünlerini oluşturmuştur. Magmatizma ve volkanizma bölgede çeşitli mineralizasyonların oluşumuna da neden olmuştur (Yiğit, 2009).

Tersiyer magmatizması Batı Anadolu'da doğudan batıya kadar çok geniş alanda yayılım göstermektedir (Ercan vd., 1995; Genç, 1998; Altunkaynak ve Genç, 2008; Okay, 2008). Bu magmatik kayalar Eosen, Oligo–Miyosen ve Miyosen olmak üzere üç ana dönemde oluşmuştur. Eosen döneminde magmatik olarak granitik bileşimli plütonik kayalar bulunurken, volkanitleri ise andezit ve dasitler oluşturmaktadır. Üst Oligosen–Alt Miyosen yaş aralığında volkanik kayalar daha yaygındır ve Biga yarımadasının büyük bir kısmında yüzeyleme vermişlerdir. Andezit, trakiandezit ve bazaltik andezit bileşimli bu kayalar çarpışma sonrası volkanizmanın ürünüdürler (Altunkaynak ve Genç, 2008; Prelevic' vd., 2012; Aslan vd., 2017). Bu dönemde volkaniklere eşlik eden plütonik kayalar da mevcuttur. Bunlardan biri de çalışmanın konusunu oluşturan Musalar Graniti'dir. Bölgedeki son ürün ise orta–üst Miyosen yaşlı magmatizma olup burada asidik karakterli volkanik kayalar daha yaygındır. Kalk–alkalen/alkalen karakterli bu kayalar çarpışma sonrası magmatizmanın son ürünleridir.

Dünyada bilinen en önemli ametist oluşumları Uruguay ve Brezilya'da bulunmaktadır. Türkiye'de ise başta Balıkesir olmak üzere Kütahya, Ordu, İstanbul, Çanakkale, Ankara, Afyonkarahisar'da ametist kristali bulunmaktadır (İçözü, 2001). Günümüzde Türkiye'deki en önemli ametist ocağı Güğü Köyü'nde (Dursunbey–Balıkesir) olup özel bir şirket tarafından işletilmektedir. Mor–lila renklerine sahip kuvars grubu minerallerden olan ametist doğal mücevher taşı grubundan olup yarı kıymetli taşlar sınıfında yer almaktadır. Kimyasal formülü SiO₂ olan ametistlerde bazı elementlerin az miktarda bulunması renk çeşitliliğini artırır. Açık leylaktan koyu mora kadar değişen renk çeşitlilikleri vardır. Fe⁺² ve Fe⁺³ elementleri ametist kristalinin mor renkten başlatıp lilaya kadar renklenmesinde etkili olmaktadır (Cohen ve Hassan, 1974; Balitsky vd., 2000). Farklı ısılarda renk değiştirebilen ametist kristali ısıtıldığında rengi kahverengimsi–sarı renge dönüşebilmektedir. 400–500°C sıcaklık aralığında ametist kahvemsisi–sarı veya kırmızimsi rengini alırken, 575°C üstünde ise rengini kaybederek aytaşı görünümünü almaktadır (Gürbüz, 2007).

Yöredeki magmatizma kalkalkalen özellikte olup genellikle I tipindedir ve volkanik yay granitleri grubunda bulunmaktadırlar. Yitim zonunda oluşan bu kayaların kökenini üst manto ve kabuk bileşimli hibrit magma oluşturmaktadır (Altunkaynak ve Genç, 2008; Karacık vd., 2008). Çalışmanın konusunu oluşturan ve üst Oligosen–alt Miyosen yaşlı Musalar Graniti, İzmir–Ankara–Erzincan suture zonundaki üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalarla sokulum yapmıştır (Şekil 1b). Bunun sonucu olarak ofiyolitik kayaların çatlaklarında mor veya lila renkli ametist kristalleri oluşmuştur. Bugüne kadar granit ve çevre kayacı olan ofiyolitlerden genel jeolojik çalışmalar yapılmış olmasına rağmen jeokimyasal ve petrolojik çalışmalar yapılmamıştır. Ayrıca mevcut ametistlerin özellikleri ve oluşum mekanizması ile ilgili bir çalışmada yoktur. Bu çalışma ile Musalar granitinin petrografisi, jeokimyası ve petrolojisi tespit edilmiş, ayrıca yan kayalarla olan dokanak ilişkileri aydınlatılmıştır. Granit – ofiyolit kayalar dokanaklarında gözlenen ametistlerin sıcaklıkları, analizler sonucu tespit edilerek oluşum mekanizması aydınlatılmıştır.

2. Bölgesel Stratigrafi

Türkiye, Geç Kretase–Erken Tersiyer'de Gondwana'nın Laurasia ile çarpışması sonucu oluşan Alp orojenik kuşağının bir parçasıdır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Balıkesir şehrinin 81

km güneydoğusunda yer alan çalışma alanı Biga Yarımadası'nda (KB Türkiye) bulunmaktadır. Biga Yarımadası'ndaki temel kayalar Fındıklı, Tozlu, Sarıkız ve Sutüven formasyonlarından oluşan, orta-yüksek metamorfik dereceli Paleozoyik yaşlı Kazdağ Masifi'dir (Dönmez vd., 2005). Kazdağ Masifi, üst Paleozoik yaşlı düşük dereceli metamorfik Kalabak birimi tarafından uyumsuz bir şekilde üstlenilir. Bu birim alttan üste doğru; Orhanlar grovağı, Mehmetalan Formasyonu, Çal Formasyonu, Camialan Kireçtaşı ve Karakaya Formasyonundan oluşan Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi tarafından üzerlenir (Duru vd., 2004; Pehlivan vd., 2007; Akay, 2009). Triyas yaşlı Balya Formasyonu Karakaya Kompleksinin üstüne tektonik olarak gelir. Platform kireçtaşına sahip Geç Jura-Alt Kretase Bilecik Formasyonu tüm birimleri örter (Pehlivan vd., 2007) (Şekil 1b). Üst Kretase'de İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu (İAESZ) boyunca ofiyolitik kayalar oluşmuştur. Bunlar tektonik dokanıklı olup irili-ufaklı bloklar halinde serpantinleşmiş ultramafit-serpantinit, spilitik bazalt, çamurtaşı, tuf, kilitaşı, rekristalize kireçtaşı, gabro, kumtaşı, aglomera gibi kayaç blokları içermektedir (Duru vd., 2004; Pehlivan vd., 2007). Tersiyer döneminde volkanizma ve magmatizma egemen olup Eosen, Oligosen ve Miyosen dönemlerinde volkanik kayalar ve bunlar ile ilişkili plütonik kayalar tüm Biga Yarımadası'nda (KB Türkiye) yaygındır (Altunkaynak, 2007). Yöredeki en genç birim Kuvaterner alüvyon.

3. Materyal ve Yöntem

Çalışılan alanın ayrıntılı olarak 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanından 50 adet sistematik örnek alınmıştır. Hazırlanan ince kesitler Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarındaki Olympos CX31P marka polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflandırılmıştır. Petrografik incelemeler ile seçilen granit için 7 adet örneğin jeokimyasal (ana, iz ve nadir toprak element) analizleri ACME Analytical Laboratuvarında (Vancouver-Kanada) yaptırılmıştır. Ana ve iz element analizleri Inductively Coupled Plasma (ICP) yöntemiyle, nadir toprak elementleri ise Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) yöntemiyle analiz edilmiştir. Ana ve iz elementleri için 0,2 gr toz örnek 1.5gr LiBO₂'la karıştırılmış ve %5 HNO₃ içinde çözündürülmüştür. Nadir toprak elementler için de 0.25 gr toz örnek dört değişik asitte çözündürülerek analiz edilmiştir. Ana elementler

analizinde SO-18/CSC, iz element analizinde SO-18 standartları kullanılmış ve ana elementler % ağırlık, iz ve nadir toprak elementler ise ppm olarak ölçülmüştür. Araziye çatlak sistemleri dikkate alınarak seçilen beş adet ametist örneğinin sıvı kapanım analizleri ise İstanbul Teknik Üniversitesi Sıvı Kapanım Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Örneklerden her iki tarafı parlatılmış, 50-100 mikron kalınlığında ince kesitler hazırlanmış ve mikrotermometrik ölçümler Olympos BX51 mikroskoba monte edilmiş Linkam THMSG-600 ve MDSG-600 ısıtma ve soğutma sistemlerinde yapılmıştır. Isıtma ve soğutma düzeneği, Leoben Üniversitesi tarafından hazırlanmış olan sentetik sıvı kapanım standartları kullanılarak kalibre edilmiştir. Standartlardan yapılan ölçümlerde saf suyun homojenleşme sıcaklığı (ThH₂O) ± 2,0 °C, son buz ergimesi ise (Tm-H₂O) ± 0,1 °C; H₂O-NaCl standardının ötektik sıcaklığı (Te) ± 0,2 °C doğrulukta; H₂O-CO₂ standardının Te-CO₂ değeri ± 0,1 °C, Tm-CITh ise ± 0,2 °C doğrulukta ölçülmüştür. Bir ametist örneğine ait ve iki noktadan yapılan mineral kimyası analizleri ise Minnesota Üniversitesi'nde (ABD) JEOL JXA-8900 elektron mikroprobu kullanılarak karbon kaplı cilalı bölümler üzerinde yapılmıştır. Tek tek elemanlar için sayım süresi 20 sn ve numune akımı 20 nA kullanılmıştır.

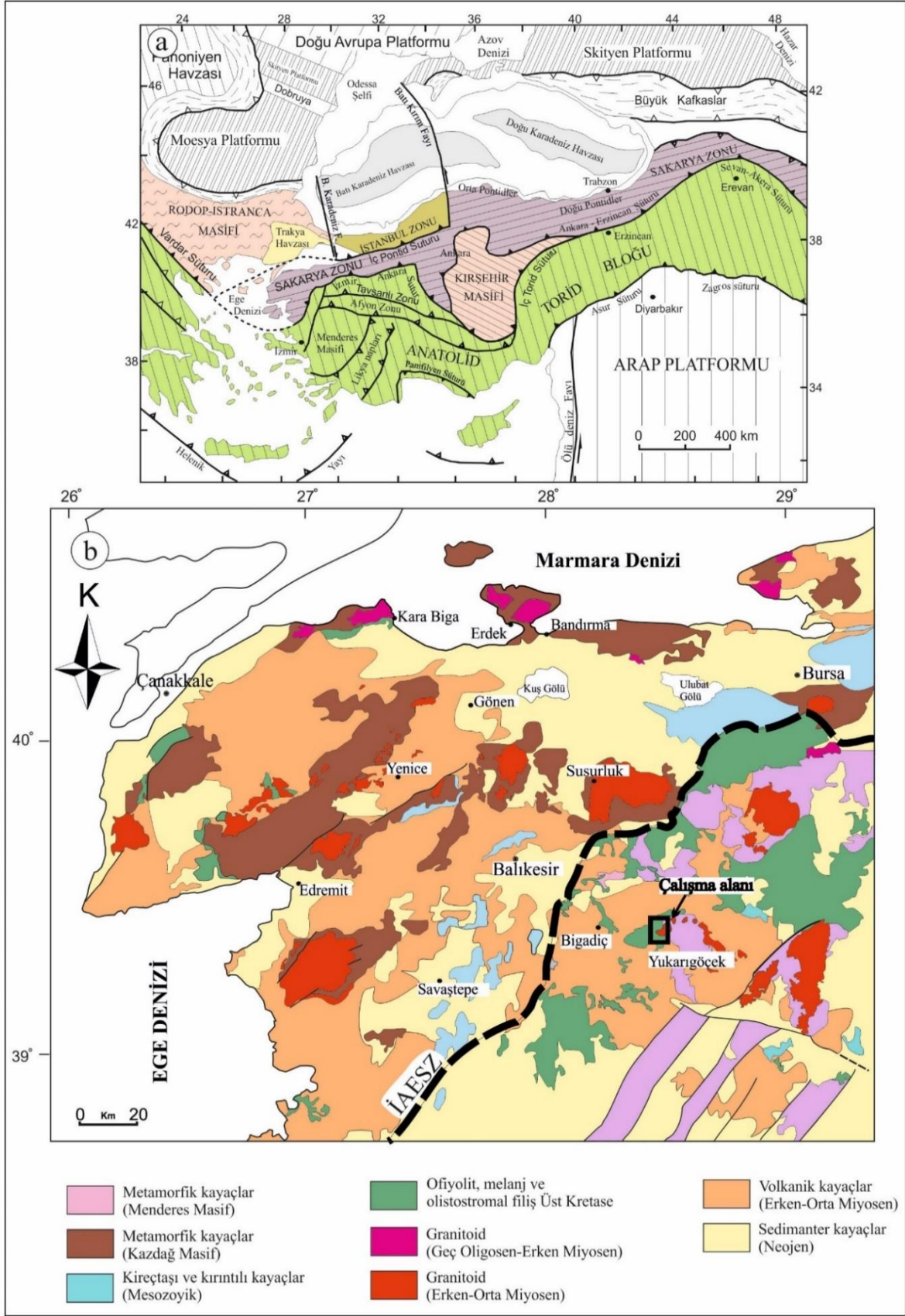
4. Bulgular

4.1. Litoloji ve Petrografi

İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu'nun hemen güneyindeki bulunan çalışma alanı ve çevresinde metamorfikler, ofiyolitik kayalar ve Tersiyer magmatik kayaları bulunmaktadır (Şekil 2). İnceleme alanında temelini Paleozoyik yaşlı Fazlıkonağı Formasyonu oluşturmaktadır. İnceleme alanında az bir kısımda mostra veren birim, düşük metamorfik dereceli olup serizitist, kloritist ve mercekler halinde mermerlerden oluşmaktadır. Şistler genellikle açık kahve yer yer koyu gri, yeşilimsi renk tonlarındadır. Bol foliasyonlu olup, oldukça fazla kırılmaya uğramışlardır. Manganlı tepenin kuzeybatısında gözlenen mercek şeklindeki mermerler ise kirli beyaz ve açık bej renkli olup bol kırık yüzeyleri içermektedir. Birim ofiyolitik melanj ile tektonik dokanıklı olup dokanak boyunca silisleşmeler egemen olarak gözlenmektedir. Fazlıkonağı Formasyonuna ait lepidogranoblastik doku gösteren şist örneklerinin mineral parajenezi; plajiyoklaz+ klorit+ serizit+ kuvars olarak tespit edilmiştir. Ofiyolitik melanj tabanda serpantinlerle başlayıp üste doğru radyolarit ve

çört bloklarına geçmektedir. Birim içerisinde farklı boyutlarda serpantinleşmiş kayalar, spilitikmetabazalt, gabro, radyolarit-çamurtaşı,

kiltaşı-kumtaşı, kireçtaşı, şist gibi kayaç blokları bulunmaktadır (Yüzer ve Tunay, 2012).

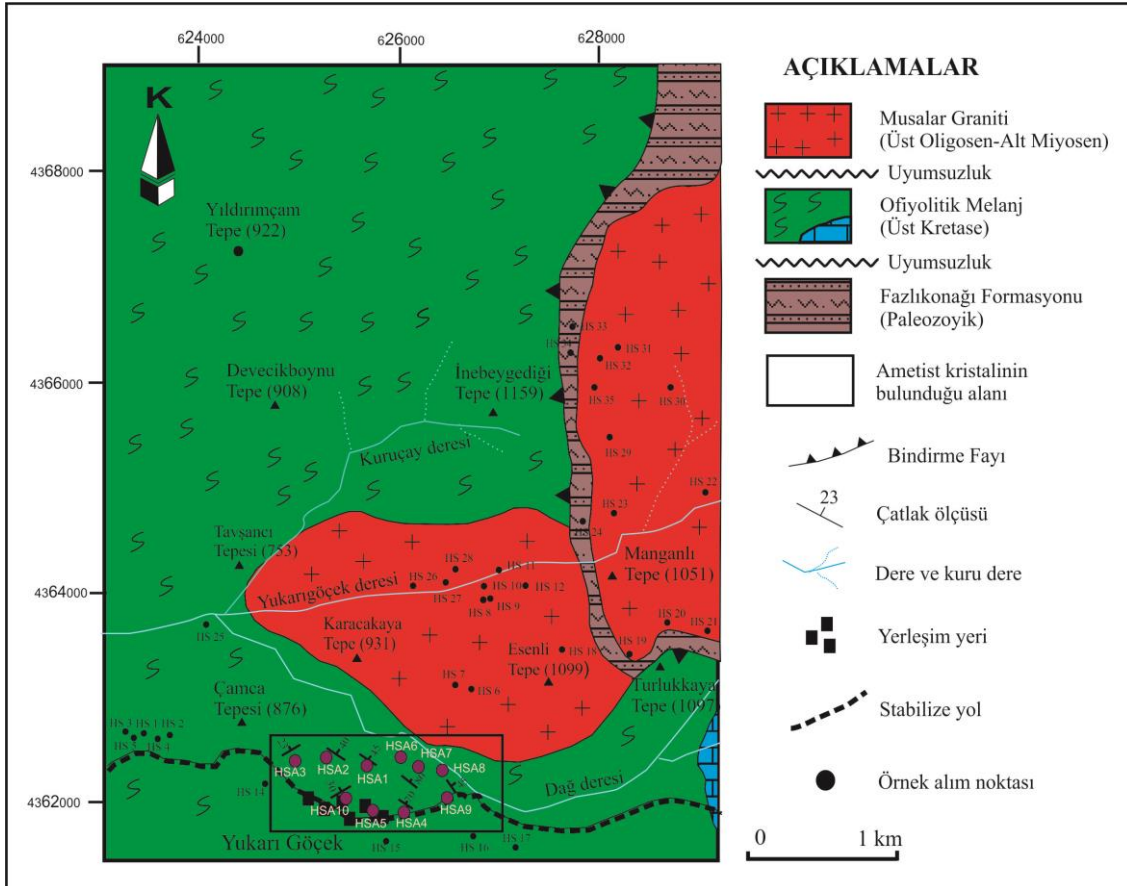


Şekil 1. (a) Türkiye tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999), (b) KB Anadolu'nun genel geolojisi haritası (Yılmaz vd., 2000; Okay ve Satır, 2006'dan düzenlenerek). İAESZ; İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu

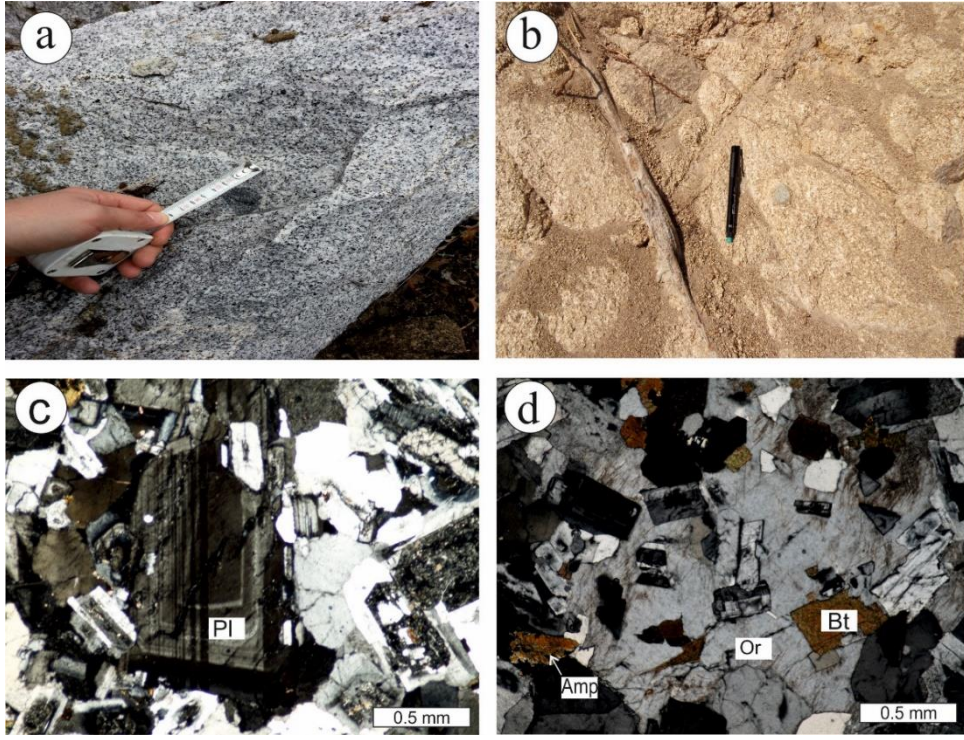
Çalışma alanında ise bu birimlerden yalnızca serpantin ve metabaziklere rastlanılmıştır. Yukarıgöçek köyü civarında bulunan yeşil tonlardaki serpantinler oldukça ayrılmış olup kırıklı bir yapıdır. Metabazik birimler ise çalışma alanının kuzey kesiminde izlenmektedir. Bunlar koyu gri veya siyahımsı gri renklerde olup serpantinlere göre daha sağlam görünüşlüdür. Musalar Graniti ile olan dokanağı boyunca silisleşmeler yoğun olarak izlenmiştir. Birim içerisinde Yukarı Göçek köyünün hemen kuzeyinde damarlar şeklinde ametist oluşumları gözlenmiştir.

Toplamda 16 km² ve elipsoidal şekle sahip olan Musalar Granitinin yaklaşık 4 km²lik alanı çalışma alanında bulunmaktadır. Birim, granit ve granodiyorit karakterli olup KD-GB doğrultuludur ve diğer birimleri keserek yerleşmiştir. Açık gri, gri ve bej renkli Musalar Graniti, oval şekilli ve 1-4 cm boyutlarında mafik magmatik anklavlar içermektedir (Şekil 3a). Granitik sokulum kayacı 1-5 cm boyutlarındaki kuvars damarları ve apilit daykları tarafından kesilmiştir. Kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahip olan Musalar Graniti'nde arenalaşma (Şekil 3b) ve hidrotermal ayrışma gözlenmektedir. Petrografik incelemede Musalar graniti orta ve iri taneli, yer

yer de poikilitik dokuya sahiptir. Petrografik olarak orta ve iri taneli, yer yer de poikilitik dokuya sahiptir. Ana mineral olarak plajiyoklaz, ortoklas, kuvars, biyotit, amfibol ve opak oksit, tali mineral olarak da zirkon, sfen ve apatit içermektedir. Öz ve yarıöz şekilli plajiyoklazların anortit içeriği %30-38 arasında olup cinsi andezindir. Albit ikizi yanı sıra büyük bir kısmı halkalı zonlu yapı sunmaktadır (Şekil 3c). Kil ve serizit şeklinde ayrışma gösteren plajiyoklaz mineralleri kırıklı bir yapıya sahip olup kırıklar genellikle uzun eksene dik yöndedir. Öz şekilsiz ve iri kristaller halindeki ortoklazda ayrışma yoğun olup kil şeklindedir. Poikilitik doku (Şekil 3d) gösteren ortoklazlar amfibol, biyotit ve plajiyoklaz inklüzyonları içermektedir. Öz şekilsiz kuvars kristalleri kırıklı bir yapıya sahiptir. Uzun kristaller halindeki biyotit açık kahve-koyu kahve renk pleokroizması göstermektedir. Opak mineral inklüzyonları içeren biyotitler ayrışmadan dolayı kloritleşmiştir. Açık yeşil-yeşil pleokroizma renkleri gösteren amfiboller prizmatik kristaller halinde olup yer yer parçalanmıştır. Amfibol oranı güneyden kuzeye doğru azalmaktadır. Düzensiz geometrik şekiller halinde olan opak mineraller özellikle biyotitlerle beraber bulunmaktadır. Klorit, serizit ve kil ayrışma mineralleri olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası



Şekil 3. Musalar Granitine ait. (a) Mafik magmatik anklavlar, (b) Arenalaşma, (c) Halkalı zonlu yapı gösteren plajiyoklaz minerali, (d) Ortoklaz içinde enklüzyon olarak bulunan amfibol, biyotit ve plajiyoklaz minerallerinin oluşturduğu poikilitik doku. Pl: plajiyoklaz, Or: ortoklaz, Bt: biyotit, Amp: amfibol

5. Tartışma

5.1. Musalar Graniti'nin Jeokimyası

Musalar Granitine ait 7 adet örneğin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizlerinin sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Örneklerde SiO_2 % 66–76, K_2O % 3.0–4.2, Na_2O % 3.0–4.3, Al_2O_3 % 12.6–15.9, Mg# 21–33 ve $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranları 0.76–1.30 arasında değişmektedir (Tablo 1). TAS sınıflama diyagramına göre Musalar granitine ait örnekler genellikle granodiyorit, bazı örnekler ise granit alanında yer almaktadır (Şekil 4a). Jeokimyasal adlandırma diyagramında elde edilen sonuçlar petrografik verilerle elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Alkali–subalkali ayrımı dikkate alındığında ise örneklerin subalkali karaktere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4a). Granitik kayaç örnekleri $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{FeO}-\text{MgO}$ üçgen (AFM) diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971) kalk–alkali alanda bulunmaktadır (Şekil 4b). Sokulumu ait örnekler SiO_2 'ye karşı K_2O diyagramında genellikle orta–yüksek potasyumlu kalk–alkalen seri alanındadır (Şekil 4c).

Musalar granitine ait örneklerin A/CNK değerleri 1–1.1 arasında olup A/NK – A/CNK diyagramlarında (Maniar ve Piccoli, 1989) I–tipi

ve peralümin karakterli olduğu görülmektedir (Şekil 4d). Çalışılan granite ait kayaçlarda SiO_2 'ye karşı ana ve iz elementlerdeki değişim diyagramları Şekil 5'de verilmiştir. SiO_2 'ye karşı MgO, CaO, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 ve Sr değerlerinde kuvvetli negatif, P_2O_5 , Nb ve Ba değerlerinde ise hafif negatif ilişki görülürken yalnızca K_2O değerinde pozitif ilişki görülmektedir (Şekil 5). Gözlenen bu negatif veya pozitif eğilim magmadaki kristal fraksiyonlaşmasına işaret etmektedir. SiO_2 'ye karşı Al_2O_3 , CaO değerlerindeki değişimler plajiyoklazların, MgO değerinin azalması amfibolun, Fe_2O_3 'ün değişimi ise amfibol ve Fe–Ti oksitlerin kristalleşmesine işaret etmektedir. Böylece sokulumun gelişiminde plajiyoklaz, biyotit ve amfibol ayrışmasının etkili olduğu söylenebilir (Thirlwall vd., 1994). SiO_2 'ye karşı TiO_2 ve P_2O_5 değerlerinin azalması titanomanyetit ve apatitin kristallenmesi ile ilişkilidir. Musalar granitine ait kayaçların ilksel Manto'ya göre normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilmiş element dağılım diyagramında, Büyük İyon Yarıçaplı Elementler (BİYE; K, Sr, Ba ve Rb), Ce ve Th açısından zenginleşme, bazı Yüksek Çekim Alanlı Element (YÇAE; Y ve Ti), Ta ve Nb açısından ise fakirleşme görülmektedir (Şekil 6a). Dağılımda belirgin Nb anomalisi yitim ile ilişkili olup apatit, Fe–Ti oksit minerallerin ayrışmasını, Th zenginleşmesi de magmanın

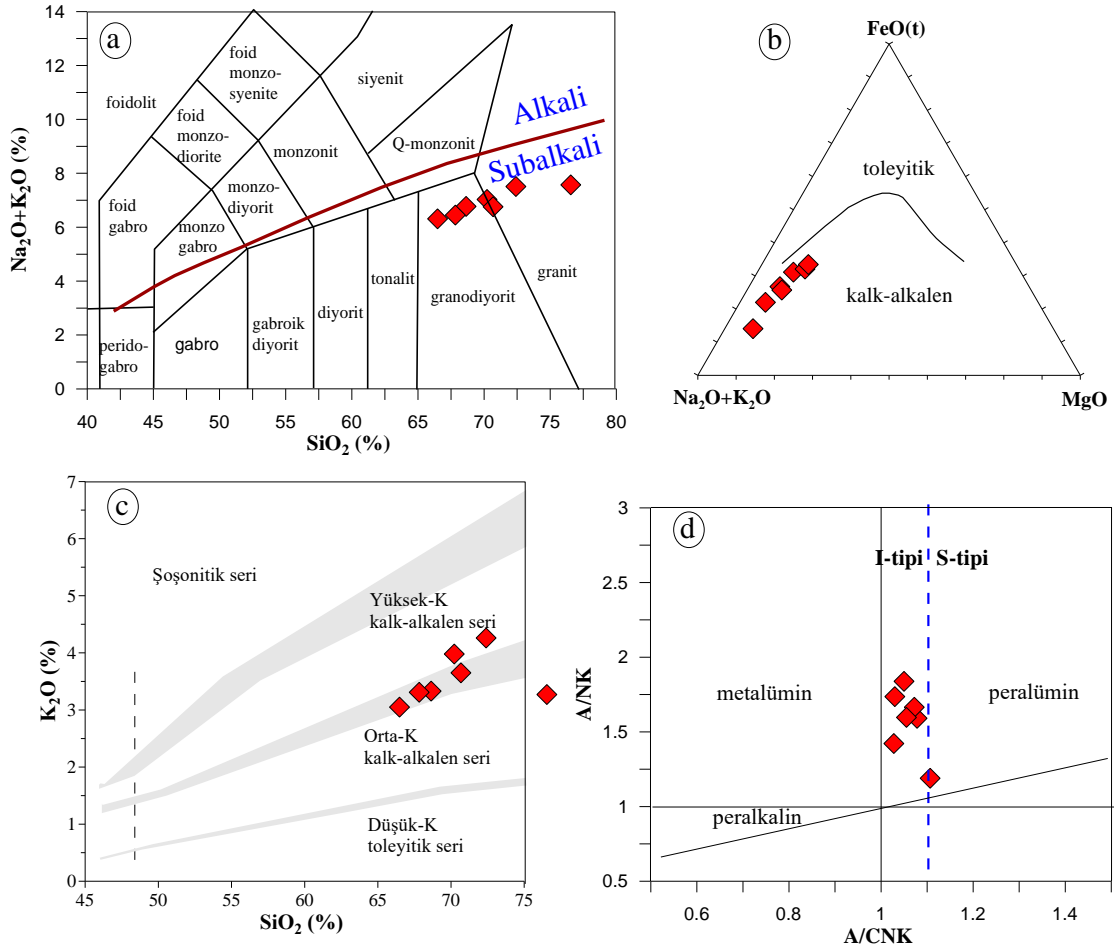
kabuk etkisini ifade etmektedir. Granitik kayaçların Kondrit'e (Sun ve McDonough, 1989) göre normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımlarında, hafif nadir toprak elementlerce zenginleşme, ağır nadir toprak elementlerce daha az zenginleşme gözlenmektedir (Şekil 6b). Musalar granitine ait örneklerde $(La/Lu)_N$ değerleri 2.74–12.82 arasında değişirken $(La/Sm)_N$ 3.11–4.69 ve $(Gd/Lu)_N$ 0.74–1.84 arasında değişmektedir. Hafif nadir toprak

elementlerin ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleşmesi incelenen granitin kalk-alkali özellikte olduğunu göstermektedir (Wood ve Joron, 1979; Wilson, 1989). Eu negatif anomali göstermekte olup plajiyoklaz'ın ayrılaşmasıyla ilişkilidir. Nadir Toprak elementlerinin konkav biçimli dağılımı plajiyoklaz ve hornblend minerallerinin ayrılaşmasını işaret etmektedir (Thompson vd., 1984; Thirlwall vd., 1994).

Tablo 1. Musalar sokulumuna ait ana oksit (% ağırlık), iz ve nadir toprak element (ppm) analiz değerleri.

