



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: 9

SAYI / ISSUE : 1

YIL / YEAR : 2019

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

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



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: 9 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2019
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

Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ

Editörler / Editors

Prof. Dr. Bahri BAYRAM

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR

Doç. Dr. İbrahim TURAN

Dr. Öğr. Üyesi. Bülent AKAR

Dr. Öğr. Üyesi Lale CONA

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER

Dr. Öğr. Üyesi Melih OKCU

Dr. Öğr. Üyesi. Talat ÖZDEN

Öğr. Gör. Salih TÜRK

Dergi Sekreteryası / Secretary

Doç. Dr. Enver AKARYALI

Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK

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 / 01 / 2019

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. 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. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi-
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-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 GÖKÇEOĞLU-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. 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. Ramazan LİVAOĞLU-Uludağ 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. 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
Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Alaaddin Keykubat Üniversitesi
Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih DÖNER-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Elif Çelenk KAYA-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. Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU -Karadeniz Teknik Üni.
Doç. Dr. Nafiz MADEN-Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Müdahir ÖZGÜL-Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan ÖZTÜRK-Gümüşhane 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. Halil YOLCU-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 Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇULLU-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 Zuhar OKCU-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik 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-İğdır Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Cem YÜCEL-Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Ilyas KHAN- Majmaah University
Dr. Rizwan Ul HAQ-Bahria University
Dr. Chokka RAVICHANDRAN-Bharathiar University

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makalesi / Research Article

Cüneyt ŞEN Emre AYDINÇAKIR Ufuk C. YAĞCIOĞLU Tülay BAK	Sakarya Zonunun Güney Kesiminde Yüzeyleyen Geç Kretase Alkalen Volkanitlerinin Jeokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>Comparison of the Geochemical Characteristics of Late Cretaceous Alkalen Volcanic Rocks from the Southern Border of Sakarya Zone</i>	1
Ali P. HEKİMOĞLU Yunus Emre TURAN	Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi <i>Effect of Zinc Content on the Microstructure and Mechanical Properties of the Al-(5-50)Zn Alloys</i>	16
Melek AKAR İbrahim ATIŞ	Priming Uygulamalarının Kadmiyum ve Nikel Stresine Maruz Bırakılan Kırmızı Yumağın Çimlenme ve Fide Gelişimi Üzerine Etkisi <i>The Effects of Priming Treatments on Germination and Seedling Growth of Red Fescue under Nickel and Cadmium Stress</i>	26
Savaş TOPAL	Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Jeomorfik İndislerle İncelenmesi <i>Investigation of the relative tectonic activity of the Karacasu Fault (SW Turkey) by geomorphic indices</i>	37
Muhammed E. BAŞAK	Akım Geri Beslemeli İşlemsel Kuvvetlendirici Kullanılarak Topraklanmış Endüktans Simülasyon Topolojileri <i>Current Feedback Operational Amplifier Based Grounded Inductance Simulator Topologies</i>	49
Mustafa TOKGÖZ Nurver ALTUN	Agelastica alni L. (Coleoptera:Chrysomelidae) Larvalarının Besin Tüketimi ve Gelişiminde Mikrogluların Etkisi <i>The Effect of Micronutrients on The Development and Food Consumption of Agelastica alni (Coleoptera:Chrysomelidae) Larvae</i>	55
Mustafa ÖZDURAN	B₂ Kristal Yapıdaki OsAl Bileşiğinin Yapısal, Elektronik, Elastik, Termodinamik ve Fonon Özelliklerinin İncelenmesi <i>The investigation of the structural, electronic, elastic, thermodynamic and phonon properties of OsAl in B₂ crystal structure</i>	64
Eren ERENSAYIN Nurettin TOPALOĞLU M. Hanefi CALP Serkan SAVAŞ	Effect of Cactus Plants on Magnetic Fields Bruited by Computer Screens <i>Bilgisayar Ekranlarının Yayıdığı Manyetik Alanlar Üzerinde Kaktüs Bitkisinin Etkisi</i>	70
Muharrem KIRAK	Basıncın ve Sıcaklığın Dış Elektrik Alan Altındaki Kübik Kuantum Noktasının Üçüncü Harmonik Üretimi Üzerine Etkisi <i>The Effect of Pressure and Temperature on the Third Harmonic Generation of Cubical Quantum dot under External Electric Field</i>	80
Orhan KESEMEN Buğra Kaan TİRYAKİ Tuncay ULUYURT	A Novel Approximation for Computation Bivariate Distribution Functions in Polygonal Area <i>Çokgensel Alanda İki Değişkenli Dağılım Fonksiyonunun Hesaplanmasında Yeni Bir Yaklaşım</i>	88
Ferhat YÜKSEL Cemalettin BALTACI	Adaçayı Tohumu (Salvia officinalis L.) Unu İle Zenginleştirilmiş Optimize Mısır Cipsin Depolama Yeteneklerinin Belirlenmesi <i>Determination of Storage Ability of Optimize Corn Chips Enriched with Sage Seed (Salvia Officinalis L.) Flour</i>	99
Mehmet MERDAN Halil ANAÇ Zafer BEKİRYAZICI Tülay KESEMEN	Solving of Some Random Partial Differential Equations by Using Differential Transformation Method and Laplace- Padé Method <i>Bazı Rastgele Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Diferansiyel Dönüşüm Metodu ve Laplace- Padé Metodu Kullanarak Çözümü</i>	108

Mehmet KÖKÜM	Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi <i>Lineament Analysis of the area between Palu (Elazığ) and Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System by using Landsat TM images</i>	119
Demet İSKENDERÖĞLU Harun GÜNEY	CdO:Ag İnce Filmlerinin SILAR Tekniği İle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu <i>Growth And Characterization CdO:Ag Thin Films By SILAR Technique</i>	128
İlhan ÇELİK	Yüzey İşlemi Uygulanmış AZ31 Mg Alaşımının Yapısal Özelliklerinin ve Aşınma Davranışının İncelenmesi <i>Investigation of Structural Properties and Wear Behavior of Surface Treated AZ31 Mg Alloy</i>	136
Tuba A. AYDIN Mehmet SEZER	E^n Uzayında Küresel Eğrileri Karakterize Eden Diferansiyel Denklem ve Çözümü <i>Differential Equation Characterizing Spherical Curves in E^n and Solution of This Equation</i>	143
Canan BAŞLAK	Suda Çözünen İyonik Türlerin Tespiti İçin Kuantum Nanokristaller İle Floresans Temelli Optik Kimyasal Sensörlerin Geliştirilmesi <i>Development of Fluorescence-Based Optical Chemical Sensors for Detecting of Ionic Species Soluble In Water By Using Quantum Nanocrystals</i>	155
Metin Mutlu AYDIN Mehmet Sinan YILDIRIM	The Investigation of Effective Parameters on Trip Length of Bikesaring Systems (BSS) <i>Bisiklet Paylaşım Sistemlerindeki Yolculuk Uzunluğu Üzerinde Etkili Parametrelerin İncelenmesi</i>	163
Esra Billur BALCIOĞLU Filiz Ekim ÇEVİK Abdullah AKSU	İstanbul'un Kent Topraklarında Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAHs) Birikimi ve Kökenleri Üzerine Bir Ön Araştırma <i>A Preliminary Study on Accumulations and Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Soils of Istanbul</i>	173
Cansu BEŞEL Emine T. KAYIKÇI	Serisel Korelasyonun Toplam Zenit Gecikmesi Zaman Serilerinde Parametrik Olmayan Trend Belirleme Üzerindeki Etkisi <i>The Effect of Serial Correlation on Nonparametric Trend Determination at Zenith Total Delay Time Series</i>	180

Sakarya Zonunun Güney Kesiminde Yüzeyleyen Geç Kretase Alkalen Volkanitlerinin Jeokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Comparison of the Geochemical Characteristics of Late Cretaceous Alkaline Volcanic Rocks from the Southern Border of Sakarya Zone

Cüneyt ŞEN^{1,a}, Emre AYDINÇAKIR^{*2,b}, Ufuk Celal YAĞCIOĞLU^{1,c}, Tülay BAK^{1,d}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 01.03.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.05.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 22.05.2018

Öz

Sakarya Zonunun güney kesiminde Bayburt, Amasya-Gümüşhacıköy ve Ankara-Kalecik lokasyonlarında Üst Kretase'nin son dönemlerinde benzer stratigrafik seviyelerde yüzeyleyen alkaline volkanitler makroskobik olarak iri analsimleşmiş lösit porfirleri ve iri piroksen porfirleri içeren iki farklı litoloji sunarlar. Bu kayalar çarpışma öncesi yaşlı okyanus kabuğunun yitim açısının dikleşmesi sonucu, metasomatizmaya uğramış flogopitce zengin manto kayalarının düşük dereceli kısmi ergimesi sonucu oluşan kaynak magmalardan itibaren oluşmuşlardır. Oluşumlarını izleyen süreçte alkaline magma, kabuk içerisindeki orta/sığ derinliklerdeki magma odalarında diferansiyasyona uğrayarak, iki farklı litolojide yeryüzüne ulaşmıştır.

Anahtar kelimeler: Alkaline volkanizma, Analsimleşmiş lösit, Sakarya Zonu, Üst Kretase

Abstract

Alkaline volcanics exposed at similar stratigraphic levels in Upper Cretaceous at Bayburt, Amasya-Gümüşhacıköy and Ankara-Kalecik locations along the southern boundary of the Sakarya Zone provide macroscopically two different lithologies which are containing large pyroxene porphyries and large analcimized leucite porphyries. These rocks formed as a result of the low-grade partial melting of the metasomatized phlogopite-rich mantle rocks, which resulted in the steep subduction angle of the aged oceanic crust before the collision. In the course of following their cases, in the middle / shallow depths of the crust, in the magma chambers they underwent differentiation and reached two different lithologies.

Keywords: Alkaline volcanism, Analcimized leucite, Sakarya Zone, Upper Cretaceous

*b Emre AYDINÇAKIR; aydincakir61@gmail.com; Tel: (0456) 233 10 00 (dâhili: 1706); orcid.org/0000-0001-8704-8485

a orcid.org/0000-0002-2873-073X

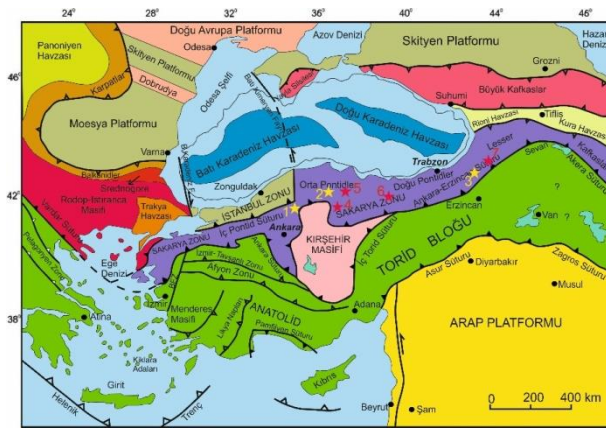
c orcid.org/0000-0001-7158-9017

d orcid.org/0000-0002-8845-3877

1. Giriş

Şengör ve Yılmaz (1981) ile Okay ve Tüysüz (1999) Anadolu'nun kuzeyinde yer alan ve Ege Denizi'nden başlayarak Küçük Kafkaslar'a kadar uzanan tektonik zonu "Sakarya Zonu" olarak adlandırmıştır. Sakarya Zonu, Paleozoyik ve Mesozoyik dönemlerde aktif yitim ve Senozoyik dönemde çarpışma sonucu oluşmuş magmatik aktiviteler ile bunlara eşlik eden tortulaşma ve başkalaşım olayları sonucu vücut bulmuştur. Karmaşık plütonik, volkanik, metamorfik ve sedimanter kayaç oluşumlarına tektonik hareketler sonucu gelişmiş kırıklar, kıvrımlar ve sonrasında gelişen fiziksel ve kimyasal ayrışmalar eşlik ettiğinden, Sakarya Zonu'nun oluşumunu anlamak kolay olmamıştır. Bölgedeki jeolojik problemlerin çözümü için ayrıntılı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma, Türkiye'nin tektonik birliklerinden Sakarya Zonu'nun (Şekil 1) güney kesiminde, Ankara-Kalecik (Üşenmez, 1973; Ataman vd., 1976; Gülmez ve Genç, 2015) Amasya-Gümüşhacıköy (Gülmez vd., 2016), Amasya-Merkez (Alp, 1972; Eyüboğlu, 2010; Eyüboğlu vd., 2011), Çorum-Mecitözü (Erk ve Seymen, 1993), Tokat-Reşadiye (Seymen, 1975); Bayburt-Everekhanları (Bektaş ve Gedik, 1988; Altherr vd., 2008) ve Erzurum-İspir (Eyüboğlu, kişisel görüşme), benzer stratigrafik düzeylerde (Üst Kretase'nin son dönemleri) yüzeyleme veren alkali volkanitlerin jeokimyasal, petrografik-mineralojik özelliklerinin karşılaştırılmasını amaçlamaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanları (sarı yıldızlar, 1-Ankara-Kalecik, 2-Amasya Gümüşhacıköy, 3-Bayburt-Everekhanlar) ve stratigrafik olarak benzer oluşumların (4-Çorum-Mecitözü, 5-Amasya Merkez, 6-Tokat-Reşadiye ve 7-Erzurum-İspir) Türkiye Tektonik Birlikleri'nden (Okay ve Tüysüz, 1999) Sakarya Zonu içerisindeki konumları.

2. Bölgesel Stratigrafi ve İncelenen volkanitlerin konumu

Benzer stratigrafik seviyede bulunan alkali volkanitler Ankara-Kalecik (Orta Pontid'lerde), Amasya-Gümüşhacıköy (Orta-Doğu Pontid geçişinde) ve Bayburt-Everekhanları (Doğu Pontidler'de) yüzeylemektedir.

Orta Pontidler'de temel kayaçları Orta Silüryen kırıntıları üzerine gelen Permo-Karbonifer kireçtaşları oluştururken, Doğu Pontidler'de ise temel kayaçları Erken Karbonifer yaşlı metamorfikler ve bunları keserek yerleşen Orta-Geç Karbonifer yaşlı granitoidler oluşturur (Alp, 1972; Yılmaz, 1973; Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011; Karşı vd., 2016; Kaygusuz vd., 2012, 2016; Dokuz vd., 2017a). Bu temel üzerine uyumsuz olarak gelen Jura yaşlı kayaçlar, Orta Pontid'lerde, yer yer Permian kireçtaşı blokları içeren kırıntılılardan oluşmaktadır (Alp, 1972).

Doğu Pontid'ler de ise birbirleriyle yanal geçiş gösteren ve kısa mesafelerde kalınlık farkları sunan epiklastik kayaçlarla birlikte andezit, diyabaz, bazalt, aglomera, tuf ve tüffitler bulunur. (Şen, 2007; Yılmaz ve Kandemir, 2003; Kandemir, 2004; Kandemir ve Yılmaz, 2009; Dokuz vd., 2017b; Karşı vd., 2017). Neredeyse, tüm Pontid'ler boyunca Erken-Orta Jura çökellerinin birikiminden sonra, Malm'den itibaren, Alt Kretase sonuna kadar süren dönemde, sakin tektonik koşulların kontrolünde karbonat platformu (neritik ve mikritik kireçtaşları) oluşmuştur (Alp, 1972; Yılmaz, 2002). Üst Kretase dönemi, Pontid'lerde litolojik ve jeolojik olaylar bakımından en karmaşık dönemdir (Okay ve Şahintürk, 1997; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011; Kaygusuz vd., 2011; Aydınçakır, 2016). Çalışma alanlarının yer aldığı Pontid'lerin güney sınırları (Ankara - Kalecik; Amasya-Gümüşhacıköy, Bayburt) dikkate alındığında, Üst Kretase dönemi, ofiyolitik melanj oluşumları (Alp, 1972; Bektaş ve Gedik, 1988, Eyüboğlu, 2010, Eyüboğlu vd.; 2011) ve bunları uyumsuz olarak üzerleyen yerel volkanitler ve piroklastitleri ile kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşı çökelleri ile temsil edilir. Bu çalışmada incelenen volkanitler de bu stratigrafik seviyede bulunmaktadır. Hem Orta hem de Doğu Pontid'lerdeki çalışma bölgelerinde, Üst Kretase kayaçları, Eosen yaşlı tortul, volkanit katkılı volkano-tortul birimler tarafından örtülmüştür (Okay vd., 1997; Aydın vd. 2008; Aydınçakır ve Şen, 2013; Aydınçakır, 2016; Yücel vd., 2017).

3. Analitik Yöntemler

Bayburt-Everekhanları, Amasya-Gümüşhacıköy ve Ankara-Kalecik lokasyonlarında volkanik kayaların petrokimyasal karakteristiklerini belirleyebilmek için yaklaşık yüz adet kayaç örneği derlenmiştir. Petrografik çalışmalar için Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İnce Kesit Laboratuvarı'nda ince kesitleri hazırlanan örnekler, bölümün Araştırma Mikroskop Laboratuvarı'nda polarizan mikroskop altında incelenerek dokusal ve mineralojik tayinleri yapılmıştır.

Petrografik çalışmalar sırasında taze (veya az ayrılmış) örnekler seçilerek, Örnek Hazırlama Laboratuvarlarında kimyasal analizler için hazırlanmıştır. Bu örnekler önce çeneli kırıcılarda 1-2 cm boyutlarına indirilmiş, daha sonra tungsten-karbidten yapılmış halkalı öğütücülerde yaklaşık -180 mesh boyutuna kadar öğütülmüştür. 31 adet örnek plastik poşetlerde saklanarak kimyasal ana ve iz element analizleri için Acme Analiz Laboratuvarı'na (Vancouver, Kanada) gönderilmiştir. Ana ve iz elementler ICP (Inductively Coupled Plasma), nadir toprak elementler ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) aletleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Öğütülen toz örneklerden 0.2 gr alınarak 1.5 gr LiBO₂ ile karıştırılarak, % 5 HNO₃ içeren bir sıvı içinde çözündürülmüştür. Analiz yapılan alete standartlar (STD SO 18)

girildikten sonra örnekler analiz edilmiştir. Ana elementler yüzde ağırlık, iz elementler ise ppm olarak ölçülmüştür. Nadir toprak elementler ise, toz örneklerden 0.25 gr alınarak dört farklı asit içerisinde çözündürülmüş ve analiz sonuçları ppm olarak tespit edilmiştir.

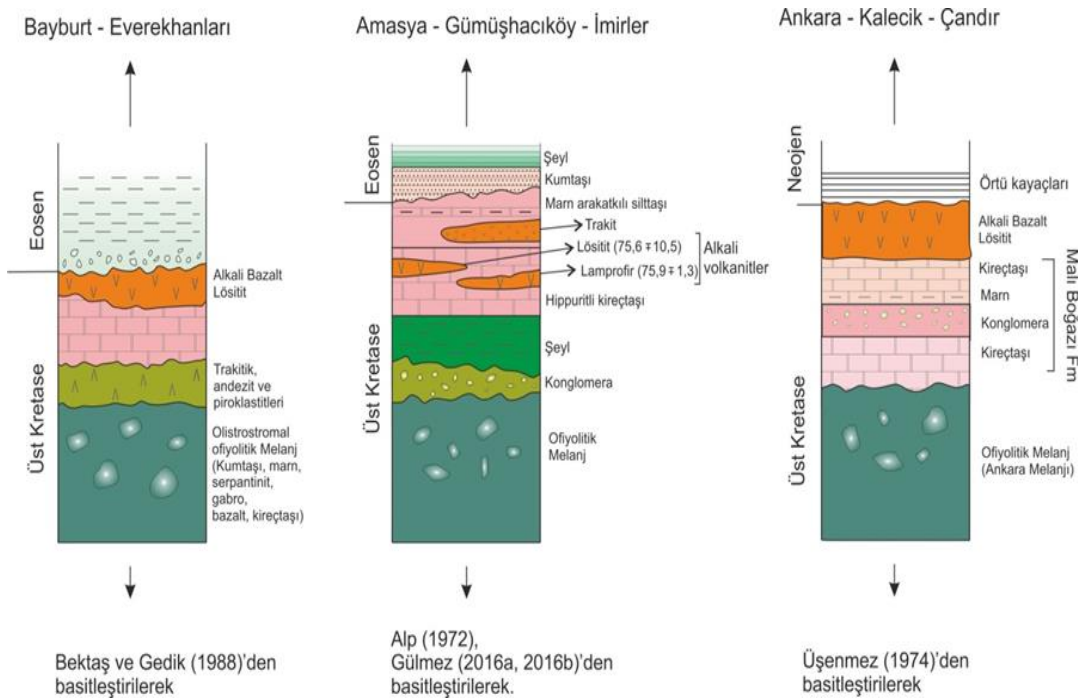
4. Bulgular

4.1. Arazi İlişkileri

Bu çalışmada Sakarya kıtasının (Şekil 1), güney sınırı boyunca Ankara Kalecik'ten Erzurum İspir'e kadar uzanan bir hat üzerinde yer alan ve hemen hem benzer stratigrafik seviyelerde bulunan (Şekil 2) alkalin volkanizmanın iyi gözlemlendiği üç lokasyon, doğudan batıya, Bayburt - Everekhanları, Amasya Gümüşhacıköy - İmirler ve Ankara Kalecik - Tilkiköy lokasyonları çalışılmıştır.

4.2. Bayburt-Everekhanları Yöresi

Çalışma konusu kayaçlar, Bayburt-Erzurum karayolu üzerinde, Bayburt'un Maden Beldesinin 5 km güneyinde yaklaşık 1.5 km²'lik bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil 3). Bölgede ilk ayrıntılı jeolojik çalışmayı yapan Bektaş ve Gedik (1988) seriyi Everekhanları Formasyonu olarak adlandırmıştır. Everekhanları Formasyonuna ait kayaçlar daha sonra ayrıntılı olarak Alther vd. (2008) tarafından çalışılmıştır.



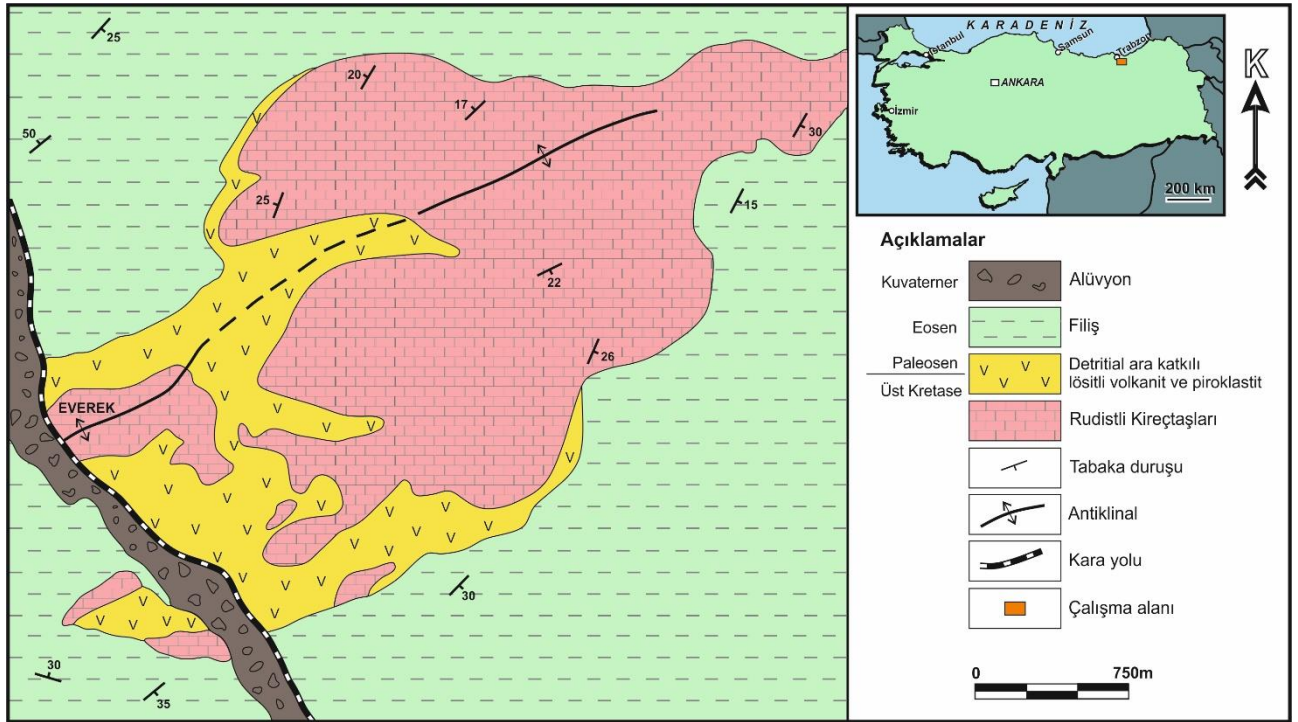
Şekil 2. İnceleme alanlarında bulunan alkalin karakterli volkanitlerin stratigrafik konumu.

Formasyon, Üst Kretase yaşlı kalın tabakalı rudistli resifal kireçtaşlarının düzensiz aşınma yüzeyinin üzerine çökelmiştir. Birim, alttaki kireçtaşlarının oluşturduğu kırmızı renkli konglomeratik bir seviye ile başlar.

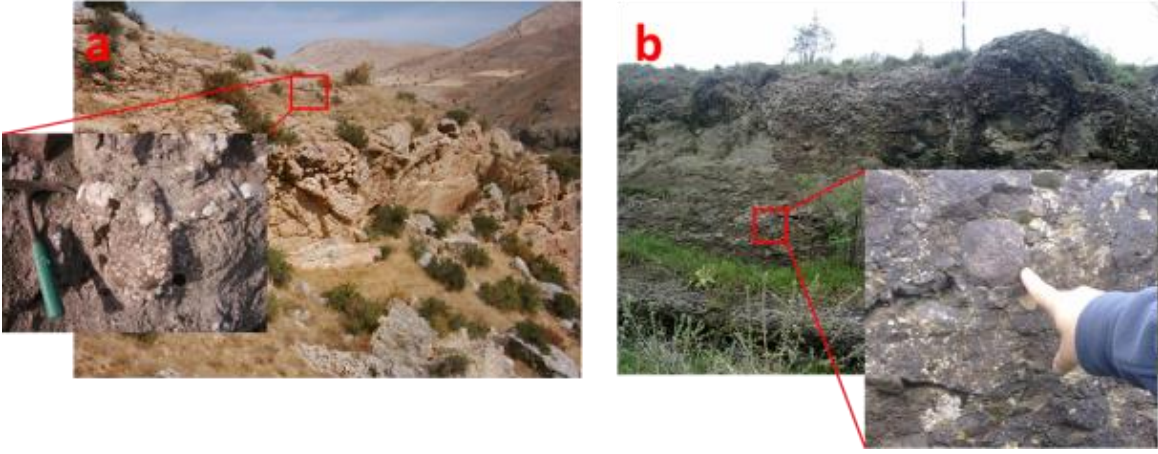
Konglomeratik seviye üzerine, ojit kristallerinin gözle seçilebildiği gri renkli matrikse sahip volkanit ile volkanoklastik seviyeler ardalanmalı olarak gelmektedir. İri analsim kristalleri içeren grimsi-kahverengi matrikse sahip volkanitler ise serinin en üst seviyelerindeki breşik (Şekil 4) ve akma yapılarını oluşturur. Bektaş ve Gedik (1988) formasyonun genel özellikleri itibarıyla karasal volkano-tortul bir istif niteliğinde, toplam kalınlığının da yaklaşık 300 m civarında olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar formasyonun yaşını Paleosen olarak verirken, benzer bir şekilde Altherr vd. (2008) Everekhanları Formasyonunun yaşının alttan Üst Kampaniyen-Maastrisiyen (Özer ve Fenerci, 1993; Fenerci, 1994; Yılmaz vd., 2003) yaşlı rudistli kireçtaşları ile üstten nummulit içeren Üst Pleosen-Yipresiyen yaşlı flišik, konglomera, kumtaşı ve şeyllerden oluşan birim (Okay vd., 1997) ile sınırlandırılmış olduğunu belirtmiştir.

4.3. Amasya-Gümüşhacıköy-İmirler Yöresi

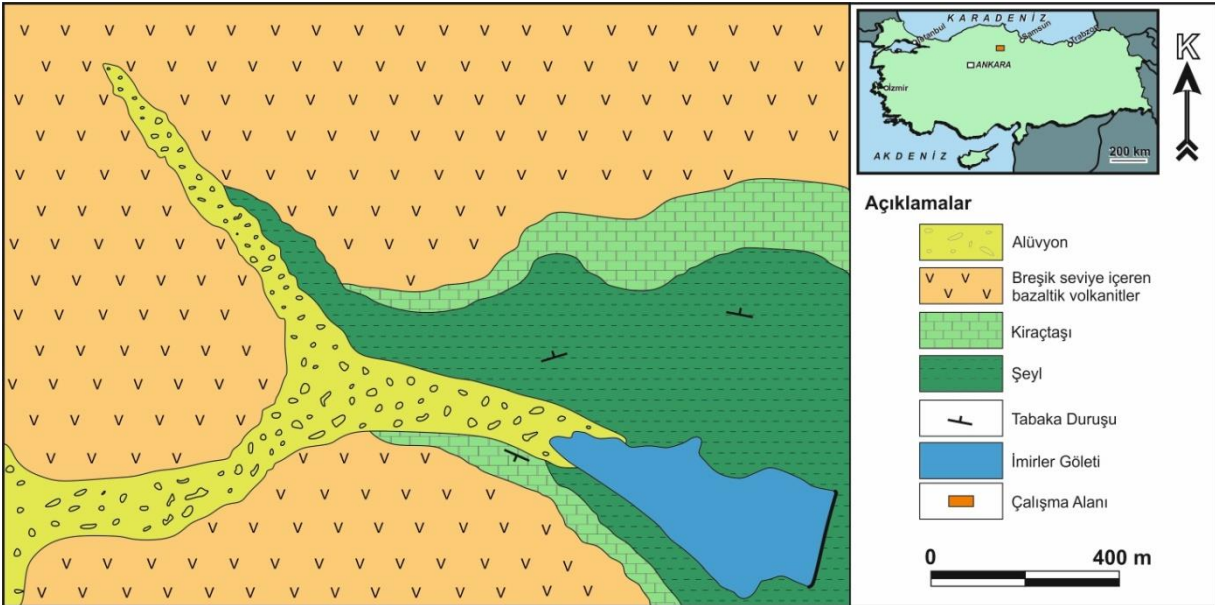
Birim, Amasya-Gümüşhacıköy ve civarında yer yer dayklar, yer yer de küçük alanda akma yapısı göstererek yüzeylenir. Arazi çalışmaları Amasya-Gümüşhacıköy'ün yaklaşık 3 km batısında bulunan İmirler Köyü'nde bulunan göletin memba tarafında yapılmış ve çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 5'de verilmiştir. Çalışılan volkanitler, Alp (1972)'nin Lokman Formasyonu olarak adlandırdığı birimin bir parçasıdır. Lokman Formasyonu tabanda ofiyolitik melanjla başlar ve bu seviye üzerine trakiandezit ve piroklastitleri gelir. Formasyonun üst seviyelerinde şeyller ve bunların üzerine uyumlu gelen rudistli resifal kireçtaşları bulunur. İncelenen volkanitler, söz konusu şeyller ile kireçtaşlarını keserek yerleşmiştir (Şekil 6). Alp (1972) çalıştığı Amasya bölgesinde volkanizmanın bataklık çökelleriyle aralandığını belirtmesine karşın, incelenen alanda, sadece şeyllere ve bunlarla uyumlu kireçtaşlarına rastlanmıştır. Volkanitlerin de içerisinde bulunduğu, Lokman Formasyonu, Eosen yaşlı kumtaşı, siltası, marn ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan fliš tarafından uyumsuz olarak örtülür (Tüysüz, 1996).



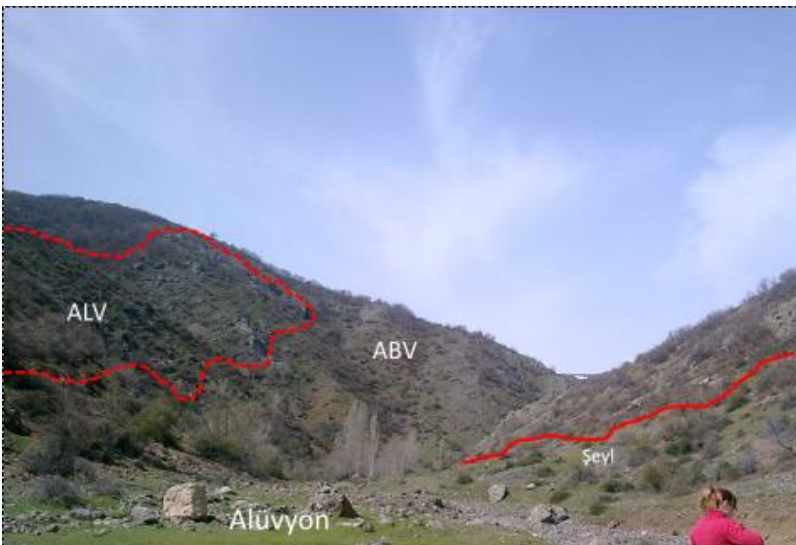
Şekil 3. Bayburt-Everekhanları ve civarının jeoloji haritası (Bektaş ve Gedik, 1988'den alınmıştır).



Şekil 4. Analsimleşmiş lösit içeren köşeli-yarı köşeli bloklardan oluşmuş aglomeramsı-breşler (a). Everekhanları Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen Eosen Flişinin taban seviyelerinde bulunan konglomeralar içerisindeki analsimleşmiş lösit içeren volkanit çakılı (b).



Şekil 5. Amasya Gümüşhacıköy İmirler Köyü ve civarında yüzeylenen alkalen volkanitleri gösteren jeoloji haritası.



► **Şekil 6.** Amasya-Gümüşhacıköy-İmirler Köyü Göletinin memba tarafında şeyller üzerine akmış olarak görülen volkanitler. Analsimleşmiş lösit içeren volkanitler (kırmızı kesikli çizgi ile belirlenen alan) alkalen volkanitler içerisinde sınırlı alanlarda kafalar şeklinde gözlenir.

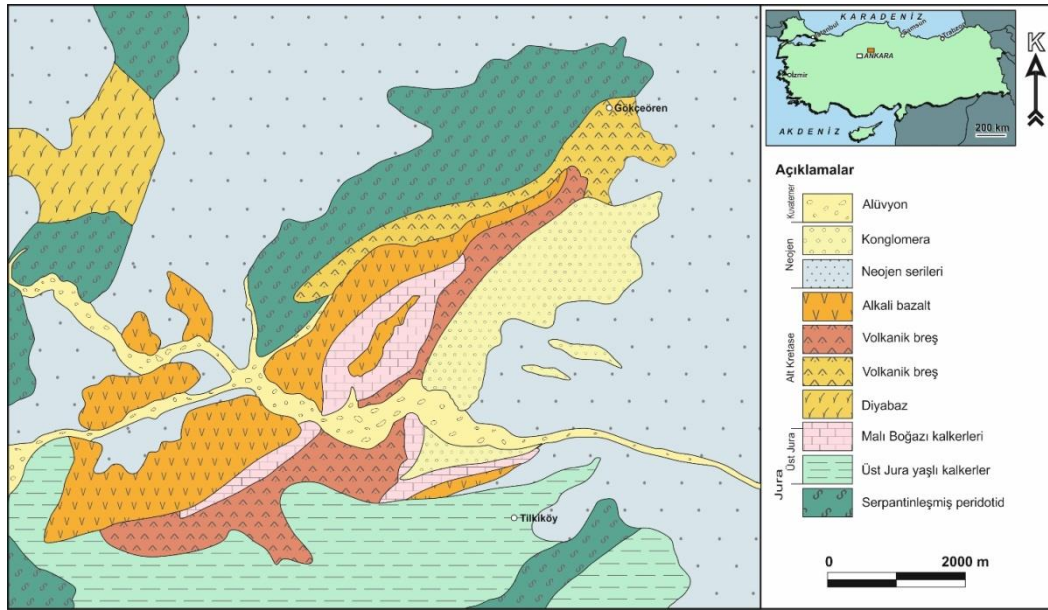
4.4. Ankara-Kalecik-Tilkiköy

Alkalin volkanizmanın ürünlerine Ankara-Kalecik civarında geniş alanlarda dayk ve küçük lav akmaları şeklinde rastlanır. Bu çalışmada incelenen volkanitler, Kalecik İlçe merkezinin yaklaşık 20 km kuzeyinde Tilkiköy-Gökçeören köyleri ile Kızılırmak arasında bulunan alanda yüzeylenirler (Şekil 7).

Üşenmez (1973) tarafından bölgede gerçekleştirilen ilk ayrıntılı çalışmaya göre temeli bazaltik, gabroyik ve serpantinleşmiş kütlelerle beraber bulunan kireçtaşı bloklarından oluşan Ankara Melanjı oluşur. Kireçtaşı blokları

içeren diyabaz ve volkanik breşler bu seri üzerine uyumlu olarak gelir. Malı Boğazı Kalkerleri tabanda konglomeratik bir seviye ile başlayıp, kalkerli kırıntılı seviyelerle kireçtaşlarına geçiş gösterir. Alkalin volkanitler ise söz konusu kireçtaşlarını keserek yerleşmiştir.

Çapan (1984), Malı Boğazı Formasyonunun oluşumunun Senomaniyen'den Maestrichtiyen'e kadar devam ettiğini, Formasyonun üzerinde bulunan alkali bazaltlardan alınan klinopiroksen ve biyotit minerallerinin K-Ar yaşlarının 60-65 milyon yıl (Daniyen) olduğunu belirtmiştir. Tüm bu birimler, Geç Neojen serileri tarafından örtülmüştür (Şekil 8).



Şekil 7. Ankara-Kalecik Tilkiköy-Gökçeören Köyleri ve civarının jeoloji haritası (Üşenmez, 1973'den basitleştirilerek alınmıştır).



► Şekil 8. Yeşil renkli, öz ve yarı öz şekilli piroksen kristalleri içeren alkali bazaltik volkanitler (ABV; a, Gümüşhacıköy; b, Kalecik ve c, Bayburt). İri beyazımsı-pembemsi analsimleşmiş lösit içeren volkanitler (ALV; d, Gümüşhacıköy ve e, Bayburt).

4.5. Jeokimya

Her üç lokasyonda da, makroskobik olarak iki farklı tür volkanik kayaç tanımlanmıştır. Yaygın olarak görülen kayaçlar koyu gri, gri renklidir ve makroskopik olarak koyu yeşil renkli piroksen kristalleri içeren alkali bazaltik volkanitlerdir (ABV, Şekil 8a, b ve c). Beyazımsı-pembemsi iri analsimleşmiş lösit içeren volkanitler ise grimsi-kahverengimsi matrikse sahiptir (ALV, Şekil 8d ve e) ve alkali bazaltik volkanitlere göre arazide daha sınırlı alanlarda yayılım gösterirler.

Arazi çalışmaları sırasında derlenen örneklerden itibaren 31 örneğin (Bayburt-Everekhanları 6, Amasya Gümüşhacıköy 12 ve Ankara Kalecik 13 olmak üzere) ana ve iz element analizleri yaptırılmıştır. Sonuçlar Tablo 1’de sunulmuştur.

Kayaçların SiO₂ içerikleri %45 ila %53 arasında değişmektedir. Genel olarak bakıldığında ALV’lerin SiO₂ içerikleri (ortalama %52) ABV’lere göre (ortalama %48.5) biraz daha yüksektir (Tablo 1).

Bayburt’ta, ALV ortalama olarak yaklaşık %53 civarında SiO₂ içerirken, ABV’lerin SiO₂ içerikleri ortalama %48’dir. Benzer şekilde Gümüşhacıköy ve Kalecikte bulunan ALV’ler yaklaşık %52 SiO₂ içerirken, bunlarla beraber bulunan ABV’lerin ortalama SiO₂ içerikleri sırasıyla %50 ile %47’dir. En yüksek ortalama TiO₂ ve P₂O₅ değerleri Bayburt volkanitlerinde analiz edilmiştir (Tablo 1).

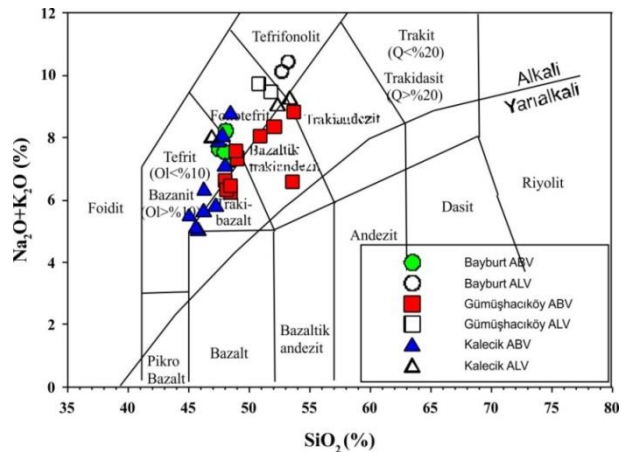
Bayburt’taki ALV’ler yaklaşık %0.74 TiO₂ ve %0.54 P₂O₅ içerirken, eşlik eden volkanitlerin TiO₂ ve P₂O₅ içerikleri ortalama %0.95 ve %0.96’dır. Gümüşhacıköy lokasyonunda ABV’ler ortalama %0.90 TiO₂ ve %0.50 P₂O₅ içerirken, ALV’ler ortalama %0.64 TiO₂ ve %0.52 P₂O₅ içerir. Ankara Kalecik’te bulunan volkanitlerin TiO₂ ve P₂O₅ içerikleri diğer lokasyonlara göre biraz daha düşük olup, ABV’ler ortalama %0.72 TiO₂ ve %0.40 P₂O₅, ALV’ler ise %0.6 TiO₂ ve %0.31 P₂O₅ içerir. ALV’ler ABV’lere göre daha fazla Al₂O₃ içerirler (Tablo 1).

Bayburt ALV’leri ortalama %18.75, ABV’leri ise %16.60 Al₂O₃ içerir. Gümüşhacıköy örnekleri diğer lokasyonlara göre biraz daha az Al₂O₃ içeriğine sahiptir (ortalama %15.40 ALV ve %14.90 ABV). Kalecik’te ise ortalama Al₂O₃ içerikleri ortalamadan hesaplanan standart sapma limitleri içerisinde birbirlerine çok yakın değerlerdedir (%16.0 ABV’de ve % 16.4 ALV’de).

Genel olarak bakıldığında örneklerin Mg# 0.44 ila 0.58 arasında değişmektedir ($Mg\# = (MgO / 40.31) / ((MgO / 40.31) + (0.89 * Fe_2O_3 / 71.89))$) ve bu değerler söz konusu magmaların birincil magmalar (Mg#: 0.63-0.73, Green, 1971) olmadığını gösterir. Söz konusu kayaçların içermiş olduğu düşük Ni (1.5 ila 54 ppm) ve Cr (% 0.003 ila % 0.027 Cr₂O₃) içerikleri de bu savı desteklemektedir (Tablo 1).

SiO₂’ye karşı toplam alkali diyagramında (Şekil 9) tüm örnekler Irvine ve Baragar’ın (1971) önerdiği alkali/yarı-alkali sınırın alkali kısmında yer almaktadır. Bayburt ABV örnekleri tefrit/fonotefrit alanına düşerken, ALV’i ise tefrifonolit alanında yer alır. Gümüşhacıköy ABV örnekleri trakibazalt/bazaltiktrakiandezit ve trakiandezit alanları boyunca sıralanmıştır. Aynı lokasyonun ALV’i tefrifonolit alanında yer alır. Benzer şekilde, Ankara Kalecik’ten derlenen ABV trakibazalt / tefrit ve fonotefrit alanlarında bulunurken, ALV’i ise fonotefrit / tefrifonolit / trakiandezit üçlüsünün oluşturduğu sınırdır yer alır.

Winchester ve Floyd (1977) tarafından önerilen ayrışmaya duyarlı iz elementlerden oluşturulmuş Zr/TiO₂*0.0001’a karşı Nb/Y diyagramında örnekler (Şekil 10), çoğunlukla subalkali/alkali geçiş alanında yer alır. Bunun nedeninin bu kayaçlarda beklenen yüksek Nb değerlerinin olmaması, yani bu kayaçların yitimle ilgili bir kaynaktan türemiş olmalarıdır.



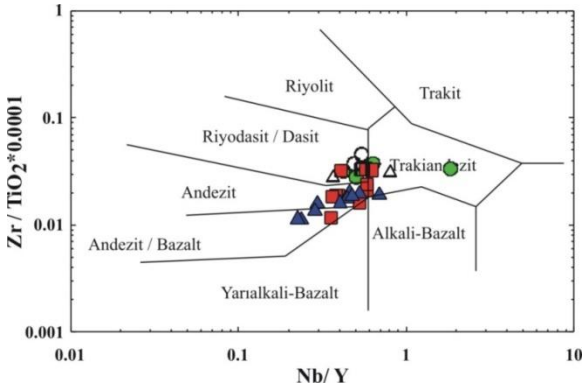
Şekil 9. Çalışma arazilerinden derlenerek analizi yapılan örneklerin toplam alkaliye karşı SiO₂ diyagramındaki (Le Maitre vd., 2002) konumları (alkali-yarı alkali çizgisi Irving ve Baragar, 1971’den).

Tablo 1. Çalışılan kayalara ait ana oksit (%) ve iz (ppm) element değerleri ve bu değerlerden itibaren hesaplanmış normları (L-latit, T-tefrit-PT-fonotefrit).

Lokasyon	Bayburt						Gümüş-		Gümüş-		Gümüş-		Gümüş-		Gümüş-	
	BB-1	BB-2	BB-3	BB-5	BB-4	BB-6	haciköy	haciköy	haciköy	haciköy	haciköy	haciköy	haciköy	haciköy	haciköy	
Örnek No	BB-1	BB-2	BB-3	BB-5	BB-4	BB-6	GB-1	GB-2	GB-3	GB-4	GH-1	GH-2	GH-3	GH-5	GH-6	
Kayaç Tipi	ABV	ABV	ABV	ABV	ALV	ALV	ABV	ABV	ABV	ABV	ABV	ABV	ABV	ABV	ABV	
SiO ₂	48.5	47.5	48.05	47.97	52.7	53.2	48.99	53.57	48.42	48.93	48	48.12	52.07	53.72	50.86	
TiO ₂	0.96	0.95	0.92	0.95	0.74	0.74	0.68	0.62	1.46	1.11	1.01	1.02	0.65	0.76	0.69	
Al ₂ O ₃	16.53	16.43	16.78	16.6	18.7	18.83	14.13	13.68	14.53	14.74	14.68	14.94	15.45	16.25	15.6	
Fe ₂ O ₃	10.3	10.1	10.87	10.2	6.8	6.71	7.14	6.78	11.84	10.73	10.4	10.53	7.1	8.21	8.35	
MnO	0.18	0.25	0.22	0.19	0.16	0.16	0.2	0.12	0.13	0.16	0.19	0.16	0.11	0.14	0.11	
MgO	5.46	5.53	5.69	5.5	3.93	4.11	5.12	4.29	5.61	4.85	5.5	5.6	4.82	3.16	5.12	
CaO	6.94	6.7	7.1	7.1	2.91	2.56	6.72	4.49	7.62	7.16	8.69	8.8	5.53	5.12	5.05	
Na ₂ O	6.22	6.74	7.05	6.66	3.53	3.7	4.57	4.97	4.41	5	4.41	4.66	5.78	7.08	6.67	
K ₂ O	1.07	0.89	1.17	0.88	6.59	6.74	2.77	1.63	1.83	2.59	2.24	1.68	2.58	1.75	1.39	
P ₂ O ₅	0.99	0.99	0.85	0.99	0.54	0.54	0.4	0.46	0.51	0.55	0.53	0.53	0.5	0.52	0.53	
A.K.	2.5	3.8	1.85	2.5	3.8	2	8.5	8	4	4.5	3.8	3.5	4.4	3	4.7	
Toplam	99.65	99.88	100.55	99.54	100.4	99.29	99.22	98.61	100.36	100.32	99.45	99.54	98.99	99.71	99.07	
Mg#	52.6	53.4	52.3	53.1	54.8	56.2	60.1	57	49.8	48.7	52.6	52.7	58.7	44.7	56.3	
K ₂ O/Na ₂ O	0.172	0.132	0.166	0.132	1.867	1.822	0.606	0.328	0.415	0.518	0.508	0.361	0.446	0.247	0.208	
kuv								5.64								
kor					1.75	2.08										
or	6.32	5.25	6.38	5.19	38.75	39.79	16.35	9.62	10.76	15.24	13.22	9.92	15.23	10.33	8.21	
ab	38.76	36.95	32.33	36.85	28.25	28.83	32.08	42.01	34.67	31.06	27.2	30.96	40.68	50.22	45.56	
an	13.4	11.95	10.63	12.81	10.89	9.2	9.86	10.21	14.35	10.1	13.65	14.18	8.6	7.4	8.53	
ne	7.49	10.85	14.6	10.54	0.8	1.33	3.55		1.38	6	5.46	4.57	4.43	5.22	5.86	
di	11.4	11.6	14.76	12.48			16.29	7.09	15.61	16.97	20.3	19.89	12.16	11.41	10.21	
ol	5.84	5.9	5.1	5.56	6.84	7.19	3.66		4.7	2.94	3.02	3.16	4.48	1.82	5.14	
il		0.54	0.47	0.41	0.34	0.34	0.43	0.26	0.28	0.34	0.41	0.41	0.24	0.3	0.24	
hem		10.12	10.83	10.12	6.79	6.72	7.15	6.79	11.82	10.72	10.42	10.2	7.11	8.23	8.37	
ap		2.16	1.85	2.16	1.17	1.18	0.87	1	1.11	1.2	1.26	1.16	1.09	1.14	1.16	
Q								0.08								
F	0.1	0.14	0.18	0.14	0.01	0.02	0.05		0.02	0.09	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08	
A	0.19	0.21	0.27	0.21	0.5	0.51	0.3	0.14	0.19	0.31	0.29	0.23	0.27	0.84	0.81	
P	0.7	0.64	0.54	0.65	0.49	0.47	0.64	0.77	0.78	0.6	0.63	0.7	0.67	0.09	0.12	
Kyç. Tipi	PT	PT	PT	PT	T	T	L	L	L	L	L	L	L	T	T	
Ni	23	25	13	18	28	32	47	54	43	35	15.8	15.7	33.8	10.5	39.2	
Sc											30	30	22	16	22	
Ba	1203	956	184	875	245	178	2040	1276	1170	972	1882	1172	1393	956	871	
Co											34.5	33.7	23	23.9	27.2	
Cs											4	7.1	3.3	4.3	2.5	
Ga											16.6	15.6	13.4	14.7	14.4	
Hf	3.58	2.72	3.97	4.23	4.32	4.28	3.27	3.3	4.17	3.34	3.1	3	2.9	3.7	3.3	
Nb	13.7	19.1	16.4	14.6	10.9	12	10	10	10	10	9.3	9.1	9.9	10.7	11.2	
Rb	23	21	101	19	108	108	123	63	44	31	30.4	30.8	77.9	88	49.8	
Sr	856	405	841	791	792	776	630	585	653	355	736.2	665.1	494.6	504.6	389.6	
Ta	0.75	0.2	0.92	0.6	0.92	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.5	0.7	0.5	
Th	14.4	7	15.4	16.3	15.3	15.1	14	15	11	12	10.1	9.2	15.6	20.5	18	
U	4.1	1.6	5.8	2.6	3.9	4.8	2	3	2	2	2.7	1.9	6.3	2.6	9.2	
V	271	-	154	-	-	-	-	-	-	-	299	301	192	219	197	
W											0.6	<0.5	1.7	0.9	1.6	
Zr	180	187	202	157	162	198	85	87	100	105	112.8	114.3	127.7	143.1	132.2	
Y	32.4	10.4	25.8	29	22.3	22.1	17	17	28	19	23.4	23.7	17.2	26.3	17.8	
La	44.24	19.4	38.61	44.6	36.9	34.4	32.8	34.2	30.9	20.6	30.9	31.7	34.6	46.8	36	
Ce	87.75	39.2	72.49	104	81	77.3	66.7	67.7	68.3	45.9	61.1	63.3	65.6	88.5	67.8	
Pr											7.37	7.38	7.14	9.64	7.53	
Nd	46.5	15.21	33.86	49.46	34.8	32.28	28.05	28.02	34.1	20.04	29.6	29.8	27.8	38.1	28.5	
Sm	10.36	2.8	6.96	10.43	6.95	6.48	5.62	5.56	7.42	4.1	6.44	6.5	5.69	7.83	5.72	
Eu	2.61	0.97	1.91	2.69	1.96	1.83	1.75	1.66	2.18	0.96	1.79	1.77	1.49	2.09	1.56	
Gd											5.77	5.82	4.61	6.81	4.92	
Tb	1.12	0.43	0.87	1.5	1.01	0.96	0.8	0.79	1.28	0.71	0.87	0.86	0.67	0.97	0.69	
Dy	5.45	2.07	4.08	6.38	4.54	4.38	3.67	3.65	6.04	3.62	4.71	4.69	3.42	4.97	3.53	
Ho	1.09	0.37	0.83	1.11	0.83	0.83	0.63	0.64	1.13	0.72	0.87	0.86	0.63	0.89	0.65	
Er	2.79	1.2	2.24	3.18	2.53	2.52	1.85	1.9	3.28	2.32	2.44	2.33	1.66	2.47	1.82	
Tm	0.43	0.16	0.39	0.39	0.34	0.34	0.25	0.25	0.45	0.32	0.36	0.36	0.25	0.35	0.26	
Yb	2.19	1.15	1.39	2.48	2.2	2.13	1.56	1.59	2.73	2.12	2.26	2.27	1.6	2.24	1.67	
Lu	0.35	0.17	0.35	0.32	0.31	0.3	0.21	0.22	0.38	0.3	0.33	0.33	0.23	0.32	0.24	
Cu	83		53								126.9	156.2	4207	117.8	4029.1	
Pb	24		22								6.6	7	28.4	24.7	23.6	
Zn	71		60								98	72	170	92	137	

Tablo 1'in devamı

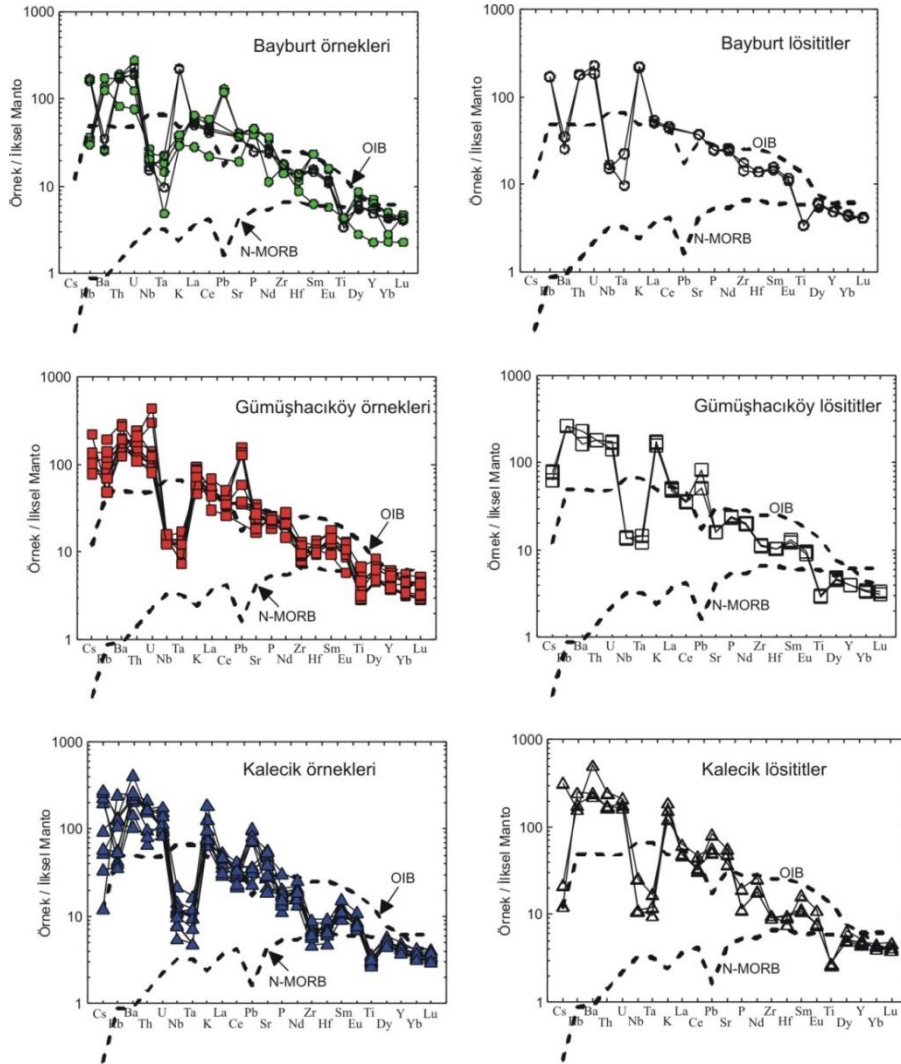
Lokasyon Örnek No Kayaç Tipi	Gümüş- hacıköy	Gümüş- hacıköy	Gümüş- hacıköy	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik	Kalecik
	GH-7 ABV	GH-8 ALV	GH-9 ALV	KH-1 ABV	KH-2 ABV	KH-3 ABV	KH-4 ABV	KH-5 ABV	KH-6 ABV	KH-8 ABV	KH-11 ABV	KH-12 ABV	KH-7 ALV	KH-9 ALV	KH-13 ABV	KH-14 ALV	
SiO ₂	48.48	51.78	50.74	47.96	46.18	47.23	48.46	47.47	47.83	45.8	45.58	45.03	52.33	53.39	46.26	46.94	
TiO ₂	1.01	0.65	0.63	0.66	0.7	0.81	0.64	0.7	0.69	0.76	0.76	0.8	0.6	0.6	0.71	0.58	
Al ₂ O ₃	14.56	15.39	15.41	17.37	13.34	17.78	16.76	17.09	17.17	14.57	14.37	13.9	16.86	16.56	17.28	15.78	
Fe ₂ O ₃	10.2	7.87	7.57	9.25	10.88	10.3	8.9	9.66	9.57	10.62	10.57	11.06	7.38	7.43	9.73	8.49	
MnO	0.21	0.15	0.14	0.23	0.2	0.25	0.29	0.25	0.24	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.26	0.18	
MgO	5.83	5.08	4.77	3.72	6.82	3.8	3.8	3.95	3.98	5.56	5.61	6.08	3.12	3.24	4.75	3.7	
CaO	8.48	4.32	4.78	7.71	10.8	10.07	4.87	5.77	5.44	11.77	12.12	10.93	5.81	5.5	9.12	8.24	
Na ₂ O	4.27	4.33	4.96	5.05	3.38	3.91	4.92	5.53	5.77	3.12	3.2	3.2	4.38	3.58	3.42	4.34	
K ₂ O	2.17	5.15	4.76	2.1	2.29	1.95	3.91	2.4	2.35	1.96	1.97	2.32	4.7	5.71	2.96	3.72	
P ₂ O ₅	0.51	0.53	0.51	0.46	0.4	0.68	0.38	0.38	0.41	0.35	0.32	0.3	0.25	0.25	0.34	0.43	
A.K.	3.8	4.3	5.4	5	4.6	2.8	6.5	6.3	6.1	4.9	4.9	5.8	4	3.2	4.7	6.9	
Toplam	99.52	99.55	99.67	99.51	99.59	99.58	99.43	99.5	99.55	99.61	99.6	99.62	99.58	99.61	99.53	99.3	
Mg#	54.5	57.5	56.9	45.8	56.8	43.6	47.2	46.2	46.6	52.3	52.7	53.5	47	47.8	50.6	47.8	
K ₂ O/Na ₂ O	0.508	1.189	0.96	0.416	0.678	0.499	0.795	0.434	0.407	0.628	0.616	0.725	1.073	1.595	0.865	0.857	
kuv kor or ab an ne di ol il hem ap Q F A P	12.81 29.42 14.15 3.62 19.19 3.96 0.45 10.22 1.11 0.06 0.26 0.68	30.4 28.98 7.35 4.13 8.3 6.18 0.32 7.88 1.16 0.06 0.46 0.48	28.1 26.49 5.73 8.37 11.45 4.62 0.3 7.58 1.11 0.11 0.47 0.42	13.3 20.38 14.26 4.23 28.17 2.61 0.42 10.75 0.86 0.07 0.31 0.61	13.52 16.78 14.46 6.39 28.56 2.65 0.43 10.9 0.87 0.11 0.35 0.54	11.51 25.95 25.2 3.85 15.87 1.49 0.54 10.32 1.48 0.05 0.22 0.73	23.08 27.94 12.1 7.4 7.48 4.21 0.62 8.92 0.83 0.09 0.39 0.51	14.17 31.79 14.72 8.11 8.92 4.01 0.51 9.68 0.83 0.11 0.29 0.6	13.87 33.39 14.01 8.34 8.04 4.35 0.43 9.59 0.9 0.11 0.28 0.61	11.57 17.24 19.96 4.95 27.93 0.65 0.43 10.62 0.76 0.08 0.28 0.63	11.63 14.94 19.02 6.56 30.19 27.74 11.49 10.46 0.66 0.11 0.31 0.58	13.69 14.61 12.46 6.74 27.74 1.62 0.43 11.08 0.7 0.2 0.28 0.54	27.74 29.2 12.46 4.24 11.49 1.72 0.32 7.39 0.55 0.05 0.41 0.53	33.71 17.41 23.05 1.54 10.46 2.27 0.32 7.44 0.55 0.02 0.46 0.52	17.47 18.21 23.05 5.8 15.58 3.24 0.56 9.75 0.74 0.08 0.33 0.59	21.96 17.13 12.59 10.6 19.89 0.01 0.39 8.51 0.94 0.15 0.45 0.41	
Kyıç. Tipi	L	T	T	L	PT	L	L	PT	PT	L	T	T	L	L	PT	PT	
Ni	14.6	31.2	30.4	1.5	16.5	1.7	1.7	1.7	1.6	26.6	27.2	12.8	4.9	4.1	4.3	2	
Sc	30	20	20	16	37	18	15	17	36	37	37	16	17	20	10		
Ba	1339	1588	1132	1679	1446	1569	2885	1607	1551	994	1028	743	1570	1711	1871	3592	
Co	32.3	25.4	23.3	26	34.9	28.2	27.5	29.5	28.7	34.2	35.6	38.3	19.1	19.4	30	28.5	
Cs	3.3	2	2.5	6.5	1.9	7.4	3.1	8.4	9	1.1	1.1	1.7	0.7	0.4	1.9	10.3	
Ga	15.4	14.7	14.1	16.6	13.3	15.9	12.6	15.7	13.3	14.3	14.4	15.3	14.6	15.6	14.8		
Hf	3	3.2	3.2	2.3	1.9	2.6	2.3	2.2	2.1	1.6	1.5	1.9	3	2.9	2.1	2.4	
Nb	8.7	9.7	9.9	10.5	5.8	15.7	8.2	8.6	9.2	4.1	4	5.6	8	7.9	7.1	18.4	
Rb	44.3	167.5	167.9	36.7	27.8	25.7	86	86.5	82.4	23.9	23	70.6	114.9	159.2	35.4	102.3	
Sr	575.3	333.2	339.6	1213.7	459.5	1040.8	413.3	833.3	608	856.8	836.3	641.5	1035.9	1182.1	843.2	794	
Ta	0.5	0.6	0.5	0.5	0.2	0.7	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.3	0.7	
Th	9.3	15.4	15.2	18.5	8.5	13.9	13.6	15	15	6.1	5.7	7	14.8	14.4	14.4	20.9	
U	1.7	3.6	3	1.8	2	3.4	2.1	2	2.2	1.8	1.8	2.5	3.5	3.8	3	4.5	
V	274	142	133	296	332	301	273	307	298	310	313	325	193	189	302	330	
W	0.9	2.1	1.8	<0.5	<0.5	<0.5	1.2	1.3	1.6	<0.5	<0.5	1.6	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	
Zr	108.1	126.2	123.1	79.7	67.5	95.3	78.9	76.2	78.1	52.4	52.9	66.4	102.1	102.4	69.8	109.9	
Y	24	18.1	17.9	20	19.5	22.8	17.9	19.3	17.3	17.8	19.5	21.8	20.7	17.5	22.9		
La	29.9	35.3	33.3	34.7	25.7	37.5	28.3	32	33.1	20.3	20.7	22.2	33.8	33.1	33.7	43.5	
Ce	61.9	63.8	61.9	63.9	50.6	74.6	53.6	58.2	59	38.4	38.6	42.7	60.3	56.9	60.3	82.1	
Pr	7.39	7.39	7.15	7.4	6.02	8.72	6.1	6.79	6.85	4.55	4.59	5.18	6.6	6.42	6.69	9.39	
Nd	28.5	27.7	26.7	29.2	24.1	35.3	24.4	26.7	27.4	17.5	18.6	22.1	24.9	24.5	25.9	35.2	
Sm	6.32	5.76	5.49	5.73	5.2	6.97	4.92	5.45	5.38	4.02	4.23	4.88	5.11	4.85	5.05	7.45	
Eu	1.79	1.6	1.5	1.5	1.5	1.88	1.36	1.46	1.47	1.21	1.21	1.39	1.31	1.28	1.35	1.89	
Gd	5.66	4.76	4.65	4.94	4.75	5.94	4.45	4.75	4.87	3.91	3.99	4.48	4.3	4.36	4.48	6.2	
Tb	0.88	0.7	0.67	0.75	0.73	0.88	0.66	0.72	0.71	0.6	0.64	0.71	0.7	0.68	0.65	0.92	
Dy	4.63	3.51	3.36	3.87	3.92	4.37	3.46	3.73	3.74	3.41	3.4	3.93	3.79	3.65	3.43	4.72	
Ho	0.9	0.65	0.61	0.7	0.72	0.81	0.65	0.72	0.7	0.64	0.67	0.75	0.76	0.72	0.63	0.88	
Er	2.49	1.8	1.75	1.99	2.05	2.35	1.72	1.94	1.91	1.86	1.84	2.07	2.28	2.01	1.8	2.33	
Tm	0.35	0.27	0.25	0.29	0.29	0.32	0.26	0.28	0.28	0.26	0.26	0.3	0.36	0.31	0.26	0.34	
Yb	2.23	1.7	1.63	1.77	1.79	2.03	1.65	1.77	1.77	1.7	1.68	1.86	2.25	2.12	1.6	2	
Lu	0.32	0.25	0.23	0.27	0.26	0.31	0.24	0.26	0.25	0.24	0.26	0.29	0.35	0.31	0.23	0.29	
Cu	91.2	118.3	65.5	164.7	168.2	112.4	185.1	156.7	191.1	118.4	117.1	116.6	123.8	134.6	189.7	483.3	
Pb	10.9	15.4	9.3	7	6.5	6	13.5	18.1	18.9	7.8	6.7	13.8	9.4	15.4	4.4	10.5	
Zn	63	234	44	72	76	81	84	76	79	72	71	63	90	58	83	84	



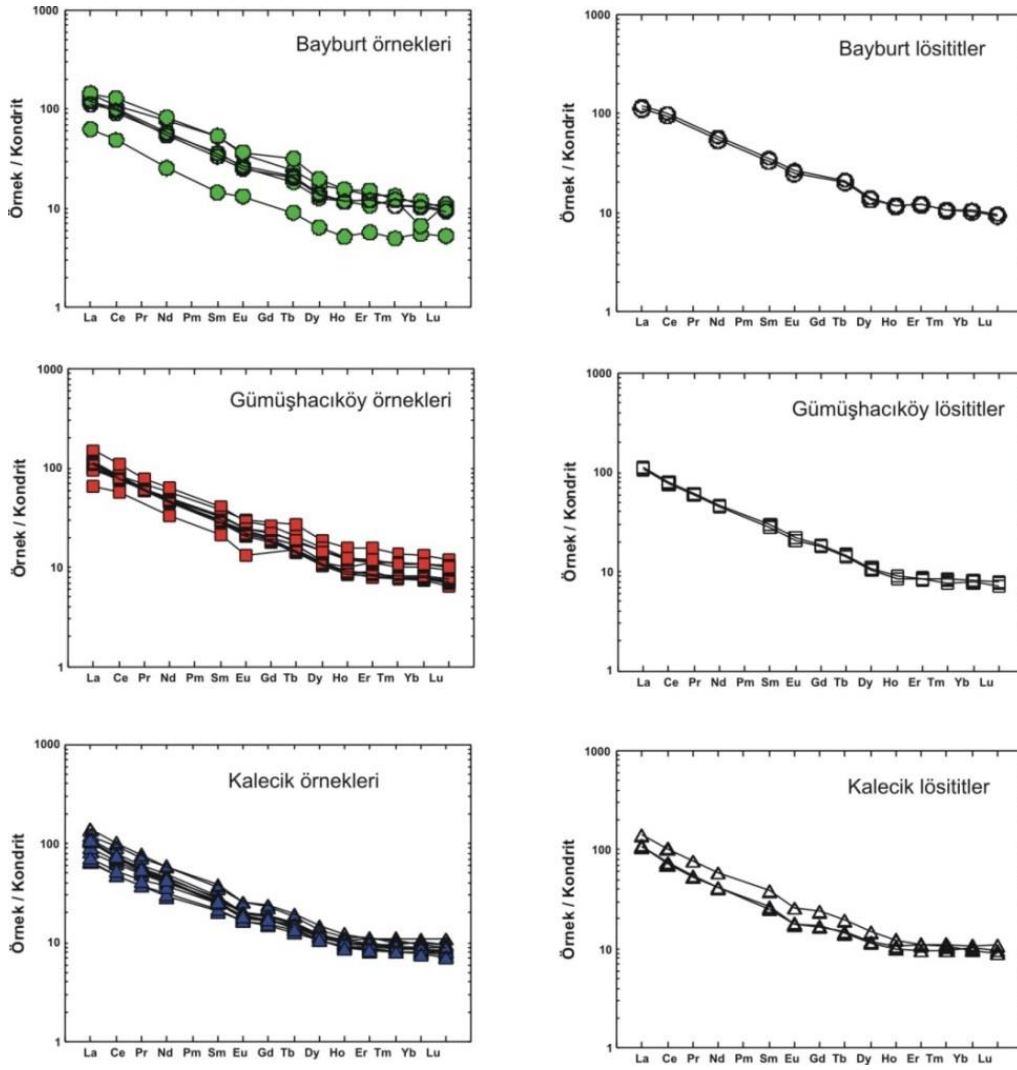
Şekil 10. Örneklerin ayrışmaya karşı duyarsız yüksek alana enerjili elementler kullanılarak hazırlanmış Winchester ve Floyd (1977) diyagramındaki konumları (semboller Şekil 9'daki gibidir).

Örneklerin ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) göre normalleştirilmiş iz element diyagramları irdelendiğinde (Şekil 11), genel hatlarıyla her

üç lokasyondaki örneklerin (hem alkaleen volkanitlerin hem de analsimli lösit içeren eşleniklerinin) çok benzer yönsemeler gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Hemen hemen tüm örneklerin büyük iyon yarıçaplı element içerikleri, okyanus adası bazaltlarından (OIB) daha zengin olarak gözlenir. Tüm örneklerde Nb-Ta negatif anomalisi belirgin iken, birçok örnekte de pozitif Pb ve negatif Ti anomalisi gözlenmektedir. Birçok örnekteki daha uyumlu yüksek alan enerjili element (Ti ve daha sağında bulunanlar) içerikleri, normal-okyanus ortası sırtı bazaltları (N-MORB) ile benzer ve onlarla uyumludur. Bir birine paralel kondrit normalleştirilmiş (Boynon, 1984) lantan grubu element yönsemeleri hem lokasyonlar arasında hem de farklı kayaç tipleri için çok benzerdir. ($[La/Lu]_N$ değerleri yaklaşık 10, Şekil 12).



Şekil 11. Örneklerin ilksel mantoya göre normalleştirilmiş çoklu element dağılım diyagramları (normalleştirme değerleri, Okyanus Adası Bazaltları (OIB) ve Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları (N-MORB) değerleri Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır).



Şekil 12. Örneklerin lantanit grubu element analiz sonuçlarından kondrite göre normalleştirilmiş çoklu element dağılım diyagramları (kondrit değerleri Boynton, 1984'den alınmıştır).

5. Tartışma

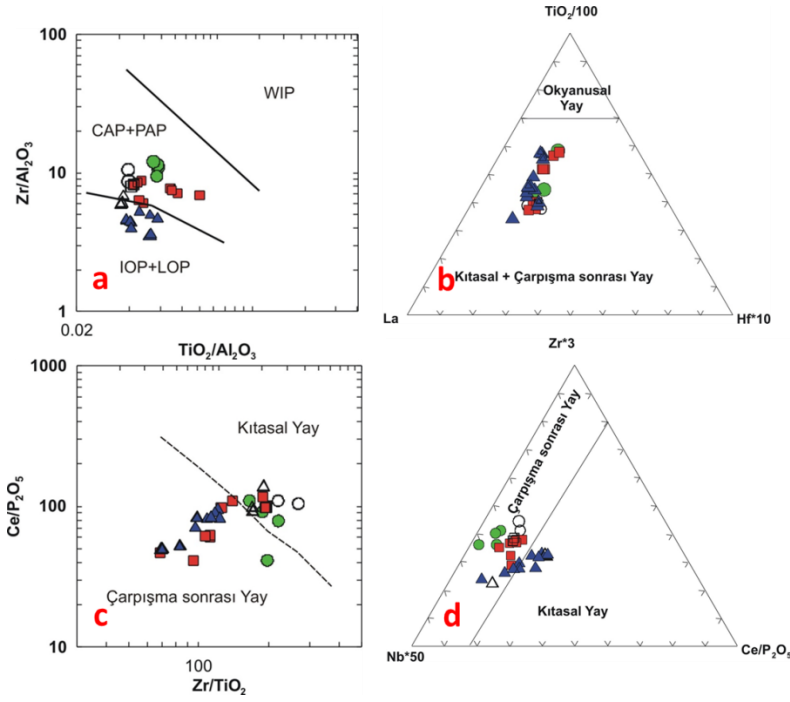
5.1. Volkanitlerin Jeotektonik Ortamı

Sakarya zonunun güney kesimleri boyunca gözlenen alkalin volkanitlerin tektonik yerleşimleri de tartışmalıdır. Bundan dolayı öncelikle bu volkanitlerin tektonik yerleşim yerleri saptanmıştır. Müller vd. (1992), alkalin kayaların kökensel ayrımı için ayırmaya duyarlı yüksek alan enerjili elementleri kullanarak bir dizi ayırtman diyagram geliştirmiştir. Söz konusu çalışmada, alkalin volkanitlerin oluşabileceği beş olası jeotektonik yerleşim alanı (i: kıtasal yay, ii: çarpışma sonrası yay, iii: başlangıç aşamasındaki okyanus yayı, iv: geç evre okyanus yayı ve v: plaka ortası volkanizması) tanımlanmıştır. İncelenen volkanitlerin adı geçen jeotektonik ortamlardan hangisine daha uygun olduğu Müller vd. (1992) tarafından önerilen diyagramlarla test edilmiştir (Şekil 13). Yine bu çalışmada önerilen

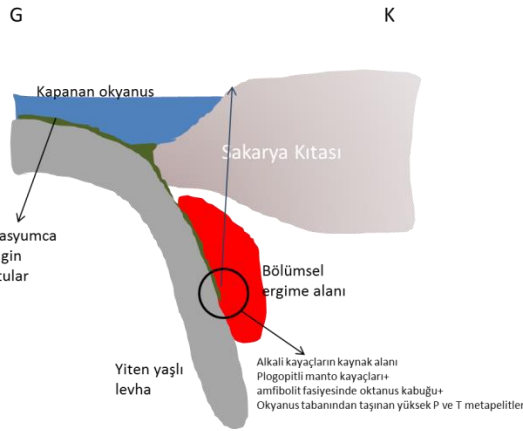
akış şemasına göre örneklerimiz sırasıyla Zr/Al_2O_3 'e karşı TiO_2/Al_2O_3 ; $La-TiO_2/100-Hf*10$, Ce/P_2O_5 'e karşı Zr/TiO_2 ; $Nb*50-Zr*3-Ce/P_2O_5$ diyagramlarına düşürülmüştür. Tektonik ayırtman diyagramlarında örnekler yay-çarpışma sonrası yay alanlarında yer alır. Bu sonuç, Pontid'lerin Üst Kretase'deki jeotektonik evrimini güneyden kuzeye doğru yitim ve Eosen ve sonrasında çarpışma teorisi ile açıklayan birçok çalışmacının görüşü ile benzerdir (Okay ve Şahintürk, 1997; Okay vd., 1997; Boztaş vd., 2006; Aydın vd. 2008; Aydınçakır ve Şen, 2013; Temizel vd., 2012; Yücel vd., 2017). Üst Kretase'nin sonunda yiten yaşlı levhanın dikleşmesi, yitim bileşenlerince zenginleşmiş manto kamasının derinlerinden kaynaklanan bölümsel ergime alanı oluştururken, çarpışma ile kapanan havzada biriken potasyumca zengin kıvrıntılılar bu ergiyiği alkalilerce zenginleştirmiştir (Şekil 14). Tüm lokasyonlarda aynı yerde ve benzer olarak bulunan ABV ile ALV arasındaki kökensel ilişki

fraksiyonel kristallenme ile açıklanabilir. Şekil 15’de, MgO’ye karşı CaO/Al₂O₃ diyagramında bu volkanitlerin piroksen fraksiyonlaşmasının etkili olduğu görülmektedir. Piroksenlerin içerdiği Ca,

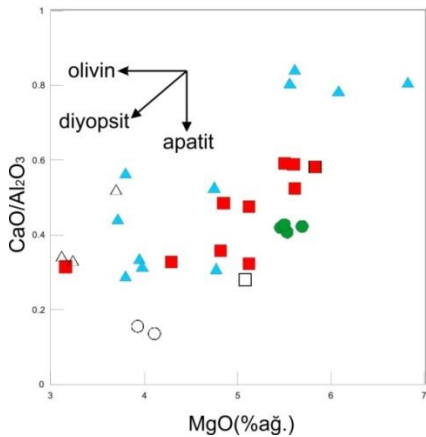
Mg ve Fe’in alkali bazaltik ergiyikten ayrılması, ergiyikte ekstra alkali zenginleşmesine neden olup, lösitleri kristalleştirecek K aktivitesinin sağlanmasına neden olmuştur.



► **Şekil 13.** Alkali kayaçların tektonik ortamını belirleyen diyagramlarda (Müller vd., 1992), çalışılan örneklerin konumları (Semboller Şekil 9’daki gibidir).



► **Şekil 14.** ABV ve ALV’i oluşturan magmaların kökeninin şematik gösterimi.



► **Şekil 15.** İncelenen volkanitlerdeki MgO’ye karşı CaO/Al₂O₃ fraksiyonlaşma yönemesi.

6. Sonuçlar

Çalışılan volkanitler petrokimyasal olarak değerlendirildiğinde; Bayburt ABV örnekleri tefrit / fonotefrit, ALV’i ise tefrifonolit; Gümüşhacıköy ABV örnekleri trakibazalt/bazaltiktrakiandezit ve trakiandezit, ALV’i tefrifonolit; Ankara Kalecik’ten derlenen ABV trakibazalt / tefrit ve fonotefrit, ALV’i ise fonotefrit / tefrifonolit / trakiandezit bileşimde oldukları saptanmıştır.

Tektonik ayırtman diyagramlarına göre çalışılan volkanitler yay-çarpışma sonrası yay alanlarına düşmektedir. Alkalin volkanitlerini oluşturan magma Üst Kretase sonunda kuzeye doğru yitim yaparak kapanan bir yaşlı bir okyanus kabuğunun yitim açısının dikleşmesi ile oluşan manto kamasının derinlerinden kaynaklanmaktadır. ABV ile ALV arasındaki jenetik ilişki, piroksen fraksiyonlaşmasıyla karakterize olmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje No: 1092) tarafından desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Alp, D., 1972. Amasya Yöresinin Jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi Monografileri (Tabii İlimler kısmı), İstanbul, 101s.

Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H. P., Satır, M. ve Lahaye, Y., 2008. Geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclites from the Eastern Pontides (NE Turkey). Lithos, 105, 149-161.

Ataman, G., Buket, E. ve Çapan, U., 1976. Ankara Yöresinde Yer Alan Analsimli Magmatik Kayaçlar Hakkında Kısa Bir Not. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi, 2, 3-5.

Aydın, F., Karslı, O. ve Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. Lithos, 104, 249-266.

Aydınçakır, E. ve Şen, C., 2013. Petrogenesis of the post-collisional volcanic rocks from the Borçka (Artvin) area: implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). Lithos, 172-173, 98-117.

Aydınçakır, E., 2016. Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: Constraints on geodynamic implications. Geodinamica Acta, 28(4), 379-411.

Bektaş, O. ve Gedik, İ., 1988. Koplarda Lösitli Şoşonitik Volkanizmalı Yeni Bir Formasyon (Everekhanları Formasyonu) ve Bu Bulgunun Doğu Pontid Arkı (KD Türkiye) Evrimi ile Olan İlişkileri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 31, 11-20

Boynton, W. V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. Rare Earth Element Geochemistry. Henderson, P. (Ed.), Elsevier, Amsterdam. pp. 63–114.

Boztuğ, D., Erçin, A.İ., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, İ. ve İskenderoğlu, A., 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 286-302.

Çapan, U., 1984. Ankara melanji içindeki zeolitli bazalt alkali volkanizmanın karakteri ve yaşı hakkında. TJK 38. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı Bülteni, s. 121-122.

Çoğulu, E. 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, 1034s.

Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high - potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton. Gondwana Research, 19, 926-944.

Dokuz, A., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Karslı O., Siebel, W., Derman A.S. ve Turan, M., 2017b. Late Jurassic Magmatism and Stratigraphy in the Eastern Sakarya Zone, Turkey: Evidence for the Slab Breakoff of Paleotethyan Oceanic Lithosphere. The Journal of Geology, 125, 1-35.

- Dokuz, A., Külekçi, E., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Alçıçek, M.C., Pecha, M. ve Sünnetçi, K., 2017a. Cordierite-bearing strongly peraluminous Cebre Rhyolite from the eastern Sakarya Zone, NE Turkey: Constraints on the Variscan Orogeny. *Lithos*, 278-281, 285-302.
- Erk, A.S. ve Seymen, İ., 1993. Mecitözü Dolayının Stratigrafik Gelişimi. *Jeoloji Sempozyumu Bildirileri*, Ankara, s. 129-141.
- Eyüboğlu, 2010. Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontide orogenic belt: implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. *International Geology Review*, 52, 142-186.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Bektaş, O. ve Ayhan, S., 2011. Arc magmatism as a window to plate kinematics and subduction polarity: Example from the eastern Pontides belt, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, 2(1), 49-56.
- Fenerci, M., 1994. Rudists from Maden (Bayburt) area (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 3, 1-12.
- Gülmez, F. ve Genç, Ş. C., 2015. Amasya civarı Geç Kretase yaşlı ultra potasik volkanitlerde farklılaşma süreçleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 151, 153-172.
- Gülmez, F., Genç, Ş. C., Preleviç, D. Tüysüz, O., Karacık, Z., Roden, M. ve Billor, Z., 2016. Ultrapotassic Volcanism from the Waning Stage of the Neotethyan Subduction: a Key Study from the Izmir-Ankara-Erzincan Suture Belt, Central Northern Turkey. *Journal of Petrology*, 57, 561-593.
- Irvine, T. N. ve Baragar, W. R. A., 1971. A Guide to the Chemical Classification. *Journal of Earth Sciences*, 8, 523-546.
- Kandemir, R. 2004. Gümüşhane yakın yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları. *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C. 2009. Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area, NE Turkey: implications for the opening of the northern branch of the Neotethys Ocean. *Journal of Asian Earth Science*. 34, 586-598.
- Karlı, O., Dokuz, A. ve Kandemir, R., 2016. Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlık and Casurluk plutons: insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology. *Lithos*, 266-267, 98-114.
- Karlı, O., Dokuz, A. ve Kandemir, R., 2017. Zircon Lu-Hf isotope systematics and U-Pb geochronology, whole-rock Sr-Nd isotopes and geochemistry of the early Jurassic Gökcedere pluton, Sakarya Zone-NE Turkey: a magmatic response to roll-back of the Paleo-Tethyan oceanic lithosphere. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172(5), 1-27.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2011. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of Cretaceous plutons in the eastern Pontides (NE Turkey): The Dağbaşı pluton. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 188(3), 211-233.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel W. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collision Calc-Alkaline Volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ., 2016. U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327-346.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, Eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 54 (15), 1776-1800.
- 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.
- Müller, D., Rock, N.M.S. ve Groves, D.I., 1992. Geochemical Discrimination Between Shoshonitic and Potassic Volcanic Rocks in Different Tectonic Settings: a Pilot Study. *Mineralogy and Petrology*, 46, 259-289.
- Okay, A. I. ve Şahintürk, O., 1997. Geology of the eastern pontides, in: Robinson, A.G. (Ed), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 68, 291-311.
- Okay, A. ve Tüysüz O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society, London, Special Publications. 156, 475-515.
- Okay, A.İ., Şahintürk, Ö. ve Akar, H., 1997. Stratigraphy and tectonics of the Pulur (Bayburt) region in the Eastern Pontides. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 119, 1-24.
- Özer, S. ve Fenerci, M., 1993, Bayburt yöresinde (Doğu Karadeniz) bulunan iki yeni Caprinidae türü. *MTA Dergisi*, 115, 29-34.
- Seymen, İ., 1975, Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği. Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi. İstanbul.
- Sun, S. ve McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological Society of London, Special Publications, 42, 313-345.
- Şen, C. 2007. Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift Related or Subduction Related? *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A plate tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G. ve Peucat, J.J., 2012, Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: Implications for extension-related origin and mantle source characteristics. *Lithos*, 128, 126-147.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, H. W., Zack, H., Hasöbek, A., Barth, M., Satır M. ve Şen C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116, 92-110.
- Tüysüz, O., 1996. Geology of Amasya and surroundings, 11th International Petroleum Congress and Exhibition of Turkey, Turkish Association of Petroleum Geologists, Ankara, Turkey, p. 32-48.
- Üşenmez, Ş., 1973. Çandır (Kalecik) Civarının Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 83, 30-46.
- Winchester, J. A. ve Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- Yılmaz, C. ve Kandemir, R., 2003. Şenköy Formasyonu: Yeni bir formasyon adlanması. 3. Stratigrafi Çalıştayı, Bildiri Özleri Kitabı, s14.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt yöresindeki mesozoyik havzalarının tektono - sedimentolojik kayıtları ve kontrol etkenleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*. 45 (1), 141-165.
- Yılmaz, C., Şen, C. ve Özgür, S., 2003, Sedimentological, palaeontological and volcanic records of the earliest volcanic activity in the Eastern Pontide Cretaceous volcanic arc (NE Turkey). *Geol. Carp.*, 54, 377-384.
- Yılmaz, Y. 1973. Petrology and structure of the Gümüşhane granite and the surrounding rocks, N.E. Anatolia. Ph. D. Thesis, University College London, England, 284 p.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu Yazar, E. ve Ruffet, G., 2017. Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: geochronology and geochemistry of Eocene and Miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey). *Gondwana Research*, 45, 65-86.

Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

Effect of Zinc Content on the Microstructure and Mechanical Properties of the Al-(5-50)Zn Alloys

Ali Paşa HEKİMOĞLU^{*a}, Yunus Emre TURAN^b

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 19.01.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 14.04.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 01.06.2018

Öz

Bu çalışmada ağırlıkça %5 ile 50 arasında farklı oranlarda çinko içeren on adet ikili alüminyum-çinko alaşımı kokil kalıba döküm yöntemiyle üretildi. Üretilen alaşımların içyapıları ışık mikroskopunda incelendi. Alaşımların içyapısında bulunan fazları belirlemek için X-ışını kırınım (XRD) çalışmaları yapıldı. Elde edilen bulgular % 15 çinko oranına kadar alaşımların içyapısının alüminyumca zengin α fazından oluştuğunu ve alaşımdaki çinkonun bu faz içinde tamamen çözündüğünü göstermektedir. Çinko oranı % 15'i aştığında α fazının yanı sıra yapıda çinkoca zengin η fazının oluşmaya başladığı, %25'i aşması durumunda ise α fazının dendritik bir şekilde büyüdüğü görüldü. Alaşımların sertlik değerlerinin artan çinko oranı ile sürekli arttığı, çekme ve basma dayanımı değerlerinin ise %30 çinko oranına kadar arttığı bu orandan sonra azaldığı görüldü. Artan çinko oranı ile alaşımların içyapısında meydana gelen değişimler katılaşma davranışlarına, mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler ise yapısal değişimlere dayandırılarak irdelendi.

Anahtar kelimeler: Al-Zn Alaşımları, İçyapı, Mekanik Özellikler, Özgül Mukavemet

Abstract

In this study, ten binary aluminum-zinc alloys containing zinc in different ratios between 5 and 50% by weight were produced by permanent mold casting method. The microstructures of the produced alloys were examined in light microscope. X-ray diffraction (XRD) studies were carried out to determine the phases in the microstructure of the alloys. The findings show that the microstructure of the alloys up to 15% zinc is composed of aluminum-rich α phase and the zinc in the alloy completely dissolves in this phase. It was also showed that when the zinc content exceeds 15%, besides the α -phase, the zinc-rich η phase begins to form, and when the zinc content exceeds 25%, the α -phase grows dendritically. The hardness, tensile, and compression strength values of the alloys increased continuously with increasing zinc content but after the % 30 zinc content tensile and compression strength values decreased. The changes in the microstructure and mechanical properties of the alloys were discussed based on their solidification behaviors and structural changes.

Keywords: Al-Zn Alloys, Microstructure, Mechanical Properties, Specific Strength

^{*a} Ali Paşa HEKİMOĞLU; ali.hekimoglu@erdogan.edu.tr; Tel: (464) 223 75 18; orcid.org/0000-0003-2396-4876

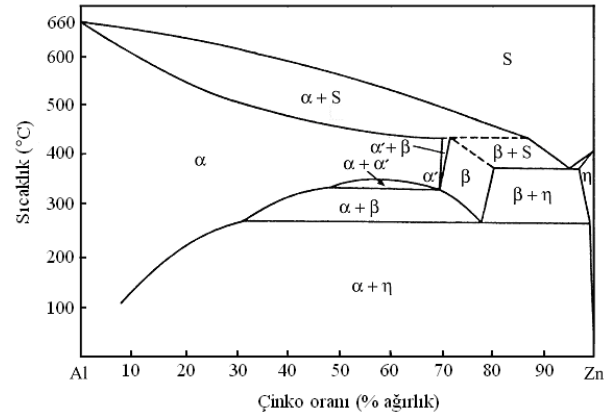
^b orcid.org/0000-0002-2229-907X

1. Giriş

Alüminyum esaslı alaşımlar üretimlerinin kolay ve ekonomik olmasının yanı sıra üstün yapısal, fiziksel, mekanik ve tribolojik özellikleri nedeniyle 19. yüzyıldan itibaren makine, otomotiv, inşaat ve elektrik sanayilerinde yapılan imalatlarda önemli bir yer tutmuştur (ASM International Handbook Committee, 1992; Altenpohl, 1998; Kaufman ve Rooy, 2004; Dursun ve Soutis, 2014). Söz konusu alaşımların belirtilen özellikleri kimyasal bileşimlerine bir başka deyişle alaşım elementleri ve alaşım elementlerinin oranına göre farklılık göstermektedir (Hatch, 1984; Gervais vd., 1985; ASM International Handbook Committee, 1992; Altenpohl, 1998; Murthy, 2003; Kaufman ve Rooy, 2004; Dursun ve Soutis, 2014). Bu nedenle alüminyum esaslı alaşımların kullanım alanı belirlenirken alaşım elementleri ve bu elementlerinin içyapıdaki oranları göz önüne alınarak karar verilmektedir. Alüminyum esaslı alaşımlarda kullanılan alaşım elementlerinin başında bakır, magnezyum, mangan, silisyum, lityum ve çinko gelmektedir (ASM International Handbook Committee, 1992; Shabestari ve Moemeni, 2004; Wanga vd., 2016; Alhawari vd., 2017). Bunlardan bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve lityum söz konusu alaşımların sertlik ve/veya mukavemetlerini artırmakta ancak süneklik değerlerini ise genellikle azaltmaktadır (ASM International Handbook Committee, 1992; Valiev vd., 2002; Lloyd, 2003; Alemdağ ve Beder, 2015; Lee vd., 2016; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2016; Remøea vd., 2017). Çinko ise alüminyum alaşımlarının sertlik, mukavemet, tribolojik ve işlenebilirlik özelliklerinin yanı sıra yüzey kalitesini de iyileştirmektedir (Savaşkan vd., 1988; ASM International Handbook Committee, 1992; Savaşkan vd., 2009; Alemdağ ve Beder, 2014; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014a; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014b; Bayraktar vd., 2017a; Bayraktar vd., 2017b).

Alüminyum-çinko alaşımlarının yapısal ve mekanik özellikleri içyapılarını oluşturan fazlara bağlı olarak değişmektedir (Savaşkan vd., 1988; Savaşkan vd., 2009; Alemdağ ve Beder, 2014; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014a; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014b; Alemdağ ve Beder, 2015; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2016). Bu nedenle alüminyum-çinko ikili ve alüminyum-çinko esaslı çoklu alaşımların tasarımında ilk olarak Şekil 1'de verilen ikili alüminyum-çinko faz (denge) diyagramı (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov vd., 1986) göz önüne alınmaktadır. Bu diyagramda artan çinko oranıyla

çinkonun alüminyum içerisindeki katı çözünürlüğünün %83 oranına kadar ulaşabildiği ve sistemde farklı çinko oranlarında monotektoid, peritektik, ötektoid ve ötektik faz dönüşümlerinin meydana geldiği görülmektedir (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov vd., 1986). Söz konusu alaşımların içyapısı ve mekanik özellikleri alaşımların katılaştıkları sırasında bu dönüşümlerden hangisinin meydana geldiğine göre bir başka deyişle alaşımın çinko oranına göre farklılık göstermektedir (Savaşkan vd., 2003; Savaşkan vd., 2004; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014b).



Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov vd., 1986)

Üçlü veya daha çoklu alaşımlara baz belirlemek için ikili alüminyum-çinko alaşımları üzerinde en uygun çinko oranının belirlenmesine yönelik olarak farklı koşullarda çalışmalarda (Savaşkan vd., 2004; Savaşkan vd., 2009; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014b) belli oranlardaki çinko katkılarının sertlik ve mukavemet özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ancak bu çalışmalarda % 5-50 aralığında artan çinko oranı ile ikili Al-(5-50)Zn alaşımlarında meydana gelen yapısal değişimler ve bu değişimlerin alaşım özelliklerine ve özgül mukavemetine etkisi yeterince detaylı bir şekilde incelenmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada artan çinko oranı ile Al-(5-50)Zn alaşımlarında meydana gelen yapısal değişimler incelenerek bu değişimlerin alaşımın mekanik özelliklerine ve özgül mukavemet değerlerine etkisinin ortaya koyulması amaçlanmıştır.

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışma kapsamında nominal kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilen on adet ikili alüminyum-çinko alaşımı döküm yoluyla üretildi. Alaşımların üretiminde ticari saflıkta (%99,80)

alüminyum ve yüksek saflıkta (%99,9) çinko kullanıldı. Uygun kimyasal bileşimi elde edecek miktarlarda belirlenen alaşım elementleri bir indüksiyonlu ergitme ocağı içerisinde ergitilerek karıştırıldı. Sıvı durumdaki alaşımlar kimyasal bileşimlerine göre ikili Al-Zn faz diyagramındaki (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov vd., 1986) ergime sıcaklıkları göz önüne alınarak belirlenen döküm sıcaklıklarından (650-700 °C), teknik resmi Şekil 2a'da verilen ve oda sıcaklığında tutulan SAE 8620 çeliğinden üretilmiş olan bir kalıba dökülerek katılaştırıldı. Bu kalıptan elde edilen alaşım külçesinin teknik resmi Şekil 2b'de verilmiştir.

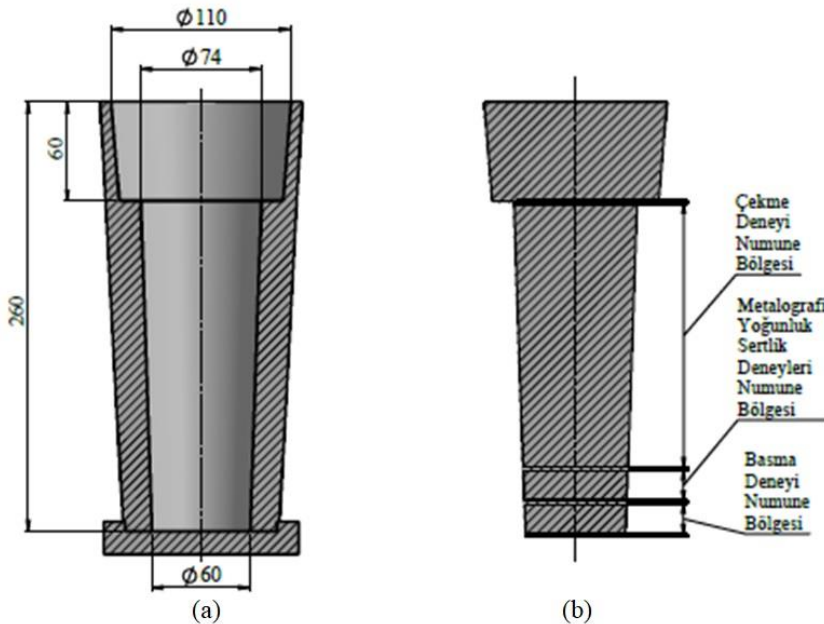
Tablo 1. Alaşımların nominal kimyasal bileşimleri

Alaşım	Ağırlıkça element oranları (%)	
	Çinko	Alüminyum
Al-5Zn	5	Kalan
Al-10Zn	10	Kalan
Al-15Zn	15	Kalan
Al-20Zn	20	Kalan
Al-25Zn	25	Kalan
Al-30Zn	30	Kalan
Al-35Zn	35	Kalan
Al-40Zn	40	Kalan
Al-45Zn	45	Kalan
Al-50Zn	50	Kalan

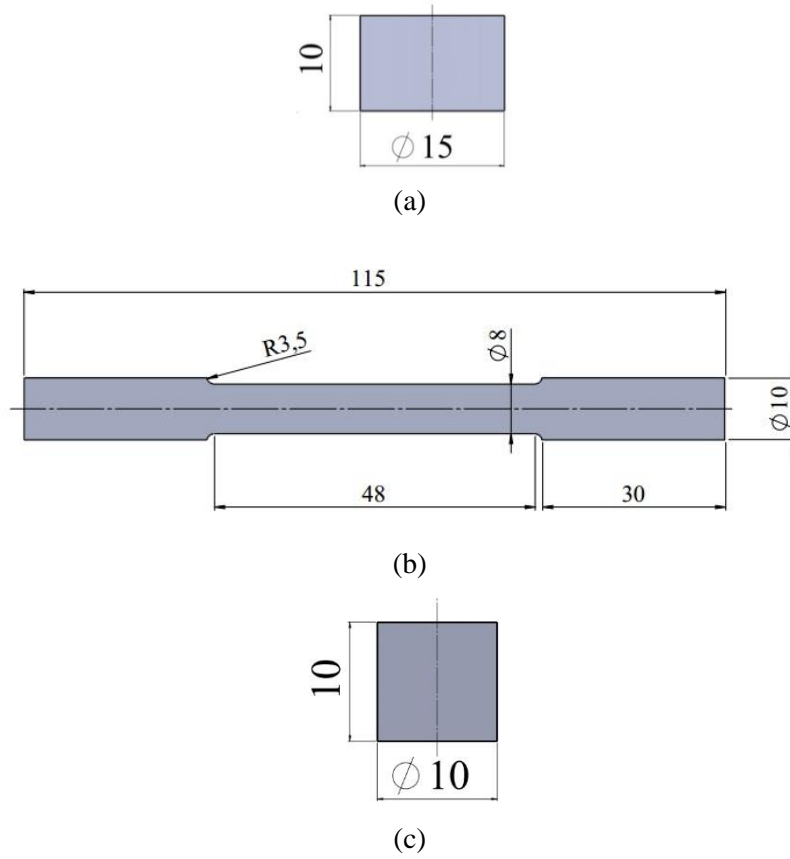
Metalografik incelemeler ile yoğunluk, sertlik, çekme ve basma değerlerinin belirlenebilmesi için gerekli numuneler Şekil 2b'de teknik resmi verilen alaşım külçelerinden talaşlı imalat

yöntemiyle hazırlandı. Bu numunelerin teknik resimleri Şekil 3'de verilmiştir.

