



# 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

  
ULAKBİM TR DİZİN

  
EBSCO

  
CROSSREF.ORG  
THE CITATION LINKING BACKBONE

ISSN 2146-538X

CİLT/VOLUME: 7

SAYI/NUMBER: 2

YIL/YEAR: 2017

Gümüşhane University Science and Technology Institute Bağlarbaşı Mahallesi 29100 Gümüşhane/TURKEY  
gufbed@gumushane.edu.tr Tel: 0 456 233 12 85 Belge Geçer: 0 456 233 12 86



*Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*  
**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**  
*Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute*  
Cilt/Volume: 7 Sayı/Number: 2 Yıl/Year: 2017  
Altı ayda bir yayınlanır/ *Published twice 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**

*Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin BOSTANCI*

**Baş Editör / Executive Editor**

*Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ*

**Editörler / Editors**

*Prof. Dr. Bahri BAYRAM*

*Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ*

*Yrd. Doç. Dr. Bülent AKAR*

*Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ*

*Yrd. Doç. Dr. Lale CONA*

*Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER*

*Yrd. Doç. Dr. Musa KARAALP*

*Yrd. Doç. Dr. Talat ÖZDEN*

*Yrd. Doç. Dr. Emre ÖZYURT*

*Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN*

*Öğr. Gör. Salih TÜRK*

**Dergi Sekreteryası / Secretary**

*Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI*

*Arş. Gör. Ömer KARPUZ*

*Arş. Gör. Recep ÇAKMAK*

**Yayın Türü / Publication Type**

*Yaygın süreli ve hakemli/ Common term and refereed*

**Yayın Tarihi / Publication Date**

**31 /07 / 2017**

*Hakemli bir dergi olan Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi yılda iki kez online olarak yayınlanmaktadır. Akademik usullere uygun atıf yapmak suretiyle Dergide yapılan çalışmalardan yararlanılabilir. Bu dergide yayınlanan çalışmaların bütün sorumluluğu yazarlara aittir.*



Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Published by Gümüşhane University Science and Technology Institute

Cilt/Volume:7 Sayı/Number:2 Yıl/Year:2017

Altı ayda bir yayınlanır/ Published twice a year

ISSN 2146-538X



**Danışma Kurulu / Advisory Board**

- 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. Hasan BALTAŞ-Recep Tayyip Erdoğan Üni.  
Prof. Dr. Bahri BAYRAM-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Fikri BULUT-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Çetin CÖMERT- Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Günay ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil COŞKUNÇELEBİ-Karadeniz Teknik Üni.  
Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN-Uludağ Üniversitesi  
Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Prof. Dr. Murat EKİNCİ-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
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. Zülfü GÜROCAK-Fırat Üniversitesi  
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. 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. Sultan ÖZTÜRK-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
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. Ali Osman YILMAZ Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Prof. Dr. Özcan YİĞİT-Çanakkale 18Mart Üniversitesi  
Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR-Karadeniz Teknik Üni.  
Doç. Dr. Bilge BAHAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Tufan ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Zafer ÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Necati ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Fatih DÖNER-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Oğuz GÜNGÖR-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Elif Çelenk KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Afşin Ahmet KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Mustafa KUMRAL-İstanbul 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. Osman ÜÇÜNCÜ-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Alaaddin VURAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Doç. Dr. Halil YOLCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hazan ALKAN AKINCI Artvin Çoruh Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Eda Feyza AKYÜREK-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Yusuf AŞIK-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Cemalettin BALTACI-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hacı Alim BARAN-Batman Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAVUŞOĞLU-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Kemal ÇELİK-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim DÜZGÜN-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Selim KAYA-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Selami KESLER-Pamukkale Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Nurçin KÜÇÜK KENT-Gümüşhane Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Kemal KUVVET-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman LERMİ-Niğde Ömer Halisdemir Ü.  
Yrd. Doç. Dr. Seda NEMLİ-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Yasin OĞUZ-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Melih OKCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Zuhale OKCU-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Emre ÖZKOP-Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Abdulveli SİRAT-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Birol ŞAHİN-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa Nuri URAL-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Uğur ŞİMŞEK-Iğdır Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI- Karadeniz Teknik Üni.  
Yrd. Doç. Dr. Yener TOP-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU-Düzce Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Sefa YALVAÇ-Gümüşhane Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hilal YILDIZ-Neşehir Hacı Bektaş Veli Üni.

## İçindekiler/Contents

SİPAHİ F.; Kalınçam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi.....	102-127
KORKMAZ H., ALKAN S.; Yardımcı Bitkiler ve Ekolojik Etkileri.....	128-140
KÜTÜK SERT T.; Sub-Mikron Boyutlarında Üleksit Mineralinin Asfalt Karışımların Suya Hassasiyetine Etkisinin İncelenmesi.....	141-152
GÜZEL M., AKPINAR Ö.; Turunçgil Kabuklarının Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi.....	153-167
DEĞER A H.; Fibonacci Sayıları ile Alt Yörüngesel Grafların Özel Köşeleri Arasındaki İlişkiler.....	168-180
BARAN Ö.; Magnetron Sıçratma Yöntemiyle Kaplanmış TiNbN ve TiVN Filmlerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi.....	181-191
KORKMAZ H., DURMAZ A.; Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar.....	192-207
SAYDAM EKER Ç., ÖZKAN Ö.; Ankara Çayı Dere Yatağı Sedimanlarının Zararlı Element İçeriği.....	208-220
ÇELİK K.; Kentsel Dönüşüm Alanlarının Seçimi ve Dönüştürülmesine Yönelik Örnek Bir Uygulama.....	221-235
GÜCER M A., AYDINÇAKIR E., YÜCEL C., AKARYALI E.; Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları.....	236-267
KARADAŞ K.; Şanlıurfa İlinde Koyunculuk İşletmelerinin Sosyo-Ekonomik Durumu: Siverek İlçesi Örneği .....	268-279
ÖREN İ.; Öklid Uzayında Bir Yüzeyin İnvaryantlarının Bonnet Sistemi Hakkında.....	280-284
ŞAHİN E.; <i>Lactobacillus curvatus</i> Suşu ile Asetofenon Türevlerinin Asimetrik İndirgenmesi.....	285-308
OKATAN V.; GA <sub>3</sub> Uygulamalarının Malta Eriği ( <i>Eriobotrya japonica</i> ) Tohumlarının Çimlenmesi ve Çöğür Gelişimi Üzerine Etkileri.....	309-313
ÖZEREN S F.; Geliştirilmiş Dalgarno-Lewis Pertürbasyon Yöntemiyle Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemlerin Enerji Düzeylerinin Hesaplanması.....	314-319
AVCI E.; Türkiye'deki Enerji İçeceği Kullanım Sıklığının Klasik ve Bayesci Meta-analiz Yöntemlerine Göre Belirlenmesi.....	320-330

## Kalıncam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi

Ferkan SİPAHİ\*

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

Geliş tarihi/Received 23.09.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 23.03.2017

Kabul tarihi/Accepted 31.03.2017

### Öz

Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Kalıncam (Tonya, Trabzon) yöresi volkanitleri Geç Kretase yaşlı olup, tabanda bazalt, andezit ve piroklastitleri, bunları sırasıyla dasit, riyodasit ve piroklastitleri, andezit ve piroklastitleri ve tekrar dasit ve piroklastitleri izlemektedir. Taban bazalt ve andezitlerinde vesiküler, porfirik ve boşluklu doku; mineralojik olarak bazaltda plajiyoklas; andezitte ise plajiyoklas ve daha az olarak amfibol mineralleri bulunmaktadır. Dasit ve riyodasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camlı porfirik dokuda olup, plajiyoklas, kuvars ve hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Bunların üzerine gelen andezitler camlı-mikrolitik-porfirik dokuda ve plajiyoklas ile hornblendden ibaret bir bileşime sahiptirler. En üstte bulunan dasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camlı porfirik dokuda; plajiyoklas, kuvars ve hornblend minerallerinden oluşmaktadır. İncelenen volkanitler kalk-alkali-geçiş? özelliğe sahip olup, yüksek büyük iyon yarıçaplı element (BİYE) ve düşük yüksek çekim alanlı element (YÇAE) içerikleri ve yüksek BİYE/YÇAE oranları ile yitim ilişkili kayaların jeokimyasal özelliğini yansıtmaktadır. Kondirite normalleştirilmiş nadir toprak element dağılımları ( $La_N/Lu_N=3.11-13.10$ ) Kalıncam yöresi volkanitleri için benzer kaynağa işaret eden orta derece zenginleşme göstermektedir.  $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$  değerleri 0.70727 ilâ 0.70779 arasında,  $^{143}Nd/^{144}Nd_{(i)}$  değerleri ise 0.512318 ilâ 0.512656 arasında değişmektedir. İncelenen volkanik formasyonlardaki kayaların bazik-asidik karakterde olması hem yitimden etkilenmiş manto hem de kabuk kaynaklarının olası olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bazalt, Dasit, Kalıncam, Petrografi, Sr-Nd izotopları, Volkanit

## Geochemistry and Petrogenesis of Kalıncam (Tonya-Trabzon, NE Turkey) area Late Cretaceous aged Volcanic Rock

### Abstract

Volcanics around the Kalıncam (Tonya, Trabzon) in eastern Black Sea Region of Turkey, is of Late Cretaceous age, basalts, andesites and pyroclastics occur at the base; over these comes dacite, rhyodacite and their pyroclastics, andesite and its pyroclastics with dacite and its pyroclastics, respectively. The vesicular, porphyritic and open space textures are observed in basalts and andesites and as mineralogical components plagioclase in basalt, on the other hand, plagioclase and lesser amount amphibole are seen in andesite. Dacite and rhyodacite rocks have microgranular porphyritic and glassy porphyritic textures, and they consist of quartz and hornblende. The andesites ion have glassy- microlitic- porphyritic texture and have a composition consisting of plagioclase and hornblende. The dacitic rocks located at the top exhibit microgranular porphyritic and glassy porphyritic textures, and mainly they consist of plagioclase,

\* Ferkan SİPAHİ, ferkansipahi@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00-1711

quartz and hornblende. The investigated volcanics are of calc-alkaline-transitional? in character and have high large ion lithophile elements (LILE) and low High field strength elements (HFSE) content and high LILE/HFSE ratio, so they reflect the geochemical features of subduction related rocks. Chondrites normalized rare earth element patterns ( $La_N/Lu_N=3.11-13.10$ ) show a moderate enrichment pointing similar source for volcanics around Kalınçam.  $^{87}Sr/^{86}Sr$  values changes between 0.70727 and 0.70779; and  $^{143}Nd/^{144}Nd$  values ranges from 0.512318 to 0.512656. The fact that the rocks in the studied volcanic formations are of a basic-acidic character indicate that both the mantle which is affected by the subduction and crustal resources are possible.

**Keywords:** Basalt, Dacite, Kalınçam, Petrography, Sr-Nd isotopes, Volcanics

## 1. Giriş

Kalınçam (Tonya, Trabzon) yöresi Geç Kretase volkanitleri, Türkiye'nin kuzeydoğusunda ve Alp-Himalaya Dağ kuşağı üzerinde olan Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzey kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Volkanitler bimodal olup, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastik ürünlerinden oluşmaktadır. Ayrıca Kalınçam Volkanitlerini içine alan Doğu Karadeniz Bölgesi volkanizma eşlikli masif sülfid (VMS) yatakları açısından son derece önemli bir bölgedir. Bu yataklar özellikle Geç Kretase (Senoniyen) yaşlı dasitik kayalar (Altun, 1972; Buser ve Cvetic, 1973; Nebioğlu, 1975; Sipahi, 2005; Abdioğlu vd., 2015; Sipahi ve Sadıklar, 2011; Karakaya vd., 2012; Akyürek ve Sipahi, 2014; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014) içinde ve muhtemelen farklı stratigrafik seviyelerde yer almaktadır. Bölgedeki Geç Kretase yaşlı volkanitlerin gelişimi ile ilgili çalışmalar son derece sınırlı jeokimyasal özellikleri ile ele alınmış olup çok az sayıda çalışmada (Sipahi vd., 2014) izotop bileşimleri verilmiştir.

Çalışma alanında MTA ve JICA (1977), Pejatoviç (1979), Gülibrahimoğlu vd., (1984), Güven (1993) ve Özkan ve Yazıcı (2000) tarafından stratigrafik, petrografik ve sınırlı jeokimyasal (Cu, Pb, Zn gibi metal element analizleri) incelemeler yapılmış olup, mevcut volkanitlerin petrolojik ve kökensel özellikleri ortaya çıkarılmamıştır. Yapılan bu çalışmayla Kalınçam yöresinde Çatak, Kızılkaya, Çağlayan ve Çayırbağ formasyonlarındaki Geç Kretase yaşlı volkanitlerin petrografik, jeokimyasal ve izotopik özellikleri incelenerek bölgenin Geç Mesozoyik dönemi

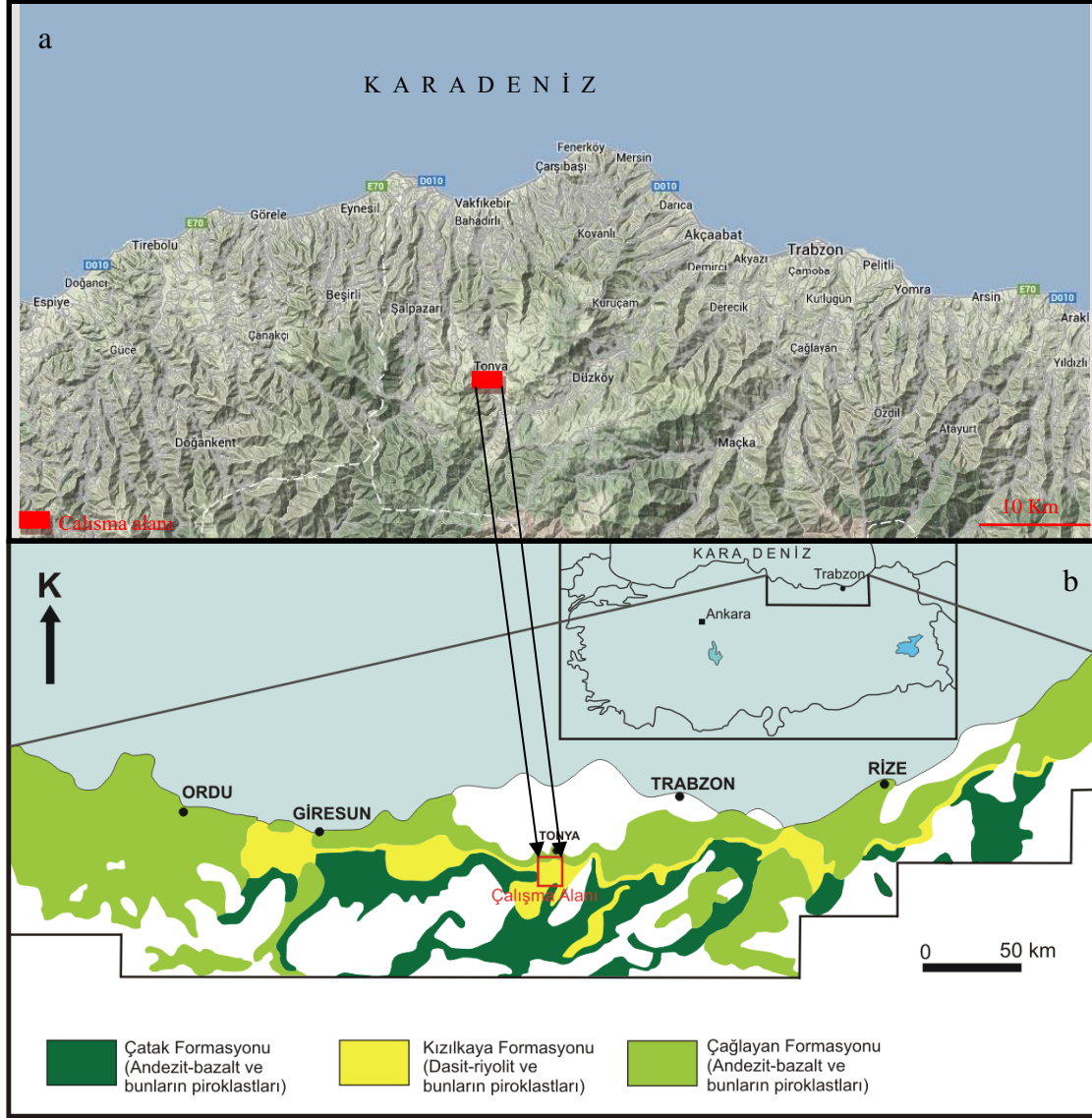
jeodinamik evrimine katkıda bulunulmaya çalışılmıştır.

## 2. Genel Jeoloji

Doğu Pontidler eski bir magmatik yay ortamını temsil etmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981, Okay ve Şahintürk, 1997). Bölge, Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenezinin etkisinde kalmış, dolayısıyla da yitim, yay ve yay gerisi oluşumu gibi birçok olay sonucunda şekillenmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Tokel (1977), Doğu Pontidler magmatik yayının güneyindeki ofiyolitik kayaları Paleotetis'e ait kalıntılar olarak düşünmüş ve Pontidler'in kapanmış kuzeye dalımlı bir yitim zonu yönünde geliştiğini belirtmiştir. Bektaş (1984)'a göre ise Doğu Pontidler güneye dalımlı bir yitim zonudur. Bektaş (1986), Doğu Pontidler magmatik yayını farklı magmatik, tektonik ve sedimentolojik evrim aşamalarına göre kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt zona ayırmıştır. Arslan vd. (1997)'ye göre bölgede üç ana volkanik devre ayırt edilmiş olup, ilk volkanizma erken Jura'da başlamış ve bazik volkanitleri oluşturmuştur. Bu bazik volkanitler toleyitik karakterlidir (Tokel, 1972; Schneider vd., 1988). Bu volkanizmayı takip eden volkanik evre Üst Kretase'de faaliyete geçmiş olup, asidik karakterlidir (Arslan vd., 1997; Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014). Volkanizmanın en şiddetli geçtiği dönem Üst Kretase'dir. Volkanizmanın son aşaması Eosen'de gerçekleşmiştir (Arslan vd., 1997; Temizel vd., 2012; Aydınçakır ve Şen, 2013; Arslan vd. 2014; Yücel vd., 2014; Aydınçakır,

2014; Akaryalı, 2016). Volkanik kayalara bazı alanlarda tortul kayalar eşlik etmektedir. Tüm birimler Geç Kretase'den Eosen'e kadar yaş aralığında değişen farklı bileşim ve özellikteki granitoidler tarafından

kesilmişlerdir (Çoğulu, 1975; Aslan, 2005; Arslan ve Aslan, 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011; Sipahi, 2011; Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2012a, 2013, 2014; Temizel vd., 2014).



**Şekil 1. (a)** Çalışma alanının yer bulduru haritası (<http://www.haritamap.com/ilce/tonya-trabzon>) ve **(b)** Doğu Pontidler'de Geç Kretase yaşlı volkanitlerin dağılımı (Güven, 1993'den sadeleştirilerek).

Doğu Pontidler'de temel kabul edilen Paleozoyik yaşlı kayalar, kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır. Güney Zonu'nda büyük plütonik kütleler halinde Gümüşhane yöresinde ve Gümüşhane-Köse arasında (Zankı, 1961, 1962; Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Açar, 1977; Gedikoğlu, 1978) egemen olan bu kayalar, Kuzey Zonu'nda Schultz-Wetsrum (1961)'e göre küçük mostralalar halinde Giresun güneyinde

metamorfik kayalarla birlikte, Kaygusuz vd. (2012b ve 2012c) tarafından ise Paleozoyik yaşlı granitlerin varlığı Tonya güneyi, Maçka güneyi ve Özdil yöresinde ortaya çıkarılmıştır. Bu taban kayaları Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayalar tarafından aşınma uyumsuzluğu ile üzerlenirler.

Kuzey Zonu'nda Lıyas'ta başlayan ve Erken Kretase sonuna kadar devam eden bazalt,

andezit ve onların piroklastitlerinden oluşan seri “Alt Bazik Volkanik Seri” olarak adlandırılmıştır (Gedikoğlu, 1978; Van, 1990). Kuzey Zonu’nun hemen her kesiminde çoğunlukla merccekler şeklinde görülen ve Berdiga Formasyonu olarak adlandırılan gri renkli kireçtaşları ise Dogger-Malm-Alt Kretase yaşlarını vermektedir (Gedikoğlu, 1978; Bulut, 1989). Alt Kretase yaşlı kayaçlar üzerine uyumsuz olarak gelen Geç Kretase yaşlı birimler tabandan itibaren bazalt, andezit ve içerdikleri ekonomik cevherleşmeler nedeniyle cevherli dasit olarak adlandırılan dasitik tüflerle başlar ve bu seri üzerine uyumlu olarak kırmızı biyomikritler ve hiçbir ekonomik cevherleşme içermeyen mor dasitler uyumlu olarak gelir (Sipahi vd., 2014). Kuzey Zonu’nda Zigana civarında Dasit-I ve Dasit-II olarak Sipahi (2005) ve Sipahi ve Sadıklar (2014) tarafından adlandırılan bu dasitler bimodal karakterde ve volkanik yay ortamlarında gelişmişlerdir. Ayrıca bu Dasit-I ve Dasit-II’deki illitlerde yapılan K-Ar radyometrik yaşlandırmalarda sırasıyla  $78.7 \pm 2.3$  ve  $75.3 \pm 2.4$  My (Kampanyen–Daniyen) yaşlar belirlenmiştir (Sipahi, 2005).

Geç Kretase-Paleosen geçişi Doğu Pontidler’de yer yer gözlenmekte; Şarman (1975), Tirebolu’nun güneydoğusunda Geç Kretase kireçtaşlarının devamı olarak Paleosen yaşlı birimleri ve Özsayar vd. (1981) ise Hopa-Cankurtaran yöresinde Geç Kretase’den Eosen’e kesintisiz volkano-tortul seri geçişini belirlemiştir. Eosen, genellikle Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile gelmekte ve bunları bazalt-andezit ve piroklastitleri ile türbidit çökellerinden oluşan seriler üstlemektedir (Saydam Eker, 2012). Gedikoğlu (1970), Çambaşı ve Gököy yörelerinde Eosen’in taban konglomerası ile başladığını belirtmiştir.

Oligosen, Trabzon, Ünye ve Fatsa yörelerindeki sahil kesimlerinde (Schultz-Westrum, 1961; Özsayar, 1971), Neojene ait volkanitler Trabzon-Çağlayan ile Trabzon-Yomra arasında (Aydın vd., 2008; Yücel vd., 2014) ve tortullar ise Trabzon-Akçaabat ile Rize-Pazar sahillerine yakın yerlerde

mevcuttur (Yalçınlar, 1952; Özsayar, 1971). Kuvaterner yaşlı oluşuklar traverten ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

### 3. Analitik Yöntem

Çalışma alanından alınan 52 adet kayaç örneklerinden mineralojik ve petrografik tayinlerin yapılabilmesi için 35 adet ince kesit Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, incekesit laboratuvarında hazırlanmış ve ince kesitler Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı’ndaki polarizan mikroskopta dokusal ve mineralojik açıdan incelenmiştir. Petrografik incelemeler sonucu seçilen 17 örneğin ana, iz ve nadir toprak element (NTE) analizleri ACME (Vancouver, Kanada) analitik laboratuvarında yaptırılmıştır. Ana ve iz element içerikleri, 0.2 gr toz kayaç örneğinin 1.5 gr  $\text{LiBO}_2$  ile çözdürülmesi ve daha sonra 100 ml %5  $\text{HNO}_3$ ’de çözülmesinden sonra ICP-MS ile ölçülmüştür. NTE içerikleri 0.25 gr toz kayaç örneğinin dört farklı asit içerisinde çözdürülmesinden sonra ICP-AES ile analiz edilmiştir. Ateşte kayıp (A.K.) için örnekler 1000 °C’de yakıldıktan sonra ağırlık farkından hesaplanmıştır. Toplam Fe içeriği,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cinsinden ifade edilmiştir. Dedeksiyon limitleri, ana oksitler için % ağırlık olarak 0.002 - 0.04, iz elementler için 0.1 - 8 ppm ve NTE için 0.01 - 0.3 ppm arasında değişmektedir.

Sr ve Nd izotop analizleri için seçilen 3 adet kayaç örneği bir VG Sektör 30 kütle spektrometre TIMS aletinde analiz edilmek üzere Thermal Ionization Mass Spectrometry Laboratuvarı (Amerika)’na gönderilmiştir. Sr ve Nd izotop analizi yapılan bütün örnekler, ya Katot taneler (tek filaman için) ya da bir üçlü filament düzeneğinin kenar filamanı üzerine, renyum filaman üzerine yüklenmiştir. Stronsiyum (Sr) numuneleri % 5 nitrik asit içinde eritilmiş ve  $\text{TaO}_2$  çözeltisinden 3 damla ve % 5 fosforik asitten 1 damla ile katot taneleri üzerine yüklenmiştir. Rubidyum (Rb) numuneleri % 5 nitrik asit içinde eritilmiş ve katot taneleri üzerine doğrudan yüklenmiştir. Hem Sr hem de Rb numuneleri bir VG Sektör 30 üzerinde analiz edilmiştir. Rb örnekler



minimum bir 5 x 10 (-12) amperde Rb'un kütlesi ya 85 ya da 87'nin yoğunluğu ile çalıştırılmıştır. Çoğu örnekler 1 veya 3x10 (-11) amper'de bu piklerden birinin yoğunlukları ile çalıştırılmıştır. Sonuçların bazılarının tutarsızlıkları, 1x10 (-11) amperin minimum bir yoğunluğu kullanılarak tutarsızlık minimuma indirilmiştir. Tüm Sr numuneleri bir VG Sektör 30 kütle spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Sr numunelerinin yoğunluğu 3x10 (-11) amperde minimum bir yoğunlukta Sr kütlesi 88 ile analiz edilmiştir. Neodimyum (Nd) ve samaryum (Sm) örnekleri bir üçlü filament düzeneğinin yalnızca tek bir kenarı üzerine örnek ile üçlü filamanlar kullanılarak analiz edilmiştir. Örnekler % 5 HNO<sub>3</sub> kullanılarak yüklenmiştir. Nd ve Sm örnekleri birbirine kalibre edilmiş beş toplayıcı kullanılarak analiz edilmiştir. Numuneler, 5x10 (-12) amperde aynı zamanda Sm kütle 149 ve 5 x 10 (-12) amperin bir minimumunda Nd kütle 144 ile analiz edilmiştir. Numuneler, aynı zamanda, bir VG Sektör 30 üzerinde çalışılmıştır. <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr ve <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd'un tekrarlanabilirliği % 0.3 içinde ve <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ve <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd oranları sırasıyla ±0.000025 ve ±0.00003 içindedir. NBS987 standart analizler, 0.710219 (10), 0.710213 (13), 0.710226 (11), 0.710260 (11) değerlerini vermiştir.

## 4. Bulgular

### 4.1. Stratigrafi ve Petrografi

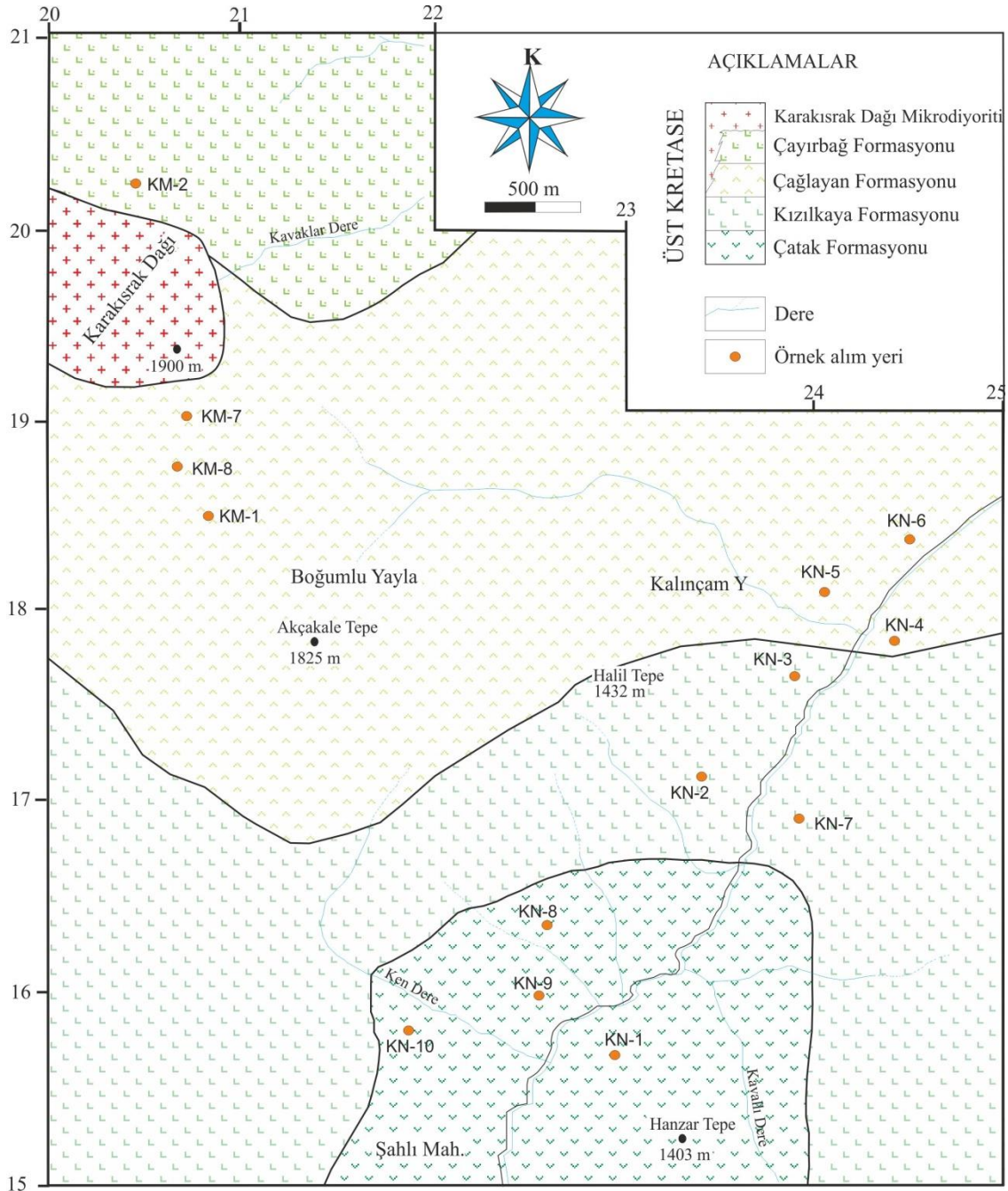
İnceleme alanındaki birimlerin yoğunluğu volkanik karakterli olup, Geç Kretase yaşlıdır (Şekil 2). Çalışma alanının tabanını Çatak Formasyonu (Güven, 1993) olarak adlandırılan bazalt, andezit ve bunların piroklastitleri, bunun üzerine Kızılkaya Formasyonu (Güven, 1993) olarak adlandırılan dasit, riyolit ve bunların piroklastitleri ve bunların da üzerine bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993) gelmektedir. Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993) üzerinde riyolit, riyodasit ve piroklastitlerinden oluşan Çayırbağ Formasyonu (Güven, 1993) bulunmaktadır. Bu birimleri Geç Kretase yaşlı intrüzif

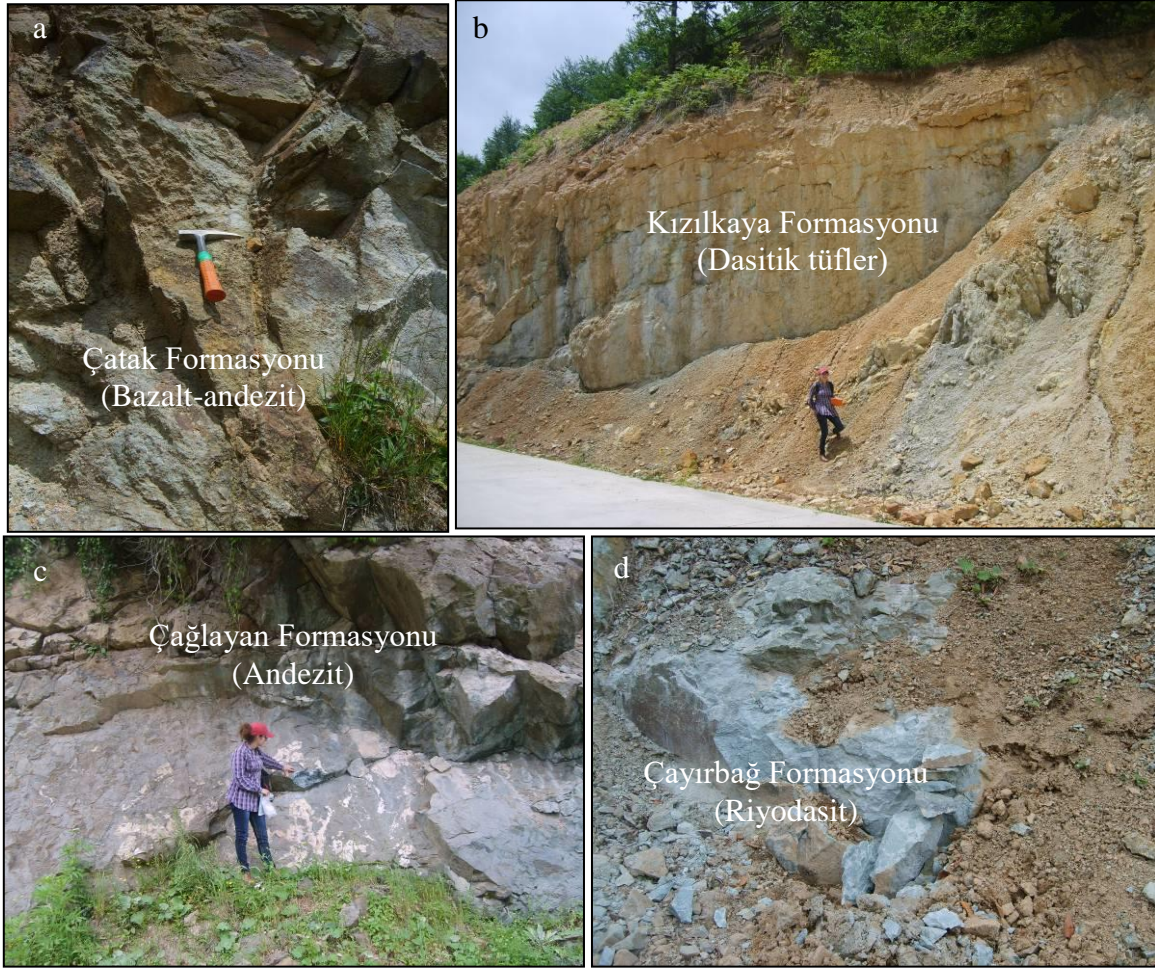
kesmiştir (Güven, 1993). Tabanda bulunan bazalt, andezit ve piroklastitleri arazide koyu gri, yeşil, siyahımsı ve kahverengimsi renklerde görülmekte (Şekil 3a), genel olarak kırıklı ve ayrışmıştır. Bunların üzerine gelen dasitler yer yer kolonsu yapı göstermekte olup, yoğunlukla aglomera ve tüflerden oluşmaktadır (Şekil 3b). Dasitlerde genelde beyaz, beyazımsı sarı, grimsi, açık pembemsi, yeşilimsi beyaz ve açık yeşil yüzey renklerine sahip olup, pirit içeriğinin fazla olduğu yerlerde sarımsı ve kahverengimsi sarı bir görünüm sunmaktadırlar. Dasitler, genel olarak kırıklı olup, silisleşme, serizitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve piritleşme şeklinde alterasyona uğramışlardır. Dasit ve piroklastitleri üzerine gelen bazalt ve andezitler arazide koyu gri, yeşil, siyahımsı ve kahverengimsi renklerde (Şekil 3c), yer yer boşluklu olup, boşluklar klorit-kalsit mineralleri ile dolguludur. Bu birimin üzerine uyumlu olarak gelen riyolit, riyodasit ve piroklastitleri genelde beyazımsı gri yüzey renklerine sahip olup (Şekil 3d), genelde kırıklıdır ve silisleşme, karbonatlaşma ve serizitleşme şeklinde ayrışma göstermektedirler.

Tabandaki Çatak Formasyonu'na ait bazaltta vesiküler doku (Şekil 4a) ve andezitte ise porfirik ve boşluklu doku (Şekil 4b) gözlenmekte olup, bazaltta mineralojik bileşen olarak yoğunlukla plajiyoklas mineralleri, andezitte plajiyoklas ve daha az olarak amfibol mineralleri görülmektedir. *Bazalt*; plajiyoklaslar iri ve küçük kristaller halinde öz ve yarı öz şekilde bulunmakta olup, albit ikizi göstermektedir. Plajiyoklasların türü % 51 An içeren labrador olarak tespit edilmiştir. Plajiyoklasların bazılarında zonlanma vardır. Plajiyoklasların bir kısmı tamamen serizitleşmiş ve karbonatlaşmıştır. Kesitin yaklaşık % 90'ı plajiyoklas minerallerinden oluşmaktadır. Ayrıca ovalimsi şekillerde boşluklar bulunmaktadır. Boşlukların kenar kısımlarında ikincil kuvarslar (silis) ve içinde hematitler vardır. Hamurda ikincil kuvars, kalsit ve opak mineraller plajiyoklas minerallerine eşlik etmektedir. Opak mineraller yer yer kümeler halinde görülmektedir. *Andezit*; plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli iri ve küçük kristaller

halinde bulunur. İncelenen kesitte bolluk oranı yaklaşık % 60-70 arasındadır. Plajiyoklaslar albit ikizi göstermektedir. Plajiyoklaslar andezin bileşiminde olup anortit içerikleri  $An_{36}$  (010'a dik kesitlerde)'dür. İri kristaller albit ikizlenmesi gösterir. Kalsit ve serizit en yaygın bozuşma ürünlerini oluşturur Plajiyoklasların

bazılarında zonlanma vardır. Amfiboller genelde Çoğunlukla kalsit ve opak minerallere dönüşmüşlerdir. Amfibolün kenarları boyunca opasitleşme gelişmiştir. Kayaç içerisinde en fazla % 10-15 oranındadır. Ayrıca hamurda ikincil kuvars, serizit, kalsit ve opak mineraller plajiyoklas ve amfibol minerallerine eşlik etmektedir.





**Şekil 3.** Çalışma alanındaki Kalınçam yöresindeki volkanitlerinin arazideki görünüşleri. (a) Tabanda, Çatak Formasyonu'ndaki bazalt-andezit, (b) Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik tüfler, (c) Dasitlerin üzerine gelen Çağlayan Formasyonu'ndaki andezit ve (d) En üstte çayırbağ Formasyonu'ndaki riyodasitler.

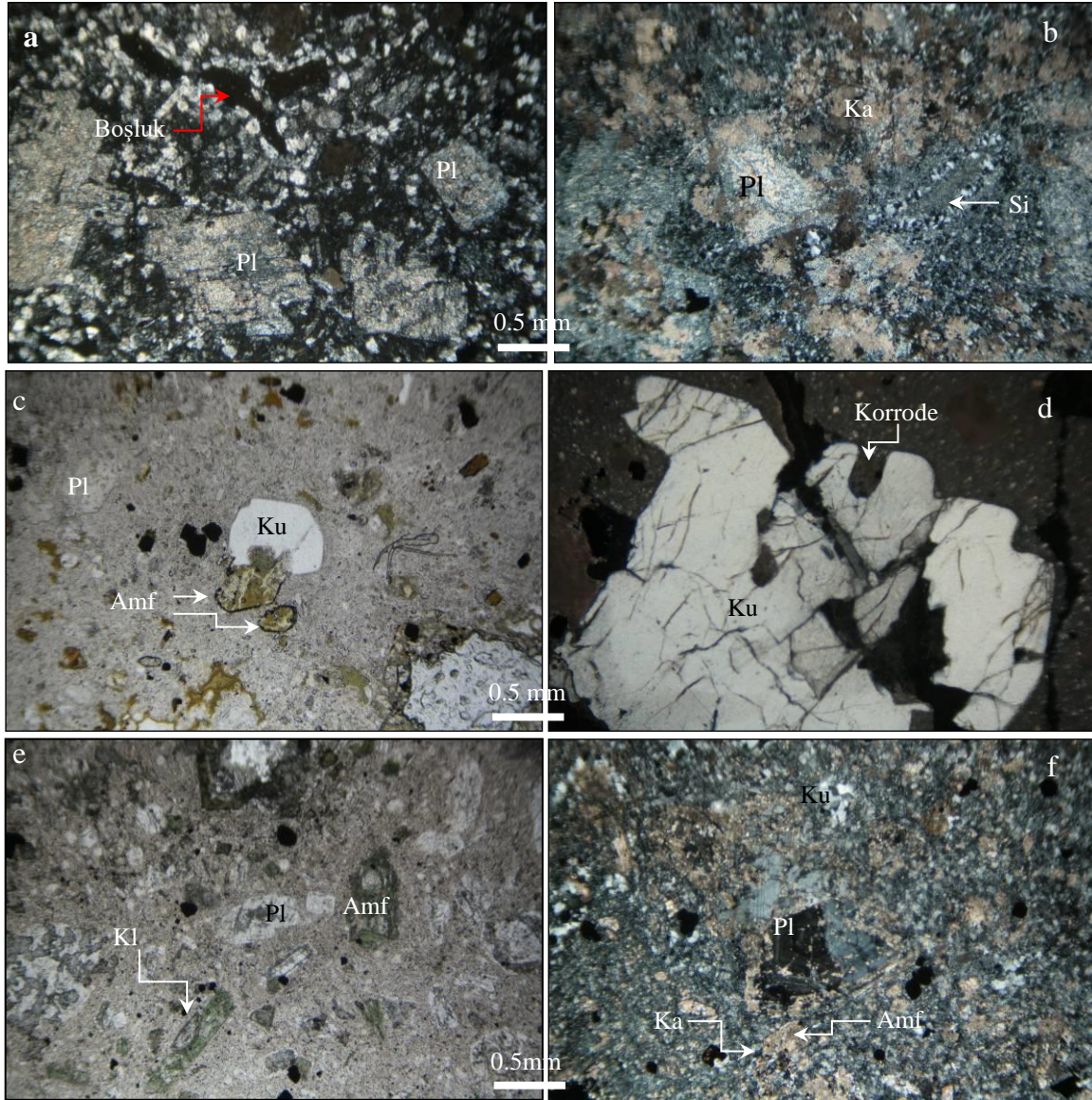
*Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik kayalar* mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda (Şekil 4c) olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendden oluşmaktadır. Plajiyoklas mineralleri iri ve ince taneli olup, serizitleşmişlerdir. Öz ve yarıöz şekilli plajiyoklaslar kayacın yaklaşık % 50-60'sini oluştururlar. Albit ikizi gösteren  $010^\circ$ 'a dik kesitlerde yapılan cins tayinlerine göre oligoklas ( $An_{26-28}$ ) bileşimindedir. Kuvars mineralleri iri ve küçük kristalli olup, bazıları korrode olmuştur (Şekil 4d). Kuvarslar yarı özşekilli ve özşekilsizdirler. Kayacın yaklaşık % 30-40'ını oluştururlar. Kuvarsların bazıları kırıklıdır. Ayrıca kayacın kırık ve çatlaklarında ve hamurda ikincil kuvarslar görülmektedir. Kayaçta yaklaşık % 5- 10 arasında olan amfiboller iri ve küçük kristalli olup, öz ve yarı öz şekilli ve bazılarının kenarları opasitleşmiş, bazıları ise

kloritleşmiştir. Opak mineraller (yaklaşık % 1-2) yarı özşekilli ve özşekilsiz olup saçınım halinde bulunmaktadır.

Kızılkaya Formasyonu üzerine gelen *Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitler* camsı-mikrolitik-porfirik doku (Şekil 4e) olup plajiyoklas ve hornblendden ibaret bir bileşimleri vardır. Öz ve yarı öz şekilli plajiyoklaslar hem fenokristal hem de mikrolitler şeklinde olup açık renkli minerallerin tamamına yakını oluşturmaktadır. Plajiyoklaslar albit ikizli ve bazıları elek dokuludur. Plajiyoklaslar, optik olarak andezin-labrador ( $An_{37-51}$ ) bileşimindedirler. Plajiyoklasların bazılarında karbonat oluşumları mevcuttur. Plajiyoklas kesitin yaklaşık %60-70'ni oluşturmaktadır. Kayacın yaklaşık % 30-35'i oluşturan hornblendler iri ve küçük kristalli olarak yarı

öz şekilli bulunmaktadır. Genellikle kloritleşmiş, bazılarının kenarları boyunca opasitleşme bazılarında kloritle birlikte karbonatlaşma görülmektedir. Ayrıca kesitte

değişen boyut ve şekillerde opak mineraller vardır. Hamur, plajiyoklas mikrolitleri, hornblend ve opak minerallerden ibarettir.



**Şekil 4.** Kalınçam yöresindeki volkanitlerin ince kesitteki görünüşleri. (a) Çatak Formasyonu'ndaki bazaltta görülen vesiküler doku (+N, Örn. no: KN-1), (b) andezitte mikrogranü porfirik doku (+N, Örn. no: KN-9), (c) Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitte camsı porfirik doku (//N, Örn. no: KN-3), (d) Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitte mikrogranü porfirik doku içinde korrode olmuş kuvars minerali (+N, Örn. no: KN-2) ve (e) Çağlayan Formasyonu'ndaki porfirik dokulu andezit (//N, Örn. no.: KN-5) ve (f) Çayırbağ Formasyonu'ndaki dasitte mikrogranü porfirik doku (+N, Örn. no.: KM-2). Pl: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Amf: Amfibol, Ka: Kalsit, Si: Silis (İkincil kuvars), Kl: Klorit.

Çayırbağ Formasyonu'ndaki dasitik kayalar mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda (Şekil 4f) olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendten oluşmaktadır. Plajiyoklas mineralleri iri ve ince taneli olup, karbonatlaşma, silisleşme ve az da olsa serizitleşme

göstermektedir. Plajiyoklaslar kayacın yaklaşık % 55-65'sini oluşturur ve yarı özşekilli olarak bulunurlar. Albit ikizi gösteren (010'a dik) kesitlerde yapılan cins tayinlerine göre plajiyoklas andezin ( $An_{49}$ ) bileşimindedir. Kuvars mineralleri iri ve

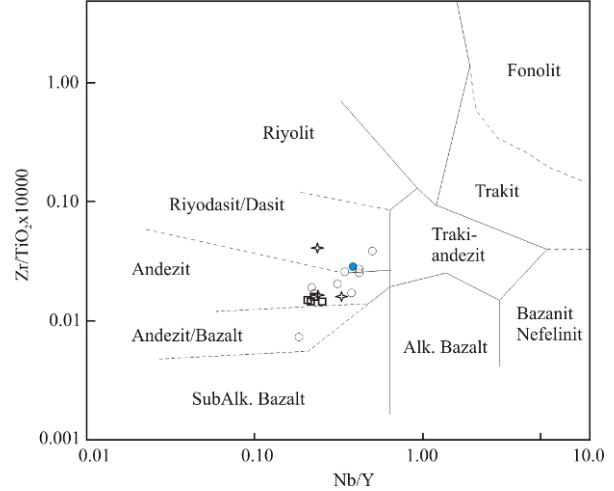
küçük kristalli olup bazıları korrodedir. Kayacın yaklaşık % 30-35'ini oluşturan kuvarlar yarı özşekilli ve özşekilsizdirler. Ayrıca hamurda ikincil kuvarlar görülmektedir. Amfiboller (yaklaşık % 5-10) iri ve küçük kristalli olup yarı öz şekillidirler. Bazı amfibollerin kenarları opasitleşmiş, genelde ise karbonatlaşmışlardır. Opak mineraller yaklaşık % 1-2 oranında, genelde yarı özşekilli ve özşekilsiz olarak, saçınım halinde bulunmaktadır.

#### 4.2. Kalınçam Yöresi Volkanitlerinin Jeokimyası

İncelenen Geç Kretase volkanitlerinin jeokimyasal özelliklerini ortaya koymak üzere ana, iz ve nadir toprak element analizleri yaptırılan 17 adet örneğin analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

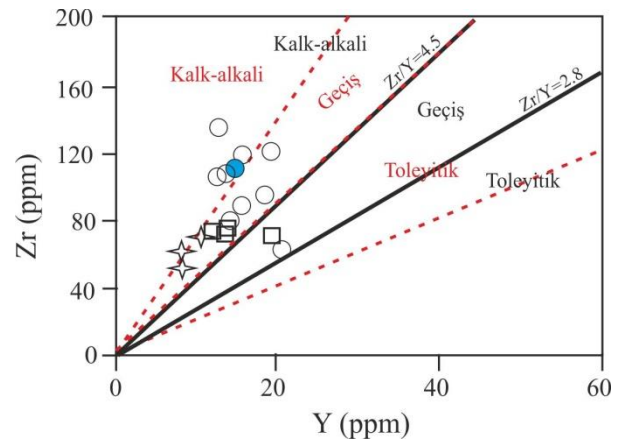
**Ana ve İz Element İçerikleri:** İncelenen Geç Kretase volkanitlerinin arazi gözlemleri ve mikroskop incelemeleri volkanitlerin değişen oranlarda ayrışma (silisleşme, karbonatlaşma, kloritleşme ve serizitleşme) gösterdikleri ve dolayısıyla Si, Mg, Ca ve K içeriklerinde artma veya azalma belirlenmiştir. Ayrışmanın kayaç sınıflandırmasına etkisini en aza indirmek için ayrışma esnasında daha az hareketli olarak kabul edilen Ti, Zr, Nb ve Y (Barrett vd., 1993) gibi elementlerin bulunduğu diyagramlar tercih edilmiştir. Hidrotermal ayrışma ve yeşilist derecesindeki metamorfizmada şartlarında Ti, Zr ve Nb elementler hareketsiz; Y ise genellikle hareketsiz olup, çok güçlü kloritleşme zonlarında hareketli olabilir (MacLean ve Kranidoitis, 1987; Barrett ve MacLean, 1991; Barrett vd., 1993). Kalınçam yöresinde volkanitlere ait örneklerde Ti ve Y elementi, Zr ve Nb'a göre daha hareketli olarak belirlendiğinden Şekil 5'deki diyagram yorumlanırken bu durum dikkate alınmıştır. Kalınçam yöresinde sırasıyla Çatak Formasyonu'ndaki volkanit örnekleri Nb/Y – Zr/TiO<sub>2</sub> diyagramına göre andezit alanında; Kızılkaya Formasyonu'daki volkanit örnekleri andezit ve riyodasit/dasit alanına; Çağlayan Formasyonu'ndaki volkanit örnekleri andezit/bazalt, andezit ve riyodasit/dasit alanına ve en üstteki Çayırbağ

Formasyonu'ndan alınan volkanit örneği dasit alanına düşmektedir (Şekil 5). İncelenen volkanitlerin hem mikroskop incelenmesi hem de kimyasal özellikleri birlikte değerlendirildiğinde bazalt, andezit ve dasit olarak adlandırılmışlardır.



**Şekil 5.** Kalınçam yöresi volkanitlerine ait örneklerin Nb/Y–Zr/TiO<sub>2</sub> (Winchester ve Floyd, 1977'den değiştirilerek) diyagramlarındaki konumları.

İncelenen volkanitlere ait örneklerin jeokimyasal özellikleri, AFM (Şekil 6a) ve Yb-La (Şekil 6b) diyagramlarında, bir kaç örnek hariç, kalk-alkali-geçiş alanında yer almaktadır. Kalınçam yöresindeki volkanitler jeokimyasal olarak kalk-alkali geçiş karakterlidir.



**Şekil 6.** Kalınçam yöresindeki volkanitlerin Y'a karşı Zr diyagramı. Kırmızı renkli toleyitik-geçiş-kalk-alkali eğrisi Barrett ve MacLean 1999'dan ve siyah renkli toleyitik-geçiş-kalk-alkali eğrisi Ross ve Bédard, 2009'dan alınmıştır. Semboller Şekil 5'deki gibidir.

**Tablo 1.** İncelenen volkanitlere ait örneklerin ana oksit (% ağırlık), iz ve nadir toprak elementlerinin (ppm) analiz sonuçları.

Örn. no	KN-1	KN-8	KN-9	KN-10	KN-2	KN-3	KN-7	KN-4	KN-5	KN-6	KN-12	KN-11	KM-1	KM-7	KM-7a	KM-8	KM-2	
Formasyon adı	Çatak				Kızılkaya			Çağlayan										Çayırbağ
Sembol	□				☆			o										•
SiO <sub>2</sub>	61.51	54.95	51.64	56.15	78.53	64.11	87.32	47.99	58.84	64.71	55.47	60.08	60.69	57.11	67.43	61.01	58.20	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.15	14.22	15.08	14.97	8.62	14.01	7.52	18.30	16.05	14.74	17.33	15.84	17.24	15.82	16.98	16.86	15.55	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	6.65	5.53	6.35	6.31	4.11	4.32	0.52	9.64	5.71	5.56	6.30	5.91	5.36	5.19	3.79	5.29	4.53	
MgO	5.48	5.07	5.52	4.28	0.38	1.54	0.17	4.03	1.94	0.83	5.27	3.78	2.20	1.58	0.16	1.99	1.02	
CaO	0.23	3.07	3.00	5.26	0.02	3.78	0.04	6.73	6.67	4.28	1.90	2.23	3.74	6.51	2.00	5.41	6.47	
Na <sub>2</sub> O	2.79	0.64	0.76	1.35	0.03	2.64	0.05	5.09	2.80	2.49	6.92	6.52	3.51	2.53	2.85	3.16	2.33	
K <sub>2</sub> O	1.47	3.45	2.94	2.71	2.63	1.06	1.79	1.40	2.77	3.50	0.43	0.46	2.78	1.48	2.74	2.24	1.73	
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.46	0.51	0.47	0.32	0.43	0.15	0.85	0.52	0.46	0.53	0.49	0.47	0.42	0.35	0.44	0.38	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06	0.07	0.09	0.03	0.05	0.02	0.25	0.09	0.06	0.07	0.10	0.20	0.19	0.15	0.20	0.17	
MnO	0.17	0.27	0.20	0.13	<0.01	0.19	<0.01	0.17	0.16	0.15	0.10	0.09	0.16	0.17	0.23	0.17	0.14	
A.K.	4.8	12.1	13.8	8.1	5.0	7.8	2.2	5.3	4.3	3.0	5.5	4.3	3.4	8.7	3.0	3.0	9.2	
Top.	99.81	99.84	99.86	99.84	99.63	99.89	99.79	99.73	99.83	99.83	99.84	99.85	99.72	99.75	99.71	99.73	99.71	
Sc	25	21	23	23	12	18	5	13	22	18	21	20	8	7	4	7	6	
Ba	217	480	364	470	2235	96	1285	265	368	417	186	149	1021	947	1154	944	1299	
Co	18.5	15.7	19.6	18.7	10.9	8.1	0.4	28.2	18.5	13.8	21.7	16.2	11.9	7.7	5.8	9.9	8.1	
Cs	1.6	2.2	2.4	1.9	2.1	1.5	0.4	2.6	1.5	4.4	1.9	1.6	2.6	8.0	4.2	2.4	2.4	
Ga	17.3	14.9	15.4	14.6	11.1	13.7	7.0	20.5	15.9	19.2	20.0	15.2	17.1	15.3	16.0	16.3	15.1	
Hf	2.0	2.0	2.0	1.8	1.3	2.2	1.6	1.7	2.3	2.1	2.7	2.5	3.1	2.3	3.1	3.0	2.7	
Nb	4.9	2.8	3.0	2.9	2.8	2.6	2.0	3.8	3.5	5.4	4.0	4.1	6.7	5.8	6.5	6.6	5.6	
Rb	45.0	124.4	87.7	90.3	57.4	22.7	31.6	32.0	81.1	119.8	13.5	18.2	76.7	38.6	75.3	69.7	43.4	
Sr	25.7	40.4	32.1	43.8	86.7	34.3	8.1	1091.7	156.2	116.1	284.2	277.4	552.1	420.4	378.4	506.0	512.0	
Ta	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	
Th	4.6	5.3	5.4	5.1	3.1	5.0	3.0	3.4	6.7	5.8	8.8	7.8	8.9	8.5	12.1	9.7	9.8	
U	1.6	1.7	1.9	1.8	1.4	1.0	1.3	0.8	3.1	2.0	2.8	2.0	2.2	2.1	2.5	2.4	2.5	
V	225	165	168	156	112	137	13	249	162	191	141	145	91	70	45	73	75	
W	5.7	4.7	3.0	1.6	3.8	1.7	3.6	<0.5	1.3	2.4	1.5	1.5	1.1	1.0	1.9	1.0	1.2	
Zr	70.7	73.4	75.1	71.5	51.3	69.9	61.4	62.4	88.7	79.6	105.6	95.0	120.5	107.6	135.4	118.6	110.7	
Y	19.4	12.3	14.0	13.8	8.5	10.8	8.4	20.6	15.7	14.3	12.7	18.5	19.3	13.8	12.9	15.8	14.9	
Tot.C	0.02	2.72	2.96	1.08	0.08	0.69	0.03	0.05	0.62	0.32	0.12	0.16	0.03	1.79	0.08	0.29	1.79	
Mo	1.4	0.9	0.6	1.7	10.8	1.3	5.7	1.7	2.5	1.7	0.5	1.1	1.8	4.3	2.9	5.1	1.2	
Cu	4.9	22.7	2.2	6.1	68.9	30.2	6.8	39.9	92.7	16.7	23.3	36.1	14.3	8.7	6.6	15.2	3.6	
Pb	1.7	4.9	7.4	4.2	110.1	9.5	97.9	3.6	6.0	10.9	25.3	31.0	5.9	6.8	19.4	3.8	13.8	
Zn	407	131	116	79	63	32	6	63	58	57	73	47	57	65	105	45	45	
Ni	10.8	7.7	7.4	10.0	7.7	2.5	5.6	2.7	9.5	6.2	9.8	7.7	4.4	7.7	5.8	7.4	2.6	
As	4.3	0.7	1.7	1.4	277.1	3.2	54.0	2.8	2.5	6.3	20.2	30.4	2.5	2.4	3.5	1.6	2.4	
Sb	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	14.2	0.3	0.6	<0.1	0.2	1.0	0.6	1.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.2	<0.1	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Au	2.3	1.0	0.6	<0.5	30.6	<0.5	89.6	0.6	0.8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	7.5	<0.5	<0.5	0.6	
La	14.3	12.6	12.6	13.7	7.6	9.2	5.1	15.6	16.7	14.3	12.4	22.1	32.4	24.9	32.8	29.0	28.7	

AK: Ateşte kayıp, Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub>: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cinsinden toplam Fe

Tablo 1'in devamı

Örn. No.	KN-1	KN-8	KN-9	KN-10	KN-2	KN-3	KN-7	KN-4	KN-5	KN-6	KN-12	KN-11	KM-1	KM-7	KM-7a	KM-8	KM-2	
Formasyon adı	Çatak				Kızılkaya			Çağlayan										Çayırbağ
Ce	27.3	27.3	25.6	27.9	14.4	16.6	8.9	31.9	33.9	27.5	28.2	40.7	47.4	43.6	56.1	45.1	48.8	
Pr	3.19	2.73	2.91	3.17	1.60	1.84	0.86	4.16	3.76	3.38	3.23	5.03	5.97	4.62	5.34	5.28	5.37	
Nd	11.2	9.7	12.2	12.5	5.7	6.7	3.6	16.4	12.9	12.7	12.4	20.5	21.1	15.6	18.6	19.2	17.9	
Sm	2.76	2.31	2.41	2.60	1.21	1.40	0.61	3.95	3.08	2.74	2.35	4.00	4.04	2.98	2.94	3.59	3.18	
Eu	0.67	0.59	0.63	0.62	0.34	0.50	0.35	1.27	0.69	0.65	0.81	0.80	1.17	0.98	0.90	1.14	1.03	
Gd	3.15	2.49	2.48	2.53	1.50	1.51	0.98	3.90	2.93	2.62	2.32	3.56	3.50	2.81	2.48	3.15	3.17	
Tb	0.48	0.34	0.35	0.38	0.20	0.25	0.18	0.55	0.42	0.39	0.34	0.51	0.48	0.40	0.34	0.44	0.41	
Dy	3.04	2.41	2.38	2.40	1.50	1.67	1.31	3.83	2.78	2.71	2.25	3.01	2.90	2.51	2.52	2.54	2.48	
Ho	0.59	0.40	0.53	0.45	0.32	0.34	0.22	0.67	0.57	0.54	0.45	0.64	0.62	0.49	0.42	0.56	0.55	
Er	1.91	1.36	1.47	1.47	0.76	1.06	0.79	1.96	1.63	1.45	1.37	1.84	1.85	1.35	1.41	1.58	1.54	
Tm	0.29	0.19	0.23	0.22	0.11	0.17	0.15	0.30	0.25	0.21	0.20	0.28	0.31	0.24	0.19	0.25	0.23	
Yb	2.04	1.43	1.46	1.46	0.78	1.19	1.02	1.82	1.42	1.53	1.44	1.69	1.82	1.45	1.57	1.75	1.75	
Lu	0.29	0.20	0.23	0.23	0.16	0.21	0.17	0.30	0.24	0.23	0.24	0.25	0.30	0.25	0.26	0.26	0.27	
(La/Lu) <sub>N</sub>	5.12	6.54	5.69	6.18	4.93	4.55	3.11	5.40	7.22	6.45	5.36	9.18	11.21	10.34	13.10	11.58	11.04	
(La/Sm) <sub>N</sub>	3.26	3.43	3.29	3.32	3.95	4.14	5.26	2.49	3.41	3.28	3.32	3.48	5.05	5.26	7.02	5.08	5.68	
(Gd/Lu) <sub>N</sub>	1.35	1.55	1.34	1.37	1.17	0.90	0.72	1.62	1.52	1.42	1.20	1.77	1.45	1.40	1.19	1.51	1.46	
(Sm+Gd) <sub>N</sub>	22.24	18.14	18.54	19.52	10.14	11.00	5.84	29.84	22.91	20.42	17.75	28.95	28.93	22.08	20.83	25.84	24.13	
Eu*	11.12	9.07	9.27	9.76	5.07	5.50	2.92	14.92	11.45	10.21	8.88	14.48	14.46	11.04	10.42	12.92	12.06	
Eu	0.69	0.75	0.78	0.73	0.77	1.05	1.38	0.98	0.69	0.73	1.05	0.64	0.93	1.02	0.99	1.01	0.98	
(Tb/Lu) <sub>N</sub>	1.09	1.12	1.00	1.09	0.82	0.78	0.70	1.20	1.15	1.11	0.93	1.34	1.05	1.05	0.86	1.11	1.00	

Eu\*=(Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)/2, Eu= Eu<sub>N</sub>/Eu\*

İncelenen volkanitlere ait örneklerin Zr'na karşı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Y, Nb ve Co'nun değişimleri incelenmiştir (Şekil 7). Volkanitlerde Zr artışıyla Th ve Nb içerikleri artarak pozitif bir ilişki görülmektedir. Çatak Formasyonu'nun andezitlerinde Zr artışıyla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Y'da artış; Co ve Ni'de ise belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Kızılkaya Formasyonu'nun dasitlerinde ise Zr ile bu elementler arasında fazla bir ilişki görülmemektedir. Çağlayan Formasyonu'nun bazalt ve andezitlerinde ise Zr artışıyla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'te artma, TiO<sub>2</sub>, Y, Co ve Ni'de ise azalma görülmektedir (Şekil 7). Ayrıca pozitif veya negatif yönsemelerin parabolik olması mineral fazlarının ayrılaşmadaki etkisini göstermektedir.

Volkanitlerin element (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zr, TiO<sub>2</sub>-Zr, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Ce, Sr-Zr, Nb-Zr, Y-Zr) çiftleri kullanılarak bu kayaçların gelişimde etkili

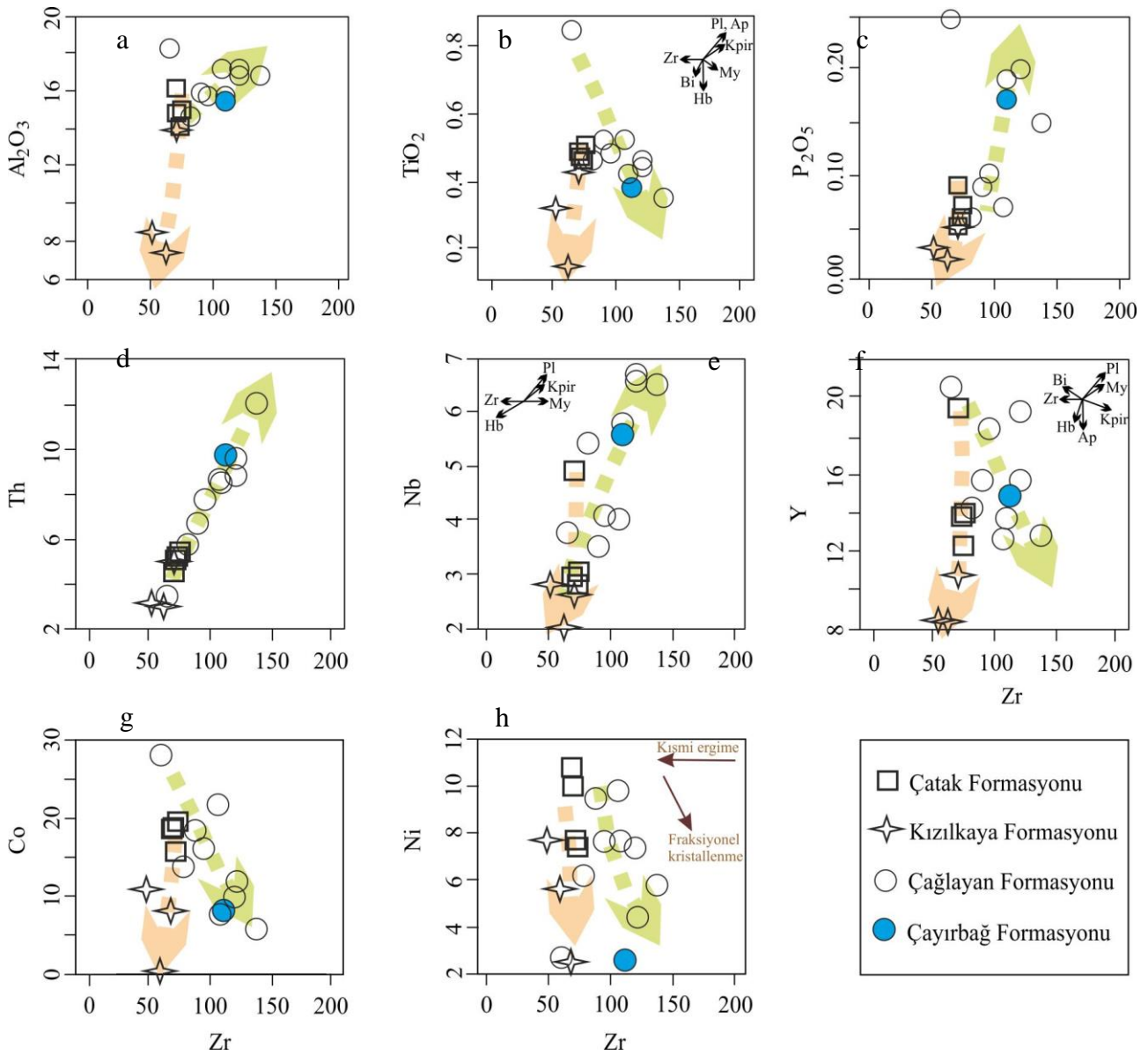
olan mineraller belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 7). Çatak ve Kızılkaya formasyonlarında Zr artışına karşılık Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'teki çok az bir değişim plajiyoklas ayrılaşmasına işaret etmektedir. Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde Zr değerinin artmasına karşılık Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y, Co ve Ni'in azalması amfibol ve biyotit ayrılaşmasını, TiO<sub>2</sub>'in azalması Fe-Ti oksit ayrılaşmasını göstermektedir.

*Uyumsuz ve Nadir Toprak Element İçerikleri:* Kalınçam Volkanitlerinin iz ve nadir toprak element değerleri Zenginleşmiş Okyanus Ortası Sırtı Bazaltlarının (Z-OOSB) değerlerine oranlandığında Sr hariç, K, Rb, Ba ve Th gibi büyük iyon yarıçaplı elementler (BİYE) bakımından zenginleşme, yüksek çekim alanlı elementler (YÇAE) bakımından ise bir fakirleşme görülmektedir (Şekil 8). BİYE'lerden özellikle Rb ve Th'da

zenginleşme en yüksek değere ulaşmaktadır. Volkanitler yüksek BİYE ve düşük YÇAE içerikleri ile yüksek BİYE/YÇAE oranları yitim ilişkili kayaların tipik karakterlerini yansıtmaktadırlar.

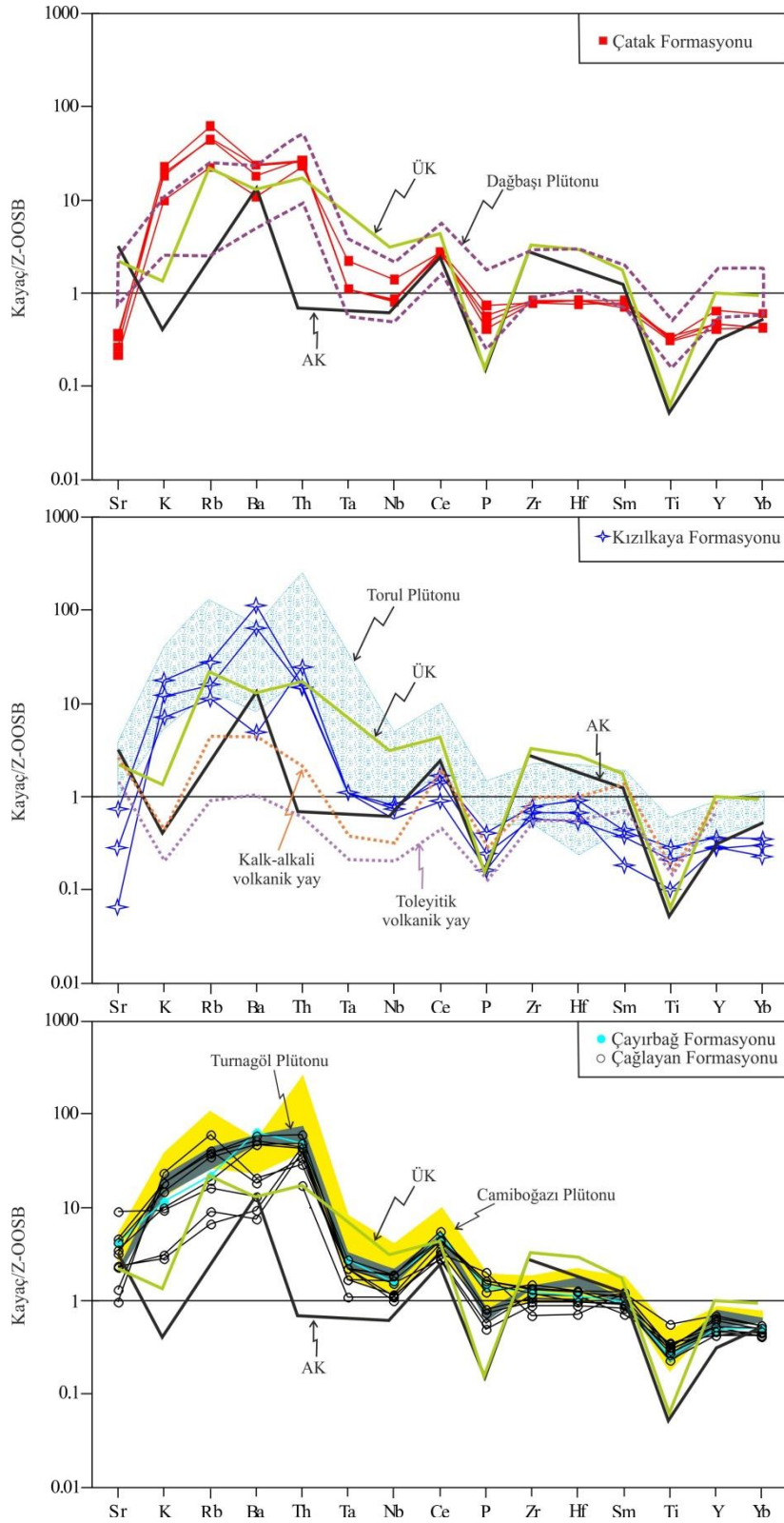
YÇAE'lerden Ce'de çok az zenginleşme; Ta, Nb, P ve Ti'da negatif anomali gözlenmektedir. P'da görülen negatif anomali oldukça tipik olup, farklılaşma sırasında meydana

gelen apatitin fraksiyonel kristallenmeyi; Ti'daki negatif anomali ise yitim kökeni işaret edebilir. Ayrıca incelenen volkanitlerin anomali değerleri kalk-alkali volkanik yaylarınkinden YÇAE'lerce fazla BİYE'lerle benzer bir dağılım göstermektedir. Dolayısıyla kayaların köken magmalarının yitim ilişki tektonik ortamların jeokimyasal özelliğini yansıttığı düşünülmektedir.