	HS20	HS22	HS23	HS29	HS30	HS31	HS32
SiO ₂	70.22	68.64	72.4	67.83	70.68	66.48	76.55
Al ₂ O ₃	14.84	15.43	14.16	15.19	14.48	15.93	12.63
Fe ₂ O ₃ *	2.89	3.55	2.32	3.7	2.67	3.88	1.36
MgO	0.87	1.07	0.7	1.38	0.94	1.41	0.71
CaO	2.44	2.82	2.1	3.3	2.56	3.58	0.44
Na ₂ O	3.05	3.44	3.25	3.14	3.11	3.26	4.3
K ₂ O	3.98	3.33	4.26	3.31	3.65	3.05	3.27
TiO ₂	0.34	0.36	0.25	0.48	0.3	0.48	0.16
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.07	0.13	0.08	0.15	0.03
MnO	0.05	0.04	0.05	0.07	0.06	0.09	0.02
LOI	1	1	0.3	1.3	1.3	1.5	0.4
TPLM	99.80	99.79	99.86	99.83	99.83	99.81	99.87
Ba	728	934	426	678	633	777	776
Co	3.7	5.1	3.1	5.7	3.8	5.6	0.9
Cs	6.6	5.4	6.8	3.1	5.2	6.6	2.7
Ga	18.7	18.1	16	17.4	15.6	17.6	12.4
Hf	4.4	5.5	4.7	4.3	3.3	4.3	4.6
Nb	9.6	10.5	12.8	10.1	9.4	10.8	9.2
Rb	150.8	124.4	180.2	117.8	134.7	114.3	80
Sr	233	291.1	177.4	279.4	222.7	344.8	42.8
Ta	0.8	0.9	3.5	0.7	1.6	1	0.5
Th	15.6	12.3	19.6	9.1	18.4	16.4	13.5
U	3.4	3	13.5	3.3	6.3	3.5	2.8
V	29	43	30	54	30	47	8
Zr	154	182.6	96.5	156.2	115.5	160.8	146.8
Y	18	20.6	42.8	19.5	24.1	23.8	31.9
La	34.7	32	22.5	23	28.7	39.9	33.3
Ce	64.9	58.4	46.9	45.8	54.5	70.6	66.9
Pr	7.35	6.8	5.42	5.01	5.91	7.99	7.21
Nd	26.5	25.8	20	20.6	19.9	29.3	24.9
Sm	5.5	4.84	4.67	3.92	4.04	5.49	5.25
Eu	0.73	1.13	0.52	0.94	0.76	1.06	0.67
Gd	4.3	3.9	5.25	3.87	3.85	4.86	5.22
Tb	0.65	0.65	0.99	0.64	0.62	0.73	0.84
Dy	3.59	3.47	6.65	4.18	3.93	4.07	5.28
Ho	0.58	0.68	1.46	0.76	0.76	0.75	1.12
Er	1.73	2.02	4.32	1.91	2.62	2.48	3.45
Tm	0.27	0.31	0.8	0.33	0.39	0.37	0.49
Yb	1.78	1.98	5.49	2.23	2.6	2.38	3.17
Lu	0.29	0.35	0.88	0.27	0.41	0.36	0.51
W	3.1	19	0.5	0.5	1.6	1.5	1.1
Be	6	4	5	4	10	1	1

Toplam demir: Fe₂O₃(t); LOI: Ateşte su kaybı

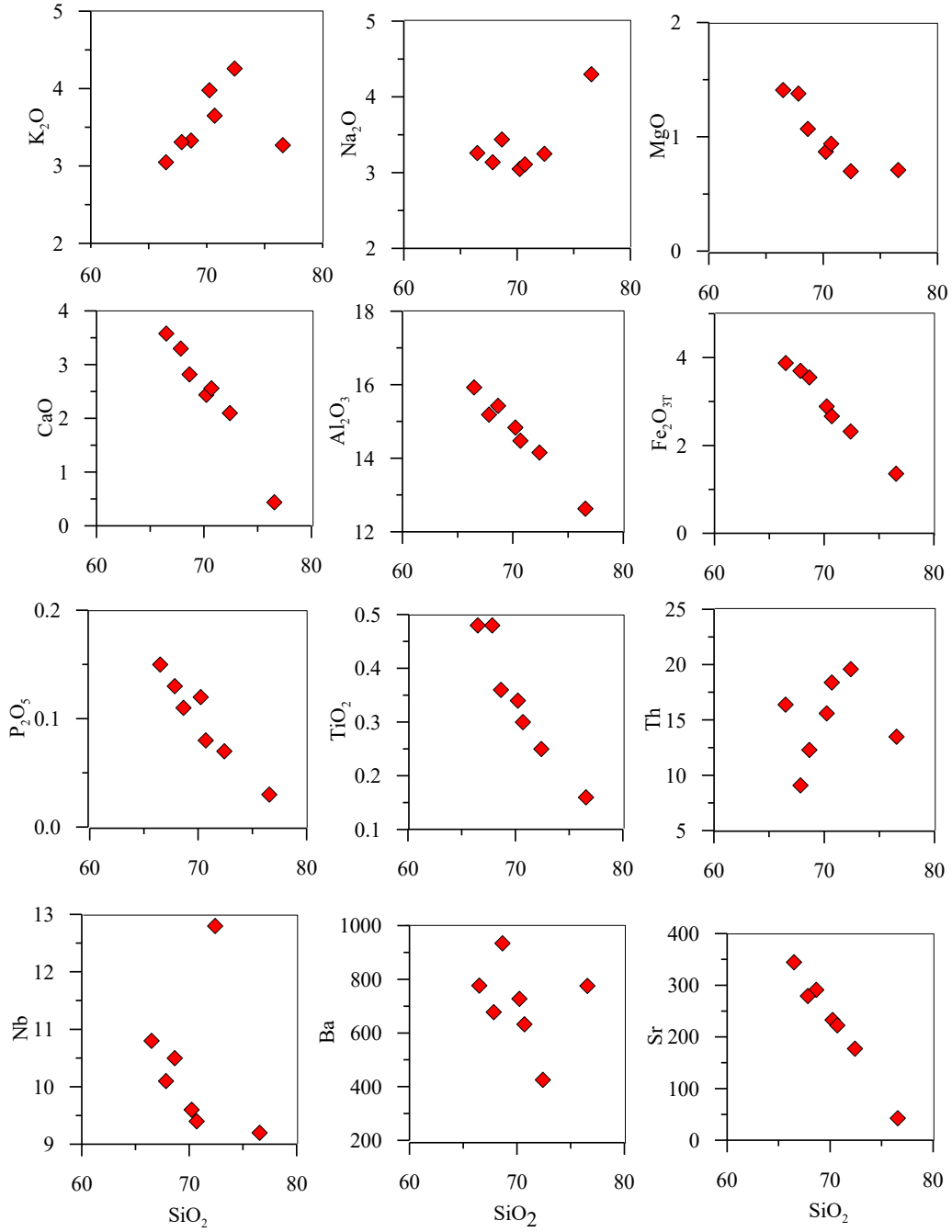


Şekil 4. Musalar Granitine ait; (a) SiO_2 (%)'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (%) (TAS) diyagramı (Middlemost, 1994) (Alkali–subalkali çizgisi, Miyashiro, 1978'e göredir), (b) AFM diyagramı (kalkalkali–toleyitik çizgisi Irvine ve Baragar, 1971'e göredir), (c) SiO_2 (%)'e karşılık K_2O (%) diyagramı (Le Maitre vd., 2002), (d) A/NK karşı (A/CNK) diyagramı (Maniar ve Piccoli, 1989) $\text{A/CNK}=\text{molar Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$.

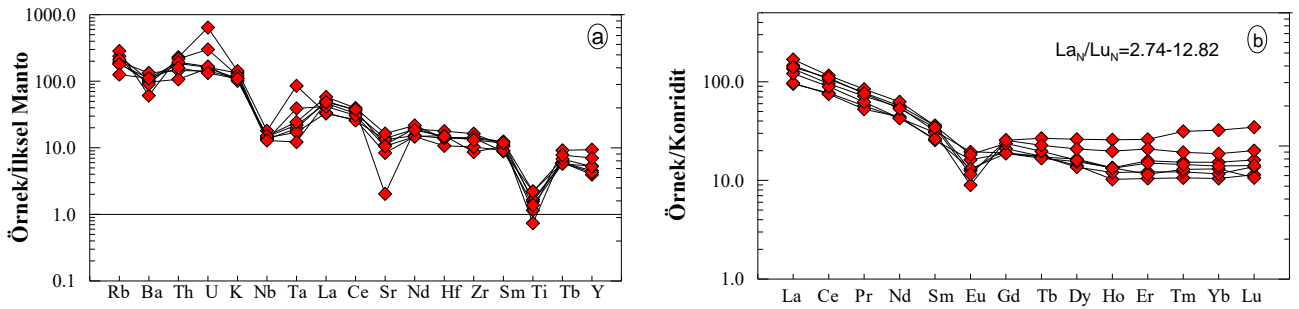
Plutonu oluşturan kayalar tektonik ortam diyagramlarında değerlendirildiğinde Rb–(Y+Nb) diyagramlarında (Pearce vd.,1984) örneklerin çarpışma sonrası volkanik yay granitleri alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 7a). Ayrıca, örnekler Zr (ppm)'ye karşı Nb_N/Zr_N diyagramında (Şekil 7b) yitim ile ilişkili granitoidler kısmında, R1'e karşı R2 diyagramında (Şekil 7c) çarpışma sonrası yükselmeye bağlı alanda ve Th/Yb – La/Yb diyagramına ise kıtasal kenar yayında buldukları gözlenmektedir (Şekil 7d). Bütün bu veriler ışığında granitik kayacın tektonik olarak çarpışma sonrası oluştuğunu ve volkanik yay ile ilişkili olduğunu söyleyebiliriz.

Th/U 'ya karşı Th ve Th/U 'ya karşı U diyagramlarında (Şekil 8 a, b) Musalar Graniti'ne

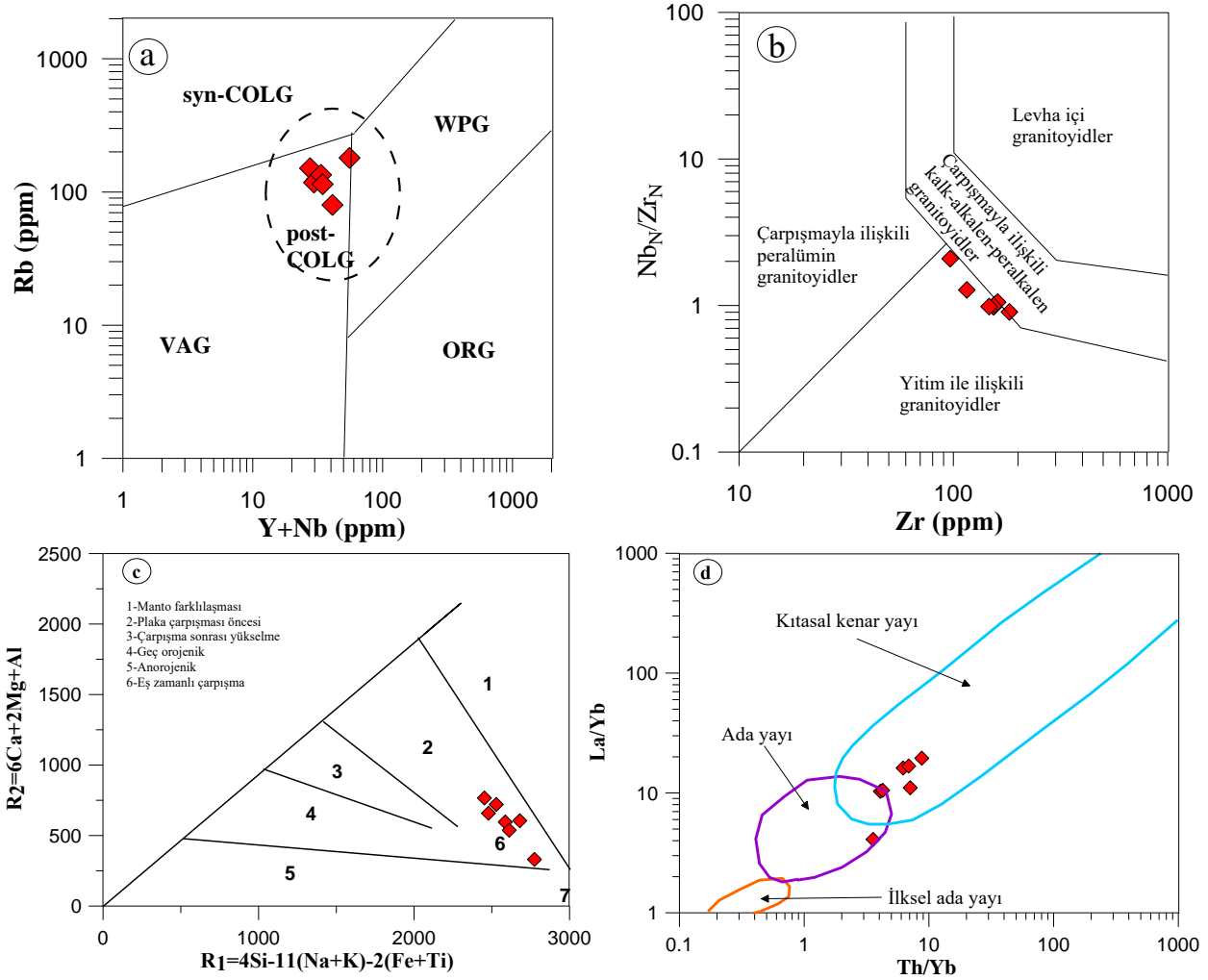
ait örneklerinin orta–alt kıtasal kabuktan türemiş ergimenin ürünleri olarak tespit edilmiştir. Nb/La 'ya karşı La/Yb diyagramında (Şekil 8c) örneklerin ortalama alt kabuk bileşimine benzer olduğu ve litosferik manto bileşimine karşılık geldiği görülmektedir. Nb/Th 'a karşı Nb diyagramında (Şekil 8d) ise örnekler yay volkanitleri sınırında yer almaktadır. Bu veriler Musalar granitini oluşturan magmanın orta–alt kıta kabuk etkileşimli oluştuğunu göstermektedir. Batı Anadolu'da oluşan diğer plütonlar incelendiğinde de çarpışma sonrası ve orta kıtasal kabuk etkileşimli oluştuğu tespit edilmiştir (Altunkaynak ve Yılmaz 1998; Delaloye ve Bingöl, 2000; Özgenç ve İlbeyli, 2008; Altunkaynak vd., 2012).



Şekil 5. Musalar graniti ait kayaçların SiO₂ (%)’e karşı ana oksit (%) ve iz element (ppm) değişim diyagramları



Şekil 6. Musalar Granitine ait; (a) İlksel manto’ya göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramı, (b) kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılım diyagramı (Normalize değerleri, Sun ve McDonough,1989’ dan alınmıştır).

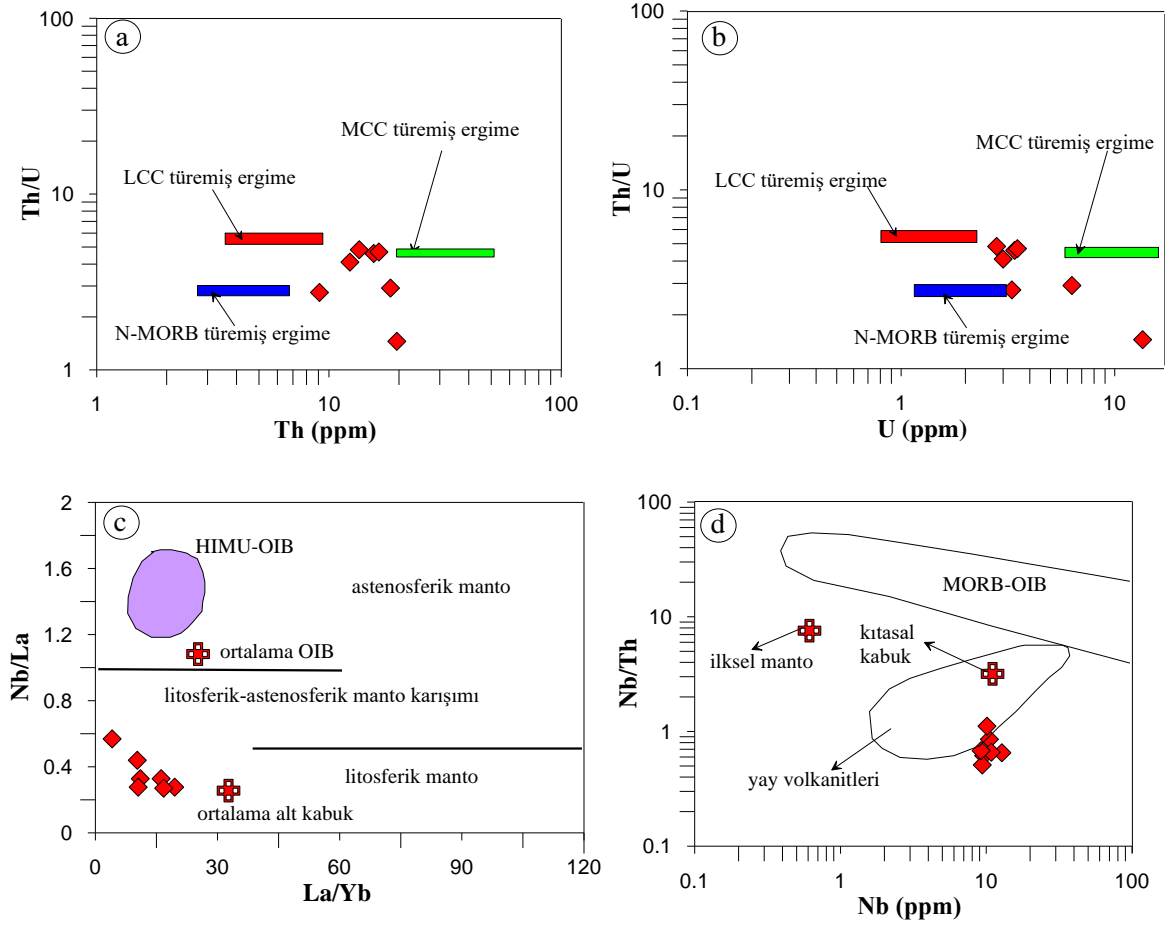


Şekil 7. Musalar granitine ait tektonik diyagramlar; (a) (Y+Nb) (ppm) karşı Rb (ppm) (Pearce vd., 1984), (b) Zr (ppm) karşı NbN/ZrN (Thiéblemont ve Téguey, 1994), (c) R1–R2, (d) Th/Yb' ye karşı La/Yb diyagramları (Batchelor ve Bowden, 1985). VAG: Volkanik yay granitleri, syn–COLG: Çarpışma ile eş yaşlı granitler, post–COLG: Çarpışma sonrası granitleri, WPG: Levha–içi granitleri, ORG: Okyanus sırtı granitleri

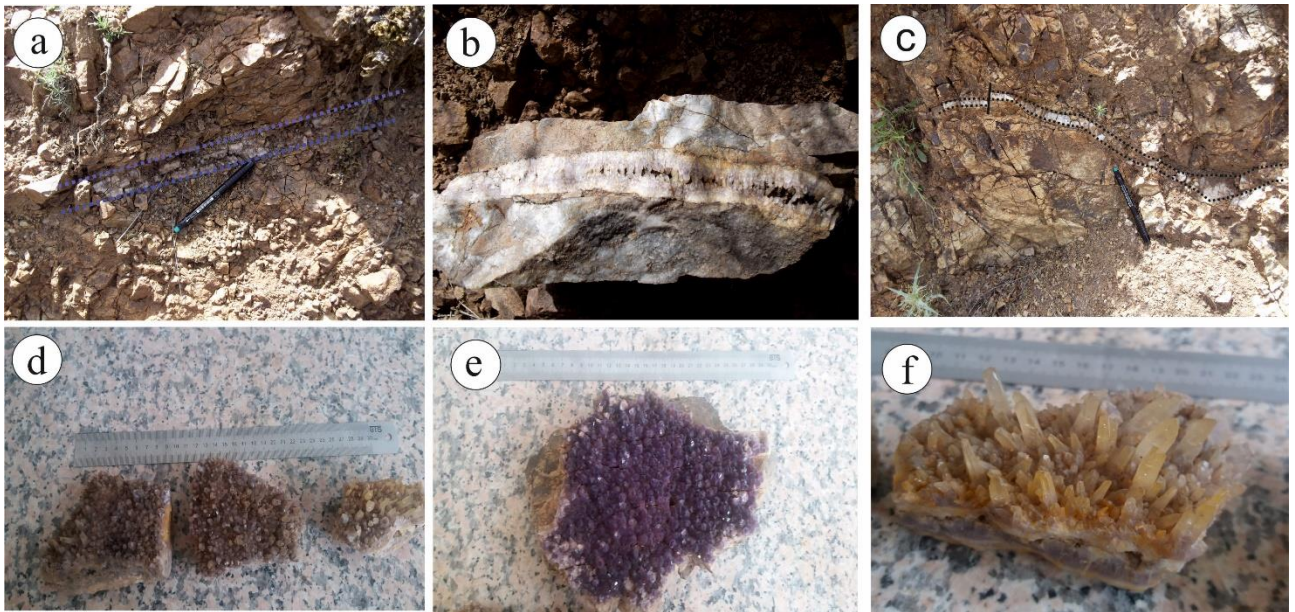
5.2. Yukarıgöçek Köyü Ametistlerinin Genel Özellikleri

Türkiye'deki ametist kristalleri pek az araştırmacının çalışma konusu olmuştur (Birsoy, 1983, 1987; İçöz, 2001; Hatipoğlu, 2003; Gürbüz, 2007). Yukarıgöçek köyü ve civarındaki ametistler ofiyolitik kayaların kırık ve çatlak sistemlerinde 4–5 cm arasındaki kalınlıklarda olup damarlar şeklinde görülmektedir (Şekil 9 a,b,c). Ofiyolitik kayalardaki çatlak sistemleri genel olarak K40B 55GB yönündedir. Ametistlerin kök ve dış kısımları net olarak görülmektedir (Şekil 9c). Çatlak aralıklarının küçük olmasından dolayı kristallenme boyutlarında küçük olarak gelişmiştir.

Kristal rengi genellikle açık mor veya lila (Şekil 9 d, e) şeklinde olup yüzeyde bulunan kristallerin çeşitli fiziki şartların etkisiyle mor renginin kısmen veya tamamen kaybetmiş olma olasılıkları da mevcuttur (Şekil 9 f). Yukarıgöçek köyünde iri ametist kristaller az oranda bulunmakta olup bunlar içerdikleri kapanımlar nedeniyle saydam ve temiz değildir. Balıkesir bölgesindeki ametist kristallerinin mor rengi almasında Fe elementi ile birlikte Mn ve Sb elementi de etkili olmuştur (Birsoy, 1987). Ayrıca düşük oranlı radyasyonun da renklenmede etmen olduğu düşünülmektedir (Birsoy 1987; Gürbüz 2007).



Şekil 8. Musalar Granitinin; (a) Th/U'ye karşı Th, (b) Th/U'ye karşı U, (c) Nb/La'ye karşı La/Yb, (d) Nb/Th'ye karşı Nb diyagramları. LCC, alt kıtasal kabuk; MCC, orta kıtasal kabuk. Alt ve orta kıtasal kabuk değerleri Rudnick ve Gao, 2004, MORB değerleri Sun ve McDougall 2008, üst kabuk değerleri Taylor ve McLennan 1985, İlksel manto değerleri Hofmann, 1986, kıtasal kabuk, okyanus ortası sırtı bazaltları (MORB), okyanus adası bazaltları (OIB) ve yay volkanitlerine ait değerler Schmidberger ve Hegner (1999), ortalama OIB değerleri Fitton vd., 1991 ve ortalama alt kabuk değerleri Chen ve Arculus, 1995'den alınmıştır. Astenosferik, litosferik ve mixed manto arasındaki sınırlar Smith vd., 1999 ve HIMU-OIB alanı Weaver vd., 1987'den alınmıştır



Şekil 9. Yukarıgöçek ametist oluşumları; (a) Çatlak sistemi içerisinde gelişen küçük boyutlu ametist, (b) Çatlak sistemi içerisinde gelişen diş yapılı ametist, (c) Yer yer kırılmış küçük ametist damarları, (d) ve (e) Açık mor-lila renkli ve iri taneli ametist, (f) Sarımsı beyaz renkli ametist kristali

5.2.1. Mineral Kimyası

Yukarıgöçek köyündeki HSA-10 nolu çatlakta bulunan ametist kristalinden örnek alınmış ve Minnesota Üniversitesi (ABD) mikroprob laboratuvarında mineral kimyası analizi yaptırılmıştır. HSA-10 nolu çatlakta bulunan iki adet ametisten yapılan analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

SiO₂ değerleri HSA-10-66 nolu örnekte merkez noktalarda hafif artışlar olduğu, kenar noktalarda ise düşüş olduğu görülürken HSA-10-67 nolu örnekte SiO₂ değerlerinde merkezden kenar

noktalarına doğru artış olduğu görülmüştür. Ametis kristaline mor rengi veren FeO ve MnO değerleri örneklerde merkez veya kenar kısımlarında % 0.0 ile 0.02 arasında değişmektedir. Değerlerin düşük olması çalışılan ametistlerin renginin açık olmasının nedeni olmuş olabilir. TiO₂ değerleri HSA-10-66 nolu örnekte merkez noktalarında değer görülmeyip kenar noktalarında çok küçük oranlarda (% 0.02-0.01) olduğu görülmektedir. HSA-10-66 nolu örnekte Al₂O₃ değeri yüksek iken HSA-10-67 nolu örnekte bu değer düşüktür. Tüm bu analiz sonuçları güğü köyündeki (Dursunbey-Balıkesir) ametist değerleri ile benzerdir (Gürbüz, 2007).

Tablo 2. HSA-10 nolu çatlakta bulunan ametist kristalinden mikroprob analiz sonuçları

Örnek No	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10	HS-10
Ölçüm No	66-1 M.	66-2 M.	66-3 M.	66-4 K.	66-5 K.	67-1 M.	67-2 M.	67-3 M.	67-4 K.	67-5 K.
SiO ₂	97.63	97.86	97.89	97.81	97.42	99.04	99.06	99.89	99.49	100.04
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.49	0.51	0.48	0.40	0.31	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
Cr ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00
MnO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
CaO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
Na ₂ O	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
TOPLAM	98.16	98.39	98.43	98.32	97.82	99.09	99.09	99.96	99.52	100.10

5.2.2. Sıvı Kapanım

Yukarıgöçek köyü ve civarındaki ametist kristallerinin bulunduğu damarlardan alınan 5 adet ametist kristal örneğinin sıvı kapanım çalışması İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Sıvı Kapanım laboratuvarında yapılmıştır. İTÜ'de örneklerin ince kesiti yapılarak iki yüzü parlatılmıştır. 5 Adet ametist örneğinden toplam 31 adet sıvı kapanım ölçümleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Yapılan analizlerde birincil ve ikincil kapanım çeşitleri tespit edilmiştir. En çok gözlenen kapanım çeşidi birincil sıvı bakımından zengin kapanım olmakla beraber ikincil sıvı bakımından zengin kapanım ve birincil sıvı buhar kapanım çeşitleri de tespit edilmiştir. (Tablo 3). Sıvı kapanımlardan çekilen mikrofotografların bazılarının görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Sıvı kapanımlardan hesaplanan homojenleşme sıcaklık değerleri 231 °C ile 278 °C arasında olup ortalama 255 °C'dir (Şekil 11, Tablo 3). Son buz kristalindeki ergime sıcaklığından (T_m) yararlanılarak, örneklere ait sıvı kapanımlarda

mevcut tuz miktarı % olarak hesaplanmıştır (Roedder, 1984; Bodnar, 1993).

Yukarıgöçek köyü ve civarındaki ametist kristallerine ait örnekler, Roedder (1984) tarafından hazırlanan tuzluluk-homojenleşme sıcaklığı diyagramında değerlendirilmiştir (Şekil 12a). Buna göre, ametist kristallerinin tuzluluk oranlarının düşük olduğu ve epitermal kökenle ilişkili olduğu görülmektedir. Homojenleşme sıcaklığı sıvı tuzluluk verileriyle birleştirildiğinde, sıvı yakalama koşullarından bağımsız olarak sıvının yoğunluğunu tanımlar. Sıvı yoğunluğundaki değişiklikler, sıvı akış mekanizmaları ve değerlendirme açısından özellikle önemlidir (Wilkinson, 2001). Çalışılan ametistlerin verileri sıvı yoğunluk diyagramına aktarıldığında (Şekil 12b), düşük sıvı yoğunluklu hidrotermal kökene işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre Yukarıgöçek köyü ametistlerin ortalama oluşum sıcaklığı 255 °C civarında olup hidrotermal yolla oluşmuş olabilir.

Tablo 3. Yukarıgöçek köyü ve civarındaki ametist kristallerinin sıvı kapanım analiz sonuçları

Örnek No	Homojen Sıcaklık Th (°C)	Ötektik Sıcaklık (Te) (°C)	Son Erime Sıcaklık (Tm) (°C)	Sıvı Faz (µm ²)	Buhar Faz (µm ²)	Tuzluluk (NaCl) (%)	Kapanım Türü
HSA1_1	257.8	-52.5	-1.0	546.7	99.4	1,74	Birincil, Sıvı-Buhar Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_2	251.5	-51.5	-0.1	91.5	17	0.18	Birincil, Sıvı-Buhar Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_3	238.5	-55.2	-0.8	22.4	6.2	1.40	Birincil, Sıvı-Buhar Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_4	238.1	-54	-0.8	17.7	6.6	1.40	Birincil, Sıvı-Buhar Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_5	243.3	-51	-0.8	34.6	8.2	1.40	Birincil, Sıvı Buhar-Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_6	255.6	-20	-0.8	63.8	12.5	1.40	Birincil, Sıvı-Buhar Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_7	238.1	-58.8	-0.8	73.7	13.5	1.40	Birincil, Sıvı-Buhar Kap., Sıvıca Zengin Kap.
HSA1_8	235	-23.3	-6.3	112.9	21.2	9.60	Birincil, Sıvı-Buhar Kap, Sıvıca Zengin Kap.
HSA2_1	244	-18.8	-2.6	17.6	4.4	4.34	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA2_2	261	-20.1	-0.4	96.4	16.9	0.70	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA2_3	275	0.8	-0.8	56.6	23.5	1.40	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA2_4	278	-0.4	-0.4	148.2	51.5	0.70	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA2_5	260	-20.8	-2.9	80.9	20	4.80	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA3_1	252.1	-3.1	-1.4	38.4	7.7	2.41	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA3_2	264.3	-1.9	-1.3	45.8	5.7	2.24	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA3_3	232	-21.7	-1.3	32.2	6.2	2.24	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA3_4	231	-20.3	-1.9	32.5	7.7	3.23	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA3_5	260.1	-22.9	-1.1	115.3	25.8	1.91	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA4_1	268.6	-57.1	-0.9	63.6	16.8	1.57	İkincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA4_2	265.1	-28.7	-0.8	42.8	9.4	1.40	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA4_3	252.2	-1.7	-1.1	73.9	12.5	1.91	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA4_4	244.1	-21.1	-1.1	53.2	8.8	1.91	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA4_5	248.4	-44.9	-1.5	140.7	24.5	2.57	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_1	264.5	-56.4	-2.8	92.2	17.2	4.65	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_2	268.2	-43.7	-1.4	61.5	16.1	2.41	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_3	258.5	-1.9	-1.2	269.1	47.7	2.07	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_4	257	-2.1	-1.2	210	21.9	2.07	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_5	263.2	-2.2	-1.0	153.4	23.5	1.74	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_6	260.9	-23.2	-2.3	157.9	36.3	3.87	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_7	257.7	-22.8	-2.5	47.9	12.6	4.18	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.
HSA10_8	256	-20.1	-2.3	106.4	23.9	3.87	Birincil, Sıvı Bakımından Zengin Kap.

Kap.: Kapanım

5.2.3. Ametist Kristalinin Oluşum Mekanizması

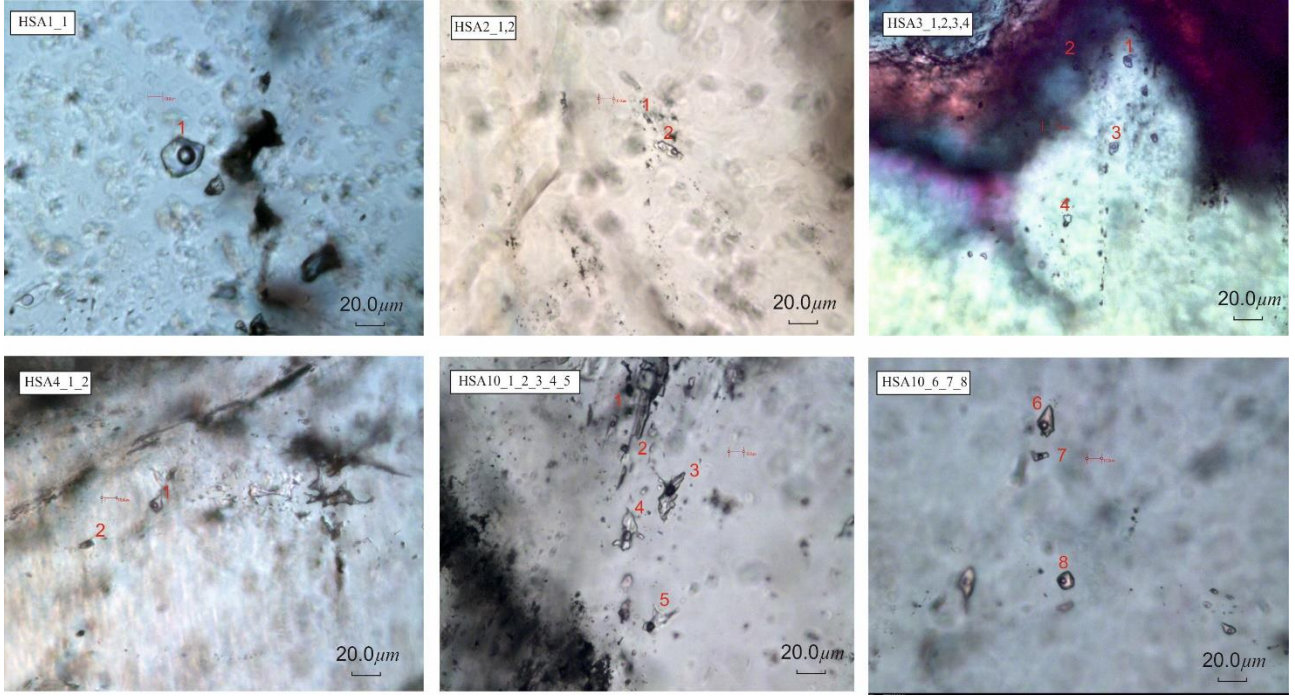
Hidrotermal çözeltiler genellikle magma kökenli sıvı ve gazlardan oluşmuşlardır. Bu çözeltiler bünyelerine magmadan aldıkları iz elementlerle çevresinde bulunan kayaçların çatlaklarına taşınırlar. Böylece çeşitli elementlerce zenginleşen bu sıvılar yeterli doygunluğa ulaştığında kristallenmeye başlar. Sonuçta kayaçların çatlak ve boşluklarında çeşitli mineral damarlarını oluştururlar. Bu mineral damarlarında ametist, topaz ve zümrüt gibi değerli mücevher taşları da oluşabilir. Ametist hidrotermal kökenli

metalik cevher yataklarında görünen mücevher taşıdır.