İçyapı incelemeleri için Şekil 3a'da teknik resmi verilen numuneler standart metalografik yöntemlerle hazırlandıktan sonra %2-4 oranında hidroklorik asit (HCl) içeren saf su + HCl ayıracağı ile dağlandı. Dağlanmış durumdaki numuneler ışık mikroskopunda incelendi ve alaşımların içyapılarını gösteren fotoğraflar çekildi. Çinko oranındaki değişime bağlı olarak alaşımların yapısında meydana gelen faz değişimleri metalografik gözlemlerin yanı sıra X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi ile de incelendi. XRD çalışmaları 1°/dk tarama hızında Cu-K α radyasyonu kullanılarak gerçekleştirildi. Alaşımların yoğunlukları numunelerin ölçülen kütle değerlerinin hesaplanan hacim değerlerine bölünmesiyle belirlendi. Kütle ölçümlerinde ± 0.01 mg hassasiyetinde terazi, boyut ölçümlerinde ise dijital bir mikrometre kullanıldı. Sertlik ölçümleri 62.5 kgf yük ve 2.5 mm çapında uç kullanılmak suretiyle Brinell Sertlik Ölçüm Yöntemiyle gerçekleştirildi. Her bir alaşım için en az 6 ölçüm yapıldı ve sonuçların ortalaması alınarak alaşımların yoğunluk ve sertlik değerleri belirlendi. Çekme ve basma deneyleri TS 138 ve TS 206 standartlarına göre teknik resimleri sırasıyla Şekil 3b ve c'de verilen alaşım numuneleri ile ortalama $10^{-3} s^{-1}$ deformasyon hızında gerçekleştirildi. Her bir alaşım için en az altı adet çekme ve basma deneyi yapıldı. Alaşımların çekme dayanımı, kopma uzaması ve basma dayanımı değerleri bu deneylerden elde edilen sonuçların ortalamasının alınmasıyla, özgül mukavemet değerleri ise çekme dayanımı değerlerinin yoğunluk değerlerine bölünmesiyle belirlendi.



Şekil 2. (a) Alaşımların üretiminde kullanılan kokil kalıbın. (b) Üretilen alaşım külçelerinin teknik resmi



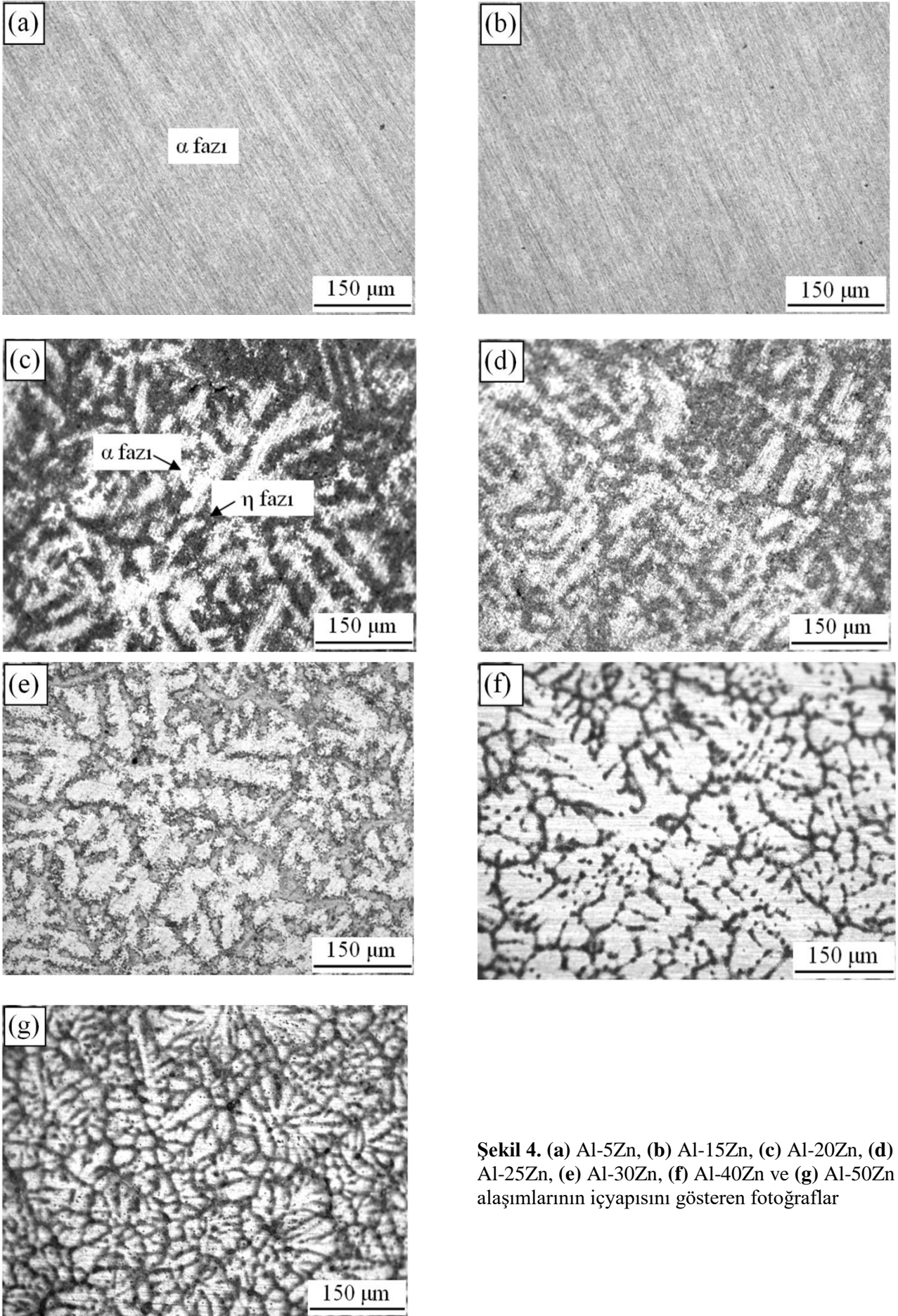
Şekil 3. (a) Metalografi, yoğunluk ve sertlik. (b) çekme ve (c) basma deneyi numunelerinin teknik resmi

3. Bulgular ve Tartışma

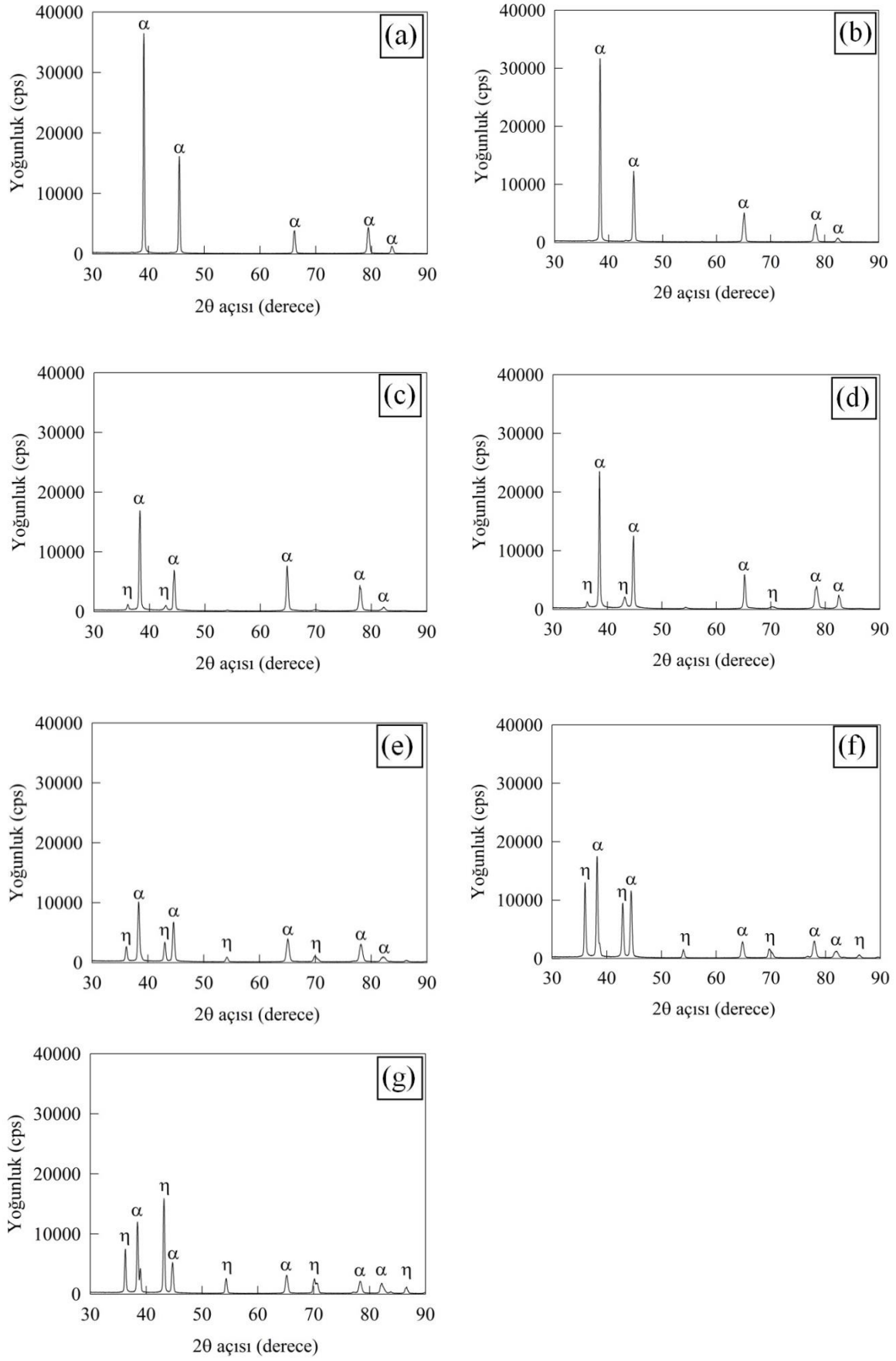
Üretilen alaşımların içyapısı ve içyapısındaki fazların belirlenmesi için yapılan çalışmalardan elde edilen ışık mikroskobu görüntüleri Şekil 4'te, X-ışını kırınım desenleri ise Şekil 5'de verilmiştir. Bu görüntüler alaşımların içyapısının %15 çinko oranına kadar sadece α fazından oluştuğunu göstermektedir, (Şekil 4a-b). Çinkonun bu oranı aşması durumunda ise alaşımların içyapısında α fazının yanı sıra η fazının oluştuğu ve artan çinko oranı ile η fazının hacimsel oranının arttığı görülmektedir, (Şekil 4c-g). X-ışını kırınım desenleri de üretilen alaşımların içyapısında %15 Zn oranına kadar sadece α fazına ait piklerin oluştuğunu (Şekil 5a ve b), bu çinko oranından sonra ise α fazının yanı sıra η fazının oluşmaya başladığını ve çinko oranı arttıkça bu faza ait piklerin yoğunluğunun arttığını göstermektedir, (Şekil 5c-g).

İkili alüminyum-çinko alaşımlarının içyapısında bulunan fazların oluşumu bu alaşım sistemine ait faz diyagramı ve dökümleri sonrasındaki katılma davranışına dayanılarak açıklanabilir. Şöyle ki, ikili faz (denge) diyagramına (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov

vd., 1986) göre alüminyum ve çinko sıvı durumda birbirini içersinde her oranda tamamen, katı durumda ise kısmen çözünmektedir. Bu kısmi çözünürlük nedeniyle ikili Zn-Al alaşımları çinkonun alüminyum içinde çözünmesiyle oluşan α ve alüminyumun çinko içinde çok az da olsa çözünmesiyle oluşan η fazlarından oluşan iki fazlı bir içyapı sergilemektedir (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov vd., 1986). Sıvı durumdan bu katı fazların oluşması alaşımın kimyasal bileşimine göre farklılık göstermektedir. Şöyle ki; çinko oranının % 5 ile 30 arasında olması durumunda sıvı alaşım sırasıyla $\alpha+s$, α ve $\alpha+\eta$ fazlarına dönüşerek katılaşmaktadır. Çinko oranının %30 ile 50 aralığında olması durumunda ise farklı olarak α fazı $\alpha+\eta$ fazlarına dönüşmeden önce $\alpha+\beta$ fazlarına dönüşmektedir (Auer ve Mann, 1936; Presnyakov vd., 1961; Kuznetsov vd., 1986). Bu çalışma kapsamında incelenen Al-Zn alaşımlarının içyapılarında %15 çinko oranına kadar denge diyagramından farklı olarak sadece α fazının gözlenmesi $\alpha \rightarrow \alpha+\eta$ faz dönüşümünün gerçekleşmediğini, bir başka deyişle α fazının içinde çözülmüş durumda bulunan çinko atomlarının bu fazdan ayrılıp çinkoca zengin η fazını oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 4a,b ve 5a,b).



Şekil 4. (a) Al-5Zn, (b) Al-15Zn, (c) Al-20Zn, (d) Al-25Zn, (e) Al-30Zn, (f) Al-40Zn ve (g) Al-50Zn alaşımlarının içyapısını gösteren fotoğraflar

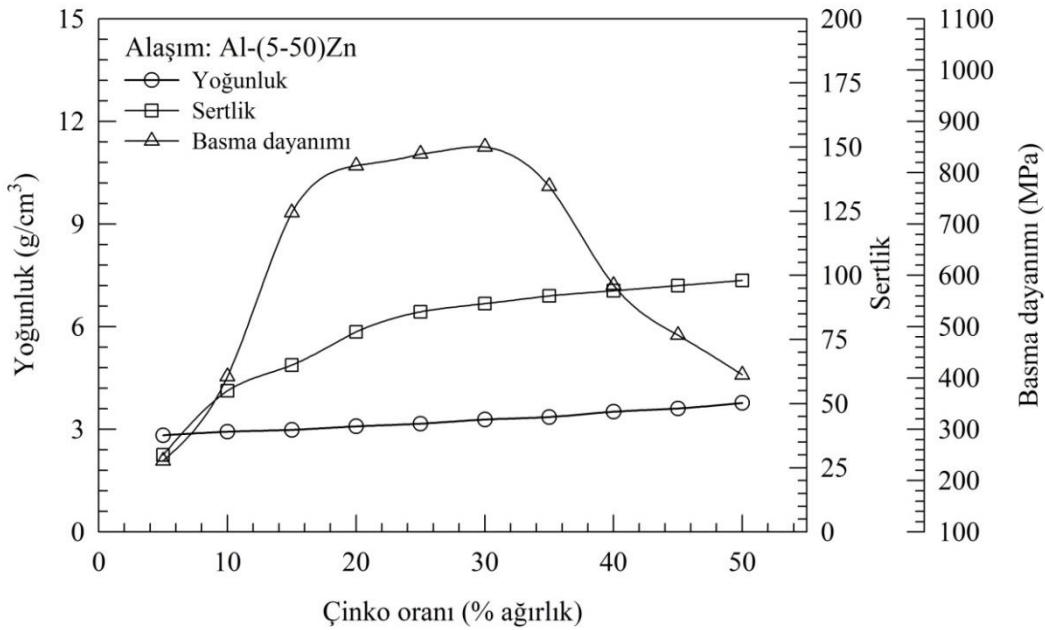


Şekil 5. (a) Al-5Zn, (b) Al-15Zn, (c) Al-20Zn, (d) Al-25Zn, (e) Al-30Zn, (f) Al-40Zn ve (g) Al-50Zn alaşımlarına ait X-ışını difraksiyon deseni

Bu durum, difüzyon mekanizmasına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki; α katı çözümleri içinde bulunan çinko atomlarının bu katı çözümlerden ayrılıp η fazını oluşturabilmeleri ancak difüzyon ile mümkündür. Difüzyon mekanizmasının gerçekleşmesinin ise zaman ve konsantrasyona bağlı olduğu bilinmektedir (Avner, 1997; Savaşkan, 2017). Uygulanan çalışma koşullarında döküm sonrası soğumanın denge şartları dışında (hızlı) olması ve Al-(5-15)Zn alaşımlarındaki çinko konsantrasyonunun bu soğuma hızında difüzyon için yeterli olmaması nedeniyle η fazı oluşmamış olabilir. Çinko oranının %15'i aşması durumunda η fazının çökelmeye başlaması ve bu orandan sonra artan çinko oranı ile içyapıdaki η

fazının hacimsel oranının artması hem faz dönüşümlerinin daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi hem de α fazı içerisinde çözülmüş durumda bulunan çinko konsantrasyonunun daha yüksek olması nedeniyle η fazının oluşması için gerekli difüzyon mekanizmasının kolaylaşmasından kaynaklanmış olabilir.

İncelenen alaşımların yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı değerlerinin çinko oranına göre değişimini gösteren eğriler Şekil 6'da, çekme mukavemeti, kopma uzaması ve özgül mukavemet değerlerinin çinko oranına göre değişimini gösteren eğriler ise Şekil 7'de verilmiştir.



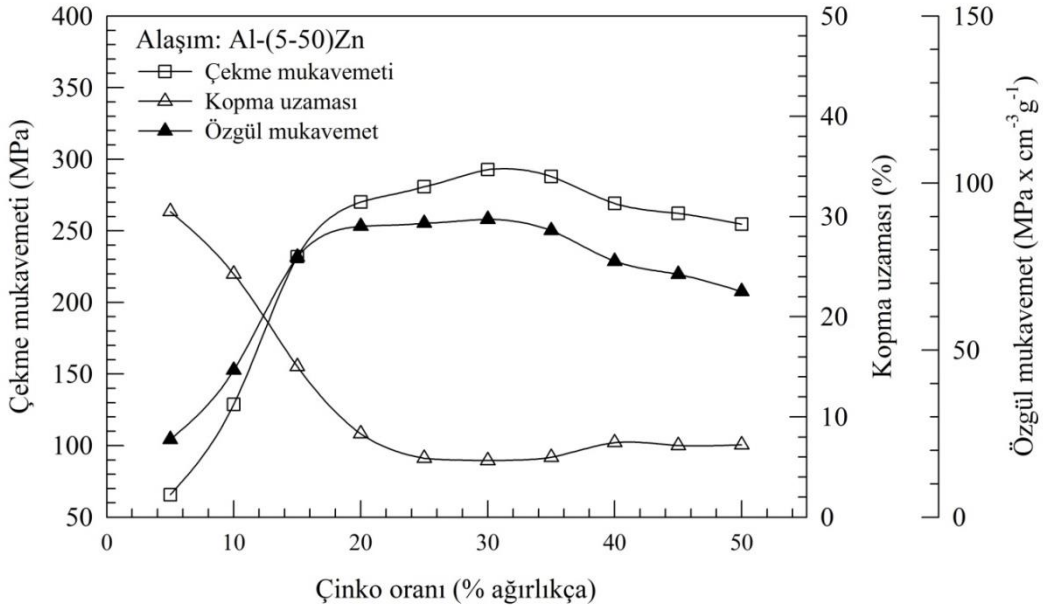
Şekil 6. Al-(5-50)Zn alaşımlarının yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı değerlerinin çinko oranına göre değişimini gösteren eğriler

İkili Al-(5-50)Zn alaşımlarının yoğunluk ve sertliğinin artan çinko oranı ile arttığı, basma dayanımı değerinin ise %30 çinko oranına kadar arttığı bu orandan sonra ise azaldığı görülmektedir (Şekil 6). Söz konusu alaşımların çekme mukavemeti değerlerinin de basma mukavemetine benzer olarak %30 çinko oranına kadar arttığı, bu orandan sonra ise azaldığı, kopma uzaması değerlerinin ise artan çinko oranı sürekli azaldığı görüldü (Şekil 7). Alaşımların yoğunluğunun çinko oranı arttıkça artması çinkonun yoğunluğunun alüminyumdan daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Artan çinko oranının alaşımların sertlik, çekme ve basma mukavemeti değerlerinde yol açtığı değişimler ise katı çözümleri sertleşmesi ve ikincil faz çökmesi mekanizmalarına dayandırılarak açıklanabilir.

Şöyle ki, içyapı görüntülerinden de anlaşılacağı üzere Al-Zn alaşımları % 15 çinko oranına kadar tek fazlı (α) bir yapıya sahiptir. Al-(5-15)Zn alaşımlarının içyapısında bulunan çinkonun α fazında çözülmüş olması nedeniyle bu fazın kafes yapısında bir çarpılmanın olması beklenir. Kafes yapısının çarpılması bir başka deyişle distorsiyona uğraması dislokasyonların ilerlemesine engel teşkil edeceği için alaşımların sertlik ve mukavemetinde artışa yol açar (Avner, 1997; Abbaschian vd., 2008). Alaşımların sertlik, çekme ve basma mukavemeti %30 oranına kadar artmış, ancak %15 çinko oranından sonra bu artışın oranı azalmıştır, Şekil 6 ve 7. Bu durum ise katı çözümleri sertleşmesi etkisinin yanı sıra ikincil faz çökmesinden kaynaklanmış olabilir. Şöyle ki, alaşımların içyapısında ikinci faz (η) oluşmasının

(çökmesinin) matriste sebep olduğu bölgesel gerilmelerin sertlik ve mukavemet artışına yol açtığı bilinmektedir (Avner, 1997; Abbaschian vd., 2008). Çinko oranının %30'u aşması durumunda çekme ve basma mukavemeti değerlerinde meydana gelen azalma ise α fazını çevreleyen nispeten gevrek özellikteki çinkoca zengin η fazının içyapıdaki hacimsel oranının artmasından ve bu nedenle taneler arasındaki

bağların zayıflamasından kaynaklanmış olabilir. Zira, taneler ve/veya dendritler arasındaki mesafenin artması ve/veya taneler arasında gevrek bir ağ olması durumunda alaşımların mukavemet değerlerinde azalmanın meydana geldiği bilinmektedir (Mondolfo, 1976; Tien, ve Ansell, 1976; Bishop ve Smallman, 1999; Miannay vd., 2000; Savaşkan ve Hekimoğlu, 2014b; Rana ve Singh, 2016; Allameh ve Emamy, 2017).



Şekil 7. Al-(5-50)Zn alaşımlarının çekme mukavemeti, kopma uzaması ve özgül mukavemet değerlerinin çinko oranına göre değişimini gösteren eğriler

İncelenen alaşımların özgül mukavemet değerlerinin %20 çinko oranına kadar önemli bir artış sergilediği, %20-30 çinko aralığında önemli bir değişiklik sergilemediği, ancak %30 oranından sonra azaldığı görüldü (Şekil 7). Artan çinko oranı ile özgül mukavemet değerinde meydana gelen artış alaşımların çekme mukavemeti değerlerindeki artışın yoğunluğundaki artıştan daha fazla olmasından, azalma ise yoğunluk değerlerinin artarken çekme mukavemeti değerlerinin değişmemesinden veya azalmasından kaynaklanmaktadır. %20-30 çinko aralığında alaşımların özgül mukavemet değerlerinde önemli bir değişim olmaması ise çekme mukavemetlerindeki meydana gelen değişimin yoğunluk değerlerinde meydana gelen değişim ile dengelenmesinden kaynaklanmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Al-(5-15)Zn alaşımlarının içyapısı çinkonun alüminyum içerisinde katı durumda çözünmesiyle oluşan α fazından (katı çözeltilisinden) oluşmaktadır.
2. Al-Zn alaşımlarında çinko oranının %15'i aşması durumunda taneler arası bölgelerde η fazı oluşmakta ve artan çinko oranı ile η fazının içyapıdaki hacimsel oranı artmaktadır.
3. Al-(5-50)Zn alaşımlarında artan çinko oranı ile yoğunluk ve sertlik artmaktadır. Çekme ve basma dayanımı değerleri ise %30 çinko oranına kadar artmakta, bu orandan sonra ise azalmaktadır.
4. Al-20Zn, Al-25Zn ve Al-30Zn alaşımları birbirine yakın özgül mukavemet değerlerine sahiptir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir (Proje No: 1919B011502999).

Kaynaklar

Abbaschian, R., Abbaschian, L. ve Reed-Hill, R.E., 2008. Physical Metallurgy Principles, Cengage Learning, Stanford.

Alemdağ, Y. ve Beder, M., 2014. Microstructural, mechanical and tribological properties of Al-7Si-(0-5) Zn alloys, *Materials and Design*, 63, 159-167.

Alemdağ, Y. ve Beder, M., 2015. Dry Sliding Wear Properties of Al-7Si-4Zn-(0-5) Cu Alloys. *Journal of The Balkan Tribological Association*, 21(1), 154-165.

Alhawari, K.S., Omar, M.Z., Ghazali, M.J., Salleh, M.S. ve Mohammed, M.N., 2017. Microstructural evolution during semi solid processing of Al-Si-Cu alloy with different Mg contents. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27, 1483-1497.

Allameh, S.H. ve Emamy, M., 2017. The Effect of Ca Content on the Microstructure, Hardness and Tensile Properties of AZ81 Mg Cast Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26(5), 2151-2161.

Altenpohl, D.G., 1998. Aluminum Technology, Applications, and Environment. The Aluminum Association Inc. and TMS, Washington.

ASM International Handbook Committee, 1992. Properties and selection: nonferrous alloys and special purpose materials. ASM International, Materials Park, OH.

Auer, H. ve Mann, K.E., 1936. Magnetic Investigation of Zinc Aluminum System. *Zeitschrift für Metallkunde*, 28 (10), 323-326.

Avner, S.H., 1997, Introduction to physical metallurgy. McGraw Hill, India,

Bayraktar, Ş., Hekimoğlu A.P., Turgut Y. ve Hacıosmanoğlu M., 2017a. Effect of

Different Cutting Tools on Machinability of The Al-5Zn Alloy. 2th International Symposium on Industrial Design Engineering-ISIDE, 13-15 Eylül 2017, Nevşehir, Türkiye, s.134-137.

Bayraktar, Ş., Hekimoğlu A.P., Turgut Y. ve Hacıosmanoğlu M., 2017b. A Performance Comparison Study of Uncoated and TiAlN Coated Carbide End Mill on Machining of the Al-35Zn Alloy. 9th International Conference on Tribology (BalkanTRib'17), 13-15 Eylül 2017, Nevşehir, Türkiye, s.490-496.

Bishop, R.J. ve Smallman, R.E., 1999. Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Dursun T. ve Soutis C., 2014. Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys. *Materials and Design*, 56, 862-871.

Gervais, E., Barnhurst, R.J. ve Loong, C.A., 1985. An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys. *Journal of Metals*, 37 (11), 43-47.

Hatch, J.E., 1984. Aluminum: Properties and Physical Metallurgy. American Society for Metals, Ohio.

Kaufman, J.G. ve Rooy, E.L., 2004. Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications, ASM International.

Kuznetsov, G.M., Barsukov, A.D. ve Krivosheeva, G.B., 1986. Calculation of Phase Equilibria of The Al-Zn System. *Russian Metallurgy*, 5, 195-198.

Lee, B.H., Kim, S.H., Park, J.H., Kim, H.W. ve Lee, J.C., 2016. Role of Mg in simultaneously improving the strength and ductility of Al-Mg alloys. *Materials Science & Engineering A*, 657, 115-122.

Lloyd, D.J., 2003. The scaling of the tensile ductile fracture strain with yield strength in Al alloys. *Scripta Materialia*, 48 (4), 341-344.

Miannay, D., Costa, P., François, D. ve Pineau, A., 2000. Advances in Mechanical Behaviour, Plasticity and Damage. Elsevier Science Ltd., Oxford.

- Mondolfo, L.F., 1976. Aluminum Alloys: Structure and Properties, Butterworth & Co Publishers Ltd., London.
- Murthy, V.S.R., 2003. Structure and Properties of Engineering Materials, McGraw-Hill Publishing Company Limited, Yeni Delhi.
- Presnyakov, A.A., Gorban, Y.A. ve Chrevyakova V.V., 1961. The Aluminum-Zinc Phase Diagram. Journal of Physical Chemistry, 35, 632-633.
- Rana, R. ve Singh, S. B., 2016. Automotive Steels: Design, Metallurgy, Processing and Applications, Woodhead Publishing, London.
- Remøea, M.S., Marthinsena, K., Westermann, I., Pedersen, K., Røysetc, J. ve Marioarab, C., 2017. The effect of alloying elements on the ductility of Al-Mg-Si alloys. Materials Science & Engineering A, 693, 60-72.
- Savaşkan, T. ve Hekimoğlu, A.P., 2014a. Microstructure and mechanical properties of Zn-15Al-based ternary and quaternary alloys. Materials Science & Engineering A, 603, 52-57.
- Savaşkan, T. ve Hekimoğlu, A.P., 2014b. Structure and mechanical properties of Zn-(5-25) Al alloys. International Journal of Materials Research, 105(11), 1084-1089.
- Savaşkan, T. ve Hekimoğlu, A.P., 2016. Relationships between mechanical and tribological properties of Zn-15Al-based ternary and quaternary alloys. International Journal of Materials Research, 107(7), 646-652.
- Savaşkan, T., 2017. Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi: Papatya Yayınevi, İstanbul.
- Savaşkan, T., Bican, O. ve Alemdağ, Y., 2009. Developing aluminium-zinc-based a new alloy for tribological applications. Journal of Materials Science, 44(8), 1969-1976.
- Savaşkan, T., Hekimoğlu, A.P. ve Pürçek, G., 2004. Effect of copper content on the mechanical and sliding wear properties of monotectoid-based zinc-aluminium-copper alloys. Tribology International, 37(1), 45-50.
- Savaşkan, T., Pürçek, G. ve Hekimoğlu, A.P., 2003. Effect of copper content on the mechanical and tribological properties of ZnAl27-based alloys. Tribology Letters, 15(3), 257-263.
- Savaşkan, T., Torul, O. ve Çuvalcı, H., 1988. Çinko-alüminyum alaşımlarının içyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, 5. Metalurji Kongresi, Kasım 1988, Ankara, Türkiye, s.784-799.
- Shabestari, S.G. ve Moemeni, H., 2004. Effect of copper and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys. Journal of Materials Processing Technology, 153-154, 193-198.
- Tien, J. ve Ansell, G. S., 1976. Alloy and Microstructural Design, Academic Press, London.
- Valiev, R.Z., Alexandrov, I.V., Zhu, Y.T. ve Lowe, T.C., 2002. Paradox of strength and ductility in metals processed by severe plastic deformation. Journal of Materials, 17(1), 5-8.
- Wanga, X., Guob, M., Zhangb J. ve Zhuangb L., 2016. Effect of Zn addition on the microstructure, texture evolution and mechanical properties of Al-Mg-Si-Cu alloys. Materials Science & Engineering A, 677, 522-533.

Priming Uygulamalarının Kadmiyum ve Nikel Stresine Maruz Bırakılan Kırmızı Yumağın Çimlenme ve Fide Gelişimi Üzerine Etkisi

The Effects of Priming Treatments on Germination and Seedling Growth of Red Fescue under Nickel and Cadmium Stress

Melek AKAR^{1,a}, İbrahim ATIŞ^{*2,b}

¹Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD, 31060, Antakya/Hatay

²Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 31060, Antakya/Hatay

• Geliş tarihi / Received: 29.01.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 17.04.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 08.06.2018

Öz

Bu çalışma kırmızı yumakta farklı dozlarda kadmiyum (Cd) ve nikel (Ni) maruz bırakılan tohumlarda farklı priming uygulamalarının çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Araştırmada bu iki ağır metalin farklı konsantrasyonları (0, 75, 150, 300 mg l⁻¹) kullanılmıştır. Ağır metal uygulamaları altında priming uygulamalarının çimlenmeye etkisini belirlemek amacıyla % 2'lik KNO₃ ve 500 ppm GA₃ uyarıcı ajanı olarak kullanılmıştır. Araştırma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak kurulmuş ve yürütülmüştür. Araştırma sonucunda her iki ağır metalin de kırmızı yumağın çimlenme ve fide özellikleri üzerinde olumsuz etkiye neden olduğu, çimlenme özellikleri üzerine ağır metallerin etkisini azaltmada priming uygulamalarının etkisiz kaldığı, hatta yüksek ağır metal dozlarında çimlenmenin priming uygulamalarından negatif yönde etkilendiği görülmüştür. Kırmızı yumağın kök uzunluğu üzerinde priming uygulamalarının olumlu bir etkisi olmazken, fide gelişimi GA₃ uygulaması ile olumlu yönde etkilenmiştir. Ayrıca kırmızı yumağın çimlenme özellikleri ve fide gelişimi üzerinde nikelin olumsuz etkilerinin kadmiyumdan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çimlenme, Kadmiyum, Kırmızı Yumak, Nikel, Stres

Abstract

The objectives of this study were to determine effects of different priming treatments on germination and seedling growth in red fescue infected with different levels (0, 75, 150 and 300 mg l⁻¹) of cadmium and nickel. The study was conducted under laboratory conditions. In the study, two heavy metal kinds (Cadmium (Cd) and Nickel (Ni)) were considered 3 different concentrations (75, 150, 300 mg l⁻¹) and distillate water as control application. To determine the effect of germination priming under heavy metal stress, 2% KNO₃ and 500 ppm GA₃ were used as priming agents. The research was performed as factorial arrangement of completely randomized design with four replications. The results of study indicated that both germination and seedling growth properties were negatively affected by both heavy metal kinds. Priming treatments were ineffective in reducing the effects of heavy metals on germination properties. Germination at high doses of heavy metals was negatively affected by priming treatments. There wasn't positively effect on root length of red fescue of priming treatments, while shoot length was positively affected by GA₃ treatment. Also, the negatively effects on germination and seedling growth of nickel were greater than cadmium.

Keywords: Germination, Cadmium, Red Fescue, Nickel, Stress

*b İbrahim ATIŞ; iatis15@hotmail.com; Tel: (0544) 799 04 07; orcid.org/0000-0002-0510-9625

a orcid.org/0000-0001-9799-5857

1. Giriş

Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunabilen ve belirli konsantrasyonun üzerinde kirliliğe yol açan ağır metaller bitki üzerinde olumsuz etkilere yol açan önemli abiyotik stres etmenlerinin başında gelmektedir. Maruz kalınan bu stres koşulları ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onların genetik potansiyellerini değiştirir ve ölümlerine yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları meydana getirir (Kırbağ-Zengin ve Munzuroğlu, 2003). Ağır metallerin bitkiler üzerinde etkilerini araştırmak üzere yürütülen araştırmaların çoğu, bitkilerin ağır metallere toleransını ve bitkiler tarafından alınabilen (toprakta uzaklaştırılan) miktarlarını belirlemek amacıyla yetişkin veya halihazırda çimlenmiş fideler üzerinde yapılmıştır (Peralta vd., 2001). Ancak, çimlenmeyi başaramayan bitkilerin fide ve olgun bitki haline gelemeyeceği bir gerçektir. Bu nedenle bitki türlerinin çimlenme ortamında var olan ağır metallerin çimlenme ve fide oluşturma yeteneği üzerine etkisinin bilinmesi bu noktada oldukça önemlidir.

Ağır metaller içerisinde 20 kadar element ekolojik açıdan dikkati çekmekte (Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Be, Cd, Tl, Sb, Se, Sn, Ag, As, Hg, Al) ve bunların bir kısmı, bitki ve hayvanlar için mikrobese (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Ni) maddesi olabilmekte ve belirli sınırı aşmadığı sürece toksik olmamaktadırlar (Okcu vd., 2009). Bunlardan Kadmiyum (Cd), günümüzde çeşitli kullanım alanlarıyla ve çevre kirliliğindeki olumsuz etkileri ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Kadmiyumun son zamanlarda bir kirletici olarak bu denli gündemde olmasının temel nedeni çok düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasıdır (Goyer, 1991; Lyons-Alcantara vd., 1996; Okcu vd., 2009).

Kadmiyumun bitkilerin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkilerini belirlemek üzere farklı bitki türleri ile yapılan araştırma sonuçları bitkilerin artan kadmiyum dozlarından olumsuz etkilendiği ancak türlerin kadmiyuma tolerans eşiklerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Peralta vd., 2001; Kabir vd., 2008; Muhammad vd., 2008; Houshmandfar ve Moragebi, 2011; Smiri, 2011).

Ağır metaller içerisinde nikelin (Ni) düşük dozlarda bitki için gerekli iken, artan endüstriyel faaliyetler, mineral ve organik gübreler, kimyasal ilaçlar ile yerleşim yeri ve endüstri atıkları nedeniyle ekolojik çevrede miktarının arttığı

(Zornoza vd., 1999), bunun sonucunda aşırı konsantrasyonlarının bitkilerde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir (Erdoğan, 2005). Nikelin yüksek dozları, bitkilerde çimlenme aşamasından başlayarak bitkinin büyüme ve gelişmesinde toksik etki yapmaktadır (Marschner, 1995).

Bitki türlerin farklı stres koşullarına gösterdikleri tepkiler birbirinden farklıdır ve bu tepkilerin ayrı ayrı ortaya konulması gerekmektedir. Stres koşullarının varlığında çimlenmenin sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesinde ekim öncesi tohum priming uygulamaları başarılı sonuçlar verebilmektedir. Priming, bir örnek çimlenme, çimlenmenin ve çıkışın teşvikinde ticari olarak da kabul görmüş tohum uygulamalarının genel adıdır. Priming uygulamalarında KNO₃, PEG, CuSO₄ ve GA₃ gibi farklı priming ajanları kullanılmaktadır (Mavi vd., 2006; Mavi vd., 2010; Patade vd., 2011). Günümüzde, tohum priming uygulamaları ile tohum ekimi ve fide çıkışı arasındaki dönemde karşılaşılan problemler azaltılabilmekte, çıkış süresi kısaltılabilmekte, uniform fide çıkışı sağlanabilmekte, düşük ve yüksek sıcaklık, termodormansi (Sung vd., 1998), tuzluluk gibi çeşitli abiyotik stres koşullarının çimlenme üzerine olumsuz etkileri azaltılabilmektedir (Khan, 1992).

Yeşil alan buğdaygilleri çevre koruma ve kirliliğin azaltılması bakımından büyük öneme sahiptir. Bu bitkiler güçlü rejenerasyon yeteneği, hızlı büyüme ve gelişme ve yıl içerisinde çok sayıda biçim gibi özelliklere sahiptirler. Özellikle bu bitkilerin besin zincirine girmeksizin, yıl içerisinde çok sayıda yapılan biçimlerle ortamda bulunan ağır metallerin uzaklaştırılması sağlanabilmektedir (Duo vd., 2005). Kırmızı yumak (*Festuca rubra* L. subsp. *rubra*) yeşil alanların oluşturulmasında en fazla kullanılan serin mevsim buğdaygil bitkilerinin başında gelmektedir (Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997).

Bu çalışmada yeşil alan tesisinde yoğun olarak kullanılan kırmızı yumakta tohumların maruz bırakıldığı farklı dozlardaki iki ağır metalin (nikel ve kadmiyum) çimlenme özelliklerine etkisinin belirlenmesi ve bu stres koşulları altında çimlenmenin teşvik edilmesi amacıyla priming materyali olarak kullanılan KNO₃ ve GA₃'ün etkilerinin tespiti amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, iki ağır metalin (kadmiyum ve nikel) farklı konsantrasyonları (0, 75, 150, 300 mg l⁻¹)

dikkate alınmıştır. Ağır metale maruz bırakılan tohumlara priming uygulamalarının çimlenmeye etkisini belirlemek amacıyla %2'lik KNO₃ ve 500 ppm GA₃ priming ajanı olarak kullanılmıştır.

Priming uygulaması, tohumlar ekilmeden önce yüzey sterilizasyonu (% 1'lik sodyum hipoklorit çözeltisi ile 10 dakika) uygulanan tohumların belirtilen dozlarda hazırlanan KNO₃ ve GA₃ çözeltilerinde 2 gün (48 saat) süreyle 25 °C' de bekletilmesi şeklinde uygulanmıştır. Ayrıca uyarıcı uygulaması yapılmayan bir grup kontrol amacıyla sterilizasyon sonrası 48 saat uyarıcı uygulamaları ile aynı koşullarda saf suda (Hydropriming) bekletildikten sonra ekimi yapılmak üzere hazırlanmıştır. Gerekli ön muameleler uygulanan türlere ait tohumlar, 9 cm çapındaki petri kapları içine iki kat olarak yerleştirilen filtre kâğıdı üzerine, her petriye 25 tohum gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Kadmiyum ve nikelin 75, 150, 300 mg l⁻¹ dozlarında hazırlanan stok çözeltisinden ve kontrol uygulamaları için saf sudan 10 ml ilave edilmiştir. Su kaybını önlemek için kenarları parafilmle kapatılan, petri kapları, 25 ± 1 °C sıcaklığa ayarlı iklim dolabına yerleştirilmiştir. Denemede çimlenme sayımları 14. güne kadar yapılmış olup, 14. günde her petride çimlenen 10 bitkide fide ölçümleri yapılmıştır.

Çimlenme oranı (ÇO) (Akıncı ve Çalışkan, 2010), Çimlenme indeksi (Çİ) (Wang vd., 2004) ve ortalama çimlenme süresi (OÇS) (Ellis ve Roberts, 1980) değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$ÇO (\%) = (\text{Çimlenen tohum sayısı} / \text{Toplam tohum sayısı}) \times 100,$

$Çİ = \sum(G_i/T_t),$

Gi: i. günde çimlenen tohum oranı; Tt: Sayım günü,

$OÇS = \sum(fx) / \sum f$

f: Çimlenen tohum sayısı; x: Çimlenme günü

Araştırmada elde edilen verilere MSTAT-C istatistik paket programı kullanılarak tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine uygun olarak varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli çıkan faktör ortalamaları Duncan testi ile gruplandırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çimlenme Oranı

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve priming uygulamaları altında belirlenen çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları, çimlenme oranı üzerine metal türü, metal dozu, priming, metal türü x metal dozu ve metal dozu x priming ikili interaksiyonlarının %1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Metal türü x priming ikili interaksiyonu ile deneme faktörlerinin üçlü interaksiyonunun çimlenme oranı üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz olmuştur (Tablo 1).

Deneme sonuçları, ağır metal türüne bağlı olarak çimlenme oranlarının önemli farklılık gösterdiğini, kadmiyum stresi altında kırmızı yumağın çimlenme oranının (% 64.31) nikel uygulaması altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme oranından (% 52.36) önemli derecede yüksek olduğunu göstermiştir (Tablo 2). Nitekim Peralta-Videa vd. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdaki daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 1. İncelenen özelliklere ait kareler ortalamaları ve deneme faktörlerin istatistiksel önemlilikleri

Varyasyon Kaynağı	SD	Kareler Ortalaması				
		Çimlenme Oranı (%)	Çimlenme İndeksi	Ortalama Çimlenme Süresi (gün)	Kök Uzunluğu (mm)	Fide Uzunluğu (mm)
Ağır Metal Türü (A)	1	3424.751**	31.293**	13.380**	32.202**	24.311
Ağır Metal Dozu (B)	3	3830.616**	22.439**	7.772**	266.318**	1054.019**
A X B	3	988.403**	6.660**	1.554	17.720**	4.699
Priming (C)	2	1043.321**	9.532**	5.379**	0.985	1517.515**
A X C	2	75.452	1.380	0.875	1.103	13.716
B X C	6	549.869**	1.865*	0.966	8.780**	37.274
A X B X C	6	174.869	0.946	0.447	2.670	46.946
Hata	72	140.428	0.714	0.896	1.804	23.383

* 0.05 hata sınırları içerisinde önemli, ** 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Ağır metal dozlarındaki artışa bağlı olarak çimlenme oranları önemli farklılık göstermiştir. Artan dozlara bağlı olarak (0, 75, 150 ve 300 mg l⁻¹ için sırasıyla) çimlenme oranları % 73.33, % 63.06, % 52.78 ve % 44.17 olarak belirlenmiştir. Artan doza bağlı olarak sürekli bir düşüş meydana gelmiş ve her bir ağır metal dozu için belirlenen ortalama çimlenme oranı değeri istatistiksel olarak farklı bir grupta yer almıştır (Tablo 2). Çimlenme oranı, artan ağır metal dozlarına göre sırasıyla kontrole göre %14, %21 ve % 40 oranında azalmıştır. Ortamda ağır metallerin bulunmasının ve artan dozlarda bitkilerin çimlenmeleri üzerindeki olumsuz etkinin arttığı diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Çalışkan, 2009; Kabir vd., 2008; Housmandfar ve Moraghebi, 2011).

Priming uygulamalarının çimlenme oranı üzerine etkileri incelendiğinde, hydropriming

uygulanmasında belirlenen çimlenme oranı GA₃ ve KNO₃ ile ön muameleye tabi tutulan tohumlardan daha yüksek olmuştur. Saf suda bekletilen tohumlarda ortalama çimlenme oranı % 64.79 olurken, GA₃ ve KNO₃ uygulamasında ise çimlenme oranları sırasıyla % 56.25 ve 53.96 olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Bu durum ağır metallerle birlikte ortamda bulunan priming ajanlarının olumsuz etkide de bulunabileceğini göstermektedir. Çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları çimlenme oranı üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksiyonunun etkisinin önemli olduğunu göstermiştir (Tablo 1). Her iki metal türünde de artan dozlara bağlı olarak kırmızı yumağın çimlenme oranı önemli derecede azalma eğilimi göstermiştir. Ancak bu azalma, nikel bulaşık ortamda bulunan bitkilerin çimlenme oranında daha şiddetli olmuştur.

Tablo 2. Ağır metal türü, ağır metal dozu ve priming uygulamalarının çimlenme oranı, çimlenme indeksi, ortalama çimlenme zamanı, kök uzunluğu ve fide uzunluğu üzerine etkileri

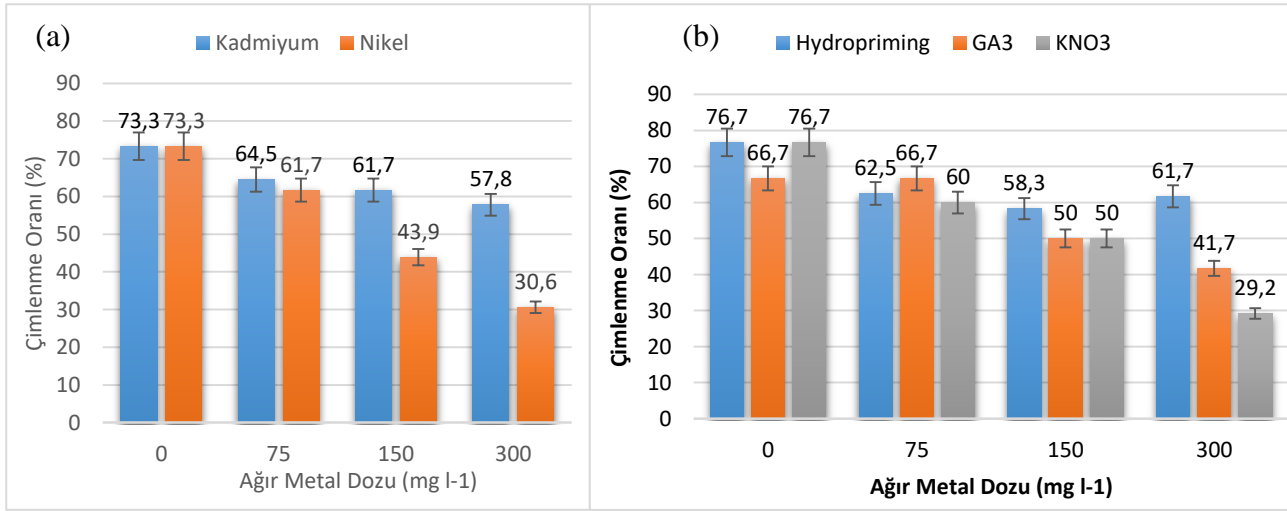
	Çimlenme Oranı (%)	Çimlenme İndeksi	Ortalama Çimlenme Süresi (gün)	Kök Uzunluğu (mm)	Fide Uzunluğu (mm)
Ağır Metal Türü *					
Kadmiyum	64.31 a *	3.34 a	3.41 b	5.79 a	25.46
Nikel	52.36 b	2.19 b	4.15 a	4.63 b	24.25
Ağır Metal Dozu **					
0 mg l ⁻¹	73.33 a **	4.21 a	3.07 c	10.05 a	32.57 a
75 mg l ⁻¹	63.06 b	2.36 b	3.70 b	4.71 b	27.43 b
150 mg l ⁻¹	52.78 c	2.34 b	4.45 a	3.33 c	22.79 c
300 mg l ⁻¹	44.17 d	2.14 b	3.92 ab	2.74 c	17.03 d
Priming ***					
Hydropriming	64.74 a ***	2.75 b	3.88 a	5.15	19.07 c
GA ₃	56.25 b	3.32 a	3.33 b	5.07	32.53 a
KNO ₃	53.96c	2.23 c	4.13 a	5.40	23.27 b

*, **, *** Aynı sütun içerisinde farklı harfle gösterilen faktör ortalamaları istatistiksel olarak birbirinden farklıdır

Kadmiyum bulunan ortamdaki çimlenme oranları istatistiksel olarak kontrolden düşük olurken; kadmiyumun 75, 150 ve 300 mg l⁻¹ dozlarındaki çimlenme oranları istatistiksel olarak farksız olmuştur. Nikele maruz kalan bitkilerde ise kontrolden itibaren her doz arasında önemli azalmalar görülmüş ve her uygulama ayrı bir grupta yer almıştır (Şekil 1a). Bu durum kırmızı yumağın çimlenmesi üzerinde nikelin olumsuz etkilerinin kadmiyumdaki daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları metal dozu x priming ikili interaksiyonunun etkisinin % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Tablo 1). Ağır metal uygulaması yapılmayan uygulamalar

yüksek çimlenme oranlarına sahip olurken, ağır metal dozlarına ve teşvik edici ön uygulamalara bağlı olarak çimlenme oranları farklı eğilimler göstermiştir. Saf suda bekletilen tohumlarda ağır metale maruz kalan tohumların çimlenme oranı kontrolden düşük çıkmış; ağır metal dozları arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. GA₃ ile ön muameleye tabi tutulan tohumlarda kontrol ve 75 mg l⁻¹ uygulamalarında belirlenen çimlenme oranları aynı istatistiki grup içinde yer alırken; 150 ve 300 mg l⁻¹ ağır metal uygulamaları ise diğer grupta yer almıştır. 300 mg l⁻¹ ağır metal dozu dikkate alındığında, KNO₃ teşvik edici ön uygulamasına ait çimlenme oranları diğer teşvik edici uygulamalara göre önemli derecede düşük çıkmıştır (Şekil 1b).



Şekil 1. Çimlenme oranı üzerine a) ağır metal türü x ağır metal dozu ve b) ağır metal dozu x priming interaksiyonlarının etkisi.

3.2. Çimlenme İndeksi

Metal türlerine bağlı olarak çimlenme indeksinde önemli farklılıklar meydana gelmiştir (Tablo1). Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme indeksi değeri 3.34 olurken, nikel stresi altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme indeksi değeri 2.19 olarak tespit edilmiştir. Nitekim Çalışkan (2009), ağır metallerin çimlenme üzerindeki olumsuz etkilerinin metalin türüne ve dozuna bağlı olarak farklılık gösterebildiğini bildirmiştir.

Varyans analiz sonuçları metal dozlarının çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Tablo 1). Bitkilerin ağır metale maruz kalması çimlenme indeksinde kontrole göre önemli bir azalmaya neden olmuştur. Kontrol uygulamasında 4.21 olan çimlenme indeksi değeri, 75, 150 ve 300 mg l⁻¹ ağır metal dozları için sırasıyla 2.36, 2.34 ve 2.14 olarak belirlenmiştir. Ağır metal uygulanan tohumların çimlenme indeksi kontrolden daha yüksek ve kendi içinde birbirinden farksız çıkmıştır (Tablo 2). Ağır metale maruz kalan bitkilerin çimlenme indeksinde önemli azalmaların meydana geldiği Çalışkan (2009) ve Akıncı ve Akıncı (2011) tarafından da bildirilmiştir.

Priming uygulamalarına bağlı olarak çimlenme indeksi değerleri 2.23 ile 3.32 arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Priming işlemlerinde GA₃ uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri 3.32 ile ilk sırada yer alırken, bunu 2.75 ile hydropriming uygulaması takip etmiş ve KNO₃ uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri 2.23 ile son sırada yer almıştır (Tablo 2).

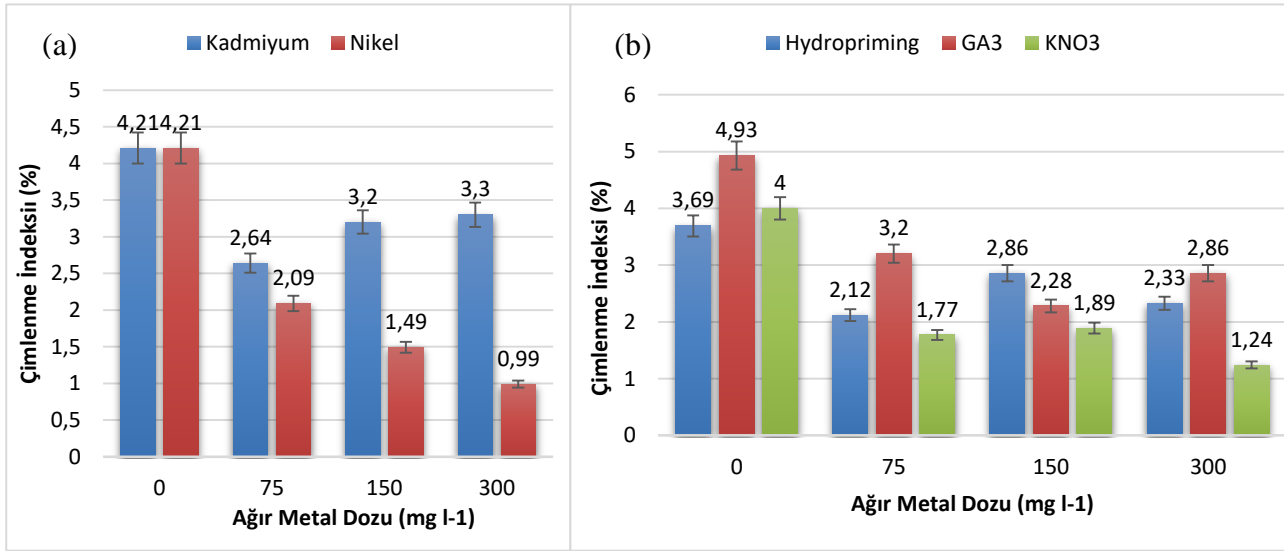
Elde edilen sonuçlar çimlenmenin teşvik edilmesi açısından özellikle GA₃'ün en iyi etkiyi gösterdiğini ortaya koymuştur. Espanany vd. (2016) benzer şekilde ağır metal varlığında farklı priming uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca priming ön uygulamalarında kullanılan priming ajanının dozu da çimlenme üzerindeki etkide belirleyici rol oynayabilmektedir (Sneideris vd., 2015).

Çimlenme indeksi üzerine metal türü x metal dozu interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 1). Her iki metal türünde de ortamın ağır metalle bulaşık olması çimlenme indeksini önemli derecede azaltmış ve tüm ağır metal uygulaması içeren muamelelerde belirlenen çimlenme indeksi değerleri kontrole göre önemli derecede düşük olmuştur. Kadmiyuma maruz kalan tohumlarda belirlenen çimlenme indeksi değerleri kontrole göre önemli derecede düşük olurken, 75, 150 ve 300 mg l⁻¹ kadmiyum dozlarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri istatistiksel olarak farksız bulunmuştur. Nikele maruz kalan tohumların çimlenme indeksleri değerlendirildiğinde, 300 mg l⁻¹ dozunda belirlenen değer kontrol ve 75 mg l⁻¹ dozlarında belirlenen değerden istatistiksel olarak önemli derecede düşük olurken; 150 mg l⁻¹ dozu ile istatistiksel olarak farksız olmuştur (Şekil 2a).

Metal dozu x priming interaksiyonuna göre hesaplanan ortalama çimlenme indeksi değerleri ve oluşan gruplar Şekil 2b'de verilmiştir. Şekil 2b'de izlendiği gibi, kontrol ve 75 mg l⁻¹ ağır metal dozunda GA₃ priming uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri diğer iki priming uygulamasında belirlenen değerden istatistiksel olarak yüksek olmuştur. Ağır metal

dozunun 150 ve 300 mg l⁻¹'ye çıkmasıyla priming uygulamaların etkileri farklılık göstermiştir. 150 mg l⁻¹ ağır metal dozunda hydropriming uygulamasında belirlenen değer GA₃ uygulamasında belirlenen değerden daha yüksek olmuş, ancak bu farklılık istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. 300 mg l⁻¹ ağır metal dozunda ise GA₃ uygulamasında belirlenen değer

hydropriming uygulamasında belirlenen değerden daha yüksek bulunmuştur. KNO₃ priming uygulaması ise çimlenme indeksi değeri açısından ağır metal stresi bulunan tüm uygulamalarda en düşük değere sahip olmuştur. Bu durum yeterli çimlenme açısından KNO₃ ile priming uygulamasının uygun olmadığını göstermiştir.



Şekil 2. Çimlenme indeksi üzerine a) ağır metal türü x ağır metal dozu ve b) ağır metal dozu x priming interaksiyonlarının etkisi.

3.3. Ortalama Çimlenme Süresi

Ağır metal türlerine bağlı olarak ortalama çimlenme süreleri önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 1). Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen ortalama çimlenme süresi değeri 3.41 gün olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 4.15 gün olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). Bu durum nikelin kırmızı yumağın çimlenmesini kadmiyumdaki daha fazla geciktirdiğini göstermektedir. Çalışkan (2009) farklı sebze türleri üzerinde yaptığı araştırmada ağır metallerin tohumların çimlenmesini geciktirdiğini, ancak bu etkinin bitki türüne, ağır metal türüne ve uygulanan doza bağlı olarak farklılıklar gösterebildiğini bildirmiştir.

Priming uygulamaları ortalama çimlenme süresi üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur (Tablo 1). GA₃ uygulamasında ortalama çimlenme süresi 3.33 günle en hızlı çimlenmeyi sağlarken diğer iki uygulamadan istatistiksel olarak daha hızlı çimlenmeyi sağlamıştır. Hydropriming uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 3.88 gün ile KNO₃

uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi (4.13 gün) istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır (Tablo 2). Bu durum GA₃ uygulamasının kadmiyum ve nikel stresi altında kırmızı yumağın çimlenme süresi açısından diğer teşvik edicilerden daha etkili olduğunu göstermektedir. Priming ön uygulamalarına tabi tutulan tohumların çimlenme sürelerine ve özelliklerine bu uygulamaların etkileri, türlere ve koşullara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Nitekim Galhaut vd. (2014) uyarıcı uygulamaların ağır metalle bulaşık topraklarda kontrole göre önemli avantajlar sağladığını, bulaşık olmayan topraklarda bir farklılık oluşturmadığını ve kullanılan priming ajanlarının etkisinin de farklı olduğunu bildirmişlerdir.

Ağır metal dozlarına bağlı olarak kırmızı yumağın ortalama çimlenme süreleri 3.07 gün ile 4.45 gün arasında değişiklik göstermiştir. En hızlı çimlenme ağır metalin bulunmadığı kontrol uygulamasında gerçekleşirken, bu uygulama istatistiksel olarak ağır metal stresinin bulunduğu tüm uygulamalardan farklı bir grupta yer almıştır. 75 mg l⁻¹ ağır metal uygulamasında belirlenen

ortalama çimlenme süresi 150 mg l^{-1} dozunda belirlenen değerden önemli derecede kısa olurken, 300 mg l^{-1} dozunda belirlenen değerle istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. 150 ve 300 mg l^{-1} ağır metal dozlarında belirlenen değerler ise istatistiksel olarak farksız olmuştur (Tablo 2). Bu durum ağır metallerin ortalama çimlenme süresini artırdığını bildiren Çalışkan (2009) ile Akıncı ve Akıncı (2011)'in bulguları ile uyuşmaktadır.

3.4. Kök Uzunluğu

Kök uzunluğu değerlerine ait varyans analiz sonuçları metal türü, metal dozu ile metal türü x metal dozu, metal dozu x priming interaksiyonlarının %1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğu göstermiştir. Priming uygulaması ile diğer faktör interaksiyonlarının kırmızı yumakta kök uzunluğu üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 1).

Kök uzunluğu değeri kadmiyum uygulamasında 5.79 mm ile nikel uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değerinden (4.63 mm) önemli derecede yüksek olmuştur. Bu durum kırmızı yumağın kök uzunluğunun çimlenme döneminde nikelden daha fazla etkilendiğini göstermektedir (Tablo 2). Benzer şekilde farklı bitkilerde nikel ve kadmiyumun etkilerini araştıran Peralta-Videa vd. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Ağır metal uygulamalarının tamamı kontrole göre kök uzunluklarını önemli derecede azaltmıştır. Metal dozlarına bağlı olarak kök uzunlukları 2.74 mm ile 10.05 mm arasında değişmiştir (Tablo 2). En yüksek kök uzunluğu kontrol uygulamasında belirlenirken, bu uygulamada belirlenen değer istatistiksel olarak diğer tüm uygulamalardan daha yüksek değere sahip olurken, artan dozlara bağlı olarak kök uzunluğu azalmıştır. 75 mg l^{-1} metal dozu uygulamasında elde edilen kök uzunluğu değeri 150 mg l^{-1} ve 300 mg l^{-1} uygulamalarından istatistiksel olarak daha yüksek olurken, en yüksek dozlar olan 150 ve 300 mg l^{-1} dozları istatistiksel olarak birbirinden farksız olmuştur. Bulgularımıza paralel olarak nikel ve kadmiyumun kök gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Erdoğan, 2005; Muhammad vd., 2008; Akıncı ve Akıncı, 2011; Shao vd., 2011).

Priming uygulamalarına bağlı olarak kök uzunlukları 5.07 mm ile 5.40 mm arasında değişim göstermiştir. KNO_3 uygulamasında

belirlenen değer (5.40 mm) ilk sırada yer alırken, bunu sırasıyla hydropriming ve GA_3 uygulamaları izlemiş, ancak bu farklılık istatistiksel olarak farksız olmuştur (Tablo 1,2).

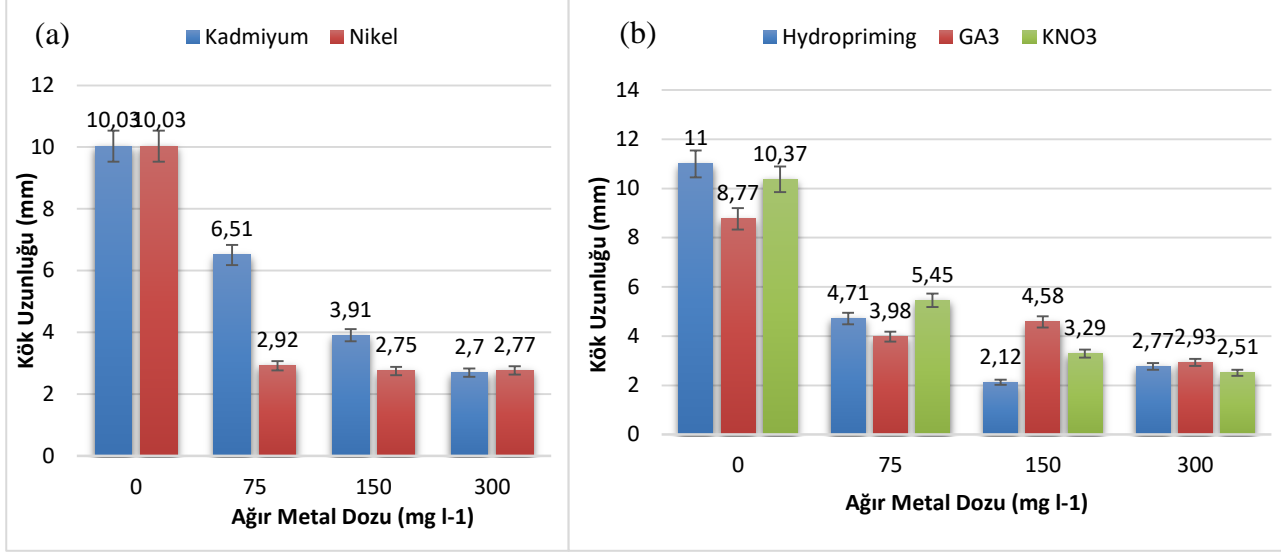
Metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar Şekil 3a'da verilmiştir. Şekil 3a'da izlendiği gibi, kontrol uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değeri her iki metal türünün tüm dozlarında belirlenen kök uzunluğu değerlerinden istatistiksel olarak yüksek bulunmuştur. Genel olarak kadmiyum uygulanan bitkilerin kök uzunluğu nikel uygulananlara göre daha uzun olmuştur. Kadmiyum uygulamalarında kontrolden itibaren her artan doz için kademeli ve istatistiksel olarak önemli düşüşler meydana gelmiş ve her kadmiyum dozu ayrı bir grupta yer almıştır. Nikel stresine maruz kalan tohumların çimlenmesi ise kontrole göre önemli bir düşüş göstermiş, ancak nikel dozları kendi içerisinde istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. Bu durum nikelin düşük dozlardan itibaren kırmızı yumağın kök uzaması üzerinde oldukça toksik etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

İstatistiksel açıdan önemli bulunan metal dozu x priming ikili interaksiyonunun kök uzunluğu üzerine etkileri incelendiğinde, ortalama kök uzunluğu değerleri 2.51 mm ile 11.00 mm arasında değişim göstermiştir. Ağır metal uygulaması yapılmayan kontrol uygulamalarında daha yüksek kök uzunluğu değerleri elde edilirken artan metal dozları ile birlikte kök uzunluğu değerleri düşmüştür. Ağır metal uygulanmayan kontrol uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri, GA_3 uygulamasına göre daha yüksek bulunmuştur. 75 mg l^{-1} ağır metal dozunda ise GA_3 uygulamasında belirlenen değer KNO_3 uygulamasında belirlenen değerden istatistiksel olarak daha düşük olurken hydropriming uygulaması ile aynı grupta yer almıştır (Şekil 3b).

Ağır metal dozunun 150 mg l^{-1} 'ye çıkması ile GA_3 ve KNO_3 uygulamalarının kök uzunluğu üzerinde ağır metallerin oluşturduğu stresi hydropriming uygulamasına göre daha iyi baskıladığı görülmektedir. 300 mg l^{-1} ağır metal dozunda ise her üç ön uygulamanın da benzer etkiler gösterdiği görülmektedir. Bu durum, ağır metal stresi altındaki kırmızı yumağın kök uzunluğu üzerinde priming ajanlarının etkisinin dozlara bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Espanany vd. (2016), kadmiyum stresi altındaki çörekotu tohumlarında KNO_3 ön uygulaması ile kök uzunluğunda kontrole göre

önemli artışlar olduğunu, ancak bitkinin fide gelişimi üzerine kadmiyumun olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılmasında salisilik asit ön muamelesinin daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ağır metal varlığında farklı

bitkilerde priming uygulamaları ile kök uzunluklarının olumlu yönde etkilendiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Qaisar vd., 2014; Shinwari vd., 2015; Moulick vd., 2016; Kumar vd. 2016).



Şekil 3. Kök uzunluğu üzerine a) ağır metal türü x ağır metal dozu ve b) ağır metal dozu x priming interaksiyonlarının etkisi.

3.5. Fide Uzunluğu

Ağır metal türlerine bağlı olarak fide uzunluklarında istatistiksel olarak önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen fide uzunluğu değeri 25.46 mm olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama fide uzunluğu değeri 24.25 mm olarak gerçekleşmiştir (Tablo 1, 2).

Artan ağır metal dozlarına bağlı olarak fide uzunluklarında önemli azalmalar tespit edilmiş ve her bir doz istatistiksel olarak farklı bir grupta yer almıştır. Belirlenen fide uzunlukları 0, 75, 150 ve 300 mg l⁻¹ dozları için sırasıyla 32.57, 27.43, 22.79 ve 17.03 mm olarak saptanmıştır (Tablo 1). En yüksek doz olan 300 mg l⁻¹ ağır metal uygulaması fide uzunluğunun kontrole göre % 47.7 azalmasına neden olmuştur. Nikel ve kadmiyumun erken dönemde farklı bitki türlerinin fide gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Bu bulguların aksine Kalaycıoğlu (2005) ısırgan bitkisinin boy uzunluğu üzerinde kadmiyumun olumsuz bir etki meydana getirmediğini bildirmiştir. Bu durum ağır metallerin etkisinin bitki türlerine göre farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Priming uygulamalarına bağlı olarak fide uzunlukları 23.27 mm ile 32.53 mm arasında değişim göstermiş ve bu değişim istatistiksel anlamda önemli olmuştur (Tablo 1, 2). Priming uygulamalarından, GA₃ uygulamasında belirlenen fide uzunluğu 32.53 mm ile ilk sırada yer alırken, bunu 23.27 mm ile KNO₃ uygulaması takip etmiş ve hydropriming uygulamasında belirlenen fide uzunluğu değeri 19.07 mm ile son sırada yer almıştır. Elde edilen sonuçlar fide gelişimi açısından özellikle GA₃'ün iyi bir priming ajanı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde ağır metal varlığında farklı priming ajanlarının etkisinin farklı olduğu diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Espanany vd., 2016; Kumar vd., 2016).

4. Sonuç ve Öneriler

Araştırma sonuçları, artan ağır metal dozlarına bağlı olarak hem çimlenme hem de fide gelişim özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir. Genel olarak iki metal türünün kırmızı yumağın çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi değerlendirildiğinde nikelin olumsuz etkisinin kadmiyumdan daha fazla olduğu söylenebilir. Kırmızı yumak kök uzunluğu artan ağır metal dozlarından olumsuz yönde etkilendirilmiştir. Kırmızı yumak kök uzunluğu

üzerine nikelin etkisi kadmiyumdaki daha fazla olmuştur. Kök uzunluğu uyarıcı ön uygulamalarından ise etkilenmemiştir. Artan metal dozları ile birlikte fide uzunluğu değerleri de önemli derecede azalmıştır. Fide uzunluğundaki bu azalma GA₃ uygulaması ile bir miktar engellenebilmiştir. GA₃ uygulanan tohumlardan elde edilen fideler diğer ön uygulamalarda belirlenen değerlerden daha yüksek olmuştur. Kırmızı yumağın kök ve fide gelişimi açısından GA₃ ve KNO₃'ün belli ağır metal düzeyinde fayda sağlayabilmesine rağmen, tohumların çimlenme yetenekleri üzerinde özellikle 150 ve 300 mg l⁻¹ ağır metal dozlarında etkinliğini koruyamadığı ve hatta etkilerinin olumsuz olduğu görülmüştür.

Priming ajanlarının çimlenme özellikleri üzerinde olumlu etkisinin olmaması nedeniyle, kadmiyum ve nikel ile bulaşık alanlarda yeterli çıkışın sağlanabilmesi için, ekonomik olarak değerlendirilmesi yapıldıktan sonra, kullanılacak tohumluk miktarının artırılması başarıyı arttırabilir. Bitkilerin farklı stres koşullarında farklı priming ajanlarına farklı tepkiler göstermesi nedeniyle, kırmızı yumağın nikel ve kadmiyumla bulaşık alanlarda çimlenme ve fide gelişiminin desteklenmesinde farklı priming ajanları ile çalışmaların devam etmesinde fayda vardır.

Kaynaklar

- Açıkgöz, E. 1994. Çim Alanlar Yapım ve Bakım Tekniği, Çevre Ltd. Şti. Yayınları, No:4, Bursa, 203s.
- Akıncı, S. ve Akıncı, İ.E. 2011. Nikelin Ispanakta (*Spinacia oleracea*) Çimlenme ve Bazı Fide Büyüme Parametreleri Üzerine Etkisi, Ekoloji, 20 (79),69-76.
- Akıncı, S. ve Çalışkan, Ü. 2010. Kurşunun Bazı Yazlık Sebzelerde Tohum Çimlenmesi ve Tolerans Düzeyleri Üzerine Etkisi, Ekoloji, 19 (74), 164-172.
- Avcıoğlu, R. 1997. Çim Tekniği (Yeşil Alanların Ekimi Dikimi Bakımı), Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, 271s.
- Çalışkan, Ü. 2009. Bazı Önemli Yazlık Sebzelerin Çimlenme Aşamasında Cd, Cr, Ni ve Pb'a Tepkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş, 69s.
- Duo, L.A., Gao, Y.B. ve Zhao, S.L., 2005. Heavy Metal Accumulation and Ecological Responses of Turfgrass to Rubbish Compost with EDTA Addition, Journal of Integrative Plant Biology, 47 (9),1047-1054.
- Ellis, R.H. ve Roberts, E.H., 1980. Towards a Rational Basis for Seed Testing Seed Quality, in: Hebblethwaite, P. (Ed), Seed Production, Butterworths, London, pp. 605-635.
- Erdoğan, O., 2005. Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Fidelerinde Nikel Toksitesinin Humik Asit İle Azaltılması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş, 36s.
- Espanany, A., Fallah, S. ve Tadayyon, A., 2016. Seed Priming Improves Seed Germination and Reduces Oxidative Stress in Black Cumin (*Nigella sativa*) in Presence of Cadmium. Industrial Crops and Products, 79, 195-204.
- Galhaut, L., Lespinay, A.De, Walker, D.J., Bernal, M.P., Correal, E. ve Lutts, S., 2014. Seed Priming of Trifolium repens L. Improved Germination and Early Seedling Growth on Heavy Metal-Contaminated Soil. Water Air Soil Pollution, 225, 1905.
- Goyer, R. A., 1991. Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull's Toxicology, in: Amdur, M.O., Doull, J., Klaassen, C.D. (Eds.), The Basic Science of Poisons, Pergamon Press, New York, pp. 623-680.
- Houshmandfar, A. ve Moragebi, F., 2011. Effect of Mixed Cadmium, Copper, Nickel and Zinc on Seed Germination and Seedling Growth of Safflower. African Journal of Agricultural Research, 6 (6), 1463-1468.
- Houshmandfar, A. ve Moraghebi, F., 2010. Evaluation of Heavy Metal Tolerance at Different Clover Plant Growth Stages. Iranian Journal of Plant Physiology, 1 (2), 95-99.
- Kabir, M., Iqbal, M.Z., Muhammad, M. ve Farooqi, Z.R., 2008. Reduction in Germination and Seedling Growth of *Thespesia populnea* L., Caused by Lead

- and Cadmium Treatments. Pakistan Journal of Botany, 40 (6), 2419-2426.
- Kalaycıoğlu, S., 2005. Isırgan (*Urtica dioica* L.) Bitkisinde Bazı Ağır Metallerin Büyüme Parametreleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 57s.
- Khan A.A., 1992. Preplant physiological seed conditioning. Horticultural Reviews, 14, 131-181.
- Kırbağ-Zengin, F. ve Munzuroğlu, Ö., 2003. Fasulye Fidelininin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum(Cd⁺⁺) ve Cıva (Hg⁺⁺)'nın Etkileri. Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 24 (1), 64-75.
- Kumar, M., Pant, B., Mondal, S. ve Bose, B., 2016. Hydro and Halo Priming: Influenced Germination Responses in Wheat Var-HUW-468 Under Heavy Metal Stress. Acta Physiologiae Plantarum, 38, 217.
- Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V. ve Mothersill C., 1996. The Differential Effect of Cadmium Exposure on the Growth and Survival of Primary and Established Cells from Fish and Mammals. Cell Biology and Toxicology, 12, 29-38.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants: London, Academic Press, 889 p.
- Mavi, K., Ermiş, S. ve Demir, İ., 2006 The Effect of Priming on Tomato Rootstock Seeds in Relation to Seedling Growth. Asian Journal of Plant Sciences, 5 (6), 940-947.
- Mavi, K., Karaca, F. ve Yetişir, H., 2010. Effects of Different Priming Techniques on Germination and Seedling Emergence in Naturally Aged Melon Seeds, VIII. Sebze Tarımı Sempozyumu Bildirileri, Haziran 2010, Van, Türkiye, s.273-277.
- Moulick, D., Ghosh, D. ve Chandra Santra, S., 2016. Evaluation of Effectiveness of Seed Priming with Selenium in Rice During Germination Under Arsenic Stress. Plant Physiology and Biochemistry, 109, 571-578.
- Muhammad, S., Iqbal, M.Z. ve Mohammad, A., 2008. Effect of Lead and Cadmium on Germination and Seedling Growth of *Leucaena leucocephala*. Journal of Applied Science and Environmental Management, 12 (2), 61-66.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. ve Pehlivan, M., 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. Alınteri, 17 (B), 14-26.
- Patade, Y.V., Maya, K. ve Zakwan, A., 2011. Chemical Seed Priming as a Simple Technique to Impart Cold and Salt Stress Tolerance in Capsicum. Journal of Crop Improvement, 25, 497-503.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E. ve Parsons, J.G., 2001. Uptake and Effects of Five Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 66, 727-734.
- Peralta-Videa, J.R., de la Rosa, G., Gonzalez, J.H. ve Gardea-Torresdey, J. L., 2004. Effects of the Growth Stage on the Heavy Metal Tolerance of Alfalfa Plants. Advances in Environmental Research, 8 (3-4), 679-685.
- Qaisar, A., Iqbal, S., Jabeen, K. ve Latif, S., 2014. Response of Maize to Hydrogen Peroxide Priming Under Chromium Stress. Mycopath, 12 (2), 123-127.
- Shao, Y., Jiang, L., Zhang, D., Ma, L. ve Li, C., 2011. Effects of Arsenic, Cadmium and Lead on Growth and Respiratory Enzymes Activity in Wheat Seedlings. Journal of Agricultural Research, 6 (19), 4505-4512.
- Shinwari, K.I., Jan, M., Shah, G., Khattak, S.R., Urehman, S., Daud, M.K. ve Jamil, M., 2015. Seed Priming with Salicylic Acid Induces Tolerance against Chromium (VI) Toxicity in Rice (*Oryza sativa* L.). Pakistan Journal of Botany, 47 (SI), 161-170.
- Smiri, M., 2011. Effect of Cadmium on Germination, Growth, Redox and Oxidative Properties in *Pisum sativum* Seeds. Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, 3 (3), 52-59.

- Sneideris, L.C., Gavassi, M.A., Campos, M.L., D'amico-Damiao, V. ve Carvalho, R. F., 2015. Effects of Hormonal Priming on Seed Germination of Pigeon Pea under Cadmium Stress. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 87 (3), 1847–1852.
- Sung, Y., Cantliffe, D.J. ve Nagata, R. 1998. Using a Puncture Test to Identify the Role of Seed Coverings on Thermotolerant Lettuce Seed Germination. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 123, 1102-1106.
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B. ve Liu, Y.L., 2004. Vigor Tests Used to Rank Seed Lot Quality and Predict Field Emergence in Four Forage Species. *Crop Science*, 44 (2), 535-541.
- Zornoza, P., Robles, S. ve Martin, N., 1999. Alleviation of Nickel Toxicity by Ammonium Supply to Sunflower Plants. *Plant and Soil*, 208, 221–22.

Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Jeomorfik İndislerle İncelenmesi

Investigation of the relative tectonic activity of the Karacasu Fault (SW Turkey) by geomorphic indices

Savaş TOPAL*

Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Yerleşkesi, 20017, Denizli

• Geliş tarihi / Received: 26.03.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 21.05.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 09.06.2018

Öz

Ege genişleme sistemindeki KB gidişli havzalardan birisi olan Karacasu Havzası, Büyük Menderes Grabeni'ni eğik olarak kesmektedir. Karacasu Havzası yaklaşık 30 km uzunluğa ve 10 km genişliğe sahip bir yarı graben şeklinde gelişmiştir. Grabeni GB'dan sınırlayan fay, Karacasu Fayı olarak adlandırılmaktadır. Neojen öncesi temel Menderes Masifi'nin gnays ve şistlerinden oluşur. Bu metamorfik temel üzerine havza kenarları boyunca çakıltaşı ve kumtaşları, havza merkezinde ise çamurtaşları ve kireçtaşları ile temsil edilen Miyo-Pliyosen yaşlı havza dolgusu uyumsuz olarak gelir. Üstte en genç olan birim Karacasu Formasyonu'nun Kuvaterner yaşlı kaba kırıntıları yer alır. Karacasu Fayı'nın gidişi, devamlılığı ve geometrisi dikkate alınarak, Çamköy ve Yazır olmak üzere iki ayrı segmente ayrılır. KB gidişli Karacasu Fayı'nın denetlediği dağ önleri ve drenaj alanlarında dağ önü sinüslülük oranı (Smf), vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf), akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), havza asimetri faktörü (AF), hipsometrik eğri ve integral (Hi) ve drenaj havzası şekli (Bs) indisleri, 12.5 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu indislerin ortalaması kullanılarak göreceli tektonik aktivite (Iat) indisi elde edilmiştir. Elde edilen Iat indisi verileri, Çamköy ve Yazır segmentlerinin KB uçlarında çok yüksek, diğer bölümlerinde ise yüksek tektonik aktivite durumuna işaret etmektedir. Segmentlerin uzunluğu ve bölgedeki eski depremler, Karacasu Fayı'nın yakın gelecekte M6 veya üzeri büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Göreceli tektonik aktivite, Jeomorfik analiz, Karacasu Fayı, Tektonik jeomorfoloji

Abstract

The NW-SE trending Karacasu basin in the Aegean Extensional System cuts obliquely the Büyük Menderes graben. The Karacasu Basin was developed in the form of a half-graben with about 30 km long and about 10 km a width. This fault is called Karacasu Fault. The Pre-Neogene basement consists of schists and gneisses of the Menderes Massif. The Mio-Pliocene basin fill are represented by the conglomerates and sandstones along the basin margins, and mudstones and limestones at the basin center. This basin fill rest unconformably on the metamorphic basement, which is represented by the conglomerates and sandstones along the basin margins and mudstones and limestones at the basin center. The youngest unit is Quaternary units consists of coarse clastics. Based on direction, continuity and geometry of the Karacasu Fault is divided into two sub-segments as Çamköy and Yazır. Mountain front sinuosity (Smf), the ratio of valley floor width to valley height (Vf), stream length-gradient index (SL), asymmetry factor (AF), hypsometric integral (Hi) basin shape indices in the drainage areas and mountain fronts were calculated using DEM (12.5 m resolution) to determine the relative tectonic activity of the Karacasu Basin. By using the average of these calculated indices, the relative tectonic activity (Iat) index data point to was obtained. The relative tectonic activity of the segments with the obtained Iat index is divided into two classes. Iat index suggests very high relative tectonic activities for the NW tips of the both segments, while high tectonic activities was determined for the other parts of these segments. Based on findings on this study, the length of the segments and the ancient earthquakes in the region indicate the Karacasu Fault has a potential to produce earthquakes with M6 and or higher magnitudes earthquakes in the near future.

Keywords: Relative tectonic activity, Geomorphic analysis, Karacasu Fault, Tectonic geomorphology

* Savaş TOPAL; savastopal@pau.edu.tr; Tel: (0507) 245 61 28; orcid.org/0000-0001-7451-6606

1. Giriş

GB Anadolu gibi açılmanın halen devam ettiği bölgelerde yapılacak topografya analizleri ve drenaj ağları ile ilgili çalışmalar, özellikle mevcut tektonik süreçler ve bunların faaliyetleri hakkında bilgi vermektedir. Bu bilgilere ulaşmak için on yıllardır devam eden çeşitli nicel çalışmalar yapılmaktadır (Bull ve McFadden, 1977; Rockwell vd., 1985; Merritts ve Vincent, 1989; Burbank, 1992; Burbank ve Anderson, 2001; Keller ve Pinter, 2002; Kirby ve Whipple, 2012; Özkaymak, 2014; Topal vd., 2016; Topal, 2018; Topal ve Özkul, 2018). Yirminci yüzyılın başından itibaren, mevcut tektonik süreçlerin kapsamını tahmin etmeye yönelik çeşitli jeomorfik indisler öne sürülmüştür. Coğrafi bilgi sistemleri tekniklerinin hızlı gelişimi ve sayısal yükseklik modeli (SYM) kalitesinde ve erişimindeki sürekli ilerleme, çeşitli ortamlarda ve ölçeklerde jeomorfik indisleri hesaplamak ve analiz etmek için güçlü ve verimli araçlar sağlamaktadır.

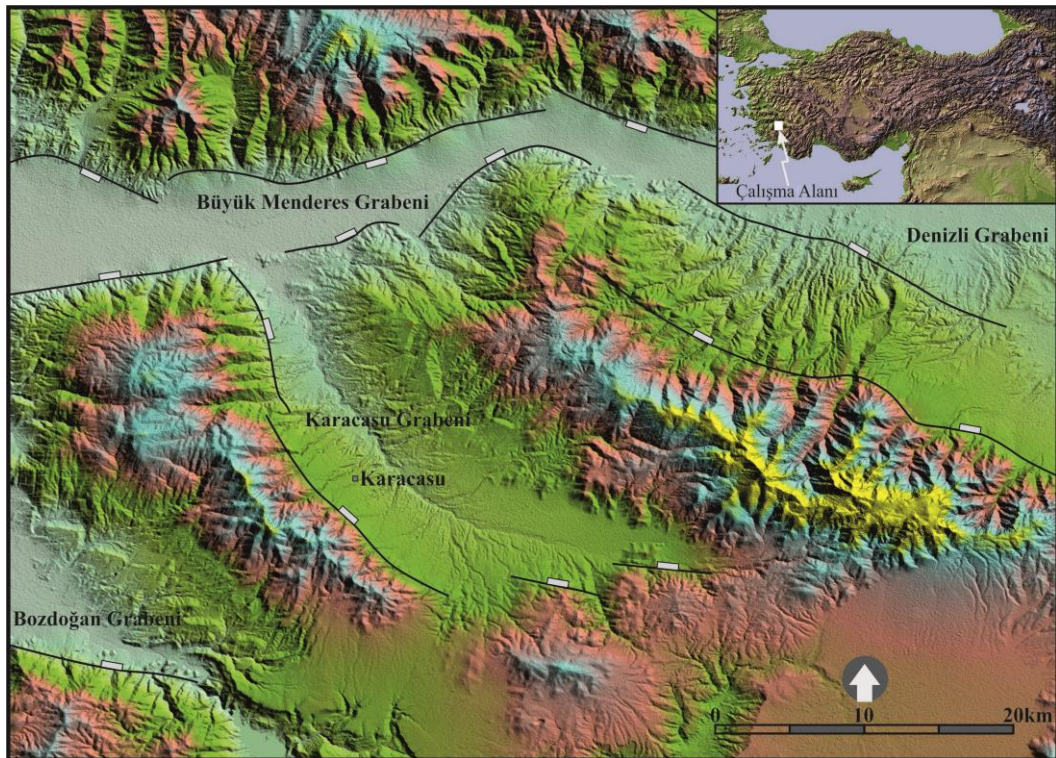
Jeomorfik indisler, deformasyon süreçlerine yönelik topografik tepkileri tespit edebildiklerinden aktif tektonizmayı araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, Karacasu Fayı'nın tektonik deformasyonu hakkında bilgiler elde etmek için fayın üzerinde ve sınırlandırdığı drenaj alanlarındaki morfo-

metrik özellikler analiz edilmiştir. Tektonik sinyalleri ortaya çıkarmak için, litoloji ve aktif fay özellikleri yanı sıra, ana nehirlerin uzunlamasına profillerinden jeomorfik indisler kullanılmıştır. Bu çalışma sırasında elde edilen bulgular, benzer tektonik yapıya sahip aktif fayların tanımlanması için bir göstere olarak kullanılabilir.

Karacasu havzasının paleocoğrafyası, paleoklimatolojisi, sedimantolojisi ve tektono-sedimanter evrimi hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Açıkalm, 2005; Alççek ve Jimenez-Moreno, 2013; Ocakoğlu vd., 2014). Ancak bu havzanın paleosismolojisi ve havzayı batıdan sınırlayan Karacasu Fayı'nın tektonik aktivitesi hakkında henüz yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma ile Karacasu Fayı'nın sınırlandırdığı drenaj alanları ve dağ önleri boyunca jeomorfik indisler kullanılarak, çalışma alanının göreceli tektonik aktivitesinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi

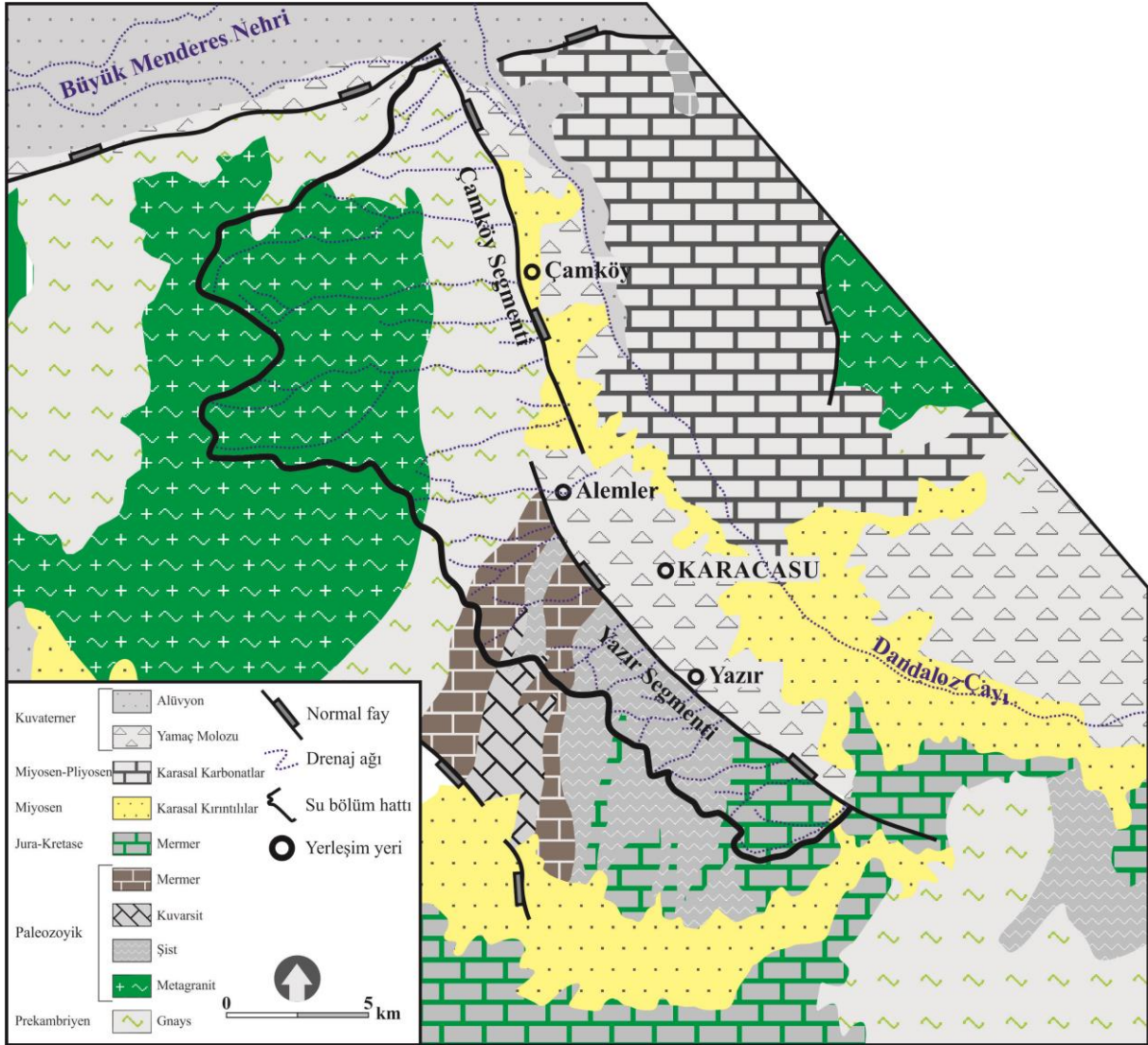
Ege genişleme sisteminde yer alan Karacasu havzası, KB-GD gidişlidir ve Büyük Menderes grabenini verev bir şekilde keser. Batısı normal faylarla sınırlı Karacasu Havzası yarı graben şeklinde gelişmiş, yaklaşık 30 km uzunluğa ve 10 km genişliğe sahip bir havzadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve komşu grabenlerle ilişkisi.

Karacasu Havzası'ndaki taban kayaları, Mendere masifini oluşturan çekirdek ve örtü metamorfizmaları ile bunları tektonik olarak örten ofiyolitlerden meydana gelmektedir. Metamorfik temel, birbirlerine yanal ve düşey geçişler gösteren gnays, şist, kuvarsit ve mermerler ile birlikte, çalışma alanının güneyinde ve doğusunda metasedimanter kayalardan oluşur (Şimşek ve Yılmaz, 1977). Gnayslar genellikle iki mikalı ve bazı kesimlerde gözlü gnays olarak tanımlanmaktadır (Nebert, 1955; Kastelli, 1971). Çalışma alanında en yaygın olarak görülen kaya grubu şistlerdir. Yer yer granat içerdikleri de gözlenen bu şistler, çoğunlukla mikaşist karakterindedir. Diğer bir metamorfik kayaç grubu olan kuvarsitler ise gnays ve şistler kadar yaygın olmayıp, mikaşistler ve gnayslar içinde ara bantlar halinde görülürler (Kastelli, 1971; Şimşek ve Yılmaz, 1977). Mikaşistler arasında yaygın

olarak bulunan ve çoğunlukla mika içeren mermerler bazı yerlerde kalkışist görünümündedir (Kastelli, 1971). Karacasu Grabeni'nin güneydoğu kenarında ve doğu ucunda Neojen birimlerine temel oluşturan kayalar genellikle metasediment karakterindedir (Açıklın, 2005, Ocakoğlu vd., 2014). Konak ve Göktaş (2004) tarafından hazırlanan 1/100000 ölçekli jeoloji haritasında Erken Triyas'dan Geç Kretase'ye kadar değişen yaşlara sahip zayıf metamorfik çört, çörtlü kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı ve dolomitlerin yayılımları gösterilmektedir. Çalışma alanında sınırlı bir yayılıma sahip olan ofiyolitik kayalar, oldukça altere ve bazı kesimleri neredeyse tamamen serpantinleşmiş ultramafitlerden oluşmaktadır (Açıklın, 2005). Karbonat yoğun seviyelere de sahip olan bu kaya topluluğu, Konak ve Göktaş (2004) tarafından Kretase yaşlı peridotitler olarak haritalanmıştır.



Şekil 2. Karacasu havzasının jeoloji haritası (Konak ve Göktaş, 2004; Açıklın, 2005; Alçiçek ve Jimenez-Moreno, 2013; Ocakoğlu vd., 2014).

Yaklaşık 30 km uzunluğa sahip Karacasu Fayı, KB'da Büyük Menderes Grabeninden başlayarak Alemler Köyü'ne kadar K20°B doğrultusunda devam etmektedir. Alemler Köyü yakınlarında batıya doğru 500 m sıçrama yapan fay, buradan itibaren GD'ya doğru K40°B doğrultusunda devam eder. Bu sıçrama nedeniyle fay 2 farklı segment şeklinde gelişmiştir. Bu çalışmada, Alemler Köyü'nün kuzeyinde kalan segment Çamköy segmenti, güneyinde kalan segment ise Yazır segmenti olarak ele alınmaktadır. Çamköy segmentinin uzunluğu yaklaşık 12 km, Yazır segmentinin uzunluğu ise yaklaşık 18 km'dir. Jeomorfik indis hesaplamalarında Çamköy segmentinin sınırladığı 7 adet ve Yazır segmentinin sınırladığı 10 adet drenaj alanı kullanılmıştır.

3. Metod

Jeomorfik indisler, aktif bir yapı boyunca farklı yapısal bölümlerin belirlenmesinde ve potansiyel olarak en aktif segmentin tahmin edilmesinde yardımcı olabilir (Azor vd., 2002). Aktif tektonik çalışmalarında en yararlı jeomorfik indisler; dağ önü sinüslülük oranı (Smf), vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf), Akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), havza asimetri faktörü (AF), hipsometrik eğri ve integral (Hi) ve drenaj havzası şekli (Bs) olarak önceki çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kullanılmıştır. Hesaplanan bu indislerin sonuçlarından göreceli tektonik aktivite indisi (Iat) elde edilmiştir. Karacasu Fayı boyunca, SYM kullanılarak 17 adet drenaj alanı oluşturulmuştur. Oluşturulan drenaj alanlarında jeomorfik indis uygulamaları sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmektedir.

3.1. Dağ Önü Sinüslülük Oranı (Smf)

Dağ önü sinüslülük oranı, önceki çalışmalarda tektonik olarak aktif dağ önlerini, yaşları dikkate alınarak aktif olmayan dağ önlerinden ayırmak için kullanılmaktadır (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002).

$$Smf = Lmf / Ls \quad (1)$$

Bull (1977) tarafından önerilen formülde: dağ önünün düz çizgi uzunluğu Ls, dağın eteği boyunca dağ önü uzunluğu ise Lmf'dir. (Keller ve Pinter, 2002). Aktif faylar tarafından sınırlanan dağ önleri düşük Smf değerleri gösterirken (Smf < 1.4), yüksek Smf değerleri (Smf > 3.0) tektonik olmayan dağ önlerini işaret eder ve burada aşınma

daha baskındır (Keller ve Pinter, 2002; Silva vd., 2003; Bull, 2007; Pérez-Peña vd., 2010).

3.2. Vadi Tabanı Genişliği-Yüksekliği Oranı (Vf)

Yükselmenin tektonik etkisini anlamakta kullanılan önemli indislerden birisi Vf'dir. Vf indisi ile bir drenaj alanının şekli belirlenebilir (Bull ve McFadden, 1977; Keller ve Pinter, 2002).

Vf indisi aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$Vf = 2Vfw / (Eld - Esc) + (Erd - Esc) \quad (2)$$

Formülde, Vfw, vadi tabanının genişliği, Erd ve Eld, vadinin sağ ve sol kenarının yüksekliği ve Esc vadi tabanının ortalama yüksekliğidir (Bull, 1977; Bull ve McFadden, 1977).

Vf değerlerinin yüksek veya düşük olması tamamen vadinin şekline bağlıdır. "V" şekilli bir vadinin Vf değeri düşük, yükselme oranı yüksektir. (Bull ve McFadden, 1977; Rockwell vd., 1985; Silva vd., 2003; El Hamdouni vd., 2008). Bu makaledeki Vf değerleri, dağ önlerinden 350 m vadi yukarı kesimlerde hesaplanmıştır.

3.3. Akarsu Uzunluk-Gradyan İndisi (SL)

Vadi kanalı boyunca olası tektonik aktivite, kaya direnci ve topoğrafya arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla SL indeksi kullanılmaktadır (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2002).

Akarsu uzunluk-gradyan indisi değeri;

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad (3)$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Bu formüle göre,

ΔH : Akarsu kanalının yükseklik değişimini (maksimum yükseklik / minimum yükseklik),

ΔL : Akarsu segmentinin uzunluğunu,

L: indis hesaplama noktasından, vadinin en yüksek noktasına kadar olan mesafenin metre olarak değerini ifade etmektedir (Hack, 1973; Keller ve Pinter, 2002).

Akarsu uzunluk-gradyan indisi akarsuyun akış gücüyle ilişkili olup, zirve noktasında nehrin ulaşabildiği güç önemli bir hidrolojik değişkendir ve doğrudan yatağını aşındırması ve sediman taşınması özelliklerini belirler. Bu indis kanal

eğiminin değişimine çok duyarlıdır. Kanal eğimi ise olası tektonik etkinlik, kayaçların dayanımı ve topoğrafya ile ilişkilidir. SL indisi sert kayaların üzerinden geçerken artar. Buna karşılık, seyl-silttaş-bazı kumtaşları ve karbonat kayaçlardan geçerken düşer. Düşük SL değerine sahip kayaçların içinden geçerken aniden yüksek SL değerlerine sahip bir bölgenin varlığını yakalamak olası bir fayı işaret edebilir. Ayrıca çok düşük değerlerde (özellikle çizgisel bir hat boyunca) benzer şekilde yorumlanabilir.

3.4. Havza Asimetri Faktörü (AF)

AF'nin hesaplanması, topografyanın eğimini (tiltlenme miktarını) belirlemek için niceliksel olarak hızlı bir yöntemdir (Hare ve Gardner, 1985, Cox, 1994, Keller ve Pinter, 2002). Havza asimetri faktörü, drenaj alanındaki akışın hangi kenara yakın olduğunu belirleyerek, topoğrafyanın tiltlendiği yönü tespit etmek için geliştirilmiştir.

Havza asimetri faktörü;

$$AF = 100 (A_r / A_t) \quad (4)$$

formülü ile hesaplanır. Formülde, A_r , drenaj havzasındaki akışın sağında kalan bölgenin alanı, A_t ise drenaj alanının toplam alanını ifade eder. 50'ye yakın AF değerleri, eğilmenin az veya hiç olmadığını gösterirken, daha yüksek veya daha düşük değerler, aktif tektoniğin neden olduğu havzalardaki tiltlenmeyi gösterir.

3.5. Hipsometrik Eğri ve İntegral (H_i)

Hipsometrik eğri ve integral bir drenaj havzasının evrimi hakkında bilgi verir. Strahler (1952), hipsometrik eğrinin şekillerine dayanılarak, drenaj alanlarının diseksiyonunun (aşınım) tipik aşamalarını, (i) genç evre, (ii) olgun evre ve (iii) eski evre olmak üzere üç tip olarak sınıflandırmıştır. Konkav şekilli eğriler, havzanın genç evresiyle ilişkilidir ve bu da bölgenin az aşındırıldığını ve bozulmadığını gösterir. "S" şekilli eğriler, drenaj alanının orta-olgun evrede olduğunu ve orta derecede bir aşınmaya uğradığını gösterir. Konveks olan eğriler ise olgun evredeki drenaj alanlarını, bu alanların oldukça aşınmış ve bozulmuş olduğunu gösterir. Hipsometrik integral aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$H_i = (h_{mean} - h_{min}) / (h_{max} - h_{min}) \quad (5)$$

Hipsometrik integral, havza geometrisi, rölyef ve drenaj havzası alanına bağlıdır (Lifton ve Chase, 1992; Hurtrez vd., 1999; Chen vd., 2003). Havzaların gelişimi ve erozyonunun jeolojik evreleri hipsometrik integral ile hesaplanabilir. Hipsometrik integralin yüksek değeri, drenaj alanının nispeten daha az erozyona maruz kaldığını ve genç evrede olduğunu gösterir.