**Şekil 7.** Kalınçam yöresindeki volkanitlerin ana oksit (%) ve iz (ppm) element çiftlerinin değişim diyagramları. Mineral vektörleri Pearce ve Norry (1979)'dan alınmıştır. Pl: Plajiyoklas, Bi: Biyotit, Hb: Hornblend, My: Manyetit, Kpir: Klinopiroksen, Zr: Zirkon, Ap: Apatit.





**Şekil 8.** Kalınçam yöresi volkanitlerinin zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltına (Z-OOSB değerleri Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır) göre normalleştirilmiş uyumsuz element çizgiselleme. AK: Alt kabuk (Weaver ve Tarney, 1984), ÜK: Üst kabuk (Taylor ve McLennan, 1981).

Kalınçam yöresi volkanitlerinin nadir toprak element (NTE) değerleri kondirit değerlerine

göre normalleştirilmesinde paralel bir dağılım mevcut olup  $La_N/Lu_N$  oranları 3.11–13.10

arasında değişmektedir (Şekil 9). Çatak Formasyonu andezitlerinde  $La_N/Lu_N$  oranları 5.12-6.18 arasında, Kızılkaya Formasyonu dasitlerinde  $La_N/Lu_N$  oranları 3.11-4.98 arasında, Çağlayan Formasyonu andezitlerinde  $La_N/Lu_N$  oranları 5.40-13.10 ve Çayırbağ Formasyonu dasitinde  $La_N/Lu_N$  oranı 11.04'dür. Ayrıca ağır nadir toprak element (ANTE) bakımından yataya yakın bir dağılım sunarlar. Volkanitlerde Eu anomalisi 0.64-1.38 arasında değişmektedir. Eu anomalisi Çatak Formasyonu andezitlerinde 0.69-0.78 arasında, Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitlerde 0.77-1.38 arasında, Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde 0.64-1.05 arasında ve en üstteki Çayırbağ Formasyonu dasitinde 0.98'dir. Özellikle Çatak Formasyonu'ndaki andezitlerde görülen negatif Eu anomalisi, düşük basınç ( $\leq 10$  kb) plajiyoklas ayrımlaşmasının göstergesi olabilir (Briggs ve McDonough, 1990). Kızılkaya Formasyonu dasitleri kalk-alkali dasitlerle benzer yönseme göstermektedir. İncelenen volkanitler, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde benzer stratigrafik seviyeye sahip olan Geç Kretase yaşlı plütonik kayalar, Murgul yöresi Kızılkaya Formasyonu'na denk dasitler (Sipahi vd., 2014) ve Zigana yöresi Çatak Formasyonu'na denk bazalt ve Kızılkaya Formasyonu'na denk Dasit-I ve Çayırbağ Formasyonu'na denk Dasit-II (Sipahi ve Sadıklar, 2014) ile karşılaştırıldığında genel olarak benzer yönsemeye sahip oldukları görülmektedir.

*Sr-Nd İzotop İçerikleri:* İncelenen volkanitlerin izotop verileri Tablo 2'de verilmiştir. Sr hidrotermal ayrışma esnasında genellikle hareketli olduğu için, örnekler dikkatli bir şekilde seçilmiştir. İncelenen kayaların ilksel Sr-Nd izotopik bileşimleri sırasıyla 80 My ve 70 My yaşlar kullanılarak hesaplanmıştır. Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik kayaların  $I_{Sr}(80 \text{ My})$  izotopik bileşimleri 0.70727-0.70779 arasında değişmekte ve  $\epsilon Nd_{(80 \text{ My})}$  bileşimi 1.2'dir (Tablo 2). Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitin  $^{87}Sr/^{86}Sr_{(i)}$  (0.70760) izotop bileşimi dasitik kayalarınki ile benzer, fakat  $\epsilon Nd_{(i)}$  (-5.5) izotopik bileşimleri dasitik kayalarınkinden farklıdır. Şekil 10'da

görüldüğü gibi, Kızılkaya Formasyonu dasit örnekleri Sr-Nd izotop diyagramının toplam yerküre alanına yakın ve kıta kenarı volkanitleri alanında almaktadır. Çağlayan Formasyonu andezit örneği ise zenginleşmiş alana yakın bulunmaktadır. İncelenen dasit örnekleri Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu dasitlerine denk Murgul dasitleri (Sipahi vd., 2014) ile benzerlik çizgisellikte olup, kıta kenarı volkanitleri alanındadır. Diyagramda örnekler diğer bölgelerdeki volkanitlerden farklı bir trendler göstermekte ve alanların dışında yer almaktadır. Çağlayan Formasyonu andezit örneği, Tersiyer volkanitleri (Temizel vd., 2012), Dağbaşı Plütunu (Kaygusuz vd., 2009, 2011), Turnagöl Plütunu (Kaygusuz vd., 2013) ve Torul Plütunu (Kaygusuz vd., 2008) ile benzer çizgisellikte olup, Torul Plütunu'na yakın alanda bulunmaktadır.

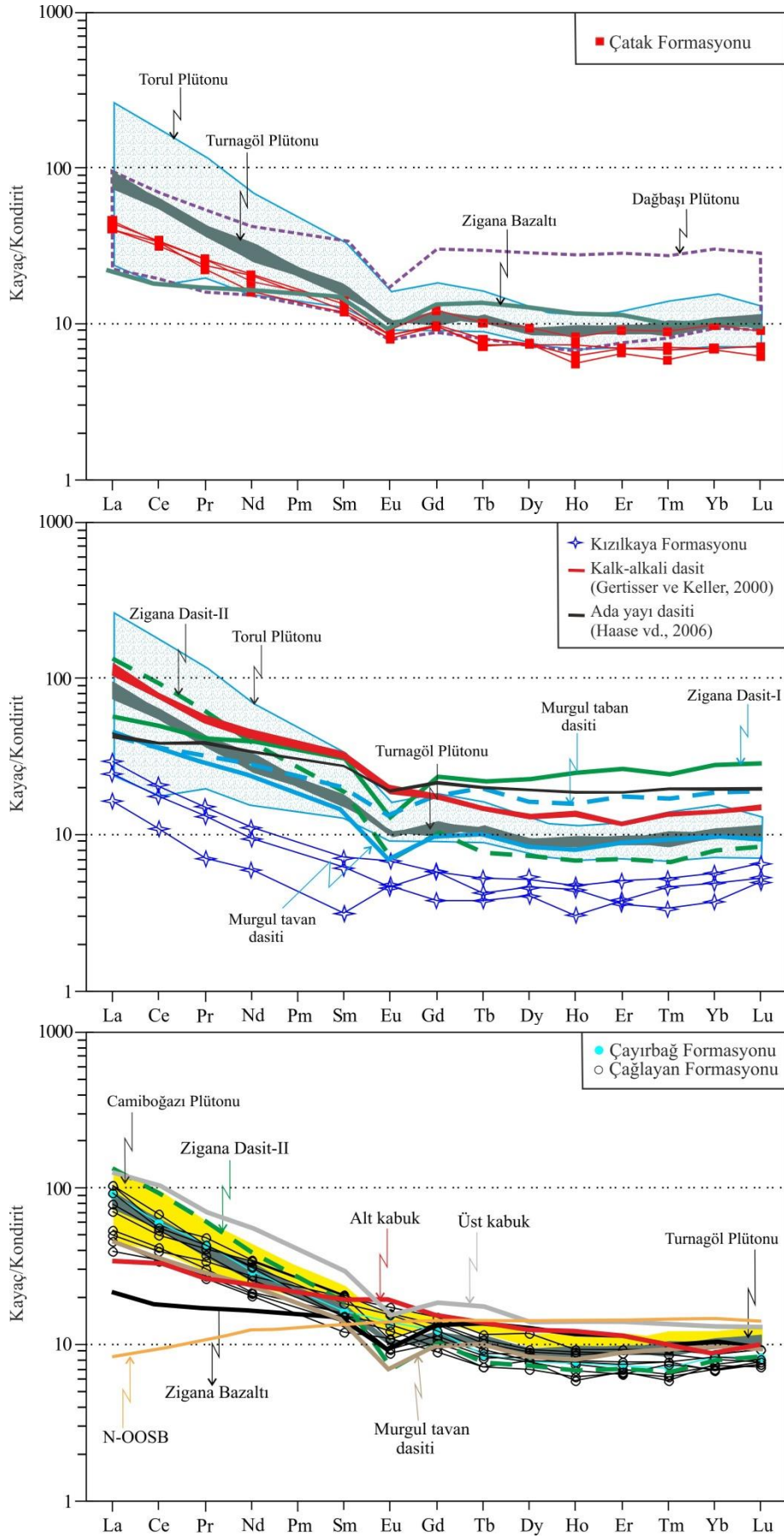
## 5. Tartışma

### 5.1. Alterasyonun Elementler Üzerindeki Etkisi

İncelenen volkanitlerin değişen oranlarda alterasyona uğradığı gerek arazi çalışmaları gerekse mikroskop incelemeleri sırasında belirlenmiştir. Dolayısıyla Kalınçam yöresindeki volkanitler çalışılırken alterasyonun etkisini en aza indirgenecek şekilde örnekleme ve sonrasında kimyasal analizler için örnek seçimi yapılmıştır. İncelenen volkanitlerin oluşum süreçleri yorumlanırken altere ortamlarda hareketsiz veya çok az hareketli olarak bilinen Ti, Zr (Hf), Ta, Nb, Y, Cr, Ni ve nadir toprak (özellikle de ağır nadir toprak) elementler tercih edilmiştir.

### 5.2. Fraksiyonel Kristallenme

Ana ve iz elementler, ada yayı volkanitlerinin çeşitli türlerinin oluşumunda etkili olan fraksiyonel kristallenmenin önemini belirtmektedir (Thirlwall vd., 1996). İncelenen volkanitler N-MORB-normalleştirilmiş negatif Nb, Ti ve  $P_2O_5$  anomalileri hornblende, Fe-Ti oksit ve apatit fraksiyonlaşmasını gösterebilir.



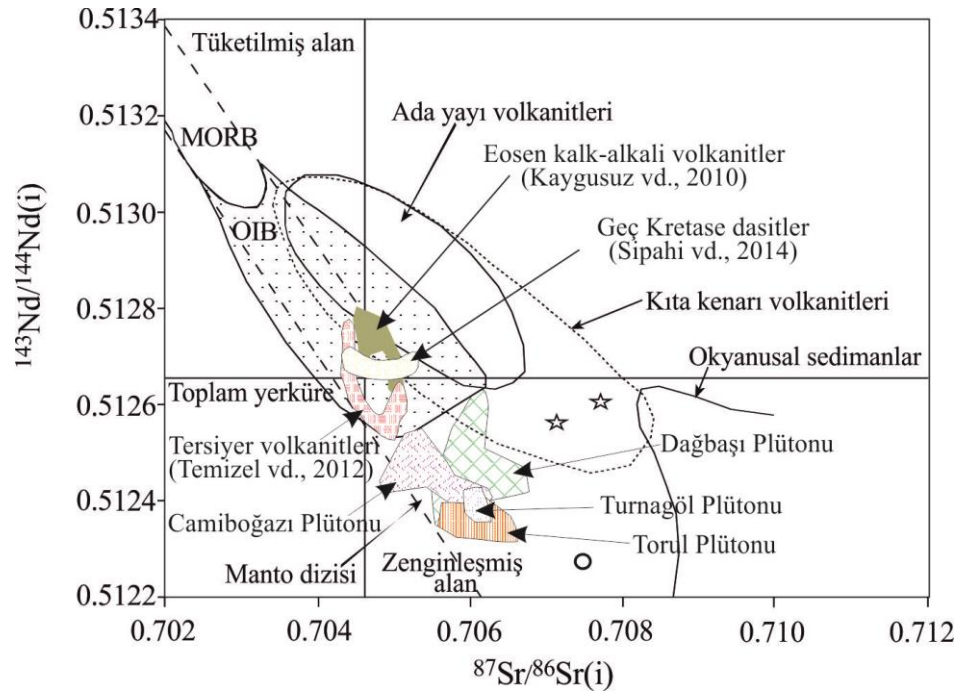
**Şekil 9.** Kalınçam yöresi volkanitlerinin kondirite göre normalleştirilmiş NTE dağılımları, (kondirit değerleri Taylor ve McLennan, 1985'den; N-OOSB değerleri Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır).

**Tablo 2.** İncelenen volkanitlerin Sr ve Nd izotop analizleri.

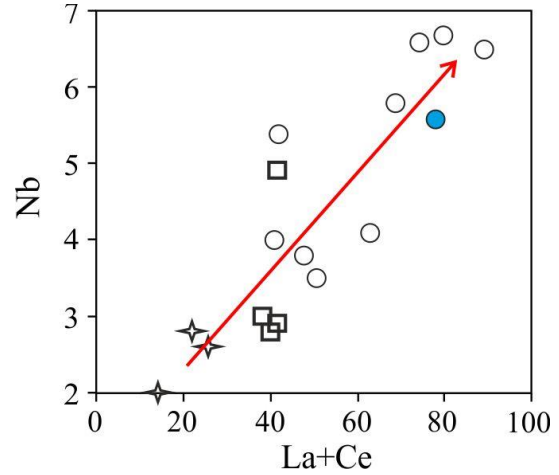
Örnek	Kayaç türü	Rb (ppm)	Sr (ppm)	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	I <sub>Sr</sub> (t)	Sm(ppm)	Nd(ppm)	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	ε <sub>Nd</sub> (0)	f <sub>Sm/Nd</sub>	ε <sub>Nd</sub> (T) (τ)	T <sub>DM</sub> (Ga)
<b>Kızılıkaya Formasyonu</b>														
KZ 2	Dasit	57.4	86.7	1.91995	0.709452	0.70727	1.21	5.7	0.1283	0.512623	-0.3	-0.35	0.3	0.94
KZ 7	Dasit	31.6	8.1	11.31358	0.720650	0.70779	0.61	3.6	0.1024	0.512656	0.4	-0.48	1.2	0.68
<b>Çağlayan Formasyonu</b>														
KZ 12	Andezit	55.47	284.2	0.56602	0.708159	0.70760	2.35	12.4	0.1146	0.512318	-6.2	-0.42	-5.5	1.28

Not:  $\epsilon_{Nd} = ((^{143}Nd/^{144}Nd)_{\text{örnek}} / (^{143}Nd/^{144}Nd)_{\text{CHUR}} - 1) \times 10000$ ,  $f_{Sm/Nd} = (^{147}Sm/^{144}Sm)_{\text{örnek}} / (^{147}Sm/^{144}Sm)_{\text{CHUR}} - 1$ ,  $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{\text{CHUR}} = 0.512638$ , ve  $(^{147}Sm/^{144}Sm)_{\text{CHUR}} = 0.1967$ . Model yaşları lineer izotopik büyüme oranı eşitliği kullanılarak hesaplandı:  $T_{DM} = 1/1 \times \ln(1 + ((^{143}Nd/^{144}Nd)_{\text{örnek}} - 0.51315) / ((^{147}Sm/^{144}Sm)_{\text{örnek}} - 0.2137))$ .

**Şekil 10.** İncelenen volkanitlerin Sr-Nd izotop bileşimleri. Manto dizisinin sınırları DePaolo ve Wasserburg (1979)'dan çizilmiştir. Semboller Şekil 7'deki gibidir.



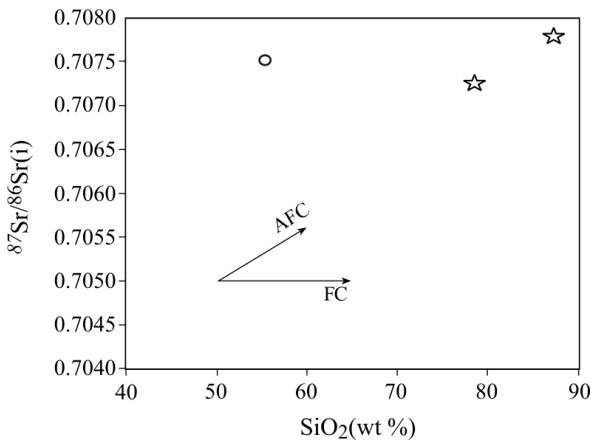
İncelenen volkanitlerdeki mineral ayrışması için Zr-TiO<sub>2</sub>, Zr-Y ve (La+Ce)-Nb değişim diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 7b, 7f ve 11). Çatak Formasyonu andezitinde TiO<sub>2</sub> az da olsa artarken Zr değişmemektedir. Benzer ilişki (La+Ce) ile Nb ve Zr ile Y arasında görülmekte olup hornblend ayrışmasına dikkat çekmektedir. Kızılkaya Formasyonu Zr ile TiO<sub>2</sub> ve Zr ile arasındaki pozitif ilişkiler plajiyoklas ayrışması olarak yorumlanabilir (Şekil 7a ve f). Çağlayan Formasyonu'nda bazalt ve andezitte TiO<sub>2</sub>'ın hemen hemen sabit kalmasına karşılık Zr'un artması (Şekil 7a), aynı şekilde Y artarken Zr'un da artması (Şekil 7f) daha çok hornblend birikimini işaret etmektedir. Dolayısıyla incelenen volkanitlerde amfibol ve plajiyoklas ayrışmasına bağlı bir farklılaşmanın etkin olduğu anlaşılmaktadır. İnce kesitte Çatak ve Çağlayan formasyonlarındaki andezit ile Kızılkaya ve Çayırbağ dasitlerinde amfibolün varlığı bu ayrışmayı doğrulamaktadır. Ayrıca Kalınçam yöresindeki volkanitlerde La+Ce ile Nb arasında görülen pozitif ilişki ve bunlar arasındaki korelasyonu gösteren çizginin orjinden geçmesi bu dört formasyonun benzer kökenli bir kaynaktan türediklerini gösterebilir (Şekil 11).



**Şekil 11.** İncelenen volkanitlere ait La+Ce karşı Nb değişim diyagramı.

Yay-magmasına dayanan bir çok çalışma, manto kökenli yay magmalarının iz element ve izotop bileşimlerinin değişimlerinin bir süreci olarak kabuk materyalinin asimilasyonu için delil sağlamaktadır (Thirlwall vd., 1996; George vd., 2004; McDermott vd., 2005). Bu çalışmadaki Çatak Formasyonu'nun andezitleri 12.6-14.3 ppm La ve 25.6-27.9 ppm Ce, Kızılkaya Formasyonu'nun dasitleri 5.1-9.2 ppm La ve 8.9-16.6 ppm Ce, Çağlayan Formasyonu'nun bazalt ve andezitleri 12.4-32.8 ppm La ve 27.5-56.1 ppm Ce değerlerine sahiptir.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  ve  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$  oranlarının  $\text{SiO}_2$ 'e karşı değişimindeki pozitif ve negatif yönseme magmanın AFC süreçlerinden etkilendiğini göstermesine karşılık, hemen hemen sabit yönseme önemli fraksiyonel kristallenmeyi göstermektedir. İncelenen volkanit örneklerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  ve  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$  içeriğinin  $\text{SiO}_2$ 'e karşı değişimi hemen hemen sabit yönseme göstermektedir (Şekil 12). Bunların hepsi incelenen volkanitlerin benzer yitim kökenli kaynaklardan ve kimyasal farklılıkları kontrol eden AFC süreçlerinden ziyade fraksiyonel kristalizasyondan oluştuğunu belirtmektedir.



**Şekil 12.**  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  değerine karşı  $\text{SiO}_2$  değişimlerini gösteren grafik. Semboller Şekil 9 ile aynıdır.

### 5.3. Kaynak Karakteristikleri

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde magmatik yay ortamında Üst Kretase volkanizması bazik-asidik ürünlerin tekrarlanmasıyla bimodal volkanizma karakterinde görülmektedir. İnceleme alanında Geç Kretase yaşlı sırasıyla bazalt-andezitten oluşan Çatak Formasyonu, dasitten oluşan Kızılkaya Formasyonu, bazalt-andezitten oluşan Çağlayan Formasyonu ve dasitten oluşan Çayırbağ Formasyonu bu bimodal niteliği yansıtmaktadır. Yitim ilişkili volkanik kayaçların magmasının oluşumu için olası mekanizmalar (1) manto kamasının kısmi ergimesi, (2) yiten okyanus kabuğunun kısmi ergimesi (Singer vd., 1992; McCulloch vd., 1994; Pearce vd., 1995; Beard, 1995) veya (3) alt kabuğun ergimesi olarak düşünülmektedir. Fraksiyonel kristallenmeyle

bazaltik veya andezitik magmadan türeme çalışma alanının dışındaki bazaltik veya andezitik kayaçlara göre dasitik kayaçların büyük hacimli yapısından dolayı uygun görülmektedir (Şekil 2).

İncelenen geç Kretase yaşlı volkanik kayaçlar BİYE'lere göre YÇAE'lerce azalmıştır. Andezitten dasite farklılaşma BİYE'lerdeki azalma ve YÇAE'lerdeki azalma ile belirgindir (Şekil 8). Manto kaması Z-MORB'dakine göre YÇAE'lerce fakirdir (Hawkesworth vd., 1997). Dasitik kayaçlardaki YÇAE'lerin azalması yitim zonunun üst kısmında üretilen magmanın karakteristiği olarak düşünülür. BİYE zenginleşmesinin ise ada yaylarının karakteristiğini yansıttığı düşünülmektedir (Thompson vd., 1984; White ve Patchett, 1984; Briggs ve McDonough, 1990). Çatak ve Kızılkaya ile Çağlayan ve Çayırbağ formasyonlarına ait kayaçların benzer NTE dağılımları benzer ana magmanın farklılaşmasını yansıtabilir. Çatak Formasyonu andezitlerine göre, dasitik kayaçlardaki ağır NTE azalması, eriyik çıkmasından sonra kalıntıda kalan ağır NTE'lerin amfibolde yoğunlaştığı mafik bir kaynağı gösterebilir (Drummond ve Defand, 1990; Condie, 1993). İncelenen volkanitlerde BİYE ve hafif NTE'lerin bollukları ve düşük YÇAE ve ağır NTE içerikleri, bunların zenginleşmiş bir kaynaktan türeyen ana bir magmalardan itibaren geliştiğini önerebilir.

İncelenen volkanitlerin, Zr (ppm)'a karşı Hf (ppm), Nb (ppm) ve Ce (ppm) diyagramları ile La (ppm)'a karşı Ce (ppm) diyagramında pozitif bir ilişki gösterdikleri açıkça görülmektedir (Şekil 13). Volkanitlere ait örneklerin korelasyon doğruları orjinden ve/veya orjine çok yakın bir noktadan geçmektedir. Bu durum bazaltik, andezitik ve dasidik volkanik kayaçların benzer kaynaktan türeyebileceklerine işaret etmektedir. Ayrıca, sadece ayrılaşma olayının değişmeyen uyumsuz element oranını koruyabildiği bilinmektedir (Innocenti vd., 1980). Ayrıca yüksek Th ve U değerleri (Çatak Formasyonu andezitinde Th 4.6-5.4 ppm arasında ve U 1.6-1.9 ppm arasında, Kızılkaya Formasyonu dasitinde Th 3-5 ppm arasında ve U 1-1.4 ppm, Çağlayan Formasyonu bazaltı ve

andezitinde Th 3.4-12.1 ppm arasında ve U 0.8-3.1 ppm arasında ve Çayırbağ Formasyonu dasitinde Th 9.8 ppm ve U 2.5 ppm) ise; volkanitlerin yiten kabuk malzemesinin karışmasıyla zenginleşmiş bir manto kaynağından türediklerini ifade etmektedir (Faure ve Mensing, 2005).

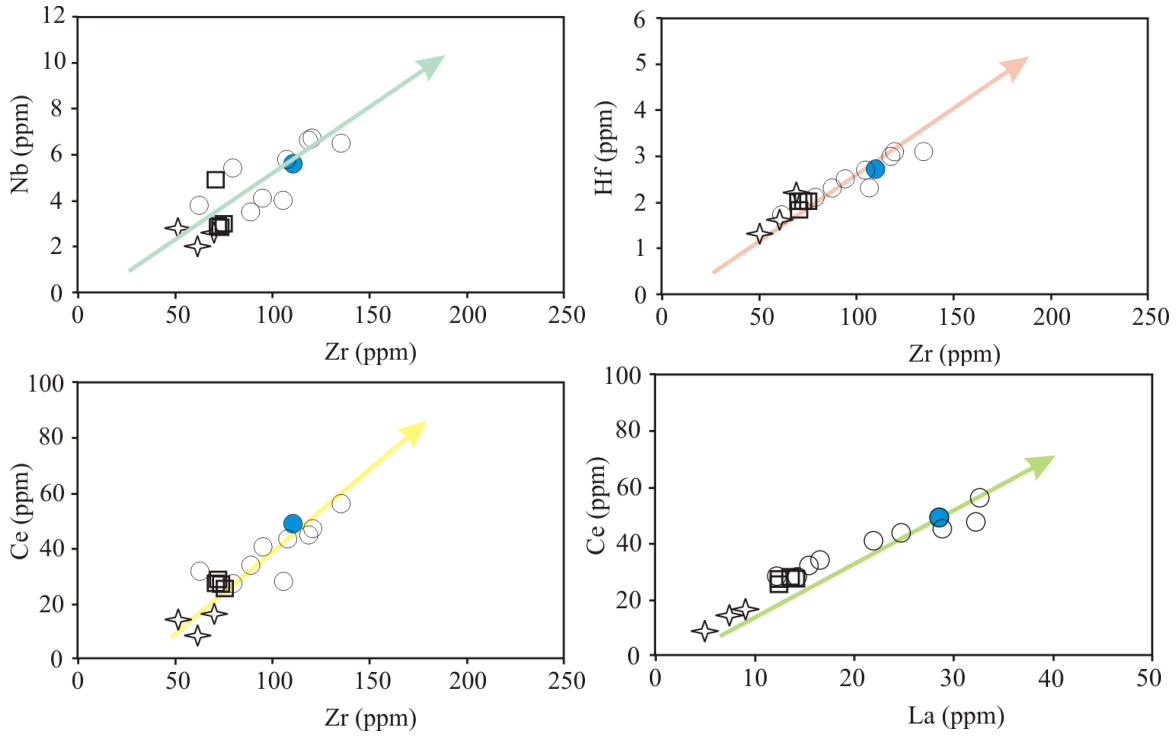
Geç Kretase (77 My) yaşlı Torul Plütonu'nun  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri 0.7034 ilâ 0.7079 arasında ve  $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$  değerleri -3.1 ilâ -5.3 arasında değişmektedir (Kaygusuz vd., 2008). Geç Kretase (82-88 My) yaşlı Dağbaşı Plütonu'nun  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  değerleri 0.7057-0.7067 arasında ve  $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$  değerleri -3.2 ilâ 1.5 arasında değişmektedir (Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011). Geç Kretase (78 My) yaşlı Turnagöl Plütonu  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri 0.7060 ilâ 0.7063) arasında ve  $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$  değerleri -2.6 ilâ -3.1 arasında değişmektedir (Kaygusuz vd., 2013). Geç Kretase (74-76 My) yaşlı Camiboğazı Plütonu'nun  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranları 0.70498 ilâ 0.70622 arasında ve  $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$  isotopic bileşimleri -2.79 ilâ -0.36 arasındadır (Kaygusuz vd., 2014). Geç Kretase Torul, Sariosman, Dağbaşı ve Turnagöl plütonlarının  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  ve  $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$  değerleri bakımından benzer olup mafik bir alt kabuk kaynağının dehidratasyonla erimesi sonucu oluşmuş olabileceği belirtilmektedir (Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2013, 2014; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011). Çalışma alanındaki Kızılkaya Formasyonu'ndan alınan dasitik kayaçların  $I_{\text{Sr}}(80 \text{ My})$  izotopik bileşimleri 0.70727-0.70779 arasında değişmekte,  $\epsilon\text{Nd}_{(80 \text{ My})}$  bileşimi 0.3-1.2 ve Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$  bileşimleri 0.70752,  $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$  bileşimi -5.5'dir. Çalışma alanındaki Çağlayan Formasyonu'ndaki andezit örneği,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(80 \text{ My})}$  değerleri ile  $\epsilon\text{Nd}_{(80 \text{ My})}$  diyagramında Geç Kretase yaşlı Torul ve Turnagöl Plütonlarının yakın alanına düşmekte, Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasit örnekleri ise Geç Kretase yaşlı Camiboğazı ve Dağbaşı Plütonlarına yakın bir alanda yer almaktadır (Şekil 10). İnceleme alanındaki örneklerin kökensel olarak magmalarının benzer kaynaktan türemesi veya hatta aynı/benzer magmalardan farklılaşması ve incelenen dasitik ürünlerin Geç Kretase yaşlı Dağbaşı, Torul, Camiboğazı ve Turnagöl Plütonik

kütlelerinin ekstrüzyon ürünleri olabileceği düşünülmektedir. İncelenen volkanik kayaçlar (intrüzyon eşlenikleri ile beraber) yay magmatizması ürünü ve dolayısıyla manto kaynağı yitim sınırları ve/veya ergiyikleri ile zenginleşmiş olabilir. İncelenen volkanik formasyonlardaki kayaçların hem bazik hemde ortaç karakterde olması hem yitimden etkilenmiş manto hem de kabuk kaynakları olmasının daha olası olduğuna dikkat çekmektedir.

## 6. Sonuçlar

Kalınçam yöresi volkanitlerini oluşturan Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu'nun bazalt ve andezitlerinde vesiküller, mikrogranü porfirik ve boşluklu doku gözlenmekte ve mineralojik bileşen olarak bazaltta çoğunlukla plajiyoklas; andezitte ise plajiyoklas ve daha az olarak amfibol mineralleri görülmektedir. Kızılkaya Formasyonu'nun dasit ve riyodasitik kayaçları mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendden oluşmaktadır. Çağlayan Formasyonu'nun andezitleri camsı-mikrolitik-porfirik dokuda ve plajiyoklas ile hornblendden ibaret bir bileşime sahiptirler. En üstte bulunan dasitik kayaçlar mikrogranü porfirik ve camsı porfirik dokuda olup, başlıca plajiyoklas, kuvars ve hornblendden oluşmaktadır.

Kalınçam yöresi volkanitleri kalk-alkali-geçiş? karakterlidir. Volkanitler yüksek BİYE ve düşük YÇAE içerikleri ile yüksek BİYE/YÇAE oranları yitim ilişkili kayaçların tipik karakterlerini yansıtmaktadırlar. YÇAE'lerden Ce'de çok az zenginleşme; Ta, Nb, P ve Ti'da negatif anomali gözlenmektedir. P'da görülen negatif anomali, farklılaşma sırasında meydana gelen apatitin fraksiyonel kristallenmeyi; Ti'daki negatif anomali ise yitim kökeni işaret edebilir. Çatak ve Kızılkaya formasyonlarında Zr artışıyla  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'teki çok az bir değişim plajiyoklas ayırılmasını işaret etmektedir. Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde Zr değerinin artmasıyla  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Y, Co ve Ni'in azalması amfibol ve biyotit ayırılmasını,  $\text{TiO}_2$ 'in azalması Fe-Ti oksit ayırılmasını göstermektedir.



**Şekil 13.** İncelenen volkanitlerin a) Zr-Nb, b) Zr-Hf, c) Zr-Ce ve d) La-Ce diyagramlarındaki konumları. Semboller Şekil 9'daki gibidir.

Çizilen bu diyagramlarda hangi elementin hangi oranda ayrılaşmaya katıldığı Şekil 10a-b' de gösterilirken, ayrılaşma vektörlerinin değerleri ise Tablo 3' de verilmiştir. Buradan yola çıkarak çizilen Sc'ye karşı Rb ve La'ya karşı Sc/Y diyagramlarında bazik volkanitlerin gelişiminde yaklaşık olarak %40-80 plajiyoklas, %15-42 klinopiroksen ve %10 olivin ayrılaşmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Çatak Formasyonu andezitlerinde  $La_N/Lu_N$  oranları 5.12-6.18 arasında, Kızılkaya Formasyonu dasitlerinde  $La_N/Lu_N$  oranları 3.11-4.98 arasında, Çağlayan Formasyonu andezitlerinde  $La_N/Lu_N$  oranları 5.40-13.10 ve Çayırbağ Formasyonu dasitinde  $La_N/Lu_N$  oranı 11.04'dür. Ayrıca ağır nadir toprak element (ANTE) bakımından yataya yakın bir dağılım sunarlar. Volkanitlerde Eu anomalisi 0.64-1.38 arasında değişmektedir. Eu anomalisi Çatak Formasyonu andezitlerinde 0.69-0.78 arasında, Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitlerde 0.77-1.38 arasında, Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitlerde 0.64-1.05 arasında ve en üstteki Çayırbağ Formasyonu dasitinde 0.98'dir.

Dasitler hariç diğer volkanitler negatif Eu anomalisi göstermektedir. Negatif Eu (0.64-0.78) anomalisi gösteren volkanitlerin oluşumlarında plajiyoklas fraksiyonlaşmasının etkinliğini belirtmektedir. Kalınçam yöresi volkanitleri benzer  $^{87}Sr/^{86}Sr$  içeriği ve hafifçe farklı  $\epsilon Nd$  değerlerine sahiptirler. Dolayısıyla, incelenen volkanik formasyonlardaki kayaların bazik-ortaç-dasidik karakterde olması hem yitimden etkilenmiş manto hem de kabuk kaynakları olmasının olası olduğunu göstermektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Araştırma Fonu (GÜBAP) tarafından 13.F5114.02.5 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazar, makaleye yapıcı katkılarda bulunan hakeme teşekkür eder. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Meltem YILMAZ ve Nazire YILMAZ'a, katkılarından dolayı Abdullah KAYGUSUZ'a teşekkür eder.



## 7. Kaynaklar

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akaryalı, E., 2016, Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn±Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey), *Ore Geology Reviews*, 74, 1–14.
- Altun, Y., 1972. Çayeli-Madenköy Bakır-Çinko yatağının jeolojisi ve cevherleşmeye ilişkin sorunlar, *MTA Dergisi*, 89, 10-24.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the eastern pontide volcanic rocks, Northeast Turkey, *Chemie der Erde/Geochemistry*, 57, 157-187.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ., Kaygusuz, A., 2014. K–Ar dating, whole-rock and Sr–Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 108 (2), 245-267.
- Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey, *Journal of Asian Earth Sci.*, 27, 177–193.
- Aslan, Z., 2005. Petrography and Petrology of the Calc-Alkaline Sarıhan Granitoid (NE Turkey): An Example of Magma Mingling and Mixing, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 2005, 185-207.
- Aydınçakır, E., 2014. The petrogenesis of Early Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on the geodynamic implications. *Lithos*, 208–209, 361–377.
- Aydınçakır, E., 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 (NE Turkey). *Lithos*, 172, 98–117.
- Aydın, F., Karşlı, O., 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.
- Barrett, T.J., Cattalani, S. ve MacLean, W.H., 1993. Volcanic lithochemistry and alteration at the delbridge massive sulphide deposits, Noranda Quebec, *Journal of Geochemical Exploration*, 48, 135-173.
- Barrett, T.J. ve MacLean, W.H., 1994. Mass changes in hydrothermal alteration zones associated with VMS deposits in the Noranda area, *Exploration and Mining Geology*, 3, 131-160.
- Barrett, T.J. ve MacLean, W.H., 1991. Chemical, Mass, and Oxygen Isotope Changes During Extreme Hydrothermal Alteration of an Archean Rhyolite, Noranda, Quebec, *Economic Geology*, 86, 406-414.
- Barrett, T.J. ve MacLean, W.H., 1999. Volcanic sequences, lithochemistry and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems, volcanic-associated massive sulfide systems: Processes and examples in modern and ancient settings. Eds: Barrie, C.T., Hannington, M.D. 8, 101-131, *Reviews in Economic Geology*.
- Beard, J.S., 1995. Experimental, geological, and geochemical constraints on the origins of low-K silicic magmas in oceanic arcs, *Journal of Geophysical Research*, 100, 15593–15600.
- Bektaş, O., 1984. Pontidlerde Üst Kretase yaşlı şoşonitik volkanizma ve jeotektonik önemi, *KTÜ\_Yer Bilimleri Dergisi*, 3, 1-2, 53-62.

- Bektaş, O., 1986. Paleostress trajectories and polyphase rifting in arc-backarc of eastern pontides, MTA Bulletin, 103-104, 1-15.
- Briggs, R.M. ve McDonough, W.F., 1990. Contemporaneous convergent margin and intraplate magmatism, North Island, New Zeland, Journal of Petrology, 3, 14, 813-851.
- Buket, E. ve Temel, A., 1998. Major-element, trace-element, and Sr–Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, Eastern Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 405–422.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara-Trabzon) barajı ve hidroelektrik santral yerlerinin mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Buser, S. ve Cvetic, S., 1973. Geology of the environs from the Murgul copper deposits, Turkey, MTA Bulletin, 81, 22-45.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales, Chemical Geology, 104, 1-37.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize granitik plütonlarının mukayeseli petrojeolojik ve jeokronometrik etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Deniel, C., Aydar, E. ve Gourgaud, A., 1998. The Hasan Dagi stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calcalkaline to alkaline magmatism in a collision zone, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 87, 275–302.
- DePaolo, D.J. ve Wasserburg, G.J., 1979. Petrogenetic mixing models and Nd–Sr isotopic pattern, Geochimica Cosmochimica Acta, 43, 615–627.
- Drummond, M.S. ve Defand, M.J., 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite gen-esis and crustal growth via slab melting: archean to modern comparison, Journal Geophysical Research 95, 21503–21521.
- Faure, G. ve Mensing, T.M., 2005. Isotopes: Principles and Applications, 3rd ed. John Wiley and Sons, USA, 897p.
- Gedikoğlu, A., 1970. Etude Geologique De La Region De Gököy (Province D’Ordu- Turquie), Phd Thesis, Faculte Des Sciences DE l’Universite De Grenoble.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaları. (Doçentlik Tezi), KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- George, R., Turner, S., Hawkesworth, C., Nye, C., Bacon, C., Stelling, P. ve Dreher, S., 2004. Chemical versus temporal controls on the evolution of tholeiitic and calc-alkaline magmas at two volcanoes in the Aleutian arc, Journal of Petrology, 45, 203-219.
- Gülibrahimoğlu, İ., Nalbantoğlu, A.K, Saraloğlu, A., Doksanbir, T, Yağcı, A. ve Kırıcı, M., 1984. Trabzon-Maçka güneyi yöresinin jeoloji raporu, MTA Rapor No: JD-383, Trabzon.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu pontidlerin 1/250.000 ölçekli kompilasyonu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hawkesworth, C.J., Turner, S.P., Mcdermott, F., Peate, D.W. ve Van Calsteren, P., 1997. U-Th isotopes in arc magmas: implications for element transfer from the subducted crust, Science, 276, 551–555.
- Innocenti, F., Mazzuoli, C., Pasquare, G., Serri, G. ve Villari L., 1980. Geology of the volcanic area North of Lake Van, Turkey, Geologische Rundschau, 69, 292-322.
- Irvine, T.N. ve Baragar, W.R.A., 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Science, 8, 523-548.

- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2009. Generation of the Early Cenozoic adakite volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: Implications for crustal thickening to delamination. *Lithos*, doi: 10.1016/J.Lithos.2009.08.003.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2011. Petrogenesis of a Late Cretaceous composite pluton from the eastern Pontides: the Dağbaşı pluton, NE Turkey, *Neues Jahrbuch für Mineralogie (Abhandlungen)*, 188, 211–233.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., İlbeyli, N. ve Sipahi, F., 2012a. Doğu pontid kuzey zonu ve kuzey-güney zon geçişinde yüzeylenen Kretase-Paleosen yaşlı granitoid petrokimyası, Sr-Nd-Pb-O izotop jeokimyası, jeokronolojisi ve jeodinamik gelişimi. Tübitak Projesi Raporu, No: 109Y052.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012b. Geochronological evidence and tectonic significance of carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey, *International Geology Review*, 54,15, 1776–1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M. ve Sipahi, F., 2012c. Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda yüzeylenen Paleozoyik yaşlı granitlerin U-Pb zirkon yaşlandırması, Sr-Nd-Pb-O izotop sistematiği ve jeodinamik evrimi, Tübitak Projesi Raporu, No: 112Y015.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N. ve Temizel, İ., 2014. LA-ICP MS zirkon dating and whole-rock Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: Petrogenesis and tectonic implications of arc-related I-type magmatism, *Lithos*, 192-195, 271-290.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Aslan, Z., Wolfgang, S. ve Şen, C., 2009. U–Pb zirkon SHRIMP ages, geochemical and Sr–Nd isotopic compositions of the Early Cretaceous I type Sariosman pluton, eastern Pontides, NE Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 549–581.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satır, M., 2008. Petrochemistry and petrology of I type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, eastern Pontides, NE Turkey, *International Journal Earth Sciences*, 97, 739–764.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B. ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: implications for magma genesis in the arc setting, *Geoscience Frontiers*, 4, 423–438.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D. ve Greenwood, P., 2006. Magma-crust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: geochemical evidence from the Erzurum-Kars volcanic plateau, eastern Turkey. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*, Geological Society of America Special Paper, 409, 475–505.
- Kurt, H., Asan, K. ve Ruffet, G., 2008. The relationship between collision-related calc-alkaline, and within-plate alkaline volcanism in the Karacadağ area (Konya-Türkiye, central Anatolia), *Chemie der Erde*, 68, 155–176.
- Lambert, R.S.J. ve Holland, J.G., 1974. Yttrium Geochemistry Applied to Petrogenesis Utilizing Calcium-Yttrium Relationships in Minerals and Rocks, *Geochimica Cosmochimica Acta*, 38, 1393–1414.
- McCulloch, M.T., Kyser, T.K., Woodhead, J.D. ve Kinsley, L., 1994. Pb–Sr–Nd–O isotopic constraints on the origin of rhyolites from the Taupo volcanic zone of New Zealand: evidence for

- assimilation followed by fractionation from basalt, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115, 303–312.
- McDermott, F., Delfin, F.G., Defant, M.J., Turner, S. ve Maury, R., 2005. The petrogenesis of magmas from Mt. Bulusan and Mayon in the Bicol arc, the Philippines, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 652-670.
- MTA ve JICA., 1977. Report on Geological Survey of Trabzon Area, Northeastern Turkey. MTA Raporu, No:190, Ankara.
- Özkan, İ. ve Yazıcı, E.N., 2000. AR:69849 Nolu Trabzon-Tonya-Kalınçam Yöresindeki Ruhsat Sahasına ait 2. Dönem Raporu. MTA, Ankara.
- Özsayar, T., 1971. Paläontologie Und Geologie Des Gebietes Östlich Trabzon (Anatolien), Gieben, *Geology Schrift.*, 165-183, Gieben.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu pontidlerde Kretase, *KTÜ Yer Bilimleri Dergisi*, 2, 65-114.
- Pearce, J.A., Baker, P.E., Harvey, P.K. ve Luff, I.A., 1995. Geochemical evidence for subduction fluxes, mantle melting and fractional crystallization beneath the South Sandwich Island Arc, *Journal of Petrology*, 36, 1073– 1109.
- Pearce, J.A. ve Norry, M.L., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.
- Pejatoviç, S., 1979. Metallogeny of the pontid-type massive sulphide deposits, mineral geochemistry of massive sulphide-associated hydrothermal sediments of the Brunswick horizon, bathurst mining camp, New Brunswick, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33, 252-283.
- Ross, P.-S. ve Bédard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 46, 11, 823-839.
- Saydam Eker, Ç., 2012. Petrography and Geochemistry of Eocene sandstones from eastern Pontides (NE TURKEY): Implications for source area weathering, provenance and tectonic setting, *Geochemistry International*, 50, 683-701.
- Schneider, H.J., Özgür N. ve Palacios, C.M., 1988. Relationship between alteration, rare earth element distribution and mineralisation of the Murgul copper deposit, northern Turkey, *Economic Geology*, 83, 1238–1246.
- Schultz-Wetsrum, H.H., 1961. Kuzeydoğu Anadolu Doğu pontid mineral bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları ile ilgili mütaalalar. *MTA Dergisi*, 57, 63-71.
- Singer, B.S., Myers, J.D. ve Frost, C.D., 1992. Mid-Pleistocene lavaş from the Seguan volcanic center, central Aleutian Arc: closed system fractional crystallization of a basalt to rhyodacite eruptive süite, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 110, 87– 112.
- Sipahi, F., 2005. Zigana dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineraloji ve jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sipahi, F., 2011. Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 188, 169-190.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2014. Geochemistry of dacitic volcanics in the eastern pontides (NE Turkey), *Geochemistry International*, 4, 329-349.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B. ve Şen, C., 2014. The Geochemical and Sr-Nd isotopic Characteristics of Murgul (Artvin) Volcanics in the Eastern Black Sea

- Region (NE Turkey), *Chemie der Erde/Geochemistry*, 74, 331-342.
- Sun, S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt, implications for mantle composition and processes, magmatism in the oceanbasins. Eds: Saunders, A.D. ve Norry, M.J., 42, 313-345, Geological Society of London, Special Publication.
- Şarman, E., 1975. İsrail ve Eseli güneyindeki G41-b1, b2, b3, b4, G42-a1, a4 paftalarına ait sahanın 1/10000 ölçekli jeolojik etüt raporu, MTA Maden Etüd Rapor No:1259, Ankara.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A301, 381-399.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1985. The continental crust, its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312s.
- Temel, A., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A. ve Le Pennec, J.L., 1998. Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): Petrology and geochemistry, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 447-471.
- Temizel, I., 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.
- Temizel, I., Arslan, M., Abdioğlu, E. ve Yücel, C., 2014. Mineral chemistry and thermobarometry of the Eocene monzogabbroic stocks from the Bafra (Samsun) area in Turkey: implications for disequilibrium crystallization and emplacement condition. *International Geology Review* 56 (10), 1226-1245.
- Thirlwall, M.F., Graham, A.M., Arculus, R.J., Harmon, R.S. ve Macpherson, C.G., 1996. Resolution of the effects of crustal assimilation, sediment subduction, and fluid transport in island arc magmas: Pb-Sr-Nd-O isotope geochemistry of Grenada, Lesser Antilles, *Geochimica Cosmochimica Acta* 60, 4785-4810.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. ve Parry, S.J., 1984. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach, *Philos. Trans. Royal Society London* A310, 549-590.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalkalkalen andezitler ve jeotektonizma, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 20, 49-54.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region, Doktora Tezi, University College, London.
- Van, A., 1990. Pontid kusağında Artvin bölgesinin jeokimyası, petrojenezi ve masif sülfid mineralizasyonları, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Varol, E., Temel, A., Gourgaud, A. ve Bellon, H., 2007. Early Miocene 'adakite-like' volcanism in the Balkuyumcu region, central Anatolia, Turkey: petrology and geochemistry, *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 613-628.
- White, W.M. ve Patchett, J., 1984. Hf-Nd-Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs: implications for magma origins and crust-mantle evolution, *Earth Planet Science Letters*, 67, 167-185.
- 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.
- Yalçın, H., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A., Vidal, P. ve Uçurum, A., 1998. Geochemical characteristics of Yamadağı volcanics in central east Anatolia: an example from collision-zone volcanism, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 303–326.
- Yalçınlar, İ., 1952. İspir-Pazar-Arhavi ve Yusufeli arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rapor No: 2022, Ankara.
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical study of the Gümüşhane granite, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmua Seri B, 39, 3-4, 173-203.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu, E., 2014. Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides, northeast Turkey: implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. *Mineral. Petrol.*, 108, 439–467.
- Zankl, H., 1961. Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofil des Harsit-Tales, NE Anatolien, *Geologische Rundschau*, 51, 218-239.
- Zankl, H., 1962. Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofil des Harsit-Tales, Bayerische Akademie der Wissenschaften, *Abhandlungen, Neue Folge, München, Heft, 109, 61-91.*

## Yardımcı Bitkiler ve Ekolojik Etkileri

Hasan KORKMAZ<sup>1\*</sup>, Safinaz ALKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 55200, Samsun  
<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 55200, Samsun

Geliş tarihi/*Received* 22.03.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/*Received in revised form* 17.04.2017

Kabul tarihi/*Accepted* 24.04.2017

### Öz

Bitkiler, özellikle stres derecesi yüksek ekosistemlerde, gerek farklı türler ve gerekse aynı türün bireyleri arasında, yardım etkisi fonksiyonu kullanarak daha başarılı olmaktadır. Yardım etkisi gösteren bitki, mikro habitatın iklimik ve edafik özelliklerini düzelterek ya da parazit veya herbivor saldırılarına karşı koruyarak, diğer bitkilerin habitata tutunmasını sağlar. Böylece, türlerin doğal yayılış alanlarını genişletmesi ve vejetasyondaki türlerin dağılış modelleri üzerinde olumlu ekolojik etkiler oluşturur.

**Anahtar kelimeler:** Bitki Ekolojisi, Simbiyozis, Yardımcı Bitkiler

## Nurse Plants and Ecological Effects

### Abstract

Plants are more successful, especially in stressed high ecosystems by using the nursing effect function, both between different and same species individuals. The beneficial plant helps to keep other plants habitat by improving the climatic and edaphic properties of the microhabitat or protecting against parasitic or herbivorous attacks. Thus, it's positive ecological effects on expanding the natural distribution areas of species and the species distribution patterns of vegetation.

**Keywords:** Plant Ecology, Nurse Plants, Symbiosis

### 1. Giriş

Bitki komünitelerinde, mevcut kaynakları uyumlu bir şekilde kullanan ve aralarında pozitif etkileşimler oluşturabilen türler, ancak bir arada yaşayabilirler. Yapılan ekolojik araştırmalarda, bitkiler arasındaki pozitif etkileşimlerin yardımcı bitkiler tarafından sağlanan yardımcı etkiler şeklinde de oluşabileceği belirlenmiştir. Bu etkileşim tarzında yardımcı bitki, kanopisi altındaki çevre şartlarını düzenleyerek habitatı, farklı türlerden veya aynı türün bireylerinin

yerleşmesi, büyümesi ve gelişmesi için kolaylaştırarak, optimum şartları oluşturan dolaylı bir fonksiyon görür. Bu tarzdaki etkileri nedeniyle “yardımcı bitkiler”, vejetasyonda önemli bir biyotik faktör olarak işlev görürler. Ters durumda yani, yardımcı etki fonksiyonlarının sağlanamadığı ve mevcut ortam şartlarının düzilemediği durumlarda, sınırlı kaynaklar için rekabet şiddetlenir, verimlilik azalır ve ortamda başarılı olan tür ya da birey sayısı çok daha az olur.

\* Hasan KORKMAZ, hasank@omu.edu.tr, Tel: (0362) 312 19 19-5432

Bu nedenle bitkiler arasındaki yardımcı etki fonksiyonlarının araştırılması, bitki simbiyotik etkileşimlerinin anlaşılması, doğal bitki topluluklarının gelişme modellerinin kavranması ve plantasyonların verimliliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

## 2. Bitkilerde Yardımcı Etki Yöntemleri

Doğada bitkiler arasındaki olumlu veya olumsuz yönde, birçok farklı etkileşim biçimleri vardır. Sözgelimi rekabet, allelopati, parazitlik gibi olumsuz etkileşimler olabileceği gibi; komensalizm ve mutualizm gibi yaşamlarını olumlu yönde destekleyen etkileşimler de söz konusudur. Bu olumlu etkileşim yöntemlerinden biri olan “yardımcı etki” fonksiyonu, aynı veya farklı türler arasında doğrudan temas olmaksızın gerçekleşen bir fonksiyon olup, bitkiler arasında 2 farklı biçimde ortaya çıkar:

-Tür İçi Yardımlaşma Etkisi (Conspecific Effect): Ana bitki habitat şartlarını düzenleyerek, kendi tohumlarının çimlenmesi ve fidanlarının büyümesi üzerinde yardımcı etkisi yaparak, neslinin devamı için önemli bir rol oynamaktadır.

-Türler Arası Yardımlaşma Etkisi (Heterospecific Effect): Bir bitki türü başka bitki türlerinin tohumlarının çimlenmesi, fidanlarının büyümesi, vs. üzerinde yardımcı etkiler yaparak habitata tutunmalarına olumlu katkı yapar.

İster tür içi isterse türler arası yardımcı etki biçiminde olsun her ikisinde de yardımcı etki şu çevresel faktörler üzerinden gerçekleşir:

-Klimatik Yardımcı Etki: Yardım eden tür ortamın sıcaklık, hava nemi, ışık şiddeti ve ışıklanma süresi gibi iklimsel faktörlerini düzenleyerek, yardım alan bitkiye katkı sağlamaktadır.

-Edafik Yardımcı Etki: Toprak besinleri, toprak nemi, toprak pH'sı, toprak suyu ve toprak havalanması gibi habitat faktörlerinin, yardımcı bitkiler tarafından düzenlenerek, yardım alan bitkilerin kullanabilecekleri duruma getirilmesidir.

-Biyotik Yardımcı Etki: Yardım eden tür diğerini otlama, parazit ve diğer zararlı

canlılardan koruyarak, hayatta kalmasını ve ortama tutunmasını sağlar.

Bitki ekolojisi araştırmalarının bir bölümü bitkiler arasındaki yardımcı etki fonksiyonlarının belirlenmesi hakkındadır ve bunların çoğu tür içi yardımlaşma ilişkilerden çok türler arası yardımlaşma üzerinedir.

### 2.1. Tür İçi (Conspecific) Yardımlaşma Etkisi

Tür içi yardımlaşma etkisinde ana bitki, tohumlarının çimlenmesi, fidelerinin büyüüp gelişmesi ve böylece neslinin devamı için, habitat şartlarını onların kullanabilecekleri değerlere düzelterip yardım eder. Bu tip yardımcı etkiye, 3000-3048 m yüksekliklerde yaşayan *Frasera speciosa* Douglas ex Hook. (Gentianaceae) ve 3658-3780 m yüksekliklerdeki alpin habitatlarda yetişen *Cirsium scopulorum* (Greene) Cockerell (Asteraceae) üzerinde yapılan ekolojik araştırma iyi bir örnektir (Wied ve Galen, 1998). Konuyla ilgili yapılan araştırmada, açık alanlar ile bu türlerin yetişkin bireylerinin oluşturdukları mikro habitatlar arasında, yetişen fidelerinin yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Buna göre *F. speciosa* fidelerinin, ebeveynlerinin çürümüş meyveleri altında, *C. scopulorum* fidelerinin de ebeveynlerinin meyveleri ve ölü rozetleri altında, açık alanlara göre daha yoğun buldukları tespit edilmiştir (Wied ve Galen, 1998).

Burada *F. speciosa* ve *C. scopulorum* ebeveynleri, yeni nesil tohumlarının çimlenmesi ve fidelerinin gelişmesi için yardımcı etki göstermektedirler. Nitekim araştırmadan elde edilen bulgulara göre, her iki türün ebeveynlerinin mikro habitatlarındaki ve meyve durumları altındaki toprağın su içeriği, açık mikrositelerden anlamlı şekilde daha yüksektir. Hidrometrik ölçümlere göre, *F. speciosa* meyvelerinin altında, başlangıçtaki suyun %18.1±2.08 i, açık örnek parsellerde ise başlangıçtaki suyun %32±5.42'si kaybedilmiştir. *C. scopulorum* da ise meyveler altındaki mikro habitatta, buharlaşma yoluyla ortalama %15±2.05, açık sitelerde ise %24.4±2.67 su kaybedildiği belirlenmiştir (Wied ve Galen, 1998).



Meyveler altında başarı ile gelişen *F. speciosa* fidelerinin sayısı ortalama  $24.4 \pm 1.69$  iken açık alanlarda bu sayı  $3.8 \pm 1.60$ 'tır. Ayrıca *F. speciosa*'nın iki popülasyonundan birinde başarılı fide sayısında açık alanlara göre %80, diğerinde %145 oranında bir artış tespit edilmiştir. *C. scopulorum*'da ise çimlenen tohum sayısı açık alanlara göre, 7 kat artmış ve bunların 4 katı hayatta kalmayı başarabilmiştir. Bunun nedeni artıkların oluşturduğu tabaka sayesinde, fidenin bulunduğu mikro habitatlarda toprak nemi korunduğu için, fide dokularından su kaybı azaltılarak gelişimi artırılmıştır. Sonuç olarak ana bitkiler onların tohumlarının çimlenmesine, fidelerinin gelişmesine ve hayat devrelerinin başlangıcındaki kritik dönemlerin atlatılmasına yardımcı etki göstermişlerdir (Wied ve Galen, 1998).

Benzer bir çalışmada, *Plantago lanceolata* L (Plantaginaceae)'nin fenotipik plastisitesi ile ebeveyn bakımı arasındaki ilişkiler araştırılmış ve ana bitkinin ısı düzenlemesiyle, tohumların (yavrularının) embriyo gelişimi üzerinde yardımcı etkiye sahip olduğu ve böylece üreme kapasitesini artırdığı belirlenmiştir. Türün üreme özellikleri ise yavru (tohum) fenotipi ve uygunluğu ile doğrudan ilişkili olduğu için, ebeveynin yavru (tohum-meyve) fenotipik plastisitesi üzerindeki etkileri, çevresel strese cevap olarak geliştirdiği bir özellik olarak düşünülmektedir. Bu durum gelişmekte olan yavrunun sıcaklığını düzenleyen ana hayvanın, örneğin yumurtalarına oturan kuşların davranışlarına analog bir fonksiyondur (Clutton-Brock, 1991; Lacey ve Herr, 2005).

## 2.2. Türler Arası (Heterospecific) Yardımlaşma Etkisi

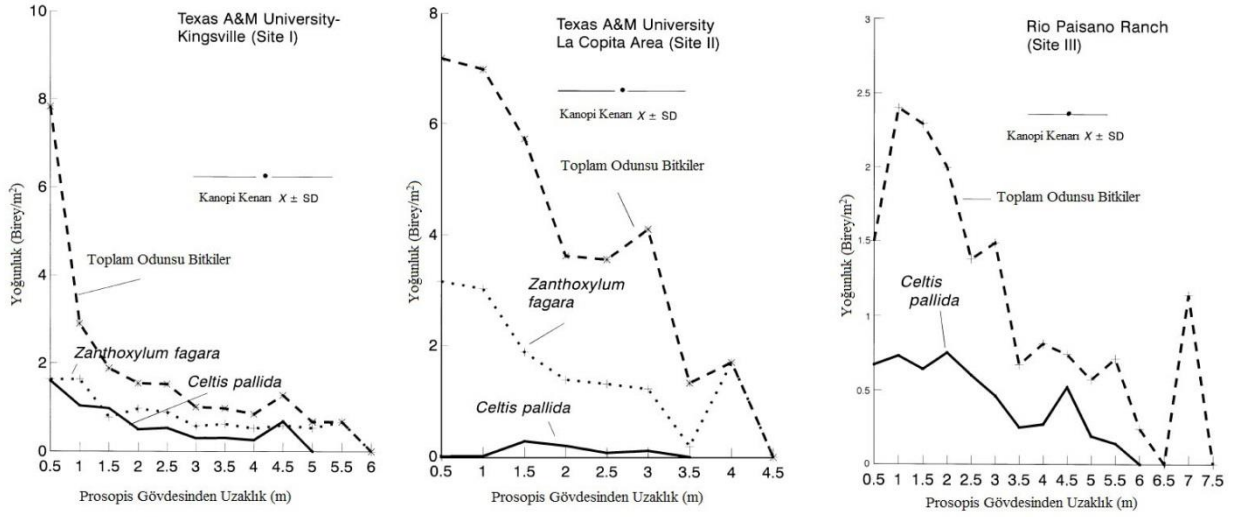
Türler arasındaki etkide ise bir türün, başka bir türün yaşamı üzerinde farklı yöntemlerle yardımcı katkılar sağladığını daha önce belirtmiştik. Konuyla ilgili olarak, bir kaktüs türü olan *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britton & Rose (Cactaceae) ile *Cercidium microphyllum* (Torr.) Rose & I.M.Johnst.

(Fabaceae) ağaçları arasındaki ilişki, türler arası yardım etkisine iyi bir örnek oluşturur. Şöyleki, *C. gigantea* gelişimin başlangıcında çok ince ve kırılabilir ve bu devrede şiddetli güneşten, dondan ve predatör hayvanlardan korunmaya muhtaçtır. *C. microphyllum* ağaçları bu devrede *C. gigantea* fidelerini güneş ve predatörlerden koruyarak yardım eder. Ancak zamanla *C. gigantea* geliştiğinde, kök sistemi çok geniş bir alana yayılır ve çöl toprağındaki oldukça kıt olan suyun tamamını kendisi kullanır. *C. microphyllum* ağaçları ise köklerine su ulaşmadığı için zamanla kuruyup ölürlür (Lewitt, 1980).

Türler arası yardımcı etki biçimindeki bir ilişki *Prosopis glandulosa* Torr. (Fabaceae) ile kanopisi atındaki *Celtis pallida* Torr. (Cannabaceae) ve *Zanthoxylum fagara* (L.) Sarg. (Rutaceae) türleri arasında da bulunmaktadır. Yarı çalı bir çöl bitkisi olan *P. glandulosa*, köklerini 7-10 m derinliklere kadar uzatabilen ve yeteri kadar su alabilen bir bitkidir. Bu özelliği ile *P. glandulosa*, hem kendi başarısını artırmakta, hem de kanopisi altında bulunan otsu ve odunsu türlerin birlik oluşturmalarına yardım etmektedir. Burada *P. glandulosa* yardımcı etkisini, güneş ışınlarının zemine kadar inmesini engelleyerek, toprak sıcaklığının açık alanlara göre azalmasını ve topraktaki azot ve fosfor miktarını açık alanlara göre artırarak göstermektedir. Habitattaki bu olumlu değişiklikler, kanopi altındaki yardım alan türlerin yaşama başarılarını olumlu yönde etkilemektedir (Franco-Pizaña vd, 1995).

Konuyla ilgili ekolojik araştırmadan elde edilen bulgulara göre, *P. glandulosa*'nın yardım etkisi, bireye olan mesafe ile de yakından ilişkilidir. Nitekim çalışılan bütün alanlarda, *P. glandulosa*'nın gövdesinden uzaklaştıkça *C. pallida*, *Z. fagara* ve diğer odunlu bitkilerin yoğunluklarının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 1).

Başka bir çalışmada da, bir bitki komünitesindeki türlerin dağılış modelleri ile heterospesifik etki arasındaki ilişki araştırılmıştır.



**Şekil 1.** Farklı üç alanda *Prosopis glandulosa*'nın gövdesinden uzaklaştıkça bitki yoğunluklarındaki değişim (Franco-Pizaña vd., 1995).

Bunun için bir kaktüs türü olan *Trichocereus pasacana* (F.A.C. Weber ex Rümpler) Britton & Rose (Cactaceae) bitkisinin, farklı çalılar altındaki dağılımları ve onlarla olan birliktelikleri karşılaştırılmıştır. Araştırma bulgularına göre *T. pasacana* bireylerinin *Larrea divaricata* Cav. (Zygophyllaceae) ve *Prosopis ferox* Griseb. (Fabaceae) çalılarının altında daha fazla buldukları ve onlardan yardım aldıkları sonucuna varılmıştır (De Viana vd., 2000) (Tablo 1).

Her iki tür *T. pasacana*'nın çimlenen tohumlarını şiddetli güneş ışınları ve dondurucu soğuklardan koruyarak, yardımcı etkilerini gösterirken, diğer çalı türleri ile

(*Begonia boliviensis*, *Absolmsia spartioides*, *Senna crassiramea* ve *Verbena* L. sp.) allelopatik etki nedeniyle, negatif bir etkileşim göstermişlerdir. Bu sonuçlardan yardımcı bitkiler sayesinde türlerin dağılış modellerinin de düzenlenebildiği belirlenmiştir (De Viana vd., 2000).

Kaktüsler üzerinde yapılan araştırmalara göre, bu familya üyelerinin %96'sı hayatlarının en azından başlangıç dönemlerinde, yardımcı bitkiler ile birlikte yaşamaktadırlar. Çünkü buldukları çöl ortamı ekstrem şartlara sahip olduğundan, ancak böyle bir ilişki sayesinde başarılı olabilmektedirler (De Viana vd., 2000).

**Tablo 1.** Çalışma alanındaki farklı çalı türlerinin kompozisyonu, örtüş değerleri (%) ve kanopi altındaki kaktüs bireylerinin değerleri (%). (G.D: Her bir çalı altındaki kaktüsün gözlenen veya bulunan değerleri; B.D: Her bir çalı altındaki kaktüsün beklenen değerleri) (De Viana vd., 2000).

Çalı türleri	Örtüş	Birliktelik	G.D	B.D
<i>Larrea divaricata</i>	50	73.08	190	130
<i>Plectrocarpa rougesii</i> Descole, O'Donnell & Lourteig	17	0.76	2	44
<i>Flourensia fiebrigii</i> S.F.Blake	5.7	0.76	2	15
<i>Begonia boliviensis</i> A.DC.	5.9	3.08	8	15
<i>Prosopis ferox</i>	2.8	10.77	28	7
<i>Absolmsia spartioides</i> (Benth.) Kuntze	1.7	7.70	20	4
<i>Grindelia glutinosa</i> (Cav.) Mart.	9	2.32	6	24
<i>Senna crassiramea</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	2.6	1.15	3	7
Diğer türler	5.3	0.38	1	14

$\chi^2 = 237.17$ ; tahmini P değeri = 0.01

### 3. Yardımcı Etkinin Boyutları

Bitkiler arasındaki yardımcı etkinin değişik tipleri ve boyutları, doğada hemen hemen her bölgede ve değişik vejetasyon tiplerinde meydana gelmektedir. Ancak, ekstrem şartlara sahip ortamlarda ve bitkilerin hayat devrelerinin kritik dönemlerindeki etkilerinin daha yüksek olması nedeniyle, yardımcı etkinin boyutları daha kolay belirlenmektedir (Bertness ve Callaway, 1994; Callaway ve Walker, 1997; Brooker ve Callaghan, 1998). Çünkü sert ya da stresli çevreler olarak bilinen bu ortamlarda, kullanılabilir kaynaklar kısıtlandığından, bitkilerde meydana gelen değişiklikleri ve geliştirmiş oldukları adaptasyon mekanizmalarını gözlemlemek daha kolay olmaktadır (Cavieres vd., 2002).

Bitkiler arasındaki yardımlaşma etkisi üzerinde yapılan araştırmalara göre, yardımcı bitkinin etki derecesi onun yaşı ve büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Kellmann ve Kading (1992) konuyla ilgili yaptıkları bir araştırmada, 35 yaşından büyük *Quercus rubra* L. (Fagaceae) kanopisi altındaki *Pinus strobus* L. (Pinaceae) ve *Pinus resinosa* Aiton tohum ve fidelerinin sıklığının, açık alanlardakinden 6 kat daha fazla sayıda olduğunu ve yardım alan türlerin, 35 yaşından büyük *Q. rubra* ağaçlarını tercih ettiklerini belirlemişlerdir. Çünkü yaşlı *Q. rubra* bireylerinin gölgeleme derecesi de yüksek olduğundan, çam tohumlarının çimlenmesi ve yerleşmesi üzerinde daha fazla yardımcı etki sağlamaktadırlar.

Konuyla ilgili başka bir araştırmada *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. (Fabaceae) çalısının, kanopisi altında bulunan otsu bitkilerin, biyomasını artırarak ve onların ölüm oranını azaltarak yardım ettiği belirlenmiştir. Bu ilişkide *R. sphaerocarpa* yardımcı etkisini, köklerinde bulunan rizobium nodülleri ile kanopisi altındaki otsu bitkilere yüksek miktarda kullanılabilir azotlu bileşikler sağlayarak gerçekleştirmektedir. Bu nedenle otsu bitkiler, *R. sphaerocarpa* ile birlikte buldukları zaman, maksimum gelişme gösterirler. Bu yardımlaşma ilişkisinde *R. sphaerocarpa*'nın generatif döneminde, otsu

bitkiler ile *Retama* Raf. çalısı arasındaki etkileşim, *Retama* için negatif, otlar için pozitifdir. Bu durum yardımcı etki ilişkisinin, *Retama* çalısının fenofazik dönemine bağlı olarak değiştiğini gösterir (Pugnaire vd., 1996).

Buna göre bitkilerin türler arası yardımcı etki değeri, bitkilerin yaşı, büyüklüğü ve fenofazik dönemine bağlı olarak değişmekte, yardım alan türlerin ise özellikle küçük fide ve çimlenme evrelerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

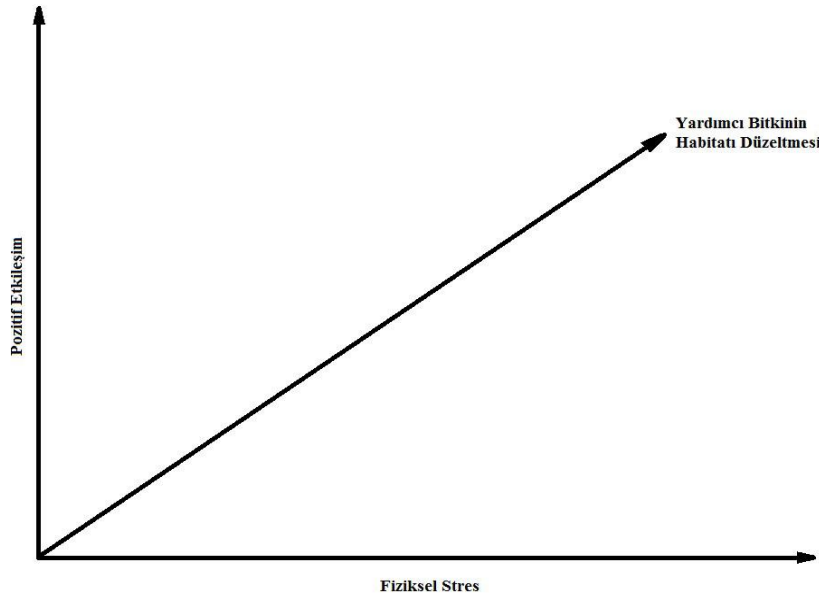
### 4. Çevre Şartlarındaki Değişimler ile Yardımcı Etki Arasındaki İlişki

Bitkiler yardımlaşma adaptasyonları sayesinde, ekstrem şartlara sahip habitatlarda bile başarılı olabilmektedirler. Dolayısıyla yaşama ortamındaki olumsuz çevre şartlarından herhangi birinin ya da birkaçının, yardım eden bitkiler tarafından düzeltilmesi, aynı türün ya da farklı türün bireylerinin habitata yerleşmelerini ve böylece birlikte yaşayabilmelerini sağlar.

Özellikle arktik ve alpin iklim zonlarında (Cavieres vd., 1998; Nuñez vd., 1999; Molina-Montenegro vd., 2000), kurak ve yarı kurak çevrelerde veya tuzlu bataklıklar gibi ekstrem alanlardaki küçük miktarlardaki mikrotopoğrafik ve mikroklimatik değişiklikler, kendilerini çevreleyen alanlara göre çok daha uygun habitat şartlarının oluşmasını sağlar (Jordan ve Nobel, 1979; Franco ve Nobel, 1988, 1989; Valiente-Banuet ve Ezcurra, 1991; Aguiar vd., 1992; Pugnaire vd., 1996; Raffaele ve Veblen, 1998). Ekstrem alanlardaki yardımcı bitkinin, abiyotik çevre şartlarında meydana getirmiş olduğu bu küçük değişiklikler, diğer bitkiler için büyük önem taşımaktadır (Körner ve Larcher, 1988). Çünkü çoğunlukla yardımcı bitkiler tarafından oluşturulan bu mikroklimatik alanlar, komşu türlerin yaşayabilecekleri özel habitatlar olarak ortaya çıkar. Örneğin; Patagonya'daki alpin alanlarda, soğuğa ve sert rüzgârlara karşı, yastık formu oluşturarak tutunabilen *Mulinum spinosum* Pers. (Apiaceae), yaşam formu sayesinde hayatta kalmayı başarırken, diğer

komşu türlerin başarılı olmalarına da yardım eder. Şöyle ki; *M. spinosum* yastık formunun içindeki rüzgar şiddetini, açık alanlara göre %89 oranında azaltırken aynı zamanda, havayı yastık formu içerisinde hapsederek, sıcaklığın 1-2 °C artmasını sağlayabilmektedir (Aguiar vd., 1992; Carlsson ve Callaghan, 1991). Bu 1-2 °C'lik artış belki tropikal alanlar için çok önemli olmayabilir, ancak

Patagonya gibi ekstrem soğuk bir bölgedeki bitki yaşamı için, son derece önemlidir (Körner ve Larcher, 1988). Çünkü çevresel stres arttıkça, komşu bitkiler olarak da adlandırılan yardımcı bitkilerin habitatu düzeltme etkisi, doğru orantılı olarak artmaktadır (Bertness ve Callaway, 1994) (Şekil 2).