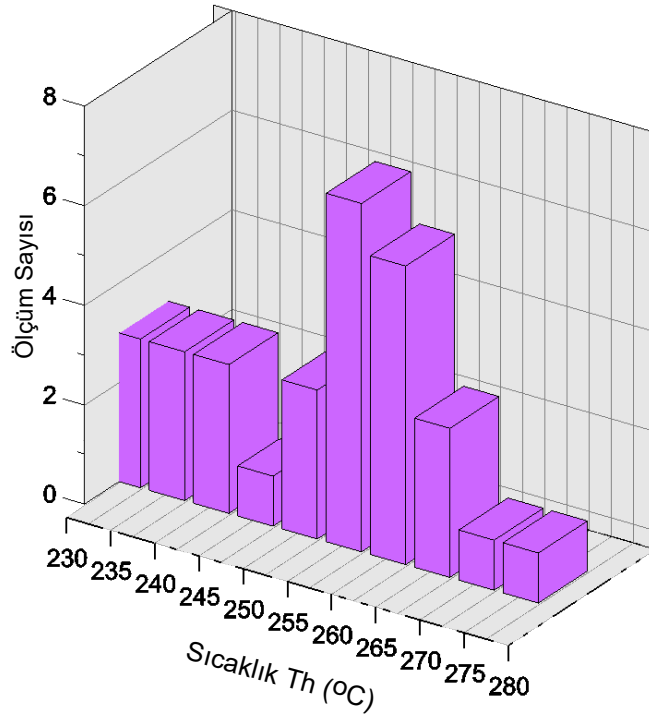
Yukarıgöçek köyü ve çevresinde Fe, Mg ve Mn'ca zengin üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayaçlar bulunmaktadır. Batı Anadolu bölgesi tektonik açıdan hareketli olup mevcut kayaçlar bunun etkisi ile oldukça kırıklı bir yapı sunmaktadır. Tersiyer döneminde ise bölgede yoğun magmatizma görülmektedir (Yılmaz, 1990; Okay ve Tüysüz, 1999; Aldanmaz vd., 2000; Altunkaynak ve Genç, 2008; Karacık vd., 2008; Prelevic' vd., 2012; Aslan vd. 2017). Bunun örneklerinden biri de çalışma alanındaki Musalar granitidir. Asidik karakterli Musalar granitinin

ofiyolitik melanji kesmiş ve beraberinde getirmiş olduğu silişçe zengin sıvıları ofiyolitik melanj içindeki çatlara bırakmıştır. Ortalama 255 °C'deki sıvı faz ofiyolitik melanj içindeki

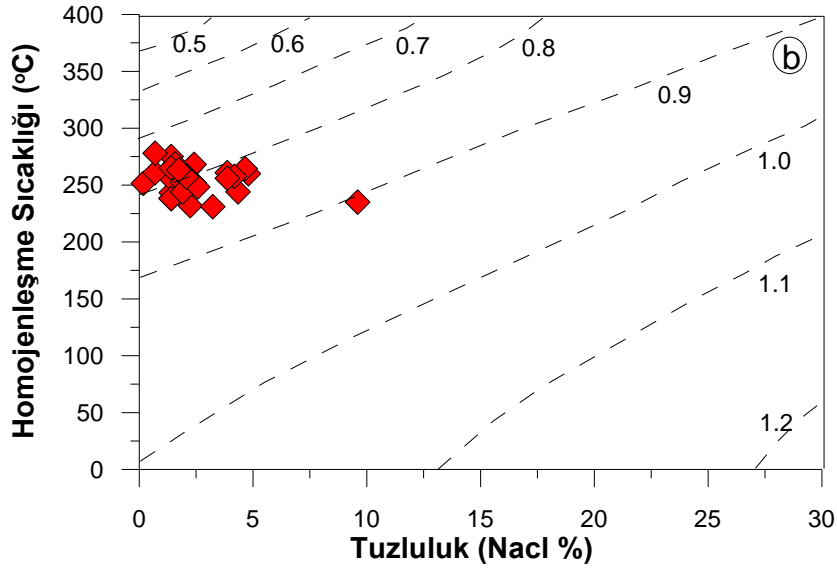
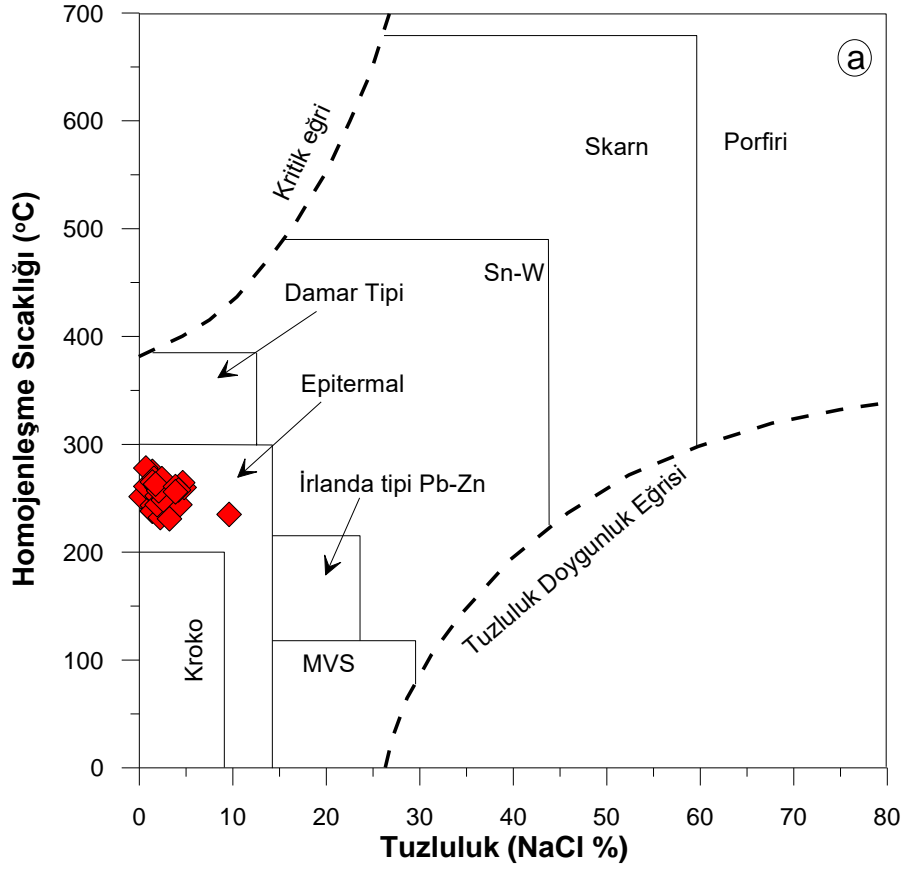
çatlaklarda hidrotermal evrede, yan kayaçtan Fe, Mn gibi elementleride alarak mor-lila rengi kuvars kristalleri (ametist) halinde oluşumunu tamamlamıştır.



Şekil 10. Yukarıgöçek köyü ametistlerine ait birincil ve ikincil sıvı kapanım çeşitleri



Şekil 11. Yukarıgöçek köyü ametistlerinin homojenleşme diyagramı



Şekil 12. Ametist örneklerine ait; **(a)** Yatak tiplerine ait tuzluluk-homojenleşme sıcaklığı değişim diyagramı (MVS: Misisipi Vadisi masif sülfat yatakları) (Roedder, 1984), **(b)** Buhara doymuş NaCl – H₂O çözeltilerinin yoğunluklarını (g/cm⁻³) gösteren sıcaklık-tuzluluk grafiği. Konturlar, FLINCOR bilgisayar programı (Brown, 1989) kullanılarak Zhang ve Frantz (1987) tarafından üretilen denklem verilerinden alınmıştır.

6. Sonuçlar

Granit ve granodiyorit bileşimli kayalardan oluşan Musalar graniti orta ve iri taneli yer yer de poikilitik dokuda olup ana mineral olarak plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars, biyotit, amfibol ve opak mineral içermektedir.

Jeokimyasal olarak Musalar sokulumu orta-yüksek potasyumlu kalkalkalen karakterinde olup I-tipi ve peralümin özelliği göstermektedir. Hafif nadir toprak elementler kondrit değerine göre daha zenginleşmiştir. Tektonik olarak Musalar graniti çarpışma sonrası volkanik yay granitlerinin özelliklerini göstermektedir. Oluşumunda, litosferik manto ile kabuktan türemiş magmanın birlikte rol oynadığı görülmektedir. LILE elementlerince zenginleşme ve Nb, Ta gibi elementlerdeki negatif anomaliler metazomatik mantoyu işaret etmektedir.

Yukarıgöçek köyü ve civarında bulunan ametistler özellikle ofiyolitik kayaların kırık ve çatlak sistemlerinde 4-5 cm arasındaki kalınlıklarda olup damarlar şeklinde görülmektedir. Ametistlerin kök ve dış kısımları net olarak gözlemlenmektedir. Kristal rengi genellikle açık mor veya liladır. Ametist kristaline mor rengi veren FeO ve MnO değerleri örneklerde merkez veya kenar kısımlarında %0.0 ile 0.02 arasında değişmektedir. Değerlerin düşük olması ametistlerin renginin açık olmasının nedeni olabilir. Ametistlerin Homojenleşme sıcaklık değerleri 231 °C ile 278 °C arasında olup ortalama 255 °C 'dir. Çalışılan ametist kristallerinin tuzluluk oranlarının düşük olduğu ve epitermal kökenle ilişkili olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, ametist örnekleri düşük sıvı yoğunluklu olup hidrotermal kökene işaret etmektedir. Yukarıgöçek köyü ametistleri Musalar granitinin ofiyolitik melanjı kesmesi ve beraberinde getirmiş olduğu silişçe zengin sıvı fazı 255 °C'de hidrotermal evrede melanj içindeki mevcut çatlaklara bırakması ile oluşmuştur. Yukarıgöçek köyü civarında yüzeye yakın damarlarda bulunan ametist kristallerinin çabucak dağılması, kopması sonucunda takı yapımında kullanılmaya elverişli değildir. Fakat mevcut damarların bulunduğu yerlerden daha derinlere doğru yapılacak olan detaylı arama teknikleriyle daha iyi kristal örneklerine ulaşılabilir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Proje Araştırmaları Birimi tarafından 2014/141 nolu proje ile desteklenmiştir ve birinci yazarın Yüksek

Lisans Tez çalışmasını oluşturmaktadır. Arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi İsmail ALTIN'a çok teşekkür ederiz. Yazarlar, makaleye yapıcı eleştiri ve görüşleriyle katkı sağlayan dergi editörleri ve hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akay, E., 2009. Geology and Petrology of The Simav Magmatic Complex (NW Anatolia) and Its Comparison With The Oligo-Miocene Granitoids In NW Anatolia: Implications on Tertiary Tectonic Evolution of The Region. *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1655-1675.
- Aldanmaz, E., Pearce, J., Thirlwall, M.F. ve Mitchell, J., 2000. Petrogenetic Evolution of Late Cenozoic, Postcollision Volcanism in Western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Altunkaynak, Ş., 2007. Collision-Driven Slab Breakoff Magmatism in Northwestern Anatolia, Turkey. *The Journal of Geology*, 115(1), 63-82.
- Altunkaynak, Ş., ve Yılmaz, Y., 1998. The Mount Kozak Magmatic Complex, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 211-231.
- Altunkaynak, Ş. ve Genç, Ş.C., 2008. Petrogenesis and Time-Progressive Evolution of The Cenozoic Continental Volcanism in The Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey). *Lithos*, 102, 316-340.
- Altunkaynak, Ş., Sunal, G., Aldanmaz, E., Genç, C.Ş., Dilek, Y. ve Furnes, H., 2012. Eocene Granitic Magmatism in NW Anatolia (Turkey) Revisited: New Implications From Comparative Zircon SHRIMP U-Pb and 40Ar-39Ar Geochronology and Isotope Geochemistry on Magma Genesis and Emplacement. *Lithos*, 55, 289-309.
- Aslan, Z., Erdem, D., Temizel, İ. ve Aslan, M., 2017. SHRIMP U-Pb Zircon Ages and Whole-Rock Geochemistry For The Şapçı Volcanic Rocks, Biga Peninsula, Northwest Turkey: Implications for Preeruption Crystallization Conditions and Source Characteristics. *International Geology review*, 59(14), 1764-1785.
- Bachelor, R.A. ve Bowden, P., 1985. Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters. *Chemical Geology*, 48, 43-55.
- Balitsky, V.S., Machina, I.B., Mar, A.A., Shigley, J.E., Rossman, G.R. ve Lu, T., 2000. Industrial Growth, Morphology and Some Properties of Bi-Colored Amethyst-Citrine Quartz

- (Ametrine). *Journal of Crystal Growth*, 212(1-2), 255-260.
- Birsoy, R., 1983. Kuvarsın Renklenmesi ve Yapısal Hataları, TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Grubu, Proje No: TBAG-468, 101 s.
- Birsoy, R., 1987. Doğal Ametistin Kirlilik İçeriği ve Renklenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 30(2), 63-66.
- Brown, P.E., 1989. FLINCOR: A Microcomputer Program For The Reduction and Investigation of Fluid Inclusion Data. *American Mineralogist*, 74, 1390-1393.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of H₂O-NaCl Solutions. *Geochemical Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
- Chen, W. ve Arculus, R. J., 1995. Geochemical and Isotopic Characteristics of Lower Crustal Xenoliths, San Francisco Volcanic Field, Arizona, U.S.A. *Lithos*, 110, 99-119.
- Cohen, A.J. ve Hassan, F., 1974. Ferrous and Ferric Ions in Synthetic A-Quartz and Natural Amethyst. *American Mineralogist Journal of Earth and Planetary Materials*, 59(7-8), 719-728.
- Delaloye, M. ve Bingöl, E., 2000. Granitoids From Western and Northwestern Anatolia: Geochemistry and Modeling of Geodynamic Evolution. *International Geology Review*, 42, 241-268.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş.C. ve Acar, Ş., 2005. Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen Volkanizması ve Denizel İgnimbiritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131, 49-61.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş F. ve Kar, H., 2004. New Results on The Lithostratigraphy of The Kazdağ Massif in Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, 177-186.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E. ve Adis, C., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, 117, 55-86.
- Fitton, J.G., 1989. Petrology and Geochemistry of Late Cenozoic Basalt Flows, Western Grand Canyon, Arizona, in *Geology of Grand Canyon*, In: Elston, D.P., Billingsley, G.G., Young, R.A., (Eds.), Northern Arizona, Field Trip. AGU, Guideb, 186-189.
- Genç, Ş.C., 1998. Evolution of The Bayramiç Magmatic Complex, Northwest Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 233-249.
- Gürbüz, M., 2007. Güğü (Dursunbey-Balıkesir) Civarındaki Ametistlerin Oluşumunun İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana, 152s.
- Hatipoğlu, M., 2003. Güğü Köyü Ametist Kristallerinin Değerlendirilmesi (Dursunbey, Balıkesir, KB Türkiye) ve Yöresel Ekonomiye Katkısı. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 243-256.
- Hofmann, A.W., 1988. Chemical Differentiation of The Earth: The Relationship Between Mantle, Continental Crust, and Oceanic Crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90, 297-314.
- Irvine, T.N. ve Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to The Chemical Classification of Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-548.
- İçöz, T., 2001. Some Example Displaying in The Productivity of The Anatolian Gemological Potential. Doktora Tezi. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir 139s.
- Karacık, Z., Yılmaz, Y., Pearce, J.A. ve Ece, Ö.I., 2008. Petrochemistry of The South Marmara Granitoids, Northwest Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1181-1200.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. ve Woolley, A.R., 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of The International Union of Geological Sciences, Subcommittee of The Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, 336 s.
- Maniar, P.D. ve Piccoli, P.M., 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5), 635-643.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming Material in The Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Reviews*, 37, 215-224.
- Miyashiro, A., 1978. Nature of Alkalic Volcanic Rock Series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66, 91-104.
- Okay, A.İ., 2008. *Geology of Turkey: A Synopsis*. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Suture of Northern Turkey, In: Durand, B., Jivet, L.,

- Horvath, F. ve Seranne, M., (Eds.), The Mediterranean Basins; Tertiary Extension Within The Alpine Orogen. Geological Society of London, Special Publication, 156, 475-515.
- Okay, A.İ. ve Satır, M., 2006. Geochronology of Eocene Plutonism and Metamorphism in Northwest Turkey: Evidence For A Possible Magmatic Arc. *Geodinamica Acta*, 19(5), 251-266.
- Okay A.İ., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altıner, S., Altıner, D., Sherlock, S. ve Eren, R.H., 2006. Cretaceous and Triassic Subduction-Accretion, HP/LT Metamorphism and Continental Growth in The Central Pontides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1247-1269.
- Özgenç, İ. ve İlbeyli, N., 2008. Petrogenesis of The Late Cenozoic Eğrigöz Pluton in Western Anatolia, Turkey: Implications for Magma Genesis and Crustal Processes. *International Geology Review*, 50, 375-391.
- Pearce, J.A, Haris, N.B. W. ve Tindle, A.G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for The Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Pehlivan, Ş., Duru. M., Dönmez, M., Ilgar, A., Akçay, A.E., Erdoğan, K. ve Özer, D., 2007. Türkiye Jeolojisi Haritaları No:96, Balıkesir-İ 19 Paftası. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara 40 s.
- Prelevic', D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R.L., Stracke, A. ve Van Den Bogaard, P., 2012. Ultrapotassic Mafic Rocks As Geochemical Proxies for Post-Collisional Dynamics of Orogenic Lithospheric Mantle: The Case of Southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Petrology*, 53, 1019-1055.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. *Reviews in Mineralogy*, v. 12, Mineralogical Society of America, Washington, 644 s.
- Rudnick, R.L. ve Gao, S., 2004. Composition of The Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3, 1-65.
- Schmidberger, S.S. ve Hegner, E., 1999. Geochemistry and Isotope Ststematics of Calc-Alkaline Volcanic Rocks From The Saar-Nahe Basin (SW Germany)-Implications for Late Variscan Orogenic Development. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, 373-385.
- Smith, E.I., Sanchez, A., Walker, J.D. ve Wang, K.F., 1999. Geochemistry of Mafic Magmas in The Hurricane Volcanic Field, Utah: Implications for Small- and Large-Scale Chemical Variability of The Lithospheric Mantle. *Journal of Geology*, 107, 433-448.
- Sun, S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalt: Implications for Mantle Composition and Processes, In: Saunders, A.D. ve Norry, M.J., (Eds.), *Magmatism in The Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181– 241.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust, Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312p.
- Thirlwall, M.F., Smith, T.E., Graham, A.M., Theodorou, N., Hollings, P. ve Davidson, J.P., 1994. High Field Strength Element Anomalies in Arc Lavas: Source or Processes. *Journal of Petrology*, 35, 819-838.
- Thiéblemont D. ve Téguyey M., 1994. Une Discrimination Géochimique Des Roches Différenciées Témoin de la Diversité d'origine et de Situation Tectonique Des Magmas Calcio-Alcalins. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 319, 87-94.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. ve Parry, S.J., 1984. An Assessment of The Relative Roles of Crust and Mantle in Magma Genesis: An Elemental Approach. *Philos Translate Society London*, A310, 549-590.
- Weaver, B.L., Wood, D.A., Tarney, J. ve Joron, J., 1987. Geochemistry of Ocean Island Basalt From The South Atlantic. Ascension, Bouvet, St. Helena, Gough and Tristan da Cunda. In: Fitton, J.G., Upton, B.G.J., (eds.), *Alkaline Igneous Rocks*. *Journal of Geology Society London Special Publication*, 30, 253-267.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. *Lithos*, 55, 229-272.
- Wilson, F.H., 1989. Geologic Setting, Petrology and Age of Pliocene to Holocene Volcanoes of The Stepovak Bay Area, Western Alaska Peninsula, In: Dover, J.H., Galloway, J.P., (Eds.), *Geological Studies in Alaska by The U.S. Geological Survey, United State Geological Survey Bulletin*, 1903, 84-95.
- Wood, D.A. ve Joron, J.L., (1979). Elemental and Sr İzotopic Variations in Basic Lava From Iceland and Surrounding Ocean Floor: The Nature of The Mantle Sources Inhomogenities. *Contribution and Mineralogy Petrology*, 70, 319-339.
- Yiğit, Ö., 2009. Mineral Deposits of Turkey in Relation to Tethyan Metallogeny. Implications

- for Future Mineral Exploration. *Economic Geology*, 104, 19-51.
- Yılmaz, Y., 1990. Comparison of Young Volcanic Associations of Western and Eastern Anatolia Under Compressional Regime; A Review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 69-87.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, O.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacik, Z., Altunkaynak, Ş. ve Elmas, A., 2000. When Did The Western Anatolian Grabens Begin to Develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.A.D., (eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and The Surrounding Area*. *Journal of Geology Society London Special Publication*, 173, 353-384.
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Karacik, Z. ve Altunkaynak, Ş., 2001. Two Contrasting Magmatic Associations of NW Anatolia and Their Tectonic Significance. *Journal of Geodynamics*, 31, 243-271.
- Yüzer, E.ve Tunay, G., 2012. Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, 326s.
- Zhang, Y.G. ve Frantz, J.D., 1987. Determination of the Homogenization Temperatures and Densities of Supercritical Fluids in the System NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O Using Synthetic Fluid Inclusions. *Chemical Geology*, 64, 335-350.

Comparison of Multiple Scales Method and Finite Difference Method for Solving Singularly Perturbed Convection Diffusion Problem

Singüler Pertürbe Özellikli Konveksiyon Difüzyon Problemleri İçin Çoklu Ölçekler Metodu ve Sonlu Fark Metodunun Karşılaştırılması

Baransel GÜNEŞ*^{1,a}, Afshin B. CHIANEH^{1,b}, Mutlu DEMİRBAŞ^{1,c}

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Van

• Geliş tarihi / Received: 03.03.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.08.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 28.09.2020

Abstract

In this study, multiple scale method is introduced for singularly perturbed convection-diffusion equation. In this context, the mentioned problem is transformed into partial differential equation. Besides exponentially fitted difference scheme is established by the method of integral identities with using linear basis functions and interpolating quadrature rules with weight functions and remainder term in integral form. Some numerical experiments have been carried out to validate the theoretical results. The main objective of this article is to compare the multiple scale method and finite difference method for singularly perturbed convection-diffusion problems.

Keywords: Boundary Layer, Difference Scheme, Multiple Scales Method, Singular Perturbation, Uniform Convergent

Öz

Bu çalışmada singüler pertürbe özellikli konveksiyon difüzyon problemi için çoklu ölçekler metodu tanıtılmıştır. Bu bağlamda, söz konusu problem kısmi diferansiyel denklemlere dönüştürülmüştür. Ayrıca ağırlık fonksiyonu içeren ve kalan terimi integral biçiminde olan interpolasyon kuadratur kuralları ve lineer baz fonksiyonlarının kullanımı ile üstel katsayılı fark şeması kurulmuştur. Teorik sonuçları doğrulamak için bazı nümerik çalışmalara yer verilmiştir. Bu makalenin temel amacı, singüler pertürbe özellikli konveksiyon-difüzyon problemleri için çoklu ölçekler metodu ile sonlu fark metodunu karşılaştırmaktır.

Anahtar kelimeler: Sınır Katmanı, Fark Şeması, Çoklu Ölçekler Metodu, Singüler Pertürbasyon, Düzgün Yakınsaklık

*a Baransel GÜNEŞ; baransel_gunes_91@hotmail.com, Tel: (0505) 582 60 28, orcid.org/0000-0002-3265-8881

^b orcid.org/0000-0002-9958-7117

^c orcid.org/0000-0001-8187-3919

1. Introduction

Singularly perturbed convection-diffusion equations arise in many scientific area. Applications of engineering, fluid mechanics, oceanography, heat transfer, bifurcation analysis, electron plasma waves, structural mechanics and chemical processes are among these (Amiraliyev and Çimen, 2010; Çakır and Amiraliyev, 2005; Nayfeh, 1973; Kevorkian and Cole, 1981; Linβ, 2010; Malley, 1974; Roos et. al., 2008).

In this paper, we concerned with the following singularly perturbed convection-diffusion equation:

$$\varepsilon u''(x) + a(x)u'(x) + b(x)u(x) = 0, \quad 0 < x < l \quad (1)$$

with boundary conditions

$$u(0) = \kappa_0, \quad u(l) = \kappa_1 \quad (2)$$

where $0 < \varepsilon \ll 1$ is the perturbation parameter, κ_0, κ_1 are constants, $a(x) \geq \alpha > 0$ and $b(x)$ are sufficiently smooth functions. The solution of problems (1)-(2) has general boundary layer at the neighborhood of $x = 0$ which the solution changes quickly. These problems depend on small positive parameter ε which highest derivative term is multiplied.

Singularly perturbed convection-diffusion problems have located important in literature. The existence and uniqueness of the solution of these problems are mentioned (Reddy and Chakravarthy, 2003). Solving of such kind of problems is so difficult. Due to existence of perturbation parameter, traditional methods don't give reliable results. Therefore, various numerical methods have been presented. Numerical patching method is applied with using spline functions (Sakar et. al., 2019). An initial value technique is introduced (Subburayan and Ramanujam, 2013). Multiscale finite element method is used for the elliptic and dominated form of these equations (Park and Hou, 2004). Collocation method is considered with using exponential trial functions to solve singularly perturbed reaction-convection-diffusion equations (Liu and Wen, 2019). A Wavelet-Galerkin method is developed to solve singularly perturbed convection dominated diffusion equation (El-Gamel, 2006).

Finite difference method (FDM) is one of the most suitable and effective methods for solving singularly perturbed problems. Many authors have

studied this method on different meshes. A piecewise uniform Shishkin mesh is designed to estimate system of these equations (Bellew and Riordan, 2004). By using finite difference method on uniform mesh, boundary and interior layers are studied (Farrell et. al., 2004). For parabolic type, standard finite difference scheme is constructed on uniform meshes (Shishkin and Shishkina, 2019) and classical finite approximations are obtained on piecewise uniform meshes (Shishkin, 2004). For delay type of these equations, exponentially fitted difference scheme is constructed on a uniform mesh (Amiraliyev et. al., 2010) and nonlinear form is considered (Amiraliyeva et. al., 2010). Finite difference scheme is established on Shishkin mesh with integral boundary conditions (Sekar and Tamilselvan, 2019).

On the other hand, different perturbation techniques have been introduced by some authors. Multiple scales, asymptotic matching, stretched coordinates, WKB expansions and averaging are some of them (Gupta and Kumar, 2016). This study contains implementation of the multiple scales method with second order boundary value problem.

Applications of the methods of multiple scales (MS) are addressed in many scientific fields including orbital mechanics, wave interactions, atmospheric science, hydrodynamic, statistical mechanics, flight mechanics, model reduction and control system design (Nayfeh, 1973). This method was applied to different problems and equations in literature. Duffing equation, Van der Pol oscillator, Mathieu equation, homogenized heat equation, Klein-Gordon equation, The Earth-Moon-Spaceship problem are some of these (Nayfeh, 1973; Jager and Furu, 1966; Romanazzi et al., 2017). By using partial differential systems, nonlinear vibrations of continuous systems are considered (Boyacı and Pakdemirli, 1997). In recent times, multiple scales method has a model for various researchs. Nonlinear spring and nonlinear damper is examined to analyze vibration (Salahshoor et. al., 2016). Piezoelectric and magneto-electro-elastic structures are considered (Wu and Tsai, 2010). Quantum-optical problems are solved (Janowicz, 2003). Periodic solutions of nonlinear oscillators are obtained (Lakrad and Belhaq, 2002). Multiple scale method is improved to investigate nonlinear oscillators with fractional derivatives (Ren et. al., 2019). Multiple scale method is combined with Lindstedt-Poincare technique for linear damped vibration equation (Pakdemirli et. al., 2009).

Our goal in this work is to estimate effectiveness and robustness of Multiple Scales Method and Finite Difference Method for singularly perturbed second order boundary value problems on a uniform mesh.

The outline of this paper is organized as follows: In section 2, multiple scales method is described for (1)-(2) problems. In section 3, the properties of the solution of (1)-(2) problems are handled. The difference scheme is constructed and error approximations are obtained. In section 4, finally some numerical experiments are presented with tables.

By using chain rule, we obtain the following derivatives:

$$\frac{d}{dx} = \frac{\partial}{\partial \xi} \times \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x_0} \times \frac{\partial x_0}{\partial x} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial}{\partial x_0} \tag{3}$$

$$\frac{d^2}{dx^2} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \frac{2}{\varepsilon} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial x_0} + \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} \tag{4}$$

For two scales, we get the following multi-scale expansion

$$u = u_0(\xi, x_0) + \varepsilon u_1(\xi, x_0) + \varepsilon^2 u_2(\xi, x_0) + \dots \tag{5}$$

Substituting (3)-(4) and (5) into (1) equation, we have:

$$\begin{aligned} &\varepsilon \left(\frac{1}{\varepsilon^2} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \frac{2}{\varepsilon} \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial x_0} + \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} \right) (u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \dots) \\ &+ a(x) \left(\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial}{\partial x_0} \right) (u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \dots) \\ &+ b(x) (u_0 + \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \dots) = 0. \end{aligned}$$

Therefore, we get:

$$\begin{aligned} &\left(\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} u_0 + 2 \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial x_0} u_0 + \varepsilon \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} u_0 + \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} u_1 + 2\varepsilon \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial x_0} u_1 \right. \\ &+ \left. \varepsilon^2 \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} u_1 + \varepsilon \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} u_2 + 2\varepsilon^2 \frac{\partial^2}{\partial \xi \partial x_0} u_2 + \varepsilon^3 \frac{\partial^2}{\partial x_0^2} u_2 + \dots \right) \\ &\left(a(x) \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial \xi} u_0 + a(x) \frac{\partial}{\partial x_0} u_0 + a(x) \frac{\partial}{\partial \xi} u_1 \right. \\ &+ \left. a(x) \varepsilon \frac{\partial}{\partial x_0} u_1 + a(x) \varepsilon \frac{\partial}{\partial \xi} u_2 + a(x) \varepsilon^2 \frac{\partial}{\partial x_0} u_2 + \dots \right) \\ &+ (b(x) u_0 + \varepsilon b(x) u_1 + \varepsilon^2 b(x) u_2 + \dots) = 0 \tag{6} \end{aligned}$$

Thus, equation (1) is transformed into partial differential equation (6). By considering the coefficients of each order of ε , we obtain following equations:

$$O(1/\varepsilon): \frac{\partial^2 u_0}{\partial \xi^2} + a \frac{\partial u_0}{\partial \xi} = 0 \tag{7}$$

2. Material and Method

2.1. Multiple Scales Method For Singularly Perturbed Convection-Diffusion Problem

In this section, we consider the multiple scales method for (1)-(2) problems. For (1) equation if $a(x) > 0$, the boundary layer is at $x = 0$; and if $a(x) < 0$ the boundary layer is at $x = l$. Due to presence of the boundary layer in the problems (1)-(2), we consider two scales the outer scale at $x = x_0$ and inner or boundary layer scale at $\xi = \frac{x}{\varepsilon}$.

$$O(\varepsilon^0): \frac{\partial^2 u_1}{\partial \xi^2} + a \frac{\partial u_1}{\partial \xi} = -2 \frac{\partial^2 u_0}{\partial \xi \partial x_0} - a \frac{\partial u_0}{\partial x_0} - b u_0 \tag{8}$$

$$O(\varepsilon^1): \frac{\partial^2 u_2}{\partial \xi^2} + a \frac{\partial u_2}{\partial \xi} = -2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial \xi \partial x_0} - \frac{\partial^2 u_0}{\partial x_0^2} - a \frac{\partial u_1}{\partial x_0} - b u_1 \tag{9}$$

(Gupta and Kumar, 2016). The general solution of (7) is as following:

$$(D_\xi^2 + aD_\xi)u_0 = 0,$$

$$L = D_\xi^2 + aD_\xi = D_\xi(D_\xi + a)$$

Where

$$L_1 = D_\xi, \quad L_2 = D_\xi + a$$

and

$$a_1 = 1, b_1 = 0, c_1 = 0, a_2 = 1, b_2 = 0, c_2 = a.$$

Thus, we find:

$$\begin{aligned} u_0 &= e^{-\frac{c_1}{a_1}\xi} f(b_1\xi - x_0) + e^{-\frac{c_2}{a_2}\xi} g(b_2\xi - x_0), \\ &= f(-x_0) + e^{-a\xi} g(-x_0), \\ &= A(x_0) + B(x_0)e^{-a\xi} \end{aligned}$$

where A and B are solution of the following problems:

$$\begin{aligned} aB' - bB &= 0 \\ aA' - bA &= 0. \end{aligned}$$

Rewriting u_0 in (8), we get following equalities:

$$\frac{\partial u_0}{\partial x_0} = A'(x_0) + B'(x_0) \tag{10}$$

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial \xi \partial x_0} = B'(x_0)(-ae^{-a\xi}) = -aB'(x_0)(e^{-a\xi}). \tag{11}$$

Substituting (10) and (11) in the right side of (8), we can write

$$-2 \frac{\partial^2 u_0}{\partial \xi \partial x_0} - a \frac{\partial u_0}{\partial x_0} - b u_0 = (aB' - bB)e^{-a\xi} - (aA' + bA) \tag{12}$$

The solution of (12) is as follow:

$$u_{1p} = w\xi e^{-a\xi} + (Z\xi + X) \tag{13}$$

$$\text{where } w = \frac{-(aB' - bB)}{a} \quad \text{and } Z = \frac{-(aA' - bA)}{a}.$$

So, we have

$$u_1 = u_{1h} + u_{1p} = A(x_0) + B(x_0)e^{-a\xi} - \frac{(aB' - bB)}{a} \xi e^{-a\xi} - \frac{(aA' - bA)}{a} \xi.$$

Similarly, we obtain

$$u_2 = A(x_0) + B(x_0)e^{-a\xi} + (B'' + (a - 2\xi)B' - bB)\xi e^{-a\xi} + \left(\frac{b^2}{a}B - aB''\right) \xi^2 e^{-a\xi} - \left(aA'' + \frac{b^2}{a}\right) \xi^2 + \frac{(aA'' + (a^2 - 2a)A' + (a+1)bA)}{a} \xi + 2 \frac{(bB' - aB'')}{a} \xi e^{-a\xi} (1 + \xi^2).$$

2.2. Finite Difference Method

2.2.1. Continuous Problem

We give the some properties of the solution of (1)-(2) problems, which is needed in the analysis of the numerical method.

Lemma 1. The solution of (1)-(2) problems holds following estimates:

$$|u(x)| \leq |\kappa_0| + |\kappa_1|, \quad 0 \leq x \leq l \tag{14}$$

$$|u'(x)| \leq \frac{C}{\varepsilon} e^{-\frac{\alpha x}{\varepsilon}} + \alpha^{-1} \|b\|_{C[0,l]} (\alpha^{-1} |\kappa_0| + |\kappa_1|) \tag{15}$$

where C is the arbitrary parameter.

Proof. For the proof of the lemma, we consider the following barrier function:

$$\psi(x) = |\kappa_0| + |\kappa_1| \pm u(x).$$

For this function, $L\psi(x) \geq 0$, $\psi(0) \geq 0$ and $\psi(l) \geq 0$. According to maximum principle, we obtain $\psi(x) \geq 0$. So inequality (14) is true. From (15), we can write

$$u'(x) = u'(0) \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^x a(\eta) d\eta\right) - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^x [b(s)u(s)] \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^x a(\eta) d\eta\right) ds.$$

Thus, we have

$$\begin{aligned} |u'(x)| &\leq u'(0) e^{-\frac{\alpha x}{\varepsilon}} + \alpha^{-1} \max_{[0,l]} |b(s)u(s)| \left(1 - e^{-\frac{\alpha x}{\varepsilon}}\right) \\ &\leq u'(0) e^{-\frac{\alpha x}{\varepsilon}} + \alpha^{-1} \{ \|b\|_{C[0,l]} (|\kappa_0| + |\kappa_1|) \}. \end{aligned}$$

By using equality $g'(x) = g(\alpha_0, \alpha_1) - \int_s^x K_0(x, \xi) g''(\xi) d\xi$, we obtain

$$\begin{aligned} |u'(0)| &\leq \frac{C}{\varepsilon} \\ \text{and} \\ |u'(l)| &\leq \frac{C}{\varepsilon}. \end{aligned}$$

This is proof of the (15). Therefore, lemma is proved.

2.2.2 Construction of The Difference Scheme

A difference scheme is established for (1)-(2) problems on uniform mesh.

$$\overline{\omega}_N = \left\{ x_i = ih, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1; \quad h = \frac{l}{N} \right\}, \quad \overline{\omega}_h = \omega_h \cup \{0, l\}$$

is a uniform mesh to a set of discrete points. x_i points are called the node points.