3.6. Drenaj Havzası Şekli (B_s)

Drenaj havzası şekli indeksi tektonik jeomorfolojide tamamlayıcı bir metot olarak kullanılmıştır. B_s bir havzada iki uzak nokta arasındaki planimetrik ölçüdür (Ramirez-Herrera, 1998). Aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$B_s = B_l / B_w \quad (6)$$

Formülde;

B_l : Havzanın uzunluğu,

B_w : Havzanın genişliğidir.

B_s 'nin yüksek değeri uzamış havzaları, düşük değeri ise daha dairesel havzaları ifade eder. Uzamış şekilli havzalar tektonik açıdan aktif alanları karakterize eder. Bu metot, Mojave Çölü (California) (Bull ve McFadden, 1977) ve Acambay Grabeni (Meksika) (Ramirez-Herrera, 1998) gibi tektonik açıdan aktif olduğu düşünülen dağ önlerine yakın drenaj havzalarına uygulanmıştır.

3.7. Göreceli Tektonik Aktivite İndisi (I_{at})

Hesaplanan bütün jeomorfik indislerin ortalaması kullanılarak göreceli tektonik aktivite indisi oluşturulur (El Hamdouni vd., 2008). Bu indis eski çalışmalarda bir bölgenin göreceli tektonik aktivitesinin belirlenmesi için yaygın bir şekilde kullanılan en önemli indislerden birisidir. Çalışılan bölgedeki jeomorfik indislerin bir özetini ve ortalamasını temsil eder:

$$I_{at} = S / N \quad (7)$$

S, indis sonuçlarının toplamı ve N, seçilen indislerin sayısıdır (El Hamdouni vd., 2008). Bu indisin sonuçları, aktif tektoniğin derecesini tanımlamak amacıyla dört sınıfa ayrılmıştır: 1-çok yüksek ($1.0 \leq I_{at} < 1.5$); 2-yüksek ($1.5 \leq I_{at} < 2.0$); 3- orta ($2.0 \leq I_{at} < 2.5$); ve 4 düşük ($2.5 \leq I_{at}$) (El Hamdouni vd., 2008).

4. Jeomorfik İndis Sonuçları ve Tartışma

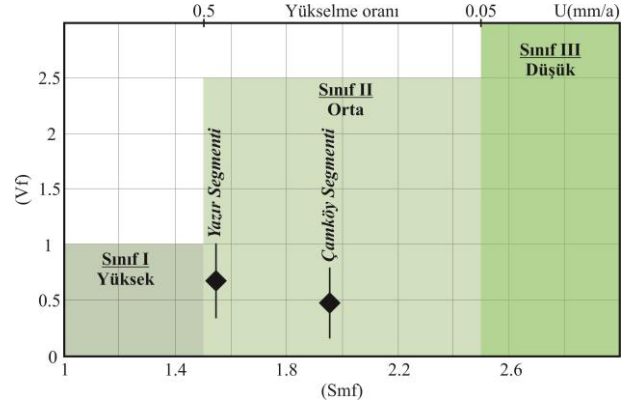
Jeomorfik indis sonuçlarını tartışmadan önce indislerin hesaplandığı kayaç türlerinin aşınmaya karşı dayanımlarını araştırmakta fayda vardır. Drenaj alanlarının üzerinde geliştiği kayaç türlerinin aşınma karşı direnci, hesaplanan indislerde değişimlere yol açmaktadır. Selby (1980) tarafından tanımlanmış kaya direnci sınıflandırması kullanılarak inceleme alanındaki litolojilerin dayanıklılığı tespit edilmiştir. Buna göre kayaçlar; düşük dayanımlı (alüvyon, yamaç molozu), orta dayanımlı (karasal kırıntılılar ve karasal karbonatlar) ve yüksek dayanımlı (metagranit, kuvarsit, gnays, şist ve mermerler) olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Karacasu fayının sınırladığı drenaj alanlarının tamamı Menderes masifine ait kayaçlar üzerinde gelişmiştir (Şekil 2). Menderes masifine ait aşınma dayanıklı kayaçlar (metagranit, kuvarsit, gnays, şist ve mermerler) üzerinde gelişen bu drenaj alanlarında tektonik yükselme genellikle aşınımından daha baskındır (Şekil 2).

Bu çalışmada SYM kullanılarak elde edilen jeomorfik indis sonuçları, Karacasu Fayı'nı oluşturan segmentlere göre aşağıda verilmektedir (Şekil 6) (Tablo 1).

4.1. Çamköy Segmenti

Karacasu havzasını batıdan sınırlandıran Karacasu Fayı boyunca uzanan dağ önleri için Smf değerleri hesaplanmıştır (Şekil 6) (Tablo 1). Çamköy segmenti için 1.52 ile 2.51 arasında değişen bu değerler ortalaması 1.91 olarak elde edilmiştir. Smf indisi önceki çalışmalarda göreceli tektonik aktiviteye göre (sınıf 1: $Smf > 1.1$; sınıf 2: $1.1 \leq Smf < 1.5$ ve sınıf 3: $Smf \geq 1.5$) 3 sınıfa ayrılmıştır (El Hamdouni vd., 2008). Çamköy segmentinin 1.5'ten büyük Smf değerleri, göreceli tektonik aktivite bakımından 3. sınıfa dahil olduğunu göstermektedir. Smf değerinin 3. Sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmesi fay önünde gelişen yamaç molozları ve alüvyal yelpazelerin dağ önündeki düzlüğü bozmasıyla açıklanabilir. Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında hesaplanan Vf değerleri 0.21-0.65 arasında değişmektedir. Ortalaması ise 0.43 olarak hesaplanmıştır. El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada Vf indisi değerlerine göre drenaj alanları göreceli tektonik aktivite açısından 3 farklı sınıfa (sınıf 1: $Vf \leq 0.5$; sınıf 2 ($0.5 \leq Vf < 1.0$ ve sınıf 3: $Vf \geq 1$) ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre Vf indisinin ortalama değeri göreceli tektonik aktivitenin 1. sınıfına karşılık gelmektedir. Önceki çalışmalarda Smf ve Vf

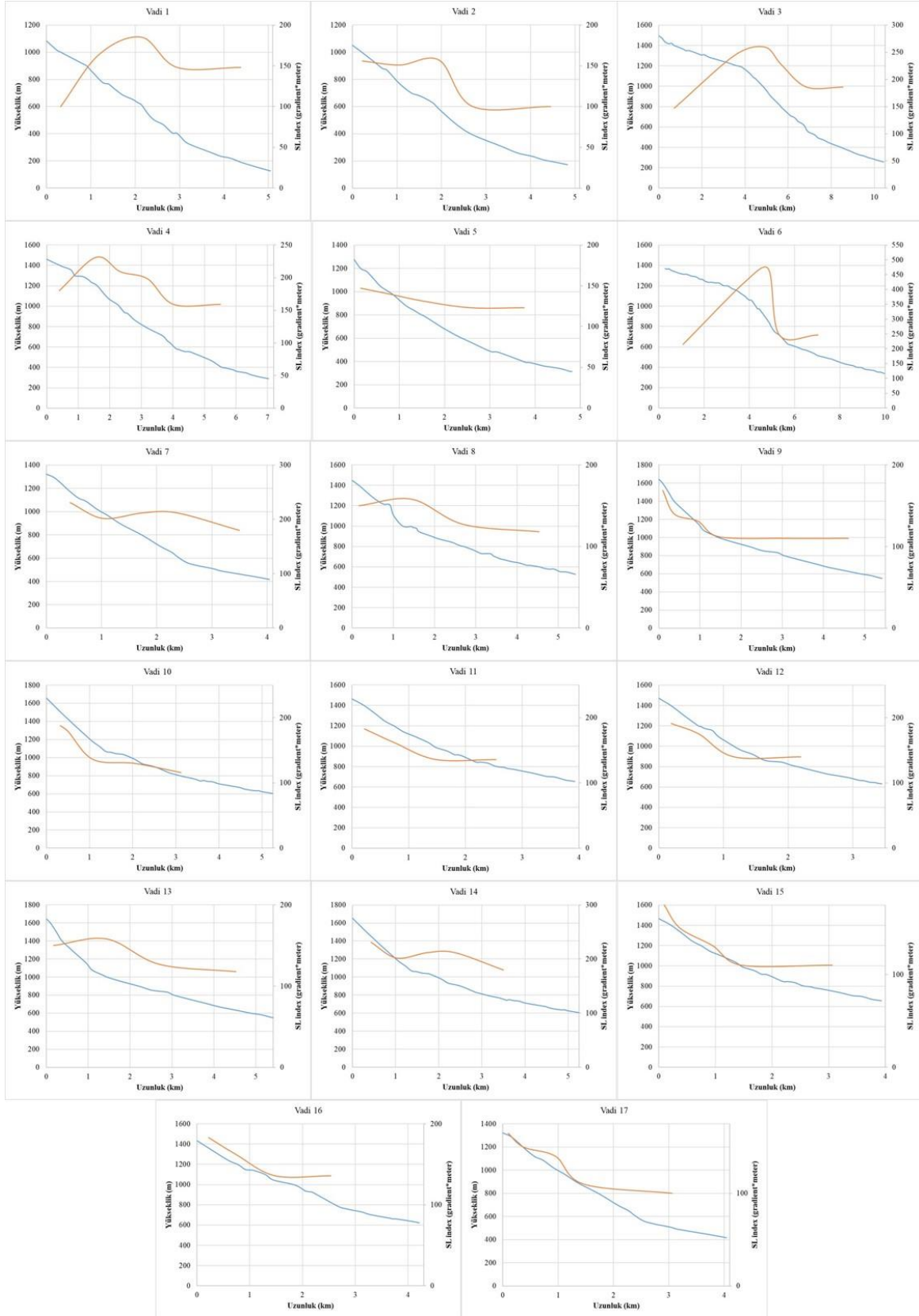
indisleri beraber analiz edilmiş ve bu iki indisin analizi, hem o bölgedeki tektonik aktivitenin belirlenmesine, hem de yükselme oranının belirlenmesi hakkında bilgi vermektedir (Rockwell vd., 1984). Smf ve Vf indislerinin analizi sonucunda Çamköy segmentinin göreceli tektonik aktivitesi orta sınıf olarak belirlenmiştir. Yükselme oranı da 0.05-0.5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Karacasu Fayı'nı oluşturan dağ önlerinde hesaplanan dağ önü sinüslülük oranı (Smf) ve vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf) değerlerinin grafiği ve Rockwell vd., (1984) tarafından ileri sürülen yükselme oranları.

Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında, her 200 m yükseklik boyunca SL indisi hesaplanmıştır (Şekil 4 ve 6). Hesaplanan SL indisinin en düşük değeri 100 (2 nolu drenaj alanı), en yüksek değeri de 460 (6 nolu drenaj alanı) olarak elde edilmiştir (Şekil 4) (Tablo 1). Önceki çalışmalarda SL indisi 3 farklı tektonik sınıfa (sınıf 1: $SL \geq 120$; sınıf 2: $80 \geq SL \leq 119$ ve sınıf 3: $SL \leq 79$) ayrılmıştır (El Hamdouni vd., 2008). Çamköy segmenti için ortalama SL indisi değeri 198 olup, göreceli tektonik aktivite 1. sınıf olarak belirlenmiştir.

Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında AF indisi hesaplanmıştır. Hesaplanan indis değerlerinin en düşüğü 4 nolu (AF=45) ve en yüksek değeri de 7 nolu (AF=74) drenaj alanında hesaplanmıştır (Tablo 1). AF'nin 50'den büyük olduğu drenaj alanları KB'ya doğru tiltlenmeyi gösterirken, 50'den düşük AF değerleri GD'ya doğru eğime işaret etmektedir (Şekil 6) (Tablo 1). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada AF indisi 3 farklı tektonik sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre: 1. sınıf: $AF > 65$ veya $AF < 35$; 2. sınıf: $36 < AF < 43$ veya $57 < AF < 65$; 3. sınıf: $44 < AF < 57$ şeklindedir. Hesaplanan AF indis değerleri (45-74), Çamköy segmentinin 1. derecede tektonik aktiviteye sahip olduğunu öngörmektedir (Tablo 1).



Şekil 4. İnceleme alanındaki 17 adet drenaj alanı için boyuna nehir profilleri ve ölçülen SL değerleri.

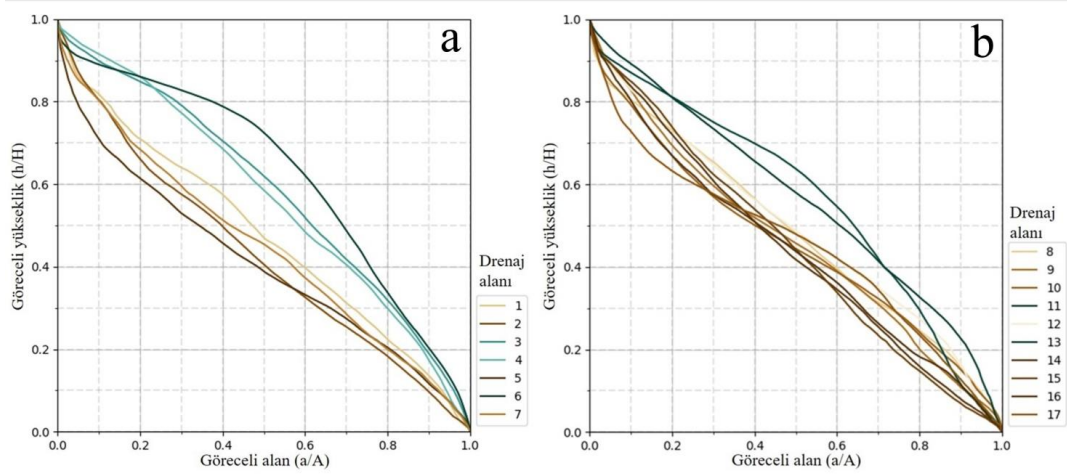
Çamköy segmentinin sınırladığı drenaj alanları (1-7 nolu drenaj alanları) boyunca hesaplanan hipsometrik integral (Hi) değerleri 0.36-0.57 arasında değişmektedir (Tablo 1). En düşük Hi

değeri 2 nolu, en yüksek değer ise 4 nolu drenaj alanında hesaplanmıştır. Elde edilen hipsometrik eğrilerin görünümlerine bakıldığında, drenaj alanlarının orta-geç evre safhasında olduğu

anlaşılmaktadır. Bu eğrilerin genellikle S şekilli veya dış bükey olduğu, özellikle 6 nolu drenaj alanında elde edilen dış bükey profilden bu drenaj alanının net olarak genç evreyi işaret ettiği anlaşılmaktadır (Şekil 5). H_i değerlerinin tektonik sınıflaması: 1. sınıf: $H_i > 5$; 2. sınıf: $5 > H_i > 4$; 3. sınıf: $H_i < 4$ şeklindedir (El Hamdouni vd., 2008). Bu sınıflamaya göre 4 ve 7 nolu drenaj alanları 1. sınıf, 1, 3, 5 ve 6 nolu drenaj alanları 2. sınıf ve 2 nolu drenaj alanı da 3. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir.

Drenaj havzası şekli (B_s) indisi hesaplamalarından elde edilen değerler 3.25-7.92

arasında değişmektedir (Tablo 1). B_s 'nin en düşük değeri 6 nolu, en yüksek değeri ise 1 nolu alanda hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, Çanköy segmentinin sınırladığı bu drenaj alanlarının uzamış havzalar olduğunu, başka bir deyişle tektonizmadan oldukça etkilendiğini göstermektedir. B_s değerlerinin göreceli tektonik aktivitesi eski çalışmalara göre 3 sınıfa ayrılmıştır. El Hamdouni vd. (2008)'in yaptığı sınıflama: 1. sınıf: ($B_s \geq 4$); 2. sınıf ($3 \leq B_s < 4$) ve 3. sınıf ($B_s \leq 3$) şeklindedir. Bu sınıflamaya göre Çanköy segmentinin sınırladığı drenaj alanlarından 6 nolu alan 2. sınıf, diğerleri ise 1. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir (Tablo 1).



Şekil 5. (a) Çanköy segmentinin sınırladığı, (b) Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında elde edilen hipsometrik eğriler.

Tablo 1. Çalışma alanının göreceli tektonik aktivitesini belirlemek için kullanılan jeomorfik indis değerleri.

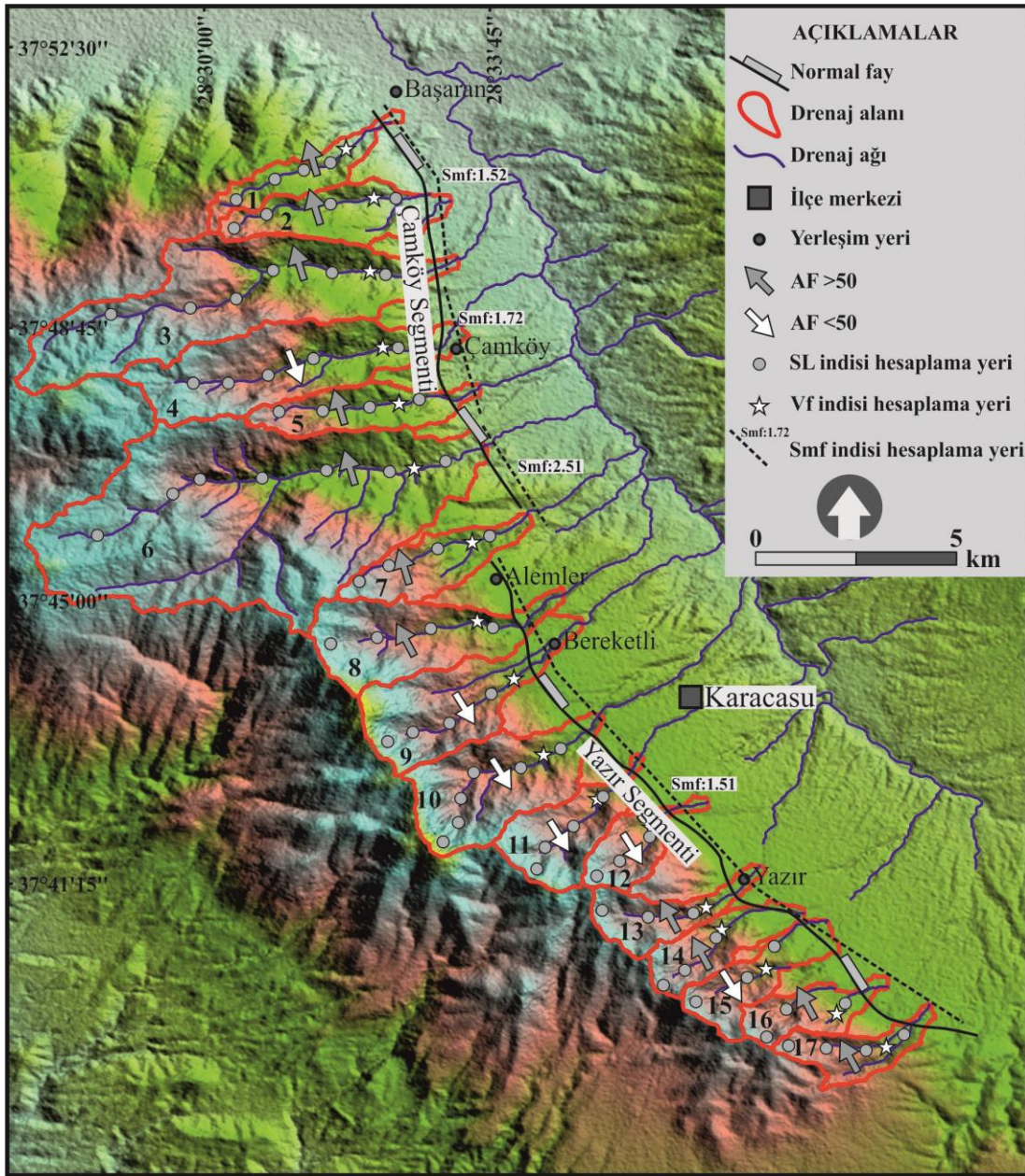
Drenaj alanı	Toplam alan	Smf			Vf	SL	H_i	AF		Bs			
		Lmf (km)	Ls (km)	Smf				At (km ²)	Ar (km ²)	AF	B (km)	Bw (km)	Bs
1	2.76				0.38	149	0.44	2.76	1.66	60	4.75	0.60	7.92
2	4.55	5.79	3.81	1.52	0.65	141	0.36	4.55	3.23	71	4.58	1.09	4.20
3	15.06				0.48	213	0.42	15.06	8.72	58	9.10	1.38	6.59
4	9.50				0.34	195	0.57	9.50	4.25	45	6.86	1.55	4.43
5	3.80	6.65	3.87	1.72	0.41	135	0.46	3.80	2.23	59	4.60	0.98	4.69
6	29.57				0.21	339	0.48	29.57	19.82	67	9.16	2.82	3.25
7	3.70	8.70	3.46	2.51	0.53	214	0.55	3.70	2.74	74	4.27	0.92	4.64
8	6.99				0.69	138	0.51	6.99	3.95	57	5.09	1.33	3.83
9	6.88				0.82	141	0.63	6.88	2.60	38	5.15	1.09	4.72
10	7.30				0.51	150	0.49	7.30	3.57	49	4.68	1.64	2.85
11	4.08				0.61	160	0.47	4.08	1.97	48	3.61	1.04	3.47
12	2.41				0.94	123	0.55	2.41	1.10	46	3.18	0.90	3.53
13	2.99	23.67	15.65	1.51	0.37	138	0.39	2.99	1.64	55	3.57	0.64	5.58
14	3.25				0.47	214	0.41	3.25	1.77	54	3.50	0.99	3.54
15	3.32				0.61	135	0.45	3.32	1.52	46	3.54	0.77	4.60
16	2.55				0.81	160	0.33	2.55	1.55	61	3.12	1.08	2.89
17	2.58				1.07	141	0.37	2.58	1.97	76	3.26	0.73	4.47

4.2. Yazır Segmenti

Karacasu Fayı'nı oluşturan segmentlerden birisi olan Yazır segmenti boyunca uzanan dağ önleri için Smf değeri 1.51 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6) (Tablo 1). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya göre Yazır segmentinin göreceli tektonik aktivitesi 3. sınıf olarak belirlenmiştir. Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında hesaplanan Vf değerleri 0.37-1.07 arasında değişmektedir. Hesaplanan Vf değerlerinin ortalaması 0.69'dur. El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya göre Vf indisinin ortalama değeri göreceli tektonik aktivitenin 1. sınıfına karşılık gelmektedir. Smf ve

Vf indislerinin birlikte analizi sonucunda Yazır segmentinin göreceli tektonik aktivitesi orta sınıftır. Yükselme oranı da 0.05-0.5 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Rockwell vd., 1984) (Şekil 3).

Yazır segmentinin sınırladığı 10 adet drenaj alanında 200 m yükseklik aralığında hesaplanan SL indisinin en düşük değeri 123 (12 nolu drenaj alanı), en yüksek değeri de 214 (14 nolu drenaj alanı) olarak elde edilmiştir (Şekil 4 ve 6) (Tablo 1). Yazır segmenti için SL'nin ortalama değeri 150 olup, önceki çalışmalarda SL indisi için yapılan sınıflamaya göre göreceli tektonik aktivitesi 1. sınıf olarak belirlenmiştir (El Hamdouni vd., 2008).



Şekil 6. Karacasu Fayı'nı oluşturan segmentlerin sınırladığı drenaj alanlarında ve dağ önleri boyunca hesaplanan jeomorfik indislerin yerleri.

Yazır segmentinin sınırladığı 10 adet drenaj alanında AF indisi hesaplanmıştır. En düşük AF değeri 9 nolu (AF=38) ve en yüksek AF değeri de 17 nolu (AF=76) drenaj alanında hesaplanmıştır (Tablo 1). 50'den yüksek AF değeri drenaj alanlarında KB'ya doğru olan tiltlenmeyi, 50'den düşük AF değerleri de GD'ya doğru olan vadi eğimini göstermektedir (Şekil 6) (Tablo 1). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya göre AF indis değerleri, Yazır segmentinin 1. derecede tektonik aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarında (8-17 nolu drenaj alanları) hesaplanan Hi değerleri 0.33-0.63 arasında değişmektedir (Tablo 1). En düşük Hi değeri 16 nolu, en yüksek değer ise 17 nolu alandan elde edilmiştir. Bu değerlerden çizilen hipsometrik eğrilerin görünümüne bakıldığında, drenaj alanlarının orta-geç evrede olduğu ve eğrilerin genellikle S şekilli veya dış bükey olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). El Hamdouni vd. (2008), tarafından yapılan sınıflamaya aktarıldığında, 8, 9, 12 nolu drenaj alanları 1. sınıf, 10, 11, 14, 15 nolu alanlar 2. sınıf ve 16, 17 nolu drenaj alanları da 3. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir.

Yazır segmenti boyunca 10 adet drenaj alanında Bs indisi hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen değerler 2.85-5.58 arasında değişmektedir. Bs'nin en düşük değeri 10 nolu, en yüksek değeri ise 13 nolu drenaj alanından elde edilmiştir (Tablo 1). Bu değerler, Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarının uzamış havzalar olduğunu ve tektonizmadan oldukça etkilendiğini ortaya koymaktadır. El Hamdouni vd. (2008)'in yaptığı sınıflamaya göre Yazır segmentinin sınırladığı drenaj alanlarından 9, 13, 15, 17 nolu alan 1. sınıf, 8, 11, 12, 14 2. sınıf ve 10, 16 nolu alanlar da 3. sınıf tektonik aktiviteye karşılık gelmektedir (Tablo 1).

Iat indisi değerlerine göre yapılan sınıflamada;

- Çok yüksek göreceli tektonik aktivite: 1, 8 ve 9 nolu drenaj alanlarında,
- Yüksek göreceli tektonik aktivite: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17 nolu drenaj alanlarında
- Orta göreceli tektonik aktivite: 10 ve 16 nolu drenaj alanlarında belirlenmiştir.

Iat indis değerleri dikkate alındığında, Çamköy ve Yazır segmentlerinin KB uçları çok yüksek göreceli tektonik aktiviteyi gösterse de fayın geneline bakıldığında, Karacasu Fayı yüksek

göreceli tektonik aktiviteye sahip olduğu söylenebilir.

5. Sonuçlar

Sayısal yükseklik modeli kullanılarak yapılan morfometrik çalışmalar, bir bölgenin göreceli tektonik aktivitesini belirlemede kullanılabilir. Karacasu Fayı'nın göreceli tektonik aktivitesini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, dağ önleri için; dağ önü sinüslülük oranı (Smf), vadi tabanı genişliği-yüksekliği oranı (Vf), fayın sınırladığı drenaj alanları için; akarsu uzunluk-gradyan indisi (SL), havza asimetri faktörü (AF), hipsometrik eğri ve integral (Hi) ve drenaj havzası şekli (Bs) indisleri kullanılmıştır. Hesaplanan jeomorfik indisler için, eski çalışmalar kullanılarak üç farklı tektonik sınıf belirlenmiştir. Bu tektonik sınıflandırmaların ortalaması alınarak her bir drenaj alanı için göreceli tektonik aktivite indisi Iat hesaplanmıştır. Iat indisine göre, Çamköy ve Yazır segmentlerinin KB uçları çok yüksek derecede göreceli tektonik aktiviteye sahiptir. Segmentlerin diğer bölümlerinde hesaplanan Iat değerleri de yüksek derecede tektonik aktiviteyi işaret etmektedir. Elde edilen veriler, segmentlerin uzunluğu ve bölgede meydana gelen eski depremler dikkate alındığında, Karacasu Fayı'nın M6 veya üstü büyüklüğe sahip deprem üretme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Açıkalın, S., 2005. Sedimentary evolution of the Karacasu cross-graben (Aydın, West Anatolia). MSc, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey.
- Alçıçek, H. ve Jiménez-Moreno, G., 2013. Late Miocene to Pliocene fluvio-lacustrine system in Karacasu Basin (SW Anatolia, Turkey): depositional, palaeogeographic and palaeoclimatic implications. *Sedimentary Geology*, 291, 62–83.
- Azor, A., Keller, E.A. ve Yeats, R.S., 2002. Geomorphic indicators of active fold growth; South Mountain-Oak Ridge Anticline, Ventura Basin, Southern California. *Geological Society of America Bulletin*, 114, 745–753.
- Bull, B. W., 1977. Tectonic geomorphology of the Mojave Desert, U.S. Geological Survey Contact Report 14-08-001-G-394.

- Bull, W.B. ve McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology North and south of the Garlock fault, California, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, in: Geomorphology in Arid Regions, Doehring, D. O., (Ed), State University of New York, Binghamton, 115–138.
- Burbank, D.W. ve Anderson, R.S., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science.
- Burbank, D.W., 1992. Causes of recent Himalayan uplift deduced from deposited patterns in the Ganges basin. *Nature*, 357, 680–683.
- Chen, Y.C., Sung, Q. ve Cheng, K.Y., 2003. Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: Tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56, 109-137.
- Cox, R.T., 1994. Analysis of Drainage-Basin Symmetry as a Rapid Technique to Identify Areas of Possible Quaternary Tilt-Block Tectonics An Example from the Mississippi Embayment. *Geological Society American Bulletin*, 106, 571-581.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. ve Keller, E.A., 2008. Assessment of relatiand actiand tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96.
- Hack, J.T., 1973. Stream profile analysis and stream gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, 1 (4), 421–429.
- Hare, P.W. ve Gardner, T.W., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica, Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, in: Tectonic Geomorphology, Morisawa, M. and Hack, J.T., (Eds), Allen and Unwin, Boston, 123–134.
- Hurtrez, J.E., Lucazeau, F., Lavé, J. ve Avouac, J.P., 1999. Investigation of the relationships between basin morphology, tectonic uplift, and denudation from the study of an active fold belt in the Siwalik Hills, central Nepal. *Journal of Geophysical Research*, 104, 12779-12796.
- Kastelli, M., 1971. Denizli-Sarayköy-Çubukdağ-Karacasu alanı jeoloji incelemesi, MTA Raporu, Derleme No: 2532.
- Keller, E.A. ve Pinter, N., 2002. Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Edn.): New Jersey, Prentice Hall, 432 p.
- Kirby, E. ve Whipple, K.X., 2012. Expression of Active Tectonics in Erosional Landscapes. *Journal of Structural Geology*, 44, 54-75.
- Konak, N. ve Göktaş, F., 2004. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Denizli-M21 paftası: MTA Gen. Müd. Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Lifton, N.A. Ve Chase, C.G., 1992. Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California. *Geomorphology*, 5, 77-114.
- Merritts, D. ve Vincent, K.R., 1989. Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Medocino triple junction region, northern California. *Geological Society of America Bulletin*, 101(11) 1373–1388.
- Nebert, K., 1955. Bozdoğan ve Karacasu'daki genç Neojen körfezleri, MTA Raporu, Derleme No. 2511.
- Ocakoğlu, F., Açıkalın, S., Özsayın, E. ve Dirik, K., 2014. Tectonosedimentary evolution of the Karacasu and Bozdoğan basins in the Central Menderes Massif, W Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23(4), 361-385.
- Özkaymak, Ç. ve Sözbilir, H., 2012. Tectonic geomorphology of the Spildağı high ranges, western Anatolia. *Geomorphology*, 173–174, 128–140.
- Pérez-Peña, J.V., Azor, A., Azañón, J.M. ve Keller, E.A., 2010. Actiand tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119, 74-87.

- Ramírez-Herrera, M.T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 317–332.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., ve Jonson, D.L., 1985. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California, Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium, in: Tectonic Geomorphology, Morisawa, M. (Ed), Allen and Unwin Publishers, Boston, 183–207.
- Selby, M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with test from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 24, 31-51.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. ve Bardajm, T., 2003. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Geomorphology*, 250, 203–226.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63, 1117-1142.
- Şimşek, Ş. ve Yılmaz, S., 1977. Nazilli-Kuyucak-Yenice (Karacasu) alanının jeolojisi ve jeotermel olanakları, MTA Raporu, Derleme No: 6422.
- Topal, S. ve Özkul, M., 2018. Jeomorfik İndisler Kullanılarak Honaz Fayı'nın (GB Türkiye) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. PAJES-18199, doi: 10.5505/pajes.2017.18199.
- Topal, S., 2018. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Acıgöl fault, SW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11: 198.
- Topal, S., Keller, E., Bufe, A. ve Kocyiğit, A., 2016. Tectonic geomorphology of a large normal fault: Akşehir fault, SW Turkey. *Geomorphology*, 259, 55-69.

Akım Geri Beslemeli İşlemsel Kuvvetlendirici Kullanılarak Topraklanmış Endüktans Simülatör Topolojileri

Current Feedback Operational Amplifier Based Grounded Inductance Simulator Topologies

Muhammed Emin BAŞAK*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, 34349, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 22.11.2017 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 17.05.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 09.06.2018

Öz

Endüktans simülatörleri; faz kaydırıcılar, aktif filtre devreleri, osilatörler ve parazitlikleri önleyici devre tasarımlarında kullanılmaktadırlar. Akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendirici (CFOA) elemanı ile birlikte pasif elemanlar kullanılarak topraklanmış üç adet endüktans simülatörü tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı düşük frekanslarda çalışabilen en az sayıda aktif ve pasif eleman kullanarak yeni endüktans simülatörleri elde etmektir. Önerilen endüktans simülatörlerinden birincisi iki seri direnç ve endüktanstan (R_1+R_2+L), ikincisi seri direnç ve endüktanstan ($-R-L$); üçüncüsü ise iki direncinin eşitliği durumunda ($R_2=R_3$) kayıpsız endüktanstan ($-L$)'den oluşmaktadır. Önerilen simülatörlerin başarımı AD844 CFOA LTSpice modeliyle RLC süzgeç benzetimi yapılarak gösterilmiştir. Sonuçların teorik analiz ile uyum içinde olduğu görülmüştür. LTSpice programı ile yapılan simülasyonlar ile teorik sonuçların bağdaştığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendirici, Endüktans simülatörü, Süzgeç

Abstract

Inductance Simulators can be used to implement phase shifting circuits, active filters, oscillators, cancellation of parasitic elements. In this work, three inductor simulators employing only a single active circuit current feedback operational amplifier, and three passive components have been proposed. The aim of this work, is to show new inductance simulators working the low frequencies using minimum number of active and passive elements. The first topology designed for series lossy inductance consists of two resistors and inductors (R_1+R_2+L), the second topology consists of ($-R-L$) and the third topology is lossless negative inductance if the two resistors are equal ($R_2=R_3$). To demonstrate the performance of the proposed simulated inductors, passive RLC filter has been used with AD844 CFOA Spice model. The simulations performed with the LTSpice program agree with the theoretical analysis.

Keywords: Current Feedback Operational Amplifier, Inductor simulator, Filter

* Muhammed Emin BAŞAK; mebasak@yildiz.edu.tr; Tel: (212) 383 28 50; orcid.org/0000-0001-5520-8579

1. Giriş

Pasif endüktanslar çok fazla alan kapladıkları, ideal duruma göre farklı karakteristik gösterdikleri ve düşük kalite faktörüne sahip oldukları için pek tercih edilmezler. Pasif endüktansların yerine daha az yer kaplayan, yüksek kalite faktörüne sahip endüktans simülatörleri tercih edilirler. Endüktans simülatörleri; faz kaydırıcılar, aktif filtre devreleri, osilatörler ve parazitlik önleyici devrelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Yüksek hacimli ve pahalı pasif endüktansların yerine literatürde çok sayı ve çeşitte aktif elemanlardan elde edilmiş endüktans simülatörleri mevcuttur. Farklı aktif elemanlardan elde edilen endüktans simülatörleri için işlemsel geçiş resistansı kuvvetlendiricisi (OTRA) (Pramanik, 2015; Nagar ve Paul, 2016); ikinci derecen akım taşıyıcı devreleri (CCII) (Paul ve Patranabis, 1981; Ferri ve Guerrini, 2003), dört uçlu yüzen nullor (FTFN) (Kumar ve Senani, 2010); gerilim farkı alan tampon (buffer) kuvvetlendirici (VDBA) (Yeşil vd, 2014; Yesil ve Kacar, 2016); gerilim farkı alan akım taşıyıcı (DVCC) (Abaci ve Yuce, 2017) ve akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendirici (CFOA) (Kaçar ve Kuntman, 2011; Abuelma'atti, 2012; Başak ve Kaçar, 2018) örnek olarak verilebilir.

Özellikle düşük frekanslı uygulamalar için kullanılacak yüksek değerli endüktansların yonga (chip) teknolojisi ile üretilmeleri mümkün değildir. Dolayısıyla birçok farklı aktif elemanla tasarlanmış endüktans simülatörü literatürde görülebilir. Ancak ticari olmayıp, piyasada bulunmayan diferansiyel gerilimli akım taşıyıcı (DVCC) (Abaci ve Yuce, 2017), diferansiyel fark

akım taşıyıcı (DDCC) (İbrahim vd., 2011, 2012) veya gerilim farkı akım taşıyıcı (VDCC) (Kaçar vd., 2014) gibi aktif elemanlarla elde edilen endüktans simülatörlerinin gerçekleştirilmesi için aktif elemanların üretilmeleri gerekmektedir. Birden fazla aktif elemanla elde edilen simülatörlerin de gerçekleştirilmesi daha zordur. Bu çalışmada bir adet CFOA ve üç veya dört pasif eleman (iki direnç ve bir kondansatör veya üç direnç ve bir kondansatör) kullanılarak ticari olarak bulunabilen AD844 ile elde edilen endüktans simülatörleri önerilmiştir. Önerilen endüktans simülatörü ile önceden tasarlanmış modellerin karşılaştırılması Tablo 1'de yapılmıştır.

Yüksek yetiştirme hızına (slew rate) sahip olması ve sabit kazanç-bant genişliği çarpımı kısıtlaması olmamasına rağmen CFOA, geleneksel işlemsel kuvvetlendiriciler (OA) kadar temel elektronik kaynaklarında yer bulamamaktadır (Sedra ve Smith, 2015). Elbette ki bu durum akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendiricilerin ileride de kullanılmayacağını göstermez.

Bu çalışmada üç farklı, topraklanmış endüktans simülatörü önerilmiştir. Önerilen simülatörler akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendirici olarak piyasada AD844 olarak bilinen entegre kullanılabilir. Böylelikle tasarlanan simülatörler rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Elde edilen endüktans simülatörlerinden birincisi seri olarak iki direnç ve endüktansı içerir. İkincisi seri (-R-L)'den oluşmakta, üçüncüsü ise iki direncin eşitliği durumunda ($R_2=R_3$) negatif topraklı endüktans (-L) elde edilmesini sağlamaktadır.

Tablo 1. Önerilen topraklanmış endüktans simülatörü ile literatürdeki modellerin karşılaştırılması

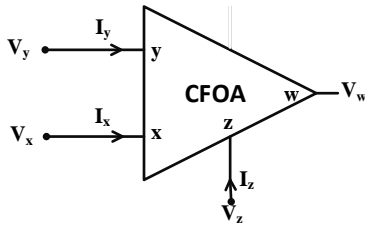
Kaynak	Aktif eleman	Aktif eleman sayısı	Direnç sayısı	Kapasitör sayısı	Ticari bulunabilirlik
Nagar ve Paul, 2016	OTRA	1	3	1 (yüzen)	Evet
Pramanik, 2015	OTRA	2	5	1 (topraklı)	Evet
Paul ve Patranabis, 1981	CCII	1	4	1 (yüzen)	-
Kumar ve Senani, 2010	PFTFN	1	4	1 (yüzen)	Hayır
Yeşil ve Kaçar, 2016	VDBA	1	2	1(topraklı)	Evet
Yeşil ve Diğ., 2014	VDBA	1	1	1 (yüzen)	Evet
Abaci ve Yüce, 2017	DVCC	1	2	1(topraklı)	Hayır
İbrahim vd., 2011	MDO-DDCC	1	2	1 (topraklı)	Hayır
İbrahim vd., 2012	MDO-DDCC	1	2	1 (topraklı)	Hayır
Abuelma'atti, 2012	CFOA	1	3	1	Evet
Kaçar ve Kuntman, 2011	CFOA	1	2	1 (yüzen)	Evet
Başak, Kaçar, 2018	CFOA	1	2	1 (yüzen)	Evet
Önerilen	CFOA	1	2	1 (yüzen)	Evet

Elde edilen endüktans ile bir filtre devresi tasarlanmış ve yüksek geçiren, band geçiren ve alçak geçiren sonuçları elde edilmiştir. Önerilen endüktans simülâtörünün piyasada bulunabilen aktif elemanla (AD844) tasarlanabilmesi dışında, yüksek değerli olması ve düşük frekanslarda çalışabilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada en az sayıda aktif ve pasif eleman kullanarak düşük frekansta çalışabilen endüktans simülâtörü tasarlamak hedeflenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde CFOA'nın karakteristik denklemi ile birlikte önerilen endüktans simülâtörleri verilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen endüktans simülâtörü ile süzgeç tasarımı yapılarak devrenin başarımı gözlenmiştir. Çok düşük frekanslarda da çalışabildiği LTSpice simülasyonlarıyla gösterilen simülâtörün analog devre uygulamalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

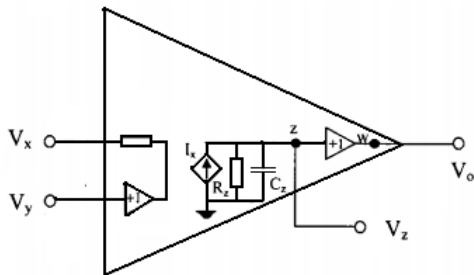
2. Önerilen Endüktans Simülâtörleri

Önerilen endüktans simülâtörleri için CFOA kullanılmıştır. CFOA'ya ait eşdeğer devre Şekil 1'de karakteristik matrisi ise Denklem 1'de verilmiştir.



Şekil 1. CFOA elemanının devre sembolü

$$\begin{bmatrix} I_y \\ I_z \\ V_x \\ V_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$



Şekil 2. CFOA eşdeğer devresi

CFOA devresi için Şekil 1'deki gibi standart notasyon kullanılırsa $I_y = 0$, $I_z = I_x$, $V_x = V_y$ ve $V_w = V_z$ olarak alınabilir. İdeal olmayan CFOA için ise s-domaininde aşağıdaki eşitlikler gösterilebilir.

$$I_y = (sC_y + 1/R_y)V_y \quad (2)$$

$$I_z = \alpha I_x + (sC_z + 1/R_z)V_z \quad (3)$$

$$V_x = \beta V_y + R_x I_x \quad (4)$$

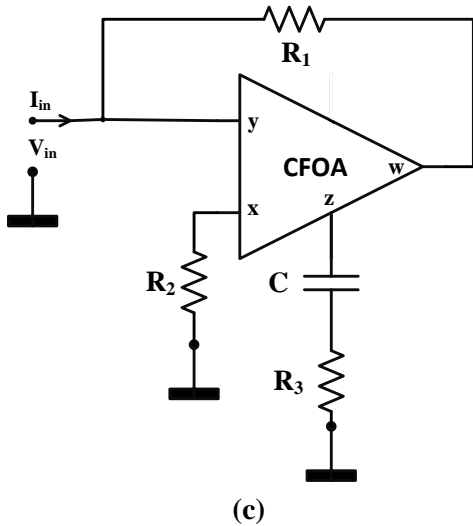
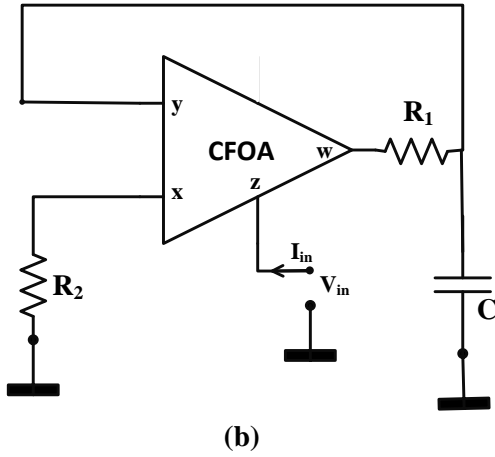
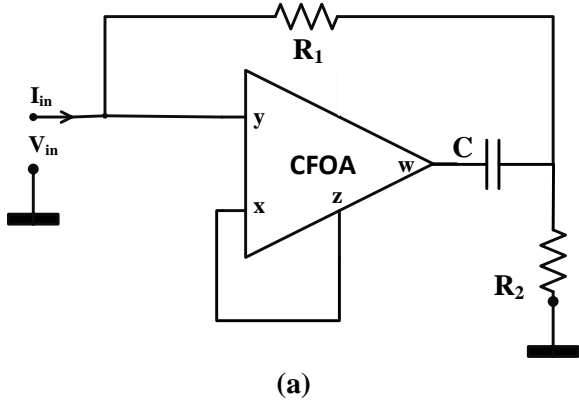
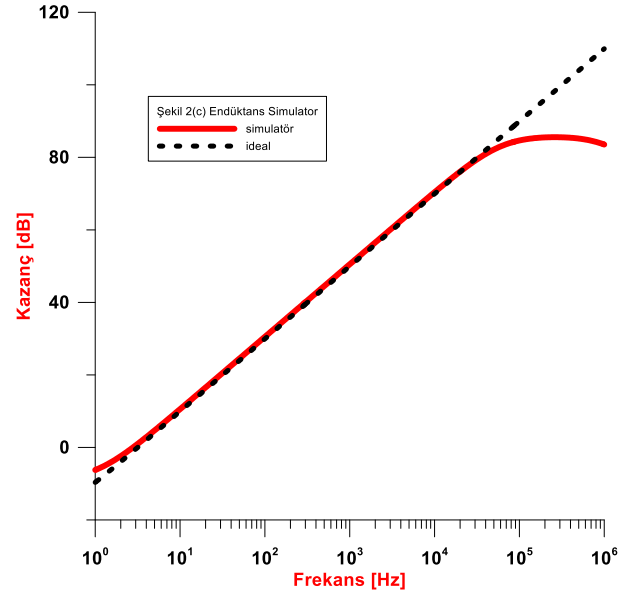
$$V_w = \gamma V_z + R_w I_w \quad (5)$$

Burada R_x , R_y , R_z ve R_w alt indislerde gösterilen ilgili porttaki parazitik dirençleri; C_y ve C_z ise alt indislerde gösterilen portlara ait parazitik kapasitansları ifade etmektedir. Eşitlik 2'den Eşitlik 4'e kadar olan denklemler pozitif tipli ikinci jenerasyon akım taşıyıcılar (CCII+) ile aynıdır. Dolayısıyla CFOA için tampon (buffer) eklenmiş akım taşıyıcıdır denilebilir. CFOA'daki akım geri besleme (CF) kısmı, CCII'daki Y terminalinin topraklanması ile elde edilebilir. X ve W terminalindeki ideal durumda sıfır olarak alınan R_x ve R_w parazitik empedansların seri olduğu Eşitlik 4 ve Eşitlik 5'de görülebilir. Diğer yandan $R_z = 1/G_z$ ve $R_y = 1/G_y$ parazitik dirençleri $1/(sC_z)$ ve $1/(sC_y)$ ile paraleldir ve ideal olarak da sonsuzdur. Bu parazitik elemanlar endüktans simülâtörüne fazladan terimler getirmektedirler ve simülâtör devrelerinde frekans performanslarını arttırmak için indirgeme yöntemleri kullanılabilir (Kaçar ve Kuntman, 2011).

Şekil 3 (a), (b) ve (c)'de önerilen endüktans simülâtörleri verilmiştir. Önerilen simülâtörler için ideal durumlar ($I_y = 0$, $I_z = I_x$, $V_x = V_y$ ve $V_w = V_z$) ve ideal olmayan durumlar için ($I_y = 0$, $I_z = \alpha I_x$, $V_x = \beta V_y$ ve $V_w = \gamma V_z$) giriş empedansları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'ye göre Şekil 3(a)'da önerilen devre seri direnç (R_2) ve seri eşdeğer kayıplı endüktanstan ($L_{eq} = R_1 R_2 C_s$) oluşmaktadır. Şekil 3(b)'deki endüktans simülâtörü seri negatif direnç ($-R_2$) ve dirence seri negatif kayıplı endüktanstan ($L_{eq} = -R_1 R_2 C_s$) oluşmaktadır. Şekil 3(c)'de önerilen endüktans simülâtörü ise R_2 ve R_3 dirençlerinin eşit olmaları durumunda negatif topraklı kayıpsız endüktans ($R_2 = R_3$ durumunda $L_{eq} = -R_1 R_2 C_s$) elde edilmektedir. Şekil 3(c)'deki endüktans simülâtörünün, ideal endüktans ile giriş empedanslarının frekansla değişimi için karşılaştırılması Şekil 4'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi önerilen endüktans simülâtörü 1 Hz ile 50 kHz arasında ideal endüktans gibi davranmaktadır.

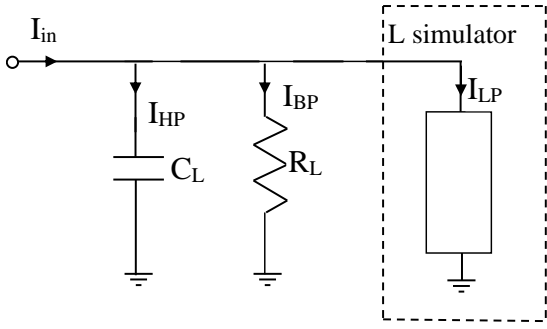
Tablo 2. Önerilen simülatörler için ideal ve ideal olmayan eşdeğer empedans denklemleri

Devre	İdeal Olmayan Empedans (Z_{eq})	İdeal Empedans (Z_{eq})
Şekil 3 (a)	$\frac{R_2}{\beta\gamma + CR_2s(1 - \beta\gamma)} + \frac{CR_1R_2s}{\beta\gamma + CR_2s(1 - \beta\gamma)}$	$R_2 + CR_1R_2s$
Şekil 3 (b)	$-\frac{R_2}{\alpha\beta\gamma} - \frac{CR_1R_2s}{\alpha\beta\gamma}$	$-R_2 - CR_1R_2s$
Şekil 3 (c)	Eğer $R_2 = R_3$ olursa $Z_{in} = -sCR_1R_2$	$R_2 = R_3$ için $Z_{in} = -sCR_1R_2$

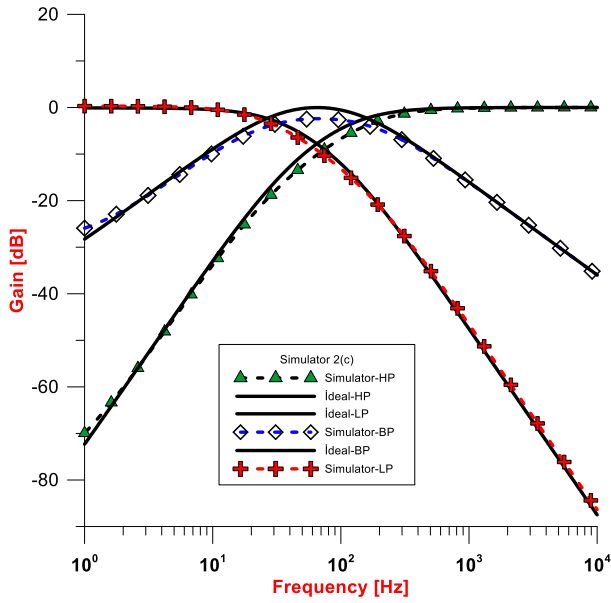
**Şekil 3.** Önerilen CFOA endüktans simülatörleri**Şekil 4.** Önerilen Endüktans Simülatörü (Şekil 3 (c)) için Giriş Empedansının frekansla değişimi

3. Süzgeç Tasarımı

Önerilen endüktans simülatörünün başarımını göstermek için süzgeç devresi tasarlanmıştır. Pasif R_L ve C_L elemanları ile birlikte Şekil 3(c)'deki endüktans simülatörü kullanılarak oluşturulan süzgeç Şekil 5'de gösterilmiştir. Tasarlanan süzgeç devresinin benzetimi LTSpice programı ile AD844 CFOA kullanılarak yapılmıştır. Besleme kaynakları olarak $V_{DD}=12V$ ve $V_{SS} = -12 V$ alınmıştır. Süzgeç için boyutlandırılmış değerler: $C_L=100\mu F$, $R_L=10\Omega$, $R_1=R_2=R_3=1k\Omega$ ve $C=50nF$ 'dir. Böylece $L_{eq}=60 mH$ değerinde endüktans elde edilmiştir. Elde edilen endüktans simülatörü kullanılarak alçak geçiren (LP), band geçiren (BP) ve yüksek geçiren (HP) süzgeçler Şekil 6'da gösterilmiştir. Sonuçlar ideal pasif endüktör ile karşılaştırılarak başarımları gösterilmiştir. Yüksek geçiren (HP) filtrenin kesim frekansı 185 Hz'dir. Alçak geçiren filtrenin kesim frekansı 30 Hz'dir. Band geçiren (BP) filtrenin band genişliği yaklaşık olarak 200 Hz'dir.



Şekil 5. Önerilen Endüktans Simülatörü ile tasarlanan süzgeç

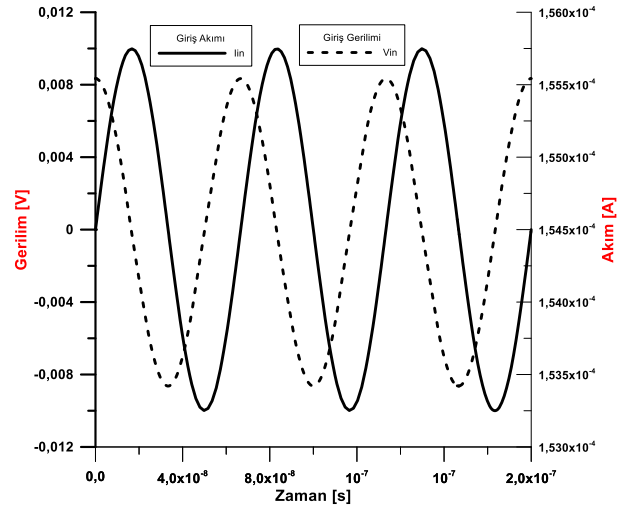


Şekil 6. Önerilen Endüktans Simülatörü ile tasarlanan süzgeçin HP, LP ve BP cevapları

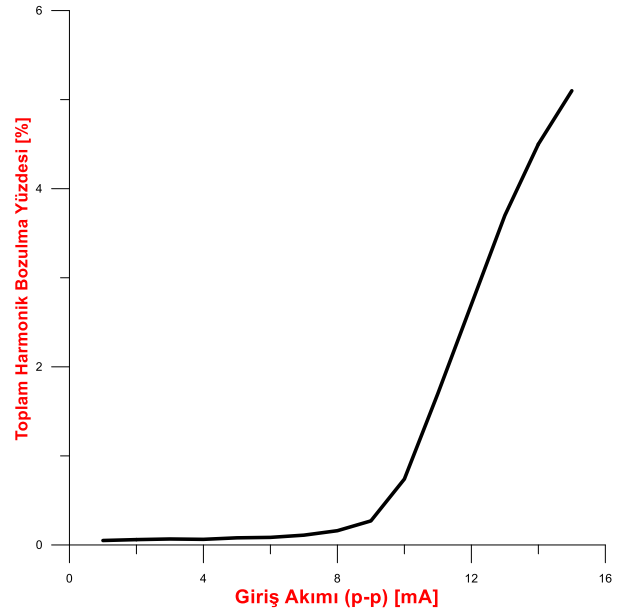
Önerilen endüktans simülatörünün daha yüksek frekanslarda da çalışabildiğini göstermek amacıyla 15 MHz için giriş akımı ve giriş gerilimi arasındaki ilişkinin görülebileceği benzetimler de yapılmıştır.

Şekil 7'de giriş akımının giriş gerilimine göre geride olduğu görülebilir. Ayrıca Şekil 3(c)'deki endüktans simülatörü ile oluşturulan süzgeç devresinin değişen değerlerdeki giriş akımları için Toplam Harmonik Bozulma Yüzdesi Şekil 8'de verilmiştir.

Giriş akımının 13 mA (tepeden-tepeye) olduğu değerler için Toplam Harmonik Bozulma (THD) yüzdesi %3.7 olarak bulunmuştur. Toplam Harmonik Bozulmanın kabul edilebilir seviyelerde olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Önerilen filtrenin giriş akım ve gerilim değişimi



Şekil 8. Önerilen süzgeç için Toplam Harmonik Bozulma Yüzdesi

4. Sonuç

Bu çalışmada, akım geri beslemeli işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak topraklanmış üç farklı endüktans simülatörü topolojisi önerilmiştir. Her topoloji sadece bir CFOA aktif devresi içermektedir. Simülasyon sonuçları teoremin doğruluğunu göstermektedir. Devre için hesaplanan Toplam Harmonik Bozulmanın kabul edilebilir seviyelerdedir. Önerilen endüktans simülatörlerinin düşük frekanslarda çalışabilen analog işaret işleme uygulamaları, süzgeç tasarımları, osilatör tasarımları gibi çeşitli uygulamalarda faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Abaci, A. ve Yuce, E., 2017. Modified DVCC based quadrature oscillator and lossless grounded inductor simulator using grounded capacitor(s). *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 76, 86–96.
- Abuelma'atti, M.T., 2012. New grounded immittance function simulators using single current feedback operational amplifier. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 71(1), 95–100.
- Başak, M.E. ve Kaçar, F., 2018. Lossy/Lossless Grounded Inductance Simulators Using Current Feedback Operational Amplifier (CFOA). *Electrica*, 18(1), 95-99.
- Ferri, G. ve Guerrini, N.C., 2003. *Low voltage, low power CMOS current conveyors*: NEW YORK, BOSTON, DORDRECHT, LONDON, MOSCOW, Kluwer Academic Publishers.
- Ibrahim, M.A., Minaei, S., Yuce, E., Herencsar, N. ve Koton, J., 2011. Lossless grounded inductance simulation using only one modified dual output DDCC, 34th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, pp. 261–264.
- Ibrahim, M. A., Minaei, S., Yuce, E., Herencsar, N. ve Koton, J., 2012. Lossy/Lossless floating/Grounded inductance simulation using one DDCC. *Radioengineering*, 21(1), 3–10.
- Kaçar, F. ve Kuntman, H., 2011. CFOA-based lossless and lossy inductance simulators. *Radioengineering*, 20(3), 627–631.
- Kaçar, F., Yeşil, A., Minaei, S. ve Kuntman, H., 2014. Positive/negative lossy/lossless grounded inductance simulators employing single VDCC and only two passive elements. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 68(1), 73–78.
- Kumar, P. ve Senani, R., 2010. New grounded simulated inductance circuit using a single PFTFN. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 62(1), 105–112.
- Nagar, B.C. ve Paul, S.K., 2016. Negative inductance simulator using OTRA, 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), January 2016, Durgapur, India, pp. 2–4.
- Paul, A.N. ve Patranabis, D., 1981. Active Simulation of Grounded Inductors Using a Single Current Conveyor. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 28(2), 164–165.
- Pramanik, A., 2015. Design of operational transresistance amplifier based grounded active inductor and implementation of bandpass filter, 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), pp. 842–844.
- Sedra, S.A. ve Smith, C.K., 2015. *Microelectronics Circuits* (7th ed.): Oxford, Oxford University Press, 1488 p.
- Yeşil, A. ve Kaçar, F., 2016. VDBA-based lossless and lossy inductance simulators and its filter applications, 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), pp. 909–912.
- Yeşil, A., Kaçar, F. ve Gürkan, K., 2014. Lossless grounded inductance simulator employing single VDBA and its experimental band-pass filter application. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 68(2), 143–150.

***Agelastica alni* L. (Coleoptera:Chrysomelidae) Larvalarının Besin Tüketimi ve Gelişiminde Mikrogıdaların Etkisi**

The Effect of Micronutrients on The Development and Food Consumption of Agelastica alni (Coleoptera:Chrysomelidae) Larvae

Mustafa TOKGÖZ^a, Nurver ALTUN^{*b}

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 53100, Rize

• Geliş tarihi / Received: 06.03.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 30.05.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 14.06.2018

Öz

Bu çalışmada *Agelastica alni* larvalarının besin tüketim miktarı ve gelişimi üzerine mikrogıdaların etkisi araştırılmıştır. Larvaların gelişimini inceleyebilmek için pupa kuru ağırlığı, pupa ham protein miktarı, pupa lipit miktarı ve gelişim süreleri dikkate alınmıştır. Vitamin karışımı (V) ve tuz karışımı (T) konsantrasyonları %100, %50 oranlarında artırılarak veya azaltılarak, bazı diyetlerden ise tuz karışımı veya vitamin karışımı çıkarılarak sekiz farklı yapay diyet hazırlanmıştır. Larvalar her bir diyet grubunda teker teker beslenmişlerdir ve 10 tekrar olacak şekilde beslenme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Diyetler arasında en fazla tüketim miktarının V/0.5T içeren diyetinde, en az tüketim miktarının ise 0.5V/T içeren diyetinde olduğu tespit edilmiştir. Diyetteki tuz konsantrasyonu ile besin tüketimi arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif yönlü bir ilişki, vitamin konsantrasyonu arasında ise pozitif yönlü bir ilişki belirlenmiştir. Diyetin tuz ya da vitamin konsantrasyonları ile pupa kuru ağırlığı arasında bir ilişki belirlenmemiştir. Tüketim miktarı ile pupa ham protein miktarı arasında ise zayıf bir ilişki tespit edilmiştir. Diyetteki tuz konsantrasyonu pupa lipit miktarını negatif yönde etkilerken, vitamin konsantrasyonu pozitif yönde etkilemektedir. Larvaların farklı diyetlerdeki gelişim süreleri incelendiğinde en uzun larva dönemi V/-T diyetinde beslenen larvalarda, en kısa larva dönemi ise 2V/T diyetinde beslenen larvalarda gözlenmiştir. Diyetin vitamin konsantrasyonu arttıkça gelişim süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Gelişim süresi uzadıkça pupa kuru ağırlığı ve pupa lipit miktarı azalmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Agelastica alni*, Beslenme, Tuz karışımı, Vitamin, Yapay diyet

Abstract

In this study, the effect of micronutrients on food consumption and development of Agelastica alni larvae was investigated. The pupa dry weight, the amount of pupa crude protein, the amount of pupa lipid and the developmental periods were taken into consideration in order to examine the development of larvae. Eight different artificial diets were prepared by increasing or decreasing the concentrations of the vitamin mixture (V) and salt mixture (T) by 100%, 50%, and removing the salt mixture or vitamin mixture from some diets. The larvae were fed individually in each dietary group and feeding experiments were performed in 10 replications. It has been determined that the highest consumption of diets is V/0.5T and the lowest consumption is 0.5V/T. A statistically significant negative correlation was found between salt concentration of diet and consumption and a positive correlation was found between vitamin concentrations of diet. A relationship between salt or vitamin concentrations of diet and pupa dry weight has not been established. A weak relationship was found between consumption amount and pupa crude protein amount. The salt concentration of the diet affects the amount of pupa lipid in the negative correlation, while the vitamin concentration affects the positive correlation. When the developmental stages of larvae for different diets were examined, the longest larval period was observed for the larvae fed on the V/-T diet and the shortest larval period was observed for the larvae fed on the 2V/T diet. As the vitamin concentration of the diet increases, the duration of development is shortened. As the length of development increases, the pupa dry weight and pupa lipid amount decrease.

Keywords: *Agelastica alni*, Feeding, Salt mixture, Vitamin, Artificial diet

^{*b} Nurver ALTUN; nurver.altun@erdogan.edu.tr; Tel: (0464) 223 61 26 (dâhili: 1836); orcid.org/0000-0002-2657-9263

^a orcid.org/0000-0001-7234-5719

1. Giriş

Gıda kalitesi; herbivorların büyümesini, gelişmesini, son ağırlıklarını ve üreme başarılarını etkileyen en önemli faktörlerin başında gelir (Gordon, 1968; Genç, 2006; Jensen vd., 2010; Jensen vd., 2012; Barbehenn vd., 2015; Senior vd., 2015). Gıda kalitesi protein, karbonhidrat, su, tuz ve vitamin miktarları, sekonder maddeler (tanen, alkaloidler v.b.) gibi birçok faktör tarafından belirlenir (Genç, 2006; Barbehen vd., 2015).

Mikroğıdalar ya sadece metal iyonundan ibaret ya da metal bağlı inorganik bileşiklerdir (Jose vd., 2014). Vitamin ve tuzlar mikroğıdaları oluşturmaktadır. İnsanlarda olduğu gibi tüm hayvanlar büyümek, gelişmek üremek ve hayatlarını sürdürebilmek için diyetlerinde yeterli miktarda vitamin ve tuzlara ihtiyaç duymaktadırlar (Chang vd., 2000; Genç, 2006; Jose vd., 2014). Hücre içi reaksiyonlarda metabolik yolu katalizleyen koenzim olarak görev yaparak hayati rol oynarlar (Chang vd., 2000; Genç, 2006). Birçok Lepidoptera (Kelebekler) üyesinin diyetinde mikroğıdaların bulunması ya da bulunmaması böceklerin davranışlarını ve bağışıklık sistemini etkilemektedir (Jose vd., 2014). Böcekler, diyetlerinden özellikle tiamin, riboflavin, nikotinik asit, piridoksin, pantotenik asit, folik asit ve biotin gibi 7 temel vitamini elde etmek ihtiyacındadırlar (Genç, 2006). Özellikle tuz herbivor böcekler için sınırlayıcı bir etmendir (Trumper ve Simpson, 1993). Bu nedenle hayati fonksiyonları için gerekli potasyum, magnezyum, klor ve fosfat gibi temel mineralleri diyetlerinden alırlar. Demir ve kalsiyum gibi minerallere iz miktarlarda ihtiyaç duyarken potasyum gibi minerallere daha fazla miktarlarda ihtiyaçları olmaktadır (Genç, 2006). Vücutlarında iyon dengesini sağlamak için fizyolojik kontrol mekanizmaları geliştirmişlerdir. Lepidoptera takımı üyelerinin çamur emme davranışları için sodyum iyonu anahtar bir uyarıcıdır (Trumper ve Simpson, 1993).

Mikroğıdaların herbivor böceklerin gelişimine etkisiyle ilgili oldukça az sayıda çalışma mevcuttur. Mikroğıdaların böceklerin beslenme davranışları, bağışıklık sistemi, hayatı sürdürebilme ve üreme başarısı üzerine etkileri göz önüne alındığında konu ile ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır. *Agelastica alni* L. Rusya'nın güneyi ve ülkemizde Doğu Karadeniz sahil şeridi boyunca kızılâğaç yapraklarıyla beslenerek ağaçlara oldukça fazla zarar veren bir böcek türüdür (Firidin ve Mutlu, 2009). *A. alni*

türünün biyolojisiyle ilgili az sayıda çalışma mevcuttur (Firidin ve Mutlu, 2009; Yanar, 2013). Bu nedenle çalışmamızda bitkilerin yer yer kurumasına neden olan *A. alni* larvalarının büyüme ve gelişmesine farklı konsantrasyonlarda vitamin ve tuz karışımlarının etkisi incelenmiştir. Zararlı türlerle mücadelede türün biyolojisinin bilinmesi önemlidir. Vitamin ve tuz karışımlarının besin tüketimi ve larvaların gelişimi üzerine olan etkisi belirlenerek elde edilecek veriler türle mücadelede kullanılabilir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Böcek Kültürünün Yetiştirilmesi

A. alni yumurtaları 2016 yılı Mayıs ayında Trabzon ili Kızılcık beldesindeki kızılâğaç (*Alnus* sp) yaprakları üzerinden toplanarak Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Zooloji Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Yumurtalar 25 °C'de ve 12s:12s foto periyotta bekletilerek larvaların yumurtadan çıkışı sağlanmış ve daha sonra beslenme deneylerinin gerçekleştirileceği kaplara alınmıştır.

2.2. Yapay Diyet İçerikleri

Beslenme deneylerinde Yamamoto (1969) tarafından geliştirilen yapay diyet içeriğinde değişiklik yapılarak hazırlanan diyetler kullanılmıştır. Diyet içeriğindeki vitamin karışımı (V) ve tuz karışımı (T) konsantrasyonları %100, %50 oranlarında artırılarak veya azaltılarak, bazı diyetlerden ise tuz karışımı veya vitamin karışımı çıkarılarak sekiz farklı yapay diyet hazırlanmıştır (Tablo 1). Vitamin karışımı olarak Vanderzant vitamin karışımı (Sigma,V-1007) ve tuz karışımı olarak Wesson's tuz karışımı (Sigma W-1374) kullanılmıştır.

Tablo 1. Yapay diyetlerin vitamin ve tuz karışımı oranları

Kullanılan Yapay Diyetlerin Vitamin/Tuz Oranları
V/T
0.5V/T
2V/T
V/0.5T
V/2T
0.5V/0.5T
V/-T
-V/T

2.3. Beslenme Deneyleri

Yumurtadan çıkan *A. alni* larvaları şeffaf plastik kaplara (17 x 12 x 6 cm) alınarak beslenme

deneylerinin gerçekleştirileceği besin tiplerinde tekli besleme kaplarına alınarak her bir besin tipinden 10 tekrar olacak şekilde beslenme deneylerine başlanmıştır. Her besin tipinde verilen günlük besin miktarı ve larva ağırlığı gün aşırı olarak 0.001 g hassasiyetli terazide tartılmıştır. Tüketilmeden kalan besin miktarı ise üzerinde tarih ve ağırlığı not edilmiş, etiketli alüminyum folyolara sarılarak etüvde kurutulmuştur. Böylece kalan besin miktarı kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır.

Beslenme deneyleri larvalar pupa evresine ulaşınca kadar devam etmiştir. Larvaların ilk ve son ağırlıkları gelişim performanslarının değerlendirileceği ağırlık kazancının belirlenebilmesi için not edilmiştir. Pupalara, kuru ağırlıklarının belirlenebilmesi için 50°C'deki etüvde sabit ağırlığa erişinceye kadar kurutulmuştur.

2.4. Kloroform ile Lipit Analizi

Sabit ağırlığa erişen pupaların depo lipit analizi, pupaların kloroform ile ekstraksiyonuyla belirlenmiştir (Simpson ve Raubenheimer, 2001). Kuru ağırlıkları not edilmiş olan pupaların her biri ağzı kapaklı tüplere konulmuş ve üzerleri geçinceye kadar kloroform ilave edilmiş ve tüplerin kapakları kapatılmıştır. Otomatik çalkalayıcı üzerine yerleştirilen tüplerin 24 saat sonra kapakları açılmış ve tüplerdeki kloroform dökülmüştür. Tüplere yeniden kloroform ilave edilerek bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Böylece, pupa örneklerinden depo lipit içeriği uzaklaştırılmıştır. Pupalara, 50°C'deki etüvde konularak sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. Lipitsiz kuru ağırlıkları da tartılarak pupalardaki depo lipit miktarı hesaplanmıştır.

2.5. Pupalarda Ham Protein Analizi

Depo lipitleri uzaklaştırılmış olan *A. alni* pupalarının azot miktarı tayini Dumas yönteminin temel alındığı Thermo Scientific FLASH 2000 Series - NCS Analyzers cihazıyla yapılmıştır (Allen vd., 1986). Bu işlem sonunda bulunan %N (Azot) miktarları 6.25 sabitiyle çarpılarak % ham protein miktarları bulunmuştur (Oonincx vd., 2015).

2.6. İstatistiksel Analizler

A. alni larvalarının farklı vitamin ve tuz konsantrasyonları içeren yapay diyetlerdeki tüketim miktarları, pupa kuru ağırlıklarını, pupa

lipit ve pupa ham protein miktarları ve diyetlerdeki gelişim süreleri için normalite testi yapılmıştır. Normal dağılım gösteren tüketim miktarı, kuru pupa ağırlığı ve pupa ham protein miktarlarının gruplar arasında farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için ANOVA ve ardından TUKEY testi, normal dağılım göstermeyen pupa lipit miktarı ve gelişim süresi değerlerinin gruplar arasındaki farklılığını belirlemek için Kruskal Wallis ve ardından Man Whitney U testi yapılmıştır. Bu testler için SPSS 23 versiyonu kullanılmıştır.

3. Bulgular

Farklı diyetlerde beslenen *A. alni* larvalarının tüketim miktarları Şekil 1'de görülmektedir. Larvaların tüketim miktarları incelendiğinde en fazla tüketim miktarının V/0.5T içeren diyetle, en az tüketim miktarının ise 0.5V/T içeren diyetle olduğu tespit edilmiştir. Korelasyon testi sonuçlarına göre diyetteki tuz konsantrasyonu ile besin tüketimi arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif yönlü bir ilişki belirlenmiştir ($r=-0.71$, $p<0.01$). Ayrıca 8 grupla yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; tüketim miktarı bakımından gruplar arasında önemli farklılık olduğu tespit edilmiştir (ANOVA $F= 12.24$; $p<0.01$).

TUKEY testi sonuçlarına göre; V/-T diyeti ile V/0.5T diyeti arasında önemli bir farklılık görülmemiştir ($p>0.05$) (Tablo 2). Diyetteki vitamin konsantrasyonu ile tüketim miktarı arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($r=0.69$, $p<0.01$). Ayrıca TUKEY testi sonuçlarına göre -V/T diyetindeki tüketim miktarı 2V/T diyetindeki tüketim miktarından farklılık göstermemektedir ($p>0.05$) (Tablo 2).

Tablo 2. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının tüketim miktarı ve pupa ham protein miktarları ve TUKEY testi sonucu*

Besin Tipi	Tüketim Miktarı (mg) (Ortalama±Standart Hata)	Pupa Ham Protein Miktarı (mg) (Ortalama±Standart Hata)
V/T	37.76±1.05 ^{bcd*}	1.51±0.09 ^{ab}
0.5V/T	32.12±1.19 ^a	1.34±0.09 ^a
2V/T	42.00±1.62 ^{de}	1.90±0.15 ^b
V/0.5T	43.85±1.56 ^e	1.62±0.05 ^{ab}
V/2T	33.98±0.58 ^{ab}	1.47±0.10 ^{ab}
0.5V/0.5T	35.43±1.23 ^{abc}	1.47±0.10 ^a
V/-T	42.19±0.72 ^{de}	1.50±0.07 ^{ab}
-V/T	39.41±1.36 ^{cd}	1.30±0.11 ^a

*Harfler, gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir ($p<0,05$)

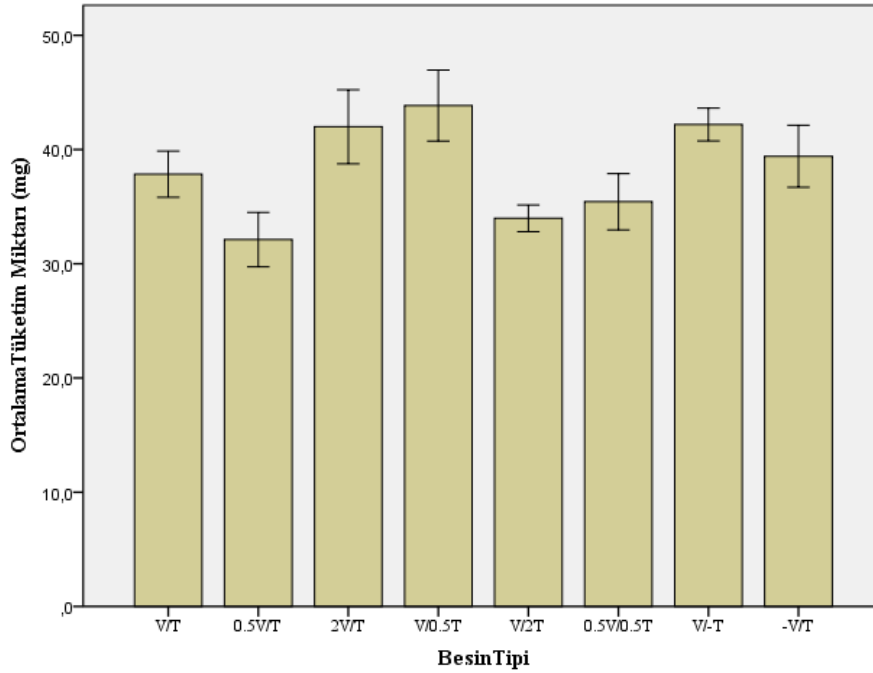
Tablo 3. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının pupa kuru ağırlığı, pupa lipit miktarı, gelişim süreleri ve Man Whitney U testi sonucu

Besin Tipi	Pupa Kuru Ağırlığı (Ortalama \pm Standart Hata)	Pupa Lipit Miktarı (Ortalama \pm Standart Hata)	Gelişim Süresi (gün) (Ortalama \pm Standart Hata)
V/T	2.92 ^{a*}	0.82 ^a	16.6 \pm 0.92 ^a
0.5V/T	2.87 ^{ab}	0.65 ^a	11.5 \pm 0.67 ^b
2V/T	3.64 ^c	1.06 ^d	8.7 \pm 0.47 ^c
V/0.5T	2.73 ^b	0.76 ^a	11.9 \pm 1.14 ^{bc}
V/2T	2.30 ^b	0.3 ^c	16.4 \pm 0.65 ^a
0.5V/0.5T	2.75 ^a	0.79 ^a	8.9 \pm 0.35 ^c
V/-T	2.64 ^a	0.61 ^b	22.7 \pm 0.78 ^d
-V/T	3.24 ^a	0.75 ^b	14.8 \pm 0.25 ^a

*Harfler, gruplar arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05)

En fazla pupa kuru ağırlığı 2V/T diyetinde, en düşük ağırlık ise V/2T diyetinde beslenen larvaların pupalarında gerçekleşmiştir (Şekil 2). 2V/T diyetiyle beslenen larvaların tüketim

miktarlarının yüksek olduğu, V/2T diyetinde beslenen larvaların tüketim miktarının da düşük olduğu görülmektedir (Tablo 2). Korelasyon testi sonucunda pupa kuru ağırlığı ile diyetdeki tuz ve vitamin konsantrasyonları arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Farklı diyetlerdeki tüketilen gıdaların larvalar tarafından kullanılabilirliği incelendiğinde pupa ham protein miktarının en fazla 2V/T diyetinde beslenen larvalarda, en düşük miktarın ise -V/T diyetinde beslenen larvalarda olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 4). Tüketim miktarı ile pupa ham protein miktarı arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Pupa kuru ağırlığı ile pupa ham protein miktarı arasında ise pozitif yönde zayıf bir ilişki vardır (r=0.44, p<0.001). Diyetin vitamin konsantrasyonu ile pupa toplam protein miktarı arasında da bir ilişki tespit edilmiştir (r=0.564, p<0.001). Ayrıca tüketilen vitamin konsantrasyonunun pupa ham protein miktarını etkilediği belirlenmiştir (r=0.47, p<0.001). Fakat, diyetdeki tuz konsantrasyonu ya da tüketilen tuz miktarıyla pupa ham protein miktarı arasında bir ilişki tespit edilememiştir.



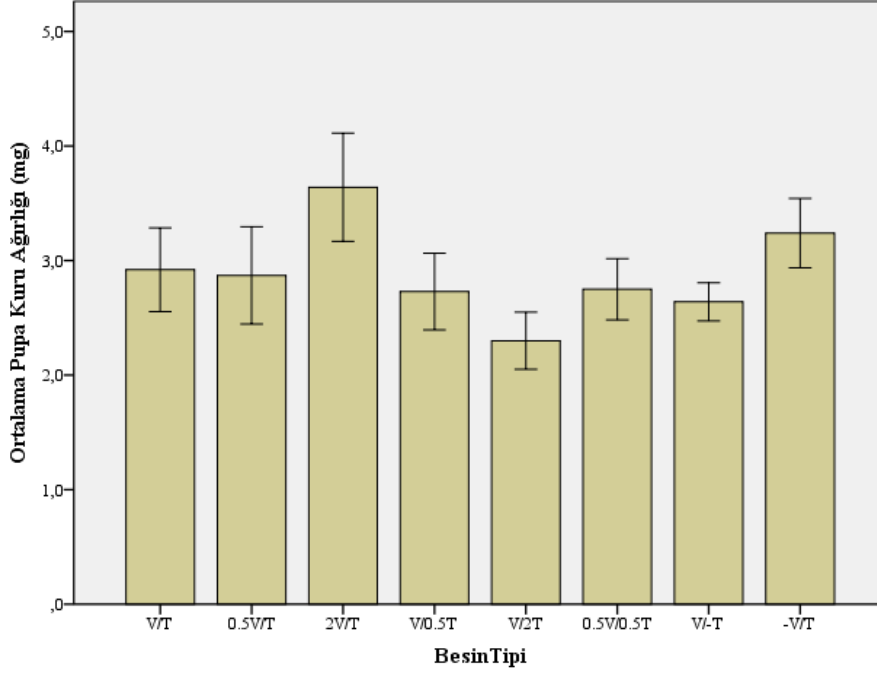
Şekil 1. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının tüketim miktarı

Pupa lipit miktarı incelendiğinde, en yüksek değer 2V/T diyetinde beslenen larvaların pupalarında, en düşük değerin ise V/2T diyetinde beslenen larvaların pupalarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Pupa lipit miktarı bakımından 8 farklı grupla yapılan Kruskal Wallis testi anlamlı sonuç vermiştir ve Man Whitney U

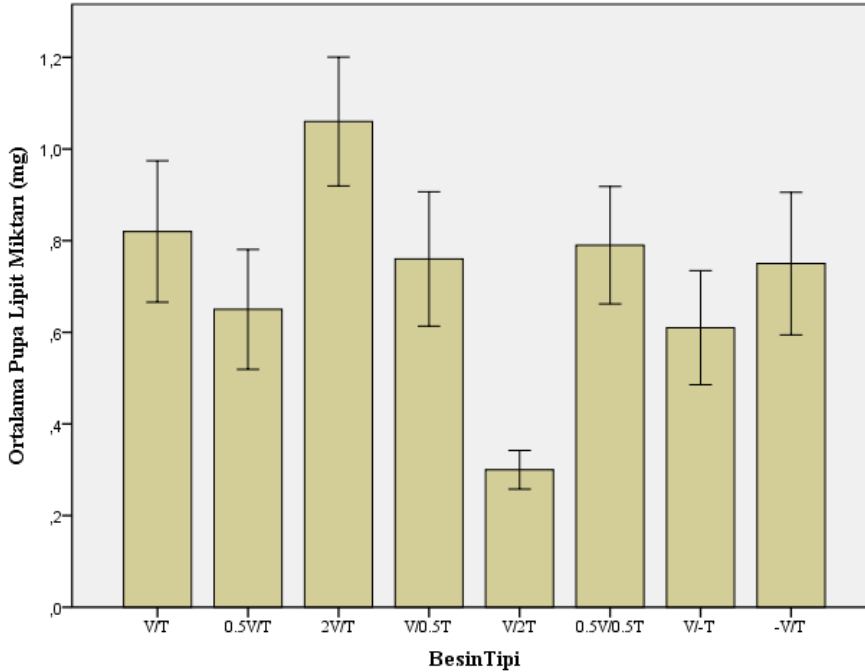
testi sonuçlarına göre 2V/T diyetinde beslenen larvalarla V/2T diyetinde beslenen larvaların pupa lipit değerleri birbirinden farklılık göstermektedir (Tablo 3). Korelasyon testi sonuçlarına göre ise larvaların tüketim miktarının pupa lipit miktarını zayıf da olsa etkilediği belirlenmiştir (r=0.30; p<0.001). Pupa kuru ağırlığı ile pupa lipit miktarı

arasında da bir korelasyon olduğu belirlenmiştir ($r=0.54$, $p<0.001$). Ayrıca tüketilen vitamin miktarı pupa lipit miktarını zayıf da olsa etkilemektedir ($r=0.29$, $p<0.005$). Fakat, tüketilen tuz miktarıyla pupa lipit miktarı arasında bir korelasyon tespit edilememiştir. Korelasyon testi sonuçlarına göre hem diyetlerin vitamin

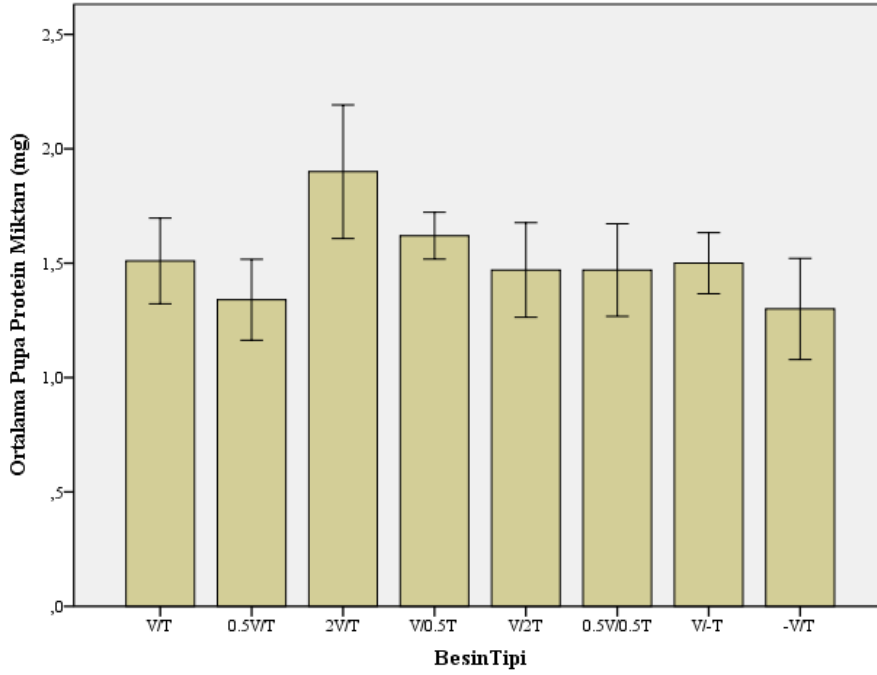
konsantrasyonunun ($r=0.5$, $p<0.001$) hem de tuz konsantrasyonunun ($r=-0.47$; $p<0.001$) pupa lipit miktarını etkilediği belirlenmiştir. Fakat tuz konsantrasyonu ile pupa lipit miktarı arasında negatif yönde bir ilişki mevcuttur ($r=-0.47$; $p<0.01$).



Şekil 2. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının pupa kuru ağırlıkları



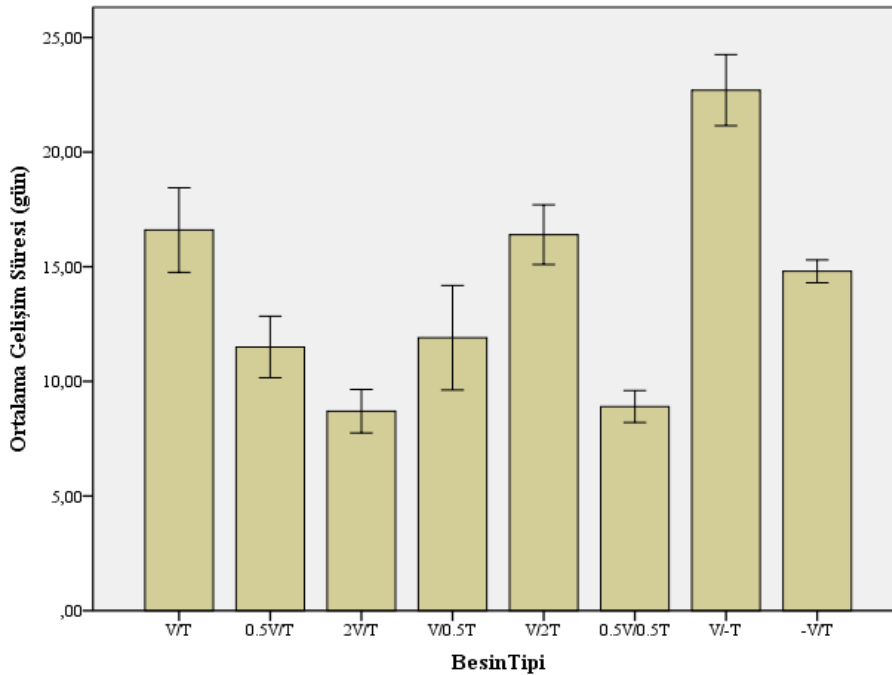
Şekil 3. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının pupa lipit miktarları (mg)



Şekil 4. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının pupa ham protein miktarları (mg)

Larvaların farklı diyetlerdeki gelişim süreleri incelendiğinde en uzun larva dönemi V-/T diyetinde beslenen larvalarda, en kısa larva dönemi ise 2V/T diyetinde beslenen larvalarda gözlenmiştir (Şekil 5). İlginç olan husus 2V/T diyetinde beslenen larvaların gelişim süresiyle 0.5V/0.5T ve V/0.5T diyetinde beslenen larvaların

gelişim süreleri birbirlerinden farklılık göstermemektedir (Tablo 3) ve diyetlerin vitamin konsantrasyonu ile gelişim süresi arasında negatif yönde bir korelasyon belirlenmiştir ($r=-0.51$, $p<0.001$). Ayrıca gelişim süresi uzadıkça pupa kuru ağırlıkları ($r=-0.415$, $p<0.001$) ve pupa lipit miktarlarının ($r=-0.329$, $p<0.05$) azalmaktadır.



Şekil 5. Farklı diyetlerde beslenen *Agelastica alni* larvalarının gelişim süreleri (gün)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada en fazla tüketim miktarı V/0.5T diyetinde beslenen larvalarda, en az tüketim miktarı ise 0.5V/T diyetinde beslenen larvalarda tespit edilmiştir. V/2T diyetindeki tüketim miktarı da 0.5V/T diyetinden farklılık göstermemektedir. Diyetteki tuz konsantrasyonunun artışıyla larvaların tüketim miktarı azalmaktadır. Çünkü, tuzlar farklı konsantrasyonlarda herbivor saldırılarına karşı caydırıcı etki göstermektedir. Tuzlar, hayvanların yaşamı devam ettirmesinde oldukça önemli rol oynayan beslenmede temel rol oynamaktadırlar. Bir besinin kabul edilebilirliği sürecinde tat reseptörlerinin görevini yerine getirebilmesinde temel maddelerdir. Düşük konsantrasyonlarda hayvanlar için gerekli fakat yüksek konsantrasyonlarda zararlı olabilirler (Pontes vd., 2017). LoPresti (2014), Chenopodiaceae familyasındaki bitki türlerinin tuz keseciklerinin *Platyrepia virginalis*, *Heliothis virescens*, *Diabrotica undecimpunctata* türlerine karşı caydırıcı olduğunu tespit etmişlerdir. Böceklerde belirli tuzları algılayan tat reseptörleri beslenmede fagostimulant olarak önemli rol oynamaktadır. Schoonhoven vd. (1992), düşük konsantrasyonda tuzların et sineklerinin tuz reseptörlerini uyardığı fakat yüksek konsantrasyonlarda caydırıcı olduğunu belirtmişlerdir. Tuz yoksunluğu bitkinin daha az tercih edilmesine neden olabilir. Tuz tek başına beslenme caydırıcısı olarak da görev yapabilir (Trumper ve Simpson, 1993). Deletre vd. (2016), böceklerde yüksek tuz konsantrasyonu ve acılığın aynı reseptör tarafından uyarıldığını ileri sürmüşlerdir. Acılık ve yüksek tuz konsantrasyonu böcekler için beslenme engelleyicisidir. Dolayısıyla tuz konsantrasyonu miktarı besinin kabul edilebilirliğinde oldukça önemlidir. Pontes vd. (2017), tuz yoksunluğunun böceklerin besini reddetmesine neden olabileceğini ileri sürmektedir. Çalışmamızda ise *A. alni* larvaları tuzun olmadığı diyeti oldukça fazla miktarda tüketmiştir. Bu durum, vitamin karışımlarının besin tüketimi üzerindeki olumlu etkisinden kaynaklanabilir. Etebari ve Matindoost (2005), *Bombyx mori* ile yapmış oldukları çalışmada diyetdeki vitamin miktarının türün tüketim miktarını artırdığını belirlemişlerdir.

En fazla pupa kuru ağırlığı 2V/T diyetinde beslenen larvaların pupalarında, en düşük pupa kuru ağırlığı ise V/2T diyetinde beslenen larvalarda tespit edilmiştir. En düşük pupa kuru ağırlığının V/2T diyetinde olmasının nedeni tüketim miktarının da ilgili diyetle az olmasından kaynaklanabilir V/2T diyetinde beslenen

larvaların pupalarında pupa lipit miktarının da en az miktarda olması bu sonucu desteklemektedir. Tuz konsantrasyonu ile pupa lipit miktarı ters ilişkilidir. Bunun nedeni tuz konsantrasyonunun tüketim miktarını olumsuz etkilemesi ve larvaların az tüketim miktarından dolayı pupa kuru ağırlığının ve lipit miktarının az oluşundan kaynaklanabilir. En fazla pupa kuru ağırlığının görüldüğü 2V/T diyetinde pupa lipit ve pupa ham protein miktarlarının da en fazla miktarda oluştu tüketilen besinlerin larvalar tarafından biyokütleyle dönüştürüle-ildiğini göstermektedir. Çalışmamızda diyetdeki vitamin konsantrasyonunun pupa lipit ve ham protein miktarlarını pozitif yönde etkilediği ve tüketilen vitamin miktarının da pupa lipit miktarını etkilediği belirlenmiştir. İlginç olan durum, tüketilen vitamin miktarı ya da diyetin vitamin konsantrasyonu pupa kuru ağırlığı arasında bir ilişkinin tespit edilememesidir. *Bombyx mori* ve *Ceratitis capitata* türleri ile yapılan çalışmalar diyetdeki vitamin konsantrasyonunun belirli bir konsantrasyona kadar pupa kuru ağırlığını olumlu yönde etkilediğini (Chang ve Li, 2004; Etebari ve Matindoost, 2005), belirli bir konsantrasyondan sonra ise pupa kuru ağırlığının azaldığını (Etebari ve Matindoost, 2004) ortaya koymuştur. *A. alni* türünde ise diyetin vitamin konsantrasyonu pupa kuru ağırlığını etkilememektedir. Vitaminler, böceklerde spesifik metabolik reaksiyonlar ve gelişim için gerekli olan bileşenlerdir (Ahsan vd., 2013). Bazı vitaminler besinlerin sindirilebilirliğini ve vücutta kullanılabilirliğini artırır (Etebari ve Matindoost, 2005). Dolayısıyla *A. alni* larvalarında diyetdeki vitamin konsantrasyonunun artışıyla gıdaların kullanılabilirliği artmış olabilir. Böylece, vitamin konsantrasyonu ile birlikte pupa ağırlığında istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlenmesi de diyetten alınan gıdalar daha fazla kullanılabilir hale gelmiş, pupa lipit ve ham protein miktarlarında da artış gözlenmiş olabilir.

A. alni larvalarında diyetdeki vitamin konsantrasyonu arttıkça gelişim süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca gelişim süresi uzadıkça pupa kuru ağırlığı ve pupa lipit miktarında da düşüş kaydedilmiştir. Wang vd. (2014), *Cnaphalocrocis medinalis* larvalarının vitamin eksikliğinde gelişemediğini belirtmiştir. Gelişim süresi diyetdeki gıdaların kullanılabilirliğiyle ilişkilidir. Sonuç olarak, *A. alni* larvaları için vitamin besinlerin sindirilebilirliğini ve kullanılabilirliğini artırdığından diyetdeki vitamin konsantrasyonu arttıkça gelişim süresi kısaltmakta ve buna bağlı olarak da pupa kuru ağırlığı ve pupa ham protein miktarları da artış göstermektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma Mustafa TOKGÖZ'ün Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Ahsan, M.K., Khan, A.R. ve Ferdous, T., 2013. Growth and development of the mulberry silkworm, *Bombyx mori* L. on vitamin B and C supplemented diet. Bangladesh Journal of Zoology, 41(2), 199-206.
- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Parkinson, J.A., Quarmby, C. ve Roberts, J.D., 1986. Chemical Analysis, in: Chapman, S.B. (Ed), Methods in plant Ecology, Oxford, Blackwell Scientific Publications., pp. 411-466.
- Barbehenn, R.V., Knister, J., Marsik, F., Jahant-Miller, C. ve Nham, W., 2015. Nutrients are assimilated efficiently by *Lymantria dispar* caterpillars from the mature leaves of trees in the Salicaceae. Physiological Entomology, 40, 72-81.
- Chang, C.L ve Li, Q.X., 2004. Dosage effects between dietary niacin and other B vitamins on larval development of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Annals of The Entomological Society of America, 97(3), 536-540.
- Chang, C.L., Kurashima, R. ve Albrecht, C., 2000. Effect of limiting concentrations of growth factors in mass rearing diets for *Ceratitis capitata* larvae (Diptera: Tephritidae). Annals of The Entomological Society of America, 93(4), 898-903.
- Deletre, E., Schatz, B., Bourguet, D., Chandre, F., Williams, L., Ratnadass, A. ve Martin, T., 2016. Prospects for repellent in pest control: current developments and future challenges. Chemoecology, 26, 127-142.
- Etebari, K. ve Matindoost, L., 2004. Effects of hypervitaminosis of vitamin B3 on silkworm biology. Journal of Biosciences, 29(4), 417-422.
- Etebari, K. ve Matindoost, L., 2005. Application of multi-vitamins as supplementary nutrients on biological and economical characteristics of silkworm *Bombyx mori* L. Journal of Asia-Pacific Entomology, 8(1), 107-112.
- Firidin, B. ve Mutlu, C., 2009. Nitrogen utilization pattern and degradation capability of some plant secondary metabolites by *Agelastica alni* L. (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Entomological Research Society, 11(2), 1-15.
- Genç, H., 2006. General principles of insect nutritional ecology. Trakya University Journal of Natural Sciences, 7(1), 53-57.
- Gordon, H.T., 1968. Quantitative aspects of insect nutrition. American Zoologist, 8, 131-138.
- Jensen, K., Mayntz, D., Toft, S., Clissold, F.J., Hunt, J. Raubenheimer, D. ve Simpson, S.J., 2012. Optimal foraging for specific nutrients in predatory beetles. Proceedings of The Royal Society B / Biological Sciences, 279, 2212-2218.
- Jensen, K., Mayntz, D., Wang, T., Simpson, S.J., ve Overgaard, J., 2010. Metabolic consequences of feeding and fasting on nutritionally different diets in the wolf spider *Pardosa prativaga*. Journal of Insect Physiology, 56, 1095-1100.
- Jose, B.K., Sudheendrakumar, V.V. ve Sajeev, T.V., 2014. Micronutrients - Significance and function in growth and survival of insects – A case study. Entomology and Applied Science Letters, 1(3), 1-4.
- LoPresti, E.F., 2014. Chenopod salt bladders deter insect herbivores. Oecologia, 174, 921-930.
- Oonincx, D.A.G.B., van Broekhoven, S. van Huis, A. ve van Loon, J.J.A., 2015. Feed conversion, survival and development and composition of four insect species on diets composed of food by-products. PLoS One, 10(12), 1-20.
- Pontes, G., Pereira, M.H. ve Barrozo, R.B., 2017. Salt controls feeding decisions in a blood-sucking insect. Journal of Insect Physiology, 98, 93-100.
- Schoonhoven, L.M., Blaney, W.M. ve Simmonds, M.S.J., 1992. Sensory coding of feeding deterrents in phytophagous insects, in: Bernays, E.A. (Ed), Insect-Plant Interactions, Boca Raton, FL: CRC, 4, 59-79.

- Senior, A.M., Charleston, M.A., Lihoreau, M., Buhl, J., Raubenheimer, D. ve Simpson, S.J., 2015. Evolving nutritional strategies in the presence of competition: A geometric agent based model. *PLOS Computational Biology*, 11, 3, 1-24.
- Simpson, S.J. ve Raubenheimer, D., 2001. The geometric analysis of nutrient–allelochemical interactions: a case study using locusts. *Ecology*, 82, 422–439.
- Trumper, S. ve Simpson, S.J., 1993. Regulation of salt intake by nymphs of *Locusta migratoria*. *Journal of Insect Physiology*, 39(10), 857-864.
- Wang, Y.C., Zhang, S.K., Ren, X.B. ve Su, J., 2014. Effects of dietary additives in artificial diets on survival and larval development of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Florida Entomologist Society*, 97(3), 1041-1048.
- Yamamoto, R. T., 1969. Mass rearing of tobacco hornworm. II. Larval rearing and pupation. *Journal of Economic Entomology*, 62, 1427-1431.
- Yanar, O., 2013. *Agelastica alni* (L.) (Coleoptera: Chrysomelidae) Larvalarının Beslenme ve Gelişimine Besin Kalitesi ve Tanık Asitin Etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi/The Black Sea Journal of Sciences*, 3(9), 81-90.

B₂ Kristal Yapıdaki OsAl Bileşiğinin Yapısal, Elektronik, Elastik, Termodinamik ve Fonon Özelliklerinin İncelenmesi

The investigation of the structural, electronic, elastic, thermodynamic and phonon properties of OsAl in B₂ crystal structure

Mustafa ÖZDURAN*

Ahievran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 40100, Kırşehir

• Geliş tarihi / Received: 03.04.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 20.06.2018

Öz

OsAl bileşiğinin yapısal, elektronik, elastik, termodinamik ve fonon özelliklerinin teorik olarak incelenmesi, pseudopotential düzlemsel dalga yöntemiyle yoğunluk-fonksiyonel teoriye dayanan ab initio hesaplamaları yapılarak sunulmuştur. Değiş-tokuş korelasyon enerjisi için Genelleştirilmiş Gradyent Yaklaşımı seçildi. Örgü sabiti, bulk modülü, ikinci dereceden elastik sabitler, elektronik band yapısı ve toplam durum yoğunlukları (DOS) gibi parametreler hesaplandı. Yapılan hesaplamalar CsCl yapıdaki OsAl'nin bir metal olduğunu göstermektedir. Elastik sabitler, zorlanma ilişkisinden türetilmiştir. Fonon dispersiyon eğrileri yoğunluk fonksiyonel pertürbasyon teorisinin ilk prensip lineer tepki yaklaşımı kullanılarak elde edildi.