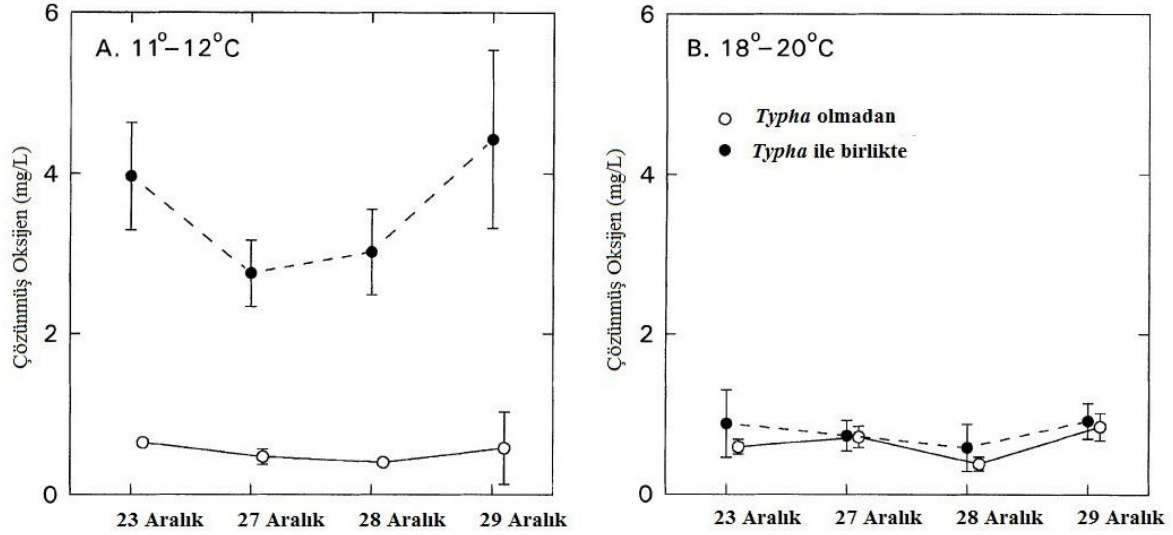


Şekil 2. Yardımcı bitkinin habitatu düzeltme etkisi (Bertness ve Callaway, 1994)

Yapılan araştırmalara göre bitkiler arasındaki yardımcı etkinin derecesi, fiziksel çevre faktörlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin; bir bataklık bitkisi olan *Typha latifolia* L. (Typhaceae) köklerinden çıkarmış olduğu oksijeni toprağa vererek, diğer bitkilerin kullanmalarını sağlar. Böylece yüksek derecede aerankimos olan *T. latifolia*, birlikte yaşadığı ve aerankimos olmayan *Salix exigua* Nutt. (Salicaceae) ve *Myosotis laxa* Lehm. (Boraginaceae)'ya yardım eder. Ancak *T. latifolia*'nın bu yardım etkisinin, sıcaklıkla birlikte değiştiği de belirlenmiştir. Araştırmaya göre toprak sıcaklığı 11-12 °C olduğunda, *T. latifolia*'nın olduğu bölgelerde çözülmemiş oksijen değeri 2.75±0.41 ile 4.43± 1.1 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 3). Nitekim bu sıcaklık değerindeki oksijen substratında, *T. latifolia* ile birlikte dikilen *S. exigua* ve *M. laxa* bireyleri, tek başına olduklarından çok daha iyi bir gelişme göstermişlerdir. Çünkü

topraktaki bu oksijen seviyesinde, daha fazla su ve nitrojen alabilmektedirler. 18-20 °C'de ise topraktaki çözülmemiş oksijen 0.40±0.06 ve 0.65 ±0.06mg/l değerinde olmuştur (Şekil 3). Bunun nedeni ise *T. latifolia*'nın bu sıcaklık değerlerinde, topraktaki oksijen miktarını değiştirememesidir. Hatta bu şartlarda *M. laxa* ve *S. exigua* ile kısıtlı kaynaklar için rekabete giriştiği belirlenmiştir (Callaway ve King., 1996).

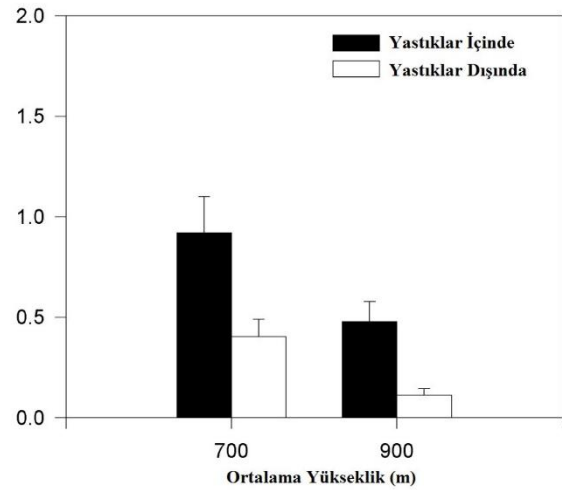
Habitat özellikleri bakımından yükseklik değişimi stres değerlerini değiştiren bir işlev göstermektedir. Bu durum yardım alan türlerin, yardım alma isteklerinin derecesini de değiştirir. Konuyla ilgili olarak Patagonya'nın güneyindeki iki farklı yükseklikte bir araştırma yürütülmüştür (Cavieres vd., 2002). Bölgede kış süresince kar yağışı meydana gelmekte ve Mart başından Kasım sonuna kadar kar yerde kalmaktadır.



**Şekil 3.** Farklı sıcaklık değerlerinde ve zamanlarda *Typha latifolia* olmadan ve *T. latifolia* ile birlikte toprak suyundaki çözülmüş oksijen miktarlarındaki değişimler (Callaway ve King, 1996).

Yaz yağışları ise sulu kar, kar ve dolu şeklindedir. Yaz boyunca çoğu günler, saatte 60 km'yi aşan rüzgârlar görülür. Araştırma için iki farklı yükseklikteki 50 *Bolax gummifera* (Lam.) Spreng (Apiaceae) yastığı rastgele seçilmiş ve yastıkların örttüğü yüzey metal çemberlerle ölçülmüştür. Aynı büyüklükteki çember, yastığın dışındaki rastgele bir yere yerleştirilmiş ve çemberlerin içindeki ve dışındaki bütün türler kaydedilmiştir. Böylece belli yükseklikteki mikro habitatlar için, toplam tür zenginliği, bolluk, çeşitlilik belirlenmiş ve iki yükseklikte görülen farklılıklar karşılaştırılmıştır. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre 700 m'de, 900 m'dekinden daha fazla tür belirlenmiştir (Şekil 4, Tablo 2).

Her iki yükseklikte de açık alanlara göre yastık içinde gelişen türler daha fazla sayıdadır. En yüksekte ise yastık dışında gelişen türler en az sayıda bulunmuştur. Yastık içinde bulunan türlerin, yastık dışındakilere Morista Horns benzerlik indeksine göre oranı 700 m'de 2.28 iken, 900 m'de 4.23 olarak bulunmuştur. Bu durumda Morista Horns benzerlik indeksine göre, 700 m'de yastık içindeki ve dışındaki türlerin floristik benzerliği, 900 m'dekinden daha fazladır.



**Şekil 4.** Patagonya'da iki farklı yükseklikteki *Bolax gummifera* yastıkları içinde gelişen dm<sup>2</sup> başına tür sayısındaki değişim (±2 SE) (Cavieres vd., 2002).

Bu çalışmada ayrıca, 700 m yüksekliklerde *Bolax gummifera* (Apiaceae) ile nötr veya negatif ilişki kuran *Nassauvia aculeata* (Less.) Poepp. & Endl. (Asteraceae), *Azorella fuegiana* Speg. (Apiaceae), *Erigeron leptopetalus* Phil. (Asteraceae), *Festuca magellanica* Lam. (Poaceae) ve *Luzula alopecurus* Desv. (Juncaceae) türlerinin, 900 m yüksekliklere çıkıldığında ancak, *B. gummifera* yastıklarının içinde yaşayabildikleri belirlenmiştir. Bu durum türler arasındaki negatif ve nötral etkinin,

yüksekliğe bağlı stres artışı nedeniyle, pozitif dönüşebileceğini göstermektedir (Pugnaire ve Legue, 2001).

Patagonya ekosisteminde *B. gummifera* yardım etkisini, yastık içindeki bitkileri rüzgârın neden olduğu olumsuz etkileri azaltarak gösterir. Çünkü rüzgâr tepelerde yaz boyunca büyük toz bulutları oluşturarak, yüzey kurummasına, erozyonla toprağın ve

kaya parçalarının aşınmasına ve besleyiciler bakımından fakirleşmesine, ısı ve su kaybını artırarak kuraklığa neden olmaktadır.

Benzer bir çalışmada Pugnaire ve Legue (2001), daha stresli çevre olduğu zaman, *Retama sphaerocarpa* ve onun altında bulunan türler arasındaki etkileşimlerin, nötral veya negatiften pozitive doğru değiştiğini kaydetmişlerdir.

**Tablo 2.** Patagonya’da iki farklı yükseklikteki *Bolax gummifera* yastıkları içinde ve dışında gelişen türlerin sayısı (Cavieres vd., 2002)

	700m				900m			
	Yastık içindeki tür	Yastık dışındaki tür	Fark	P	Yastık içindeki tür	Yastık dışındaki tür	Fark	P
Tür çeşitliliği	33	29	4	0.35	25	13	12	0.07
Bolluk	268	163	105	0.06	148	37	111*	<0.01
Karşılıklı Simpson İndeksi	16.99	16.07	0.92	0.43	12.32	6.61	5.71	0.20
Evennes	0.52	0.55	-0.04	0.32	0.49	0.51	-0.02	0.47

## 5. Yardımcı Bitki Etkisinin Kullanım Alanları

Yardımcı bitkilerin diğer bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerindeki olumlu etkilerinden, tarım ve ormancılık çalışmalarında yararlanılmaktadır. Konuya ilgili çalışmalara literatür ışığında bakacak olursak durum şöyledir:

### 5.1. Ormancılık

Ağaçlandırma çalışmalarında genellikle, var olan vejetasyonun dikilen fidanlarla rekabeti düşünülerek, önce mevcut vejetasyon ortadan kaldırılır ve sonra ağaç fidanları dikilir. Ancak bu yöntemin Akdeniz ormanları için doğru bir yöntem olmadığı belirlenmiştir. Nitekim konuyla ilgili yapılan araştırmalarda, ağaçlandırma sırasında yardımcı bitkiler olarak çalılarının kullanılmasının, yeni dikilen ağaç fidanlarının yerleşip gelişebilmelerine yardım ettiği için daha verimli sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada İspanya’nın Güney Doğusundaki 1800-1850 m yükseklikteki alanlarda yapılan bir ağaçlandırma çalışmasında, yardımcı etki ilişkisi araştırılmıştır (Castro vd., 2002). Bunun için 2 yaşındaki *Pinus nigra* J.F.Arnold (Pinaceae) ve *P. sylvestris* L. fidanları, 4 farklı mikro habitata dikilmiştir. Bu habitatlar:

- 1-Vejetasyonu olmayan açık alanlar (ağaçlandırma programlarında kullanılan yaygın metot),
- 2-Bölgenin doğal vejetasyonunda bulunan *Salvia lavandulifolia* Vahl (Lamiaceae) çalılarının altı,
- 3-Kuzeye bakan dikenli çalılarının altı,
- 4-Güneye bakan dikenli çalılarının altı şeklinde seçilmişlerdir (Tablo 3).

Bu habitatların abiyotik çevre şartları ölçülmüş ve *S. lavandulifolia* ile kuzeye bakan çalılıklar benzerlik göstermişlerdir. Işık kuzeye bakan çalılar ile *S. lavandulifolia*

altında en düşük, hava ve toprak nemi ise en yüksek değerlerde bulunmuştur (Tablo 4).

Fidanların dikiminden sonra başarılı fidanların sayısı, birinci yazın sonunda (Kasım 1997), birinci kıştan sonra (Mayıs 1998) ve ikinci yaz sonunda (Kasım 1998) sayılmıştır. En fazla ölüm ilk yazda *P. sylvestris* fidanlarında % 47.1, *P. nigra* fidanlarında ise % 28.1 olarak gerçekleşirken, daha sonraki kış mevsiminde bireylerin adaptasyonu sayesinde ölüm oranları %5.9 (*P.*

*sylvestris*) ve %9'a (*P. nigra*) inmiştir. Yaşayan bireyler bakımından karşılaştırıldığında, *S. lavandulifolia* altında yaşayan bireylerin sayısı en fazla bulunmuştur (*P. sylvestris*; %54.8, *P. nigra*; %81.9). Bunu kuzeye bakan çalılar altına dikilen fidanlar takip etmiştir. Açık alanlarda ve güneye bakan çalılar altında gelişen, her iki çam türünün birey sayısı en düşük ve birbirine yakın değerlerde bulunmuştur (*P. sylvestris*; %21.5, *P. nigra*; %56.8) (Tablo 5) (Castro vd., 2002).

**Tablo 3.** Çalışma alanındaki habitatların yapısı (farklı bitki türlerinin örtüş yüzdesi) (Castro vd., 2002)

Mikrohabitat	Örtüş (%)
<i>Salvia lavandulifolia</i>	28.3
Diğer çalılar <50 cm	3.1
<i>Prunus ramburii</i> Boiss.	4.8
<i>Crataegus granatensis</i> Boiss.	1.8
<i>Berberis hispanica</i> Boiss.& Reut.	3.1
Diğer çalılar >50 cm	2.7
Çayırlar	16,3
Çıplak alan	36.4
Kayalık	3.6

**Tablo 4.** Dört mikro habitatta ölçülen abiyotik faktörler (Castro vd., 2002).

Abiyotik Faktörler	<i>Salvia lavandulifolia</i>	Kuzeye bakan çalılar	Güneye bakan çalılar	Açık alan
Işık (W/m <sup>2</sup> )	473.1±61.1 <sup>a</sup>	340.2±40.4 <sup>a</sup>	895.7±26.2 <sup>b</sup>	916.9±3.2 <sup>b</sup>
Hava nemi (%)	26.5±0,8 <sup>a</sup>	26.4±0,3 <sup>ab</sup>	24.3±0,3 <sup>ab</sup>	22.3±0,4 <sup>c</sup>
Toprak nemi (%)	11.7±0,3 <sup>a</sup>	11.1±0,5 <sup>a</sup>	10.6±0,3 <sup>ab</sup>	8.6±0,9 <sup>b</sup>
Toprak sıcaklığı (°C)	15.0 (13.7–16.3)	14.7 (10.8–20.0)	16.7 (11.0–27.1)	18.5 (10.6–32.9)

**Tablo 5.** *P. sylvestris* ve *P. nigra* fidanlarının *S. lavandulifolia* altında ve açık alanlardaki yaşayan birey oranları (Castro vd., 2002).

Habitatlar	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus nigra</i>
<i>Salvia lavandulifolia</i>	%54.8	%81.9
Açık alan	%21.5	%56.8

Yaz süresince yüksek ışık ve düşük yağış miktarı, dikilen fidanların gelişimini kısıtlamaktadır (García-Salmerón, 1995; Pemán ve Navarro, 1998). Bu durumda çalılar doğrudan gölge etkisi yapıp, fidanların terleme yoluyla su kaybını azaltmıştır (Lambers vd., 1998; Larcher, 2003). Açık

alanlarda ve güneye bakan çalılıklarda hava neminin düşük, güneşlenmenin yüksek oluşu ve toprak sıcaklığının düzensiz değişimi, alanda su stresinin oluşmasına ve başarılı fidan sayısının da az olmasına neden olmuştur. *S. lavandulifolia* ve kuzeye bakan çalılar altında bu değerlerin tam tersinin

olması, su stresini azaltarak, başarılı fidan sayısının artmasını sağlamıştır (Castro vd., 2002).

Yine kışın *S. lavandulifolia* ve çalılar, yakınlarında bulunan bitkilere tampon etkisi yaparken, hem toprağı stabilize eden litter (ölü artıklar) tabakası, hem de kök sistemi ile toprağın donmasını önler ve böylece kışın daha az ölüm meydana gelir. Bunun yanında dikilen fidanlar birkaç yıl sonra büyüdükleri için, *S. lavandulifolia*'nın gelişimini durdururlar (Castro vd., 2002).

Bu yöntem, Akdeniz bölgesindeki ormanlaştırma çalışmalarında, çalıların, negatif etkisinin olduğu düşüncesinin geçersizliğini gösterir. Sulama ve toprağın hazırlanmasında daha az çaba harcanması gerekeceğinden ve az sayıda fidan ile daha geniş alan ağaçlandırılacağından, ekonomik bakımdan önemli bir metottur. Ayrıca toprağın yoğun şekilde işlenmesi ya da çalıların ortadan kaldırılması ile meydana gelen erozyon riski, bu çalılar sayesinde azaltılabilir (Castro vd., 2002).

## 5.2. Tarımsal Çalışmalar

Bitkilerin yardımcı etkilerinden yararlanılarak, tarımsal çalışmalarda ürün miktarı ve kalitesinin artırılması sağlanmaktadır. Bunun için aralarında yardımcı etki bulunan tarımsal bitkiler birlikte ekildiklerinde, tek başına ekildiklerine göre daha fazla verim vermektelerdir.

Birlikte ekimlerde türlerin belirlenmesinde bazı kriterlerin dikkate alınması önemlidir. Bunların içinde önemli olan, birlikte ekimlerin en azından bir Legüminosae ve bir Gramineae olacak şekilde düzenlenmesidir. Bununla birlikte biyomas ve tohum üretimine uygun olmak, olgunlaşma dönemlerinin örtüşmesi, otlatmada kullanılacak birlikte ekimlerde türlerin besin kalitesi ve rekabet yeteneklerinin benzer olması, türlerin ekolojik isteklerinin uygun olması gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Birlikte ekimlerde türlerin ekim yöntemleri de önemlidir. Genellikle birlikte ekimde kullanılan türler 3 temel metotla ekilebilirler. Bunlar:

- Türlerin aynı sıraya karışık ekimi.
- Türlerin aynı sıralara alternatif ekimi.
- Türlerin çapraz ekimi.

Konuyla ilgili yapılan çalışmalara göre şunları söylemek mümkündür. Örneğin Ankara şartlarında yapay mera kurulması amacıyla yürütülen bir çalışmada, *Medicago sativa* L. (Fabaceae), *Onobrychis sativa* Lam. (Fabaceae), *Bromus inermis* Leyss. (Poaceae) ve *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. (Poaceae) türleri tek, ikili ve dördü birlikte ekimler halinde ekilmişlerdir. En yüksek yeşil ot, kuru ot ve kuru madde verimleri yonca+kılçıksız brom karışımından (sırasıyla; 1605.04, 504.29 ve 471.38 kg/da) elde edilmiştir (Albayrak, 2003).

İtalya'da yapılan bir çalışmada *Trifolium alexandrinum* L. (Fabaceae), *T. incarnatum* L., *T. resupinatum* L. ve *T. squarrosum* L. türleri, arpa veya İtalyan çimi ile birlikte ekilmiştir. 4 yılın ortalaması olarak, sulanan şartlarda en yüksek yeşil ot verimi, *T. squarrosum*+arpa dan elde edilirken (8.40 t/ha), sulama yapılmayan şartlarda *T. alexandrinum*+arpa dan elde edilmiştir (6,85 t/ha) (Martinello, 1999). Bu bulgulardan elde edilen sonuçlara göre küçük tohumlu bitkilerin çimlenerek gelişmesini kolaylaştırmak, erozyonu önlemek, zararlı otların gelişimini engellemek ve ilk yıl içinde daha fazla verim elde etmek için, çok yıllık yem bitkilerinin uygun bir koruyucu-arkadaş tür ile birlikte ekilmesi uygundur (Açıkgöz, 2001; Tan ve Serin, 2004).

Genellikle bu tip alanlarda fazla yağış ve organik madde yetersizliği nedeniyle, toprak yüzeyinde kalın bir sert tabaka oluşur. Böyle şartlarda birçok yem bitkilerinin tohumları küçük olduğundan toprak yüzeyindeki bu sert tabakayı aşarak yüzeye çıkamazlar. Bu durumda küçük tohumlu yem bitkileri, toprak yüzeyindeki sert tabakayı delebilen arpa gibi bitkiler ile beraber ekilmelidirler. Böylece arpa yem bitkisinin çıkışını kolaylaştırır (Manga ve Acar, 1988). Fiğ ise sülükleri ile tahıl bitkilerine sarılarak geliştiği için yatmayı önler böylece hasadı kolaylaştırır verim kayıplarını azaltır (Tan ve Serin, 1996). Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada en uygun



birlikte ekim yöntemleri araştırılarak en fazla kuru ot veriminin elde edildiği karışım tespit edilmiştir (Anlarsal vd., 1996).

## 6. Sonuç

Sonuç olarak, aynı ya da farklı bitki türleri arasında görülen yardımlaşma etkisi sayesinde bitkiler, ekstrem habitat özelliklerine sahip alanlardaki performanslarını artırarak başarılı olmakta ve yayılış alanlarını genişletmektedirler. Aynı zamanda bitkiler arasında görülen yardımcı etki fonksiyonlarını, ziraat ve ormancılık alanlarında uygulama imkânları da mevcuttur.

## 7. Kaynaklar

Açıköz, E., 2001, Yem bitkileri. Uludağ Üniv. Güçlendirme Vakfı Yay. No: 182. Bursa, 584s.

Aguiar, M. R., Soriano, A. ve Sala, O. E., 1992. Competition and facilitation in the recruitment of seedlings in Patagonia steppe, Functional Ecology, 6, 66-70.

Albayrak, S., 2003, Ankara Ekolojik Koşullarında Yapay Mera Kurulması Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. A.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara, 167s.

Anlarsal, A. E., Ülgen, A. C., Gök, M., Yücel, C., Çakır, B., Onaç I., 1996, Çukurova'da tek yıllık baklagil yem bitkisi + mısır üretim sisteminde baklagillerin ot verimleri ile azot fiksasyonlarının saptanması ve mısır üretiminde azot kullanımını azaltma olanakları, Türkiye 3. Çayır- Mera ve Yem bitkileri Kongresi, 17-19 Haziran 1996, Erzurum, Türkiye, s.362-368.

Bertness, M. D. ve Callaway, R. M., 1994. Positive interactions in communities: a post cold war perspective, Trends in Ecology and Evolution, 9: 191-193.

Brooker, R. W. ve Callaghan, T. V., 1988. The balance between positive and

negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model, Oikos, 81, 196-207.

Callaway, R. M., and King, L., 1996. Temperature-driven variation in substrate oxygenation and the balance of competition and facilitation, Ecology, 77 (4), 1189-1195.

Callaway, R. M. ve Walker, L. R., 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interaction in plant communities, Ecology, 78, 1958-1965.

Carlsson, B. ve Callaghan, T. V., 1991. Positive plant interactions in tundra vegetation and the importance of shelter, Journal of Ecology, 79, 973-983.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A. ve Gómez, J. M., 2002. The use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains, Restoration Ecology, 10, 297-305.

Cavieres, L. A., Peñalosa, A., Papić, C. ve Tambutti, M., 1998. Efecto nodriza del cojín *Laretia acaulis* (Umbelliferae) en la zona alto-andina de Chile central (Nurse effect of *Laretia acaulis* (Umbelliferae) in the high Andes of central Chile), Revista Chilena de Historia Natural, 71, 337-347.

Cavieres, L., Arroyo, M. T. K., Peñalosa, A., Molina-Montenegro, M. ve Torres, C., 2002. Nurse effect of *Bolax gummifera* cushion plants in the alpine vegetation of the Chilean Patagonian Andes, Journal of Vegetation Science, 13, 547-554.

Clutton-Brock, T. H., 1991, The evolution of parental care. Princeton University Press, Princeton, 352p.

De Viana, M. L., Sühring, S., ve Manly, B. F. J., 2000. Application of randomization

- methods to study the association of *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) with potential nurse plants. Plant Ecology, 00: 1-5.
- Franco, A. C. ve Nobel, P. S., 1988. Interaction between seedlings of *Agave desertii* and the nurse plant *Hilaria rigida*. Ecology, 69, 1731-1740.
- Franco, A. C. ve Nobel, P. S., 1989. Effects of nurse plant on the microhabitat and growth of cacti, Journal of Ecology, 77, 870-886.
- Franco-Pizaña, J., Fulbright, T. E. ve Gardnier, D. T., 1995. Spatial relations between shrubs and *Prosopis glandulosa* canopies, J Vegetation Sci, 6, 73-78.
- García Salmerón J., 1995, Manual de Repoblaciones Forestales II. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 918 p.
- Jordan, P. W. ve Nobel, P. S., 1979. Infrequent establishment of seedlings *Agave desertii* (Agavaceae) in the Northwestern Sonoran Desert, American Journal of Botany, 66, 1079-1084.
- Kellman, M. ve Kading, M., 1992. Facilitation of tree seedling establishment in a sand dune succession, J Vegetation Sci, 3, 679-688.
- Körner, C. ve Larcher, W., 1988, Plant life in cold climates. Plants and temperature, Long, S. F. ve Woodward, F. I. (eds.), Cambridge University Pres, Cambridge, pp. 25-57.
- Lacey, E. P. ve Herr, D., 2005. Phenotypic plasticity, parental effects, and parental care in plants? I. An examination of spike reflectance in *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae), American Journal of Botany, 92 (6), 920-930.
- Lammers, H., Chapin III, F. S. ve Pons, T. L., 1998, Plant physiological ecology. Springer-Verlag, New York, 540p.
- Larcher, W., 2003, Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin, 513p.
- Lewitt, J., 1980, Responses of plants to environmental stresses. Second Edition, Vols. I- II. Academic Press, New York and London, 497p.
- Manga, İ. ve Acar, Z., 1988, Yem Kültürünün Genel İlkeleri, OMÜ Yay. No: 37, Samsun.
- Martinello, P., 1999. Effects of irrigation and harvest management on dry- matter yield and seed yield of annual clovers grown in pure and in mixtures with Graminaceous species in a Mediterranean Environment, Grass and Forage Science, 54, 52-61.
- Molina-Montenegro, M. A, Torres, C., Parra, M. J., ve Cavieres, L., 2000. Asociación de especies al cojín *Azorella trifurcata* (Apiaceae) en la zona andina de Chile central (37°S) (Species association with the cushion *Azorella trifurcata* (Apiaceae) in the high Andes of central Chile (37°S), Gayana Botanica, 57, 161-168.
- Núñez, C. I., Aizen, M. A. ve Ezcurra, C., 1999. Species associations and nurse effects in patches of high -Andean vegetation, J Vegetation Sci, 10, 357-364.
- Pemán, J., ve Navarro, R., 1998, Repoblaciones forestales. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Léridade, Léridade.
- Pugnaire, F. I., Haase, P. ve Pulgdefabregas, J., 1996. Facilitation between higher

plant species in a semiarid environment, Ecology, 77, 1420-1426.

Pugnaire, F. I. ve Luque, M. T., 2001. Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress, Oikos 93, 42-49.

Raffaele, E. ve Veblen, T. T., 1998. Facilitation by nurse shrubs of resprouting behavior in a post-fire shrubland in northern Patagonia, Argentina, Journal of Vegetation Science, 9, 693-698.

Tan, M., ve Serin, Y., 1996, Fiğ + tahıl karışımlarında karışım oranları ve biçim zamanlarının makro besin elementi kompozisyonuna etkileri, Türkiye 3. Çayır Mera ve Yem bitkileri Kongresi, 17-19 Haziran 1996, Erzurum, Türkiye, s.308-315.

Tan, M., ve Serin, Y., 2004. Is the companion crop harmless to alfalfa establishment in the highlands of East Anatolia?, Journal of Agronomy and Crop Science, 190, 1-5.

Wied, A. ve Galen, C., 1998. Plant parental care: Conspecific nurse effects in *Frasera speciosa* and *Cirsium scopulorum*, Ecology, 79 (5), 1657-1668.

Valiente-Banuet, A. ve Ezcurra, E., 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico, Journal of Ecology, 79 (4), 961-971.

## Sub-Mikron Boyutlarında Üleksit Mineralinin Asfalt Karışımların Suya Hassasiyetine Etkisinin İncelenmesi

Tuba KÜTÜK SERT \*

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

Geliş tarihi/Received 19.12.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 17.04.2017

Kabul tarihi/Accepted 25.04.2017

### Öz

*Yol kaplamalarında görülen erken bozulmalar ve deformasyonlar genellikle bitümlü kaplamaların maruz kaldıkları suyun varlığından kaynaklı bozulmalardır. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışma sayesinde ülkemizde rezervi bulunan ve önemli bir bor minerali olan Üleksitin asfalt karışımlarındaki etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmada asıl üzerinde durulan husus, üleksit minerallerinin ticari olarak bulunabilen boyutlarıyla değil de nano partikül öğütücü değirmen ile öğütülerek küçük boyutlara getirilmiş halinin de çalışmaya dahil edilmiş olmasıdır. Bu bağlamda 25 mikron altı (U-25  $\mu\text{m}$ ) ve 53 mikron üstü (U+53  $\mu\text{m}$ ) şeklinde iki farklı boyutta üleksit mineralleri analiz edilmiştir. Özellikle U-25 malzemesinde nano boyutların yoğun olduğu görülmüştür. Bu minerallerin, bağlayıcı miktarının kütlece % 5'i ve %10'u mertebelerinde bitümlü karışımlara ilave edilerek hazırlanmış olan karışımlara suya hassasiyet testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; bor minerali katkısı karışımların suya karşı dirençlerini artırmıştır. Katkısız (referans) numunelerde koşullandırma ile mukavemet kaybı yaklaşık % 15 iken üleksit katkılı numunelerde yaklaşık %3-%4'ler mertebesinde olduğu görülmüştür.*

**Anahtar kelimeler:** Nano Partikül Öğütme, Suya Hassasiyet, Üleksit

## Investigation of the Effect of Ulexite Mineral with Sub-Micron Sizes on Asphalt Mixtures Moisture Susceptibility

### Abstract

*Early deterioration and deformations in road pavements with bituminous mixtures are usually caused by the presence of water. Thanks to this study, the effect of ulexite which is a major boron mineral with reserves in our country, has been investigated in asphalt mixtures. The main point in this study is that the small sized ulexite minerals are included in the study obtained by the nano particle grinding mill, not the commercially available sizes. In this regard, ulexite mineral with two different sizes as lower than 25 microns (U-25  $\mu\text{m}$ ) and upper than 53 micron (U+53  $\mu\text{m}$ ) was analyzed in this study. Particularly, in U-25 material, nano dimensions are seen to be dense. Moisture susceptibility tests were applied to the asphalt samples prepared by adding 5% and 10% ulexite minerals by the weight of bitumen in mixture. The results showed that the boron mineral additive in hot-mix asphalt mixtures improved the resistance of asphalt mixtures' moisture susceptibility. The loss of strength was found to be about 15% with the conditioning on the untreated (reference) samples, while it was found that the ulexite-added samples were in the range of about 3-4%.*

**Keywords:** Nano Particle Milling, Moisture Susceptibility, Ulexite

\* Tuba KÜTÜK-SERT, tuba.kutuk@erdogan.edu.tr, Tel: (0464) 223 57 18

## 1. Giriş

Türkiye’de dünyada ki toplam rezervinin büyük bir kısmı bulunan bor, askeri alandan/savunma sistemlerinden sağlık alanına, bilgisayar sistemlerinden ilaç endüstrisine, otomotivden inşaat sektörüne kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Türkiye, 803 milyon ton rezervi ile dünya bor rezervlerinin yaklaşık % 63’üne sahiptir. (Boncukcuoğlu vd., 2003).

Ülkemizde her yıl işletilen bor cevheri ise yaklaşık 1,3 milyon ton’dur. (Kutuk-Sert ve Kutuk, 2013) ve yine bor madeni ülkemizde, Balıkesir, Bursa, Eskişehir, Kütahya illerine dağılmış durumdadır. Türkiye’de bor rezervi bu kadar fazla olmasına karşı büyük bir kısmı ihraç edilmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan üleksit ise  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$  formülüne sahip olup bünyesinde 16 mol su ihtiva eden önemli bir bor mineralidir. Üleksit, kernit, probertit ve szyabelit ticari açıdan önemlidir. Ticari açıdan önem arz eden bu mineraller içinde fazla miktarda bulunan yine üleksittir. Günümüzde Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından ham cevher ve konsantreleri (kolemanit, üleksit, tinkal) ile rafine bor ürünleri/türevleri (boraks dekahidrat, boraks, pentahidrat, borik asit, sodyum perborat) üretilmektedir (Bulutcu, 1996).

Çoruh vd. (2013) borojipsin alttemel tabakasında stabilizasyon malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Bor atığı ile alttemel malzemesinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır. Bor atığı kullanımının üstyapıda kullanılan toplam agrega miktarını %43, yol yapım maliyetini ise %12 azalttığı görülmüştür. Ayrıca üstyapıda kullanılacak doğal agrega miktarı azalacak böylece kısıtlı doğal kaynakların daha verimli kullanılması mümkün olacaktır (Motor, 2007). Morova ve Terzi (2015) yapmış oldukları çalışmada kolemanitin sıcak karışım asfalt betonunda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Dört farklı agrega grubu kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmada,

kolemanit atıklarının fazlaca olduğu alanlarda, taşıma maliyetlerinin de uygun olması durumunda asfalt betonunda kireçtaşı agregası yerine kullanılabilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Ülkemizin milli kaynaklarından olan bor minerallerinden üleksit kullanılarak hazırlanmış olan bu çalışmada farklı sub-mikron boyutlu üleksitin asfalt karışımların suya hassasiyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda nano ve mikron altı boyutlardaki malzemeler, yapılarındaki kararlı davranış ve yapı malzemesi olarak adersanı iyileştirmeleri gibi hususlardan dolayı son yıllarda literatürde de kendine geniş yer bulmuştur.

Partl vd. (2010) asfalt kaplamalarda nano bilim ve nano teknolojinin kullanımıyla ilgili yapmış oldukları araştırmada bitüm içerisinde düzgün bir dağılım sergileyen nano-fiberlerin herhangi bir fiziksel etki olmaksızın bitümle agrega arasında adeta bir yapıştırıcı rolü üstlendiğini, yani adezyonu iyileştirdiğini öngörmüşlerdir. Parviz (2011) nano malzemelerin asfalt ve katranda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Nano boyuta inildiği zaman malzemenin, erime sıcaklığı, manyetik özellikleri ve rengi gibi bir takım davranışları değişmektedir. Nano teknolojinin bu kullanımı asfalt ve katranın çeşitli özelliklerini iyileştirmektedir. Nanokil ile modifiye edilmiş bitümün adezyon ve kayma mukavemeti artmakta, deformasyonlara gösterdiği direnci iyileşmektedir. Buna ek olarak, nano kil katkısı düşük sıcaklıklarda yorulmaları da azaltmaktadır. Çalışmanın düşük sıcaklıklarla ilgili bu sonucundan yola çıkılarak, nano katkıların ılık karışım asfalt betonunda da iyi bir performans göstereceği düşünülmektedir.

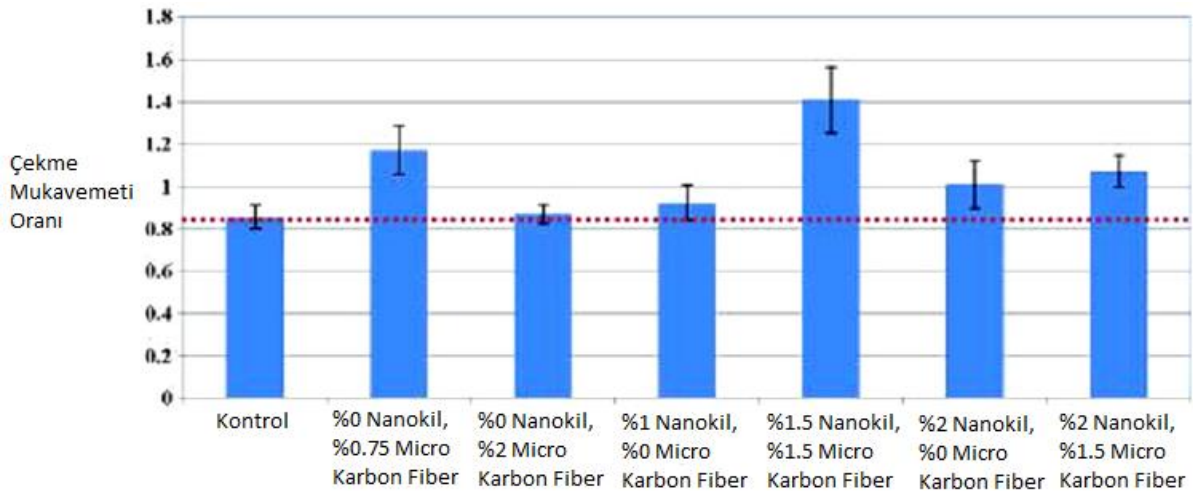
Hao vd. (2012) nano kalsiyum karbonat katkılı asfalt betonunun performansını araştırmışlardır. % 6 nano kalsiyum katkısı karışımların dinamik stabilitesini artırmaktadır. Xiao vd. (2011) nano teknolojinin inşaat mühendisliğindeki uygulamalarının oldukça yeni olduğunu vurgulamış ve yapmış olduğu çalışmada bitümlü karışımın % 0 - % 0,5 - % 1 ve % 1,5 oranlarında karbon nano partikül içeren asfalt

karışımların performansını test etmişlerdir. Nano partikül katkısıyla karışımların deformasyon direncinin arttığını ortaya koymuştur.

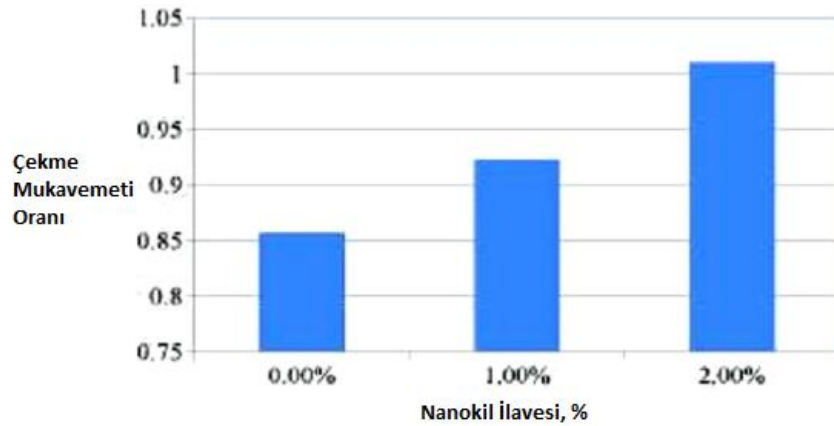
Goh vd. (2011) nano kil ve karbon mikro fiber katkılarının asfalt karışımların nem hassasiyeti performansını artırdığını ve pek çok durum için nem hasarı potansiyelini düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. Optimum asfalt içeriği % 5,2 olarak seçilen çalışmada ağırlıkça bitümün % 2' sine kadar artan oranlarda nano kil ve karbon mikro fiber katkıları geleneksel sıcak karışıma ilave edilmiştir. Bazı örnekler su ve çeşitli çözücülerle koşullandırılmış bazıları ise kuru tutulmuştur. Sonuçta, nano partikül kullanımının nem hassasiyeti üzerinde olumlu etkileri gözlenmiştir. Aşağıdaki

grafikten görülebildiği gibi, çekme mukavemetini artırması bakımından karışıma % 1,5 nano kil ve % 1,5 karbon mikro fiber katkısı ideal sonuçları vermektedir (Şekil 1).

Ghasemi vd. (2012) nano SiO<sub>2</sub> ile modifiye edilmiş taş mastik asfaltın modifikasyonunu araştırmışlardır. SiO<sub>2</sub> ortalama boyutu 15 nm olan partiküller halinde öğütülmüştür (Şekil 2). Farklı oranlarda SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) ile Nano SiO<sub>2</sub> kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. En iyi sonuç % 5 SBS ve % 2 Nano SiO<sub>2</sub> katkısıyla elde edilmiştir. SBS/Nano SiO<sub>2</sub> modifiyeli karışımlar kontrol karışımına kıyasla daha yüksek stabilite (Şekil 3) ve çekme mukavemeti değeri göstermiş olup, SBS/Nano SiO<sub>2</sub> katkısı karışımların adezyon ve kohezyonunu artırmıştır.



(a)



(b)

**Şekil 1.** (a) Çeşitli oranlarda nano kil ve karbon mikro fiber katkılarının çekme mukavemetine etkileri (b) Nano kil katkısıyla çekme mukavemetinin iyileştirilmesi (Goh vd., 2011).

Çap (nm)	Yüzeysel hacim oranı (m <sup>2</sup> /gr)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Safılık (%)
15±3	160±12	<0.14	>99.9

**Şekil 2.** Nano boyuta indirgenmiş olan SiO<sub>2</sub>' nin fiziksel özellikleri (Ghasemi vd., 2012)

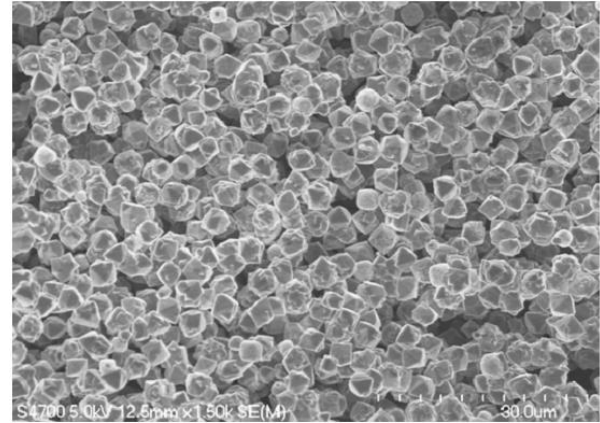
Örnek No	Karışım Tipi	BSG	VTM (%)	VMA(%)	VFB(%)	Stabilite (kN)	Akma (mm)
1	60/70 binder	2345	4.33	14.92	70.11	6.42	3.4
2	5%SBS +0.0% nano	2333	4.93	17.38	71.65	7.00	3.13
3	5%SBS +0.5% nano	2328	5.85	18.56	68.50	8.86	3.33
4	5%SBS +1.0% nano	2325	5.17	17.83	70.97	10.13	2.90
5	5%SBS +1.5% nano	2302	5.81	18.75	69.01	11.20	3.35
6	5%SBS +2.0% nano	2299	5.70	18.24	68.75	11.74	2.85

**Şekil 3.** Kontrol karışımı ile farklı oranlarda SBS ve Nano SiO<sub>2</sub> kullanılarak hazırlanan karışımların Marshall test sonuçları (Ghasemi vd., 2012).

You (2013) çeşitli nano malzemelerin asfalt kaplamalardaki kullanımını araştırmıştır. Nano killerle ilgili yapmış olduğu araştırmada asfalt karışıma % 2 nanokil katkısının kayma modülünü % 184 artırdığını ve yine tekerlek izi (rutting) direncini ise iyileştirdiğini gözlemlemiştir. Polimer modifiyeli nanokil ilavesinde ise asfalt bağlayıcının viskozitesi düşmekte, işlenebilirliği artmakta, ılık karışım asfalt için bu modifiyenin faydalı olacağı görüşü ortaya çıkmaktadır. Yine nanotüp, nanosilika gibi malzemelerin asfalt bağlayıcı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı Şekil. 4' de görülmektedir. Homojen dağılım, asfalt molekülleri ile nano malzemenin sıkı bir şekilde bağlandığını göstermektedir. Bu da agrega ile asfalt arasındaki adezyonun iyi bir şekilde iyileştirildiğini göstermektedir. You (2013)' ün çalışmasından elde edilen bir diğer önemli bulgu ise asfaltın ağırlıkça % 2~ % 4' ü kadar nano malzemenin karışıma ilavesinin asfalt kaplamanın tekerlek izi derinliğini kontrol karışımlarına kıyasla yarı yarıya azalttığı sonucudur.

Diab vd. (2013) nano hidrat kireçle modifiyeli ılık karışım asfaltın reolojik özelliklerini araştırmışlardır. Hidrat kireç 50 nm ve 100 nm boyutuna indirgenerek bu çalışmada kullanılmıştır. Asfalt bağlayıcının % 5, % 10 ve % 20 miktarında nano hidrat kireç ve % 3, % 4,5 ve % 6 miktarlarında da köpüklendirme katkısı ilave etmek suretiyle karışımlar hazırlanmış ve karışımlara tekerlek izi ve

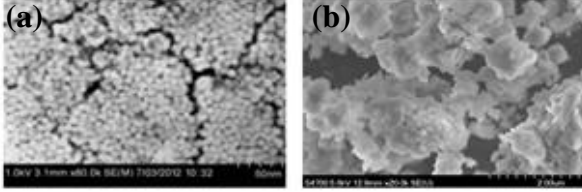
yorulma çatlaklarını belirleyen testler ile termal çatlakları belirleme testleri uygulanmıştır.



**Şekil 4.** Alan Taramalı Elektron Mikroskobu yardımıyla çekilmiş asfalt karışım içerisindeki nanosilika dağılımı (You, 2013).

Kullanılan hidrat kirecin nano boyuta indirgenmiş hali ile daha büyük boyutlarının SEM görüntüleri Şekil 5' de görülmektedir. Nano boyuta indirgenmiş mineralde yapıdaki homojen dağılım dikkat çekicidir. Elde edilen sonuçlara göre az miktarda nano hidrat kireç katkısının reolojik özellikleri iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Hidrat kireç katkısında nano yapıda partikül boyutu ne kadar küçülürse ve nano mineral miktarı ne kadar artırılırsa yorulma çatlakları ve tekerlek izi direnci ile sünme rijitliği o kadar artmaktadır. Tekerelek izi direnci değeri, nano mineral katkısı kullanılmış karışımlarda daha yüksek

çıktığından dolayı kullanılan köpüklendirme katkısıyla nano hidrat kireç arasında uyumlu etkileşim olduğu söylenebilir. % 3, % 4,5 ve % 6 miktarlarında köpüklendirme katkısı ilavesi araştırılmış, optimum oranın % 4,5 olduğu görülmüştür. Bu değerden daha az ya da daha fazla değerlerde katkının tekerlek izi direncini olumsuz etkilediği gözlenmiştir.



**Şekil 5.** SEM Görüntüleri (a) 50 nm boyutlarındaki hidrat kirece ait (b) Daha büyük boyutta ki hidrat kirece ait (Diab vd., 2013).

Yukarıda sözü edilen çalışmalardan da görülebileceği üzere, nano malzemelerin sahip oldukları kararlı yapıları sayesinde asfalt karışımları tekerlek izine karşı dirençli hale getirmeleri, yine karışımların pek çok özelliklerini iyileştirmeleri gibi özelliklerinden dolayı kullanımları faydalı görülmektedir. Ancak yapılmış olan bir çalışmada köpük asfalt uygulamalarının tümünde soyulmayı önlemek için amin kökenli katkı maddelerinin (DOP) kullanılması gerekli görülmüş, adezyonu sağlamak için karışımlara bu katkılardan ilave edilerek adezyonun iyileştiği gözlemlenmiş ancak bu sayede köpük asfalt uygulamalarında adezyon problemi görülmemiştir (Malkoç, 2013).

Hamedi (2016), yapmış olduğu çalışmasında, kalsiyum karbonat ve nano çinko oksit katkılı asfaltın mekanik özelliklerini araştırmıştır. Asfalt binder modifiyeri olarak kullanılan malzemelerin sıcak karışım asfalt betonunun nem hassasiyeti üzerinde önemli etkileri olduğu gözlenmiştir. Buna göre, asfaltın nano malzemeler ile modifiyesi karışımın nem hassasiyetini azaltmıştır.

Mirzababaei (2016), ılık ve sıcak asfalt karışımlarda ki nem hassasiyeti üzerinde agrega gradasyonu etkilerinin fazla olduğunu göstermiştir. Ancak agrega türü olarak

bakıldığında ise silis agregalar içeren ılık ve sıcak karışımların nem hassasiyetinin tayininde önemli olan çekme mukavemeti oranını (TSR) minimum %80 mertebesinde sağlamadığından kabul edilebilir görülmemiştir.

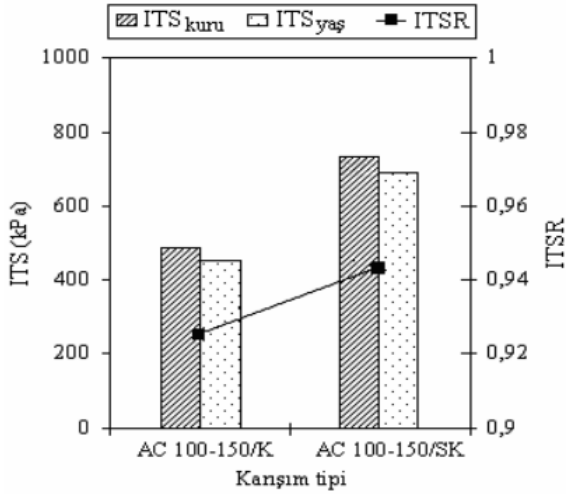
Nabiun ve Khabiri (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada, filler olarak çeşitli oranlarda kullanılan ferrit malzemesinin asfalt karışımının nem hassasiyeti üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Çalışmaya göre %70 ve %100 ferrit filler içeren karışımlar en yüksek direnç göstermişlerdir. Aksine %35 ferrit katkılı karışımlarda ise tamamı kireçtaşı filler olan referans numunelerine göre düşük direnç değeriyle karşılaşılmıştır. Bu sonuç ferritin filler malzemesi olarak az oranlarda kullanımının etkisinin olmadığını göstermektedir.

Görkem ve Şengöz (2008) yapmış oldukları çalışmada, elastomerik (SBS) ve plastomerik (EVA) polimer modifiye bitümlerle (PMB) hazırlanan ve farklı agrega türleri (bazalt-kalker ile yalnız kalker agregası) içeren sıcak karışım asfaltların soyulma durumunu ve suya karşı duyarlılıklarını incelemişlerdir. Elastomerik ve plastomerik polimer modifikasyonların suyun asfalt karışımlar üzerindeki etkisini azalttıkları ve kaplamanın neme karşı direncini arttırdıkları göstermiştir. Ayrıca yine çalışmanın sonucuna göre, SBS PMB ile hazırlanan karışımların EVA PMB ile hazırlanan örneklere göre suya karşı bozulmalar üzerine etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Ahmedzade vd., (2007) yapmış oldukları çalışmada, siyah karbon katkısının asfalt karışımların mekanik ve su hassasiyeti özelliklerini incelemişlerdir. Kalker ve siyah karbon filler olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda standart test sıcaklığı olan 40 °C ve çok sıcak iklimler için 40 °C 'de, kontrol asfalt karışımlarına göre daha yüksek sünme rijitliği gösteren siyah karbon karışımlarının, kalıcı deformasyona karşı direncinde önemli derecede artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca filler olarak siyah karbonun asfalt karışımlarına ilave edilmesinin, karışımların ısı ve suya karşı



dirençlerini arttırdığını (Şekil 6) ve bitüm ile agrega arasındaki bağ özelliklerini iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır.



**Şekil 6.** Kontrol ve siyah karbon içeren asfalt karışımlarının dolaylı çekme mukavemeti oranları (Ahmedzade vd., 2007).

Su hassasiyeti direncinin ve buna bağlı olarak bitüm agrega arası aderansın iyileştiğini gösteren sonuç bu çalışmayı da destekler niteliktedir.

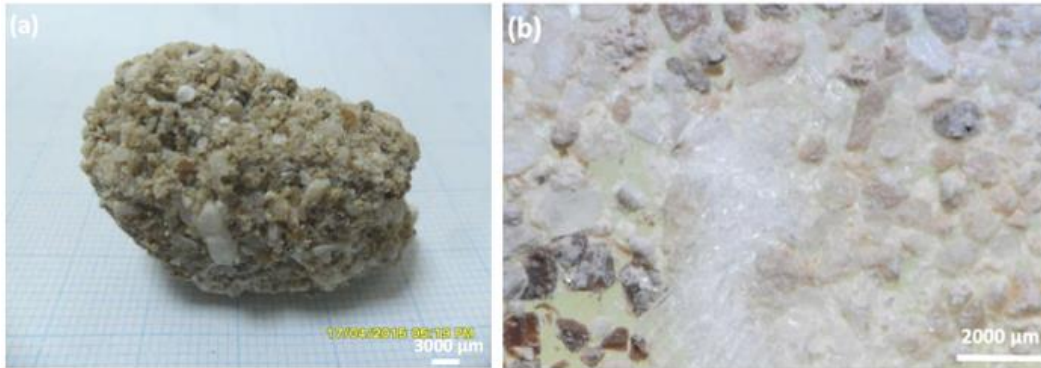
Bu çalışmada özellikle odaklanılan konu ise asfalt betonu için suyun zararlı etkilerinin varlığından dolayı nem hassasiyeti/suya hassasiyet olarak belirtilen husustur. Üleksit minerallerinin küçük boyut etkisinin asfalt karışımların su hassasiyetini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Nem, asfalt karışımlarda, bağlayıcı ve agregalar arasındaki bağa, soyulmalar ortaya çıkararak zarar vermektedir. Yağış vb. sebeplere kaplama yüzeyinde bulunan sular yüzeyden alt

tabakalara doğru kılcal şekillerde sızarak adezyon kuvvetlerini zayıflatmakta, bu durumda zaman içerisinde kaplamanın kullanım ömrünü düşürmektedir (Mirzababaei, 2016). Bu bağlamda asfalt kaplamalarda suya hassasiyet çok önem arz etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Ticari ham üleksit minerali Şekil 7'de görülmektedir. Bu üleksit minerali Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor Madeni'nden temin edilmiştir. Bor madeninden çıkarılan üleksit minerali -3 mm (iri toz boyutu, U-3m) ve -75 µm (ince toz boyutu, U-75µ) olacak şekilde ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına sahip eleklerle elenmiştir ve bu çalışmada başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Recep Tayyip Erdoğan Üniversite'sinde bulunan Nano Partikül Öğütücü Değirmende U-3m minerali öğütülmüştür ve elenmiştir. 25 µm elek altı malzeme U-25 ve 53 µm elek üstü malzeme ise U+53 olarak adlandırılmıştır (Kutuk, 2016) (Şekil 7).

Aşınma tabakası Tip 1 (AC16 Aşınma 50/70) için karışım hesabı yapılmıştır. Karışımın fiziksel özelliklerinin dizayna uygunluğunun ve sıkışmasının kontrolünde referans olarak Tablo 1 üretilmiştir. Bitümlü karışım hazırlanırken kullanılmış olan agreganın elek analizi ve gronülometri eğrisi Şekil 8'de görülmektedir.



**Şekil 7.** Üleksit mineralinin (a) öğütülmemiş ilk halinin görüntüsü, (b) ×15 Stereo Optik Mikroskopta görüntüsü (Kutuk, 2016).

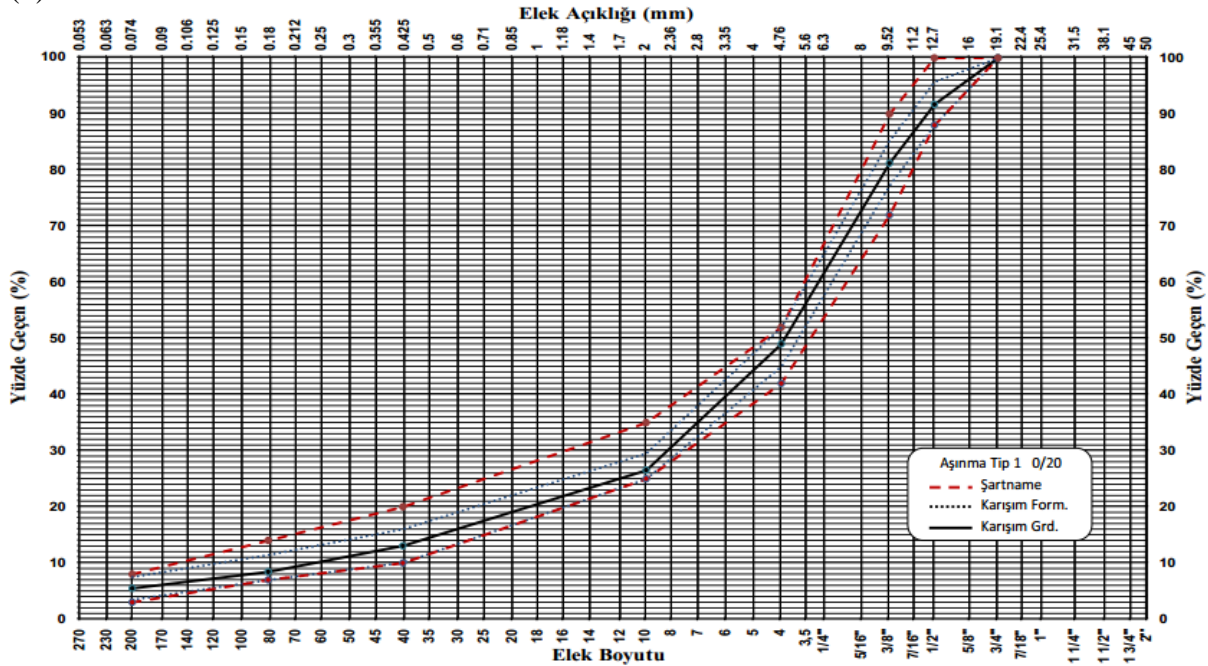
Tablo 1. Dizayn Kriterleri

	Deney Standardı	Sonuç	Şartname
Bitüm %'si (ağırlıkça 100'e)	TS EN 12697-1	4.6	4.0-7.0
Pratik Özgül Ağırlık, gr/cm <sup>2</sup>	TS EN 12697-6	2.43	
Marshall Stabilitesi, kg	TS EN 12697-34	1220	Min. 900
Boşluk, %	TS EN 12697-8	4.0	3-5
Asfatla (bitüm) dolu boşluk, %	TS EN 12697-8	70.0	65-75
Agregalar arası boşluk (VMA), %	TS EN 12697-8	14.05	14-16
Akma, mm	TS EN 12697-34	3.50	2-4
Filler/Bitüm oranı		1.2	Max. 1.5

(a)

Elek No.	2 No Mıcır	1 No Mıcır	Taş Tozu	Karışım	Karışım Formülü	Şartname
1 1/2"						
1"						
3/4"	10,0	46,0	44,0	100,0	100 - 100	100
1/2"	2,1	45,7	44,0	91,7	88 - 96	88 - 100
3/8"	0,1	37,1	44,0	81,3	77 - 85	72 - 90
No 4	0,1	5,4	43,6	49,0	45 - 52	42 - 52
No 10	0,1	0,6	25,8	26,5	25 - 30	25 - 35
No 40	0,1	0,5	12,5	13,1	10 - 16	10 - 20
No 80	0,1	0,5	7,9	8,4	7 - 11	7 - 14
No 200	0,1	0,5	4,9	5,5	3 - 7	3 - 8

(b)



Karışımların suya hassasiyeti asfalt karışımın hasar görmesi ya da hava koşulları altındaki davranışını belirleyeceğinden dolayı önem arz etmektedir. Asfalt karışımlarda suyun varlığı durumlarında bağlayıcı ve agregalar arasında soyulmalar oluşacağından istenmeyen ve kaplamanın yapısına zarar veren bir durumdur. Suya Hassasiyet deneyi için numune hazırlama, koşullandırma ve test aşamaları TS EN12697-12 ITSR oranı standardına göre gerçekleştirilmiştir. Üleksit minerali karışım hazırlama öncesinde bitüme karıştırılmıştır. Her numuneye 35 darbe uygulanarak dizayn kriterlerine göre tüm numunelerde %6 boşluk miktarı sağlanıncaya kadar sıkıştırma yapılmıştır. 25 mikron altı (U-25) ve 53 mikron üstü (U+53) boyutlarındaki üleksit minerallerinden bitümün %5'i ve %10'u oranlarında katılmak üzere 4 farklı katkı, bir de katkısız referans olmak üzere 5 farklı tasarım kararlaştırılmıştır. Her bir durum için üç tane koşullandırmaya tabi tutulan, üç tane de koşullandırılmayan asfalt briket hazırlanmıştır. Koşullandırma işlemi için, numuneler 40 °C'de 72 saat suda bekletilmiş sonrasında da 25 °C'de 2 saat bekletilmiştir. Koşullandırılmayan kuru numuneler için ise sadece 25 °C'de 2 saat bekletme işlemi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numuneler özel kırma başlığı olan Marshall Test cihazında kırılarak mukavemetleri belirlenmiştir (Şekil 9).

Koşullandırılmış numunelerin indirekt çekme direncinin ( $ITS_{yaş}$ ), koşullandırılmamış numunelerin indirekt çekme direncine ( $ITS_{kuru}$ ) oranı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$ITSR = ITS_{yaş} / ITS_{kuru} \quad (1)$$

$ITS_{yaş}$ : Koşullandırılmış numunelerin ortalama indirekt çekme direnci (kPa).

$ITS_{kuru}$ : Koşullandırılmamış numunelerin ortalama indirekt çekme direnci (kPa).

Koşullandırılmış numunelerin dolaylı çekme mukavemetleri koşullandırılmamış (kuru) numunelerin indirekt çekme mukavemetlerine bölünerek, nem duyarlılığının bir ölçüsü olan

indirekt çekme mukavemeti oranları (TSR) tespit edilmiştir. Şekil 10'da numunelerin dolaylı çekme mukavemetleri Şekil 11'de ise dolaylı çekme mukavemeti oranları verilmiştir.



**Şekil 9.** Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelere kuvvet uygulanarak kırılma yükünün bulunması

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bardakçı (2011), çalışmasında da bor minerallerinin hidrofobik (su itici-suya karşı davranan) özelliklerine değinilmiştir. Yapılan bu çalışmada, değişik modifiye malzemeler ile çözücüler ve bunların birbiri ile uyumları incelenerek ürün verimi ve hidrofobitesi üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bor minerallerinin bu özelliği bu çalışmada irdelenen asfalt kaplamalardaki suya karşı direnç konularında özellikle koşullandırılmış numunelerin suyu bünyelerinde bütünüyle bulundurmadıkları dışarı attıkları böylece mukavemetin olumsuz yönde etkilenmediği konusunda olumlu sonuç vermiştir.

Şekil 10 ve 11 incelendiğinde U-25 katkısının %5 ve %10 miktarları ile U+53 katkısının %5 ve %10 miktarları arasında her iki boyuttaki üleksit mineralinde de miktarın %5'ten %10'a çıkmasının dolaylı çekme mukavemetini bir miktar düşürdüğü gözlenmiştir. Bu da bor minerallerinden üleksit katkısının iri ya da ince boyutlar için ideal oranın asfalt çimentosu miktarının %5 olduğunu göstermektedir.



**Tablo 2.** U-25 ve U+53 üleksit mineralleriyle hazırlanan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış asfalt karışımların çekme mukavemeti değerleri

	Ref.	U-25		U+53		
		5%	10%	5%	10%	
Ortalama Çekme Mukavemeti (kPa)	Koşullandırılmış	1097,1	908	703,7	846,2	703,2
	Koşullandırılmamış	1290,3	937,4	748,3	877,9	780,1

Üleksit katkısı kullanılarak üretilmiş numunenin dolaylı çekme mukavemeti oranlarının katkısız referans numunelerinden daha yüksek olması, bir bor minerali olan üleksit mineralinin asfalt numunelerinin adezyonu üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Yani üleksit minerali katkısının asfalt karışımların suya karşı dirençlerini artırmasının bitüm agrega arasındaki adezyonun iyileşmesinin bir sonucu olduğu söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, U-25 ve U+53 olarak iki farklı boyutta üleksit mineralleri analiz edilmiştir. Özellikle U-25 malzemesinde nano boyutların var olduğu görülmüştür. Üleksit mineralinin, bitümün kütlece %5'i ve %10'u oranlarında ilave edilmesiyle hazırlanmış olan karışımlara suya hassasiyet testleri uygulanmıştır. Çalışmadan şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Bor minerallerinin hidrofobik (su itici) özelliğinin varlığı bu çalışma da literatüre ilave olarak bir defa daha görülmüştür.
- ITSR değeri referans numunesinde %85 iken U-25 katkısının %5 ve %10 oranları için sırasıyla % 96,9 ve % 96,4; U+53 katkısının %5 ve %10 oranları için ise yine sırasıyla % 94 ve % 90,1 olarak ölçülmüştür.
- ITSR değerlerinin katkısız referans numunelerinden daha yüksek olması, bir bor minerali olan üleksit mineralinin asfalt numunelerinin adezyonu üzerinde olumlu etkileri olabileceğinin bir göstergesidir.
- Referans numunelerde koşullandırma ile mukavemet kaybı yaklaşık % 15 iken üleksit katkılı numunelerde yaklaşık %3-%4'ler mertebesinde. Bu da Karadeniz

Bölgesi gibi sürekli yağış alan iklimlerde ki asfalt kaplamalar için tercih sebebidir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada, bor minerallerinin temininde Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne yine bor minerallerinin sub-mikron boyutlara öğütülmesi ve asfalt karışımlarda katkı olarak kullanımına hazır hale getirilmesinde Dr. Sezai KÜTÜK'e, suya hassasiyet deneylerinin gerçekleştirilmesinde İSFALT A.Ş.'ye ve İnş. Müh. Resul Ekrem GÜNBEY'e teşekkür ederim.

#### 5. Kaynaklar

- Ahmedzade P., Alataş T. ve Geçgil T., 2007. The Effect Of Carbon Black On The Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. Highway and Transportation Group, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran.
- Bardakçı M., 2011. Çeşitli Bor Minerallerinden Hidrofobik Çinko Borat Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 214s.
- Boncukcuoglu, R., Kocakerim, M. M., Kocadagistan, E., and Yılmaz, M. T., 2003. Recovery of Boron of The Sieve Reject in the Production of Borax. Resources, Conservation and Recycling, 37(2), 147–157.
- Bulutcu N., 1996. Türkiye'de Bor Bileşikleri Üretim Teknolojilerinin Dünyü Bugünü ve Geleceği, Bor bileşikleri üretim

- teknolojileri danışma toplantısı, Tübitak MAM, İstanbul.
- Coruh,E., Hınıslioğlu,S., Kocakerim, M., Arasan,S., Oltulu,M., 2013, Borojipsin Alttemel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, EÜFBED (Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi), 6, 2, 221-231.
- Diab A., You Z., Wang H., 2013. Rheological Evaluation of Foamed WMA Modified with Nano Hydrated Lime, Social and Behavioral Sciences, 96, 2858-2866.
- Görkem İ. Ç., Şengöz B., 2008. Determination of Moisture Susceptibility Characteristics of Polymer Modified Hot-Mixed Asphalt (Polimer Modifiye Bitümlerle Elde Edilen Sıcak Karışımların Suya Karşı Duyarlılıklarının İncelenmesi), DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,10, 3, 59-72.
- Ghasemi M., Marandi S. M., Tahmooresi M., Kamali R. J. ve Taherzade R., 2012. Modification of Stone Matrix Asphalt with Nano-SiO, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2, 2, 1338-1344.
- Goh S. W., Akin M., You Z. ve Shi X., 2011. Effect of Deicing Solutions on the Tensile Strength of Micro- or Nano-modified Asphalt Mixture. Construction and Building Materials, 25, 195–200.
- Hao X. H., Zhang, A. Q., Yang, W., Zheng, J. J., Du, X. L., Yan, W., Li, Y. ve Zhang, J. W., 2012. Study on the Performance of Nano Calcium Carbonate Modified Asphalt Concrete AC-13, Advanced Materials Research, 503, 450-451.
- Hamedı G., Nejad F.M., 2016. The Employment Of Thermodynamic And Mechanical Methods To Evaluate The Impact of Nanomaterials on Moisture Damage of HMA, 49, 11, 4483–4495.
- Kutuk-Sert T., Kutuk S., 2013. Physical and Marshall Properties of Borogypsum Used as Filler Aggregate in Asphalt Concrete, Journal of Materials Civil Engineering, 25, 266-273.
- Kutuk S., 2016. Influence of Milling Parameters on Particle Size of Ulexite Material, Powder Technology, 301, 421–428.
- Malkoç G., Toraman S., 2013. Ilık ve Sıcak Karışım Asfaltları Sağlık ve Kalite Açısından Mukayese Eden “Norveç LTA 2011” Deneme Yolu Projesi Sonuçları, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 127-136.
- Mirzababaei P., 2016. Effect Of Zycotherm On Moisture Susceptibility Of Warm Mix Asphalt Mixtures Prepared With Different Aggregate Types And Gradations, Construction and Building Materials, 116, 403–412.
- Morova N., Terzi S., 2015. Kolemanit Atıkların Sıcak Karışım Asfalt Betonda Agregası Olarak Değerlendirilmesi, Suleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Science, 19 (2), 8-15.
- Motor, E., 2007. Borojipsin Yol Alttemel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.Nabiun N., Khabiri M. M., 2016. Mechanical And Moisture Susceptibility Properties of HMA Containing Ferrite For Their Use in Magnetic Asphalt, Construction and Building Materials, 113, 691–697
- Partl M. N., Gabriele T., 2010. Asphalt Pavements And Environment, Road Materials and Pavement Design, 11(1), 7.
- Parviz A., 2011. NanoMaterials in Asphalt and Tar, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 3270-3273.

Xiao F., Amir Khanian A. N. ve Amir Khanian S. N., 2011. Long-term Ageing Influence on Rheological Characteristics of Asphalt Binders Containing Carbon Nanoparticles, International Journal of Pavement Engineering, 12, 6, 533–541.

You Z., 2013. Nanomaterials in Asphalt Pavements, International Journal of Pavement Research and Technology, 6 (3).

## Turunçgil Kabuklarının Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi

Melih GÜZEL<sup>1\*</sup>, Özlem AKPINAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Şiran Mustafa Beyaz Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, 29700, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 60000, Tokat

Geliş tarihi/Received 15.12.2016

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 17.04.2017

Kabul tarihi/Accepted 10.05.2017

### Öz

Meyve ve sebzelerde bulunan biyoaktif bileşenlere karşı ilgi, bu maddelerin insanları bazı hastalıklara karşı korumaya yardımcı olabilmesinden dolayı giderek artmaktadır. Bu kimyasalların, oksidatif stres sonucunda hücrelerde meydana gelen serbest radikal zararını azaltabildiği ve kanser, kardiyovasküler hastalık, obezite ve diğer hastalıklar gibi büyük kronik tabloların risklerini azaltması ile bağlantılı olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada turunçgil kabuklarının biyoaktif bileşenleri ve antioksidan özellikleri incelendi. Turunçgil kabukları limon (*Citrus limon*), portakal (*Citrus sinensis*), mandalina (*Citrus reticulata*) ve greyfurt (*Citrus paradisi*) meyvelerinden elde edildi. Toplam karotenoid, beta karoten, askorbik asit, antosiyanin, toplam fenolik ve flavonoid içerikleri ve toplam antioksidan aktiviteleri TEAC, FRAP ve DPPH metotlarına göre kolorimetrik yöntemler kullanılarak belirlendi. Mandalina kabuklarının karotenoid bileşikler, limon kabuklarının askorbik asit, greyfurt ve limon kabuklarının fenolik bileşikler açısından zengin olduğu ve mandalina ile portakal kabuklarına göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu bulundu.

**Anahtar kelimeler:** Antioksidan, Ekstraksiyon, Fenolik, Fitokimyasal, Turunçgil Kabukları

## Determination of Bioactive Compounds and Antioxidant Activities of Citrus Peels

### Abstract

Bioactive compounds present in fruits and vegetables are receiving increased because they may help the protect humans against some diseases. These chemicals can reduce the free radicals damage caused to the cells, as a result of oxidative stress and they have been linked to reductions in the risk of major chronic diseases such as cancer, cardiovascular disease, obesity and other disease. In the present study, the bioactive compounds and antioxidant properties of citrus peels were examined. Fruit peels were obtained from lemon (*Citrus limon*), orange (*Citrus sinensis*, mandarin (*Citrus reticulata*) and grapefruit (*Citrus paradisi*). Total carotenoid, beta carotene, ascorbic acid, anthocyanin, total phenolic and flavonoid content were determined using colorimetric methods. The total antioxidant activities were analysed according to TEAC, FRAP and DPPH methods. It was found that mandarin and lemon peels were rich in carotenoid compounds and ascorbic acid, respectively while grapefruit and lemon peels were rich in phenolic compounds and had higher antioxidant activities than mandarin and orange peels.