To construct the difference scheme, we use following integral identity:

$$h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} Lu\varphi_i dx = h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} (-\varepsilon^2 u'' + a(x)u'(x) + b(x)u(x))\varphi_i dx = 0$$

where φ_i basis function

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} \varphi_i^{(1)}(x) = \frac{e^{-\frac{a_i}{\varepsilon}(x-x_{i-1})} - 1}{e^{-\frac{a_i}{\varepsilon}h} - 1}, & x \in (x_{i-1}, x_i), \\ \varphi_i^{(2)}(x) = \frac{1 - e^{-\frac{a_i}{\varepsilon}(x_{i+1}-x)}}{1 - e^{-\frac{a_i}{\varepsilon}h}}, & x \in (x_i, x_{i+1}), \\ 0, & x \notin (x_i, x_{i+1}) \end{cases}$$

is the solution of the following problems:

$$\varepsilon\varphi_i^{(1)''} + a_i\varphi_i^{(1)'} = 0, \quad \varphi_i^{(1)}(x_i) = 1, \varphi_j^{(1)}(x_{i-1}) = 0$$

and

$$\varepsilon\varphi_i^{(2)''} + a_i\varphi_i^{(2)'} = 0, \quad \varphi_i^{(2)}(x_i) = 1, \varphi_j^{(2)}(x_{i+1}) = 0.$$

Using interpolating quadrature rules in (Amiraliyev and Mamedov, 1995), we obtain the following difference scheme

$$l_u \equiv -\varepsilon\theta_i u_{\bar{x}x,i} + a_i u_{\bar{x},i} + b_i u_i + R_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1 \tag{16}$$

$$u(0) = A, \quad u(l) = B \tag{17}$$

where

$$\theta_i = \frac{a_i h}{2\varepsilon} \left[h^{-1} \left(\int_{x_i}^{x_{i+1}} \varphi_i^{(2)}(x) dx - \int_{x_{i-1}}^{x_i} \varphi_i^{(1)}(x) dx \right) \right] + 1,$$

$$R_i = R_i^{(1)} + R_i^{(2)} + R_i^{(3)}, \tag{18}$$

$$R_i^{(1)} = h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} [a(x) - a(x_i)] u'(x) \varphi_i(x) dx,$$

$$R_i^{(2)} = h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} [b(x) - b(x_i)] u(x) \varphi_i(x) dx,$$

$$R_i^{(3)} = h^{-1} b_i \left[\int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} dx \varphi_i(x) \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} u'(\xi) K_0(x, \xi) d\xi \right].$$

Thus, we can write difference problem for approximate solution of y

$$l_y \equiv -\varepsilon\theta_i y_{\bar{x}x,i} + a_i y_{\bar{x},i} + b_i y_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N - 1 \tag{19}$$

$$y(0) = A, \quad y(N) = B. \tag{20}$$

2.2.3 Error Analysis

To investigate the uniform convergence of this method, let u_i be the solution of the problems (1)-(2) and y_i be the solution of the problem (19)-(20). Error function $z_i = y_i - u_i$, $i = 0, 1, 2, \dots, N$ is the solution of following discrete problem

$$\begin{aligned} lz_i &= R_i, \quad 1 \leq i \leq N - 1, \\ z_0 &= z_N = 0 \end{aligned}$$

where R_i is given by (18).

Lemma 2. For $a(x), b(x) \in C^1[0, l]$, the following estimate is satisfy:

$$h \sum_{i=1}^{N-1} |R_i| \leq Ch.$$

Proof. First, R_i is written the following form:

$$\begin{aligned} R_i &= h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} [a(x) - a(x_i)]u'(x)\varphi_i(x)dx + h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} [b(x) - b(x_i)]u(x)\varphi_i(x)dx \\ &\quad + h^{-1}b_i \left[\int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} dx\varphi_i(x) \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} u'(\xi)K_0(x, \xi)d\xi \right]. \end{aligned}$$

By considering $|u(x)| \leq C_0$ and $|\varphi_i(x)| \leq 1$, we obtain

$$|R_i| \leq Ch \left(1 + h^{-1} \int_{x_{i-1}}^{x_{i+1}} |u'(x)|dx \right).$$

Theorem 1. Under the conditions of Lemma 2, the solution of (19)-(20) is uniform convergent to the solution of (1)-(2) with respect to ε on $C(\omega_h)$ and its convergence rate is $O(h)$. Thus, we can write $\|y - u\|_{C(\omega_h)} \leq Ch$.

Proof. The proof of the theorem is by similar manner as in (Amiraliyev and Duru, 2002).

3. Numerical Results

In this section, we present two numerical examples to compare the both methods. For numerical algorithm, we can write difference problem (19)-(20) in explicit form

$$\varepsilon\theta_i \left(\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2} \right) + a_i \left(\frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h} \right) + b_i y_i = 0.$$

We edit this equation following form

$$A_i y_{i-1} - C_i y_i + B_i y_{i+1} = 0, \quad i = 1, \dots, N - 1$$

where

$$\begin{aligned} A_i &= \varepsilon\theta_i h^{-2} - a_i 2h^{-1} \\ B_i &= \varepsilon\theta_i h^{-2} + a_i 2h^{-1} \\ C_i &= 2\varepsilon\theta_i h^{-2} - b_i. \end{aligned}$$

Then, we apply the elimination method to following examples. The elimination method is defined by

$$y_i = y_{i+1}\alpha_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = N - 1, \dots, 0$$

where

$$\alpha_{i+1} = \frac{B_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \alpha_1 = 0, i = 1, \dots, N - 1$$

$$\beta_{i+1} = \frac{F_i + A_i \beta_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \beta_1 = 0, i = 1, \dots, N - 1 \text{ (Samarskii, 2001).}$$

Example 1. We consider the following problem

$$\begin{aligned} \epsilon u''(x) + (1 + \epsilon)u'(x) + u(x) &= 0, \quad x \in [0,1], \\ u(0) = 0, \quad u(1) &= 1. \end{aligned}$$

The exact solution of the problem is $u(x) = \frac{(e^{-\frac{x}{\epsilon}} - e^{-x})}{(e^{-\frac{1}{\epsilon}} - e^{-1})}$. The exact solution of the problem is compared with the solution which is obtained from multiple scales method in Figure 1.

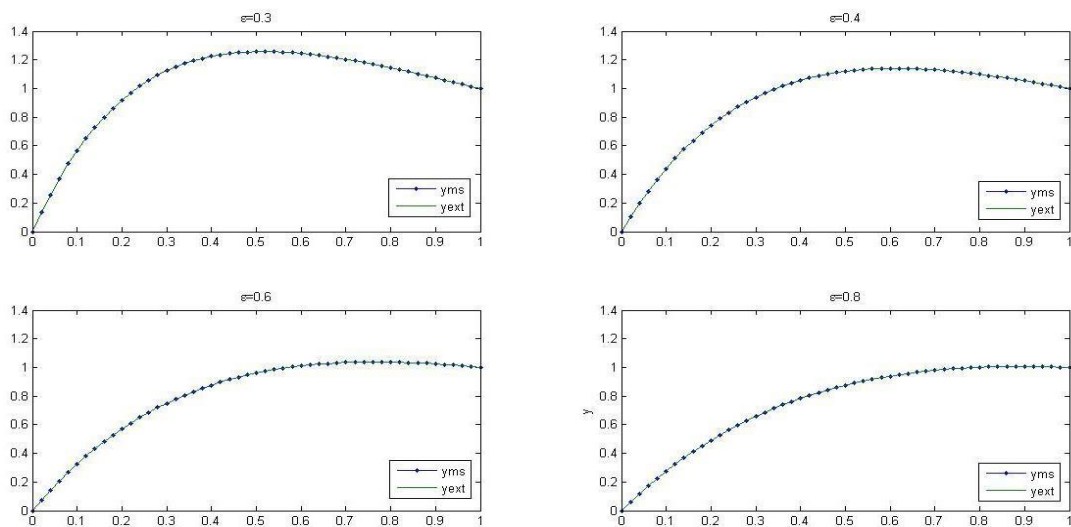


Figure 1. Comparison of multiple scales method and exact solution

On the other hand, the exact solution of the problem and numerical solution are illustrated in Figure 2.

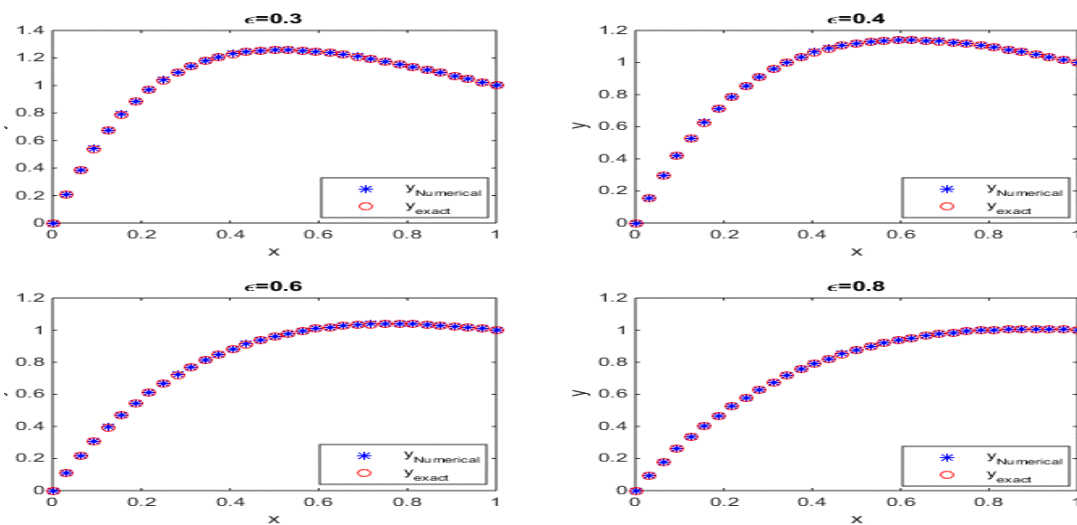


Figure 2. Comparison of numerical solution and exact solution

Furthermore, the computational results are presented on Tables (1-4) for different values of ϵ .

Table 1. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.3$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.10	0.56683630	0.57166634	0.56683630	0.00483004	0.00000000
0.20	0.91905065	0.92550574	0.91905065	0.00645508	0.00000000
0.30	1.12261488	1.12898982	0.12261488	0.00637494	0.00000000
0.40	1.22431137	1.22979802	1.22431137	0.00548664	0.00000000
0.50	1.25721917	1.26152632	1.25721917	0.00430715	0.00000000
0.60	1.24464049	1.24775846	1.24464049	0.00311797	0.00000000
0.70	1.20291024	1.20496837	1.20291024	0.00205812	0.00000000
0.80	1.14340543	1.14458862	1.14340543	0.00118319	0.00000000
0.90	1.07398176	1.07448391	1.07398176	0.00050215	0.00000000
1.00	1.00000000	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000

Table 2. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.4$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.10	0.44100450	0.44336159	0.44100449	0.00235709	0.00000000
0.20	0.74249202	0.74585401	0.74249202	0.00336199	0.00000000
0.30	0.93931731	0.94258805	0.93931731	0.00354073	0.00000000
0.40	1.05824523	1.06149247	1.05824522	0.00324724	0.00000000
0.50	1.11977637	1.12249081	1.11977636	0.00271444	0.00000000
0.60	1.13956546	1.14165652	1.13956546	0.00209106	0.00000000
0.70	1.12952287	1.13099090	1.12952287	0.00146803	0.00000000
0.80	1.14340565	1.09956688	1.09866965	0.00089723	0.00000000
0.90	1.05380088	1.05420560	1.05380088	0.00040472	0.00000000
1.00	1.00000000	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000

Table 3. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.6$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.10	0.32600247	0.32689788	0.32600246	0.00089541	0.00000000
0.20	0.57093436	0.57228989	0.57093436	0.00135553	0.00000000
0.30	0.75019375	0.75170825	0.75019375	0.00151450	0.00000000
0.40	0.87653387	0.87800673	0.87653386	0.00147286	0.00000000
0.50	0.96049589	0.96180091	0.96049589	0.00130502	0.00000000
0.60	1.01077271	1.01183790	1.01077271	0.00106519	0.00000000
0.70	1.03451458	1.03530666	1.03451457	0.00079209	0.00000000
0.80	1.03758572	1.03809833	1.03758571	0.00051262	0.00000000
0.90	1.02477970	1.02502449	1.02477969	0.00024479	0.00000000
1.00	1.00000000	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000

Table 4. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.8$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.10	0.27453902	0.27501941	0.27453902	0.00048039	0.00000000
0.20	0.49069302	0.49144053	0.49069302	0.00074751	0.00000000
0.30	0.65780861	0.65866703	0.65780861	0.00085842	0.00000000
0.40	0.78389757	0.78475561	0.78389757	0.00085803	0.00000000
0.50	0.87581619	0.87659759	0.87581619	0.00078139	0.00000000
0.60	0.93942141	0.94007694	0.93942141	0.00065553	0.00000000
0.70	0.97970670	0.98020772	0.97970669	0.00050102	0.00000000
0.80	1.00092017	1.00125345	1.00092017	0.00033328	0.00000000
0.90	1.00666729	1.00683088	1.00666728	0.00016360	0.00000000
1.00	1.00000000	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000

Example 2. We take into account another problem

$$\varepsilon u''(x) - u'(x) - (1 + \varepsilon)u(x) = 0,$$

$$u(0) = 1 + \exp\left(\frac{-(1 + \varepsilon)}{\varepsilon}\right), \quad u(1) = 1 + 1/\varepsilon.$$

The exact solution of the problem is $u(x) = e^{-x} + e^{(1+\varepsilon)(x-1)/\varepsilon}$. The exact solution of the problem is compared with the solution which is obtained from multiple scales method in Figure 3.

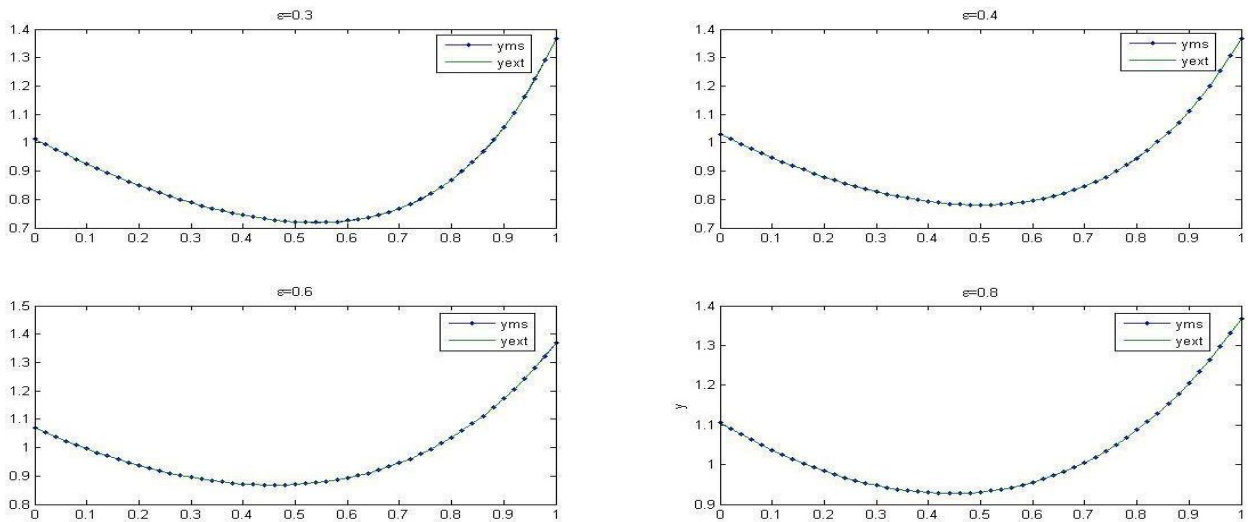


Figure 3. Comparison of multiple scales method and exact solution

Moreover, the exact solution of problem and numerical solution are shown in Figure 4.

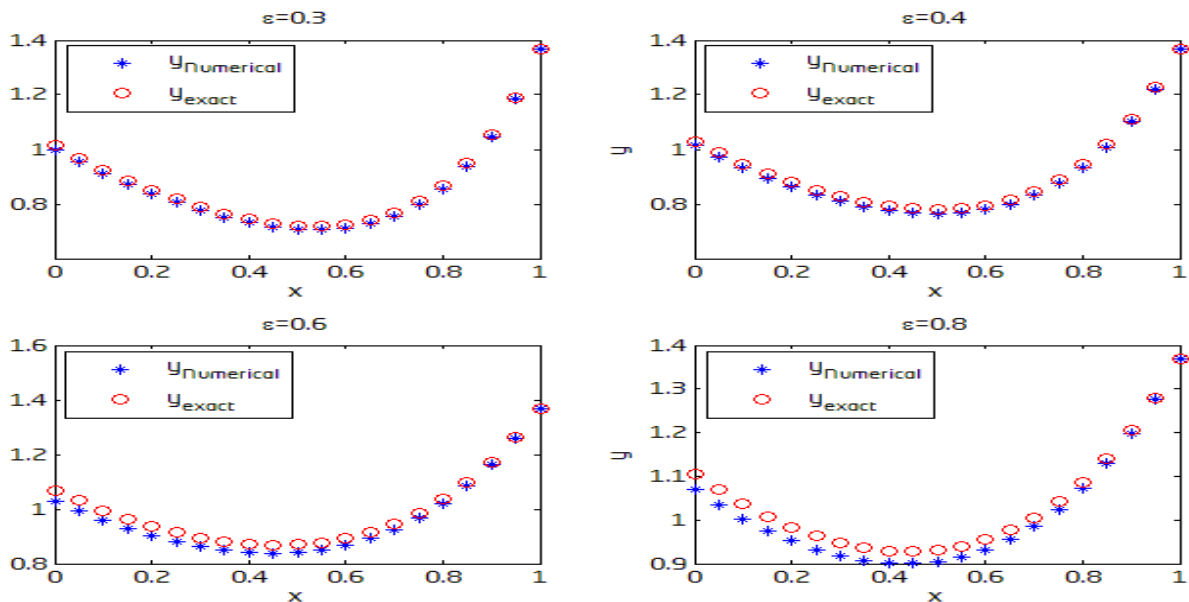


Figure 4. Comparison of numerical solution and exact solution

The obtained results are presented on Tables (5-8).

Table 5. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.3$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	1.01310000	1.01312373	1.01312372	0.00002373	0.00002372
0.10	0.92504273	0.92393266	0.92507932	0.00111007	0.00003659
0.20	0.84989523	0.84757939	0.84995168	0.00231584	0.00005644
0.30	0.78888601	0.78524860	0.78897307	0.00363741	0.00008706
0.40	0.74445933	0.73936235	0.74459362	0.00509698	0.00013429
0.50	0.72088237	0.71421814	0.72108950	0.00666427	0.00020713
0.60	0.72518660	0.71698920	0.72550608	0.00819740	0.00031947
0.70	0.76862434	0.75928991	0.76911709	0.00933443	0.00049275
0.80	0.86891932	0.85962174	0.86967934	0.00929758	0.00076002
0.90	1.05374174	1.04719280	1.05491400	0.00654894	0.00117225
1.00	1.36607316	1.36787944	1.36787944	0.00180808	0.00180807

Table 6. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.4$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	1.03020000	1.03019738	1.03019738	0.00000262	0.02616577
0.10	0.94769325	0.93932533	0.94768954	0.00836792	0.03713100
0.20	0.87954608	0.86142483	0.87954081	0.01812125	0.05269140
0.30	0.82711928	0.79765264	0.82711180	0.02946664	0.07477266
0.40	0.79278708	0.75039715	0.79277647	0.04238993	0.10610745
0.50	0.78031966	0.72391214	0.78030460	0.05500889	0.15057364
0.60	0.79542996	0.72531077	0.79540860	0.07011919	0.21367417
0.70	0.84655337	0.76612089	0.84652305	0.08043248	0.30321809
0.80	0.94595729	0.86471566	0.94591426	0.08124163	0.43028695
0.90	1.11131881	1.05010894	1.11125774	0.06120987	0.61060625
1.00	1.36796609	1.36787944	1.36787944	0.00008665	0.86649152

Table 7. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.6$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	1.06948345	1.06838342	1.06948346	0.00110003	0.16548777
0.10	0.99555537	0.97474348	0.99555538	0.02081189	0.21606169
0.20	0.93717258	0.89328284	0.93717259	0.04388974	0.02820912
0.30	0.89545648	0.82619405	0.89545649	0.06926243	0.03682998
0.40	0.87221656	0.77578796	0.87221657	0.00964286	0.04808541
0.50	0.87012779	0.74621782	0.87012781	0.12390997	0.06278056
0.60	0.89296542	0.74445849	0.89296544	0.14850693	0.08196663
0.70	0.94591426	0.78183882	0.94591428	0.16407544	0.10701605
0.80	1.03597518	0.87643667	1.03597519	0.15953851	0.13972071
0.90	1.17249799	1.05681891	1.17249802	0.11567908	0.18242008
1.00	1.36777946	1.36787944	1.36787946	0.00009998	0.23816861

Table 8. Comparison of multiple scale method and finite difference method for $\varepsilon = 0.8$

x	Exact Solution	FDM	MS	Errors of FDM	Errors of MS
0.00	1.10540000	1.10539922	1.10539922	0.00000788	0.07754381
0.10	1.03683223	1.00712317	1.03683126	0.02970906	0.09710987
0.20	0.98403085	0.92240780	0.98402964	0.06162305	0.12161290
0.30	0.94782729	0.85228694	0.94782577	0.09554035	0.15229860
0.40	0.92956221	0.79900052	0.92956030	0.01305617	0.19072700
0.50	0.93118551	0.76660992	0.93118312	0.16457559	0.23885176
0.60	0.95538428	0.76196355	0.95538129	0.19342073	0.29911948
0.70	1.00574547	0.79620833	1.00574172	0.20953714	0.37459412
0.80	1.08696180	0.88715214	1.08695711	0.19980966	0.46911273
0.90	1.20509175	1.06295325	1.20508587	0.14213850	0.58748053
1.00	1.36788679	1.36787944	1.36787944	0.00000735	0.73571521

4. Discussion and Conclusion

In this paper, singularly perturbed convection-diffusion equations are treated. We obtain the multiple scale approximation solution that its convergence rate is $O(\varepsilon^2)$. Moreover, exponentially fitted difference scheme is constructed on uniform mesh. It is obtained that the approximate rate of difference scheme is $O(h)$. Computational results are presented on the Tables (1-8) for both of methods. Multiple scale method produced better results for small values of ε . For finite difference method, optimal results are obtained when $\frac{h}{\varepsilon} \cong 1$. Numerical investigations can be carried out for various types such as delay, partial derivative forms with different physical properties of these equations.

Kaynaklar

- Amiraliyev, G. M. and Mamedov, Y. D., 1995. Difference Schemes on the Uniform Mesh for Singularly Perturbed Pseudo-Parabolic Equations, *Tr. J. of Math.*, 19, 207-222.
- Amiraliyev, G. M. and Duru, H., 2002. *Nümerik Analiz*, Pegem Yayıncılık, Ankara, pp. 435-437.
- Amiraliyev, G. M. and Cimen, E., 2010. Numerical Method for a Singularly Perturbed Convection-Diffusion Problem with Delay, *Applied Mathematics and Computation*, 216, 2351-2359.
- Amiraliyeva, I. G., Erdogan, F. and Amiraliyev, G. M., 2010. A Uniform Numerical Method for Dealing with a Singularly Perturbed Delay Initial Value Problem, *Applied Mathematics Letters*, 23, 1221-1225.
- Bellew, S. and Riordan, E. O., 2004. A Parameter Robust Numerical Method For A System of Two Singularly Perturbed Convection-Diffusion Equations, *Applied Numerical Mathematics*, 51, 171-186.
- Boyacı, H. and Pakdemirli, M., 1997. A Comparison of Different Versions of the Method of Multiple Scales for Partial Differential Equations, *Journal of Sound and Vibration*, 204(4), 595-607.
- Çakır, M. and Amiraliyev, G. M., 2005. A Finite Difference Method for Singularly Perturbed Problem with Nonlocal Boundary Condition, *Applied Mathematics and Computation*, 160, 539-549.
- El-Gamel, M., 2006. A Wavelet-Galerkin Method for a Singularly Perturbed Convection-Dominated Diffusion Equation, *Applied Mathematics and Computation*, 181, 1635-1644.
- Farrell, P. A., Hegarty, A. F., Miller, J. J. H., Riordan, E. O. and Shishkin, G. I., 2004. Singularly Perturbed Convection-Diffusion Problems with Boundary and Weak Interior Layers, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 166, 133-151.
- Gupta, P. and Kumar, M., 2016. Multiple Scales Method and Numerical Simulation of Singularly Perturbed Boundary Layer Problem, *Appl. Math. Inf. Sci.*, 10(3), 1119-1127.
- Jager, E. M. D. and Furu, J., 1966. *The Theory of Singular Perturbations*, North Holland Series in Applied Mathematics and Mechanics, Elsevier, pp. 91-135.
- Janowicz, M., 2003. Method of Multiple Scales in Quantum Optics, *Physics Reports*, 375, 327-410.
- Kevorkian, J. and Cole, J. D., 1981. *Perturbation Methods in Applied Mathematics*, Springer Verlag, New York, pp. 17-52.
- Lakrad, F. and Belhaq, M., 2002. Periodic Solutions of Strongly Non-Linear Oscillators By The Multiple Scales Method, *Journal of Sound and Vibration*, 258(4), 677-700.
- Linß, T., 2010. Layer Adapted Meshes for Reaction-Convection-Diffusion Problems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 2-7.
- Liu, C. S. and Wen, C. C., 2019. Collocation Method with Fractional Powers Exponential Trial Functions for Singularly Perturbed Reaction-Convection-Diffusion Equation, *International Journal of Thermal Sciences*, 146: 106070.
- Malley, R. E. O., 1974. *Introduction to Singular Perturbations*, Academic Press, New York, pp. 92-95.
- Nayfeh, A. H., 1973. *Perturbation Methods*, Wiley-VCH Verlag GmbH&CoKGaA, pp. 228-276.
- Pakdemirli, M., Karahan, M. M. F. and Boyacı, H., 2009. A New Perturbation Algorithm with Better Convergence Properties: Multiple Scales Lindstedt Poincare Method, *Mathematical and Computational Applications*, 14(1), 31-44.
- Park, P. J. and Hou, T. Y., 2004. Multiscale Numerical Methods for Singularly Perturbed Convection-Diffusion Equations. *International Journal of Computational Methods*, 1(1), 17-65.
- Reddy, Y. and Chakravarthy, P., 2003. Method of Reduction of Order for Solving Singularly Perturbed Two Point Boundary Value Problem, *Appl. Math. Comput.*, 136(1), 27-45.
- Ren, Z. F., Yao, S. W. and He, J. H., 2019. He's Multiple Scales Method for Nonlinear

- Vibrations, Journal of Law Frequency Noise, Vibration and Active Control, 38(3-4), 1708-1712.
- Romanazzi, P., Bruna, M. and Howey, D. A., 2017. Thermal Homogenization of Electrical Machine Windings Applying The Multiple Scales Method, Journal of Heat Transfer, 139, 02101-7.
- Roos, H. G., Stynes, M. and Tobiska, L., 2008. Robust Numerical Methods for Singularly Perturbed Differential Equations: Convection-Diffusion-Reaction and Flow Problems, Springer Science&Business Media, 24, 3-11.
- Sakar, M. G., Saldır, O. and Erdogan, F., 2019. A Hybrid Method for Singularly Perturbed Convection-Diffusion Equation, Int. J. Appl. Comput. Math., 5, 135.
- Salahshoor, E., Ebrahimi, S. and Maasoomi, M., 2016. Nonlinear Vibration Analysis of Mechanical Systems with Joint Clearances Using The Method of Multiple Scales, Mechanism and Machine Theory, 105, 495-509.
- Samarskii, A.A., 2001. The Theory of Difference Schemes. Moscow M.V. Lomonosov State University, Russia, pp. 9-13.
- Sekar, E. and Tamilselvan, A., 2019. Finite Difference Scheme for Third Order Singularly Perturbed Delay Differential Equation of Convection Diffusion Type with Integral Boundary Condition, Journal of Applied Mathematics and Computing, 61, 73-86.
- Shishkin, G. I. and Shishkina, L. P., 2019. Difference Schemes on Uniform Grids for an Initial-Boundary Value Problem for A Singularly Perturbed Parabolic Convection-Diffusion Equation, Comput. Methods Appl. Math. , 20(4), 709-715.
- Shishkin, G. I., 2004. Discrete Approximations of Solutions and Derivatives for a Singularly Perturbed Parabolic Convection-Diffusion Equation, Journal of Computational and Applied Mathematics, 166, 247-266.
- Subburayan, V. and Ramanujam, N., 2013. An Initial Value Technique for Singularly Perturbed Convection-Diffusion Problems with a Negative Shift, J. Optim. Theory Appl., 158, 234-250.
- Wu, C. P. and Tsai, Y. H., 2010. Dynamic Responses of Functionally Graded Magneto-Electro-Elastic Shells with Closed-Circuit Surface Conditions Using The Method of Multiple Scales, European Journal of Mechanics A/ Solids, 29, 166-181.

Mısır Püskülünün Pamuklu Kumaşlar için Doğal Boyamacılık Özelinde Kullanımının Araştırılması (Mordan Maddesiz Kullanımın, Mordan Maddeli Kullanımla Kıyaslanması)

Investigation of Using Corn Tassel for Cotton Fabrics in Natural Dyeing (Comparison of Use without Mordant with Use with Mordant)

Fazlıhan YILMAZ*^{1,a}

¹ Atatürk Üniversitesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, 25100, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 09.04.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 30.09.2020

Öz

Yapılan bu çalışmada atıl durumda bulunan mısır püsküllerinin pamuklu kumaşların renklendirilme işlemlerinde kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında mısır püskülü kullanılarak mordan maddesi olmadan boyama denemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca buna ek olarak boyama denemelerinde 2 farklı mordan maddesi de (bakır II sülfat ve kalay II klorür) kullanılmıştır. Boyama işlemlerinde flote oranı 1:50 olarak ayarlanmış ve öğütülmüş olan mısır püskülleri direkt olarak boyama denemelerinde kullanılmıştır. Boyanmış olan pamuklu kumaş numunelerinin yıkama işlemi gerçekleştirildikten hemen sonra kurutma işlemi de yapılmıştır. Kurumuş olan kumaş numunelerinin spektrofotometre yardımı ile renk değerleri ölçümü yapılmıştır. Buna ek olarak bu kumaşların yıkama ve ışık haslığı testleri de gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemler sonucunda pamuklu kumaşların renklendirilmesinde ve bu renkli kumaşların kullanım açısından gerekli haslık değerleri göstermesinde mısır püskülünün kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Böylece atıl durumda bulunan mısır püsküllerinin farklı bir alanda değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bakır II Sülfat, Doğal Boya, Kalay II Klorür, Mısır Püskülü, Pamuk, Renk

Abstract

In this study, it was investigated whether the waste corn tassels can be used in the coloring processes of cotton fabrics. Within the scope of the study, dyeing experiment was carried out without using mordant material, using corn tassel. In addition, 2 different mordant materials (copper II sulfate and tin II chloride) were used in the dyeing experiments. In the dyeing process, the liquor ratio was set to 1:50 and the ground corn tassels were used directly in the dyeing process. Immediately after washing the dyed cotton fabric samples, drying process was also carried out. Color values of dried fabric samples were measured with the help of spectrophotometer. In addition, washing and light fastness tests of these fabrics were carried out. As a result of these processes, it was determined that corn tassel can be used to color the cotton fabrics and to provide the fastness values required for these colored fabrics. Thus, it has been ensured that the waste corn tassels are evaluated in a different area.

Keywords: Copper II Sulfate, Natural Dye, Tin II Chloride, Corn Tassel, Cotton, Colour

*a Fazlıhan YILMAZ; fazlihan.yilmaz@atauni.edu.tr, Tel: (0551) 907 94 84, orcid.org/0000-0003-2278-163X

1. Giriş

Tekstil sektörü, hayatımızın her alanında ihtiyaç duyduğumuz ürünleri, çevre şartlarına ve insanların kullanım şekline göre dayanıklı ürünler üretmektedir. Tekstil tarihi ilk insanların örtünmek amacıyla hayvan postlarını kullanmalarıyla başlamıştır. Eski zamanlardan bu yana doğanın renkleri karşısında hayranlığa kapılan insanlar, doğada renkleri her alanda kullanmak istemişlerdir. Güzel görünmek, başkalarını etkilemek gibi nedenlerle doğadan birçok boyarmadde elde edilmiştir. Doğada bulunan renklerin taklit edilmesiyle başlayan doğal boyamacılıkta ilk önce taş, toprak ve maden çeşitleri kullanılmıştır. Daha sonraları ise hayvan ve bitkilerden boyarmaddeler elde edilmeye başlanılmıştır (Akpınarlı ve Tambaş, 2019).

Tarih boyunca süsleme ve renk kavramları farklı amaçlar ve anlamlara hizmet edecek şekilde kullanılmıştır. Kullanılan süslemelerde renk ve teknikler, geçmiş öğretilerden, coğrafi şartlardan ve inançlardan etkilenerek gelişim göstermişlerdir. Tarihin her döneminde doğanın vazgeçilmez bir parçası olan insanın ilham kaynağı, doğada karşılaştıkları ve hissettikleri olmuştur. Doğada bulunan maddeleri kullanarak boyarmadde elde etme, tarihin oldukça eski dönemlerinden beri bilinen bir sanat koludur (Şanlı ve Bak, 2019).

Eski zamanlardan beri renklerin yaşamımızda önemli bir yeri bulunmaktadır. Renkler hayatımızın her alanında belirleyici olmuş, süslemek, süslenmek bazen de iletişim kurmak için ihtiyaç duyulan bir şeye dönüşmektedir. Bu durum da bizi doğadaki renkleri taklit etmeye kadar götürmüştür. İnsanoğlu bir nesneyi renklendirmek için ise bitkilerin önce çiçeklerinden daha sonra yaprak, meyve gövde ve kök gibi kısımlarından yararlanarak boyarmadde elde etmişlerdir (Şanlı ve Bakır, 2019). Burada da görülmektedir ki doğa, tekstil materyallerinin renklendirilmesi için bizlere birçok kaynak sunmuştur (Ayele vd., 2020).

Tekstil endüstrisinde sentetik ve doğal boyarmaddeler kullanılmaktadır (Dayıoğlu vd., 2016). Günümüzde sağlık açısından doğal kökenli maddeleri seçmek önemlidir. Bu yüzden kimyasal maddelere karşı bir önyargı vardır (Yılmaz vd., 2019). Dünya genelinde kullanılan renklendiricilerin büyük bir kısmını azo boyalar oluşturmaktadır. Bu bileşiklerin atık sularda bulunması, sucul ekosistemler ve insan sağlığı için toksik etkilere neden olabilmektedir. Bu sebeple doğal boyarmaddeler tekstil endüstrisinde

güvenli bir alternatif oluşturmaktadırlar (Bayraktar ve Tüney Kızılkaya, 2018). Doğal boyarmaddeler çevre dostudur, tehlikesizdir ve sürdürülebilirdir (Amutha vd., 2020). Oldukça geniş bir renk yelpazesine sahip olan doğal boyarmaddeler içerisinde katılan mordanlar ile daha da zengin renk tonuna sahip olabilmektedir (Koyuncu Okca, 2017).