Anahtar kelimeler: Band yapısı, Bulk modülü, Fonon dispersiyon eğrileri, Fonon frekansları, İlk prensip hesaplamaları, Örgü sabiti

Abstract

A theoretical study of structural, electronic, elastic, thermodynamic and phonon properties of OsAl compound is presented by performing ab initio calculations based on density-functional theory using pseudopotential plane wave method. The generalized-gradient approximation (GGA) is chosen for the exchange–correlation energy. The calculated structural parameters, such as the lattice constant, bulk modulus, second-order elastic constants, the electronic band structures and the related total density of states and charge density are presented. The calculations predict that OsAl is a metal in CsCl phase. The elastic constants were derived from the stress–strain relation. Phonon-dispersion curves were obtained using the first principles linear-response approach of the density functional perturbation theory.

Keywords: Band structure, Bulk modulus, Phonon-dispersion curves, Phonon- frequencies, Ab initio calculations, Lattice constant

* Mustafa ÖZDURAN; mozduran@ahievran.edu.tr; Tel: (0286) 280 47 07; orcid.org/0000-0003-4347-5906

1. Giriş

İntermetalik bileşikler; yüksek erime noktaları, yüksek sıcaklıklarda oksitlenme direnci, dayanıklılık ve süperiletken özelliklerinden dolayı ilgi çekmişlerdir (Hein vd., 1969; Rapp vd., 1974). Osmiyum çok düşük sıkıştırılabilirliğe ve yüksek bulk modülüne sahip platin grubuna ait yoğun ve sert bir metaldir. Platin grubunda (Rh, Ru, Pd, Pt, Ir) diğer elementler gibi Osmiyum da çeşitli kimyasal reaksiyonlar için yüksek katalitik potansiyele sahiptir. Dolma kalem uçları, alet mili, elektrik kontağı vb. yüksek sürtünmeli uygulamalarda kullanılır. Acharya ve ark. (Acharya vd., 2014) ab-initio Tam Potansiyel Lineer düzlem dalgası Metodu (FP-LAPW) kullanarak B₂ yapısındaki OsAl'in yapısal, termal elektronik ve elastik özelliklerini rapor etmişlerdir. OsAl bileşiğinin faz dengesi, Katrych vd. (2007) tarafından Toz X-ışını kırınımı (PXRD), Diferansiyel Termal Analiz (DTA), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağıtıcı X-ışını Spektroskopisi (EDX) kullanılarak incelenmiştir. Xing vd. (2012), ilk prensip hesaplamalarını kullanarak ısıya dayanıklı TM ve TM3 (T = Ti, Zr, Hf; M = Rh, Ru, Ir, Pd, Pt, Os) intermetalik otuz altı ikili geçiş metalinin temel-durum yapısal faz kararlılıklarını ve entalpilerini araştırmışlardır. Edshammar (Edshammar, 1965), X-ışını kırınım teknikleri ile OsAl, OsAl₂, Os₂Al₃ ve Os₄Al₁₃ bileşiklerinin yapısal özelliklerini ölçmüştür. Spokas ve ark. tarafından OsAl için nükleer manyetik rezonans ölçümleri yapılmış (Spokas vd., 1970) bu materyalin 8 ve 12 MHz de ve 4.2 ile 300 K arası sıcaklıklarda, nükleer manyetik rezonans frekansında değişim (the Knight shift), nükleer spin örgü gevşeme oranı ve yoğunluk gibi özelliklerini incelemiştir.

İntermetalik bileşiklerin teknolojik uygulamaları için fiziksel özellikleri anlamak kimyasal davranışları ile ilgili alaşım sistemlerinin tam bir araştırması önemlidir.

Bu çalışma da, OsAl bileşiğinin elastik sabitler, titreşimsel özellikleri ve bant yapıları gibi fiziksel özelliklerinin, Kuantum ESPRESSO kodu (Giannozzi, vd., 2009.) ve Quasi Harmonik Yaklaşım (QHA) yoluyla düzlem dalga pseudo-potensiyel yoğunluk fonksiyonel teori yöntemi ile araştırılmasına odaklanıldı (Isaev, 2009).

2. Metod

Ab initio hesaplamaları, yoğunluk-fonksiyonel teori (DFT) üzerine kurulu olan Quantum-

Espresso (Giannozzi, vd., 2009) paket programı ile yapıldı ve pseudopotansiyeller OsAl bileşiği için Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) (Perdev, vd., 1966) tarafından önerilen genelleştirilmiş gradyent yaklaşımı (GGA) kullanıldı. Elektron-iyon etkileşimi ultrasoft Vanderbilt pseudo potansiyeliyle tanımlandı (Vanderbilt, 1990). Tek parçalı fonksiyonlar, tüm özelliklerin uygunluğunu tamamen yakınsamak için yeterli olan 40 Ry'lik kinetik enerji kesme değerine ayarlanmış bir düzlemsel dalga temelinde genişletildi. Elektronik yük yoğunluğu için, kinetik enerji kesintisi 400 Ry'ye kadar ölçüldü. Hesaplamalarda kullanılan indirgenemez Brillouin bölgesindeki (BZ) k-nokta sayısı 60 olarak alındı. Fermi yüzeyine kadar tamamlama smearing tekniği (Methfessel ve Paxton, 1989) ile yapıldı ve $\sigma=0.02$ Ry smearing parametresi seçildi. Fonon dispersiyonları ve durumların yoğunluğu titreşimlerini elde etmek için 4 x 4 x 4 q-noktalı kafes üzerinde sekiz dinamik matris hesaplandı.

Keyfi dalga vektörlerindeki dinamik matrisler, bu kafes üzerindeki Fourier dönüşümü kullanılarak değerlendirildi.

Isı kapasitesi ve Debye sıcaklığı, yarı harmonik yaklaşımı (QHA) aracılığıyla elde edilen fonon frekanslarından çeşitli sıcaklıklarda hesaplandı.

3. Bulgular

OsAl, Pm-3m uzay grubu ile CsCl (B₂) yapısında kristalleşir. İki atomun koordinatları Os için (0, 0, 0) ve Al için (0.5, 0.5, 0.5) noktalarıdır. Örgü sabitleri ve bulk modülünün basınca göre türevleri, toplam enerji değerlerinin Murnaghan denklemi (Murnaghan, 1944.) ile fit edilmesiyle elde edilmiştir. OsAl'nin, B, C₁₁, C₁₂, C₄₄, B' için hesaplanan değerler Tablo 1'de verilmiştir. OsAl'nin bulk modülü ve bulk modülünün basınç türevi için sadece bir teorik veri mevcutken deneysel herhangi bir veri yoktur. OsAl için FP-LAPW metot ile hesaplanan bulk modül değeri ile mevcut hesaplanmış olan arasındaki fark yaklaşık %3.8'dir. Bu fark oldukça uygun bir aralıktadır.

OsAl için örgü sabitinin hesaplanan değeri mevcut verilerle iyi bir uyum içindedir. Elastik sabitler, bir malzemenin stres altında nasıl davrandığını açıklayan önemli parametreler olup kübik kristaller için, üç bağımsız elastik sabit (C₁₁, C₁₂ ve C₄₄) vardır ve mekanik kararlılık koşulları

$C_{11} + C_{12} > 0$, $C_{44} > 0$ ve $C_{11} - C_{12} > 0$ 'dir.

Tablo 1. B₂ kristal yapıdaki OsAl bileşiğinin hesaplanan örgü vektörleri (Å), bulk modülü, bulk modülünün basınca göre türevleri ve ikinci dereceden elastik sabitler (GPa).

Ref.	a(Å)	B	B'	C ₁₁	C ₁₂	C ₄₄	G	B/G
OsAl Bu çalışma	3.017	229.293	4.32	332.993	177.443	138.826	114.405	2.004
FP-LAPW. (Acharya)	3.020	238	4.55	352.37	181.57	179.62	133.06	1.78
Deney (Edshammar)	3.001	-	-	-	-	-	-	-

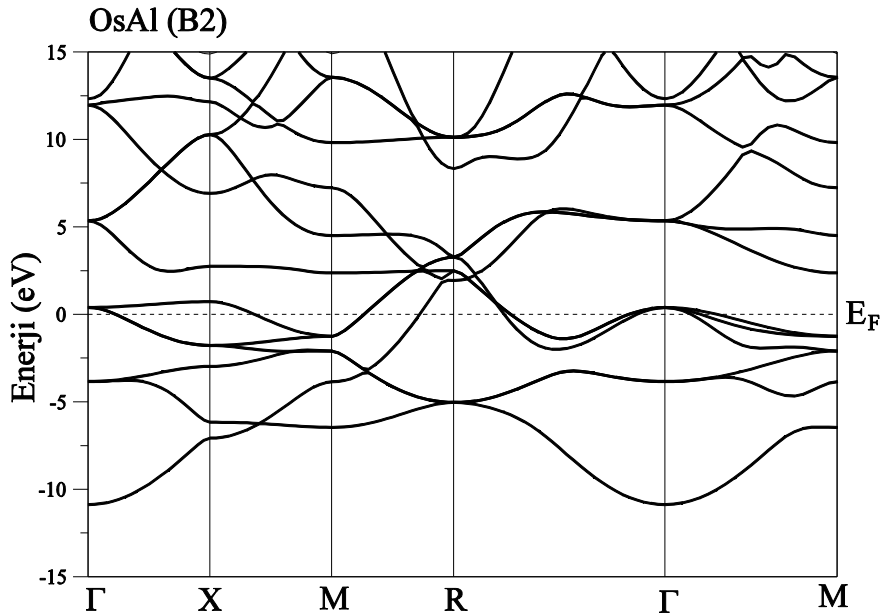
Elastik sabitler ve bulk modülünün hesaplanması için daha önce yayınlanan işlemleri ve formülleri kullandık (Arıkan, 2015, Al, 2017 ve Al, 2018). OsAl'ın süneklik ve kırılmalık özelliklerini araştırmak için bulk modülünün kesme (Shear) modülüne oranı (B/G), hesaplanmıştır. Bu oran, materyallerdeki kırılma aralığı derecesinin ampirik bir kriteri olarak düşünülebilir (Pugh, 1954). B/G oranı 1.75'ten büyükse malzeme sünek, 1.75'ten küçükse, o materyal kırılmalık gösterir. OsAl için B/G değeri 2.00'dır ve bu değer malzemenin sünek yapıda olduğunu göstermektedir. Öte yandan, bu malzemenin kesme modülünün (G) hesaplanan değeri mevcut FP-LAPW metot ile hesaplanan değerden %16.3 daha küçüktür. Bu da Yoğunluk Fonksiyonel Teori (DFT) hesaplamaları için oldukça anlaşılabilir bir değerdir.

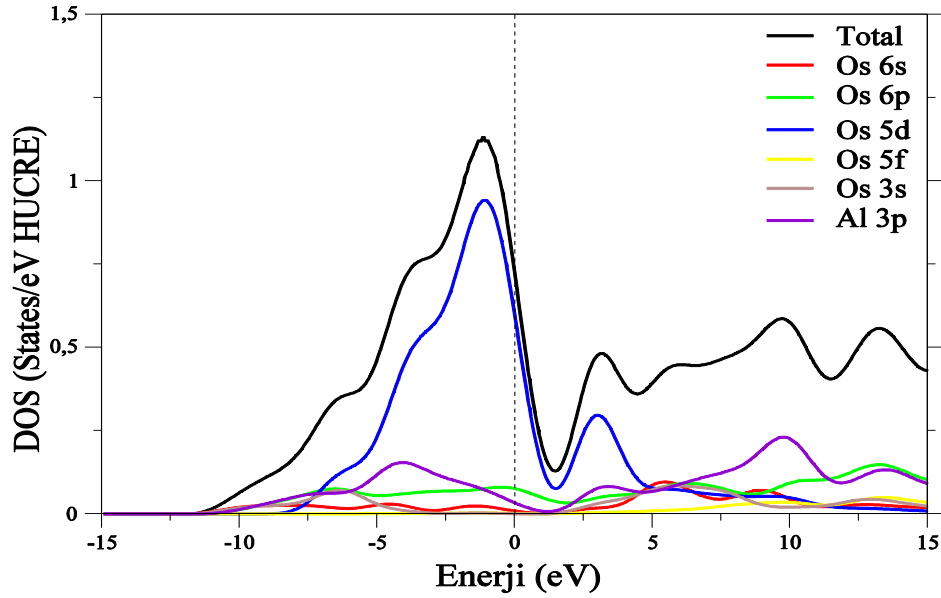
Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı (GGA) kullanılarak, basit kübik Brillouin bölgesinde (BZ) yüksek simetri yönleri boyunca, OsAl'nin B₂ fazı için $E_F = 0$ seçilerek hesaplanan bant yapıları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bu bileşik için band durumlarının karakterleri, toplam ve kısmi durum yoğunlukları (DOS)

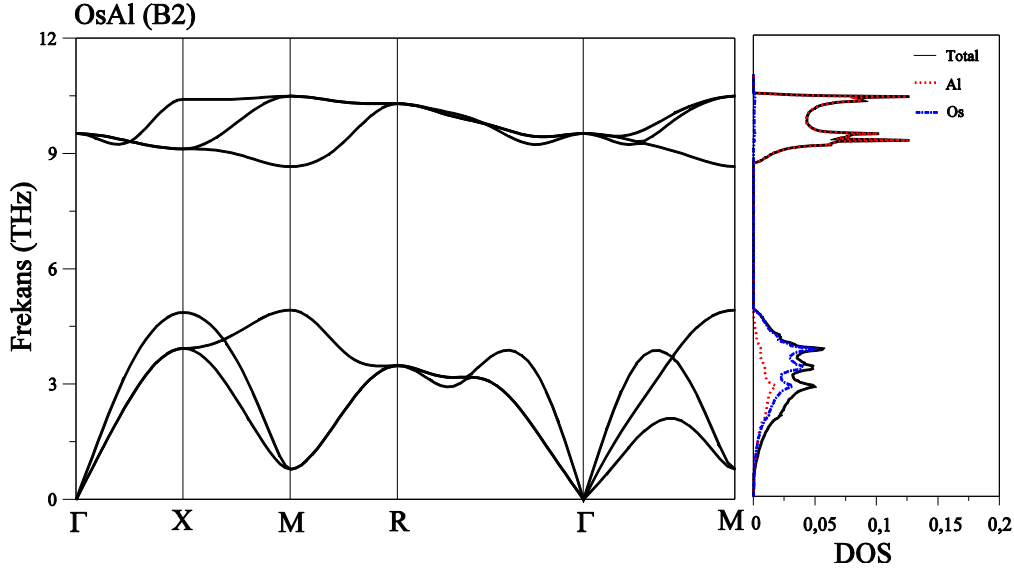
hesaplanarak Şekil 2'de verilmiştir. Fermi düzeyinde toplam ve kısmi yoğunlukta (DOS) boşluk olmadığı görülmektedir.

Bundan dolayı Fermi seviyesi boyunca çeşitli yönlerde geçen bantların varlığı malzemenin metalik davranış sergilediğini gösterir. Sonuçlar, Fermi seviyesindeki durum yoğunluğunun baskın katkılarının Os-5d durumundan geldiğini göstermektedir. Osmiyum elementi, oksitlenme ve korozyona karşı dayanıklı olduklarından ve nadir bulduklarından dolayı altın ve gümüş ile birlikte değerli metaller sınıfındadır. Os-tabanlı bileşiklerin deneysel bulguları oldukça pahalı olabilmektedir. Ab initio metot ise hiçbir deneysel veriye ihtiyaç duymadan hesaplama yapabilmektedir. OsAl bileşiğinin fonon spektrumlarının deneysel verileri henüz mevcut değildir. Fonon spektrumu bilgisi, faz geçişi, termodinamik, kararlılık ve termal özellikler gibi çeşitli malzeme özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Şekil 3, B₂ fazında OsAl için fonon dispersiyon eğrilerini ve durum yoğunluklarını göstermektedir.

**Şekil 1.** B₂ fazında OsAl için Brillouin bölgesindeki yüksek simetri boyunca elektronik bant yapısı.



Şekil 2. B₂ fazında OsAl için toplam ve kısmi durum yoğunluk eğrisi.

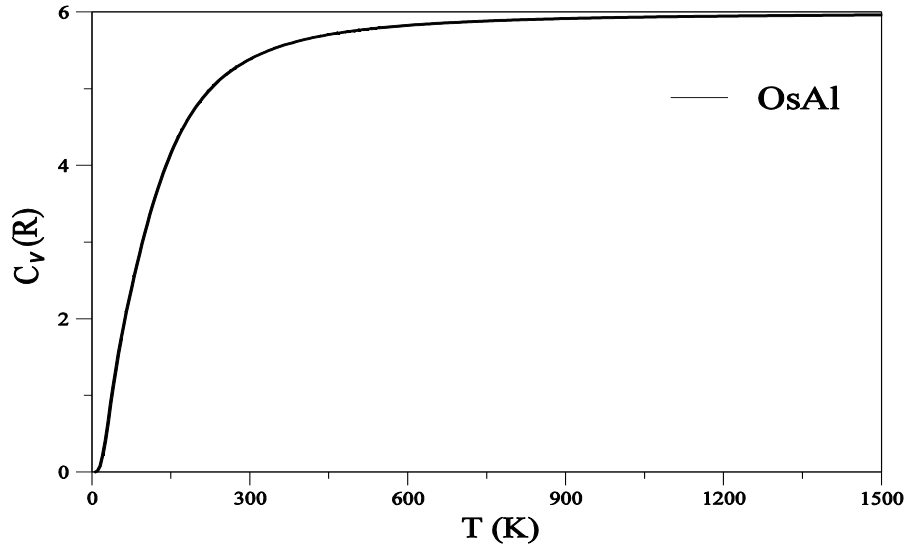


Şekil 3. B₂ fazında OsAl için fonon dispersiyon eğrilerini ve durum yoğunlukları

OsAl'in birim hücresi iki atom içerdiğinden toplam 6 tane fonon dalına sahiptir. Simetriden dolayı, Γ -X ve M- R- Γ temel simetri yönleri boyunca fonon dallarının sayısı azalır. Tüm fonon frekansları pozitif ve hiçbir fonon dalının sıfır frekansın altında olmadığından, bu OsAl bileşiğinin dinamik olarak kararlı olduğunu gösterir. Os ve Al'nin atomlarının kütle oranlarından dolayı, OsAl için akustik ve optik dallar arasında bir bant boşluğu vardır. M noktasındaki bu boşluğun değeri yaklaşık 4.218 THz olarak ölçülmüştür. Kısmi fonon durum yoğunluklarından OsAl için optik frekans bölgesinin büyük kesimi Al atomlarından, diğer taraftan akustik frekans bölgesinin büyük kesimi ise Os atomlarından kaynaklanır. Bu malzemenin

fonon hesaplamaları, gelecekteki teorik ve deneysel çalışmaların yorumları için kesinlikle yararlı olacaktır.

Şekil 4' de sıcaklığın bir fonksiyonu olarak OsAl bileşiğinin sabit hacimde ısı kapasitesi (C_v) hesaplanması görülmektedir. Isı kapasitesi C_v doyum noktasına ulaşmadan önce 0-300 K arasında hızlı bir şekilde artmaktadır. Hesaplanan ısı kapasitesi C_v yüksek sıcaklık bölgesinde Dulong-Petit limitine (Petit, ve Dulong, 1819) yaklaşmaktadır. Sıcaklık 300 K'nin üzerine çıktığında C_v fonksiyonunun sabit değere ulaştığı görülmektedir. Optik ve akustik modlar ısı kapasitesi üzerinde büyük etkilere sahiptir.



Şekil 4. B₂ fazda OsAl bileşiğinin sabit basınçta farklı sıcaklıklarda hesaplanan ısı kapasitesi.

4. Sonuç ve Tartışma

Uzun kullanım ve yüksek sıcaklık için, malzemelerin iyi bir faz kararlılığı ve oksidasyon direncinin yanı sıra süneklik ve tokluk gibi iyi mekanik özelliklere sahip olması gerekir. Bu çalışmanın amacı, DFT'nin GGA içindeki *ab-initio* psudepotansiyel metod kullanılarak OsAl bileşiğinin yapısal, elastik, elektronik, termodinamik ve fonon özelliklerinin incelenmesidir. OsAl bileşik örgü sabiti, bulk modülü ve elastik sabitleri hesaplanmış ve mevcut literatür ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan elastik sabitlerinden, OsAl bileşiğinin mekanik olarak kararlı olduğu görülmüştür. Pugh'un kırılma/süneklik kriterine göre, burada çalışılan OsAl materyalinin sünek bir malzeme olduğu anlaşılmıştır. OsAl'nin bant yapısının büyük kesimi Fermi seviyesi yakınlarında durum yoğunlukları için Os atomunun 5d durumlarının sağladığı bulunmuştur. GGA hesaplamaları, OsAl bileşiğinin B2 yapısı için metalik bileşik olduğunu göstermektedir. OsAl bileşiklerinin yoğunluk-fonksiyonel pertürbasyon teorisi (DFPT) kullanılarak fonon dispersiyon eğrileri ve durum yoğunluğu eğrilerinden dinamik olarak kararlı olduğu görüldü. OsAl bileşiğinin akustik dalları neredeyse tamamen Os atomlarının titreşimlerinden gelirken, optik dallar çoğunlukla Al atomlarının titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. OsAl bileşiklerinin elde edilen fonon hesaplamaları, gelecekteki deneysel ve teorik çalışmaların yorumları için kesinlikle yararlı olacaktır. Sonuç olarak, sabit hacimdeki sıcaklığa farklı sıcaklıklarda örgü ısı kapasitesi rapor edilmiştir.

Kaynaklar

- Acharya, N., Fatima, B., Chouhan, S.S. ve Sanyal, S.P., 2014. First Principles Study on Structural, Electronic, Elastic and Thermal Properties of OsAl and OsSi. *Advanced Materials Research*, 1047, 71-77.
- Al, S. ve Arıkan, N., 2017. Kübik AlLiSi yapıdaki XMnSb (X=Au ve Ir) bileşiklerinin yapısal, mekanik ve dinamik özellikleri. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(3), 16-22.
- Al, S., Arıkan, N., Demir, S. ve İyigör A., 2018. Lattice dynamic properties of Rh₂XAl (X=Fe and Y) alloys. *Physica B: Condensed Matter*, 531, 16-20.
- Arıkan, N., Charifi, Z., Baaziz, H., Uğur, Ş., Ünver, H. ve Uğur, G., 2015. Electronic structure, phase stability, and vibrational properties of Ir-based intermetallic compound IrX (X=Al, Sc, and Ga). *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 77, 126-132.
- Edshammar, L.E., 1965. The Crystal Structures of Os₂Al₃ and OsAl₂. *Acta Chemica Scandinavica*, 19, 871-874.
- Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Ceresoli, D., Chiarotti, G.L., Cococcioni, M., Dabo, I., Corso, A.D., de Gironcoli, S., Fabris, S., Fratesi, G., Gebauer, R., Gerstmann, U., Gougoussis, C., Kokalj, A., Lazzeri, M., Martin-Samos, L., Marzari, N., Mauri, F., Mazzarello, R., Paolini, S., Pasquarello, A.,

- Paulatto, L., Sbraccia, C., Scandolo, S., Sclauzero, G., Seitsonen, A.P., Smogunov, A., Umari, P. ve Wentzcovitch, R.M.J., 2009. QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 21(39), 395502.
- Hein, R.A., Cox, J.E., Blaugher, R.D. ve Waterstrat, R.M., 1969. Superconducting behavior of A15 compounds. *Solid State Communications*, 7, 381-384.
- Katrych, S.O., Petyukh, V.M., Bondar, A.A. ve Steurer, W., 2007. Physicochemical materials research. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 46, 357-364.
- Methfessel, M. ve Paxton, A.T., 1989. High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals. *Physical Review B*, 40, 3616.
- Murnaghan, F.D., 1944. The Compressibility of Media under Extreme Pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 30(9), 244-247.
- Perdev, J.P., Burke, K. ve Ernzerhof, M., 1996. Generalized Gradient Approximation Made Simple. *Physical Review Letters*, 77, 3865.
- Petit, A.T., ve Dulong, P.L., 1819. Recherches sur quelques points importants de la Théorie de la Chaleur. *Annales de Chimie et de Physique*, 10, 395-413.
- Pugh, S.F., 1954. XCII. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals. *Philosophical Magazine*, 45, 823-843.
- Rapp, O., Invarsson, J. ve Claesson, T., 1974. Search for superconductivity in Laves phase compounds. *Physical Letters A*, 50, 159-160.
- Spokas, J.J. Sowers, C.H. Van Ostenburg, D.O. ve Hoeve, H.G., 1970. Nuclear Magnetic Resonance in Cubic Equiatomic Group-VIII Aluminides. *Physical Review B*, 1, 2523-2531.
- Vanderbilt, D., 1990. Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism. *Physical Review B*, 41, R7892.
- Xing, W., Chen, X-Q., Li, D., Li, Y., Fu, C.L., Meschel, S.V. ve Ding, X., 2012. First-principles studies of structural stabilities and enthalpies of formation of refractory intermetallics: TM and TM₃ (T=Ti, Zr, Hf; M=Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt). *Intermetallics*, 28, 16-24.

Effect of Cactus Plants on Magnetic Fields Bruited by Computer Screens

Bilgisayar Ekranlarının Yaydığı Manyetik Alanlar Üzerinde Kaktüs Bitkisinin Etkisi

Eren ERENSAYIN^{1,a}, Nurettin TOPALOĞLU^{1,b}, M. Hanefi CALP^{*2,c}, Serkan SAVAŞ^{3,d}

¹Gazi University, Informatics Institute, Ankara, Turkey

²Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

³Ahmet Çiçek Vocational and Technical Anatolian High School, Ankara, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 10.02.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 07.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 20.06.2018

Abstract

People who spend most of their daily lives in environments or labs with computer are exposed to magnetic fields in high levels. In particular, the harmful rays that computer screens transmit are adversely affecting human health. In this study, firstly the negative effects of magnetic fields on human health were examined by literature review. Additionally, whether cactus plants could reduce harmful rays of computer screens were examined and results of measurements done were presented. ELF (very low frequency) measurements were performed by placing the cactus plants and computer screens in various forms and environments. Similar results were obtained with repeated measurements and tests on different (LCD, Tubular) displays, and it was concluded that the cactus plants did not minimize the magnetic field in the environment.

Anahtar kelimeler: ELF, Cactus plant, LCD and CRT monitor, Magnetic field

Öz

Günlük hayatın büyük bir bölümünü bilgisayarlı ortamlarda veya laboratuvarlarda geçiren insanlar, yüksek düzeylerde manyetik alana maruz kalmaktadırlar. Özellikle, bilgisayar ekranlarının yaydığı zararlı ışınlar, insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, öncelikle literatür taraması yapılarak manyetik alanların insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri incelenmiştir. Daha sonra, bilgisayar ekranlarının yaydığı zararlı ışınların kaktüs bitkisi ile minimize edilip edilmediği araştırılmış olup yapılan ölçümlerle sonuçlar ortaya konmuştur. ELF (Çok düşük frekanslı) ölçümleri; kaktüs bitkileri ve bilgisayar ekranları çeşitli şekillerde ve ortamlarda bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, farklı (LCD, Tüplü) ekranlar üzerinde defalarca yapılan ölçüm ve testler ile yakın değerler elde edilmiş ve kaktüs bitkilerinin ortamda bulunan manyetik alanı minimize etmediği ortaya çıkmıştır.

Keywords: ELF, Kaktüs bitkisi, LCD ve CRT ekran, Manyetik alan

*c M. Hanefi CALP; mhcalp@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 771 72 50; orcid.org/0000-0001-7991-438X

1. Introduction

Scientific research and development studies have produced a modern quality of life on one hand, the pollution that forces quality of life is produced in the same environment on the other hand. By the discovery of electricity in the 19th century, a new dimension of life has been opened and the technological innovations following it have been proliferated (Tatak et al., 2005). While the positive aspect of this knowledge and technological development is to facilitate life, the negative side is that it contains the elements disrupting the quality of life. The use of electric household appliances in daily life is increasing in accordance with the income level of the communities. Any device that operates with electrical current, or cables that carry energy, create electrical, magnetic, or electromagnetic fields around. During the operation of these devices, it is known that the living organisms are affected by the electromagnetic field caused by the devices (Cameron et al., 1993). With the development of technology and the increased use of radiation emitting devices, human body balance constantly exposed to radiation is impaired and various disorders arise. In recent years, with the introduction of computers into daily life, the electromagnetic fields emitted from monitors have been affecting people's health negatively (Arnetz and Berg, 1996). Computer monitors emit electromagnetic radiation at certain frequencies between 0 and 1015 Hz. The electromagnetic energies of the electromagnetic waves in this range are not high enough to break an electron from its orbit. However, as indicated above, these electromagnetic associations have negative biological effects on living organisms (URL-1, 2017).

In this study, it was investigated whether harmful rays of computer screens and radiation were reduced by cactus plants. This is evidenced by the measurements and proved by test results. The study is very important in terms of demonstrating that people who spend most of their daily life in computerized environments or in laboratories must be protected from magnetism. The study was organized in the form of electric and magnetic field in the second part, shape of the electric field perceived in the human body in the third part, effects of computer screens on human health in the fourth part, results of the measurement and evaluation made within the scope of the research in the fifth part, and conclusions and recommendations obtained in the sixth part, respectively.

2. Electric and Magnetic Field

Electric field means to the pull or push force effect created by an electric charge on another electric charge. Each electric charge produces an electric field. The presence of electric charges creates the electric field. As the supply voltage of a device increases, the electric field also increases. Electric field strength decreases rapidly as you move away from the source. Electromagnetic fields (EMF) occur when electric and magnetic fields come together. Here, the electric wave and the magnetic wave are displaced together at the speed of light. The distinctive features of electromagnetic fields are the frequencies and wavelengths. "Frequency" is the number of vibrations (oscillations) of a wave in a second and measured by Hertz (Hz). Wavelength is the distance of the waveguide during a vibration. As the frequency increases, the wavelength gets shorter and the energy emitted in the field increases (Karaoglu, 1996).

2.1. SAR value

Radio, television and radio systems, radar systems, satellite communication systems, microwave ovens, Global System for Mobile Communications (GSM) communication systems and working systems with Radio Frequency (RF) on medicine and industry are some examples of the systems operating in the 10kHz - 300GHz frequency range in the electromagnetic spectrum. The "Specific Absorption Rate (SAR)" is described as the measure of the interaction of the electromagnetic radiation created by such systems with the living tissue. SAR concerns power absorbed in tissues and transforming it into heat (Aral, 2008).

2.1.1. The importance of SAR value

"Basic limits" and "derived limits" are defined to determine the limitations that may be detrimental to human health. As a standard basic limit, the value of 4 W/kg is considered as the limit value which is defined as "it is harmful if human body temperature increases one degree with absorption of electromagnetic energy". In European countries, the head-zone SAR limit for public is 2 W/kg and in the United States is 1.6 W/kg. On the other hand, the upper SAR limit for arm and leg regions is 4 W/kg. According to these assumptions, the maximum power value that the tissues can absorb per kilogram is 4 W/kg. It is defined 10 times lower for workplaces and 50 times lower for public places as security margin

and the basic limits are 0.4 W/kg SAR for workplaces and 0.08 W/kg SAR for public places (Aral, 2008).

2.1.2. Electromagnetic spectrum

The electromagnetic spectrum is handled differently at different frequencies when the subject is human health. The most important ones are (i) low frequencies and high voltage lines, (ii) mobile communication and GSM networks, and (iii) microwave heating. In the electromagnetic spectrum:

- Precisely low frequency range from 3 Hz to 3 kHz
- Very low frequency range from 3 kHz to 30 kHz
- The region up to 10^{12} Hz is called radio waves.
- 10^{12} Hz is the infrared radiation region. All objects radiate at these frequencies.
- Visible light frequencies are 10^{14} Hz. Above these frequencies is the ionizing radiation region, with purple light, x, and gamma rays in this region (Terciyanlı, 2000)

3. Shape of the Electric Field Perceived in the Human Body

In the human body, there is the property of conductivity. When the body is exposed to an electric field, the electric charges accumulate on the surface of the body following the induction event. The accumulation of electric charges shows itself in different influences. Micro-sparks are seen between the skin and the object during touch. Vibrations of hair and body feathers manifest itself in a striking way, in the case of static electricity, when the hair is standing on the scalp. These characteristics allow the electric field to be more or less perceived depending on the person. Due to the high amount of body hair, especially when men are more sensitive than women, the sensitivity in animals is higher than both in women and men. Within the same logic framework, the outer part of the hand is 2 to 3 times more sensitive than the palm. When we raise our arms, we increase the electric field at the surface of the arms and hands locally. The perception thresholds of the electric field vary from person to person.

- Below 10 kV/m, very few people feel like "blowing" over their skin,

- Between 10-20 kV/m, some people feel a pinch in their skin,
- From 20 kV/m, more than 5% of people feel pinning, while others describe it as an unpleasant feeling (Aral, 2008).

It is first necessary to clarify the definitions of radiation and especially ionizing and non-ionizing radiation when it comes to electromagnetic fields and human health. The word radiation is used for the rays that can penetrate into matter. There are two groups according to whether ions penetrate into matter and ionize (electron break) or non-ionize.

- Direct Current (DC) to 300 GHz non-ionizing Electromagnetic Radiation,
- Ionizing Nuclear Radiation above 300 GHz (such as neutron, proton, alpha, beta particles, x and gamma rays) (Karaoglu, 1996).

3.1. Electromagnetic levels

The guidelines of the International Non-Ionizing Radiation Protection Board (ICNIRP) refer to limits in two classes. These are; Basic Limitations and Reference Levels.

Basic Limitations: These are electrical, magnetic and electromagnetic fields that directly affect human health and change over time.

Parameters used for basic limitations due to frequency;

- Current density (J) [A/m^2]
- Specific Absorption Rate (SAR) [W/kg]
- Power density (S) [W/m^2]

Reference levels: These are measurable quantities for determining whether basic limitations are met. These levels are obtained from computer simulations as well as measurements and tests. Providing reference levels also means that basic limitations are provided. Figure 1 shows the variation of the limit values with frequency. The lower curve shows the general population while the upper curve shows the limit values for the workers. From DC to 1 MHz, for example 300 V/m is limit for the general public, this value is reduced to 42 v/m at the 900 MHz frequency reserved for mobile phones (Sevgi, 2005).

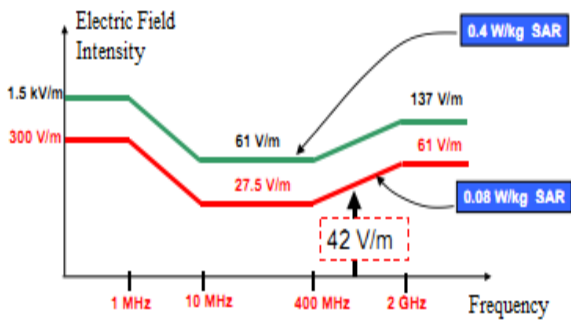


Figure 1. Relationship between current flowing through the body and the time (Sevgi, 2005)

The World Health Organization (WHO) collects studies on carcinogenic substances in four groups; (1) carcinogen, (2) possible carcinogen, (3) likely carcinogen, (4) those not yet classified. Because of the long-term, wide-ranging and reliable studies / researches on high-voltage lines, WHO now relies on research data and shows ELF magnetic fields are now in the possible carcinogen class (Sevgi, 2005). Table 1 provides general public and occupational exposure standards.

Table 1. General public and occupational exposure standards

General Public Standards		Occupational Exposure Standards	
TS ENV 50166-1 standard	E-Field: 10 kV/m	TS ENV 50166-1 standard	E-Field: 30 kV/m
	B-Field: 6.4 G		E-Field: 16 G
ICNIRP standard	E-Field: 5 kV/m	ICNIRP Standard	E-Field: 10 kV/m
	B-Field: 1 G		B-Field: 5 G
IARC	ELF magnetic fields have been declared as class 2B carcinogen (October 2001).		
WHO	For ELF magnetic fields, 3 mG has been reported to increase the risk of leukemia by 1.7 times and 4 mG by 2 times (2004).		

In Table 2, some devices and their magnetic fields are shown.

Table 2. Some devices and typical magnetic fields (in milligauss) (Sevgi, 2005)

Device / Distance (d)	d = 10 cm	d = 30 cm	d > 1m
Vacuum cleaner	300-400	30-50	3-5
Iron	5-10	1	0.5
Washing machine	20-30	3-5	1
Hair dryer	400	10	1
Electric shaver	200	5	0.5
Mixer	70-200	5-10	0.5
Coffee machine	3-5	0.5	0.5
Dishwasher	20-40	5-10	0.5-1
Electric oven	5-10	0.5	0.5
Toaster	5-10	0.5	0.5
A refrigerator	5-10	1	0.5
Stereo	3-5	1	0.5
Color TV	3-5	1	0.5
Digital clock	2-5	1	0.5
Air conditioning	100	3-5	0.5
Photocopy machine	80-150	10-30	1-3

4. Effects of Computer Screens on Human Health

Computers have very important role in people's daily life all over the world (Szeto et al., 2014). In parallel with the increasing popularity of computers, the increase in personal purchasing power has led to the widespread use of computers in both home and business life. The impact of screens on health has begun to be discussed with

the widespread use of computers. Much of the research has focused on the level of radiation the screens have been transmitting (Blehm, 2005).

The first damage of the screens to the body is loading of the body with static electricity. In addition, the other harm of the screens is that they tire the brain especially during games because of the color scale they use. Particularly, it is known that children in the 0-6 age group stay in the

television or computer for a long time and suffer from consequent eye problems and concentration problems. A normal screen vibrates at a speed of 70Hz, and the image is refreshed. However, the lower limit for health is 100Hz. This is the case for TVs as well. At lower speeds, they tear their eyes seriously, such as fluorescent lamps, which tend to deteriorate. It has been observed that electromagnetic waves emitted from monitors reduce the level of melatonin in the body and increase the level of adrenocorticotrophic hormone (ACTH) (Arnetz and Berg, 1996). In addition, it has also been reported in experiments that it causes deaths on chicken embryos. It has been stated that electromagnetic fields increase estrogen secretion in women, estrogen can cause breast cancer, and in men stimulate testosterone levels, which can lead to cancer of the prostate or testicle. Computer monitors emit electromagnetic radiation at certain frequencies between 0 (zero) and 1015 Hz. The electromagnetic energies of the electromagnetic waves in this range are not high enough to break an electron from its orbit. However, as noted above, these electromagnetic associations have negative biological effects on living organisms (Karaoglu, 1996; Aral, 2008).

Studies have shown that computer users face with health problems who spend more than 10 years of computer screen face-to-face and at least 30 hours a week. The health problems faced by computer users due to the radiation effects of the screens come from diseases such as bodily discomfort, depression, and obsession. In addition to the mentioned diseases, it is stated that the health problem that most affects the computer users who spend time on the screen is visual symptoms (Blehm, 2005). In a Thomson study, researcher focused on the visual symptoms of computer users and described health problems caused by these symptoms as eyestrain, eye disturbances, eyestrain, strabismus, blurred vision (Portelle et al., 2012). The eye symptoms seen in computer users are generally referred to as "Computer Vision Syndrome (CVS)" and the symptoms increase with the spending time on the computer screen (Büyükbas et al., 2012).

In summary, physical risk factors alleged to originate from screens are usually defined as (URL-2, 2018);

- X-rays emitted from the screen, optical rays, radio frequency rays, very low frequency rays, extremely low frequency rays (Blehm, 2005).
- Ultraviolet and infrared rays,

- VLF, ULF, and ELF electric and magnetic fields,
- Static electric charges,
- Acoustic noise (ultrasonic, infrasound),
- Chemicals emitted from electronic circuit elements to the air Screen flicker,
- Light reflections affecting the eye.

5. Measurements Carried out Within the Scope of the Research, and its Results

In this section, the results of the measurement, testing and this analysis reveal whether the cactus plant has reduced the magnetic field.

5.1. Measuring device

Devices used in the measurements are taken from Gazi University Faculty of Medicine Non-Ionizing Radiation Protection (GNRP) Center and are mentioned below.

- **Narda EFA 300 Measuring Device**
 - Magnetic (B) Field (5Hz – 32 kHz) Probe
- **Narda EMR 300 Measuring Device**
 - Electric Field (100 kHz - 3 GHz) Probes (type 8.3)



Picture 1. Measuring device

5.2. Types of cactus used in measurement

- Acanthocalycium Glaucum
- Agevea Americana Blauw
- Aloe Morlatis
- Armatocereus Cartwrightianus
- Pachycereus Pringlei
- Trichocereus Huascha

5.3. Measuring in front of a tubular display

ELF measurements were performed by holding cactus all around the tube screen (right, left, back and front). The ELF value in front of the tubular screen was determined by the measurements, and the results were emerged that close to each other in the repeated measurements in front of the screen. The magnetic field in the environment was revealed that the cactuses do not minimize by the tests. For the standard defined by the WHO values

are 1 mG or less for human health. However, it was observed that the measurements in front of the tubular screen vary depending on the frequency between 1.9 mG and 6.4 mG. In Figure 2, the results from the measurements were shown.

As seen in Figure 2, in the cactus environment, 6.4376 mG was obtained in the measurement in front of the tubular display while similarly, in the

cactus-free environment, 6.4378 values have been obtained in front of the screen.

In the measurements made at 60 cm from the screen, the results obtained in the cactus and cactus free environments were 1,8819 mG and 1,8836 mG, respectively, and a very small difference occurred with 0.0017. This result showed that there was no remarkable effect of the cactus.

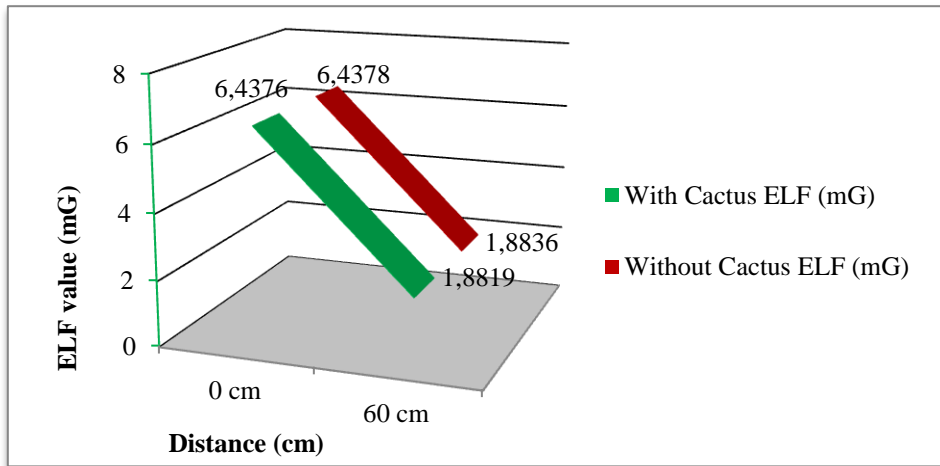


Figure 2. Measurement results in front of the tubular display

5.4. Measuring done in front of LCD display

In the study, it was investigated whether or not the cactus plant minimizes the magnetic field that the LCD screens transmit. The measurement results made on the LCD screen were given in figures, pictures and tables. ELF measurements were made with various cacti in various forms and in

different environments. Similar results were obtained with repeated measurements and tests in front of the LCD displays. The cactuses did not minimize this magnetic field in the environment, and it was emerged by the tests made. In Picture 2, the measurement environment and, in Figure 2 the data obtained from the measurements were shown.



Picture 2. Various Measurements Made with LCD screen

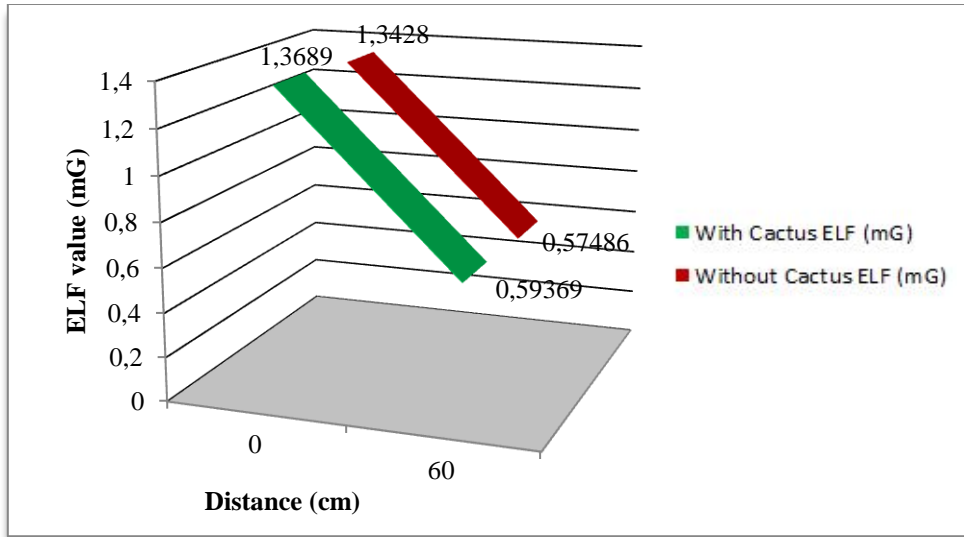
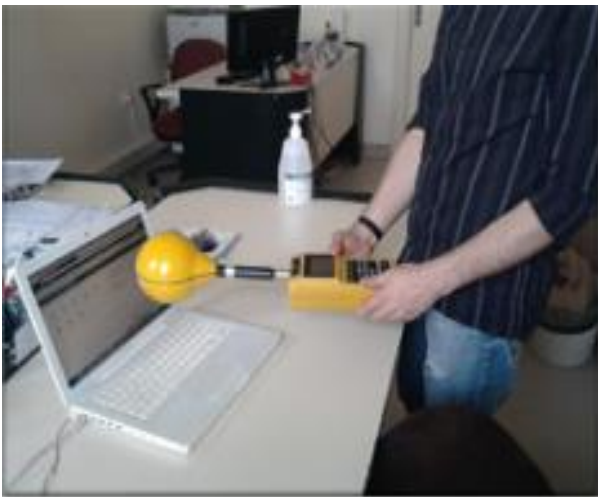


Figure 3. Results of cactus and cactus-free measurements in front of the LCD screen

As seen in Figure 3, in the cactus environment, 1.3689 mG was obtained in the measurement made in front of the screen, while similarly, in the cactus-free environment, 1.3693 was obtained in front of the screen. In the measurements taken at 60 cm from the screen, the results obtained in the cactus and cactus free environments were respectively 0,5937 mG and 0,6205 mG, with a small difference of 0.0268. This result showed

that there was no remarkable effect of the cactus. In the same way, various measurements were made on different brands and models. As a result of the measurements, it was observed that the cacti had no effect on the magnetic field. The measurements of samples taken from different brands and models were shown in Picture 3-4 and the data obtained were shown in Figure 4-5.



Picture 3. Measuring in front of the MAC screen



Picture 4. Measuring in front of the laptop screen

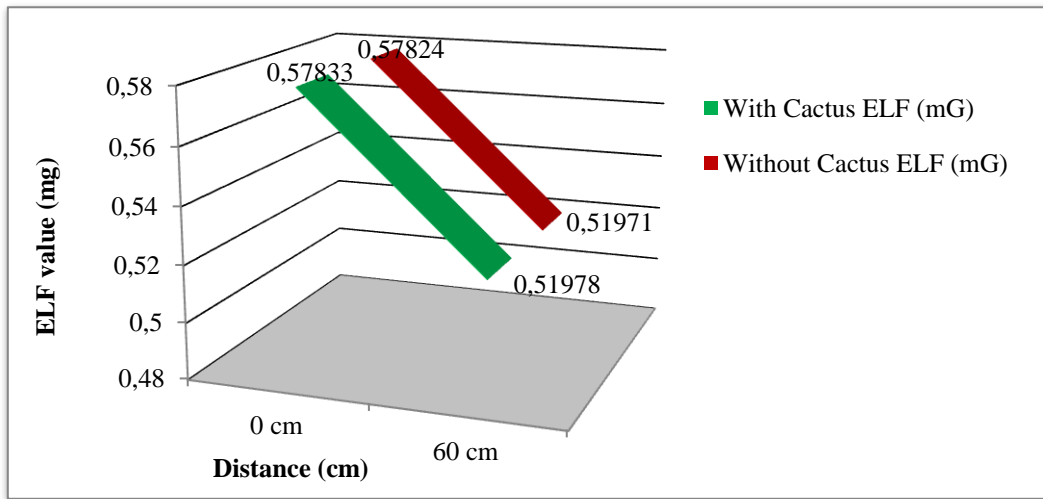


Figure 4. Measurement results in front of the MAC screen

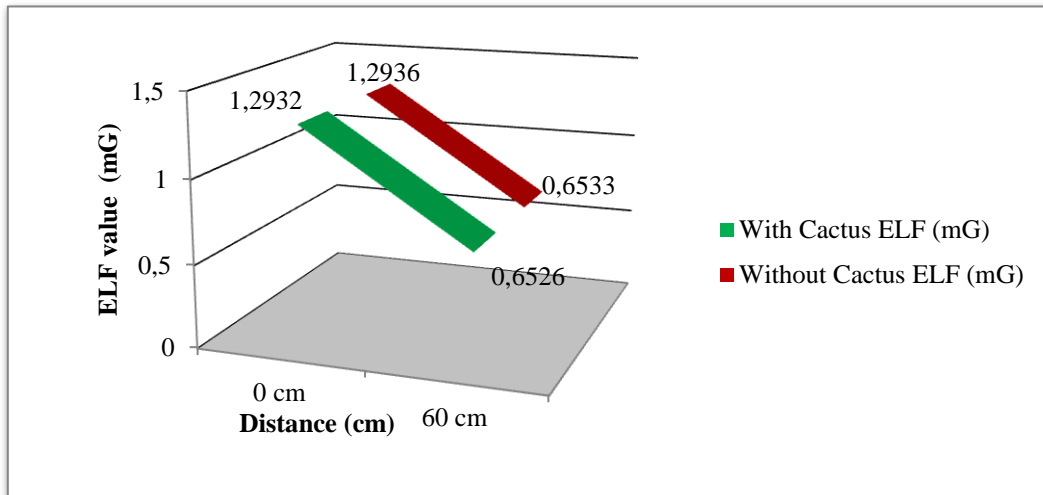


Figure 5. Measurement results in front of the laptop screen

Table 3 also shows how each of the individual ELF value changes depending on the distance.

Table 3. Measurements made in front of various screens in cactus environments

Product	Frequency (Hz)	Distance (Cm)	Measurement Values (Mg)	
			Cactus Environment	Cactus-free Environment
Tubular Screen	92	0	6.4376	6.4378
	51	60	1.8819	1.8836
LCD Screen	52	0	1.3689	1.3693
	53	60	0.5937	0.6205
Mac Notebook	194	0	0.57833	0.57824
	52	60	0.51978	0.51971
Notebook	260	0	1.2932	1.2936
	50	60	0.6526	0.6533

The most noteworthy feature here for both types of displays (LCD, Tubular) is that the magnetic field is inversely proportional to the square of the distance between the source and the measuring device, and in particular the tube display produces much more electromagnetic field than the LCD screen. Due to these adverse effects on human health, limits have been placed on electromagnetic fields. Measurements were made on computer monitors in line with the standards due to these limitations.

As a result of the measurements, the electromagnetic field values were observed to decrease as they were moved away from the computer monitors. This is also a result of that the computer monitors are inversely proportional to the square of the distance of the electromagnetic fields. Among these standards, the ones outside MPR II and TCO 1999 are applied to the transmitters. MPR II and TCO standards are regulated by the intensity of the electromagnetic field emitted from the monitors. Compared to the standards, the measurements were much higher than the measurements for the standards prescribed for the transmitters. It was found that the standard for monitors is exceeded by the prescribed limits for 30 cm and for 50 cm by some computer monitors.

Another important thing to keep in mind is that computer monitors are a source of X-rays, UVA, UVB and UVC. The studies realized in this regard is increasing day by day. The developed by-products aim to provide the necessary protection in this regard. As a result, users need to work at least 60 to 70 cm away from computer monitors in order to prevent any damage they may suffer. The Standards published by the Turkish Standards Institute in this regard were generally related to electromagnetic waves emitted from transmitters but not specifically to the electromagnetic fields emitted by computer monitors.

In addition, the following suggestions are important in terms of the human health and should be taken into account in the scope of the study.

Unused screens should be either shut down or removed from plug. The devices will cause electromagnetic pollution as long as they remain in the "Stand by" position. The distance between the computer screen and the keyboard should be 1m and the screen filter should be used. User must be at least 2 m away from the front (and back) of the tubular (CRT) TV screens. If possible, LED, LCD and plasma screens should be preferred. Some users are more sensitive to electromagnetic

fields than others. These people may experience extreme sensitivity to computer monitors and other electrical devices, sensation of dryness in the throat, eye problems (pain and visual forimpairment), headache, allergy, redness, insomnia, sensitivity to sounds, difficulty in hearing, fatigue reactions (Seyhan et al., 2018).

6. Conclusions and Recommendations

In the study, it was researched with the measurements and tests whether the cactus plant minimized the magnetic fields of the computer screens. All measurements were performed at front and back and on right and left side of screen, and with 60 cm distance with LCD and tubular display. In the tubular screen measurements, the ELF value has been determined to be high. Also results have been showed that after repeatedly measurements, both screens have reached approximate results. In the same way, various measurements have been made on different brands and models. No effect of the cacti on the magnetic field has been observed in any of the measurements. As a result, the measurements by the cactuses that did not minimize the magnetic field in the computer screens have been revealed and proven by tests.

The study is important for that it draws attention to the damages caused by the magnetic fields created by the computer screens on human health and it reveals if the cactus plants minimized the damages.

References

- Aral, B. S., 2008. "Effect of 900 Mhz and 1800 Mhz Radio Frequency Radiation on Blood Brain Barrier, Gazi University Health Sciences Institute Biophysics Department, Ankara, 76-94.
- Arnetz B. B, Berg, M. J., 1996. Melatonin and adrenocorticotrophic hormone levels in video display unit workers during work and leisure. *Occup Environ Med.* Nov. 38:11 1108-10.
- Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S., Yee, Rr. W., 2005. Computer Vision Syndrome: A Review, *Survey of Ophthalmology* Volume 50, Number 3, May-June.
- Büyükbas Z., Gündüz M. K., Bozkurt B., Zengin N., 2012. Evaluation of ocular surface

- changes seen in computer users, Turkish Journal of Ophthalmology, 42(3): 190-196.
- Cameron, I. W., Hardman, W. E., Winters, W. D., Zimmerman, S., Zimmerman, A. M., 1993. Environmental Magnetic Fields: Influences on Early Embryogenesis, J.Cell. Biochem. 51; 417-425.
- Karaoglu, B., 1996. Griffiths Elektromagnetic Theory, Arte Advertisement and Promotion, p.404.
- Portelle J. K., Rosenfield, M., Bababekova, Y., Estrada, J. M., Leon, A., 2012. Computer-Related Visual Symptoms in Office Workers, Ophthalmic & Physiological Optics, 32, 375–382.
- Sevgi, L., 2005. Electricity and Magnetic Fields in the Environment, Dogus University, Department of Electronics and Communication Engineering, Industrial & Automation, February.
- Seyhan, N., Kurşun, A.G.C., Öztürk, G.G., Sıray, B. ve Özgür, E., 2018. Elektromanyetik Radyasyondan Korunmak İçin Pratik Öneriler: Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı, Ankara.
- Szeto G.P.Y., Chan C.C.Y., Chan S.K.M., Lai H.Y., Lau E.P.Y., 2014. The Effects Of Using A Single Display Screen Versus Dual Screens On Neck-Shoulder Muscle Activity During Computer Tasks, International Journal Of Industrial Ergonomics, 44, (2014), 460-465.
- Tatak, F., Tiryakioglu, İ., Yılmaz, İ., 2005. Investigation of the effects of electromagnetic waves used in GPS on human health, Map Cadastre Engineers Chamber Engineering Surveys STB Commission, 2nd Engineering Measurements Symposium (23 -25 November 2005 İTÜ-İstanbul), 641-648.
- Terciyanlı, A., 2000. Electromagnetic Pollution and GSM, Biltek, Decebmer 2000, TÜZÜNER S.2002. ÇED, www.teas.gov.tr.
- URL-1, 2017. TMMOB Chamber of Electrical Engineers, www.emo.org.tr/ekler/d7f9017fbda6919_ek.doc?tipi=46&turu=X, Access Date: November 2017.
- URL-2, 2018. Artun, T., http://www.sibernet.com.tr/dr.htm, Access Date: January 2018.

Basıncın ve Sıcaklığın Dış Elektrik Alan Altındaki Kübik Kuantum Noktasının Üçüncü Harmonik Üretimi Üzerine Etkisi

The Effect of Pressure and Temperature on the Third Harmonic Generation of Cubical Quantum dot under External Electric Field

Muharrem KIRAK*

Bozok Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Temel Eğitim Bölümü, 66100, Yozgat

• Geliş tarihi / Received: 09.03.2018 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 08.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 22.06.2018

Öz

Düşük boyutlu sistemler, yük taşıyıcılarının nano ölçekte sınırlandırıldığı yapılardır. Yük taşıyıcı hareketinin üç boyutta sınırlandırıldığı yapılar kuantum noktalar olarak bilinir ve bu yapılar moleküler biyoloji uygulamalarında, tıbbi görüntüleme, bilgi depolamada, optik ve iletişim gibi aygıt uygulamalarında önemli bir rol oynar. Bu çalışmada, dış elektrik alan altındaki kübik kuantum noktasının üçüncü harmonik üretimi üzerine basıncın ve sıcaklığın etkisi teorik olarak incelenmiştir. Sayısal hesaplamalar etkin kütle yaklaşımı altında yapılmıştır. Yapının taban durumu ve uyarılmış durumların enerji özdeğerleri hesaplanmış ve elde edilen bu değerler optik özelliğın hesaplanmasında kullanılmıştır. Aynı zamanda, kübik kuantum nokta boyutu ve durulma oranı etkisi de incelendi. Sonuçlar basınç ve sıcaklığın üçüncü harmonik üretimi üzerine büyük bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Basınç, Kübik kuantum nokta, Sıcaklık, Üçüncü harmonik üretimi

Abstract

Low dimensional systems are structures in which the charge carriers are confined in nanoscale. The structures that the movements of charge carriers are restricted in three dimensions are known as quantum dot and these structures play important role in application of molecular biology, medical imaging, storage of data, application devices such as optics and communication. In this study, the effects of pressure and temperature on the third harmonic generation of cubic quantum dot under external electric field theoretically have been investigated. Numerical calculations have been done within the effective-mass approximation. The energy eigenvalues of the ground state and excited states of the structure have been calculated and the obtained these values have been used in calculation of optical properties. Also, the effects of size of cubical quantum dot and the relaxation rate have been investigated. Results show that the pressure and temperature has a great influence on third harmonic generation.

Keywords: Pressure, Cubical quantum dot, Temperature, Third harmonic generation

* Muharrem KIRAK; muharrem.kirak@bozok.edu.tr; Tel: (0354) 242 10 25 (dâhili: 7809); orcid.org/0000-0003-3208-2242

1. Giriş

Kuantum kuyu, kuantum tel ve kuantum nokta gibi kuantum nanoyapılar, külçe (bulk) malzemelere göre oldukça farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Bundan dolayı, bu yapılar hem mikroelektronik hem de optoelektronikte oldukça ilgi çekici yapılardır. Kuantum nanoyapılar, bir alt tabaka üzerine atomik ölçekte veya daha büyük kalınlıkta tabakaların büyütülmesiyle oluşan yapılardır. Diğer yapılara göre daha üstün özelliklere sahip olan kuantum noktaları, taşıyıcıların üç boyutta sınırlandırıldığı yapılardır ve yapay atom olarak da adlandırılırlar (Maksym vd., 1990; Kouwenhoven vd., 1998). Günümüzde, modern büyütme teknikleri ile küresel, silindirik ve kübik gibi farklı formlarda kuantum noktaların üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Kuantum nokta tabanlı yapılar yarıiletken lazerler (Kirstaedter vd., 1996), güneş pilleri (Aeberhard vd., 2008), lazer diyotlar (Darabi vd., 2006) ve kızılötesi fotodetektörler (Jiang vd., 1999) gibi cihaz uygulamaları için oldukça benzersiz özellikler sergilemektedir. Son zamanlarda kuantum nokta yapıların elektronik ve optik özellikleri yoğun bir şekilde çalışılmıştır.

Elektrik alan, manyetik alan, hidrostatik basınç ve sıcaklık gibi dış faktörlerin kuantum nokta yapıların fiziksel özellikleri üzerine etkisi gerek teorik gerekse deneysel çalışmalarda önemli bir yer teşkil etmektedir. Dış elektrik alan altındaki kübik GaAs/AlAs kuantum noktasının elektron alt-bant enerjisi Dane ve ark. (2007) tarafından teorik olarak incelenmiştir. Bu çalışmada elektron alt-bant enerjisinin elektrik alan ile azaldığını gösterilmiştir. Spector ve Lee (2007) kübik kuantum noktasında elektrik alanın elektronların taban durumu ve birinci uyarılmış durum üzerine etkisini hesaplamıştır. Sonlu ve sonsuz sınırlama potansiyeli altında kuantum kutusunda bantlar arası optik geçişler için soğurma katsayısı ve kırılma indisi değişimi Karabulut ve ark. (2005, 2006) tarafından incelenmiştir. Diğer taraftan, hidrostatik basınç altında kübik kuantum noktasının optik özellikleri Khordad ve ark. (2011) tarafından çalışılmıştır. Uygulanan dış elektrik alan altındaki kübik kuantum noktası için safsızlık konumlarının lineer ve lineer olmayan optik özellikler üzerine etkisi Kirak ve Yılmaz (2015) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar safsızlık konumlarının ve elektrik alanın sistemin optik karakteristikleri üzerine büyük bir etkisinin olduğunu göstermiştir.

Kuantum nanoyapıların en ilginç optik özelliklerden birisi de üçüncü harmonik

üretimidir. Üçüncü harmonik üretimi çok hızlı optik anahtarlar, elektro-optik modülatör, biyo-görüntüleme sensörler, tek elektron transistörler, fotodetektörler ve kızılötesi lazerler gibi pek çok uygulamaya sahip olan en temel lineer olmayan optik süreçlerden biridir (Sibilia vd., 2008). Üçüncü harmonik üretimi lineer olmayan malzeme üzerine gönderilen fotonların frekansının üç katı büyüklüğünde frekansa sahip bir radyasyon üretimine neden olur. Üçüncü harmonik üretimi hem simetrik hem de asimetrik potansiyele sahip yapılarda gözlenebilir (Li, 1996). Üçüncü harmonik üretimi içeren lineer olmayan alınganlık kuantum kuyusu (Zaluzny vd., 1996; Yildirim vd., 2006), kuantum teli (Wang, 2005; Wang vd., 2008) ve kuantum noktası (Karabulut vd., 2009; Shao vd., 2010; Yu vd., 2011) için çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Kübik kuantum noktasında üçüncü harmonik üretimi Zhang ve ark. (2009) tarafından çalışılmıştır. Bununla birlikte, literatüre bakıldığında kübik kuantum noktasında hidrostatik basıncın ve sıcaklığın üçüncü harmonik üretimi üzerine etkisi incelenmemiştir. Bu alandaki yapılacak olan incelemeler hem teorik olarak hem de pratik uygulamalar açısından önemli olacaktır.

Bu çalışmada, basıncın ve sıcaklığın dış elektrik alan altındaki kübik GaAs kuantum noktasında üçüncü harmonik üretimi üzerine etkisi incelenmiştir. Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. Çalışmanın teorik altyapısı özet olarak Bölüm 2’de verilmiştir. Nümerik sonuçlar Bölüm 3’de verilmiş ve tartışılmıştır. Son olarak, Bölüm 4’te sonuç kısmı verilmiştir.

2. Teori

Bu bölümde, dış elektrik alan, hidrostatik basınç ve sıcaklık etkisinde kübik kuantum noktasını dikkate alacağız. Etkin kütle yaklaşımı ile birlikte, dış elektrik alan varlığında üç boyutta sistemin Hamiltoniyeni aşağıdaki gibi verilir.

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*(P,T)}\nabla^2 + |e|Fz + V_c(x, y, z). \quad (1)$$

Burada, \hbar indirgenmiş Planck sabiti, e elektronun yükü, F elektrik alan büyüklüğü, P hidrostatik basınç ve T sıcaklıktır. $m^*(P, T)$, basınca ve sıcaklığa bağlı elektronun etkin kütesidir. $V_c(x, y, z)$, sınırlandırıcı potansiyeldir ve kuantum noktası içinde sıfır diğer durumlarda sonsuz alınmıştır.

Sınır şartlarına bağlı olarak (1) denkleminin çözümü

$$\Psi_{n_x n_y n_z} = \phi_{n_x}(x) \phi_{n_y}(y) \phi_{n_z}(z) \quad (2)$$

şeklinde olacaktır. Burada n_x , n_y ve n_z kuantum sayılarıdır. z - yönünde uygulanan elektrik alan varlığında gerekli çözümler yapıldığında dalga fonksiyonu,

$$\Psi_{n_x n_y n_z} = N \cos\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{L_y}\right) \left[Bi(\tilde{z}) - \frac{Bi(\xi_L)}{Ai(\xi_L)} Ai(\tilde{z}) \right] \quad (3)$$

olarak elde edilir. Burada N normalizasyon katsayısı ve Ai ve Bi sırası ile birinci ve ikinci tip Airy fonksiyonlarıdır. Kübik kuantum noktasının kenar uzunlukları L_x , L_y ve L_z olarak tanımlanmıştır. (3) numaralı denklemde $x < |L_x/2|$, $y < |L_y/2|$, $z < |L_z/2|$, $\xi_L = \tilde{z}$ ($z = -L_x/2$) ve $\xi_R = \tilde{z}$ ($z = L_x/2$) şeklindedir.

Aynı zamanda

$$\tilde{z} = \left(\frac{2m^*(P,T)eF}{\hbar^2}\right)^{-2/3} \left[\frac{2m^*(P,T)}{\hbar^2} (|e|Fz - E) + \left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right)^2 \right] \quad (4)$$

şeklindedir. Burada E enerji ifadesidir. Basınç ve sıcaklığa bağlı etkin kütle aşağıdaki gibi tanımlanır (Welber vd., 1975) :

$$m^*(P, T) = m_0 \left(1 + E_p^\Gamma \left(\frac{2}{E_g^\Gamma(P, T)} + \frac{1}{E_g^\Gamma(P, T) + \Delta_{SO}} \right) \right)^{-1} \quad (5)$$

Burada, m_0 serbest elektronun kütlelerini, E_p^Γ momentum matris elemanı ile ilgili enerjiyi, Δ_{SO} GaAs için valans bandının spin-yörünge yarılmasını göstermektedir. $E_g^\Gamma(P, T)$, hidrostatik basınç ve sıcaklık bağlı olarak Γ noktasında enerji aralığı değişimi olarak tanımlanır ve şu şekilde verilir (Duque vd., 2012):

$$E_g^\Gamma(P, T) = E_g^\Gamma(0) + bP - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (6)$$

Burada, $E_g^\Gamma(0)$ sıfır basınçta ($P = 0$) enerji aralığı, b lineer basınç katsayısı, α ve β Varshni parametreleridir. Ayrıca, GaAs için basınç ve sıcaklığa bağlı dielektrik sabiti şu şekilde verilir (Samara, 1983):

$$\varepsilon(P, T) = \begin{cases} 12.74 \exp(-16.7 \times 10^{-3} P) \times \exp(9.4 \times 10^{-5} (T - 75.6)), & T < 200 \\ 13.18 \exp(-17.3 \times 10^{-3} P) \times \exp(20.4 \times 10^{-5} (T - 300)), & T \geq 200 \end{cases} \quad (7)$$

Kübik noktası boyutlarının basınç ile değişimi (Sali vd., 2014)

$$L(P) = L_0 C(P), \quad C(P) = [1 - 3(S_{11} + 2S_{12})P]^{1/3}, \quad (8)$$

ile verilir.

Burada, L_0 kübik noktasının orijinal uzunluğu, S_{11} ve S_{21} uyum sabitleridir. $T = 300K$ için GaAs parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

3w frekanslı üçüncü harmonik üretimi, ikinci harmonik üretiminin aksine inversiyon simetriye sahip kristallerde bile mümkündür. Sisteme

monokromatik elektromanyetik alanın $E(t) = E_0 \cos wt = \tilde{E} e^{iwt} + \tilde{E} e^{-iwt}$ şeklinde uygulandığını varsayalım. Yoğunluk-matris yaklaşımı ve iteratif süreç kullanarak (Ahn vd., 1987; Rosencher vd., 1991), üçüncü harmonik üretimi katsayısı aşağıdaki gibi elde edilir (Wang ve Guo, 2001).

Tablo 1: $T = 300K$ için GaAs parametre değerleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
$E_g^I(0)$ (meV)	1519	β (K)	204
Δ_{SO} (meV)	341	b (meV/GPa)	107.3
$E_g^I(P, T)$ (meV)	7510	$S_{11}(\times 10^{-2}(\text{GPa}^{-1}))$	1.16
α (meV/K)	0.5405	$S_{21}(\times 10^{-2}(\text{GPa}^{-1}))$	0.37

$$\chi_{3w}^{(3)} = \frac{e^4}{\epsilon_0} \sum_i \sum_k \frac{M_{ki}}{3\hbar\omega - \hbar\omega_{ki} - i\hbar\Gamma_{ki}} \sum_l \sum_j \left[\frac{M_{il}M_{lj}M_{jk}(\sigma_k - \sigma_j)}{(2\hbar\omega - \hbar\omega_{kl} - i\hbar\Gamma_{kl})(\hbar\omega - \hbar\omega_{kj} - i\hbar\Gamma_{kj})} - \frac{M_{il}M_{lj}M_{jk}(\sigma_j - \sigma_l)}{(2\hbar\omega - \hbar\omega_{kl} - i\hbar\Gamma_{kl})(\hbar\omega - \hbar\omega_{jl} - i\hbar\Gamma_{jl})} - \frac{M_{ij}M_{jl}M_{lk}(\sigma_l - \sigma_j)}{(2\hbar\omega - \hbar\omega_{li} - i\hbar\Gamma_{li})(\hbar\omega - \hbar\omega_{lj} - i\hbar\Gamma_{lj})} + \frac{M_{ij}M_{jl}M_{lk}(\sigma_k - \sigma_i)}{(2\hbar\omega - \hbar\omega_{li} - i\hbar\Gamma_{li})(\hbar\omega - \hbar\omega_{ji} - i\hbar\Gamma_{ji})} \right] \quad (9)$$

Burada $i, k, l, j = 0, 1, 2, 3$. İki foton rezonans koşulu göz önüne alındığında (9) denklemi şu şekilde basitleştirilebilir.

$$\chi_{3w}^{(3)} = \frac{e^4 M_{01} M_{12} M_{23} M_{30} \sigma_v}{\epsilon_0} \left[\frac{1}{(3\hbar\omega - E_{21} - i\hbar\Gamma_{21})(2\hbar\omega - E_{20} - i\hbar\Gamma_{20})(\hbar\omega - E_{23} - i\hbar\Gamma_{23})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{21} - i\hbar\Gamma_{21})(2\hbar\omega - E_{20} - i\hbar\Gamma_{20})(\hbar\omega - E_{30} - i\hbar\Gamma_{30})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{23} - i\hbar\Gamma_{23})(2\hbar\omega - E_{20} - i\hbar\Gamma_{20})(\hbar\omega - E_{10} - i\hbar\Gamma_{10})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{30} - i\hbar\Gamma_{30})(2\hbar\omega - E_{20} - i\hbar\Gamma_{20})(\hbar\omega - E_{21} - i\hbar\Gamma_{21})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{30} - i\hbar\Gamma_{30})(2\hbar\omega - E_{31} - i\hbar\Gamma_{31})(\hbar\omega - E_{21} - i\hbar\Gamma_{21})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{01} - i\hbar\Gamma_{01})(2\hbar\omega - E_{31} - i\hbar\Gamma_{31})(\hbar\omega - E_{32} - i\hbar\Gamma_{32})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{21} - i\hbar\Gamma_{21})(2\hbar\omega - E_{31} - i\hbar\Gamma_{31})(\hbar\omega - E_{30} - i\hbar\Gamma_{30})} + \frac{1}{(3\hbar\omega - E_{21} - i\hbar\Gamma_{21})(2\hbar\omega - E_{31} - i\hbar\Gamma_{31})(\hbar\omega - E_{01} - i\hbar\Gamma_{01})} \right] \quad (9)$$

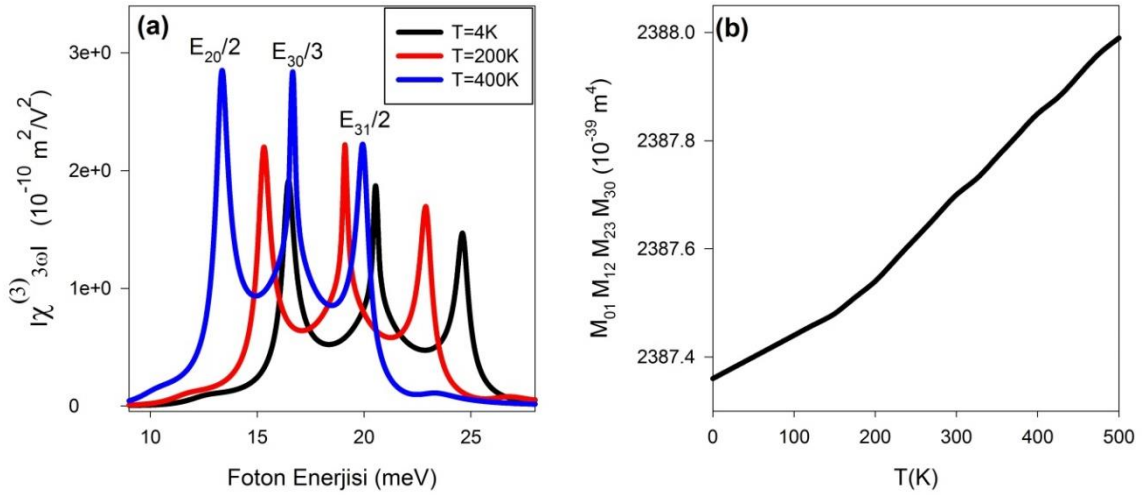
Burada, σ_v elektron yoğunluğu, e elektronun yükü, ϵ_0 boşluğun geçirgenlik katsayısı, Γ_{ij} , i ve j durumları için durulma oranı, $\hbar\omega$ foton enerjisidir. M_{ij} , i ve j durumları arasında dipol geçiş elemanıdır ve $M_{ij} = e\langle\psi_i|z|\psi_j\rangle$ olarak tanımlanır. $E_{ij} = E_i - E_j$ iki elektronik seviye arasında enerji farkıdır ve $M_{01}M_{12}M_{23}M_{30}$ geometrik faktördür. Polarize olmuş elektromanyetik ışınım z - doğrultusunda seçilmiştir.

3. Nümerik Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde; sıcaklık, basınç, uzaysal sınırlama ve durulma oranının dış elektrik alandaki kübik kuantum noktasının üçüncü harmonik üretimi üzerine etkileri tartışılacaktır. Nümerik hesaplamalar boyunca atomik birimler ($\hbar = m_0 = e = 1$) kullanıldı. Bu birimlerde etkin Bohr yarıçapı $a^* = \hbar^2 \epsilon(P, T) / m^*(P, T) e^2$ ve etkin Rydberg enerjisi $R^* = m^*(P, T) e^4 / \hbar^2 \epsilon(P, T)^2$ olarak tanımlandı. Diğer parametreler $\sigma_v = 5 \times 10^{24} m^{-3}$, $\hbar\Gamma_{10} = \hbar\Gamma_{21} = \hbar\Gamma_{32} = \hbar\Gamma meV$, $\hbar\Gamma_{20} = \hbar\Gamma_{31} = \hbar\Gamma/2meV$ ve $\hbar\Gamma_{30} = \hbar\Gamma/3meV$ olarak alındı.

Şekil 1(a)'da üç farklı sıcaklık değeri için ($T = 4K$, $T = 200K$ ve $T = 400K$) gönderilen foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak üçüncü harmonik üretimi değişimi verilmiştir. Bu grafik $L = 10nm$, $P = 0$ ve $F = 65kV/cm$ değerleri için çizilmiştir. Grafik incelendiğinde $E_{20}/2$,

$E_{30}/3$ ve $E_{31}/2$ değerlerinde olmak üzere üç farklı rezonans pik genliği görülmektedir. Diğer rezonans pik genlikleri baskın olmadığı için oldukça küçük olup grafik üzerinde gösterilmemiştir. Şekil 1(a)'dan görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça pik genliği daha düşük foton enerji değerlerine kaymaktadır ki bu durum kırmızıya doğru adlandırılır. Bunun nedeni ise sıcaklık arttıkça etkin kütlelerin azalması ve dielektrik sabitinin artmasıdır. Böylece etkin Rydberg enerjisi azalmaktadır. Bununla birlikte, sıcaklık arttıkça $\chi_{3w}^{(3)}$ büyüklüğü sıcaklıkla artmaktadır. Bu artışın fiziksel nedeni sıcaklık ile etkin Bohr yarıçapı ve dipol matris elemanlarının çarpımının, $M_{01}M_{12}M_{23}M_{30}$, artmasıdır. $\chi_{3w}^{(3)}$ büyüklüğü dipol matris elemanlar çarpımı ile orantılıdır. Şekil 1(b)'den açıkça görüldüğü gibi dipol matris elemanlar çarpımı sıcaklıkla artmaktadır. Bu şekil, kübik kuantum noktasında üçüncü harmonik üretiminin sıcaklığa hassas bir şekilde bağlı olduğunu göstermektedir.

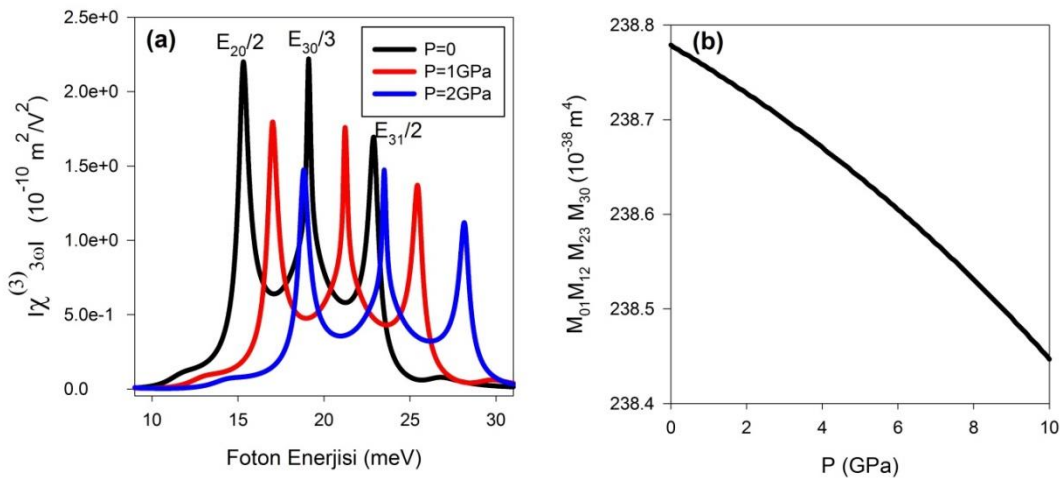


Şekil 1. $L = 10nm, P = 0, F = 65kV/cm$ ve $\hbar\Gamma = 1.0meV$ değerleri için **a)** Üçüncü harmonik üretiminin foton enerjisinin fonksiyonu olarak üç farklı sıcaklık değeri için değişimi **b)** Dipol matris elemanları çarpımının sıcaklıkla değişimi.

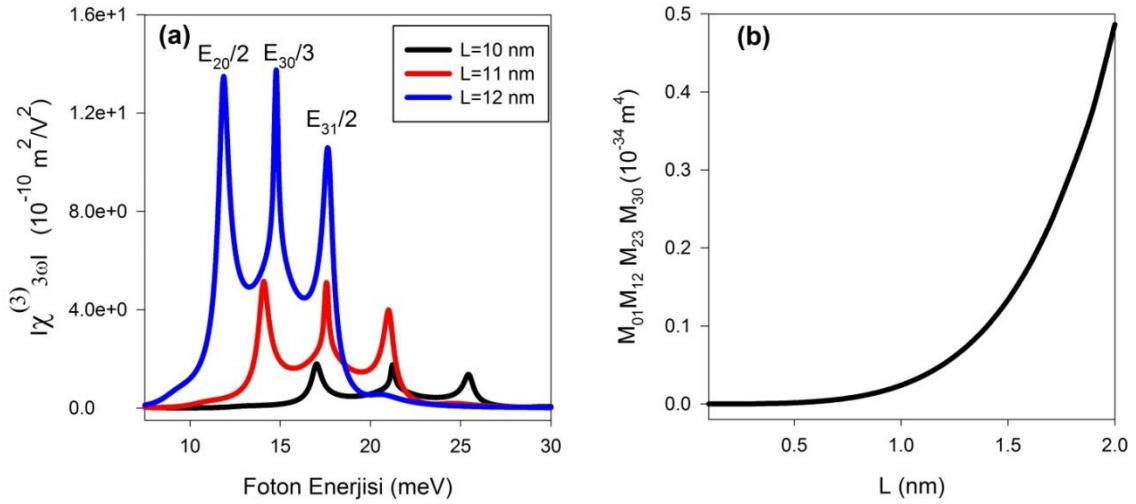
Üçüncü harmonik üretiminin basınca bağlılığı ($P = 0, 1, 2 GPa$ değerleri için) $L = 10nm$, $T = 200K$ ve $F = 65kV/cm$ değerleri için Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi basınç arttıkça üçüncü harmonik üretiminin pik genliği daha yüksek enerji değerlerine kaymaktadır, yani maviye kaydığı gözlenmektedir.

Basıncın artmasıyla birlikte etkin kütle artmakta, dielektrik sabiti azalmakta ve böylece etkin Rydberg enerjisi artmaktadır. Ayrıca, üçüncü harmonik üretiminin büyüklüğü basınçla birlikte azalmaktadır. Bunun nedeni ise basıncın artması ile etkin Bohr yarıçapının ve dipol matris elemanları çarpımının azalmasıdır (Bkz. Şekil 2(b)).

Şekil 3(a) üç farklı kübik kuantum noktası uzunluğu için foton enerjisinin fonksiyonu olarak üçüncü harmonik üretiminin değişimini göstermektedir. Grafik $F = 65kV/cm, T = 200K, P = 1GPa$ ve $\hbar\Gamma = 1.0meV$ değerleri için çizilmiştir. Şekil 3(a)'dan görüldüğü gibi kübik kuantum noktası uzunluğunun artması ile üçüncü harmonik üretimi pik genliği artmaktadır. Şekil 3(b)'den açıkça görüldüğü gibi kübik kuantum noktasının uzunluğu arttıkça dipol matris elemanları çarpımı artmaktadır. Bununla birlikte kübik kuantum noktası uzunluğu arttıkça pik genlikleri kırmızıya kayma davranışı sergilemektedir. Üçüncü harmonik üretiminin rezonans pik genlik değerleri Tablo 2' de verilmiştir.



Şekil 2. $L = 10nm, T = 200K, F = 65kV/cm$ ve $\hbar\Gamma = 1.0meV$ değerleri için **a)** Üçüncü harmonik üretiminin foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak üç farklı basınç değeri için değişimi **b)** Dipol matris elemanları çarpımının basınçla değişimi



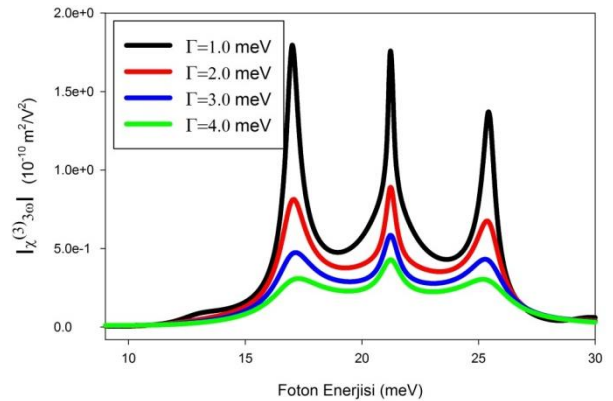
Şekil 3. $F = 65kV/cm, T = 200K, P = 1GPa$ ve $\hbar\Gamma = 1.0meV$ değerleri için **a)** Üçüncü harmonik üretiminin foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak üç farklı kübik kuantum noktası uzunluğu değeri için değişimi **b)** Dipol matris elemanları çarpımının kübik kuantum noktası uzunluğu ile değişimi

Tablo 2: Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 için rezonans pik genlik değerleri

		$E_{20/2}$	$E_{30/3}$	$E_{31/2}$
Şekil 1. için	$T = 4K$	16.5meV	20.5meV	24.6meV
	$T = 200K$	15.3meV	19.1meV	22.9meV
	$T = 400K$	13.4meV	16.7meV	19.9meV
Şekil 2. için	$P = 0$	15.3meV	19.1meV	22.9meV
	$P = 1GPa$	17.0meV	21.2meV	25.4meV
	$P = 2GPa$	18.8meV	23.5meV	28.1meV
Şekil 3. için	$L = 10nm$	17.0meV	21.2meV	25.4meV
	$L = 11nm$	14.1meV	17.6meV	20.9meV
	$L = 12nm$	11.9meV	14.8meV	17.6meV

Son olarak, farklı durulma oranları için foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak üçüncü harmonik üretimi Şekil 4'te çizilmiştir. Bu grafikte $F = 65kV/cm, T = 200K, P = 1GPa$ ve $L = 10nm$ değerleri alınmıştır. Açıkça görüldüğü gibi $17.0meV, 21.2meV$ ve $25.4meV$ değerlerinde maksimum pik genlik değerleri gözlenmektedir. Durulma oranı arttıkça üçüncü harmonik pik genliği değerinde azalma meydana gelmektedir. Durulma oranı, durulma zamanının tersi olup spektrumun yarı genişliğiyle orantılıdır. Durulma zamanı arttıkça spektrum daha dar hale gelir. Dolayısıyla durulma oranı arttıkça spektrum genişleyecek ve bu da pik genlik değerinin azalmasına neden olacaktır. Küçük durulma oranları için daha keskin pik genlik değerleri olmaktadır. Bununla birlikte, durulma oranındaki değişme rezonans piklerin konumunu değiştirmemektedir. Bunun nedeni elektronik seviyelerinin enerjileri durulma

oranından bağımsız olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. $F = 65kV/cm, T = 200K, P = 1GPa$ ve $L = 10nm$ değerleri için üçüncü harmonik üretiminin foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak dört farklı durulma oranı değeri için değişimi

4. Sonuç

Dış elektrik alan altındaki kübik GaAs kuantum noktası için üçüncü harmonik üretimi üzerine hidrostatik basınç, sıcaklık, kübik kuantum noktası uzunluğu ve durulma oranı etkileri incelenmiştir. Üçüncü harmonik üretiminin bu faktörlere oldukça duyarlı olduğu bulunmuştur. Nümerik hesaplamalar göstermektedir ki sıcaklık (basınç) arttıkça üçüncü harmonik üretimi büyüklüğü artmakta (azalmakta) ve bu optik özellik kırmızıya (maviye) kayma davranışı sergilemektedir. Kübik kuantum noktası boyutları arttıkça üçüncü harmonik değeri büyümekte ve rezonans pik genlikleri daha düşük foton enerjilerine kaymaktadır. Durulma oranı ise sadece üçüncü harmonik üretimi büyüklüğüne etki etmekte, durulma oranı arttıkça büyüklük azalmaktadır. Ancak rezonans pik değerleri değişmemektedir. Elde edilen veriler ışığında basınç ve sıcaklık değişimi ile üçüncü harmonik üretimi istenilen şekilde ayarlanabilir. Bu çalışmanın ileri ki tarihlerde yapılacak olan teorik ve deneysel araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Basınç ve sıcaklığın dış elektrik alan altındaki kübik kuantum noktasında üçüncü harmonik üretimi üzerine etkisi en iyi bilgimiz dâhilinde daha önce incelenmemiştir. Yapılan bu çalışma teorik olarak literatüre önemli bir katkı sağlayacak ve kuantum nokta yapılarının özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca, bu çalışma ile elde edilen sonuçlar kuantum nokta temelli aygıt uygulamaları için erişilecek bir veri ortaya koyacaktır.

Kaynaklar

Ahn, D. ve Chuang, S. L. 1987. Calculation of Linear and Nonlinear. Intersubband Optical Absorptions in a Quantum Well Mode 1 with an Applied Electric Field. IEEE Journal of Quantum Electronics, 23, 2196-2204.

Dane, C., Akbas, H., Talip, N. ve Kasapoglu, K., 2007. Effect of spatial electric field on the sub-band energy in a cubic GaAs/AlAs quantum dot. Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 39, 95-98.

Duque, C. A., Mora-Ramos, M. E., Kasapoglu, E., Sari, H. ve Sokmen, I. 2012. Combined effects of intense laser field and applied electric field on exciton states in GaAs quantum wells: Transition from the single to double quantum well. Physica Status Solidi (b), 249, 118-127.

Karabulut, I., Unlu, S. ve Safak, H. 2005. Calculation of the changes in the absorption and refractive index for intersubband optical transitions in a quantum box. Physica Status Solidi (b), 242, 2902-2909.

Karabulut, I. ve Baskoutas, S.. 2009. Second and Third Harmonic Generation Susceptibilities of Spherical Quantum Dots: Effects of Impurities, Electric Field and Size. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 6, 153-156.

Khordad, R., Rezaei, G., Vaseghi, B., Taghizadeh, F. ve Kenary H. A. 2011. Study of optical properties in a cubic quantum dot. Optical and Quantum Electronics, 42, 587-600.

Kırak, M. ve Yılmaz, S. 2015. Impurity position effects on the linear and nonlinear optical properties of the cubic quantum dot under an external electric field. Journal of Physics D: Applied Physics, 48, 325301-325301.

Kouwenhoven, L. ve Marcus, C. 1998. Quantum dots. PhysicsWorld, 11, 35-39.

Li, E. H. 1996. Interdiffusion as a means of fabricating parabolic quantum wells for the enhancement of the nonlinear third-order susceptibility by triple resonance. Applied Physics Letters, 69, 460.

Maksym, P.A. ve Chakraborty, T. 1990. Quantum dots in a magnetic field: role of electron-electron interactions. American Physical Society, 65, 108-111.

Rosencher, E. ve Bois, Ph. 1991. Model system for optical nonlinearities: Asymmetric quantum wells. Physical Review B, 44, 11315.

Sali, A. ve Satori, H. 2014. The combined effect of pressure and temperature on the impurity binding energy in a cubic quantum dot using the FEM simulation. Superlattices and Microstructures, 69, 38-52.

Samara, G. A. 1983. Temperature and pressure dependences of the dielectric constants of semiconductors. Physical Review B, 27, 3494.

Shao, S., Guo, K. X., Zhang, Z. H., Li, N. ve Peng, C. 2010. Studies on the third-

- harmonic generations in cylindrical quantum dots with an applied electric field. *Superlattices and Microstructures*, 48, 541-549.
- Sibilia, C., Benson, T., Marciniak, M., Szoplik, T. 2008. *Photonic Crystals: Physics and Technology*, 1st edn, Springer, Milano.
- Spector, H. N. ve Lee, J., (2007). Stark effect in the optical absorption in cubical quantum boxes. *Physica B: Condensed Matter*, 393, 94-99.
- Unlu, S., Karabulut, I. ve Safak, H. 2006. Linear and nonlinear intersubband optical absorption coefficients and refractive index changes in a quantum box with finite confining potential. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 33, 319-324.
- Wang, G. ve Guo, K. X. 2001. Excitonic effects on the third-harmonic generation in parabolic quantum dots. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 13, 8197-8206.
- Wang, G. 2005. Third-harmonic generation in cylindrical parabolic quantum wires with an applied electric field. *Physical Review B*, 72, 155329.
- Wang, G. ve Guo, Q. 2008. Third-harmonic generation in cylindrical parabolic quantum wires with static magnetic fields. *Physica B: Condensed Matter*, 403, 37-43
- Welber, B., Cardona, M., Kim, C. K. ve Rodriguez, S. 1975. Dependence of the direct energy gap of GaAs on hydrostatic pressure. *Physical Review B*, 12, 5729.
- Yildirim, H. ve Tomak, M. 2006. Third-harmonic generation in a quantum well with adjustable asymmetry under an electric field. *Physica Status Solidi (b)*, 243, 4057-4063.
- Yu, Y. B. ve Wang, H. J. 2011. Third-harmonic generation in two-dimensional pseudo-dot system with an applied magnetic field. *Superlattices and Microstructures*, 50, 252-260.
- Zaluzny, M. ve Bondarenko, V. 1996. Influence of the depolarization effect on third-harmonic generation in quantum wells. *J. Appl. Phys.* 79, 6750-6754.
- Zhang, Z. H., Guo, K. X., Chen, B., Wang, R. Z. ve Kang, M. W. 2009. Third-harmonic generation in cubical quantum dots. *Superlattices and Microstructures*, 46, 672-678.

A Novel Approximation for Computation Bivariate Distribution Functions in Polygonal Area

Çokgensel Alanda İki Değişkenli Dağılım Fonksiyonunun Hesaplanmasında Yeni Bir Yaklaşım

Orhan KESEMEN^{*1,a}, Buğra Kaan TIRYAKI^{1,b}, Tuncay ULUYURT^{2,c}

¹Karadeniz Technical University, Department of Statistics and Computer Sciences, 61080, Trabzon, Turkey

²Artvin Coruh University, Arhavi Vocational School, 08200, Artvin, Turkey

• Geliş tarihi / Received: 09.04.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 13.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 22.06.2018

Abstract

Generally bivariate probability density function defined in a rectangular area is used to calculate the cumulative distribution function from the bivariate probability density function. However, definition limits of the probability density functions being non-rectangular are in existence in practice. In this paper, primarily arbitrary non-rectangular areas are defined by applying a polygonal approach. The polygonal area obtained as a result of this approach constitutes boundaries of the probability density function. Thus, the bivariate piecewise probability density function can be defined in an arbitrary area. Then the cumulative distribution function is calculated in the obtained area. Two types of approaches are used for these calculations. The first approach is applied to take integral analytically of bivariate continuous probability density function in the polygonal area. The second approach is developed a numerical method since the explicit integral of the selected probability density function cannot be found.

Keywords: Cumulative distribution function, Probability density function based on polygon, Bivariate distribution functions, Bivariate piecewise distribution functions

Öz

İki değişkenli olasılık yoğunluk fonksiyonundan, birikimli dağılım fonksiyonunu hesaplamak için genellikle dikdörtgensel bir alanda tanımlanmış iki değişkenli olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılır. Ancak uygulamada, tanım bölgesi dikdörtgensel bir alan olmayan birçok olasılık yoğunluk fonksiyonu mevcuttur. Bu çalışmada öncelikle dikdörtgen olmayan keyfi alanlar, çokgensel bir yaklaşım uygulanarak tanımlanmıştır. Bu yaklaşım sonucunda elde edilen çokgensel bölge, olasılık yoğunluk fonksiyonunun tanımlandığı sınırlarını oluşturmuştur. Böylece, iki değişkenli parçalı olasılık yoğunluk fonksiyonu, keyfi bir alanda tanımlanabilir. Elde edilen tanım bölgesinde birikimli dağılım fonksiyonu hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalarda iki tür yaklaşım kullanılmıştır. İlk yaklaşım çokgensel alan üzerinden iki değişkenli sürekli olasılık yoğunluk fonksiyonunun analitik integrali alınarak yapılmıştır. İkinci yaklaşım ise seçilen olasılık yoğunluk fonksiyonun integralinin açık bir şekilde hesaplanamaması durumunda uygulanması için geliştirilen sayısal yöntemdir.

Anahtar kelimeler: Birikimli dağılım fonksiyonu, Çokgen tabanlı olasılık yoğunluk fonksiyonu, İki değişkenli dağılım fonksiyonları, İki değişkenli parçalı dağılım fonksiyonları

^{*a} Orhan KESEMEN; okesemen@gmail.com; Tel: (0462) 377 26 55; orcid.org/0000-0002-5160-1178

^b orcid.org/0000-0003-0995-7389

^c orcid.org/0000-0002-4331-1592

1. Introduction

Usage of bivariate distribution functions are existence as well as usage of a univariate probability functions generally (Martinez and Martinez, 2002). Usually, the definition range of bivariate probability density function is shown with either a semi-infinite or infinite range such as $f(x, y): (-\infty, \infty) \times (-\infty, \infty) \rightarrow \mathbb{R}^2$ or finite range such as $f(x, y): [a, b] \times [c, d] \rightarrow \mathbb{R}^2$ (Roussas, 2003; Miller and Childers, 2012). In both cases, it is possible to calculate the cumulative distribution function by conventional methods. However, the definition range of bivariate probability density function is a rectangular or infinite width area is not always possible in practice. Therefore, probability density function in an arbitrary area (Ω) can be defined as $f_{XY}(x, y): (X, Y) \in \Omega \rightarrow \mathbb{R}^2$. Consequently, different approaches must be used for calculations in an arbitrary field.

In this paper, an arbitrary area is defined by converting into to the polygonal area with the determination of its dominant points because of the difficulty of mathematical definition of an arbitrary area. As a result of this conversion, the polygonal area constitutes the boundaries of probability density function. Geometric approaches can be used for calculation of distribution function in the obtained polygonal area (confined area) based on the defined boundaries. A similar approach was applied to this probability density function in the polygonal area which has a uniform distribution by (Kesemen and Doğru, 2011). When it has a non-uniform distribution, the cumulative distribution function is calculated approximately by using column blocks based on small rectangles. This method does not provide desired perfection in terms of both computational accuracy and computational time. Unlike their work, the cumulative distribution function is calculated by using column blocks based on small triangles instead of rectangle blocks here. Two types of approaches are used for calculating cumulative distribution function. The first approach is performed by taking integral over the continuous functions. The second approach is a numerical method which is used on the above-mentioned triangle. In this case integral of the selected probability density function is not calculated explicitly.

Bivariate probability density function, which is bounded by arbitrary non-uniform limits, fields of application can be given examples such as rate of pollution or crime rate in a city, distribution of

earthquake frequency in a country, dispersion density of insects in the field, traffic congestion in a specific region, seen locations and frequency of epidemic disease in a country. Thus, the region we mentioned may have many partial density functions in rectangular area. Many cities divided physically or politically may be given as examples for this situation (e.g. Belfast, Beirut, Jerusalem, Mostar, and Nicosia). Especially, the data in the cities which are divided politically starts to change gradually. In this case, it may not be possible to evaluate the entire city as a region. Probability density function whose boundaries are entirely arbitrary polygonal area may be needed in each of these examples.

2. Bivariate Distribution Functions

Some definitions have to be explained as the bivariate cumulative distribution function before calculating the distribution value of it. These definitions can be given as joint and marginal probability density functions.

2.1. Joint Cumulative Distribution Function (JCDF)

We assume that X and Y are continuous random variables to calculate the cumulative distribution function of a bivariate probability density function. In this case, the joint cumulative distribution function of (X, Y) is calculated as in Equation (1) (Walck, 2007; Kobayashi et al., 2011).

$$F_{XY}(x, y) = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^y f(u, v) dv du \tag{1}$$

Also, the joint cumulative distribution function of (X, Y) is defined as volume in 3-dimensional under the condition below.

$$0 \leq F_{XY}(x, y) \leq 1 \tag{2}$$

If the probability density function is defined in a limited rectangular area $([a, b] \times [c, d])$, the joint cumulative distribution function is calculated as follows (Kay, 2006; Montgomery and Runger, 2010).

$$F_{XY}(x, y) = \int_a^x \int_c^y f(u, v) dv du \tag{3}$$

2.2. Marginal Probability Density Function

The marginal probability density function is used to obtain one-way variation of bivariate cumulative distribution function. The marginal

probability density function of a random variable X is shown with $f_X(x)$ and function curve is called the probability density function curve of X . Integrating over all y 's in the range of $(-\infty, \infty)$ is adequate for obtaining the marginal probability density function of X by using the joint probability density function as in the following equation.

$$f_X(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy \quad (4)$$

Cumulative distribution function (CDF) of the probability density function ($f_X(x)$) is calculated as follows (Kay, 2006; Montgomery and Runger, 2010).

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(x) dx \quad (5)$$

Also, the same procedure can be performed for the variable Y .

3. Computation JCDF in Polygonal Area

The most appropriate method is polygonal definition to determine an arbitrary area as a geometric shape in two dimensions (Kesemen and Doğru, 2011). The calculations can be performed by defining suitable polygon in an arbitrary given area. In this situation, dominant points of the boundaries are determined to define a polygonal area for arbitrary area. These dominant points can

be determined manually or automatically by using polygonal approximation algorithms (Douglas and Peucker, 1973). An arbitrary region being bounded by the shape of the Australian mainland is selected as an example for this situation (Figure 1(a)). The shape of the Australian mainland is converted into a polygonal area with the help of the dominant points so as to calculate the cumulative distribution function from the probability density function in a given region in this way (Figure 1(b)). Australian mainland is defined approximately in a representative manner with a polygon $\Omega = \{p_i = (x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N\}$ consists of the thirty-three corner points which are selected manually (Figure 1).