**Keywords:** Antioxidant, Citrus Peels, Extraction, Phenolic, Phytochemical

\* Melih GÜZEL, melihguzel010@hotmail.com, Tel: (0456) 233 10 00-3608



## 1. Giriş

Atık "ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere kullandığımız maddelerin, o an için kullanılmayan veya kullanıldıktan sonra atılan kısmı" olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2011). Bunlar endüstriyel, tarımsal ve evsel atıkları kapsamaktadır. Nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşmenin hızlanması ile çevreye gelişi güzel bırakılan atık miktarı ve türü her geçen gün artmaktadır. Bundan dolayı özellikle katı atıklar günümüzün en önemli çevre sorunlarından birisi haline gelmiştir. Yoğun bir emek ve yüksek maliyetler ile yetiştirilen bir bitkinin, sadece tüketilen kısmının alınıp geri kalanının atılması, emeğin ve girdilerin de çöpe atılması anlamına geldiğinden (Alkaya vd., 2010), atıkların değerlendirilmesi günümüzün önemli konularından birisidir. Önemli bir ekonomik değeri olmasa da, tarımsal sanayi atıklarının bir kısmı hayvan yemi veya gübre olarak kullanılabilirken, çekirdek, meyve-sebze kabukları, kök, bitki kabuğu ve yaprakları gibi meyve-sebze atıkları çoğunlukla atılmakta, bu durum gıda ve tarım sektöründe ciddi bir atık problemi oluşturmaktadır (Ashoush ve Gadallah, 2011).

Meyve-sebze kabukları fitokimyasallar olarak adlandırılan ve sağlığa çeşitli olumlu etkileri bulunan polifenol, karotenoid gibi biyoaktif bileşenler açısından zengindir (Larrauri vd., 1999; Wolfe vd., 2003; Moon ve Shibamoto, 2009; Anonim, 2014b). Kabukların, meyve-sebzelerin diğer fraksiyonlarından daha fazla biyolojik aktiviteye sahip olmasından dolayı (Lim vd., 2006) bunların değerlendirilmesi konusunda araştırmaları yoğunlaşmıştır. Bitkilerin sekonder bir metaboliti olan fenolik bileşikler; antioksidan, anti-alerjik, antimitojen, antikanserijen, kan şekerini düşürücü, kolesterol düşürücü, anti-inflamatuvar, antimikrobiyal ve sakinleştirici özelliklerinden dolayı dikkat çekmektedir (Friedman ve Levin, 2009). Şimdiye kadar yapılan çalışmalar da, gıda işleme sonucu oluşan atık kütlelerin, doğal antioksidanların ucuz ve güvenilir kaynağı olan fenolik bileşenlerin elde edilmesi için önemli bir potansiyel kaynak olduğu ve meyve

kabuklarının meyvenin kendisi de dahil olmak üzere çok daha fazla miktarda antioksidan özelliğe sahip fitokimyasal maddeler ihtiva ettiği göstermiştir (Wolfe vd., 2003; Gorinstein vd., 2004; Lim vd., 2006; Ghasemi vd., 2009; Goulas ve Manganaris, 2012).

Turunçgiller *Rutaceae* familyasının Aurantoideae alt-familiyasına ait bir meyve grubudur. Birçok türü olmasına rağmen, ülkemizde en fazla tarımı yapılan turunçgiller sırasıyla, *Citrus limon* (limon), *Citrus sinensis* (portakal), *Citrus reticulata* (mandalina) ve *Citrus paradisi* (greyfurt)'dir (Anonim, 2016). TÜİK verilerine göre 2015 yılında Türkiye'de üretilen limon miktarı 750.550 ton, mandalina miktarı 1.156.365 ton, portakal miktarı 1.816.798 ton, greyfurt miktarı ise 250.025 tondur. Limon üretiminde Türkiye, dünyada 7., greyfurt üretiminde ise 6. sırada yer almaktadır (Anonim, 2015). Turunçgillerin yenilen kısmının haricinde, büyük oranda kabuk ve çekirdeklerden oluşan atık kısmı halk arasında çeşitli hastalıkların tedavisinde (diyabet, yüksek tansiyon gibi.) kullanılmaktadır (Obob ve Ademosun, 2012). Yapılan çalışmalarda kabukların toplam fenolik madde, mineral madde ve vitamin içeriğinin meyve ve meyve suyundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Belitz ve Grosch, 1999; Anonim, 2014b).

## 2. Amaç

Turunçgillerin yenilen kısmının haricinde meyve ağırlıklarının %30-60 oranında bulunan (Turhan vd., 2006; Yaman, 2012; Pinzon vd., 2013) kabuklardan, şimdiye kadar yapılan çalışmalarda önemli düzeyde esansiyel yağ, polisakkarit, şeker ve insan sağlığı açısından antioksidan özelliklere sahip önemli fitokimyasalları içerdiği saptanmıştır (Turhan vd., 2006; Wilkins vd., 2007; Wang vd., 2008; Al-Saadi vd., 2009; Yapo, 2009; Janati vd., 2012; Obob ve Ademosun, 2012; Fidrianny vd., 2014; Canan vd., 2016). Ancak bu atıkların ekonomik ve etkili bir şekilde katma değeri daha yüksek bir ürüne dönüştürülerek uygun bir endüstri dalında kullanılabilmesi için, hala araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı,

Türkiye’de önemli düzeyde tarımı yapılan turunçgil (portakal, mandalina, greyfurt, limon) meyvelerinin kabuklarında bulunan biyoaktif bileşenlerini belirleyerek karşılaştırmalı olarak birbirlerine karşı üstünlüklerini ortaya koymak ve antioksidan özelliğe sahip fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için uygun koşulları belirlemektir.

### 3. Gereç ve Yöntem

#### 3.1. Materyal

Kullanılan turunçgil kabukları; limon (*Citrus limon*), portakal (*Citrus sinensis*), mandalina (*Citrus reticulata*) ve greyfurt (*Citrus paradisi*) meyvelerinden elde edildi. Kabuklar doğrayıcı vasıtasıyla parçalanıp, 60°C’de etüvde kurutulduktan sonra öğütüldü. Örnekler kullanılıncaya kadar 4°C’de depolandı.

2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu (ABTS), 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ), 2,2 difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), 6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit (Trolox), 2-(3,4-Dihidroksifenil)-3,5,7-trihidroksi-4H-1-benzopirran-4-bir dihidrat (Quercetin),  $\beta$ -karoten, askorbik asit ve butilhidroksitoluen (BHT) Sigma–Aldrich (St. Louis, MO, ABD)’den, 3,4,5-trihidroksibenzoik asit (gallik asit) Alfa Aesar (Almanya)’dan, Folin–Ciocalteu reaktifi, demir(III) klorit hegzahidrat, potasyum persülfat, furfural, Merck KGaA (Almanya)’dan satın alınmıştır. Kullanılan diğer kimyasallar analitik standartta Sigma (Sigma Chemical Company, MO, ABD) ve Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

#### 3.2. Kuru madde, nem ve kül analizi

Öğütülmüş turunçgil kabuklarının nem ve kül içerikleri gravimetrik olarak (AOAC, 1989), toplam yağ içeriği ise ankom yağ ekstraksiyon cihazı (Ankom XT10 Extractor, New York, ABD) ile gravimetrik olarak AOAC 920.39 metodu kullanılarak belirlendi.

#### 3.3. Toplam Karotenoid ve $\beta$ -karoten Miktarları

Öğütülmüş turunçgil kabuklarının toplam karotenoid miktarları Luterotti ve Kljak (2010)’a göre belirlendi. Öncelikle 2 g örneğe 10 mL %75’lik aseton ilave edilerek öğütüldü ve daha sonra 10 mL %75’lik aseton çözeltisi daha ilave edildi. Oda sıcaklığında bir gece bekletilen örnekler, 5 mL hekzan ilave edildikten sonra 5 dakika karıştırıldı. Daha sonra 30 mL hekzan/aseton/etanol (2:1:1) karışımı ilave edilerek, sırasıyla önce 5 dakika karıştırıldı, daha sonra 30 dakika çalkalandı. Organik tabakanın ayrışmasını sağlamak için, 5 mL su ilave edilen karışım 5 dakika daha karıştırıldı, 10 dakika 3000 rpm’de santrifüj edildi ve ilk hekzan fazı ayrıldı. Daha sonra 15 mL hekzan geri kalan materyale ilave edildi ve karışım sırasıyla önce 5 dakika karıştırıldı, daha sonra 30 dakika çalkalandı. İkinci prosedür iki kez daha tekrarlanarak toplam dört kez ekstraksiyon gerçekleştirildi ve ekstraktların absorbans değerleri spektrofotometrede (Perkin Elmer UV/Vis spectrometer, Lambda EZ 201, Washington, ABD) 450 nm’de hekzana karşı ölçüldü. Toplam karotenoid miktarı  $\epsilon_{1\text{cm}}^{1\%} = 2500 \text{ dL g}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  hekzanda karotenoid karışımı için absorpsiyon katsayısı kullanılarak hesaplandı.

Öğütülmüş turunçgil kabuklarının  $\beta$ -karoten miktarlarının belirlenmesi Sanusi ve Adebıy (2009) tarafından önerilen yöntemle göre,  $\beta$ -karoten standardı kullanılarak yapıldı. 0.6 g örnek, 6 mL %0.1 etanolik BHT (bütil hidroksi toluen) karıştırıldı ve 5 dakika 85°C’deki su banyosunda bekletildikten sonra üzerine 0.5 mL %80’lik potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi ilave edildi. 85°C’deki su banyosunda 10 dakika bekletilen örnekler, 5 dakika karıştırıldı ve soğutulmuş örnekler, 3 mL soğuk deiyonize su ve 3 mL hekzan ilave edildi. Üstte oluşan ve karotenoid içeren organik tabaka test tüpüne aktarıldı, alttaki tabaka ise uzaklaştırıldı. Ekstraktın absorbansı 450 nm’de spektrofotometrede hekzana karşı okundu.

### 3.4. Toplam Askorbik Asit Miktarları

Öğütülmüş turunçgil kabuklarının, toplam askorbik asit değerleri spektrofotometrik olarak L-askorbik asit standardı kullanarak belirlendi. Örnek hazırlamak için 10 g örnek 90 g stabilizan çözeltisiyle (%0.4'lük okzalik asit) homojenize edildikten sonra filtre edildi. İki ayrı deney tüpünden birincisine 9 mL saf su + 1mL örnek, ikincisine 9 mL boya çözeltisi (2,6-dikloroindofenol, Na tuzu) + 1mL örnek konuldu; 518 nm dalga boyunda absorbans değeri ölçüldü (Hışıl, 2004).

### 3.5. Atıklardan Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu

Öğütülmüş turunçgil kabuklarından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için, örnekler etanol ekstraksiyonuna tabi tutuldu. Örnekler (0.5 g) 20 mL %0 (su), %25, %50 ve %75'lik etanol çözeltileri ile 30 dakika boyunca 60°C'de çalkalamalı su banyosunda ekstrakte edildi ve 5500 rpm devirde, 10 dakika santrüfuj edildikten sonra filtrasyon işlemi ile ayrıldı. Ekstraktlar analizleri yapılabildiği kadar -18°C'de muhafaza edildi.

### 3.6. Toplam Monomerik Antosiyanin Miktarları

Toplam monomerik antosiyanin tayininde pH diferansiyel yöntemi uygulandı (Fuleki ve Francis, 1968). Ekstraktlardan 10'ar mL alınarak; 0.1 N HCl ve 0.1 N NaOH çözeltileri ile pH'ları 1.0 ve 4.5'a ayarlandı. Hacmi 50 mL ye tamamlanan bu örnekler, 4°C'de 2 saat bekletildi. pH 1.0 ve pH 4.5 için hazırlanan her iki örneğin de 516 nm'de ve bulanıklık unsurlarının tespiti için de 700 nm dalga boyunda absorbansları ölçüldü. Toplam antosiyanin konsantrasyonu aşağıdaki bağıntı ile hesaplandı.

$$A = (A_{516} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{516} - A_{700})_{pH4.5}$$

Toplam antosiyanin  
(mg/l)=[(A)×(10<sup>3</sup>)×(MW)×(DF)]/[(ε)×(L)]

A: absorbans, MW: Siyanidin-3-glikozitin molekül ağırlığı = 445.2, DF: seyreltme faktörü,

ε: Siyanidin-3-glikozitin molar absorpsivitesi = 29.600, L: küvet optik yolu = 1 cm.

Toplam antosiyanin miktarının farklı örneklerde karşılaştırılmasını kolaylaştırmak amacı ile yöntemde; siyanidin-3-glukozit üzerinden hesaplama yapıldı (Damar, 2010).

### 3.7. Toplam Flavonoid Miktarları

Turunçgil kabuk ekstraktlarının toplam flavonoid miktarlarının belirlenmesi Li ve ark. (2015)'a göre, quercetin standardı kullanılarak yapıldı. 0.5 mL ekstrakt ve standart çözeltilere 2 mL saf su ve 0.15 mL %5'lik NaNO<sub>2</sub> ilave edilerek karıştırıldı. 5 dakika bekleme sonunda 0.15 mL %10'luk AlCl<sub>3</sub> ilave edildi ve tekrar 5 dakika beklendi. Örnekler 1 mL 1 M NaOH ile karıştırıldıktan sonra, 15 dakika oda sıcaklığında inkübe edildi ve süre sonunda 415 nm'de spektrofotometrede okuması yapılarak toplam flavonoid miktarları belirlendi. Sonuçlar mg quercetin eşdeğeri (QE)/g kurutulmuş kabuk olarak ifade edildi.

### 3.8. Toplam Fenolik Madde Tayini

Turunçgil kabuk ekstraktların toplam fenolik madde içerikleri, 2 N Folin-Ciocalteu fenol ayırıcı kullanılarak Singleton vd., (1965) tarafından tanımlanan yöntemin modifiye edilmesi ile belirlendi ve sonuçlar gallik asit eşdeğeri olarak ifade edildi. 2 N Folin-Ciocalteu fenol ayırıcı (100 µl), örnek (100 µl) veya standart gallik asit çözeltileri (100 µl) ve 2.3 mL saf su ve 1 mL %7'lik sulu sodyum karbonat çözeltisi karıştırılarak ve oda sıcaklığında 2 saat bekletildikten sonra 750 nm dalga boyundaki absorbansları ölçüldü ve sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE) /g kurutulmuş kabuk olarak hesaplandı.

### 3.9. Antioksidan Aktivite Tayini

Turunçgil kabuk ekstraktlarının antioksidan aktivite tayini aşağıdaki 3 yöntemle belirlendi.

### 3.9.1. Troloks Eşdeğeri Antioksidan Kapasitesi

Örneklerin troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAC) Re ve ark. (1999) tarafından açıklanan yöntemle göre yapıldı. Öncelikle 7 mM sulu 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) çözeltisi ve 2.45 mM sulu potasyum persülfat çözeltisi karışımı (1/1, v/v) 16 saat süreyle oda sıcaklığında karanlık bir ortamda reaksiyona bırakılarak ABTS radikal katyonu (ABTS'+) stok çözeltisi elde edildi. Analizler öncesinde ABTS'+ stok çözeltisi 20 mM sodyum asetat (pH 4.5) ile seyreltilerek 734 nm dalga boyundaki absorbansı 0.7'ye ayarlandı (ABTS'+ çalışma çözeltisi). ABTS'+ çalışma çözeltisi (2.9 mL) ve hidrolizatlar (0.1 mL) veya troloks standart çözeltileri karıştırıldıktan sonra, oda sıcaklığında 30 dakika bekletildi ve 734 nm dalga boyundaki absorbansları ölçüldü ve örneklerin TEAC değerleri  $\mu\text{mol}$  troloks eşdeğeri (TE)/g kurutulmuş kabuk olarak hesaplandı.

### 3.9.2. Demir (III) İndirgeme Antioksidan Gücü

Örneklerin demir (III) indirgeme antioksidan gücü (FRAP) tayini Benzie ve Strain (1996) tarafından tanımlanan yöntemle göre yapıldı. Önce 30 mM sodyum asetat (pH 3.6) tampon çözeltisi, 20 mM sulu demir (III) klorür çözeltisi ve 10 mM sulu 2,4,6-tripiridil-S-triazin (TPTZ) çözeltisi 10/1/1 oranında karıştırılarak FRAP çalışma çözeltisi hazırlandı. FRAP çalışma çözeltisi (2.9 mL) ve hidrolizatlar (100  $\mu\text{l}$ ) veya troloks standart çözeltileri (100  $\mu\text{l}$ ) karıştırıldı ve oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra 593 nm dalga boyundaki absorbansları ölçüldü ve örneklerin FRAP değerleri  $\mu\text{mol}$  TE/g kurutulmuş kabuk olarak hesaplandı.

### 3.9.3. Radikal Süpürme Aktivitesi

Örneklerin radikal süpürme aktivitesi (DPPH) Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından açıklanan yöntemle göre yapıldı. 2,2 difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) çalışma çözeltisi (1.95 mL) ve hidrolizatlar (50  $\mu\text{l}$ ) veya troloks

standart çözeltileri (50  $\mu\text{l}$ ) karıştırıldı ve oda sıcaklığında 10 dk bekletildikten sonra 517 nm dalga boyunda absorbansları ölçüldü. Örneklerin DPPH değerleri  $\mu\text{mol}$  TE/g kurutulmuş kabuk olarak hesaplandı.

### 3.10. İstatistiksel Analiz

SPSS (IBM, Statistics 22, New York, ABD) istatistiksel bilgisayar programı sonuçları analiz etmek amacıyla kullanılmış ve analiz sonuçlarının varyans analizleri (ANOVA) yapılarak, gruplar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile istatistiksel olarak %95 güven aralığında değerlendirildi.

### 4. Bulgular ve Tartışma

Kurutulmuş turunçgil kabuklarının kurumadde, kül ve yağ içerikleri Tablo 1'de sunulmaktadır. Bütün atıkların aynı koşullarda ön işlem (60 °C'de kurutma ve öğütme) görmesine rağmen; limon ve greylort kabuklarının kurumadde içeriklerinin, mandalina ve portakal kabuklarının kurumadde oranlarına nazaran daha fazla olduğu belirlendi. Portakal kabuğu ile yapılan bir çalışmada kurumadde içeriği (%88.14) sonuçlarımıza benzerdir (Al-saadi vd., 2009). Kül miktarı bir gıdada mineral maddenin bir göstergesidir (Acquistucci vd., 1991) ve en fazla kül oranına %4.79 ile limon kabuğunun sahip olduğu saptandı. Diğer turunçgil kabukların kül içeriklerinin ise, istatistiki olarak birbirinden farklı olmadığı ( $p>0.05$ ); ancak limon kabuklarından daha düşük olduğu bulundu. Daha önceki çalışmalarda portakal kabuğunun kül içeriğinin (%5.34) (Al-saadi vd., 2009) çalışmamızda bulunan sonuçlardan daha yüksek, limon kabuğunun (%2.04) (Mohammed vd., 2013) ise daha düşük olduğu görülmüştür. Bir başka çalışmada ise portakal, limon ve greylort türlerinin kül içeriklerinin %1.7-7.3 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Ali vd., 2010).

Yağ içeriği en yüksek turunçgil kabuğunun; %2.48 ile limon olduğu bunu greylort, portakal ve mandalina kabuğunun takip ettiği gözlemlendi (Tablo 1). Turunçgil kabuk yağı gerek gıda endüstrisinde, gerekse diğer

endüstri kollarında (kozmetik, eczacılık, parfümeri ve kimya endüstrisi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle de limon kabuğu yağının gıda ve içecek endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (Turhan vd., 2006). İncelenen kabuklar arasından limon kabuklarının gerek yağ, gerekse mineral madde bakımından diğerlerine göre daha zengin olduğu belirlendi. Daha önceki çalışmalarda portakal, limon ve greyfurt türlerinin yağ içeriklerinin (%1.2-2.1) (Ali vd., 2010) çalışmamızda bulunan sonuçlara

benzer olduğu; ancak bir başka çalışmada portakal kabuğunun yağ içeriğinin (%10) (Osarumwense vd., 2013) çalışmamızda bulunan sonuçtan daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Narenciye kabuklarının kül ve yağ içeriklerinin literatür çalışmalarındaki farklar, meyvelerin yetiştirilme koşulları, cins düzeyindeki farklar, hasat zaman farkları ve kabuk soyma işlemlerindeki farklılıklar gibi pek çok koşuldaki kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Tablo 1.** Turunçgil kabuklarının kurumadde, kül ve yağ içerikleri

	Kurumadde (%)	Kül (%)	Yağ (%)
<b>Limon</b>	90.97±0.00 <sup>a</sup>	4.79±0.07 <sup>a</sup>	2.48±0.03 <sup>a</sup>
<b>Mandalina</b>	88.64±0.73 <sup>b</sup>	3.84±0.01 <sup>b</sup>	1.63±0.01 <sup>d</sup>
<b>Portakal</b>	89.04±0.26 <sup>b</sup>	3.86±0.04 <sup>b</sup>	1.74±0.01 <sup>c</sup>
<b>Greyfurt</b>	90.13±0.04 <sup>a</sup>	3.79±0.01 <sup>b</sup>	2.21±0.02 <sup>b</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Turunçgil kabuklarının toplam karotenoid, β-karoten ve toplam askorbik asit miktarları Tablo 2'de verilmektedir. Karotenoidler klorofilden sonra doğada en yaygın olarak bulunan renk pigmentleridir ve pek çok fizyolojik işlevleri vardır. Serbest radikalleri etkili bir şekilde nötralize ederek, bağışıklık sistemini güçlendirmektedir (Stahl ve Sies, 1996). Karotenoidler arasında provitamin A aktivitesine sahip olan β-karotenin, beslenme fizyolojisi açısından ayrı bir önemi vardır ve birçok meyve ve sebzenin yapısında bulunmaktadır (Garcia ve Baret, 2005). Askorbik asit ise, vitamin aktivitesi ile önemli bir besin ögesi olması yanında, kuvvetli antioksidan özellikleri nedeniyle de önem taşımaktadır. Turunçgil kabuklarının toplam karotenoid içeriklerinin 8.65-18.22 ppm arasında değiştiği, mandalina kabuğunun diğer kabuklara kıyasla daha fazla karotenoid içerdiği, bunu sırasıyla greyfurt, portakal ve limon kabuklarının izlediği belirlendi. Bu sonuçlara paralel olarak, en yüksek β-karoten içeriğinin mandalina kabuğunda saptandı. Kabukların toplam askorbik asit içerikleri ise 251.70-1374.15 ppm aralığında, limon kabuğunun ise askorbik asit içeriğinin diğer kabuklara nazaran daha fazla olduğu ve bunu mandalina, portakal ve greyfurt kabuklarının takip ettiği belirlendi. Daha önceki

çalışmalarda portakal, limon ve greyfurt kabuklarının β-karoten içeriklerinin 0.13-2.10 ppm ve askorbik asit içeriklerinin ise 425-650 ppm (Ali vd., 2010) arasında değiştiği belirtilmiştir. Önceki çalışmalarda kabukların karotenoid içeriklerinin, ekstraksiyon koşulları ve çözücü çeşidine göre oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin çeşitli portakal türü kabuklarının etanol ekstraksiyonu ile 21-37 mg/100g (Fidrianny vd., 2014), N-hekzan ekstraksiyonu ile 509.5 mg/100 g (Fidrianny ve Sukrasno, 2015) olarak belirtilmiştir. Mohammed ve ark. (2013) tarafından limonun askorbik asit içeriği ise 700 ppm olarak rapor edilmiştir.

Turunçgil kabuklarından, fenolik bileşiklerin ekstraksiyon verimini artırmak için farklı polaritelerde ekstraksiyon çözücüleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, organik çözücülerin yanı sıra fenolik bileşiklerin hidrofobik ve hidrofilik özelliklerinden dolayı, farklı oranlarda etanol/su veya metanol/su karışımlarının ekstraksiyon verimine etkileri araştırılmaktadır (Li vd., 2006; Lee vd., 2010; Tumbas vd., 2010; Cheigh vd., 2012; Dent vd., 2013; Garmus vd., 2014; Paula vd., 2014; Fathordoobady vd., 2016; Waszkowiak ve Swiglo, 2016).

**Tablo 2.** Turunçgil kabuklarının toplam karotenoid,  $\beta$ -karoten ve toplam askorbik asit miktarları

	Toplam Karotenoid (ppm)	$\beta$ -karoten (ppm)	Askorbik Asit (ppm)
<b>Limon</b>	8.65±0.09 <sup>d</sup>	4.57±0.018 <sup>d</sup>	1374.15±32.07 <sup>a</sup>
<b>Mandalina</b>	19.83±0.00 <sup>a</sup>	44.04±0.01 <sup>a</sup>	682.54±16.03 <sup>b</sup>
<b>Portakal</b>	13.33±0.00 <sup>c</sup>	43.31±0.018 <sup>c</sup>	433.11±16.03 <sup>c</sup>
<b>Greyfurt</b>	18.22±0.37 <sup>b</sup>	20.80±0.22 <sup>b</sup>	251.70±16.03 <sup>d</sup>

a, b, c, d Aynı sütunda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir.

Bu çalışmada farklı oranlarda etanol/su karışımları ekstraksiyon için kullanılmış olup, toplam fenolik madde içeriği basit, güvenilir ve tekrarlanabilir yöntem olan Folin-Ciocalteu yöntemine göre değerlendirildi (Okan vd., 2013). Denenen ekstraksiyon koşullarında en fazla fenolik maddenin mandalina, portakal ve greyfurt kabuklarında %25, limon kabuğunda ise %0-25 etanol konsantrasyonunda elde edildiği saptandı (Tablo 3). Genel olarak, %25 etanol konsantrasyonuna kadar, ekstrakte edilen fenolik madde oranının arttığı, daha yüksek konsantrasyonlarda ise sonra azaldığı gözlemlendi. İncelenen kabuklar arasında en yüksek fenolik madde içerdiği greyfurt kabuğunda 160.59 mg GAE/g (%25 etanol konsantrasyonu ile ekstraksiyon) en fazla olduğu, bunu limon mandalina ve portakal kabuğunun izlediği saptandı. Daha önce literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; limon, tatlı portakal ve mandalina kabukları ile yapılan bir çalışmada, kabuklara sonikasyon

uygulaması sonucunda elde edilen toplam fenolik madde içeriklerinin sırasıyla 74.80 mg GAE/g, 66.36 mg GAE/g ve 58.68 mg GAE/g olarak bulunmuş (Londono vd., 2010); portakal kabuklarının aseton ile ekstraksiyonunda toplam fenolik madde içeriğinin 10.5 mg GAE/g ve etil asetat ekstraksiyonunda ise 6.8 mg GAE/g olduğunu saptanmıştır (Obob ve Ademosin, 2012). Farklı tatlı portakal çeşitleri ile yapılan bir başka çalışmada ise kabuklar farklı çözücülerle (hekzan, etil asetat ve etanol) muamele edilmiş ve elde edilen ekstraktlarda en yüksek fenolik madde verimi etanolü ekstraktlarında (8.85-10.08 g GAE/100 g) saptanmıştır (Fidrianny vd., 2014). Bu çalışmada bulunan sonuçlar, literatürde bulunan toplam fenolik değerlerinden daha yüksek olarak bulundu ve özellikle %25 etanol çözeltisinin fenolik maddelerin ekstraksiyonu için oldukça etkili bir çözücü olduğu sonucuna varıldı.

**Tablo 3.** Turunçgil kabuk ekstraktlarının toplam fenolik madde içerikleri

mg GAE/g	%0 Etanol Eks.	%25 Etanol Eks.	%50 Etanol Eks.	%75 Etanol Eks.
<b>Limon</b>	128.17±1.94 <sup>aA</sup>	124.17±0.74 <sup>bA</sup>	110.48±5.81 <sup>bB</sup>	99.43±1.19 <sup>bC</sup>
<b>Mandalina</b>	110.91±1.94 <sup>bA</sup>	113.01±0.15 <sup>cA</sup>	111.64±2.68 <sup>bA</sup>	94.17±3.57 <sup>bB</sup>
<b>Portakal</b>	82.69±1.34 <sup>cC</sup>	90.38±0.30 <sup>dA</sup>	87.33±1.04 <sup>cB</sup>	67.12±1.04 <sup>cD</sup>
<b>Greyfurt</b>	81.24±0.37 <sup>cD</sup>	160.59±0.15 <sup>aA</sup>	152.80±2.23 <sup>aB</sup>	141.33±3.28 <sup>aC</sup>

a, b, c, d Aynı sütunda, A, B, C, D aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir.

Tablo 4 turunçgil kabuklarının farklı ekstraksiyon koşullarında flavonoid içeriklerini göstermektedir. Toplam flavonoid içeriği, turunçgil kabuk ekstraktlarının polifenol içeriğini de yansıtmaktadır (Abozed vd., 2014) ve ekstraktlar da flavon ve flavonol yapısındaki maddelerin oranını göstermektedir (Özyurt, 2015). Epidemiyolojik çalışmalar turunçgillerde bulunan flavonoidlerin güçlü antioksidan kapasitesine sahip olduğunu ve ayrıca antikanser, antiviral, anti-inflamatuar gibi sağlık üzerine yararlı etkilerinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Çalışmalar, şimdiye kadar 60'dan fazla flavonoid çeşidinin turunçgillerde bulunduğunu belirlemiştir. Bu bitkilerde bulunan flavonoidlerin genellikle flavanon glikozitler ve polimetoksile flavonlar yapısında olduğu saptanmıştır (Horowitz, 1961; Bocco vd., 1998; Ghasemi vd., 2009). Yine çalışmalar, turunçgil meyvelerindeki flavonoidlerin en fazla kabukta bulunduğunu göstermiştir (Manthey ve Grohmann, 1996; Guardia vd., 2001). Toplam flavonoid içeriğinin tayininde kullanılan yöntem alüminyum klorid ( $AlCl_3$ ) ile ekstraktların çökmesi ilkesine dayanmaktadır.  $Al^{3+}$  elektron transfer aracılığıyla flavonoidlerin keton ve hidroksi grupları bağlanarak yoğun sarı renk oluşturmada ve oluşan renk yoğunluğu spektrofotometrede ölçülebilmektedir (Chang vd., 2002). İncelenen ekstraksiyon koşulları içerisinde, limon kabuğunun flavonoid içeriklerinin artan etanol konsantrasyonu ile arttığı ve %75 etanol konsantrasyonunda da en yüksek değere ulaştığı, mandalina, portakal ve greylfurt kabukları için ise %50 etanol

konsantrasyonuna kadar arttığı belirlendi. Turunçgil kabukları arasında tüm etanol konsantrasyonlarında, greylfurt kabuklarının flavonoid içeriğinin en fazla olduğu, bunu sırasıyla limon, mandalina ve portakal kabuklarının izlediği belirlendi. Literatürde portakal ve greylfurt kabuklarının %80'lik aseton ile yapılan ekstraksiyonunda, toplam flavonoid madde içerikleri sırasıyla 1.3 mg/g ve 0.93 mg/g olarak rapor edilmiştir (Obob ve Ademosin, 2012). Tatlı portakal kabuklarının toplam flavonoid içerikleri ile yapılan bir başka çalışmada ise denenen farklı çözücüler (hekzan, etil asetat ve etanol) arasında en fazla flavonoid bileşik ekstraksiyonuna etil asetat (3.37-9.94 g QE/100 g) ile ulaşıldığı, etanol ile elde edilenden (0.93-1.5 g QE/100 g) daha yüksek olduğu saptanmıştır (Fidrianny vd., 2014). %50'lik etanol konsantrasyonunun flavonoid bileşikleri ekstrakte etmekte etil asetat kadar başarılı olmasa da aseton ve %100'lük etil etanolden daha iyi olduğunu göstermektedir. Özellikle etanolün etil asetata göre daha düşük toksisitesinin olması ve çevreyi daha az kirletmesi nedeniyle turunçgil kabuklarından flavonoidleri ekstrakte etmede daha avantajlı bir çözücü olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmamızda katetonoid, askorbik asit, toplam fenolik ve flavonid için bulunan sonuçlar ile literatürde bulunan sonuçlar ile uyumlu olsa da bazı çalışma sonuçları ile de farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle ekstraksiyon koşulları (çözücü, süre, sıcaklık..) meyvelerin yetiştirilme koşulları, hasat zamanı, cins düzeyindeki farklılıkların sonuçları etkilediği anlaşılmıştır.

**Tablo 4.** Turunçgil kabuk ekstraktlarının flavonoid içerikleri

mg QE/g	%0 Etanol Eks.	%25 Etanol Eks.	%50 Etanol Eks.	%75 Etanol Eks.
<b>Limon</b>	12.49±0.06 <sup>bC</sup>	12.62±0.26 <sup>bC</sup>	14.53±0.07 <sup>bB</sup>	15.89±0.03 <sup>bA</sup>
<b>Mandalina</b>	10.78±0.01 <sup>cB</sup>	10.95±0.14 <sup>cB</sup>	11.60±0.11 <sup>cA</sup>	11.62±0.11 <sup>cA</sup>
<b>Portakal</b>	8.19±0.04 <sup>dD</sup>	9.34±0.11 <sup>dB</sup>	9.58±0.06 <sup>dA</sup>	8.84±0.10 <sup>dC</sup>
<b>Greyfurt</b>	17.10±0.05 <sup>aD</sup>	18.18±0.12 <sup>aC</sup>	30.57±0.05 <sup>aA</sup>	29.09±0.10 <sup>aB</sup>

a, b, c, d Aynı sütunda, A, B, C, D aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistik olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır ( $p < 0.05$ ). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Turunçgil kabuk ekstraktlarının toplam monomerik antosiyanin içerikleri Tablo 5’de gösterilmektedir. Antosiyaninler çoğu bitkilerin kırmızıdan maviye kadar değişen renklerini oluşturan ve suda çözünen fenolik yapıdaki pigmentlerdir (Gao vd., 1997). Tablodan görüldüğü üzere turunçgil kabuklarının, toplam monomerik antosiyanin içeriklerinin artan etanol konsantrasyonu ile azaldığı ve incelenen ekstraksiyon koşullarında en yüksek antosiyanin içeriğinin

su (%0 etanol) ile elde edilen ekstrakta olduğu belirlendi. Her ne kadar antosiyanin bakımından diğer meyve kabukları kadar (elma, üzüm, kiraz) (Wolfe vd., 2003; Chaovanalikit ve Wrolstad, 2004; Vieira ve ark, 2009; Souza vd., 2014), turunçgil kabukları zengin olmasa da, incelenen kabuklar arasında en yüksek antosiyanin içeriğinin greyfurt kabuğunda olduğu, bunu mandalina, portakal ve limon kabuğunun izlediği belirlendi.

**Tablo 5.** Turunçgil kabuk ekstraktlarının toplam monomerik antosiyanin içerikleri

$\mu\text{g/g}$	%0 Etanol Eks.	%25 Etanol Eks.	%50 Etanol Eks.	%75 Etanol Eks.
<b>Limon</b>	22.87±1.41 <sup>dA</sup>	13.92±2.81 <sup>cB</sup>	12.93±1.41 <sup>dB</sup>	3.98±0.00 <sup>dC</sup>
<b>Mandalina</b>	479.24±2.81 <sup>bA</sup>	83.52±0.00 <sup>aB</sup>	49.71±2.81 <sup>bC</sup>	11.93±0.00 <sup>bD</sup>
<b>Portakal</b>	451.40±2.81 <sup>cA</sup>	81.53±2.81 <sup>aB</sup>	57.67±2.81 <sup>aC</sup>	41.76±2.81 <sup>aD</sup>
<b>Greyfurt</b>	14.62±0.14 <sup>aA</sup>	61.65±2.81 <sup>bB</sup>	41.76±2.81 <sup>cC</sup>	7.95±0.00 <sup>cD</sup>

a, b, c, d Aynı sütunda, A, B, C, D aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır (p<0.05). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Tablo 6 turunçgil kabuklarının farklı etanol konsantrasyonlarında elde edilen ekstraktların, antioksidan kapasiteleri göstermektedir. Antioksidan kapasite birçok faktörden etkilendiğinden, değerlendirilmesinde birden fazla yöntem kullanılması gerekmektedir (Song vd., 2010). DPPH serbest radikallerini süpürme kapasitesi, antioksidan kapasiteyi ölçmede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve menekşe rengindeki 2-2-difenil-1-pikrihidrazil radikalının 2-2-difenil-1-pikrihidrazine dönüşümü esnasında kaybolan rengin spektrofotometrede ölçülmesine dayanmaktadır (Kumar vd., 2013). Troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi ise mavi-yeşil renkli ABTS<sup>•+</sup> radikal kationunun renk kaybı esasına dayanmaktadır (Re vd., 1999). ABTS<sup>•+</sup> radikali süpürme kapasitesi, hem lipofilik hem de hidrofilik özellikte olan bileşenlere uygulanabilen (Okan vd., 2013) ve gıdalarda *antioksidan aktivitesinin standardizasyonu için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir* (Prior vd., 2005). Demir indirgeme yöntemi ise antioksidan kapasitesi, antioksidan özelliğe sahip maddelerin ferrik iyonlarını (III) ferröz (II) iyonlarına indirgeme yeteneğine dayanmaktadır. Fenolik bileşiklerin demiri indirgemesine dayalı

olarak değişen renk, antioksidan gücü hakkında bilgi vermektedir (Song vd., 2010).

Troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAC), demir (III) indirgeme antioksidan gücü (FRAP) ve radikal süpürme aktivitesi (DPPH) yöntemlerine göre belirlenen antioksidan kapasiteleri karşılaştırıldığında; her üç yöntemle göre en yüksek antioksidan kapasiteye sahip turunçgil kabuğunun limon kabuğu olduğu bunu greyfurt kabuğunun izlediği saptandı (Tablo 6). Ekstraksiyon için kullanılan etanol konsantrasyonları karşılaştırıldığında ise %25’lik ve %50’lik etanol konsantrasyonunun antioksidan maddeye sahip bileşikler izole etmekte daha iyi olduğu görüldü. Her ne kadar fenolik ve flavonoid bileşikler bakımından greyfurt kabuğu diğer turunçgil kabuklarına kıyasla daha zengin olsa da, limon kabuklarının içerdiği yüksek oranda askorbik asit, söz konusu kabukların antioksidan aktivitesini önemli derecede artırdığı belirlendi.

Literatürde, meyvelerin en yüksek antioksidan aktivite gösterdiği etanol konsantrasyonlarının meyve çeşidine göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Örneğin limon kabuklarında



%50 (Diankov vd., 2011), rambutan kabuklarında %40, mangostan ve langsung kabuklarında %80 (Samuagam vd., 2013) ve çarkıfelek meyvesi (Wang vd., 2014), boğadiken (Hijazi vd., 2015) ve boğadiken için %40 etanol konsantrasyonunda gerçekleştirildiği bildirilmiştir. Ayrıca Singh ve

Immanuel (2014) tarafından greyluft, portakal ve limon kabuklarının antioksidan kapasiteleri (DPPH) karşılaştırılmış ve en yüksek antioksidan aktivitesine, çalışmamıza benzer olarak sırasıyla greyluft, limon ve portakal kabuğunun sahip olduğu rapor edilmiştir.

**Tablo 6.** Turunçgil kabuk ekstraktlarının antioksidan kapasiteleri

$\mu\text{mol TE/g}$	%0 Etanol Eks.	%25 Etanol Eks.	%50 Etanol Eks.	%75 Etanol Eks.
<b>FRAP</b>				
<b>Limon</b>	46.43±1.38 <sup>bC</sup>	53.39±0.78 <sup>aB</sup>	59.17±1.02 <sup>aA</sup>	44.64±0.06 <sup>aC</sup>
<b>Mandalina</b>	36.95±0.36 <sup>cC</sup>	45.45±1.20 <sup>bA</sup>	41.50±0.78 <sup>bB</sup>	31.22±0.90 <sup>bD</sup>
<b>Portakal</b>	33.26±1.02 <sup>dB</sup>	36.78±0.36 <sup>cA</sup>	35.38±0.18 <sup>cAB</sup>	24.67±1.26 <sup>cC</sup>
<b>Greyfurt</b>	54.88±1.08 <sup>aA</sup>	55.31±1.20 <sup>aA</sup>	42.65±1.32 <sup>bB</sup>	41.63±2.16 <sup>aB</sup>
<b>DPPH</b>				
<b>Limon</b>	23.78±0.47 <sup>aB</sup>	24.63±0.52 <sup>aAB</sup>	25.62±0.68 <sup>aA</sup>	21.46±0.42 <sup>aC</sup>
<b>Mandalina</b>	19.02±0.00 <sup>bB</sup>	19.46±0.10 <sup>bB</sup>	20.90±0.47 <sup>bA</sup>	17.51±0.16 <sup>bC</sup>
<b>Portakal</b>	16.81±0.52 <sup>cA</sup>	17.88±0.89 <sup>bA</sup>	18.40±0.37 <sup>cA</sup>	16.15±1.25 <sup>bA</sup>
<b>Greyfurt</b>	18.14±1.36 <sup>bcB</sup>	24.89±0.99 <sup>aA</sup>	21.46±0.52 <sup>bAB</sup>	17.33±2.40 <sup>bB</sup>
<b>TEAC</b>				
<b>Limon</b>	89.76±2.53 <sup>aB</sup>	101.55±0.63 <sup>aA</sup>	92.30±0.63 <sup>aB</sup>	88.42±2.74 <sup>aB</sup>
<b>Mandalina</b>	55.88±0.63 <sup>bC</sup>	70.81±0.63 <sup>cA</sup>	62.30±0.84 <sup>cB</sup>	61.10±1.27 <sup>bB</sup>
<b>Portakal</b>	56.48±1.48 <sup>bC</sup>	72.90±1.48 <sup>cA</sup>	66.63±0.63 <sup>bB</sup>	63.64±3.17 <sup>bB</sup>
<b>Greyfurt</b>	88.12±1.06 <sup>aA</sup>	90.81±1.90 <sup>bA</sup>	65.58±0.00 <sup>d<sup>B</sup></sup>	64.84±1.90 <sup>bB</sup>

a, b, c, d Aynı sütunda, A, B, C, D aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistik olarak Duncan testine göre birbirinden farklıdır ( $p < 0.05$ ). Sonuçlar 3 paralelin ortalaması alınarak, ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir.

Çalışmamızda katetonoid, askorbik asit, toplam fenolik ve flavonid, antosiyanin ve antioksidan kapasiteleri için bulunan sonuçlar ile literatürde bulunan sonuçlar ile uyumlu olsa da bazı çalışma sonuçları ile de farklılıklar olduğu görülmüştür. Özellikle ekstraksiyon koşullarının (çözücü, süre, sıcaklık gibi) meyvelerin yetiştirilme şartlarının, hasat zamanının, cins düzeyindeki farklılıkların sonuçlarda farklılıklara neden olduğu anlaşılmaktadır.

## 5. Sonuç

Önemli bir ekonomik değeri olmayan turunçgil kabukları; gerek gıda endüstrisinde, gerekse diğer endüstri kollarında (kozmetik, eczacılık, parfümeri ve kimya endüstrisi) kullanılabilir, önemli oranda katma değeri yüksek fitokimyasal bileşiklerin üretimi için

zengin bir kaynaktır. İncelenen kabuklar arasında, mandalina kabuklarının toplam karotenoid, beta karoten ve antosiyanin bakımından, limon kabuklarının ise askorbik asit ve mineral madde bakımından zengin olduğu saptandı. Fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda %25'lik ve %50'lik etanol konsantrasyonları denenilen diğer etanol konsantrasyonlarına göre daha başarılı bulunmuştur. Bu koşullar altında yapılan ekstraksiyonlarda fenolik ve flavonoid içeriği en yüksek greyluft kabuklarında bulunduğunu bunu limon kabukları izlemiştir. Bu sonuçlara paralel olarak en yüksek antioksidan aktiviteye sahip kabuklarda, greyluft ve limona aittir. Sonuç olarak bu çalışma ile incelenen kabuklar arasında greyluft ve limon kabuklarının mandalina ve portakal kabuklarına göre gıdalarda kullanılabilir doğal antioksidanların ucuz ve güvenilir

kaynağı olan fenolik bileşenlerin elde edilmesi için önemli bir potansiyel kaynak olduğu bulunmuştur.

## 6. Teşekkür

Bu proje Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No:2015/128) tarafından desteklendi.

## 7. Kaynaklar

AACC, 2004. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 11th Edition.

Abozed, S.S., El-kalyoubi, M., Abdelrashid, A., Salama, M.F., 2014. Total phenolic contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran. *Annals of Agric Sci.*, 59(1):63–67.

Acquistucci, R., Bucci, R., Magri, A.D., Magri, A.R., 1991. Evaluation of the moisture and ash contents in wheat mills by multistep programmed thermogravimetry. *Thermochimica Acta*, 188(1): 51-62.

Ali, J., Abid, H., Hussain, A., 2010. Study of some macronutrients composition in peels of different citrus fruits grown in NWFP. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 32(1):83-86.

Al-Saadi, N.H.M., Ahmad, N.S., Saeed, S.E., 2009. Determination of some chemical compounds and the effect of oil extract from orange peel on some pathogens. *Journal of Kerbala University*, 7(2): 33-39.

AOAC, 1989. Official Methods of Analysis, 72(3): 481-483.

Alkaya, E., Ergüder T.H. ve Demirer, G.N., 2010. Effect of operational parameters on anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and agricultural residues: A case study for the Kahramanmaraş region in Turkey.

*Engineering in Life Sciences*, 10(6):552–559.

Al-Saadi, N.H.M., Ahmad, N.S., Saeed, S.E., 2009. Determination of some chemical compounds and the effect of oil extract from orange peel on some pathogens. *Journal of Kerbala University*, 7(2):33-39.

Anonim, 2011. Aile ve tüketici hizmetleri, M.E.B. Çevre hizmetleri Modülü, Ankara.  
[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/%C3%87evre%20Hizmetleri.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/%C3%87evre%20Hizmetleri.pdf) (25.07.2016).

Anonim, 2014b. Fruit peel nutrition facts. <http://www.nutrition-and-you.com/fruit-peel.html> (19.10.2014).

Anonim, 2015. Bitkisel Üretim İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18706>. Erişim Tarihi: 16.Ağustos 2016.

Anonim, 2016. Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2015. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18706> (16.08.2016).

Ashoush, I.S., Gadallah, M.G.E., 2011. Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 6 (1): 35-42.

Belitz, H.D., Grosch, W., 1999. Fruits and fruit products. In: Hadziyev D (ed) *Food chemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 748–799.

Benzie, I. F. F. Strain, J. J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70–76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C., 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28: 25-30.

- Bocco, A., Cuvelier, M.E., Richard, H., Berset, C., 1998. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Citrus Peel and Seed Extracts. *Agric. Food Chem.* 46: 2123–2129.
- Canan, İ., Gündoğdu, M., Seday, U., Oluk, C.A., Karasahin, Z., Eroğlu, Ç.E., Yazıcı, E., Ünlü, M., 2016. Determination of antioxidant, total phenolic, total carotenoid, lycopene, ascorbic acid and sugar contents of Citrus species and mandarin hybrids. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40: 894-899.
- Chang, C. C., Yang M.H., Wen, H.M., Chern, J.C., 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J. Food Drug Anal.*, 10: 178-182.
- Chaovanalikit, A., Wrolstad, R. E., 2004. Total Anthocyanins and Total Phenolics of Fresh and Processed Cherries and Their Antioxidant Properties. *Journal of Food Science*, 69(1)–67-72.
- Cheigh, C.I., Chung, E.Y., Chung, M.S., 2012. Enhanced extraction of flavanones hesperidin and narirutin from Citrus unshiu peel using subcritical water. *J. Food Eng.*, 110: 472–477.
- Damar, İ., 2010. Vişne Suyunun Antosiyanin Profili ve Antioksidan Kapasitesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Dent, M., Dragovi, D., Peni, M., Brncic, M., Bosiljkov, T., Levaj, B., 2013. The Effect of Extraction Solvents, Temperature and Time on the Composition and Mass Fraction of Polyphenols in Dalmatian Wild Sage (*Salvia officinalis* L.) Extracts. *Food Technol. Biotechnol.*, 51(1) 84–91.
- Diankov, S., Karsheva, M., Hinkov, I., 2011. Extraction of natural antioxidants from lemon peels. Kinetics and antioxidant capacity. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 46(3): 315-319.
- Fathordoobady, F., Mirhosseini, H., Selamat, J., Manap, M.Y.A., 2016. Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. *Food Chemistry*, 202:70-80.
- Fidrianny, I., Harnovi, M., Insanu, M., 2014. Evaluation Of Antioxidant Activities From Various Extracts Of Sweet Orange Peels Using Dpph, Frap Assays And Correlation With Phenolic, Flavonoid, Carotenoid Content. *Asian J Pharm Clin Res*, 7(3):186-190.
- Friedman, M., Levin, C., 2009. Analysis and biological activities of potato glycoalkaloids, calystegine alkaloids, phenolic compounds and anthocyanins. In J. Singh, & L. Kaur (Eds.) *Advances in Potato Chemistry and Technology*, pp. 127-161.
- Fuleki, T., Francis, F., 1968. Quantitative methods for anthocyanins. *J. Food Science*, 33: 72-77.
- Garcia, E.M., Barret, D., 2005. Assessing lycopene content in California processing tomatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30: 56-70.
- Gao, L., Girard, B., Mazza, G., Reynolds, A.G., 1997. Changes in Anthocyanins and Color Characteristics of Pinot Noir Wines during Different Vinification Process. *J. Agric. Food Chem.*, 45: 2003-2008.

- Garmusa, T.T., Paviania, L.C., Queirogab, C.L., Magalhãesb, P.M., Cabral, F.A., 2014. Extraction of phenolic compounds from pitanga (*Eugenia uniflora* L.)leaves by sequential extraction in fixed bed extractor usingsupercritical CO<sub>2</sub>, ethanol and water as solvents. *J. of Supercritical Fluids* 86: 4–14.
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y., Ebrahimzadeh, M.A., 2009. Antioxidant Activity, Phenol And Flavonoid Contents of 13 Citrus Species Peels And Tissues. *Pak. J. Pharm. Sci.*, 22(3): 277-281.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Katrich, E., Pawelzik, E., Haruenkit, R., Trakhtenberg, S. ve Martin-Belloso, O., 2004. Comparison of the contents of the main antioxidant compounds and the antioxidant activity of white grapefruit and his new hybrid. *LWT – Food Sci. Tech.*, 37: 337-343.
- Goulas, V. ve Manganaris, G.A., 2012. Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of Citrus fruits grown in Cyprus. *Food Chem.*, 131:39-47.
- Guardia, T., Rotelli, A.E., Juarez, A.O., Pelzer, L.E., 2001. Antiinflammatory properties of plant flavonoids.Effects of rutin, quarcetin and hesperidin on adjuvant arthritis in rat, *Il Farmaco*, 56(9):683-687.
- Hışıl, 2004. Enstrümental gıda analizleri-laboratuar deneyleri. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayın no:45, Bornova, İzmir.
- Hijazi, A., Al Masri, D.S., Farhan, H., Nasser, M., Rammal, H., Annan, H., 2015. *J Pharm Chem Biol Sci* ,3(2):262-271.
- Horowitz, R.M., 1961. The citrus flavonoids, The Orange;Its Biochemistry and Physiology, Sinclair, W.B.(Ed.)
- Janati, S. S. F., Beheshti, H. R., Feizy, J., Fahim, N. K., 2012. Chemical Composition Of Lemon (*Citrus Limon*) And Peels Its Considerations As Animal Food. *Gıda* 37 (5): 267-271.
- Kumar, P.S., Suresh. E., Kalavathy, K., 2013. Review on a potential herb *Calotropis gigantea* (L.) R. Br., Sch. Acad. *J. Pharm.*, 2(2):135-143.
- Larrauri, J. A., Ruperez, P., ve Saura-calixto, F.,1999. New approaches in the preparation of high dietary fibre from fruit by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 29: 729–733.
- Lee, Y.H., Charles, A.L., Kung, H.F., Ho, H.F., Huang, T.C., 2010. Extraction of nobiletin and tangeretin from *Citrus depressa* Hayata by supercritical carbon dioxide with ethanol as modifier. *Ind. Crops Prod.*, 31: 59–64.
- Li, B. B., Smith, B., Hossain, M., 2006. Extraction of phenolics from citrus peels. I. Solvent extraction method. *Sep. Purif. Technol.*, 48: 182–188.
- Li, Y., Ma, D., Sun, D., Wang, C., Zhang, J., Xie, Y., Guo, T., 2015. Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *The crop journal* 3: 328-334.
- Lim, Y.Y., Lim T.T. ve Tee J.J., 2006. Antioxidant properties of guava fruit: comparison with some local fruits. *Sunway Acad. J.*, 3: 9-20.
- Londono, J.L., Lima, V.R., Lara, O., Gil, A., Pasa, T.B.C., 2010. Clean recovery of antioxidant flavonoids from citrus peel: Optimizing an aqueous ultrasound-assisted extraction method. *Food Chem.*, 119: 81–87.

- Luterotti, S., Kljak, K., 2010. Spectrophotometric Estimation of Total Carotenoids in Cereal Grain Products. *Acta Chim. Slov.* 57: 781–787.
- Manthey, J.A., Grohmann, K., 1996. Concentrations of hesperidin and other orange peel flavonoids in citrus processing byproducts, *J. Agric. Food Chem.*, 44:811-814.
- Mohammed, A.M.A., Ibrahim, A.M., Omran, A.A., Mohamed, M.E., Elsheikh, S.E.M., 2013. Minerals content, essential oils composition and physicochemical properties of Citrus jambhiri Lush. (Rough Lemon) from the Sudan. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 9(1): 25-30.
- Moon, J.K., Shibamoto T., 2009. Antioxidant assays for plant and food components. *J. Agric. Food Chem.*, 57:1655–1666.
- Oboh, G., Ademosun, A.O., 2012. Characterization of the antioxidant properties of phenolic extracts from some citrus peels. *J Food Sci Technol* 49(6): 729–736.
- Okan, O.T., Varlıbaş, H., Öz, M., Deniz, İ., 2013. Antioksidan Analiz Yöntemleri ve Doğu Karadeniz Bölgesinde Antioksidan Kaynağı Olarak Kullanılabilecek Odun Dışı Bazı Bitkisel Ürünler. *Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1): 48-59.
- Osarumwense, P.O., Okunrobo, L.O., Uwumarongie-ilori, E.G., 2013. Phytochemical screening, proximate and elemental analysis of Citrus sinensis peels (L.) Osbeck, *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, 17: 47-50.
- Özyurt, D., 2005. Toplam Flavonoid Miktarının Geliştirilen Spektrofotometrik Yöntem ile Tayini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Paula, J.T., Paviani, L.C., Foglio, M.A., Sousa, I.M.O., Duarte, G.H.B., Jorge, M.P., Eberlin, M.N., Cabral, F.A., 2014. Extraction of anthocyanins and luteolin from *Arrabidaea chica* by sequential extraction in fixed bed using supercritical CO<sub>2</sub>, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*, 86:100–107.
- Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K., 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 4290–4303.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. ve Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26: 1231–1237.
- Samuagam, L., Sia, C.M., Akowuah, G.A., Okechukwu, P.N., Yim, H.S., 2013. The effect of extraction conditions on total phenolic content and free radical scavenging capacity of selected tropical fruits' peel. *Health and the Environment Journal*, 4(2):80-102.
- Sanusi, R. A. ve Adebisi, A. E., 2009. Beta Carotene Content of Commonly Consumed Foods and Soups in Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9): 1512-1516.
- Singh, S., Immanuel, G., 2014. Extraction of antioxidants from fruit peels and its utilization in paneer. *J Food Process Technol.*, 5:349.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.

- Song, F., Parekh, S., Hooper, L., Loke, Y.K., Ryder, J.J., Sutton, A.J., Hing, C., Kwok, C.S., Pang, C., Harvey, I., 2010. Dissemination and publication of research findings: an updated review of related biases. *Health Technology Assessment*, 14:8.
- Souza, V.R., Pereira, P.A.P., Silva, T.L.T., Lima, L.C.O., Pio, R., Queiroz F., 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry* 156: 362–368.
- Stahl, W., Sies, H., 1996. Perspective in biochemistry and biophysics. *Archive of Biochemistry and Biophysics*. 336: 1-9.
- Tumbas, V.T., Cetkovic, G.S., Djilas, S.M., Canadanovic-Brunet, J.M., Vulic, J.J., Knez, Z., 2010. Antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata*) peel. *Biblid.*, 40: 195–203.
- Turhan, S., Üstün, N.Ş., 2006. Doğal antioksidanlar ve gıdalarda kullanımı. Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, 2006, Bolu.
- Turhan, İ., Tetik, N., Karhan, M., 2006. Turunçgil kabuk yağlarının elde edilmesi ve gıda endüstrisinde kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3:71-77.
- Vieira, F. G. K., Borges, G. S. C., Copetti, C., Gonzaga, L. V., Nunes, E. C., Fett, R., 2009. Activity and contents of polyphenolic antioxidants in the whole fruit, flesh and peel of three apple cultivars. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 59(1):101-106.
- Wang, Y.C., Chuang, Y.C., Hsu, H.W., 2008. The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food Chem.*, 106: 277–284.
- Waszkowiak, K., Swięto, A.G., 2016. Binary ethanol–water solvents affect phenolic profile and antioxidant capacity of flaxseed extracts. *Eur Food Res Technol.*, 242:777-786.
- Wilkins, M.R., Widmer, W.W., Grohmann, K., 2007. Simultaneous saccharification and fermentation of citrus peel waste by *Saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. *Process Biochemistry* 42: 1614–1619.
- Wolfe, K., Wu, X., Liu, R.H., 2003. Antioxidant Activity of Apple Peels. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 609-614.
- Wong Y.S., Sia C.H., Khoo H.E., Ang Y.K., Chang S.K., Yim H.S., 2014. Influence of extraction conditions on antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora edulis*) peel. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*, 13(3): 257-265.
- Yapo, B. M., 2009. Biochemical Characteristics and Gelling Capacity of Pectin from Yellow Passion Fruit Rind as Affected by Acid Extractant Nature. *J. Agric. Food Chem.*, 57: 1572–1578.

## Fibonacci Sayıları ile Alt Yörüngesel Grafların Özel Köşeleri Arasındaki İlişkiler

Ali Hikmet DEĞER\*

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 61080, Trabzon

Geliş tarihi/Received 07.02.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 23.05.2017

Kabul tarihi/Accepted 13.06.2017

### Öz

(Sims, 1967) in çalışmasındaki genel fikirler kullanılarak,  $\Gamma$  Modüler grubunun rasyonel projektif doğrusu üzerindeki imprimitive hareketi ile üretilen alt yörüngesel graflar incelendi.  $(u, N) = 1$  ve  $N > 1$  olmak üzere,  $\mathbf{G}_{1,1}$  Farey grafinin özellikleri  $\mathbf{G}_{u,N}$  alt yörüngesel graflarına genişletildi (Jones vd., 1991). Önceki çalışmamızda  $\mathbf{G}_{u,N}$  nin  $[\infty]$  bloğundaki yörüngelerinden oluşan  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafinin alt grafları olan ağaçlar incelendi. Bu alt graflar üzerindeki minimal uzunluklu yolların köşelerinin sürekli kesirler ile ilişkileri tespit edildi ve  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafindeki bu yolda bir köşenin bağlanabileceği en uzak köşenin değeri bulundu (Deger vd., 2011). Bu çalışmada ise özel durumlarda bu tip köşelerin sürekli kesir yapısı ile birlikte Fibonacci sayıları ile ilişkileri incelendi. En önemli sonuç olarak,  $F_0 = 0, F_1 = 1$  ve her  $n \geq 2$  doğal sayısı için  $n$ . Fibonacci sayı dizisinin değeri  $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$  olmak üzere, 
$$\begin{pmatrix} (-1)^{n-1}F_{2n-2} & (-1)^nF_{2n} \\ (-1)^{n+1}F_{2n} & (-1)^nF_{2n+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^n$$
 eşitliği bulundu. Bu matris yardımı ile birlikte  $F_{2n-1}$  ve  $F_{2n+1}$  Fibonacci dizisi terimleri de elde edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Alt Yörüngesel Graflar, Fibonacci Sayıları, Minimal Uzunluk, Sürekli Kesirler

## Relationships with the Fibonacci Numbers and the Special Vertices of the Suborbital Graphs

### Abstract

Using general ideas in the study of (Sims, 1967), suborbital graphs produced by imprimitive action on rational projective line of the modular group  $\Gamma$  were examined. Properties of Farey graph  $\mathbf{G}_{1,1}$  were extended to suborbital graphs  $\mathbf{G}_{u,N}$ , where  $(u, N) = 1$  and  $N > 1$  (Jones et al., 1991). In our previous study, trees which are subgraphs of the suborbital graphs  $\mathbf{F}_{u,N}$  consisting of the orbits in  $[\infty]$  block of  $\mathbf{G}_{u,N}$  were examined. Relationships of continued fractions with vertices of paths of minimal length on the subgraphs were established and value of the farthest vertex which a vertex can be bound on this path of the suborbital graph  $\mathbf{F}_{u,N}$  was found (Deger et al., 2011). In the present study, using structure of continued fractions, relationships of values of these type of vertices with Fibonacci numbers in special cases were investigated. As a most important result, equation 
$$\begin{pmatrix} (-1)^{n-1}F_{2n-2} & (-1)^nF_{2n} \\ (-1)^{n+1}F_{2n} & (-1)^nF_{2n+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^n$$
 was found, where  $F_0 = 0, F_1 = 1$  and  $n^{\text{th}}$  value of Fibonacci number sequence for all  $n \geq 2$  natural number is as  $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ . In addition, terms of Fibonacci sequence  $F_{2n-1}$  and  $F_{2n+1}$  were obtained by using this matrix.

**Keywords:** Suborbital Graphs, Fibonacci Numbers, Minimal Length, Continued Fractions

\* Ali Hikmet DEĞER, ahikmetd@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 25 71

## 1. Giriş

Asal sayılarının dağılımının araştırılması, sayılar teorisinin en dinamik konularından bir tanesidir. Riemann, asal sayıların sıklığının  $s \neq 1$  olmak üzere tüm  $s \in \mathbb{C}$  karmaşık sayıları için

$$\zeta(s) = 1 + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \frac{1}{4^s} + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$$

eşitliğiyle tanımlanan *Riemann-zeta fonksiyonunun* davranışıyla yakın ilişkili olduğunu göstermiştir (Diamond, 1982). Bu yüzden Riemann-zeta fonksiyonu hem kompleks analiz, hem fonksiyonlar teorisinin, hem de sayılar teorisinin kesişiminde kalan önemli bir araştırma konusu olmuştur. Böylesine önemli bir başka kompleks değerli fonksiyon da modüler formdur.

*Modüler form*,  $\mathbb{H} = \{z \in \mathbb{C} \mid \text{Im}(z) > 0\}$  üst yarı düzlemi üzerinde  $\Gamma$ -Modüler grubunun grup hareketine bağlı olarak aşağıda daha detaylı verilen fonksiyonel eşitliği ve bir çeşit büyüme koşulunu gerçekleyen kompleks değerli analitik bir fonksiyondur. Buna göre bu çalışmada daha sonra ayrıntılı bir şekilde incelenecek olan  $\Gamma$  modüler grubu için  $k$ -değerli bir modüler form,  $\mathbb{H}$  üzerinde

- (1)  $f$ ,  $\mathbb{H}$  üzerinde holomorf fonksiyondur,
- (2)  $\forall z \in \mathbb{H}$  ve  $\forall A \in SL(2, \mathbb{Z})$  için  $f\left(\frac{az+b}{cz+d}\right) = (cz+d)^k f(z)$ ,
- (3)  $f$ ,  $cusplarda$  (yani  $z \rightarrow i\infty$  için) holomorftur

koşullarını sağlayan  $f$ -fonksiyondur. (2). koşuldan  $f$  fonksiyonunun periyodik olduğu ve bu yüzden de Fourier serisine açılabilirdiği anlaşılır. Günümüzde modern sayılar teorisinin en önemli kısmını *otomorf formlar* (kabaca Öklid uzayındaki periyodik fonksiyonlar kavramının genel topolojik uzaylara genişlemesi), otomorf formlar teorisinin de en zengin ve analitik kısmını modüler formlar teşkil eder (Ford, 1951). Tanımından açıkça anlaşılacağı üzere, burada

modüler grubun grup hareketinin incelenmesi esastır. Salt bu açıdan ele alındığında bile önemi aşikâr olmakla beraber, literatürde söz konusu grup hareketinin incelenmesinin Fibonacci dizileri ile ilişkisi ve Pell denklemlerinin çözümlerini üretmesi açısından da son derece önemli olduğu iyi bilinmektedir (Niven, 2008).

Bu çalışmada modüler grubun bir tür imprimitif hareketinin ürettiği grafların minimal uzunluklu yollarındaki özel köşe değerleri bazı matris bağlantıları yardımı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplanmalarda kullanılan ve literatürdeki Pringsheim teoreminin koşullarını sağlayan özel sürekli kesirlerin Fibonacci dizileri ile olan ilişkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile doğada ve yaşamdaki örnekleri bilinen altın oran ile birlikte, ekonomi, elektronik, mühendisliğin farklı alanları, sanat, mimari, bilgisayar ve istatistik bilimleri gibi dallarda çok çeşitli uygulamaları olan Fibonacci sayı dizisinin terimlerinin farklı bir metot ile elde edilmesi de önemlidir. Dizideki ardışık iki sayının oranı, sayılar büyüdükçe altın orana, yani 1.618 e yaklaşır. Bu oran  $\phi$  sembolü ile gösterilir ve  $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$  ye eşittir.

Sonlu permütasyon gruplarının alt yörüngesel grafları ile ilgili tanımlamalar Sims tarafından verildi (Sims, 1967). Sims' in bu fikrini  $\Gamma$  Modüler grubunun  $\Gamma_0(N)$  kongrüans alt grupları için Jones, Singerman ve Wicks kullandılar (Jones vd., 1991). Alt yörüngesel grafları kullanarak  $\widehat{\mathbb{Q}} = \mathbb{Q} \cup \{\infty\}$  rasyonel projektif doğrusu üzerinde  $\Gamma$  nın hareketini çalıştılar. Bu grafların köşeleri  $\widehat{\mathbb{Q}}$  doğrusu üzerindedir ve Modüler grubun yörüngelerini kenarlar ile oluşturur. Özel durumlar için bu tip kenarların köşeleri ile sürekli kesirler arasındaki ilişki, Deger, Besenk ve Güler' in çalışmasında verildi (Deger vd., 2011).

Ayrıca birçok araştırmacı tarafından alt yörüngesel graflar, hiperbolik devre uzunlukları ve normalliyen yapısı incelenmiştir (Akbas, 2001; Guler vd., 2011; Kader vd., 2010).



Sarma, Kushwaha ve Krishnan çalışmalarında özel olarak  $u = 1$  ve  $N = 2$  için  $\mathbf{F}_{1,2}$  alt yörüngesel grafını ele alarak yeni bir tip  $\mathcal{F}_{1,2}$  – sürekli kesiri tanımladılar (Sarma vd., 2015). Ayrıca herhangi bir reel sayının bu tür bir sürekli kesir açılımına sahip olduğunu ispat etmişlerdir.

Cuyt, Petersen, Verdonk, Waadeland ve Jones’ in çalışmasında verilen sürekli kesirler ve özellikleri ile ilgili teoremin özeti aşağıda 2. kısımda verilmiştir (Cuyt vd., 2008).

## 2. Sürekli Kesirler

$\mathbb{N} = \{1,2,3, \dots\}$  doğal sayılar ve  $\mathbb{Z}$  tam sayılar kümesini göstermek üzere her  $m \in \mathbb{N} \cup \{0\}$  sayısı için  $a_m \in \mathbb{Z} - \{0\}$  ve  $b_m \in \mathbb{Z}$  olmak üzere

$$b_0 + \frac{a_1}{b_1 + \frac{a_2}{b_2 + \frac{a_3}{b_3 + \dots}}} \quad (1)$$

ifadesine bir sürekli kesir denir. Bu (1) sürekli kesiri sembolik olarak

$$b_0 + \mathbf{K}_{m=1}^{\infty} \left( \frac{a_m}{b_m} \right) \quad (2)$$

ile temsil edilir. Buna bağlı olarak (1) sürekli kesiri için  $n$ . yaklaşım  $f_n$  sembolü ile gösterilir ve

$$f_n = b_0 + \mathbf{K}_{m=1}^n \left( \frac{a_m}{b_m} \right) \quad (3)$$

ile ifade edilir. Ayrıca  $m \geq 1$  için  $a_m \neq 0$  olmak üzere bir  $(\{a_m\}_{m \in \mathbb{N}}, \{b_m\}_{m \in \mathbb{N} \cup \{0\}})$  sıralı dizi çifti;

$$t_0(s) := s, \quad t_n(s) := \frac{a_n}{b_n + s}, \quad n = 1,2,3, \dots \quad (4)$$

$$T_0(s) := t_0(s), \quad T_n(s) := T_{n-1}(t_n(s)), \quad n = 1,2,3, \dots \quad (5)$$

$$f_n = T_n(0) \in \widehat{\mathbb{R}} = \mathbb{R} \cup \{\infty\}, \quad n = 1,2,3, \dots \quad (6)$$

olmak üzere, lineer kesirli dönüşümlerin  $\{t_n(s)\}_{n \in \mathbb{N} \cup \{0\}}$  ve  $\{T_n(s)\}_{n \in \mathbb{N} \cup \{0\}}$  dizileri ile bir

$$\{f_n\} \quad (7)$$

dizisini oluşturur.

$$((\{a_m\}, \{b_m\}), \{f_n\}) \quad (8)$$

sıralı çifti (1) ile verilen sürekli kesire karşılık gelir.  $a_m$  ve  $b_m$  tam sayılarına sırası ile sürekli kesirin kısmi payı ve kısmi paydası denir.  $f_n$  değerine ise  $n$ . yaklaşım denir ve (3) ile gösterilir.  $T_n(s)$  lineer kesirli dönüşümü

$$T_n(s) = b_0 + \frac{a_1}{b_1 + \frac{a_2}{b_2 + \frac{a_3}{b_3 + \dots + \frac{a_n}{b_n + s}}} \quad (9)$$

ile veya daha uygun şekilde

$$T_n(s) = b_0 + \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_3}{b_3} + \dots + \frac{a_{n-1}}{b_{n-1}} + \frac{a_n}{b_n + s} \quad (10)$$

ile gösterilir. Denk olarak "o" ifadesi bileşke işlemini göstermek üzere

$$T_n(s) = (t_0 \circ t_1 \circ t_2 \circ \dots \circ t_n)(s) \quad (11)$$

olarak ifade edilir.

Burada  $(t_0 \circ t_1)(s) := t_0(t_1(s))$  dir. Özellikle

$$t^n(s) := \left( \underbrace{t \circ t \circ \dots \circ t}_n(s) \right) \quad (12)$$

dir. Verilen bir  $\{s_n\}_{n \in \mathbb{N} \cup \{0\}}$  dizisi için

$$T_n(s_n) \in \widehat{\mathbb{R}} \quad (13)$$

sayısına  $n$ . değiştirilmiş yaklaşım denir.

### 2.1. Yinelenme Bağlılıları

Bir  $\mathbf{K}(a_m/b_m)$  sürekli kesirinin  $n$ . payı  $A_n$  ve  $n$ . paydası  $B_n$  değerleri aşağıdaki yinelenme bağıntıları (ikinci mertebeden lineer fark denklemleri) ile bulunur;

$$\begin{bmatrix} A_n \\ B_n \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} b_n A_{n-1} \\ B_{n-1} \end{bmatrix} + a_n \begin{bmatrix} A_{n-2} \\ B_{n-2} \end{bmatrix}, \quad n = 1,2,3, \dots \quad (14)$$

Burada başlangıç koşulları ise

$$A_{-1} := 1, B_{-1} := 0, A_0 := b_0, B_0 := 1 \quad (15)$$

olarak verilir. (13) ile verilen  $T_n(s_n)$  değiştirilmiş yaklaşımı

$$T_n(s_n) = \frac{A_n + A_{n-1}s_n}{B_n + B_{n-1}s_n}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

olarak yazılabilir ve böylece  $f_n$   $n$ . yaklaşımı

$$f_n = T_n(0) = \frac{A_n}{B_n}, \quad f_{n-1} = T_n(\infty) = \frac{A_{n-1}}{B_{n-1}} \quad (17)$$

olarak elde edilir.

## 2.2. Sürekli Kesirlerin Matris Bağlantısı

$n$ . payı  $A_n$  ve  $n$ . paydası  $B_n$  olan  $\mathbf{K}(a_m/b_m)$  sürekli kesiri verilsin ve

$$t_m(s) := \frac{a_m}{b_m + s}, \quad x_m := \begin{pmatrix} 0 & a_m \\ 1 & b_m \end{pmatrix}, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (18)$$

olsun. Bu durumda (11) ve (16) ile verilen lineer kesirli dönüşümleri

$$X_n := x_1 x_2 x_3 \dots x_n = \begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ B_{n-1} & B_n \end{pmatrix}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

matrisine karşılık gelir. Böylece  $2 \times 2$  lik bu matrislerin çarpımı  $\{A_n\}, \{B_n\}$  ile (6) ve (17) ile verilen  $f_n$   $n$ . yaklaşımının  $\{f_n\}$  dizilerinin oluşumunda kullanılabilir. Bu şekilde sürekli kesirlerin değerleri bu yaklaşım ile birlikte elde edilebilir.