Doğal boyarmaddeler tekstil materyallerini renklendirebilir. Bunun yanı sıra hem üreticiler hem de tüketiciler açısından bu boyarmaddeler farklı imkanlar ve faydalar sunmaktadır (Bahtiyari and Yılmaz, 2018). Son yıllarda doğal boyarmadde elde etmek için, kaynak olarak bitkisel atık kullanımı, farklı araştırmacılar tarafından çalışılmakta olan popüler bir konudur. Söz konusu bitkisel atıkların içeriğindeki renk pigmentleri, buna bağlı olarak da elde edilen renk yelpazesi coğrafi farklılıklara, kullanılan mordanların çeşidine, mordanlama metoduna ve boyanan tekstil lifinin cinsine göre değişiklik göstermektedir (Kayahan vd., 2016).

Ülkemizde bitkisel boyacılık geleneği, geçmişten günümüze kadar süregelen bir gelenektir. Doğal boyar bitkiler özelinde dünyanın en zengin bölgelerinden biri olan ülkemizde doğal boyaların önemi oldukça fazladır. Halıdan kumaşa, kumaştan keçeğe, keçeden çiniye kadar birçok kültür değerimize renk olan doğal boyalar yüzyıllardır ülkemizde üretilmiştir ve hala üretilmeye devam etmektedir (Şanlı ve Çatalıkaya Gök, 2017).

Son zamanlarda özellikle tüketicilerde oluşan çevre bilinci sayesinde doğal boyamacılık tekrardan önem kazanmıştır. Bu sayede üreticiler de tekrardan doğal boyalı ürünler üretmeye başlamışlardır. Yapılan çalışmada, atıl durumda bulunan bitkisel kaynakların tekrardan kullanım alanı bulması için mısır püskülü kullanılarak pamuklu kumaşların renklendirilmesinin araştırılması amaçlanmıştır. Böylece bir bitkisel kaynaktan farklı bir endüstri kolunda faydalanırken bunun atık şeklinde bekleyen bir başka parçasının farklı bir endüstri alanında değerlendirilerek ziyan olmaması sağlanacaktır. Yani böylece ülke ekonomisine yeni bir katma değer oluşturulacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Boyama denemelerinde doğal boyarmadde kaynağı olarak atıl durumda bulunan mısır

püskülleri kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan mısır püskülleri herhangi bir ön işlem görmemiştir. Yani boyama işlemi yapılacağı zaman boyama banyosuna direkt olarak eklenmiştir. Bitkisel boyarmadde kaynağı olarak kullanılan mısır püskülüne ait görsel Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Kurutulmuş mısır püskülü

Ayrıca yapılan çalışma kapsamında 2 farklı mordan maddesi de kullanılmıştır. Bu mordan maddeleri kalay II klorür ve bakır II sülfattır.

Boyama işlemlerinde kumaş olarak %100 pamuklu dokuma kumaş kullanılmıştır. Bu kumaşa ait konstrüksiyon özellikleri ise Tablo 1’de sunulmuştur.

Denemelerde kullanılan pamuklu kumaş numunesi gerekli ön işlemleri gördükten sonra boyama denemelerine hazır hale gelmiş şekilde temin edilmiştir.

Tablo 1. Denemelerde kullanılan kumaşa ait özellikler

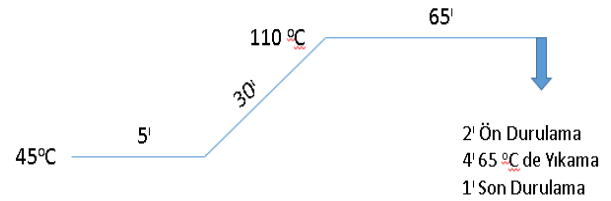
Gramaj (g/m ²)	185	
Elyaf Cinsi	%100 pamuk	
Sıklık (tel/cm)	Atkı	26
	Çözüğü	50
İplik Numarası (Ne)	Atkı	20
	Çözüğü	30
Örgü Cinsi	2/1 Dimi	

2.2. Metot

Yapılan boyama işlemlerine geçilmeden önce pamuklu kumaşlar 2 gram olarak kesilmiştir. Boyama işlemlerinde kumaş/bitki ağırlığı 1:1 olacak şekilde çalışılmıştır. Yani 2 gr pamuklu kumaş için 2 gr mısır püskülü boyama banyosuna

eklenmiştir. Bütün boyama işlemlerinde ise flotte oranı 1:50 olarak ayarlanmıştır.

Boyama denemelerinde mordan maddesi olarak kalay II klorür ve bakır II sülfat mordan maddesinin farklı oranları (%2, %4 ve %6) kullanılarak boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir. **Bu boyama işlemlerine ek olarak asıl amaç mordan maddesi kullanılmadan bu bitkisel boyarmadde kaynağının pamuklu kumaşlar için renklendirme işlemlerinde kullanılıp kullanılmayacağına araştırılmasıdır.** İki farklı mordan maddesi yardımıyla yapılan boyama denemelerinde birlikte mordan yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde bitkisel kaynak, kumaş ve mordan maddesi hep birlikte boyama banyosuna eklenerek, boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde zamandan ve enerjiden kazanç sağlanmıştır.



Şekil 2. Mısır püskülü kullanılarak yapılan boyama işlemine ait diyagram

Boyama işlemlerinin hepsi laboratuvar tipi boyama makinesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’deki boyama diyagramına göre boyanmış olan kumaş numuneleri oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işlemi de tamamlandıktan sonra boyanmış olan pamuklu kumaş numunelerinin haslık testleri (yıkama ISO 105-C10 standardına göre ve ışık ISO 105-B02 standardına göre) ve renk ölçümleri (CIELAB (L*, a*, b*, C*ve h°) ve K/S (renk verimliliği)) değerleri spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ise 3. Bölümde tablola halinde sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Mısırın işlenmesi sırasında atık halde kalan mısır püskülleri ile mordan maddesi kullanılmadan ve 2 farklı mordan maddesinin 3 farklı konsantrasyonunda boyama denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler sonucunda mısır püskülleri ile boyanmış olan pamuklu kumaş numunelerinin spektrofotometre yardımıyla renk ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlerde elde edilen değerler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Mısır püskülü kullanılarak boyanmış olan yünlü kumaşların renk değerleri

Mordan Cinsi	Mordan Konsantrasyonu	K/S	L*	CIE L*a*b* (D65)			
				a*	b*	C*	h°
<i>Mordansız</i>	-	0.81	74.89	-0.41	12.47	12.47	91.86
Kalay II Klorür	% 2	0.57	79.66	-0.01	12.1	12.1	90.04
	% 4	0.63	81.05	0.1	14.09	14.1	89.61
	% 6	0.71	78.33	0.12	11.66	11.66	89.39
Bakır II Sülfat	% 2	0.81	74.98	0.16	16.04	16.04	89.42
	% 4	0.82	74.56	0.52	16.28	16.29	88.18
	% 6	0.86	73.46	0.7	15.98	15.99	87.49

L* açıklık eksenidir. Bu değer ideal siyahta sıfırdan başlayıp, ideal beyaz için 100'e ulaşır. Yani L* değeri siyah için sıfır, ideal beyaz için 100'dür (Duran, 2008). Tablo 2'de sunulan L* değerleri incelendiğinde en yüksek değer 81.05 olduğu görülmüştür. En düşük değer ise 73.46 olarak karşımıza çıkmaktadır. En yüksek değere kalay II klorür mordan maddesinin %4'lük konsantrasyonu kullanılarak yapılan boyama denemesinde ulaşılmıştır. En düşük değer ise bakır II sülfat mordan maddesinin %6'lük boyama konsantrasyonunda elde edildiği gözlemlenmiştir. **Mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesi incelendiğinde ise L* değerinin 74.89 olduğu tespit edilmiştir.**

K/S değeri bilindiği üzere renk verimliliğini ifade etmektedir. Tablo 2'de sunulan K/S değerleri

incelendiğinde ise en yüksek değer 0.86 ile bakır II sülfat mordan maddesinin %6'lük boyama konsantrasyonunda elde edildiği gözlemlenmiştir. **Mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesinde elde edilen K/S değeri ise 0.81 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değer de elde edilen en yüksek değere yakın bir değerdir. Yani mordan maddesi kullanılmadan da mısır püskülü ile boyanmış olan pamuklu kumaş numunesi için genel itibarıyla yüksek bir K/S değerine ulaşılmıştır.** En düşük K/S değeri ise 0.57 olarak gözlemlenmiştir. Bu değer ise kalay II klorür mordan maddesinin %2'lik boyama konsantrasyonunda yapılan boyama denemesinde elde edilmiştir. Mordan maddesi ile yapılan boyama denemelerinde istisnasız olarak mordan maddesi konsantrasyonu arttığında K/S değerlerinde de bir artış meydana gelmektedir.

Mordansız	% 2 Kalay II Klorür	% 4 Kalay II Klorür	% 6 Kalay II Klorür	% 2 Bakır II Sülfat	% 4 Bakır II Sülfat	% 6 Bakır II Sülfat

Şekil 3. Mısır püskülü kullanılarak boyanmış pamuklu kumaşlardan elde edilen renkler

“a*” kırmızı-yeşil eksenini, “b*” sarı-mavi eksenini, “C” doygunluğu ve “h°” renk cinsini (h° = 0° Kırmızı, h° = 90° Sarı, h° = 180° Yeşil, h° = 270° Mavi) vermektedir (Duran, 2008). Şekil 3 incelendiğinde mısır püskülü kullanılarak boyanmış olan pamuklu kumaşlarda sarı tonları, bej tonları, kahverengi tonları ve yeşil tonlarının elde edildiği görülmüştür. Örneğin, kalay II klorür mordan maddesinin %4'lük konsantrasyonu kullanılarak yapılan boyama denemesinde, a* = 0.1, b* = 14.09 ve h° = 89.61 olarak bulunmuştur ve renk açık sarı olarak algılanmaktadır. **Bir farklı örnekte ise mordan maddesi kullanılmadan boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu boyama işleminde, a* = -0.41, b* = 12.47 ve h° = 91.86'dir. Bu boyama denemesinde ise renk bej olarak algılanmaktadır.** Son olarak ise bakır II sülfat mordan maddesinin %6'lük

konsantrasyonunda yapılan boyama denemesinde ise a* = 0.7, b* = 15.98 ve h° = 87.49 olarak gözlemlenmiştir. Bu boyama işlemi sonucunda ise renk açık yeşil olarak algılanmaktadır. Görüldüğü gibi farklı mordan maddeleri kullanılarak aynı bitkisel boyarmadde kaynağı ile farklı renklerin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Daha önce de bahsedildiği gibi mısır püskülü kullanılarak boyama işlemleri gerçekleştirilen pamuklu kumaş numunelerinin yıkama ve ışık haslığı testleri de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise Tablo 3'de sunulmuştur. Tablo 3'deki ışık haslığı test sonuçları incelendiğinde en düşük değer 3-4 olarak elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu değer ise mordan maddesi kullanılmadan ve kalay II klorür mordan maddesinin %2 ve %4'lük konsantrasyonları kullanılarak yapılan boyama

işlemlerinde elde edilmiştir. En yüksek değer ise 4-5 olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Mısır püskülü kullanılarak boyanmış pamuklu kumaş numunelerinin ışık haslığı ve yıkama haslığı test sonuçları

Mordan Maddesi	Işık Haslığı	Yıkama Haslığı	
		Renk Değişimi	Akma
<i>Mordansız</i>	3-4	5	5
%2 SnCl ₂ .2H ₂ O	3-4	5	5
%4 SnCl ₂ .2H ₂ O	4	5	5
%6 SnCl ₂ .2H ₂ O	4	5	5
%2 CuSO ₄ .5H ₂ O	4	5	5
%4 CuSO ₄ .5H ₂ O	4	5	5
%6 CuSO ₄ .5H ₂ O	4-5	5	5

Bu değere bakır II sülfat mordan maddesinin %6'lık konsantrasyonunda yapılan boyama denemesinde ulaşılmıştır. Işık haslıkları genel itibariyle incelendiğinde, mordan maddesi konsantrasyonu arttığında ya aynı kalmış ya da artış göstermiştir. *Mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesinde elde edilen değer ise mordan maddesi kullanılarak yapılan boyama denemelerindeki sonuçlara oldukça benzerlik göstermektedir. Bu da mordan maddesi kullanılmadan mısır püskülleri ile boyanmış olan pamuklu kumaşların kullanım açısından gerekli ışık haslığı değerlerini nerdeyse mordan maddesi kullanılarak yapılan boyama işlemlerindeki kadar sağladığını ifade etmektedir.*

Tablo 3'te sunulan yıkama haslığı değerleri incelendiğinde ise hem renk değişimi hem de referans kumaşı kirletme açısından oldukça iyi sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir. *Yine mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesinde mordan maddeleri kullanılarak yapılan boyama denemelerinde olduğu gibi tatmin edici yıkama haslığı değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir.*

Bu sonuçlar neticesinde mısır püskülü kullanılarak boyanmış olan pamuklu kumaş numunelerinin kullanım açısından gerekli ve yeterli ışık ve yıkama haslığı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Böylece özellikle mordan maddesi kullanılmadan bu bitkisel boyarmadde kaynağının kullanılabilirliği gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Ülkemizin birçok bölgesinde mısır yetiştiriciliği yapılmaktadır. Mısırın işlenmesi sırasında püskül kısmı genel olarak atık halde kalmaktadır. İşte yapılan bu çalışmada mısır püskülünün değerlendirilmeden yok olup gitmesinin önlenerek tekstil boyamacılığında kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Mısır püskülleri kullanılarak mordansız ve 2 farklı mordan maddesinin farklı konsantrasyonlarında boyama denemeleri gerçekleştirilmiştir. Gerek mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesinde gerekse mordan maddeleri kullanılarak yapılan boyama denemelerinde mısır püskülünün pamuklu kumaşları renklendirebileceği tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapılan ışık ve yıkama haslığı testleri sonucunda da kullanım açısından mısır püskülü ile boyanmış pamuklu kumaşların gerekli ve yeterli haslık değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak doğada yok olup gidecek bir bitkisel kaynağın mordan maddesi kullanılmadan bile tekstil boyamacılığında kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Amutha, K., Grace Annapoorani, S. ve Sudhapriya, N., 2020. Dyeing of Textiles with Natural Dyes Extracted from Terminalia Arjuna and Thespesia Populnea Fruits. Industrial Crops & Products, 148, 1-8.
- Ayele, M., Tesfaye, T., Alemu, D., Limeneh, M. ve Sithole, B., 2020. Natural Dyeing of Cotton Fabric with Extracts from Mango Tree: A Step Towards Sustainable Dyeing. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 17, 1-8.
- Akpınarlı, H.F. ve Tambaş, C., 2019. Pamuklu-İpekli Kumaşlara Ekolojik Baskı Uygulaması ve Haslık Düzeylerinin Belirlenmesi. İdil Dergisi, 62, 1295-1311.
- Bahtiyari, M.İ. ve Yılmaz, F., 2018. Evaluation of Different Natural Dye Sources in Terms of Metamerism. AATCC Journal of Research, 5(3), 21-27.
- Bayraktar, E. ve Tüney Kızılkaya, İ., 2018. Alg Pigmentlerinin Tekstilde Doğal Boyar Madde Olarak Kullanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22, 50-57.

- Dayıoğlu, H., Merdan, N., Eyüpoğlu, S., Kılınç, M. ve Kut, D., 2016. The Effect of Plasma Treatment on the Dyeability of Silk Fabric by Using *Phytolacca Decandra* L. Natural Dye Extract. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(3), 262-269.
- Duran, K., 2008. *Tekstilde Renk Ölçümü ve Reçete Çıkarma*: İzmir, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, 308s.
- ISO 105-B02, 1994. *Textiles-Tests for Color Fastness – Part B02, Color Fastness to Artificial Light*, International Organization for Standardization, Brussels, Belgium.
- ISO 105-C10, 2006. *Textiles-Tests for Color Fastness – Part C10, Color Fastness to Washing with Soap or Soap and Soda, Test Condition: Test A (1)*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Kayahan, E., Karaboyacı, M. ve Dayık, M., 2016. Bitkisel Atıklar Kullanılarak Yün, Pamuk ve Rejenere Soya Lifleri için Ekolojik Boyama. *Tekstil ve Mühendis*, 23(102), 112-125.

Niyobyum İlavesinin (Bi, Pb)-2223 Bulk Süperiletken Sistemine Etkisi Üzerine Bir Araştırma

An Investigation on the Influence of Niobium Adding on (Bi,Pb)-2223 Bulk Superconducting System

Hasan AĞIL ^{*,1}

¹ Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 30000, Hakkari, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 08.06.2020 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 18.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 30.09.2020

Öz

Niyobyum (Nb) ilaveli $Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O_{\delta}$ içeren bir dizi bizmut-tabanlı bulk süperiletken malzemeler, geleneksel katı hal reaksiyon yöntemi ile sentezlendi. Malzemelerin fazları ve mikro-yapısal analizi, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirildi. Niyobyum ilavesinin elektriksel ve manyetik özellikler üzerindeki etkisi, sırasıyla özdirenç ve mıknatıslanma ölçümleri ile belirlendi. Niyobyum ilavesiyle kritik sıcaklıkta önemli bir azalma olmadı. Ayrıca niyobyum ilave edilmiş malzemelerin oda sıcaklığı özdirenci, saf malzemeye kıyasla azaldı. Nb katkılı numunelerin kritik akım yoğunluk değerleri saf numuneninkinden daha düşüktür.

Anahtar kelimeler: Akı Çivilemesi, (Bi, Pb)-2223 Süperiletkeni, Kritik Akım Yoğunluğu, Nb_2O_5 Katkısı

Abstract

A series of bismuth-based bulk superconducting materials with niobium-added $Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O_{\delta}$ were synthesized by the conventional solid state reaction method. The phases and microstructural analysis of the samples were carried out by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). The effect of niobium addition on electrical and magnetic properties was determined by resistivity and magnetization measurements, respectively. There was no significant reduction in critical temperature by the addition of niobium. Also the room temperature resistivity of the niobium added samples decreased compared to the pristine sample. The critical current density values of the samples with Nb addition were lower than the pure sample.

Keywords: Flux Pinning, (Bi, Pb)-2223 Superconductor, Critical Current Density, Nb_2O_5 Addition

*a Hasan AĞIL; hasanagil@hakkari.edu.tr, Tel: (0438) 212 12 12, orcid.org/0000-0002-1574-3232

1. Giriş

Bi-Sr-Ca-Cu-O süperiletken ailesi (BSCCO), umut vaat eden teknik uygulamalar açısından birçok araştırma başlatmıştır. Özellikle Maeda tarafından keşfedilen Bi-2223 fazı, yüksek kritik sıcaklığı nedeniyle özelliklerinin iyileştirilmesi için birçok araştırmacı tarafından hala araştırılmaktadır (Maeda vd., 1988). Sistemdeki kimyasal yer değiştirmeler veya kimyasal katkılama çalışmaları, Bi-tabanlı bileşiklerde faz yapısının kökenini anlamak, yeni fazları sentezlemek ve süperiletkenlik mekanizmasını anlamak için önemlidir. Bi-2223 fazının üretimi sırasında diğer fazlar (Bi-2201 ve Bi-2212) da oluşabilir. Üç fazın tümü nedeniyle BSCCO, sistemin tek bir faz olarak oluşmasını önleyen benzer oluşum enerjilerine sahiptir (Grivel vd., 1996). Bi bölgesine kısmen Pb eklenerek Bi-2223 fazının kararlılığında önemli bir iyileşme gözlenmiştir (Grivel vd., 1996). Bi-2223 bulk malzemeler düşük kritik akım yoğunluğuna (J_c) sahip olmalarına rağmen, diğer yüksek sıcaklık süperiletkenlerine kıyasla iyi mekanik özellikleri ve kolay şekillendirilebilirliği ile en yüksek kritik sıcaklığa (T_c) sahiptirler (Rouessac vd., 1997). Bi tabanlı süperiletken malzemelerin uygulamalarındaki temel sınırlamalar, tanecik sınırlarındaki zayıf bağlar ve akı çivileme kabiliyetleridir (Cursino vd., 2009). Başlangıç stokiyometrisi, başlangıç tozlarının saflığı ve boyutu, toz hazırlama koşulu, presleme basıncı, ısıl işlem süreci ve katkı maddelerinin türü ve miktarı, parçacık bağlılığı ve akı çivileme yeteneğini önemli ölçüde etkiler. BSCCO'nun pratik uygulamalarda kullanımı için yüksek kritik akım yoğunluğu gerektiğinden, bu süperiletkenin süperiletken özelliklerini iyileştiren etkili yapay çivileme merkezlerinin oluşturulması önemlidir (Albiss vd., 2010; Zouaoui vd., 2008; Schneemeyer vd., 1987). Bu bağlamda, BSCCO süperiletkeninin kritik parametrelerini (kritik sıcaklık, kritik akım yoğunluğu, kritik manyetik alan, vb.) iyileştirmek için çok çaba sarf edilmiştir. Son zamanlarda, K, Eu, Tm_2O_3 , In_2O_3 , Ga_2O_3 , NiO, $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$, WO_3 , TiO_2 gibi nano boyutlu elementlerin, bileşiklerin ve oksitlerin etkisi, BSCCO'nun süperiletken özelliklerini iyileştirmek için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Tran vd., 2019; Padam vd., 2019; Ülgen vd., 2018; de Vera vd., 2019; Guner vd., 2019; Harabor vd., 2019; Mohd Suib vd., 2019; Rahal vd., 2019; Ülgen vd., 2019). Nano parçacıkların tanecik-içi ve tanecik-arası bölgelerde etkin çivileme merkezleri olarak davrandıkları bulunmuştur (Ishii vd., 2000).

Bi-tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenleri için genel formül $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$ olarak ifade edilebilir. Burada n, c eksenine dik farklı Cu-O düzlemleri için (n = 1, 2, 3) değerlerini alabilir. Fazlar genellikle, Bi-2201, Bi-2212, Bi-2223 olarak Bi:Sr:Ca:Cu bileşen elementlerinin atomik oranıyla, CuO_2 tabakalarının sayısına atıfta bulunarak n = 1, 2, 3 olarak belirtilir ve sırasıyla 20, 95 ve 110 K'lik süperiletken geçiş sıcaklıklarına sahip fazlardır (Gul vd., 2005).

Literatürde ayrıca Bi-tabanlı süperiletkenlere niyobyum ilavesinin veya katkısının etkileri ile ilgili çalışmalarda bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar ile bizim çalışmamız arasında hem malzeme hazırlama hem başlangıç bileşimi hem de gerçekleştirilen karakterizasyonlar arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Ghazanfari vd. tarafından Nb ilavesinin BSCCO'nun süperiletken özelliklerine etkileri araştırıldı (Ghazanfari vd., 2007). Bu çalışmada tüm başlangıç tozları birlikte karıştırılmış ve ardından tozlar kalsine edilerek malzemeler pelet haline getirilmiştir. Bu çalışmanın, mevcut çalışmadan farkı malzeme hazırlama aşamasıdır. Bilgili vd. yaptığı çalışmada ise hem başlangıç bileşimi hem karıştırma işlemi hem de ısıl işlem süreçleri açısından bizim çalışmamız ile arasında farklılıklar bulunmaktadır (Bilgili vd., 2014). Asghari vd. yaptığı başka bir çalışmada ise kurşundan (Pb) eksiltme yapılarak yerine niyobyum (Nb) katkısı yapılarak malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir (Asghari vd., 2017).

Bu çalışmanın amacı, Nb ilavesinin Bi-2223 bulk malzemelerin çivileme mekanizması ve faz oluşumu üzerindeki etkisini araştırmaktır. Sonuç olarak, niyobyum ilavesinin faz hacim oranını arttırmak için Bi-2223 bulk süperiletkenleri üzerindeki olası rolü elektriksel, manyetik ve yapısal ölçümlerle araştırıldı.

2. Materyal ve Metod

Geleneksel katı hal reaksiyon yöntemi, $Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O_8/(Nb_2O_5)_x$ bulk süperiletkenini üretmek için kullanıldı; burada x ağırlıkça 0,0, 0,1, 0,2, 0,5, 0,7 ve 1,0'dır. Bu malzemeler bundan sonra sırasıyla A, B, C, D, E ve F olarak adlandırılacaktır. Yüksek saflıkta başlangıç tozları (Bi_2O_3 (% 99,999), PbO (% 99,999), $SrCO_3$ (% 99,995), $CaCO_3$ (% 99,999) ve CuO (% 99,99)) stokiyometrik orana göre hassas bir şekilde tartıldı ve bir agat havan içerisinde tokmak ile karıştırıldı ve öğütüldü. Toz karışımı daha sonra 12 saat boyunca hava ortamında sırasıyla 800 °C ve 820 °C'de bir kül fırında

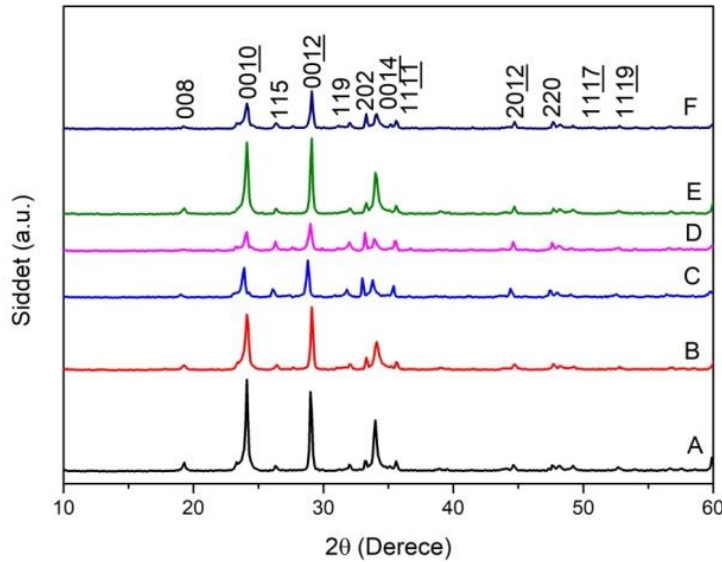
kalsine edildi. Bu karışım, kalsinasyon işlemleri sırasında agat havan ve tokmak ile ara öğütmeye tabi tutuldu. Bu işlemten sonra nihai toz karışımına ağırlıkça (toplam toz karışımının) % 0, 0,1, 0,2, 0,5, 0,7 ve 1 oranında niyobyum ilave edildi ve daha sonra 1 mm kalınlığında ve 13 mm çapında malzemeler 375 MPa basınç altında preslendi. Daha sonra tüm numuneler bir tüp fırın içerisinde hava ortamında 835 °C'de 40 saat sinterlendi. Nihai malzemeler, Bi-2223 faz hacim oranını, T_c ve J_c 'yi arttırmak için, yeniden öğütüldü ve 650 MPa basınç altında yeniden preslendi (Safran vd., 2017). Son olarak sinterleme işlemi bir tüp fırın içerisinde 835 °C'de 40 saat gerçekleştirildi.

Tüm örneklerin yapısal analizi ve faz tespiti X-ışını toz kırınım yöntemi (XRD) ile araştırıldı. Örgü parametreleri, X-ışını verilerindeki kırınım pikleri kullanılarak UnitCell programı ile hesaplandı. Örneklerin morfolojisini ve tanecik büyüklüğünü incelemek için tarama elektron

mikroskobu (SEM) kullanıldı. Elektriksel ve manyetik özellikler sırasıyla doğru akım (d.a.) direnç ve mıknatıslanma ölçümleri ile belirlendi. Bu ölçümler Quantum Design PPMS (fiziksel özellikler ölçüm sistemi) ile alındı. Kritik akım yoğunluğu Bean formülü ile hesaplandı (Cagliero vd., 2007).

3. Bulgular ve Tartışma

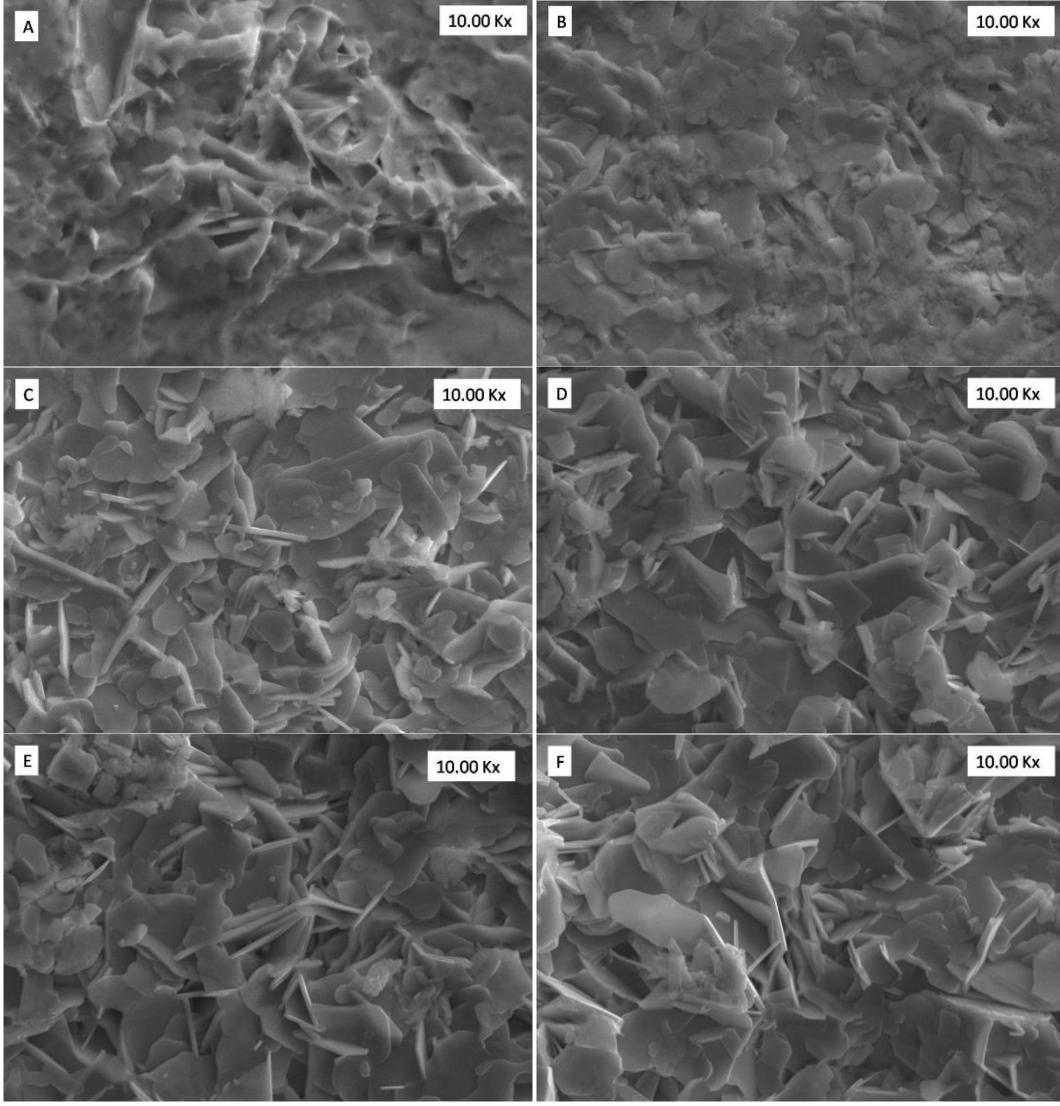
$Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O_{\delta}/(Nb_2O_5)_x$ bulk süperiletkenlerin XRD desenleri Şekil 1'de gösterilmektedir. (hkl) Miller indisleri MDI Jade 6 programı kullanılarak belirlendi ve XRD piklerinde işaretlendi. Tüm örneklerin XRD desenlerinde tüm piklerin Bi-2223 fazına ait olduğu ve yabancı faz bulunmadığı gözlemlendi. Bu, malzeme üretim sürecinin başarıyla gerçekleştirildiğini gösterir. İndekslenmiş piklerin (hkl) değerinden hesaplanan örgü parametrelerinde, sistematik bir değişiklik yoktu. Bu değerler Tablo 1'de gösterildi.



Şekil 1. (Bi, Pb)-2223 + ağ. % x Nb₂O₅ bulk süperiletkenlerin XRD desenleri.

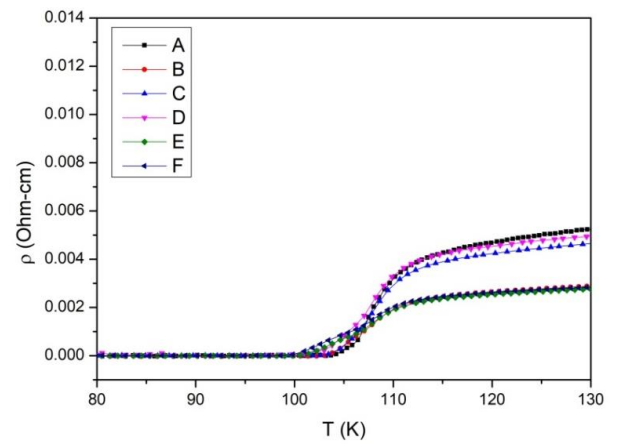
Tanecik yapısı, yüksek sıcaklık süperiletkenlerin en önemli özelliklerinden birisidir (Silver vd., 2002). Örneklerin mikro yapısı, yüzey morfolojisi ve tanecik yapısı SEM görüntüleri ile incelendi. İkincil elektron (SE) görüntüleme ve 10000 büyütme kullanıldı. Şekil 2, $Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O_{\delta}/(Nb_2O_5)_x$ bulk süperiletkenlerin SEM görüntülerini göstermektedir. Plaka benzeri bir parçacık morfolojisi, (Bi, Pb)-2223 sisteminde artan Nb ilavesiyle artar. Görüntülerde görüldüğü gibi

yüzey morfolojisi, (Bi, Pb)-2223 sisteminde artan Nb ilavesiyle değişir. Plaka benzeri tanecik morfolojisi, ağırlıkça % 0,5 Nb ilavesinden sonra gözlemlendi. Öte yandan, katkılı malzemelerin tanecik büyüklüğünün ve plaka kalınlığının, artan Nb ilavesi miktarıyla azaldığı gözlemlenmektedir. Artan Nb miktarı ile tanecikler keskin kenarlara ve köşelere sahip olmaya ve daha ince bir yapıya kavuşmaya başladı. Parçacıklar mikro yapıda rastgele dağıldı.