Firstly, the polygonal area is divided into triangles to calculate the cumulative distribution function with the help of Delaunay triangulation algorithm (Shewchuk, 1996; Gudmundsson et al., 2005) by using the corner and grid points (Figure 2(a)). In a polygonal structure, these grid points and the triangular grid width are chosen by the researcher. If this width is too small, the computation time will increase while the calculated error reduces. Conversely, if the grid width is too large, the calculation time will decrease while the calculation error increases. Consequently, the optimal grid width is determined when the calculation difference between two different grid widths is smaller than a certain tolerance value.

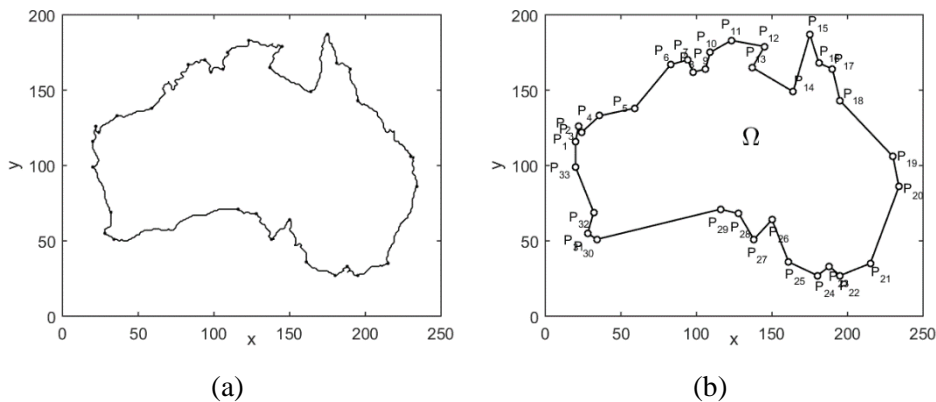


Figure 1. The representation of two-dimensional area (Australia) which consists of thirty-three corner points; **(a)** Arbitrary area; **(b)** The polygonal area

If the polygonal area is not a convex polygon as in the Figure 2(a), the triangulation algorithm finds triangles outside of the polygon. Each triangles which are fallen out the polygon are eliminated (Figure 2(b)). In some cases, the edge lines of the triangle intersect the edges of the polygon. In this case, the Delaunay algorithm develops an

algorithm for being edges of the triangle instead of polygon edges. Whether a point is in the polygon need to be investigated while deleting the centroids which are fallen outside the polygon. This problem is known as the point problem in the polygons (Haines, 1994; Hormann and Agathos, 2001). A perpendicular straight line is drawn from

randomly selected point (X, Y) , according the proposed odd-even method to line $y = x_{min}$ for solving this problem. Also, how many points of constituting all lines of the polygon are intersected by the perpendicular straight line must be determined. If the number of point of intersection is odd, the selected point is inside of the polygon, or else the selected point is outside of the polygon.

Two-dimensional colored view of the probability density function defined in Equation (19) which is bounded by Australian continent and the triangulation in this area are shown in Figure 3. Furthermore, the change of color shows the probability density function in the area.

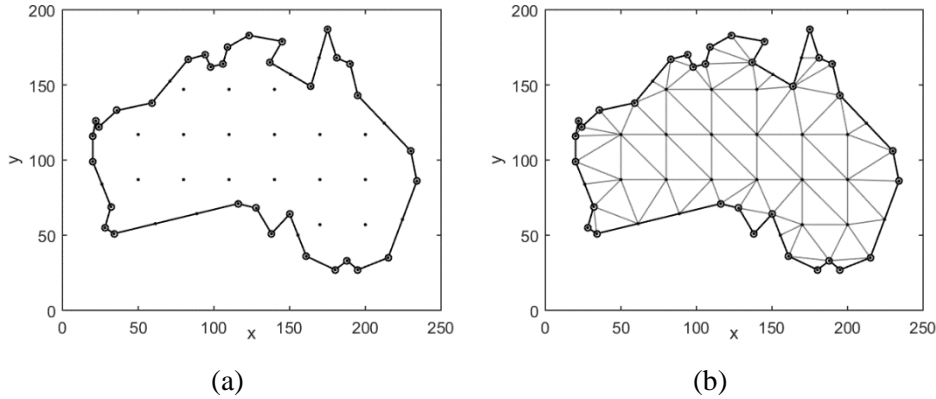


Figure 2. The division of the polygon into triangles; (a) Definition of the grid points in polygon; (b) Triangulation of the polygon (Ω).

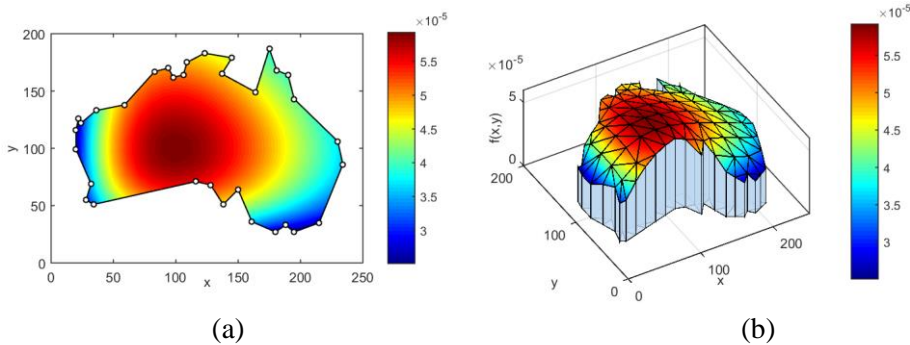


Figure 3. The probability density function bounded by the Australian continent; (a) Two-dimensional colored view of the probability density function; (b) The mesh view of the probability density function.

After the triangulation process, the probability value of the triangle can be calculated by taking integral separately from each triangle as in the following equation.

$$Pr((X, Y) \in \Omega_j) = \iint_{\Omega_j} f(x, y) dx dy \quad (6)$$

Here, intersections of Ω_j 's are empty and Ω_j shows the calculated triangular area. Also, j indicates subscript of the selected triangle. The sum of the probability values of each triangle allows to calculate probability value of the whole polygon because of the union of Ω_j is equal to the

area of Ω . The sum of all the triangles probabilities must be equal to 1 below.

$$Pr((X, Y) \in \Omega) = \sum_j Pr((X, Y) \in \Omega_j) = 1 \quad (7)$$

3.1. Definition of Intersection Region

The intersection of Ω area and the area of $(-\infty, x_0) \times (-\infty, y_0)$ is to be determined for calculation of the cumulative distribution function from probability density function bounded by a polygonal area (Figure 4). The probability density function in Figure 4 is defined in Equation (19) and is the same with Figure 3.

The intersection area is denoted by $Q = \{q_i = (x_i, y_i), i = 0, 1, 2, \dots, M\}$. For this calculation, perpendicular lines are drawn from point (x_0, y_0) which is supposed to be calculated the cumulative distribution function value to both x and y axes. Left bottom area of the point (x_0, y_0) is denoted by the intersection area Q . In other words, remaining area between the boundaries of the polygon and these perpendicular lines are determined as the intersection area of Q (Figure 4(a)). As the intersection area can be only a confined area, it can be in the form of multi confined area as well (Margalit and Knott, 1989). Primarily, the intersection area (Q) is divided into triangles for determining the cumulative distribution function with both analytical and numerical methods. Intersection area triangles are obtained by eliminating triangles fallen out the

intersection area (Q) (Figure 4(b)). The value of the cumulative distribution function can be calculated by summing up probability values of these triangles.

Although the integration is quite easy to calculate from the bivariate probability density function according to a fixed limit on the rectangular area, the integration in the triangular area is a bit complicated. To eliminate this complexity, the median of the components $\{x_a, x_b, x_c\}$ of x is found from the corners coordinates of triangle area Q_j in Figure 5(a). Drawing a parallel line from y -axis to the median value divides the triangle into two parts. Hence, the division process makes easy to calculate integral in the triangle area Q_j in Figure 5(b).

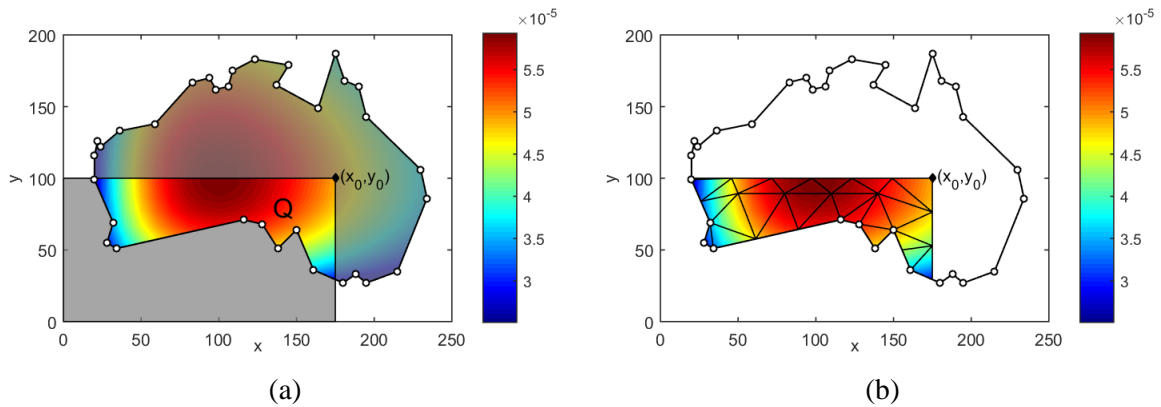


Figure 4. Intersection area; **(a)** Determination of the intersection area (Q); **(b)** Triangulation of the intersection area.

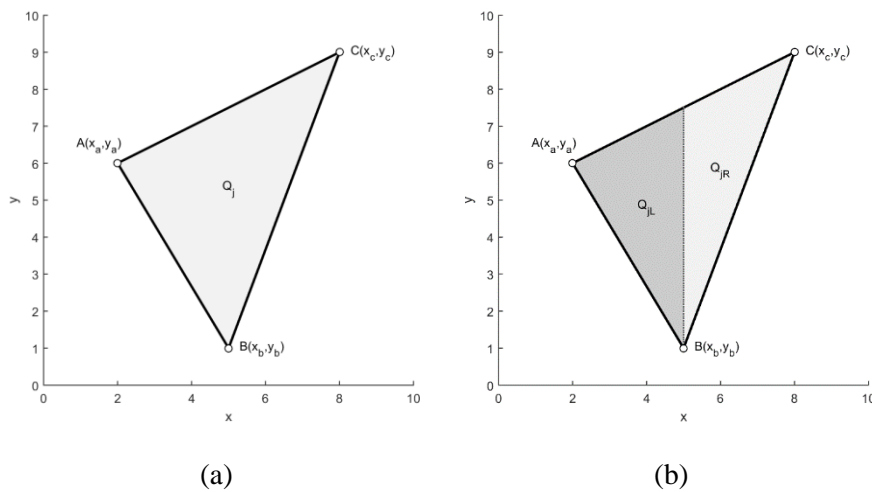


Figure 5. Representation of the triangular area; **(a)** The area Q_j ; **(b)** Determination of the triangular areas Q_{jL} and Q_{jR}

The region Q_j is divided into two triangles (Q_{jL}, Q_{jR}) and integral calculus is performed separately in each triangles. Also, their total probability value can be found in the total integration as follows.

$$Pr((X, Y) \in Q_j) = \iint_{Q_j} f(x, y) dx dy = \iint_{Q_{jL}} f(x, y) dx dy + \iint_{Q_{jR}} f(x, y) dx dy \quad (8)$$

Marginal probability density function of the triangle Q_{jL} is given as Equation (9). \overline{AB} shows the equation of the line through points A and B, also \overline{AC} shows the equation of the line through points A and C.

$$f_{jL}(x) = \left| \int_{\overline{AB}}^{\overline{AC}} f(x, y) dy \right| \quad (9)$$

Volume (probability value) of the left side region of the triangle Q_j is obtained as follows:

$$Pr((X, Y) \in Q_{jL}) = \int_{x_a}^{x_b} f_{jL}(x) dx \quad (10)$$

Likewise, the marginal probability density function of the triangle Q_{jR} is defined as in Equation (11). \overline{BC} shows the equation of the line through points B and C, also \overline{AC} shows the equation of the line through points A and C.

$$f_{jR}(x) = \left| \int_{\overline{BC}}^{\overline{AC}} f(x, y) dy \right| \quad (11)$$

Volume (probability value) of the right-side region of the triangle Q_j is obtained below.

$$Pr((X, Y) \in Q_{jR}) = \int_{x_b}^{x_c} f_{jR}(x) dx \quad (12)$$

The total probability of the triangle Q_j is calculated as follows.

$$Pr((X, Y) \in Q_j) = Pr((X, Y) \in Q_{jL}) + Pr((X, Y) \in Q_{jR}) \quad (13)$$

Total probability value of all triangles Q_j in the intersection region Q gives the distribution value of point (x_0, y_0) as in the following equation.

$$F_{XY}(x_0, y_0) = Pr((X, Y) \in Q) = \sum_j Pr((X, Y) \in Q_j) \quad (14)$$

3.3. Numerical Computation of CDF in a Triangle Area

Analytical methods which are mentioned in the previous sections can be preferred for the calculation of probability values in a polygonal area. However, the analytical calculation may not be possible in the case of failure of integration of marginal function from the given probability density function. In this case, numerical methods are applied to calculate the probability value. Whereas, the area under the curve and the volume under the surface is calculated with the univariate function and bivariate function respectively.

The trapezoidal rule is the most common method which used to calculate numerical integration of the univariate functions (Howard and Musto, 2008). When trapezoidal rule is applied to calculate the integral of bivariate function in three-dimensional situation, the truncated right rectangle prism can be used instead of trapezoid. However, the voids around edges of the rectangular pieces in polygon increase the error value in the calculation. Furthermore, triangles are the best shapes to define a surface (Boissonnat and Teillaud, 2007). The volume remaining below surface in the polygonal area which is divided into triangles can be easily calculated with the help of truncated right triangular prisms (Figure 6). The calculation of integral in the area we mentioned can be easily performed by summing volume of all triangular prisms. Also, K shows that the number of parts in an edge of the triangle.

An example is given in Figure 7 for finding the probability value by using the trapezoidal rule in triangle area in concern with sub-triangle division. The triangle area is divided into a triangle in Figure 7(a), when divided into four sub-triangles in Figure 7(b), when divided into nine sub-triangles in Figure 7(c), when divided into sixteen sub-triangles in Figure 7(d), when divided into twenty-five sub-triangles in Figure 7(e) finally, when divided into thirty-six sub-triangles in Figure 7(f) are shown in Figure 7.

Edge height of the sub-triangle prism is found by calculating the probability density function value of each sub-triangle's corner coordinates. The area of polygon which consists of the known coordinates of N corners in two-dimensional plane is given as in Equation (15) (Preparata and Shamos, 2012). This equation is found by $i + 1 \rightarrow 1$ when $i = N$. Also, Equation (15) is used when the polygonal area is a triangle (Figure 8).

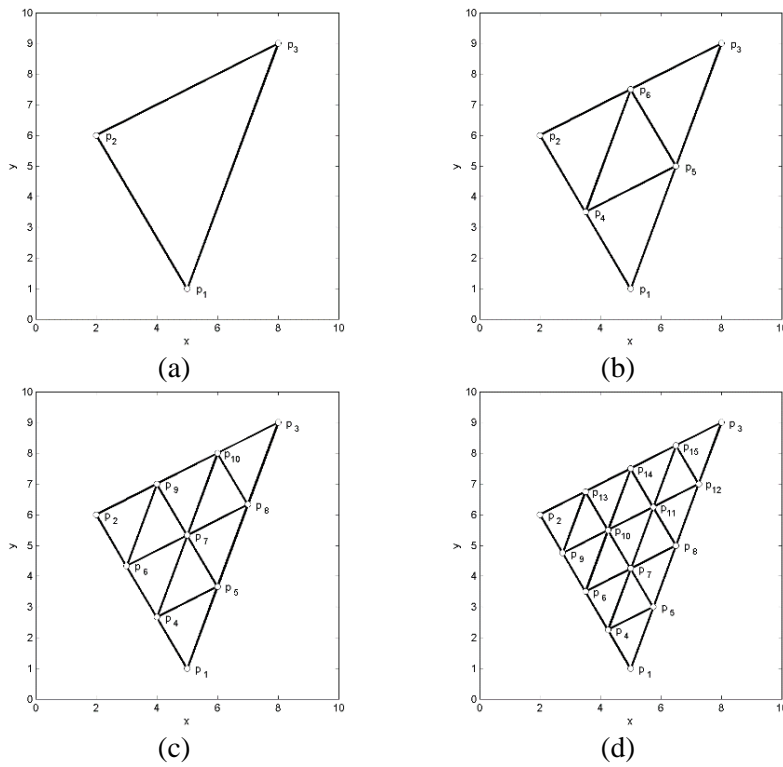


Figure 6. The division of a triangle into the sub-triangles; **(a)** Not to occur a triangle division for $K = 1$ **(b)** Four sub-triangles division of the triangle area for $K = 2$; **(c)** Nine sub-triangles division of the triangle area for $K = 3$; **(d)** Sixteen sub-triangles division of the triangle area for $K = 4$

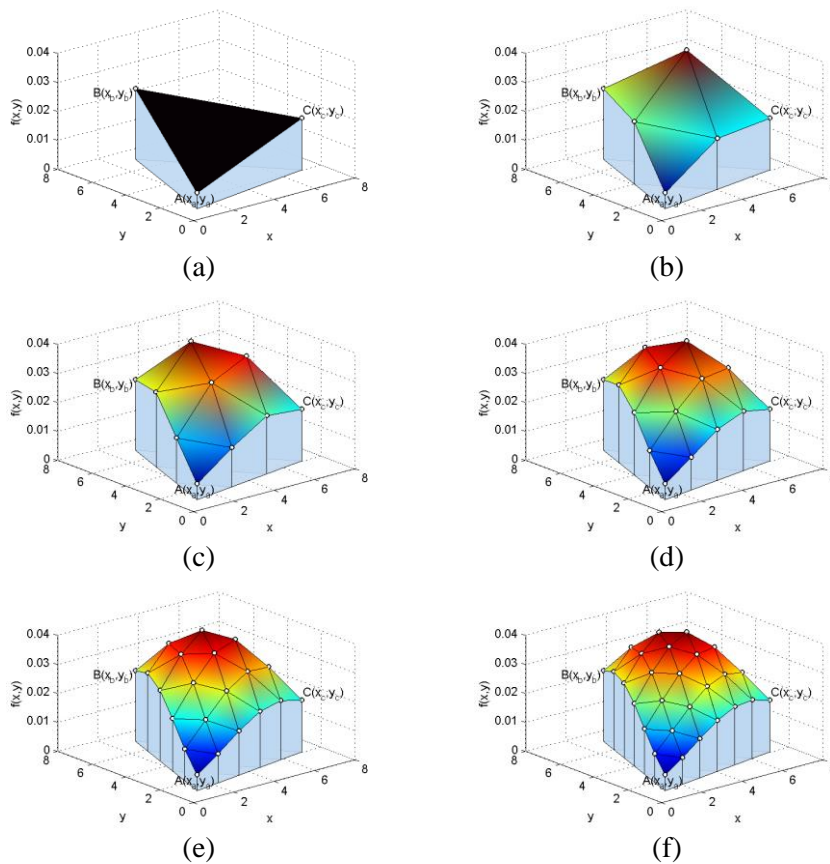


Figure 7. **(a)** The division to one sub-triangles in the triangle area.; **(b)** The division to four sub-triangles in the triangle area; **(c)** The division to nine sub-triangles in the triangle area; **(d)** The division to sixteen sub-triangles in the triangle area; **(e)** The division to twenty-five sub-triangles in the triangle area; **(f)** The division to thirty-six sub-triangles in the triangle area.

$$A = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (x_{i+1}y_i - x_iy_{i+1}) \right| \quad (15)$$

The volume of prism, whose base area is known is calculated below,

$$V = A \cdot h \quad (16)$$

where h is the height of the prism.

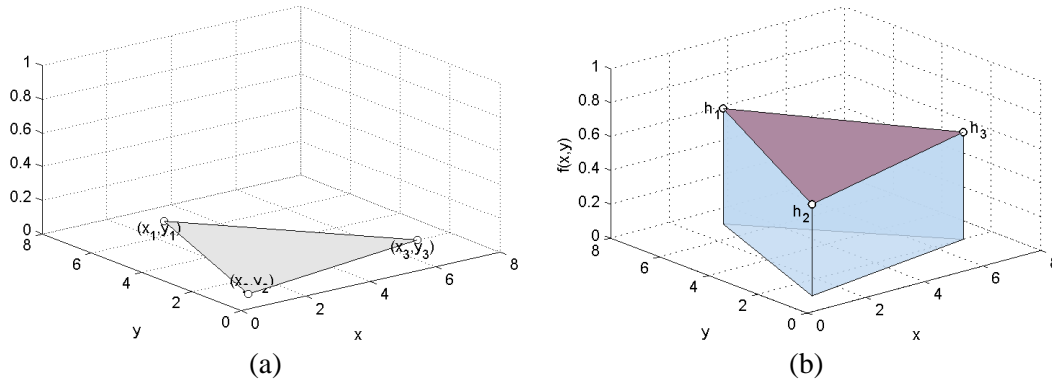


Figure 8. The calculation of volume of the truncated triangular prism; **(a)** The base area; **(b)** The truncated triangular prism.

After the calculation of volume of all sub-triangles, the total volume of all sub-triangles is equal to the total probability value for the triangle as follows. Also, K shows that the number of parts in an edge of the triangle.

$$P((X, Y) \in Q_j) = \sum_{k=1}^{K^2} V_k \quad (18)$$

4. Experimental Results

In this section, the cumulative distribution function is calculated from a probability density function whose definition area (Ω) is bounded by the shape of the continent of Australia for different points (x, y) by using both analytical and numerical methods.

Example 1. The arbitrary probability density function which is defined in region Ω is given as in the following equation.

$$f(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{2.2909 \times 10^7} xy e^{-\frac{(x+y)}{100}}, & (x, y) \in \Omega \\ 0, & (x, y) \notin \Omega \end{cases} \quad (19)$$

The values of the probability density function are arbitrarily determined to provide that the total value of the probability density function calculated in the polygonal area (Ω) equals to 1. The polygon's (Ω) corner points also are

If the perpendicular triangle prism has a truncated surface, the volume of k^{th} prism is calculated as in (17) (Eshbach et al., 1990; Badiru and Omिताomu, 2010; Straszewicz, 2014). $\{h_{k1}, h_{k2}, h_{k3}\}$ are the heights of corner coordinates of the triangular prism (Figure 8(b)).

$$V_k = A_k \frac{h_{k1} + h_{k2} + h_{k3}}{3} \quad (17)$$

arbitrarily determined. The mesh and contour view of the probability density function explained in Equation (19) is shown in Figure 3. Firstly, the cumulative distribution values $F(x, y)$ of each grid points (x, y) in area Ω are calculated analytically in Table 1. The cumulative distribution value of 99 grid points is calculated in the Table 1. The cumulative distribution value of the points in $(x < x_{min} \text{ AND } y < y_{min})$ area is zero. The reason of this is that the region whose left and below points do not intersect the polygon. On the other points, the cumulative distribution value is bigger than zero, because the region whose left and below points intersects the polygon. On the other hand, the cumulative distribution value of the points in $(x > x_{max} \text{ AND } y > y_{max})$ area is 1, for the region whose left and below points intersect the whole polygon.

Secondly, the cumulative distribution values $F(x, y)$ of each grid points (x, y) in area Ω are calculated by using numerical method. The cumulative distribution values of 99 grid points calculated by using numerical method is given in Table 2. This calculation is processed by division of each intersection region with thirty-pixel interval of grid points into sub-triangles. Similar to the analytical method, the cumulative distribution value of the points in $(x < x_{min} \text{ AND } y < y_{min})$ area is zero. On the other points, the cumulative distribution value is bigger

than zero. Also, the cumulative distribution value of the (250, 200) point in $(x > x_{max} \text{ AND } y > y_{max})$ area is 0.988. Thus, the cumulative distribution value of the (250, 200) point must be equal to 1 as the analytical method. The difference

stems from the numerical method. The difference will be decreased if the number of division of each intersection region into sub-triangles increases in Ω area.

Table 1. The cumulative distribution values calculated by using analytical method

$\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.028	0.037	0.037
75	0.000	0.000	0.017	0.038	0.053	0.061	0.081	0.119	0.162	0.194	0.195
100	0.000	0.001	0.043	0.097	0.148	0.192	0.246	0.315	0.387	0.444	0.452
125	0.000	0.004	0.071	0.158	0.245	0.326	0.414	0.516	0.616	0.695	0.705
150	0.000	0.004	0.078	0.188	0.310	0.425	0.546	0.678	0.803	0.885	0.895
175	0.000	0.004	0.078	0.189	0.331	0.473	0.618	0.760	0.898	0.980	0.990
200	0.000	0.004	0.078	0.189	0.331	0.477	0.627	0.769	0.908	0.990	1.000

Table 2. The cumulative distribution function values calculated by numerical method

$\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.027	0.037	0.037
75	0.000	0.000	0.017	0.037	0.052	0.060	0.080	0.117	0.160	0.191	0.193
100	0.000	0.001	0.042	0.095	0.145	0.189	0.243	0.311	0.382	0.439	0.447
125	0.000	0.004	0.069	0.155	0.241	0.320	0.408	0.507	0.607	0.685	0.695
150	0.000	0.004	0.076	0.185	0.305	0.418	0.538	0.669	0.793	0.874	0.884
175	0.000	0.004	0.076	0.186	0.326	0.466	0.610	0.750	0.887	0.968	0.978
200	0.000	0.004	0.076	0.186	0.326	0.470	0.619	0.759	0.897	0.978	0.988

After calculating the cumulative distribution function values both numerically and analytically, the cumulative distribution values calculated numerically are subtracted from the cumulative distribution values calculated analytically to make comparison between each other. The mean relative absolute performance can be calculated as in the following equation.

$$S = \frac{1}{99} \sum_x \sum_y \left(1 - \frac{|F_t(x,y) - F_{n30}(x,y)|}{F_t(x,y)} \right) \quad (20)$$

$F_t(x, y)$ shows the calculated analytically values of the cumulative distribution function, and $F_{n30}(x, y)$ shows the calculated numerically values of triangles which are obtained from the division of each intersection region with thirty-

pixel interval of grid points into sub-triangles. As a result, the performance of the numerical method is found as 99.10%. When the intersection region is defined in ten-pixel interval of grid points, the performance of numerical method is found as 99.85%.

The contour graphic of the cumulative distribution function values obtained analytically in the area Ω is given in Figure 9(a) and the contour graphic of the cumulative distribution function values obtained numerically in the area Ω is given Figure 9(b).

Example 2. Another example is a model based on the annual average amount of rainfall in the Australian mainland (Figure 10(a)). The determination of the probability density function is quite hard because this model is taken from real

life. Here, the annual average amount of rainfall data is obtained from $[-40, -10] \times [110,155]$ latitude-longitude and 0.05 grid interval. The joint probability density function (JPDF) is determined as a discrete distribution function from the rainfall data (Climate Change in Australia, 2016). The region is divided into small triangles. The constant

coefficient of the discrete JPDF is calculated from the total volume of which is summed up volume of all the triangular prism. An analytical method is difficult for calculation of the JCDF. Therefore, the numerical method is calculated and results of the numerical method are given in Figure 10(b).

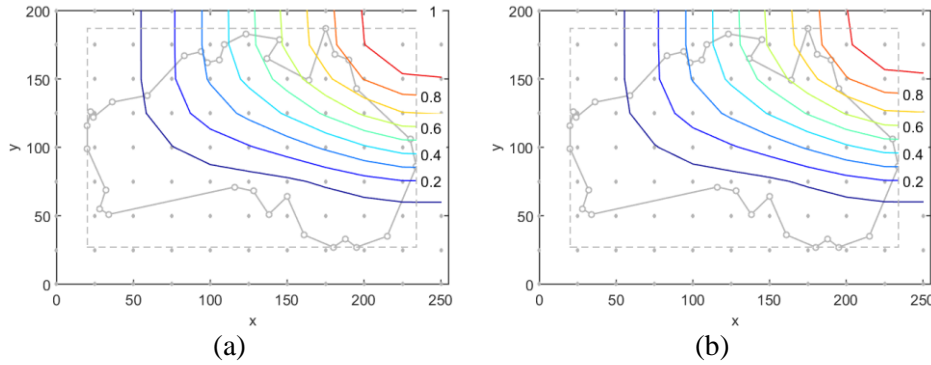


Figure 9. The contour graphic of the cumulative distribution values calculated in each grid points in region Ω ; (a) The contour display of the cumulative distribution function calculated analytically; (b) The contour display of the cumulative distribution function calculated numerically.

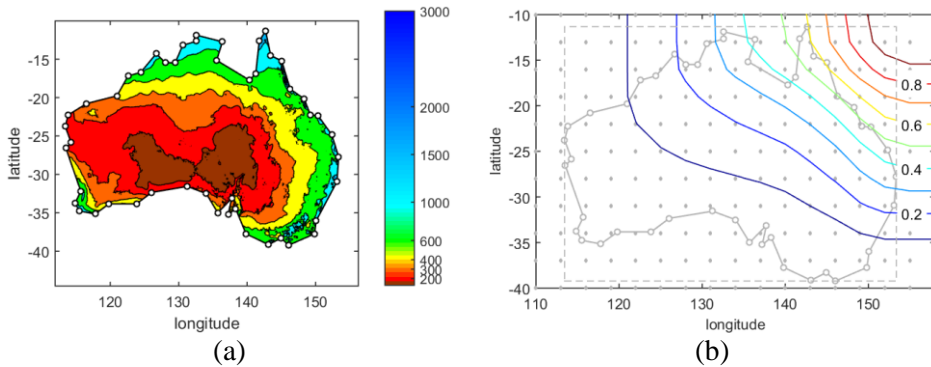


Figure 10. The contour graphic of the cumulative distribution values calculated in each grid points in region Ω ; (a) The contour display of the annual average amount of rainfall as the probability density function (b) The contour display of the cumulative distribution function calculated numerically.

5. Conclusion

In this paper, two useful methods are proposed to find the cumulative distribution function when the probability density function is bounded by an arbitrary polygon. For bivariate probability density function which is bounded by an arbitrary polygon has a uniform distribution, the cumulative distribution function can be calculated as a continuous function. However, the calculation of the cumulative distribution function is quite hard when probability density function whose definition range is bounded by a polygon has not a uniform distribution. Analytical and numerical methods are proposed to calculate the cumulative distribution function. These methods can find the

cumulative distribution function of a point which is supposed to calculate the cumulative distribution function. Therefore, the cumulative distribution values which cannot be calculated in practice can be calculated quite easily. The cumulative distribution function values are calculated for points which are chosen from the probability density function bounded by the shape of the Australian continent to express these two methods. As the analytical method calculates accurately, the numerical method calculates with regard to the number of triangles. When the number of triangles is increased in the numerical method, the values close to the analytical results are obtained.

On the other hand, another issue is which method will be used firstly. When it is thought that the analytical method gives faultless results in comparison with the numerical method, primarily preferred method must be analytical method. However, the analytical calculation may not be possible in most cases. In this case, numerical methods must be used. Thus, the bivariate piecewise cumulative distribution function can be calculated in an arbitrary area.

References

- Badiru, A. and Omitaomu, O., 2010. Handbook of Industrial Engineering Equations, Formulas, and Calculations: CRC Press, 456p.
- Boissonnat, J.D. and Teillaud, M., 2007. Effective computational geometry for curves and surfaces: Springer, 344p.
- Climate Change in Australia. (2016, 06 December). Retrieved from CSIRO and Bureau of Meteorology, <http://www.climatechangeinaustralia.gov.au/>.
- Douglas, D. and Peucker, T., 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10 (2), 112-122.
- Eshbach, O., Tapley, B. and Poston, T., 1990. Eshbach's handbook of engineering fundamentals: John Wiley & Sons, 2176p.
- Gudmundsson, J., Haverkort, H. and Van Kreveld, M., 2005. Constrained higher order Delaunay triangulations, *Computational Geometry*, 30 (3), 271-277.
- Haines, E., 1994. Point in polygon strategies: In *Graphics gems IV*: Academic Press, p. 24-26.
- Hormann, K. and Agathos, A., 2001. The point in polygon problem for arbitrary polygons, *Computational Geometry*, 20 (3), 131-144.
- Howard, W. and Musto, J., 2008. Engineering Computation: An Introduction Using MATLAB and Excel: McGraw Hill Higher Education, 330p.
- Kay, S. M., 2006. *Intuitive Probability and Random Processes Using Matlab®*, NY: Springer Science & Business Media, 834p.
- Kesemen, O. and Doğru, F. Z., 2011. Cumulative Distribution Functions of Two Variable in Polygonal Areas, 7. International Statistics Congress, Antalya, Turkey, p. 150-151.
- Kobayashi, H., Mark, B. and Turin, W., 2011. Probability, Random Processes, and Statistical Analysis: Applications to Communications, Signal Processing, Queueing Theory and Mathematical Finance: Cambridge University Press, 812p.
- Margalit, A. and Knott, G., 1989. An algorithm for computing the union, intersection or difference of two polygons, *Computers & Graphics*, 13 (2), 167-183.
- Martinez, W. L. and Martinez, A. R., 2002. *Computational Statistics Handbook with MATLAB*, New York: Crc Press, 731p.
- Miller, S. and Childers, D., 2012. Probability and random processes: With applications to signal processing and communications: Academic Press, 611p.
- Montgomery, D. and Runger, G., 2010. *Applied statistics and probability for engineers*: John Wiley & Sons, 784p.
- Preparata, F. and Shamos, M., 2012. *Computational geometry: an introduction*: Springer Science & Business Media, 398p.
- Roussas, G., 2003. *An introduction to probability and statistical inference*: Elsevier, 523p.
- Shewchuk, J., 1996. Triangle: Engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator: In *Applied computational geometry towards geometric engineering*: Springer, p. 203-222.
- Straszewicz, S., 2014. *Mathematical Problems and Puzzles: from the Polish Mathematical Olympiads*: Elsevier, 376p.
- Walck, C., 2007. *Handbook on statistical distributions for experimentalists*: University of Stockholm, 202p.

Adaçayı Tohumu (*Salvia officinalis* L.) Unu İle Zenginleştirilmiş Optimize Mısır Cipsin Depolama Yeteneklerinin Belirlenmesi

*Determination of Storage Ability of Optimize Corn Chips Enriched with Sage Seed (*Salvia officinalis* L.) Flour*

Ferhat YÜKSEL^{*a}, Cemalettin BALTACI^b

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 22.02.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 08.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 25.06.2018

Öz

Bu çalışmanın amacı yüzey yanıt metodu kullanılarak optimize edilmiş, adaçayı tohumu (*Salvia officinalis* L.) unu ile zenginleştirilmiş mısır cipslerinin 120 gün boyunca (0-40-80. ve 120. günlerde) depolama özelliklerin incelenmesi ve bazı fizikokimyasal ile duyu özelliklerin belirlenmesidir. Örneklerin su aktivitesi (a_w), a^* ve peroksit değerleri depolama zamanı boyunca artarken kuru madde içerikleri önemli oranda azalmıştır ($p<0.05$). Örneklerin yağ, L^* ve b^* içerikleri depolama boyunca önemli bir değişim sergilememiştir ($p>0.05$). Genellikle, örnekler panelistler tarafından verilen duyu skorlar depolama zamanı artışı ile birlikte düşmüştür. Örneklerin renk değerlerinde herhangi bir değişim yoktur, fakat tat/koku, gevreklik ve genel beğeni skorları depolama boyunca azalmıştır ($p<0.05$). Adaçayı tohumu unu ile zenginleştirilmiş mısır cipslerinin depolama özellikleri örneklerin herhangi bir koruyucu materyal içermemesinden dolayı depolama zamanından etkilenmiştir.

Anahtar kelimeler: Adaçayı tohumu unu, Depolama, Duyusal analiz, Mısır cipsi

Abstract

The aim of this study was to investigate the storage properties of corn chips enriched with sage seed (*Salvia officinalis* L.) for 120 days (0-40-80 and 120. Days) that optimized with response surface methodology and some physicochemical and sensory properties were to determine. The water activity, a^* and peroxide values of samples increased with the increasing storage time while the dry matter decreased significantly ($p<0.05$). The oil, L^* and b^* content of sample did not significant change for storage ($p>0.05$). Generally, the sensory score of samples given by panelists decreased with increasing storage time. The color properties of samples did not change, but the taste/odor, firmness and overall acceptability scores of samples decreased during storage ($p<0.05$). The storage properties of corn chips enriched with sage seed flour affected from storage time because the chips did not include any preservative material.

Keywords: Sage seed flour, Sensory analysis, Storage, Corn chips

^{*a} Ferhat YÜKSEL; fyuksel@gumushane.edu.tr; Tel: (0456) 232 75 43 (dâhili: 1862); orcid.org/0000-0003-1995-9820

^b 0000-0002-4336-4002

1. Giriş

Çerez tipi gıdalar dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğunun sıklıkla tükettiği ürün gruplarından birisidir (Luzardo-Ocampo vd., 2017). Cipsler, özellikle mısır ve patates cipsleri gerek ülkemizde ve gerekse tüm Dünyada severek tüketilen çerez tipi gıdalardandır. Çerez tipi gıda endüstrisi Dünyada yıllık 60 Milyar dolarlık bir pazar haline gelmiştir. En iyi müşterileri çocuklar olsa da günümüzde cipsler, başta genç nüfus olmak üzere toplumdaki her yaş grubundan insanın tüketmekten zevk aldığı gıdalardır (Yuksel vd., 2014).

Piyasa da satılan cipsler genel olarak ya patates ya da mısırdan üretilmektedir. Dünya çerez gıda piyasasında da bu iki ürün satışta birinci ve ikinci sırada yer almaktadır. Diğer ülkelerde alternatif çeşitleri olmasına karşın ülkemizde üretilen cipsler genelde derin yağda kızartılarak satışa sunulmaktadır. Yüksek yağ içeriği ve kızartılmış olması haricinde cipsler tahıllardan üretildikleri için besin içerikleri açısından faydalı gıdalar olarak kabul edilebilir (Kayacier vd., 2014; Rababah vd., 2011). Cips ve benzeri ürünlerde tüketici bir süre tükettiği ürünün tadını kanıksamakta ve dolayısıyla değişik çeşit arayışına gitmektedir. Bu yüzden üreticiler sürekli olarak yeni ürünler geliştirerek tüketici beğenisine sunmaya çalışmaktadır. Bu doğrultuda sıkça yapılan işlem ya ekstrüzyon proseslerinde olduğu gibi ürüne farklı bir şekil vermek ya da tat verici madde ilavesi ile farklı aromalarda cips elde etmektir. Derin yağda kızartılmış ürünler çerez tipi gıdalar arasında en önemli grubu oluşturmaktadırlar. Gıdaların derin yağda kızartılmaları, lezzetli yiyecekleri hızlı bir şekilde hazırlamak için kullanılan çok eski bir yöntemdir (Oladejo vd., 2017; Yüksel, 2014).

İnsan beslenmesinde vazgeçilmez bir yere sahip olan yağların beslenmemizde günlük alınması gereken enerjinin %30 unu aşmaması gerektiği ve bu yağların 1/3 ünün doymamış yağ asitlerince yüksek olan gıdalardan seçilmesinin sağlığımız açısından olumlu etkileri olduğu söylenmiştir (Yaprak vd., 2003). Omega 3 ve Omega 6 yağ asitlerinin doymamış yağ asit ihtiyacını karşılayacağı düşünüldüğünde bu yağ asitlerince zengin gıdaların beslenmemizdeki yerinin artırılmasının önemli olduğu görülmektedir.

Ballıbabagiller (*Lamiaceae*) familyasından salvia cinsini oluşturan kokulu bitkilere Adaçayı (*Salvia*) denmektedir. Değerli bir uçucu yağ ve baharat bitkisi olan adaçayının Dünyada *Salvia* cinsine ait

yaklaşık 900 türü vardır. Bu türlerin büyük bir kısmının Amerika ve güney-batı Asya kıtalarında dağılışı gösterdiği belirtilmektedir. Ticari olarak en çok yetiştirilen türün *Salvia officinalis* L. olduğu bilinmektedir. Aromatik bitki cenneti olan ülkemizde adaçayının üretildiği, üretimin talebi karşılamadığı durumda doğadan toplandığı belirtilmektedir (Yılmaz ve Gökdoğan, 2015; URL 1, 2013). Antik zamanlarda birçok hastalıkların tedavisinde kullandığı bilinen adaçayının günümüzde bu özelliğinin yanında baharat ve çay olarak da tüketildiği yaygın olarak bilinmektedir. Kurutulmuş adaçayı tohumunun öğütülerek elde edilecek unun başta mısır cipsi ve diğer tahıl cipslerinin formülasyonunda kullanılması ile hem cips endüstrisinin sürekli olarak aradığı yenilikçilik anlayışına katkı yapacak hem de içermiş olduğu yüksek doymamış yağ asidi miktarı ile cips severlere daha sağlıklı bir ürün sunulmasına katkıda bulunacaktır.

Adaçayının içerdiği yüksek aromatik ve besinsel özellikleri ile üretilen cips ürünlerinin tüketicilerin duyuşal beğenilerini olumlu yönde etkileyeceği ve büyük beğeni kazanacağı düşünülmektedir. Bu sayede tüketicilere daha doğal ve sağlıklı bir cips ürünü tüketme fırsatı sunulmuş olacaktır. Farklı *Salvia* türlerinin (*Salvia hispanica* L., *Salvia columbriabenth*, *Salvia polystachya*) Amerika'da gıdalarda katkı maddesi ve yağ kaynağı olarak kullanıldığı ve ayrıca tıp ürünlerinde de kullanıldığı belirtilmiştir (Rendón-Villalobos vd., 2012). *Salvia hispanica* L. (chia seed) ile üretilmiş cipslerin duyuşal karakteristikleri üzerine yapılan incelemede % 0-15 oranında katkılama yaptıkları ve katkılama oranı arttıkça duyuşal verilerde bir azalma görüldüğü, en iyi kabul oranının % 5 oranında tohumların kullanılarak yapıldığı belirlenmiştir (Coorey vd., 2012).

2. Amaç

Bu çalışmanın amacı adaçayı tohumu unu ile üretilen mısır cipsinde depolama boyunca meydana gelen bazı fiziko-kimyasal (kuru madde, ham yağ, a_w , peroksit, renk (L^*, a^*, b^*)) ve duyuşal değerlerin araştırılmasıdır. Bu kapsamda Design Expert (Version 7.0, SAS Institute. Inc. Cary, NC, USA) programı kullanılarak Box & Behnken deneme tasarımı (15 noktalı) oluşturulmuştur (Box ve Behnken, 1960). Adaçayı tohumu unu (g/100g), kızartma sıcaklığı (°C) ve kızartma süresi faktör olarak seçilmiştir. Duyuşal veriler (Genel beğeni) ışığında optimizasyon yapılarak en uygun deneme noktaları belirlenmiştir. Elde edilen en uygun üretim faktörlerine göre cips

üretimi yapılmış ve 120 gün boyunca (0-40-80-120 gün) oda şartlarında (modifiye atmosfer paket içerisinde) depolanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3. Gereç ve Yöntem

3.1. Materyal ve Metot

Proje kapsamında cips elde etmek için kullanılacak mısır (masa) unları, kızartma yağı (Mısır yağı; %15.29 Palmitik, % 1.93 Stearik, % 30.75 Oleik, %51.35 Linoleik ve %0.65 Linolenik yağ asidi içermektedir) ile diğer temel katkı maddeleri piyasadan temin edilmiştir. Cips formülasyonunda kullanılacak olan adaçayı tohumu (*Salvia Officinalis* L.) (Adaçayı tohumu yağı; % 10.97 Palmitik, % 2.02 Stearik, % 19.76 Oleik, % 66.46 Linoleik ve % 0.78 Linolenik yağ asidi içermektedir) ise, laboratuvar ortamında kontrollü bir şekilde kurutulmuştur. Toz haline getirilmesi için havanda ezilerek saklama kaplarında buzdolabı şartlarında muhafaza edilmiştir. Adaçayı tohumunun ve mısır (masa) ununu bazı özellikleri Şekil 1 de verilmiştir. Yüzey yanıt yöntemi kullanılarak cipslerin kızartılacağı kızartma sıcaklığı, süresi ve formülasyona eklenecek olan adaçayı unu parametreleri belirlenmiştir. Üretilen cipslerin duyu analizi gerçekleştirilmiş ve genel beğeni skorlarına göre optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu değerlere göre cips ürünleri üretilip depolanmıştır. Cips üretimi Şekil 1 'e göre yapılmıştır.

Cips üretiminde kullanılacak su oranı ön denemeler sonucunda 50±2 mL olarak belirlenmiştir. Hazırlanan karışım homojen bir şekilde karıştırılıp hamur elde edildikten sonra 30 dk streç film içerisinde dinlendirilmiştir. Dinlendirme işleminden sonra örnekler 1.00 mm kalınlıkta açılmış ve şekil verilerek kızartma işlemi için hazırlanmıştır. Kızartma işlemi için hassas sıcaklık ayarlı yağ banyosu kullanılmıştır (Mikrotest, Türkiye). Kızartma işlemi tamamlanmış cipsler dinlendirilmek üzere kağıt havlular üzerinde bekletilmiştir. Ardından örnekler modifiye atmosfer tekniği (azot) ile paketlenerek 120 günlük depolama işlemi başlatılmıştır. 0(kontrol)-40-80 ve 120. günlerde paketler açılıp örneklerin depolama analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. Cips Örneklerinin Genel Bileşim Analizleri:

Örneklerin fizikokimyasal analizleri için literatürlerde tarif edilen yöntemler kullanılmıştır.

3.2.1. Yağ Analizi

Cips örneklerinin etüvde 105±3°C de 3 saat kurutulduktan sonra yağ içeriği otomatik sokslet cihazı (Büchi Universal Extraction Unit B-811, Flawil, İsviçre) kullanılarak 150 mL petrol eteri ilavesiyle 5 saat süreyle ekstraksiyon'a tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon sonrası 105 °C de 15 dk bekletilmiş ve sonra desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartımları yapılarak hesaplamaları yapılmıştır (Yüksel, 2014).

3.2.2. Kuru Madde Tayini

Kuru madde miktarı için tartım kapları sabit tartıma gelmesi için 105 °C de 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra konulan örneğin 102±3 °C'ye ayarlı fırında (Nüve, İstanbul) sabit tartıma (>3 saat) gelinceye kadar kurutulması ile tespit edilmiştir (Gökalp, 1995).

3.2.3. Renk Analizi

Örneklerin renk ölçümleri Lovibond (The Tintometer Limited, İngiltere) kolorimetre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. L^* ; siyahtan (0) beyaza (100) kadar örneğin açıklık-koyuluk, a^* ; yeşil-kırmızı, b^* ; sarı mavi renk değerleri ölçülmüştür (Yüksel, 2014).

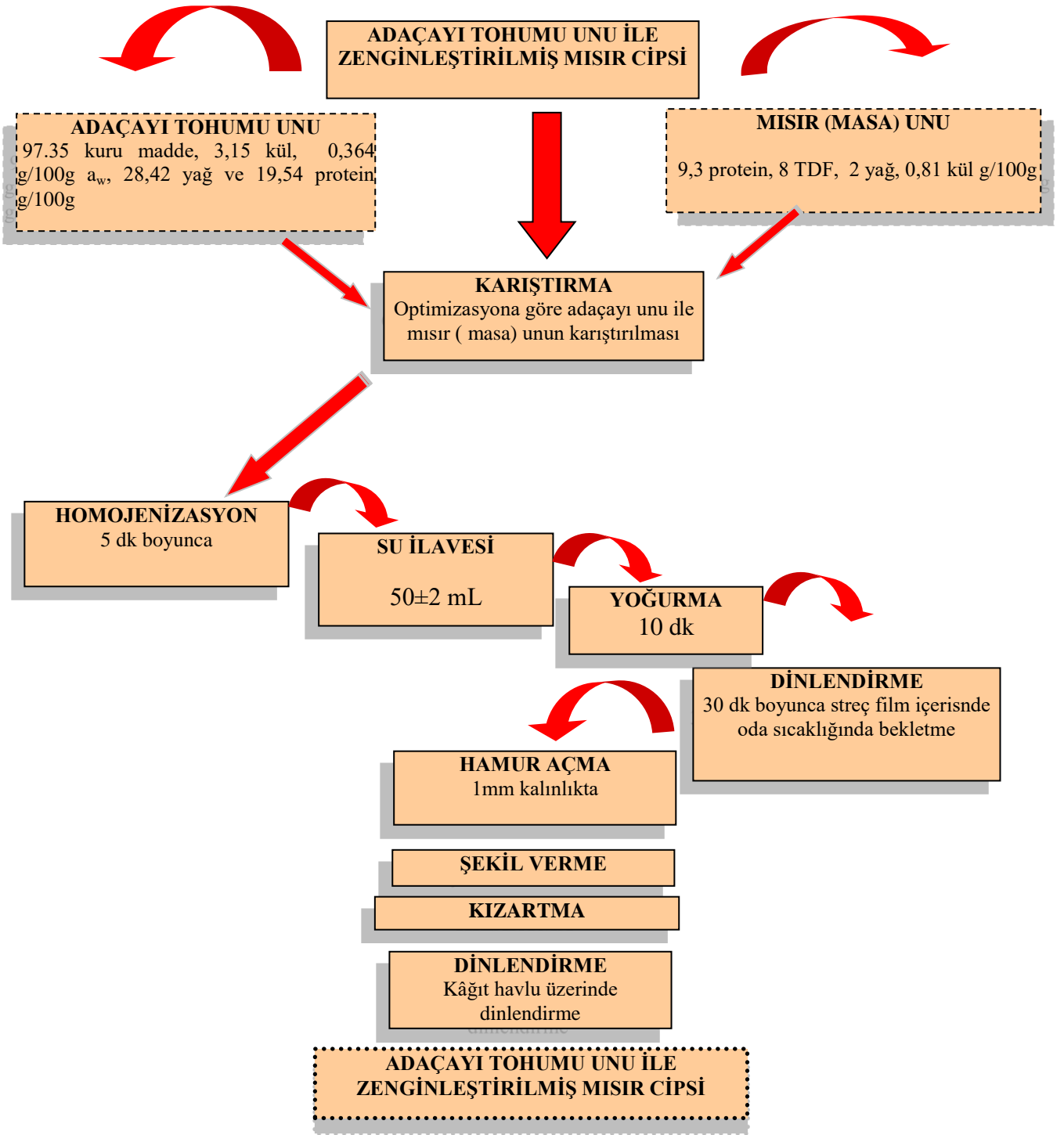
3.2.4. Su Aktivitesi Tayini

Su aktivitesi değerleri ise otomatik su aktivitesi tayin cihazı (Aqualab Series 3T) kullanılarak belirlenmiştir (Kaban, 2007).

3.3. Cips Örneklerinin Peroksit Sayısı Tayini

Peroksit sayısı, son ürünlerden ekstraksiyon ile elde edilecek olan yağ örneklerinde AOAC (2000)'de belirtilen yöntemle yapılmıştır. Bu amaçla erlen mayer içerisine tartılmış olan 5 g yağ örneği 10 mL kloroform ile çözülmüş ve 15 mL asetik asit ve 1 mL doymuş potasyum iyodür ilavesinden sonra 10 dk karanlık ortamda ve oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ardından 75 mL destile su ve birkaç damla nişasta (%1'lik) indikatör eşliğinde 0.01 N ayarlı sodyum tiyosülfat ile titrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Titrasyon bitiş noktası olan berrak renk oluşumuyla elde edilen sarfiyat aşağıdaki formülde yerine konulmuş ve aynı işlemler ayrıca kör için de tekrar edilmiştir.

$$\text{Peroksit sayısı} = \frac{[(V_1 - V_0) \times N]}{M} \quad (1)$$



Şekil 1. Cips Üretim Şeması

V_1 ve V_0 sırasıyla örnek ve kör için harcanan miktar, N , titrasyon çözeltisinin normalitesi ve M de örnek ağırlığıdır. Üç paralel olarak gerçekleştirilmiş olan peroksit sayısı analiz sonuçları $meqO_2/kg$ yağ şeklinde verilmiştir.

3.4. Duyusal Analiz

Depolanmış cips örneklerinin duyusal analizleri Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa

Bilimleri Fakültesi öğrenci ve öğretim elemanlarından oluşturulmuş, eğitimli 10 kişilik bir panel grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Panelist grup öncelikle ürün hakkında bilgilendirildikten sonra analize başlanmıştır. Rastgele servis edilen cips örnekleri tat, koku, renk, gevreklik ve genel kabul bakımından duyusal değerlendirmelere tabi tutulmuştur. Değerlendirmede 1-9 aralığında puanlandırma

yapılan hedonik skala kullanılmıştır (Yuksel vd., 2018).

3.5. Depolama Süresinin Fiziko-kimyasal Sürelere Etkisi

Elde edilen cips örneklerinin depolama özelliklerinin değerlendirilebilmesi amacıyla, depolama süresince yapısında meydana gelen bazı fiziko-kimyasal (kuru madde, renk, peroksit, yağ, aw), duyuşsal özelliklerdeki değişimler belirlenmiştir. Bu amaçla, öncelikli olarak belirtilen yöntemler ve miktarlar kullanılarak (optimizasyon sonucunda) cipsler üretilmiş ve cipslerde yapılan söz konusu analizlerin tümü raf ömrü süresince de yapılmıştır. Duyusal veriler kullanılarak yüzey yanıt yöntemi ile yapılmış optimizasyon sonucuna göre en çok beğeni alan formülasyona göre üretilmiş olan cips örnekleri 120 gün süreyle depolamaya tabi tutulmuştur. Depolama amacıyla örnekler modifiye atmosfer sistemi kullanılarak azot gazı ile paketlenmiştir. Örnekler depolama süresince oda şartlarında (25 °C)'de muhafaza edilmiş ve bu numunelerde bütün analizler 0, 40, 80 ve 120. günlerde tekrar edilmiştir.

3.6. İstatistiksel Analiz ve Optimizasyon

Sonuçların istatistik değerlendirilmesi SAS 8.0 istatistiksel paket programı (SAS Institute, 1999) ile yapılmıştır. Elde edilen verilerde sonuçlar üzerine faktörlerin etkisi varyans analizi (ANOVA) ile tespit edilmiş, çoklu karşılaştırmalar ile grup ortalamaları karşılaştırılmıştır ($p=0.05$). Box & Behnken ile hazırlanan deneme tasarımına göre belirlenen 15 noktalı çalışma sonucunda her bir cevap değişkeninin ikinci dereceden polinom denklemi şu şekildedir (1):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{i=1}^3 b_{ii} X_{ii}^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 b_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

Denklemdaki veriler; Y tahmin edilen cevap değişkenidir, X_i , X_{ii} ve X_j (adaçayı tohumu unu, kızartma sıcaklığı ve kızartma süresi) işlem değişkenlerini gösterirken, b_0 , b_i , b_{ii} , b_{ij} ise sabittir. Yüzey yanıt yöntemi dahilinde çalışılan duyuşsal parametrelerin optimum seviyeleri belirlenerek faktör seviyeleri optimize edilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

Mısır cipslerinin duyuşsal skorlarına göre yapılan optimizasyon çalışmasına göre (istenilirlik 1.0) en fazla tercih edilen deneme noktaları 176.45 °C'de

41.81 saniye kızartılan ve 8.4 g/100g adaçayı tohumu (*Salvia officinalis* L.) unu içeren formülasyonudur. Optimum parametrelere göre hazırlanan mısır cipsleri modifiye atmosfer paketlenme tekniği kullanılarak azot gazı ile paketlenmiştir. Duyusal sonuçlar ışığında yanıt yüzey metodu ile elde edilen cips örneklerin genel beğeni yanıtları 3 numaralı denklemde verilmiştir. Genel beğeni için belirlen kararlılık katsayısı $R^2=0.869$ olarak belirlenmiştir. Burada X_1 : Adaçayı tohumu unu, X_2 : kızartma sıcaklığı ve X_3 : Kızartma süresini göstermektedir.

$$Y = -183.35 + 1.06X_1 + 1.96X_2 + 0.58X_3 - 0.006X_1X_2 + 0.0009X_1X_3 - 0.004X_2X_3 - 0.003X_1^2 - 0.0005X_2^2 + 0.0007X_3^2 \quad (3)$$

Tablo 1 mısır cipsinin 120 günlük depolama süresince belirli periyotlar ile kuru madde, yağ, peroksit ve su aktivitesi değerlerindeki değişimi göstermektedir. Depolama süresince mısır cipsi örneklerinin kuru madde değerleri 96.48-98.76 g/100g aralığında bulunmuş, kuru madde değerleri depolama süresi ile orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir (nem içeriği artmıştır). Benzer bir çalışmayı Kayacier ve Singh, (2003) yılında Tortilla cipslerin depolanmasında gözlemlenmişlerdir. Tortilla cipslerin depolama süresince nem içeriklerin % 18.33 den %22.48 e çıktığı belirlenmiştir (4 haftada). Örneklerin yağ değerleri ise 30 g/100g değerinin altında bulunmuş ve yağ değerleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Örneklerin su aktivitesi değeri ise depolamayla birlikte artış göstermiş ve 120 gün sonunda başlangıçta 0.19 olan su aktivitesi değeri 120 gün sonunda 0.31 olarak kaydedilmiştir. Mısır cipsi örneklere ait peroksit değerleri depolama arttıkça önemli oranda arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Başlangıçta (0. Gün) 5.08 meqO₂/kg yağ olarak kaydedilen peroksit sayısı 120 gün sonunda 28.58 meqO₂/kg yağ değerine ulaşmıştır. Türk gıda kodeksine göre cips gibi derin yağda kızartılmış ve yağ içeriği yüksek ürünlerde bulunması gereken peroksit değeri 10 meqO₂/kg'ı geçmemesi gerekmektedir (URL-2, 2012). Buradan görüldüğü gibi kontrol gurubu örneklerin bu değere uyduğu fakat 40. günden sonra bu değerin aşıldığı belirlenmiştir. Cips ürünlerin herhangi bir koruyucu içermiyor oluşu ve kızartmalık olarak kullanılan mısır yağı ile adaçayıdan gelen doymamış yağ asidi içeriği peroksit değerlerini depolama ile artırdığı söylenebilir. Yuksel (2014) tarafından yapılan çalışmada herhangi bir koruyucunun kullanıl-

madığı, modifiye atmosfer tekniği kullanılarak optimizasyonu yapılmış mısır cipslerinde yapılan depolamalarda, 120. gün sonunda peroksit değerlerin önemli ölçüde arttığını belirlemiştir. Sulaeman vd., (2010) yılında derin yağda kızartılmış havuç cipsleri ve onların depolama üzerine etkileri adlı yaptıkları çalışmada bizim çalışmamıza benzer sonuçlar bulmuşlardır. Depolama zamanına bağlı olarak örneklerin su aktiviteleri artmış, yağ içerikleri değişmemiş ve peroksit değerlerinde de artışlar tespit etmişlerdir. Farklı darı buğdayları ile zenginleştirilmiş yumurta cipsi üzerine yapılan bir çalışmada örneklerin depolamaya (4 ay) bağlı olarak a_w değerleri 0.38 den 0.55 e çıktığını belirlemişlerdir (Yashoda vd., 2008). Patates cipsleri üzerine yapılan başka bir çalışmada kontrol gurubu örneklerin peroksit değerleri 0. ve 90. Gün de sırasıyla şu şekilde bulunmuştur; 1.69 ve 34.32 meqO₂/kg (Rababah vd., 2012).

Patates cipslerinin oksidatif stabilitesi üzerine yapılan bir çalışmada cips örneklerin depolamaya bağlı olarak peroksit içeriklerinde artışlar olduğu görülmüştür. Özellikle pamuk yağı ve soya yağı ile hazırlanan cipslerde peroksit değerlerin depolama süresince önemli miktarda yükseldiği belirlenmiştir (Lolos vd., 1999). Çalışma

kapsamında kızartma işlemi için kullanılan mısır yağının yağ asidi kompozisyonu pamuk yağı ve soya yağıninkine benzediğinden örneklerde depolamaya bağlı olarak peroksit değerlerinin yükselmesinin yapılan bu çalışma ile aynı özellikte olduğu görülmüştür.

Mısır cipsi örneklerinin 120 günlük depolama süresince parlaklık (L^*) ve kırmızılık (a^*) değerlerinde çok önemli değişimler meydana gelmiştir ($p<0.05$), ancak sarılık (b^*) değerlerindeki değişimler önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Parlaklık değerleri 48.98-51.94 aralığında, kırmızılık değerleri 5.85-7.95 aralığında, sarılık değerleri ise 31.61 ile 33.30 aralığında değişim göstermiştir (Tablo 2). Örneklerin renk değerleri incelendiğinde L^* ve a^* değerlerinde bulunan önemli değişimlerin sebebi derin yağda kızartma olduğu düşünülmektedir. Cips ürünleri gibi yüksek karbonhidrat içeren ürünlerde renk olgusu Maillard reaksiyonu ile yakından ilgilidir (Shallenberger vd., 1959; Rababah vd., 2012; Yüksel, 2017). Bu da o ürünün kızartma anındaki yağ ile olan teması ile bağlantılıdır. 40 .ve 120. günlerdeki L^* ve a^* değerlerindeki değişim ürünlerdeki farklı Maillard reaksiyonu seviyeleri ile açıklanabilir.

Tablo 1. Depolama süresinin fiziko-kimyasal özelliklere etkileri

Depolama süresi (gün)	Kuru madde (g/100g)	Yağ (g/100g)	Peroksit (meqO ₂ /kg)	Su aktivitesi (a_w)
Başlangıç (0.gün)	98.76±0.01 ^a	24.89±0.14 ^a	5.08±0.42 ^c	0.19±0.01 ^c
40. Gün	98.70±0.13 ^a	24.69±0.01 ^a	13.78±0.23 ^b	0.23±0.01 ^b
80. Gün	98.58±0.01 ^a	24.09±0.22 ^a	17.57±4.65 ^b	0.21±0.01 ^b
120. Gün	96.48±0.08 ^b	23.44±1.45 ^a	28.58±1.15 ^a	0.31±0.01 ^a

a-c: her bir sütundaki farklı harfler örneklerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($p<0.05$)

Tablo 3 örneklerin depolama süresine bağlı olarak duyusal özelliklerinde meydana gelen değişimi ortaya koymaktadır. Örneklerin renk değerlerinde kısmi bir düşüş meydana gelmiş, ancak depolamanın renk skorları üzerine etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Örneklerin gevreklik değerleri önemli seviyede azalmış, başlangıçta 7.80 iken, 120 günlük depolama sonunda 7.20'ye gerilemiştir ($p<0.05$). Mısır cipsi örneklerinin tat-koku skorları ile genel beğeni skorları da depolamaya bağlı olarak gerilemiş, depolamanın etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Farklı darı unları ile zenginleştirilmiş yumurta cipslerin 4 ay depolandıktan sonra yapılan duyusal analizlerde örneklerin depolama süresi ile birlikte duyusal değerlerin azaldığını tespit etmişlerdir (Yashoda vd., 2008).

Genel olarak tüm analiz sonuçları şu şekilde değerlendirilebilir. Paketleme oda sıcaklığı koşullarında 0, 40, 80, ve 120. günlerde analizleri gerçekleştirilmek üzere depolanmıştır. Mısır cipsine ait depolama verileri depolama sırasında örneğin yağ değerlerinde önemli bir değişim olmadığını ortaya koymaktadır. Örneğin kuru madde içerikleri depolamaya bağlı azalmış buna paralel olarak su aktivitesinin arttığı görülmüştür. Kuru madde, yağ, ve renk değerlerindeki (L^*, a^*, b^*) değişim istatistiksel olarak önemli bulunsada da değişim çok sınırlı bir miktar olduğundan pratikte bir öneminin olmadığı düşünülmektedir.

Tablo 2. Depolama süresinin renk değerlerine etkileri

Depolama süresi (gün)	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
Başlangıç (0.gün)	51.94±0.43 ^a	5.85±0.35 ^c	31.61±0.33 ^a
40. Gün	48.98±1.75 ^b	7.95±0.08 ^a	32.15±0.73 ^a
80. Gün	51.17±0.32 ^a	7.16±0.37 ^b	33.30±0.60 ^a
120. Gün	51.07±0.47 ^a	6.98±0.63 ^b	33.20±1.69 ^a

a-c: her bir sütundaki farklı harfler örneklerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($p<0.05$)

Tablo 3. Depolama süresinin duyuşal değerlendirmeye etkileri

Depolama süresi (gün)	Renk	Gevreklik	Tat/Koku	Genel beğeni
Başlangıç (0.gün)	6.40±1.14 ^a	7.80±1.30 ^{ab}	7.60±0.89 ^a	7.80±0.83 ^a
40. Gün	6.60±0.54 ^a	8.60±0.54 ^a	8.00±0.70 ^a	8.00±0.70 ^a
80. Gün	6.40±1.14 ^a	7.80±0.44 ^{ab}	5.40±1.51 ^b	6.40±1.14 ^b
120. Gün	5.40±1.81 ^a	7.20±1.09 ^b	5.40±0.89 ^b	5.80±0.83 ^b

a-b: her bir sütundaki farklı harfler örneklerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($p<0.05$)

Örneklerin depolama süresi arttıkça peroksit değerlerinin arttığı ve özellikle 120. gün en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Örneğin duyuşal özellikleri bakımından elde edilen skorlara göre renk içeriğinde değişim olmadığı, gevreklik, tat/koku ve genel beğeni bakımından süre arttıkça azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Depolama esnasında üründeki nem miktarının artması ve peroksit değerinin yükselmesinin örneğin duyuşal özelliklerine yansıdığı anlaşılmaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışma ile adaçayı tohumu (*Salvia officinalis* L.) unu ile zenginleştirilmiş mısır cipsleri üretilmiş ve duyuşal skor (genel beğeni) kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyona göre üretilen mısır cipsin de depolama özellikleri belirlenmiştir. 120 günlük depolama sonunda örneklerin peroksit değerlerinde önemli artış gözlemlenmiştir ($p<0.05$). Ayrıca, depolama boyunca mısır cipsleri duyuşal analize tabi tutulmuş ve depolama süresi arttıkça panelistlerin verdiği duyuşal skorlar önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). Modifiye atmosfer paketlenme teknolojisinin kullanıldığı bu çalışmada örneklerin peroksit değerlerinin kodekste belirtilen 10 meqO₂/kg'ı 40. günden sonra aştığı belirlenmiştir. Bu artışın sebebi olarak herhangi bir koruyucunun kullanılmaması ile kızartmalık olarak kullanılan mısır yağın ve adaçayı tohumundan gelen doymamış yağ asit içeriğinin yüksek olması söylenebilir. Bu sebeple cips gibi derin yağda kızartılmış ürünlerde palm yağı gibi doymuş yağ asidi içeriği yüksek kızartmalık yağlar tercih

edilmeli ve uzun süreli depolamalarda ya kimyasallar ve antioksidanlar ile ya da farklı alternatif muhafaza yöntemleri ile muhafaza edilmelerinde fayda vardır.

Teşekkür

Çalışmamızı destekleyen Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerine (Proje No: 16.F5115.03.02) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- AOAC, 2000. Analyses code 990.03, Inofficial methods of analysis of AOAC International. Washington DC: Assoc Off Anal Chem, 17th Ed. 1(4): 26–27.
- Box, G.E.P., ve Behnken, D.W., 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 7, 455-475.
- Coorey, R., Grant, A.ve Jayasena, V., 2012. Effects of chia flour incorporation on the nutritive quality and consumer acceptance of chips. *J Food Res.*, 1(4): 85-95.
- Gökalp, H. Y., 1995. Et ve ürünlerinde kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu. II. Baskı. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ofset Tesisi, Erzurum.
- Kaban, G., 2007. Geleneksel olarak üretilen sucuklardan laktik asit bakterileri ile katalaz pozitif kokların izolasyonu-identifikasyonu, üretimde kullanılabilme imkanları ve uçucu

- bileşikler üzerine etkileri, Doktora tezi. Atatürk Üniversitesi.
- Kayacier, A., ve Singh, K.R., 2003. Effect of mono- and diglyceride addition on baked tortilla chips and their storage properties. *J Food Process Preserv.*, 27: 1-8.
- Kayacier, A., Yuksel, F. ve Karaman, S., 2014. Response surface methodology study for optimization of effects of fiber level, frying temperature, and frying time on some physicochemical, textural, and sensory properties of wheat chips enriched with apple fiber, *Food Bioprocess Technol.*, 7: 133-147.
- Lolos, M., Oreopoulou, V. ve Tzia, C., 1999. Oxidative stability of potato chips: effect of frying oil type, temperature and antioxidants. *J Sci Food Agric.*, 79: 1524-1528.
- Luzardo-Ocampo, I., Campos-Vega, R., Gaytan-Martinez, M., Preciado-Ortiz, R., Mendoza, S., ve Loarca-Pina, G., 2017. Bioaccessibility and antioxidant activity of free phenolic compounds and oligosaccharides from corn (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) chips during in vitro gastrointestinal digestion and simulated colonic fermentation. *Food Res. Int.*, 100, 1, 304-311.
- Oladejo, O.A., Ma, H., Qu, W., Zhou, C., Wu, B., Yang, X., ve Onwude, D.I., 2017. Effects of ultrasound pretreatments on the kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of sweet potato (*Ipomeabatatas*). *Inn. Food Sci. Emerging Technol.*, 43, 7-17.
- Rababah, T. M., Yücel, Y., Ereifej, K. I., Alhamad, M. N., Al-Mahasneh, M. A., Yang, W., Muhammad, A. H. ve Ismaeel, K., 2011. Effect of grape seed extracts on the physicochemical and sensory properties of corn chips during storage. *J Am Oil Chem Soc.*, 88: 631-637.
- Rababah, T. M. Feng H. ve Yang W., 2012. Fortification of potato chips with natural plant extracts to enhance their sensory properties and storage stability. *JAm Oil Chem Soc.*, 89:1419-1425.
- Rendón-Villalobos, R., Ortiz-Sánchez, A., Solorza-Feria, J. ve Hernández, C.A.T., 2012. Formulation, physicochemical, nutritional and sensorial evaluation of corn tortillas supplemented with chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Czech J Food Sci.*, 30(2): 118-125.
- SAS Institute, 1999. SAS/STAT user's Guide. Release 8.0. SAS Ins. Cary, NC.
- Shallenberger, R. S., Smith, O. ve Treadway, R. H., 1959. Role of the sugar in the browning reaction in potato chips. *Agric Food Chem.*, 7(4): 274-277.
- Sulaeman, A., Keeler, L., Giraud, W.D., Taylor, L.S. ve Driskell, A.J., 2003. Changes in carotenoid, physicochemical and sensory values of deep-fried carrot chips during storage. *Int J Food Sci Technol.*, 38: 603-613.
- URL-1, 2013. Türkiye adaçayı üretimi ve ihracatında dünya birincisi, <https://www.haberler.com/tibbi-aromatik-bitki-cenneti-turkiye-5396420-haberi/.html> (07.12.2013)
- URL-2, 2012. Türk gıda kodeksi bitki adi ile anılan yağlar tebliği, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/04/20120412-7.htm> (12.04.2012)
- Yaprak, S., Karabulut, I. ve Ergin, G., 2003. Omega 3 yağ asitleri ve insan sağlığı üzerine etkileri. *GIDA*, 28(2): 115-122.
- Yashoda, K.P., Modi, V.K., Rao Jagannatha, R. ve Mahendrakar, R.S., 2008. Eggs chips prepared by using different millet flours as binders and changes in product quality during storage. *Food Control*, 19: 170-177.
- Yılmaz, D., ve Gökdoğan M.E., 2015. Adaçayı (*Slavia officinalis*) bitkisinin farklı nem düzeylerinde fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi dergisi*, 10(1): 73-82.
- Yuksel F., Karaman S. ve Kayacier A., 2014. Enrichment of wheat chips with omega-3 fatty acid by flaxseed addition textural and some physicochemical properties, *Food Chem.*, 145: 910-917.

Yüksel, F., 2017. Effect of powder of macaroni boiling water (by-product) on textural, oil uptake, physico-chemical, sensory and morphological properties of fried wheat chips. *J Food Meas.*, 11: 290–298.

Yüksel, F., 2014. Bayat ekmeğın kııartılmış buğday ve mısır cipsinde kullanımı, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi.

Yüksel, F., Akdoğan, H.B., ve Çağlar, S., 2018. Keten tohumu ile zenginleştirilmiş eriştelerin fizikokimyasal, duyuusal, pişme özellikleri ve yağ asidi kompozisyonun belirlenmesi. *GIDA*, 43 (2): 222-230

Solving of Some Random Partial Differential Equations by Using Differential Transformation Method and Laplace- Padé Method

Bazı Rastgele Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Diferansiyel Dönüşüm Metodu ve Laplace-Padé Metodu Kullanarak Çözümü

Mehmet MERDAN^{1,a}, Halil ANAÇ*^{1,b}, Zafer BEKİRYAZICI^{2,c}, Tülay KESEMEN^{3,d}

¹Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mathematical Engineering, 29100, Gümüşhane

²Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, 53100, Rize

³Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 12.03.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 22.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 27.06.2018

Abstract

In this study, the solutions of random partial differential equations are examined. The parameters and the initial conditions of the random component partial differential equations are investigated with Beta distribution. A few examples are given to illustrate the efficiency of the solutions obtained with the random Differential Transformation Method (rDTM). Functions for the expected values and the variances of the approximate analytical solutions of the random equations are obtained. Random Differential Transformation Method is applied to examine the solutions of these partial differential equations and MAPLE software is used for the finding the solutions and drawing the figures. Also the Laplace- Padé Method is used to improve the convergence of the solutions. The results for the random component partial differential equations with Beta distribution are analysed to investigate effects of this distribution on the results. Random characteristics of the equations are compared with the results of the deterministic partial differential equations. The efficiency of the method for the random component partial differential equations is investigated by comparing the formulas for the expected values and variances with results from the simulations of the random equations.

Keywords: Expected Value, Random Component Partial Differential Equation, Random Differential Transformation Method

Öz

Bu çalışmada, rastgele kısmi diferansiyel denklemlerin çözümleri incelenmiştir. Rastgele bileşenli kısmi diferansiyel denklemlerin başlangıç şartları ve parametreleri Beta dağılımı ile incelenmiştir. Rastgele Diferansiyel dönüşüm yöntemi ile elde edilen çözümlerin etkinliği birkaç örnekle verilmiştir. Rastgele denklemlerin yaklaşık analitik çözümlerinin beklenen değerleri ve varyansları için fonksiyonlar elde edilmiştir. Rastgele Diferansiyel dönüşüm yöntemi, bu kısmi diferansiyel denklemlerin çözümlerini incelemek için uygulanmış ve MAPLE programı, çözümleri bulmak ve grafikleri çizmek için kullanılmıştır. Ayrıca çözümlerin yakınsaklığını iyileştirmek için Laplace-Padé metodu kullanılmıştır. Beta dağılımı ile rastgele bileşenli kısmi diferansiyel denklemlerin sonuçları, bu dağılımın sonuçlara etkilerini incelemek amacıyla analiz edilmiştir. Denklemlerin rastgele karakteristikleri ile rastgele olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Rastgele bileşenli kısmi diferansiyel denklemler için yöntemin etkinliği, rastgele denklemlerin simülasyonlarından elde edilen sonuçlarla beklenen değerlerin ve varyansların formüllerini karşılaştırarak incelenmiştir. MAPLE programı, rastgele bileşenli kısmi diferansiyel denklemlerin sonuçlarını simüle etmek için kullanılmıştır ve bu simülasyon sonuçlarından standart sapma, güven aralığı gibi diğer karakteristikler elde edilmiştir.

Anahtarlar kelimeler: Beklenen değer, Rastgele bileşenli kısmi diferansiyel denklemler, Rastgele diferansiyel dönüşüm metodu

*b Halil ANAÇ; halilanac@gumushane.edu.tr; Tel: (0456) 233 10 00; orcid.org/0000-0002-1316-3947

^a orcid.org/0000-0002-8509-3044

^c orcid.org/0000-0001-5671-9995

^d orcid.org/0000-0002-8807-5677

1. Introduction

Random ordinary differential equations are currently being studied extensively. Two dimensional random differential equations have a great significance in many applications in areas such as engineering, biology and physics. Models of various scientific problems are established with nonlinear random differential equations containing two variables. Many of these equations can be analyzed by numerical methods. A few of these numerical methods are Homotopy Perturbation Method (HPM) (Khalaf, 2011), Adomian Decomposition Method (ADM) (Khudair et al, 2011) and Variational Iteration Method (VIM) (Khudair et al, 2011).

In 2012, L. Villafuerte and B.M. Chen-Charpentier developed the random differential transformation method to solve random differential equations. They found an analytical mean-fourth convergent series solution to a nonlinear random Riccati differential equation with the random DTM. In addition, they obtained approximate values of the basic statistical functions of the random solution process such as the mean and variance by using this series solution of the Riccati equation (Villafuerte and Chen-Charpentier, 2012).

The goal of this study is to present the application of differential transformation method (DTM) for obtaining variance and expected values of accurate and approximate solutions of the random component partial differential equations. For this aim, the notion of the two dimensional differential transformation method is given in Section 1.1. Laplace-Padé method is given in Section 1.2. Beta distribution and its properties such as the probability density function, expected value and variance are introduced in Section 1.3. Some applications are given in Section 2.

1.1. Two-dimensional differential transformation method

Let $w(x, y)$ be analytic and differentiated continuously in the domain of interest. $W(k, h)$ is defined as follows (Kanth and Aruna, 2009; Kangalgil and Ayaz, 2009; Yüzbaşı and Ismailov, 2017; Tari et al, 2009; Ziyae and Tari, 2015; Hadizadeh and Moatamedi, 2007; Zhou, 1986).

$$W(k, h) = \frac{1}{k!h!} \left[\frac{\partial^{k+h} w(x,y)}{\partial x^k \partial y^h} \right]_{(x_0, y_0)} \tag{1}$$

(where the $W(k, h)$ is the transformed function, i.e. T-function). In this study, $w(x, y)$ will indicate the original function and $W(k, h)$ will indicate the transformed function (T-function). The differential inverse transform of $W(k, h)$ is defined as follows:

$$w(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{h=0}^{\infty} W(k, h)(x - x_0)^k (y - y_0)^h \tag{2}$$

Using (1) and (2), it is found that

$$w(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{h=0}^{\infty} \frac{1}{k!h!} \left[\frac{\partial^{k+h} w(x,y)}{\partial x^k \partial y^h} \right]_{(x_0, y_0)} (x - x_0)^k (y - y_0)^h \tag{3}$$

The notion of the two-dimensional differential transform can be found with the basis of two-dimensional Taylor series expansion. From (1) and (2), the basic operations obtained by two dimensional differential transform are given in Table1 (Jang et al, 2001; Bildik et al, 2006; Pukhov, 1982).

We give the Laplace-Padé method to expand the convergence region of the series solutions obtained by random DTM in the following.

1.2. Laplace-Padé Method

Consider the power series $\sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$. Assume that $f(x)$ represents a function such that

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k \tag{4}$$

A Padé approximation is defined as follows. (Merdan, 2010; Abassy et al, 2007)

$$\left[\frac{L}{M} \right] = \frac{P_L(x)}{Q_M(x)} = \frac{p_L x^{L+\dots+p_1 x + p_0}}{q_M x^{M+\dots+q_1 x + q_0}} \tag{5}$$

The Padé approximation can be obtained from Maclaurin expansion which complies with (4). There are $(L + 1)$ dividend coefficients and $(M + 1)$ divisor coefficients in formula (5).

Table1: Operations in the two-dimensional differential transform

Original function	Transformed function
$w(x, y) = u(x, y) \pm v(x, y)$	$W(k, h) = U(k, h) \pm V(k, h)$
$w(x, y) = \alpha u(x, y)$	$W(k, h) = \alpha U(k, h)$
$w(x, y) = \frac{\partial u(x, y)}{\partial x}$	$W(k, h) = \frac{(k + 1)}{H} U(k + 1, h)$
$w(x, y) = \frac{\partial u(x, y)}{\partial y}$	$W(k, h) = \frac{(k + 1)}{K} U(k, h + 1)$
$w(x, y) = \frac{\partial^{r+s} u(x, y)}{\partial^r \partial^s}$	$W(k, h) = \frac{[(k + 1)(k + 2) \dots (k + r)(h + 1)(h + 2) \dots (h + s) \dots U(k + r, h + s)]}{(H^r K^s)}$
$w(x, y) = u(x, y)v(x, y)$	$W(k, h) = U(k, h) \otimes V(k, h)$ $= \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^h U(r, h - s) V(k - r, s)$
$w(x, y) = x^m y^n$	$W(k, h) = H^m K^n \delta(k - m) \delta(h - n)$

The polynomials in (5) are constituted so that $f(x)$ and $\left[\frac{L}{M}\right]$ conform at $x = 0$ and their derivatives up to $L + M$ conform at $x = 0$. Under the condition $Q_0(x) = 1$, the approximation is exactly the Maclaurin expansion for $f(x)$. In the case $L + M$ is a fixed value, when $P_L(x)$ and $Q_M(x)$ get the same degree or the degree of $P_L(x)$ gets one bigger than the degree of $Q_M(x)$, the error is smallest. Pay attention that the constant coefficient of Q_M is $q_0 = 1$. When both $P_L(x)$ and $Q_M(x)$ are divided by the same

constant, $\left[\frac{L}{M}\right]$ remains unchanged. So the rational function $\left[\frac{L}{M}\right]$ gets $(L + M + 1)$ unknown coefficients. This number offers that the $\left[\frac{L}{M}\right]$ must accord the power series (4) along the orders $1, x, x^2, \dots, x^{L+M}$ in the symbol of formal power series,

We multiply the both side of (6) with the divisor of right side in (6) and contrast the coefficients of both sides in (6). We obtain (7) and (8).

$$\sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k \frac{P_L(x)}{Q_M(x)} = \frac{p_L x^L + \dots + p_1 x + p_0}{q_M x^M + \dots + q_1 x + q_0} + O(x^{L+M+1}). \tag{6}$$

$$a_s + \sum_{i=1}^M a_{s-i} q_i = p_s, (s = 0, \dots, M), \tag{7}$$

$$a_s + \sum_{i=1}^L a_{s-i} q_i = 0, (s = M + 1, \dots, M + L). \tag{8}$$

If we solve the linear equation in (8), we obtain $q_i (i = 1, \dots, L)$. If we replace q_i in (7), we obtain $q_s (s = 0, 1, \dots, M)$. Hence, we constitute a $\left[\frac{L}{M}\right]$ Pade approximation that conforms by $\sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$ along order x^{L+M} . When $M \leq L \leq M + 2$ where L and M are respectively the degree of divisor and dividend in Padé series, an invariable formula for an ordinary differential equation is obtained by Padé series. (Abassy et al, 2007)

1.3. Beta Distribution

In 1895, a Beta function was used to explain the Beta distribution introduced by Karl Pearson, and the use of this function gives the Beta distribution. We use the standard state of Beta distribution in this paper.

Definition (Beta random variable): If the probability density of a random variable X has the following form, this random variable has the Beta

distribution and is called a Beta random variable. For $\alpha, \beta > 0$ and $0 < x < 1$,

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad (9)$$

If the random variable X gets a beta distribution with parameters α and β , the expected value and variance of the random variable X are given as (Eugene et al, 2002):

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}, \text{Var}(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)} \quad (10)$$

In this study, Beta distribution in the used examples is taken as $Beta(\alpha = 2, \beta = 1)$. Also the symbol of $u_a(x, t)$ indicates approximate solutions of the following equations.

2. Applications

Example 1. Consider the following convection-diffusion equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - u^2 + u \quad (11)$$

with the initial-value conditions for $a > 0$ and let a be random variable with beta distribution. Let these initial-value conditions be random:

$$u(x, 0) = ae^x, u(0, t) = ae^t, u_t(x, 0) = ae^x, u_x(0, t) = ae^t \quad (12)$$

Applying the differential transform of (11), it can be found that

$$(h + 1)U(k, h + 1) = (k + 1)(k + 2)U(k + 2, h) - (k + 1)U(k + 1, h) + U(k, h) + \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^h (k - r + 1)(k - r + 2)U(r, h - s)U(k - r + 2, s) - \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^h U(r, h - s)U(k - r, s)$$

The solution of $u(x, t)$ can be found as

$$u(x, t) = ae^{x+t}$$

With the Maple software, it can be obtained that

$$u_a(x, t) = a + at + \frac{at^2}{2} + ax + ax^2 + ax^3 + \frac{ax^4}{24} + \frac{ax^4 t}{24} + \frac{ax^4 t^2}{48} + \frac{ax^2 t^2}{2} + \frac{ax^2 t^3}{4} + \frac{ax^3 t^2}{6} + \frac{ax^3 t^3}{6} + \frac{ax^3 t^4}{12} + \frac{ax^4 t^3}{24} \quad (13)$$

Let $a \in Beta(\alpha = 2, \beta = 1)$

$$E(a) = \frac{2}{3}, E(a^2) = \frac{1}{2}$$

$$u_a(x, t) = \left(a + ax + \frac{1}{2}ax^2 + \frac{1}{6}ax^3 + \frac{1}{24}ax^4 \right) + t \left(a + ax + \frac{1}{2}ax^2 + \frac{1}{6}ax^3 + \frac{1}{24}ax^4 \right) + t^2 \left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}ax + \frac{1}{4}ax^2 + \frac{1}{12}ax^3 + \frac{1}{48}ax^4 \right)$$

$$u_a(x, t) = a \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) + at \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) + \frac{at^2}{2} \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) = f(x) \left(a + at + \frac{at^2}{2} \right) \quad (14)$$

From (14) equation, $f(x) = \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24}\right)$, $X(0) = af(x)$, $X(1) = af(x)$, $X(2) = \frac{af(x)}{2}$ are obtained.

We get the expected value of (14) as follows.

$$E[u_a(x, t)] = E[f(x)(a + at + at^2)] = f(x)(E(a) + E(a)t + E(a)t^2) = f(x) \left(\frac{2}{3} + \frac{2t}{3} + \frac{t^2}{3}\right)$$

So the expected value of (14) can be obtained that

$$E[u_a(x, t)] = \left(1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24}\right) \left(\frac{2}{3} + \frac{2t}{3} + \frac{t^2}{3}\right)$$

If the Laplace-Padé technique is applied to improve the approximate analytical value obtained for the expected value of equation (11), the following solution is obtained.

$$M = \frac{1}{36} (24 + 24x + 12x^2 + 4x^3 + x^4) e^t$$

The graph of this solution is given in figure 2.

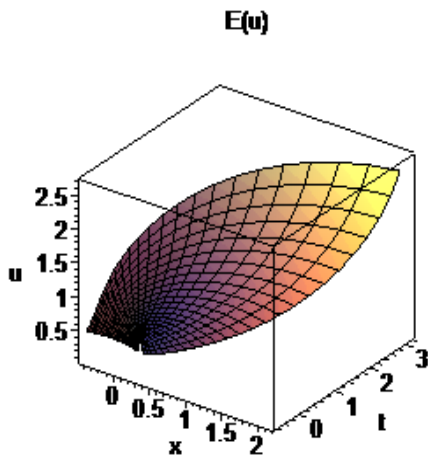


Figure 1. Time-dependent change of expected value of the equation (11)

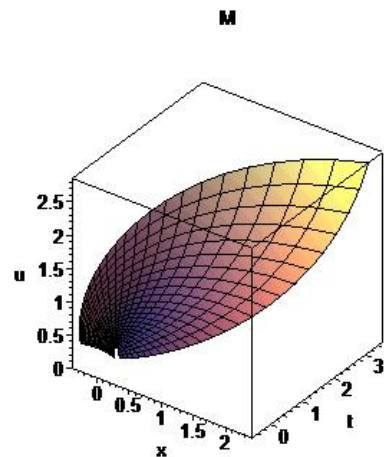


Figure 2. The time-dependent change of the solution of the expected value of the equation (11) from MDTM.

$$V[u_a(x, t)] = \sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^2 cov(x(i), x(j)) t^{i+j} \tag{15}$$

$$cov(x(i), x(j)) = E(x(i)x(j)) - E(x(i))E(x(j))$$

If we calculate the variance of (14) with (15) as follows

$$V[u_a(x, t)] = cov(x(0), x(0)) + cov(x(0), x(1))t + cov(x(0), x(2))t^2 + cov(x(1), x(0))t + cov(x(1), x(1))t^2 + cov(x(1), x(2))t^3 + cov(x(2), x(0))t^2 + cov(x(2), x(1))t^3 + cov(x(2), x(2))t^4$$

The variance of (14) can be obtained as

$$V[u_a(x, t)] = \left(1 + 2x + 2x^2 + \frac{4x^3}{3} + \frac{2x^4}{3} + \frac{x^5}{4} + \frac{5x^6}{72} + \frac{x^7}{72} + \frac{x^8}{576}\right) \left(\frac{t^2}{9} + \frac{t^3}{18} + \frac{t^4}{72}\right) \tag{16}$$

If the Laplace-Padé technique is applied to improve the approximate analytical value obtained for the variance of the equation (11), the following solution is obtained.

$$\begin{aligned} N = & \frac{16}{27}x + \frac{16}{27}x^2 + \frac{32}{81}x^3 + \frac{16}{81}x^4 - \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{2}{27}x^5 + \frac{5}{243}x^6 + \frac{1}{243}x^7 + \frac{1}{1944}x^8 \\ & + \frac{8}{27} + \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^2\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{32}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^3\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) \\ & + \frac{16}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^4\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{2}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^5\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{5}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^6\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) \\ & + \frac{1}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^7\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{1}{1944}e^{\frac{3}{4}t}x^8\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^2\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) \\ & - \frac{32}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^3\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{16}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^4\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{8}{27}e^{\frac{3}{4}t}\sqrt{3}\sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{2}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^5\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) \\ & - \frac{5}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^6\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{1}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^7\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{1}{1944}e^{\frac{3}{4}t}x^8\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{8}{27}e^{\frac{3}{4}t}\cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) \end{aligned}$$

The graph of this solution is given in figure 4.

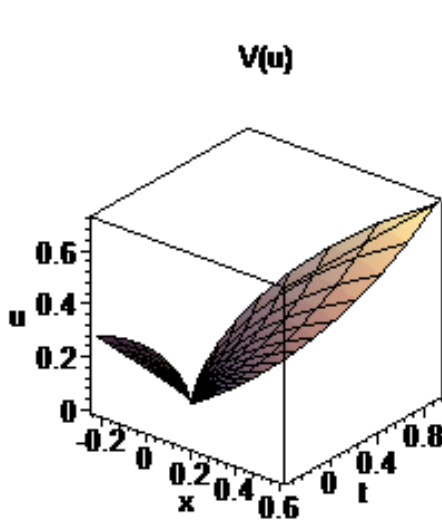


Figure 3. The time-dependent variation of the variance of the equation (11).

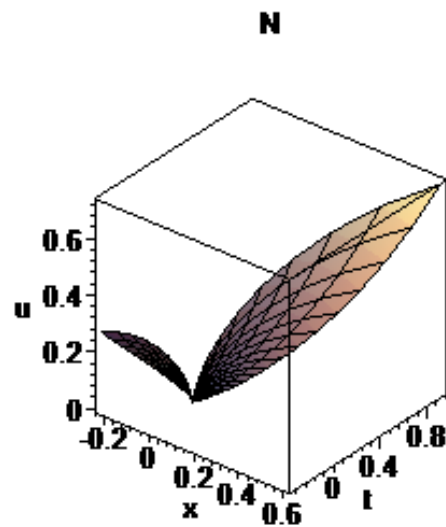


Figure 4. The time-dependent variation of the solution obtained from MDTM of the equation (11)

Example 2. Consider the following Gas Dynamics equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - u^2 + u \tag{17}$$

with the initial-value conditions for $a > 0$ and let a be random variable with Beta distribution. Let these initial-value conditions be random:

$$u(x, 0) = ae^{-x}, u(0, t) = ae^t, u_t(x, 0) = ae^{-x}, u_x(0, t) = -ae^{-t} \tag{18}$$

Applying the differential transform of (17), it can be found that

$$(h + 1)U(k, h + 1) = - \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^h (k - r + 1)U(r, h - s)U(k - r + 1, s) + U(k, h) - \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^h U(r, h - s)U(k - r, s)$$

The solution of $u(x, t)$ can be found as

$$u(x, t) = ae^{-x+t}. \text{ Let } a \in \text{Beta}(\alpha = 2, \beta = 1). \\ E(a) = \frac{2}{3}, E(a^2) = \frac{1}{2}$$

With the Maple software, it can be obtained that

$$u_a(x, t) = \left(a - ax + \frac{ax^2}{2} - \frac{ax^3}{6} + \frac{ax^4}{24} \right) + t \left(a - ax + \frac{ax^2}{2} - \frac{ax^3}{6} + \frac{ax^4}{24} \right) + t^2 \left(\frac{a}{2} - \frac{ax}{2} + \frac{ax^2}{4} - \frac{ax^3}{12} + \frac{ax^4}{48} \right) \tag{19}$$

$$u_a(x, t) = a \left(1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) + at \left(1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) + \frac{at^2}{2} \left(1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) \\ = f(x) \left(a + at + \frac{1}{2}at^2 \right) \tag{20}$$

From (20) equaiton, $f(x) = \left(1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right)$, $X(0) = af(x)$, $X(1) = af(x)$, $X(2) = \frac{1}{2}af(x)$ are obtained.

We get the expected value of (20) as follows.

$$E[u_a(x, t)] = E[f(x)(a + at + at^2)] = f(x)[E(a) + E(a)t + E(a)t^2] = f(x) \left(\frac{2}{3} + \frac{2t}{3} + \frac{t^2}{3} \right)$$

So the expected value of (20) can be obtained that

$$E[u_a(x, t)] = \left(1 - x + \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} \right) \left(\frac{2}{3} + \frac{2t}{3} + \frac{t^2}{3} \right)$$

$$M = \frac{1}{36} (24 - 24x + 12x^2 - 4x^3 + x^4) e^t$$

The graph of this solution is given in figure 6.

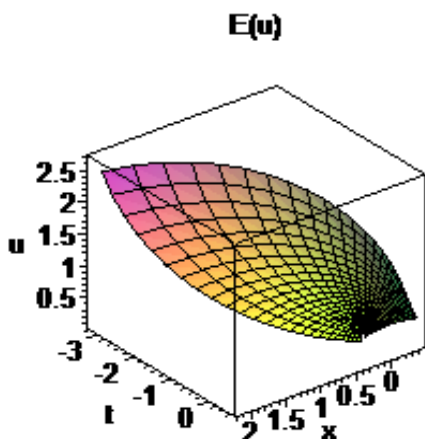


Figure 5. Time-dependent change of expected value of the equation (17)

If the Laplace-Padé technique is applied to improve the approximate analytical value obtained for the expected value of equation (17), the following solution is obtained.

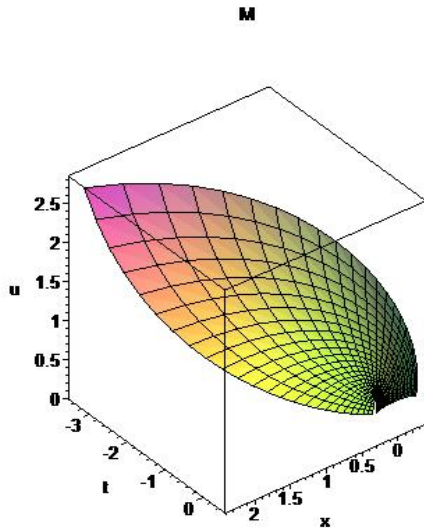


Figure 6. The time-dependent change of the solution of the expected value of the equation (17) from the modified Differential Transformation Method.

$$V[u_a(x, t)] = \sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^2 cov(x(i), x(j))t^{i+j} \tag{21}$$

$$cov(x(i), x(j)) = E(x(i)x(j)) - E(x(i))E(x(j))$$

If we calculate variance of (20) with (21),

$$V[u_a(x, t)] = cov(x(0), x(0)) + cov(x(0), x(1))t + cov(x(0), x(2))t^2 + cov(x(1), x(0))t + cov(x(1), x(1))t^2 + cov(x(1), x(2))t^3 + cov(x(2), x(0))t^2 + cov(x(2), x(1))t^3 + cov(x(2), x(2))t^4$$

The variance of (20) can be obtained as

$$V[u_a(x, t)] = \left(1 - 2x + 2x^2 - \frac{4x^3}{3} + \frac{2x^4}{3} - \frac{x^5}{4} + \frac{5x^6}{72} - \frac{x^7}{72} + \frac{x^8}{576}\right) \left(\frac{t^2}{9} + \frac{t^3}{18} + \frac{t^4}{72}\right) \tag{22}$$

If the Laplace-Padé technique is applied to improve the approximate analytical value obtained for the variance of the equation (17), the following solution is obtained.

$$N = -\frac{16}{27}x + \frac{16}{27}x^2 - \frac{32}{81}x^3 + \frac{16}{81}x^4 + \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{2}{27}x^5 + \frac{5}{243}x^6 - \frac{1}{243}x^7$$

$$+ \frac{1}{1944}x^8 + \frac{8}{27} - \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^2\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right)$$

$$- \frac{32}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^3\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{16}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^4\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{2}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^5\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right)$$

$$+ \frac{5}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^6\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{1}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^7\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{1}{1944}e^{\frac{3}{4}t}x^8\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right)$$

$$- \frac{16}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^2 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{32}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^3 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{16}{81}e^{\frac{3}{4}t}x^4 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{8}{27}e^{\frac{3}{4}t}\sqrt{3} \sin\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right)$$

$$+ \frac{2}{27}e^{\frac{3}{4}t}x^5 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{5}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^6 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) + \frac{1}{243}e^{\frac{3}{4}t}x^7 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right)$$

$$-\frac{1}{1944}e^{\frac{3}{4}t}x^8 \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right) - \frac{8}{27}e^{\frac{3}{4}t} \cos\left(\frac{t\sqrt{3}}{4}\right)$$

The graph of this solution is given in figure 8.

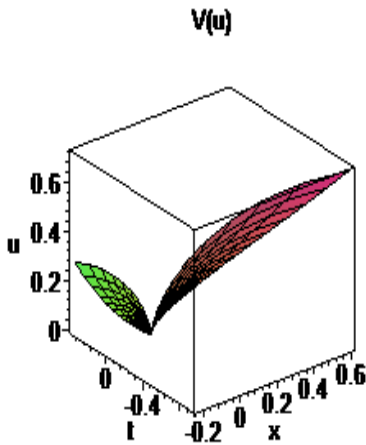


Figure 7. The time-dependent variation of the variance of the equation (17)

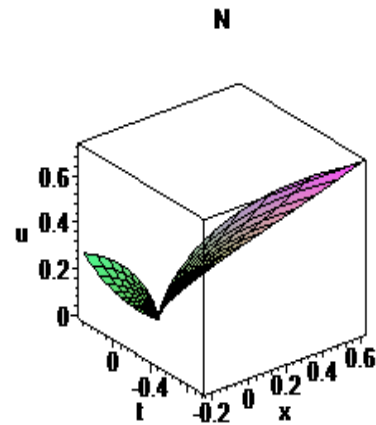


Figure 8. The time-dependent variation of the solution obtained from modified Differential Transformation Method for the equation (17)

3. Conclusion

In this study, we analyzed some random component partial differential equations containing random initial values. We obtained approximate analytical solutions of these equations with random Differential Transformation Method (rDTM). We obtained approximate variance and expected values with for the examples by using rDTM. We applied the modified rDTM (Pade-DTM) technique to improve the results and to extend the convergence region. Graphics simulations were given for solutions. Comparison of the approximate solution with the M function improved from expected

value of approximate solution and the error between these values for example 1 is given in Table2. Comparison of the approximate solution with the M function improved from expected value of approximate solution and the error between these values for example 2 is given in Table3.

It is observed that error between the approximate solution with the M function obtained from expected value of approximate solution is respectively small for example 1 and example 2 from Table 2 and Table 3.