## 3. Alt Yörüngesel Graflar

### 3.1. $\Gamma$ Modüler Grubunun $\widehat{\mathbb{Q}}$ Üzerindeki Hareketi

$a, b, c, d \in \mathbb{Z}$  ve  $ad - bc = 1$  olmak üzere  $T : z \rightarrow \frac{az+b}{cz+d}$  biçimindeki tüm Möbiüs dönüşümlerinin kümesi  $PSL(2, \mathbb{Z})$  ile gösterilir ve bu küme  $\mathbb{H}$  üst yarı düzlemin otomorfizmalarının grubudur. Böylece  $\Gamma$  Modüler grubu  $\{\pm I\}$  merkezi ile  $SL(2, \mathbb{Z})$  grubunun bölüm grubu olarak verilir. Buradan  $\Gamma$  nın elemanları

$$\left\{ \pm \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} : a, b, c, d \in \mathbb{Z}, \quad ad - bc = 1 \right\} \quad (20)$$

matris çifti ile temsil edilir. Burada  $\pm$  sembolünü göz ardı edip her bir matris negatifi ile eşit kabul edilir. Böylece  $\Gamma$  Modüler grubunun  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerindeki hareketi,  $x$  ve  $y$  tamsayıları aralarında asal olmak üzere,  $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} : \frac{x}{y} \rightarrow \frac{ax+by}{cx+dy}$  şeklinde olur. Bu durumda  $\frac{x}{y}, \frac{r}{s} \in \widehat{\mathbb{Q}}$  ise  $\frac{r}{s} = T\left(\frac{x}{y}\right)$  olacak şekilde  $T \in \Gamma$  vardır. Dolayısı ile  $\Gamma$  Modüler grubu  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde transitif olarak hareket eder. Böylece  $(\Gamma, \widehat{\mathbb{Q}})$  ikilisi bir permütasyon grubunu oluşturur. " $\approx$ ",  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde bir denklik bağlantısı olmak üzere her  $g \in \Gamma$  ve her  $\alpha \approx \beta$  için  $g(\alpha) \approx g(\beta)$  oluyorsa  $\approx$  bağlantısına bir  $\Gamma$ -invariant denklik bağlantısı denir. Bu denklik bağlantısının denklik sınıflarına *bloklar* denir. Buna göre, " $\forall \alpha, \beta \in \widehat{\mathbb{Q}}$  için  $\alpha = \beta \Leftrightarrow \alpha \approx \beta$ " şeklindeki özdeşlik bağlantısı ve " $\forall \alpha, \beta \in \widehat{\mathbb{Q}}$  için  $\alpha \approx \beta$ " şeklindeki evrensel bağlantı,  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde  $\Gamma$ -invariant denklik bağlantılarıdır. Bu bağlantılardan farklı,  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde bir  $\Gamma$ -invariant denklik bağlantısı varsa  $(\Gamma, \widehat{\mathbb{Q}})$  ikilisine *imprimitif*, aksi halde *primitif* adı verilir.

**3.1. Teorem (Jones vd, 2.2. Önerme, 1991)**  $(G, \Omega)$  bir transitif permütasyon grubu olsun. Bu taktirde,  $(G, \Omega)$  primitiftir ancak ve ancak  $\forall \alpha \in \Omega$  noktasının  $G_\alpha = \{g \in G : g(\alpha) = \alpha\}$  sabitleyeni  $G$  nin bir maksimal alt grubudur.  $\square$

$\infty$  un  $\Gamma$  Modüler grubundaki sabitleyeni  $\Gamma_\infty = \left\langle \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\rangle$  dur.  $\Gamma$  Modüler grubunun kongrüans bir alt grubu olan  $\Gamma_0(N) = \left\{ \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \in \Gamma : c \equiv 0 \pmod{N} \right\}$  göz önüne alınırsa, açıkça,  $N > 1$  olmak üzere  $\Gamma_\infty \not\cong \Gamma_0(N) \not\cong \Gamma$  dir. Buradan 3.1. Teorem'e göre  $(\Gamma, \widehat{\mathbb{Q}})$  çifti imprimitiftir. Bu durumda  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde bir  $\Gamma$ -invariant denklik bağlantısı vardır.  $\Gamma, \widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde transitif olarak hareket ettiğinden  $v = T(\infty)$  olacak şekilde bir  $T \in \Gamma$  vardır. Böylece  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde  $T(\infty) = v \approx w = S(\infty) \Leftrightarrow T^{-1}S \in \Gamma_0(N)$  dir. Buradan  $\frac{r}{s} \approx \frac{x}{y} \Leftrightarrow ry - sx \equiv 0 \pmod{N}$  yazılır. Bu denklik bağlantısının bloklarının sayısı ise  $\psi(N) := |\Gamma : \Gamma_0(N)| = N \prod_{p|N} \left(1 + \frac{1}{p}\right)$  dir.

### 3.2. $\Gamma$ Modüler Grubunun $\widehat{\mathbb{Q}}$ Üzerindeki Alt Yörüngesel Grafları

$(G, \Omega)$  bir transitif permütasyon grubu olsun. Bu taktirde  $G, \Omega \times \Omega$  üzerinde  $g \in G$  ve  $\alpha, \beta \in \Omega$  olmak üzere  $g: (\alpha, \beta) \rightarrow (g(\alpha), g(\beta))$  ile hareket eder. Bu hareketin yörüngelerine  $G$  nin alt yörüngeleri denir.  $(\alpha, \beta)$  yi içeren alt yörünge  $O(\alpha, \beta)$  ile gösterilir. Yani,  $O(\alpha, \beta) = \{g(\alpha, \beta) : g \in G\}$  dir. Eğer  $G := \Gamma$  ve  $\Omega := \widehat{\mathbb{Q}}$  olarak alınırsa,  $O(\alpha, \beta)$  alt yörüngesinden bir  $\mathbf{G}(\alpha, \beta)$  alt yörüngesel grafi, köşeleri  $\widehat{\mathbb{Q}}$  nin elemanları ve eğer  $(\gamma, \delta) \in O(\alpha, \beta)$  ise  $\gamma$  dan  $\delta$  ya bir  $\gamma \rightarrow \delta$  ile gösterilen bir kenar var olacak şekilde oluşturulabilir. Bu kenarlar  $\mathbb{H}$  üst yarı düzleminde hiperbolik geodezikler olarak çizilir. Açıkça  $O(\beta, \alpha)$  da bir yörünge ve ya  $O(\alpha, \beta)$  ya eşittir ya da  $O(\alpha, \beta)$  dan farklıdır. İkinci durumda,  $\mathbf{G}(\beta, \alpha), \mathbf{G}(\alpha, \beta)$  nin oklarının ters yönlendirilmiştir ve bu durumda  $\mathbf{G}(\alpha, \beta)$  ile  $\mathbf{G}(\beta, \alpha)$  ya eşleşmiş alt yörüngesel graflar adı verilir. Birinci durumda,  $\mathbf{G}(\alpha, \beta) = \mathbf{G}(\beta, \alpha)$  ve buradan bu graf karşıt yönlendirilmiş kenar çifti içerir; bu şekildeki her çifti basit bir yönlendirilmiş kenar ile değiştirmek uygundur, böylece kendisiyle eşleşmiş graf denilen yönlendirilmemiş bir kenar elde edilir. Yani, eğer  $O(\alpha, \beta) = O(\beta, \alpha)$  ve  $(\gamma, \delta) \in O(\alpha, \beta)$  ise buradan  $\gamma$  dan  $\delta$  ya olan kenar  $\gamma - \delta$  ( $\gamma \leftrightarrow \delta$  yerine) ile gösterilir.

Bu fikirler ilk kez (Sims, 1967) tarafından ortaya atıldı ve (Neumann, 1977) in çalışmasında, (Tsukuzu, 1982) ve (Biggs ve White, 1979) in kitaplarında, sonlu grupların uygulanmasında büyük önem kazandı. Örneğin,  $O(\alpha, \alpha) = \{(\gamma, \gamma) : \gamma \in \widehat{\mathbb{Q}}\}$ ,  $\widehat{\mathbb{Q}} \times \widehat{\mathbb{Q}}$  nin köşegenidir. Her  $\alpha \in \widehat{\mathbb{Q}}$  köşesi için  $\mathbf{G}(\alpha, \alpha)$  grafi sadece bir düğüm içerir. Bu graf kendisi ile eşleşmiştir. Buna aşikâr alt yörüngesel graf denir. Bu çalışmada aşikâr olmayan alt yörüngesel graflar ile ilgilenilecektir.

$\Gamma$  Modüler grubu  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde transitif olarak hareket ettiğinden, her bir alt yörünge, bir  $v \in \mathbb{Q}$  için  $(\infty, v)$  çiftini içerir.  $N > 1$  ve  $(u, N) = 1$  olmak üzere  $v := \frac{u}{N}$  alınırsa, bu alt yörünge  $O(u, N)$  ve buna karşılık gelen

$\mathbf{G}(\infty, v)$  alt yörüngesel grafi da  $\mathbf{G}_{u, N}$  ile gösterilir.

**3.2. Lemma (Jones vd, 1991)** Eğer  $v, v' \in \mathbb{Q}$  ise bu taktirde  $O(\infty, v) = O(\infty, v')$  olması için gerek ve yeter şart  $v$  ve  $v'$  köşelerinin  $\Gamma_\infty$  un aynı yörüngesinde olmasıdır.  $\Gamma_\infty$  sabitleyeni  $Z : v \rightarrow v + 1$  ile üretildiğinden, bu durum,  $u \equiv u' \pmod{N}$  olmak üzere  $v' = \frac{u'}{N}$  ifadesine denktir.  $\square$

**3.3. Sonuç (Deger, 1.1. Lemma, 2017)**  $\mathbf{G}_{u, N} = \mathbf{G}_{u', N'} \Leftrightarrow N = N'$  ve  $u \equiv u' \pmod{N}$  dir. Dolayısı ile  $\forall N \geq 1$  tamsayısı için  $\Phi(N) = |U_N| = N \left(1 + \frac{1}{p}\right)$  tane farklı  $\mathbf{G}_{u, N}$  alt yörüngesel grafi vardır.  $\square$

**3.4. Teorem (Jones vd, 3.2. Teorem, 1991)**  $\mathbf{G}_{u, N}$  alt yörüngesel grafinda  $\frac{r}{s} \rightarrow \frac{x}{y}$  kenarının mevcut olması için gerek ve yeter şart  $x \equiv \pm ur \pmod{N}, y \equiv \pm us \pmod{N}$  ve  $ry - sx = \pm N$  olmasıdır.  $\square$

**3.5. Sonuç (Deger, 1.3. Lemma, 2017)**  $\bar{u}, u\bar{u} \equiv 1 \pmod{N}$  kongrüans denklemini sağlamak üzere,  $\mathbf{G}_{u, N}$  ile eşleşmiş alt yörüngesel graf  $\mathbf{G}_{-\bar{u}, N}$  dir.  $\square$

**3.6. Sonuç (Jones vd, 3.4. Sonuç, 1991)**  $\mathbf{G}_{u, N}$  alt yörüngesel grafinin kendisi ile eşleşmiş bir graf olması için gerek ve yeter şart  $u^2 \equiv -1 \pmod{N}$  olmasıdır.  $\square$

$\mathbf{F}_{u, N}$  ile, köşeleri  $\infty$  u içeren  $[\infty] := \left\{ \frac{x}{y} \in \mathbb{Q} : y \equiv 0 \pmod{N} \right\}$  bloğundan oluşan  $\mathbf{G}_{u, N}$  alt yörüngesel grafinin bir alt grafini gösterelim. Böylece  $\mathbf{G}_{u, N}$  grafi  $\mathbf{F}_{u, N}$  grafinin  $\Psi(N)$  tane ayırık kopyasından oluşur.

**3.7. Teorem (Jones vd, 5.1. Teorem, 1991)**  $\mathbf{F}_{u, N}$  alt yörüngesel grafinda  $\frac{r}{s} \rightarrow \frac{x}{y}$  kenarının mevcut olması için gerek ve yeter şart  $x \equiv \pm ur \pmod{N}$  ve  $ry - sx = \pm N$  olmasıdır.  $\square$

Yukarıda incelenen  $\Gamma$  nin  $\widehat{\mathbb{Q}}$  üzerinde imprimitif hareketinin genel olarak incelenmesinden,  $\Gamma$  nin  $\mathbf{F}_{u, N}$  yi invaryant

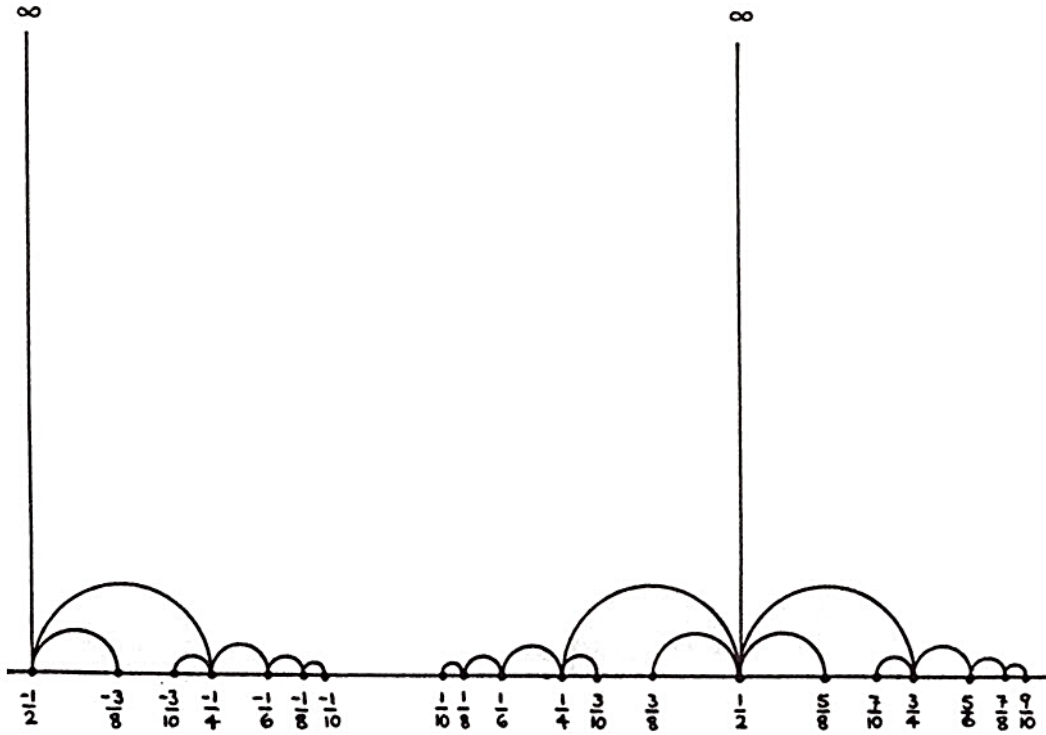
birakan alt grubu  $\Gamma_0(N)$  kongrüans alt grubudur. Sonuç olarak  $\Gamma_0(N) \leq \text{Aut } \mathbf{F}_{u,N}$  dir.

**3.8. Teorem (Jones vd, 5.2. Teorem, 1991)**  
 $\Gamma_0(N)$ ,  $\mathbf{F}_{u,N}$  grafının köşelerini ve kenarlarını transitif olarak permüte eder.  $\square$

**3.9. Tanım**  $v_0, v_1, \dots, v_m$ ,  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafının farklı köşelerinin bir dizisi olsun. Eğer  $m \geq 2$  ise  $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow \dots \rightarrow v_m \rightarrow v_0$  yapılandırılmasına bir *yönlendirilmiş devre* (veya *kapalı yol*) denir. Eğer bu yapılandırmadaki en az bir ok (hepsi değil) ters yönlü ise bu yapılandırmaya, bir *yönlendirilmemiş devre* (veya *ters yönlendirilmiş devre*) adı verilir. Eğer  $m = 2$  ise devre, yönlendirilmiş olsun veya olmasın, *üçgen* olarak adlandırılır. Eğer  $m = 1$  ise  $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_0$  yapılandırılmasına *kendisi ile eşleşmiş bir kenar* denir.  $\Gamma$  Modüler grubunun elemanları hiperbolik doğruları hiperbolik doğrulara resmettiğinden, uygun görsellik açısından,  $\mathbf{F}_{u,N}$  grafının kenarları,  $\mathbb{H}$  üst yarı düzleminde reel eksene dik Öklid yarı-çemberleri ve yarı-doğruları şeklinde

hiperbolik geodezikler olarak gösterilir.  $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow \dots \rightarrow v_m$  ve  $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow \dots$  yapılandırılmalarına sırası ile  $\mathbf{F}_{u,N}$  grafında bir *yol* ve bir *sonsuz yol* adı verilir.  $\frac{r}{s} \xrightarrow{<} \frac{x}{y} \in \mathbf{F}_{u,N}$  (veya  $\frac{x}{y} \xleftarrow{<} \frac{r}{s} \in \mathbf{F}_{u,N}$ ) ise, 3.7. Teorem için verilen koşullara göre, eğer  $\mathbf{F}_{u,N}$  grafında  $r/s$  köşesine bağlanan  $x/y$  köşesinden daha büyük (veya küçük) bir köşe yoksa  $x/y$  köşesine *en uzak köşe* denir.  $\mathbf{F}_{u,N}$  grafındaki  $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow \dots \rightarrow v_m$  yolunun *minimal uzunluklu* olması için,  $i < j - 1, i \in \{0, 1, 2, 3, \dots, m - 2\}, j \in \{2, 3, 4, \dots, m\}$  olmak üzere  $v_i \leftrightarrow v_j$  olması ve  $v_{i+1}$  köşesi  $v_i$  köşesine bağlanan en uzak köşe olması gerekir. Eğer  $\mathbf{F}_{u,N}$  hiç bir devre içermiyor ise bir *orman*,  $\mathbf{F}_{u,N}$  devre içermeyen bağlantılı boş-olmayan bir graf ise bir *ağaçtır*.

Aşağıdaki Şekil 1' de özel olarak  $u = 1$  ve  $N = 2$  olmak üzere  $\mathbf{F}_{1,2}$  alt yörüngesel grafının köşe ve kenarlarının bir kısmı verilmiştir.



Şekil 1.  $\mathbf{F}_{1,2}$  alt yörüngesel grafının bir kısmı

#### 4. Alt Yörüngesel Graflardaki Minimal Uzunluklu Yolların Köşeleri

**4.1. Lemma (Deger vd., 3.1. Lemma, 2011)**  
 $(u, N) = 1$  ise  $u^2 + ku + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  kongrüans denklemini sağlayan bir  $k$  tamsayısı vardır.  $\square$

$$\infty = \frac{1}{0} \rightarrow \frac{u}{N} \rightarrow \frac{u + \frac{1}{k}}{N} \rightarrow \frac{u + \frac{1}{k - \frac{1}{k}}}{N} \rightarrow \frac{u + \frac{1}{k - \frac{1}{k - \frac{1}{k}}}}{N} \rightarrow \dots$$

minimal uzunluklu sonsuz yolundaki köşeleri sırası ile birbirine bağlayan ve bu şekilde her bir köşe için tekrarlı bir sürekli kesir yapısı ile birlikte kenarları oluşturan dönüşümdür

(Deger vd., 2011). Buradan  $\varphi\left(\frac{u + \frac{x}{y}}{N}\right) =$

$\left(\frac{u + \frac{y}{ky-x}}{N}\right)$  olduğundan,  $\frac{u + \frac{x}{y}}{N}$  bir  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt

yörüngesel grafindaki minimal uzunluklu yolda bir köşe ise onunla bağlanan en uzak

köşenin değeri  $\frac{u + \frac{y}{ky-x}}{N}$  dir.  $v_0 = \frac{u}{N}$  başlangıç

köşesi olarak belirlenirse, her  $q \in \mathbb{Z}^+$  için  $v_q = \varphi^q(v_0)$  eşitliği ile verilir. Ayrıca (14)

yinelenme bağıntıları ele alınırsa her  $n \geq 0$  tamsayısı için  $a_n := -1, b_n := -k$  ve

$B_n = -A_{n+1}$  olmak üzere  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafindaki minimal uzunluklu yoldaki  $n$ .

köşenin değeri  $\frac{u + T_n(0)}{N} = \frac{u + \frac{A_n}{B_n}}{N} = \frac{A_{n+1}u - A_n}{A_{n+1}N}$  ile

verilir. Aynı zamanda (18) ve (19) matris bağlantılarından

$$\begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ -A_n & -A_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -k \end{pmatrix} \text{ dir (Deger, 2017).}$$

#### 5. Alt Yörüngesel Grafların Köşeleri ve Fibonacci Sayıları

Bu kısımda  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafindaki minimal uzunluklu yollardaki köşeler için, uygun bir  $k$  değeri ile birlikte, bu köşelerin değerleri ile Fibonacci sayıları arasındaki bazı bağlantılar verilecektir.

$$F_{2n} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^{2n} - \left( \frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^{2n} \right] = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{3 + \sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{3 - \sqrt{5}}{2} \right)^n \right]$$

olup  $(3 + \sqrt{5})^n - (3 - \sqrt{5})^n = 2\sqrt{5} \sum_{t=1}^n (3 + \sqrt{5})^{n-t} (3 - \sqrt{5})^{t-1}$  eşitliğinden

$$u^2 + ku + 1 \equiv 0 \pmod{N}, k \geq 2, k \in \mathbb{Z}$$

olmak üzere  $\varphi = \begin{pmatrix} -u & \frac{u^2 + ku + 1}{N} \\ -N & u + k \end{pmatrix} \in \Gamma_0(N)$

elemanı,  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafinda

#### 5.1. Tanım Fibonacci sayı dizisi

$$F_n := \begin{cases} 0, & n = 0 \text{ ise} \\ 1, & n = 1 \text{ ise} \\ F_{n-1} + F_{n-2}, & n > 1 \text{ ise} \end{cases} \quad (21)$$

eşitliği ile temsil edilir. Ayrıca  $n$ . Fibonacci sayı dizisi değeri Binet formülü adı verilen

$$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^n \right]$$

eşitliği ile bulunur.

**5.2. Lemma**  $A_n, \mathbf{K} \begin{pmatrix} -1 \\ -3 \end{pmatrix}$  sürekli kesirinin  $m = 1$   $n$ . payı olmak üzere  $F_{2n}A_{n+1} + F_{2n+2}A_n = 0$  dir.

*İspat.* Eğer,  $k = 3$  ise,  $\mathbf{F}_{u,N}$  grafindaki  $\frac{u}{N}$  köşesi ile başlayan minimal uzunluklu yoldaki  $(n + 1)$ . köşenin değeri

$$\frac{F_{2n} + u}{F_{2n+2} + u} \quad (22)$$

ile verilir (Deger, 2.13. Sonuç, 2017). Aynı zamanda  $k = 3$  değeri için (Deger, 2.9. Teorem, 2017) den

$$A_n = (-1)^n 2^{1-n} \sum_{t=1}^n (3 + \sqrt{5})^{n-t} (3 - \sqrt{5})^{t-1}$$

ve (21) den

$$A_n = (-1)^n F_{2n} \quad (23)$$

elde edilir. Dolayısı ile aynı köşenin değeri

$$\frac{-A_n + u}{A_{n+1} - N} \quad (24)$$

ile verilir. Buradan ise  $\frac{F_{2n}}{F_{2n+2}} = \frac{-A_n}{A_{n+1}}$  olup,  $F_{2n}A_{n+1} + F_{2n+2}A_n = 0$  elde edilir.□

**5.3. Lemma**  $n = 0,1,2,3, \dots$  için  $F_{2n} = (-1)^n A_n$  ve

$$F_{2n+1} = (-1)^{n+1}(A_{n+1} + A_n) \text{ dir.} \quad (25)$$

*İspat.*  $A_n = (-1)^n F_{2n}$  olduğundan  $F_{2n} = (-1)^n A_n$  olduğu açıktır. Şimdi  $m > 1$  doğal sayıları için  $F_{2n+1} = (-1)^{n+1}(A_{n+1} + A_n)$  olduğunu gösterelim.  $m > 1$  ise buradan  $F_m = F_{m-1} + F_{m-2}$  olduğundan  $m = 2n + 2$  için  $F_{2n+1} = F_{2n+2} - F_{2n}$  elde edilir. Böylece  $F_{2n+2} = (-1)^{n+1}A_{n+1}$  olduğundan  $F_{2n+1} = (-1)^{n+1}A_{n+1} - (-1)^n A_n = (-1)^{n+1}(A_{n+1} + A_n)$  elde edilir.□

**5.4. Sonuç**  $n = 0,1,2,3, \dots$  için

$$F_{4n+2} = -A_{2n+1} \text{ dir.} \quad \square$$

**5.5. Sonuç** (14), (21) ve (25) den  $n = 0,1,2,3, \dots$  için

$$F_{2n+1} = \frac{(-1)^{n+1}}{3}(2A_{n+1} - A_{n-1}) \text{ dir.} \quad \square$$

**5.6. Lemma**  $n = 1,2,3, \dots$  için

$$F_{2n} = \frac{1}{3}(F_{2n+2} + F_{2n-2}) \text{ dir.} \quad (26)$$

*İspat.* (23) eşitliğinden  $F_{2n} = (-1)^n A_n$  ve  $F_{2n-2} = (-1)^{n-1}A_{n-1}$  eşitlikleri elde edilir. Buradan ise  $F_{2n+2} = (-1)^{n+1}A_{n+1}$  ve (14) yinelenme bağıntılarında  $a_n := -1$  ve  $b_n := -k = -3$  alınır,  $A_{n+1} = (-3)A_n + (-1)A_{n-1}$  olacağından

$$\begin{aligned} F_{2n+2} &= (-1)^{n+1}(-3)A_n \\ &\quad + (-1)^{n+1}(-1)A_{n-1} \\ &= 3(-1)^n A_n + (-1)^n A_{n-1} \\ &= 3F_{2n} - F_{2n-2} \end{aligned} \quad (27)$$

elde edilir. (27) eşitliğinden istenen sonuç alınır.□

**5.7. Sonuç**  $n = 1,2,3, \dots$  için

$$F_{2n-2} = \frac{1}{2}(F_{2n+2} - 3F_{2n-1}) \text{ dir.}$$

*İspat.* (21) den  $F_{2n} = F_{2n-1} + F_{2n-2}$  olduğundan ve (26) dan sonuç açıktır.□

**5.8. Sonuç**  $n = 2,3,4, \dots$  için

$$F_{2n-1} = \frac{1}{3}(F_{2n+1} + F_{2n-3}) \text{ dir.} \quad \square \quad (28)$$

**5.9. Sonuç**  $n = 2,3,4, \dots$  için

$$2F_{2n} - 3F_{2n-1} = F_{2n-2} - F_{2n-3} \text{ dir.}$$

*İspat.* (26) ve (28) den  $F_{2n-1} + F_{2n} = \frac{1}{3}(F_{2n+1} + F_{2n-3} + F_{2n+2} + F_{2n-2})$  dir. (21) ve (27) den sırası ile  $F_{2n+1} = F_{2n+2} - F_{2n}$  ve  $F_{2n+2} = 3F_{2n} - F_{2n-2}$  olduğundan

$$\begin{aligned} F_{2n-1} + F_{2n} &= \frac{1}{3}(3F_{2n} - F_{2n-2} - F_{2n} \\ &\quad + F_{2n-3} + 3F_{2n} - F_{2n-2} \\ &\quad + F_{2n-2}) \end{aligned}$$

elde edilir. Buradan  $F_{2n-1} + F_{2n} = \frac{1}{3}(5F_{2n} + F_{2n-3} - F_{2n-2})$  olduğundan ve bu son eşitlik kullanılarak  $2F_{2n} - 3F_{2n-1} = F_{2n-2} - F_{2n-3}$  elde edilir.□

**5.10. Sonuç**  $\begin{pmatrix} (-1)^{n-1}F_{2n-2} & (-1)^n F_{2n} \\ (-1)^{n+1}F_{2n} & (-1)^n F_{2n+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^n \text{ dir.}$

*İspat.* Sürekli kesirlerin matris bağlantılarından  $\begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ -A_n & -A_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -k \end{pmatrix}^n$  olarak verildi. Öte yandan  $k = 3$  için (23) eşitliğinden  $A_n = (-1)^n F_{2n}$  olduğuna göre  $A_{n-1} = (-1)^{n-1}F_{2n-2}$  ve  $A_{n+1} = (-1)^{n+1}F_{2n+2}$  elde edilir. Buradan  $-A_n = (-1)^{n+1}F_{2n}$  ve  $-A_{n+1} = (-1)^n F_{2n+2}$  şeklinde yazılabileceğinden

$$\begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ -A_n & -A_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (-1)^{n-1}F_{2n-2} & (-1)^n F_{2n} \\ (-1)^{n+1}F_{2n} & (-1)^n F_{2n+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^n \quad (29)$$

elde edilir.□

**5.11. Örnek** Özel olarak  $k = 3$  seçelim. Bu durumda  $u^2 + 3u + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  olmak üzere  $\mathbf{F}_{u,N}$  alt yörüngesel grafi için  $u = 1$  ve  $N = 5$  olsun. Böylece (22) eşitliğinden,  $\mathbf{F}_{1,5}$  alt yörüngesel grafi için,

$$\infty = \frac{1}{0} \rightarrow \underbrace{\frac{1}{5}}_{1. \text{ köşe}} \rightarrow \underbrace{\frac{1+\frac{1}{3}}{5}}_{2. \text{ köşe}} \rightarrow \underbrace{\frac{1+\frac{1}{3-\frac{1}{3}}}{5}}_{3. \text{ köşe}} \rightarrow \dots \rightarrow \underbrace{\frac{1+\frac{1}{3-\dots-\frac{1}{3}}}{5}}_{n. \text{ köşe}} \rightarrow \underbrace{\frac{1+\frac{1}{3-\dots-\frac{1}{3-\frac{1}{3}}}}{5}}_{(n+1). \text{ köşe}} \rightarrow \dots \quad (30)$$

minimal uzunluklu sonsuz yolundaki  $n$ . köşenin bağlanabileceği en uzak  $(n + 1)$ . köşenin değeri  $\frac{u+F_{2n}}{N}$  olduğundan, (30)

yolunda örneğin, 19. köşenin bağlanabileceği en uzak köşe olan 20. köşenin değerini bulmak için  $n = 19$  olmak üzere 5.10. Sonuç'tan

$$\begin{pmatrix} (-1)^{n-1}F_{2n-2} & (-1)^nF_{2n} \\ (-1)^{n+1}F_{2n} & (-1)^nF_{2n+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{36} & -F_{38} \\ F_{38} & -F_{40} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^{19} = \begin{pmatrix} 14930352 & -39088169 \\ 39088169 & -102334155 \end{pmatrix}$$

matrisi elde edilir. Bu matrisi kullanarak bu 20. köşenin değeri

$$\underbrace{1 + \frac{1}{3 - \frac{1}{3 - \dots - \frac{1}{3 - \frac{1}{3}}}}}_{20. \text{ köşe}} = \frac{1 + \frac{F_{38}}{F_{40}}}{5} = \frac{1 + \frac{39088169}{102334155}}{5} = 0.2763932022500210218182$$

olur. Ayrıca yukarıda elde edilen matris kullanılarak ilgili 19. köşenin değeri de benzer şekilde

$$\underbrace{1 + \frac{1}{3 - \frac{1}{3 - \dots - \frac{1}{3}}}}_{19. \text{ köşe}} = \frac{1 + \frac{F_{36}}{F_{38}}}{5} = \frac{1 + \frac{14930352}{39088169}}{5} = 0.2763932022500209718189$$

olarak bulunur. Burada dikkat edilirse 19. köşenin değerini tespit etmek için  $n = 18$  olmak üzere

$$\begin{pmatrix} F_{34} & -F_{36} \\ F_{36} & -F_{38} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^{18} = \begin{pmatrix} -5702887 & 14930352 \\ -14930352 & 39088169 \end{pmatrix}$$

matrisini tespit etmeye gerek kalmadan,  $F_{1,5}$  alt yörüngesel grafında hem 19. köşenin değeri ve hem de 3.7. Teorem'deki şartlara uygun olarak onun bağlanabileceği en uzak köşe olan 20. köşenin değeri tek bir matris elde edilerek bulunmuştur.

Ayrıca 5.11. Tanıma göre,

$$F_{2n-1} = F_{2n} - F_{2n-2}$$

$$F_{2n+1} = F_{2n+2} - F_{2n}$$

olduğundan, bu eşitlikler ve aynı matris bir kez daha kullanılarak, 37. ve 39. Fibonacci sayı değerleri  $F_{37} = F_{38} - F_{36} = 24157817$  ve  $F_{39} = F_{40} - F_{38} = 63245986$  olarak elde edilir. Dolayısı ile her  $n \in \mathbb{N}$  için (29) matrisi ile birlikte yukarıdaki son eşitlikler kullanılarak, sırası ile 5 adet  $F_{2n-2}, F_{2n-1}, F_{2n}, F_{2n+1}, F_{2n+2}$  Fibonacci sayı dizisinin terimi bulunur.

**6.  $F_{u,N}$  Alt Yörüngesel Grafındaki Minimal Uzunluklu Yolların Yönlenmesi**

**6.1. Lemma**  $(u, N) = 1$  ise  $u^2 - lu + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  kongrüans denklemini sağlayan bir  $l$  tamsayısı vardır.

*İspat.*  $(u, N) = 1$  olduğundan  $ux + Ny = 1$  eşitliğini sağlayan  $x$  ve  $y$  tamsayıları vardır. Buradan  $ux \equiv 1 \pmod{N}$  dir. Böylece  $ux(-u^2 - 1) \equiv -u^2 - 1 \pmod{N}$  olur.  $l := x(u^2 + 1)$  olarak alınırsa  $u^2 - lu + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  elde edilir.  $\square$

$$\dots \leftarrow \frac{u - \frac{1}{l - \frac{1}{l - \frac{1}{l}}}}{N} \leftarrow \frac{u - \frac{1}{l - \frac{1}{l}}}{N} \leftarrow \frac{u - \frac{1}{l}}{N} \leftarrow \frac{u}{N} \leftarrow \frac{1}{0} = \infty$$

başlangıç köşesi  $v_0 = \frac{u}{N}$  ye göre sola yönlenmiş minimal uzunluklu sonsuz yolundaki köşeleri sırası ile birbirine bağlayan ve 3.7. Teorem’deki şartlara uygun olarak kenarları oluşturan dönüşümdür. Buradan  $\frac{u-x}{N}$  bir  $F_{u,N}$  alt yörüngesel grafındaki sola yönlenmiş minimal uzunluklu yolda bir köşe ise onunla bağlanan en uzak köşe  $\omega\left(\frac{u-x}{N}\right) = \frac{u-y}{N}$  olur.  $v_0 = \frac{u}{N}$  başlangıç köşesi olmak üzere,  $p \in \mathbb{Z}^+$  tamsayıları için  $v_p = \omega^p(v_0)$  dir. Ayrıca (14) yinelenme bağlantılarından, her  $n \geq 0$  tamsayısı için  $a_n := -1, b_n := -l$  ve  $B_n = -A_{n+1}$  olmak üzere  $F_{u,N}$  alt

**6.2. Teorem (Deger, 2.2. Teorem, 2017)**  $1 < k, l \leq N$  eşitsizliklerini sağlayacak şekilde  $k$  ve  $l$  tamsayıları için sırası ile  $u^2 + ku + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  ve  $u^2 - lu + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  olsun. Bu halde  $F_{u,N}$  alt yörüngesel grafi eğer kendisi ile eşleşmiş ise  $k = l = N$  ve aksi taktirde, yani, kendisi ile eşleşmiş değil ise  $l = N - k$  dir.  $\square$

Böylece  $u^2 - lu + 1 \equiv 0 \pmod{N}, l \geq 2, l \in \mathbb{Z}$  olmak üzere  $\omega := \begin{pmatrix} -u & \frac{u^2-lu+1}{N} \\ -N & u-l \end{pmatrix} \in \Gamma_0(N)$  elemanı,  $F_{u,N}$  alt yörüngesel grafında

yörüngesel grafındaki sola yönlenmiş minimal uzunluklu yoldaki  $n$ . köşenin değeri

$$\frac{u-T_n(0)}{N} = \frac{u-\frac{A_n}{B_n}}{N} = \frac{A_{n+1}u+A_n}{A_{n+1}N} \tag{31}$$

ile verilir. Aynı zamanda (18) ve (19) matris bağlantılarından  $\begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ -A_n & -A_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -l \end{pmatrix}^n$  dir.

**6.3. Örnek** Özel olarak  $l = 3$  seçelim. Bu durumda  $u^2 - 3u + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  olmak üzere  $F_{u,N}$  alt yörüngesel grafi için  $u = 4$  ve  $N = 5$  olsun. Böylece  $F_{4,5}$  alt yörüngesel grafi için,

$$\dots \leftarrow \underbrace{\frac{4 - \frac{1}{3 - \frac{1}{3 - \frac{1}{3}}}}{5}}_{(n+1). \text{ köşe}} \leftarrow \underbrace{\frac{4 - \frac{1}{3 - \frac{1}{3}}}{5}}_{n. \text{ köşe}} \leftarrow \dots \leftarrow \underbrace{\frac{4 - \frac{1}{3 - \frac{1}{3}}}{5}}_{3. \text{ köşe}} \leftarrow \underbrace{\frac{4 - \frac{1}{3}}{5}}_{2. \text{ köşe}} \leftarrow \underbrace{\frac{4}{5}}_{1. \text{ köşe}} \leftarrow \frac{1}{0} = \infty \tag{32}$$

sola yönlenmiş minimal uzunluklu sonsuz yolundaki  $n$ . köşenin gidebileceği en uzak köşe olan  $(n + 1)$ . köşenin değeri  $A_n = (-1)^n F_{2n}$  ve  $B_n = -A_{n+1} = (-1)^n F_{2n+2}$  olmak üzere (31) den  $\frac{u-F_{2n}}{N}$  olduğundan,

(32) yolunda örneğin, 19. köşenin bağlanabileceği en uzak köşe olan 20. köşenin değerini bulmak için  $n = 19$  olmak üzere 5.10. Sonuç’ tan, 5.11. Örnek’ te olduğu gibi,



$$\begin{pmatrix} (-1)^{n-1}F_{2n-2} & (-1)^nF_{2n} \\ (-1)^{n+1}F_{2n} & (-1)^nF_{2n+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{36} & -F_{38} \\ F_{38} & -F_{40} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}^{19} = \begin{pmatrix} 14930352 & -39088169 \\ 39088169 & -102334155 \end{pmatrix}$$

matrisi elde edilir. Bu matrisi kullanarak bu 20. köşenin değeri

$$\underbrace{4 - \frac{1}{3 - \frac{1}{3 - \dots - \frac{1}{3 - \frac{1}{3}}}}}_{20. \text{ köşe}} = \frac{4 - \frac{F_{38}}{F_{40}}}{5} = \frac{4 - \frac{39088169}{102334155}}{5} = 0.7236067977499789781818$$

olur. Ayrıca yukarıda elde edilen matris kullanılarak ilgili 19. köşenin değeri de benzer şekilde

$$\underbrace{4 - \frac{1}{3 - \frac{1}{3 - \dots - \frac{1}{3}}}}_{19. \text{ köşe}} = \frac{4 - \frac{F_{36}}{F_{38}}}{5} = \frac{4 - \frac{14930352}{39088169}}{5} = 0.7236067977499790281811$$

olarak bulunur.

Öte yandan  $u = 4$  ve  $N = 5$  olmak üzere  $\mathbf{F}_{4,5}$  alt yörüngesel grafi için,  $u^2 + ku + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  kongrüans denkleminde  $k = 2$  bulunur. Dolayısı ile (Deger, 2.9. Teorem, 2017) den  $A_n = (-1)^n n$  ve  $B_n = -A_{n+1} = (-1)^n (n+1)$  olmak üzere  $\mathbf{F}_{4,5}$  alt yörüngesel grafiındaki sağa yönlenmiş minimal uzunluklu sonsuz yoldaki  $(n+1)$ . köşenin değeri

$$\frac{u + T_n(0)}{N} = \frac{u + \frac{A_n}{B_n}}{N} = \frac{4 - \frac{A_n}{A_{n+1}}}{5} = \frac{4A_{n+1} - A_n}{5A_{n+1}} = \frac{5n+4}{5n+5}$$

olarak elde edilir. Dolayısı ile  $\mathbf{F}_{4,5}$  alt yörüngesel grafiındaki ilgili 19. köşenin değeri

$n = 18$  için

$$\frac{5.18+4}{5.18+5} = 0.9894736842105263157895 \quad \text{ve}$$

onunla bağlanan 20. köşenin değeri ise

$$n = 19 \text{ için } \frac{5.19+4}{5.19+5} = 0.99 \text{ olarak bulunur.}$$

$k = 2$  için (18) ve (19) matris bağlantılarından  $\begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ -A_n & -A_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}^n$  olup aynı 19. köşenin değeri  $n = 19$  için,  $\begin{pmatrix} A_{18} & A_{19} \\ -A_{19} & -A_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}^{19} = \begin{pmatrix} 18 & -19 \\ 19 & -20 \end{pmatrix}$  matrisi kullanılırsa

$$\underbrace{4 + \frac{1}{2 - \frac{1}{2 - \dots - \frac{1}{2}}}}_{19. \text{ köşe}} = \frac{4 - \frac{A_{18}}{A_{19}}}{5} = \frac{4 + \frac{18}{19}}{5} = 0.9894736842105263157895$$

ve onun bağlandığı en uzak köşe olan 20. köşe ise

$$4 + \frac{1}{2 - \frac{1}{2 - \dots - \frac{1}{2 - \frac{1}{2}}}} = \frac{4 + \frac{A_{19}}{A_{20}}}{5} = \frac{4 + \frac{19}{20}}{5} = 0.99$$

20. köşe

olarak tekrar elde edilir.

Burada dikkat edilirse 3.6. Sonuç' tan  $4^2 \not\equiv -1 \pmod{5}$  olduğundan  $F_{4,5}$  alt yörüngesel grafi kendisi ile eşleşmiş bir alt yörüngesel graf değildir. Böylece 6.2. Teorem' deki şartlara göre  $l = 3$  olduğundan  $k = N - l = 2$  dir. Sol yönlendirme için örnekte özel olarak hesaplanan köşe değerleri arasındaki fark  $v_{19} - v_{20} = 4.99993 * 10^{-17}$  ve sağ yönlendirme için fark ise  $v_{20} - v_{19} = 0.0005263157895$  olarak bulunur. Eğer  $F_{u,N}$  alt yörüngesel grafi kendisi ile eşleşmiş ise bu

farklar eşit ve  $k = l = N$  olur. Şekil 1' deki  $F_{1,2}$  alt yörüngesel grafi kendisi ile eşleşmiştir ve bu durum kolaylıkla görülebilir.

5.11. Örneğe geri dönülürse  $k = 3$  ve  $u^2 - lu + 1 \equiv 0 \pmod{N}$  olmak üzere  $u = 1$  ve  $N = 5$  için  $l = N - k = 2$  olarak bulunur. Böylece  $F_{1,5}$  alt yörüngesel grafi için,

$$\dots \leftarrow \underbrace{1 - \frac{1}{2 - \frac{1}{2 - \dots - \frac{1}{2 - \frac{1}{2}}}}}_{(n+1). \text{ köşe}} \leftarrow \underbrace{1 - \frac{1}{2 - \frac{1}{2 - \dots - \frac{1}{2 - \frac{1}{2}}}}}_{n. \text{ köşe}} \leftarrow \dots \leftarrow \underbrace{1 - \frac{1}{2 - \frac{1}{2}}}_{3. \text{ köşe}} \leftarrow \underbrace{1 - \frac{1}{2}}_{2. \text{ köşe}} \leftarrow \underbrace{\frac{1}{5}}_{1. \text{ köşe}} \leftarrow \frac{1}{0} = \infty \tag{33}$$

sola yönlenmiş minimal uzunluklu sonsuz yolundaki  $n$ . köşenin bağlanabileceği en uzak köşe olan  $(n + 1)$ . köşenin değeri ise,  $A_n = (-1)^n n$  ve  $B_n = -A_{n+1} = (-1)^n (n + 1)$  olmak üzere yazılırsa  $\frac{u - T_n(0)}{N} = \frac{u - \frac{A_n}{B_n}}{N} = \frac{1 + \frac{A_n}{A_{n+1}}}{5} = \frac{A_{n+1} + A_n}{5A_{n+1}} = \frac{1}{5n+5}$  olarak elde edilir. Dolayısı ile  $F_{1,5}$  alt yörüngesel grafiındaki ilgili 19. köşenin değeri  $n = 18$  için  $\frac{1}{5.18+5} = 0.01052631578947368421053$  ve

onunla bağlanan 20. köşenin değeri ise  $n = 19$  için  $\frac{1}{5.19+5} = 0.01$  olarak bulunur.

$l = 2$  için (18) ve (19) matris bağlantılarından  $\begin{pmatrix} A_{n-1} & A_n \\ -A_n & -A_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}^n$  olup aynı ilgili 19. köşe  $n = 19$  için,

$$\begin{pmatrix} A_{18} & A_{19} \\ -A_{19} & -A_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}^{19} = \begin{pmatrix} 18 & -19 \\ 19 & -20 \end{pmatrix}$$

matrisi kullanılırsa

$$\underbrace{1 - \frac{1}{2 - \frac{1}{2 - \dots - \frac{1}{2 - \frac{1}{2}}}}}_{19. \text{ köşe}} = \frac{1 - \frac{A_{18}}{A_{19}}}{5} = \frac{1 - \frac{18}{19}}{5} = 0.01052631578947368421053$$



## Magnetron Sıçratma Yöntemiyle Kaplanmış TiNbN ve TiVN Filmlerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Özlem BARAN\*

Erzincan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan 24100, Türkiye

Geliş tarihi/Received 17.02.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 17.05.2017

Kabul tarihi/Accepted 15.06.2017

### Öz

Nikel alaşımları, özellikle de Inconel, geniş bir sıcaklık aralığında iyi mekanik özellikler göstermektedir. Ancak, bu alaşımların aşınma direnci oldukça düşüktür. Geçiş metal nitrid filmler yüksek sertlikleri, düşük sürtünme katsayısı ve iyi aşınma direnci sebebiyle endüstrinin pek çok alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Inconel 600 taban malzemenin aşınma direncini artırabilmek amacıyla, TiNbN ve TiVN filmler bu taban malzemeler üzerine kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Filmlerin yapısal özellikleri XRD, SEM ve EDS kullanılarak analiz edilmiş, mekanik özellikleri nanosertlik ve çizik testleri ile belirlenmiştir. Sürtünme ve aşınma özellikleri aşınma deney düzeneği kullanılarak belirlenmiştir. TiVN ve TiNbN filmler yoğun ve kolonsal bir mikroyapı sergilemiştir. XRD analiz sonuçlarına göre; TiVN filmler için TiVN (111) ve TiNbN filmler için TiNbN (111) en baskın fazlardır. TiVN filmler ile karşılaştırıldığında, daha yüksek film kalınlığına ve %N içeriğine, daha baskın (111) oryantasyonuna ve daha düşük tane boyutuna sahip TiNbN filmler daha yüksek sertlik ve daha iyi adezyon sergilemiştir. TiVN ve TiNbN filmler Inconel 600 taban malzemenin aşınma direncini önemli ölçüde artırmıştır. TiVN filmlerle kıyaslandığında, daha yüksek sertlik ve daha iyi adezyona sahip TiNbN filmler daha düşük sürtünme katsayısı ve daha düşük aşınma oranı ile taban malzemenin tribolojik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Adezyon, Aşınma, Inconel 600, TiNbN, TiVN

## Investigation of Mechanical and Tribological Properties of TiNbN and TiVN Films Deposited by Magnetron Sputtering Method

### Abstract

Nickel alloys, especially Inconel, show good mechanical properties in a wide temperature range. But, the wear resistance of this alloys are fairly low. Due to high hardness, low friction coefficient and good wear resistance, transition metal nitride films are commonly used in industry. In this study; for the purpose of increasing the wear resistance of Inconel 600 substrate, TiNbN and TiVN films were coated on these substrates using Closed Field Unbalanced Magnetron Sputtering method. The structural properties of the films were analyzed using XRD, SEM and EDS, the mechanical properties were determined by nanohardness and scratch tests. The friction and wear properties were determined using the wear test method. The TiNbN and TiVN films exhibit a dense and columnar microstructure. According to XRD analyze results; TiVN (111) and TiNbN (111) were dominant phases for the TiVN and TiNbN films, respectively. Compared with the TiVN films,

\* Özlem BARAN, obaran@erzincan.edu.tr, Tel: (0 446) 224 00 88

*due to the higher film thickness and %N content, the dominant (111) orientation and the smaller grain size, the TiNbN films exhibited the higher hardness and better adhesion. The TiVN and TiNbN films considerably increased the wear resistance of Inconel 600 substrate. When compared with the TiVN films, the TiNbN films with the higher hardness and better adhesion significantly improved the tribological properties of the substrate with lower friction coefficient and lower wear rate.*

**Keywords:** Adhesion, Wear, Inconel 600, TiNbN, TiVN

## 1. Giriş

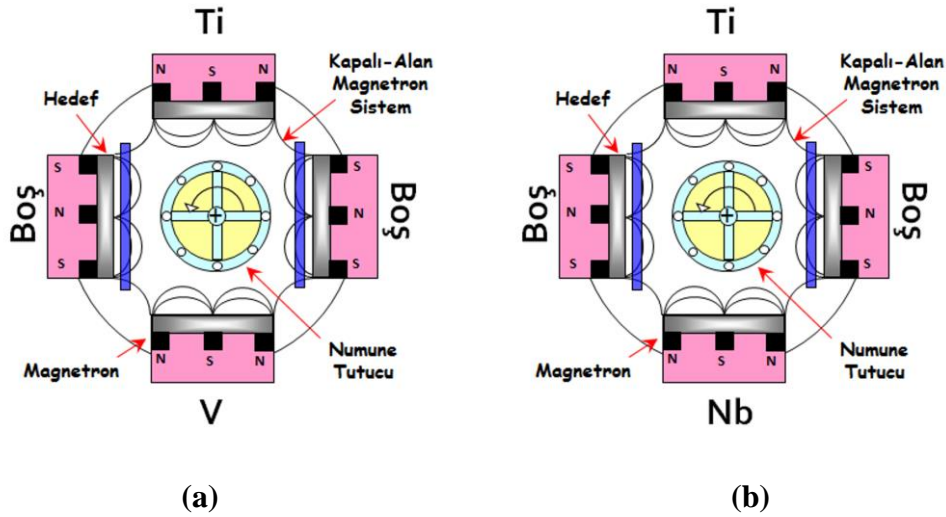
Nikel ve alaşımları, korozif ortamdaki mükemmel korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direnci sebebiyle türbin yapımında, petrol ve kimya endüstrisinde kullanılırlar (Makuch ve Kulka, 2014). Ancak bu alaşımlar düşük sertliğe sahiptir ve zayıf tribolojik özellikler sergiler. Bu alaşımların tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla plazma nitrüleme ve borlama gibi yüzey sertleştirme işlemleri, fiziksel buhar biriktirme (FBB) ve kimyasal buhar biriktirme (KBB) gibi kaplama yöntemleri kullanılmaktadır (Mindivan ve Mindivan, 2013). FBB yöntemi kullanılarak büyütülen yüksek sertliğe sahip geçiş metal nitrür filmler, aşınmaya dirençli yüzeyler sağlar (Petrov vd., 1997). Bu filmlerden, endüstriyel uygulamalarda ilk kullanılanı TiN filmlerdir. TiN filmlerin büyütülmesinde en çok tercih edilen yöntem magnetron sıçratma yöntemidir. Çok yüksek sertliğe sahip TiN filmler oldukça gevrek ve düşük tokluğa sahiptir. Metal nitrür filmlerin tokluklarını artırmak amacıyla genellikle kaplama esnasında ikinci bir metal eklenir (Baker vd., 2003; Öztürk vd., 2008). Bunshah (Bunshah, 2001) TiN filmler ile kıyaslandığında TiZrN, TiHfN, TiNbN, TiVN ve TiCrN gibi üçlü geçiş metal nitrür filmlerin daha iyi performans sergilediğini rapor etmiştir.

Bu çalışmada, Inconel 600 taban malzemenin tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla, bu taban malzemeler üzerine kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma yöntemi kullanılarak TiNbN ve TiVN filmler kaplanmış ve kaplanan filmlerin Inconel 600 taban malzeme üzerindeki yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir.

## 2. Amaç, Gereç ve Yöntem

TiVN ve TiNbN filmler, yapısal analizler için cam taban malzemeler, mekanik ve tribolojik analizler için ise Inconel 600 taban malzemeler üzerine kaplanmıştır. Inconel 600 taban malzemelerin yüzeyleri 1200 mesh SiC zımpara ve ardından 0,05 µm tane boyutundaki α-alümina ile parlatılarak Ra≤0,07 µm pürüzlülük değerine getirilmiştir. Kaplama işlemi Şekil 1'de şematik olarak gösterilen, Teer Coating Ltd. (Teer, 1996) tarafından üretilmiş kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

TiVN filmler için sistemde bir Ti ve bir V hedef, TiNbN filmler için ise bir Ti ve bir Nb hedef kullanılmıştır. Sistem içindeki numune tutucusuna yerleştirilen taban malzemelerin üzerine büyütülen filmlerin kalınlığının ve kimyasal bileşiminin homojen olması için, numune tutucu kendi eksenini etrafında 1,5 dev/dk hız ile döndürülmüştür. TiVN ve TiNbN filmler büyütülmeden önce, Inconel 600 ve cam taban malzemelerin yüzeyinde bulunabilecek kirlilikleri gidermek amacıyla Argon soygaz ile 30 dk (taban malzemelere 800 V negatif gerilim uygulanarak) iyon temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Filmlerin taban malzemeye adezyonunu artırmak ve film-taban malzeme ara yüzeyinde oluşacak artık gerilmeleri azaltmak (Pan vd., 1998) için taban malzemeler üzerine 0,33 Pa çalışma basıncı altında 1,5 A Ti hedef akımı kullanılarak 5 dk Ti ara tabaka kaplanmıştır. Ti ara tabakanın, TiVN ve TiNbN filmlerin büyütülmesi esnasında taban malzemeye -100 V darbeli-DC (T:2 µs, F:150 kHz) gerilim uygulanmıştır.



**Şekil 1.** Teer Coating kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma sistemi (a) TiVN film için (b) TiNbN film için.

TiVN filmlerin kaplanması Ti ve V hedeflere, TiNbN filmlerin kaplanması ise Ti ve Nb hedeflere 1,5 A hedef akımları uygulanmıştır ve kaplamalar esnasındaki Argon akış oranı 25 sccm, N<sub>2</sub> akış oranı 5 sccm, çalışma basıncı 0,33 Pa'dır. Film kaplama süreleri her iki kaplama içinde 80 dk'dır. TiVN ve TiNbN filmlerin mikroyapısal ile stokiometrik analizleri ve aşınma iz görüntüleri ile aşınma izi stokiometrik analizleri FEI Quanta FEG-450 SEM-EDAX sistemi ile yapılmıştır. Kaplanan filmlerin kalınlıkları cam taban malzemelerin kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri ile tespit edilmiştir. Inconel 600 taban malzemeler üzerine kaplanmış TiVN ve TiNbN filmlerin XRD ölçümleri  $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$  dalga boyunda CuK $\alpha$  radyasyon kaynaklı Panalytical Empyrean-XRD cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm değerleri,  $2\theta=20-80^\circ$  tarama açısında ve  $2,0^\circ \text{ dk}^{-1}$  tarama hızında elde edilmiştir. XRD sonuçları ICDD (The International Centre for Diffraction Data) pik dosyaları kullanılarak mukayese edilmiştir. Filmlerin tane boyutlarını belirleyebilmek için XRD analizinden tam genişlik yarı maksimum değerleri ölçülmüş ve ortalama tane boyutları aşağıdaki eşitlikte verilen Scherrer formülü ile tespit edilmiştir.

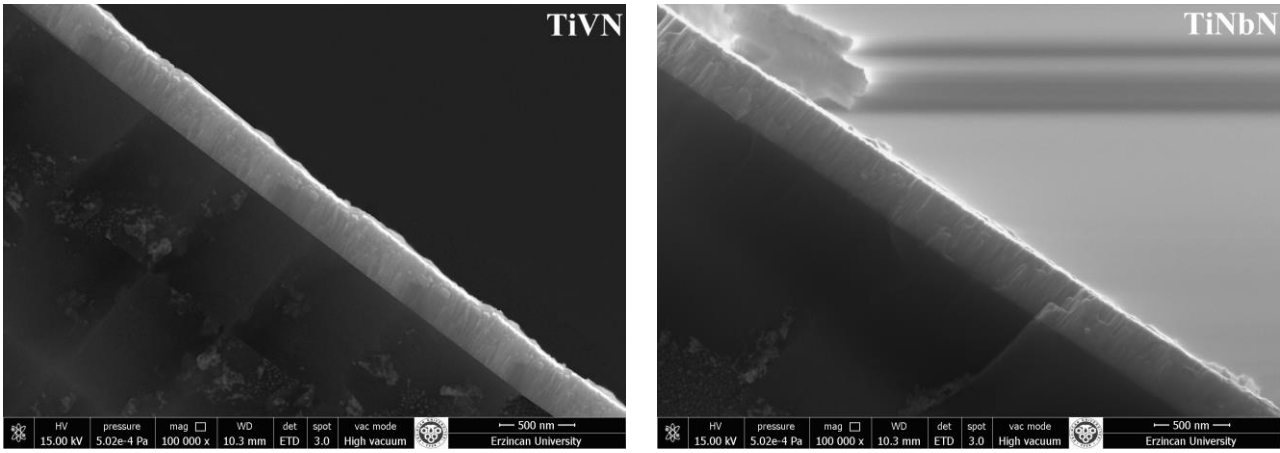
$$T = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;  $\lambda$  bakır hedefin dalga boyu,  $\beta$  tam genişlik yarı maksimum ve  $\theta$  kırınım açısıdır.

Filmlerin sertlikleri CSM-nanosertlik test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Nanosertlik deneyleri Berkovich uç kullanılarak 1 mN yük altında yapılmıştır. Her bir filmde 10 ölçüm alınmıştır. Filmlerin taban malzemeye adezyonunu belirlemek için CSM-Revetest çizik test cihazı kullanılmıştır. Kritik yük değerleri 0,22 mm çapındaki Rockwell-C elmas batıcı uç ile 100 N/dk yük altında ve 10 mm/dk kayma hızında ölçülmüştür. Inconel 600 taban malzemeler üzerine kaplanmış TiVN ve TiNbN filmlerin tribolojik özelliklerini belirlemek için CSM tribo-test aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneyleri normal atmosfer ortamında (nem (%RH) miktarı yaklaşık %45-55), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,25 mm çapında) bilyalar kullanılarak, 1 N yük altında ve 5 cm/s hızda 10 dk süreyle yapılmıştır (aşınma izi çapı 3,5 mm'dir). Aşınma oranları, aşınma deneyi sonrasında oluşan iz profillerinden optik profilometre kullanılarak belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Darbeli-doğru akım kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma yöntemi ile cam taban malzemeler üzerine büyütülen TiVN ve TiNbN filmlerin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. TiVN filmler 360 nm ve TiNbN filmler 400 nm kalınlığa sahiptir. Her iki film de, oldukça yoğun ve kolonsal bir mikroyapı sergilemiştir. Inconel 600 taban malzemelerin üzerine kaplanmış TiVN ve TiNbN filmlerin XRD



Şekil 2. TiVN ve TiNbN filmlerin kırılma yüzeyi SEM görüntüleri

grafığı Şekil 3'te verilmiştir. TiVN filmler; TiVN (111), TiVN (220) ve TiN (222) fazlarına sahiptir. TiNbN filmler; TiNbN (111), TiNbN (200), TiNbN (220) ve TiN (222) fazlarına sahiptir. Her iki filmde de en baskın fazlar TiVN (111) ve TiNbN (111) fazlarıdır. TiNbN (111) fazının yoğunluğu TiVN (111) fazının yoğunluğundan daha fazladır. TiNbN (111) fazının yoğunluğundaki artış TiN (111) fazı ile ilişkilidir. TiN filmlerde görülen (111) fazının nispi yoğunluğu film kalınlığı ile birlikte artar (Oh ve Je, 1993). Bu nedenle, daha yüksek film kalınlığına (400 nm) sahip TiNbN filmde daha baskın büyüyen TiNbN (111) fazı literatürle uyşmaktadır.

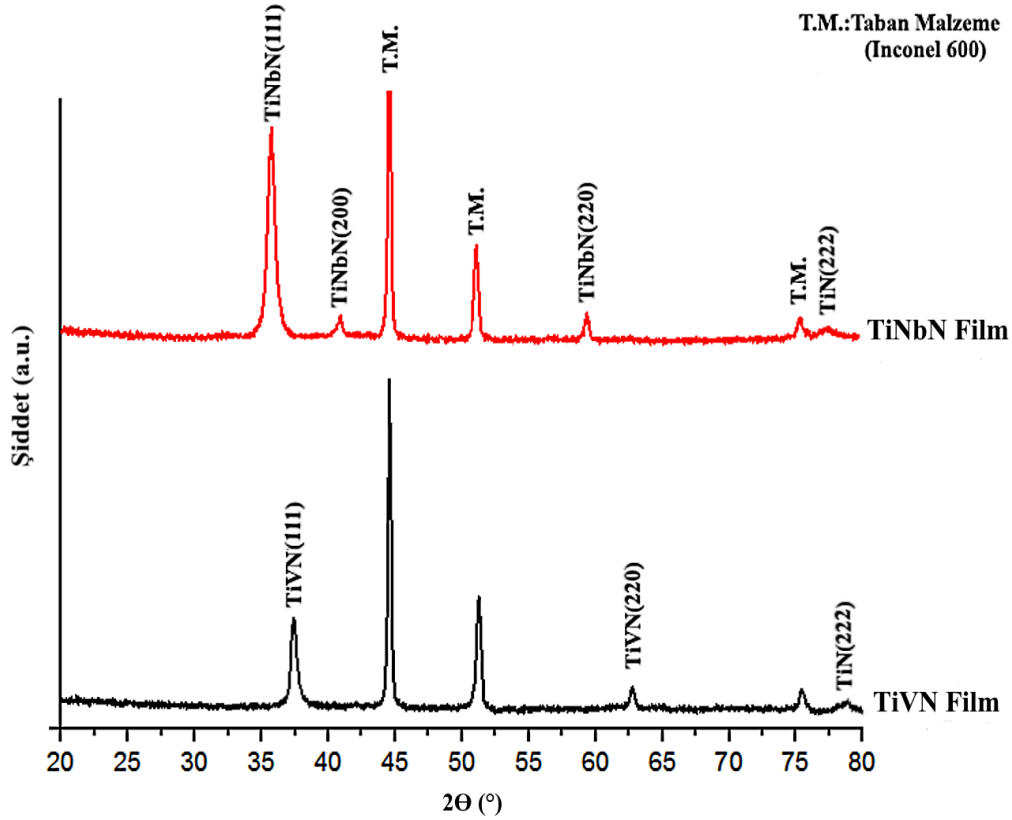
TiVN ve TiNbN filmlerin kimyasal bileşimi EDS analizi ile belirlenmiştir. EDS analizi ile elde edilen element içeriklerine (% atom) ait nicel sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca Inconel 600 taban malzemeler üzerine kaplanmış TiVN ve TiNbN filmlerin sertlik değerleri de Tablo 1'de verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre; TiVN filmler için %N içeriği 43,02, TiNbN filmlerde ise 47,29'dur. TiN esaslı filmlerde yapı içindeki %N içeriği arttıkça filmlerin sertliğinin arttığı rapor edilmiştir (Tsai vd., 2010; Wu vd., 2016). Bu çalışmada da benzer şekilde, TiVN filmlerle karşılaştırıldığında, TiNbN filmlerde artan %N içeriği ile sertliğin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca (111) fazı film sertliği için önemli bir faktördür (Sundgren, 1985; Chou vd., 2001). Geçiş metal nitrür filmlerde en sert oryantasyon (111) oryantas-yonu olarak bilinmektedir (Lin vd., 2010). Bu nedenle

TiNbN filmlerde daha yüksek yoğunluğa sahip (111) fazı yüksek sertliğe yol açmıştır.

Bunların yanı sıra tane boyutu filmlerin sertliği üzerinde önemli bir role sahiptir. Hall-Petch ilişkisine bağlı olarak tane boyutu azaldıkça sertlik değeri artmaktadır (Petch, 1953; Miyamura vd., 2007). Tane boyutundaki azalma tane sınırlarının yoğunluğunu artırarak dislokasyon hareketini engelleyip sertliğin artmasına sebep olur (Söderberg vd., 2005). Bu çalışmada TiVN filmlerin tane boyutları yaklaşık olarak 45 nm ve TiNbN filmlerin tane boyutları ise yaklaşık olarak 35 nm'dir. TiNbN filmlerin daha düşük tane boyutu sonucu sertliğinin de yüksek olması literatürdeki sonuçlarla örtüşmektedir. Martinez ve arkadaşları (Martinez vd., 2014) TiN filmlerde artan kalınlıkla filmlerin sertliğinin arttığını rapor etmiştir. TiVN filmler ile kıyaslandığında, daha yüksek film kalınlığına sahip TiNbN filmlerin daha yüksek sertliği de literatür sonucu ile uyşmaktadır.

İnce filmlerin dayanıklılığı ve ömrü, bu filmlerin taban malzemeye adezyonuna bağlıdır (Mittal, 1976). Çizik testi ince sert filmlerin adezyonunun belirlenmesinde, pratikliği, basitliği, hızı, geniş uygulanabilirliği ve ticari kullanılabilirliği nedeniyle kullanılan bir yöntemdir (Gonczy ve Randall, 2005).

Geleneksel çizme testi, adezyon hasarı ortaya çıkana kadar artan yük altında kaplanmış yüzeyin bir elmas kalem ile çizilme işlemini



Şekil 3. TiVN ve TiNbN filmlerin XRD grafiği

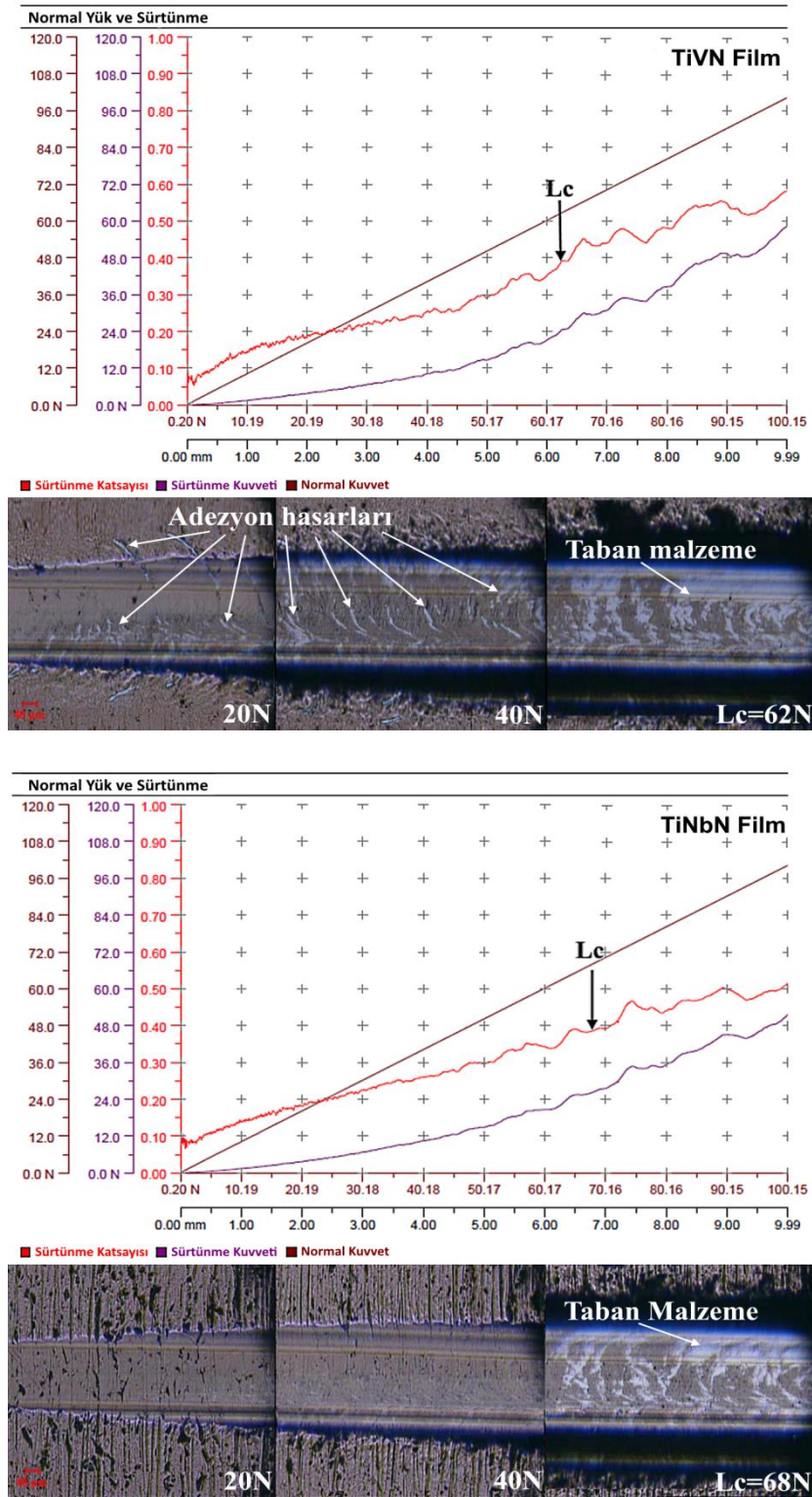
Tablo 1. TiVN ve TiNbN filmlerin sertlik değerleri ve EDS analiz (% atom) sonuçları

	Sertlik (GPa)	% atom			
		Ti	V	Nb	N
TiVN	18	29.86	27.12	-	43.02
TiNbN	24	26.16	-	26.55	47.29

içerir ve sonrasında filmin taban malzemedan ayrıldığı andaki yük olan “Kritik Yük (Lc)” değeri belirlenir (Hedenquist vd., 1990). Bu nedenle bu çalışmada filmlerin adezyon değerleri çizik test cihazı ile belirlenmiştir. TiNbN ve TiVN filmler için çizik testi sonucu elde edilen Normal Yük-Sürtünme grafikleri ve çizik izlerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4’te verilmiştir. Normal Yük-Sürtünme grafiklerine göre, TiVN filmlerin kritik yük (Lc) değeri yaklaşık 62 N ve TiNbN filmlerin kritik yük (Lc) değeri yaklaşık 68 N olarak tespit edilmiştir. Kritik yük; taban malzeme sertliği, film sertliği, film kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü, ara yüzey bağlanması, kaplanmış filmin iç özellikleri ve çizik test parametrelerinden (çizme hızı, kullanılan elmas kalemin özellikleri vb.) etkilenmek-

tedir. Rickerby ve Matthews (Rickerby ve Matthews, 1991) artan film kalınlığının ve sertliğin adezyonu iyileştirdiğini rapor etmiştir. Artan film kalınlığı ve sertliği ile taban malzemenin yük taşıma kapasitesi artar böylece taban malzeme deformasyonu azalır (Holmberg ve Matthews, 1994). İyi bir adezyon için, bir kaplama sisteminde net gerilmelerin önemli olduğu, bu sebeple de çeki hasar ve kırılmalarına eğilimi azaltmak için düşük bası gerilmeli filmlerin üretilmesi önerilmiştir (McPhee, 1995). Bu öneriyi destekleyen bir çalışmada, kaplanmış TiN filmlerde film kalınlığı arttıkça filmin bası gerilmelerinin azaldığı ve buna bağlı olarak kritik yükün de arttığı belirtilmiştir (Martinez vd., 2014).





**Şekil 4.** TiVN ve TiNbN filmler için çizik testi sonucu elde edilen Normal Yük-Sürtünme grafikleri ve çizik izlerinin optik mikroskop görüntüleri.