Şekil 2. Tüm malzemelerin SEM görüntüleri.

Niyobyum ilavelerinin, numunelerin geçiş sıcaklıkları üzerindeki etkilerini anlamak için $T = 10-300$ K aralığında elektriksel özdirenç ölçümleri yapıldı. $\text{Bi}_{1.85}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{2.1}\text{Cu}_{3.1}\text{O}_{8}/(\text{Nb}_2\text{O}_5)_x$ bileşikleri için elektrik özdirencinin ($\rho(T)$) sıcaklık bağımlılığı Şekil 3'te gösterilmektedir. Tüm numuneler geçiş sıcaklığının üzerinde metalik davranış gösterir. Saf (Bi, Pb)-2223 ile karşılaştırıldığında, oda sıcaklığı özdirencinin (ρ_0) niyobyum miktarındaki artışla azaldığı açıktır. Numunelerin $T_{c,\text{başlangıç}}$ (normal durum direncinden ilk sapma ile tanımlanır (Yamamoto vd., 2015)) değerleri neredeyse değişmezken, niyobyum miktarındaki artışla $T_{c,\text{sıfır}}$ (sıfır direnç kritik sıcaklığı ile tanımlanır (Yamamoto vd., 2015)) değerleri azalır. Bu nedenle, geçiş genişliği (ΔT_c) de niyobyum miktarındaki artışla azaldı (Yamamoto vd., 2015). Tablo 2'de tüm malzemeler için bu parametreler verildi.



Şekil 3. $\text{Bi}_{1.85}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{2.1}\text{Cu}_{3.1}\text{O}_{8}/(\text{Nb}_2\text{O}_5)_x$ bileşikleri için sıcaklığa karşı elektriksel özdirenç.

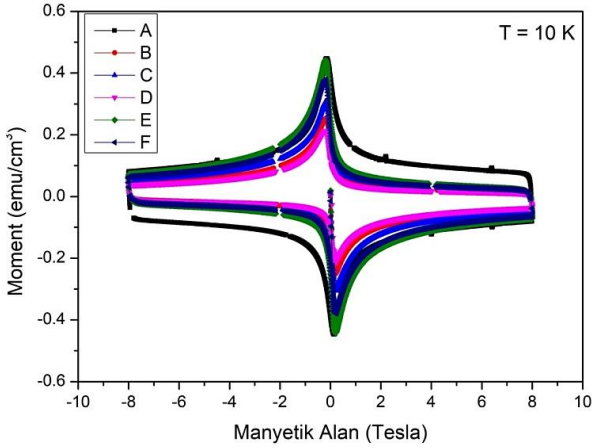
Tablo 1. Nb katkılı (Bi, Pb)-2223 bileşikleri için örgü parametreleri.

Ağırlıkça % x	a (Å)	c (Å)
0	5.41084	36.69625
0.1	5.39966	36.63906
0.2	5.43361	36.86053
0.5	5.41112	36.71241
0.7	5.39825	36.70500
1	5.39944	36.66236

Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O₈/(Nb₂O₅)_x bileşiklerinin mıknatıslanmasının manyetik alan bağımlılığı Şekil 4'te gösterilmektedir. Mıknatıslanma ölçümleri (M-H) T = 10 K ve H = ± 8 Tesla'da gerçekleştirildi. Niyobyum miktarındaki artışla, eğrilerin genişliğinin azaldığı açıktır. Histerezis eğrisinin genişliğinin azalması kristal boyutu ve yüzeyde kusur birikimi ile açıklanabilir (Kishio vd., 1991).

Tablo 2. Nb katkılı (Bi, Pb)-2223 bileşikleri için kritik parametreleri.

Ağırlıkça % x	T _{c,başlangıç} (K)	T _{c,sfır} (K)	ΔT _c (K)	ρ ₀ (Ohm-cm)	B (T)	J _c (A/cm ²)
0	111.36	104.83	6.53	0.01123	8 0	6.5 x 10 ³ 3.2 x 10 ⁴
0.1	110.89	103.08	7.81	0.00867	8 0	4.2 x 10 ³ 2.1 x 10 ⁴
0.2	110.51	100.26	10.25	0.00944	8 0	2.9 x 10 ³ 1.3 x 10 ⁴
0.5	110	100.26	9.74	0.00533	8 0	5.7 x 10 ³ 3.1 x 10 ⁴
0.7	110	100.26	9.74	0.0051	8 0	5.3 x 10 ³ 2.5 x 10 ⁴
1	110.86	103.00	7.86	0.00435	8 0	3.4 x 10 ³ 1.8 x 10 ⁴



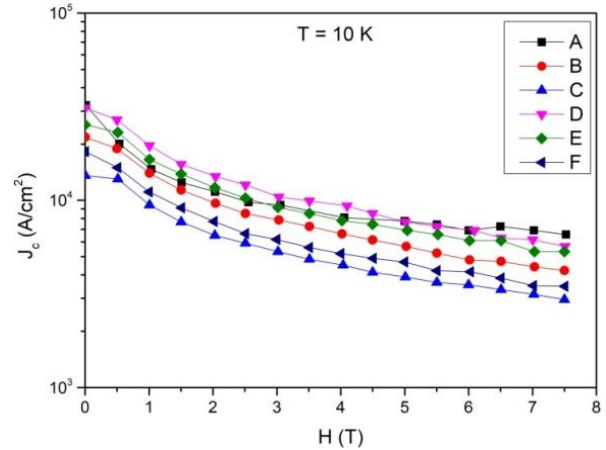
Şekil 4. Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O₈/(Nb₂O₅)_x bileşikleri için M (H) histerezis eğrileri.

J_c değerleri Bean modeli kullanılarak M(H) eğrilerinin genişliğinden aşağıdaki eşitlikle hesaplandı (Bean, 1962):

$$J_c = \frac{20 \Delta M}{a \left(1 - \frac{a}{3b}\right)} \quad (1)$$

burada ΔM manyetik histerezis döngülerinin genişliği, a ve b ise numunenin kesit boyutlarıdır (a < b). Şekil 5, Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O₈/(Nb₂O₅)_x bileşikleri

için J_c'nin uygulanan manyetik alan bağımlılığını gösterir. Niyobyum ilavesi ile manyetik alana bağımlılığın azaldığı açıktır. Saf (Bi, Pb)-2223 numunesinin, niyobyum katkılı numunelerden daha yüksek J_c değerlerine sahip olduğu gözlemlendi. Bunun sebebinin malzemeye eklenen safsızlıklar ile uygulanan manyetik alanın numuneye nüfuz etmeye başlaması ve dolayısıyla kritik akım yoğunluğunun azalmasına yol açtığı düşünülmektedir (Bilgili vd., 2017). Bu sonuçlar akı çivileme özelliklerinin niyobyum ilavesiyle bozulduğunu göstermektedir (Bilgili vd., 2017).



Şekil 5. T = 10 K'da Bi_{1.85}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_{2.1}Cu_{3.1}O₈/(Nb₂O₅)_x bileşikleri için uygulanan manyetik alana karşı J_c değişimleri

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, niyobyum ilavesinin (Bi, Pb)-2223 bileşiklerinin yapısal, morfolojik, elektriksel ve manyetik özellikleri üzerine etkileri araştırıldı. XRD analizi ağırlıklı olarak tek fazlı tetragonal (Bi, Pb)-2223 fazını gösterir. Yüzey morfolojilerinin niyobyum ilavesiyle değiştiği gözlemlendi. Süperiletken geçiş sıcaklıklarının niyobyum ilavesiyle değişmediği, ancak geçiş genişliklerinin arttığı bulundu. Katkı miktarı arttıkça normal durum direnci azaldı. M(H) sonuçlarının analizi, kritik akım yoğunluğu değerlerinin azaldığını gösterir. Bu, numunelerin akım taşıma kapasitesinin, az miktarda niyobyum ilavesiyle bozulduğu anlamına gelir.

Teşekkür

Bu çalışma Hakkari Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FM19AYP1 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Albiss, B.A., Obaidat, I.M., Gharaibehb, M., Ghamlouche, H. ve Obeidat, S.M., 2010. Impact of Addition of Magnetic Nanoparticles on Vortex Pinning and Microstructure Properties of Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor. *Solid State Communications*, 150, 1542-1547.
- Asghari, R., Arslan, L.C., Sedghi, H. ve Naghsara, H., 2017. Synthesis and Characterization of Nb Substitution on (Bi-Pb)-2223 Superconductors. *Journal of Low Temperature Physics*, 189, 15-26.
- Bean, C.P., 1962. Magnetization of Hard Superconductors. *Physical Review Letters*, 8, 250.
- Bilgili, O. ve Kocabaş, K., 2014. Effect of Nb Addition on Magnetic, Structural and Superconducting Properties of (Bi, Pb)-2223 Superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25, 2889-2897.
- Cagliero, S., Agostino, A., Bonometti, E. ve Truccato, M., 2007. Electrical Transport Effects due to Oxygen Content Modifications in a $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ Superconducting Whisker. *Superconductor Science and Technology*, 20, 667.
- Cursino, E., Schmool, D.S., Garitaonandia, J.S. ve Rodrigues, D., 2009. Artificial Pinning Center Studies in Bi2212 Tapes and Bulks With Zirconium Oxide Inclusion. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 19(3), 3516-3519.

- de Vera, F.I., Bardolaza, H., Arcilla, C. ve Sarmago, R., 2019. Effect of In_2O_3 on the Grain Connectivity and Superconducting Behavior of $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{In}_x\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$. *SN Applied Sciences*, 1, 96.
- Ghazanfari, N., Kılıç, A., Gencer, A. ve Özkan, H., 2007. Effects of Nb_2O_5 Addition on Superconducting Properties of BSCCO. *Solid State Communications*, 144, 210-214.
- Grivel, J.C. ve Flukiger, R., 1996. Factors Influencing the Apparent Activation Energy for the Formation of the $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Compound. *Journal of Alloys and Compounds*, 241, 127-133.
- Gul, I.H., Rehman, M.A., Ali, M. ve Maqsood, A., 2005. Effect of Vanadium and Barium on the Bi-based (2223) Superconductors. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 432, 71-80.
- Guner, S.B., Zalaoglu, Y., Turgay, T., Ozyurt, O., Ulgen, A.T., Dogruer, M. ve Yildirim, G., 2019. A Detailed Research for Determination of Bi/Ga Partial Substitution Effect in Bi-2212 Superconducting Matrix on Crucial Characteristic Features. *Journal of Alloys and Compounds*, 772, 388-398.
- Harabor, A., Rotaru, P. ve Harabor, N.A., 2019. Effect of Ni Substitute in Off-Stoichiometric Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu(Ni)-O Superconductor. Excess Conductivity, XRD Analysis and Thermal Behaviour. *Ceramics International*, 45, 2742-2750.
- Ishii, A. ve Hatano, T., 2000. Preparation of High Quality $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ Thin Films on a MgO Substrate by Pulsed Laser Ablation and Post-Annealing – Recrystallization of Films Accompanying In-Plane Rotation of *a* and *b* Axes. *Physica C*, 340, 173-177.
- Kishio, K., Komiya, S., Motohira, N., Kitazawa, K. ve Yamafuji, K., 1991. A Novel Method to Avoid Demagnetization Effect in Magnetization Studies of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ Single Crystals with the Field Perpendicular to the CuO_2 Plane. *Physica C*, 185, 2377-2378.
- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi, M. ve Asano, T., 1988. A New High- T_c Oxide Superconductor without a Rare Earth Element. *Japanese Journal of Applied Physics*, 27(2), L209-L210.
- Mohd Suib, N.R., Abu Bakar, I.P., Ibrahim, N.B. ve Abd-Shukor, R., 2019. Critical Current Density and AC Susceptibility of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ Superconductor with $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ Nanomaterial. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 32, 145-150.

- Padam, G.K., Arora, M., Kaushik, S.D. ve Ekbote, S.N., 2019. Enhanced Critical Current Density (J_c) and Fractural Strength of Low and High Eu Level Doped Bare Bulk (Bi, Pb)-2223 Rods for Cryogenic Applications. *Physica C: Superconductivity and its applications*, 562, 78-84.
- Rahal, H.T., Awad, R., Abdel-Gaber, A.M., Marhaba, S. ve Abou-Aly, A.I., 2019. A Comparative Study on the Influence of the Addition of Different Nano-Oxide Particles on the Thermopower of (Bi,Pb)-2223 Superconductor. *Applied Physics A*, 125, 365.
- Rouessac, V., Desgardin, G. ve Gomina, M., 1997. Influence of the Sinter-Forging Conditions on the Mechanical Properties of Textured Bulk (Bi,Pb)-2223 Ceramics. *Physica C*, 282-287, 2573-2574.
- Safran, S., Kılıc, A. ve Ozturk, O., 2017. Effect of Re-Pelletization on Structural, Mechanical and Superconducting Properties of BSCCO Superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 1799-1803.
- Schneemeyer, L.F., Waszczak, J.V., Siegrist, T., van Dover, R.B. ve Rupp, L.W., 1987. Superconductivity in $YBa_2Cu_3O_7$ Single Crystals. *Nature*, 328, 601-603.
- Silver, T., Pan, A.V., Ionescu, M., Qin, M.J. ve Dou, S.X., 2002. Developments in High Temperature Superconductivity. *Annual Reports Section "C" (Physical Chemistry)*, 98, 323-373.
- Tran, D.H., Pham, A.T., Le, T.M., Anh, D.T.K., Phan, Y.T., Man, N.K., Pham, D. ve Kang, W.N., 2019. Enhanced Flux Pinning Properties in $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_{2-x}K_xCa_2Cu_3O_{10+\delta}$ Compounds. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30, 8233-8238.
- Ulgen, A.T., Turgay, T., Terzioglu, C., Yildirim, G. ve Oz, M., 2018. Role of Bi/Tm Substitution in Bi-2212 System on Crystal Structure Quality, Pair Wave Function and Polaronic States. *Journal of Alloys and Compounds*, 764, 755-766.
- Ulgen, A.T. ve Yildirim, G., 2019. Degradation in Fundamental Characteristic Features of Bi-2212 Superconducting Ceramic Material with Sr/Ti Partial Substitution. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30, 8268-8277.
- Yamamoto, A., Takeshita, N., Terakura, C. ve Tokura, Y., 2015. High Pressure Effects Revisited for the Cuprate Superconductor Family with Highest Critical Temperature. *Nature Communications*, 6, 8990.
- Zouaoui, M., Ghattas, A., Annabi, M., Ben Azzouz, F. ve Ben Salem, M., 2008. Effect of Nano-Size ZrO_2 Addition on the Flux Pinning Properties of (Bi, Pb)-2223 Superconductor. *Superconductor Science and Technology*, 21, 125005.

Deep Learning Based Regression Approach for Algorithmic Stock Trading: A Case Study of the Bist30

Algoritmik İşlemler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Regresyon Yaklaşımı: BİST30 Örneği

Yunus SANTUR *1,a

¹ Fırat Üniversitesi, Rektörlük, Enformatik Bölümü, 23100, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 20.03.2020

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 24.09.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 06.10.2020

Abstract

Today, one of the common uses of artificial intelligence is financial markets. In these markets, which are known as stock market, making price predictions for the future using machine learning and deep learning, making the rise and fall forecasts of indices, sectors and stocks are the main approaches used in this field. In the near future in the financial markets, artificial intelligence based software robots are expected to operate instead of people. For this purpose, learning models are developed by using trend and stock price movements. Validation studies such as accuracy, error value and portfolio simulation are performed to demonstrate the performance of the developed models. In this study, a regression model using deep learning was developed to make adaptive buy-sell operations on the time series consisting of closing prices using data from Borsa İstanbul (BIST). The 2006-2015 range of the BIST30 index was used for training, the 2015-2018 range was used for testing, and the model portfolio value gained 39% on the test data for 694 trading days and the trend direction was estimated with 82% accuracy.

Keywords: Bist, Deep Learning, LSTM, Stock Markets

Öz

Günümüzde yapay zekânın yaygın kullanım alanlarından bir tanesi de finans piyasalarıdır. Kısa adı borsa olarak bilinen bu piyasalarda makine öğrenmesi ve derin öğrenme kullanılarak geleceğe yönelik fiyat tahminleri yapmak, endeks, sektör ve hisse senetlerinin yükseliş ve düşüş öngörülerinin yapılması bu alanda kullanılan temel yaklaşımlardır. Dünya genelinde finans piyasalarında yakın bir gelecekte yapay zekâ temelli yazılım robotlarının insanlar yerine işlem yapması öngörülmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda endeks ve hisse senedi fiyat hareketleri kullanılarak öğrenme modelleri geliştirilmektedir. Geliştirilen modellerin başarımlarını göstermek için doğruluk, hata değeri ve portföy simülasyonu gibi doğrulama çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada, Borsa İstanbul'a (BİST) ait veriler kullanılarak kapanış fiyatlarından oluşan zaman serisi üzerinde adaptif al-sat işlemi yapılması için derin öğrenme kullanan bir regresyon modeli geliştirilmiştir. BİST30 endeksinin 2006-2015 aralığı eğitim, 2015-2018 aralığı ise test için kullanılmış ve 694 işlem gününe ait test verileri üzerinde model portföy değeri %39 değer kazanmış ve trend yönü %82 doğrulukla tahmin edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bist, Derin Öğrenme, LSTM, Borsa

*a Yunus SANTUR; ysantur@firat.edu.tr, Tel: (0542) 727 14 03, orcid.org/0000-0002- 8942-4605

1. Introduction

Financial markets are one of the areas where artificial intelligence is widely applied. Instruments such as stocks, commodities, foreign currency, cryptocurrencies, warrants and derivatives are traded in these markets, which bring buyers and sellers together and work with the principle of taking commission from the buy-sell transactions. It is one of the most valuable and interesting topics in the financial sector to predict which direction the instruments will move in the future (short, medium, long such as daily, weekly, yearly), the timing of this movement and the magnitude of the change using artificial intelligence (Chong et al., 2014).

The purchase / sales price levels of each share traded at the stock exchange are determined as per the threshold values and a commission deduction is made inversely proportional to the transaction volume created. Due to this principle used in determining the tier prices, the investor who invests in any stock can make a profit even as the share price increases by 1 tier as intended. In order for the investor to earn in the stock market, stock prices should move upwards. In addition to this, in the futures option exchange, short-selling type futures can generate earnings in the downward direction of the stock. In the short sale transaction, it is foreseen that the price of the instrument will decrease, if it increases, the investor will suffer. In this way, investors are able to obtain a very significant amount of profit/loss depending on the transaction volume with an instrument falling or rising to a single level. Therefore, it is necessary to have the most suitable share and leverage ratio in order to maximize profit in the direction of bullish (bull market), minimize loss in the direction of decrease (bear market), and short-term transactions in higher risk transactions (Borsa İstanbul., 2020).

Before making an investment decision in financial markets, some analysis should be done systematically. These analysis methods are examined under two main groups as basic and technical analysis. The basic analysis is divided into two groups, PEST and SWOT. In PEST analysis, which consists of the initials of the words Political, Economic, Social and Commercial, the aim is to determine the sector group that will create value, increase profitability and remain bright. SWOT analysis, consisting of the initials of Strengths, Weakness, Opportunities and Threats, covers the strategies to be used to identify companies in the sector where PEST

analysis is performed. In addition, economic data of that company such as balance sheet, volume, MV/BV (Market value / Book value) are also used. After PEST and SWOT analysis, stocks that will create value in the future can be determined. However, the basic analysis does not provide sufficient information about its timing (Singh et al., 2018).

For this purpose, technical analysis is carried out using time series formed by price movements. Technical analysis is carried out on the price series, which are formed when the opening and closing, including the specific period for the index and / or stock, are combined with time information using the highest, lowest prices, and the transaction amount (volume). The period mentioned here can be instant, minute, 5 minute, hourly, daily, weekly and monthly. It provides predictions for intraday or short / medium / long term transactions of the selected period analysis. Software-based robots, called "algorithmic transactions", which mostly work as rule-based in financial markets, mostly aim to make profit through transactions that are aimed to stay in the trend direction and are performed during the day or mid-term periods (Cartea et al., 2016).

The technical analysis process can be carried out with the short-term target as mentioned above, or it aims to generate profit in the medium and long term by creating target price and time forecasts. There are many packages and online tools with graphical user interfaces for the use of investors and technical analysts for technical analysis. These tools offer opportunities such as indicator and drawing (trend) tools used in technical analysis and price alarm level identification on time series. BIST publishes instant data for a fee, and data with a delay of 15 minutes is free. For this purpose, package programs and online tools such as Matrix, Tradingview, investing and tradingview can be used. In the following section, the indicators used in the technical analysis process are examined. (Matriks., 2020; Investing., 2020; Tradingview., 2020).

2. Technical Analysis

The technical analysis process of stocks and index prices traded at the stock exchange using time series is analyzed in four main groups as follows (Chiang., 2016).

- **Trend:** It shows the current trend. The trend in which prices are on the rise is called "bull", while the trend in which prices are on

the rise is called "bear". When the market is stagnant, there is horizontal movement.

- **Momentum:** It shows in which direction the prices are trending in the future according to the selected period.
- **Volatility:** It shows the volatility that occurred in price movements.
- **Volume:** They measure the strength of the trend by interpreting the amount of transactions performed with other data along with other indicators.



Figure 1. Graphical representation of BIST100 index (a) area, (b) bar, (c) line and (d) candle based on daily closings (Investing., 2020).

In Figure 1, the time series graph types formed with index price movements are given. In the figure, the area, line and candle charts created using 1 day closing information are given in sequence. Especially candle charts are widely used in the literature as they provide important clues about the continuation of the current trend and trend returns (Qiu., 2019). In a certain period, opening, highest, lowest, closing prices are obtained by consolidating it as in Figure 1.c and converted into a single chart that can express all of them at the same time. The candle is displayed in blue if the opening price is lower than closing, and in red if low. Hundreds of candlestick chart formations can occur with body / shadow length, length, proportions to each other, colors, shadowless / non-body, and alternating in pairs/triples with periodic closures (Dicle., 2019).

There are more than 70 indicator types, which are analyzed in 4 main groups based on Trend,

Momentum, Volatility and Volume from the movements of stock prices in a certain period. Some of the most commonly used indicators was given as follows with their general logic.

Simple moving average (SMA) gives the simple arithmetical average of prices in the selected period range as given in "1". The more commonly used moving average or exponential moving average, on the other hand, is based on the principle of weighing closings closer to the simple average, as given in "2". The moving average convergence / divergence indicator (MACD) is obtained by subtracting the 12-day exponential moving average from the 26-day exponential moving average, as given in "3". The convergence and divergence of the short-term trend and the long-term trend are important in terms of interpretation. The relative power index (RSI) is an overbought / sell oscillator normalized to the 0-100 range. The " AU_n " given in "4" is the average

of higher closings than the current price in the selected period, and AD_n is the average of lower closings. Together with the RSI, MACD, they are widely used to detect trend continuation power, price action mismatches and trend returns. Finally, as given in Momentum “5”, it measures the speed of the instrument in the direction of increase or decrease by taking the difference of the closing price and the closing price in a certain period. Moving Average and Momentum based indicators are widely used in detecting formations such as gold / deadly intersection. 70+ indicator / oscillator values used in technical analysis are not fixed and can be varied according to the parameters and period to be selected. For example, for the trend estimation in indices and stocks, it can be selected from Very Short: 5-14, Short: 14-21, Medium: 21-50, Long: 50-100, Very Long: 100-200. These parameters can be selected in minutes for very short intraday (hourly, daily) buy-sell transactions. In these and similar situations, there is a large number of data in combination (Sezer., 2020).

$$SMA = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \tag{1}$$

$$EMA = V * \left(\frac{s}{1+d}\right) + MA * \left(1 - \left(\frac{s}{1+d}\right)\right) \tag{2}$$

$$MACD = MA_{26} - MA_{12} \tag{3}$$

$$RSI = 100 - \left(\frac{100}{1+RS}\right), RS = \frac{AU_n}{AD_n} \tag{4}$$

$$Momentum = A_t - A_w \tag{5}$$

Technical analysis indicators, which are expressed briefly as an indicator above, are divided into two main groups as indicator and oscillator.

- **Indicator:** These are regression models that contain clues about direction changes in technical analysis. For example SMA and EMA given in “2” are indicators.
- **Oscillator:** Regulations, returns and mismatches in the current trend are indicators that have been normalized to a certain range used in determining. For example, MACD and RSI given in “3” and “4” are oscillators.

Below are the exponential moving averages and current candlestick charts of 9 and 50 days based on 5-minute closings for the BIST100 index in Figure 2. Here, the closer 9-day EMA cut the further 50-day EMA upwards. As can be seen from the figure, the indicators give a clue about the future trend by measuring the strength and direction of the trend in selected periods by creating a regression model

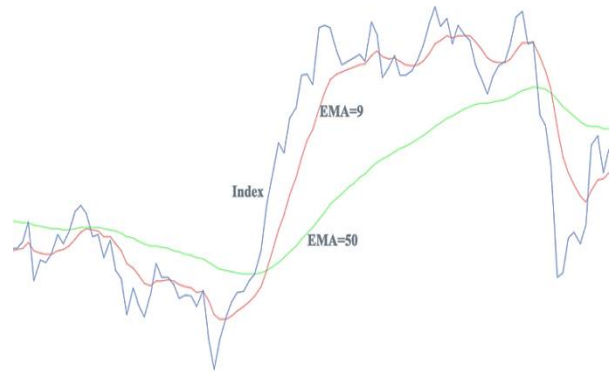


Figure 2. EMAs of 9 and 50 days based on daily closings for the BIST100 index (Investing., 2020).

In Figure 3, the index values are shown in red and 50 days EMA are shown green. The RSI oscillator operating in the 0-100 reference range is given below. When interpreting the oscillators, t and $t+1$ changes in time become important. This is crucial in technical analysis, whether raw price rises / decreases are supported by the oscillator, thereby enabling to identify negative / positive mismatches known as bear / bull traps in the stock market. The "Buy" signal is received when the RSI oscillator 0-30 range cuts the "over-sell" zone upwards, and the "Sell" signal is received when the 70-100 range cuts the "over-purchase" zone downward. The average indicator works similarly. If the current price cuts the indicator value upwards, the "Buy" signal is received, and if it cuts down, the "Sell" signal is received. In general, indicator values are variable as they are obtained by price movements. Oscillator values are composed of values that are normalized to a certain range. In Figure 3, the sample "Buy" signals produced by both the average indicator and the RSI oscillator are indicated by the green arrow and the "Sell" signals by the red arrow.

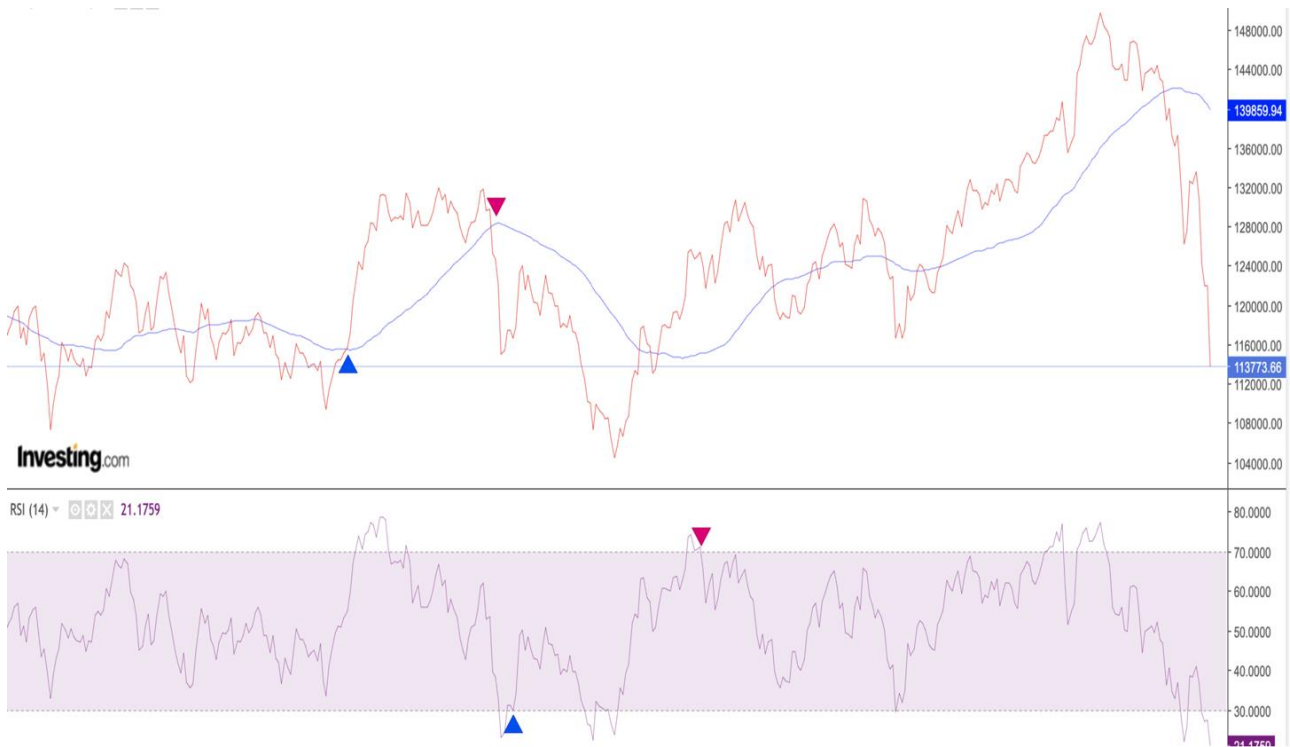


Figure 3. 50 days EMA and RSI (Investing., 2016).

Main methods used for financial analysis was given in Table 1.

Table 1. Main methods used for financial analysis

Analysis Method	Group	Brief Summary	Method
Fundamental analysis	PEST	Sector analysis	Microeconomic, macroeconomic and global and data-driven
	SWOT	Companies in the sector analysis	
Technical analysis	Time series	They are formed according to the movements of prices in certain periods.	Charts
	Candle, bar charts	The lowest, highest, opening and closing prices of the prices in the period are created by consolidating.	Rule-based
	Indicators Oscillator	They are obtained with mathematical formulas.	Linear regression on price time series
	Trend patterns	They are graphical patterns.	Rule-based, particle wave transformation, image processing and nonlinear methods on time series

3. Literature Review

The literature summary given below covers the studies especially for BIST operating in our country.

A four-layer artificial neural network (ANN) model was created for the index estimation, which takes daily closing values, dollar and overnight interest value as input data between 2001-2006, generating a regression at the output. The error

rate between the regression created and the actual value of the index was used to verify the model. The 1143-day data in the selected period was divided into 9: 1 training: test ratio, and the moving average and the method used in the study were compared. In the index trend direction estimation, while the moving average indicator with 50 days of test data provides an accuracy of 50.4%, the approach presented in the study provided an accuracy of 55.1% (Kutlu., 2009).

In order to estimate the stock trend, a dataset containing 15 minutes of closing data for BIST 2013 was used in an approach based on the relational exchange network. 24 stocks selected from the telecommunication, banking and IT sectors were used for the study. In the study, 11 technical indicator data such as RSI, MACD were used by normalizing to 0-1 range. A relationship model has been created that shows the relationship between stocks using a total of 34 attributes obtained using 11 technical indicators along with the trading volume. Macro average F_1 measure ranging from 0.55 to 1.0 for 24 selected stocks (Ergür., 2013, 2014).

In order to estimate the stock direction, a trend estimation was made using an ANN model with 7 hidden layers, using the daily closing prices of stocks in the period of 2018-2019 in the 24-month period. The data set is divided into 7: 1.5: 1.5 ratio (training: test: validation). In the study, the values obtained from RSI and MACD indicators are categorized as "1": Buy, "-1": Sell and given as an introduction to ANN. The YSA network, which has a single output, performs a Buy or Sell two-class classifier transaction for the relevant stock. In the study, it was found that 3.5% loss was done on the verification data with RSI and MACD, while the developed model gained 2.85% and the proposed model worked more accurately than RSI and MACD (Irmak., 2019).

In BIST and cryptocurrency exchanges, it is aimed to obtain maximum income with minimum risk by making portfolio optimization by using average variance genetic algorithm and particle herd optimization algorithms. For verification, 15 different portfolios were created, and risk, return, sharpe and change coefficients were calculated for the created portfolios. In the portfolio profit and loss simulation, 6.8% - 7.6% profit was obtained with the genetic algorithm, 4.6% - 8.8% profit was obtained with the particle herd algorithm. For 25 stocks containing a 60-week period, a profit of 3.3% - 3.6% was achieved with the genetic algorithm, 3.1% - 5.5% with particle flock optimization (Uluçay., 2019).

For the BIST100, the dataset covering the 18-month period between 2014-2015 was compared the machine learning methods for 1, 2, 5 and 10-day trend estimation. In the study, 10 technical indicator data such as RSI, ROC, Bollinger Bands were used for different machine learning models. Models using ANN, LSTM (Long short term memory), KNN (K nearest neighbor), SVR (Support vector machines), RF (Random forest

and DT (Decision tree) using Python programming language and Keras library were compared using RMSE error value. In the findings obtained, it was seen that the lowest error was obtained with SVR in general (Ziyadoğlu., 2018).

It has developed a text processing based approach to estimate BIST index direction with economic news. For this purpose, it has collected 111,587 news documents from microblogging sources such as public disclosure platform (KAP) and bigpara between 2010-2011. An approach using natural language processing has been developed with index opening, closing and transaction volume information belonging to the same period. After using useless word detection on text data and transformation of the feature vector, emotion classification was made with Naive Bayes. As a result, it was observed that the use of news and price attributes together did not lead to an improvement in the performance of the index direction. However, it was observed that there was an improvement in the performance of the days when the index was horizontal with news attributes. In the study, the most frequent words in the news of the days when the index rose and decreased were determined and word representations were created (Gündüz., 2013).

Adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) has been developed the moving average information for the BIST100 index in the 2007-2008 range an early warning system for predicting possible collapse in the stock market with price variability. The ANFIS model obtained the best results in empirical findings such as sensitivity, acuity, Fölçüt compared to ANN, linear regression and bayesian networks used in the study. The findings obtained in the study were also turned into an international book chapter (Acar., 2010; Acar., 2013).

In the thesis study conducted for Bayes theorem and predicting the index direction with ANN, a rule-based expert system and machine learning model was created. The expert system consists of 21 if-then rules. The rule-based system is a system that does not wait until it meets any of the 21 rules, it feels 1000 dollars when the rule is encountered and sells at the end of the period. In the period between January 1, 2007 and April 25, 2008, it made 25% profit. In this process, due to the waiting time of 10-15 days, this profit was achieved with a total of 17 transactions. When the rules were changed to a one-day waiting period, 88 transactions were made and nearly 40% profit

was achieved, but the profit rate per transaction decreased. When the waiting period was changed to 2 days without changing the rules, 215 transactions were made and nearly 50% profit was achieved. When the waiting period was changed as 1 week, a very close success rate was obtained. In the developed ANN model, 5 technical indicator data were used as input, and 250 rounds of training were carried out with a hidden layer of 20 neurons. Based on the amount of profit per transaction, higher success was achieved from the ANN expert system (Bahadır., 2018).