Table2: Comparison of the approximate solution with the M function obtained from expected value of approximate solution for example 1.

x	t	$u_a(x, t) \left(a = \frac{2}{3}\right)$	M	Err= $ u_a(x, t) - M $
-1.0	-1.0	0.1250000000	0.0919686029	0.0333313971
-0.8	-0.8	0.1566008889	0.1353179138	0,0212829751
-0.6	-0.6	0.2124346667	0.2010114086	0,0114232581
-0.4	-0.4	0.3039146667	0.2995883725	0,0043262942
-0.2	-0.2	0.4475742223	0.4468814390	0,0006927833
0.0	0.0	0.6666666666	0.6666666666	0,0000000000
0.2	0.2	0.9934053333	0.9945475525	0,0009422192
0.4	0.4	1.4718435570	1.4836030860	0,0117595290
0.6	0.6	2.1613946670	2.2125381220	0,0511434550
0.8	0.8	3.1409920000	3.2973614390	0,1569694390
1.0	1.0	4.5138888888	4.9080088569	0,3941199681

Table3: Comparison of the approximate solution with the M function obtained from expected value of approximate solution for example 2.

x	t	$u_a(x, t) \left(a = \frac{2}{3} \right)$	M	Err= $ u_a(x, t) - M $
-1.0	-1.0	0.9027777777	0.6642267687	0.2385510090
-0.8	-0.8	0.7704320000	0.6657257932	0.1047062068
-0.6	-0.6	0.7042746667	0.6664036762	0.0378709905
-0.4	-0.4	0.6762524447	0.6666258378	0.0096266069
-0.2	-0.2	0.6676986667	0.6666651613	0.0010335054
0.0	0.0	0.6666666666	0.6666666666	0.0000000000
0.2	0.2	0.6659031112	0.6666687676	0.0007656564
0.4	0.4	0.6614613333	0.6667461850	0.0052848517
0.6	0.6	0.6519546667	0.6673813792	0.0154267125
0.8	0.8	0.6384497779	0.6702340147	0.0317842368
1.0	1.0	0.6250000000	0.6795704571	0.0545704571

References

Abassy, T.A., El-Tawil, M.A. and El-Zoheiry, H., 2007. Exact Solutions of Some Nonlinear Partial Differential Equations Using the Variational Iteration Method Linked with Laplace Transforms and the Pade Technique. *Computers and Mathematics with Applications*, 54, 940-954.

Bildik, N., Konuralp, A., Bek, F.O. and Küçükarslan, S., 2006. Solution of Different Type of the Partial Differential Equation by Differential Transform Method and Adomian’s Decomposition Method. *Applied Mathematics and Computation*, 172(1), 551-567.

Eugene, N., Lee, C. and Femoye, F., 2002. Beta-Normal Distribution and Its Applications. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 31(4), 497-512.

Hadizadeh, M. and Moatamedi, N., 2007. A New Differential Transformation Approach for Two-Dimensional Volterra Integral Equations, *International Journal of Computer Mathematics*, 84(4), 515-526.

Jang, M.J., Chen, C.L. and Liu, Y.C., 2001. Two-Dimensional Differential Transform for Partial Differential Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 121(2-3), 261-270.

Kangalgil, F. and Ayaz, F., 2009. Solitary Wave Solutions for the KdV and mKdV Equations by Differential Transform Method. *Chaos, Solitons and Fractals*, 41, 464-472.

Kanth, R.A.S.V. and Aruna, K., 2009. Two-Dimensional Differential Transform Method for Solving Linear and Non-linear Schrödinger Equations. *Chaos, Solitons and Fractals*, 41, 2277-2281.

Khalaf, S.L., 2011. Mean Square Solutions of Second-Order Random Differential Equations by Using Homotopy Perturbation Method. *International Mathematical Forum*, 6, 2361-2370.

Khudair, A.R., Ameen, A.A. and Khalaf, S.L., 2011. Mean Square Solutions of Second-Order Random Differential Equations by Using Adomian Decomposition Method. *Applied Mathematical Sciences*, 5, 2521-2535.

Khudair, A.R., Ameen, A.A. and Khalaf, S.L., 2011. Mean Square Solutions of Second-Order Random Differential Equations by Using Variational Iteration Method. *Applied Mathematical Sciences*, 5, 2505-2519.

Khudair, A.R., Haddad, S.A.M. and Khalaf, S.L., 2016. Mean Square Solutions of Second-Order Random Differential Equations by Using the Differential Transformation Method. *Open Journal of Applied Sciences*, 6, 287-297.

Merdan, M., 2010. A New Application of Modified Differential Transformation Method for Modelling the Pollution of a System of Lakes. *Selçuk Journal of Applied Mathematics*, 11(2), 27-40.

- Pukhov, G.E., 1982. Differential Transforms and Circuit Theory. *Circuit Theory and Applications*. 10, 265-276.
- Tari, A., Rahimi, M.Y., Shahmorad, S. and Talati, F., 2009. Solving a Class of Two-Dimensional Linear and Nonlinear Volterra Integral Equations by the Differential Transform Method. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 228, 70-76.
- Villafuerte, L. and Chen-Charpentier, B.M., 2012. A Random Differential Transform Method: Theory and Applications, *Applied Mathematics Letters*, 25(10), 1490-1494.
- Yüzbaşı, Ş. and Ismailov, N., 2017. Differential Transform Method to Solve Two-Dimensional Volterra Integral Equations with Proportional Delays. *New Trends in Mathematical Sciences*, 5(4), 65-71.
- Zhou, J.K., 1986. *Differential Transformation and Its Applications for Electrical Circuits*, Huazhong University Press, Wuhan.
- Ziyae, F. and Tari, A., 2015. Differential Transform Method for Solving the Two-Dimensional Fredholm Integral Equations. *Applications and Applied Mathematics*, 10(2), 852-863.

Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi

Lineament Analysis of the area between Palu (Elazığ) and Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System by using Landsat TM images

Mehmet KÖKÜM*

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 30.04.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 19.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 02.07.2018

Öz

Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin (DAFS) Palu (Elazığ)–Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün çizgisellikleri Landsat (4-5) TM uydu görüntüleri üzerinden otomatik yöntemle çıkarılmıştır. Bu çizgisel yapılardan; jeolojik unsurların dışındaki etkilerle oluşmuş yapay ve/veya doğal çizgisellikler elemine edilmiştir. Çalışma alanı içerisinde 101 adet jeolojik çizgisellik belirlenerek gül diyagramı hazırlanmıştır. Çizgisellik analizlerine göre jeolojik çizgiselliklerin toplam uzunlukları 1.287 km ve ortalama doğrultularının ise 75° olduğu tespit edilmiştir. Gül diyagramından elde edilen sonuçlar bölgenin tektonik evrimi göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır. Bu veriler ışığında çalışma alanında $K55^{\circ}D$ ve $K85^{\circ}D$ yönlü iki ana jeolojik çizgisellik doğrultusu belirlenmiştir. Bu çizgiselliklerden $K85^{\circ}D$ yönlü olanların Orta Miyosen–Erken Pliyosen döneminde bölgede etkili olan yaklaşık kuzey-güney sıkışma ile ilgili oldukları ve kıvrım eksenlerine veya ters faylara karşılık geldikleri arazi verileri ile desteklenmektedir. Geç Pliyosen döneminden itibaren bölgede DAFS başta olmak üzere birçok doğrultu atımlı fay aktif hale geçerek doğrultu atım tektoniği baskın duruma geçmiştir. $K55^{\circ}D$ yönlü olan çizgiselliklerin sol yanallı doğrultu atımlı fayları temsil ettiği arazi verilerince doğrulanmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden otomatik yöntemle elde edilen jeolojik çizgisellik analiz sonuçlarının, bölgenin etkisi altında olduğu tektonik rejim ürünleriyle oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çizgisellik analizi, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Jeoloji, Uzaktan algılama

Abstract

The lineaments in the area between Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System (EAFS) were extracted by using automatic methods from Landsat (4-5) TM satellite image. Artificial and/or natural lineaments, which were not formed by the help of geological effects, were eliminated. Within the study area, a total of 101 geological lineaments were defined and rose diagram prepared. According to the rose diagram, the main orientations of the faults were determined as $N75^{\circ}E$ with total of 1.286,879 km long. A rose diagram is interpreted taking into account the tectonic evolution of the region. In this regard, two main geological lineaments directions of $N55^{\circ}E$ and $N85^{\circ}E$ were determined in the study area. In this data, $N85^{\circ}E$ directed lineaments, which correspond to the fold axes or reverse faults, are related to the approximately N-S directed compression during the Middle Miocene-Pliocene period. The EAFS, as well as many strike-slip faults, started to activate, and the strike-slip tectonic regime has been dominant since the Late Pliocene. Due to the fact that $N55^{\circ}E$ oriented lineaments both are approximately parallel to EAFS and confirm by field work suggest that $N55^{\circ}E$ oriented faults are related to strike-slip tectonic regime. Geological lineament analysis results obtained by automated methods on satellite images are very consistent with current tectonic regime controlling the region.

Keywords: Lineament analysis, East Anatolian Fault System, Geology, Remote sensing⁰

* Mehmet KÖKÜM; mkokum@firat.edu.tr; Tel: (0553) 216 40 00; orcid.org/0000-0001-5149-3931

1. Giriş

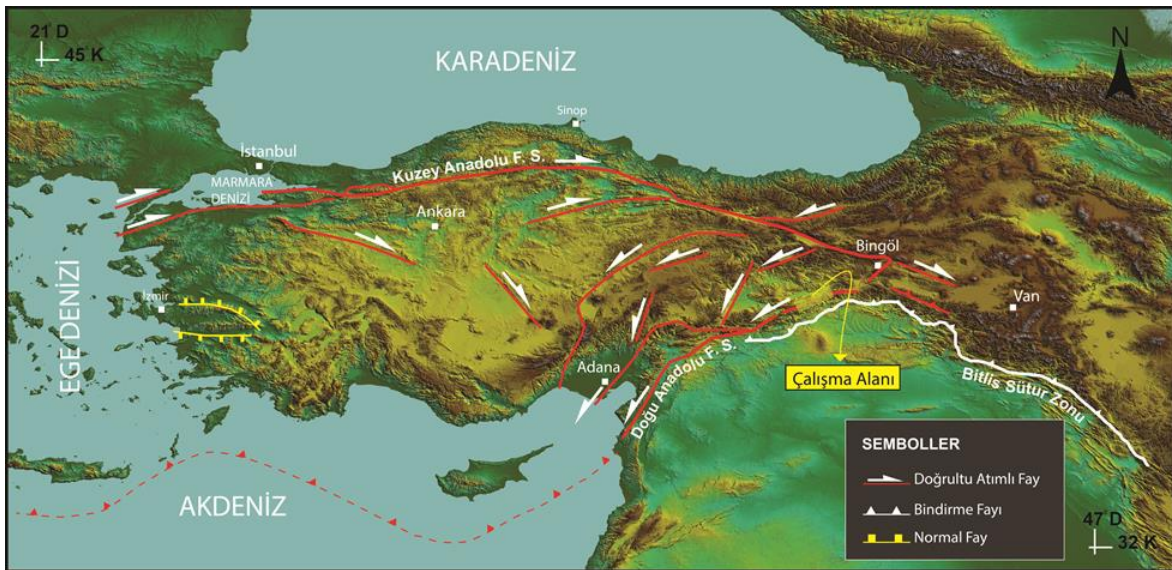
Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) Avrasya ve Arap Levhaları'nın çarpışmalarının bir sonucu olarak oluşmuş doğrultu atımlı bir fay sistemidir. Duman vd. (2013) DAFS'ni iki ana kola ayırarak incelemişlerdir. Ana (güney) kol yaklaşık 580 km uzunluğunda olup kuzeydoğuda Kuzey Anadolu ve Varto Fayları ile Karlıova Üçlü Eklem Nokta'sını (KÜEN), güneybatıda ise Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs Yayı ile Amik Üçlü Eklem Nokta'sını (AÜEN) oluşturmaktadır. Sürgü-Misis Fay Sistemi (SMFS) veya kuzey kol ise yaklaşık 350 km uzunluğunda olup Sürgü (Adıyaman) bölgesinde yaklaşık D-B doğrultulu olup, Afşin'den (Maraş) itibaren ise KD doğrultu İskenderun Körfezi'ne doğru uzanmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı olan Palu-Pütürge arasındaki bölge DAFS'nin ana kolu üzerinde yer almakta ve yaklaşık olarak 120 km uzunluğundadır.

Uydu görüntülerinin jeoloji ile ilgili çalışmalarda kullanılmaya başlaması disiplinler arası çalışmaların artmasıyla başlamıştır. Arazi çalışmaları öncesi ve sonrasında araştırmacıya çok önemli bilgiler sunan ve zaman kazandıran uydu görüntüleri ve uygulamaları, her geçen gün araştırmacılar tarafından daha etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, uydu görüntüleri sayesinde araştırmacılar çok geniş alanları rahat bir şekilde çalışabilmektedirler.

Konumu itibariyle tektonik açıdan oldukça aktif ve karmaşık ilişkiler sunan ülkemizde, uydu görüntüleri üzerinden çizgisellik çıkarımı aktif tektonik çalışmalarında çokça tercih edilmektedir.

Uydu görüntüleri üzerinden jeolojik çizgisel yapıların çıkarımı için manuel (Tatar 1987; Süzen ve Toprak, 1998; Kavak ve Çetin, 2007; Koçbulut vd., 2015) ve otomatik yöntemler (Ayday ve Gümüsoğlu, 2008; Arslan ve Akyürek, 2015) uygulanmıştır. Uydu görüntüleri üzerinden çizgisellik çıkarımı yapılırken manuel yöntemlerin başarısında programı kullanan kişinin bilgi ve deneyimi ön plana çıkarken, otomatik yöntemlerde ise kullanılan programın algoritması ve görüntünün bilgi içeriği oldukça önemlidir (Al Dossary ve Marfurt, 2007).

Aktif fay zonlarında uydu görüntüleri üzerinden çizgisellik çıkarımı ve bu çizgiselliklerle bölgenin paleotektonik ve neotektonik evriminin ilişkilendirilmesi ile ilgili ayrıntılı çalışmalar mevcuttur (örn. Kavak ve Çetin, 2007; Gürbüz, 2009; Koçbulut vd., 2015). Bu çalışmalarda araştırmacılar uydu görüntüleri üzerinden elde edilen çizgisellikleri çeşitli verilerle (morfolojik, fay kinematik verileri vb.) destekleyerek anlamlandırmışlardır. Çalışma alanını kapsayan ilk ve tek uzaktan algılama çalışması ise Tatar (1987) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı, Elazığ il merkezi ve yaklaşık 100 km yarıçapındaki bir alanda bulunan önemli tektonik yapıları ortaya çıkarmak amacıyla Landsat görüntülerinden yararlanmıştır. Çalışma alanı ile ilgili ilk kez uydu görüntüleri üzerinden yararlanılarak yapılan bu çalışmada araştırmacı, DAFS, Ovacık Fayı, Palu ve Baskil antiklinallerini haritalamıştır. Ayrıca araştırmacı haritalanan kırıklar üzerinde gül diyagramları hazırlayarak bölgede etkin olan ana basınç gerilmesinin yaklaşık kuzey-güney olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 1. Türkiye'nin önemli aktif tektonik yapıları ve çalışma alanının konumu (Emre vd., 2013'den değiştirilerek hazırlanmıştır).

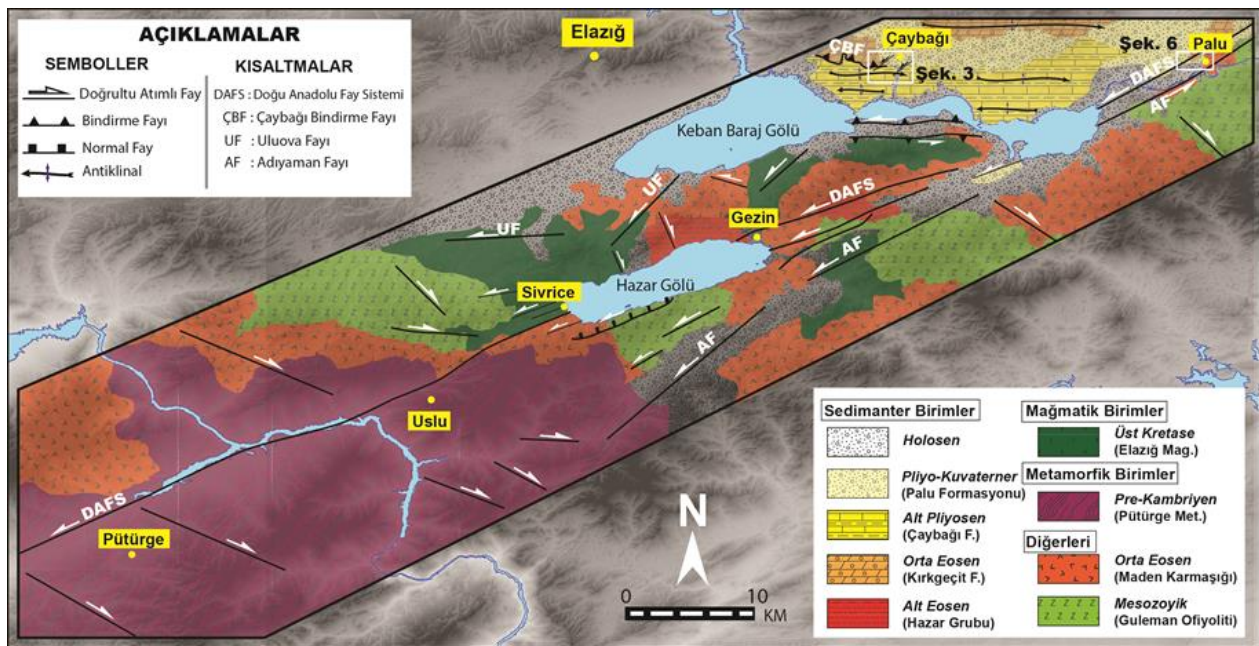
Bu çalışmanın amacı DAFS üzerindeki Palu (Elazığ) ve Pütürge (Malatya) arasındaki bölümünün Landsat (4 ve 5) TM uydu görüntüleri üzerinden jeolojik kökenli çizgisel yapıların otomatik yöntemle analiz ederek bölgenin paleotektonik ve neotektonik evrimi çerçevesinde yorumlanmasıdır.

2. Bölgesel Jeoloji

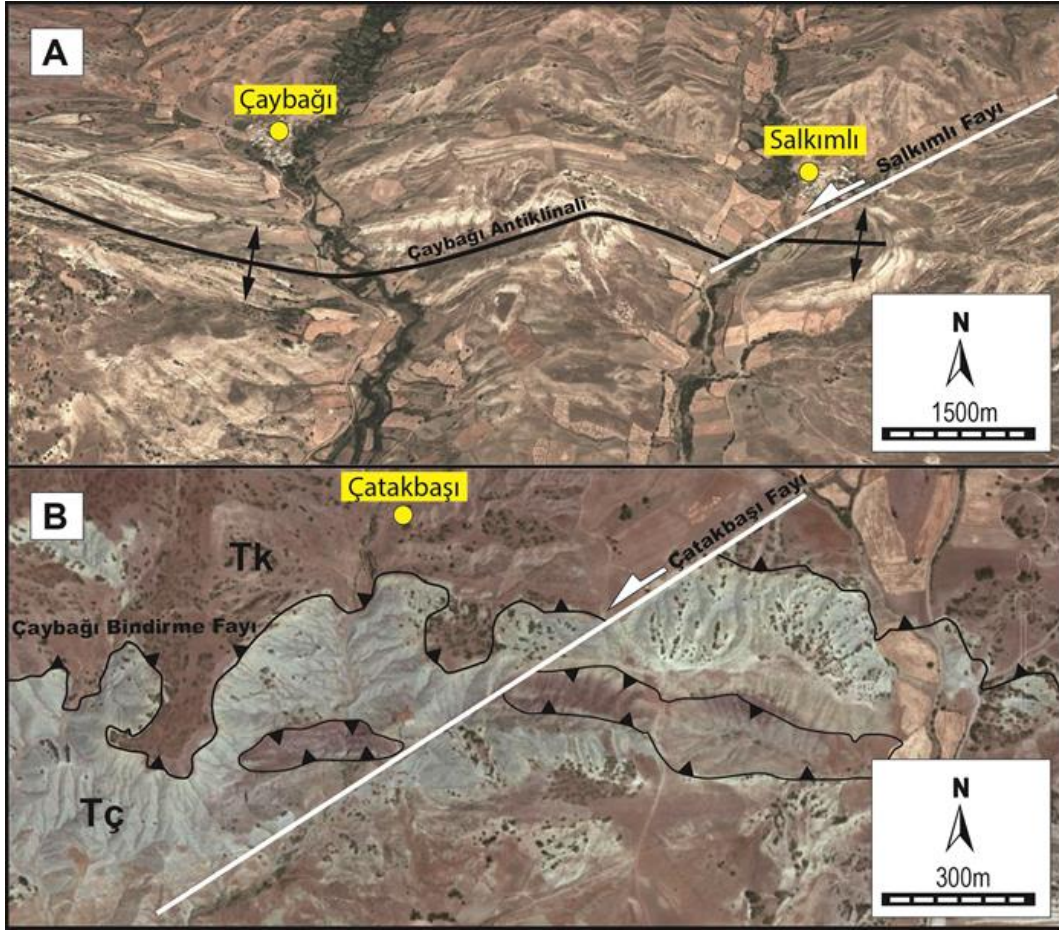
Türkiye kuzeyde Lavrasya ve güneyde Gondvana kıtalarının, Mesozoyik sonlarında Tetis Okyanusu'nun yitimi sonucu ve Senozoyik'te çarpışmaları ile başlayan Alpin Orojenezi Sistemi'ne bağlı gelişen Alp-Himalaya Sistemi içerisinde yer almaktadır. Afrika Kıtası'nın batı ucunda Atlas Dağları ile başlayan Alp-Himalaya Sistemi doğuya doğru Pireneler, Alpler, Karpatlar, Toroslar, Zagros, Hindukuş ve Himalaya dağ sistemlerini içeren geniş bir alan kapsamaktadır.

Geç Triyas'ta oluşmaya başlayan ve Türkiye'nin Neotektonik döneminde önemli etkisi olan Neotetis Okyanusu ilerleyen dönemlerde açılmaya devam ederek Zagros ve Himalayalara kadar genişlemiştir. Tartışmalı olmakla beraber Geç Kretase (Tüysüz, 1999; Kaymakçı vd., 2009) ile Erken Senozoyik (Şengör ve Yılmaz, 1981) arasında Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolu İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu (İAESZ), Orta Miyosen sonlarında ise Neotetis Okyanusu'nun güney kolu kapanarak Arap ve Avrasya Levhaları Bitlis-Zagros Sütur Zonu (BZSZ) boyunca kapanmıştır (Şengör vd., 1985).

Bu çarpışma ile beraber yoğun bir sıkışma rejimi altına giren inceleme alanı ve çevresinde bulunan Hazar Grubu (Alt Eosen), Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen) ve Çaybağı Formasyonu (Erken Pliyosen) önemli oranda eğim kazanarak eksenleri yaklaşık doğu-batı doğrultulu uzanan kıvrımlar oluşturmuşlardır (Şekil 2). Ayrıca çalışma alanının kuzeybatı kenarında Orta Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu kendisinden daha genç olan Erken Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu'nun üzerine tektonik olarak yerleşmiştir. Bölgede etkin olan sıkışma tektoniğinin Geç Pliyosen dönemine kadar etkin olduğu bu verilerle desteklenmektedir. Geç Pliyosen döneminden itibaren bölgede doğrultu atım rejimi baskın duruma geçmiştir. Bu dönemde DAFS ve doğrultusuna yaklaşık paralel sol yanal ve eşlenikleri olan sağ yanal doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Çalışma alanının kuzeybatı kesiminde Orta Miyosen-Erken Pliyosen döneminde oluşan yaklaşık doğu-batı doğrultulu kıvrım eksenleri ve ters fayların, DAFS'ne yaklaşık paralel uzanımlı faylar tarafından kesilerek ötelendiği görülmektedir (Şekil 3). Bununla birlikte, Pliyo-Kuvaterner yaşlı yatay duruşlu Palu Formasyonu, Çaybağı Formasyonu üzerinde açılı uyumsuz olarak bulunmaktadır (Köküm, 2017). Tüm bu veriler Geç Pliyosen döneminin bölgedeki paleotektonik-neotektonik sınırını temsil ettiği konusunda önemli veri olarak karşımıza çıkmakta ve önceki çalışmaları desteklemektedir (örn. Çolak vd., 2012; Gedik, 2014).



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası ve önemli tektonik yapıları (Akbaş vd., 2011'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3. Çalışma alanındaki tektonik yapıların birbirleriyle ilişkilerini gösteren Google Earth görüntüleri. (A) K65⁰D doğrultulu sol yanal Salkımlı Fayı'nın Çaybaşı Antiklinal eksenini yaklaşık 500m ötelemesi (Gedik, 2014'den değiştirilerek alınmıştır). (B) K60⁰D doğrultulu sol yanal Çatakbaşı Fayı'nın Çaybaşı Bindirme Fayı'nı yaklaşık 250m ötelemesi (Tk: Kırkgeçit Formasyonu, Tç: Çaybaşı Formasyonu). Uydu görüntülerinin konumları Şekil 2'de verilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, çalışma alanını kapsayan Landsat (4-5) Thematic Mapper (TM) uydu görüntülerinden yararlanılmıştır (Şekil 4). Landsat (4-5) TM uydu görüntüleri Band 1-5 ve 7 için 30 metre yersel çözünürlüğe sahip altı spektrum bandı ve bir adet termal band (6) içerirler. Her bir görüntüye ait yaklaşık boyut ölçüleri 170 km kuzey-güney ve 183 km doğu-batı'dır. Ayrıca çalışma alanına ait Landsat 6, 7 ve 8 bantlarına ait görüntüler bulutlu olmalarından dolayı tercih edilmemiştir. Çizgisellik analizi ile ilgili çalışmalarda bazı araştırmacılar 5 numaralı bandı tercih ederken (örn. Kavak ve Çetin, 2007), bazı araştırmacılar ise atmosferik etkinin en az olduğu 7 numaralı bandı tercih etmişlerdir (örn. Arslan ve Akyürek 2015). Bu çalışmada Landsat (4-5) TM uydu görüntülerinin literatürde daha önce kullanılan 5 ve 7 bantları uygulanmış ve benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Çizgisellik çıkarımı için kullanılan otomatik yöntemlerin manuel yöntemlere göre en önemli

avantajı çok daha kısa sürede işlem yapması ve bazen gözden kaçan çizgisel yapıları tanımlayabilmesidir. Bu çalışmada çizgiselliklerin çıkarımı LINE algoritma tabanlı Geomatica programı ile yapılmıştır. LINE algoritması üç aşamadan oluşmaktadır: Kenar belirleme, eşikleme ve eğri çıkarma. Buradaki ana yaklaşım uydu görüntüleri üzerindeki gri renk tonları farklılıklarından yararlanmaktır. Bu çalışmada LINE algoritması için en uygun parametre değerleri önceki çalışmalarda kullanılan değerler göz önünde bulundurularak ve deneme yoluyla belirlenerek kullanılmıştır.

Geomatica programı üzerinden otomatik çizgisellik çıkarımı yapılırken altı adet parametre değeri tanımlanır. Algoritmada kullanılan altı parametrenin açıklaması şöyledir (PCI Geomatica, 2016):

RADI (Filter radius), LINE algoritmasının ilk aşaması olan kenar belirleme işlemi için kullanılan parametredir. Görüntü üzerindeki en

küçük detay seviyesini belirler. Bu çalışma için RADI değeri 10 alınmıştır.

GTHR (Gradient threshold), LINE algoritmasının ikinci aşaması olan eşikleme işlemi için kullanılır. Minimum eşik değerini belirler. Bu çalışma için GTHR değeri 50 alınmıştır.

LTHR (Length threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasında kullanılır. Minimum eğri uzunluğunu (piksel cinsinden) tanımlar. Bu çalışma için LTHR değeri 30 alınmıştır.

FTHR (Line fitting error threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasının ikinci adımınıdır. Eğri uzunluğunun (piksel cinsinden) hata değerini tanımlar. Bu çalışma için FTHR değeri 3 alınmıştır.

ATHR (Angular difference threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasının son adımınıdır. Çoklu çizgilerin birbirleriyle açılma değeri farkını tanımlar. Bu çalışma için ATHR değeri 15 alınmıştır.

DTHR (Linking distance threshold), bu parametre LINE algoritmasının üçüncü aşamasının son adımınıdır. Çoklu çizgilerin birbirleriyle mesafe (piksel cinsinden) farkını tanımlar (PCI Geomatica Kullanıcı Yardımı). Bu çalışma için DTHR değeri 20 alınmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Uydu görüntüleri üzerinden jeolojik çizgiselliklerin çıkarımı ile ilgili yapılan çalışmalarda manuel ve otomatik yöntemler kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar manuel yöntemlerin daha doğru sonuçlar verdiğini savunmakla beraber (Sarp 2005; Elmahdy, 2014), otomatik yöntemlerinde çalışmalara önemli katkılar sunduğu ve doğru sonuçlar verdiğini bilinmektedir (Arslan ve Akyürek, 2015). Bu çalışma kapsamında otomatik yöntem benimsenmiş ve elde edilen çizgiselliklerin hem arazi gözlemleri hem de uydu görüntüleri üzerinden görsel incelemeleri yapılmıştır (Şekil 4). Görsel incelemeyle jeolojik etkiler dışındaki çizgisellikler ile insan yapımı yapılar, tarla sınırları, yollar gibi doğal yollarla oluşmayan çizgisellikler ayıklanmıştır.

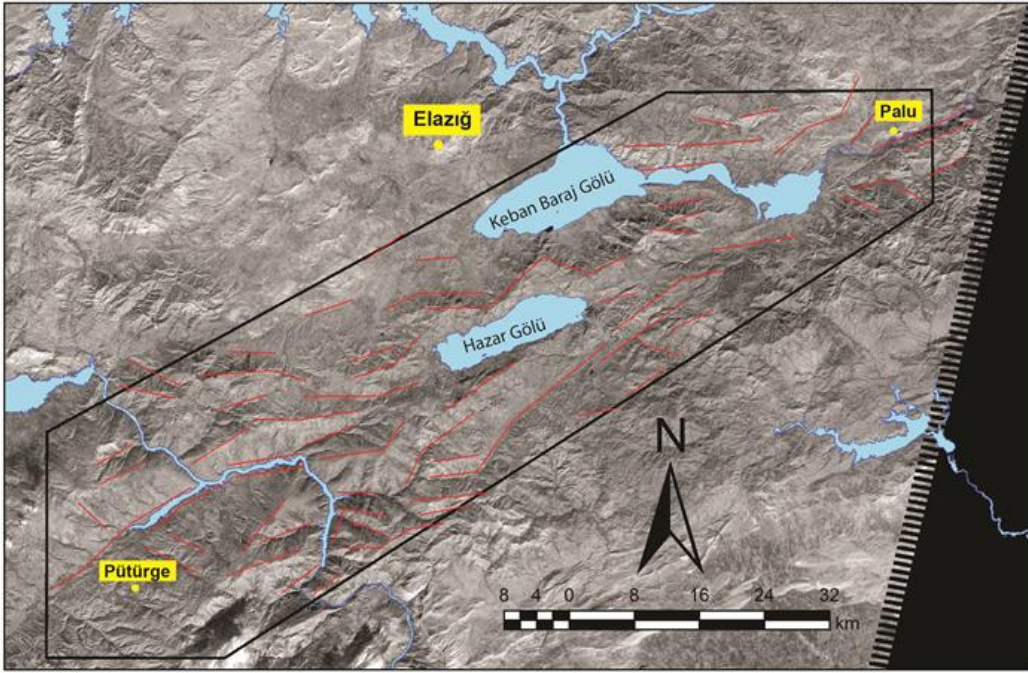
Topoğrafyada gözlenen tüm çizgisel yapıların tektonizma ile ilişkilendirilmesi yanlış olur. Araziye bulunan farklı litoloji ve dirençteki

kayalar aşınmaya karşı aynı dayanıklılıkta bulunamazlar. Böyle durumlarda kayaçların farklı direnç seviyeleri nedeniyle topoğrafyada çizgisel görünümlü yapılar oluşabilir (Jordan vd., 2005). Bu nedenle gerek manuel gerekse otomatik yöntemlerle elde edilen çizgisel yapıların tektonizma ile ilişkili olup olmadığını anlamak için arazide yerinde incelenmesi veya ek yardımcı verilere başvurmak gerekir (Sander, 2007).

Otomatik yöntemler sonucunda elde edilen çizgisellikler incelendiğinde bu çizgiselliklerin önemli bölümünü morfolojik çizgiselliklerin oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu yapıların tektonik kökenli olarak değerlendirilebilmek için bunların devamlılıkları incelenmelidir (Arslan ve Akyürek, 2015). Çalışma alanında belirlenen çizgisellikler incelendiğinde morfolojik verilerin yaklaşık D-B ve KD-GB olarak iki ana doğrultuda yoğunlaştığını, dolayısıyla bu yapıların tektonik kökenli olduğu konusunda önemli bir veri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışma alanının içerisinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi Orta Miyosen'den itibaren iki deformasyon evresinin varlığı bölgede fay düzlemi verileri (düzlemin eğim ve doğrultusu, kayma çiziklerinin yönelimi vb.) üzerinde yapılan kinematik analiz çalışmalarıyla tanımlanmıştır (Kaymakçı vd., 2010; Köküm, 2017). Orta Miyosen-Erken Pliyosen aralığında yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışmalı tektonik rejim altında bulunan bölgede, doğu-batı uzanımlı kıvrım eksenleri ve ters faylar gelişmiştir. Geç Pliyosen döneminden itibaren doğrultu atım tektoniği baskın rejim olmuş ve gelişen kuzeydoğu ve kuzeybatı uzanımlı sol ve sağ yanal doğrultu atımlı faylar bir önceki evrede oluşan kıvrımları ve ters fayları keserek ötelemişlerdir.

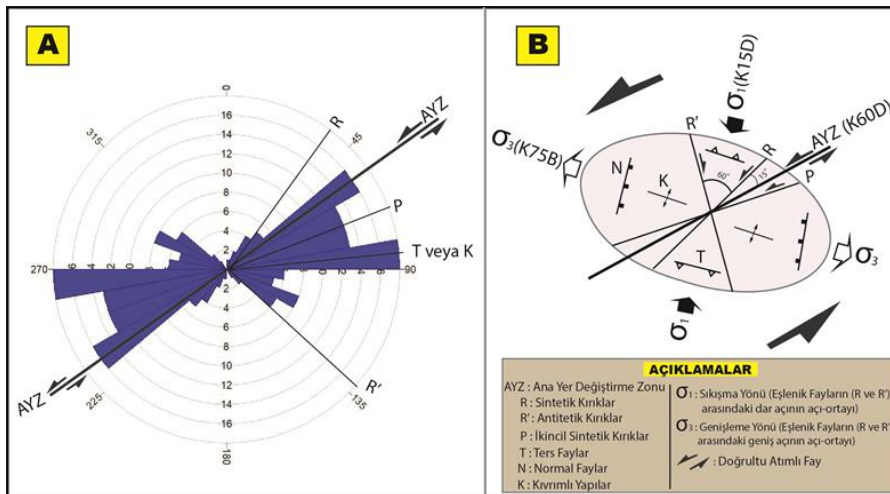
Çalışma kapsamında Landsat (4-5) TM üzerinden çalışma alanı içerisindeki otomatik yöntemle çizgiselliklerin çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen haritadaki çizgiselliklerin doğrultuları belirlenmiş ve egemen çizgisellikleri gösteren doğrultu gül diyagramı hazırlanmıştır. Çalışma alanı içerisinde 101 adet jeolojik çizgisellik tanımlanmıştır (Şekil 5a). Belirlenen çizgiselliklerin toplam uzunlukları 1.287 km olarak hesaplanmıştır. Program çıktısına göre tüm çizgiselliklerin ortalama olarak 75° doğrultusunda olduğu hesaplanmıştır. Köküm (2017) tarafından DAFS'nin Palu-Uslu (Elazığ) arasında fay düzlemi verileri üzerinde yapılan kinematik analiz çalışmaları sonucunda en büyük sıkışma yönünün (σ_1) $K15^{\circ}D$ olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4. Landsat (4-5) TM (Band 7) görüntüsü üzerinden otomatik yöntemlerde elde edilen çizgisel yapılar.

Çalışma alanı içerisinde tanımlanan 101 adet jeolojik çizgisellik üzerinde yapılan Gül diyagramı sonuçları, sıkışma yönünün (σ_1) $K15^0D$ olarak hazırlanan gerilme elipsoidi modeli yardımıyla yorumlanmıştır (Şekil 5b). Gül diyagramından elde edilen sonuçlara göre çalışma alanında $K55^0D$ ve $K85^0D$ yönlü iki ana çizgisellik doğrultusu belirlenmiştir (Şekil 5a,b). Bu yapılardan $K55^0D$ yönlü olanlar gerilme elipsoidinde tanımlanan Ana Yer Değiştirme Zonu'na (AYZ) yani çalışma alanının en önemli tektonik yapısı olan DAFS' ne karşılık gelmektedir. Bu veri, DAFS'nin çalışma alanı

içerisindeki doğrultusunun yaklaşık $K55^0-65^0D$ olmasıyla desteklenmektedir. Çalışma alanındaki $K85^0D$ yönlü olanlar ise gerilme elipsoidine göre kıvrım eksenlerine (K) veya ters faylara (T) karşılık gelmektedir. Kırıkgeçit ve Çaybağı Formasyonları içerisinde gelişen kıvrımların eksenlerinin ve ters fayların yaklaşık doğu-batı uzanımlı olması, $K85^0D$ yönlü yapıların kıvrım eksenlerine veya ters faylara karşılık geldiğini gösteren destekleyici verilerdir. Ayrıca gerilme elipsoidi yardımıyla, AYZ ile ilişkili olarak gelişen sentetik (R), antitetik (R') ve ikincil sentetik (P) kırıklar tanımlanmıştır (Şekil 5a,b).



Şekil 5. (A). Landsat (4-5) TM (Band 7) görüntüsü üzerinden otomatik analiz yöntemiyle elde edilen çizgisel yapılara ait gül diyagramı. (B) sıkışma yönünün (σ_1) $K15^0D$ olarak hazırlanan gerilme elipsoidi modeli (Barlett vd., 1978' den değiştirilerek

Arazi verileri, bu yapılar içerisinde K55⁰D yönlü olanların DAFS içerisindeki sol yanal doğrultu atımlı fayları temsil ettiği ve Geç Pliyosen sonrasında etkili olan, en genç, doğrultu atım tektoniği ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Şekil 6). K85⁰D yönlü olanlar ise kıvrım eksenleri ve ters faylara karşılık gelmekle beraber (Şekil 3a), Orta Miyosen-Erken Pliyosen dönemindeki sıkışma ve kabuk kalınlaşması ile ilişkili olmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında bölgede Orta Miyosen sonlarından itibaren etkin olan iki farklı deformasyon evresinin izleri morfolojinin

şekillenmesinde önemli oranda rol üstlenmiş ve bu izler uydu görüntüleri üzerindeki analizler yardımıyla analiz edilmiştir. Özellikle aktif tektonik kapsamında yürütülen çalışmalarda, uydu görüntüleri ve bu görüntüler üzerinden otomatik olarak elde edilen çizgisellikler üzerinde yapılan istatistiksel analizlerin ne derece önemli olduğu ve araştırmacıya zaman ve iş yükü açısından büyük kolaylıklar sağladığı görülmüştür. Ancak, uydu görüntüleri ve bu görüntüler üzerinde yapılan analizlere ait değerlendirmelerin mutlaka arazi verileri veya yardımcı verilerle desteklenmesi gerekmektedir.



Şekil 6. Çalışma alanındaki Orta Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları içerisinde gelişen doğrultu atımlı faylanma ile ilişkili arazi fotoğrafları. (A) Fay düzlemi üzerinde gözlenen kayma çizikleri (Bakış yönü KD'ya) (B) Fay aynası (Bakış yönü KD'ya). Fotoğrafların konumları Şekil 2' de verilmiştir.

Kaynaklar

Abdullah, A., Nassr, S. ve Ghaleeb, A., 2013. Landsat ETM-7 for Lineament Mapping using Automatic Extraction Technique in the SW part of Taiz area, Yemen, Global Journal of Human Social Science Geography, Geo-sciences, Environmental & Disaster Management, 13 (3), 35 – 38.

Al-Dossary, S., Marfurt K.J., 2007. Lineament-preserving filtering. Geophysics, 72(1): 1-8.

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.

Arslan, O., Akyürek, Ö., 2017. LANDSAT 7 ETM+ Görüntüleri Üzerinden

- Çizgiselliklerin Otomatik Çıkarımı ve Analizi: Van Depremi Örneği, 5. Uluslararası Deprem Sempozyumu,
- Ayday, C. ve Gümüsoğlu, E., 2008. Detection and Interpretation of Geological Linear Features on the satellite Images by Using Gradient Filtering and Principal Component Analysis, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXVII Part B8, 03 – 11 Temmuz, Beijing, Çin.
- Bartlett, W.L., Friedman, M., Logan, J.M., 1981. Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure, Part IX: Wrench faults in limestone layers. *Tectonics* 79, 255-277.
- Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A., ve İnceöz, M., 2012. The Palu-Uluova Strike-Slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its Transition from the Palaeotectonic to Neotectonic Stage. *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol.21. pp1-24.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geological Society, London, Special Publications published online February 19, 2013 as doi: 10.1144/SP372.14.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. 2013, 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-, Ankara, Türkiye.
- Gedik, H., 2014. Çaybağı (Elazığ) Çevresinin Tektonik Özellikleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86 s (yayımlanmamış).
- Greenbaum, D., 1985. Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith. *Brit GeolSurv Rep OD 85/8*, pp: 36.
- Gürbüz, A., 2009. Orientations of palaeotectonic features as a key to understanding the neotectonic block rotation of the Kocaeli peninsula, NW Turkey. *International Geology Review* 51 (4): 329-344.
- Jordan, G. ve Schott, B. (2005), Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models, A case study, *Remote Sensing Environment*, 94(1), 31 – 38.
- Kavak K.S. ve Cetin H., 2007. A detailed geologic Lineament analysis using Landsat TM Data of Golmermara/ Manisa Region, Turkey. *Medwell J. of Earth Sciences* vol. (3) pp 145-153.
- Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P., Koc, A., 2010. Late Cretaceous to recent kinematics of SE Anatolia (Turkey). In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R., Starostenko, V., Bergerat, F. (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geological Society London Special Issue No. 340, pp. 409–435.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Derg.*, 66, 20-34, Ankara.
- Ketin, İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey. *Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey*, no. 71, pp. 63-67, Ankara.
- Koçbulut F., Kavak K. Ş., Tatar O., 2014. Analysis of Ezinepazarı–Sungurlu Fault Zone (Turkey) using Landsat TM data and its kinematic implications. *Arab J. Geosci* (2015) 8:6425–6439.
- Köküm, M., 2017. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu-Uslu (Elazığ) Arasındaki Kesiminin Kinematik Analizi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 100 s (yayımlanmamış).
- M.T.A, 2011. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (in Turkish).
- Okay, A. I., Tüysüz O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, E & Seranne, M. (Eds) *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, J560 475-515.
- PCI Geomatica, 2016. PCI Geomatica Kullanıcı Yardımı, Ontario, Kanada: Richmond Hill.

- Safaa M. H., Abdel A. A. M., El-Mahdy M., Yahia A. E., 2014. Automated and manual Lineaments extraction and geospatial analysis using remote sensing techniques and GIS. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 8(10): 110-120.
- Sander, P., 2007. Lineaments in groundwater exploration: a review of applications and limitations, *Hydrogeology Journal*, 15, 71 – 74.
- Sarp G., 2005. Lineament Analysis From Satellite Images, Northwest of Ankara. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44 s (yayımlanmamış).
- Süzen, M. L. ve Toprak, V. 1998. Filtering of Satellite images in geological Lineament analyses: an application to a fault zone in Central Turkey, *International Journal of Remote Sensing*, 19(6), 1101 – 1114.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip Faulting and Basin Formation*, Soc.Econ.
- Tatar, Y., 1987. Elazığ bölgesinin tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerinde yapılan bazı gözlemler: *H.Ü. Yerbilimleri Derg.*, 14, 295-308.

CdO:Ag İnce Filmlerinin SILAR Tekniği İle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu

Growth And Characterization CdO:Ag Thin Films By SILAR Technique

Demet İSKENDEROĞLU*^{1,a}, Harun GÜNEY^{2,b}

¹Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 25240, Erzurum

²Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Merkezi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı, 04100, Ağrı

• Geliş tarihi / Received: 02.12.2017 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 28.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 03.07.2018

Öz

Yapılan çalışmada gümüş (Ag) katkılı kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri mikroskopik cam yüzey üzerine Ardışık İyonik Tabaka Adsorpsiyon ve Reaksiyonu (SILAR) yöntemi ile oda sıcaklığında büyütülmesi gerçekleştirilmiştir. Büyütülen numunelerin yapısal, optik ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Yapısal incelemede X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı kullanılmış, XRD sonuçlarından numunelerin polikristal kübik yapıda olduğu ve ortalama kristal boyutunun Ag katkısı ile 22 nm'den ve 25 nm'ye arttığı görülmüştür. Soğurma ölçümleri, Ag katkı oranının artışı ile band aralığının 2.22 eV'den 2.67 eV'ye arttığını göstermiştir. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) görüntüleri Ag katkı oranı değişiminin yüzeyde değişime neden olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Ag katkısı, CdO, SILAR

Abstract

In the study, Ag-doped CdO thin films were grown on the microscopic glass surface by SILAR method at room temperature. The structural, optical and morphological properties of the grown film were investigated. XRD device was used in the structural investigation, XRD results show that the samples have polycrystalline cubic structure and the average crystal sizes have been shown rising from 22 nm to 25 nm with Ag dopant. The absorbance measurements show that the band gap increase from 2.22 eV to 2.67 eV with the increasing Ag dopant ratio. SEM images show that the changing Ag dopant ratio causes the significant changing in the surface of samples.

Keywords: Ag dopant, CdO, SILAR

*a Demet İSKENDEROĞLU; dmttr@gmail.com; Tel: (0442) 231 70 01; orcid.org/0000-0002-6889-8115

^b orcid.org/0000-0001-9877-2591

1. Giriş

Şeffaf iletken oksitler (TCO) elektronik endüstrilerindeki ve fotovoltaik cihazlardaki potansiyel uygulamaları nedeniyle çokça araştırılmıştır (Das ve Mitra, 2017). TCO üyesi olan CdO özellikle son birkaç yıldır güneş pili, optoelektronik uygulamaları, fototransistörler, fotodiyot uygulamaları ve gaz sensör üretimi gibi uygulamalarda yüksek elektrik iletkenliği, yüksek doğrusal refraktif indeks değeri, taşıyıcı yoğunluğu ve elektromanyetik spektrumun görünür aralığında yüksek geçirgenliği gibi sahip olduğu özelliklerinden dolayı bilim adamları tarafından kullanılmıştır (Ali, 2017; Abbas vd., 2018). Katkılı ve katkısız CdO ince filmleri farklı yöntemlerle büyütülebilmektedir. Püskürtme (Ferro ve Rodriguez, 1999), kimyasal buhar birikimi (Li vd., 2001), termal buharlaşma (Dakhel ve Henari, 2003), sol-jel (Aksoy vd., 2009), puls lazer birikimi (Gupta vd., 2009) ve SILAR (Salunkhe ve Lokhande, 2008; Güney ve İskenderoğlu, 2017) yöntemleri bunlardan bazılarıdır. SILAR yöntemi diğer yöntemlere nazaran bazı üstünlüklere sahiptir. Bunlardan bazıları;

- (i) Katkılama işlemi diğer metotlara göre daha kolaydır,
- (ii) Yüksek kalitede alttaş ve vakum gerektirmemektedir,
- (iii) Büyüme oranı ve filmin kalınlığı, kolaylıkla kontrol edilebilir.
- (iv) Oda sıcaklığında yapılan işlemlerle, daha az sağlıklı malzemeler üzerine film büyütülebilir.
- (v) Büyütülen materyal için zararlı olabilecek derecede ısınmalara yol açmaz,
- (vi) Altlık malzeme, boyutlar ve onun yüzey profili ile ilgili neredeyse hiçbir sınırlama yoktur.
- (vii) Ucuz, basit ve geniş alanda büyütme yapmak için kullanışlıdır (Astam, 2010).

Bununla birlikte SILAR yönteminin birtakım dezavantajları da vardır:

- (i) Özellikle gaz fazı büyütme yöntemlerine göre SILAR ile film büyütme uzun zaman almaktadır,
- (ii) Büyütülen filmler istenirse dahi oksijen kirliliği içerir,
- (iii) Çözeltilerin aşırı derecede asidik ve bazik olduğunda bu çözeltilere dayanıksız olan alttaş malzemeler kullanılamaz (Astam, 2010).

Literatürde CdO ince filmleri ve nanoyapılarının SILAR yöntemi ile yapılan çalışmaları mevcuttur. Diğer çalışmalar genellikle katodik çözeltinin pH değeri ayarlanıp yapılmış veya çözelti sıcaklığı oda sıcaklığının üzerinde ve 80 °C ve üzeri sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir (Aydın ve Şahin, 2017; Shameem vd., 2017). Oda sıcaklığında gerçekleştirilmesi bizim çalışmamızı diğerlerinden ayırmaktadır. Ayrıca yaptığımız çalışmada, katkı olarak gümüş (Ag), çeşitli üstün özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan metalik bir element, genel katkılama yöntemi ile kolayca oksitlenebilen aktif bir metal olduğu ve oda sıcaklığında bile kolayca çözelti içerisinde dağılabildiği için seçilmiştir (Sivakumar vd., 2015). Yaptığımız çalışmada oda sıcaklığında Ag katkılı CdO ince filmlerinin cam altlık üzerine SILAR yöntemi ile büyütülmesi gerçekleştirilmiştir.

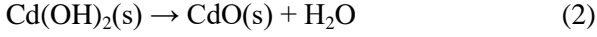
2. Materyal Metot

Yapılan çalışmada altlık olarak cam kullanılmıştır. Cam altlık büyütme işlemi gerçekleştirilmeden önce sırasıyla ultrasonik banyoda 300'er saniye (sn.) sürelerde 1/5 oranında seyreltilmiş sülfürik asit (H₂SO₄), etanol (CH₃CH₂OH) ve deiyonize (DI) su içerisinde temizlenmiştir.

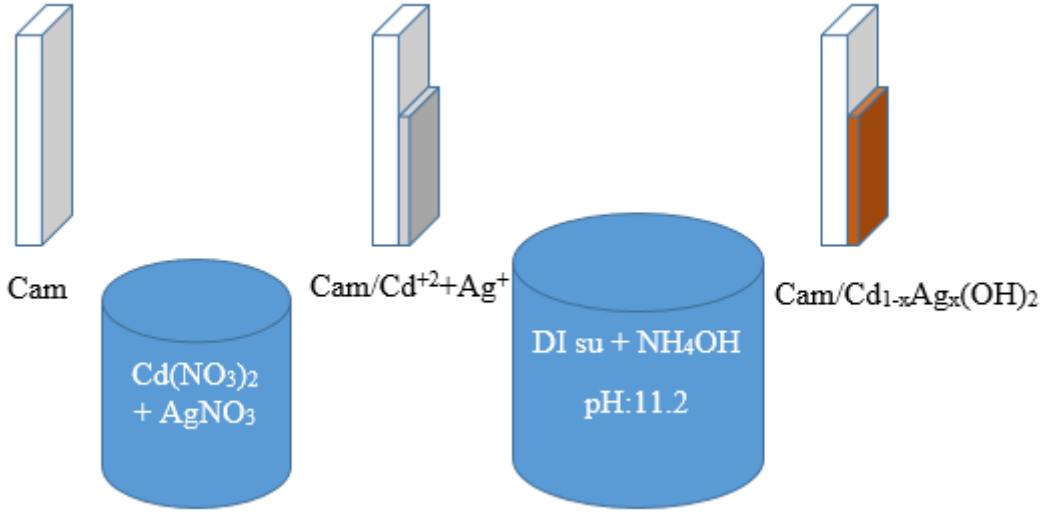
Ag katkılı CdO ince filmlerinin SILAR yöntemi ile büyütülmesi işleminde bir döngüde katyonik ve anyonik çözeltileri kullanılmıştır. Katyonik çözelti olarak 50 ml 0.1 M kadmiyum nitrat tetrahydrate (Cd(NO₃)₂ + 4H₂O) kullanılmıştır. Katkı maddesi olan Ag için 0.1 M gümüş nitrat (AgNO₃) çözeltisinden katyonik çözelti miktarının yüzdesel olarak 0.5; 0.1 ve 0.2 oranlarında kullanılmıştır. Katkı maddesi Ag ilave edildikten sonra 600 sn. manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Anyonik çözelti olarak da pH değeri amonyak (NH₄OH %25 sulu) ile 11.2 değerine ayarlanmış 100 ml deiyonize (DI) su 600 sn. karıştırılmış olarak kullanılmıştır. Katyonik ve anyonik çözeltiler deney süresince oda sıcaklığında tutulmuştur. Bir döngüde; altlık olarak kullanılan temizlenmiş cam 30 sn. süresince katyonik çözeltilere ve 30 sn. süresince de anyonik çözeltilere daldırılarak bekletilmiştir. Şekil 1'de bir tam döngünün temsili deney şeması gösterilmiştir. Deneyin tamamı 20 döngüde gerçekleştirilmiştir. Böylece Ag katkılı CdO ince filmleri oda sıcaklığında cam altlık üzerine büyütülmüştür. Büyüme esnasında gerçekleşen reaksiyonun aşağıdaki Denklem 1'de gösterildiği gibi olduğu düşünülmektedir;



Katkı olarak $\text{Ag}(\text{NO}_3)_2$ çözeltisi katyonik çözeltiliye bu çözelti miktarının yüzdesel olarak 0.5, 0.1 ve 0.2 oranlarında ilave edilerek katılma işlemi gerçekleştirilmiştir. Büyütülen numuneler atmosferik ortamda $200\text{ }^\circ\text{C}$ 'de yüksek sıcaklık fırınında tavlendiğinde aşağıdaki Denklem 2'deki reaksiyon gerçekleştiği düşünülmektedir (Güney ve İskenderoğlu, 2017).



Böylelikle Ag katkılı CdO ince filmleri SILAR yöntemi ile cam altlık üzerine oda sıcaklığında büyütülmüştür.



Şekil 1. Bir tam döngünün temsili deney şeması

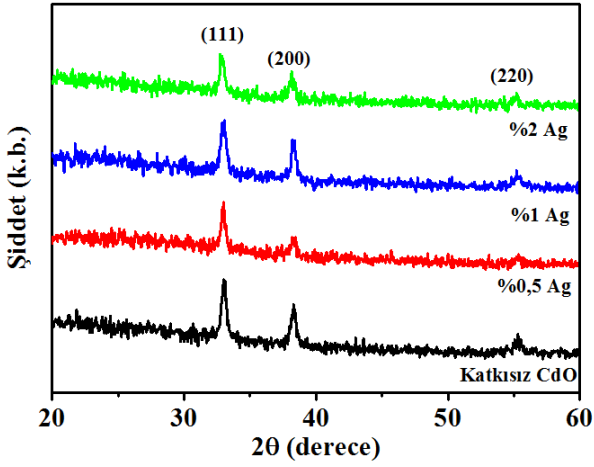
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. XRD Analizi

Büyütülen numunelerin oda sıcaklığında XRD ölçümleri alınmış ve sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 2 Ag katkılı CdO ince filmlerinin 2θ değeri 20 ve 60 derece arasında gerçekleştirilen XRD taramasını göstermektedir. Alınan XRD sonuçları ICSD standartları ve 03-065-2908 kart numarasına göre tüm numunelerin kübik yapıda olduğunu göstermiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi katkısız ve Ag katkılı ince filmlerin XRD açıları ve düzlemleri yaklaşık ve sırasıyla; 33° ve (111), 38° ve (200), 55° ve (220)'dir. ICSD standartları ve 03-065-2908 kart numarasına göre katkısız CdO pikleri ile benzer olan Şekil 2'de yer alan pikler bize numunelerin Ag katkısının CdO ince filmlerinin kristal yapısına etki etmediğini ve yapı içerisinde iyi uyum

sağladığını göstermiştir (Güney ve İskenderoğlu, 2017). Bu durum ise yapıda Ag ile oluşabilecek oksitli yapıların oluşmadığını göstermektedir. Yani Ag katkısı hem kübik yapıya etki etmemiş hem de ilave bir pik oluşumuna neden olmamıştır. Fakat Tablo 1'de görüldüğü gibi pik pozisyonlarında Ag katkısı ile kayma gerçekleşmiştir. Bu kaymanın Ag ile CdO etkileşmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Zhu vd., 2016). Literatürde yer alan farklı yöntemlerde de aynı şekilde Ag katkılı CdO numunelerinde aynı pikler gözlenmiş numunelerin kübik yapıda olduğu tespit edilmiş ve Ag piki gözlenmemiştir (Sivakumar vd., 2015; El-Kemary vd., 2018).

Numunelerin XRD pik sayısal verileri kullanılarak kristal boyutunu (D) ve ortalama kristal boyutunu (D_{orn}) hesaplamak için Denklem 3'te gösterilen Scherer formülü kullanılmıştır;



Şekil 2 Katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinin XRD ölçüm grafiği

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3)$$

burada λ , dalga boyu (0.15406 nm), β maksimumun yüksekliğin yarı genişliği (FWHM) ve θ piklerin açısı değeridir. Denklem 3 yardımı ile her hkl düzlemi için D değerleri hesaplanmış ve her katkı için alınan D_{ort} neticesinde katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinin D değerleri 22 nm ve 25 nm olarak hesaplanmış ve Tablo 1’de gösterilmiştir. Yapılan D_{ort} ve D hesaplama sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Böylece Ag katkısının CdO ince filmlerinin kristal boyutlarına çok fazla etki etmediği ve kristal yapısında ciddi değişime neden olmadığı düşünülebilir. Fakat yine de katkısız CdO ince filminin D değerinin 22 nm iken Ag katkılı olan CdO ince filmlerinin D_{ort} değerlerinin 24 ve 25 olması kristallğin iyileşmesi olarak yorumlanabilir (Sivakumar vd., 2015). Sivakumar vd., (2015) yaptıkları çalışmalarında bizim bulduğumuz tanecik boyutuna yakın katkısız CdO nanopartikülleri için 21 nm bulmuş olmalarına rağmen, Ag katkısı ile birlikte yaklaşık iki katı değeri bulmuşlardır. Bu durumun oluşmasında ince filmlerin büyütme yönteminin etkili olduğu düşünülmektedir. Fakat Mohanraj vd., (2018) mikrodalga ışınması yöntemiyle yaptıkları çalışmalarında ise katkısız CdO nanopartikülleri D değerlerini 35 nm ölçmüş iken „Ag katkısı ile bu değer 22 nm’ye kadar düştüğünü gözlemlemişlerdir. Diğer çalışmalarda elde edilen numunelerin de kübik yapıda olmasına rağmen bu değişimlerin büyütme yöntemlerinin farklılığından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Büyütülen numunelerin düzlemler arası uzaklığı (d) Denklem 4’de verilen Bragg kanunu ile hesaplanmış ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (4)$$

Yapılan hesaplamalarda çıkan d sonuçları ICSD standartları ve 03-065-2908 kart numarasında yer alan d_0 sonuçlarına yakınlık göstermektedir. Bu da SILAR yöntemi ile büyütülen katkısız ve Ag katkılı CdO numunelerinin literatürde yer alan kristal değerlerine yakın olduğunu ve numunelerin kristal kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir (Mohanraj vd., 2018).

Katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerin yapılanma katsayıları (TC), ince filmlerin belirli düzleminin dokusu için Denklem 5 kullanılarak hesaplandı ve sapma, birliğin tercih edilen büyümeyi ima ettiğini gösterdi.

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{N^{-1} \sum_N I(hkl)/I_0(hkl)} \quad (5)$$

Burada $I(hkl)$ ölçülen pik şiddeti, $I_0(hkl)$ veri kartının standart pik şiddeti, N yansıma sayısıdır. Tercihli yönelim için yapılan TC katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinde olması gereken 1 değerinde büyük olma şartını sağlamaktadır (Astam 2016).

İnce filmlerin optik bazı özellikleri hakkında bilgi sahibi olabileceğimiz yöntemlerden basit ve önemli bir ölçüm olan soğurma ölçümleri Ag katkılı CdO ince filmlerimiz için 300 ile 800 nm dalga boyları arasında alınmış ve sonuçları Şekil 3 a’da gösterilmiştir. Ag katkılı CdO ince filmlerin band aralıklarının tespiti soğurma ölçümleri aşağıda verilen Denklem 6 yardımı ile band aralığı direkt band aralığına sahip malzemeler için verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$(\alpha hv) = B(hv - E_g)^{1/2} \quad (6)$$

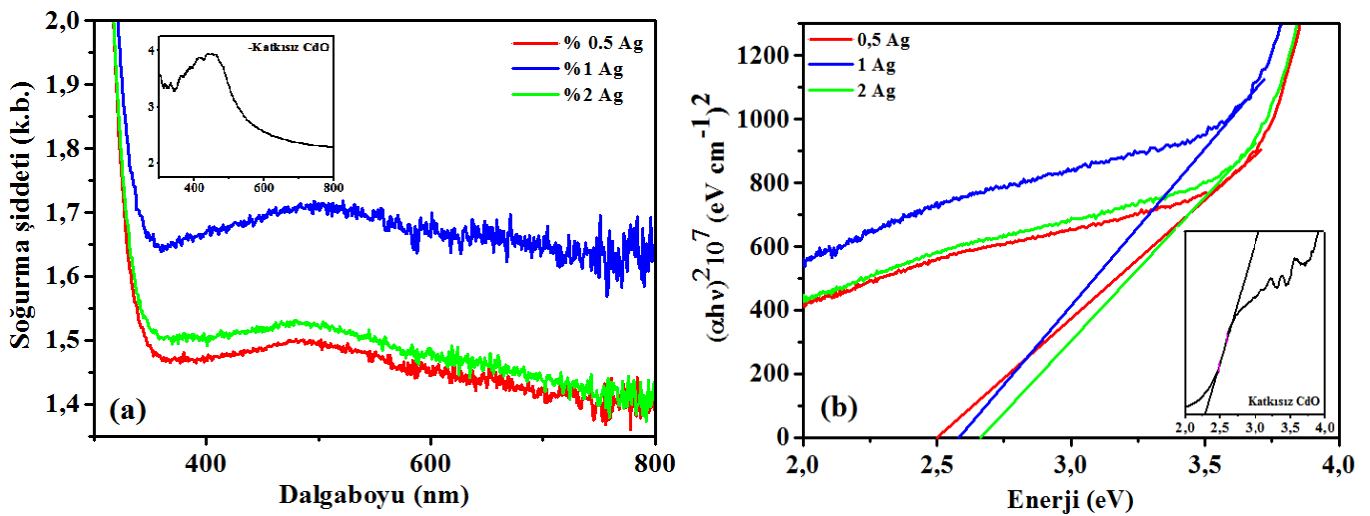
burada α soğurma katsayısı, E_g optik band aralığı ve B sabit (Majid vd., 2013). Denklem 6 ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda çizilen Şekil 3 b’de soğurma katsayısının karesine karşı enerji grafiği elde edilmiştir ve sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi katkısız olarak büyütülen CdO ince filminin band aralığı 2.22 eV bulunmuştur. Bu sonuca benzer sonuç Maswanganye vd., (2014) tarafından sol-jel metodu ile yapılan çalışmalarında 2.23 eV olarak bulunmuştur. Yine aynı çalışmada Ag artışı ile band aralığında artış gerçekleşmiştir.

Tablo 1. Katkısız ve Ag katkılı CdO numunelerinin hesaplanan band aralığı, hkl , 2θ , FWHM, D , D_{ort} , d , d_0 ve TC değerleri.

Numune Adı	E_g (eV)	2θ (°)	FWHM	D (nm)	D_{ort} (nm)	d (Å)	d_0 (Å)	TC (hkl)	
Katkısız CdO	2.22	(111)	33.0001	0.4833	18	22	2.7122	2.7088	1.2399
		(200)	38.2763	0.4082	22		2.3496	2.3459	0.8855
		(220)	55.3010	0.3713	25		1.6599	1.6588	0.8746
%0.5 Ag	2.51	(111)	32.9727	0.2686	32	24	2.7144	2.7088	1.3889
		(200)	38.1940	0.4906	18		2.3544	2.3459	0.7600
		(220)	55.3238	0.4322	22		1.6592	1.6588	0.8511
%1 Ag	2.58	(111)	33.0921	0.4802	18	24	2.7048	2.7088	1.1132
		(200)	38.1668	0.2466	36		2.3561	2.3459	0.9793
		(220)	55.2077	0.4933	19		1.6624	1.6588	0.9075
%2 Ag	2.67	(111)	32.7287	0.3634	24	25	2.7340	2.7088	1.0555
		(200)	38.1668	0.3634	24		2.3561	2.3459	0.9497
		(220)	55.2076	0.3635	26		1.6624	1.6588	0.9948

Ag katkılı ince filmlerin E_g değerleri Şekil 3 b’de $\alpha=0$ değerinde karşılık gelen enerji ile tespit edilmiştir. E_g değerleri Ag katkı oranının artışı ile artış göstermiştir. Majid vd., (2013) Ag katkılı CdO nanopartikülleri yaptıkları çalışmalarında Ag katkı oranının artışı ile band aralığının artışı ve dolayısıyla maviye kayma gözlemlemişlerdir. Band aralığının katkısız CdO’ya nazaran Ag oranının artışı ile artış göstermesinin nedeninin Burstein-Moss etkisi olabileceğini ve ayrıca bu artışa Ag taşıyıcı konsantrasyon artışının da neden olabileceğini belirtmişlerdir. Şekil 3 ve Tablo 1’den katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinin

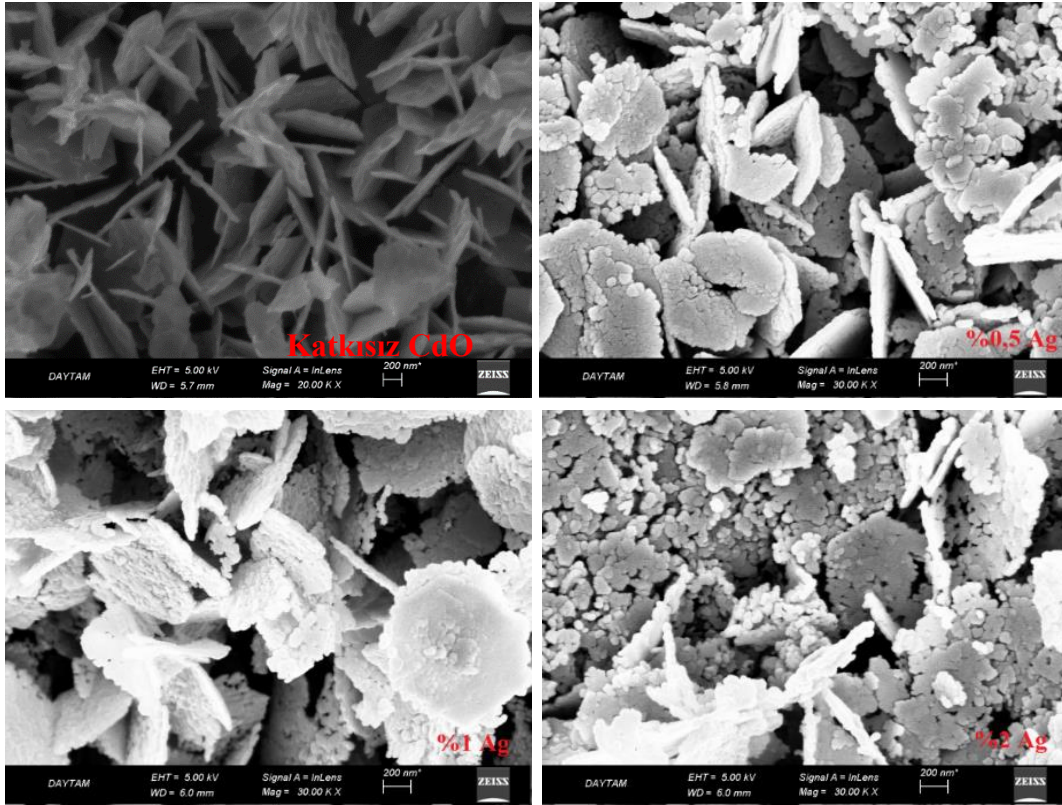
soğurma ölçümlerinin ve band aralıklarının görünür bölgede olması ve band aralıklarının Ag ile değiştirilebilmesi ve bunun sonucunda elektriksel iletkenliğinin de değişmesi bu numunelerin optoelektronik cihazlarda kullanılabilceğini göstermektedir (Ganesh vd., 2017). Katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinin E_g değerlerindeki değişiklikler, Ag katkı oranının değişimi ile birlikte CdO ince filminin kristal yapısındaki değişmelere bağlı olabilir. Bu durum XRD sonuçları ile uyumludur. Ayrıca, nanoyapılı malzemelerde E_g değişimi, kuantum boyutu etkisi ile açıklanabilir (Sivakumar vd., 2015).

**Şekil 3.** Katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerin a) soğurma b) band aralığı grafiği

3.3. SEM Analizi

Optiksel, elektriksel vb. birçok özelliğin değişimini yansıtan ve malzemenin istenilen uygulama için kullanımına bir bakımdan uygun olup olmadığının tespitinde ön değerlendirme amaçlı kullanılabilen SEM son yıllarda gelişen cihaz teknolojisi ile araştırmacılara çok daha iyi görüntüler sunmaktadır. Yüzey morfolojilerinin Ag katkı oranına göre nasıl değiştiğini öğrenmek için katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinin SEM görüntüleri alınmış ve toplu olarak Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4'de Ag katkısı arttıkça numunelerin yüzey morfolojilerinin değişmekte olduğu görülmektedir. Aynı şekilde El-Kemary vd., (2014) yaptıkları Ag katkılı CdO çalışmalarında Ag katkısına bağlı olarak

numunelerin yüzey morfolojilerinde değişim gözlemlenmiştir. Şekil 4'te katkısız CdO numunelerinin nano duvar yapıya benzer yapı oluşturduğu fakat Ag miktarının artışı ile birlikte bu yapının değiştiği, daha düzensiz ve dağınık bir yapıya dönüştüğü gözlenmektedir. Böylece Ag katkısının CdO yapısının yüzey morfolojisinde değişime neden olduğu söylenebilir. Sivakumar vd., (2015) kimyasal çökertme yönteminde yaptıkları %1; %2 ve %3 Ag katkılı CdO ile bizim yaptığımız SILAR yöntemi ile kıyaslandığında; bizim yapılar daha çok nano duvara benzer yapıda iken, onların çalışmalarındaki yapılar küresel görüntülü yapıdadır. Bu durum dikkate alındığında numunelerin büyütme yöntemine göre yüzey morfolojileri farklılıklar sergilemektedir.



Şekil 4. Katkısız ve Ag katkılı CdO ince filmlerinin SEM görüntüleri

4. Sonuçlar

Burada yapılan çalışmada Ag katkılı CdO ince filmleri SILAR yöntemi ile başarılı olarak büyütülmüş ve yapısal, optik ve morfolojik özellikleri XRD, soğurma ve SEM ile incelenmiştir. Yapılan incelemelerde SILAR yöntemi ile büyütülen numunelerin kübik yapıda oldukları görülmüş, band aralığı değerleri Ag katkı miktarına bağlı olarak ile 2.22 eV'den 2.67 eV'ye artış göstermiş ve yüzey morfolojisi de Ag

katkısı ile değişim sergilemiştir. Ag katkısı ile optiksel özelliklerindeki değişim Ag katkılı CdO ince filmlerin optoelektronik cihazlarda uygulanma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje No: MYO.17.001) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abbas, M., Tawfik, W. ve Chen, J., 2018. CdO Nanorods and Cd(OH)₂/Ag Core/Satellite Nanorods: Rapid and Efficient Sonochemical Synthesis. Characterization and Their Magnetic Properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 577-582.
- Aksoy, S., Caglar, Y., Ilican, S. ve Caglar, M., 2009. Effect Of Heat Treatment on Physical Properties of CdO Films Deposited by Sol-Gel Method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(12), 5191-5195.
- Ali, O., 2017. Study of Structural, Morphological and Optical Properties of Pure CdO and Ag:CdO Doped Thin Films on Glass Substrates with High Relatively Ag Concentrations (2.5%, 5%, 10% and 15%) Prepared by Sol-Gel Method. *Journal of Applied Physics*, 9, 1-8.
- Astam, A., 2010. SILAR yöntemiyle büyütülen CuxS ve CuxSey ince filmlerin arayüzey tabakalı sandviç yapılarında kullanılması ve karakteristik parametrelerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum, 129s.
- Astam, A., 2016. Structural and optical characterization of Cu₂SnSe₃ thin films prepared by SILAR method. *Thin Solid Films*, 615, 324-328.
- Aydin, R. ve Şahin, B., 2017. The role of Triton X-100 as a surfactant on the CdO nanostructures grown by the SILAR method. *Journal of Alloys and Compounds*, 705, 9-13.
- Dakhel, A.A. ve Henari, F.Z., 2003. Optical Characterization of Thermally Evaporated Thin CdO Films. *Crystal Research and Technology*, 38(11), 979-985.
- Das, M.R. ve Mitra, P., 2017. Influence of Mn Incorporation on Ionic Conductivity and Dielectric Relaxation Process in CBD Synthesized CdO Thin Films. *Journal of Alloys and Compounds*, 724, 614-624.
- Ferro, R. ve Rodriguez, J.A., 1999. Some Physical Properties of F-Doped CdO Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis. *Thin Solid Films*, 347(1-2), 295-298.
- Ganesh, V., Shkir, M., AlFaify, S., Yahia, I.S., Zahran, H.Y. ve El-Rehim, A.F.A., 2017. Study on structural, linear and nonlinear optical properties of spin coated N doped CdO thin films for optoelectronic applications. *Journal of Molecular Structure*, 1150, 523-530.
- Gupta, R.K., Ghosh, K., Patel, R. ve Kahol, P.K., 2009. Highly Conducting and Transparent Ti-Doped CdO Films by Pulsed Laser Deposition. *Applied Surface Science*, 255(12), 6252-6255.
- Güney, H. ve İskenderoğlu, D., 2017. SILAR Yöntemi İle Büyütülen Katkısız ve Zn Katkılı CdO Yarıiletken İnce Filmlerinin Yapısal, Optik ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 21(6), 1544-1549.
- El-Kemary, M., El-Mehasseb, I. ve El-Shamy, H., 2018. Ag-doped CdO nanocatalysts: Preparation, characterization and catechol oxidase activity. *Journal of Molecular Structure*, 1161, 83-88.
- Li, X., Young, D.L., Moutinho, H., Yan, Y., Narayanswamy, C., Gessert, T.A. ve Coutts, T.J., 2001. Properties of CdO Thin Films Produced by Chemical Vapor Deposition. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 4(6), C43-C46.
- Majid, A., Afzal, Z., Murtaza, S., Nabi, G. ve Ahmad, N., 2013. Synthesis and Characterization of Silver Doped Cadmium Oxide Nanoparticles. *Journal of Advanced Physics*, 2(2), 116-118.
- Maswanganye M.W., Makgobela R.V., Rammutla K.E., Mosuang T.E. ve Mwakikunga B.W., 2014. The effect of silver (Ag) dopant on the structural and optical properties of sol gel prepared CdO nanoparticles, The 59th Annual Conference of the South African Institute of Physics, SAIP2014, 66-71.
- Mohanraj, K., Balasubramanian, D., Chandrasekaran, J. ve Bose, A.C., 2018. Synthesis and characterizations of Ag-doped CdO nanoparticles for PN junction diode application. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 79, 74-91.
- Salunkhe, R.R. ve Lokhande, C.D., 2008. Effect of Film Thickness on Liquefied Petroleum

Gas (LPG) Sensing Properties of SILAR Deposited CdO Thin Films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 129(1), 345-351.

Shameem, A., Devendran, P., Siva, V., Raja, M., Bahadur, S.A., ve Manikandan, A., 2017. Preparation and characterization studies of nanostructured CdO thin films by SILAR method for photocatalytic applications. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 27(3), 692-699.

Sivakumar, S., Venkatesan, A., Soundhirarajan, P. ve Khatiwada, C.P., 2015. *Synthesis,*

Characterizations and Anti-Bacterial Activities of Pure and Ag Doped CdO Nanoparticles by Chemical Precipitation Method. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 136, 1751-1759.

Zhu, X., Wu, D., Wang, W., Tan, F., Wong, P.K., Wang, X., Qui, X. ve Qiao, X., 2016. Highly Effective Antibacterial Activity and Synergistic Effect of Ag-MgO Nanocomposite Against *Escherichia coli*. *Journal of Alloys and Compounds*, 684, 282-290.

Yüzey İşlemi Uygulanmış AZ31 Mg Alaşımının Yapısal Özelliklerinin ve Aşınma Davranışının İncelenmesi

Investigation of Structural Properties and Wear Behavior of Surface Treated AZ31 Mg Alloy

İlhan ÇELİK*

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 11.02.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.06.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 03.07.2018

Öz

Magnezyum (Mg) ve alaşımları; hafiflikleri, sahip oldukları özgül dayanım ve biyouyumluluk gibi özellikleri sayesinde özellikle otomotiv, havacılık ve biyomedikal sektörlerinde yaygın olarak kullanılabilir potansiyeli vardır. Mg ve alaşımları, sahip oldukları zayıf aşınma direnci ve korozyon direnci nedeniyle sınırlı kullanım alanlarına sahiptir. Bu durum, yüksek dayanım/ağırlık oranına rağmen, Mg alaşımlarının herhangi bir yüzey koruması uygulanmadan kullanılmalarına engel olmaktadır. Bu çalışmada, AZ31 Mg alaşımının aşınma direncini artırmak amacıyla Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi ile CrN kaplamalar başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yüzey işlemi uygulanmış numunelerin yapısal özellikleri X-Işınlı Difraksiyonu (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) yöntemleri ile incelenmiştir. Pin-disk aşınma cihazı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda numunelerin tribolojik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, uygulanan CrN kaplama sonrasında AZ31 Mg alaşımının daha üstün mekanik özellikler sergilediği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: AZ31 Mg, Aşınma, SEM/XRD

Abstract

Magnesium (Mg) and its alloys have a low density. For this reason, they are recognized as light metallic materials. Magnesium and its alloys have the potential capability to be widely used especially in the automotive, aviation and biomedical applications. However, their wear and corrosion resistance are very poor, so their area of usage is limited. This situation may adversely affect their usage without surface treatment despite their relatively well mechanical properties. Arc PVD technique was used to increase the wear resistance of AZ31 Mg alloy in this study. The surface coating process was applied to AZ31 Mg specimens as desired. Microstructural and morphological studies were done with XRD and SEM appliances. Pin-on-disc wear tests were performed to determine tribological properties. Through this study it was determined that AZ31 Mg alloy showed superior mechanical properties after applied CrN coating.

Keywords: AZ31 Mg, Wear, SEM/XRD

* İlhan ÇELİK; ilh.celik@gmail.com; Tel: (0456) 233 10 00 (dâhili: 1607); orcid.org/0000-0001-6757-834X

1. Giriş

Magnezyum ve alaşımları, 1.74–1.85 g/cm³ aralığında düşük yoğunluğa sahip olan hafif mühendislik malzemeleridir (Lei vd., 2007; Hakamada vd., 2007). İyi işlenebilirlik, yüksek ısı iletkenlik ve yüksek mukavemet/ağırlık oranı gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel uygulamalar için büyük potansiyele sahiptirler (Lv vd., 2009; Kubatik vd., 2017). Ancak, sahip oldukları zayıf aşınma direnci ve korozyon direnci nedeniyle endüstriyel uygulamalardaki kullanımları kısıtlı kalmıştır (Chen vd., 2018; Wu vd., 2010). Magnezyum ve alaşımlarının zayıf aşınma direncini artırmak için birçok yüzey modifikasyon işlemi yapılmıştır. Bunlar; akımsız kaplama (Correa vd., 2013), plazma elektrolitik oksidasyon (Srinivasan vd., 2010), PVD kaplama (Hoche vd., 2011) ve termal spreyleme (Weisheit vd., 1997) olarak sayılabilir.

Yapısal metaller içerisinde hafifliği ile ön plana çıkan magnezyum alaşımları, bu özellikleri nedeniyle otomotiv, havacılık ve uzay sanayisi ile ilgili uygulamalarda tasarımcıların ilgisini çekmektedir (Nam vd., 2018). Otomotiv sektöründe; jant, debriyaj gövdesi, iç kapı kolları, kapı kilidi gövdesi, silindir kapağı ve yanma odaları gibi parçaların imalatında kullanılan magnezyum ve alaşımları, havacılık sektöründe ise üzerine yük binmeyen parçaların (hidrolik deposu ve yakıt deposu gibi) üretiminde ayrıca helikopterlerde vites kutusu, koltuk iskeleti ve pedal gibi parçaların imalatında kullanılmaktadır. Bununla birlikte magnezyumun kemiğin elastisite modülüne diğer metalik implant malzemelere

nazaran daha yakın elastisite modülüne sahip olması, araştırmacıları bu yönde çalışmalara itmiştir. Yapılan çalışmalarda, AZ31 Mg alaşımının zayıf aşınma ve korozyon direncinin biyomedikal uygulamalardaki kullanımını zorlaştığı görülmüştür (Çatar, 2013). Diğer PVD tekniklerinin aksine ark PVD tekniğinde intermetalik fazlar oluşabilmektedir. Bu nedenle kaplama işleminin ardından kaplanmış numunelere ısı işlem uygulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu durum, ark PVD tekniğinin teknolojik uygulamalara adapte edilmesini kolaylaştırmakta ve tercih edilmesini sağlamaktadır (Sönmezoglu vd., 2012). Bu çalışmada, ark PVD kaplama yöntemi kullanılarak AZ31 Mg alaşımının zayıf aşınma direncini iyileştirmek için numune yüzeylerine krom nitrür kaplanmıştır. AZ31 Mg alaşımının yüzey işlemi sonrasındaki aşınma davranışı ve yapısal özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin tribolojik özelliklerini tespit etmek için aşınma deneyleri yapılmıştır. Yapısal analizler için ise XRD ve SEM cihazlarından yararlanılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Deneylerde, 5mm kalınlığında ve 15mm çapındaki AZ31 Mg alaşımı numuneler kullanılmıştır. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. Numunelerin yüzeyleri, kaplama işleminden önce zımparalama ve alümina ile parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Parlatılan numune yüzeyleri etanol ile yıkanarak sıcak hava fanı yardımıyla kurutulmuştur.

Tablo 1: AZ31 Mg alaşımının kimyasal bileşimi

Element	Al	Zn	Fe	Cu	Si	Mn	Mg
% Ağırlık Oranı	3.069	1.133	0.019	0.001	0.131	0.486	Geri kalan

Kaplama işlemine hazır hale getirilen numunelerin yüzeylerine ark PVD yöntemiyle krom nitrür kaplanmıştır. Kaplama işlemi, Barlok PVD Kaplama (İstanbul) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminin parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Turkeyus PODTW&RWT marka aşınma test cihazı kullanılarak işlemsiz ve CrN kaplanmış AZ31 Mg alaşımlarının aşınma davranışı incelenmiştir. Deney numuneleri, kuru sürtünme şartlarında çapı 6mm olan alümina bilye ile aşındırılmıştır. 2N normal yük altında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde aşınma mesafesi 141 metre olarak

belirlenmiştir. Aşınma oranının hesaplanması $U = K/PL$ denklemi yardımıyla yapılmıştır. Bu denklemde, P normal yükü (N), U aşınma oranını (mm³/Nm), L aşınma mesafesini (m) ve K aşınma hacmini (mm³) göstermektedir. Aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınmış yüzeyler SEM cihazı yardımıyla incelenmiştir. XRD analizleri; dalga boyu $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$ ve radyasyon kaynağı CuK α olan Rigaku-2200D/Max marka cihaz ile yapılmıştır. XRD ölçümleri, 1 derece/dakika tarama hızında ve $2\theta = 20-80^\circ$ tarama açısında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2: Kaplama parametreleri

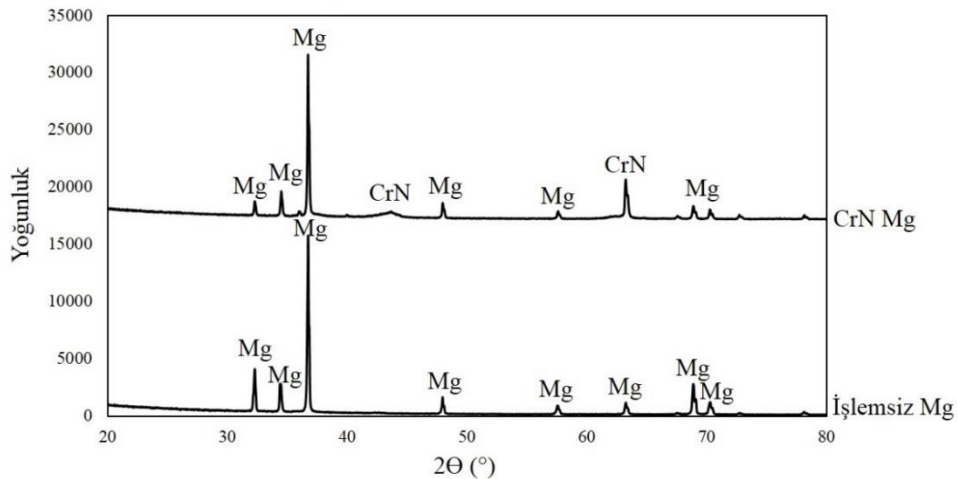
Kaplama Parametreleri	
Taban Malzeme Bias	DC 100 V
Çalışma Basıncı	2.20 - 002 PTR
Çalışma Sıcaklığı	300 - 350 °C
Gaz Akışı	% 40
Gaz Oranı	(N) 70 – 75 ps
Kaplama İşlem Süresi	60 dk.
Hedef Malzemeler	CrN
Glow (Parıltı) Süresi	40 dk.
Glow Aşamaları	20 dk. 240V pulse 20 dk. 280V
Glow Gaz Değerleri	2.0 ps Ar 1.6 H
Ön Isıtma Süresi	60 dk.

3. Bulgular

3.1. Yapısal Analiz

Sahip olduğu kristal kafes yapısı sıkı paket hegzagonal (SPH) olan magnezyum ve alaşımlarının, oda sıcaklığı gibi sıcaklık değerlerinde sınırlı sayıda bağımsız kayma sistemi vardır (Xu vd., 2013). Magnezyumdaki bazal düzlem, sadece iki kayma sisteminin aktif olmasını sağlarken; bazal olmayan kaymalar Von Mises Kriterinin şartlarını karşılamakta zorlanırlar. Bu nedenle Magnezyum ve alaşımları genellikle şekillendirme kabiliyeti zayıf malzemeler olarak anılırlar (Huang vd., 2015). Buna rağmen magnezyum ve alaşımları, sahip

oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranı sayesinde bilim insanlarının üzerinde yoğun bir şekilde çalıştığı önemli bir hafif metaldir. Ayrıca yüzey özellikleri de yeterli seviyede olmadığı için birçok yüzey işlemi uygulanarak incelenmiştir (Lou vd., 2017; Liu vd., 2017; Ma vd., 2017). Şekil 1’de, işlemsiz ve krom nitrür kaplanmış AZ31 Mg alaşımı numunelerin XRD grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere işlemsiz numunedan elde edilen pikler Mg pikleridir (Nam vd., 2018; Wu vd., 2018; Lou vd., 2017). Krom nitrür kaplanan AZ31 Mg alaşımının XRD spektrumu incelendiğinde taban malzemedan yansıyan piklerin varlığı görülmektedir. Ayrıca yüzey yapısında CrN fazının da oluştuğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1: İşlemsiz ve CrN kaplanmış numunelerin XRD grafiği

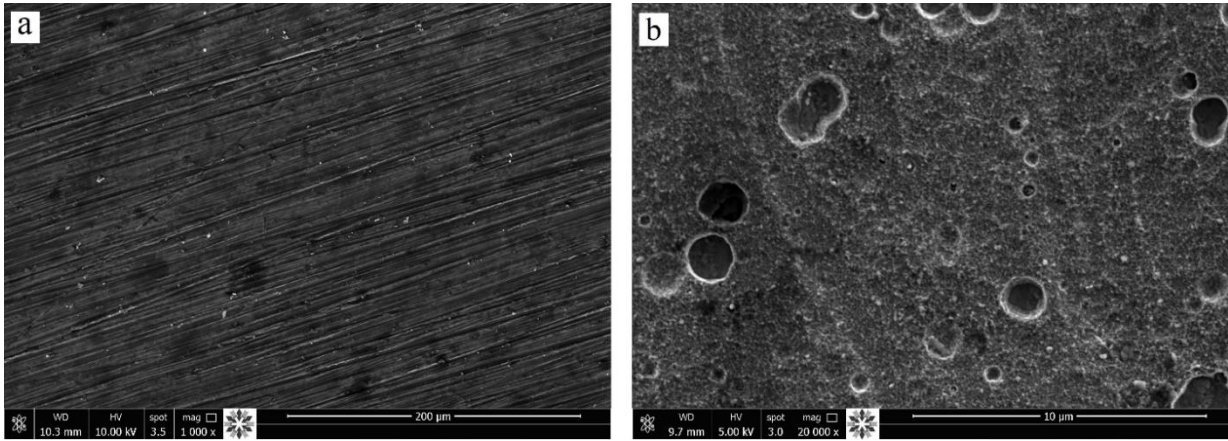
Magnezyum elementi gümüş beyazı bir renge sahiptir (Oğuz, 1990). İçeriğine katılan alaşım elementleriyle rengi griden kahverengiye kadar

değişebilmektedir. CrN kaplanan AZ31 Mg alaşımının sahip olduğu yüzeyin rengi ise grinin egemen olduğu bir görünümdeydir. AZ31 Mg

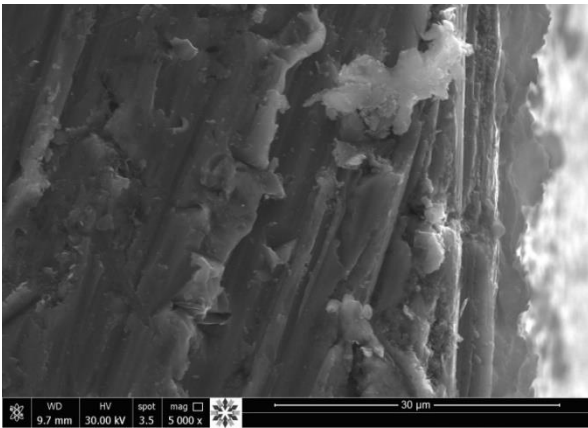
alaşımı numunelerin yüzeylerini gösteren SEM resimleri, işlemsiz numune için Şekil 2a'da ve krom nitrür kaplanmış numune için Şekil 2b'de verilmiştir. Şekil 2b'de görülen krom nitrür kaplanmış yüzeye ait SEM görüntüsünden, CrN kaplanmış yüzeylerin farklı boyutlarda damlacık şeklindeki kraterlerden meydana gelen bir morfolojiye sahip olduğu anlaşılmaktadır (Petrogalli vd., 2014). Ark PVD yönteminde katot yüzeyinde çok küçük bir bölge ergimekte ve burada hatırı sayılır derecede güçlü bir elektron yayını ve buharlaşma oluşmaktadır. Ergiyen yüzeyin küçük bir bölümünde, katot ile elektrik alanının ters istikametine yönelen elektronlar bulunmaktadır. Ayrıca malzemede meydana gelen çok yüksek termoelastik gerilmeler nedeniyle ark spotuna yakın bölgelerde çok yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu nedenle yüzeyde ergime gerçekleştiğinden sıvı metal damlacıkları yüzeyden kopmaktadır. Böylece damlacık kraterleri oluşmaktadır (Kalkan, 2008). PVD yöntemiyle elde edilen filmlerin özellikleri, bu filmleri elde etmek için geniş bir aralıkta hazırlanan kaplama parametrelerine son derece

duyarlıdır. Pürüzlülük, sertlik, kristal oryantasyon ve noktasal kusurların yoğunluğu gibi taban malzemenin yüzey koşulları ile yüzeydeki diğer kir-pas gibi etkenler de filmlerin özelliklerine etki eden diğer parametrelerdir. PVD işleminin düşük sıcaklık şartlarında yapılması durumunda ortaya çıkan sınırlı orandaki yüzeye tutunmuş atom değişkenliği nedeniyle, elde edilen filmler taban malzeme yüzeyindeki kirletici maddelerin varlığına daha duyarlı hale gelebilmektedir (Abela, 2011).

Krom nitrür kaplanmış AZ31 Mg alaşımına ait kesit görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında elde edilen kaplama kalınlığı yaklaşık 3 µm mertebelerindedir. Sertliği deney numunesinden daha yüksek olan kaplama, ince bir film şeklinde elde edildiği için XRD analizlerinde taban malzemeden piklerin yansımalarına neden olmuştur. Nitekim krom nitrür kaplanmış yüzeylere ait XRD spektrumuna bakıldığında taban malzemeden yansıyan piklerin de mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 2: Numunelerin yüzeylerine ait SEM resimleri: (a) İşlemsiz ve (b) CrN kaplanmış



Şekil 3: CrN kaplanmış numunelerin yüzeylerinin kesit görüntüsü

3.2. Tribolojik Analiz

Aşınma ve mikrosertlik deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Kaplanmış numunedeki aşınma oranının daha az olduğu ve mikrosertlik değerinin ise arttığı görülmektedir. Mikrosertlik deneyleri 100g yük altında ve 15 saniye boyunca gerçekleştirilmiştir. Literatüre bakıldığında AZ31 Mg alaşımının yüzeyine farklı kaplamalar uygulandığı görülmektedir. Chen ve arkadaşları, uyguladıkları mikroark oksidasyon işleminden sonra AZ31 Mg alaşımının yüzey sertliğini 76-98 HV olarak elde etmişlerdir (Chen vd., 2017). Bu çalışmada, CrN kaplama sonrasında elde edilen yüzey sertliği değeri ise

115 HV'dir. Magnezyum alaşımlarının yüzeyinde elde edilmek istenen sert kaplamalar, taban malzemenin yüzeyinde oluşan magnezyum oksit tabakasından olumsuz yönde etkilenmektedir. Kaplama ile taban malzeme arasında zayıf bir bağın oluşmasına neden olan metal-oksit tabakasının, zayıf kaplama adezyonundan da sorumlu olduğu kabul edilmektedir (Abela, 2011). Bu oksit tabakası, taban malzemenin sahip olduğu SPH kristal kafesi ile kübik yapıdaki oksidin kristal kafesi arasındaki uyumsuzluk nedeniyle kararsız bir yapıdadır. Ayrıca magnezyum alaşımının nemli bir atmosfere maruz kalması durumunda, magnezyum oksit, hidroksit oluşturacak şekilde reaksiyona girebilmekte ve bu da kaplamanın taban malzemeye adezyonunu tehlikeye atabilmektedir (Busk, 1987).

Tablo 3: AZ31 Mg alaşımının aşınma ve sertlik deneyi sonuçları

	Aşınma Oranı (mm ³ /Nm)	Mikrosertlik Değeri (HV _{0.1})
İşlemsiz	4.65x10 ⁻⁴	42±4
CrN kaplanmış	1.27x10 ⁻⁴	115±6

Magnezyumun yüzeyinde oluşan oksit tabakası, elde edilecek olan kaplamanın kalitesini olumsuz yönde etkilediği gibi yüzey işlemi uygulanmamış magnezyumun da aşınma davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Aşınma deneyleri sonrasında oluşan yüzeylerin SEM resimleri Şekil 4'te verilmiştir. İşlemsiz AZ31 Mg alaşımının aşınma izlerine bakıldığında etkin aşınma mekanizmasının abrazif aşınma olduğu

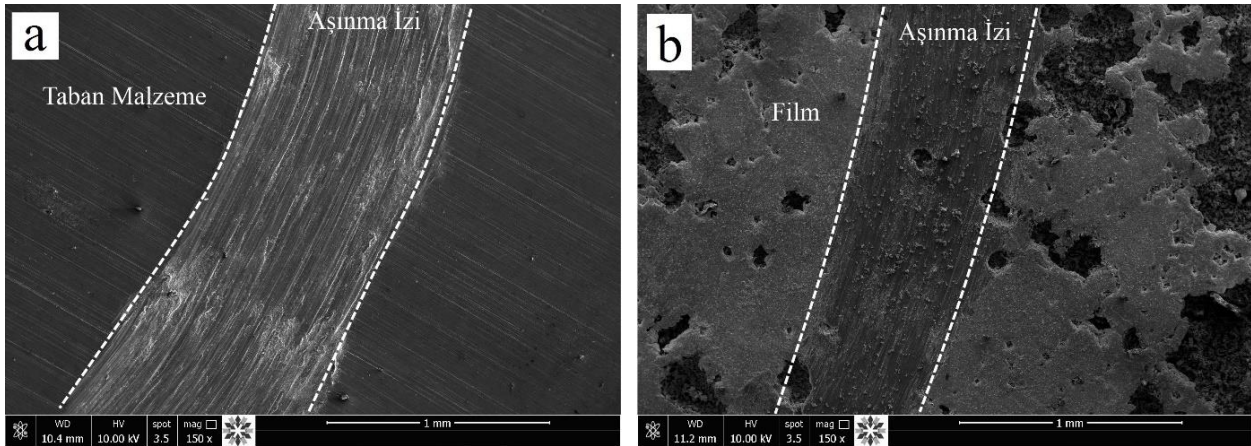
anlaşılmaktadır. Deney esnasında, alümina bilye ile taban malzeme yüzeyi arasında kalan aşınmış parçacıkların abrazif etkisiyle bu durum ortaya çıkmıştır (Şekil 4a). Krom nitrür kaplanan yüzeylerde ise daha az oranda aşınma meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4b). Ayrıca aşınma iz genişliğinin de işlemsiz numuneninkine nazaran daha dar olması, yapılan kaplamanın aşınma direncini olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, AZ31 Mg alaşımlarının yüzeyine PVD yöntemiyle CrN film kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında AZ31 Mg alaşımlarının yapısal ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. CrN kaplama sonrasında işlemsiz numunelere nazaran aşınma direncinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Kaplama, her ne kadar bütün yüzeyde homojen bir şekilde elde edilemese de numunelerin tribolojik özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır. Kaplama sonrasında oluşan yüzeylerde, literatürde daha önce yapılan çalışmalara benzer bir şekilde damlacık şeklinde kraterlerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Uygulanan yüzey işlemi sayesinde AZ31 Mg alaşımının özellikle sürtünmenin olduğu uygulamalarda kullanılabilirliğinin olumlu yönde etkileneceği düşünülmektedir.

Bilgi Notu

Bu çalışma 6-8 Nisan 2017 tarihleri arasında Kırıkkale'de düzenlenen 2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu'nda sözlü bildiri olarak sunulduktan sonra genişletilmiş ve yeniden yapılandırılmıştır.



Şekil 4: Aşınmış yüzeylere ait SEM resimleri: (a) İşlemsiz ve (b) CrN kaplanmış

Kaynaklar

- Abela, S., 2011. Protective Coatings for Magnesium Alloys, Magnesium Alloys - Corrosion and Surface Treatments, Frank Czerwinski (Ed.), ISBN 978-953-307-972-1, InTech, 195-220.
- Busk, R.S., 1987. Magnesium and its alloys, International Magnesium Association, Hilton Head, South Carolina, 497-499.
- Çatar, R., 2013. Magnezyum alaşımlarının farklı ortamlardaki gerilmeli korozyon davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Chen, D., Wang, R.Q., Huang, Z.Q., Wu, Y.K., Zhang, Y., Wu, G.R., Li, D.L., Guo, C.H., Jiang, G.R., Yu, S.X., Shen, D.J. ve Nash, P., 2018. Evolution processes of the corrosion behavior and structural characteristics of plasma electrolytic oxidation coatings on AZ31 magnesium alloy, Applied Surface Science, 434, 326-335.
- Chen, Y.F., Zhou, J.X., Liu, H.T., Song, X.C., Yang, Y.S., 2017. Overall micro-arc oxidation treatment for AZ31B-6061 magnesium-aluminium dissimilar metal connecting parts, Corrosion Engineering Science and Technology, 52 (6), 470-475.
- Correa, E., Zuleta, A.A., Guerra, L., Gomez, M.A., Castano, J.G., Echeverria, F., Liu, H., Skeldon, P. ve Thompson, G.E., 2013. Tribological behavior of electroless Ni-B coatings on magnesium and AZ91D alloy, Wear, 305 (1-2), 115-123.
- Hakamada, M., Furuta, T., Chino, Y., Chen, Y., Kusuda, H. ve Mabuchi, M., 2007. Life cycle inventory study on magnesium alloy substitution in vehicles, Energy, 32 (8), 1352-1360.
- Hoche, H., Schmidt, J., Gross, S., Trossmann, T. ve Berger, C., 2011. PVD coating and substrate pretreatment concepts for corrosion and wear protection of magnesium alloys, Surface & Coatings Technology, 205, 145-150.
- Huang, X.S., Suzuki, K., Chino, Y. ve Mabuchi, M., 2015. Texture and stretch formability of AZ61 and AM60 magnesium alloy sheets processed by high-temperature rolling, Journal of Alloys and Compounds, 632, 94-102.
- Kalkan, N., 2008. PVD yöntemi ile TiN, CrN ve TiN /CrN kaplanmış soğuk iş takım çeliğinin aşınma performanslarının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kubatik, T.F., Lukac, F., Stoullil, J., Ctibor, P., Prusa, F. ve Stehlikova, K., 2017. Preparation and properties of plasma sprayed NiAl10 and NiAl40 coatings on AZ91 substrate, Surface & Coatings Technology, 319, 145-154.
- Lei, M.K., Li, P., Yang, H.G. ve Zhu, X.M., 2007. Wear and corrosion resistance of Al ion implanted AZ31 magnesium alloy, Surface & Coatings Technology, 201 (9-11), 5182-5185.
- Liu, G.X., Wang, J.Y., Bian, K.K. ve Zhu, P.Z., 2017. Preparation and characterization of nanostructured dibasic calcium phosphate coating on magnesium alloy wire, Materials Letters, 209, 323-326.
- Lou, B.S., Lin, Y.Y., Tseng, C.M., Lu, Y.C., Duh, J.G. ve Lee, J.W., 2017. Plasma electrolytic oxidation coatings on AZ31 magnesium alloys with Si₃N₄ nanoparticle additives, Surface & Coatings Technology, 332, 358-367.
- Lv, G.H., Chen, H., Li, L., Niu, E.W., Pang, H., Zou, B. ve Yang, S.Z., 2009. Investigation of plasma electrolytic oxidation process on AZ91D magnesium alloy, Current Applied Physics, 9 (1), 126-130.
- Ma, H.J., Gu, Y.H., Liu, S.J., Che, J.T. ve Yang, D.W., 2017. Local corrosion behavior and model of micro-arc oxidation HA coating on AZ31 magnesium alloy, Surface & Coatings Technology, 331, 179-188.
- Nam, D., Lim, D., Kim, S.D., Seo, D., Shim, S.E. ve Baeck, S.H., 2018. The fabrication of a conversion film on AZ31 containing carbonate product and evaluation of its corrosion resistance, Journal of Alloys and Compounds, 737, 597-602.