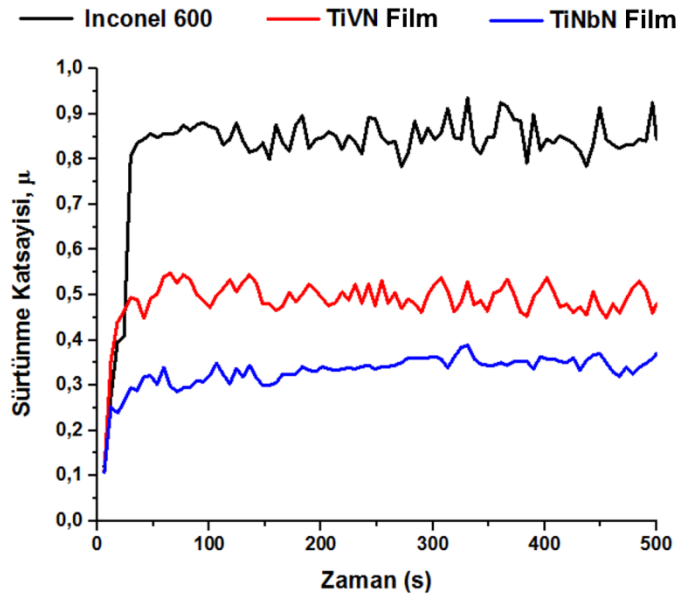
Pogrebnjak ve arkadaşları (Pogrebnjak vd., 2017) (Zr-Ti-Nb)N filmlere Cr ve Si'un eklenmesiyle filmlerin sertliğinin arttığını ve artan sertlikle birlikte adezyonun iyileştiğini rapor etmiştir. Farklı işlem parametreleriyle kaplanmış TiVN filmler için de, en yüksek

sertliğe sahip TiVN filmlerin en yüksek kritik yük değerine sahip olduğu rapor edilmiştir (Montero-Ocampo vd., 2015). Bu çalışmada da benzer bir durum TiNbN filmler için gözlemlenmiştir. TiVN filmler ile kıyaslandığında yüksek film kalınlığı ve sertliği ile

doğru orantılı olarak TiNbN filmlerin kritik yük değeri artmıştır.

TiNbN ve TiVN filmlerden çizik testi sonucu elde edilen izlerin optik mikroskop görüntüleri (Şekil 4) incelendiğinde; TiVN filmlerde düşük yüklerden (yaklaşık 15-20 N) itibaren çizik kenarlarında ve üzerinde adezyon hasarları meydana gelmiş ve artan yük ile birlikte adezyon hasarı artmıştır. TiNbN filmlerde ise yaklaşık 60 N'a kadar adezyon hasarı gözlemlenmemiştir.

Inconel 600 taban malzeme, TiVN ve TiNbN filmlerin tribolojik özellikleri normal atmosfer şartları altında aşınma testi ile belirlenmiştir. Şekil 5'te aşınma testleri sonucu elde edilen Sürtünme Katsayısı-Zaman grafiği verilmiştir. TiVN ve TiNbN filmlerin kaplanması, Inconel 600 taban malzemenin sürtünme katsayısını önemli oranda azaltmıştır. Inconel 600 taban malzeme, TiVN ve TiNbN filmler için sürtünme katsayıları Tablo 2'de verilmiştir.



**Şekil 5.** Inconel 600 taban malzeme, TiVN ve TiNbN filmler için Sürtünme Katsayısı-Zaman grafiği

Sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında, TiNbN filmlerin en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

Aşınma testi sonucu elde edilen izlerden optik profilometre kullanılarak, taban malzemenin ve filmlerin aşınma oranları (Tablo 2) tespit edilmiştir. Aşınma oranları sürtünme katsayıları ile doğru orantılı olarak değişmiştir. En yüksek sürtünme katsayısına (0,83) sahip Inconel 600 taban malzemenin en yüksek aşınma oranına ( $2,87 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ) sahip olduğu görülmüştür. TiVN ve TiNbN filmler Inconel 600 taban malzemenin aşınma oranını önemli ölçüde azaltmıştır. En düşük sürtünme katsayısına (0,34) sahip TiNbN filmler en düşük aşınma oranını ( $9,24 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ) sergilemiştir.

Renevier ve arkadaşları artan sertlik ile sürtünme katsayısının azaldığını rapor etmiştir (Renevier vd., 2000). Archard (Archard, 1953), teorik olarak bir iş parçasının aşınma oranının, parçanın sertliğinin artmasıyla azaldığını rapor etmiştir. Ehiasarian ve arkadaşları (Ehiasarian vd., 2004) düşük aşınma oranı için büyüyen filmin yapısı, sertliği ve bası gerilmeleri arasında uygun bir bileşimin gerektiğini belirtmiştir. Literatürdeki bu sonuçlara bakıldığında bu çalışmada kaplanan TiNbN filmler için düşük aşınma oranı; film yapısı (daha yüksek film kalınlığı ve düşük tane boyutu), yüksek sertlik ve iyi adezyon bileşimi ile sağlanmıştır.

Inconel 600 taban malzeme, TiVN ve TiNbN filmler için aşınma testi sonucu elde edilen

izlerin SEM ve optik mikroskop görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca aşınma izlerinden EDS analizleri sonucu elde edilen element içerikleri (% atom) Tablo 2'de verilmiştir. Aşınma izleri incelendiğinde, Inconel 600 taban malzemede önemli ölçüde abrasiv aşınma meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, aşınma esnasında yüzeyde meydana gelen oksit tabakasından kaynaklanmaktadır. EDS analiz sonuçlarına göre

Inconel 600 taban malzemenin yüzeyinde %54,65 oranında oksit tespit edilmiştir. Aşınma testi esnasında yüzeyde oluşan oksit tabakasından kopan oksit tanecikleri abrasiv aşınmaya neden olur (Wang vd., 1999). Yüzeyindeki yüksek oksit miktarından dolayı meydana gelen şiddetli abrasiv aşınma sonucu, Inconel 600 taban malzemede aşınma izinin daha geniş ve daha derin olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 2.** Inconel 600 taban malzeme, TiVN ve TiNbN filmler için sürtünme katsayıları, aşınma oranları ve aşınma izlerinden elde edilen EDS analiz (% atom) sonuçları

	Sürtünme Katsayısı, $\mu$	Aşınma Oranı ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )	% atom							
			Ti	V	Nb	N	O	Taban malzeme elementleri		
								Ni	Cr	Diğer (Fe, Mn, vs.)
<b>Inconel 600</b>	0.83	$2.87 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	54.65	37.15	5.34	2.86
<b>TiVN</b>	0.49	$5.19 \cdot 10^{-6}$	22.35	20.01	-	38.75	5.43	9.17	2.96	1.33
<b>TiNbN</b>	0.34	$9.24 \cdot 10^{-7}$	25.69	-	25.98	46.9	1.43	-	-	-

TiVN ve TiNbN filmlerde ise aşınma testi sonucunda yüzeyde çok az oranda oksit tespit edilmiştir. TiVN filmler ile kıyaslandığında, TiNbN filmlerin aşınma iz genişliğinin ve derinliğinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. TiVN filmlerde adeziv aşınma sonucu filmde incelleme meydana gelmiştir ve buna bağlı olarak EDS analizi sonucu yüzeyde taban malzeme elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. TiNbN filmlerin yüzeyinde ise daha az adeziv aşınmanın olduğu, sadece birkaç noktada mikro-burkulma ve çiziklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

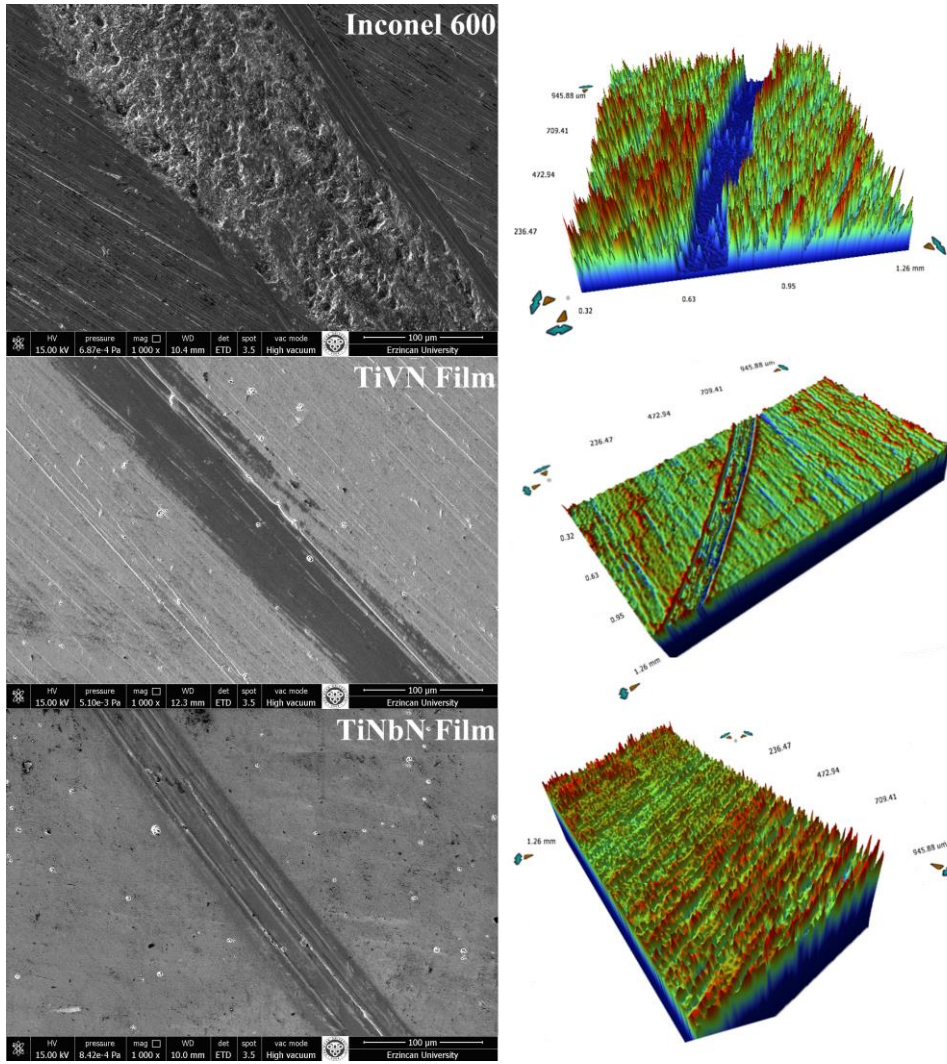
#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma yöntemi kullanılarak Inconel 600 taban malzemeler üzerine TiVN ve TiNbN filmler büyütülmüştür. TiVN ve TiNbN filmler oldukça yoğun ve kolonsal bir mikroyapı sergilemiştir. TiVN filmler için TiVN (111) fazı ve TiNbN filmler için TiNbN (111) fazı en baskın fazlardır. TiVN filmler (360 nm film kalınlığına, % 43,02 N içeriğine ve 45 nm tane boyutuna sahip) ile karşılaştırıldığında, daha yüksek film kalınlığına (400

nm) ve %N içeriğine (% 47,29), daha baskın (111) oryantasyonuna ve daha düşük tane boyutuna (35 nm) sahip TiNbN filmler daha yüksek sertlik (24 GPa) ve daha yüksek kritik yük (68 N) değeri sergilemiştir. Inconel 600 taban malzemenin (0,83 sürtünme katsayısına sahip) aşınma direncini ( $2,87 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ), her iki kaplama da önemli ölçüde artırmıştır. 18 GPa sertlik ve 62 N kritik yük değerine sahip TiVN filmlerin aşınma test sonucunda sürtünme katsayısı 0,49 ve aşınma oranı  $5,19 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  olarak elde edilmiştir. TiVN filmler ile kıyaslandığında daha yüksek sertlik ve daha iyi adezyona sahip TiNbN filmler, daha düşük sürtünme katsayısı (0,34) ve daha düşük aşınma oranı ( $9,24 \cdot 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ) ile Inconel 600 taban malzemenin tribolojik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmiştir.

#### Teşekkür

Çalışmamdaki desteği ve yardımları için Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. İhsan Efeoğlu'na teşekkür ederim.



**Şekil 6.** Inconel 600 taban malzeme, TiVN ve TiNbN filmler için aşınma testi sonucu oluşan izlerin SEM ve optik mikroskop görüntüleri

## 5. Kaynaklar

Archard, J.F., 1953. Contact and Rubbing of Flat Surfaces. *Journal of Applied Physics*, 24, (8), 981-988.

Baker, M.A., Kench, P.J., Joseph, M.C., Tsotsos, C., Leyland, A., A., M., 2003. The nanostructure and mechanical properties of PVD CrCu (N) coatings. *Surface and Coatings Technology*, 162, (2-3), 222-227.

Bunshah, R.F., 2001. *Handbook of Hard Coatings: Deposition Technologies, Properties and Applications USA*, 560, William Andrew. USA.

Chou, W.J., Yu, G.P., Huang, J.H., 2001. Deposition of TiN thin films on Si(100) by HCD ion plating. *Surface and Coatings Technology*, 140, 206-214.

Ehiasarian, A.P., Hovsepian, P.E., Hultman, L., Helmersson, U., 2004. Comparison of microstructure and mechanical properties of chromium nitride-based coatings deposited by high power impulse magnetron sputtering and by the combined steered cathodic arc/unbalanced magnetron technique. *Thin Solid Films*, 457, (2), 270-277.

Gonczy, S.T., Randall, N., 2005. An ASTM Standard for Quantitative Scratch

- Adhesion Testing of Thin, Hard Ceramic Coatings. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2, (5), 422-428.
- Hedenquist, P., Olsson, M., Jacobson, S., Soderberg, S., 1990. Failure mode analysis of TiN-coated high speed steel: In situ scratch adhesion testing in the scanning electron microscope. *Surface and Coatings Technology*, 41, (1), 31-49.
- Holmberg, K., Matthews, A., 1994. *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. Amsterdam, 576, Elsevier Science. Amsterdam.
- Lin, Y.-W., Huang, J.-H., Yu, G.-P., 2010. Effect of nitrogen flow rate on properties of nanostructured TiZrN thin films produced by radio frequency magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 518, (24), 7308-7311.
- Makuch, N., Kulka, M., 2014. Microstructural characterization and some mechanical properties of gas-borided Inconel 600-alloy. *Applied Surface Science*, 314, 1007-1018.
- Martinez, G., Shutthanandan, V., Thevuthasan, S., Chessa, J.F., Ramana, C.V., 2014. Effect of thickness on the structure, composition and properties of titanium nitride nano-coatings. *Ceramics International*, 40, (4), 5757-5764.
- McPhee, M.A., 1995. Studies of the design and selection of coating systems for the optimised performance of HSS Drills. PhD University of South Australia.
- Mindivan, F., Mindivan, H., 2013. Comparisons of Wear Performance of Hardened Inconel 600 by Different Nitriding Processes. *Procedia Engineering*, 68, 730-735.
- Mittal, K.L., 1976. Adhesion Measurement Of Thin Films. *Electrocomponent Science and Technology*, 3, 21-42.
- Miyamura, A., Yamaguchi, M., Hattori, K., Sato, Y., Nakamura, S., Shigesato, Y., 2007. Ti-Al-Si-N films for superhard coatings deposited by reactive cosputtering using Ti, Al, and Si targets. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 25, (4), 1103-1107.
- Montero-Ocampo, C., Ramírez-Ceja, E.A., Hidalgo-Badillo, J.A., 2015. Effect of codeposition parameters on the hardness and adhesion of TiVN coatings. *Ceramics International*, 41, (9), 11013-11023.
- Oh, U.C., Je, J.H., 1993. Effects of strain energy on the preferred orientation of TiN thin films. *Journal of Applied Physics*, 74, (3), 1692-1696.
- Öztürk, A., Ezirmik, K.V., Kazmanlı, K., Ürgen, M., Eryılmaz, O.L., Erdemir, A., 2008. Comparative tribological behaviors of TiN, CrN and MoNCu nanocomposite coatings. *Tribology International*, 41, (1), 49-59.
- Pan, W.L., Yu, G.P., Huang, J.H., 1998. Mechanical properties of ion-plated TiN films on AISI D2 steel. *Surface and Coatings Technology*, 110, 111-119.
- Petch, N.J., 1953. The cleavage strength of polycrystals. *J. Iron Steel Inst.*, 173.
- Petrov, I., Losbichler, P., Bergstrom, D., Greene, J.E., Münz, W.D., Hurkmans, T., Trinh, T., 1997. Ion-assisted growth of  $Ti_{1-x}Al_xN/Ti_{1-y}Nb_yN$  multilayers by combined cathodic-arc/magnetron-sputter deposition. *Thin Solid Films*, 302, 179-192.
- Pogrebnyak, A.D., Bagdasaryan, A.A., Beresnev, V.M., Nyemchenko, U.S., Ivashchenko, V.I., Kravchenko, Y.O.,

- Shaimardanov, Z.K., Plotnikov, S.V., Maksakova, O., 2017. The effects of Cr and Si additions and deposition conditions on the structure and properties of the (Zr-Ti-Nb)N coatings. *Ceramics International*, 43, (1), 771-782.
- Renevier, R.M., Lobiondo, N., Fox, V.C., Teer, D.G., Hampshire, J., 2000. Performance of MoS<sub>2</sub>/metal composite coatings used for dry machining and other industrial applications. *Surface and Coatings Technology*, 123, (1), 84-91.
- Rickerby, D.S., Matthews, A., 1991. *Advanced Surface Coatings A Handbook Of Surface Engineering*. Glasgow and London, England, 368, Blackie & Son Limited. Glasgow and London, England.
- Söderberg, H., Odén, M., Molina-Aldareguia, J.M., Hultman, L., 2005. Nanostructure formation during deposition of TiN/SiNx nanomultilayer films by reactive dual magnetron sputtering. *Journal of Applied Physics*, 97, (11), 114327.
- Sundgren, J.E., 1985. Structure and properties of TiN coatings. *Thin Solid Films*, 128, (1-2), 21-44.
- Teer, D.G., 1996. Magnetron sputter ion plating *Journal*, US5556519 A.
- Tsai, D.-C., Huang, Y.-L., Lin, S.-R., Liang, S.-C., Shieu, F.-S., 2010. Effect of nitrogen flow ratios on the structure and mechanical properties of (TiVCrZrY)N coatings prepared by reactive magnetron sputtering. *Applied Surface Science*, 257, (4), 1361-1367.
- Wang, D.Y., Chang, C.L., Ho, W.Y., 1999. Microstructure analysis of MoS<sub>2</sub> deposited on diamond-like carbon films for wear improvement *Surface and Coatings Technology*, 111, (2-3), 123 - 127.
- Wu, W.-Y., Su, A., Liu, Y., Yeh, C.-M., Chen, W.-C., Chang, C.-L., 2016. Effect of DC input power and nitrogen ratio on the deposition of Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N thin films using high power impulse magnetron sputtering technique. *Surface and Coatings Technology*, 303, 48-53.

## Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar

Hasan KORKMAZ<sup>1\*</sup>, Alper DURMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 55200, Atakum/Samsun

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 55200, Atakum/Samsun

Geliş tarihi/Received 21.03.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 08.06.2017

Kabul tarihi/Accepted 16.06.2017

### Öz

Bitkiler hayatta kalabilmek için, çevresel faktörlerin uygun değerler dışındaki etkilerini, stres olarak algulamakta ve metabolizmalarında uygun fizyolojik cevaplar oluşturmaktadır. Stresin geri dönüşümlü (elastik) ya da dönüşümsüz (plastik) etkileri türden türe değişirken, geliştirilen cevaplar da türlere göre değişmektedir. Bu çalışmada bitkiler için genel bir stres etkisi tanımlanması yapıldıktan sonra, birçok abiyotik stres faktörlerine karşı farklı bitki gruplarında geliştirilen stres cevaplarını açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bitki, Ekofizyoloji, Stres Cevapları

## Responses of Plants to Abiotic Stress Factors

### Abstract

In order to survive, plants perceive the effects of environmental factors outside of optimal values as stress, and create appropriate physiological responses in their metabolism against to stress. While reversible (elastic) or irreversible (plastic) effects of stress vary from species to species, the responses that generated also vary according to species. In this study, after describing a general stress effect for plants, stress responses developed in different plant groups against many abiotic stress factors are explained.

**Keywords:** Ecophysiology, Plant, Stress Responses

### 1. Giriş

Canlıların, en uygun sınırlar dışındaki çevresel faktörlere, nasıl cevap oluşturmalarının açıklığa kavuşturulması, ekofizyolojinin bir alt bölümü olan stres ekolojisinin temel araştırma alanını oluşturur. Bitkilerin stres fizyolojilerinin araştırılması, biyocoğrafik bakımdan türlerin yayılış alan sınırlarını anlamamıza, kültür bitkilerinin verimliliğinin artırılması çalışmalarına ve bitki metabolizması hakkındaki bilgilere katkı sağlar. Nitekim kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklıklar, kimyasal toksisite ve oksidatif stres gibi

abiyotik stresler tarımsal faaliyetlerin sekteye uğramasına ve çevrenin bozulmasına neden olan ciddi tehditlerdir. Örneğin, abiyotik stres, dünya çapında bitkisel verim kaybının birincil nedeni olup, en fazla ürün elde edilen kültür bitkilerindeki ortalama ürün verimini % 50'den fazla azaltmaktadır (Wang vd., 2004). Bitkilerin biyotik ve abiyotik strese nasıl tepki verdiği ve stresin bitki yaşam döngüsündeki gelişim süreçlerinde nasıl etkiler oluşturduğuna ilişkin birikmiş veriler, konu hakkında yeni yaklaşımların gelişmesini sağlamıştır

\* Hasan KORKMAZ, hasank@omu.edu.tr, Tel: (0362) 312 19 19-5432

(Wasternack, 2007). Bu çalışmada daha çok doğal türler üzerine yapılmış araştırmalara yer verilerek, bitkilerin bazı abiyotik stres etkilerine karşı geliştirmiş oldukları metabolik cevaplar açıklanmıştır.

## 2. Stres Nedir?

Abiyotik çevresel faktörlerin hangi boyutlarda stres olarak kabul edileceği, türden türe değişmesi nedeniyle, kavramın tanımlanmasında bazı güçlükler söz konusudur. Levitt (1980) biyolojik anlamdaki stres kavramının, fizik biliminden türetilmiş bir tanımını önermiştir. Buna göre fiziksel stres, herhangi bir nesneye (söz gelimi çelik bir çubuğa) uygulanan kuvvettir. Gerilim ise nesnenin ebatlarında oluşan değişimdir (örneğin bükülme) ve bu değişim stres nedeniyle oluşmuştur. Buna göre ekolojik stresi; bitki doğal yaşam alanı içinde metabolik iç dengeyi değiştiren veya bozan, büyüme durumundaki herhangi bir değişiklik olarak tanımlamak mümkündür (Shulaeva vd., 2008).

Doğal olarak canlı birey üzerinde, stres sonucu oluşan biyolojik gerilimlerin de görülmesi beklenir. Burada biyolojik gerilim olarak ifade edilen, bitki metabolizması ve morfolojisinde görülen değişme ve büyümedeki azalmadır. Buna göre bitki yaşama ortamındaki faktörlere karşı maksimum düzeyde cevap verebiliyorsa, çevresel faktörler tarafından stres boyutunda etkilenmeye başlamamış demektir. Tersine faktörlerde en uygun değerlerin dışında oluşan değişimler, gerilim sonucu bitkinin cevap verme düzeyinde değişimlere neden olursa, bu durum stres olarak nitelendirilir (Salisbury ve Ross, 1992). Abiyotik stres, kompleks çevresel şartların neden olduğu bir çok stresleri, örneğin kuvvetli ışık, ultraviyole, yüksek ve düşük sıcaklık, donma, kuraklık, tuzluluk, ağır metaller ve yetersiz oksijen gibi faktörleri kapsayan durumdur (Hirayama ve Shinoza, 2010).

Bitkilerin abiyotik strese karşı tepkilerini anlamak, bitki araştırmalarında önemli ve zorlayıcı bir konudur (Hirayama ve Shinoza, 2010). Çünkü bitkilerin strese olan cevabı

stresin yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değişen dinamik bir süreçtir (Kosová vd., 2011). Abiyotik streslere karşı tolerans oluşumu ise tüm organizma ve hücresele seviyelerde oldukça karmaşıktır (Ashraf ve Foolad, 2007). Çünkü bitkiler üzerindeki stres faktörlerinin derecesi ve bitkilerin bu etkenlere karşı geliştirdiği cevaplar, bitki yaşamında değişik boyutlarda, iç içe faktörler ve cevaplar olarak ortaya çıkar. Örneğin; soğuk stresi, mevsimlik olmasına rağmen, kuraklık stresiyle benzerlik taşır; çünkü su donduğunda içinde çözünmüş madde miktarının konsantrasyonu artar ve bu nedenle bitkilerde su kıtlığı oluşur (Ashraf ve Foolad, 2007). Bundan dolayı konunun daha iyi anlaşılması için, abiyotik stres faktörlerini ve bitkilerin geliştirdikleri cevapları, mümkün olduğunca kategorize ederek açıklamak gerekir. Buna göre bitkiler abiyotik stres etkisine karşı, genel olarak dört aşamalı bir cevap oluştururlar: 1- Başlangıç alarm evresi, 2- Aklimasyon evresi, 3- Onarım evresi ve 4- Tükenme evresi (Kosová vd., 2011) (Şekil 1).

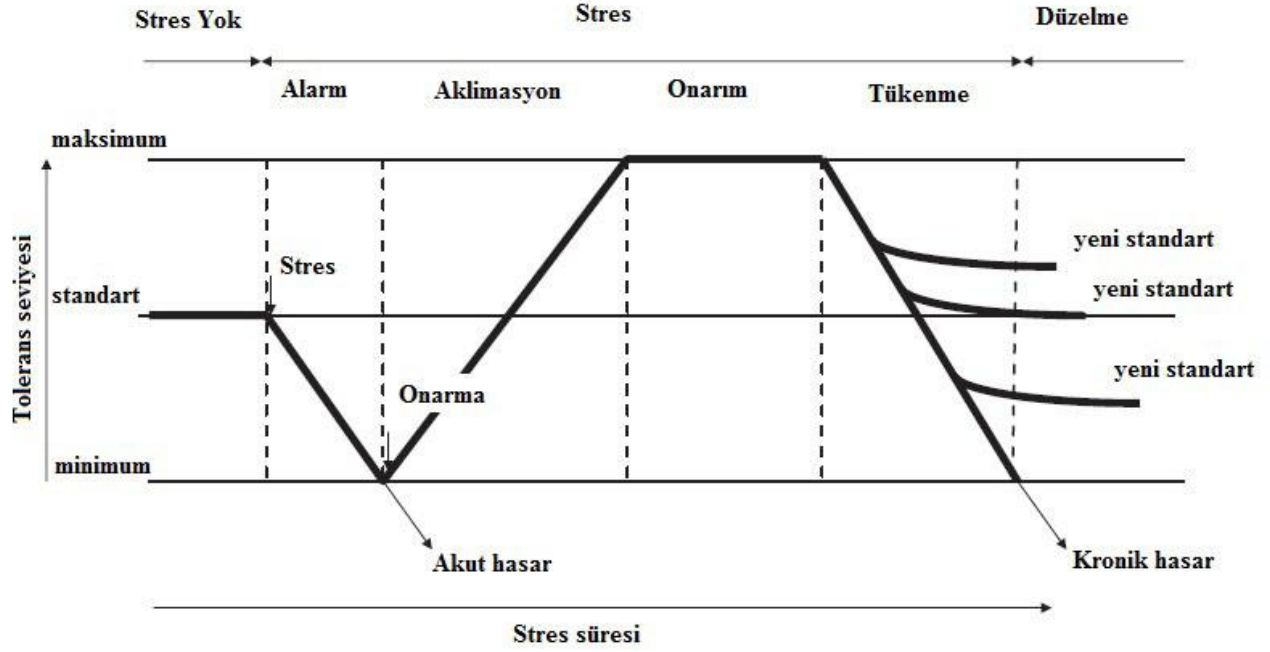
## 3. Kuraklık Stresi

Bitkiler tarafından geri dönüşümlü (reversible=elastik) veya geri dönüşümsüz (irreversible=plastik) cevaplar oluşturan stres etkenleri, suyun yaşama ortamında kıt olması (fiziksel kuraklık) veya donma ve mineral eksikliği ya da fazlalığı nedeniyle (Greenway ve Munns, 1980) bitki tarafından yeteri kadar alınmamasından (fizyolojik kuraklık) kaynaklanabilir. Her iki kuraklık tipinin bitki fizyolojisi bakımından ortak özelliği, sitoplazmada “negatif su potansiyeli” görülmesidir.

### 3.1. Fiziksel Kuraklık (Su Kıtlığı)

Yaşama ortamında suyun kıtlaşmasına bağlı protoplazmada oluşan negatif su potansiyeli nedeniyle meydana gelen stres olup, su kıtlığı stres toleransı hemen hemen tüm bitki türlerinde görülmekle birlikte, miktarı türden türe çeşitlilik gösterir (Abdul Jaleel vd., 2007). Nitekim böylesi durumlara kserofitik ve mezofitik bitkiler, farklı stres cevaplarıyla adaptasyon sağlayarak başarılı olurlar.





Şekil 1. Abiyotik stres faktörlerine karşı bitki cevaplarının genel dinamikleri (Kosová vd., 2011).

### 3.1.1. Kserofitlerde Su Kıtılığı Stresi

Çöller ve stepler gibi su miktarının sürekli ya da dönemsel olarak çok düşük olduğu ortamlarda, stres cevapları (adaptasyonlar) geliştirmiş kserofit türler, yetersiz su stresine karşı **sakınma**, **kaçma**, **direnç** ve **katlanma** şeklinde, 4 farklı tip cevap geliştirmişlerdir (Levitt, 1980) (Tablo 1).

Çöllerde yaşayan ve su kıtlığı stresine “sakınma” tarzında cevap geliştirmiş

kserofitler, gerçekte geniş bir aralıktaki protoplazmik su potansiyeline sahiptirler. Sözgelimi palmiyeler vahalarda yaşadıklarından, kökleri topraktaki su tabakasına rahatlıkla ulaşır. Nitekim *Prosopis glandulosa* Torr. (Fabaceae) ve *Medicago sativa* L. (Fabaceae) gibi, köklerini toprağın 7-10 m. derinliklerine kadar uzatabilen bitkiler, hiçbir zaman hücrelerinde “negatif su potansiyeli” yaşamazlar. Aksine bol miktarda su kullanabildikleri için “su harcamacıları” olarak da adlandırılırlar.

Tablo 1. Kserofit bitkilerin bazı yazarlar tarafından su kıtlığı stresine verdikleri cevaplara göre gruplandırılması (Salisbury ve Ross, 1992).

Bitki dokularının durumu				
Su stresi yok ya da çok az		Orta dereceli su stresi		Ekstrem su stresi
<b>Kuraklıktan kaçınanlar</b> Tek yıllık çöl bitkileri (efemeraller)	<b>Su harcamacıları</b> (derin kazık kök) <i>Medicago sativa</i> , Palmiyeler	<b>Su biriktirenler</b> (Sukkulentler; CAM metabolizmaları, yüzeysel kök sistemi, tuz salgılanması ve çiğ absorpsiyonu) Kaktüsler	<b>Su koruyucuları</b> (Suyu korumak için adaptasyonlar; küçük yapraklar, batık stomalar, tüylü oluş, yapraklarını dökme, protoplazmik çözeltiler: ozmoregülasyon) Bir çok kserofit bitki grubu.	<b>Dehidrasyona toleranslı</b> (Eukserofitler) tohumlar, bazı yosunlar, likenler, <i>Larrea divaricata</i>
Levitt'e göre;	Direnc Gösterenler			Tolerans Gösterenler
Shantz'a göre	Kaçınanlar	Sakınanlar	Direnenler	Katlanınanlar.
Daubenmair'e göre	Tek yıllıklar	Sukkulent olmayan çok yıllıklar	Sukkulent olanlar	

Yetersiz su durumunda ise, köklerini su tabakasına kadar uzatarak, “sakınma” tarzında bir cevap geliştirmişlerdir. Nitekim Terzi ve Kadioğlu (2006) *Ctenanthe setosa* (Rosc.) Eichler (Marantaceae) üzerinde yaptıkları bir araştırmada, kuraklık stresi boyunca bitkideki bağıl su içeriği azalırken, kök/sürgün oranında bir artışın olduğunu bildirmişlerdir.

Kserofit efemeraller ise, metabolizmaları oldukça farklı, tek yıllık, kısa ömürlü, geniş bir bitki grubu olup, kurak sezon boyunca tohum halinde kalarak, su kıtlığından “kaçan” bitkilerdir. Tohumları, yağmurlarla toprağın ıslandığı dönemlerde çimlenir ve topraktaki nem kaybolmadan çiçek, meyve ve tohumlarını oluşturarak, vejetasyon devrelerini kısa sürede tamamlarlar. Böylece çöllerde yaşamalarına rağmen, protoplazmalarında “negatif su potansiyeli” oluşmasına neden olabilecek, kurak dönemlerden “kaçarlar”(Salisbury ve Ross, 1992).

Kuraklığa “direnc” şeklinde cevap geliştiren bitkilere, kaktüsler gibi dokularında su depo edip, su kayıplarını ileri derecede azaltmış ve “krassulik asit metabolizmasına” (CAM) sahip, sukkulent bitkileri örnek verebiliriz. Örneğin *Agave americana* L. (Agavaceae) oldukça kalın kutikulasının yanında, stomalarını gündüz kapalı tutarak, sıcak ve kurak periyottaki su kaybını önler. Bir çöl sukkulenti olan *Ibervillea sonora* (S. Watson) Greene (Cucurbitaceae)’nin, herbaryumdaki bir örneğinin, 8 yılda ancak 7.5 kg’dan 3.5 kg’a düştüğü, bu süreçte bitki protoplazmasında aşırı negatif su potansiyelinin oluşmadığı ve dokularındaki su potansiyelinin -1.0 MPa (Mega Pascal: Bitki hücresinin su potansiyel= osmotik basınç değeri ve buna bağlı oluşan su çekim gücü) civarında seyrettiği belirlenmiştir (Salisbury ve Ross, 1992). Bazı kaktüsler ise “geniş yüzeyel kök sistemine” sahip olup, toprak yüzey nemini yağıştan hemen sonra toplayarak, sukkulent dokularında depolayabilir ve böylece kuraklık stresine karşı “direnirler”.

Periyodik olarak kuraklığa maruz kalan bazı türler ise, suyun yeterli potansiyele ulaştığı dönemlerde, gün boyu stomalarını açarak, krassulik asit metabolizmasından “C<sub>3</sub>

fotosentezine” dönerler. Örneğin; *Clusia rosea* Jacq. (Clusiaceae) yağmur ormanlarında, yaşamına epifit olarak başlayan bir ağaçtır. Yağmurlu sezonlar arasındaki kurak dönemlerde, özellikle genç epifitler hava kökleri henüz yeterince gelişmediğinden su kıtlığı stresine maruz kalırlar. Bu dönemlerde bitkiler, hızla azalan nem oranına cevap olarak, C<sub>3</sub> yolundan CAM fotosentezine dönerler (Levitt, 1980).

Su kıtlığı stresine karşı “katlanma” tarzında cevap geliştirilmiş olan eukserofitler, protoplazmalarından aşırı su kaybetmelerine ve aşırı derecede negatif su potansiyeline maruz kalmalarına rağmen, dehidrasyon etkisine karşı tolerans gösterdikleri için ölmezler. Çünkü bazı kserofitik adaptasyonlara da sahip olmalarının yanında, diğerlerinden farklı olarak, aşırı negatif su potansiyeline düştüklerinde bile protoplazmaları canlılığını korur. Örneğin birçok kserofit tür için bile protoplazma su potansiyelinin %75-50’nin altına düşmesi öldürücü olurken, *Larrea divaricata* Cav. (Zygophyllaceae), protoplazmasındaki su potansiyeli %30 seviyesine kadar inmesine rağmen canlılığını koruyabilmektedir. Bunun yanında bir çok yosun ve eğrelti türü de eukserofit gruba dahil olup, su kıtlığı stresine “katlanma” şeklinde cevap geliştirmişlerdir (Örnek *Selaginella lepidophylla* (Hook. & Grev.) Spring) (Levitt, 1980).

### 3.1.2. Mezofitlerde Su Kıtlığı Stresi

Kserofitlere göre daha nemli habitatları tercih eden mezofitler de, su kıtlığı stresine karşı birçok cevap geliştirmişlerdir. Sözelimi; hücre büyümesindeki azalma, mezofitlerin su stresine karşı geliştirdikleri en duyarlı cevaptır. Dış su potansiyelinin -0.1 MPa veya daha az olması bile, mezofitlerin hücre büyümesini anlamlı oranda azaltmaktadır. Bu durumda geri dönüşümsüz hücre daralmaları ve buna bağlı sürgün ve kök büyümelerinde azalmalar görülür (Neumann vd., 1988; Sakurai vd., 1988). Hücre büyümesindeki azalmaya bağlı olarak, polisakkarit ve proteinlerin sentezindeki azalma nedeniyle, hücre duvarı sentezinde de bir azalma olur (Acevedo vd.,1971).

Yapılan laboratuvar çalışmalarında, negatif su potansiyelinin -0.3 ile -0.8 MPa (Mega Pascal) aralığında olduğu durumlar, ılımlı olarak kabul edilmiş ise de, -0.3 MPa dan itibaren, hücre metabolizmasında doğrudan veya dolaylı içsel cevapların oluşmaya başladığı görülmüştür. Sözgelimi bazı türlerde, negatif su potansiyelinin bu aralıktaki olduğu durumlarda, hücre bölünmesini teşvik eden ve bitki büyümesine katkı sağlayan sitokinin hormonunun, yapraklardaki miktarında azalmalar görülmektedir. Daha fazla negatif su potansiyellerinde ise, hücre protoplazmasında prolin amino asidinin ani bir artış gösterdiği, hatta bazı zamanlarda doku kuru ağırlığının %1'ini oluşturduğu belirlenmiştir (Salisbury ve Ross, 1992). Nitekim; Ayaz vd. (2000) *Ctenanthe setosa* üzerinde yaptıkları bir araştırmada, yapraklardaki fenolik asit artışının, su stresi ile uyarılan amino asit sentezinin artan seviyesine bağlı olabileceğini bildirilmişlerdir. Ayrıca türlere göre değişmekle birlikte, negatif su stresinin uzaması durumunda amino asit ve amidlerden özellikle betain'in, hücre protoplazmasında arttığı gözlenmiştir. Bu bileşiklerin ozmoregülatör gibi davranarak, hücre içi ozmotik basıncı artırıp su alınmasını kolaylaştırdıkları belirlenmiştir.

Mezofitlerin fazla negatif su potansiyeline maruz kalmaları, protoklorofil sentezlerinde inhibisyona neden olur. Nitekim Terzi ve Kadioğlu (2006) kuraklık stresinin erken döneminde, klorofil ve karotenoid içeriği ile klorofil stabilite indeksi azalırken, sonraki dönemlerde bu değerlerin arttığını bildirmişlerdir. Bunun yanında, su kıtlığı stresinin artmasına bağlı olarak özellikle fenilalanin, amino ligaz ve diğer bazı enzimlerin sentezi azalırken; alfa amilaz ve ribonükleaz enzimlerinin aktivitesinin arttığını da bildirmişlerdir. Bu durumda hidrolitik enzimlerin nişasta ve diğer bileşikleri yıkarak, protoplazmadaki ozmotik potansiyeli, daha negatif hale getirdikleri ve bir çeşit ozmoregülasyonla su kıtlığına direndikleri düşünülmektedir. Mezofitlerde su kıtlığı etkisiyle nitrojen redüktaz enziminin etkinliğindeki düşüşe bağlı olarak, nitrojen fiksasyonu ve redüksiyonu da azalmakta, hatta enzim aktivitesindeki düşüşler sonucu,

hücre bölünmesinin bile inhibe edildiği bildirilmiştir (Salisbury ve Ross, 1992). Bunun yanında kuraklık stresine maruz kalan *Ctenanthe setosa*'nın fotosentetik pigment içeriğindeki değişim süreçlerinin tersine, lipid peroksidasyonunun önceleri artarken, kuraklığın sonraki dönemlerinde düştüğü bildirilmiştir (Terzi ve Kadioğlu, 2006).

Mezofitlerde, su kıtlığı stresine karşı geliştirilen yaygın bir cevap, stomaların kapanması ve böylece transpirasyon ve fotosentezin azaltılmasıdır. Fotosentezde görülen bu düşüşün, yalnızca su kıtlığına uyabilmek için stomaların kapanmasından dolayı mı, yoksa su kıtlığı stresine bir cevap olarak mı gerçekleştirildiği tartışmalıdır (Kaiser, 1987). Nitekim hafifletilmiş su stresine maruz kalmış mezofit bitkilerin, protoplazmalarındaki karbondioksit konsantrasyonunun yüksek düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum CO<sub>2</sub> tüketiminin azalmasına bağlıdır ve fotosentezin kendisinin inhibe edildiğini gösterir. Genel olarak mezofitlerde, bir takım fotosentez enzimleri ve diğer metabolik aktiviteler, su kıtlığı stresinden direkt olarak etkilenmektedir (Vu ve Yelenosky, 1988) (Tablo 2). Nitekim, kuraklık stresine karşı geliştirilen cevapların, yaprak kıvrılması gibi anatomik ve morfolojik değişimlerin yanında, antioksidant enzim sistemi ile de yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir (Terzi ve Kadioğlu, 2006).

Kserofitlerin genellikle geri dönüşümsüz adaptif cevaplar geliştirmiş olmalarına karşın mezofitler, su kıtlığı stresi karşısında hormonal geri dönüşümlü cevaplar geliştirmişlerdir. Yaygın görülen geri dönüşümlü cevaplardan birisi absisik asit (ABA) metabolizmasında gözlenmektedir. Nitekim, su kıtlığı stresine maruz kalmış mezofitlerin yaprak dokularında, ABA miktarının normalden 40 kat fazla olduğu ve bu değişimin kökler ve diğer dokularda daha az düzeyde olduğu belirlenmiştir. ABA'nın yapraklardaki artışı stomaların kapanarak transpirasyonun ve sürgün gelişiminin azalmasına neden olur. Bunun yanında absisik asidin düşük konsantrasyonları, köklerden alınan suyun artmasına ve böylece sürgünlerdeki su stresinin azalmasını

**Tablo 2.** Mezofit bitkilerin bazı metabolik özelliklerinin su stresine olan duyarlılık dereceleri (Hsiao, 1973)

Metabolizma tipi	Su stresine olan duyarlılık			Yorum
	Çok duyarlı		Az-çok duyarsız	
	Su stresi derecesi			
	0MPa	-1MPa	-2MPa	
Hücre büyümesi	_____			Doku gelişimi hızlı
Hücre duvar sentezi	_____			Doku gelişimi hızlı
Protein sentezi	_____			Etiole yapraklar
Protoklorofil sentezi	_____			
Nitrat redüktaz	_____			
ABA birikimi	_____			
Sitokinin seviyesi	_____			
Stoma açılması	_____			Türe göre değişir
CO <sub>2</sub> asimilasyonu	_____			Türe göre değişir
Solunum	_____			
Prolin birikimi	_____			
Şeker birikimi	_____			

sağladığı da görülmüştür (Kriedemann ve Loveys, 1974).

Su kıtlığı stresine karşı oluşan ABA artışının, düşük turgor tarafından tetiklendiği düşünülmele birlikte, genel bir stres hormonu olan ABA'nın besin eksikliği veya toksitesi, tuzluluk, soğuk, su altında kalma gibi stres etkilerinde de yapraklarda arttığı gözlenmiştir. (Walton, 1980; Salisbury, ve Marinos, 1985). ABA tüm stres durumlarında, büyüme ve metabolizmayı azaltıcı etki yaparak, kaynakların korunmasını sağlamakta, böylece stres kalktığında oranı düşerek, metabolizmanın normale gelmesi sağlanmaktadır (geri dönüşümlü). Bunun yanında bitkilerde hava kirliliği, kök budanması, bitki patojenleri, transplantasyon ve kuraklık gibi stres faktörleri etkisiyle etilen üretiminin arttığı da gözlenmiştir (Jacksons, 1985).

Özellikle mezofitik bitkilerin negatif su stresleri -1.0 ila -2.0 MPa ya kadar olduğu dönemlerde sulanırsa, eski durumlarına döndükleri görülmüştür. Bu durum, su kıtlığı stresinin şiddetine rağmen, oluşturulan bazı cevapların geri dönüşümlü olduğunu gösterir.

### 3.2. Fizyolojik Kuraklık

Şiddetli soğuk bitki üzerinde doğrudan etkiyle fiziksel tahribat yaptığı gibi, topraktaki suyun

donmasına neden olarak bitki tarafından suyun alınamamasına da yol açar. Tuzlulukta ise çözünmeyle ayrışan moleküllerin iyonlarında su molekülleri tutularak, toprakta yüksek osmotik basınç oluşur ve su alınmadığı için, bitki her iki durumda da fizyolojik kuraklık stresine maruz kalır.

### 3.3. Ozmotik Düzenleme (Osmoregülasyon) ve Ozmotik Düzenleyiciler (Osmoregülatörler)

Bir çok farklı stres faktörlerine karşı bitkiler tarafında üretilen osmoregülatörlerin, hücre içindeki konsantrasyonu tuz oranı, su kıtlığının derecesi ve soğğun stres derecesine bağlıdır. Burada dikkati çeken halofit, kserofit ve mezofit bitkilerdeki osmoregülasyon mekanizmasının benzer olmasıdır (Flowers vd., 1977; Turner ve Madelaine, 1980; Jefferies, 1981) (Tablo 3). Sözgelimi prolin birikimi, sıcaklık, kuraklık ve açlık gibi streslere karşı tolerans parametresi olarak kullanılmaktadır (Abdul Jaleel vd., 2007). Bitkiler yüksek tuz konsantrasyonundan kaynaklanan, fizyolojik kuraklık stresine karşı, hücrelerinde prolin ve betain gibi proteinler ve çeşitli karbonhidrat kökenli osmoregülatörler üretilir, hücre içi ozmotik basıncını yükselterek cevap verirler (osmoregülasyon). Örneğin glisin betain maddelerinin birçok tarım bitkisinde tuzluluk stresine tepki olarak biriktirildiği

bilinmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007; Abdul Jaleel vd., 2007). Çünkü hemen tüm ökaryotlarda  $\text{NaCl}_2$  gibi tuzlar, enzimlerin yapısını bozduğundan, sitoplazma tolerans gösteremez. Buna karşın bitkiler, hücre içi ozmotik değerlerini yükseltmek için, yüksek oranda bulduklarında bile sitoplazmadaki enzimlerinin yapısını bozmayan, birçok ozmoregülatör organik madde üretirler.

### 3.4. Tuz Stresi

Toprak tuzluluğu, bitkisel tarımda dünya çapında görülen bir abiyotik stres kaynağıdır ve bu nedenle tarımsal bitkilerin verimini iyileştirmek amacıyla, onların tuz toleransı üzerine araştırmalar sürdürülmektedir (Zhu, 2001). Çöl, step ve diğer bölgelerdeki yaygın stres faktörlerinden birisi de, fizyolojik kuraklığa neden olarak büyümeyi sınırlayan, topraktaki yüksek tuz konsantrasyonudur. Çünkü bitki tuzlu topraklarda, negatif ozmotik potansiyel nedeniyle su elde etmenin zorluğu yanında, yüksek konsantrasyondaki sodyum, karbonat ve klorid iyonları ile temas etmek gibi, iki önemli stres etkisinde kalır.

“Euhalofit” bitkilerin yüksek konsantrasyondaki tuza “tolerans” ve “direnme” tarzında geliştirdikleri cevaplar oldukça ilginçtir. Ayrıca bu gruba dahil bitkilerin en iyi büyümelerini, tuz seviyesinin çok yüksek olduğu çöl veya deniz kıyısı ile tuzlu göllerde yaptıkları görülmüştür. Çünkü halofitler tuz stresine maruz kaldığında; tuzlanmanın zararlı

etkilerden korunmak için, bitki metabolizmasında bazı reaksiyonların gelişmesini başlatır. Örneğin sitoplazmadaki enzimlerin yapısını bozabilecek tuzlar, enerji harcanarak vakuole pompalandığından, bitki metabolizmasının “aktivasyonu” ve “verimliliği” artar. Ilımlı ortamlardaki halofitlerde böyle bir aktivasyon oluşmadığından, halofitlerin toplam verimlilikleri düşük olup, diğer türlerle rekabeti kaybederler (Flowers vd., 1977).

*Atriplex triangularis* Willd. (Chenopodiaceae) gibi “tuz biriktirici” (toplayıcılar) halofitler, tuz stresine karşı, hücre ozmotik potansiyelini negatif tutabilmek için, bünyelerinden ürettikleri tuzu, protoplazmalarında biriktirerek cevap verirler (Ungar, 1977). *Juncus acutus* L. subsp. *acutus* (Juncaceae) ise ortamda  $\text{NaCl}_2$  konsantrasyonunun arttığı dönemlerde, hücre ozmotik potansiyelini negatif tutabilmek için, yapraklarında  $\text{Mg}^+$  ve  $\text{Ca}^+$  iyonları biriktirerek cevap oluşturabildiği için (Boscaiu vd., 2011) hem tuzcul hem de EC değeri düşük alanlarda yayılabilmektedir.

*Mesembryanthemum crystallinum* L. (Aizoaceae) gibi sukkulentler ise tuz stresine karşı, dokularına tuz alarak cevap verirler. Böylece hacim/yüzey oranları çok yüksek olduğundan, yapraklar ve diğer dokularına su alarak şişerler (Flowers vd., 1977). Tuzlu ortam stresine karşı geliştirilen bir diğer cevap; suyun tuzlu bataklıktan alındığı mangrov ormanlarındaki birçok bitki türü tarafından kullanılan “hızlı büyümedir”.

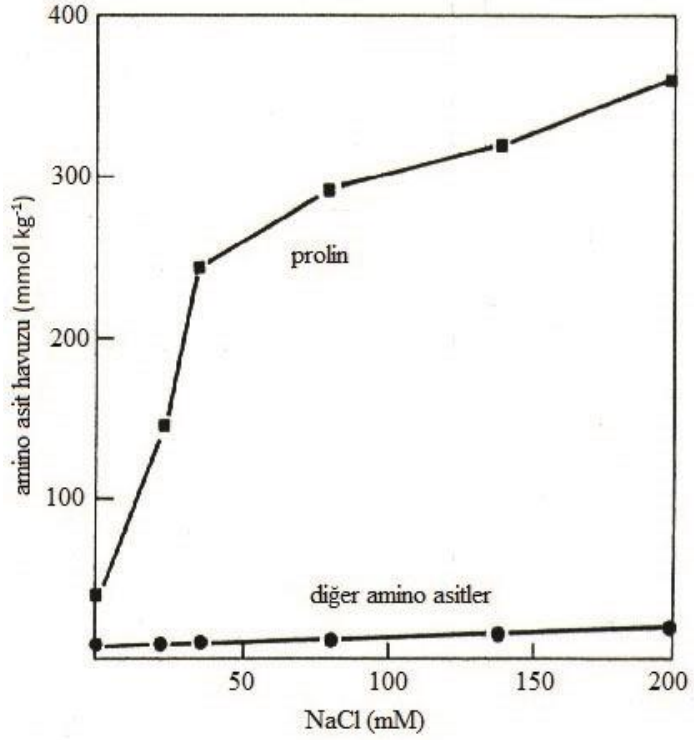
**Tablo 3.** Çeşitli canlı gruplarında görülen ozmoregülatörler (Flowers vd., 1977)

Canlı Grubu		Ozmoregülatörler
Bakteriler	Halofiller ve Halofil olmayanlar: <i>Klebsiella</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Streptococcus</i>	Amino asit (prolin, glutamat, vs.)
	<i>Halobacterium salinarum</i> Harrison et Kenedy (ozmotik düzenlenme yok ve halofil bir Archaeobacterium)	$\text{NaCl}_2$
Fungi	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze (karasal form)	Polihidrik alkoller (mannitol, arabitol, gliserol)
	<i>Saccharomyces rouxii</i> Boutroux (ozmofilik form)	Arabitol
Microalgler	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> H.Chick (tatlı sularda)	Sukroz
	<i>Dunaliella</i> sp. (denizel halofilik)	Aminoasitler, gliserol
	<i>Scenedesmus obliquus</i> (Turpin) Kützing (tatlı sularda)	Karbonhidratlar: sukroz+rafinoz, glikoz, fruktoz)
Angiospermiler	Gilikoftler: <i>Chloris gayana</i> <u>Kunth</u> , <i>Hordeum vulgare</i> L.	Betain ve prolin
	Halofitler: <i>Aster tripolium</i> L., <i>Salicornia fruticosa</i> L., <i>Triglochin maritima</i> L., <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L.	Prolin
	Halofitler : <i>Atriplex spongiosa</i> F. Muell, <i>Sueda monoica</i> , Forssk. <i>Spartina townsendii</i> H. et J. Groves	Betain

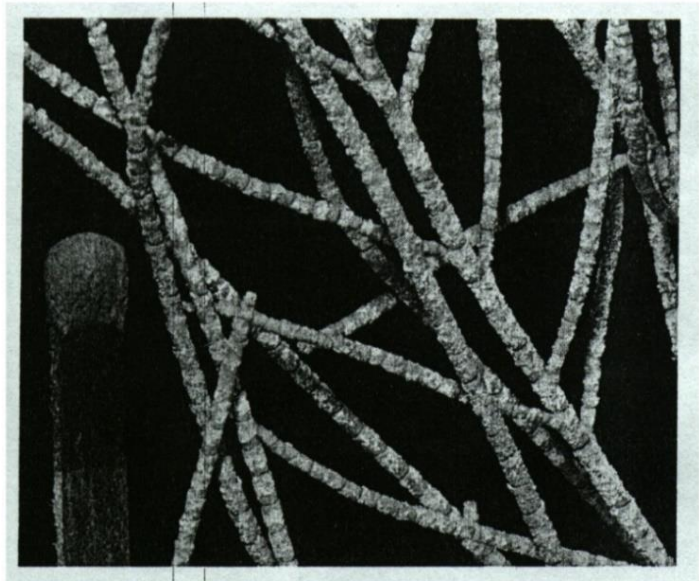
Bunlar oldukça tuzlu bataklık ortamlarındaki tuzu, toksik etkileri nedeniyle bünyelerine alamazlar. Bunun yerine hiç bir toksik etki oluşturmayan prolin, galaktosil, gliserol, glisin betain ve diğer bazı amino asitleri sentezleyip ozmoregulator olarak kullanır ve ozmotik potansiyellerini artırır (Stewart ve Lee, 1974; Chen ve Murata, 2008). Örneğin, tuz stresi altındaki bitki gelişimi performansıyla prolin birikimi arasında bir

korelasyon mevcuttur (Vinocur ve Altman, 2005) (Şekil 2). *Tamarix pentandra* Pall. (Tamaricaceae) gibi halofitler, hücre içi tuz konsantrasyonunu sabit tutmak için fazla tuzu, yaprak yüzeyinden sızdırarak dışarıya atarlar. (Şekil 3). *Atriplex spongiosa* F.Muell. (Chenopodiaceae) gibi halofitlerin ise yaprak yüzeylerindeki fazla tuz, bir veya iki hücreli tuz bezlerinde biriktirilir (Şekil 4).

**Şekil 2.** *Triglochin maritima* L. (Juncaginaceae)'da farklı tuzluluk şartlarında prolin ve diğer amino asitlerin birikimi (Stewart ve Lee, 1974).



**Şekil 3.** *Tamarix pentandra* yaprak yüzeyinde salgılama sonucu birikerek “kabuklaşmış” tuz birikimi (Salisbury ve Ross, 1992).

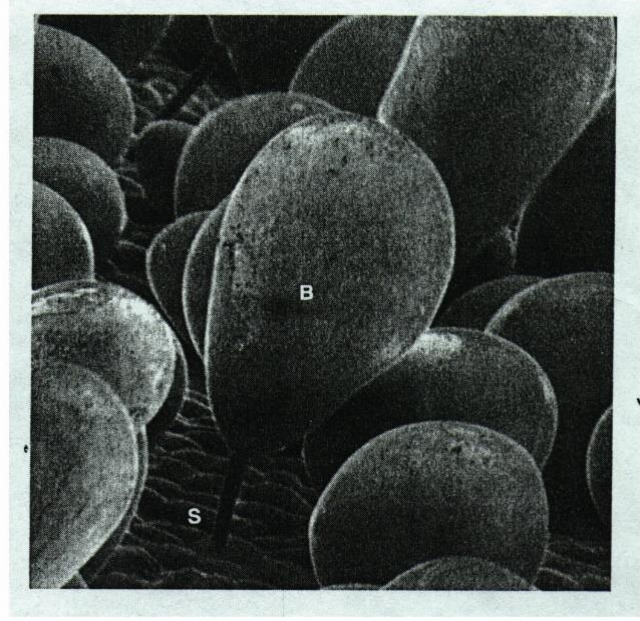


Tuz ister yaprak yüzeyinden dışarı atılsın, isterse bez hücreleri içinde biriktirilsin, her ikisinde de ortak mekanizma,  $Na^+$  iyonlarının vakuollere veya ekstraselüler alana doğru hareket ederken,  $H^+$  iyonlarının bunların yerine taşınmasıdır. (Salisbury ve Ross, 1992)

Yaprak yüzeyinden tuz bezleriyle tuz salgılayarak, stres cevabı oluşturmuş diğer bir örnek, Kuzey Şili'nin Atacama Çölü'ndeki

sukkulentimsi bir çalı olan *Nolana mollis* (Phil.) I.M.Johnst. (Solanaceae) tir. Bölgede yıllık yağış 25 mm'den az olmasına karşın, yoğun sis nedeniyle %80 oranında nisbi nem vardır ve bitkinin yaprakları her zaman ıslaktır. Bulgulara göre bünyeye geçen tuz, bitkinin yaprak yüzeyindeki tuz bezlerinden, sekresyonla salgılanmakta ve böylece atmosferik nemin higroskopik olarak emilmesi sağlanmaktadır (Mooney vd., 1980).

**Şekil 4.** *Atriplex spongiosa* yaprak yüzeyindeki tuz salgı hücreleri (S) ve tuz biriktirilen tuz keselerinin elektron mikroskop görüntüsü (B) (Troughton ve Donaldson, 1972).



Burada açıklığa kavuşturulması gereken sorun, tuz iyonlarına bağlanan suyun bitki bünyesine nasıl alındığıdır. Bunun için iki yöntem önerilmektedir: Biri su moleküllerinin yapraklar vasıtası ile direkt alınması, diğeri ise bu tuzlu çözeltinin zemine düşerek, kökler vasıtası ile bünyeye alınmasıdır. Diğer su alınma yönteminin ise *Arachnida*'da olduğu gibi, enerji harcanmasına ihtiyaç gösteren mekanizmalar olduğu düşünülmektedir (Mooney vd., 1980).

#### 4. Isıya Bağlı Stres

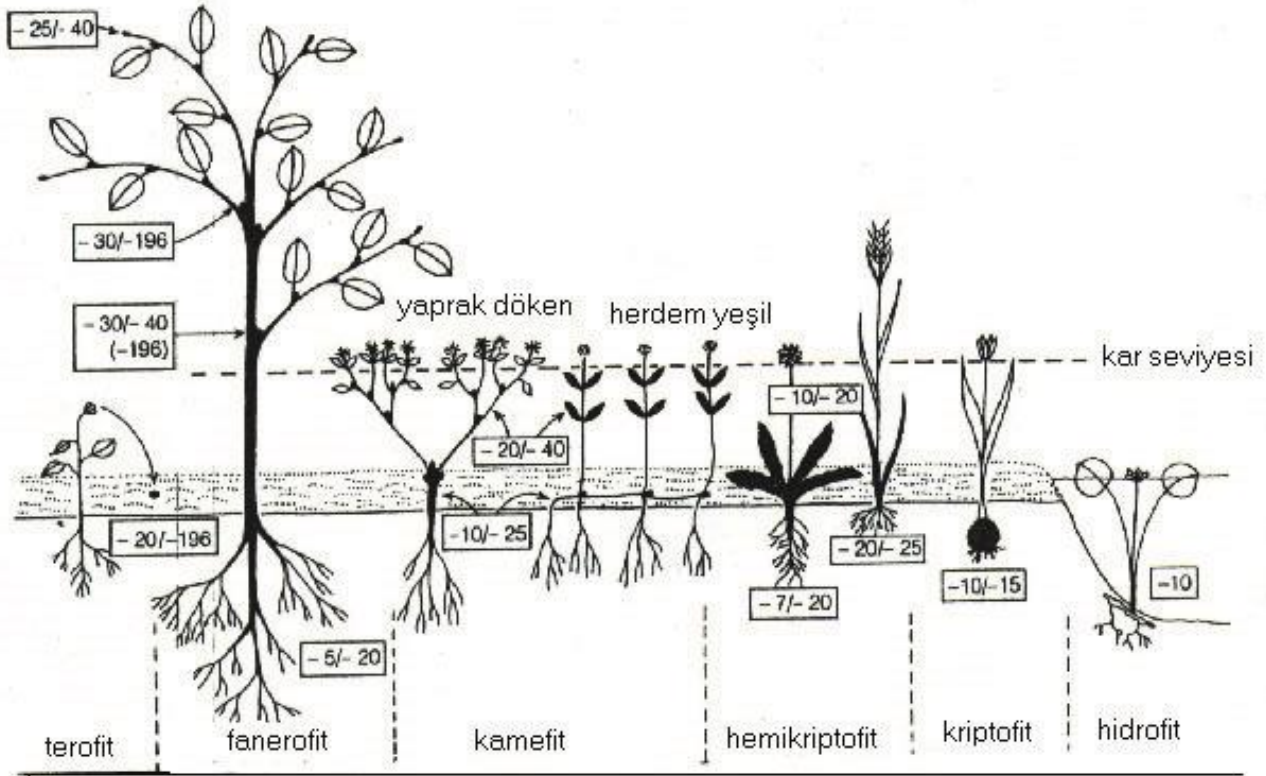
Her ne kadar ekosistemlerin verimliliği, tüm çevresel faktörlerin ortak etkisiyle belirlenmekte ise de sıcaklık, bitkilerin metabolizmasını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Genel olarak her bitki türünün kendine özgü maksimum, minimum ve optimum sıcaklık değerleri mevcuttur.

Çünkü türün doğal ortamındaki varlığı, sıcaklık sınırına olan dayanıklılığına bağlıdır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken, aktif büyüme dönemindeki ısı istek limiti ile diğer dönemlerdeki ısı limitleri farklıdır. Genel olarak söylemek gerekirse bitki gelişimi için alt ve üst sıcaklık sınırı türden türe ve türün fenolojik dönemine göre değişmektedir (Şekil 5).

Burada, bitkilerin soğuk stresine karşı geliştirmiş olduğu cevaplara geçmeden önce, bitkisel donma ve aklımasyon (iklimsel alıştırma) kavramlarının açıklanması gerekir.

##### 4.1. Bitkisel Donma

Bir bitkinin donması; hücre içindeki suyun soğuk stresi etkisiyle, genişlemesi ve donmaya bağlı olarak hücre duvarının parçalanması sonucu, bitkinin ölmesi demektir.



**Şekil 5.** Raunkiaer'in belirlediği bitkisel hayat formlarının, donma stersine dayanabildikleri sıcaklık aralıkları (kışın kalıcı kısımlar koyu gösterilmiştir) (Larcher, 1995)

Gözlemlere göre bitkisel dokularda, donma sonucu oluşan buz kristalleri, dehidrasyon nedeniyle ekstraselüler alanlarda oluştuğu için, bitki hücresi düşük sıcaklıklarda genişleyeceğine daralmaktadır. Nitekim, doğal olarak donmuş bir bitkinin canlı hücreleri içinde, hiç bir buz kristali gözlenmemiştir. Bununla birlikte ekstraselüler alandaki donmuş suyun erimesi sırasında membranlara zarar verdiği fakat, tamamen parçalanmasına ve hücre duvarının tahrip edilmesine yol açmadığı da belirlenmiştir (Salisbury ve Ross, 1992).

Sonuç olarak söylemek gerekirse, düşük sıcaklık stresinde buz kristalleri, ekstraselüler alanlarda oluşmaya başladığı için, hücre içerisindeki su ekstraselüler alanlara diffüze olur ve buz kütlelerinde toplanır. Suyun plazmalemmadan dışarı çıkmasıyla hücre dehidrasyona maruz kalır ve hücre içerisindeki ozmotik konsantrasyonun artmasıyla, sitoplazma ozmotik bir sistem olarak işlev görür. Donmaya dayanıklı türlerde, ekstraselüler alandaki buz kristalleri tekrar erimeye başladığında, su tekrar

hücrelere alınarak metabolizmaya geri dönmektedir. Soğuğa alıştırılmamış, yani kısa sürede hızlı sıcaklık düşmesine maruz kalmış bitkilerde ise, donmaya bağlı hücre membranı ve diğer organellerde hasarlar olduğundan su hücrelere geri alınamaz ve metabolizma tekrar başlayamaz (Steponkus, 1984).

#### 4.2. Aklimasyon (Alıştırma)

Bitkiler çeşitli stres faktörlerine karşı farklı cevaplar geliştirerek hayatta kalabilirler ki "aklimasyon" (alıştırma) bunlardan biridir. Büyüme şartlarındaki değişimler, genellikle yeni bir iç denge evresi elde etmeyi amaçlayan metabolik yolların ayarlanmasını gerektirir ve fazladan enerjiye ihtiyaç gösteren bu süreç (Kosová vd., 2011) genellikle aklimasyon olarak adlandırılır (Mittler, 2006; Suzuki ve Mittler, 2006). Özellikle otsu türler, aktif büyüme döneminde -1 ila -5°C arasındaki soğuk stresinden zarar görmekte veya ölmekteyken, aklimasyon (alıştırma) sayesinde, -23°C ve altındaki soğuklarda bile canlılıklarını koruyabilir duruma gelirler. Çünkü aklimasyon sırasında



hücre zarı ve duvarı, ekstraselüler alandaki buz ile hücre içindeki süper soğutulmuş su arasında izolasyon sağlayarak, ekstraselüler alanda oluşan buz kristallerinin hücre içine geçmesini engeller. Aklimasyon, günler boyunca ve giderek düşen sıcaklık değerlerine maruz kalınması sonucu kazanılırken bazı türlerde, kısa gün uzunluğu da aklimasyonu teşvik eder.

Donmaya karşı dayanıklılık sağlayan aklimasyon, ışık ve fotosentezden sağlanan enerjiye ihtiyaç gösteren bir metabolik aktiviteyle kazanılır. Nitekim soğuğa alışma (aklimasyon) döneminde bazı özel proteinlerin üretildiği belirlenmiştir. *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Brassicaceae) türünün soğuğa aklime olmuş dayanıklı bireylerinde, yeni polipeptit örnekleri tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada soğuk stresinde maruz kalmış tilakoid membranların, donma etkilerinden korunmasında proteinlerin, sukrozdan birkaç kat etkili olduğu bulunmuştur (Salisbury ve Ross, 1992).

#### 4.3. Soğuk Stresi ve Geliştirilen Cevaplar

Şiddetli soğuk stresine karşı, bitki türleri tarafından geliştirilen fizyolojik cevaplar iki grupta toplanabilir. Bunlar 1- Ekstraselüler alanda buz oluşturarak hızlı su dehidrasyonunu sağlamak (tolerans). 2- Şok soğuma yönteminde olduğu gibi intraselüler alanda küçük buz kristalleri oluşturmak (sakınma).

Hava sıcaklığının aşırı düştüğü bölgelerdeki birçok tür ekstrem soğuklardan, toprak veya kar altında kalarak korunan yeraltı meristemleri sayesinde canlı kalabilirler. Bu tip bitkiler soğuğa karşı “dayanmak” yerine soğuktan “sakınmakta” veya “kaçmaktadırlar”. Soğuğa karşı “tolerans” şeklinde cevap geliştiren türler ise, düşük sıcaklıklarda ekstraselüler alanlarda bir miktar buz oluşturarak cevap verirler (Levitt, 1980; Steponkus, 1984; Sakai ve Larcher, 1987). Bu durumda, bünyesinde daha fazla donmuş su bulundurabilenler, diğerlerine göre soğuğa daha dayanıklı türler olarak tanımlanır.

Büyüme döneminde hava sıcaklığı donma noktasına yakın değerlere düşerse, bitkinin soğuk stresine cevap geliştirmesi gereklidir. Nitekim orta kuşak bölgelerde, soğuk stresinden kaynaklanan tahribatlar, önemli kayıplara neden olurken, kutup bölgelerindeki bir çok tür ekstrem soğuklara tolerans gösterebilmektedir. Her ne kadar aşırı soğuk stresine duyarlı ve dayanıklı türlerin, hücre protoplazmaları arasında önemli farklılıklar yoksa da, dayanıklı olanların protoplazmalarında, soğuk stresine karşı bir takım ozmoregülatörler oluşturulmasının yanında, hücre membran sistemleri ve bu membran sistemiyle ilişkili proteinlerde de değişiklikler meydana gelmektedir. Bitkilerin soğuk stresine karşı membranlarında meydana gelen değişimler hakkında bir çok görüş öne sürülmüştür. Yapılan araştırmalara göre, soğuk stresi karşısında oluşan ozmoregülatör proteinler, diğer stres etkileri karşısında da oluşturulabilmektedir. Örneğin bitki plazmalemmasındaki düşük sterol/fosfolipid oranı, çift katlı lamelleri donma esnasında oluşan dehidrasyon sürecinde karalı halde tutabilir. Fakat konuya ilişkin kanıtlar çelişkilidir (Salisbury ve Ross, 1992).

##### 4.3.1. Derin Süper Soğutma ve Buz Çekirdeklenmesi (Nükleasyonu)

Buz çekirdeği bitki hücresi ebatlarındaki küçük su hacimlerinde oluşmadığı için, yaprak döken birçok ağaç türünün ksilem dokularındaki su ve dormant tomurcukları, hava sıcaklığı -40°C'ye düşse bile donmaz. Bu olaya “derin süper soğutma” denir. Nitekim hava boşlukları, kuru hücre duvarları ve plazmalemmalarla birbirinden izole halde bulunan soğuğa alışmış ksilem hücreleri içindeki su, birçok çözünmüş madde içerir ve damlacıklar halinde bulunur. Bu nedenle, buz kristalleri hücreler arası boşluklarda oluşur ve bu sayede dokular zarar görmez. Nitekim, kuzey yarı kürenin boreal ormanlarının yaygın ağaçlarından olan *Alnus* sp. *Populus* sp ve *Salix* sp. türleri, şiddetli soğuk stresine karşı bu tip bir cevap geliştirmişlerdir. Çünkü aşırı soğuk stresine maruz kalınca, ekstraselüler alanlardaki su donmasına karşın, hücre protoplazması donma ile oluşan dehidrasyona tolerans gösterir. Böylece buz

oluşumuna bağlı, hücreden ekstraselular alanlara doğru olan su kaybı, hücre içi sınırlı değerlere ulaşınca dek sürer. Sıvı nitrojenle yapılan soğutma testlerinde, bu yöntemi kullanan dormansi durumundaki kışa dayanıklı türlerin, -196°C'ye kadar canlılığını korudukları, fakat aynı türlerin, aktif büyüme döneminde -3°C'lik bir sıcaklıkta bile öldükleri görülmüştür. Bu bitkilerin aktif büyüme döneminde düşük sıcaklıklarda ölmelerinin nedenlerinden biri, iklimasyonun henüz olmayışıdır (Salisbury ve Ross, 1992). Bir diğer önemli neden ise organik madde sentezinin yoğun olduğu bu dönemde, suya olan ihtiyaç oldukça fazladır ve protoplazmanın dehidrasyonla su kaybına toleransı minimum seviyededir (Burke vd., 1976).

#### 4.3.2. Hafif Soğuk Stresi (Üşüme)

Her bitki türünün kendine özgü üşüme derecesi, yani metabolik aktivitesinin durduğu bir sıcaklık değeri vardır. Özellikle soğuğa duyarlı bitkilerde, üşüme stresine karşı geliştirilmiş anahtar cevap, kritik sıcaklıkta hücre zarında bulunan doymuş ve doymamış yağ asidi oranlarında oluşan değişimlerdir (Graham ve Patterson, 1982). Bu nedenle soğuğa duyarlı bitkilerin, soğuk stresine karşı tolerans geliştirme yetenekleri, doymuş ve doymamış yağ oranlarını değiştirebilme yeteneği ile doğrudan ilgilidir. Nitekim hücre zarındaki lipidlerin katılarak kristalleşmeye başladığı kritik ısı değerinde üşüme başlar. Çünkü sıvı mozaik-lipid yapısındaki hücre zarı **likit-kristal** durumunda iken, enzimler optimal aktivitededir ve permeabilite kontrol altındadır. Kritik sıcaklığın altında ise membran lipidleri **kristal-likit** hale dönüşür ve bu değişim sonucu, membranın por ve kanallarındaki permeabilite artar. Bu durumda hücre içi çözelti dengesi bozulur ve üşümeden dolayı hasara uğramış hücre ve organellerin membranlarında, iyon ve diğer çözümlerin sızması ve ayrıca proton transport mekanizmasında da bozulmalar görülür (Yoshida vd., 1979). Bu nedenle doymamış yağ asidi oranındaki bir artış, hücre zarının daha düşük sıcaklıklarda fonksiyonel kalmasını sağlayabilir.