An approach has been developed to find a correlation between text mining and emotion analysis. Within the scope of the study, a total of 14,018 news items related to BIST30 companies were compiled with a robot software. When the news was eliminated that is not related to the economy, a collection was created with 8434 news items. The word roots in the complex have been obtained, useless words such as conjunction that can be accepted as noise have been removed and the positive and negative scores have been calculated on the matrix by converting the words into document-term matrix using the R programming language. 65% of these news are positive news. Within the scope of the thesis, there is a 0.85 correlation between the companies except the companies with little news about BIST30 and the market values and the news; With the news numbers and positive news scores, it is predicted that it can help predict future market value value. The study results were also published in an international refereed journal (Atan., 2016; Atan., 2019).

An application was made on the prediction of stock market index direction using ANN and support vector machines (SVM). In the study, 11 technical indicator values, index change rates and macroeconomic indicators for the period 2005-2011 were used as input data. The 2005-2009 range of this data set was used for training, and the 2009-2011 range was used for testing. The best 80% accuracy was achieved with 11 technical indicators. When 18 global stock market index information was added to this data set, it was 57.2%, and 5 macroeconomic data was added as 54.4%. When the whole data set is combined, an accuracy value of 73.7% was obtained with 34 input data. In order to obtain the highest accuracy rate with the lowest input data, the optimum inputs were 83.5% when 6 technical indicator data, 1 stock index and 1 macroeconomic data were used. Compared to SVM, ANN results were more satisfactory. The findings obtained in the

study were published as articles in an international refereed journal. SVM for BIST100 was used in an international journal study published within the scope of the thesis. Grid search algorithm is used to determine the most suitable parameters in SVM (Emir., 2013).

In his thesis study entitled A predictive ANN approach in financial decision making, he used the data set for BIST100 covering the 80-200 period between 2002-2008. In the study, the closing value of the index, the gold index and the dollar / ₺ parity change were used. This data set was divided into 7:2:1 ratio and training and testing were performed. A multi-layered neural network (MLP) with 7 hidden layers was used for the training process and the net weights were trained using the back propagation algorithm. In the training process, it was obtained with 0.003 MSE error value and 54.4% index prediction accuracy. When the developed model was compared with nonlinear regression and multiple linear regression, an accuracy value of 52% was obtained with nonlinear regression and 42% with multiple linear regression. In the study, it was found that MLP approach gives better results than both regression models and when the regression models are compared within themselves, non-linear regression model gives better results than linear regression (Görgün., 2008).

For the future prediction of BIST30, the deep learning model model was developed by using the 36-month period data set for the 2016-2018 interval. The data set is divided into 8: 2 for training: testing purposes. MSE error value ranging from 0.03 to 0.27 was obtained during the validation phase covering the 5-day period. In the study, 15 technical indicator values were used as input data. In the proposed deep learning model, 7 hidden layers were used and 2 layers were pruned randomly. The only output layer in the network is a two-class classifier that predicts rise or fall. The results of the study have been turned into an international journal study (Raşo., 2019).

In the master thesis study, which examined the effect of price estimates by integrating emotion analysis in stock prices, BIST 2010-2018 period 1659 days period was used for training and 233 days period for testing. For textual data, microblogging source made comments on the market by pulling emotion classification on these data. 4 technical indicator data such as emotion classification and MACD, RSI were used as input in LSTM model. In the output layer of the LSTM model, the RELU activation function performed a

two-label classification process. In the study, it was proved that the emotion classification on the comments on the market was effective in predicting the index direction by obtaining an accuracy of 56% with the network matrix, which was trained only with technical indicators, and 66% with the model including the emotion classification results. In this respect, similar but different findings were obtained with the main purpose of the study (Gündüz., 2013). It has been interpreted that this situation is the developed model, the period of the data set used and its use in technical indicators in this model (Gümüş., 2019).

A new exponential smoothing technique has been developed by using autoregressive changing variance (GARCH) for deep learning and stock trading. In the study, BIST has been used as a data set for a period of 1 year since 2013. The regression model presented in the study was tested in short periods such as 2 weeks and better results were obtained than RSI, MACD and ATR oscillators (Karaoğlu., 2018).

In master thesis study for stock trend prediction, he compared linear regression and ANN model accuracy for BIST30 shares. The linear regression model was better in 1 stock, mostly the ANN model achieved satisfactory better results (Şenol., 2018).

GARCH and ANN models were compared to model variance on time series data. Compared to the GARCH model, better results were achieved with ANN (Yümlü., 2018).

A hybrid model developed by integrating a 6-month data set for 2018 and 10 technical indicator data and depth information (status of orders that determine momentarily for share purchase / sale) and F_1 measure with the model using only technical indicator data in 15-minute periods. F_1 value improved from 0.39 to 0.51 (Taburoğlu., 2019).

In WEKA environment, data mining approaches and linear models used for stock movements were compared. A 5-year data set was used in the study. The best results in the study were obtained with "M5Rules" linear regression. The fastest running algorithm is linear regression (Erguvan., 2018).

In the master thesis, which was carried out with the aim of the economic news covering the 12-month period of 2014, on the closing of the index

and the direction of the day, profit was obtained from the profit and loss simulation processes performed in the selected test periods. In the study, the most frequent words were determined by making frequency measurements of the words in the economic news according to the horizontal, rise and fall conditions of the index (Özer., 2015).

In the study, which examined the effects on two stocks by making emotion classification on the text comments on the microblog resource about 17 months of data set and twit for the period of 2014-2018, the success of the classification algorithm in the test period is achieved 95% from 67% (Çelikel., 2018).

In the doctoral thesis study, deep learning approaches were developed for index prediction in Dow Jones (USA) stock exchange. Sezer (2019) has divided the time series data set of Dow Jones shares into 5 years of training and 1 year of testing. Within the scope of the thesis, 4 different approaches are proposed. In the first model, it was developed using the big data frame software "Apache Spark" to predict stock future movements by using ANN. In the second approach, a deep learning network was developed instead of GPP to optimize the RSI oscillator in rising and falling market conditions.

In the third model, estimation was made on 2D images obtained using sliding window and convolutional neural network (CNN) on price time series bar graphs. This approach also brought in a new methodology for the literature in terms of making financial data with image processing rather than temporal analysis. In the last model, with this developed approach, financial prediction has been made with image processing using CNN. Findings obtained in the study are two of them are a review article that systematically compares deep learning algorithms in international financial markets, while others are original studies obtained within the scope of the thesis (Sezer., 2017-2020).

When the literature studies are summarized, the approaches developed have been verified by using classification, accuracy rates and error values with data covering different periods. Better results were obtained on relatively short test data. The biggest reason for this is that price and trend estimation is more difficult due to the volatility in financial markets. Generally, regression and trend direction classifications were made by using time series historical data. In this context, besides the time series and technical indicator data, it is possible to say that more successful results are obtained with hybrid approaches.

4. Materials and Method

In this study, a regression model was developed for deep learning based price prediction using BIST30 daily closing data. In the study, BIST30 index between 2006-2018 was used. The period of these data for the years 2015-2018 was not used in the training process to verify the model. Traditional machine learning algorithms produce an output according to the values obtained from instant inputs. Repetitive neural networks (RNN) can also use the network's previous outputs as input again. Due to these features, they are more effective on time dependent data such as time series, text, video processing. Besides these advantages, RNNs can reveal gradient problems. This disadvantage is realized as the gradient value grows excessively away from the optimum value or disappears by getting very close to zero (Zaremba et al., 2014). To eliminate these disadvantages, it is a solution to use nonlinear activation functions such as threshold or RELU at the network output (Hochreiter and Schmidhuber.,

1997). RNNs also developed the LSTM algorithm that solves the gradient problems experienced. As a result, in this study, a leading price estimation study was carried out on BIST30 data using a 4-layer LSTM. The block diagram of the proposed approach is given in Figure 4.

LSTMs given in Figure 4 contain memory blocks instead of neurons used in ANNs. As shown in the figure, an LSTM structure consists of a memory cell (c_t) and 3 doors, the entrance door (i_t), the exit door (o_t) and the forgetting door (g_t). X_t and h_t is the entry and hidden state at t. Equation "6-11" given U, W weight and b is bias values (Kim et al., 1997).

$$g_t = \sigma(U_g x + W_g h_{t-1} + b_f) \tag{6}$$

$$i_t = \sigma(U_i x_t + W_i h_{t-1} + b_i) \tag{7}$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(U_c X_t + W_c h_{t-1} + b_c) \tag{8}$$

$$c_t = g_t * c_{t-1} + i_t * \tilde{c}_t \tag{9}$$

$$o_t = \sigma(U_o x_t + W_o h_{t-1} + b_o) \tag{10}$$

$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \tag{11}$$

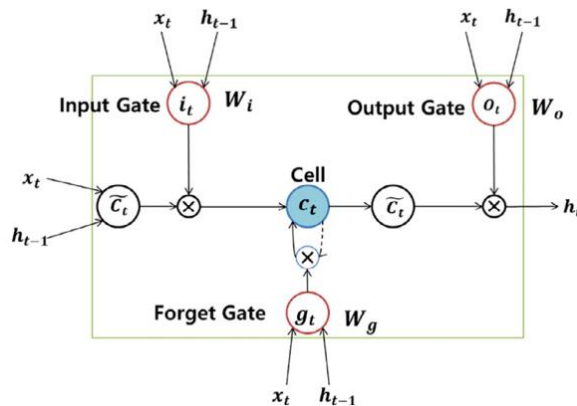
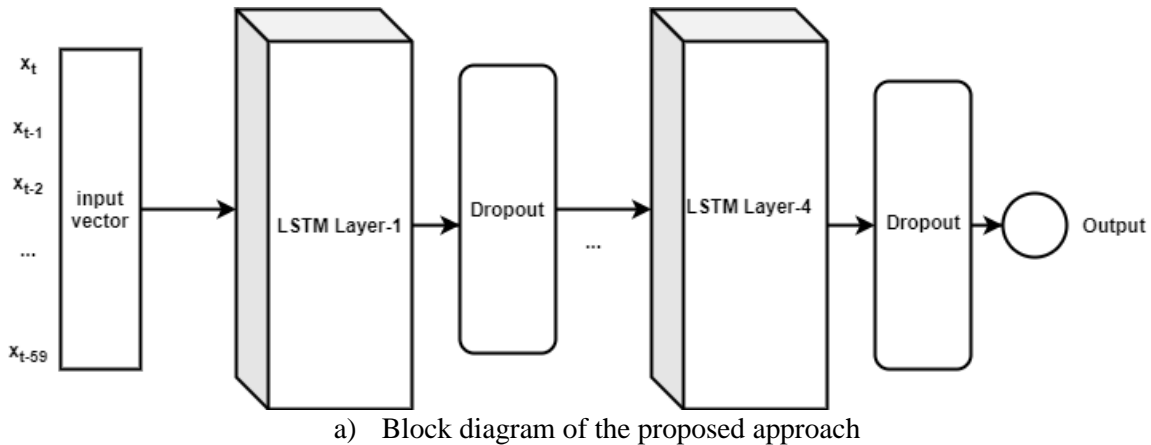


Figure 4. Block diagram of the proposed approach and LSTM cell

Below is the time series consisting of Bist30 daily closing values between the years 2006-2018 in Figure 5. This data set contains data for 3020

business days. The data set used for the training of the model used in the study was colored in red and the data set used for the test was colored in green.



Figure 5. Training and test dataset

Four different verification studies were carried out for the proposed method.

4.1. Deep Learning Based Regression Model

The proposed regression model is used as a technical indicator. In line with the "Buy" and "Sell" signals obtained from the indicator, an investment was made in the BIST30 index with a fixed investment and at the end of the test period, the earnings status was compared with the MA indicator.

4.2. Error Rate

The difference between the proposed method and the actual prices was obtained with MSE. The equation "12" shows the real value of the y_t index, and y_p represents the estimated value (Fauzi., 2019).

$$MSE = \sum (y_t - y_p)^2 \tag{12}$$

4.3. Metric Performances

By creating a confusion matrix on the test data for the proposed method, performance metrics were obtained based on the predictions obtained for the next day of the index (Up/Down).

$$tp = tp + 1 \text{ if } (y_t > y_{t-1} \text{ and } (y_p > y_{p-1} \text{ or } y_p > y_{t-1})) \tag{17}$$

$$tn = tn + 1 \text{ if } (y_t < y_{t-1} \text{ and } (y_p < y_{p-1} \text{ or } y_p < y_{t-1})) \tag{18}$$

$$fp = fp + 1 \text{ if } (y_t < y_{t-1} \text{ and } (y_p > y_{p-1} \text{ or } y_p > y_{t-1})) \tag{19}$$

$$fn = fn + 1 \text{ if } (y_t > y_{t-1} \text{ and } (y_p < y_{p-1} \text{ or } y_p < y_{t-1})) \tag{20}$$

4.4. Algorithmic Trading

Algorithmic trading buy/sell transactions were performed: In general, one of the purposes of algorithmic transactions is based on earning by staying in the index direction. In this context, instead of using the "Buy" "Sell" signals of the model given for the first purpose, buy and sell

Table 2. Confusion matrix

Predicted trend	True trend	
	Up	Down
Up	tp	fn
Down	fp	tn

The metric values that can be obtained on this contrast matrix are shown between "13-16". *Acc* gives the overall accuracy rate. *Precision* and *Precision* are important in the interpretation of misclassifications. F_1 can interpret *Precision* and *Recall* metrics together (Visa et al., 2011).

$$Acc = (tp + tn)/n \tag{13}$$

$$Precision = tp/(tp + fp) \tag{14}$$

$$Recall = tp/(tp + fn) \tag{15}$$

$$F_1 = \frac{2 * Precision * Recall}{(Precision + Recall)} \tag{16}$$

The tp, tn, fn and fp values used in the contrast matrix were obtained with a hybrid approach by using the regression model developed and the real values of the index. TP, TN, FP and FN values were obtained according to the rules in "17-20" order.

transactions based on direction prediction were performed for the next day of the index. In other words, if an increase is foreseen for the next day, BIST30 shares were estimated with fixed investment and the portfolio was held until the next day the decrease was predicted. When the decrease was predicted, the portfolio was sold at the current value of the index. The threshold value

for the index increase has not been determined and commissions in the purchase and sale transactions have been ignored.

5. Experimental Results

As discussed in the proposed method section, four different scenarios were designed for the study and verification studies were carried out.

5.1. Regression Model

The buy/sell signals developed with the approach suggested in Figure 6 are given. In the figure, buy signals are given in dark blue and sell signals in orange. The line chart in red is the actual value of the index, and the line chart in green is the regression curve used for buy/sell. As in other indicators, buy / sell signals are used at the intersection of the regression curve, which is used as the real price and prediction in the period

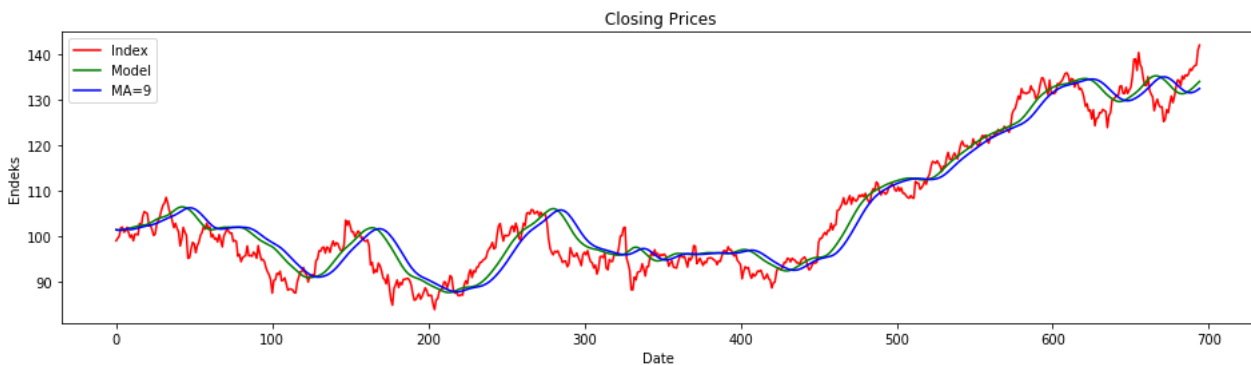
between t and $t-1$. If the real price goes up by cutting this regression curve upwards, “Buy” is generated, if it goes down to the bottom by cutting downwards, a “Sell” signal is generated. In the profit/loss simulation study, when the “Buy” signal was received with fixed investment, the BIST30 index was invested with the instantaneous value of the portfolio, and when the “Sell” signal was received, the sale was made at the instant price of the index. The results are given comparatively in Table 3. At the end of the time obtained with the test data, the portfolio value increased by 24.6%, compared with the 9-days SMA, the results are quite close to each other, but better results were obtained when the 50-days SMA reference was taken. In the period when the volatility is high in the financial markets, it is not desirable to have a long portfolio period. In this context, the average waiting time is shorter than the other two methods with the proposed approach.

Table 3. Profit simulation based on regression indicator

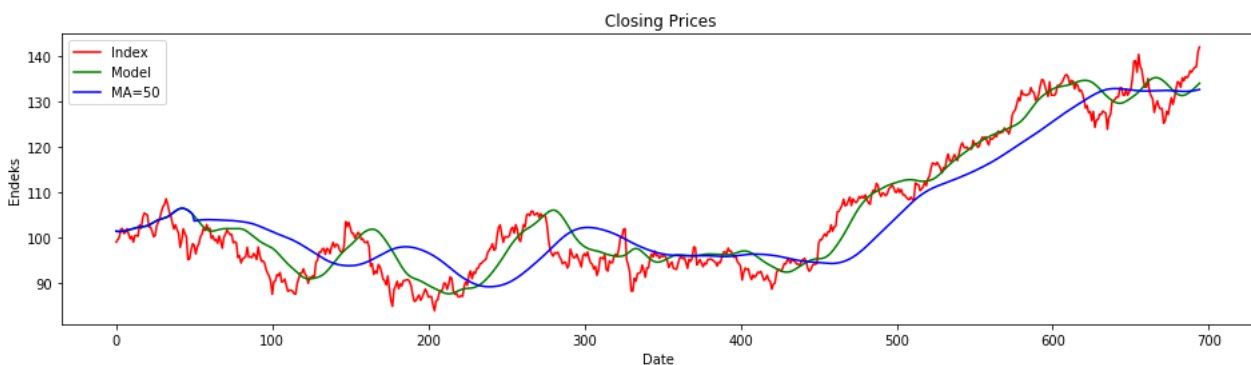
Number	Regression indicator		9 days SMA		50 days SMA	
	Profit/Loss	Portfolio period (days)	Profit/Loss	Portfolio period (days)	Profit/Loss	Portfolio period (days)
1	-0.97	1	-0.97	1	-0.97	1
2	-2.19	1	-2.19	1	-2.19	1
3	-0.48	5	-0.480	5	-0.48	5
4	-1.03	7	-1.49	9	-1.03	7
5	-2.42	3	-1.72	1	-2.60	33
6	8.19	39	8.00	33	6.10	51
7	-0.49	9	-2.514	7	-6.13	3
8	10.9	35	11.33	53	-0.86	1
9	1.82	13	-2.47	7	-4.04	1
10	-2.47	7	-2.98	9	-0.84	7
11	-2.18	11	-4.04	1	-1.67	3
12	-4.04	1	-0.75	5	30.83	171
13	-0.75	5	-1.78	15	-1.13	1
14	-0.38	1	10.52	39	-0.48	1
15	-1.78	15	-0.61	3	-2.74	11
16	9.08	3	8.20	43	6.918	7
17	-0.54	5	-0.12	5		
18	5.78	27	3.54	25		
19	-0.53	1	-0.93	13		
20	-0.28	3	0.15	21		
21	-0.20	1	5.67	7		
22	-0.51	1				
23	3.54	25				
24	0.10	7				
25	-0.41	1				
26	2.27	19				
27	-2.81	1				
28	6.91	6				
		Regression indicator	9 days SMA		50 days SMA	
Most profits per transaction		10.9	11.33		30.83	
Most loss per transaction		-4.04	-4.04		-6.13	
Average days		9.03	14.4		19	
Total transactions		28	21		16	
Number of transactions resulting in profit		8	7		3	
Number of transactions resulting in loss		20	14		13	
Portfolio profit		%24.69	%24.7		%14.84	



a) Examples of Buy / Sell signal obtained with the proposed approach



b) Proposed approach and 9 days SMA



c) Proposed approach and 50 days SMA

Figure 6. Examples of Buy/Sell signal obtained with the proposed approach, 9 days SMA and 50 days SMA

When the comparative results given in Table 3 are interpreted on the chart, the approach suggested in Figure 5.b is quite close to the 9-days SMA, and the profit obtained with the test data is very close to each other. When the 50-days SMA is compared with the approach suggested in Figure 8.c; After the 110th day, the "Buy" signal was captured earlier with the proposed method, for this process the "Sell" signal was captured earlier compared to the 50-day moving average. A similar situation is valid for transactions realized after 220 days. Both the "Buy" and "Sell" signal were caught earlier than the 50-day average. Both transactions yielded more profit and less waiting

time compared to the 50-day moving average. However, after the 500th day, the 50-day moving average caught an earlier "Buy" signal, the "Sell" signal for this transaction was obtained earlier with the proposed approach, but less profit could be obtained. This situation coincides with real-life technical analysis processes. Technical analysts and portfolio managers never invest in a single indicator. As a result, satisfactory results were obtained with profit / loss simulation in the study.

5.2. MSE Error

The second verification method performed is the comparison of the difference between the deep learning regression model and the real values with the MSE error rate. Below, MSE error values obtained with models with different number of epochs developed for price prediction are given in Figure t. The lowest MSE value was obtained when the system trained 500 epoch. In addition, when the system tilted 5000 epoch, the MSE value decreased from 2.6 to 2.4. In studies such as

image classification, the MSE value is desired to be close to 0, but the MSE value obtained due to the volatility in the time series in financial forecast applications is satisfactory. In another similar study for Dow 30 shares, MSE values ranging from 0.4 to 562 were obtained for 30 stocks (Fauzi., 2019). Development environment 2.7 Ghz i5 is a computer with 8 GB Ram configuration. Experimental studies were carried out using Python programming language and pandas, numpy, keras libraries. On this computer 5.000 epoch takes about 5 hours.



a) 10 epoch



b) 100 epoch



c) 250 epoch



d) 500 epoch

Figure 7. MSE values obtained with the developed approach

5.3. Metric Performances

The confusion matrix obtained according to the number of training rounds in Table 4 below are

Table 4. Confusion matrix and portfolio profit

Confusion matrix	10 epoch		100 epoch		500 epoch	
	Up	Down	Up	Down	Up	Down
Up	340	20	324	36	312	48
Down	83	251	53	281	73	261
Total transactions	144		170		115	
Accuracy	0.85		0.87		0.82	
Precision	0.8		0.85		0.81	
Recall	0.94		0.9		0.86	
F ₁	0.86		0.87		0.83	
Portfolio profit	%12		%9		%39	

5.4. Algorithmic Trading

The last experimental study is an algorithmic process simulation based on the index direction predictions given above. The proposed approach is to invest when an increase is estimated in the index and to sell the portfolio when a decrease is predicted. The best profit was achieved with 39% when the system trained 500 epoch. This value is higher than 24% profit from the first verification method. However, the number of transactions increased as expected. Despite 28 buy/sell transactions, 115 transactions have been realized with an algorithmic trading approach. No linear correlation was found between earnings ratio and Acc and other performance metrics. However, this is not a generalizable finding. The biggest reason for this is the volatility on time series. When the system was trained for 500 rounds, accuracy fell from 87% to 82%, but the portfolio profit increased to 39%.

obtained using the values obtained with the index closing and regression model of 694 working days. In this context, the highest accuracy was obtained when the system trained 100 epochs.

6. Conclusions and Future Works

In this study, an experimental study was carried out for the financial estimation by using the data of BIST30 2006-2018 range. A regression model based on deep learning was developed using the BIST30 index daily closing data. The 2015-2018 range of the data was used for testing. The developed approach has been confirmed by four different experimental studies. In the first, the values estimated by the regression model were used as a technical indicator. When the technical indicator approach obtained was compared with the moving average used in the literature, a very approximate result was obtained when the period was selected for 9 days. When the period was selected as 50 days, higher profit was obtained with the proposed approach. The second verification method is to obtain the MSE value based on the difference between the real value of the index and the predicted values. MSE value was obtained as 2.4 in the study. In most machine learning applications, MSE can be obtained under 1 and close to 0. However, the MSE value

obtained due to excessive volatility in the time series in the financial forecast transaction is satisfactory. The third approach is to estimate the direction of the index using the regression model. This study was confirmed by creating a contrast matrix. The final verification study is an algorithmic transaction gain simulation based on the buy / sell transaction while remaining in the index direction. In this scenario, it gained 39% value in the portfolio with 82% correct direction prediction.

In the study, 50-60 day history values of the index were used for regression output in the 4-layer LSTM model. In the future, a hybrid approach based on Q-learning is planned to be developed using technical indicator data, global economic data, candlestick chart types and trend formation patterns. This study is an introduction to comparison and interpretation for these and other studies in the future. With future studies, accuracy, error and gain simulation studies will be carried out by using short, medium and long term test data on stock and sector basis.

Acknowledgement

BIST30 daily closing data used in the study were obtained from *investing.com*.

References

- Acar, M., 2010. Designing an Early Warning System for Stock Market Crashes Based on Machine Learning Forecasting. Master Thesis, Bahçeşehir University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 70p.
- Acar, M., Karahoca, D. and Karahoca, A., 2013. Designing an Early Warning System for Stock Market Crashes by Using ANFIS, In Data Mining: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications: IGI Global, 2250-2268, 2284p.
- Atan, S., 2016. Metin Madenciliği ile Sentiment Analizi ve Borsa İstanbul Uygulaması. Master Thesis, Ankara University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara, 248p.
- Atan, S. and Çınar, Y., 2019. Borsa İstanbul'da Finansal Haberler ile Piyasa Değeri İlişkisinin Metin Madenciliği ve Duygu (Sentiment) Analizi ile İncelenmesi. Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 74(1), 1-34.
- Bahadır, İ., 2008. Bayes Teoremi ve Yapay Sinir Ağları Modelleriyle Borsa Gelecek Değer Tahmini Uygulaması. Master Thesis, TOBB Economy ve Technology University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara, 99p.
- Borsa İstanbul, www.borsaistanbul.com. 16 March 2020.
- Cartea, Á., Jaimungal, S., and Kinzebulatov, D., 2016. Algorithmic Trading With Learning. International Journal of Theoretical and Applied Finance, 19(04), 1650028.
- Chiang, W.C., Enke, D., Wu, T. and Wang, R., 2016. An Adaptive Stock Index Trading Decision Support System. Expert Systems with Applications, 59, 195-207.
- Chong, E., Han, C., Park and F.C., 2017. Deep Learning Networks For Stock Market Analysis And Prediction: Methodology, Data Representations, and Case Studies. Expert Systems with Applications, 83, 187-205.
- Çelikel, A.D., 2018. Stock Value Prediction Using Machine Learning And Text Mining. Master Thesis, Kadir Has University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 54p.
- Dicle, M.F., 2019. Candle Charts for Financial Technical Analysis. The Stata Journal, 19(1), 200-209.
- Emir, Ş., 2013. Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması: Borsa Endeks Yönünün Tahmini Üzerine bir Uygulama. Master Thesis, İstanbul University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 257p.
- Emir, S., 2013. Predicting the Istanbul Stock Exchange Index Return using Technical Indicators. International Journal of Finance & Banking Studies, 2(3), 111-117.
- Ergür, B., 2014. Borsa İstanbul (BIST) Hisse Fiyat Değişim Yönünün İlişkisel Borsa Ağı Kullanılarak tahmin Edilmesi. Master Thesis, İstanbul Teknik University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 111p.
- Ergür, B. and Çataltepe, Z., 2013. Relational Stock Market Network Analysis, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), April 2013, Girne, KKTC, p.1-4.
- Fauzi, H. (2020, 16 March). Multiple Stock Prediction Using Single NN, www.kaggle.com/humamfauzi/multiple-stock-prediction-using-single-nn.
- Görgün, O., 2008. Neural Network as A Forecasting Tool for Financial Decision-Making. Master

- Thesis, Işık University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 53p.
- Gümüş, A., 2019. Hisse Fiyat Bilgisi ve Duygu Analizi Kombinasyonu ile Pay Piyasasında Fiyat Tahmini. Master Thesis, Bahçeşehir University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 59p.
- Gündüz, H., 2013. Borsa İstanbul (bist) 100 Endeksi Yönünün Ekonomi Haberleri ile Tahmin Edilmesi. Master Thesis, İstanbul Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 85p.
- Hüseyinov, İ. and Uluçay, S., 2019. Application of Genetic and Particle Swarm Optimization Algorithms to Portfolio Optimization Problem: Borsa İstanbul and Crypto Money Exchange, 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), September 2020, Diyarbakır, Türkiye, p.189-194.
- Investing, <https://www.investing.com>. 16 March 2020.
- Irmak, H., 2019. Yapay Zekâ Kullanılarak Borsa İstanbul (Bist) İçin Algoritmik İşlem Stratejilerinin Geliştirilmesi. Master Thesis, Hacettepe University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara, 105p.
- Karaoğlu, H.S., 2018. Derin Öğrenme Yöntemi ile Hisse Alım Satım Uygulaması. Master Thesis, Işık University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 47p.
- Kim, H.Y. and Won, C.H., 2018. Forecasting The Volatility of Stock Price Index: A Hybrid Model Integrating LSTM with Multiple GARCH-Type Models. *Expert Systems with Applications*, 103, 25-37.
- Kutlu, B. and Badur, B., 2009. Yapay Sinir Ağları ile Borsa Endeksi Tahmini. *Yönetim Dergisi*, 20(63), 45-40.
- Matriks, www.matriksdata.com. 16 March 2020.
- Ozbayoglu, A.M., Gudelek, M.U. and Sezer, Ö.B., 2020. Deep Learning for Financial Applications: A survey. *arXiv preprint arXiv:2002.05786*.
- Özer E., 2015. Ekonomi Haberlerinin BIST100 ve Hisse Senetlerinin Fiyat Değişimleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Master's Thesis, Kadir Has University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, 78p.
- Qiu, H. and Liu, F., 2019. Candlestick Analysis in Forecasting US Stock Market: Are They Informative and Effective, 4th International Conference on Big Data Analytics (ICBDA), March 2019, Suzhou, China, p.325-328.
- Raço, H., 2019. Teknik Göstergeleri Kullanarak Derin Öğrenme ile Hisse Senedi Piyasası Tahmini Gerçekleştirme. Master Thesis, Gazi University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara, 65p.
- Raço, H. and Demirci, M., 2019. Predicting the Turkish Stock Market BIST 30 Index using Deep Learning. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 253-265.
- Sezer, Ö.B., Gudelek, M.U. and Ozbayoglu, A.M., 2020. Financial Time Series Forecasting with Deep Learning: A Systematic Literature Review: 2005–2019. *Applied Soft Computing*, 106181.
- Sezer, Ö.B., 2018. Zaman Serisi Verilerinin Derin Yapay Sinir Ağları ile Analizi ve Eniyilemesi: Finansal Tahmin Algoritmaları. Master Thesis, TOBB University The Graduate School of Natural and Applied Sciences Ankara, 172p.
- Sezer, Ö.B. and Ozbayoglu, A.M., 2018. Algorithmic Financial Trading with Deep Convolutional Neural Networks: Time Series to Image Conversion Approach. *Applied Soft Computing*, 70, 525-538.
- Sezer, Ö.B., Ozbayoglu, A.M. and Dogdu, E., 2017. An Artificial Neural Network-Based Stock Trading System Using Technical Analysis and Big Data Framework. In *Proceedings of The Southeast Conference*, April 2017, Kennesaw, USA, p.223-226.
- Sezer, Ö.B., Ozbayoglu, M. and Dogdu, E., 2017. A Deep Neural-Network Based Stock Trading System Based on Evolutionary Optimized Technical Analysis Parameters. *Procedia Computer Science*, 114, 473-480.
- Sezer, Ö.B., Gudelek, M.U., and Ozbayoglu, A.M., 2020. Financial Time Series Forecasting with Deep Learning: A Systematic Literature Review: 2005–2019. *Applied Soft Computing*, 106181.
- Sezer, Ö.B. and Ozbayoglu, A.M., 2019. Financial Trading Model with Stock Bar Chart Image Time Series with Deep Convolutional Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:1903.04610*.
- Singh M.K., Kumar H., Gupta M.P., Madaan J., 2018. A Glimpse of Sustainable Electronics Manufacturing for India: A Study Using PEST-SWOT Analysis, in: Connell J., Agarwal R., Sushil, Dhir S. (Eds.), *Global Value Chains, Flexibility and Sustainability*. Flexible Systems Management. Singapore, Springer, pp. 271-281.
- Şenol, D., 2008. Prediction of Stock Price Direction by Artificial Neural Network Approach. Master Thesis, Bogazici University The Graduate

School of Natural and Applied Sciences.
İstanbul, 74p.

Taburoğlu, S., 2019. A Hybrid and Reliable Method Integrating Depth and Technical Analysis with Machine Learning Techniques for Predicting Stock Prices. Master Thesis, Hacettepe University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara, 87p.

Taş, S., 2017. Mikroblog Mesajlar ile Hisse Fiyatları Arasındaki İlişkinin Analizi. Master Thesis, Bahçeşehir University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 57p.

Tradingview, www.tradingview.com. 16 March 2020.

Uluçay, S., 2019. Genetik ve Parçacık Sürü Algoritmalarının Portföy Optimizasyonuna Uyarlanması ve Borsa İstanbul ve Kripto Para. Master Thesis, İstanbul Aydın University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 95p.

Visa, S., Ramsay, B., Ralescu, A.L. and Van Der Knaap, E., 2011. Confusion Matrix-based Feature Selection. MAICS, 710, 120-127.

Yümlü, M.S., 2004. Hisse Senedi Değişebilirliğinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi. Master Thesis, Boğaziçi University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. İstanbul, 120p.

Zaremba, W., Sutskever, I. and Vinyals, O., 2014. Recurrent Neural Network Regularization. arXiv preprint arXiv:1409.2329.