- Oğuz, B., 1990. Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon, 1-15.
- Petrogalli, C., Montesano, L., Gelfi, M., La Vecchia, G.M. ve Solazzi, L., 2014. Tribological and corrosion behavior of CrN coatings: Roles of substrate and deposition defects, *Surface & Coatings Technology*, 258, 878-885.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M., Akın, S., 2012. İnce film üretim teknikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28 (5), 389-404.
- Srinivasan, P.B., Liang, J., Blawert, C. ve Dietzel, W., 2010. Dry sliding wear behaviour of magnesium oxide and zirconium oxide plasma electrolytic oxidation coated magnesium alloy, *Applied Surface Science*, 256, 10, 3265-3273.
- Weisheit, A., Lenz, U. ve Mordike, B.L., 1997. Thermal spraying on magnesium alloys to improve the corrosion and wear resistance, *Metall*, 51 (9), 470-474.
- Wu, G.S., Dai, W., Zheng, H. ve Wang, A.Y., 2010. Improving wear resistance and corrosion resistance of AZ31 magnesium alloy by DLC/AlN/Al coating, *Surface & Coatings Technology*, 205 (7), 2067-2073.
- Wu, L., Yang, D.N., Zhang, G., Zhang, Z., Zhang, S., Tang, A.T. ve Pan, F.S., 2018. Fabrication and characterization of Mg-M layered double hydroxide films on anodized magnesium alloy AZ31, *Applied Surface Science*, 431, 177-186.
- Xu, S., Liu, T.M., Chen, H.C., Miao, Z.C., Zhang, Z., Zeng, W., 2013. Reducing the tension-compression yield asymmetry in a hot-rolled Mg-3Al-1Zn alloy via multidirectional pre-compression, *Materials Science and Engineering A*, 565, 96-101.

E^n Uzayında Küresel Eğrileri Karakterize Eden Diferansiyel Denklem ve Çözümü

Differential Equation Characterizing Spherical Curves in E^n and Solution of This Equation

Tuba AĞIRMAN AYDIN*^{1,a}, Mehmet SEZER^{2,b}

¹Bayburt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Alanları Eğitimi, Matematik Bölümü, 69000, Bayburt

²Celal Bayar Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 45140, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 29.03.2018

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 29.06.2018

• Kabul tarihi / Accepted: 22.07.2018

Öz

Bu çalışmada biz öncelikle n - boyutlu Öklid uzayında, Frenet çatısına göre küresel eğrileri karakterize eden n . mertebeden lineer, değişken katsayılı diferansiyel denklem elde ettik. Katsayıları eğrilik ve torsiyon fonksiyonlarına bağlı bu diferansiyel denklem her birim hızlı düzgün küresel eğri tarafından sağlanır. Bu tip denklemleri genellikle analitik olarak çözmek mümkün değildir, bu yüzden biz başlangıç koşulları kullanarak, sıralama noktaları ve Taylor polinomlarına dayalı bir nümerik metot sunduk. Bizim metodumuzla öncelikle, n -boyutlu Öklid uzayında küresel eğrileri karakterize eden diferansiyel denklemin çözülmesi problemini, cebirsel denklemlerin bir sisteminin çözülmesi problemine indirgedik ve sonra Taylor polinomlarının genel terimlerinde bu denklemin yaklaşık çözümünü elde ettik.

Anahtar kelimeler: Frenet çatısı, Küresel eğriler, Lineer Diferansiyel Denklemler, Taylor matrix sıralama metodu

Abstract

In this study, we considered an n^{th} order linear differential equation with variable coefficients characterizing spherical curves according to Frenet frame in Euclidean n -Space E^n . This equation whose coefficients are related to special function, curvature and torsion, is satisfied by the position vector of any regular unit velocity spherical curve. These type equations are generally impossible to solve analytically and so, for approximate solution we presented a numerical method based on Taylor polynomials and collocations points by using initial conditions. Our method reduces the solution of problem to the solution of a system of algebraic equations and the approximate solution is obtained in terms of Taylor polynomials.

Keywords: Frenet frame, Linear differential equations, Spherical curves, Taylor matrix and collocation method

*^a Tuba AĞIRMAN AYDIN; tubagirman@hotmail.com; Tel: (0553) 682 10 49; orcid.org/0000-0001-8034-0723

^b orcid.org/0000-0002-7744-2574

1. Giriş

Euler'in düzlemde tanımladığı eğri kavramı Fujiwara (1914) tarafından üç boyutlu Öklid uzayına taşınmıştır. Bu çalışmadan kısa bir süre sonra sabit genişlikli eğrilerin küre üzerindeki tanımına ulaşılmıştır (Blaschke, 1917). Wong (1963), genel bir eğrinin bir küre üzerinde bulunması koşulunun global bir formülasyonunu vermiştir. Bu formülasyon diferansiyel geometri üzerine yazılan kitaplarda bir eğrinin bir küre üzerinde yatması için bir gerek ve yeter koşul olarak yerini almıştır. Reuleaux (1963) aynı yıllarda yaptığı çalışmada, bu eğrilerin kinematik ve mühendislik uygulamalarına ışık tutmuştur. Gluck (1966) tarafından yapılan çalışma, Öklid uzayında eğrilerin yüksek mertebeden eğriliklerini geometri dünyasına kazandırmıştır. Bir küresel eğriyi karakterize eden diferansiyel denklemin açık olarak çözülebilirliği gösterilmiş ve bu çözüm eğrinin eğrilik yarıçapı ve burulması cinsinden ifade edilmiştir (Breuer ve Gottlieb, 1971). Wong (1972), küresel eğrilerin açık bir karakterizasyonuna ulaşmıştır. Dannon (1981), eğrilerin integral karakterizasyonu üzerine çalışma yapmıştır. Ayrıca Sezer (1989), E^3 - sabit genişlikli eğrileri ve E^4 - küresel eğrileri için elde ettiği Frenet benzeri bir diferansiyel denklem sisteminin integral karakterizasyonlarını vermiş ve bu karakterizasyonları, bir uzay eğrisinin kapalılığı (periyodikliği) ile ilgili bir kriter belirlemede uygulamaya koymuştur (Sezer, 1989b).

Aynı zamanda, şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, küresel eğrilerle ilgili diferansiyel denklem sistemleri, lineer olmayan diferansiyel denklemlere ve integral denklemlere dönüştürülmüş, fakat tam çözümlerine ulaşamamıştır (Akdoğan, 2001; Sezer, 1996).

Biz öncelikle, üçüncü mertebeden, değişken katsayılı lineer diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerini bulmak için Taylor polinomlarını kullanarak bir Taylor matris sıralama metodu geliştirdik. Ardından 4-boyutlu Öklid uzayında merkezli bir küre üzerinde yatan, keyfi hızlı küresel eğrileri karakterize eden diferansiyel denklemleri elde ettikten sonra çözümleri üzerinde çalıştık (Aydın, 2014). Bu çalışmamızda E^n de birim hızlı küresel eğrileri karakterize eden diferansiyel denklemleri elde edip, geliştirdiğimiz Taylor matris sıralama metodunu kullanarak bu denklemlerin yaklaşık çözümlerine ulaştık.

Diferansiyel denklem bazında ele aldığımız küresel eğriler çeşitli mekanizmaların işletilmesin-

de kullanıldığından, bu çalışmamızın sonuçları, makina mühendisliği, kinematik gibi alanlarda yapılan çalışmalarda kullanılabilir. Ayrıca bu eğriler için elde ettiğimiz çözümler literatürde önemli bir boşluğu dolduracaktır.

2. Önbilgiler

2.1. Tanım: $I = \{t: a < t < b\}$ olmak üzere $\alpha: I \subseteq R \rightarrow E^n$ şeklinde tanımlı diferansiyellenebilir α fonksiyonuna E^n de (I, α) koordinat komşuluğu ile tanımlanan bir eğri, $t \in I$ değişkenine de α eğrisinin parametresi denir. Bu eğrinin $da(t)/dt$ türevi her yerde sıfırdan farklı ise bu eğriye regüler (düzgün) eğri denir (Hacısalıhoğlu, 1993).

2.2. Tanım: $M \subset E^n$ eğrisi, $\alpha: I \rightarrow E^n$ ve $s \rightarrow \alpha(s) = (\alpha_1(s), \dots, \alpha_n(s))$ şeklinde verilsin. Bu durumda $\Psi = \{\alpha'(s), \alpha''(s), \dots, \alpha^{(r)}(s)\}$ sistemi lineer bağımsız ve $\forall \alpha^{(k)}, k > r$ için $\alpha^{(k)} \in S_p\{\Psi\}$ olmak üzere ψ den elde edilen $\{V_1, V_2, \dots, V_r\}$ ortanormal sistemine eğrinin Frenet çatısı ve $m \in M$ için $\{V_1(m), \dots, V_r(m)\}$ sistemine ise $m \in M$ noktasındaki Frenet çatısı denir. Burada $V_i, 1 \leq i \leq r$ ye Frenet vektörü adı verilir (Hacısalıhoğlu, 1993).

2.3. Teorem: $M \subset E^n$ eğrisi (I, α) koordinat komşuluğu ile verilsin. $s \in I$ yay parametresi olmak üzere, $\alpha(s)$ noktasında $k_i(s)$ eğrilik fonksiyonu ile Frenet r-ayaklısı arasında aşağıdaki eşitlikler mevcuttur. (Hacısalıhoğlu, 1993).

- 1) $V_1'(s) = k_1(s)V_2(s)$
- 2) $V_i'(s) = -k_{i-1}(s)V_{i-1}(s) + k_i(s)V_{i+1}(s), \quad 1 < i < r$
- 3) $V_r'(s) = -k_{r-1}(s)V_{r-1}(s)$

2.4. Taylor Matris Sıralama Yöntemi: m. mertebeden lineer değişken katsayılı

$$\sum_{k=0}^m R_k(x)\rho^{(k)}(x) = h(x) \quad a \leq x \leq b$$

tipindeki diferansiyel denklemin, başlangıç, sınır veya karışık koşullar altında

$$\rho(x) \cong \sum_{n=0}^N a_n(x-c)^n, \quad a_n = \frac{\rho^{(n)}(c)}{n!}, \quad a \leq c \leq b$$

ile tanımlanan $x = c$ noktası civarında kesilmiş (sonlu) Taylor serisi formunda yaklaşık çözümlerini bulmak için geliştirilmiştir (Sezer, 1996). Burada $R_k(x)$, $h(x)$ ve dolayısıyla $\rho(x)$ fonksiyonları $a \leq x \leq b$ aralığında türevlenebilir (Taylor serisine açılabilir) fonksiyonlardır. a_n , $n = 0, 1, \dots, N$ katsayıları bulunması gereken Taylor katsayıları olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin temeli; bilinmeyen $\rho(x)$ fonksiyonu kesilmiş Taylor serisi açılımı ve türevlerinin matris formlarını ve $x_i = a + \frac{b-a}{N}i$, $i = 0, 1, \dots, N$ standart sıralama noktalarını kullanarak, diferansiyel denklemi bir cebirsel matris denkleme, dolayısıyla a_n Taylor katsayılı bir cebirsel sisteme indirgemeye dayanmaktadır. Böylece verilen bir diferansiyel denklem veya diğer fonksiyonel denklemlerin belli koşullar altında kesilmiş (sonlu) Taylor serisi formunda yaklaşık çözümlerini bulma problemi, cebirsel bir

matris denkleminin çözümünü bulma problemine dönüştürülmüş olmaktadır.

3. E^n Uzayında Küresel Eğrileri Karakterize Eden Diferansiyel Denklemin Elde Edilmesi

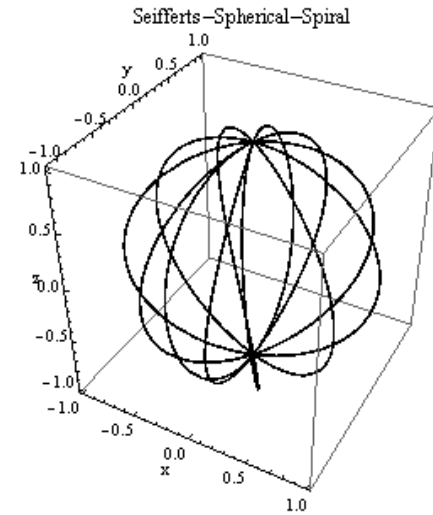
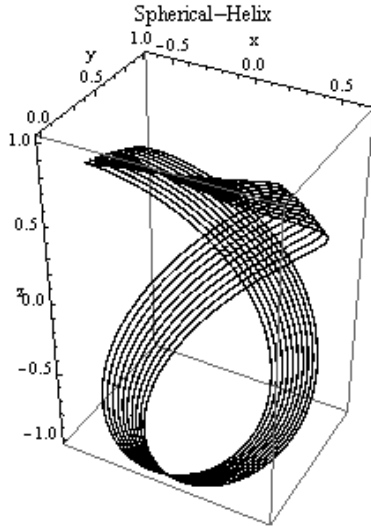
3.1. Tanım: $\vec{C} \in R^4$ olmak üzere,

$$d(\vec{X}, \vec{C}) = \|\vec{X} - \vec{C}\| = r$$

eşitliğini sağlayan $\vec{X} \in R^4$ noktalarının kümesine C merkezli ve r yarıçaplı, 3-boyutlu hiper küre denir ve S^3 ile gösterilir. (Hacısalihoglu, 2000).

3.2. Tanım: $X: I \rightarrow R^4$, düzgün bir eğri ve S^3, E^4 te bir hiper küre olsun. Eğer $X \subset S^3$ ise X eğrisine R^4 uzayında küresel eğri denir (Hacısalihoglu, 2000).

3.3. Örnek:



Şekil 1. Uzayda küresel eğri

Elementer diferansiyel geometri üzerine hazırlanan kitaplarda, $E^{3'}$ te bir eğrinin eğrilik(κ) ve burulmasının(τ)

$$[\tau^{-1}(\kappa^{-1})]' + \tau\kappa^{-1} = 0 \quad (1)$$

diferansiyel denklemini sağlaması, eğrinin bir kürede bulunması için bir gerek ve yeter koşul olarak verilir. Bu ifade eğrilik ve burulmanın hiçbir yerde sıfır olamayacağı ön koşulu aşıkardır. Bu diferansiyel denklemden yola çıkılarak E^3 küresel eğrileri için frenet benzeri bir denklem sistemi gözlemlenmiş ardından bu eğriler $E^{4'}$ e taşınarak gözlemin doğruluğu ispatlanmıştır (Dannon, 1981).

Bu düşünceden hareketle E^n küresel eğrilerini karakterize eden diferansiyel denklem aşağıdaki gibi elde edilir.

α eğrisi, E^n Öklid uzayında birim hızlı bir küresel eğri olsun. Öncelikle bu α eğrisi için E^n de Frenet vektör alanları aşağıdaki gibi alınsın.

$$\begin{aligned} T_1'(s) &= k_1(s)T_2(s) \\ T_i'(s) &= -k_{i-1}(s)T_{i-1}(s) + k_i(s)T_{i+1}(s), \quad 1 < i < n \\ T_n'(s) &= -k_{n-1}(s)T_{n-1}(s) \end{aligned}$$

Burada s yay uzunluğu parametresi ve $k_j(s)$; $j = 1, 2, \dots, (n - 1)$ eğrinin eğrilikleridir.

$\alpha \subset E^n$ eğrisiyle sonsuz yakın $n + 1$ ortak noktası olan, \vec{x}_0 merkezli, a yarıçaplı oskülatör (eğrilik) küresi, $\alpha(s)$ eğrinin üzerinde herhangi bir nokta olmak üzere aşağıdaki gibi ifade edilir (Cheng-Chung, 1981)

$$S^{n-1} = \{\alpha; \alpha \subset E^n, \langle \alpha(s) - x_0, \alpha(s) - x_0 \rangle = a^2\}$$

Burada $f(s) = \langle \alpha(s) - x_0, \alpha(s) - x_0 \rangle - a^2 = 0$ olsun. α eğrisi ile S^{n-1} oskülatör (eğrilik)

küresinin $n + 1$ ortak noktasının olması, aşağıdaki ifadeyle mümkündür.

$$f(s) = f'(s) = f''(s) = \dots = f^{(n)}(s) = 0$$

Şimdi bu düşünceden hareketle $f(s)$ fonksiyonunun n . mertebeye kadar tekrarlayan diferansiyelleri dikkate alınsın ve kolaylık olması açısından \vec{x}_0 noktası $\vec{0}$ noktasına yerleştirilsin.

$$\begin{aligned} f(s) &= \langle \alpha(s), \alpha(s) \rangle - a^2 = 0 \\ \langle \alpha(s), \alpha'(s) \rangle + \langle \alpha'(s), \alpha(s) \rangle &= 0 \Rightarrow \langle \alpha'(s), \alpha(s) \rangle = 0 \\ \langle \alpha(s), T_1(s) \rangle = 0 &\Rightarrow \mathbf{f}_1(s) = \langle -\alpha(s), T_1(s) \rangle = 0 \\ \langle \alpha'(s), T_1(s) \rangle + \langle \alpha(s), T_1'(s) \rangle &= 0 \Rightarrow \langle \alpha(s), k_1(s)T_2(s) \rangle = -1 \\ \langle \alpha(s), T_2(s) \rangle &= -1/k_1(s) \Rightarrow \mathbf{f}_2(s) = \langle -\alpha(s), T_2(s) \rangle = \rho(s) \end{aligned}$$

Burada $\rho(s) = 1/k_1(s)$ eğrinin eğrilik yarıçapı olarak tanımlanır.

$$\begin{aligned} \langle \alpha'(s), T_2(s) \rangle + \langle \alpha(s), T_2'(s) \rangle &= \langle \alpha(s), -k_1(s)T_1(s) + k_2(s)T_3(s) \rangle = -\rho'(s) \\ \langle \alpha(s), T_3(s) \rangle &= -1/k_2(s) \cdot \rho'(s) \Rightarrow \mathbf{f}_3(s) = \langle -\alpha(s), T_3(s) \rangle = 1/k_2(s) \cdot \rho'(s) \\ \langle \alpha'(s), T_3(s) \rangle + \langle \alpha(s), T_3'(s) \rangle &= (-1/k_2(s) \cdot \rho'(s))' \\ \langle \alpha(s), T_4(s) \rangle &= -1/k_3(s) \cdot [(1/k_2(s)) \cdot \rho''(s) + (1/k_2(s))' \cdot \rho'(s) + k_2(s) \cdot \rho(s)] \\ \Rightarrow \mathbf{f}_4(s) &= \langle -\alpha(s), T_4(s) \rangle = 1/k_3(s) \cdot [(1/k_2(s)) \cdot \rho''(s) + (1/k_2(s))' \cdot \rho'(s) + k_2(s) \cdot \rho(s)] \end{aligned}$$

1. Sonuç: Dikkat edilirse elde edilen bu ifade

$f_4(s) \cdot k_3(s) = [(1/k_2(s)) \cdot \rho''(s) + (1/k_2(s))' \cdot \rho'(s) + k_2(s) \cdot \rho(s)]$ eşitliği, E^3 öklid uzayında bir eğrinin bir kürede bulunması için bir gerek ve yeter koşul olarak verilir.

$$\begin{aligned} \langle \alpha'(s), T_4(s) \rangle + \langle \alpha(s), T_4'(s) \rangle &= \{-1/k_3(s) \cdot [(1/k_2(s)) \cdot \rho''(s) + (1/k_2(s))' \cdot \rho'(s) + k_2(s) \cdot \rho(s)]\}' \\ \langle \alpha(s), T_5(s) \rangle &= -1/k_4(s) \{ (1/k_3(s) \cdot k_2(s)) \cdot \rho'''(s) \\ &+ [(1/k_3(s) \cdot k_2(s))' + 1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))'] \cdot \rho''(s) \\ &+ [(1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' + k_2(s)/k_3(s) + k_3(s)/k_2(s)] \cdot \rho'(s) \\ &+ (k_2(s)/k_3(s))' \cdot \rho(s) \} \\ \Rightarrow \mathbf{f}_5(s) &= \langle -\alpha(s), T_5(s) \rangle \\ &= 1/k_4 \{ (1/k_3(s) \cdot k_2(s)) \cdot \rho'''(s) \\ &+ [(1/k_3(s) \cdot k_2(s))' + 1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))'] \cdot \rho''(s) \\ &+ [(1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' + k_2(s)/k_3(s) + k_3(s)/k_2(s)] \cdot \rho'(s) \\ &+ (k_2(s)/k_3(s))' \cdot \rho(s) \} \end{aligned}$$

2. Sonuç: Burada da yukarıdakine benzer bir sonuç elde edilir.

$f_5(s) \cdot k_4(s) = (1/k_3(s) \cdot k_2(s)) \cdot \rho'''(s) + [(1/k_3(s) \cdot k_2(s))' + 1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))'] \cdot \rho''(s) + [(1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' + k_2(s)/k_3(s) + k_3(s)/k_2(s)] \cdot \rho'(s) + (k_2(s)/k_3(s))' \cdot \rho(s)$ eşitliği, E^4 uzayında bir eğrinin bir kürede bulunması için bir gerek ve yeter koşul olarak verilir.

$$\begin{aligned} \langle \alpha'(s), T_5(s) \rangle + \langle \alpha(s), T_5'(s) \rangle &= -1/k_5(s) \{ (1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot k_2(s)) \cdot \rho^{(4)}(s) \\ &+ [(1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot k_2(s))' + 1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot k_2(s))]' \\ &+ 1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot (1/k_2(s))' \} \cdot \rho'''(s) \\ &+ [k_4(s)/k_3(s) \cdot k_2(s) + (1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot k_2(s))')]' \\ &+ (1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' \\ &+ k_3(s)/k_4(s) \cdot k_2(s) + k_2(s)/k_4(s) \cdot k_3(s) + 1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')]' \cdot \rho''(s) \\ &+ [k_4(s)/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))' + (k_3(s)/k_4(s) \cdot k_2(s))]' \\ &+ (k_2(s)/k_4(s) \cdot k_3(s))' + (1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')')' \\ &+ 1/k_4(s) \cdot (k_2(s)/k_3(s))' \} \cdot \rho'(s) \\ &+ [k_4(s) \cdot k_2(s)/k_3(s) + (1/k_4(s) \cdot (k_2(s)/k_3(s))')]' \cdot \rho(s) \\ \Rightarrow \mathbf{f}_6(s) &= \langle -\alpha(s), T_6(s) \rangle = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 1/k_5(s) \{ (1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot k_2(s)) \cdot \rho^{(4)}(s) \\
 & + [(1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot k_2(s))' + 1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot k_2(s))' \\
 & + 1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot (1/k_2(s))'] \cdot \rho'''(s) \\
 & + [k_4(s)/k_3(s) \cdot k_2(s) + (1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot k_2(s))')' \\
 & + (1/k_4(s) \cdot k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' + \\
 & k_3(s)/k_4(s) \cdot k_2(s) + k_2(s)/k_4(s) \cdot k_3(s) + \\
 & 1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')'] \cdot \rho''(s) \\
 & + [k_4(s)/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))' + (k_3(s)/k_4(s) \cdot k_2(s))' + \\
 & (k_2(s)/k_4(s) \cdot k_3(s))' + (1/k_4(s) \cdot (1/k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')')' \\
 & + 1/k_4(s) \cdot (k_2(s)/k_3(s))'] \cdot \rho'(s) + \\
 & [k_4(s) \cdot k_2(s)/k_3(s) + (1/k_4(s) \cdot (k_2(s)/k_3(s))')'] \cdot \rho(s) \}
 \end{aligned}$$

işlemlere bu şekilde devam edilirse, nihai olarak $f_{n-2}(s)$, $f_{n-1}(s)$ ve $f_n(s)$ fonksiyonları yaklaşık olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
 f_{n-2}(s) &= \langle -\alpha(s), T_{n-2}(s) \rangle \\
 &= 1/k_{n-3}(s) \{ [1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)] \cdot \rho^{(n-4)}(s) + \\
 & [(1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' \\
 & + 1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & 1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \cdot (1/k_{n-6}(s) \cdot k_{n-7}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 & 1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s))'] \cdot \rho^{(n-5)}(s) + \\
 & [(k_{n-4}^2(s) + k_{n-5}^2(s) + \dots + k_2^2(s)) / (k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)) + \\
 & (1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \cdot (1/k_{n-6}(s) \cdot k_{n-7}(s) \dots k_2(s))')' + \dots + \\
 & (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \cdot k_{n-7}(s) \dots k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' + \\
 & 1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot (1/k_{n-6}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots)'] \cdot \rho^{(n-6)}(s) \\
 & \left[\left((k_{n-5}^2(s) + k_{n-6}^2(s) + \dots + k_2^2(s)) / (k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)) \right)' + \right. \\
 & \left. (1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot (1/k_{n-6}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots)')' + \right. \\
 & \left. k_{n-4}(s)/k_{n-5}(s) \cdot (1/k_{n-6}(s))' + 1/k_{n-4}(s) \cdot (k_{n-6}(s)/k_{n-5}(s))' \right] \\
 & \cdot \rho^{(n-7)}(s) + \dots + D_2 \cdot \rho''(s) + D_1 \cdot \rho'(s) + D_0 \cdot \rho(s) \\
 f_{n-1}(s) &= \langle -\alpha(s), T_{n-1}(s) \rangle \\
 &= 1/k_{n-2}(s) \{ [1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)] \cdot \rho^{(n-3)}(s) + \\
 & [(1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s))' \\
 & + 1/k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & 1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 & 1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s))'] \cdot \rho^{(n-4)}(s) + \\
 & [(k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s)) / (k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)) + \\
 & (1/k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \dots + \\
 & (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' + \\
 & 1/k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots)'] \cdot \rho^{(n-5)}(s) \\
 & \left[\left((k_{n-4}^2(s) + k_{n-5}^2(s) + \dots + k_2^2(s)) / (k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)) \right)' + \right. \\
 & \left. (1/k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots)')' + \right. \\
 & \left. k_{n-3}(s)/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s))' + 1/k_{n-3}(s) \cdot (k_{n-5}(s)/k_{n-4}(s))' \right] \\
 & \rho^{(n-6)}(s) + \dots + E_2 \cdot \rho''(s) + E_1 \cdot \rho'(s) + E_0 \cdot \rho(s) \\
 \langle \alpha'(s), T_{n-1}(s) \rangle + \langle \alpha(s), T_{n-1}'(s) \rangle &= \\
 \langle \alpha(s), -k_{n-2}(s)T_{n-2}(s) + k_{n-1}(s)T_n(s) \rangle &= \\
 -[1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_2(s)] \cdot \rho^{(n-2)}(s) - \\
 [(1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_2(s))' + \\
 1/k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s))' + \\
 1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' + \\
 1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s))'] \cdot \rho^{(n-3)}(s) - \\
 [(1/k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s))')' +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/.k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \dots + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).k_{n-4}(s) \dots k_3(s)(1/k_2(s))')' + \\
 & (k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s))/(k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s)) + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \dots + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_3(s).(1/k_2(s))')' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots')')'] \\
 & .\rho^{(n-4)}(s) - \\
 & [((k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s))/(k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')')' + \dots + \\
 & (1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_3(s).(1/k_2(s))')')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots')')')' + \\
 & \left((k_{n-4}^2(s) + k_{n-5}^2(s) + \dots + k_2^2(s))/(k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s)) \right)' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots')')')' + \\
 & k_{n-3}(s)/k_{n-2}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s))' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(k_{n-5}(s)/k_{n-4}(s))'].\rho^{(n-5)}(s) \\
 & - \dots - F_2.\rho''(s) - F_1.\rho'(s) - F_0.\rho(s) \\
 f_n(s) = \langle -\alpha(s), T_n(s) \rangle = & 1/k_{n-1}(s). \{ [1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s)].\rho^{(n-2)}(s) \\
 & + [(1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/.k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).k_{n-4}(s) \dots k_3(s)(1/k_2(s))'].\rho^{(n-3)}(s) + \\
 & [(1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/.k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \dots + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).k_{n-4}(s) \dots k_3(s)(1/k_2(s))')' + \\
 & (k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s))/(k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s)) + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \dots + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_3(s).(1/k_2(s))')' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots')')' + \\
 & k_{n-2}(s)/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s) \dots k_2(s)].\rho^{(n-4)}(s) + \\
 & [((k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s))/(k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')')' + \dots + \\
 & (1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_3(s).(1/k_2(s))')')' + \\
 & (1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots')')')' + \\
 & \left((k_{n-4}^2(s) + k_{n-5}^2(s) + \dots + k_2^2(s))/(k_{n-2}(s).k_{n-3}(s) \dots k_2(s)) \right)' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).(1/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))') \dots')')')' + \\
 & k_{n-3}(s)/k_{n-2}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s))' + \\
 & 1/k_{n-2}(s).k_{n-3}(s).(k_{n-5}(s)/k_{n-4}(s))' + \\
 & k_{n-2}(s)/k_{n-3}(s).(1/k_{n-4}(s).k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & k_{n-2}(s)/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).(1/k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_2(s))' + \\
 & k_{n-2}(s)/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).k_{n-5}(s).(1/.k_{n-6}(s).k_{n-7}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 & k_{n-2}(s)/k_{n-3}(s).k_{n-4}(s).k_{n-5}(s).k_{n-6}(s) \dots k_3(s)(1/k_2(s))'].\rho^{(n-5)}(s) + \\
 & + \dots + (F_2 + D_2).\rho''(s) + (F_1 + D_1).\rho'(s) + (F_0 + D_0).\rho(s) +
 \end{aligned}$$

3. Sonuç: Burada $f_n(s)$, $k_{n-1}(s)$ eşitliği, E^{n-1} uzayında bir eğrinin bir kürede bulunması için bir gerek ve yeter koşul belirler.

$$\begin{aligned}
 f'_n(s) &= -\langle \alpha'(s), T_n(s) \rangle - \langle \alpha(s), T'_n(s) \rangle = \langle -\alpha(s), -k_{n-1}(s)T_{n-1}(s) \rangle = \\
 &= [1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \dots k_2(s)] \cdot \rho^{(n-1)}(s) + \\
 &+ [(1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \dots k_2(s))]' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_2(s))' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s))' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s))' \cdot \rho^{(n-2)}(s) + \\
 &+ [(1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)))]' + \dots + \\
 &+ (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s)))]' + \\
 &+ (k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s)) / (k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \dots k_2(s)) + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)))]' + \dots + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_3(s) \cdot (1/k_2(s)))]' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s)))]' \\
 &+ \dots + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_3(s) \cdot (1/k_2(s)))]' \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s)))]' \dots)]' \\
 &+ k_{n-2}(s) / k_{n-1}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s) \cdot \rho^{(n-3)}(s) + \\
 &+ \dots + G_2 \cdot \rho''(s) + G_1 \cdot \rho'(s) + G_0 \cdot \rho(s)
 \end{aligned}$$

Diğer taraftan $f_{n-1}(s) = \langle -\alpha(s), T_{n-1}(s) \rangle$ olduğundan aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{aligned}
 f'_n(s) &= -k_{n-1}(s)f_{n-1}(s) \\
 f'_n(s) + k_{n-1}(s)f_{n-1}(s) &= 0
 \end{aligned}$$

4. Sonuç: Bu elde edilen $f'_n(s) + k_{n-1}(s)f_{n-1}(s) = 0$ eşitliği, E^n uzayında bir eğrinin bir kürede bulunması için bir gerek ve yeter koşul belirler. Daha açık bir ifadeyle burada E^n öklid uzayında küresel eğrileri karakterize eden diferansiyel denklem elde edilmiş oldu. Bu denklem aşağıdaki gibi $(n - 1)$. mertebeden, değişken katsayılı, lineer, homojen bir diferansiyel denklemdir.

$$\begin{aligned}
 R_{n-1}(s)\rho^{(n-1)} + R_{n-2}(s)\rho^{(n-2)} + R_{n-3}(s)\rho^{(n-3)} + \dots + R_1(s)\rho' + R_0(s)\rho \\
 = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

4. E^n Uzayında Küresel Eğrileri Karakterize Eden Diferansiyel Denklemin Çözümü

$h(s)=0$ iken (1) diferansiyel denkleminin aşağıdaki ifadeye denk olduğu açıktır.

$$\sum_{k=0}^{n-1} R_k(s)\rho^{(k)}(s) = h(s) \tag{2}$$

Burada $R_k(s)$ fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 R_{n-1}(s) &= 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \dots k_2(s) \\
 R_{n-2}(s) &= (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \dots k_2(s))' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_2(s))' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s))' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))' + \dots + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s))' \\
 R_{n-3}(s) &= (1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)))]' + \dots + \\
 &+ (1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \dots k_3(s) (1/k_2(s)))]' + \\
 &+ (k_{n-3}^2(s) + k_{n-4}^2(s) + \dots + k_2^2(s)) / (k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \dots k_2(s)) + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)))]' + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s)))]' + \dots + \\
 &+ 1/k_{n-1}(s) \cdot (1/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_3(s) \cdot (1/k_2(s)))]' +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & \quad 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \cdot k_{n-6}(s) \dots k_2(s))')' + \\
 & \dots + 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot (1/k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \cdot k_{n-5}(s) \dots k_3(s) \cdot (1/k_2(s))')' \\
 & + 1/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot (1/k_{n-4}(s) \cdot (1/k_{n-5}(s) \dots (1/k_2(s))')')' + \\
 & k_{n-2}(s)/k_{n-1}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s) + \\
 & k_{n-1}(s)/k_{n-2}(s) \cdot k_{n-3}(s) \cdot k_{n-4}(s) \dots k_2(s)
 \end{aligned}$$

Bu şekilde devam ederek $R_{n-4}(s), \dots, R_2(s), R_1(s), R_0(s)$ hesaplanır. Şimdi (1) denkleminin $0 \leq s \leq b$ aralığında,

$$\rho(s) = \sum_{m=0}^N a_m s^m \tag{3}$$

şeklinde kesilmiş Taylor serisi formunda,

$$\begin{aligned}
 \rho(0) &= p_0 \\
 \rho'(0) &= p_1 \\
 \rho''(0) &= p_2 \\
 &\vdots \\
 \rho^{(n-3)}(0) &= p_{n-3} \\
 \rho^{(n-2)}(0) &= p_{n-2}
 \end{aligned}$$

şeklinde genel Taylor polinomlarının başlangıç koşulları altında bir yaklaşık çözümünün olduğu kabul edilsin. Burada $N = n$ olarak alınsın ve bu yaklaşık çözüm matris formunda aşağıdaki gibi gösterilsin.

$$\rho(s) = S(s)A$$

Burada $S(s)$ ve A matrisleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S(s) = [1 \quad s \quad s^2 \quad s^3 \quad s^4 \quad \dots \quad s^n], \quad A = [a_0 \quad a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad \dots \quad a_n]^t$$

Diğer taraftan $\rho(s)$ nin türevleri için,

$$\begin{aligned}
 \rho'(s) &= S(s)BA \\
 \rho''(s) &= S(s)B^2A \\
 \rho'''(s) &= S(s)B^3A \\
 &\vdots \\
 \rho^{(n-3)}(s) &= S(s)B^{n-3}A \\
 \rho^{(n-2)}(s) &= S(s)B^{n-2}A \\
 \rho^{(n-1)}(s) &= S(s)B^{n-1}A
 \end{aligned}$$

olacak şekilde $(n + 1) \times (n + 1)$ tipinde $B, B^2, B^3, \dots, B^{n-3}, B^{n-2}$ ve B^{n-1} matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & n-2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & n-1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 12 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & (n-1) \cdot (n-2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & n \cdot (n-1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 B^3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 24 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & (n-1).(n-2).(n-3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & n.(n-1).(n-2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \vdots & \\
 B^{n-3} &= \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & (n-3)! & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & (n-2)! & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & (n-1)!/2 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & n!/6 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 B^{n-2} &= \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & (n-2)! & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & (n-1)! & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & n!/2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 B^{n-1} &= \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & (n-1)! & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & n! \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Şimdi bütün bu ifadeler (1) eşitliğinde yerine yazılırsa,

$$\{R_{n-1}(s)S(s)B^{n-1} + R_{n-2}(s)S(s)B^{n-2} + R_{n-3}(s)S(s)B^{n-3} + \dots + R_3(s)S(s)B^3 + R_2(s)S(s)B^2 + R_1(s)S(s)B + R_0(s)S(s)\}A = h(s) \tag{4}$$

elde edilir. Matris formundaki bu denklemde belirlenen aralığın $s = s_i, i = 0, 1, \dots, n$ sıralama noktaları kullanılırsa,

$$s_0 = 0, s_1 = b/n, s_2 = 2b/n, s_3 = 3b/n, \dots, s_n = b$$

olmak üzere $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$ için aşağıdaki matrisler elde edilir.

$$\begin{aligned}
 R_k(s) &= \begin{bmatrix} R_k(0) & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & R_k(b/n) & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_k(2b/n) & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & R_k((n-1)b/n) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & R_k(b) \end{bmatrix} \\
 S &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & (b/n) & (b/n)^2 & \dots & (b/n)^{n-1} & (b/n)^n \\ 1 & (2b/n) & (2b/n)^2 & \dots & (2b/n)^{n-1} & (2b/n)^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & (n-1)b/n & ((n-1)b/n)^2 & \dots & ((n-1)b/n)^{n-1} & ((n-1)b/n)^n \\ 1 & b & b^2 & \dots & b^{n-1} & b^n \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Diğer taraftan (4) denklemde

$$\{R_{n-1}(s)S(s)B^{n-1} + R_{n-2}(s)S(s)B^{n-2} + R_{n-3}(s)S(s)B^{n-3} + \dots + R_3(s)S(s)B^3 + R_2(s)S(s)B^2 + R_1(s)S(s)B + R_0(s)S(s)\} = W$$

olarak alınırsa denklem

$$WA = H \rightarrow [W ; H] \tag{5}$$

şekline dönüşür. W matrisini hesaplanıp denklem artırılmış matris şeklinde yazılır. Diğer taraftan (1) denkleminin genel Taylor polinomlarının başlangıç koşulları altında yaklaşık çözümünün bulunabilmesi için koşulların matris denklemini aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\rho(0) = S(0)A = p_0$$

$$\begin{aligned} \rho'(0) &= S(0)BA = p_1 \\ \rho''(0) &= S(0)B^2A = p_2 \\ \rho'''(0) &= S(0)B^3A = p_3 \\ &\vdots \\ \rho^{(n-3)}(0) &= S(0)B^{n-3}A = p_{n-3} \\ \rho^{(n-2)}(0) &= S(0)B^{n-2}A = p_{n-2} \end{aligned}$$

Buradan koşulların matris denkleminin artırılmış matris formunda ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} U_0 &= [0! \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 0 ; p_0] \\ U_1 &= [0 \ 1! \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 0 ; p_1] \\ U_2 &= [0 \ 0 \ 2! \ \dots \ 0 \ 0 \ 0 ; p_2] \\ &\vdots \\ U_{n-2} &= [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ (n-2)! \ 0 \ 0 ; p_{n-2}] \end{aligned}$$

olmak üzere aşağıdaki artırılmış matris elde edilir.

$$U = \begin{bmatrix} 0! & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & ; & p_0 \\ 0 & 1! & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & ; & p_1 \\ 0 & 0 & 2! & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & ; & p_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & ; & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & (n-2)! & 0 & 0 & ; & p_{n-2} \end{bmatrix}$$

Burada $P = \begin{bmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{n-2} \end{bmatrix}$ olmak üzere aşağıdaki eşitlik aşikardır.

$$UA = P \rightarrow [U ; P]$$

(6)

(5) ve (6) eşitliklerinden $W^*A = H^*$ elde edilir.

$$[W^* ; H^*] = \begin{bmatrix} w_{00} & w_{01} & \dots & w_{0(n-2)} & w_{0(n-1)} & w_{0n} & ; & h_0 \\ w_{10} & w_{11} & \dots & w_{1(n-2)} & w_{1(n-1)} & w_{1n} & ; & h_1 \\ 0! & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & ; & p_0 \\ 0 & 1! & \dots & 0 & 0 & 0 & ; & p_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & ; & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (n-2)! & 0 & 0 & ; & p_{n-2} \end{bmatrix}$$

Burada;

$$\begin{aligned} w_{00} &= R_0(0), \quad w_{01} = R_1(0), \dots, \quad w_{0(n-2)} = (n-2)!R_{n-2}(0) \\ w_{0(n-1)} &= (n-1)!R_{n-1}(0), \quad w_{0n} = 0, \quad w_{10} = R_0(b/n), \\ w_{11} &= (b/n).R_0(b/n) + R_1(b/n), \dots, \\ w_{1(n-2)} &= (b/n)^{n-2}.R_0(b/n) + (n-2).(b/n)^{n-3}.R_1(b/n) + \\ &+ (n-2).(n-3).(b/n)^{n-4}.R_2(b/n) \\ &+ (n-2).(n-3).(n-4).(b/n)^{n-5}.R_3(b/n) + \dots + \\ &(n-2)!(b/n).R_{n-3}(b/n) + (n-2)!R_{n-2}(b/n), \\ w_{1(n-1)} &= (b/n)^{n-1}.R_0(b/n) + (n-1).(b/n)^{n-2}.R_1(b/n) + \\ &(n-1).(n-2).(b/n)^{n-3}.R_2(b/n) \\ &+ (n-1).(n-2).(n-3)(b/n)^{n-4}.R_3(b/n) + \dots + \\ &(n-1)!(b/n).R_{n-2}(b/n) + (n-1)!R_{n-1}(b/n), \\ w_{1n} &= (b/n)^n.R_0(b/n) + n.(b/n)^{n-1}.R_1(b/n) + \\ &n.(n-1).(b/n)^{n-2}.R_2(b/n) + n.(n-1).(n-2).(b/n)^{n-3}.R_3(b/n) \\ &+ \dots + (n!/2).(b/n)^2.R_{n-2}(b/n) + n!(b/n).R_{n-1}(b/n) \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Ayrıca h_0 ve h_1 sıfırdır. Böylece bilinmeyenler matrisi $A = W^{*-1}H^*$ olarak bulunur. Buna göre $A = [a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ \dots \ a_n]^t$ olduğundan aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} a_0 &= p_0, \quad a_1 = p_1, \quad a_2 = (1/2!)p_2, \dots, \quad a_{n-2} = [1/(n-2)!]p_{n-2}, \\ a_{n-2} &= 1/(n-2)!p_{n-2} \\ a_{n-1} &= (w_{00}w_{1n} - w_{0n}w_{10}/w_{1(n-1)}w_{0n} - w_{1n}w_{0(n-1)}) \cdot p_0 + \\ &(w_{11}w_{00} - w_{01}w_{1n}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_1 + \dots + \\ &1/(n-2)!(w_{1(n-2)}w_{0n} - w_{0(n-2)}w_{1n}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_{n-2} \\ a_n &= (w_{00}w_{1(n-1)} - w_{10}w_{0(n-1)}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_0 + \\ &(w_{01}w_{1(n-1)} - w_{11}w_{0(n-1)}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_1 \end{aligned}$$

$$+ \dots + 1/(n - 2)!$$

$$\cdot (w_{0(n-2)}w_{1(n-1)} - w_{1(n-2)}w_{0(n-1)}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_{n-2}$$

Bu a_m bilinmeyenleri (3) eşitliğinde yerine konulursa;

$$\rho(s) = p_0 + p_1s + (1/2!) p_2 s^2 + \dots + 1/(n - 2)! p_{n-2} s^{n-2} +$$

$$[(w_{00}w_{1n} - w_{0n}w_{10}/w_{1(n-1)}w_{0n} - w_{1n}w_{0(n-1)}) \cdot p_0 +$$

$$(w_{11}w_{00} - w_{01}w_{1n}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_1 + \dots +$$

$$1/(n - 2)! (w_{1(n-2)}w_{0n} - w_{0(n-2)}w_{1n}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot$$

$$p_{n-2}] \cdot s^{n-1} +$$

$$[(w_{00}w_{1(n-1)} - w_{10}w_{0(n-1)}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_0 +$$

$$(w_{01}w_{1(n-1)} - w_{11}w_{0(n-1)}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot p_1 + \dots +$$

$$1/(n - 2)! (w_{0(n-2)}w_{1(n-1)} - w_{1(n-2)}w_{0(n-1)}/w_{1n}w_{0(n-1)} - w_{1(n-1)}w_{0n}) \cdot$$

$$p_{n-2}] \cdot s^n$$

elde edilir. Bulunan bu ifade $\alpha \subset E^n$ küresel eğrisinin eğrilik yarıçapı ve aynı zamanda bu eğriyi belirleyen f_2 fonksiyonudur. Benzer yöntemle aynı başlangıç koşulları altında, diğer f_i fonksiyonları bulunur.

Böylece E^n küresel eğrilerini karakterize eden (1) diferansiyel denkleminin çözüm kümesine ulaşılmış olur.

5. Sonuç ve Öneriler

(1) diferansiyel denkleminde $n=3$ özel halinde,

$$R_2(s) = 1/k_2(s) = 1/\tau(s)$$

$$R_1(s) = (1/k_2(s))' = (1/\tau(s))'$$

$$R_0(s) = k_2(s) = \tau(s)$$

olmak üzere aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir.

$$R_2(s)\rho'' + R_1(s)\rho' + R_0(s)\rho = 0 \quad (7)$$

Bu denklem E^3 uzayında küresel eğrileri karakterize eden $\rho(s)$ fonksiyonuna bağlı diferansiyel denklemdir. $\forall n \geq 2$ değeri için küresel eğrileri karakterize eden değişken katsayılı, lineer, homojen bir diferansiyel denklem elde edilebilir. Ayrıca her bir boyut için elde edilen denklemler aynı metotla çözüme kavuşturulabilir.

Herhangi bir uzayda küresel eğrilerin geometrik özelliklerinin yorumlanabilmesi bu eğrileri karakterize eden diferansiyel denklem ya da denklem sistemleri ile mümkündür. Bu çalışmada öncelikle küresel eğrilerin n boyutlu Öklid uzayında karşılığı olan diferansiyel denklem ilk kez açıkça elde edilmiştir. Ardından elde edilen bu denklemin bir integral karakterizasyonu değil yaklaşık bir çözümü bulunmuştur. Bu çözüm ile küresel eğrilerin geometrik özelliklerini Öklid uzayı adına her boyutta irdelemek mümkündür. Ayrıca benzer çalışmalar aynı uzayda farklı özel eğri tipleri için de yapılabilir. Diğer taraftan küresel eğri kavramı farklı uzaylarda ele alınarak elde edilen denklem ya da denklem sistemleri aynı veya farklı yöntemlerle çözülebilir. Belirlenen

sıralama noktalarında, verilen başlangıç koşullarına dayalı ve matrisler yardımıyla elde edilen bu yaklaşık çözüm bu eğri tipinin daha iyi anlaşılması ve değişik uygulama alanlarında kendine kolaylıkla yer edinebilmesi adına önemlidir.

Kaynaklar

Aydın, T.A., 2014. Differential Equations Characterizing Curves Of Constant Breadth And Spherical Curves In E^n -Space And Their Solutions, Doktora Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla

Blaschke, W., 1917. Leipziger Berichte, 67, 290s.

Bruer, S. ve Gottlieb, D., 1971. Explicit Characterization of Spherical Curves, Proc. Amer. Math. Soc., 27 (1), 126-127.

Cheng-Chung, H., 1981. A Differential Geometric Criterion For A Space Curve To Be Closed, Proc. Amer. Math. Soc., 81, (4), 357-361.

Dannon, V., 1981. Integral Characterizations And The Theory of Curves, Proc. Amer. Math. Soc., 81 (4), 600-602.

Euler, L., 1778-1780. De Curvis Triangularibus, Acta Acad. Petropol., 3-30.

Fujivara, M., 1914. On Space Curves Of Constant Breadth, Thoku Math. J., 5, 179-184.

Gluck. H., 1966. Higher Curvatures Of Curves In Euclidean Space, Proc. Amer. Math. Montly, 73, 699-704.

- Hacısalıhoğlu, H.H., 1993. Diferansiyel Geometri, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara, 269s.
- Hacısalıhoğlu, H.H., 1998. Lineer Cebir-Cilt I, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara, 480s.
- Hacısalıhoğlu, H.H., 2000. Diferansiyel Geometri-Cilt II, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara, 340s.
- Karamete A., 1996. Lineer Diferansiyel Denklemlerin Yaklaşık Çözümü İçin Taylor Sıralama Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 43.
- Karger, A. ve Novak, J., 1985. Space Kinematics And Lie Groups, Gordon And Breach Science Publishers.
- Mađden, A., 1990. R^4 – Uzayında Bazı Özel Eğriler Ve Karakterizasyonları, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 34.
- Reuleaux, F., 1963. The Kinematics Of Machinery, Trans. By Kennedy A.B.W., Dover Pub., New York.
- Sezer, M., 1989a. Frenet Benzeri Bir Diferansiyel Denklem Sisteminin İntegral Özellikleri Ve Uygulamaları, II. Ulusal Matematik Sempozyumu, 25 - 28 Eylül 1989, İzmir, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Baskı İşleri, Bildiriler Kitabı, 1. Cilt, 435-444.
- Sezer, M., 1989b. Differential Equations Characterizing Space Curves Of Constant Breadth And A Criterion For These Curves, Doğa TU J. Math., 13 (2), 70-78.
- Sezer, M., 1989c. Differential Equations And Integral Characterizations For E^4 Spherical Curves, Doğa TU J. Math., 13 (3), 125-131.
- Sezer, M., 1996. A Method For The Approximate Solution Of The Second Order Linear Differential Equations In Terms Of Taylor Polynomials, Int. J. Math. Educ. Sci. Technol., 27 (6), 821- 834.
- Wong, Y-C., 1963. A Global Formulation Of The Condition For A Curve To Lie In A Sphere, Monatsh. Math., 67 (4): 363-365
- Wong, Y-C., 1972. On An Explicit Characterization Of Spherical Curves, Proc. Amer. Math. Soc., 34 (1), 239-242.

Suda Çözünen İyonik Türlerin Tespiti İçin Kuantum Nanokristaller İle Floresans Temelli Optik Kimyasal Sensörlerin Geliştirilmesi

Development of Fluorescence-Based Optical Chemical Sensors for Detecting of Ionic Species Soluble In Water By Using Quantum Nanocrystals

Canan BAŞLAK*

Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 42075, Konya

• Geliş tarihi / Received: 16.01.2018 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 04.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 22.07.2018

Öz

Bu çalışmada kuantum nanokristaller olarak bilinen CdTeS yapıları suda dağılılabilen şekilde kolloidal olarak sentezlenmiştir. Elde edilen nanokristallerin analizleri ve karakterizasyonu UV-vis ve floresans spektrofotometrisi, TEM (transmission electron microscope-geçirimsiz elektron mikroskobu), XRD (X-ray diffractometer-X ışını kristalografisi), teknikleri ile yapılmıştır. Elektronik ve biyolojik amaçlı birçok alanda uygulama imkânı sağlayan bu parçacıklar, sensör uygulamaları ile bazı suda bulunan kirletici maddelerin tayini için kullanılmıştır. Elde edilen CdTeS nanokristallerinin floresans özellik göstermeleri ve ortamdaki maddelerle etkileşimleri sonucunda spektroskopik özelliklerinin değişmesi sayesinde, Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Sr^{2+} gibi alkali ve toprak alkali metalleri tayini için optik sensör geliştirilmesinde kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre en yüksek floresans sönümlenmesi Mg^{2+} iyonları için gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: CdTeS, Kuantum nanokristaller, Optik sensörler

Abstract

In this study, CdTeS (nanocrystals) which are known as quantum dots were colloidal synthesized in form of water-dispersible. Analysis and characterization of obtained nanocrystals were carried out by UV-vis and fluorescence spectrophotometry, TEM and XRD techniques. These particles that have been facility of application in electronic and biological areas were used to detect some pollutants with sensor applications. Because of that the obtained CdTeS nanocrystals have fluorescence properties and their spectroscopic properties have been changed by interaction with materials around them, they were used to detect alkaline and alkaline earth metal ions such as Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Sr^{2+} in development of optic sensor. According to the obtained results, the highest fluorescence quenching was observed for Mg^{2+} ions.

Keywords: CdTeS, Quantum dots (nanocrystals), Optic sensors

* Canan BAŞLAK; cananbaslak@gmail.com; cbaslak@selcuk.edu.tr; Tel: (0332) 223 38 98; orcid.org/0000-0003-1444-1272

1. Giriş

Nanokristaller periyodik tablonun II-VI, III-V veya IV-VI grubu elementlerinin birleşmesi sonucu oluşan nano boyutlu malzemelerdir. Boyutları yaklaşık 2-10 nm ya da 10-50 atom kadardır. Özellikle yarıiletken özellikte olanları çok özel ve eşsiz malzemeler olarak bilinmektedir (Jiang, 2008; Jamieson vd., 2007; Xing vd., 2008).

Kuantum nanokristallerin lüminesans karakteristikleri ve yüksek kuantum verimi gibi pek çok optik özellikleri, partikül büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir (Steigerwald ve Brus, 1990; Regulacio ve Han, 2010). Nanokristaller UV ışıkla uyarıldığı zaman görünür bölgede emisyon yaparlar ve boyutlarına bağlı olarak farklı renkte görünürler (Liao vd., 2011).

Kompozisyon, partikül büyüklüğü ve yüzey aktif madde değişimine bağlı olarak kuantum nokta parçacıkların floresans özellikleri ayarlanabilmektedir (Jin vd., 2004; Pons vd., 2009; Wang vd., 2009). Yarı iletken özellik ve farklı parçacık büyüklüğü sayesinde farklı optik ve elektronik özelliğe sahip olan bu kristaller, nanoelektroniklerde, biyoteknoloji alanında, optoelektronik devrelerde ve biyoışaretleme işlemlerinde tercihen kullanılmaktadırlar (Mansur, 2010; Al-Salim vd., 2007; Liang vd., 2009).

Özellikle, ayarlanabilir floresans özellikleri sayesinde bu parçacıkları, kuantum nanokristal temelli optik sensör problemler (Hu vd., 2011; Priyam vd., 2009; Li vd., 2012), biyolojik uygulamalar (Rosenthal vd., 2011) gibi pek çok alanda kullanmak da mümkündür. Kuantum nanokristallerin sensör uygulamaları içerisinde metal iyonları için yapılan tayinler oldukça çok dikkat çekmektedir (Li vd., 2011; Han vd., 2014). Özellikle de sulara mevcut olan ve insan vücudu için önem arz eden Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , bazı alkali ve toprak alkali metallerin tayin edilebilmeleri oldukça önemlidir (Liu vd., 2016).

Bu çalışmada suda çözünebilir, alaşım yapısında nanokristallerin sentezleri yapılmıştır. Elde edilen kristallerin optik ve yapısal karakterizasyonları gerçekleştirilmiş ve suda çözünebilir katyon türlerinin tayini için optik sensör uygulamaları yapılmıştır.

Kuantum nanokristallerle floresans sönmülmesi çalışmaları için kullanılan Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Sr^{2+} gibi alkali ve toprak alkali metal iyonlarının standart çözeltileri ile çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kimyasallar

Kadmiyum klorür ($CdCl_2 \cdot 5/2 H_2O$, %99,9), 3-merkaptopropiyonik asit (MPA, $\geq 99\%$), Toz tellüryum (Te, 200 mesh %99.5), sodyum bor hidrit ($NaBH_4$ -sodyum bor tetra hidrür, %99.99), tiiyüre (CH_4N_2S , $> 99\%$), potasyum hidroksit (KOH), etanol (%99.5), propanol (%99.9) Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir.

Floresans sensörü için kullanılan metaller; kalsiyum nitrat ($Ca(NO_3)_2$), potasyum nitrat (KNO_3), lityum nitrat ($LiNO_3$), baryum klorür ($BaCl_2$), magnezyum klorür ($MgCl_2$), sodyum klorür ($NaCl$) ve stronsiyum klorür ($SrCl_2$) tuzları şeklinde Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir.

2.2. Kullanılan Cihazlar

Çözelti hazırlama ve aktarma işlemlerinde 10-100 μL , 100-1000 μL ve 20-200 μL ayarlanabilen mikropipetler ve pH ayarlama sırasında karıştırma amacıyla WiseStir marka manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.

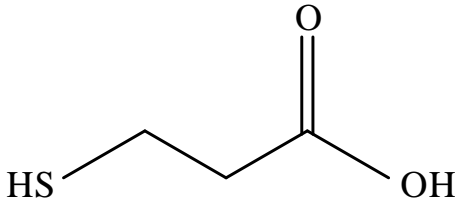
Elde edilen nanokristallerin karakterizasyon çalışmalarında TEM, XRD, UV ve floresans spektrofotometresi gibi cihazlar kullanılmıştır. Kristallerin yapısal karakterizasyonu için Bruker New Advance D8 ve Rigaku marka X ışınları Difraktometresi-Küçük Açılı X ışınları Saçılması (XRD-SAXS), nanokristallerin büyüklük ve şekillerinin tespiti için Jeol Marka Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) kullanılmıştır.

Nanokristalleri uyarak bunların floresans emisyonunu göstermek için 365 nm dalga boylu UV lamba kullanılmıştır. Optik absorpsiyon ölçümleri Biochrom Libra S22 marka UV-vis spektrofotometresinde ve fotolüminesans ölçüm ve sensör çalışmaları ise HITACHI F-7000 marka floresans spektrofotometresinde gerçekleştirilmiştir.

2.3. Nanokristallerin Sentezi

Kristal sentezleri literatürde daha önceden verilen metoda dayanarak gerçekleştirilmiştir (Piven vd., 2008; Başlak vd., 2014). Bu reaksiyonlarda yüzey aktif madde olarak Şekil 1'de yapısı görülen 3-merkaptopropiyonik asit (MPA) kullanılmıştır. Kadmiyum kaynağı olarak da kadmiyumun suda çözünebilir klorür tuzu kullanılmıştır. Nanokristallerin elde edilmesi için kullanılan sentez prosedüründe, 1.0 mmol $CdCl_2 \cdot 5/2 H_2O$ ve

2.0 mmol MPA 200 mL suda çözdürüldükten sonra 1.0 mol/L KOH çözeltisi ile pH 12'ye ayarlanır. Hazırlanan çözelti 30 dakika boyunca N₂ gazına doyurulmuş ve 100 °C sıcaklıkta ısıtılır. Telleryum (Te) ve kükürt (S) kaynağı olarak NaHTe ve tiyoüre kullanılmıştır. 0.5 mmol NaBH₄ ve 0.2 mmol Te toz karışımı N₂ gazına iyice doyurulduktan sonra yaklaşık 10 mL suda ve 80 °C su banyosunda mor renk gözleninceye kadar karıştırılarak bekletilir. S kaynağı için 0.2 mmol tiyoüre N₂ gazına doyurulduktan sonra üzerine yaklaşık 2 mL su ilave edilir. NaHTe ve tiyoüre çözelti karışımları ayrı enjektörler yardımıyla eş zamanlı olarak karışmakta olan Cd-MPA çözeltisi üzerine hızlı bir şekilde ilave edilir. Reaksiyon çözeltisi N₂ gazı ile 100 °C'de reflaks edilir. Elde edilen nanokristaller 2-propanol ile çöktürülür ve yıkanır. Kırmızı-kahverengi renkteki katı gece boyu oda sıcaklığında kurumaya bırakılır.



Şekil 1. 3-Merkaptopropiyonik Asitin (MPA) yapısı.

Sentezlenen ve çalışmada kullanılan CdTeS nanokristallerinin öncelikle stok olarak 10 mg/mL çözeltisi koloidal olarak saf su içerisinde dağıtılarak hazırlanmıştır. Bu stok çözeltiden 0.05 mg/mL CdTeS nanokristal çözeltileri saf su ile seyreltilerek hazırlanmış ve çalışmada kullanılmıştır (Başlak, 2018).

2.4. Deneysel Çalışma

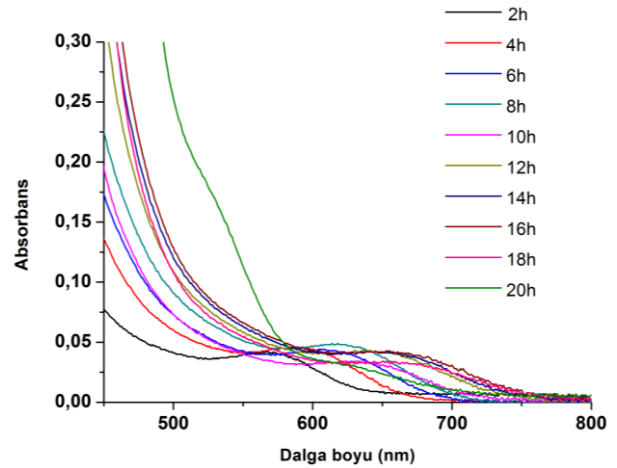
Kuantum nanokristallerle floresans sönümlenmesi çalışmaları için Ba²⁺, Ca²⁺, K⁺, Li⁺, Mg²⁺, Na⁺, Sr²⁺ gibi alkali ve toprak alkali metal iyonlarının standart çözeltileri tayin edilmeye çalışılmıştır. Bu iyonların her birinin tuzlarından 10⁻³ M stok standart çözeltileri saf su içerisinde hazırlanmıştır.

CdTeS nanokristallerinin üzerine farklı hacim miktarlarında (100-1000 µL) sönümleyici eklenmiş ve nanokristallerin floresans şiddetindeki değişimler gözlenmiştir. Bütün çalışmalar oda sıcaklığında (25±1 °C) gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

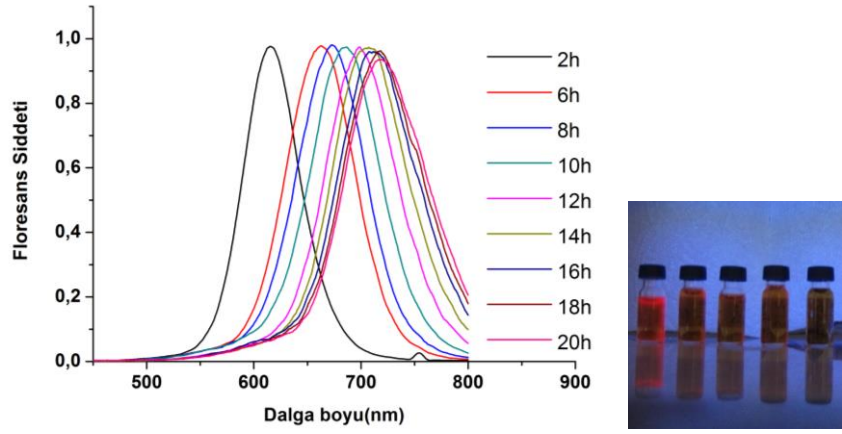
3.1. Absorpsiyon ve Floresans Spektrumu Analizleri

Şekil 2'de farklı kaynatma saatlerinde reaksiyon ortamından alınan MPA kaplı CdTeS alaşım kuantum nanokristallerinin absorpsiyon spektrumları görülmektedir. Reaksiyon süresi 2 saatten 20 saate ilerledikçe elde edilen kristallerin absorpsiyon dalga boyları yaklaşık 560 nm'den 680-700 nm aralığındaki değerlere artışlar göstermiştir. Buradan anlaşıldığı gibi kristallerin partikül büyüklüğü artmıştır. Şekil 3'te ise elde edilen CdTeS alaşım nanokristallerinin sulu çözeltilerinin floresans spektrumu ve UV lambası ile uyarıldıklarında meydana gelen emisyon renkleri görülmektedir. Reaksiyon süresi ilerledikçe elde edilen parçacıkların emisyonları 600 nm'den 750 nm'ye yakın infrared bölgeye doğru kayma göstermiştir (Başlak, 2018).



Şekil 2. CdTeS alaşım nanokristallerinin optik absorpsiyon spektrumları

2 saatlik sentezde floresans pik yarı dalga genişliği 50 nm civarında hatta 50 nm'den daha dar iken, ilerleyen reaksiyon süresi ile birlikte floresans piklerinin yarı dalga pik genişliği de küçük bir miktar artış göstermiştir ve pikler oldukça simetrik ve keskin olarak elde edilmiştir. Alaşım yapıları kuantum nanokristalleri kendisini oluşturan ikili çekirdek partiküllere göre daha yüksek dalga boylarına kadar büyümek mümkündür. Şekil 2 ve 3'ten anlaşıldığı üzere MPA kaplı nanokristallerin uzun dalga boylarına kayan geniş bantlar verdiği görülmektedir. Bu tarz geniş bantların nedeni kristal yüzeyinde bulunan yüzey aktif maddelerin zincir uzunluğu ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Genellikle floresans spektrumunda geniş bantların oluşmasına kristallerin yüzeyinde oluşan atom boşluklarının sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. MPA kaplı CdTeS alaşım nanokristallerinin optik floresans spektrumları ve UV lamba altındaki emisyon renkleri.

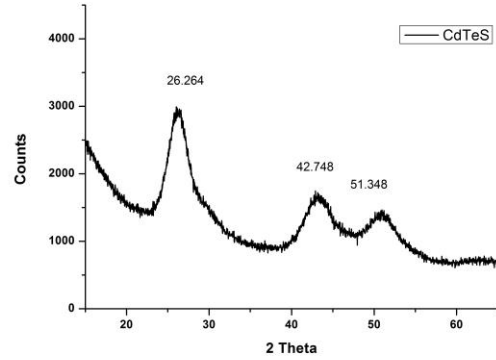
Yüzeyde oluşan atom boşlukları absorpsiyon spektrumunda belirli olmamakla birlikte floresans spektrumunda kolayca fark edilebilmektedir. Kullanılan yüzey aktif maddeler oluşan kristallerin yüzey yapılarından, kristal şekli ve çözünürlüklerine kadar pek çok özelliklerinden sorumludur. 3-merkaptopropiyonik asit kullanılarak gerçekleştirilen sentezlerde yaklaşık 2 saat içerisinde kristal oluşumu 600 nm civarındaki elde edilen emisyon pikinden anlaşılmaktadır (Sperling ve Parak, 2010; Başlak, 2018).

3.2. Cdtes Nanokristallerinin Yapısal Analizleri

XRD piklerinden toplanan kristal kafesi parametrelerine göre, 3 tane birbirinden ayrık ve farklı piklerin pozisyonlarına göre elde edilen CdTeS kristalleri literatüre de uygun olduğu anlaşılmaktadır (Kunstman vd., 2018; Başlak, 2018).

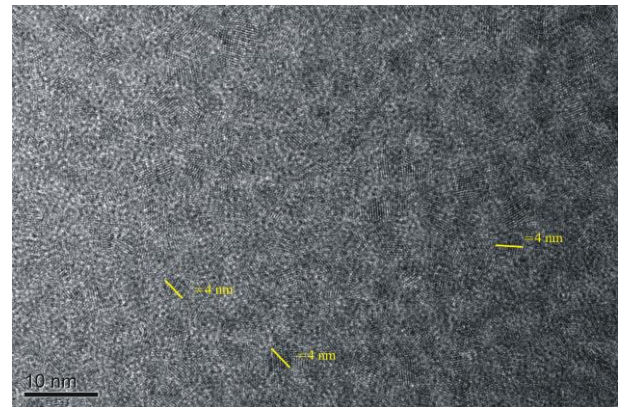
CdTeS alaşım kuantum nanokristallerinin XRD diyagramları kendini oluşturan ikili kristallerin yapısına çok benzemektedir ve bu önceden literatürde rapor edilmiştir (Kunstman vd., 2018). Alaşım veya çekirdek yapısına sahip kristallerin arasında karşılaştırma yapıldığı zaman CdTe nanokristallerinin yapısı içine S elementi dahil oldukça X ışınları saçılması daha büyük açılara kayacaktır. Yani Te veya S konsantrasyonunun baskın olmasına göre XRD spektrumu CdTe veya CdS'e doğru bir kayma gözlenir. Alaşım yapıları kuantum nanokristallerin XRD spektrumu karakteristik tiyol kaplı suda çözünebilir nanokristallerde olduğu gibi, bu yapının kübik (zinc-blende) olduğunu doğrulamaktadır (Piven vd., 2008). Ayrıca, Şekil 4'te görüldüğü gibi alaşım partiküllerinin büyüklüğünün artması ile XRD tepe noktası genişliğinde literatürle uyumlu olarak önemli bir miktarda daralma gözlenmiştir

(Başlak, 2018). Elde edilen kristaller mono dağılıma sahiptir.



Şekil 4. Elde edilen CdTeS alaşım nanokristallerinin X ışınları difraksiyonu diyagramı.

Şekil 5'te görüldüğü gibi elde edilen kristallerin büyük dağılımı oldukça yüksek bir homojenlik göstermektedir ve yaklaşık 4 nm civarında büyüklüğe sahip kristaller başarı ile elde edilmiştir (Başlak, 2018).



Şekil 5. CdTeS nanokristallerinin TEM görüntüleri.

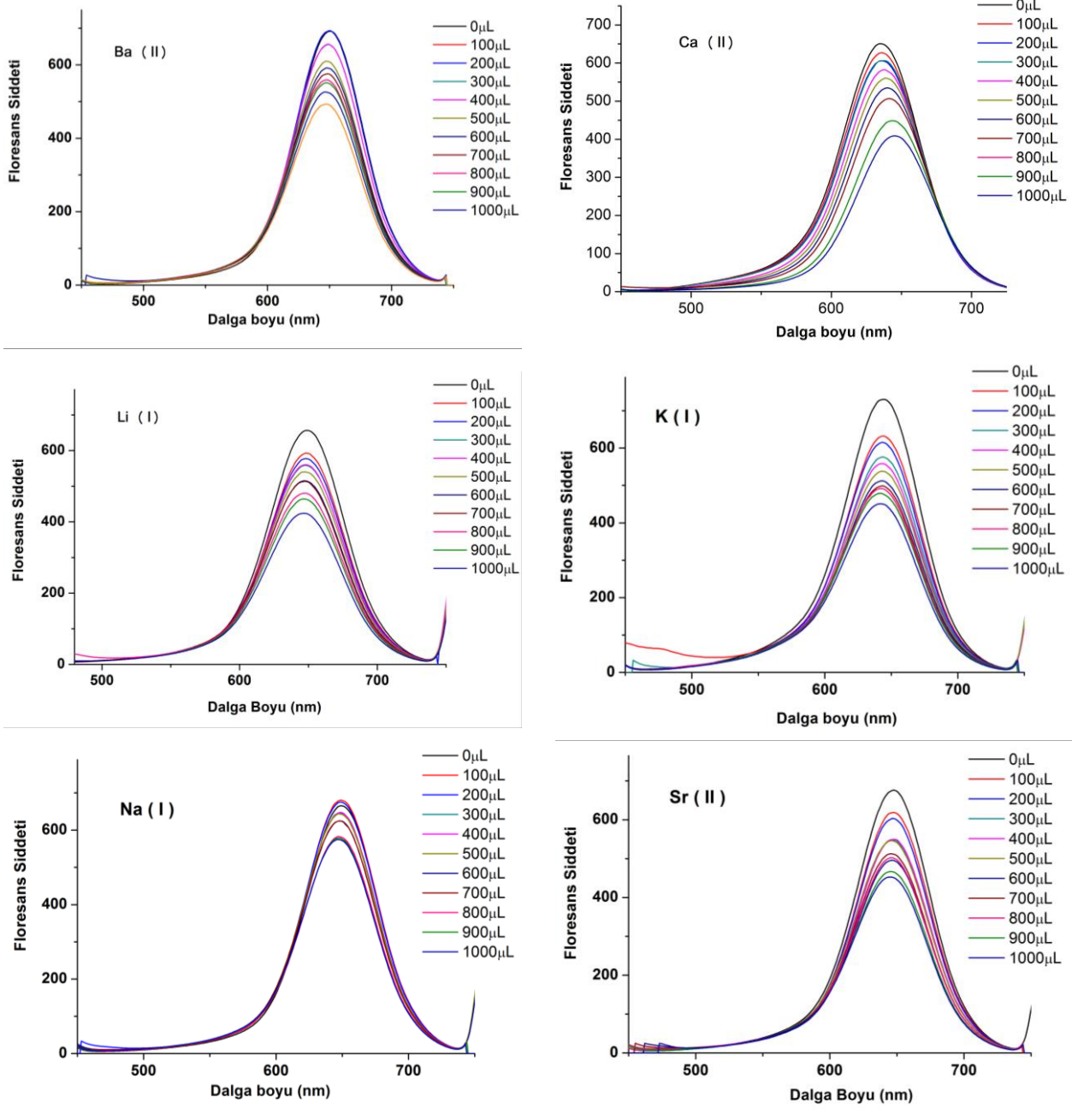
3.3. Floresans Sensörü Çalışması

Elde edilen bulgulara göre Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Li^+ , Na^+ , Sr^{2+} metal iyonlarında benzer oranda sönümlenme meydana gelmiş ve meydana gelen sönümlenme piki tamamen sonlandırmamıştır (Şekil 6). Bu çalışmada sulu ortamda en şiddetli sönümlenme Mg^{2+} iyonları için elde edilmiştir. Bir seri alkali ve toprak alkali metal iyonları içerisinde sadece Mg^{2+} iyonlarında seçicilik tespit edilmiştir (Şekil 7).

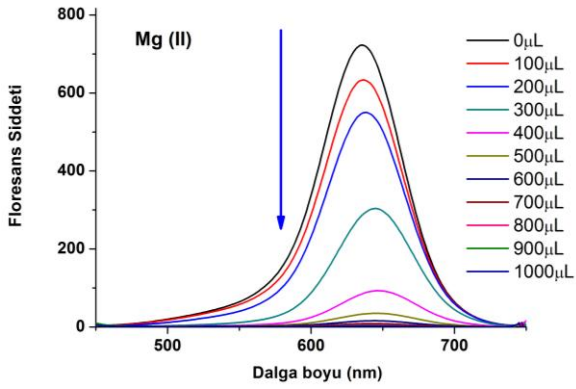
Çalışmada sönümlenme sabitinin hesaplanması için aşağıda gösterilen Stern-Volmer denklemi kullanılmıştır (Eşitlik 1):

$$\frac{I_0}{I} = 1 + K_{SV}[C] \quad (1)$$

I_0 ve I sırasıyla sönümleyici yokken ve varken floresans şiddetini, K_{SV} Stern-Volmer sönümlenme sabitini, $[C]$ ise sönümleyici konsantrasyonunu göstermektedir.



Şekil 6. 0.05 mg/mL CdTeS Nanokristallerinin üzerine Ba (II), Ca (II), Li (I), K (I), Na (I), Sr (II) alkali ve toprak alkali metal iyonlarının 10^{-3} M çözeltilerinin ((a) 100 µL, (b) 200 µL, (c) 300 µL, (d) 400 µL, (e) 500 µL, (f) 600 µL, (g) 700 µL, (h) 800 µL, (i) 900 µL, (j) 1000 µL) miktarlarda ilavesi ile elde edilen floresans spektrumları.

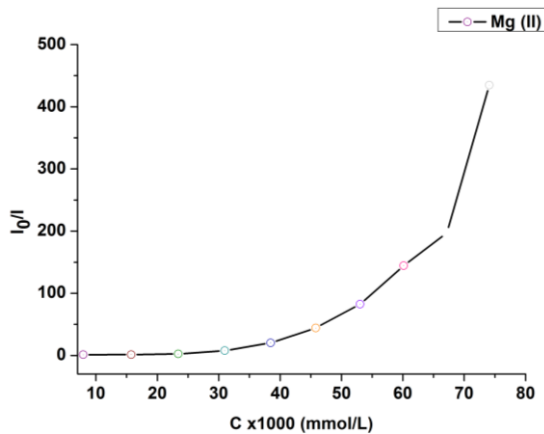


Şekil 7. CdTeS Nanokristallerinin floresans şiddeti üzerine Mg (II) iyonlarının etkisi.

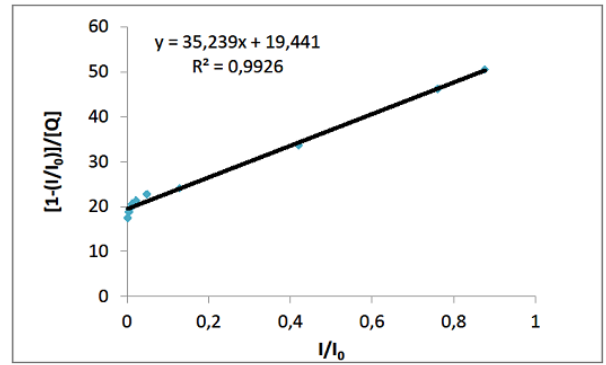
Eşitlik 1'e göre Mg^{2+} iyonu için çizilen Stern-Volmer grafiği incelendiğinde lineer olmayan bir artış meydana gelmiştir (Şekil 8). Bilindiği gibi sadece çarpışma sönümlenmesi meydana geldiği zaman, Stern-Volmer grafikleri lineer bir özellik gösterir. Bununla birlikte hem statik hem de dinamik sönümlenme eş zamanlı meydana geldiği zaman, lineer olmayan bir eğri gözlenir (Han vd., 2014; Başlak vd., 2014). Böyle durumlarda, yeni durumu açıklamak için genişletilmiş Stern-Volmer eğrileri kullanılabilir. Genişletilmiş Stern-Volmer eşitliği şu şekilde ifade edilebilir (Hanagodimatha vd., 2008; Kumar vd., 2009):

$$\frac{1 - (I/I_0)}{[Q]} = K_{SV}^D \left(\frac{I}{I_0}\right) + V \quad (2)$$

Eşitlik 2 kullanılarak Şekil 9'da görüldüğü gibi $[1 - (I/I_0)] / [Q]$ karşılık I/I_0 lineer grafiği çizilmiştir. Bu grafikler sırasıyla 0.9926'lık değerde korelasyon katsayısı ile lineer bir grafik. K_{SV}^D değeri statik sönümlenme sabitidir ve bu grafiklerin eğiminden bulunur. V ise eğrinin eksenini kestiği noktadan hesaplanır. $[Q]$ sönümleyici konsantrasyonunu göstermektedir.



Şekil 8. 0.05 mg/mL CdTeS üzerine farklı miktarlarda Mg (II) eklendiğinde elde edilen Stern-Volmer grafiği.

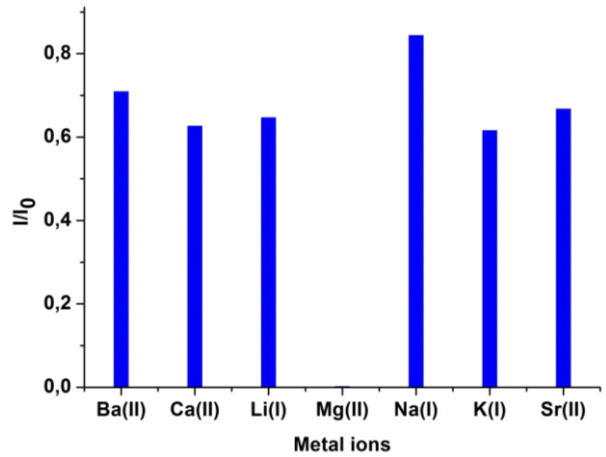


Şekil 9. 0.05 mg/mL CdTeS üzerine farklı miktarlarda Mg (II) eklendiğinde elde edilen genişletilmiş Stern-Volmer eşitliğinden elde edilen $[1 - (I/I_0)] / [Q]$ karşılık I/I_0 grafiği.

Bu çalışmada Mg^{2+} iyonları için statik sönümlenme sabiti (K_{SV}^D) 35.24 ve V ise 19.441 olarak bulunmuştur.

4. Sonuç

Bu grafiklerden de anlaşıldığı üzere en fazla sönümlenme ve floresans şiddeti değişimi Mg^{2+} iyonları için meydana gelmektedir (Şekil 10). Eşitlik 4.1'e göre Mg^{2+} iyonu için çizilen Stern-Volmer grafiği incelendiğinde lineer olmayan bir artış meydana gelmiştir (Şekil 8).



Şekil 10. Metal iyonları türü ile floresans şiddeti değişimleri.

Hem statik hem de dinamik sönümlenme eş zamanlı meydana geldiği zaman, lineer olmayan Stern-volmer eğrisi gözlenir. Bu durumu açıklamak için genişletilmiş Stern-Volmer eğrisi çizilmiştir. Genişletilmiş Stern-Volmer eğrisinden Mg^{2+} iyonları için elde edilen statik sönümlenme sabiti (K_{SV}^D) 35.24 ve V ise 19.441'dir. Sonuçlardan açıkça anlaşıldığı gibi Stern-volmer

eğrilerine göre Mg^{2+} kullanıldığı zaman hem statik hem de dinamik sönümlenme eş zamanlı olarak meydana gelmektedir. Statik ve dinamik sönümlenmenin her ikisinin gözlemlendiği proseslerde Mg^{2+} iyonları nanokristallerle statik sönümlenmeyle sonuçlanan kompleks oluşumuna yol açmaktadır. Bu çalışma, CdTeS nanokristalleri kullanılarak suda bulunan farklı alkali ve toprak alkali metal iyonlarının tespitlerinin yapılması üzerinedir (Şekil 10). En fazla sönümlenme ve floresans şiddeti değişimi Mg^{2+} iyonları için meydana geldiğinden dolayı Mg^{2+} iyonları için tespit limiti $LOD=3\alpha/eğim$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır. α standart sapmayı göstermektedir, eğim değeri olarak lineer grafiğin eğimi kullanılmıştır ve tespit limiti (the limit of detection-LOD) değeri $2.05 \mu g \cdot L^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: BAP-15401113

Kaynaklar

- Al-Salim, N., Young, A.G., Tilley, R.D., McQuillan A.J., ve Xia, J., 2007. Synthesis of CdSeS Nanocrystals in Coordinating and Noncoordinating Solvents: Solvent's Role in Evolution of the Optical and Structural Properties, *Chem. Mater.*, 19, 5185-5193.
- Başlak, C., Kus, M., Cengelöglü, Y. ve Ersoz, M., 2014. A comparative study on fluorescence quenching of CdTe nanocrystals with a serial of polycyclic aromatic hydrocarbons, *Journal of Luminescence*, 153, 177–181.
- Başlak, C., 2018. Development of fluorescence-based optical sensors for detection of Cr (III) ions in water by using quantum nanocrystals, *Res. Chem. Intermediat.*, <https://doi.org/10.1007/s11164-018-3615-6>.
- Han, J., Bu, X., Zhou, D., Zhang, H., ve Yang, B., 2014. Discriminating Cr(III) and Cr(VI) using aqueous CdTe quantum dots with various surface ligands, *RSC Advances*, 4, 32946-32952.
- Hanagodimatha, S.M., Manohara, S.R., Biradar, D.S. ve Hadimani, S.K.B., 2008. Fluorescence Quenching of 2,2"-Dimethyl-P-Terphenyl by Carbon Tetrachloride in Binary Mixtures, *Spectroscopy Letters*, 41, 242-250.
- Hu, D., Zhang, P., Gong, P., Lian, S., Lu, Y., Gao, D., ve Cai, L., 2011. A fast synthesis of near-infrared emitting CdTe/CdSe quantum dots with small hydrodynamic diameter for in vivo imaging probes, *Nanoscale*, 3, 4724-4732.
- Jamieson, T., Bakhshi, R., Petrova, D., Pocock, R., Imani, M. ve Seifalian, A.M., 2007. Biological applications of quantum dots, *Biomaterials*, 28, 4717–4732.
- Jiang, W., 2008. Design And Characterization of Novel Nanomaterials For Cancer Imaging And Therapy, Doktora Tezi, University of Toronto, Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering, Toronto.
- Jin, W.J., Costa-Fernández, J. M., Pereiro, R., ve Sanz-Medel, A. 2004. Surface-modified CdSe quantum dots as luminescent probes for cyanide determination, *Analytica Chimica Acta*, 522, 1–8.
- Kumar, H.M.S., Kunabenchi, R.S., Nishti, S.V., Biradar, J.S. ve Kadadevarmath, J.S., 2009. Effect of Solvent Polarity on Fluorescence Quenching of New Indole Derivatives by CCl_4 , *Spectroscopy Letters*, 42 (5), 226-234.
- Kunstman, P., Coulon, J., Kolmykov, O., Moussa, H., Balan, L., Medjahdi, G., Lulek, J. ve Schneider, R., 2018. One step synthesis of bright luminescent core/shell $CdTe_xS_{1-x}/ZnS$ quantum dots emitting from the visible to the near infrared, *Journal of Luminescence*, 194, 760–767.
- Li, T., Zhou, Y., Sun, J., Tang, D., Guo, S. ve Ding, X., 2011. Ultrasensitive detection of mercury(II) ion using CdTe quantum dots in sol-gel-derived silica spheres coated with calix[6]arene as fluorescent probes, *Microchim Acta*, 175, 113–119.
- Li, T., Zhou, Y., Sun, J. ve Wu, K., 2012. Ultrasensitive Detection of Glyphosate Using CdTe Quantum Dots in Sol-Gel-Derived Silica Spheres Coated with Calix[6]arene as Fluorescent Probes, *American Journal of Analytical Chemistry*, 3, 12-18.

- Liang, G.X., Gu, M.M., Zhang, J.R. ve Zhu, J.J., 2009. Preparation and bioapplication of high-quality, water-soluble, biocompatible, and near-infrared-emitting CdSeTe alloyed quantum dots, *Nanotechnology*, 20, 415103-415112.
- Liao, L., Zhang, H. ve Zhong, X., 2011. Facile synthesis of red-to near-infrared-emitting CdTeSe_{1-x} alloyed quantum dots via an on injection one-pot route, *Journal of Luminescence*, 131, 322–327.
- Liu, S., Wang, H., Cheng, Z. ve Liu, H., 2016. Hexametaphosphate-capped quantum dots as fluorescent probes for detection of calcium ion and fluoride, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 232, 306-312.
- Mansur, H.S., 2010. Quantum dots and nanocomposites, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2 (2), 113-129.
- Piven, N., Susha, A.S., Döblinger, M., Rogach, A.L., 2008. Aqueous Synthesis of Alloyed CdSe_xTe_{1-x} Nanocrystals, *The Journal of Physical Chemistry C*, 112, 15253-15259.
- Pons, T., Lequeux, N., Mahler, B., Sasnouski, S., Fragola, A., Dubertret, B. 2009, Synthesis of Near-Infrared-Emitting, Water-Soluble CdTeSe/CdZnS Core/Shell Quantum Dots, *Chem. Mater.*, 21, 1418–1424.
- Priyam, A., Chatterjee, A., Bhattacharya, S.C. ve Saha, A. 2009. Conformation and activity dependent interaction of glucose oxidase with CdTe quantum dots: towards developing a nanoparticle based enzymatic assay, *Photochemical Photobiological Sciences*, 8, 362–370.
- Regulacio, M.D. ve Han, M.Y., 2010. Composition-Tunable Alloyed Semiconductor Nanocrystals, *Accounts of Chemical Research*, 43 (5), 621-630.
- Rosenthal, S.J., Chang, J.C., Kovtun, O., McBride, R.J. ve Tomlinson, I.D., 2011. Biocompatible Quantum Dots for Biological Applications, *Chemistry and Biology*, 28, 10-24.
- Sperling, R.A. ve Parak, W.J., 2010, Surface modification, functionalization and bioconjugation of colloidal inorganic nanoparticles, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368, 1333–1383.
- Steigerwald, M.L. ve Brus, L.E., 1990. Semiconductor crystallites: a class of large molecules, *Accounts of Chemical Research*, 23, 183-188.
- Xing, B., Li, W. ve Sun, K., 2008. A novel synthesis of high quality CdTe quantum dots with good thermal stability, *Materials Letters*, 62, 3178–3180.
- Wang, R., Calvignanello, O., Ratcliffe, C.I., Wu, X., Leek, D.M., Zaman, M.B., Kingston, D., Ripmeester, J.A., ve Yu, K., 2009. Homogeneously-Alloyed CdTeSe Single-Sized Nanocrystals with Bandgap Photoluminescence, *J. Phys. Chem. C*, 113, 3402–3408.

The Investigation of Effective Parameters on Trip Length of Bikesharing Systems (BSS)

Bisiklet Paylaşım Sistemlerindeki Yolculuk Uzunluğu Üzerinde Etkili Parametrelerin İncelenmesi

Metin Mutlu AYDIN^{*1,a}, Mehmet Sinan YILDIRIM^{2,b}

¹Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 29100, Gümüşhane

²Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 45140, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 26.04.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 10.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 22.07.2018

Abstract

Various bike sharing systems (BSS) were designed and used in different cities of the world in the past decade. Many benefits of the BSS have supplied a rapid growth of this transport mode in all around the world. BSS mainly have many benefits such as traffic (flexible mobility and multimodal transport connections), health (physical activity) and cost (low trip cost). Also a planned BSS can serve an easy access to other public transportation system and can be an important actor of the public transportation system. Especially in many big cities, bike sharing systems becomes an important part of the public transportation and ensure short travel times to users. However, the growing may causes many problems such as demand, safety, effectiveness, cost etc. For this purpose many studies have conducted by the planners, researchers and decision makers to find best solutions to mentioned problems. In the scope of this study, the relation among average temperature, trip length and trip number was examined for a bike sharing system. For this purpose, Capital Bikeshare system (Washington, D.C., Arlington and Alexandria, VA and Montgomery County, MD) is chosen as pilot system to investigate. Study results showed that there is a strong and positive correlation among temperature, trip number and trip length. Additionally, it was obtained that bicycle utilization has a maximum value between 5-10 minutes. This results can be caused by the free utilization duration (30 minutes) of the system for the members.

Keywords: Bike sharing systems, Public transportation, Transport mode, Trip length distribution

Öz

Son on yılda dünyanın farklı şehirlerinde değişik bisiklet paylaşım sistemleri (BPS) tasarlanmış ve kullanılmıştır. Birçok fayda sağlayan bu bisiklet paylaşım sistemleri ile bisiklet ulaşım modu tüm Dünya'da hızlı bir büyüme göstermiştir. BPS temel olarak trafik (esnek mobilite ve çok modlu ulaşım bağlantıları), sağlık (fiziksel aktivite) ve fiyat (düşük yolculuk maliyeti) gibi birçok fayda sağlamaktadır. Ayrıca planlanmış bir BPS diğer ulaşım modlarına kolay bir ulaşım sağlayabilmekte ve toplu taşıma sistemlerinde önemli bir aktör olabilmektedir. Özellikle büyükşehirlerde BPS, toplu taşıma sistemlerinin önemli bir parçası olarak, kullanıcılara kısa yolculuk süreleri sağlamaktadır. Bununla birlikte bu sistemlerin büyümesi talep, güvenlik, efektif olmama, maliyet vb. bazı sorunların ortaya çıkmasına da sebep olabilmektedir. Bu amaçla belirlenen problemlere en iyi çözümü bulabilmek amacıyla planlayıcılar, araştırmacılar ve karar vericiler tarafından birçok araştırma yürütülmektedir. Bu çalışma kapsamında ise sıcaklık, yolculuk uzunluğu ve yolculuk sayısı arasındaki ilişki bir bisiklet paylaşım sistemi için detaylı olarak incelenmiştir. Bu amaçla Capital Bisiklet Paylaşım Sistemi (Washington, D.C., Arlington and Alexandria, VA and Montgomery County, MD) incelenmek amacıyla pilot sistem olarak seçilmiştir. Çalışma sonuçları sıcaklık, yolculuk sayısı ve uzunluğu arasında güçlü ve pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. İlaveten incelenen BPS'de bisiklet kullanımının en çok 5-10 dakika arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç üzerinde en etkili olan parametre ise bisiklet kullanımının ilk 30 dakika ücretsiz olması gösterilebilmektedir.

Anahtar kelimeler: Bisiklet paylaşım sistemleri, Toplu ulaşım, Ulaşım modu, Yolculuk uzunluğu dağılımı

*^a Metin Mutlu AYDIN; metinmutluaydin@gmail.com; Tel: (0506) 269 91 49; orcid.org/0000-0001-9470-716X

^b orcid.org/0000-0001-5347-2456

1. Introduction

The first Bike Sharing System (BSS) was used in the Netherlands in the 1960s (DeMaio, 2009; Shaheen et al., 2010). Since then, many bike sharing systems were designed and used in different cities of the world. There is a great development on bike sharing systems over the past few years (Fishman, 2015) and bike sharing systems are becoming very popular part of shared or multimodal transportation in the past decade (Ranaiefar and Rixey, 2016; Ghasemlou et al., 2015). Many benefits of the BSS have supplied a rapid growth of this transport mode in all around the world. Current statistics shows that there are more than 1000 cities have already started or considering the application of BSS in at least 49 countries with one million shared bikes in 2015 (Meddin and DeMaio, 2015; Metrobike, 2015; Wikipedia, 2015).

BSS mainly have many benefits such as traffic (flexible mobility and multimodal transport connections), health (physical activity) and cost (low trip cost) (Shaheen et al., 2010). Additionally, these systems supply a healthier and short trip facilities especially in big (metropolitan) cities. Also a planned BSS can serve an easy access to other public transportation systems (İmani and Elaru, 2016; Jäppinen et al., 2013) and can be an important actor of the public transportation system. On the contrary of other transportation model bicycle has no safety. Current traffic accident statistics shows that many bicycle users are dying in every year caused by the carelessness of the other vehicle drivers (Ghasemlou et al., 2015). Previous research results showed that BSS is a successful tool for improving of drivers' awareness towards bicycle users. Consequently, it helps to increase the safety for cyclists (Murphy and Usher, 2015).

Bike sharing systems has a great effect on the utilization of bicycle a public transport mode (Shaheen et al., 2013). Over the past years, many studies were conducted to examine effective parameters on bike sharing flows, demands and utilization (Gregerson et al., 2010; Nair et al., 2013; Buck and Buehler, 2012; Krykewycz et al. 2010; Rixey, 2013; Zhang and Mi, 2018; Zhang et al., 2018; Saplıoğlu and Aydın, 2018; Otero et al., 2018). Nair et al. (2013) examined various factors on bike sharing system such as system characteristics, the connection of system with public transit network. In another study, Buck and Buehler (2012) investigated the effect of bicycle lane, population, car ownership and public transit

facilities on bicycle flows of Capital bike sharing system in Washington DC. Rixey (2013) explored effective all critical factors on bike sharing systems. He found population, job density, income levels as critical factors. Faghih-Imani et al. (2014) studied the impact of land use and urban form attributes on BSS utilization. They have found that BSS stations in areas with higher population density or using interest such as restaurants, stores and universities have higher arrivals and departures. Also many conducted studies found temperature and humidity as critical and effective parameters on performance of bike sharing systems (BSS) (Gebhart and Noland, 2014; Faghih-Imani et al., 2014; El-Assi et al., 2017). In another study, Shaheen et al. (2013) investigated that best station settlement, safety and technological management issues as important parameters on bike sharing systems. According to analysis results, pricing structures and customer base found remarkably similar in public bikesharing systems. Also it was found that there is an even greater diversity of funding sources, operational settings, and business models (Shaheen et al., 2013).

Bicycle sharing systems are actively used in all different metropolitan cities in all over the world such as New York, Vienna, Copenhagen, Helsinki, Amsterdam, Marseille, Budapest, Montreal, Rio de Janeiro, Beijing, İstanbul etc. These systems are actively used in Turkey and especially in warmer climate cities such as Eskişehir, İskenderun, Kocaeli, Konya, Muğla, Trabzon, Antalya, Kayseri etc. In this paper, to examine the relation between trip length distribution, bike sharing demand and temperature effect Capital Bikeshare Systems which puts over 3100+ bicycles for the utilization from over the 370 stations across Washington, D.C., Arlington and Alexandria, VA and Montgomery County, MD were chosen as an example bikesharing system for the investigation. In the analysis, compiled data were used from minute by minute readings of bicycle availability at 397 stations on the Capital Bikeshare Systems website in 2015. To evaluate the performance of Capital Bikeshare system, average trip length and distribution, relation among temperature, trip number and trip length was examined.

2. Data Collection

In this study, The Capital Bikeshare System (CBS) is chosen as an example bikesharing system for the investigation. Because Capital Bikeshare System is the one of the largest and

longest public bicycle-sharing systems around the world (Figure 1) and system data is available on its online website (as daily, monthly, quarterly and yearly). Additionally, weather conditions data of the Capital Bikeshare System cities can be obtained from United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). In the study, all necessary data were obtained from the CBS and NOAA’s online websites digitally.

Capital Bikeshare System opened on September 20, 2010 with 1,100 bikes at 114 stations—100 in

all eight wards of the District of Columbia and 14 in Arlington (Crystal City, Pentagon City and Potomac Yard). In August 2012, the City of Alexandria, VA joined with eight stations and in September 2013, Montgomery County, MD joined with 51 stations in Bethesda, Friendship Heights, Silver Spring, Takoma Park, Rockville and the Shady Grove Life Sciences Center areas. Nowadays, this system offers over 397 stations and 3100+ bicycles (see in Table 1).

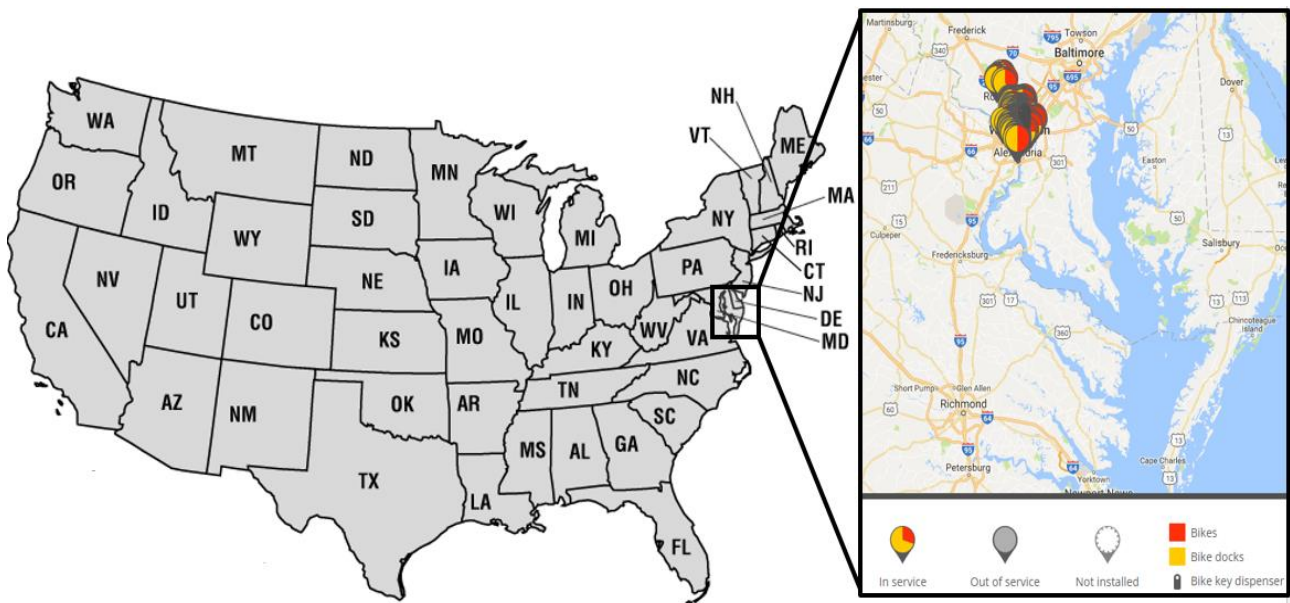


Figure 1. Data collection site of Capital Bikeshare System.

Table 1. Growth of stations (Capitalbikeshare, 2017).

Year (Between September-August)	Current Stations	New Stations
1 (2010-2011)	114	-
2 (2011-2012)	189	74
3 (2012-2013)	248	60
4 (2013-2014)	337	88
5 (2014-2015)	355	18
6 (2015-2016)	397	43 and counting

The current BSS is set up around the chosen cities’ main commercial business districts and some residential areas with total 3.185,118 and an average daily ridership of 8,726 trips (Figure 2).

The benefits of capital bike share is summarized by the system authority as given below:
Using Capital Bikesharing System bicycle users can supply various benefits and can made different activities as given below:

- Go to business meetings.
- Skip parking cost,
- Skip traffic problem,
- Get exercise on your way to work and save your healthy,
- Expand your lunch options by using bicycle
- Ride to many sport and social activity,
- Visit your favorite places,



Figure 2. An example to (a) all stations, (b) one of the current stations (c-d) utilization of the system (Capitalbikeshare, 2017).