Üşümeyle ilişkili değişimler geri dönüşebilir olduğu için, sıcaklık kısa süre sonra artarsa, membran yeniden likit-kristal haline dönebilir. Fakat üşüme stresi uzun süreli ve ağır olursa, metabolit yapımına ilişkin negatif-geri besleme mekanizması işlemeceğinden, sitoplazmada metabolit birikimi artar. Ayrıca membran sistemlerinden madde transportu, kontrolsüz olarak ve yüksek miktarda olur ve bitki zarar görüp ölebilir. Bunun yanında, bazı kültür bitkilerinin yağ asidi oranları aynı olmasına rağmen, düşük sıcaklık stresinde, sitoplazmada biriken metabolitlere farklı duyarlılık göstermeleri nedeniyle, soğuğa duyarlılıkları da farklıdır.

#### 4.4. Yüksek Sıcaklık Stresi

Bitkiler genel olarak 44-55°C sıcaklıklarda ölmesine karşın, bazı türler daha yüksek sıcaklıklara tolerans gösterebilmektedirler. Sözgelimi California Ölü Vadi'deki *Tidestromia oblongifolia* (S. Watson) Standl. (Amaranthaceae) türüne ait toprağın hemen üstündeki gövde dokularının, bu sıcaklık değerlerinin çok üstünde, optimal fotosentez yapabildiği belirlenmiştir. Bunun yanında ülkemiz florasında da yayılış gösteren *Carex humilis* Leyss. (Cyperaceae) ve *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng. (Poaceae) türlerinin, 65-75°C'de bile canlılığını koruduğu görülmüştür (Larcher vd., 1989).

Yüksek sıcaklık stresi, bitkilerin özellikle fotosentetik reaksiyonları üzerinde etkili olmaktadır. Fotosentetik sistemin yüksek sıcaklık stresine en duyarlı bölümü, fotosistem-2 bileşiklerinin üzerinde bulunduğu tilakoid membranlardır. O nedenle yüksek sıcaklık, öncelikle fotokimyasal reaksiyonlar, özellikle de karbon metabolizmasının enzimleri üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Bunun sonucunda enerji, fotorespirasyonla boşa harcanmakta ve karbondioksit asimilasyonu ile üretilenden çok harcanmaktadır. Bunun yanında bazı türler iklimasyon sayesinde, kısa zaman içinde oluşan yüksek sıcaklıklara karşı, hızlı bir adaptif düzenlenmeyi de gerçekleştirebilmektedir (Salisbury ve Ross, 1992).

Yüksek sıcaklık stresine dayanıklı bitkilerde tespit edilen önemli bir cevap, eukserofitlerde olduğu gibi, yüksek seviyede hidrasyon suyu ve yüksek protoplazmik viskozitedir. Bunun yanında yüksek sıcaklık stresine adapte olmuş bitkiler, yüksek oranda fotosentez yapabilme yeteneğinde olup, böylece sentez oranının yıkım oranına eşit olmasını sağlayarak, amonyak zehirlenmesinden kurtulurlar.

#### 4.4.1. Sıcak Şok (Heat-Shock) Proteinleri

Birçok organizma yüksek sıcaklık stresine karşı, yeni proteinler sentezleyerek cevap geliştirmişler ki bunlara ısı şoku proteinleri (HSP =Heat-Shock Proteins) denir. Isı-şok proteinleri birçok hücrel faaliyetlerden, örneğin proteinlerin katlanmasından, toplanmasından, translokasyonundan ve parçalanmasından, proteinlerin ve membranların kararlı yapıya kavuşturulmasından sorumludurlar ve stres şartlarında proteinlerin yeniden düzenlenmesini sağlayabilirler. Sıcaklık stresi karşısında normal protein yapılımasını oluşturdukları ve bozulan hücrel iç dengeyi yeniden sağladıkları için, bitkileri strese karşı korumada çok önemli bir rol oynarlar (Wang vd., 2004). Fakat sıcak şoku proteinlerinin üretimi sırasında, diğer birçok proteinin üretimi de inhibe edilmektedir. Sıcak şoku proteinlerinin molekül ağırlıkları, 15-70 kilodalton arasında olup, bitkiler ve diğer canlı gruplarında farklılıklar gösterir. Yapılan araştırmalarda sıcak şoku proteinlerinin, bitki tarafından çok hızlı üretildiği; sözgelimi 20 dakika içerisinde, 28°C'den 41°C'ye ani sıcaklık artışında, hücre toplam proteinlerinin önemli bir kısmını, sıcak şoku proteinlerinin oluşturduğu, 3-4 saat boyunca sentezlerinin devam ettiği, fakat 8 saat sonra sıcaklığın ilk seviyesindeki oranda oldukları belirlenmiştir. Sıcak şoku proteinleri, doğrudan sıcaklık artışıyla orantılı olarak oluşturulur ve normal sıcaklığa döndükten 3-4 saat sonra, artık üretilmediği ve birçoğunun hala ortamda stabil kaldığı tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada sıcaklık stresi etkisiyle, sıcak şoku proteinlerinin üretimiyle ilgili olarak, mRNA metabolizmasında bir artış belirlenmiştir. Sıcak şoku proteinlerinin, enzimleri ve nükleik asitleri denaturasyondan

koruyarak, bitkinin yüksek sıcaklık stresine karşı toleransını oluşturduğu anlaşılmaktadır. Sıcak şoku proteinlerinin üretilmediği yüksek sıcaklıklarda ise, hücre membranının daha permabl duruma geçmesi nedeniyle, dışarıdan sitoplazma ve vakuole giren spesifik metal iyonlarının nükleik asit sarmalını açtıkları (bozdukları) tespit edilmiştir (Burke ve Orzech, 1988).

#### 5. Diğer Stres Etkileri ve Cevap Proteinleri

Yapılan bir araştırmada soya fasulyesi fidelerinin, 50-75mM arsenik ile birkaç saat muameleden sonra, sıcak şoku proteinlerine benzer proteinler ürettiği gözlemlenmiştir (Key vd., 1985). Ayrıca fazla su (boğulma) stresine maruz kalan bitkilerin de protein ve mRNA metabolizmalarında artış olduğu fakat, üretilen proteinlerin sıcak şoku proteinlerinden farklı olduğu görülmüştür. Bir başka çalışmada ise nitrojen fikse eden Cyanobacteria'lardan *Anabaena*'nın sıcaklık şoku, tuzluluk ve ozmotik stres etkileriyle, 15 yeni polipeptit üretiminin indüklendiği belirlenmiştir. Bunlardan 4'ü sadece sıcaklık şoku esnasında, 4 tanesi ise bu üç stresin etkisi altında da üretilmiştir (Bhagwat ve Apte, 1989). Ayrıca değişik bitki gruplarının, ağır metaller ve ultraviyole ışın streslerine karşı da bazı özel proteinler ürettikleri belirlenmiştir (Ramagopal, 1987; Bray, 1988; Bensen vd., 1988; Raineri vd., 1989).

#### 6. Sonuç

Bitkiler stres etkeni olarak algıladıkları abiyotik tüm çevresel faktörlere karşı geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz birçok cevaplar geliştirerek hayatta kalmaya çalışırlar. Geliştirilen cevaplar stres faktörünün boyutlarına ve bitkinin genetik ve ontojenik özelliklerine göre değişir. Böylece bitkiler geliştirdikleri stres cevapları sayesinde hayatta kalmak için yaşadıkları çevrenin faktörlerine karşı uyum sağlayabilmektedirler.

#### 7. Kaynaklar

Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R. ve

- Panneerselvam, R., 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 59, 150-157.
- Acevedo, E., Hsiao, T. C. ve Henderson, D. W., 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status, Plant Physiology, 48, 631-636.
- Ashraf, M. ve Foolad, M. R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance, Environmental and Experimental Botany, 59, 206-216.
- Ayaz, F. A. , Kadioğlu, A. ve Turgut, R., 2000. Water stress effects on the content of low molecular weight carbohydrates and phenolic acids in *Ctenanthe setosa* (Rosc.) Eichler (Marantaceae), Canadian Journal of Plant Science, 80, 373-378.
- Bensen, R. J., Boyer, J. S. ve Mullet J. E., 1988. Water deficit-induced changes in ABA, growth, polysomes, and tRNA in soybean hypocotyls, Plant Physiology, 88, 289-294.
- Bhagwat, A. A. ve Apte, S. K., 1989. Comparative analysis of proteins induced by heat shock salinity, and osmotic stress in the nitrogen fixing Cyanobacterium sp. strain L-31, Journal of Bacteriology 171 (9), 5187-5189.
- Boscaiu, M., Ballesteros, G., Naranjo, M. A., Vicente, O. ve Boira, H., 2011. Responses to salt stress in *Juncus acutus* and *J. maritimus* during seed germination and vegetative plant growth, Plant Biosystems, 145 (4), 770-777.
- Bray, E. A., 1988. Drought-and-ABA induced changes in polypeptide and mRNA accumulation in tomato leaves, Plant Physiology, 88, 1210-1214.
- Burke, M. J., Gusta, L. V., Quammer, H. A., Weiser, C. J. ve Li, P. H., 1976. Freezing and injury in plants, Annual Review of Plant Physiology, 27, 507-528.
- Burke, J. J. ve Orzech Usda-Ars, K. A., 1988. The heat-shock response in higher plants: A biochemical model, Plant, Cell and Environment, 11, 441-444.
- Chen, T. H. ve Murata, N., 2008. Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants, Trends in Plant Science, 13, 499-505.
- Flowers, T. S., Troke, P. F. ve Yeo, A. R., 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes, Annual Review of Plant Physiology, 28, 89-121.
- Graham, D. ve Patterson, B. D., 1982. Response of plants to low nonfreezing temperatures: Proteins, metabolism, and acclimation, Annual Review of Plant Physiology 33, 347-372.
- Greenway, H. ve Munns, R., 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes, Annual Review of Plant Physiology, 31, 149-190.
- Hirayama, T ve Shinozaki, K., 2010. Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future, The Plant Journal, 61, 1041-1052.
- Hsiao, T. C., 1973. Plant responses to water stress, Annual Review of Plant Physiology, 24, 519-570.
- Jacksons, M. B., 1985. Ethylene and responses of plants to soils waterlogging submergence, Annual Review of Plant Physiology, 36, 145-174.

- Jefferies, R. L., 1981. Osmotic adjustment and the response of halophytic plants to salinity, Bio Since, 31 (1), 42-46.
- Kaiser, W. M., 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity, Physiologia Plantarum, 71, 142-149.
- Key, J. L., Kimpel, J., Vierling, E., Lin, C., Nagao, R. T., Czarnecka, E. ve Schöffl F., 1985. Physiological and molecular analysis of the heat-shock response in plants. Changes in Eukaryotic Gene Expression in Respons to Environmental Sress. Atkinson B. G. and Walden, D. B. (eds.), Academic Press, New York, pp. 237-348.
- Kosová, K., Vítámvása, P., Prášila, I. T. ve Renaut, J., 2011. Plant proteome changes under abiotic stress - Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response, Journal of Proteomics, 74, 1301-1322.
- Kriedemann, P. E. ve Loveys B. R., 1974. Hormonal meditations of plant responses to environmental stress. Mechanism of Plant Growth. Bieleski. R. L., Ferguson, A. R. and Creswell, M. M. (eds.), The Royal Society of Regulation of New Zeland, Wellington, pp. 461-465.
- Larcher, W., Holzner, M. ve Pichler, J., 1989. Temperaturresistenz inneralpiner trockenrasen (Temperature resistance of Graminoid from a dry valley of the Central Alps), Flora, 183, 115-131.
- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Springer, Berlin, 506p.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: Chilling, freezing, and high temperature stresses. Second Ed., Vols. I II. New York and London Academic Press, ISBN 10: 0124455018, 497p.
- Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination, Trends Plant Science, 11, 15-19.
- Mooney, H. A., Gulmon, S. L., Ehleringer, J. ve Rundel, P. W., 1980. Atmospheric water uptake by an Atacamo desert shrub, Science, 209, 693-694.
- Neumann, P. M., Van Volkenburgh, E. ve Cleland, R. E., 1988. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility, Plant Physiology, 88, 233-237.
- Raineri, A., Bernardi, P., Lanese, R. ve Soldatini, G. F., 1989. Change in free amino acid content and protein pattern of maize seedling under water stress, Environmental and Experimental Botany, 29(3), 351-357.
- Ramagopal, S., 1987. Messenger RNA changes during drought stress in maize leaves. Journal of Plant Physiology, 129, 311-317.
- Sakai, A. ve Larcher, W., 1987. Frost survival of plants. Responses and adaptations to freezing stress. Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, 321p.
- Sakurai, N. ve Kuraishi, S., 1988. Water potential and mechanical properties of the cell wall of hypocotyls of dark grown squash (*Cucurbita maxima* Duch.) under water stress conditions, Plant Cell Physiology, 29(8), 1337-1344.
- Salisbury, F. B. ve Marinos, N. G., 1985. The ecological role of plant growth substances. Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 11, Hormonal regulatin of development, III: Role of Environmental Factors. Pharis, R.P. ve Reid, D.M. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 707-776.

- Salisbury, F. B. ve Ross, C. W. 1992. Plant Physiology. 4.ed. Wadsworth Publishing Company, Belmont, 682p.
- Shulaeva, V., Cortesa, D., Miller, G. ve Mittler, R. 2008. Metabolomics for plant stress response, Physiologia Plantarum, 132, 199-208.
- Steponkus, P. L., 1984. Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation, Annual Review of Plant Physiology, 35, 543-584.
- Stewart, G. R. ve Lee, J. A., 1974. The role of proline accumulation in halophytes, Planta, 120, 279-289.
- Suzuki, N. ve Mittler, R., 2006. Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction, Physiologia Plantarum, 126, 45-51.
- Terzi, R. ve Kadioğlu, A., 2006. Drought stress tolerance and the antioxidant enzyme system in *Ctenanthe setosa*, Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 48 (2), 89-96.
- Troughton, J. ve Donaldson, L. A., 1972. Probing plant structure: a scanning electron microscope study of some anatomical features in plants and the relationship of these structures to physiological processes. London, Chapman & Hall, 116 p.
- Turner, N. C. ve Madelaine, M. J., 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. Turner, N. C. and Kramer P. J. (eds.), Wiley-Interscience, New York, pp. 87-103.
- Ungar, I. A., 1977. The relationship between soil water and plant water potential in two inland halophytes under field conditions, Botanical Gazette, 138, 498-501.
- Vinocur, B. ve Altman, A., 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations, Current Opinion in Biotechnology, 16, 123-132.
- Vu, J. C. V. ve Yelenosky, G., 1988. Water deficit and associated changes in some photosynthetic parameters in leaves of "valencia" orange (*Citrus sinensis* [L.] Obseck), Plant Physiology, 88, 375-378.
- Walton, D.C., 1980. Biochemistry and physiology of abscisic acid, Annual Review of Plant Physiology, 31, 453-489.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. ve Altman, A., 2004. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response, Trends in Plant Science, 9(5), 244-252.
- Wasternack, C., 2007. Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development, Annals of Botany, 100, 681-697.
- Yoshida, S., Niki, T. ve Sakai, A., 1979. Possible involvement of the tonoplast lesion in chilling injury of cultured plant cells. Low Temperature in Crop Plants. J. M. Lyons, Graham, D. ve Raison, J. K. (eds.), Academic press, New York, pp. 275-290.
- Zhu, J.K., 2001. Plant salt tolerance, Trends in Plant Science, 6 (2), 66-71.

## Ankara Çayı Dere Yatağı Sedimanlarının Zararlı Element İçeriği

Çiğdem SAYDAM EKER<sup>1\*</sup>, Özay ÖZKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 29100, Gümüşhane

Geliş tarihi/Received 30.01.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 25.05.2017

Kabul tarihi/Accepted 23.06.2017

### Öz

*Bu çalışmanın amacı, Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının içermiş olduğu zararlı elementlerin bolluğunu ve kaynağını yorumlamaktır. Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının ortalama Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co ve Cd değerleri sırasıyla 111, 65.7, 32, 17.6, 16.4, 16.1 ve 0.2 ppm olarak hesaplanmıştır. İncelenen örneklerin Al/Si oranı ile Cu, Pb, Ni ve Co arasında ve TOK içeriği ile Cu, Pb ve Zn arasında pozitif ilişki gözlenmektedir. Zararlı elementlerin ZF ve I<sub>geo</sub> değerlerine göre söz konusu sedimanlar As ve Ni bakımından önemli, Co, Zn, ve Cu bakımından genel olarak orta, Pb ve Cd bakımından lokal olarak orta derecede kirlenmiştir. Sedimanlardaki ortalama antropojenik (insan kaynaklı) Pb (%) değeri >100% olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla Pb, Cu, Zn, ve Co elementleri genel olarak jeolojik kaynaklı olmakla beraber yer yer antropojenik katkı söz konusudur. Cd çoğunlukla insan kaynaklı olmakla beraber kısmen jeolojik katkı görülmektedir, ancak Ni ve As'nin tamamen insan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.*

**Anahtar kelimeler:** Ankara Çayı, Antropojenik Pb, I<sub>geo</sub> indeksi, Sediman, Zararlı element, Zenginleşme faktörü

## Harmful Element Content Of The Ankara Stream Bed Sediments

### Abstract

*The study aimed to interpret the abundance and provenance of harmful elements in the bed sediments of the Ankara Stream. Average Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co and Cd values in the Ankara Stream sediments are calculated as 111, 65.7, 32, 17.6, 16.4, 16.1 and 0.2 ppm, respectively. The Al/Si ratio of the examined samples exhibit a positive correlation with Cu, Pb, Ni and Co, and TOC content of the examined samples shows a positive correlation with Cu, Pb ve Zn. The EF and I<sub>geo</sub> values indicated that the sediments were significantly polluted by As and Ni and generally moderately polluted by Co, Zn, and Cu, and locally moderately polluted by Pb and Cd. Pb anthropogenic contribution was estimated at an average of >100% in the sediments. Therefore, Pb, Cu, Zn, and Co elements are generally geologically sourced and there is locally an anthropogenic contribution. Cadmium is mostly anthropogenic but partly a geological contribution, but it is thought that Ni and As are completely anthropogenic sourced.*

**Keywords:** Ankara Stream, Anthropogenic Pb, I<sub>geo</sub> index, Sediment, Harmful element, Enrichment factor

\* Çiğdem SAYDAM EKER, csaydam@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 00-1709

## 1. Giriş

Gerek dünyada gerekse ülkemizde su ürünleri besiciliği, tarımsal sulama, içme suyu, taşımacılık ve turizm gibi birçok alanlarda nehir sularından faydalanılmaktadır. Çeşitli bilimsel ve politik hedeflere dayanarak nehirler üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar kısaca, hidroloji (Ilkem ve Adisa, 2011), su kalitesi (Zhang vd., 2012), sediman kalitesi (Nilin vd., 2013), vejetasyon topluluğu (Cui vd., 2013) ve sucul hayvanlar (Ryu vd., 2011). Bunlar arasında en dikkat çeken sediman kalitesi olmuştur. Çünkü nehir yatağı sedimanlarında biriken zararlı elementler, direk olarak bütün canlıları etkilemektedir (Fu vd., 2014; Liao vd., 2017). Bunun nedeni; akarsular, yüksek kesimlerden getirdikleri malzemeleri enerjilerinin bittiği yerde biriktirerek dere yatağı çökellerini oluştururlar. Dolayısıyla bu çökeller genel olarak kaynak alanındaki kayaçların jeolojik özelliklerini yansıtır. Ayrıca son yıllarda yapılan araştırmalar ile dere yatağı çökellerinin metallere önemli derecede kirlendiği ortaya konulmuştur. Bu kirliliği oluşturan başlıca etkenler arasında jeolojik kaynaklar ve antropojenik etkiler (Da Silva vd., 2002; Oskierski vd., 2009) gelmektedir. Antropojenik etkiler başlıca; atmosferik kirlilik (Demirak vd., 2006), tarımsal aktiviteler (Iqbal ve Shah, 2014), endüstriyel atıklar ve hızlı şehirleşme (Park vd Presley, 1997; Suthar vd., 2009; Xio vd., 2013; Hanif vd., 2016)'den oluşmaktadır. Akarsu çökellerinin içermiş olduğu yüksek oranlardaki zararlı elementler özellikle başta insan sağlığı olmak üzere bütün canlılar için potansiyel risk taşımaktadır. Çünkü söz konusu kirleticiler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlevlerin bir sonucu olarak besin zincirlerine veya serbest kalarak çökel üzerindeki su tabakasına geçiş yapmaktadırlar ve bu elementler (As, Hg, Cu, Pb, Zn, Ni, Sb, Bi, Cd ve diğer zararlı elementler) düşük konsantrasyonlarda olsalar bile canlılar için toksik madde oluşturmaktadırlar.

Doğal sularda, çözülmemiş askıda bulunan organik maddeler ile bu elementler arasında güçlü bir etkileşim vardır. Söz konusu

ortamlarda organik maddeler zararlı elementler için toplayıcı görevi yaparak dip sedimanlarında birikmelerine neden olurlar. Bu bağlamda sedimentlerdeki organik madde içeriği sedimentin kirlilik derecesini belirlemede önemli rol oynamaktadır (Lin ve Chen, 1997). Bunun yanı sıra Pb, kimyasal reaksiyonlara karşı duraylı element olmasından dolayı, son zamanlarda duraylı Pb izotopları kirlilik seviyesini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Duraylı Pb izotopları, <sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb ve <sup>208</sup>Pb dir. Bunlardan sadece <sup>204</sup>Pb doğal olarak oluşur ve radyoaktif değildir (Álvarez-Iglesias vd., 2012). Antropojenik Pb, metal endüstrisi, Pb içerikli maden yataklarından, kömür ve petrol atıklarından kaynaklanmaktadır (Monna vd., 1997; Vèron vd., 1999). Fakat sedimentlerin içindeki doğal Pb litojenik kökenlidir (Álvarez-Iglesias vd., 2012).

Bu çalışmanın amacı Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının zararlı element içeriği ve yaklaşık kaynağını ortaya koymaktır. Ankara Çayı, Sakarya Nehri havzası içinde yer almaktadır. Çubuk Çayı ve Hatip Çayı'nın, İncesu Deresi ile Akköprü civarlarında birleşmesi ile oluşan Ankara Çayı yaklaşık 140 km yol alarak Sakarya Nehrine dökülmektedir. İnceleme alanı, yıllık yaklaşık 300-500 mm arasında yağış almakta olup kurak bir iklime sahiptir. Yağışlar mevsimsel olup, maksimum yağış ilkbahar, minimum yağış ise yaz mevsimlerinde bölgeye düşmektedir. Sıcaklık yaz aylarında yaklaşık 20 °C - 30 °C, kış aylarında ise 0 °C --5 °C arasında değişmektedir.

## 2. Genel Jeoloji

Ankara Çayı'nın geçtiği yerlerde en yaşlı kayacı Triyas yaşlı çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı (şeyl) ve kireçtaşı karakterli Karakaya Formasyonu oluşturmaktadır. Bunun üzerine uyumsuz olarak Geç Jura-Erken Kretase yaşlı neritik kireçtaşı özellikli Bilecik kireçtaşları gelmektedir. Bilecik Kireçtaşları, Lütesiyen (Erken Eosen) yaşlı, andezit, bazalt, tuf, aglomera ve Triyas, Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı blokları içeren Abdüsemmedağı Volkanit karmaşığı ve aynı



yaşlı, andezit bazalt, tuf ve aglomeradan oluşan Tekke Volkanitleri tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Bunların üzerine uyumsuzlukla Erken-Orta Eosen yaşlı Alıcı Formasyonu gelmektedir. Alıcı Formasyonu, kireçtaşı olistoliti içeren volkano-tortul seriden oluşmaktadır. Erken-Orta Miyosen yaşlı, çakıltası, kumtaşı, silttaşından oluşan Kumartaş Formasyonu, ve en altta bazalt ile başlayıp yukarıya doğru kireçtaşı, silttaşı, çamurtaşı, çakıltası, killi kireçtaşı, marn, kumtaşı ve çört ardışımı özelliğindeki Hançili Formasyonu, Alıcı Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Kumartaş ve Hançili Formasyonları üzerine Orta-Geç Miyosen yaşlı Alagöz formasyonu uyumsuzlukla oturmaktadır. Söz konusu formasyon çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, gölsel kireçtaşı ve volkanitlerden oluşmaktadır. Bunun üzerine çakıltası, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı araldanmasından oluşan ve Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Karaahmet Formasyonu gelmektedir. Çalışma alanında en genç birimi Pleistosen yaşlı eski alüvyonlar ve Holosen yaşlı yamaç molozları oluşturmaktadır ve alttaki bütün birimleri uyumsuzlukla örtmektedirler (Akyürek vd., 1997; Bilgin vd., 2009; Özkan, 2016, Şekil 1).

### 3. Analiz Yöntemleri

Bu kapsamda çalışma sahasının mevcut jeolojik haritalarından yararlanarak, önemli yağışların olmadığı Mart ayında (Örnek alım esnasında ve 3 hafta öncesine kadar çalışma alanına önemli miktarda yağış düşmemiştir.) belirli aralıklarla (yaklaşık 2 km aralıklarla) Ankara Çayı dere yatağından (suyunun geçtiği kanaldan) pekişmemiş örnekler toplanmıştır. Bu örnekler öncelikle Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarında açık hava sıcaklığı ile kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 200 numaralı eleklerden geçirilerek (kil-silt boyutlu malzeme) jeokimyasal analizler için hazır hale getirilmiştir.

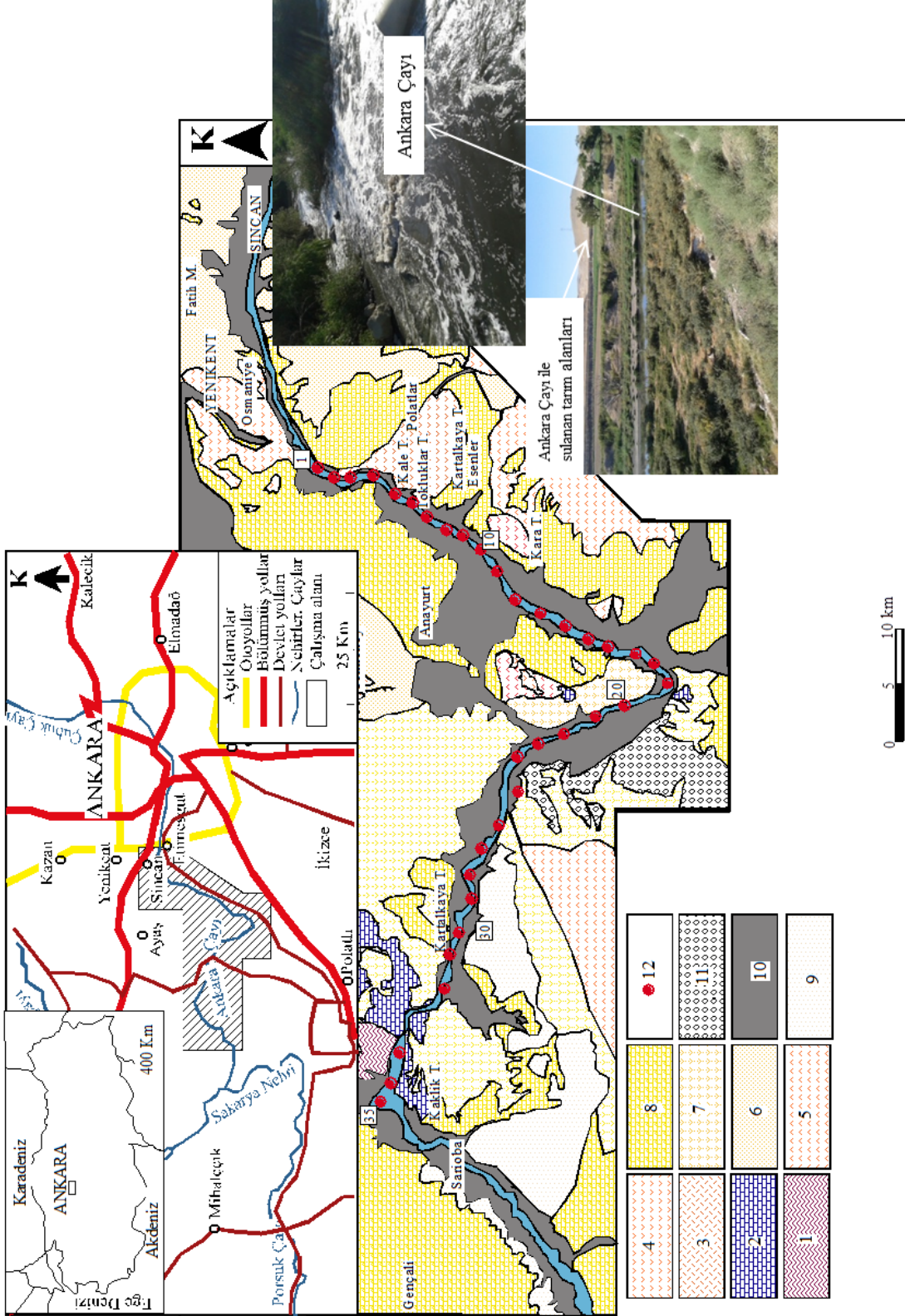
Ana ve iz element analizleri için elenen toplam 35 adet örnekten yaklaşık 15 g ağırlığındaki miktarı poşetlenerek, ACME (Vancouver, Kanada) analitik laboratuvarına

gönderilmiştir. Söz konusu laboratuvarında seçilen örnekler, tane büyüklüğü 200 mesh'den daha küçük olacak biçimde agat bir havan içinde öğütülmüştür. Ana ve iz element içerikleri, 0.2 g toz kayaç örneğinin 1.5 g  $LiBO_2$  ile çözdürülmesi ve daha sonra 100 ml %5  $HNO_3$ 'de çözdürülmesi ile analiz edilmiştir. Ateşte kayıp (A.K.), örnekler 1000 °C'de yakıldıktan sonra ağırlık farkından hesaplanmıştır. Dedeksiyon limitleri, ana oksitler için % ağırlık olarak 0.002 - 0.04, iz elementler için 0.1 - 8 ppm dir. Ayrıca örneklerin TOK içeriği LECO analizatörü ile gerçekleştirilmiştir.

En yüksek Pb içeriğine sahip örneklerden 10 adet seçilerek tüm kayaç Pb izotop analizine tabii tutulmuştur. Söz konusu analiz ACME (Vancouver, Kanada) analitik laboratuvarında yaptırılmıştır. Hazırlanan örnek, HCl,  $HNO_3$  ve  $DIH_2O$  eşit şekilde konsantre edilerek değiştirilmiş Aqua Regia solüsyonu ile ısıtılmış blok veya sıcak su banyosunda bir saat süre ile parçalanmıştır. Örnek seyreltik HCl ile belirli hacimde ayarlanarak 0.5 g, 15 g veya 30 g şeklinde bölünmüş olan örnek analiz edilmiştir. İzotop değerleri hem konsantrasyon hem de yoğunluk şeklinde rapor edilmiştir.

### 4. Ankara Çayı Dere Yatağı Çökellerinin Zararlı Element ve TOK İçeriği

Doğal sularda, çözülmemiş askıda bulunan organik maddeler ile metaller arasında güçlü bir etkileşim vardır. Söz konusu ortamlarda organik maddeler metaller için toplayıcı görevi yaparak dip sedimanlarında birikmelerine neden olurlar. Bu bağlamda sedimentlerdeki organik madde içeriği sedimentin kirlilik derecesini belirleme de önemli rol oynamaktadır (Lin ve Chen, 1997). Ankara Çayı dere yatağı çökellerine ait Al, Si, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, As, Co, toplam organik karbon (TOK) içerikleri ile hesaplanmış Al/Si oranları, ortalama değerleri ile aynı metallerin Üst Kıtasal Kabuk (ÜKK) değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Çalışılan çökellerde en yüksek ortalama değer 111 ppm ile Zn'ye ait iken en düşük ortalama değer 0.2 ppm olarak Cd için hesaplanmıştır (Zn > Ni > Cu > Pb > As > Co > Cd).



**Şekil 1.** Çalışma alanının yer bulduru ve jeolojik haritası (Akyürek vd., 1997; Bilgin vd., 2009)'den sadeleştirilerek (1: Trias yaşlı Karakaya Formasyonu, 2: Geç Jura Erken Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşı, 3: Erken Eosen yaşlı Abdussamed Volkanik Karmaşığı, 4: Erken Eosen yaşlı Tekke Volkaniti, 5: Erken-Orta Eosen yaşlı Alıcı Formasyonu, 6: Erken-Orta Miyosen yaşlı Kumartaş Formasyonu, 7: Erken-Orta Miyosen yaşlı Hançılı Formasyonu, 8: Orta-Geç Miyosen yaşlı Alagöz Formasyonu, 9: Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Karaahmet Formasyonu, 10: Pliyosteen yaşlı Eski Alüvyon, 11: Holosen Yamaç molozu, 12: Örnek lokasyonları).

**Tablo 1.** Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının zararlı element, TOK içerikleri ve Al/Si oranları

Örnek no	Al	Si	Al/Si	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	As	Co	TOK
											%
				ppm							%
YA1	14.1	61.9	0.23	54.2	42.2	230	0.7	56	10.8	14.2	4.37
YA2	14.3	56.9	0.25	57.9	43.7	218	1.2	65	12.7	14.6	4.75
YA3	13.7	62	0.22	52.6	27.9	273	0.4	71	16.9	16.7	3.17
YA7	13.3	65.8	0.20	28.9	16.2	111	0.3	56	11.3	15	1.64
YA8	14.2	64.3	0.22	27.3	13.6	87	0.1	56	12.5	16.4	1.59
YA9	13.7	65.2	0.21	28.9	16.1	105	0.2	58	12.0	15.1	1.66
YA10	14.0	64.7	0.22	25.9	12.4	73	0.1	60	12.4	16	1.49
YA11	13.6	65.1	0.21	31.2	17.0	113	0.2	60	12.6	15.4	1.77
YA12	14.2	63.7	0.22	33.8	16.4	113	0.3	65	12.9	16.4	2.00
YA13	15.4	59.7	0.26	31.3	12.4	63	0.1	81	26.5	19.8	1.66
YA14	15.5	59.7	0.26	31.8	12.1	54	0.1	91	28.6	20.5	1.63
YA15	15.4	59.1	0.26	32.5	13.3	63	0.1	88	23.9	21.1	1.90
YA16	15.6	59.2	0.26	31.6	13.5	69	0.1	83	23.7	21.1	1.90
YA17	13.7	62.3	0.22	27.0	16.9	69	0.1	75	17.3	17.8	2.09
YA18	13.7	61.9	0.22	29.3	18.5	74	0.2	78	18.4	18.9	2.19
YA19	13.6	62.2	0.22	30.6	17.4	73	<0.1	78	17.6	15.8	2.11
YA20	13.3	62.8	0.21	27.1	16.5	68	0.2	74	16.4	16.3	2.07
YA21	13.6	62.4	0.22	28.2	17.8	71	0.1	80	16.5	16.7	2.05
YA22	13.9	61.2	0.23	31.1	19.3	72	0.2	85	18.7	17.8	2.29
YA23	13.5	62.3	0.22	29.8	16.7	69	0.2	79	17.5	17.4	2.05
YA24	13.4	62.9	0.21	29.1	16.4	66	0.2	79	17.0	16.9	2.02
YA25	13.4	62.6	0.21	31.2	17.7	71	0.2	74	17.8	16.2	2.09
YA26	11.7	69.1	0.17	21.5	9.8	81	0.1	51	14.6	13.7	1.50
YA27	12.3	66.6	0.18	27.2	12.7	99	0.2	60	15.7	13.6	1.89
YA28	11.5	69.2	0.17	20.4	10.0	77	0.1	50	14.3	12.8	1.52
YA29	11.3	69.7	0.16	18.4	10.0	83	0.2	51	13.5	12.9	1.41
YA30	11.7	69.1	0.17	17.2	9.9	72	0.2	60	13.4	13.7	1.45
YA31	12.4	65.6	0.19	25.5	13.4	98	0.2	58	16.8	13.9	2.03
YA32	11.9	67.9	0.18	19.2	11.1	88	0.2	61	14.1	13.7	1.43
YA33	12.2	67.3	0.18	19.9	11.5	82	0.2	62	13.3	12.6	1.60
YA34	11.5	69.6	0.16	18.8	10.3	78	0.1	54	13.4	12	1.31
YA35	12.5	66.3	0.19	23.4	12.3	87	0.2	61	15.0	15.1	1.83
<b>Ortalama</b>	<b>13.4</b>	<b>63.7</b>		<b>32.19</b>	<b>17.6</b>	<b>111</b>	<b>0.2</b>	<b>67.9</b>	<b>16.4</b>	<b>16.1</b>	<b>2.1</b>
<b>ÜKK<sup>a</sup></b>				<b>25</b>	<b>20</b>	<b>71</b>	<b>0.098</b>	<b>20</b>	<b>1.5</b>	<b>10</b>	

<sup>a</sup>Taylor and McLennan (1985)

Ayrıca dere yatağı çökellerinde, ortalama Pb değerleri (17.6 ppm) <ÜKK iken, ortalama Cu, Zn, Ni, As, Cd ve Co değerleri (sırasıyla 32, 111, 65.7, 16.4, 0.2 ve 16.1 ppm) >ÜKK dir (Tablo 1) (Özkan, 2016).

Dere yatağı çökellerinin Al/Si oranı ile Cu, Pb, Ni ve Co içeriği arasında pozitif korelasyon varken, Zn ve Cd arasında herhangi bir ilişki gözlenmemiştir (Tablo 2). Cu, Pb, Ni ve Co elementlerinin Al/Si oranı ile pozitif korelasyon göstermesi, söz konusu elementlerin çökel tane boyutunun incelenmesi ile arttığını gösterir, bu bağlamda tane boyutunun Cu, Pb, Ni ve Co dağılımını kontrol ettiği söylenebilir. Söz konusu çökellerin TOK içeriği ile Cu, Pb ve Zn arasında güçlü pozitif korelasyon, Cd, Ni, As

ve Co arasında ise herhangi bir ilişki gözlenmemiştir (Tablo 2). Ayrıca Al/Si ile TOK arasında pozitif korelasyon vardır.

Ankara Çayı dere yatağı çökellerinin bazı zararlı element değerleri, Ankara Çayı eski alüvyal çökellerinin (Gümüş, 2016), Fırat Nehri dere yatağı (Kalender ve Uçar, 2013), Dicle Nehri dere yatağı (Varol, 2011) ve Çoruh Nehri dere yatağı (Demirkol Kılıç, 2015) çökellerinin aynı element değerleri ile kıyaslanmıştır (Tablo 3). Ankara Çayı dere yatağı çökellerinin Cu içeriği, Ankara Çayı eski alüvyonlarının ve Dicle Nehri dere yatağı çökellerinin Cu içeriğinden yüksek, Fırat ve Çoruh Nehri dere yatağı çökellerinin Cu içeriğinden daha düşüktür. Çalışılan örneklerin Pb, Zn ve Cd içeriği Ankara Çayı

eski alüvyonların ve Çoruh nehri yatak sedimanlarının Pb, Zn ve Cd içeriğinden yüksek Dicle ve Fırat Nehri dere yatağı çökellerinin Pb, Zn ve Cd içeriğinden daha düşüktür. Ankara Çayı dere yatağı çökellerinin Ni içeriği eski alüvyonların ve Çoruh Nehri dere yatağı çökellerinin Ni içeriğinden düşüktür. Söz konusu çökellerin

As içeriği Dicle Nehri yatak sedimanlarının Ni içeriğinden yüksek, diğerlerinden daha düşüktür. Ankara Çayı dere yatağı çökellerinin Co içeriği eski alüvyonların ve Dicle Nehri yatak sedimanlarının Co içeriğinden daha yüksek, Fırat ve Çoruh Nehri yatak sedimanlarının Co içeriğinden daha düşüktür (Tablo 3).

**Tablo 2.** Ankara Çayı yatak sedimanlarının jeokimyasal verilerinden elde edilen korelasyon katsayıları (r) (n=35 dere yatağı çökel örneği)

	Al/Si	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	As	Co	TOK
Al/Si	1.00								
Cu	0.59	1.00							
Pb	0.47	0.90	1.00						
Zn	0.24	0.90	0.83	1.00					
Cd	0.05	-0.01	0.01	-0.08	1.00				
Ni	0.75	0.26	0.11	-0.10	0.15	1.00			
As	0.63	0.16	-0.10	-0.12	0.05	0.82	1.00		
Co	0.86	0.32	0.10	-0.02	-0.02	0.86	0.80	1.00	
TOK	0.47	0.90	0.98	0.82	0.01	0.15	-0.02	0.12	1.00

**Tablo 3.** Bu çalışmada belirlenen zararlı element içeriklerinin literatürden seçilen Türkiye’deki bazı nehir sedimanları ile karşılaştırılması

Lokasyon	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	As	Co	Kaynaklar
Ankara Çayı sedimanları, Ankara	32.2	17.6	111	0.2	67.9	16.4	16.1	Bu çalışma
Ankara Çayı eski alüvyonları, Ankara	26.1	12.9	70.5	0.1	71	16.83	15.6	Gümüş, 2016
Dicle Nehri, Batman	24.1	163.7	129.6	1.20		3.6	9.0	Varol, 2011
Fırat Nehri, Elazığ	85.1	46.7	153	0.58		37.9	22.7	Kalender ve Uçar, 2013
Çoruh Nehri, Bayburt	53.7	5.9	42	<1	676	20.2	42	Demirkol Kılıç, 2015

## 5. Tartışma

### 5.1. Zenginleşme Faktörü (ZF)

Zararlı elementler, dere yataklarına başlıca kaynak kayaların ayrışmasından ve insansal kaynaklardan taşınmaktadır. Bu tür çökellerde insan ve kaynak kaya katkısını değerlendirmek için “zenginleştirme faktörü” (ZF) kavramı geliştirilmiştir (Chester ve Stoner, 1973; N’guessan vd., 2009). Zenginleşme faktörü (ZF) referans alınan element ile ölçülen element arasında doğrusal ilişki olduğu varsayımına dayanan

jeokimyasal bir yaklaşımdır (Sultan ve Shazili, 2010). Normalleştirme yapmak için referans element olarak alüminyum kullanılmaktadır. Çünkü Al kimyasal ayrışma süresince diğer elementlere göre daha az hareketlidir (Garrels ve Mackenzie, 1971; Nesbitt ve Wilson, 1992; Das ve Krishnaswami, 2007), ayrıca ince taneli sedimentin (kil ve ince silt) ana bileşeni olduğu için metal (Pb, Zn, Cd, TI, Hg) ve meteloid (As, Sb)’ce zengin partikülleri içermektedir (Owens vd., 2005). ZF, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$ZF = \left[ \frac{C_{\text{Element}}}{C_{\text{Alüminyum}}} \right]_{\text{Sediment örneği}} / \left[ \frac{C_{\text{Element}}}{C_{\text{Alüminyum}}} \right]_{\text{ÜKK}} \quad (1)$$

$(C_{\text{Element}}/C_{\text{Alüminyum}})_{\text{Sediment}}$  örneği, incelenen örneklerin element ve Al konsantrasyonunu ifade etmektedir,  $[(C_{\text{Element}}/C_{\text{Alüminyum}})_{\text{ÜKK}}]$  değerleri, Taylor ve McLennan (1985)' dan alınmıştır. ZF değeri kullanılarak zararlı element kirlilik seviyesi tespit edilmektedir (Feng vd., 2004; Chen vd., 2007). Sediman içindeki elementin ZF değeri <1 ise jeolojik kaynaklı, >1 ise insan kaynaklı kirliliği gösterdiği düşünülmektedir (Zhang ve Liu, 2002; Hanif vd., 2016). Ayrıca Ghrefat et al. (2011), ZF değerlerine göre sedimentlerdeki kirliliği 7 gruba ayırmıştır, bu sınıflamaya göre ZF<1 kirliliğin olmadığını, >50 aşırı derecede kirlilik olduğunu göstermektedir (Tablo 4). Ankara Çayı dere yatağı çökelleri Cu, Pb, Zn ve Co elementlerinin ortalama ZF değerleri sırasıyla 1.6 (0.97-3.40 arasında değişmektedir), 1.2 (0.69-2.88 arasında değişmektedir), 2 (0.84-5.17 arasında değişmektedir) ve 2 (1.71-2.39 arasında değişmektedir) olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak söz konusu çökeller Pb, Cu, Zn ve Co elementlerince genel olarak çok az, lokal olarak da orta derecede kirlenmiştir ve genel olarak kirlenme şehirleşme ve endüstri alanına yakın yerlerde tespit edilmiştir. Cd, ve Ni' nin ortalama ZF değerleri sırasıyla 3.3 (1.20-16.14) ve 4.3 (3.37-5.08) olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla dere yatağı çökelleri söz konusu elementlerce genel olarak orta derecede kirlenmekle beraber yer yer önemli oranda kirlilik göstermektedir. Çalışılan örneklerin As ortalama ZF değeri 13.9 (9.47-21.17) olarak hesaplanmış olup, önemli oranda kirliliğe sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4, Şekil 2, Özkan 2016). Dolayısıyla incelenen örneklerin Pb, Cu, Zn ve Co içeriğinin ZF değerlerine göre jeolojik olmakla beraber, yer yer antropojenik, Cd, çoğunlukla antropojenik olmak üzere yer yer jeolojik kaynaklı, Ni ve As'nin tamamen antropojenik olduğu düşünülmektedir.

### 5.2. Jeo-akümülyasyon İndeksi (Ijeo)

Çökellerin içermiş olduğu zararlı elementlerin insan kaynaklı olup olmadığını tespit etmek için bir diğer yöntem ise jeo-akümülyasyon indeksini (Ijeo) hesaplamaktır. Söz konusu indeks aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Aiman vd., 2016):

$$I_{geo} = \text{Log}_2((C_n)/[(1.5)(B_n)]) \quad (2)$$

$C_n$ , çalışılan örneklerdeki n elementinin konsantrasyonu,  $B_n$ , kıtasal kabuk değeridir (Turekian ve Wedepohl, 1961). Bu çalışmada Muller (1969)'in geliştirmiş olduğu Ijeo sınıflaması kullanılmıştır (Tablo 5). Cu, Pb, Zn ve Cd için Ijeo değerleri 0-1 arasındadır ve bu sınıflamaya göre incelenen çökel söz konusu elementlerce kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiştir. Co için Ijeo değeri 1-2 arasındadır ve çökeller Co bakımından orta derecede kirlenmiştir. Ni için Ijeo değeri 2-3 arasındadır ve orta-çok kirlenmiştir. As için Ijeo değeri 3-4 arasındadır ve çok kirlenmiştir (Tablo 5).

### 5.3. Kurşun (Pb) izotop oranları

Bir ortamdaki kurşun izotop oranları rezervuar kaynağın yaşına ve U/Pb, Th/Pb oranlarına bağlıdır. Pb izotop fraksiyonlaşmasını kontrol eden faktörler (atomik ağırlığında ve davranışındaki farklılıklar) kurşunun değişmesinde önemli bir rol oynamaz (N'guessan vd., 2009). Kurşun bu özelliğinden dolayı insan kaynaklarını ve doğal kaynakları ayırt etmek için yaygınca kullanılmaktadır (Chow vd., 1975; Elbaz-Poulichet vd., 1986; Monna vd., 1997; Liu vd., 2003; Roussiez vd., 2005; N'guessan vd., 2009; Özkan, 2016). Dere yatağı çökellerinin  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  oranları sırasıyla 1.117 - 1.200, 2.057 - 2.144 ve 2.355 - 2.478 arasında değişmektedir (Tablo 6).  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  -  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  diyagramında örnekler jeolojik - antropojenik hat boyunca sıralanmakla birlikte nispeten insan kaynaklı alana daha yakın yerleşmişlerdir (Şekil 3A). Antropojenik kaynağın birçok bileşenden oluştuğu bilinmektedir (Maden atıkları, fosil yakıtlar, demir çelik fabrikalarından gelen atıklar, araç egzozlarından gelen atıklar vs). Antropojenik bileşeni yaklaşık olarak görmek için çizilen  $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  -  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  diyagramında örneklerden 3 tanesi endüstri öncesi sediment (kirlenmemiş sediment) bölgesinde yer alırken, 6 tanesinin endüstriyel emisyon bölgesine yakın alanda toplandığı görülmüştür (Şekil 3B, N'guessan vd., 2009).

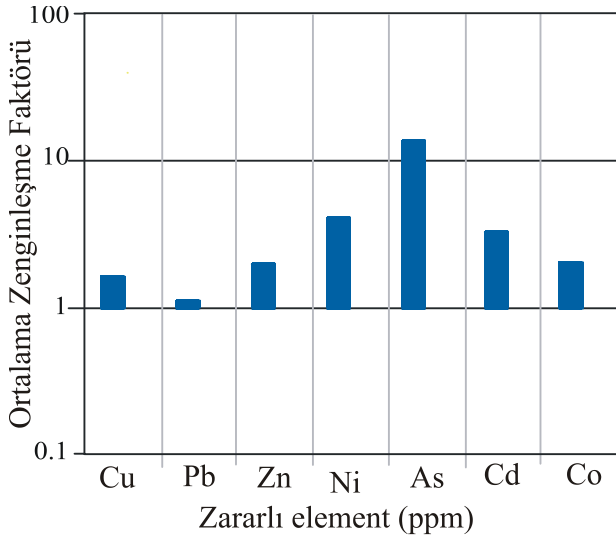
**Tablo 4.** Ankara Çayı sedimanları için zenginleşme faktör (ZF) değerleri, literatürdeki ZF sınıfları

	Cu	Pb	Zn	ZF ortalama değerleri	Cd	Ni	As	Co	ZF sınıfları <sup>a</sup>	Zenginleşme seviyesi <sup>a</sup>
Ankara Çayı dere yatağı sedimanları	1.6	1.2	2.0		3.3	4.3	13.9	2.1	ZF<1 ZF=1-3 ZF=3-5 ZF=5-10 ZF=10-25 ZF=25-50 ZF>50	Zenginleşme yok Az zenginleşme Orta zenginleşme Orta derecede ciddi zenginleşme Ciddi zenginleşme Çok ciddi zenginleşme Aşırı derecede zenginleşme
	ZF=1-3 (Az zenginleşme)	ZF=1-3	ZF=1-3		ZF=3-5 (Orta Zenginleşme)	ZF=3-5	ZF=10-25 (Ciddi Zenginleşme)	ZF=1-3 (Az Zenginleşme)		

<sup>a</sup>Ghrefat et al. (2011)**Tablo 5.** Ankara Çayı dere yatağı sedimentlerinin I<sub>geo</sub> indeks değerleri, literatürdeki I<sub>geo</sub> sınıfları ve kıtasal kabuk değerleri

	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	As	Co	I <sub>geo</sub> değeri <sup>b</sup>	I <sub>geo</sub> sınıfı <sup>b</sup>	Kirlenme seviyesi <sup>b</sup>
Ankara Çayı dere Yatağı çökeltileri	0.50	0.54	0.85	0.71	2.1	4.0	1.1	≤0	0	Kirlenmemiş
								0-1	1	Kirlenmemiş-orta derecede kirlil
								1-2	2	Orta derecede kirlenmiş
								2-3	3	Orta – çok kirlenmiş
								3-4	4	Çok kirlenmiş
								4-5	5	Çok – çok fazla kirlenmiş
								>5	6	Aşırı derecede kirlenmiş
<b>Kıtasal kabuk değerleri<sup>a</sup></b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>0.13</b>	<b>15</b>	<b>1.9</b>	<b>7</b>			

<sup>a</sup>Turekian and Wedepohl (1961), <sup>b</sup>Muller (1969)



**Şekil 2.** Ankara Çayı sedimanlarının zararlı elementleri için Zenginleşme Faktör diyagramı.

Dolayısıyla dere yatağı çökelleri genel olarak Pb açısından önemli oranda kirlenmemiştir, fakat lokal olarak kirlenmiştir ve kirlenen örnekler endüstriyel kaynaklı Pb ile kirlenmiştir.  $Pb_{\text{antropojenik}} (\%)$  bağıntısı yardımı ile Pb'nin antropojenik katkısı görülebilmektedir. Burada 1.205 değeri doğal Pb izotop değeri (Üst kıtasal kabuk değeri, Millot vd., 2004) ve 1.168 değeri ise antropojenik Pb izotop değeri (N'guessan vd., 2009) olarak kullanılmaktadır ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

Çalışılan örneklerin 1 tanesinde antropojenik kaynaklı Pb(%) değeri çok düşük (YA9), diğerlerinde ise  $\geq 100$  dür (Tablo 6). Bu izotopik metoda dayanarak kirlenen örneklerdeki kurşunun nerede ise tamamının insan kaynaklı olduğu söylenebilmektedir.

$$Pb_{\text{antropojenik}} (\%) = \frac{[(^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})_{\text{örnek}} - (^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})_{\text{doğal}}]}{[(^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})_{\text{antropojenik}} - (^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb})_{\text{doğal}}]} \times 100 \quad (3)$$

**Tablo 6.** Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının Pb izotop oranları ve  $Pb_{\text{antropojenik}} (\%)$  değerleri

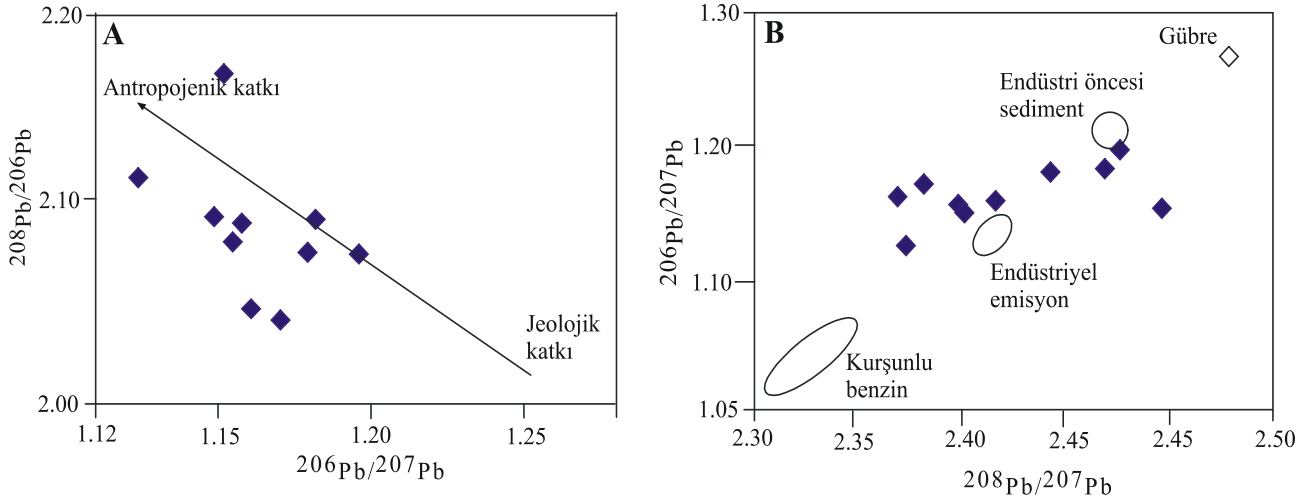
Örnek no	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$Pb_{\text{antropojenik}} (\%)$ değerleri
YA1	1,122	2,398	2,137	223
YA2	1,117	2,395	2,144	237
YA3	1,157	2,381	2,057	129
YA5	1,167	2,420	2,074	103
YA9	1,200	2,478	2,065	14
YA15	1,169	2,420	2,070	98
YA20	1,168	2,355	2,016	99
YA25	1,155	2,435	2,109	136
YA31	1,164	2,434	2,090	109
YA35	1,149	2,433	2,117	152
<b>Ortalama</b>				<b>130</b>
<b>Doğal Pb izotop<sup>a</sup></b>	<b>1.205</b>			
<b>Antropojenik Pb<sup>b</sup></b>	<b>1.168</b>			

<sup>a</sup>Millot et al. (2004), <sup>b</sup>N'guessan et al. (2009)

## 6. Sonuçlar

Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarının ortalama Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co ve Cd değerleri sırasıyla 111, 65.7, 32, 17.6, 16.4, 16.1 ve 0.2 ppm olarak hesaplanmıştır. Ortalama Pb değeri üst kıtasal kabuğun Pb değerinden daha küçük, ortalama Cu, Zn, Ni, As, Cd ve Co değerleri ise üst kıtasal kabuğa ait aynı elementlerin değerinden daha yüksektir.

Dere yatağı sedimanlarının Al/Si oranı ile Cu, Pb, Ni ve Co arasında pozitif korelasyon vardır ve söz konusu elementlerin dağılımı tane boyu ile kontrol edilmiştir. Ayrıca TOK içeriği ile Cu, Pb ve Zn arasında pozitif ilişki olması, bu elementlerin dağılımının TOK bolluğu ile kontrol edildiğinin göstergesidir.



**Şekil 3.** Ankara Çayı sedimanlarının (A)  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ve  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ilişkisi, (B)  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ilişkisi (N'guessan vd., 2009).

İncelenen sedimanlar, Cu, Pb, Zn ve Co elementlerince lokal olarak orta derecede kirlenmiştir ve kirlenme genel olarak yerleşim alanı ve sanayi sitesine yakın yerlerde tespit edilmiştir. Söz konusu sedimanlar, Cd ve Ni elementlerince genel olarak orta fakat yer yer önemli oranda, As elementince önemli oranda kirlilik tespit edilmiştir. *Ijeo* değerlerine göre Ankara Çayı dere yatağı sedimanları, Cu, Pb, Zn ve Cd açısından kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiştir, Co bakımından orta derecede kirlenmiş, Ni bakımından orta-çok kirlenmiş ve As bakımından çok kirlenmiştir. Dolayısıyla Pb, Cu, Zn, ve Co elementleri genel olarak jeolojik kaynaklı olmakla beraber yer yer antropojenik katkı söz konusudur. Cd çoğunlukla antropojenik olmakla beraber kısmen jeolojik katkı görülmektedir, ancak Ni ve As'nin tamamen antropojenik olduğu düşünülmektedir. Ayrıca,  $\text{Pb}_{\text{antropojenik}} (\%)$  değerlerine göre Pb bakımından kirlenen örneklerin tamamının (YA9 hariç) insan kaynaklı olarak kirlendiği ve bu kirliliğin endüstriyel kaynaklardan sedimanlara karıştığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak Ankara Çayı dere yatağı sedimanlarında Pb, Cu, Zn, Co ve Cd elementlerince lokal olarak, Ni ve As elementlerince ise genel olarak kirlilik tespit edilmiştir. Ankara Çayı'nın korunabilmesi ve zamanla oluşacak daha fazla kirliliğin önüne geçilebilmesi için özellikle sanayi sitelerinde arıtma tesislerinin kurulması kurulan tesislerin özenli ve düzenli bir şekilde

işletilmesi ve bunun yanı sıra evsel atık su deşarjlarının önüne geçilmesi gerekmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK projeleri (Proje No: 114Y803) kapsamında desteklenmiştir. Makaleye yapmış olduğu katkılarından dolayı F. Sipahi'ye teşekkür ederiz. Ayrıca makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Editör S. Alemdağ ve Hakemlere teşekkürü borç biliriz.

### 7. Kaynaklar

Aiman, U., Mahmood, A., Waheed, S. ve Malik, R.N. 2016. Enrichment, geoaccumulation and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmood Booti dumping site, Lahorecity, Pakistan. *Chemosphere* 144 2229–2237.

Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Göneng, O., Granit, S. Ve Yaşar, T. 1997. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Ankara-İ29 Paftası Jeoloji Etütleri Dairesi Ankara, 55.

Álvarez-Iglesias, Rubio, B. ve Millos, J. 2012. Isotopic identification of natural vs. anthropogenic lead sources in



- marine sediments from the inner Ría de Vigo (NW Spain). Sci. Total Environ., 437, 22-35.
- Bilgin, Z.B., Oğuz, F., Sevin, M., Parlak O., Erdem, Y., Özden ve U.A. 2009. 1/100 000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Ankara-İ28 Paftası. Ankara: Jeoloji Etütleri Dairesi, 11215.
- Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F. ve Dong, C.D. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. Chemosphere 66 (8), 1431–1440.
- Chester, R. ve Stoner, J. H. 1973. “Pb in particulates from the lower atmosphere of the eastern Atlantic”, Nature, 245, 27-28.
- Chow, T.J., Snyder, C.B. ve Earl, J.L. 1975. Isotope ratios of lead as pollutant source indicators. IAEA-SM, Vienna.
- Cui, N., Wu, J., Xiang, D., Cheng, S., Zhou, Q., 2013. A field study on seed bank and its potential applications in vegetation restoration of polluted urban river in China. Ecol. Eng., 60, 37-44.
- Da Silva, I.S., Abate, G., Lishtig J. ve Masini, J.C. 2002. Harmful element distribution in recent sediments of the Tiete-Pinheiros river system in Sao Paulo state, Brazil. Appl. Geochem., 17, 105-116.
- Das, A. ve Krishnaswami, S. 2007. Elemental geochemistry of river sediments from the Deccan Traps, India: Implications to sources of elements and their mobility during basalts-water interaction. Chemical Geology, 242, 232-254.
- Demirak, A., Yılmaz, F., Levent Tuna, A. ve Ozdemir, N. 2006. Harmful elements in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from stream in southwestern Turkey. Chemosphere 63(9), 1451-1458.
- Demirkol Kılıç, E. 2015. Çoruh Nehri (Bayburt) Dere Yatağı Çökellerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Ağır Metal İçeriğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Elbaz-Poulichet, F., Holliger, P., Martin, J.M. ve Petit, D. 1986. Stable lead isotope ratios in major French rivers and estuaries. Sci. Total Environ., 54, 61-76.
- Feng, H., Han, X., Zhang, W. ve Yu, L. 2004. A preliminary study of heavy metal contamination in Yangtze River intertidal zone due to urbanization. Mar. Pollut. Bull. 49 (11),910-915.
- Fu, J., Zhao, C., Luo, Y., Liu, C., Kyzas, G.Z., Luo, Y., Zhao, D., An, S., Zhu, H., 2014. Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors. J. Hazards. Mater. 270, 102-109.
- Ghrefat, H.A., Abu-Rukah, Y., Rosen, M.A., 2011. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafraïn Dam, Jordan. Environ. Monit. Assess., 178 (1-4), 95-109.
- Garrels, R. M. ve Mackenzie, F. 1971. Evolution of Sedimentary Rocks. New York: W.W.Norton.
- Gümüş, M.K. 2016. Ankara Çayı’na Ait Eski Alüvyonlarının Jeokimyasal ve İzotopik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Hanif N., Eqani, S.A.M.A.S., Ali A.M., Cincinelli, A., Ali, N., Katsoyiannis, I.A., Tanveer, Z.I. ve Bokhari, H. 2016. Geo-accumulation and enrichment of trace metals in sediments and their associated risks in the Chenab River, Pakistan. J. Geochem. Explor., 165, 62-70

- Iqbal, J. ve Shah, M.H. 2014. Occurrences, risk assessment, and source apportionment of harmful elements in surface sediments from Khanpur Lake, Pakistan. J. Anal. Sci. Technol. 5 (1), 1-12.
- Ilkem, A., Adisa, S. 2011. Runoff effect on eutrophic lake water quality and heavy metal distribution in recent littoral sediment. Chemosphere, 82, 259-267.
- Kalender, L. ve Uçar, S.Ç. 2013. Assessment of metal contamination in sediments in the tributaries of the Euphrates River, using pollution indices and determination of the pollution source, Turkey. J. Geochem. Explor., 134, 73-84.
- Liao, J.B., Chen, J., Ru, X., Chen J., Wu, H., Wei, C. 2017. Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment. J. Geochem. Explor., 176, 9-19.
- Lin, J.G., Chen, S.Y. 1997. The Relationship Between Adsorption of Heavy Metal and Organic Matter in River Sediments. Environment International, 24, 345-352.
- Liu, W.X., Li X.D., Shen, Z.G., Wang, D.C., Wai, O.W.H. ve Li, Y.S. 2003. Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River Estuary, Environ Pollut, 121, 377-388.
- Millot, R., Allègre, C-J. ve Gaillardet, J. 2004. Lead isotopic systematic of major river sediments: a new estimate of the Pb isotopic composition of the Upper Continental Crust. Chem. Geol., 203, 75-90.
- Monna, F., Lancelot, J., Croudace I.W., Cunday, A.B. ve Lewis, J.T. 1997. Pb isotopic composition of airborne particulate material from France and southern United Kingdom: implication for Pb pollution sources in urban areas. Environ Sci Technol, 31, 2277-2286.
- Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo. J. 2 (3), 108-118.
- Nesbitt, H.W. ve Wilson, R.E. 1992. Recent chemical weathering of basalts. Am. J. Sci., 292, 740-777.
- Nilin, J., Moreira, I.B., Aguiar, J.E. Marins, R., Moledo De Souza Abessa, D., Monteiro, Da Cruz Lotufo, T., Costa-Lotufo, L.V., 2013. Sediment quality assessment in a tropical estuary: the case of Ceará River, northeastern Brazil. Mar. Environ. Res., 91, 89-96.
- N'guessan, Y.M., Probst, J.L., Bur, T. ve Probst, A. 2009. Trace elements in stream bed sediments from agricultural catchments (Gascogne region, S-W France): Where do they come from?. Science Of The Total Environment, 407, 2939-2952.
- Oskierski, H.C., Sindern, S., Lima, R.F.S. ve Petta, R.A. 2009. Geogenic and anthropogenic lead isotope signatures in the urban environment of Natal (NE-Brazil). Environ. Geol., 58, 1811-1817.
- Owens, P.N., Batalla, R.J., Collins, A J., Gomez, B., Hicks, D. M. ve Horowitz, A. J. 2005. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. River Res. Appl., 21, 693-717.
- Özkan, Ö. 2016. Ankara Çayı Dere Yatağı Çökellerinin Jeokimyasal, İzotopik Özellikleri ve Ağır Metal İçeriği, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Park, J. ve Presley, B.J. 1997. Trace metal contamination of sediments and organisms from the Swan Lake area of Galveston Bay. Environ. Pollut., 98, (2), 209-221.

- Roussiez V., Ludwig, W., Probst, J.L. ve Monaco, A. 2005. Background levels of harmful elements in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): an approach based on  $^{133}\text{Cs}$  normalization and lead isotope measurements. Environ. Pollut., 138, 167-177.
- Ryu, J., Khim, J.S., Kang, S., Kang, D., Lee, C., Koh, C., 2011. The impact of heavy metal pollution gradients in sediments on benthic macrofauna at population and community levels. Environ. Pollut., 159, 2622-2629.
- Sultan, K. ve Shazili, N.A. 2010. Geochemical baselines of major and trace elements in the tropical sediments of the Terengganu River basins, Malaysia. International Journal of Sediment Research, 25, 340-354.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publishing.
- Turekian, K.K. ve Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Am. Bull., 72 (2), 175-192.
- Varol, M. 2011. Assessment of harmful element contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. J. Hazard. Mater. 195, 355-364.
- Vèron, A., Flament P., Bertho, M.L., Alleman, L., Flegat, R. ve Hamelin, B. 1999. Isotopic evidence of pollutant lead sources in Northwestern France. Atmos. Environ. 33, 3377-3388.
- Xio, R., Bai, J., Huang, L., Zhang, H., Cui, B. ve Liu, X. 2013. Distribution and pollution, toxicity and risk assessment of harmful elements in sediments from urban and rural rivers of the Pearl River delta in southern China. Ecotoxicology, 22 (10), 1564-1575.
- Zhang, J. ve Liu, C.L. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. Estuar. Coast. Shelf Sci., 54 (6), 1051–1070.
- Zhang, B., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Tang, C., Yu, Y., Ma, Y. 2012. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. Water Res., 46, 2737-2748.

## Kentsel Dönüşüm Alanlarının Seçimi ve Dönüştürülmesine Yönelik Örnek Bir Uygulama

Kemal ÇELİK\*

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

Geliş tarihi/Received 28.04.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 02.07.2017

Kabul tarihi/Accepted 10.07.2017

### Öz

Ülkemizdeki konut hacminin büyük çoğunluğunun imar mevzuatına uygun olmadan yapılmış olduğu karşı konulmaz bir gerçektir. Herkesin hemfikir olduğu ancak çıkartılan kanunlara rağmen tam anlamı ile önüne geçilemeyen bu durum, çarpık kentleşmeye neden olmasının yanı sıra yapı kalitesizliği yönüyle afet riski de oluşturmaktadır. Çarpık kentleşmeye bağlı çirkin görüntünün ortadan kaldırılması, daha yaşanabilir alanların oluşturulabilmesi ve afet risklerinin mümkün olduğunca azaltılabilmesi için planlı bir müdahalenin gerekliliği “Kentsel Dönüşüm (KD)” kavramını ortaya çıkarmıştır. Buna göre kentsel dönüşüm; fiziksel, sosyal ve kültürel açıdan çöküntüye uğramış kentsel bölgelerin kent ile bütünlüğünü kurarak daha yaşanabilir standartlarda mekânlar haline getirilmesini sağlamaktır. Bu çalışmada; Gümüşhane İli, Yenimahalle’deki yapılaşma değişimi incelenmiştir. KD’ye uygunluğunu analiz etmek amacı ile 1946, 2004 ve 2014 yılına ait görüntüler elde edilmiştir. Görüntülerden elde edilen veriler SketchUp programı ile 3 boyutlu hale getirilerek incelenmiştir. Yapılaşmanın plansız olduğunu 1/1000 ölçekli uygulama imar planına yasal çekme mesafelerinin işlenmesi göstermiştir. Alana yönelik kentsel dönüşüm modelleme çalışması yapılmış, yapılan modelin 3 Boyutlu hali ortaya çıkarılarak eski ile yeni durum karşılaştırılmış ve kentsel dönüşüme uygun bir alan olup olmadığı irdelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İmar Planı, Kent, Kentleşme, Kentsel Dönüşüm

## A Case Study on the Selection and Conversion of Urban Transformation Areas

### Abstract

Urbanization is the process of the people migrates from small residential area to larger urban centers, often motivated by growing economically. Growth in large centers has not been planned. It is avoidable fact that the vast majority of the housing in our country has not been built in compliance with the public housing laws. This situation, which everyone agrees but cannot be irrepressible in spite of the laws, creates a risk of disaster in terms of poor quality and causes a distorted urbanization. The necessity of planned intervention in order to remove unplanned urbanization and a blot on the landscape and create more habitable areas reveals the concept of ‘Urban Transformation’. Accordingly, urban transformation is to provide that make it a place for more livable standards by establishing the integrity of urban areas subjected to collapse in terms of physical, social and cultural with the city. In this study, the change of construction in Yenimahalle in Gümüşhane was investigated. Images for 1946, 2004 and 2014 were obtained with the purpose of analyzing the suitability of UT. The obtained data were converted into 3D with the SketchUp

\* Kemal ÇELİK, kemalcelik@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 10 00

*program. Processing of legal draw distances on 1/1000 scaled the master plan application revealed unplanned urbanization. Urban transformation modeling study was carried out in this area. 3D version of this model was revealed and then new situation after the emergence of this model was compared with old one. It was also investigated whether there is a suitable area for urban transformation.*

**Keywords:** Master Plan, Urban, Urbanization, Urban Transformation

## 1. Giriş

Kentleşme; ana sebep itibarı ile ekonomik olarak güçlenmek amacıyla insanların küçük yerleşim bölgelerinden daha büyük merkezlere göçlerin başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Ulaşım imkânlarının çeşitlenmesi ile birlikte şehirlerin büyümesi hız kazanmış, şehirler sınırlarına doğru genişleme göstermiştir. Geçmişte dünyadaki nüfusun büyük bir bölümü geçimini tarımsal faaliyetlerden sağlamakta iken sanayileşme ve hızla gelişen teknoloji ve bağlı olarak yeni iş olanaklarının ortaya çıkmasıyla kentlerin nüfusu artmaya başlamıştır ki bu da plansız ve çarpık kentleşmeyi beraberinde getirmiştir. Ülkemizdeki konut hacminin büyük çoğunluğunun imar mevzuatına aykırı yapılmış durumda olduğu düşünüldüğünde çarpık kentleşme ve çirkin görüntünün ortadan kaldırılarak daha yaşanabilir alanların oluşturulabilmesi için planlı bir müdahalenin gerekliliği “kentsel dönüşüm(KD)” kavramını ortaya çıkarmıştır.

Ülkemizde son yıllarda uygulanmaya başlanan KD projeleri, dünyadaki gelişmiş ülkelerin çoğunda çok daha eskilere dayanmaktadır. Ülkemizde ise, 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi sonrasında kentsel dönüşüm yeniden gündeme gelmiş ve bu yıldan sonra yapılan çalışmalar ile üç dikkat çekici kanun çıkartılmıştır. Bu kanunlardan ilki 2005 yılında yürürlüğe konulan 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 73.maddesi, kentsel dönüşüm konusunu düzenlemektedir. Bu kanunlardan ikincisi 2005 yılından beri yürürlükte olan 5366 sayılı Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurallarınca sit alanı olarak tescil ve ilan edilen

bölgelerin yenilenerek korunmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Daha sonra üçüncü kanun olarak kabul edebileceğimiz 2012 yılında yürürlüğe konulan 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun'dur. Bu kanun afet riski altında olan yapıların yıkılarak yenilenmesini amaçlamaktadır (Şimşek, 2016).