Ziyadoğlu, T., 2018. İstanbul Borsasının Fiyat Hareketini Tahmin Etmek için Farklı Makine Öğrenme Tekniklerinin Karşılaştırılması. Master Thesis, Gazi University The Graduate School of Natural and Applied Sciences. Ankara, 69p.

Yazım Kuralları

1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi'nin yayın organıdır. Dergi kapsamında bütün Fen, Teknoloji, Mühendislik, Tarım ve Mimarlık Alanlarında daha önce başka yerlerde yayınlanmamış, özgün, araştırma makaleleri, derlemeler ve editöre mektuplar yayınlanır (Anket çalışmaları dergimizin konu kapsamına uygun değildir). Dergi **bilimsel ve hakemli** bir dergi olup, Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarında olmak üzere yılda dört kez çevrimiçi ortamda yayımlanır.

Derginin amacı araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

2. YAYIN DİLİ ve ANLATIM

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili 2018'den itibaren olmak üzere Türkçe ve İngilizce'dir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise yine bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

Makale içerisinde yazar tarafından gerçekleştirilen çalışmalara yönelik (Deneysel çalışmalar, analizler vb) anlatımlarda **üçüncü şahıs kullanılmaya özen gösterilmelidir**.

3. ELEKTRONİK ORTAMDA BAŞVURU

Dergi ile ilgili **tüm yazışmalarda** DergiPark tarafından sağlanan arayüz kullanılmalıdır. Dergi **yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış** makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Ulakbim Dergipark üzerinden <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte "**Gönderi Kontrol Listesi**"ndeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. "**Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu**" doldurulup bütün yazarlar tarafından imzalanmalıdır. Yayın ile ilgili işlemler bu formun tesliminden sonra başlar. Bu formun farklı kopyaları başka şehirlerde yaşayan yazar(lar) tarafından ayrı ayrı imzalanıp gönderilebilir.

Hayvanların veya zararlı maddelerin kullanıldığı araştırmalarda "**Etik Kurul İzin Belgesi**"nin makaleye eklenmesi gerekir. İnsanların denek olarak kullanıldığı araştırma sonuçlarını içeren makalelerde yazar(lar), "insan denemeleri üzerinde yetkili kurul" etik standartlarına ve gözden geçirilmiş Helsinki bildirgesi 1983'e uygunluğunu belgelemeleri gerekir.

4. DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi baş editörünün yönlendireceği bölüm editörü tarafından konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak biçimsel açıdan değerlendirilir. Bu ön kontrol aşamasında öncelikle intihal tespit yazılımları kullanılarak benzerlik raporları oluşturulur. Aday yayının benzerlik raporu toplamda %30 dan az olmalı ve tek bir kaynaktan ise %5 oranından fazla olmamalıdır. Daha sonra incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" olmayan veya eksik olan aday yayınlar ile benzerlik oranı sınırlarını aşan aday yayınlar ön incelemeye alınmaz. Dergi yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleler düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir.

Formata uygun olarak hazırlanan yazılar dergi baş editörü tarafından inceleme sürecinin gerçekleştirilmesi için ilgili bölüm editörüne yönlendirilir.

Bölüm editörü bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere aday yayını, konusuna uygun olarak en az üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi yayın danışma kurulu üyelerinden ya da alanında uzman başka bir bilim insanından yararlanılır. Hakemler değerlendirmeleri sonucunda, uygun, düzeltilerek yayınlanabilir, düzeltildikten sonra tekrar görmek isterim, istediğim düzeltmelerin kontrolünü derginin uzman bilimsel ekibi tarafından yapılması uygundur veya yayınlanamaz şeklinde kararları verebilirler.

Düzeltilme istenen yazılarla ilgili olarak yazar gerekli düzeltmeleri yapar. Ayrıca katılmadığı hususlarla ilgili olarak gerekçeli yazısını dergiye gönderir.

Hakem kurulu tarafından farklı türde değerlendirilen yazılar için bölüm editörü kendi görüşünü de ekleyerek değerlendirmenin sonuçlandırılması için baş editöre iletir. Değerlendirmede son karar baş editöre aittir. Baş editör gerekli görürse yeni bir hakem tayin eder veya yazı ile ilgili kararını sonuçlandırır.

Tüm değerlendirmeler sonucunda kabul ya da red kararı gerekçeleri ile birlikte DergiPark üzerinden yazışmadan sorumlu yazara iletir.

Değerlendirme sonucu kabul edilen makaleler dergi sekreteryası tarafından esasa bağlı kalınarak yayına uygun formata dönüştürülür.

Dergide yayımlanan makaleler başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Değerlendirmeye sunulacak çalışmaların bir başka dergiye gönderilmediği veya basılmadığı ön yazı ile belirtilmelidir.

Makale basım için kabul edilmezse “Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu” nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir. Bu Form’un imzalanması ile yazarlar, makalenin “GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ” dergisi ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı veya bir kısmının yasal olarak çoğaltılması ve dağıtılması hakkını Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedirler.

5. MAKALE TÜRLERİ

Dergide yayımlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

5.1 Araştırma Makaleleri: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Amaç, Gereç ve Yöntem, Bulgular, Tartışma ve Sonuçlar, gerekli ise Etik konular, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. Makale konunun uzmanları tarafından tekrarlanabilecek şekilde yeterli bilgiyi içermelidir. **Bu tür makalelerde ana metin 3500-4000 kelime arası olmalı, kaynak sayısı 40’ı aşmamalıdır.**

5.2 Derlemeler: Yazar(lar)ın uzmanlık alanında yapılmış eski araştırmaların derlenip eleştirel bir şekilde yorumlanıp ortaya yeni bir görüş ileri süren çalışmaları kapsmalıdır. **Bu tür makale öneren yazar(lar)ın en az 10 SCI-Expanded makalesi bulunmalı ve bunların en az 5 tanesi derleme yaptığı alanda olmalıdır.** Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Öz, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Öz, İngilizce Anahtar Kelimeler, Giriş, Ana Bölümler, Alt Bölümler, Sonuç, Katkı Belirtme ve Teşekkür, Kaynaklar, Şekil ve Tablolarla ilgili açıklamalar içermelidir. **Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur. Bu tür çalışmalar literatürle ilgili geniş bir tartışma ortaya koymalı ve kaynak sayısı en az 40 olmalıdır.**

5.3 Editöre Mektup: Dergide yayınlanmış makaleler hakkında veya ilgili diğer konularda soru sormak, görüş bildirmek isteyenlerin yazıları bu türde değerlendirilir. Bu tür yazılarda kapsam ve etik kavramlar göz önünde bulundurulur. **Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.**

6. MAKALENİN HAZIRLANMASI

•**Sayfa boyutu, sayısı ve kenar boşlukları:** A4 formatında, en fazla 15 sayfa olmalıdır. Tüm kenarlardan 2 cm boşluk bırakılmalıdır.

•**Sayfa numaraları:** Sayfa numaraları sayfa altında ve ortada verilmelidir. Sayfa numarası Times New Roman yazı tipinde ve 11 punto olmalıdır.

•**Satır numaraları:** Satır numaraları makalenin ilk sayfasından itibaren başlayarak ve “sürekli” olarak numaralandırılmalıdır (her sayfada yeniden başlat ve/veya her bölümde yeniden başlat özellikleri kullanılmamalıdır).

•**Satır boşlukları:** Bütün satır boşlukları Times New Roman karakterinde ve 11 punto olmalıdır.

• **Gövde Metni:** Ana metin “Times New Roman” karakterinde “11 punto” ile “iki yana yaslı” ve anahtar düzeyi “gövde metni” olarak ayarlanmalı, sağ ve sol satır girintisi olmamalı, metinden önceki ve sonraki aralık değerleri 0nk olmalı ve satır aralık değeri tek (1) olarak yazılmalıdır. Noktalama işaretlerinden (nokta, virgül, noktalı virgül vb.) sonra bir karakter boşluk bırakılmalıdır. Her paragraf arasında bir satır boşluk bırakılmalı, paragraf başlarında içerden başlanmamalıdır (ilk satır girintisi veya Tab tuşu kullanılmamalıdır).

• **Makale başlığı (Türkçe ve İngilizce):** Sayfa başından 1 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Türkçe başlık Times New Roman, 14 punto, koyu, tek satır aralıklı ve ortalı olarak yazılmalıdır. Türkçe başlıktan sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Daha sonra İngilizce başlık Times New Roman, 13 punto, italik, tek satır aralıklı ve ortalı olarak yazılmalıdır. Başlıklarda yer alan her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalı, otomatik başlık stilleri kullanılmamalıdır.

• **Yazar adı veya adları:** İngilizce başlıktan sonra 2 satır boşluk bırakılarak, unvan belirtilmeden, Adın ilk harfi büyük olacak şekilde tüm harfleri ve soyadın tamamı büyük harfle yazılmalıdır. Birden fazla yazarlarda aralarına virgül konularak, Times New Roman, 11 punto, kalın ve sayfaya ortalanarak yazılmalıdır. Sorumlu yazar isminde üst simge yıldız sembolü olmalıdır.

• **Yazarın/ların adresi/leri ve ORCID bilgisi:** Yazar adının hemen altına boşluk bırakılmadan, Times New Roman, 10 punto ve italik olarak yazılmalıdır. Adresleri aynı olan yazarlar için tek adres, farklı yazar adresleri alt alta boşluk bırakılmadan yazılmalıdır. Yayında yer alan tüm yazarların ORCID bilgileri mutlaka verilmelidir.

• **İletişim yazarının bilgileri:** Unvansız Ad soyad, e-mail adresi, telefon numarası (Tel: (xxx) xxx xx xx.) aralarına virgül konularak 1. sayfanın altına dipnot olarak, (*) sembolü ile belirtilmelidir, Times New Roman, 10 punto ile yazılmalıdır.

• **Türkçe Öz:** Adres/ler den 2 satır boşluk bırakıldıktan sonra, **Öz** kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, **koyu** ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Özetin gövde metni ise Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, iki yana yaslı, tek satır aralıklı ve girinti olmadan yazılmalıdır. Özet metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Öz başlığı ile özetin gövde metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **İngilizce Öz (Abstract):** Türkçe anahtar kelimelerin altına 2 satır boşluk bırakılarak, **Abstract**, kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, **koyu**, italik, tek satır aralıklı ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Abstract gövde metni Times New Roman yazı karakterinde, 11 punto, tek satır aralıklı ve italik olarak yazılmalıdır. Abstract metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Abstract kelimesi ile abstract metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **Anahtar kelimeler / Keywords:** “Anahtar kelimeler” Türkçe özetin altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto ve tek satır aralıklı yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, “Anahtar kelimeler” yazısı **koyu**, verilen diğer kelimeler ise koyu olmadan yazılmalıdır. Her kelimenin ilk harfi büyük ve aralarına virgül konularak verilmeli ve alfabetik sıralamaya uygun olarak sıralanmalıdır. “Keywords” kelimesi İngilizce özetin altına bir satır boşluk bırakılarak Times New Roman, 11 punto, tek satır aralıklı, *italik* ve **koyu** yazılmalıdır. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords), Türkçe anahtar kelimelerde verilen sıralama dikkate alınarak yazılmalı, kelimeler koyu olmamalıdır.

• **Ana başlıklar:** Ana Başlıklar sırasıyla numaralandırılmalıdır (**1. Giriş 2. Amaç, Gereç ve Yöntem** gibi). **Tüm başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 11 punto **koyu** ve her kelimenin ilk harfi büyük yazılmalıdır. Ana başlıklardan önce ve sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. **Alt başlıklar**, ana başlık numarasına uygun olarak numaralandırılmalıdır. **Tüm alt başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 11 punto, **koyu** ve *italik* olarak her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır (**2.1. Malzeme 2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması**, gibi). Alt başlıklardan önce ve sonra tek satır boşluk bırakılmalıdır. Başlıkları yazarken otomatik başlık stili, madde işaretleri, çok düzeyli liste gibi biçimler kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.

• **Şekiller, Resimler ve Fotoğraflar:** Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak, net ve okunaklı olmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Şekil no ve adları şeklin altında şeklin sol alt kenarına yaslanarak ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olarak verilmelidir. Şekiller ya bir çizim programı ile çizilmiş olmalı ya da en az 300 dpi çözünürlükte taranmış olmalıdır. Şekil olarak gösterilen grafik, resim ve metin kutularında yer alan yazı ve sayıların büyüklüğü makale içinde Times New Roman karakteri ile yazılmış 9 punto boyutundaki bir yazının büyüklüğünden az olmamalıdır. Şekilden önce, şekil adından önce ve sonra birer satır boşluk bırakılmalıdır. **Şekiller metin içine yerleştirilirken mutlaka şekilden önce atıfta bulunulmalıdır. Şekil yazılarında (metin içerisinde ve ilgili şekillerin altında) otomatik şekil yazısı stili kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.**

• **Tablolar:** Sayfa sınırlarını aşmayacak şekilde ortalanarak konulmalıdır. Sıra ile numaralandırılmalıdır. Tablo no ve adları, tablonun sol üstünde tek satır boşluk ile sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Tablo adı yazılırken üstte ve altta birer satır, tablodan sonra yine bir satır boşluk bırakılmalıdır. **Tablolara tablodan önce mutlaka metin içerisinde atıfta bulunulmalıdır.** Tablo satır ve sütunlarındaki rakam ve yazılar Times New Roman 11 punto ile yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalınan durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir. **Tablo yazılarında (metin içerisinde ve ilgili tabloda) otomatik şekil yazısı stili kullanılmamalı, düz metin şeklinde yazılmalıdır.**

• **Denklemler:** Metin içerisine yazılacak denklemler, Word yazım programındaki denklem editörü veya MathType editörü ile sola dayalı olarak yazılmalı ve eşitliklere sağa dayalı olarak parantez içerisinde sıra ile numara verilmelidir.

• **Semboller:** Makale çok sayıda sembol içeriyor ya da makaledeki sembollerin açıklanması gerekiyorsa uluslararası standarda uygun olarak, semboller, kaynaklardan önce, Times New Roman 11 punto ile *italik* yazılmalıdır. Makalede ondalık gösterimde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgül kullanılmalıdır.

• **Kaynaklar:** Kaynaklar “soyadı ve tarih sistemine” göre yazılmalıdır. Her kaynak kendi orijinal dilinde verilmelidir. Kaynak eserin yazımının bir satırdan daha uzun olması halinde ikinci satır ve diğer satırlar, **değinilen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hizasından başlayarak yazılmalıdır (yazar soyadının uzun olması durumunda ikinci satır 1 cm içeriden başlamalıdır).** **Takip eden kaynaklar, ilk kaynağın ikinci satır hizasından başlamalıdır.** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan yazılır. Kaynaklar aşağıda verilen yönergelere göre yazılmalıdır:

Metin içerisindeki atıflar aşağıda verilen yönergelere göre oluşturulmalıdır:

Atıflar aşağıda gösterilen mavi renkte verilmelidir. İngilizce hazırlanan makalelerde “ve” yerine “and”, “vd.” yerine “et al.” kullanılmalıdır.

Cümle içerisinde atıf verilen yazar ismine değinildiği durumlarda yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. “Popüler bir çalışmada Harvey (1992) konu ile ilgili olarak”, “David ve Clifford’a (2003) göre ...”, “Matthews ve Jones (1997) yapmış oldukları çalışmalarda ...”

Cümle içerisinde atıf verilen ancak yazar ismine değinilmeyen durumlarda hem yazar ismi hem de yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. “Daha yeni bir çalışma (Stevens, 1988) göstermiştir ...”.

Birden çok atıf verilmiş ise iki atıf arası noktalı virgül ile ayrılmalıdır. , “Doğu Pontidler, Kuzey Zon ve Güney Zon olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).”

İki ve daha fazla atıf verilmiş ise sıralama yıl temel alınarak geçmişten günümüze doğru yazılmalıdır. “Eosen ve sonrası gelişmiş volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiştir (Adamia vd., 1977; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Arslan vd., 1997; Arslan ve Aslan, 2006; Aslan, 2010).”

Aynı yazarın birden fazla eserine atıf verilmiş ise, eserlerin yılı dikkate alınarak geçmişten günümüze doğru yazılmalıdır. “Derinoba ve Kayadibi granitleri (Kaygusuz vd., 2012a,b, 2013), Özdil Granitoidi, Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2013, 2016) oluşturmaktadır.” “Birkaç yazar tarafından tartışıldığı gibi (Smith, 1993, 2003; Brown, 1995; Smith ve Jones, 1997; Green, 2004)...”

Metin içerisinde yazarı belli olmayan internet kaynaklarına atıf yapılırken, büyük harflerle URL-sıra numarası (.), yıl şeklinde yazılmalıdır. Örneğin: (URL-4, 2003), (URL 1 ve 2, 2003).

Kaynakların yazılması sırasında literatürde yaygın olarak bilinen periyodik dergilerin adları açık olarak yazılmalıdır. Örneğin: Mineralogy and Petrology, Journal of Geology and Mining Research, Journal of Food Engineering, Gondwana Research, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vb.

Kaynaklar listesi aşağıda verilen yönergelere göre oluşturulmalıdır:

Eğer yazar yayını İngilizce dilinde hazırlamış ise kaynaklarda “ve” yerine “and” kullanılmalıdır.

Ulusal ve Uluslararası Makaleler:

Gücer, M.A., Arslan, M., Sherlock, S. ve Heaman, L.M., 2016. Permo-Carboniferous Granitoids with Jurassic High Temperature Metamorphism in Central Pontides, Northern Turkey. Mineralogy and Petrology, 110, 943-964.

Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Akaryalı, E., 2017. Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 7(2), 236-267. doi: 10.17714/gumusfenbil.310263.

Le Breton, N. ve Thompson, A.B., 1988. Fluid-absent (Dehydration) Melting of Biotite in Metapelites in the Early Stages of Crustal Anatexis. Contributions to Mineralogy and Petrology, 99, 226-237.

Kaynak makalenin yayın dili İngilizceden farklı bir dilde verilmiş ise veya İngilizce çevirisi yazılmışsa, kaynağın sonuna parantez içerisinde orijinal dili verilmelidir.

Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize- Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında (Doğu Karadeniz) Yer Alan Magmatik Kayaçların Petrolojisi ve Doğu Pontitler’deki Bölgesel Yayılımları. Geological Bulletin of Turkey, 35, 15-38 (in Turkish).

Sipahi, F., 2005. Mineralogy and Geochemistry of Hydrothermal Alterations in Zigana Mountain (Torul-Gümüşhane) Volcanics. PhD thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey (in Turkish with English Abstract).

Sipahi, F., 2017. Geochemistry and Petrogenesis of Kalınçam (Tonya-Trabzon, NE Turkey) Area Late Cretaceous Aged Volcanic Rock. Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute 7(2), 102-127 (in Turkish).

Kabul edilmiş ancak sayı almamış veya baskı aşamasındaki makaleler:

Çimen, O., Göncüoğlu, M.C., Simonetti, A. ve Sayıt, K., 2017. Whole Rock Geochemistry, Zircon U-Pb and Hf Isotope Systematics of the Çangaldağ Pluton: Evidences for Middle Jurassic Continental Arc Magmatism in the Central Pontides, Turkey. Lithos, doi: 10.1016/j.lithos.2017.06.020.

Hoffman, H.J. ve Masson, M., 1994. Archean Stromatolites from Abitibi Greenstone Belt, Quebec, Canada. Geological Society of America Bulletin, 106 (baskıda).

Kitaplar:

Burchfiel, B.C., Hodges, K.V. ve Royden, L.H., 1992. The South Tibetan Detachment System, Himalayan Orogen: Extension Contemporaneous With and Parallel to Shortening in a Collisional Mountain Belt: Geological Society of America, Special Paper, 269, 41p.

Hem, J.D., 1989. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters: USGS Professional Paper, 2254, US Gov. Print. Office, 263p.

Postel, S., 2000. Son Vaha, Su Sıkıntısıyla Karşı Karşıya, (çev: F. Şebnem Sözer), TÜBİTAK-TEMA VAKFI yayınları, ISBN 975-403-188-6, Ankara, 218s.

Twiss, R.J. ve Moores, E.M., 1992. Structural Geology: New York, W.H. Freeman and Company, 532 p.

Tezler:

Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.

Tezcan, L., 1993. Karst Akifer Sistemlerinin Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

Raporlar:

Akartuna, M., 1953. Çaycuma-Devrek Yenice-Kozcağız Bölgesinin Jeolojisi Hakkında Rapor: MTA Rap. No. 2059 (yayımlanmamış), Ankara.

Altun, İ.E., Şengün, M., Keskin, H., Akçaören, F., Sevin, M., Deveciler, E. ve Akat, M.U., 1990. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu-B17 Paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Aslaner, M., 1972. Çayeli-Madenköy Cu-Pb-Zn Aramaları Hakkında Kısa Not, MTA Maden Etüd Rap. No. 118.

Baran, I. ve Kasperek, M., 1989. Marine Turtles of Turkey; Status Survey 1988 and Recommendations for Conservation and Management: WWF Report, Heidelberg, 123p.

IAEA, 1992. Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes, Technical Reports Series No.331, IAEA Vienna, 781p.

Editörlü Kitaplar:

Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide Volcano-sedimentary Belt and Associated Massive Sulphide Deposits, in: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean: Geological Society, London, Special Publications 17(1), 415-428.

Aydın, M., Demir, O., Özçelik, Y., Terzioğlu, N. ve Satır, M., 1995. A Geological Revision of Inebolu, Devrekani, Ağlı and Küre Areas: New Observations in Paleotethys-Neotethys Sedimentary Successions, in: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds.), Geology of the Black Sea Region. MTA, Ankara, Special Publication, pp. 33-38.

Boynnton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements; Meteorite Studies, in: Henderson, P. (Eds.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, pp. 63-114.

Hippolyte, J.C., Müller, C., Kaymakçı, N. ve Sangu, E., 2010. Dating of the Black Sea basin: New Nannoplankton Ages from its Inverted Margin in the Central Pontides (Turkey), in: Stephenson, R.A., Kaymakci, N., Sosson, M., et al. (Eds). Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society London Special Publications 340, 113-136.

Zuber, A., 1986. Mathematical Models for the Interpretation of Environmental Radioisotopes in Groundwater Systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. and Fontes, J.Ch. (Eds.), Elsevier, Amsterdam. pp. 1-59.

Bildiriler Kitabı:

Sualtı Günleri-1999, Türkiye’de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, Bildiriler Kitabı (editörler: B. Akınoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

Bildiri Özeti:

Akaryalı, E., Aydınçakır, E., Atay, U., Gücer, M.A. ve Türk, E., 2015. Mass Change Calculation of Hydrothermal Alteration in Kaletaş-Söğütağlı Area (Gümüşhane, NE Turkey). The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS), Prague, Abstracts, p. 232.

Bayarı, C.S., Kurttaş, T. ve Tezcan, L., 1998b. Köyceğiz Gölü Karışım Dinamiği: Çevresel İzotoplar ve Üç Boyutlu Yerinde Yoğunluk Ölçümleri. MTA Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildirileri, 2-6 Kasım 1998, Ankara, s.104-106.

Gücer, M.A. ve Aslan, Z., 2011. Evaluation of diagenesis and metamorphism relationship by using clay mineral indices in the Yoncaolu (Üzümlü, Erzincan) area. International European Clay Conference, Antalya, Book of abstracts, s. 281.

Tezcan, L., Gunay, G., Hotzl, H., Reichert, B. ve Solomon, K., 1997. Hydrogeology of the Kirkgozler Springs, Antalya, Turkey. International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, 17-21 November 1997, Near East Technical University, Nicosia, North Cyprus. p.76.

Tam Metni Basılı Bildiriler:

Hamarat, S., Ülkenli, H. ve Türe, G., 1998. Türkiye Kıyıları Aydınçık-Taşucu Deniz Mağaraları Sualtı Araştırmaları, Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, Aralık 1998, İstanbul, Türkiye, s.105-111.

Aktüel Dergi ve Gazete Haberi:

Corliss, Richard, 1993. September 13, Pacific Overtures. Time 142(11), 68-70.

Feder, Barnaby J, 1993. December 18, For Job Seekers, a Toll-Free Gift of Expert Advice. New York Times 30 (late ed).

İnternet Kaynakları:

Başaran, A., Yıldırım, N. ve Gülal, Z. (2000, 14 Ekim). Depreme Karşı Nasıl Bir Bina Yapmalı? Cumhuriyet Bilim Teknik, <http://bilimteknik.cumhuriyet.com.tr-/w/b08.-html>.

OCMIP, 2000. Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project, IGBP, Global, Analysis, Interpretation And Modeling Task Force, <Http://www.Ipsl.jussieu.-fr/OCMIP>.

URL-1, www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster. 05 Ağustos 2011.



- KIŞOĞLU H F, SÖĞÜT K;** Investigation of the Motion of Scalar Particles in an External Electromagnetic Field via Asymptotic Iteration Method / *Asimptotik İterasyon Metodu İle Bir Dış Elektromanyetik Alan İçerisindeki Skaler Parçacıkların Hareketinin İncelenmesi*.....853-868
- GELİŞ K, YEŞİLDAL F;** Klasik ve Modern Yapı Elemanları Kullanılması Durumunda Isı İletim Katsayısının Değişimi ile Minimum Yalıtım Kalınlığının Tayini / *Determination of Minimum Insulation Thickness with the Change of Heat Conduction Coefficient in the Use of Classic and Modern Building Elements*.....869-877
- NUMANOĞLU ÇEVİK Y;** The Effect of A High-Resolution Accurate Mass Spectrometer On Simultaneous Multiple Mushroom Toxin Detection / *Yüksek Çözünürlüklü Kütle Spektrometrenin Eşzamanlı Çoklu Mantar Toksin Tayinleri Üzerindeki Etkisi*.....878-886
- AYTEKİN H, ERGÜN Y A, ÖZÇATAL M;** Ferritik Çeliklerde Kırılma Tokluğunun Saptanmasında Farklı Bir Yaklaşım / *A Different Approach to the Determination of the Fracture Toughness in Ferritic Steels*.....887-899
- ABDİOĞLU M;** Numerical Investigation of the Critical Current and Trapped Flux Properties of the HTS-PMG Arrangements / *HTS-PMG Dizilimlerinin Kritik Akım ve Tuzaklanan Akı Özelliklerinin Nümerik Olarak İncelenmesi*.....900-910
- AKTAŞ M, CUMHUR İ, DÜZGÜN İ;** Kritik Hal Çerçevesinde YBCO (358) Süperiletkeninin ZFC İşlemi ile Manyetizasyon-Sıcaklık Değişiminin Modellenmesi / *Modelling of the Magnetization-Temperature Change of YBCO (358) Superconductor in Critical State Framework*.....911-916
- AK T, İNAN B;** A Study on Approximate Analytic Solutions of the Combined KdV-mKdV Equation / *Birleştirilmiş KdV-mKdV Denklemine Yaklaşık Analitik Çözümleri Üzerine Bir Çalışma*.....917-924
- ÖZYURT E;** Çok Düzlemli Kaynaklı K-Birleşimlerin Dayanımları / *Resistance of Multiplanar Welded K-Joints*.....925-936
- KOÇAN N, ANKARALI N;** Akarsuların Önemi ve Farklı Kullanımları Üzerine Bir Değerlendirme / *An Evaluation on Importance and Different Use of Rivers*.....937-948
- FIRAT ERSOY A, AYYILDIZ TURAN N, YILDIZ ÖZGÜL H;** Kızılırmak Delta Kıyı Alanındaki Tuzlanma Sürecinin Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi ile Değerlendirilmesi / *Evaluation of Sea Water Intrusion in Kızılırmak Delta Coastal Area by Stuyfzand Hydrogeochemical Modeling System*.....949-960
- DÖNER F, KÖSE E;** Tünel Projelerinde Harita Mühendisliği Uygulamaları: Yeni Zigana Tüneli Örneği / *Geomatics Engineering Applications in Tunnel Projects: New Zigana Tunnel Case*.....961-971
- OKCU M;** Farklı Ekim Zamanlarının Soya Fasulyesi Çeşitlerinde Bazı Tarımsal Özellikler Üzerine Etkileri / *Effects of Different Sowing Times on Some Agricultural Properties in Soybean Varieties*.....972-982
- AKMEŞE O, ACET T, ÖZCAN K;** Elazığ İlinde Yetişen Morus nigra L. Ekstraktlarının Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin ve Antibiyotiklerle Sinerjistik Etkisinin Belirlenmesi / *Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities and Synergistic effect with Antibiotics of Morus nigra L. Extracts Grown in Elazığ Province*.....983-995
- EMİR A, EMİR C;** Anthemis tinctoria L. var. tinctoria L. Bitkisine Ait Fenolik Bileşiklerin LC-ESI-MS/MS ile Miktar Tayini ve Bitkinin Biyolojik Aktivitelerinin Belirlenmesi / *Quantification of Phenolic Compounds of Anthemis tinctoria L. var. tinctoria L. by LC-ESI-MS/MS and Determination of Biological Activities of the Plant*.....996-1006
- GÜROCAK Z, KÜRÜM E B;** Elazığ Bölgesinin Kırmataş Potansiyeli ve Kullanım Alanları / *Crushed Stone Potential of Elazığ Region and Usage Areas*.....1007-1026
- ÇORUH E, AYDIN M M, DAĞLI E, ÖZTÜRK Ö F, YILDIRIM M S;** Kapalı Otobüs Durağı Uygulamalarının Kullanıcı Beklentileri ve Memnuniyeti Doğrultusunda İncelenmesi: Gümüşhane ve Antalya Örneği / *Investigation of Enclosed Bus Station Applications in Terms of User Expectations and Satisfaction: Case of Gümüşhane and Antalya Cities*.....1027-1038
- DÜNDAR B, ÇINAR E, PEŞİN S;** Bazalt ve Karbon Lif Takviyeli Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması / *Investigation of Physical and Mechanical Properties of Basalt and Carbon Fiber Reinforced Concrete*.....1039-1048

- KARANFİL B, TÜYSÜZ B;** Pasif Radar Uygulamalarında Çoklu Ardışık OFDM Kanalı Kullanımının Menzil Çözünürlüğüne Etkilerinin İncelenmesi / *Effects of the Successive Multiple OFDM Channels on Range Resolution in Passive Radar Applications*.....**1049-1056**
- KARAMAN A, YILDIRIM M N, ŞADIYE YAŞAR Ş;** Üç Boyutlu Yazıcılarda Üretilen Birleştirme Elemanlarının “L” Tipi Mobilya Köşe Birleştirmelerde Momenti Kapasitesine Etkisinin Belirlenmesi / *Determination of Bending Moment Capacity on “L” Type Furniture Corner Assembly Elements Produced by 3D Printers*.....**1057-1065**
- ORHAN C, FIRAT M;** Kanalizasyon Sistemlerinde Rehabilitasyonda Öncelikli Bölgelerin PROMETHEE ve MAUT Yöntemleri ile Belirlenmesi / *Identification of Priority Regions in Rehabilitation in Sewerage Systems by PROMETHEE and MAUT Methods*.....**1066-1076**
- ÖZEL AKDEMİR Ü;** Metal Kaplama Tesisi Atıksuyundan Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Fosfat Giderimi / *Phosphate Removal from Metal Coating Plant Wastewater by Electrocoagulation*.....**1077-1084**
- CANBAZ O, GÜRSOY Ö, GÖKCE A;** Kaolin Dağılımının Spektral Sınıflama Yöntemleri ile Belirlenmesi: Geminbeli Kaolin Yatağı (Sivas) ve Çevresi / *Determination of Kaolin Distribution by Using Spectral Classification Methods: Geminbeli Kaolin Deposit (Sivas) and Its Surroundings*.....**1085-1094**
- AKARYALI E, ŞAL F;** Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) Cevherleşmesinin Jeolojik ve Mineralojik İncelenmesi / *Geological and Mineralogical Investigation of Kılıçören (Gümüşhane) Pb-Zn-Cu±Au±Ag Mineralization*.....**1095-1109**
- DOĞAN H;** Elektronik Beton İzleme Sistemi Sonrası Yapı Denetimli Yapılarda Kullanılan Hazır Beton Kalitesinin Isparta İli Ölçeğinde Değerlendirilmesi / *Evaluation Of Ready-Mixed Concrete Quality In Isparta Scale After Electronic Concrete Monitoring System*.....**1110-1120**
- YILDIRIM Ü, GÜLER C, KURT M A, GÜVEN O;** Kaynağından Akdeniz’e Deliçay’ın (Mersin) Debisi ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi / *Assessment of Discharge and Water Quality of Deliçay (Mersin) from Its Source to Mediterranean Sea*.....**1121-1135**
- DURAK B;** Adi ve Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Çözümlerinin Kollokasyon Yöntemiyle Bulunması / *Collocation Method for Solution of Ordinary and Partial Differential Equations*.....**1136-1143**
- OĞUR O;** Modülüs Fonksiyonu ile Tanımlanmış Genelleştirilmiş Büyük Lebesgue Dizi Uzaylarının Topolojik Bazı Özellikleri / *Some Topological Properties of Generalized Grand Lebesgue Sequence Spaces Defined by Modulus Function*.....**1144-1149**
- ŞAHİN H, ASLAN Z;** Kalk-alkalen Musalar Graniti’nin Petrografisi, Jeokimyası ve Yukarıgöçek (Bigadiç-Balıkesir) Ametist Oluşumun Kökeni; Kuzeybatı Anadolu (Türkiye) / *Petrography, Geochemistry of the Calc-alkaline Musalar Granite and Origin of the Yukarıgöçek (Bigadiç-Balıkesir) Amethyst Formation; Northwest Anatolia (Turkey)*.....**1150-1168**
- GÜNEŞ B, CHIANEH A B, DEMİRBAŞ M;** Comparison of Multiple Scales Method and Finite Difference Method for Solving Singularly Perturbed Convection Diffusion Problem / *Singüler Pertürbe Özellikli Konveksiyon Difüzyon Problemleri İçin Çoklu Ölçekler Metodu ve Sonlu Fark Metodunun Karşılaştırılması*.....**1169-1181**
- YILMAZ F;** Mısır Püskülünün Pamuklu Kumaşlar için Doğal Boyamacılık Özelinde Kullanımının Araştırılması (Mordan Maddesiz Kullanımın, Mordan Maddeli Kullanımla Kıyaslanması) / *Investigation of Using Corn Tassel for Cotton Fabrics in Natural Dyeing (Comparison of Use without Mordant with Use with Mordant)*.....**1182-1187**
- AĞIL H;** Niyobyum İlavesinin (Bi, Pb)-2223 Bulk Süperiletken Sistemine Etkisi Üzerine Bir Araştırma / *An Investigation on the Influence of Niobium Adding on (Bi,Pb)-2223 Bulk Superconducting System*.....**1188-1194**
- SANTUR Y;** Deep Learning Based Regression Approach for Algorithmic Stock Trading: A Case Study of the Bist30 / *Algoritmik İşlemler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Regresyon Yaklaşımı: BİST30 Örneği*.....**1195-1211**