Also the safety properties of the system is determined and summarized by the authorities as given below:

- LED lights in front and rear flashing,
- Reflectors and reflective bands on both tires,
- Safety and quality helmet,

The total number of annual and 30-day members of the system is 30,556 (as of July1, 2016). The data and other informations used in our research was obtained from Capital Bikeshare website <https://www.capitalbikeshare.com> (Figure 3). The capital Bikeshare website provides trip dataset for every 3 months of the operation since 15 September 2010. The trip dataset of system users includes:

- Monthly trip numbers,
- Origin/Destination of trips,

- Origin/Destination of trips according to stations,
- Time Interval per trips,
- Percentage of bicycle trips per time interval,
- Total length (Miles) travelled per Month

Additionally, the capacity and locations of current stations as well as trip duration are also provided in the dataset and weather information was used in the analysis obtained from the National Climatic Data Center (NCDC) for 2015.

3. Data Analysis and Findings

In our study, a systematic method was used to demonstrate trip length distribution in Capital Bike sharing systems. For this purpose, firstly the distribution of BSS utilization is classified as hourly-trip number for all stations for monthly data in 2015 as can be seen in Figure 4.



Figure 3. The main webpage of the Capital Bikeshare system (Capitalbikeshare, 2017).

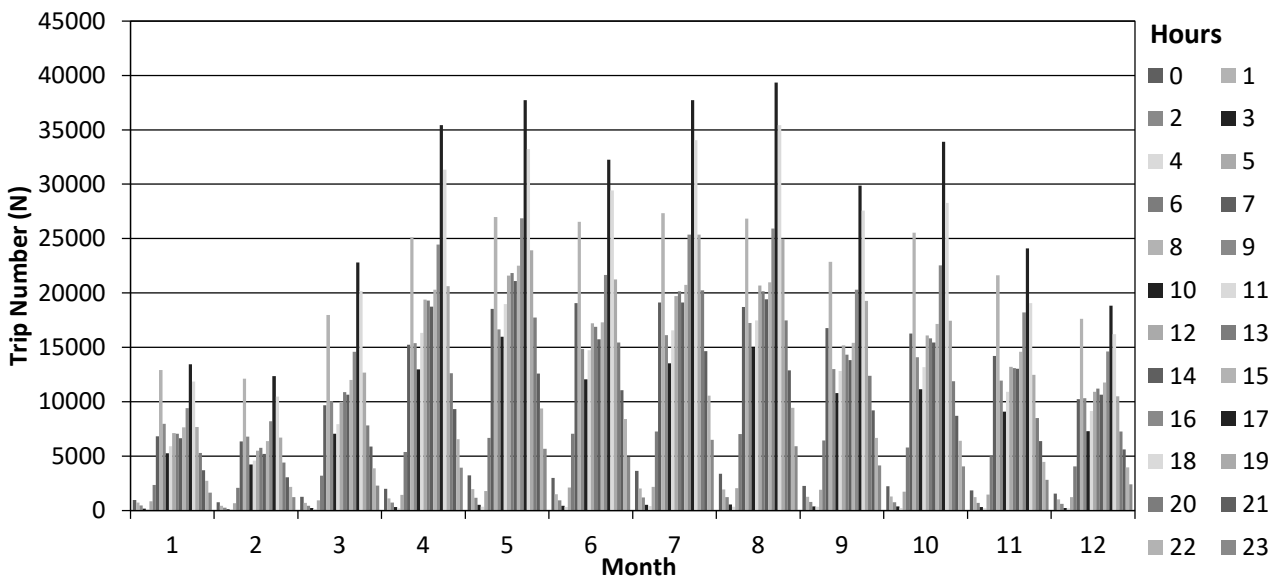


Figure 4. Trip number-Trip hour distribution of Capital Bikeshare system in 2015.

Figure 4 shows that trip numbers have three peak times (Morning-Afternoon-Evening) in a day. From the analysis, peak hours were obtained for morning between 07:00-08:00, for afternoon 12:00-13:00 and for evening 17:00-18:00. In another analysis, trip number distribution (%) was

determined according to hourly data (Figure 5). It is clearly seen from the Figure that the highest peak hour for bicycle utilization was obtained as between 17:00-18:00. In the second order, it was found as between 07:00-08:00. According to Figure 5, hourly bicycle utilization for Q1 months

(January, February and March) has the same characteristics with Q4 months (October, November and December). It means that effects of weather conditions in another words seasonal effects are a critical parameter on bicycle utilization for users. Additionally, Q2 months (March, April and May) and Q3 months (June, July and August) have the similar trip distributions.

In Figure 6, seasonal average trip length distribution (minutes) was given to examine effects of weather conditions Figure shows that

Q1-Q4 and Q2-Q3 has the same characteristics as similar in Figure 5. According to obtained results from the generated graph, trip length distribution (minutes) can be aligned approximately as $Q1 < Q4 < Q3 < Q2$. This comparison provides strong evidence in support of seasonal effect on bicycle utilization hypothesis. Additionally, it can be noted that bicycle utilization has a maximum value between 5-10 minutes. This can be caused by the free utilization duration (30 minutes) of the system for the members. Therefore, riders use this system for their short trips as free of charge.

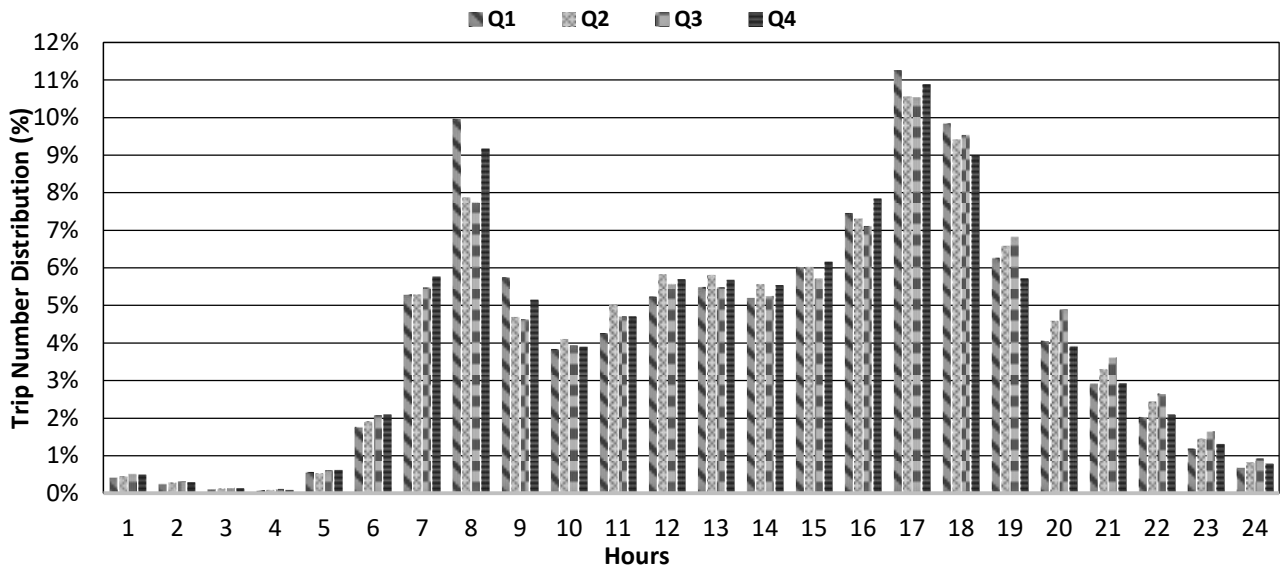


Figure 5. Seasonal Hourly trip distribution (%) for capital bike sharing system in 2015.

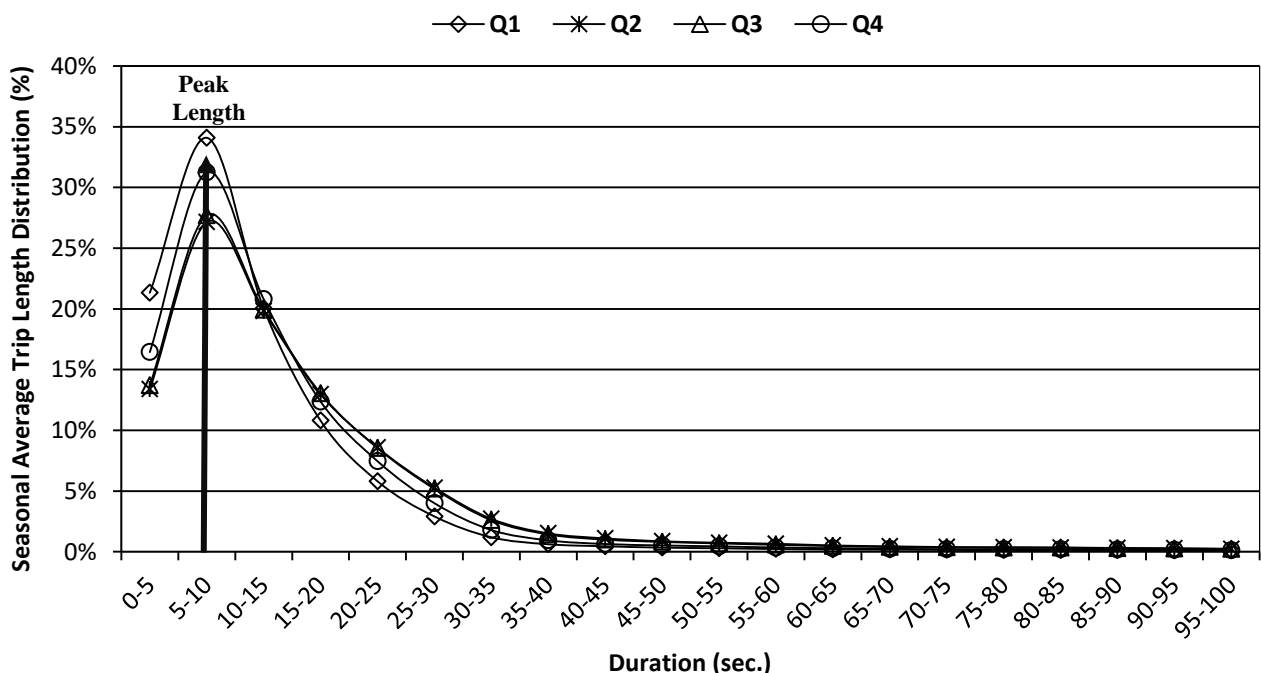


Figure 6. Seasonal average trip length distribution (%) for capital bike sharing system in 2015

According to generated graph obtained average trip length distribution was given in Figure 7. Figure shows that users have higher average trip lengths (minutes) for Q2 and Q3 months according to Q1 and Q4 months. Also results

shows that users have more bicycle utilization tendency in Q2 and Q3 months. Additionally, it can be seen from the figure that all users have higher trip length generally in afternoon hours.

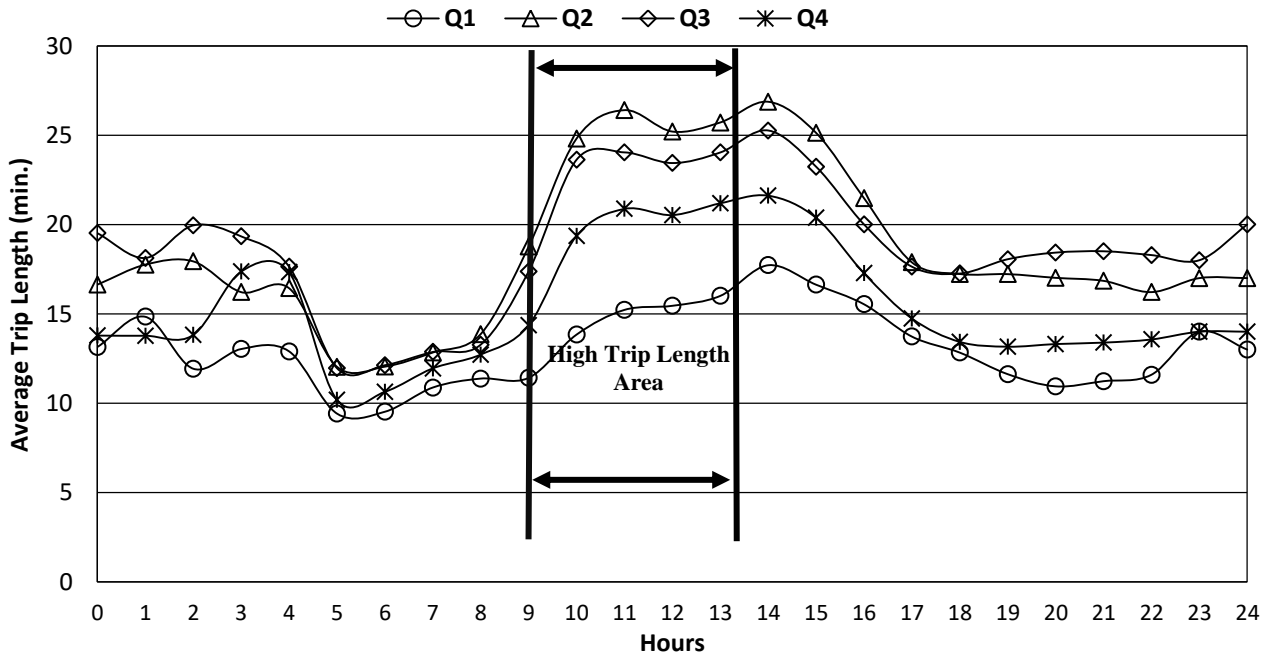


Figure 7. Changing of average trip length for 24 hours for year 2015.

The relation among trip numbers, average monthly temperature (obtained from United States National Oceanic and Atmospheric Administration) and months are shown in Figure 8. It is clear from the figure that temperature is a

crucial parameter on bicycle utilization as mentioned before. Because, monthly change in trip numbers has a high and positive correlation between weather conditions.

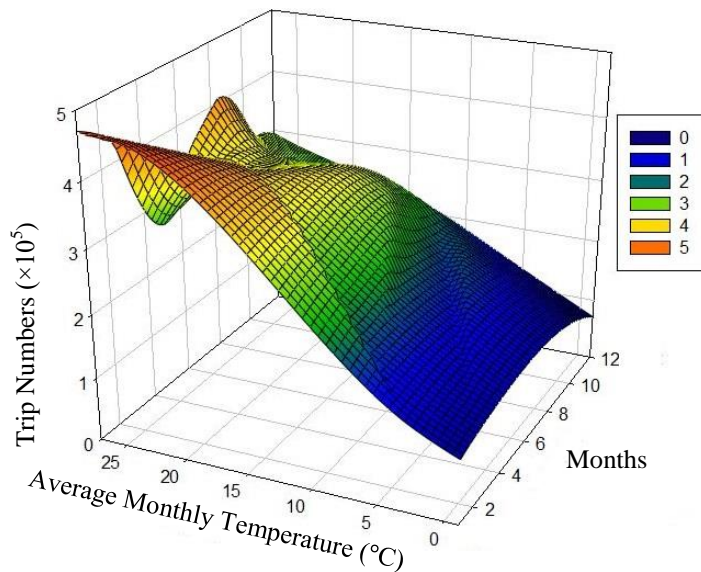


Figure 8. The relation among trip number, average monthly temperature and months.

Study findings also shows that there is a strong correlation between trip numbers on weekdays and weekend, and temperature (Table 1). Trips on weekends have higher and positive correlations than on weekdays. Also, it can be noted that correlations between trip numbers and temperature for weekends ($r=0.797$) and weekdays ($r=0.798$) have approximately the same values. However correlations between trip length and temperature shows differences for weekend and weekdays. Trip length-Temperature correlation for weekends have higher value ($r=0.731$) than for weekdays ($r=0.611$).

It can be concluded that trip length of bicycle users on weekends are affected highly from the temperature (weather conditions) (Figure 9). Also results shows that on weekends bicycle users have longer trip lengths than on weekdays for the same weather conditions. This situation shows that users choose longer trips caused by the having more free times on weekends. On the contrary, in weekdays users must reach to work or home generally in a current time. For this purpose they choice bicycle as a transportation mode to reach the work or home for shorter times.

Table 1. Simple correlation coefficients (r) among temperature, trip number and length for weekdays, weekend and all year.

	Variables	Temperature	Trip Number	Trip Length
Weekdays	Temperature	1	-	-
	Trip Number	0.798	1	
	Trip Length	0.611	0.585	1
Weekend	Temperature	1		
	Trip Number	0.797	1	
	Trip Length	0.731	0.878	1
All Year	Temperature	1		
	Trip Number	0.796	1	
	Trip Length	0.521	0.549	1

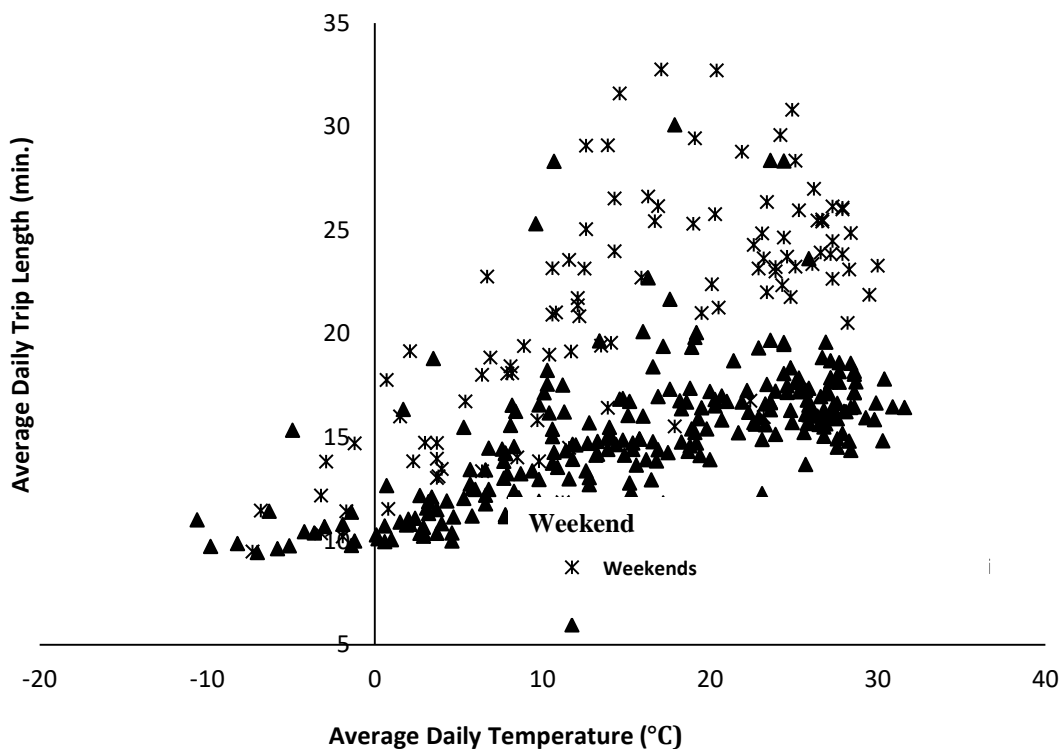


Figure 9. The relation among trip number, average monthly temperature and months.

4. Conclusions and Suggestions

The growing in Bikesharing Systems causes many problems such as demand, safety, effectiveness, cost etc. For this purpose, nowadays many studies are conducted by the planners, researchers and decision makers to find best solutions to mentioned problems. To examine mentioned parameters average trip length and distribution, relation among temperature, trip number and trip length was analyzed and examined for a famous bikesharing system. For this purpose, Capital Bikeshare System is chosen as pilot system to investigate and evaluate. Obtained results and obtained findings can be summarized as given below:

- There is a strong and positive correlation among temperature, trip number and trip length. It means that users have more tendency on bicycle utilization longer trips in good weather conditions.
- Users have higher bicycle utilization rate on weekends than on weekdays.
- It was found that seasonal weather conditions have a great effect on trip numbers and durations. To obtain good performance from a bikesharing system, authorities should provide hourly and daily weather information systems to users in all stations.
- It was obtained that bicycle utilization has a maximum value between 5-10 minutes. This results can be caused by the free utilization duration (30 minutes) of the system for the members.
- Trip length of bicycle users on weekends are affected highly from the temperature (weather conditions) than on weekdays users. This result can be explained by the longer trip durations of the users.
- Users on weekends generally can have different purpose to use bicycle (shopping, travelling, etc). But users on weekdays generally choose bicycle as a transportation mode to go to work.

Nowadays, Bike Sharing Systems (BSS) grow up as an important transportation mode in urban and rural transportation systems. These systems have a significant role about the utilization of public transportation systems in all around the world. To develop a bikesharing system and integrate with other transportation modes, it is necessary to conduct more studies with real-world transportation data. The findings of these studies are very important for decision makers to plan and install new bikesharing systems in other cities all around the world. For this reason, determination

of effective parameters on bicycle utilization and bike sharing systems have a great importance for the modal shift in public transportation systems.

References

- Buck, D. and Buehler, R., 2012. Bike lanes and other determinants of capital bikeshare trips. In Proceedings of 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, 1-11.
- Capitalbikeshare, 2017. <https://www.capitalbikeshare.com>.
- DeMaio, P. 2009. Bike-Sharing: history, impacts, models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*, 12 (4), 41–56.
- El-Assi, W., Mahmoud, M. S. and Habib, K. N., 2017. Effects of built environment and weather on bike sharing demand: a station level analysis of commercial bike sharing in Toronto. *Transportation*, 44 (3), 589-613.
- Faghih-Imani, A. and Eluru, N. 2014. Role of bicycle sharing system infrastructure on usage: evidence from Montreal. In Proceedings of the 5th Innovations in Travel Modeling Conference, Baltimore, MD, 1-36.
- Faghih-Imani, A. and Eluru, N., 2016. Incorporating the impact of spatio-temporal interactions on bicycle sharing system demand: a case study of New York Citibike System. *Journal of Transport Geography*, 54, 218-227.
- Faghih-Imani, A., Eluru, N., El-Geneidy, A., Rabbat, M. and Haq, U., 2014. How land-use and urban form impact bicycle flows: evidence from the bicycle-sharing system (BIXI). *Journal of Transport Geography*, 41, 306–314.
- Fishman, E., 2015. Bikeshare: a review of recent literature. *Transport Reviews*. 36 (1), 92–113.
- Gebhart, K. and Noland, R., 2014. The impact of weather conditions on bikeshare trips in Washington, DC. *Transportation*, 41 (6), 1205–1225.
- Ghasemlou, K., Aydın, M. M. and Yıldırım, M. S., 2015. Prediction of pedal cyclists and

- pedestrian fatalities from total monthly accidents and registered private car numbers. *Archives of Transport*, 34 (2), 29-35.
- Gregerson, J., Hepp-Buchanan, M., Rowe, D., Vander Sluis, J., Wygonik, E., Xenakis, M. and McCormack, E., 2010. *Seattle Bicycle Share Feasibility Study*. University of Washington, College of Build Environment, Department of Urban Planning and Design.
- Jäppinen, S., Toivonen, T. and Salonen, M., 2013. Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An Open Data Approach. *Applied Geography*. 43 (2013), 13–24.
- Krykewycz, G., Puchalsky, C., Rocks, J., Bonnette, B. and Jaskiewicz, F. 2010. Defining a primary market and estimating demand for major bicycle-sharing program in Philadelphia, Pennsylvania. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2143, 117-124.
- LLC MetroBike 2014. *The Bike Sharing World 2014 Year End Data*. <http://bikesharing.blogspot.com/2015/01/the-bike-sharing-world-2014-year-end.html>.
- Meddin, R. and DeMaio, P., 2015. *The Bike-Sharing world map*. <http://www.bikesharingworld.com>.
- Murphy, E. and Usher, J., 2015. The role of bicycle-sharing in the city: analysis of the Irish experience. *International Journal of Sustainable Transportation*, 9 (2), 116–125.
- Nair, R., Miller-Hooks, E., Hampshire, R. C., and Bušić, A., 2013. Large-Scale vehicle sharing systems: analysis of Vélip'. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7 (1), 85-106.
- Otero, I., Nieuwenhuijsen, M. J. and Rojas-Rueda, D., 2018. Health impacts of bike sharing systems in Europe. *Environment international*, 115, 387-394.
- Ranaiefar, F. and Rixey, R. A., 2016. Bike sharing ridership forecast using structural equation modeling. In *Proceedings of Transportation Research Board 95th Annual Meeting No. 16-657*, 22p.
- Rixey, R., 2013. Station-level forecasting of bikesharing ridership: Station Network Effects in Three US Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2387, 46-55.
- Saphioğlu, M. and Aydın, M. M. 2018. Choosing safe and suitable bicycle routes to integrate cycling and public transport systems. *Journal of Transport & Health*, 1-17.
- Shaheen, S., Cohen A. and Martin, E., 2013. Public bike sharing in North America: Early operator understanding and emerging trends, *Transportation Res. Record*, 2387, 83-92.
- Shaheen, S., Guzman, S. and Zhang, H. 2010. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia Past, present, and future. *Transp. Res. Rec.*, 2143, 159–167.
- Wikipedia.org 2015. List of bicycle-sharing systems. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bicycl_e-sharing_systems.
- Zhang, Y. and Mi, Z., 2018. Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. *Applied Energy*, 220, 296–301.
- Zhang, Y., Brussel, M. J. G., Thomas, T. and van Maarseveen, M. F. A. M., 2018. Mining bike-sharing travel behavior data: An investigation into trip chains and transition activities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 69 , 39–50.

İstanbul'un Kent Topraklarında Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAHs) Birikimi ve Kökenleri Üzerine Bir Ön Araştırma

A Preliminary Study on Accumulations and Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Soils of Istanbul

Esra Billur BALCIOĞLU*^{1,a}, Filiz Ekim ÇEVİK^{2,b}, Abdullah AKSU^{1,c}

¹İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı, 34134, İstanbul

²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp Enstitüsü, Tıp Bilimleri Anabilim Dalı, 34098, İstanbul

• Geliş tarihi / Received: 22.03.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 06.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 23.07.2018

Öz

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), kentsel çevrede en ciddi kirletici grupları arasında yer alır. Kentsel topraklardaki PAH konsantrasyonları doğal ortam topraklarındakilere oranla 10 kat daha fazladır. Bu çalışmanın amacı İstanbul' un farklı ilçelerinden alınan toprak örneklerinde bulunan PAH'ların kontaminasyonları ve kökenleri üzerine ön verileri ortaya koymaktır. İstanbul'un yedi farklı ilçesinde toplamda 23 istasyondan 2015 yılının Temmuz ayında yüzey toprağı örneği alınmıştır. Örneklerde sekiz PAH bileşeni tayin edilmiş ve toplam konsantrasyonlar 0.12 ile 29.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ aralığında değişiklik göstermiştir. En yüksek toplam PAH ($\Sigma_8\text{PAH}$) konsantrasyonları yol kenarlarında ve sanayi bölgelerine yakın yerlerde tespit edilmiştir. Kökenlerin pirolitik ve/veya petrojenik olduğunu tayin etmek için fenantrenin antrasene ve florantenin pirene oranları kullanılmıştır. Yalnızca iki ilçenin tüm istasyonlarında kökenler pirolitik olarak bulunmuştur. Pirolitik kökenler motorlu taşıt egzozları, endüstriyel faaliyetler ve kömür yanmasıyla ilgilidir. Bu veriler ilerideki izleme çalışmaları için veri tabanı oluşturmakta ve PAH'larla kirlenmiş toprakların insan sağlığı üzerinde risklerin değerlendirilmesi için kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: İstanbul, Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), Toprak kirliliği

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are one group of the most serious pollutants in urban environment. Concentration of PAHs in urban soils is 10 times higher than that in natural soils. The aim of this study is to give preliminary data on contaminations and the origins of PAHs in soil samples obtained from various towns of Istanbul. Totally 23 top-soil samples collected in main urban areas in seven towns of Istanbul, Turkey in July of 2015. Samples were analyzed for eight PAHs and the total concentrations ranged from 0.12 to 29.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ for $\Sigma_8\text{PAHs}$. The highest ΣPAHs concentrations were found at roadsides and industrial sites. The ratios of phenanthrene to anthracene and fluoranthene to pyrene were used to identify pyrolytic and petrogenic sources to determine the sources of PAHs. Only all stations of two towns in Istanbul show pyrolytic source. These sources included motor vehicle exhausts, industrial activities and coal burning. These data are a database for further monitoring studies and can be used to assess the health risk associated with soils polluted with PAHs.

Keywords: Istanbul, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Soil pollution

*a Esra Billur BALCIOĞLU; ebillur@istanbul.edu.tr; Tel: (0212) 455 57 00; orcid.org/0000-0003-1235-9101

^b orcid.org/0000-0002-1262-6452

^c orcid.org/0000-0003-1368-5689

1. Giriş

Kentsel topraklar, yapılar, endüstriyel faaliyetler, trafik ve günlük yaşam gibi yoğun insan kaynaklı aktivitelerin etkisi altındadır (Rossiter, 2007; Norra ve Stüben, 2003). Şehrin ve insanların gündelik hayatının gelişimini destekleyen kentsel topraklar, şehirdeki insanlar için sağlıklı bir ortam sağlamanın yanı sıra, kentsel ekosistemin sürdürülebilir kalkınmasında önemli rol oynamaktadır (Mielke vd., 1999; Pavao-Zuckerman ve Byrne, 2009). Ancak özellikle gelişmekte olan bazı ülkelerde hızlı gelişen ekonomiyle birlikte, kentsel çevreler ciddi ölçüde potansiyel bir toprak kirliliği sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır.

PAH'lar kentsel çevrede en çok bilinen kirletici gruplarından. Çoğunlukla karbon içeren yakıtların yanması sonucu oluşurlar (Khalili vd., 1995; Zhang vd., 2008) ve bunların çoğu mutajenik bazıları ise kanserojendir. Şehirlerdeki topraklarda artan PAH seviyeleri çoğu çalışmaya da konu olmaktadır (Trapido, 1999; Morillo vd., 2007; Wang vd., 2007). Örneğin, Wilcke (2000) kentlerdeki topraklarda bulunan PAH konsantrasyonlarının kırsal kesimdekilerdeki doğal topraklara oranla 10 kat daha fazla olduğunu rapor etmiştir. Bu durum kentlerdeki yoğun şehirleşme nedeniyle topraklardaki potansiyel PAH kontaminasyonu ihtimalini ve insanların da bu topraklara maruz kalması nedeniyle risk altında olduğu düşüncesini artırmaktadır.

Kentsel alan tanımı, trafik, sanayi, ticaret, ikamet, bahçe ve kamusal yeşil alan gibi farklı kullanım alanlarını kapsamakta, çeşitli insan faaliyetlerini ve bunların toprak kalitesi üzerindeki olası etkilerini ifade etmektedir (Tiller, 1992). Bazı araştırmalar kentsel çevredeki spesifik toprak kullanımlarının her zaman diğer toprak kullanımlarına göre daha yüksek PAH konsantrasyonları içerdiğini ortaya koymaktadır (Wang vd., 2007; Jiang vd., 2009; Chung vd., 2007). Örneğin, Şangay'da (Jiang vd., 2009), Dalian'da (Wang vd., 2007) ve New Orleans'da (Mielke vd., 2004) yol veya cadde kenarlarından alınan topraklarda bulunan PAH düzeylerinin

parklardan ve yerleşim yerlerindeki topraklara oranla çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Norveç'in Bergen (Haugland vd., 2008) ve Çin'in Tianjin (Jiao vd., 2009) kentlerindeki endüstriyel alanlardan alınan topraklarda çalışılan PAH'ların diğer alanlardan alınan topraklardaki PAH'lara göre çok yüksek olduğu bulunmuştur. Buna ek olarak, kentsel toprak PAH'ları çoğu zaman bir şehrin merkezi ve / veya eski bölgelerinde yüksek seviyeler göstermektedir (Chung vd., 2007; Haugland vd., 2008). Bazı araştırmacılar şehir merkezinden uzaklaştıkça (Trapido, 1999; Wilcke vd., 2005) veya kent-ara bölge- kırsal kesim boyunca (Wang vd., 2007) PAH konsantrasyonlarında azalma olduğunu rapor etmektedirler.

Çevresel ortamda hidrokarbon bileşikleri doğal ve insan aktiviteleri (antropojenik) kaynaklı olarak bulunmaktadır. Bunlardan doğal olanlar (biyojenik olarak da adlandırılırlar), karasal organizmaların bozulmasıyla (biyodegradasyon, biyosentez) ve diyajenetik reaksiyonlar ile ortaya çıkanlardır. Antropojenik kökenliler ise petrojenik olarak tanımlanan petrol ve işlenmiş petrol bileşikleri, rafineri tesislerinden kaynaklanan girdiler ve pirolitik olarak tanımlanan fosil yakıtların yanması veya tam yanmaması ve orman yangınları sonucu meydana gelen salımlardır (Witt, 1995).

Dünya üzerinde Asya ve Avrupa arasında yer alan mega kentlerden biri olan İstanbul, hızlı nüfus artışı, trafik ve sanayileşme nedeniyle ciddi çevre kirliliği sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. İstanbul şehri her ne kadar süregelen bir şehirleşme etkisi altında olsa da literatürde toprak kirliliği ile ilgili sınırlı sayıda rapor (Çetin vd., 2017) bulunmakla birlikte, kökenlerinin tayin edildiği bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı İstanbul ilinin farklı ilçelerinden alınan toprak örneklerinde PAH konsantrasyonlarını belirlemek ve daha önce benzer çalışmalarda kullanılan oranlar yardımıyla kirliliğin kökenlerini tayin etmektir (Soclo, 1986; Sicre vd, 1987; Baumard vd., 1998) (Tablo 1). Bu oranlamalarda kullanılan bileşenler fenantren (FEN), antrasen (ANT), floranten (FLRT) ve piren (PYR)' dir.

Tablo 1. Köken tayininde kullanılan oranlar

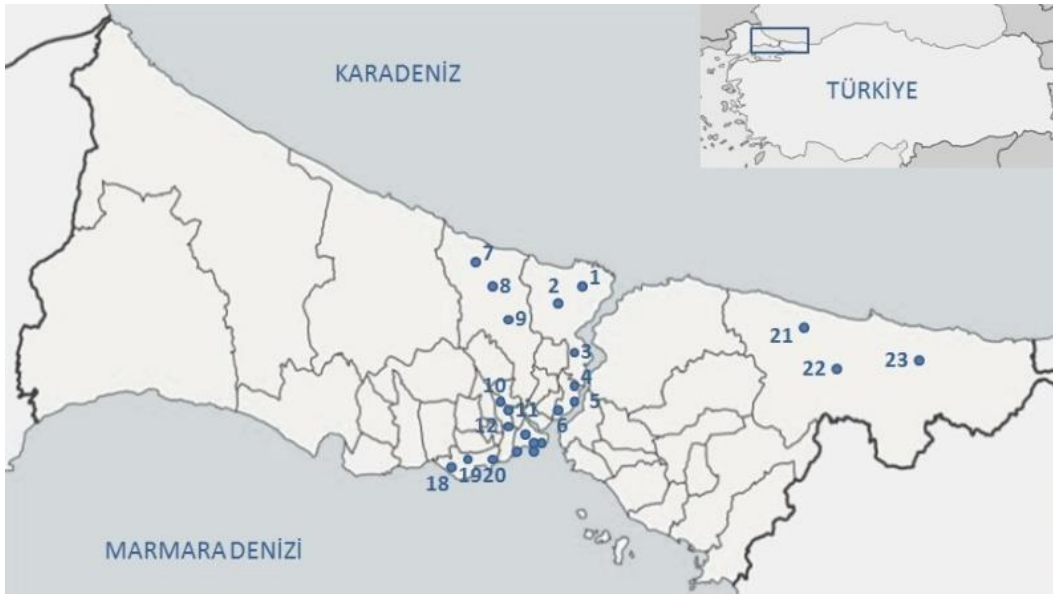
	FEN/ANT	FLRT/PYR	(PHE/ANT)/(FLRT/PYR)
Pirolitik köken	<10	>1	< 2
Petrojenik köken	>15	<1	>2
Kaynak	Soclo, 1986	Sicre vd., 1987	Baumard vd., 1998

2. Materyal - Metot

Türkiye'nin kuzey batısında yer alan ve nüfus bakımından da en kalabalık ili olan İstanbul, birçok ilçesi olması nedeniyle yoğun trafik, nüfus yoğunluğu, endüstriyel faaliyet vb. durumlardan kaynaklanan ciddi çevresel kirliliğe maruz kalmaktadır. Örnekler çeşitli kirletici kaynaklarına yakın olduğu düşünülen 23 farklı noktadan yüzeyden olacak şekilde 2015 Temmuz ayında toplanmıştır. Örnekleme ilçeleri, Sarıyer, Beşiktaş, Bayrampaşa, Eyüp, Fatih, Bakırköy ve Şile olarak listelenmektedir. Örnekleme istasyonları Şekil 1'de verilmektedir.

İstanbul'un farklı ilçelerinden tahta kaşık yardımıyla alınan yüzey (0-10 cm) toprak örnekleri alüminyum folyoya sarılmış ve soğuk zincir altında laboratuvara getirilmiştir. Liyofilizatörde kurutulan örnekler 0.5 mm paslanmaz elekten geçirildikten sonra tekrar alüminyum folyoya sarılarak analize kadar +4°C'de saklanmıştır.

Çalışmada toprak örneklerinde tayin edilen PAH bileşikleri naftalin (NAP), asenaftilen (ACL), asenaften (AC), fenantren (FEN), antrasen (AN), floranten (FLRT), piren (PY), benzo(a)antasen (BaA)' dir.



Şekil 1. Örnekleme istasyonları

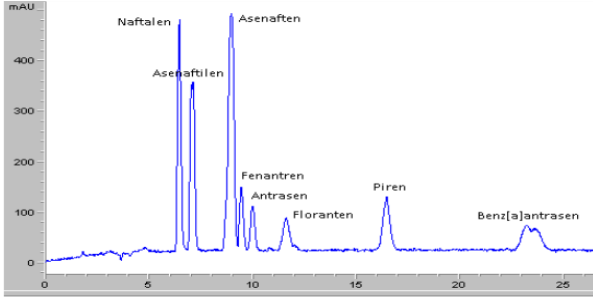
Tartılıp ağırlıkları not edilen örneklerin öncelikle 200 mL diklorometan/hekzan karışımı (1:1 v/v) ile 12 saat boyunca ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstraksiyonun ardından çözücü olarak kullanılan karışım rotary evaporatörde uçurulmuş, ardından kalıntı 1 ml hekzanda çözünmüştür.

Hazırlanan bu çözelti cam yünü, %3'ü kadar saf su ile deaktive edilen florisil ve susuz sodyum sülfatın pastör pipetine konulması ile hazırlanan ekstraktı temizleme düzeneğinden geçirilmiştir (Popp vd., 1997). Süzüntü yeniden uçurularak en son 1 ml hekzan içerisinde çözünüp yüksek çözünürlüklü sıvı kromatografisinde (HPLC) analize verilmiştir.

PAH analizlerinde 8 ayrı PAH molekülünü içeren standart stok çözeltiler hazırlanmıştır. Çalışılan

standart çözeltilerin konsantrasyonları sırasıyla 1, 2, 4, 8 ve 10 ppm olacak şekilde hekzan içerisinde hazırlanmıştır. Daha sonra bu moleküllerin spektrumu alınarak cihazın kütüphanesine eklenmiştir. Çünkü örnekteki piklerin karşılaştırılması bu kütüphanedeki spektrumlara göre yapılmıştır.

PAH analizlerinde kullanılan enstrüman HP-1100 model HPLC cihazıdır. Bu HPLC sistemi 5 farklı dalga boyunda analiz imkânı sunan UV-DAD dedektörüne sahiptir. PAH analizleri için C18, 250 x 4 mm i.d., 5 µm kolon kullanılmıştır. Kullanılan mobil faz ise metanol, asetonitril ve su karışımından oluşmaktadır. PAH analizleri 31 dk içerisinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerden birine ait kromatogram Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. 3. İstasyona ait kromatogram

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Temmuz 2015'te İstanbul' un 7 farklı ilçesinden olmak üzere toplam 23 istasyondan alınan yüzey toprak örneklerinde 8 adet PAH bileşeni tayin edilmiş, bulunan değerler Toprak Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (TKKY)'nde belirtilen limit değerlere göre değerlendirilmiş ve belli oranlar kullanılarak bu istasyonlardaki kirliliğin kökenleri bulunmuştur. Toplam

PAH'ların (Σ_8 PAH) en yüksek bulunduğu ilk üç istasyonda tayin edilen bileşenlere ait konsantrasyonlar TKKY sınır değerleriyle birlikte Tablo 2'de verilmiştir.

Toplanan toprak örneklerinde tayin edilen PAH bileşenlerden çoğunun (Benzo(a)antrasen hariç) TKKY' ye göre sınır değerleri geçmediği görülmüştür.

Çalışmada en yüksek Σ PAH 29.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile Sarıyer (3. istasyon) ilçesinde bulunmuştur (Tablo 3). Bunu 7. istasyon ve 2. istasyonlar sırasıyla 13,05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ve 10,29 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile takip etmiştir. En düşük Σ PAH değeri ise 0.12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ile Eyüp (12. istasyon) ilçesinde tespit edilmiştir. Eyüp'ten sonra en düşük değerler Şile'de bulunmuştur. Bu ilçelerdeki değerlerin düşük bulunması diğer ilçelere göre ağır şehirleşme etkisinden nispeten uzak olmaları ile ilişkilendirilebilir.

Tablo 2. PAH sonuçlarının TKKY sınır değerleriyle kıyası (TKKY, 2010)

	İstasyonlar			Sınır Değer
	Sarıyer 3	Bayrampaşa 1	Sarıyer 2	Toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim
	mg/kg kuru ağı.	mg/kg kuru ağı	mg/kg kuru ağı	mg/kg kuru ağı
Naftalin	0.3286	0.4948	0.2386	1147
Asenaftilen	0.0597	0.0406	0.0596	**
Asenaften	0.0797	0.0406	0.1153	3441
Fluoren	3.0472	4.0763	2.2028	2294
Fenantren	2.3243	0.3245	0.4374	**
Antrasen	6.0187	0.0406	3.0219	17203
Floranten	3.0472	4.0763	2.2028	2294
Piren	9.4483	5.5364	4.1511	1720
Benzo(a)antrasen	5.0468	2.4944	0.0636	0.6

** Sınır değerleri bulunmamaktadır

Tablo 3: İstasyonlara göre Σ PAH değerleri ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

No	İstasyon	Σ PAH	No	İstasyon	Σ PAH
1	Sarıyer 1	5,99	13	Fatih 1	0,33
2	Sarıyer 2	10,29	14	Fatih 2	0,22
3	Sarıyer 3	29,4	15	Fatih 3	0,21
4	Beşiktaş 1	0,60	16	Cerrahpaşa 1	2,69
5	Beşiktaş 2	0,44	17	Cerrahpaşa 2	1,07
6	Beşiktaş 3	0,30	18	Bakırköy 1	6,52
7	Bayrampaşa 1	13,05	19	Bakırköy 2	0,64
8	Bayrampaşa 2	1,86	20	Bakırköy 3	6,06
9	Bayrampaşa 3	0,47	21	Şile 1	0,28
10	Eyüp 1	0,19	22	Şile 2	0,28
11	Eyüp 2	0,15	23	Şile 3	0,18
12	Eyüp 3	0,12			

Aromatik bileşiklerde petrojenik ve/veya pirolitik kökenin tayininde kullanılan moleküler oranlardan FEN/ANT oranının 10'dan küçük olduğu durumlarda pirolitik kökenli bir kirlilik kaynağını, 15'den büyük olduğu durumlarda ise petrojenik bir kirliliği işaret etmektedir (Tablo 1). FLRT/PYR oranında ise sonuç 1' den büyükse pirolitik, 1'den küçükse petrojenik bir kirlenmeyi göstermektedir. Bu iki oranın birbirine olan oranları da (FEN/ANT)/ (FLRT/PYR) 2' den küçükse pirolitik, 2' den büyükse petrojenik kökenli birikimler olduğu anlaşılmaktadır.

Antresen termodinamik açıdan az dayanıklı bir bileşiktir ve bu nedenle bulunduğu ortamda çok çabuk bozunmaktadır (Soclo vd., 2000). Bu bağlamda, söz konusu bileşen en yüksek 3. istasyonda tespit edilmiştir. Örneklemin yaz aylarında yapıldığı da düşünülürse sıcak mevsim şartlarında bu bileşenin tespit edilebilmesi örneklemeden hemen öncesinde bir girdi olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca istasyonlarda çok düşük miktarlarda da olsa tespit edilirken,

ölçüm limitlerine yakın olması yine taze bir kontaminasyon ihtimalini akla getirmektedir. Yüksek molekül ağırlığına sahip bileşikler (fluorenten, piren) ise en bol bulunanlar olup, genellikle fosil yakıtların yüksek sıcaklıkta yanma ürünü oluşan PAH'ları yansıtmaktadırlar (Gogou vd., 2000; Dahle vd., 2003). Piren termodinamik olarak flourantene göre daha dayanıklıdır.

Fluoranten ve piren, benzer şekilde fenantrene ve antrasen aynı sayıda halkaya ve molekül ağırlığına ancak farklı şekilde halka dizilişlerine sahiptir. Bu özellikleri de ortamda kalış sürelerini belirlemede etkilidir. Flouranten ve piren yanmış petrol için, fenantren ve antrasen ise petrol ve yanma ürünleri arasında ayırım yapmakta kullanılan iyi birer indikatördürler. En yüksek flouranten ve piren değerlerinin bulunduğu 3. ve 7. istasyonlarda bu iki bileşenin oranı, petrojenik bir kirliliği gösterse de, bu istasyona ait diğer bileşenlerin oranları ile birlikte kirliliğin hem pirolitik hem de petrojenik kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4: İstasyonlara göre kirliliğin kökenleri

No	İstasyon	Köken	No	İstasyon	Köken
1	Sarıyer 1	Pirolitik	13	Fatih 1	Pirolitik + Petrojenik
2	Sarıyer 2	Pirolitik + Petrojenik	14	Fatih 2	Pirolitik + Petrojenik
3	Sarıyer 3	Pirolitik + Petrojenik	15	Fatih 3	Pirolitik + Petrojenik
4	Beşiktaş 1	Pirolitik	16	Cerrahpaşa 1	Pirolitik + Petrojenik
5	Beşiktaş 2	Pirolitik	17	Cerrahpaşa 2	Pirolitik
6	Beşiktaş 3	Pirolitik + Petrojenik	18	Bakırköy 1	Pirolitik
7	Bayrampaşa 1	Pirolitik + Petrojenik	19	Bakırköy 2	Pirolitik
8	Bayrampaşa 2	Pirolitik	20	Bakırköy 3	Pirolitik
9	Bayrampaşa 3	Pirolitik + Petrojenik	21	Şile 1	Pirolitik
10	Eyüp 1	Pirolitik	22	Şile 2	Pirolitik + Petrojenik
11	Eyüp 2	Pirolitik	23	Şile 3	Pirolitik
12	Eyüp 3	Pirolitik			

1., 4., 5., 8., 10., 11., 12., 18., 19., 20., 21., 23. istasyonlardan alınan örneklerdeki kirlilik kullanılan oranlara göre pirolitik olsa da diğer istasyonlardaki kirliliğin kaynağının pirolitik+petrojenik olduğu ortaya çıkmaktadır. Genel olarak tüm istasyonlarda kirliliğin kaynağı pirolitik veya pirolitik+petrojenik olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Yalnızca petrojenik kökenli kirliliğin olduğu bir istasyon bulunmamaktadır. Pirolitik+petrojenik kaynaklı kirliliğin olduğu bölgelerin hem antropojenik etkisi altında olmasının (yol kenarları, endüstri yakını bölgeler vs.) yanı sıra, tüm istasyonlarda mutlaka pirolitik kökenin bulunması karasal

ortamda sürekli mevcut olan bir biyolojik bozunmaya (biyodegradasyon) işaret etmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada İstanbul' un farklı ilçelerinde bulunan park ve bahçelerdeki topraklardan alınan örneklerde PAH bileşenlerinin konsantrasyonları ve bu bileşenlerin birbirine oranları kullanılarak kontaminasyonun kökeninin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde belirlenen istasyonlardan alınan örneklerdeki konsantrasyonlara ve oranların kullanılarak yapılan hesaplamalara göre kirlilik kaynağının pirolitik ve pirolitik + petrojenik olduğu sonucuna varılmıştır. Bu

istasyonların yakınlarında bulunan yol ve caddelerin trafiğinden etkilendiği düşünülmektedir. Söz konusu park ve bahçelerin sosyal amaçlı kullanıma özellikle de çocukların kullanımına açık olması durumu ile bu alanlardaki toprakların doğrudan deriye temas etmesinin zamana bağlı olarak risk oluşturabileceği açıktır. Bu nedenle çocukların kullanımına açık olan bu bölgelerdeki topraklara fazla temas edilmemesi konusunda ebeveynleri bilinçlendirmek toplum sağlığı yararına olacaktır.

Kaynaklar

- Baumard, P., Budzinski, H., Michon, Q., Garrigues, P., Burgeot, T. ve Bellocq, J., 1998. Origin and bioavailability of PAHs in the Mediterranean Sea from mussel and sediment records, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 77–90.
- Cetin, B., Ozturk, F., Keles, M. ve Yurdakul, S., 2017. PAHs and PCBs in an Eastern Mediterranean megacity, Istanbul: Their spatial and temporal distributions, air-soil exchange and toxicological effects, *Environmental Pollution*, 220, 1322–1332.
- Chung M.K., Hu R., Cheung, K.C. ve Wong, M.H., 2007. Pollutants in Hong Kong soils: polycyclic aromatic hydrocarbons, *Chemosphere*, 67, 464-473.
- Dahle, S., Savinov, V.M., Matishov, G.G., Evenset, A. ve Naes, K., 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay, *The Science of the Total Environment*, 306, 57–71.
- Gogou, A., Bouloubassi, I. ve Stephanou, E.G., 2000. Marine organic geochemistry of The Eastern Mediterranean, 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments, *Marine Chemistry*, 68, 265–282.
- Haugland, T., Ottesen, R.T. ve Volden, T., 2008. Lead and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soil from day care centres in the city of Bergen, Norway, *Environmental Pollution*, 153, 266–272.
- Jiang, Y.F., Wang, X.T., Wang, F., Jia, Y., Wu, M.H., Sheng, G.Y. ve Fu, J.M., 2009. Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China, *Chemosphere*, 75, 1112–1118.
- Jiao, W., Lu, Y., Li, J., Han, J., Wang, T., Luo, W., Shi, Y. ve Wang, G., 2009. Identification of sources of elevated concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrial area in Tianjin, China, *Environmental Monitoring Assessment*, 158, 581–592.
- Khalili, N.R., Scheff, P.A. ve Holsen, T.M., 1995. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions, *Atmospheric Environment*, 29, 533–542.
- Mielke, H.W., Gonzales, C.R., Smith, M.K. ve Mielke, P.W., 1999. The urban environment and children's health: soils as an indicator of lead, zinc, and cadmium in New Orleans, Louisiana, USA, *Environmental Research Section A*, 81, 117–129.
- Mielke, H.W., Wang, G., Gonzales, C.R., Powell, E.T., Le, B. ve Quach V.N., 2004. PAHs and metals in the soils of inner city and suburban New Orleans, Louisiana, USA, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 18, 243–247.
- Morillo, E., Romero, A.S., Maqueda, C., Madrid, L., Ajmone-Marsan, F., Grcman, H., Davidson, C.M., Hursthouse, A.S. ve Villaverde, J., 2007. Soil pollution by PAHs in urban soils: a comparison of three European cities, *Journal of Environmental Monitoring*, 9, 1001–1008.
- Norra, S. ve Stübe, D., 2003. Urban soils, *Journal of Soils and Sediments*, 3: 230–233.
- Pavao-Zuckerman, M.A. ve Byrne, L.B., 2009. Scratching the surface and digging deeper: exploring ecological theories in urban soils, *Urban Ecosystems*, 12, 9–20.
- Popp, P., Keil, P., Möder, M., Paschke, A. ve Thuss, U., 1997. Application of accelerated solvent extraction followed by gas chromatography, high-performance liquid chromatography and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons, chlorinated pesticides and polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in

- solid wastes, *Journal Chromatography A*, 774, 203–211.
- Rossiter, D.G., 2007. Classification of urban and industrial soils in the world reference base for soil resources, *Journal of Soils and Sediments*, 7, 96–100.
- Sicre, M.A., Marty, J.C., Saliot, A., Aparicio, X., Grimalt, J. ve Albaiges, J., 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the mediterranean sea: occurrence and origin, *Atmosphere Environment*, 21, 2247–2259.
- Soclo, H.H., Garrigues, P.H. ve Ewald, M., 2000. Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sediments, Case Studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Area, *Marine Pollution Bulletin*, 40, 387-396.
- Tiller, K.G., 1992. Urban soil contamination in Australia, *Australian Journal of Soil Research*, 30, 937–957.
- TKKY, 2010. “27605 sayılı 08.06.2010 tarihli Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (TKKY 2010/27605).
- Trapido, M., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles, *Environmental Pollution*, 105, 67–74.
- Wang, Z., Chen, J., Qiao, X., Yang, P., Tian, F. ve Huang, L., 2007. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons from urban to rural soils: a case study in Dalian, China, *Chemosphere*, 68, 965–971.
- Wilcke, W., 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil – a review, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 229–248.
- Wilcke, W., Krauss, M., Safronov, G., Fokin, A.D. ve Kaupenjohann, M., 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of the Moscow region – concentrations, temporal trends, and small-scale distribution, *Journal of Environmental Quality*, 34, 1581–1590.
- Witt, G., 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic sea, *Marine Pollution Bulletin*, 31, 237–248.
- Zhang, Y., Schauer, J.J., Zhang, Y., Zeng, L., Wei, Y., Liu, Y. ve Shao, M., 2008. Characteristics of particulate carbon emissions from real-world Chinese coal combustion, *Environmental Science and Technology*, 42, 5068–5073.

Serisel Korelasyonun Toplam Zenit Gecikmesi Zaman Serilerinde Parametrik Olmayan Trend Belirleme Üzerindeki Etkisi

The Effect of Serial Correlation on Nonparametric Trend Determination at Zenith Total Delay Time Series

Cansu BEŞEL^{*a}, Emine TANIR KAYIKÇI^b

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 23.04.2018 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 17.07.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 23.07.2018

Öz

GNSS gözlemlerinin analizinden elde edilen toplam zenit gecikmesi (ZTD) hava şartlarının belirlenmesinde önemli bir parametre olması sebebiyle GNSS tekniğinin iklimsel çalışmalarda da önemli bir yeri vardır. ZTD verilerinden oluşturulan zaman serilerinin trend analizi ile, uzun dönemlerde veride meydana gelen değişimler incelenebilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa'dan seçilen 10 adet IGS (Uluslararası GNSS Servisi) istasyonu için 1995-2010 yılları arasındaki ZTD ürünlerinin COST Aksiyonu ES1206, GNSS4SWEC (Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events and Climate) kapsamında yeniden kestirimi ile elde edilmiş (IGS Repr1) verileri kullanılarak oluşturulan zaman serilerindeki trend ve serisel korelasyon etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Trend analizinde parametrik olmayan yöntemlerden Mann-Kendall testi kullanılmıştır. Serisel korelasyonu belirlemek için otokorelasyon katsayısı hesaplanmış olup seriyi korelasyondan arındırmak için Trend-Free Prewhitening yöntemi uygulanmıştır. Korelasyondan arındırılan seriye tekrar trend analizi yapılarak serisel korelasyonun trendin belirlenmesi üzerindeki etkisi ve Trend-Free Prewhitening yönteminin performansı üzerine irdelemeler yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmada IGS istasyonlarındaki ZTD verilerinin tümünde anlamlı serisel korelasyonlar elde edilmiştir. Aynı zamanda LAMA, ONSA ve PENC istasyonlarında Trend-Free Prewhitening uygulandıktan sonra trend olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan yöntemlerle ilgili hesaplamalar MATLAB program kodları kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mann-Kendall Testi, Serisel Korelasyon, Trend, Trend-Free Prewhitening, Toplam Zenit Gecikmesi

Abstract

GNSS technique is important in climate studies because of obtaining Zenith Total Delay which is significant parameter to determine weather conditions with analysis of GNSS observations. Interchanges of long term data can be detected via trend analysis produced by ZTD time series data. In this study, trend and serial correlation effect of time series of (IGS Repr1) were investigated using between 1995-2010 reprocessed ZTD data in the framework of COST Action ES1206, GNSS4SWEC (Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events and Climate). Mann-Kendall test was performed for nonparametric method. The autocorrelation coefficient was calculated to set the serial correlation. Trend-Free Prewhitening method has been applied to eliminate the correlation. The effect on the trend determination of serial correlation and the performance of Trend-Free Prewhitening method were tried to made examination by making re-trend analysis in series which eliminated correlation. As a result of the performed methods, serial correlation is substantial whole ZTD data. At the same time, there are trends in LAMA, ONSA and PENC stations after applying Trend-Free Prewhitening. In this work, MATLAB programming language was handled in all of the tests.

Keywords: Mann-Kendall Test, Serial Correlation, Trend, Trend-Free Prewhitening, Zenith Total Delay

^{*a} Cansu BEŞEL; cansubesel@ktu.edu.tr; Tel: (0462) 377 27 76; orcid.org/0000-0003-3434-6483

^b orcid.org/0000-0001-8259-5543

1. Giriş

İklim değişikliği, en önemli çevre sorunlarından biridir. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) iklim çalışmalarında sağladığı avantajlar sebebiyle önemlidir. GNSS sinyalleri yer yüzündeki alıcılara ulaşmadan önce atmosferin yapısından kaynaklı olarak troposferik gecikmeye uğramaktadır. Bu gecikme, genellikle zenit doğrultusuna dönüştürülerek Toplam Zenit Gecikmesi (ZTD-Zenith Total Delay) olarak elde edilmektedir (Baldysz vd., 2016). ZTD verileri zamana bağlı sıcaklık ve su buharı içeriği ile korelasyon göstermektedir (Guerova, 2013; Yong vd., 2008). ZTD verilerinin büyüklüğü ve mevsimsel değişkenliği enlem, boylam, su kütesine uzaklık gibi etkenlere bağlıdır. Bu nedenle, ZTD verileri bölgesel hava şartları hakkında bilgi sağlamaktadır (Jin vd., 2007). ZTD'nin sıcaklık ve basınç gibi meteorolojik verilerle kullanılması ile su buharı belirlenebilmektedir (Bevis vd., 1992). İklim değişikliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri olan su buharı, sera gazı etkisine sebep olan temel gazlardan biridir ve atmosfer ve hidrolojik döngünün işleyişini şekillendirmede de önemli bir rol oynamaktadır (COST, 2012; Baldysz vd., 2015).

ZTD, Hidrostatik Zenit Gecikmesi (ZHD) olarak adlandırılan kuru bileşen ve Islak Zenit Gecikmesi (ZWD) olarak adlandırılan ıslak bileşenden oluşmaktadır. Islak gecikmeye atmosferik su buharı, kuru gecikmeye ise diğer tüm atmosferik bileşenler (büyük oranda sıcaklık ve basınç) sebep olur (Rocken vd., 1994). ZWD değişken bir yapıya sahip olduğundan sadece basınç, sıcaklık ve bağıl nem gibi yüzey ölçümleri (in-situ) ile doğru bir şekilde tahmin edilememektedir. ZWD; ZTD'nin %10'unu oluşturmaktadır ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı modellenmesi zordur. ZWD, ortalama atmosfer sıcaklığı kullanarak entegre su buharına (Integrated Water Vapour-IWV) dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşüm iklim çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. ZTD verilerinden oluşturulan zaman serilerinin trend analizi ile, uzun dönemlerde veride meydana gelen değişimler göz önüne serilmektedir. Böylece, ZTD'nin su buharına bağlı ıslak bileşeni olan ZWD etkisi tahmin edilebilmekte ve geleceğe yönelik meteorolojik yorumlar yapılabilmektedir (Tanır Kayıkçı ve Beşel 2017; Beşel 2017).

Zaman serileri, gözlemlenen trendlerin önemini büyük ölçüde etkileyen ve serisel bağımlılık olarak da bilinen otokorelasyon bileşenini

içermektedir. Serisel bağımlılığın giderilmesi, oldukça değişken zaman serilerinde zayıf trend eğilimlerinin belirlenmesinde önemlidir. Zaman serilerindeki otokorelasyon, trendin fazla veya eksik belirlenmesine sebep olmaktadır (Blain 2015).

Von Storch ve Navarra (1995), Hamed ve Rao (1998) ve Yue ve Wang (2002) yapmış oldukları çalışmalarda trend testinin performansını serisel korelasyonun varlığı durumunda da test etmiştir. Çalışmaların sonucunda, pozitif serisel korelasyon varlığının Mann-Kendall testinin varyansını artırdığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, Mann-Kendall yöntemini uygulamadan önce seri içerisindeki otokorelasyon katsayısı belirlenmeli ve seri içerisinden çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan yöntem Prewhitening olarak adlandırılmaktadır. Bu sayede serisel korelasyonun I. Tip hatalarının oluşumu üzerindeki etkisi ortadan kaldırılmaktadır (Blain, 2012; Von Storch ve Navarra, 1995; Yue ve Wang, 2002). Fakat bu yöntem otokorelasyonu kaldırırken trendin de bir kısmını kaldırabileceğinden II. Tip hatalarının ortaya çıkmasında bir artışa da neden olabilmektedir (Fleming ve Clark, 2002; Yue ve Wang, 2002). Yue ve Wang (2002), serisel korelasyon ile doğrusal trend arasındaki ilişkiyi araştırmıştır ve lag 1 otokorelasyon katsayısını belirlemeden önce seri içerisinden trendin eğiminin çıkarılmasının gerçek seri korelasyonunun belirlenmesine önemli derecede katkı sağladığı sonucuna varmıştır. Bunun üzerine Trend-Free Prewhitening yöntemini geliştirmiştir. Bu çalışmada, öncelikle serisel korelasyondan arındırılmamış ZTD zaman serisine trend analizi yapmak ardından ZTD zaman serilerindeki serisel korelasyon varlığını araştırıp ortaya çıkan serisel korelasyonu gidererek veriye uygulanan Mann-Kendall testi sonucunda trendin varlığında değişim olup olmadığını belirlemek amaçlanmıştır. Serisel korelasyon varlığını test etmek için otokorelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Veriyi serisel korelasyondan arındırmak için Trend-Free Prewhitening yöntemi uygulanmış olup tekrar Mann-Kendall testi yapılarak serisel korelasyonun trend belirleme üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Böylece Trend-Free Prewhitening yönteminin trendin belirlenmesi üzerindeki etkisi de görülmeye çalışılmıştır.

2. Yöntem

2.1. Mann-Kendall Testi ile Trend Analizi

Mann-Kendall testi, hidroloji ve klimatoloji gibi alanlarda zaman serilerindeki trendin

belirlenmesinde sıklıkla kullanılan ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO-World Meteorological Organization) tarafından da önerilen parametrik olmayan trend analizi yöntemlerinden biridir. Yöntemde uygulanan hipotez testi ile trend varlığı araştırılmaktadır. Bu testte hipotezler;

- H_0 hipotezi: “Zamana bağlı olarak sıralanmış (x_1, x_2, \dots, x_n) gözlem değerleri zamandan bağımsız ve benzer dağılımlı rasgele değişkenlerdir.”
- H_1 hipotezi: “ $(k \neq j)$ olmak üzere $(k, j \leq n)$ için seri içerisinde x_k ve x_j değerlerinin dağılımı benzer değildir.”

şeklinde kurulur. Mann-Kendall test değeri ise,

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada; n , ölçü sayısı olup sgn işaret fonksiyonudur. Test, x_k ($k = 1, \dots, n - 1$) veri setine ve x_j ($j = i + 1, \dots, n$) veri setine uygulanır, sgn işaret fonksiyonu değeri x_j ve x_k değerlerinin

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1; & x_j > x_k \\ 0; & x_j = x_k \\ -1; & x_j < x_k \end{cases} \quad (2)$$

şeklinde kıyaslanması ile elde edilir. S 'nin varyansı ise,

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

şeklinde bulunur. Eğer seri içerisinde aynı değere sahip veriler varsa varyans hesabı Eşitlik (4)'e göre yapılır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^k t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

Burada; k , veri setindeki bağıl grupların sayısı, t_i değeri ise i uzunluğundaki bir seride bağıl gözlemleri ifade etmektedir. Standartlaştırılmış Mann-Kendall istatistiği Z ,

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & S > 0 \\ 0; & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

şeklinde dir. Burada, %95 istatistik güvenle ($Z_{1-\alpha/2}$) bulunan standart normal dağılım tablo değeri (Z_{tablo}) ile Z Mann-Kendall test değeri karşılaştırılır. Eğer $|Z| < Z_{\text{tablo}}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir. Tersisi durumda H_0 hipotezi reddedilir.

Bu durumda trend olduğu sonucuna varılır. S değeri pozitif ise trendin artan yönde olduğu, negatif ise azalan yönde olduğuna karar verilir (Mann 1945, Kendall 1975).

2.2. Serisel Korelasyon (Otokorelasyon)

Otokorelasyon veya serisel korelasyon, gözlemlenen değerler arasındaki benzerliğin zamansal gecikmenin bir fonksiyonu olarak ifade edilmesidir (URL-2, 2017). Seri değerlerinden hesaplanarak elde edilen otokorelasyon katsayıları farklı zaman değerlerindeki gözlem değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren katsayılardır. Bu katsayılar, zaman serilerinin sahip olduğu özelliklerin önemli bir göstergesidir ve bir serinin komşu değerleri ile arasındaki bağımlılığın derecesini ortaya koymaktadır (Akgül, 2003). Zaman serilerindeki iç bağımlılık otokorelasyon katsayıları ile ölçülebilmektedir. Eğer, zaman serisinde serisel bir korelasyon mevcut ise trend analizi yapılmadan önce giderilmesi gerekmektedir. Aksi halde, seride trend yokken, trendin var olduğu sonucu ortaya çıkabilmektedir veya zayıf trend eğilimlerinin belirlenememesi olabilmektedir. Bunu belirlemek için önce k-aralıklı otokorelasyon katsayısı hesaplanmaktadır.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})^2}, k = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Burada; x_i , zaman serisi verileri, n ise veri sayısı, k ise aralıktır. r_k , $0 \leq r_k \leq 1$ arasında değerler almaktadır. “0” zaman serisinin bağımsız olduğu, “1” ise zaman serisinde otokorelasyon olduğu anlamına gelmektedir. Otokorelasyon katsayısı, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından önerilen %95 anlamlılık seviyesinde yapılan tek yönlü hipotez testi ile test edilmektedir (Olofintoye vd, 2012).

$$r_k(\%95) = \frac{-1 + 1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (7)$$

Eğer elde edilen korelasyon katsayısı (r_k), %95 istatistik güvenle hesaplanan kritik değerden ($r_k(\%95)$) büyükse zaman serisinin içerisinde serisel bir korelasyon olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumda, serisel korelasyonun seri içerisinde çıkarılması gerekmektedir.

2.3. Trend Free Prewhitening Yöntemi

Zaman serilerindeki pozitif serisel korelasyon parametrik olmayan testlerle trendin belirlenmesini olumsuz etkilemektedir (Kulkarni ve Von Storch 1995). Bu nedenle, verinin serisel

korelasyondan arındırılması gerekmektedir. Trend-Free Prewhitening (TFPW) yöntemi, Yue ve Wang (2002), Yue vd. (2003) tarafından lineer trend bileşeni ve AR(1) (Autoregressive Process) bileşeni arasındaki ters etkileşiminin üstesinden gelmek için ortaya çıkarılmıştır. Yönteme göre,

1. lag 1 otokorelasyon katsayısı (r_1);

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

olarak hesaplanır. Burada; x , veri, \bar{x} , verilerin ortalaması, k , aralık ifade etmektedir.

2. Hesaplanan otokorelasyon katsayısının anlamlılığı;

$$\frac{-1 - 1.645\sqrt{N-k-1}}{N-k} \leq r_k \leq \frac{-1 + 1.645\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (9)$$

ile test edilir. Eğer otokorelasyon katsayısı Eşitlik (9) da belirtilen aralıkta ise %95 istatistik güvenle serinin bağımsız olduğu ve trend-free prewhitening yapılması gerektiği sonucuna varılır. Ters durumda verilerin bağımlı olduğu kabul edilerek Mann-Kendall testini uygulamadan önce Trend-Free Prewhitening uygulanır.

3. Trendi modellemek için,

$$y = a_0 + a_1x \quad (10)$$

regresyon modeli oluşturulur. Burada; y , zamana bağlı değişimi ifade eden veriler, x , bağımsız değişken, a_1 , eğim, a_0 , kesişim sabitini ifade etmektedir. Burada a_1, x trend bileşenidir ve;

$$y'_i = y_i - a_1x_i \quad (11)$$

olarak seriden çıkarılır.

4. Eşitlik (8) kullanılarak trendden arındırılmış seri için lag 1 otokorelasyon katsayısı hesaplanır.

5. Trendden arındırılmış seriden serisel korelasyonun etkisi;

$$y''_i = y'_i - r_1 * y'_{i-1} \quad (12)$$

ile giderilir.

6. Elde edilen seriye trend tekrar eklenerek serisel korelasyondan arındırılmış yeni bir seri;

$$y'''_i = y''_i + a_1x_i \quad (13)$$

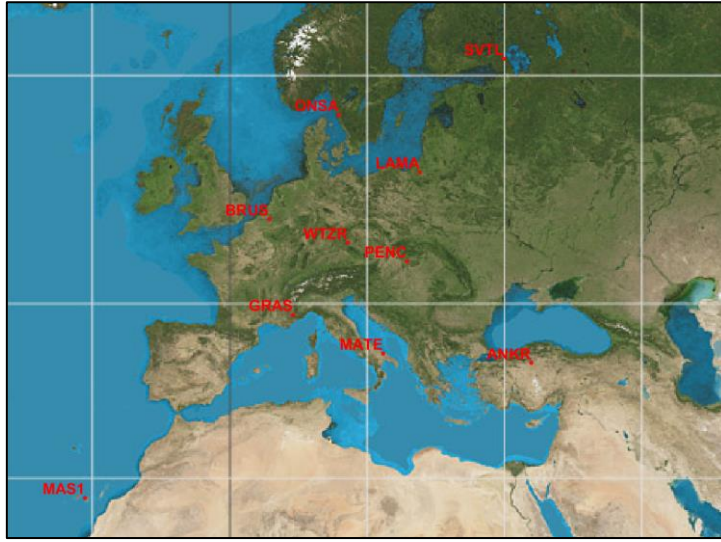
olarak elde edilir. Mann-Kendall testi elde edilmiş olan y'''_i serisine tekrar uygulanır. Trend-Free Prewhitening yöntemi, yapılan trend analizinin istatistiksel öneminin daha iyi tahmin edilmesini sağlamaktadır (Adib vd. 2017; Wang vd. 2015).

3. Uygulama

Bu çalışmada, Türkiye'den ANKR istasyonu, Avrupa'dan BRUS (Belçika), GRAS (Fransa), LAMA (Polonya), MAS1 (İspanya), MATE (İtalya), PENC (Macaristan), WTZR (Almanya), ONSA (İsveç) ve SVTL (Rusya) istasyonları olmak üzere toplam 10 tane IGS istasyonunda (Şekil 1) (Tablo 1) 1995-2010 yıllarına ait verilerin analizi ile elde edilmiş ZTD ürünlerinin COST Aksiyonu ES1206, GNSS4SWEC kapsamında Dr. Olivier Bock (IGN, Fransa) tarafından yeniden hesaplanmış (IGS Repro1) ZTD zaman serileri kullanılmıştır (URL-1, 2017). Zaman serilerinde trend ve serisel korelasyon etkilerini incelemek amacıyla seçilen yöntemlerin uygulanması için MATLAB ortamında kodlar yazılmıştır.

Tablo 1. İstasyon bilgileri

IGS İstasyon Kodu	Ülke	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Yükseklik (m)
ANKR	Türkiye	39.8875	32.7583	974.8
BRUS	Belçika	50.7980	4.3583	158.3
GRAS	Fransa	43.7547	6.9205	1319.3
LAMA	Polonya	53.8922	20.6697	187.0
MAS1	İspanya	27.7636	-15.6330	197.3
MATE	İtalya	40.6488	16.7044	535.6
ONSA	İsveç	57.3953	11.9245	44.4
PENC	Macaristan	52.3791	13.0658	144.4
SVTL	Rusya	60.5328	29.7808	77.1
WTZR	Almanya	49.1441	12.8788	666.0



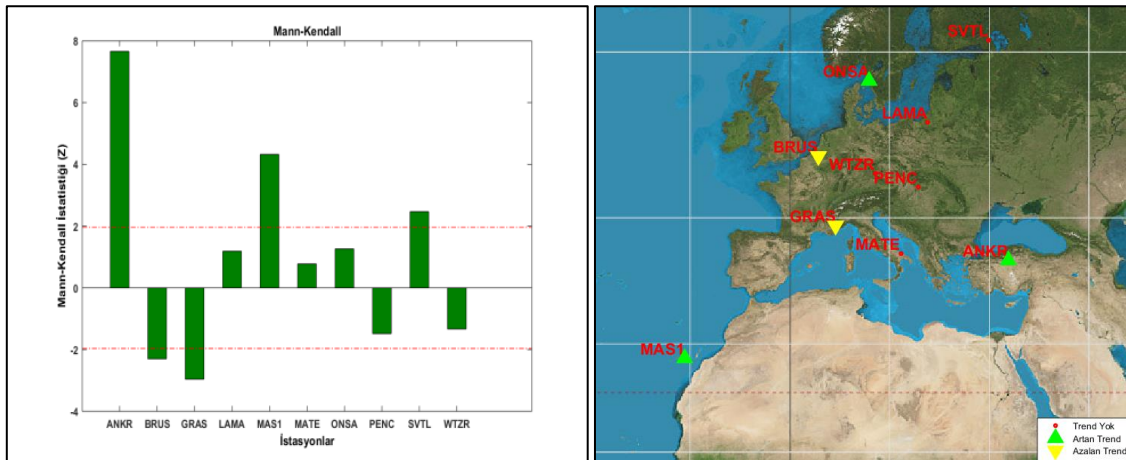
Şekil 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar

Parametrik olmayan testlerden biri olan Mann-Kendall testi ile 1995-2010 yılları arasında 10 IGS istasyonu için günlük ZTD verilerinde trend eğilimi belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan istasyonlarda aynı değere sahip ZTD verileri bulunması sebebiyle varyans değerleri (4) eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu nedenle öncelikle aynı değere sahip olan veriler MATLAB programlama dilinde yazılan program kodları ile tespit edilmiştir. Mann-Kendall test değeri (Z) bulunduktan sonra %95 istatistik güvenle standart normal dağılım tablo değeri (Z_{tablo}) elde edilmiştir ve test istatistiği tablo değeri ile karşılaştırılarak trend olup olmadığı tespit edilmiştir. Ardından trendin olduğu istasyonlarda trendin yönü belirlenmiştir. Bu istasyonlarda (1) eşitliğine göre hesaplanan S değeri pozitif ise

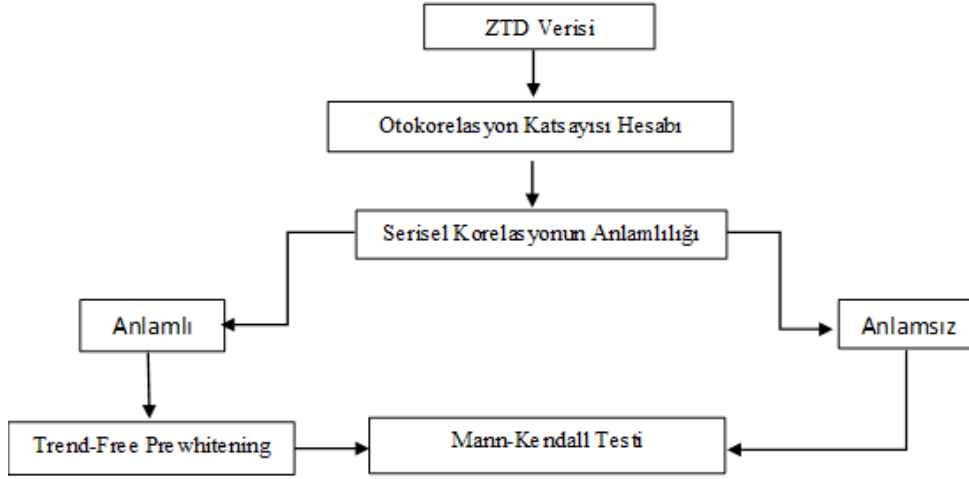
artan yönde bir trend, negatif ise azalan yönde bir trend olduğuna karar verilmiştir.

Yapılan Mann-Kendall testi sonucunda, ANKR, MAS1 ve ONSA istasyonlarında artan yönde trend, BRUS ve GRAS istasyonlarında azalan yönde trend, diğer istasyonlarda ise belirgin bir trend belirlenememiştir (Şekil 2).

ZTD verilerine Mann-Kendall testi uygulandıktan sonra serisel korelasyonun Mann-Kendall yöntemi ile trend belirleme üzerindeki etkisini belirlemek için Şekil 3'te belirtilen adımlara göre seri içerisinde korelasyonun etkili olup olmadığı tespit edilip ardından Trend-Free Prewhitening yöntemi uygulanmıştır.

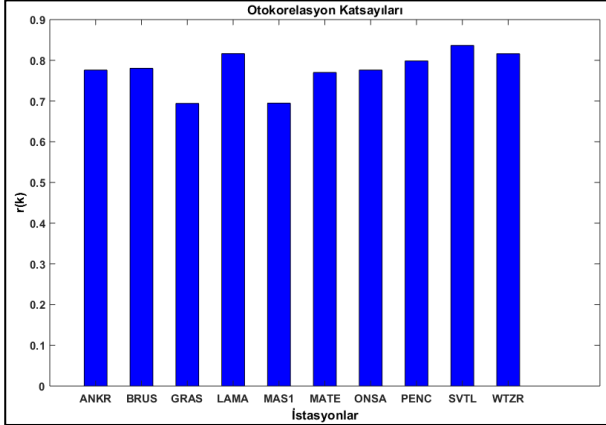


Şekil 2. Serisel korelasyondan arındırılmamış ZTD verileri Mann-Kendall testi sonuçları



Şekil 3. Serisel korelasyondan arındırma iş akış şeması

Her bir istasyona ait ZTD verilerinde serisel korelasyon olup olmadığına karar verebilmek için (6) eşitliğine göre otokorelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Lag 1 için hesaplanan otokorelasyon katsayılarına bakıldığında en büyük değerin $r_k=0.8366$ ile SVTL istasyonunda olduğu görülmüştür. En küçük otokorelasyon ise $r_k=0.6942$ ile GRAS istasyonuna aittir (Şekil 4).



Şekil 4. ZTD istasyonları otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmamış)

Elde edilen otokorelasyon katsayıları ile kritik değer Başlık 1.2 de anlatıldığı gibi karşılaştırıldığında istasyonların tümünde serisel korelasyonun anlamlı olduğu ve Trend-Free Prewhitening yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Tablo 2).

Serisel korelasyonun çıkarılması gerektiğine karar verildikten sonra ZTD verilerinden korelasyonu çıkarmak için öncelikle (11) eşitliğine göre seriden trend çıkarılmıştır. Ardından tekrar (6)

eşitliğine göre lag 1 otokorelasyon katsayısı hesaplanmıştır (Tablo 3).

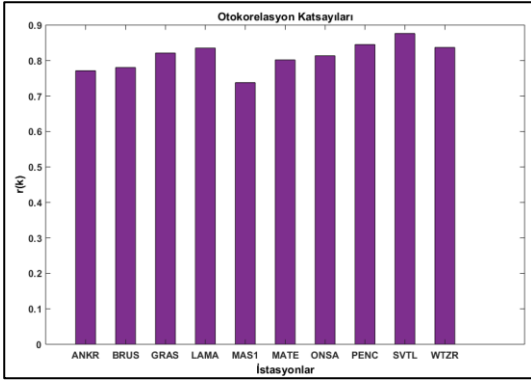
Tablo 2. ZTD verilerine ait otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmamış)

İstasyon Kodu	Otokorelasyon Katsayısı (k=1)	Kritik Değer ($\alpha=0.05$)
ANKR	0.7762	0.0304
BRUS	0.7805	0.0257
GRAS	0.6942	0.0274
LAMA	0.8165	0.0259
MAS1	0.6948	0.0261
MATE	0.7702	0.0260
ONSA	0.776	0.0263
PENC	0.7985	0.0264
SVTL	0.8366	0.0264
WTZR	0.8162	0.0259

Tablo 3. ZTD verilerine ait otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmış)

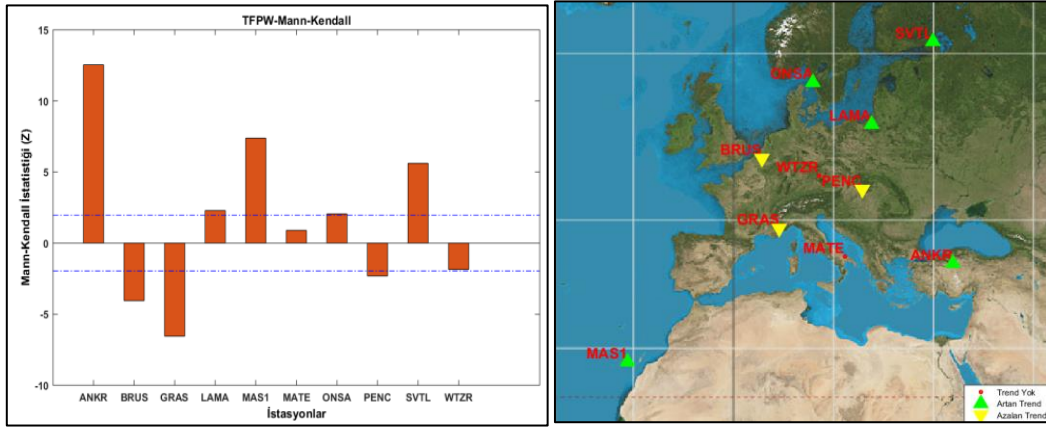
İstasyon Kodu	Otokorelasyon Katsayısı (k=1)	Kritik Değer ($\alpha=0.05$)
ANKR	0.7713	0.0304
BRUS	0.7802	0.0257
GRAS	0.8211	0.0274
LAMA	0.8349	0.0259
MAS1	0.7378	0.0261
MATE	0.8017	0.0260
ONSA	0.8132	0.0263
PENC	0.8449	0.0264
SVTL	0.8762	0.0264
WTZR	0.8368	0.0259

Trend çıkarıldıktan sonrada hesaplanan otokorelasyon katsayıları kritik değer ile karşılaştırıldığında serisel korelasyonun anlamlı olduğu görülmüştür. En büyük otokorelasyon katsayısı $r_k=0.8762$ ile SVTL istasyonunda elde edilmiştir. En küçük otokorelasyon ise $r_k=0.7378$ ile MAS1 istasyonuna aittir. (Şekil 5).



Şekil 5. ZTD istasyonları otokorelasyon katsayıları (trend çıkarılmış).

Ardından (12) eşitliğinde anlatıldığı şekilde serisel korelasyonun etkisi giderilmiştir ve (13) eşitliğine göre tekrar trend eklenerek serisel korelasyondan arındırılmış yeni bir seri elde edilmiştir. Bu seriden tekrar Başlık 1.1 de anlatıldığı üzere Mann-Kendall testi uygulanarak serisel korelasyonun trend belirleme üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, ANKR, MAS1, LAMA, ONSA ve SVTL istasyonlarında artan yönde trend, BRUS, GRAS ve PENC istasyonlarında azalan yönde, MATE ve WTZR istasyonlarında ise trend bulunmamıştır (Şekil 6) (Tablo 4).



Şekil 6. Serisel korelasyondan arındırılmış ZTD verileri Mann-Kendall testi sonuçları

Tablo 4. TFPW öncesi ve TFPW sonrası Mann-Kendall testi trend sonuçları

	TFPW Öncesi		TFPW Sonrası	
	Trend	Trendin Yönü	Trend	Trendin Yönü
ANKR	Trend Var	Artan	Trend Var	Artan
BRUS	Trend Var	Azalan	Trend Var	Azalan
GRAS	Trend Var	Azalan	Trend Var	Azalan
LAMA	Trend Yok	-	Trend Var	Artan
MAS1	Trend Var	Artan	Trend Var	Artan
MATE	Trend Yok	-	Trend Yok	-
ONSA	Trend Yok	-	Trend Var	Artan
PENC	Trend Yok	-	Trend Var	Azalan
SVTL	Trend Var	Artan	Trend Var	Artan
WTZR	Trend Yok	-	Trend Yok	-

4. Sonuçlar

Uzun dönem ZTD zaman serilerinde trend belirleme iklim çalışmaları için önemlidir. Özellikle doğru trend eğilimlerinin belirlenmesi için seride korelasyonun etkili olup olmadığının tespit edilmesi ve varsa arındırılması önemlidir.

Bu çalışmada, Türkiye ve Avrupa'dan seçilen çeşitli istasyonlara ait ZTD verileri Trend-Free

Prewhitening yöntemi ile serisel korelasyondan arındırılarak serisel korelasyondan arındırılmadan önceki ve sonraki Mann-Kendall trend analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Serisel korelasyonun trend belirleme üzerindeki etkisi görülmeye çalışılmıştır.

ZTD zaman serilerinde gerçek trend eğilimlerinin belirlenmesi için seri içerisinde korelasyon varlığını araştırmanın ve korelasyon olması

durumunda seriden çıkarılmasının önemli olduğu görülmüştür. Korelasyondan arındırmanın yapılmadığı durumda, trend eğilimi olmasına rağmen belirlenemediği istasyonlar olmuştur. TFPW öncesi ve TFPW sonrası test sonuçlarına göre, serisel korelasyonun ZTD trend analizinde sonuçları önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Serisel korelasyon nedeniyle küçük trend eğilimi olan LAMA (Polonya), ONSA (İsveç) ve PENC (Macaristan) istasyonlarında TFPW öncesi yapılan Mann-Kendall testinde trend belirlenmemiş olup serisel korelasyonun arındırılması ile LAMA (Polonya) ve ONSA (İsveç) istasyonlarında artan yönde, PENC (Macaristan) istasyonunda azalan yönde trend belirlenmiştir. Diğer istasyonlarda ise değişiklik gözlemlenmemiştir.

Tüm istasyonların trend analizi sonuçlarına bakıldığında, ANKR (Türkiye), LAMA (Polonya), MAS1 (İspanya), ONSA (İsveç) ve SVTL (Rusya) istasyonlarında artan yönde trend; BRUS (Belçika), GRAS (Fransa) ve PENC (Macaristan) istasyonlarında azalan yönde trend tespit edilmiştir. MATE (İtalya) ve WTZR (Almanya) istasyonlarında trend eğilimi belirlenmemiştir. Artan yönde trend belirlenen LAMA, MAS1 ve ONSA istasyonları okyanusa kıyısı olan bir konumda olması nedeniyle nemli bir bölgede bulunmaktadır. Bu bölgelerde ZTD'nin ıslak bileşeninin etkisinin artmasına bağlı olarak artan yönde trend bulunduğu düşünülmüştür.

Teşekkür

IWV verilerini IGS Repro1 ve ERA-Interim'den elde ettiği için Fransa IGN'deki Dr. Olivier BOCK'a teşekkür ederim. Bu veriler COST Action ES1206, GNSS4SWEC çerçevesinde hazırlanmış ve kalitesi kontrol edilmiştir.

We would like to acknowledge Dr. Olivier BOCK, IGN, France, for making the IWV data from IGS repro1 and ERA-Interim available. These data were prepared and quality checked in the framework of COST Action ES1206, GNSS4SWEC.

Kaynaklar

Adib A., Kalae M.M.K., Shoushtari M.M., Khalili K., 2017. Using of Gene Expression Programming and Climatic Data for Forecasting Flow Discharge by Considering Trend, Normality, and Stationarity

Analysis, Arabian Journal of Geosciences, 10: 208, DOI 10.1007/s12517-017-2995-z.

Akgül, I., 2003. Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri, Der Yayinevi, İstanbul.

Baldysz, Z., Nykiel, G., Figurski, M., Szafranek, K. ve Kroszczyński, K., 2015. Investigation of the 16-year and 18-year ZTD Time Series Derived from GPS Data Processing, Acta Geophysica, 1103-1125.

Baldysz, Z., Nykiel, G., Araszkiwicz, A., Figurski, M., and Szafranek, K., 2016. Comparison of GPS Tropospheric Delays Derived from Two Consecutive EPN Reprocessing Campaigns from the Point of View of Climate Monitoring, Atmos. Meas.Tech. Discuss., doi:10.5194/amt-2016-5, 1.

Beşel C., 2017. IGS İstasyonları Zenit Troposferik Gecikme Parametresi Zaman Serilerinde Trend ve Mevsimsel Etki Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Bevis, M., Businger, S., Herring, T.A., Rocken, C., Anthes, R.A. ve Ware, R.H., 1992. GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapour Using the Global Positioning System, Journal of Geophysical Research, 97, D14, 15787-15801.

Blain, G.C., 2012. Revisiting the Probabilistic Definition of Drought: Strengths, Limitations and an Agrometeorological Adaptation, Bragantia, 71, 1,132-141.

Blain G.C.,2015. The Influence of Nonlinear Trends on the Power of the Trend-Free Pre-Whitening Approach, Acta Scientiarum. Agronomy,37, 1, 21-28, DOI 10.4025/actasciagron.v37i1.18199.

COST, 2012. Memorandum of Understanding for the Implementation of a European Concerted Research Action, COST Action ES1206, Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events And Climate (GNSS4SWEC), European Cooperation in Science and Technology.

- Fleming, S.W ve Clarke, G.K.C., 2002. Autoregressive Noise, Deserialization, and Trend Detection and Quantification in Annual River Discharge Time Series, *Canadian Water Resources Journal*, 27, n. 3, p. 335-354.
- Guerova, G., 2013. Ground-Based GNSS Meteorology, Gfg Summer School, Potsdam, Almanya.
- Hamed, K.H. ve Rao, A.R.A., 1998. Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data, *J. Hydrol.*, 204, 182–196.
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.
- Kulkarni A. ve Von Storch H., 1995. Monte Carlo Experiments on the Effect of Serial Correlation on the Mann–Kendall Test of Trend, *Meteorologische Zeitschrift*, 4(2):82–85.
- Mann, H.B, 1945. Non-Parametric Tests Against Trend, *The Econ. Society*, 3, 245-259.
- Olofintoye, O., Adeyemo, J., ve Otieno, F., 2012. Impact of Regional Climate Change on Freshwater Resources and Operation of the Vanderkloof Dam System in South Africa, *Global Warming-Impact and Future Perspective*, doi: 10.5772/50414 165-184.
- Rocken C., Hove T.V., Johnson J., Solheim F., Ware R., Bevis M., Chiswell S. ve Businger S., 1994. GPS/STORM-GPS Sensing of Atmospheric Water Vapor for Meteorology, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12, 468-478.
- Jin, S., Park, J., Cho, J. ve Park, P., 2007. Seasonal Variability of GPS-Derived Zenith Tropospheric Delay (1994-2006) and Climate Implications, *Journal of Geophysical Research*, 112, D09110, doi:10.1029/2006JD007772.
- Tanır Kayıkçı E. ve Beşel C., 2017. Trend Analysis of The Zenith Tropospheric Delay Time Series, *Proceedings, International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences*, 445-455.
- Von Storch H. ve Navarra A., 1995. Analysis of Climate Variability, Applications of Statistical Techniques, Springer, Berlin.
- Wang W., Chen Y., Becker S. and Liu B., 2015. Linear Trend Detection in Serially Dependent Hydrometeorological Data Based on a Variance Correction Spearman Rho Method, *Water* 7(12):7045-7065, DOI 10.3390/w7126673.
- URL-1: <https://doi.org/10.14768/06337394-73a9-407c-9997-0e380dac5590>. Aralık 2017.
- URL-2
<https://tr.wikipedia.org/wiki/Otokorelasyon>. 25 Ocak 2017.
- Yong, W., Binyun, Y., Debao, W. ve Yanping, L., 2008. Zenith Tropospheric Delay from GPS Monitoring Climate Change of Chinese Mainland, *Education Technology and Training*, 2008 and 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing, ETT and GRS 2008, International Workshop on, 1, doi: 10.1109/ETTandGRS.2008.43.
- Yue S. ve Wang C., 2002. Applicability of Prewhitening to Eliminate the Influence of Serial Correlation on the Mann–Kendall Test, *Water Resour Res* 38(6):41–47.
- Yue, S., Pilon, P. ve Phinney, B., 2003. Canadian Streamflow Trend Detection: Impacts of Serial and Cross-Correlation, *Hydrological Sciences Journal*, 48,1,51-64.

1. KAPSAM ve GENEL BİLGİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (GUFBED), Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 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 <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/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, 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 iletilir.

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 yayınlanan 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 Tablolara 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 Tablolara ilgili açıklamalar içermelidir. **Ana metin en fazla 5000 kelime olup kaynak sayısında bir kısıtlama yoktur.**

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 “süreklili” 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 Onk olmalı ve satır aralık değeri tek (1) olarak yazılmalıdır. Noktalama işaretlerinden (nokta, virgöl, noktalı virgöl 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 virgöl 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 virgöl 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 virgöl 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 tez içerisinde “**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 ve altı çizili olarak yazılır. Kaynaklar aşağıda verilen yönergelere göre yazılmalıdır:

1- Metin içerisindeki referanslara atıfta bulunma

1.1. 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 ...”

1.2. Cümle içerisinde atıf verilen ancak yazar ismine değinilmeyen durumlarda hem yazar ismi hem de yıl parantez içerisinde yazılmalıdır. Birden çok atıf verilmiş ise iki atıf arası noktalı virgül ile ayrılmalıdır.

“Daha yeni bir çalışma (Stevens, 1988) göstermiştir ...”

“Doğu Pontidler, ‘Kuzey Zon’ ve ‘Güney Zon’ olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).”

1.3. İki ve daha fazla atıf verilmiş ise sıralama yılı 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).”

1.4. 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 Granitoyidi, 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)...”

1.5. 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)

1.6. 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*.

2- Kaynaklar (Referanslar) Bölümünün Hazırlanması

2.1. 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.

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.

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.

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).

2.2. Kitaplar:

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), TUBİTAK-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.

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.

2.3. 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 Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

2.4. Raporlar:

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.

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.

2.5. Editörlü Kitaplar:

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.

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: Eler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örçen, S. (Eds.), Geology of the Black Sea region. MTA, Ankara, Special Publication, pp. 33-38.
- Boynton, 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., 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.

2.6. Bildiriler Kitabı:

- Sualtı Günleri-1999, Türkiye'de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, Bildiriler Kitabı (editörler: B. Akinoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

2.7. Bildiri Özeti:

- 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.
- Bayarı, C.S., Kurttaş, T. ve Tezcan, L., 1998b. Köyceğiz Gölü Karışım Dinamiği: Çevresel İzotoplar ve Üç Boyutlu Yerde 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 Yoncayolu (Üzümlü, Erzincan) area. International European Clay Conference, Antalya, Book of abstracts, s. 281.
- 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.

2.8. Tam Metni Basılı Bildiriler:

- Hamarat, S., Ülkenli, H. ve Türe, G., 1998. Türkiye kıyıları Aydıncık-Taşucu Deniz Mağaraları Sualtı Araştırmaları, Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, Aralık 1998, İstanbul, Türkiye, s.105-111.

2.9. Aktüel Dergi ve Gazete Haberi:

- Corliss, Richard, 1993. Sept. 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.).

2.10. 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.lpsl.jussieu.-fr/OCMIP>.

URL-1, www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster. 05 Ağustos 2011.



- SEN C., AYDINÇAKIR E., YAĞCIOĞLU U C., BAK T.;** Sakarya Zonunun Güney Kesiminde Yüzeyleyen Geç Kretase Alkalen Volkanitlerinin Jeokimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması / *Comparison of the Geochemical Characteristics of Late Cretaceous Alkalen Volcanic Rocks from the Southern Border of Sakarya Zone*.....**1-15**
- HEKİMOĞLU A P., TURAN Y E.;** Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi / *Effect of Zinc Content on the Microstructure and Mechanical Properties of the Al-(5-50)Zn Alloys*.....**16-25**
- AKAR M., ATIŞ İ.;** Priming Uygulamalarının Kadmiyum ve Nikel Stresine Maruz Bırakılan Kırmızı Yumağın Çimlenme ve Fide Gelişimi Üzerine Etkisi / *The Effects of Priming Treatments on Germination and Seedling Growth of Red Fescue under Nickel and Cadmium Stress*.....**26-36**
- TOPAL S.;** Karacasu Fayı'nın (GB Türkiye) Göreceli Tektonik Aktivitesinin Jeomorfik İndislerle İncelenmesi / *Investigation of the relative tectonic activity of the Karacasu Fault (SW Turkey) by geomorphic indices*.....**37-48**
- BAŞAK M E.;** Akım Geri Beslemeli İşlemsel Kuvvetlendirici Kullanılarak Topraklanmış Endüktans Simülör Topolojileri / *Current Feedback Operational Amplifier Based Grounded Inductance Simulator Topologies*.....**49-54**
- TOKGÖZ M., ALTUN N.;** *Agelastica alni* L. (Coleoptera:Chrysomelidae) Larvalarının Besin Tüketimi ve Gelişiminde Mikroğdaların Etkisi / *The Effect of Micronutrients on The Development and Food Consumption of Agelastica alni (Coleoptera:Chrysomelidae) Larvae*.....**55-63**
- ÖZDURAN M.;** B_2 Kristal Yapıdaki OsAl Bileşiğinin Yapısal, Elektronik, Elastik, Termodinamik ve Fonon Özelliklerinin İncelenmesi / *The investigation of the structural, electronic, elastic, thermodynamic and phonon properties of OsAl in B_2 crystal structure*.....**64-69**
- ERENSAYIN E., TOPALOĞLU N., CALP M H., SAVAŞ S.;** Effect of Cactus Plants on Magnetic Fields Bruited by Computer Screens / *Bilgisayar Ekranlarının Yayıdığı Manyetik Alanlar Üzerinde Kaktüs Bitkisinin Etkisi*.....**70-79**
- KIRAK M.;** Basıncın ve Sıcaklığın Dış Elektrik Alan Altındaki Kübik Kuantum Noktasının Üçüncü Harmonik Üretimi Üzerine Etkisi / *The Effect of Pressure and Temperature on the Third Harmonic Generation of Cubical Quantum dot under External Electric Field*.....**80-87**
- KESEMEN O., TİRYAKİ B K., ULUYURT T.;** A Novel Approximation for Computation Bivariate Distribution Functions in Polygonal Area / *Çokgensel Alanda İki Değişkenli Dağılım Fonksiyonunun Hesaplanmasında Yeni Bir Yaklaşım*.....**88-98**
- YÜKSEL F., BALTACI C.;** Adayayı Tohumu (*Salvia officinalis* L.) Unu İle Zenginleştirilmiş Optimize Mısır Çipsin Depolama Yeteneklerinin Belirlenmesi / *Determination of Storage Ability of Optimize Corn Chips Enriched with Sage Seed (Salvia Officinalis L.) Flour*.....**99-107**
- MERDAN M., ANAÇ H., BEKİRYAZICI Z., KESEMEN T.;** Solving of Some Random Partial Differential Equations by Using Differential Transformation Method and Laplace- Padé Method / *Bazı Rastgele Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Diferansiyel Dönüşüm Metodu ve Laplace-Padé Metodu Kullanarak Çözümü*.....**108-118**
- KÖKÜM M.;** Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi / *Lineament Analysis of the area between Palu (Elazığ) and Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System by using Landsat TM images*.....**119-127**
- İSKENDERÖĞLU D., GÜNEY H.;** CdO:Ag İnce Filmlerinin SILAR Tekniği İle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu / *Growth And Characterization CdO:Ag Thin Films By SILAR Technique*.....**128-135**
- ÇELİK İ.;** Yüzey İşlemi Uygulanmış AZ31 Mg Alaşımının Yapısal Özelliklerinin ve Aşınma Davranışının İncelenmesi / *Investigation of Structural Properties and Wear Behavior of Surface Treated AZ31 Mg Alloy*.....**136-142**
- AĞIRMAN AYDIN T., SEZER M.;** E^n Uzayında Küresel Eğrileri Karakterize Eden Diferansiyel Denklem ve Çözümü / *Differential Equation Characterizing Spherical Curves in E^n and Solution of This Equation*.....**143-154**
- BAŞLAK C.;** Suda Çözünen İyonik Türlerin Tespiti İçin Kuantum Nanokristaller İle Floresans Temelli Optik Kimyasal Sensörlerin Geliştirilmesi / *Development of Fluorescence-Based Optical Chemical Sensors for Detecting of Ionic Species Soluble In Water By Using Quantum Nanocrystals*.....**155-162**
- AYDIN M M., YILDIRIM M S.;** The Investigation of Effective Parameters on Trip Length of Bikes sharing Systems (BSS) / *Bisiklet Paylaşım Sistemlerindeki Yolculuk Uzunluğu Üzerinde Etkili Parametrelerin İncelenmesi*.....**163-172**

BALCIOĞLU E B., ÇEVİK F E., AKSU A.; İstanbul'un Kent Topraklarında Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAHs) Birikimi ve Kökenleri Üzerine Bir Ön Araştırma / *A Preliminary Study on Accumulations and Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Soils of Istanbul*.....**173-179**

BEŞEL C., TANIR KAYIKÇI E.; Serisel Korelasyonun Toplam Zenit Gecikmesi Zaman Serilerinde Parametrik Olmayan Trend Belirleme Üzerindeki Etkisi / *The Effect of Serial Correlation on Nonparametric Trend Determination at Zenith Total Delay Time Series*.....**180-188**