Bu çalışmada, Gümüşhane ili Yenimahalle Mahallesi sınırları içerisinde kentsel dönüşüm ihtiyacı olup olmadığının araştırılması gerektiği düşünülen bir alan için, elde edilen veriler ışığında ve 3 boyutlu modellemede eski-yeni durum karşılaştırması yapılarak bu alanın kentsel dönüşümüne uygun olup olmadığının araştırması yapılmıştır. Değişimi incelemek ve kentsel dönüşümüne uygunluğunu gözlemlemek ve analiz etmek amacı ile 1946, 2004 ve 2014 yıllarına ait görüntüler kullanılmıştır. Elde edilen 1946 yılı görüntüsünde bölgenin ham toprak olduğu, yapılaşmanın 1968 yılında afet konutlarının plansız olarak yapılması ile başladığı ve 2016 yılında doyuma eriştiği görülmüştür.

### 1.1. Kent ve Kentleşme

Kent kavramı ülke standartlarına göre değişim gösterdiğinden, bu kavrama ait evrensel bir tanım bulunmamaktadır. Ancak en genel anlamı ile kent; nüfusunun büyük çoğunluğu ticaret, sanayi ya da hizmet alanında çalışan, tarımsal etkinliklerin olmadığı, sürekli toplumsal gelişme kapsamında olan ve içerisinde yaşayan insanların tüm sosyal ve kültürel gereksinimlerini karşılayabildiği yerleşim birimidir (Çay, 2001). Kent, köylere kıyasla daha fazla nüfusa sahip, tarım dışı faaliyetlerin yoğunlaştığı, toplumun barınma,

çalışma, eğlenme ve ulaşım gereksinimlerini karşılamak üzere düzenlenen yerleşmelerdir (Çelik, 2006).

Kentleşme basit bir ifade ile kentlerin ve kentlerdeki nüfusun sürekli artış göstermesidir. Kentlerdeki nüfus daha çok köyden kente göç edilmesi ile artar. Gelişmiş ülkelerin kentleşmesi de buna benzer yer değiştirmeler sayesinde gerçekleşir. Ancak kentleşmenin yalnızca nüfusa bağlı olduğu zannedilmemelidir. Kentleşme, toplumların ekonomik ve toplumsal yapısıyla da ilişkilidir. Bu sebeple kentleşme olgusu tanımlanırken nüfus hareketini sağlayan ekonomik ve toplumsal değişimler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu perspektifte düşünüldüğünde kentleşme, tarım dışı sanayi faaliyetlerinin yoğunlukta olduğu, ekonomik gelişmenin sağlandığı, toplumda artan örgütlenme, işbölümü ve uzlaşmanın olduğu, insan davranış ve ilişkilerinde kent kültürüne özgü değişimlere sebep olan nüfus artışı süreci olarak tanımlanabilir.

### **1.1.1. Kentleşme Nedenleri**

Türkiye'deki kentleşmeyi, köyden kente itici güçler ve kentlerde insanlara cazip gelen çekici güçler olarak sınıflandırmak mümkündür. Köylerdeki insanların kentlere göç etmesindeki en önemli itici güç 1950'li yıllarda tarımda teknolojinin ön plana çıkması ile birlikte makinenin insan emeğinin yerini almasıdır. Köylerdeki halkın Kent'e göç ederken ailelerini de yanlarında götürdüğü veya kısa süre sonra yanlarına aldırıldığı düşünüldüğün de kent nüfusunun hızlı artışı fark edilir düzeye ulaşmıştır.

Kentlerdeki en önemli çekici etkenlerin başında iş imkânları gelmekte ve sanayi sektöründeki maaş yüksekliği kentleri cazip hale getirmektedir. Büyük kentlerde eğitim, sağlık, sosyal ve kültürel olanaklar kırsaldan kente göçün hızla sürmesine kaynaklık etmektedir. Buna bir de son zamanlarda ülkemizdeki terör olayları dâhil olduğunda, özellikle güneydoğudaki kırsal alanlarda yaşayan nüfusun güvenlik hizmetlerinin daha etkin kullanıldığı kentlere göçü kaçınılmaz olmuştur. Büyük kentlerden geriye dönüş için

teşvik paketleri açıklanmaktadır. Köye dönüşü özendiren KOSGEP destekleri verilmektedir. Kentleşme nedenleri birbirine bağımlı bir şekilde, ekonomik, teknolojik, siyasal ve sosyo-psikolojik nedenler olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

### **a. Ekonomik Nedenler**

Kentlerdeki ekonomik üstünlüğün fazla oluşu kentleşmedeki ekonomik nedenlerin baş aktörüdür. Daha açık bir ifade ile kentlerdeki iş olanaklarının fazlalığı ve sistematik bir iş bölümünün oluşu çalışanların belli bir alanda uzmanlaşarak gelirini artırmaya yol açmaktadır. Uzman personel ihtiyacının sanayi sektörünün önemli temel taşlarından biri olduğu düşünülürse, işsizlik problemi yaşamayacağını düşünen kırsal kesimdeki insanların kentlerde kendilerine uygun bir işte uzmanlaşmayı hedeflemeleri kentlere yönelik çekici bir etki yaratmaktadır (Ertaş, 2011; URL-6, 2016).

Kırsal kesimlerde özellikle teknolojiden uzak tarımsal veya hayvansal faaliyetlerin getirdiği gelir, köylüyü köyünde tutamayacak kadar düşmüştür. Bununla birlikte arazi toplulaştırması girmemiş bölgelerde parçalanmış ve birbirinden çok uzak kalmış tarım parselleri olan çiftçiler tarımsal faaliyet yapamayacak durumda gelerek kentlere göçü tercih etmişlerdir. Kentsel alanlardaki sosyal imkânların fazlalığı ve bunlara ulaşma olanaklarının sıklığı ise ekonomik neden olarak insanları kente çeken bir diğer unsurdur.

### **b. Teknolojik Nedenler**

Sanayi devrimi ile birlikte gelişen teknoloji kentleşmeye hız kazandırmıştır. Gelişen teknolojinin etkisiyle kurulan fabrikaların büyük çoğunluğu nüfusun yoğun olduğu alanlarda yani kentlerde kurulmuş, bu sebep sonuç ilişkisi ise kentler için cazip bir çekicilik oluşturarak kırsaldaki halkın büyük kısmının kentlere göçünü sağlamıştır. Özellikle elektrik enerjisinin sanayide ve halk arasında yarattığı etki, insanları kente çekmede büyük rol oynamıştır. Bunun etkisiyle ağır sanayi olarak kurulan demir

çelik fabrikalarının çeperleri yoğun nüfus çekmiş ve hemen bitişiğindeki alanlar kentsel karaktere bürünmüştür.

### **c. Siyasal Nedenler**

Farklı düzeylerdeki siyasi otoritelerin almış olduğu kararlar, çeşitli hukuki kurumlar ve yerel yönetim yapısının öznelikleri kentleri cazip hale getirmektedir. Günümüze kadar kırsal kesimde tarım arazilerinin mirasçılık sebebi ile parçalanması maddi verimi yetersiz küçük toprak parçaları oluşturmakta ve kentlerdeki farklı gelir düzeyindeki iş imkânları özendirici etken oluşturmaktadır. Yatırımların kent merkezi ve liman yakınlarına yapılması siyasal kararları oluşturmaktadır. Yabancı yatırımcının isteklerine siyasiler karar verdiğinden kentleşmeye ciddi oranda etkisi olmaktadır.

### **d. Sosyo-Psikolojik Nedenler**

Sosyo-psikolojik nedenler aslında köyler ve kentler arasındaki yaşam farklılıklarından dolayı oluşmaktadır. Kentin özgür ruhu, kentlilik gururu, kentlerin hizmet sektöründeki hareketliliğinin insanlar üzerinde oluşturduğu rahatlık hissi kenti çekici kılmaktadır.

Kentlilerin yaşadıkları kentler için kullandığı “İstanbul’un taşı toprağı altındır” gibi ifadelerin insanlar üzerinde zenginleşmenin yolunun İstanbul vb. kentlere gitmek olduğu izlenimi oluşturmaktadır. Kentlerin sahip olduğu imkânlar ve hizmetler kırsal kesimdeki insanlar üzerinde çekici bir etki oluşturmaktadır. Kentlerde sağlanan eğitim ve sağlık imkânlarının yanında, sosyal hareketliliğin fazla oluşu bu etmenlerden bazılarıdır.

### **1.2. Kentsel Dönüşüm**

Kentsel dönüşüm, fiziksel, sosyal ve ekonomik faktörlerden dolayı kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap verememeye başlanmış ekonomik sosyal ve fiziksel dinamiklerinde problem yaşayan sağlıklı kentlerin yeniden yapılandırılarak kente adapte edilmesi olarak ifade edilebilir (Torunoğlu, 2007).

Kentsel dönüşüm, her kenti kendi şartları ile değerlendirir. Herhangi bir ülkenin herhangi bir kentinde uygulamaya konulan model, Türkiye’de herhangi bir kentte uygulanacak projeler için uygun olmayabilir. Çünkü Türkiye’deki dönüşüm kapsamındaki yerlerin kendine özgü yerel özellikleri, kültürü, şartları ve potansiyelleri vardır. Bu sebeple her alan için ayrı bir proje modelinin oluşturulması gerekmektedir. Dönüşüm politikaları için üst ölçekte genel politikalar belirlenebilir ancak, alt uygulamalara inildikçe her projeye özgü yöntemlerin belirlenmesi gerekmektedir (URL-6 ve 7, 2016).

Kentsel Dönüşümün Türkiye pratiğindeki kullanımına bakıldığında şu şekilde tanımlanabilir: Yaşanabilir sağlıklı kentlerin yaratılması genel hedefiyle birlikte;

- Kaçak yapılaşmış alanların dönüştürülmesi,
- Doğal afetlerle doğrudan etkilenecek olan sakıncalı alanlarda yer seçmiş konut veya başka kullanım alanlarının dönüştürülmesi,
- Kent içinde kalan kullanımı sakıncalı çalışma alanlarının dönüştürülmesi,
- Kent içinde niteliksiz, sağlıklı alanların ve yaşanabilir kent standartları dışında kalan alanların dönüştürülmesi,
- İşlevini yitirmiş tarihi mekânların, koruma alanlarının dönüştürülmesi amaçlarıyla kullanılan ve belirli aktörler tarafından uygulamaya geçirilen bir planlama aracıdır (Bayraktar, 2004).

Kentsel dönüşümün ana hedefi insan odaklı yaşanılabilir standartlarda kentler oluşturmaktır. Bu ana hedef doğrultusunda uygulamaya konulacak kentsel dönüşüm projelerinin taşınması gerektiği amaçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Kentin kültürel ve fiziksel özellikleri dikkat alınarak daha yaşanılabilir alanlar oluşturmaktır. Oluşturulan bu alanlarda kentsel refah ve yaşam standartlarını artırıcı ekonomik kalkınma modeli oluşturulmalıdır.
- Kentsel dönüşüm projeleri kentlerin hızla kalabalıklaşan ve köhneleşen alanlarındaki fiziksel, kültürel, ekonomik, altyapısal ve çevresel değişikliklerinin, dönemin

ihtiyaçlarının göz önünde bulundurularak yeniden geliştirilmesine olanak sağlamalı.

- Kentsel dönüşüm yapılacak alandaki sosyal donatı eksiklikleri giderilmelidir.
- Kentsel değişim ve gelişim dikkate alınarak ileriye dönük modeller oluşturulmalıdır.

Kentsel Dönüşüm projelerinde bölgenin sorun ve potansiyeli dikkate alınarak bu amaçlardan bir veya birkaçı ön plana çıkabilmektedir.

Kentsel dönüşüm projelerinin bireyler için en önemli boyutu finansal kısmıdır. Ortaya koyulan projelerin oluşturduğu rant ile proje maliyeti arasındaki denge iyi ayarlanmalı ve hem maliyetin hem de rantın taraflara dağılımı sağlanmalıdır. Düşük ve orta gelirli ailelerin konut ihtiyacını gidermeye yönelik kredilendirme ve doğrudan konut üretimi yaparak bunların düşük faizlerle uzun dönemli satışını gerçekleştirme faaliyetlerini üstlenen Toplu Konut İdaresi (TOKİ), 2002-

2011 yılları arasında 500,000 konutlu toplu konut üretimi gerçekleştirmiş, 2011-2023 yılları arasında ise 700,000 konutlu toplu konut üretimi planlamaktadır (URL-1, 2016).

TOKİ orta ve alt sınıfın konut talebini ürettiği toplu konut projeleri ile karşılama faaliyetleri ile birlikte kentsel dönüşüm, stadyum projeleri gibi kâr amaçlı projelerde de faaliyet göstermektedir. Kentsel dönüşüm kapsamında eski ve risk taşıyan binaların kentsel dönüşüm kredisinden faydalanarak yeniden inşası mümkündür. Kentsel dönüşüm kapsamına girmiş yapı, kat karşılığı anlaşmaya uygun ise yine kentsel dönüşüm kredisi ile ev alınması da olanaklıdır. Riskli yapılarda kiracı olarak oturanlarında kentsel dönüşüm kredisinden faydalanarak ev sahibi olmaları mümkündür. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenen kredi faiz indirimi ile ilgili veriler Tablo 1’de göstermektedir.

**Tablo 1.** Kredi türüne göre faiz desteği oranları (URL-2, 2016).

Kredi Türü	Faiz Desteği Oranı	Azami Ödemesiz Dönem(Yıl)	Azami Vade (Yıl)
Güçlendirme	%4	2	10
Konut Yapım	%4	2	10
İşyeri Yapım	%3	2	7

Anlaşmalı uygulama alanındaki yapılar ile uygulama alanı dışındaki riskli yapıların maliklerine tahliye tarihinden itibaren konut ve işyerlerinin teslim tarihine veya ilgili kurumca belirlenecek tarihe kadar, mümkün olması hâlinde geçici konut veya işyeri tahsisi, mümkün olmaması hâlinde ise, Bakanlıkça kararlaştırılacak aylık kira yardımı yapılabilir. Bu kira yardımı 2016 yılı için illine göre 495 ile 795 Türk Lirası arasında değişiklik göstermekte olup yardım süresi 18 ay ile sınırlandırılmaktadır. Yine 2016 yılı için Gümüşhane ilinin içerisinde bulunduğu 22 ilde bu bedel alt sınır olan 495 Türk Lirası olarak belirlenmiştir. Anlaşılacak bedel her yıl TÜİK tarafından yayınlanan Tüketici Fiyatları Endeksi oranında revize edilmektedir. Ödenecek kira yardımında taşınma masrafları da göz önünde bulundurularak ilk beş aylık kısmı peşinen ödenir. Kentsel dönüşüm yapılacak alanlardaki kiracı veya sınırlı aynı

hak sahiplerine Bakanlığın belirleyeceği oranlarda bir kereliğine mahsus kira yardımı yapılabilir (URL-2, 2016).

Türkiye’de kentsel dönüşüm kavramının gündeme gelmesi 1970’li yıllara, planlamada bir uygulama aracı olarak kullanılmaya başlanması ise 1980’li yıllara denk düşmektedir (Genç, 2008). Kentsel dönüşüm ilişkili düzenleme ve uygulamalar uzun süre, mevcut mevzuat ve yasal düzenlemeler çerçevesinde yürütülmüştür. Bu nedenle batıdaki örneklerinde olduğu gibi çok yönlü, kapsamlı politika, teknik ve yöntemlerden, kurumsal ve finansal yapıdan ziyade, birbirlerinden kopuk ve geçici düzenlemeler ve uygulamalar söz konusu olmuştur. Son yıllarda konuyla ilgili olarak yapılan düzenlemelere kadar, yerel yönetimler bazında bazı büyükşehir belediyeleri kentsel yenilemeye ilişkin görevleri yerine getiren



uygulayıcı birimler olmuştur (Gündoğan, 2006; Ülger, 2009; Çelik, 2013).

Dünya genelinde yapılan kentsel dönüşüm uygulamaları, yerel yönetimler, özel sektör ve halk birlikteliği ile gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde yapılan veya yapılmakta olan uygulamalarda halk katılımı hazırlık aşamasında oluşmaktadır. Dünyada yapılan uygulamalar irdelendiğinde kentsel dönüşüm uygulamalarında hazırlık aşamasından başlayarak projenin son aşamasına kadar halkın katılımı görülmektedir. Ülkemizde çok fazla gecekondulaşmış alanın olması, kaçak yapılaşmadaki artış ve 1999 depreminin ardından kentsel dönüşüm uygulamalarının gereksinimi ortaya çıkmıştır. Son dönemde kentsel dönüşüm uygulamaları daha çok TOKİ eliyle gerçekleştirilmektedir. 6306 sayılı kanunla birlikte özel sektör ve yapı sahipleri kentsel dönüşüm uygulaması yapar hale gelmiştir.

## **2. Kentsel Dönüşümde İmar Hakkı Aktarımı**

Kentlerimizdeki yapı yoğunluğunun oldukça yüksek olması ve buna karşın yeşil alan, park, oyun alanı gibi kamu kullanımlarının az olmasının yanı sıra, deprem riski yüksek alanlar ve mevcut konut stokunun, belli bir bölümünün güvenli olmayan durumu dikkate alındığında, artık kentlerimizde, birtakım alanların boşaltılması veya dönüşümünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu tür projelerin gerçekleştirilmesi için mevcut veya potansiyel imar haklarının hesaplanarak, başka bir alanda gerçekleştirilecek projelere transfer edilmesinde yarar vardır. Bu arada amaç gerek imar hakkının bir başka alana transfer edilmesi, gerekse bu hakkı, menkul değer olarak, serbest piyasada, değerlendirmek isteyen kullanıcılar ile bunu talep eden yatırımcılar arasındaki ilişkinin iyi kurularak, eşitlikçi imar hakkı ve daha fazla yeşil alan, park vb. gibi kamu alanları yaratılmasıdır (Ekler, 2004; Yamak, 2006; Çelik, 2013).

İmar hakkı aktarımı anlaşma üzerine kurulu bir sistemdir. Malikler arsaları üzerindeki mevcut imar hakkına göre değeri, ya sertifika

yöntemi ile piyasa koşullarında nakde çevrilir veya başka proje çerçevesinde yine piyasa koşullarında farklı şekillerde değerlendirilir.

### **2.1. Gayrimenkul Sertifikası**

Konut veya işyeri projelerinin, bir yatırımcı tarafından, proje bedelinin finansmanını sağlamak amacıyla kullanılır. Amaç, sertifika sahipleri, sertifikada belirtilen tarihlerde almak istedikleri bağımsız bölümlerin (konut, ofis, işyeri vb. gibi) gerektirdiği sayıya ulaştığı zaman, sertifikayı piyasaya sunan yatırımcı, belirlenen süre içinde proje bitirmek ve bağımsız bölümleri teslim etmek durumundadır. Gayrimenkul Sertifikası, yeni yerleşim projeleri ile kent merkezlerinde gerçekleştirilecek Kentsel Dönüşüm Projelerinin finansmanı için kullanılabilir. Gayrimenkul sertifikası ile konut projelerindeki daireler metrekare birim fiyatına göre satışa çıkarılabilir. Bir metrekarelik bile olabilecek sertifika, projeler başlarken satışa çıkarılır. Bu değerler borsada ihraç edilir. Sertifika sahipleri ister dairesini alabilir, ister sertifikalarının karşılığındaki tutarı alabilirler (Çelik, 2013).

Gayrimenkul sertifikası ülkemizde geçmişte denenmiş fakat beklentilerin altında kaldığı için süreklilik sağlanamamıştır. 2016 yılında 29790 sayılı resmi gazetede yayınlanan Gayrimenkul Sertifikaları Tebliği'nde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ ile gayrimenkul sertifikaları ile konut projelerindeki daireler metrekare bazında satışa çıkabilecek. İsteyene bir metrekarelik sertifika bile düzenlenebilecek, projeler başlarken satışa çıkabilecek ve borsada ihraç edilebilecektir. Proje tamamlanana kadar sertifika işlem görecektir ve proje bittiğinde işlemden çekilecektir. Elinde sertifikası olanlar ister dairesini isterse parasını alabileceklerdir.

### **2.2. Kentsel Yaşam Kalitesinin Arttırılmasında Kentsel Dönüşümün Rolü**

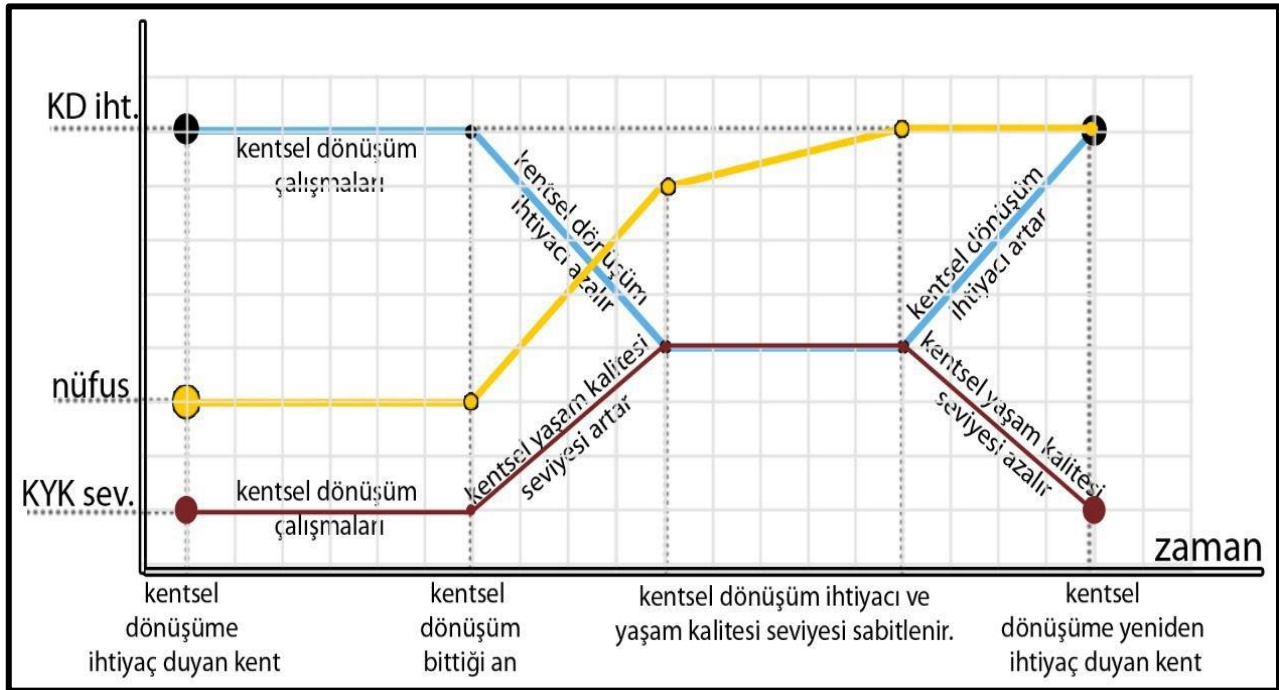
Kentsel yaşam kalitesi ile kentsel dönüşüm kavramları; mekânsal boyut içerisinde yer alan temel fonksiyonlar, bireyler ve bireylerin bu fonksiyonlar üzerindeki algıları üzerinde

kesişmektedir. Bu çerçevenin sınırlarını belirleyen, mekânda yaşanan nüfus hareketleridir. Bu hareketlilik çift yönlü çalışan bir mekanizma olarak, kentsel yaşam kalitesinin değişiminde, buna bağlı kentsel dönüşüm gereksiniminin ortaya çıkışında etkilidir. Aynı biçimde tersinden düşünüldüğünde ise, kentsel dönüşümün sebep olduğu nüfus hareketliliği kentsel yaşam kalitesindeki değişimleri de beraberinde getirir (Okumuş, 2014).

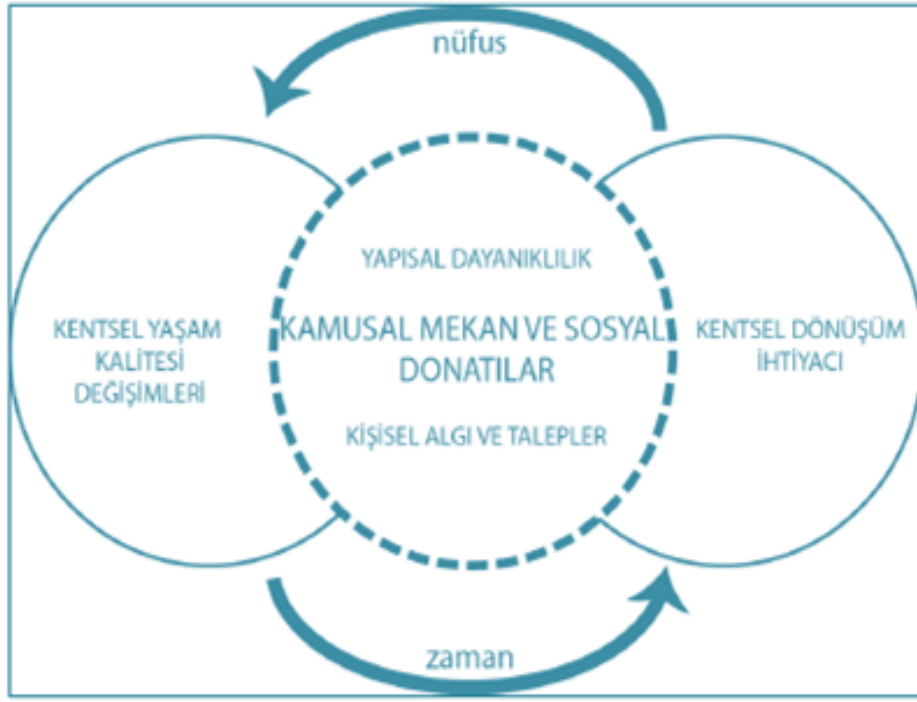
Bu kurguyu, Şekil 1’de kentsel dönüşüm ihtiyacı, kentsel yaşam kalitesi, nüfus ve zaman eksenlerinde, daha net biçimde açıklamak gerekirse; kentsel yaşam kalitesi seviyesinin düşük olduğu kentsel alanlar, kentsel dönüşüm ihtiyacının yüksek olduğu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Böyle bir alanda, bir kentsel dönüşüm uygulaması yapıldıktan sonra, durumun bir süreliğine sabit kalmasının ardından, kentsel yaşam kalitesinin artması ve kentsel dönüşüm ihtiyacının azalması beklenir. Fakat bu süreci takiben, görülmektedir ki, belli bir süre sonra kentsel yaşam kalitesi yükselen çevrelerde, bu durum nüfus yoğunluğunun da artmasını beraberinde getirir. Nüfus yoğunluğu artan kentsel alanlar, bu yoğunluğun doğurduğu

ihtiyaca anında yanıt veremeyeceği için bölgede bir süreliğine sabit kalan yaşam kalitesi seviyesi tekrar düşüşe geçer ve yeni bir kentsel dönüşüm müdahalesini gerektirir duruma gelir. Dolayısıyla, bu durumun okumasını, önce fiziksel çevrede duyulan kentsel dönüşüm gereksinimi ortadan kaldırılır, fakat süreç ilerledikçe çözüm getirilemeyen sosyal ve toplumsal gereksinimler o alanda yeniden bir sosyal dönüşüm gereksinimi gerektirir şeklinde de yapmak mümkündür (Okumuş, 2014). Şekil 2’de ise, kentsel yaşam kalitesi ve kentsel dönüşümün, kamusal mekânlar, sosyal donatılar ile kişisel algı ve taleplerin etrafında dönen bir ilişki içerisinde bulunduğu belirtilmektedir (Okumuş, 2014).

Bir bölgenin kentsel dönüşüm ihtiyacını, kentin yapısal dayanıklılığı, toplumsal refahı üzerinde etkisi olan kurumlar ve sosyal donatıların yeterliliği, toplumun bu konuya yaklaşımı, değerlendirmeleri ve beklentilerinin belirlediği kabul görmektedir. Temelde bu üç göstergenin olumsuz sonuçlar vermesi, kentlerdeki yaşam kalitesinin düşük, dönüşüm ihtiyacının yüksek olduğunun göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu döngüyü yaratan faktörler ise zaman ve zaman içinde



Şekil 1. Kentsel yaşam kalitesi ve kentsel dönüşümün nüfus hareketliliğine bağlı ilişkisi (Okumuş, 2014).



Şekil 0. Kentsel yaşam kalitesi ve kentsel dönüşümün çift yönlü ilişkisi (Okumuş, 2014)

ortaya çıkan nüfus hareketliliğidir (Okumuş, 2014). Bu durum Şekil 2’de, bahsi geçen temel noktalar etrafında dönen bir mekanizma şeklinde ifade edilmiştir. Şehircilik literatüründe sürekli olarak bahsedilen, kentlerin yaşayan olgular olduğu söyleminden hareketle, sağlıklı bir kentin zaman içerisinde yapısal, sosyal, çevresel, toplumsal bir takım problemlerle karşılaşarak kentsel dönüşüm gereksinimi ortaya koyması; bu problemlerin çeşitli müdahaleler geçirdikten ve sağlıklı bir yapıya kavuştuktan bir süre sonra yeniden ortaya çıkması, kentlerin bu dinamik yapılarının bir göstergesidir (Okumuş, 2014). Kentler nüfus yoğunluğuna bağlı kaldığından yeni talepler oluşmaktadır. Eskiyen kent dokusunun dönüşüme tabi tutulması kararının toplumsal olarak bir uzlaşa ile oluşturulması önemsenmektedir.

### 2.3. Kentsel Dönüşümde Kullanılan Uygulama Biçimleri

Kentsel dönüşüm, mevcut kentin yenilenmesi için yapılan uygulamaları içinde barındıran genel bir kavramdır. Ancak uygulama biçimlerinin tanımlanmasında pek çok farklı görüş ortaya çıkmaktadır. Bunun en önemli

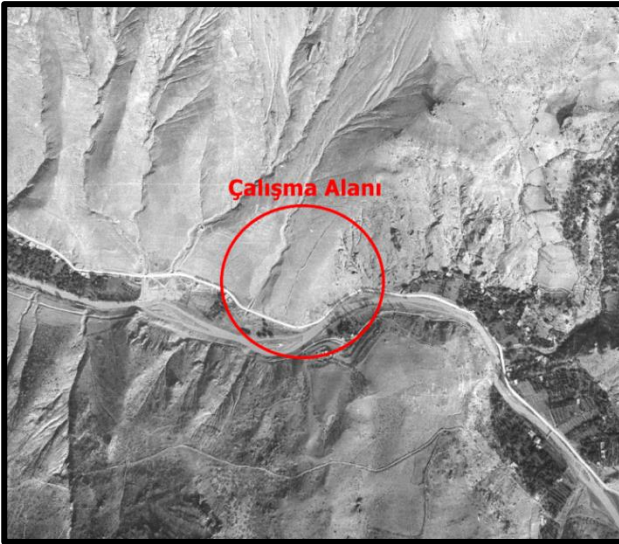
nedeni dünyanın farklı ülkelerindeki bilim insanlarının farklı adlarla tanımladığı bu uygulama biçimlerinin Türkçe’ye çevrilmesinde uzman kişi ve kurumların oluşturduğu bir terim birliğinin olmamasıdır. Kentsel dönüşüm uygulamaları farklı dönemlerde farklı biçimlerde gerçekleşmiştir. Bu uygulama biçimleri aşağıda açıklanmıştır (Akkar, 2006).

### 3. Kentsel Dönüşüm Alanlarında Uygunluk Analizi Yapılması

Çalışmada, Kentsel Dönüşüm Alanı uygunluk analizi için Gümüşhane İli, Merkez Yenimahalle sınırları içerisindeki yaklaşık 3.5 Ha büyüklüğündeki bir alan seçilmiştir. Kentsel dönüşüme uygunluğunu gözlemlemek ve analiz etmek amacı ile alana ait hava fotoğrafı ve ortofoto görüntüleri kullanılmıştır. Alanın 1/100 000 ölçekli çevre düzeni haritasında kentsel yerleşime özgülendiği görülmektedir(Şekil 3). Harita Genel Komutanlığından temin edilen 1946 yılı görüntülerinden alanın tamamen ham toprak olduğu, 2004 yılına ait hava fotoğrafında ise yoğun yapılaşmanın varlığı görülmektedir(Şekil 4).



Şekil 3. 1/100 000 ölçekli Çevre Düzeni Planı



Şekil 4. (a) 1946 yılı hava fotoğrafı

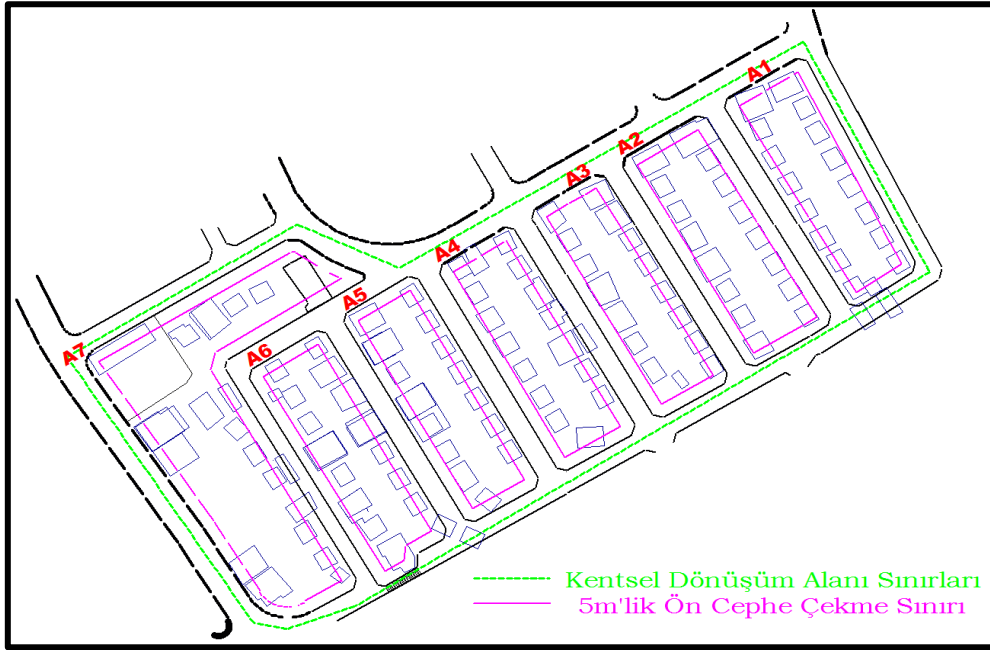


Şekil 4. (b) 2004 yılı hava fotoğrafı

Hava fotoğrafları ve ortofoto görüntülerden sonra en önemli analiz kaynağı mevcut 1/1000 ölçekli uygulama imar planı olmuştur. Şekil 5’de verilen mevcut imar durumu ve yapılaşmayı gösterir harita incelendiğinde, A1’den A7’ye kadar numara verilen adalar ve adalardaki yapılaşma şartları gözlemlenmektedir. A1, A2, A3, A4, A5 ve A6 numaralı adalarında yapılaşma şartı A-3 iken, A7 numaralı adanın kuzeydoğu kısmındaki parseller için A-3, güneybatı yönündeki parseller için ise uygulama esasını belediyenin belirleyeceği A-6 ve A-7 imar hakkına dönüştürüldüğü gözlemlenmektedir. Elde edilen konumsal verilere arazide

toplanan veriler de eklenerek daha somut bilgiler elde etmek için verilerin değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir.

Konumsal veriler NetCad yazılımı ile sınıflandırılarak, çalışma alanının mevcut kullanımın yıllara göre nasıl bir süreçten geçtiği Tablo 2’de gösterilmiştir. 1968 yılında yapılaşmaya başlayan alan 2016 yılında topografik sınırlar yönüyle doyma seviyesine ulaşmıştır. Mevcut planda ve kullanımında mesken bazlı yapılaşmanın dışında herhangi bir sosyal donatı alanı bulunmadığı için oluşturulan tabloda böyle bir başlığa yer verilmemiştir.



Şekil 5. Ön bahçe çekme hattını gösterir harita.

Tablo 2. Konumsal veri değerlendirilmesi

SINIF	1946 Yılı Alan (m <sup>2</sup> )	1968 Yılı Alan (m <sup>2</sup> )	2004 Yılı Alan(m <sup>2</sup> )	2016 Yılı Alan(m <sup>2</sup> )
Konut Alanları	0.00	Afet Konutları ile birlikte Yapılaşmanın Başlaması	5442.26	7312.91
Kamu Alanları	0.00		0.00	0.00
Park Alanı	0.00		0.00	0.00
Yollar	0.00		3740.00	3740.00
Diğer Alanlar	34000		24817.74	22947.09
<b>TOPLAM</b>	34000	34000	34000	34000

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinin 18. maddesinin birinci fıkrasında iskân alanlarında yapılacak binaların ön ve yol kenarına rastlayan bahçe mesafelerinin en az 5 m olacağı, 4 kata kadar olan binalarda yan bahçe mesafelerinin en az 3 m olacağı belirtilmektedir. Bu bilgi dâhilin de Şekil 3’de gösterildiği gibi tüm adalara cephe aldıkları yollardan ada içlerine doğru 5’er m.’lik paralel ön bahçe çekme hatları oluşturulmuştur. Ön bahçe hattı belirlendikten sonra çalışma alanındaki 110 binadan 71’inin ön cephe hattına uymadığı tespit edilmiştir. Ayrıca aynı yönetmeliğe göre binalar arası yan bahçe mesafelerinin toplamda 6 m olması gerekirken alandaki hiçbir bina arasındaki mesafede bu kurala uyulmamaktadır. Arazide toplanan mekânsal veriler Tablo 3’de bir araya getirilmiş ve mevcut durum ortaya koyulmuştur.

### 3.1. Çalışma Alanının Mevcut Durumunun Modellenmesi

Arazide toplanan konumsal veriler konumsal olmayan veriler ile ilişkilendirilerek, SketchUp yazılımında, çalışma alanının mevcut ve planlanan durumu üç boyutlu hale getirilmiştir. Bu yazılım mimarlar, mühendisler ve diğer tasarımcıların fikirlerini üç boyutlu olarak görselleştirebildiği kolay, hızlı ve yenilikçi bir araçtır. Yazılım sayesinde çalışılacak bölgenin topografik durumu Google Earth üzerinden üç boyutlu olarak program ekranına çekebilir ve aynı şekilde yine üç boyutlu ve dinamik bir şekilde yazılım ekranında çizim yapabilir ya da daha önceden yapılmış hazır modelleri kullanarak bina, şehir, park veya basit bir şekilde oda dahi planlanabilir.

**Tablo 0.** Araziden toplanan mekânsal veriler

ADA NO	BİNA SAYISI									BAĞIMSIZ BÖLÜMLER						NÜFUS	MEVCUT İMAR İLE OLUŞABİLECEK MAKSİMUM KONUT SAYISI	
	1 KATLI	2 KATLI	3 KATLI	4 KATLI	5 KATLI	6 KATLI	7 KATLI	TOPLAM	RUHSATLI ÇEKME MESAFELERİNE UYMYAN	MESKEN OLARAK KULLANILAN	KULLANILMAYAN	DEPO VEYA AHIR	TOPLAM	RUHSATLI	KİRAÇI SAYISI			
A1	6	8	0	1	1	0	0	16	2	16	13	7	11	31	9	5	46	48
A2	7	6	3	0	0	0	0	16	3	16	21	5	2	28	9	8	70	48
A3	6	6	3	1	0	0	0	16	4	16	23	3	5	31	11	9	78	48
A4	6	6	1	2	0	0	0	15	2	15	21	3	5	29	8	7	68	48
A5	5	2	4	3	0	1	0	15	8	15	36	4	0	40	26	13	110	48
A6	3	5	2	2	2	1	1	16	4	16	46	2	2	50	23	16	143	48
A7	6	1	2	1	2	2	2	16	5	16	40	8	6	54	29	16	137	75
<b>TOPLAM</b>	<b>39</b>	<b>34</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>110</b>	<b>28</b>	<b>110</b>	<b>200</b>	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>263</b>	<b>115</b>	<b>74</b>	<b>652</b>	<b>363</b>

SketchUp programında oluşturulan mevcut durum modelinin Şekil 3'de görüntüsü verilmiştir. Kuşbakışı görüntü incelendiğinde yapılmış olan binaların düzensiz bir şekilde alanı kapladığı açık bir şekilde fark edilmektedir. Öyle ki imar yollarının üzerine dahi yapıların yapılmaya başlandığı ve gecekondulaşmanın hız kesmeden alanın çevresini esir almaya doğru bir eğilim

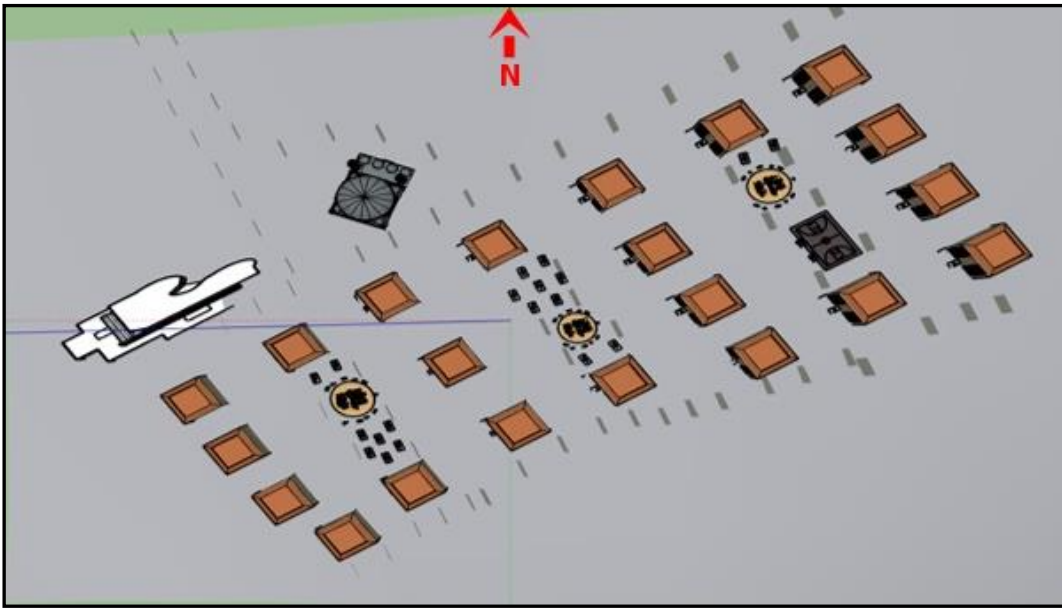
gösterdiği gözlemlenmektedir. Üç boyutlu model incelendiğinde geniş bir alanın neredeyse üst üste binecek şekilde ve birçoğu harabe binalar ile kaplanmış olduğu gözlemlenmektedir. Öyle ki alanda DOP kapsamında kamuya kazandırılan park, yeşil alan, meydan ve çocuk bahçesi mevcut değildir.



**Şekil 6.** Çalışma alanına ait mevcut durumunun kuş bakışı görüntüsü

Bölgenin ihtiyacı olan otopark alanı olmadığından araçlar yol üzerlerine park etmektedir. Ayrıca bölgedeki konutlarda yaşayan halkın günlük ihtiyaçlarını karşılayacağı dükkân olarak kullanılan tek bir bağımsız bölüm dahi bulunmamaktadır. Bu yüzden örnek modeli oluştururken azami gayretle nüfusu çok fazla artırmayacak şekilde yataydaki oluşumu düşeye taşıyarak bu alanda yaşayan insanlara daha rahat ve kullanışlı bir yapılaşma sunmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bölge halkının ve yetkililerin gözünde bir yansıma oluştura-

bilmesi için öncelikle SketchUp yazılımı kullanılarak çalışma alanının topografyası Google Earth üzerinden program ekranına aktarılmıştır. Daha sonra arazide sanki hiç bina yokmuş gibi topografya üzerine program arşivinden uygun bina ve peyzaj modelleri yerleştirilerek kentsel dönüşüm sonrası örnek modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin Şekil 7'deki kuşbakışı görüntüsü incelendiğinde daha planlı ve düzenli bir yapılaşmanın oluşturulduğu ve geriye kalan boşlukların yaşam alanı olarak değerlendirilebileceği gözlemlenmektedir.



Şekil 7. Çalışma alanı için oluşturulan örnek modellemenin kuşbakışı görünümü



Şekil 8. Çalışma alanı için oluşturulan örnek modellemenin güneybatı açısından görünümü

Oluşturulan modelde, 21 adet 2 daire üzerine ve 6 katlı binada, toplam 252 daire yapılması öngörülmüştür. Mevcutta kullanılan 200 dairede 652 kişi yaşadığı düşünülürse geriye kalan 52 daireye yerleştirilecek 4 kişilik aileler ile oluşacak nüfus 860 olacaktır. 860 kişilik nüfus içinde 8600 m<sup>2</sup> yeşil alan oluşturulması gerekmektedir (URL-3, 2016). Mevcut imar planında yapılan incelemelerde çalışma alanının yakın çevresinde talebi karşılayacak yeşil alanların planlanmış olduğu ancak planlanan alanların ya kullanıma açılmamış ya da uygulamaya elverişli olmayan fazla eğimli arazilerde planlandığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten çalışma alanı için gerekli olan yeşil alan ihtiyacını artan nüfusu da dikkate alarak yeşil alan ihtiyacının %50'sini çalışma alanı içerisinde planlayarak modelleme yapılmıştır. Seçilen alanın planlanmasında farklı meslek disiplini olan Şehir Plancısından destek alınmıştır. Her binanın yol kotu altına otopark ve depo olarak kullanılmak üzere planlanan bodrum düşünüldüğünde otopark yönetmeliğindeki ihtiyaç fazlasıyla giderilmiş olacaktır. Çevre düzenlemesi ve peyzaj çalışmaları da yapıldığına açık otopark alanlarının oluşacağı da düşünülürse otopark konusunda problemsiz bir alan oluşmuş olacaktır. Çalışma alanı içerisinde 80 işyeri barındıracak bir ticaret merkezi alanı da oluşturulmuş olup, hâlihazırda var olmayan bir donatıda bölgeye kazandırılmış olacaktır (URL-3 ve 4, 2016).

Yeni yapılan Gümüşhane Devlet Hastanesi çalışma alanının tam karşısında olup, bu bölgeye yerleştirilen halkın sağlık hizmetleri konusunda herhangi bir sıkıntı çekmeyeceği düşünülmektedir. İlk ve orta öğretim tesisleri yürüme mesafesinde olup, üniversiteye ulaşım yürüme tercihi bulunmasına karşın, toplu taşıma araçları ile sağlanabilecek durumdadır. Ayrıca şehir merkezine ulaşım yine yürüme mesafesinde olmasına karşın toplu taşıma araçları da alana bu anlamda hâlihazırda dahi hizmet vermektedir. Mevcut verilerin değerlendirilmesi ve oluşturulan planların kıyaslanması sonucunda Tablo 4'deki bulgulara ulaşılmaktadır.

Yapılan çalışmada hedeflenen ana amaç; kat artışını makul seviyede tutacak şekilde,

yataydaki konut sayısı ve alanda yaşayan birey sayısının çok üzerine çıkmadan bir yaşam alanı modeli oluşturulabileceğini ortaya koymak ve kentsel dönüşümün maddi faydalarının bir rant aracı olarak değil, çarpık kentleşmiş bir alanı modern ve yaşanabilir bir alana dönüştürürken halkın üzerine binen maddi yükü azaltmak maksadıyla kullanılabilmesini göstermektir. Oluşturulan kentsel dönüşüm modeli ve elde edilen bulgular bir araya getirildiğinde bu amacın sonuca dönüşebileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışma alanına fazladan oluşturulan 52 dairenin satışı ile de uygulamaya finansman desteği oluşturulması amaçlanmıştır.

#### 4. Sonuç

Kentsel dönüşüm uygulamalarıyla, yoğun kentleşme nedeniyle meydana gelen niteliksiz ve köhne alanların yenilenerek, bu alanların yaşam standartlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Kentlerde kaçak yapılaşma veya hazine arazilerinin işgali nedeniyle bozulan kent alanları kentsel dönüşüm projeleri ile tekrar kentlere kazandırılmalıdır. Bunun için yersel ve fotogrametrik veriler kullanılarak tüm kentlerde bu alanlar belirlenmeli ve kentsel dönüşüm uygulama aşamasına geçilmelidir. Gerek proje aşamasında gerekse uygulama aşamasında halkın bilinçlendirilmesi konusunda dönüşümü yapılan alanın önceki ve sonraki durumunu ortaya koyacak sayısal ve üç boyutlu görsel veriler oluşturulmalıdır. Gelişen teknoloji ve uygulamalar göstermektedir ki görsel teknikler ile ortaya koyulan projelerin insan üzerindeki inandırıcılığı sözlü telkiden daha etkilidir.

Bu bağlamda yapılan bu çalışmada da örnek bir alanın kentsel dönüşümüne ihtiyaç duyup duymadığını ortaya koymak için gerekli veriler toplanarak incelenmiş, mevcut durum ve önerilen model karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar hem sayısal hem de görsel olarak sunularak çalışma alanının, gerek yaşam kalitesinin artması ve gerekse her yönüyle kentle bütünleşmesinin sağlanması için dönüşümüne ihtiyacı olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca örnek uygulama alanı üzerinden, kentsel dönüşüm uygulamalarında yataydaki



**Tablo 0.** Mevcut ve planlanan durum kıyaslaması

KIYASLAMALAR	MEVCUT DURUM	PLANLANAN DURUM
Çalışma Alanı (m <sup>2</sup> )	34000	
Konut Sayısı	200	252
Konutların Taban Alanı Toplamı (m <sup>2</sup> )	7312.91	5250.00
Toplam İnşaat Alanı (m <sup>2</sup> )	20870.37	36750.00
İşyeri Sayısı	0	80
İşyeri Olarak Seçilen Alan (m <sup>2</sup> )	0	1750.00
Yeşil Alan (m <sup>2</sup> )	0	4300
Yapılaşma Hakkı	A-3	A-6
Nüfus	652	860

düzensiz, çarpık ve çoğu yerde riskli yapılaşmanın, bölge nüfus yoğunluğunu aşırı şekilde artırmayacak şekilde ve makul bir seviyede düşeye taşınması halinde, bozuk kent dokusunun gerekli tüm donatı alanları ile planlanarak modern ve yaşanılabilir alanlara dönüştürülebileceği ortaya konulmuştur. Ülkemizdeki birçok kentsel dönüşüm uygulamasında bunun yeterince sağlanamamış olması teknik yetersizlikten çok kentsel dönüşümdeki ana amacın göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. Kentsel dönüşüm uygulamalarında amaç ortaya bir rant çıkarmak olmamalıdır ancak bununla birlikte bir rantın oluşacağı da açıktır. Burada ki yaklaşım, oluşacak bu “getirinin” başta söz konusu kentsel dönüşüm alanındakiler olmak üzere tüm kent paydaşlarına yansıtacak şekilde proje geliştirmek ve uygulamak olmalıdır.

## 5. Kaynaklar

- Aydurmuş, B., 2017. Kentsel Dönüşüm Alanlarında Uygunluk Analizi: Gümüşhane Örneği, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Akkar, M., 2006. Kentsel Dönüşüm Üzerine: Batıdaki Kavramlar, Tanımlar, Süreçler ve Türkiye, Planlama, s.29-38.
- Bayraktar, E., 2004. [www.toki.gov.tr/html/metinler/kentseldonusun\\_son.doc](http://www.toki.gov.tr/html/metinler/kentseldonusun_son.doc)
- Çay, T., 2001. Arazi Düzenlemesi ve Mevzuatı, Petek Ofset, 342s, Konya.
- Çelik, K., 2006. Planlama ve İmar Kanunu Uygulaması, Arazi ve Arsa Düzenlemesi, Devran Matbaacılık, Ankara.
- Çelik, K., 2013. Kentsel Dönüşüm Projelerinin Önemi ve Yeni Yaklaşımlar: Eskişehir Örneği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Çelik, K., Aydurmuş, B., 2017, Kentsel Dönüşüm Alanlarında Uygunluk Analizi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara
- Ekler, C., 2004. Çankaya Üniversitesi, Türkiye Kent Merkezlerinin Dönüşümünde Kullanılabilecek Yöntemler International Gazimagusa symposium: Akdeniz üçlemesi değişim dönüşüm bildirim, Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus; Eastern Mediterranean University.
- Ertaş, M., 2011. Kentsel Dönüşüm Çalışmalarında Sosyal Boyutun İncelenmesi, Ankara ve Londra Örnekleri. Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergisi, 4s, 15s.

- Genç, F. N., 2008. Yönetim ve Ekonomi Yılı: 2008 Cilt: 15 Sayı: 1 Celal Bayar Üniversitesi İİBF, Manisa, s.115-130.
- Gündoğan, Ö., 2006, Kentsel Dönüşüm, Tarihsel ve Güncel Bir Kırılma Noktası mı?, Planlama Dergisi, Ankara, s.36-47.
- Okumuş, E. D., 2014. Kentsel Dönüşümde Sosyal Donatı Alanlarının Değişimi Ve Kentsel Yaşam Kalitesine Etkisi: Ataşehir Barbaros Mahallesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 208s, İstanbul.
- Şimşek, S., 2016. Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 406s.
- Torunoğlu, E., 2007 Kentsel Dönüşüm: Pazarlamanın Dayanılmaz Hafifliği, Kent ve Planlama Geçmişini Korumak Geleceği Tasarlamak, Mengi A., İmge Kitabevi Yayınları, Ankara, s.375-388.
- Ülger, N.E., 2009. Kentsel Dönüşüm ve Uygulama Süreci, 4. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 14 – 16 Ekim, Trabzon, s.49-71.
- Yamak, Y., 2006. İmar (Yapılanma) Haklarının Devri: Model - Uygulama Alanları Ve Sonuçları. Planlama, s.63-74.
- URL-1, <http://www.toki.gov.tr/faaliyet-ozeti>, 16 Kasım 2016
- URL-2, [http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/finansman\\_destegi.html](http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/finansman_destegi.html), 16 Kasım 2016
- URL-3, <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/>, 16 Kasım 2016
- URL-4, [http://www.icisleri.gov.tr/\\_Icisleri/Web/Gozlem2.aspx?sayfaNo=68](http://www.icisleri.gov.tr/_Icisleri/Web/Gozlem2.aspx?sayfaNo=68), 16 Kasım 2016
- URL-5, <https://www.makaleler.com/kentsel-donusum-2-3>, 16 Kasım 2016
- URL-6, <http://www.arkitera.com/g67kentsel-donusum.html?year=&aID=792,2007>
- URL-7, <http://www.kentselyenileme.org/dunya.php>, 27 Aralık 2004.

## Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları

Mehmet Ali GÜCER<sup>\*1</sup>, Emre AYDINÇAKIR<sup>1</sup>, Cem YÜCEL<sup>2</sup>, Enver AKARYALI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Geliş tarihi/Received 03.05.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 21.06.2017

Kabul tarihi/Accepted 14.07.2017

### Öz

Doğu Pontid orojenik kuşağında (KD Türkiye) farklı magma türleri altında oluşmuş farklı volkanik kayalar yüzeyleme vermektedir. Tersiyer volkanizması, Gümüşhane ve çevresinde asidik, nötr ve bazik volkanik ve piroklastik kayalardan meydana gelmektedir. Bu volkanizma doğu Pontidler'in evriminde ise önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında Altınpınar (Torul/Gümüşhane) civarında yüzeyleme veren Tersiyer yaşlı hornblendli andezitik kayaların petrografisi, mineral kimyası ve sıcaklık-basınç koşulları irdelenmiştir. Andezitler başlıca hornblend (amfibol), plajiyoklas ( $An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$ ), klinopiroksen ( $Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$ ) ve opak (genellikle magnetit ve pirit) mineralleri, ikincil kil, serizit, kalsit ve klorit mineralleri içerir ve mikrolitik-porfirik ve vitrofirik porfirik dokular sergiler. Bazı hornblend mineralleri iri kristalli gelişmiş olup, plajiyoklas ve opak mineral kapanımları içermektedir. Tüm hornblendler  $Ca_B \geq 1.5$ ,  $(Na+K)_A < 0.5$  ve  $Ca_A < 0.5$  parametrelerine sahip kalsik tip olup, magnezyohornblend bileşimi sunmakta,  $Mg\# (Mg/Mg+Fe^{2+})$  ise 0.72-0.91 arasında değişmektedir. Andezitlerde kalsik amfibol jeotermobarometri denklemlerini kullanarak hesaplanan tahmini jeotermometre (T), jeobarometre (P) ve oksijen fugasitesi ( $fO_2 / \Delta NNO$ ) değerleri sırasıyla 765 – 867 °C (ort= 790±20 °C); 2.5 – 4 kbar ve –14.4 ile –11.1 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler hornblendlerin kıtasal kabukta 9 – 15 km derinliklerde kristallendiğini işaret etmektedir. Minerallerin kimyasal özellikleri inceleme alanındaki andezitlerin kalk-alkali bir ana magmadan itibaren kristallenmiş olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Altınpınar andezitleri, Doğu Pontidler, Tersiyer volkanizması, jeotermobarometri

## Petrography, Mineral Chemistry and P–T Conditions of the Tertiary Hornblende-bearing Andesites in the Altınpınar (Torul-Gümüşhane)

### Abstract

In the eastern Pontides orogenic belt (NE Turkey) there are different volcanic rocks exposed that formed under different types of magma. Tertiary volcanism consists of acidic, neutr and basic volcanic and pyroclastic rocks in Gümüşhane and surrounding area. The Eocene volcanism played an important role during the evolution of the eastern Pontides. In this study, petrography, mineral chemistry and P–T conditions of the Tertiary hornblende-bearing andesites in the Altınpınar (Torul-Gümüşhane) are investigated. The andesites are mainly consisting of hornblende (amphibole), plagioclase ( $An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$ ), clinopyroxene ( $Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$ ), opaque

\* Mehmet Ali GÜCER, maligucer@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00-1716

(generally magnetite and pyrite) minerals, with secondary clay, sericite, calcite, chlorite minerals. . The samples commonly exhibit microlitic porphyry and vitrophyric porphyry textures. Some of the hornblende aggregates, occurring in large plates, contain inclusions of plagioclase and opaque minerals. All hornblende minerals are exclusively Ca-type with  $Ca_B \geq 1.5$ ,  $(Na+K)_A < 0.5$  and  $Ca_A < 0.5$  (apfu) parameters, and magnesiohornblende in composition with  $Mg\# (Mg/Mg+Fe^{2+}) = 0.72-0.91$ . Estimation of geothermometry (T), geobarometry (P) and oxygen fugacity ( $fO_2 / \Delta NNO$ ) calculations in andesites using calcic amphibole geothermobarometry equations indicates that the crystallization is estimated to have taken place at 765 – 867 °C (mean= 790±20 °C); 2.5 – 4 kbar and, from –14.4 to –11.1, respectively. These calculated values indicate that hornblende minerals are crystallized at depths of 9 - 15 km in continental crust. According to the chemical composition of minerals the andesites are crystallized from a calc-alkaline parent magma.

**Keywords:** Altınpınar andesites, Eastern Pontides, Tertiary volcanism, geothermobarometry

## 1. Giriş

Alp-Himalaya kuşağı içerisinde bulunan ve daha yaşlı orojenik dönemleri temsil eden alanların da yer aldığı Türkiye, farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektonik birliğin Neotetis okyanusunun kollarının Alpin orojenezi sırasında kapanmasıyla bir araya gelmesi sonucu oluşmuş ve birçok Alpin tektono-stratigrafik birlikten meydana gelmiştir. Tetis olarak adlandırılan okyanusun değişik kollarının açılıp kapanması sırasında oluşan aktif ve pasif kıta kenar çökelleri ile yay ve suture karmaşıkları içermekte olan kıta parçaları Geç Tersiyer’de bir araya gelerek tek bir kara parçası halini almıştır (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010). Bununla birlikte Pan-Afrikan/Kadomiyen, Variskan ve Kimmeriyen gibi daha eski orojenik dönemlere ait ürünler ise metamorfik-magmatik masifler ve onların üzerine gelen örtü birimleri şeklinde Alpin tektonik birliklerin tabanında yer alırlar.

Alpin tektono-stratigrafik birliğin bir parçası olan ve Doğu Pontid orojenik kuşağı olarak adlandırılan Doğu Karadeniz Bölgesi’nde ise farklı magma türleri altında oluşmuş farklı volkanik ve plütonik kayalar gözlenmekte olup, volkanik kayalar genel olarak üç ana dönemde (Liyas, Geç Kretase, Eosen ve sonrası) gelişmiş volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiştir (Adamia vd., 1977; Eğin vd., 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Kazmin vd., 1986; Korkmaz vd., 1995; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997; Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2007; Aslan, 2010).

Sakarya Zonu’nun bir parçası durumunda olan Doğu Pontidler, Geç Kretase döneminde Neo-Tetis Okyanusu’nun kuzeye yitimine bağlı olarak oluşmuş olup, Üst Kretase magmatik kuşağı bu bölgede oldukça iyi gelişmiştir (Okay ve Şahintürk, 1997; Okay ve Tüysüz, 1999; Şekil 1a ve 1b). Pontidler’in kuzey sınırları boyunca genel olarak kalkalkalen andezitik tipte volkanik kayalar, bunlarla ilişkili piroklastik, epiklastik birimler ve çoğunlukla granitik intrüzyonlar gözlenirken (Arslan vd., 1997; Kaygusuz ve Şen, 2011; Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009; 2011; Aydın, 2014; Yücel vd., 2014; Aydınçakır, 2016), güney kesimlerde genellikle alkali potasik kayalar yayılım göstermektedir (Bektaş ve Gedik, 1988; Alther vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Gülmez ve Genç, 2015; Aydınçakır, 2016).

Doğu Pontidler, özellikle Üst Kretase’de belirgin farklılıklara dayandırılarak, volkanik kayaların hakim olduğu “Kuzey Zon” ve tortul kayaların yaygın olarak gözlendiği “Güney Zon” olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993). Buna ek olarak bölgede çok sayıda ve farklı tiplerde maden yatakları gözlenmekte olup (Güven, 1993; Tüysüz vd., 1994; Tüysüz ve Akçay, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Demir vd., 2008; Akaryalı, 2010; Akaryalı ve Tüysüz, 2013), porfiri Cu (Au, Mo) yatakları, skarn yatakları, volkanizma ile ilişkili masif sülfid yatakları ve

epitermal Au-Ag yatakları yaygın olarak gözlenmektedir (Tüysüz, 1995; Akçay ve Tüysüz 1998; Akçay ve Arar, 1999; Tüysüz ve Akçay, 2000, Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Maden ve Akaryalı, 2015a, 2015b; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Akaryalı, 2016). Bununla birlikte, Doğu Pontidler’de yüzeyleme veren ve Gümüşhane yöresinde de yaygın olarak izlenen Eosen volkanitleri (Arslan vd., 1997; Arslan vd., 2000; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001; Kaygusuz vd., 2006; Aslan, 2010; Şahin ve Kaygusuz, 2016; Kaygusuz ve Şahin, 2016) genel olarak kalk-alkali özellikte ada yayı volkanizması ürünleri olup, yitim ile ilgili zenginleştirilmiş Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (MORB) benzeri bir manto kaynağından itibaren türemiştir (Tokel, 1972, 1977; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997). Ancak, yapılan son çalışmalarda Doğu Pontidler’deki Eosen volkanitlerinin zenginleşmiş litosferik mantonun kısmı ergimesinden itibaren oluştuğu (Kaygusuz vd., 2011; Arslan vd., 2013; Aslan vd., 2014) ve buna ilaveten kabuk katkısının da olduğu belirtilmektedir (Temizel vd., 2016).

Bu çalışma kapsamında Altınpınar (Torul/Gümüşhane) civarında yüzeyleme veren hornblendli andezitik kayaçların petrografisi, mineral kimyası ve sıcaklık-basınç koşulları irdelenerek, bölgenin Tersiyer volkanizması literatürüne katkı sağlanması amaçlanmıştır.

## 2. İnceleme Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Türkiye’nin kuzeyinde yer alan ve Istranca, İstanbul ve Sakarya olmak üzere üç ana tektonik zona ayrılan Pontidler (Okay, 2008; Okay vd., 2014) içerdikleri farklı tektonik birimlerden dolayı “Batı Pontidler”, “Orta Pontidler” ve “Doğu Pontidler” olmak üzere üç farklı bölgeye ayrılmıştır. İnceleme alanının da içerisinde yer aldığı Doğu Pontidler’in güneyi genellikle Üst Kretase öncesi birimler tarafından temsil edilmektedir (Arslan vd., 1997; Şen, 2007, Aydınçakır ve Kaygusuz, 2012). Güney zonu temel birimlerini Pulur masifi (Topuz ve Altherr, 2004; Topuz vd., 2004a, b, 2007), Ağvanis masifi (Okay, 1984; Altunkaynak, 2000), Tokat metamorfik masifi (Alp, 1972; Özcan vd., 1980; Rojay, 1993; Tüysüz 1996; Yılmaz

vd., 1997; Eyüboğlu, 2006), Kurtoğlu metamorfileri (Topuz vd., 2007, 2010), Karadağ metamorfileri (Dokuz, 2000; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Ustaömer ve Robertson, 2010), Kopuzsuyu metamorfileri, Gümüşhane Graniti (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Özdoğan, 1992; Topuz vd., 2010) ve Köse Graniti (Dokuz, 2011), Derinoba ve Kayadibi granitleri (Kaygusuz vd., 2012a, b, 2013), Özdil Granitoidi, Soğuksu ve Seslikaya granitleri (Kaygusuz vd., 2013, 2016) oluşturmaktadır.

Temel kayaçlarını uyumsuz olarak örten Liyas piroklastitleri ile klastik ve karbonat arakatmanlı sedimanter kayaçları, birçok araştırmacı tarafından rift ile ilişkili subalkalen karakterli volkano-sedimanter istif olarak nitelendirilmiştir (Ağar, 1977; Robinson vd., 1995; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Bölgede volkano-tortul istif üzerine Jura-Alt Kretase sığ platform karbonatları uyumlu olarak gelmekte olup, genellikle gri-bej renkli, kalın, yer yer masif katmanlı, çok zengin bentik foraminifer fosilleri içeren, taban seviyeleri yer yer dolomitlerden üst seviyeleri ise çört yumru ve bantlı kireçtaşlarından oluşan, sığ denizel bir istif özelliği sunar (Pelin, 1977; Tash, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002). Karbonatlar güney zonunda sedimanter, kuzey zonda ise volkanik kayaçlardan oluşan Geç Kretase yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak üzerlenir.

Doğu Pontidler’de Geç Kretase dönemi, kuzeyden güneye doğru belirgin litolojik farklılıklar göstermekler birlikte, Kuzey Zonda yoğun bir magmatizmanın ürünü olan volkanik ve granitoidik birimler baskın litolojiyi oluşturur (Bektaş, 1984; Jica, 1986; Gedik vd., 1992; Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Okay ve Şahintürk, 1997; Güngör vd., 1997; Köprübaşı vd., 2000; Kaygusuz, 2000; Boztuğ vd., 2004, 2006; Şahin vd., 2004; Karlı vd., 2004, 2010; Sipahi, 2005, 2011; Kaygusuz vd., 2010, 2011a, 2011b; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Kaygusuz ve Şen, 2011, Aydınçakır ve Şen, 2013; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Alemdag vd., 2014, 2015; Alemdag, 2015).



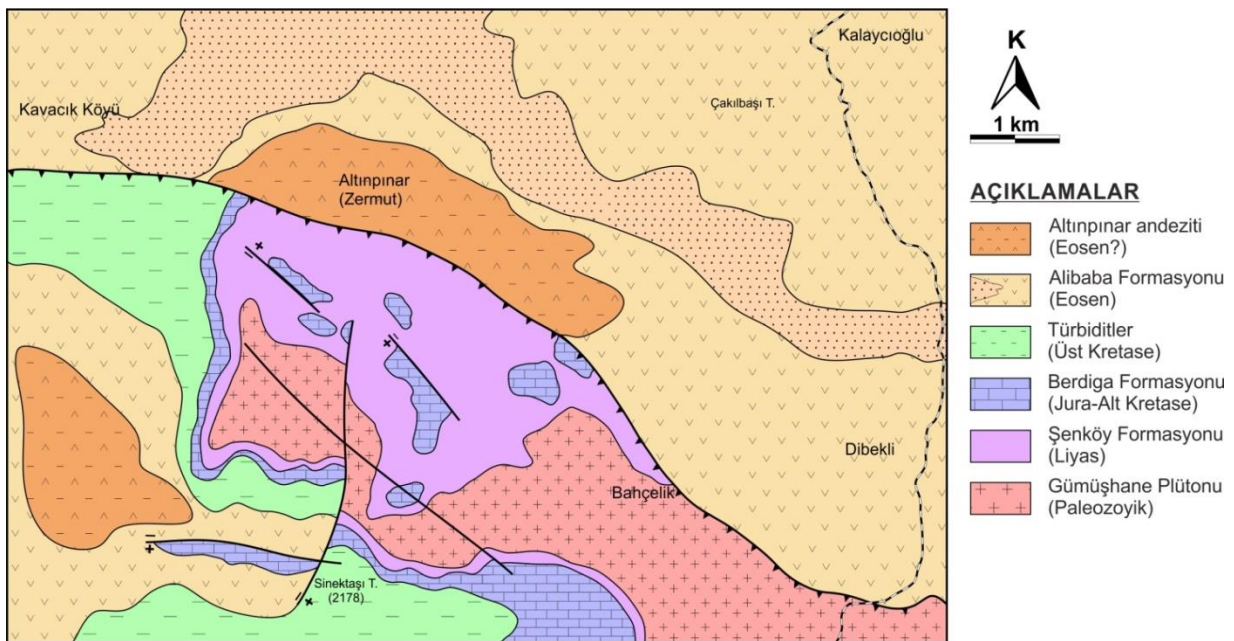
Bölgede mostra veren ve toleyitiktan kalk-alkalene kadar geniş bir aralık sunan Geç Kretase volkanitleri, yine Geç Kretase yaşlı granitler tarafından kesilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Kaygusuz vd., 2010, Kaygusuz vd., 2013; Şekil 1c). Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Gümüşhane yöresinde Geç Kretase yaşlı türbiditler Jura-Alt Kretase birimleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Yörede geniş alanlarda mostra veren Eosen yaşlı volkanik ve volkano-sedimanter kayalar Geç Kretase birimlerini uyumsuz olarak örter (Güven, 1993; Arslan ve Aliyazıoğlu, 2001). Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, çalışma alanının en genç birimini oluşturur (Şekil 2).

Bu çalışmanın ana konusunu oluşturan ve Eosen veya daha genç olduğu düşünülen andezitler yaklaşık KB-GD yönelimli iki farklı kütle halinde izlenebilmektedir. Bu kütlelerden ilki Altınpınar Beldesi sınırları içerisinde, diğeri ise Altınpınar beldesinin yaklaşık 4 km GB istikametinde bulunan Altınpınar yaylası sınırları içerisinde mostra vermektedir (Şekil 2).

### 3. Analitik Yöntemler

Yapılan çalışmalar kapsamında, inceleme sahasındaki andezitlerden 25 adet el örneği

alınmış ve mikroskopta incelenmek üzere Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında ince kesitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler polarizan mikroskopta incelenerek her bir örneğin kayaç türü, mineral içerikleri ve dokusal özellikleri ortaya konmuştur. Petrografik incelemeler sonucunda seçilen 3 örneğin parlatılmış kesitte mineral kimyası ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mineral kimyası analizleri New Mexico Tech (New Mexico, Amerika) Üniversitesi, Jeoloji ve Mineral Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Örnekler CAMECA-SX-100 marka bir elektron mikroprob aleti ile analiz edilmiştir. Aletin çalışma şartları 15 kV voltaj ve 20 nA gerçekleştirilmiştir. Analizler 10 µm'lik bir ışın çapında yapılmış ve Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na ve K elementleri için sayılma zamanı 10 sn'olarak belirlenmiştir. 1 µm'lik bir nokta ışını piroksen, amfibol, Fe-Ti oksit ve zirkon analizleri için kullanılmıştır. Feldispat analizlerinde sodyum buharlaşması (Nielsen ve Sigurdsson, 1981) nedeniyle oluşacak kayıpları önlemek için çok hafif bir odaklanmamış (10 µm) ışın kullanılmıştır. Ölçümler sırasında kaersutit (UCB), diyopsit (UCB), ortoklas (UCB), albit (UCB), anortit (UCB), biyotit ve magnetit (UCB) standartları kullanılmıştır.



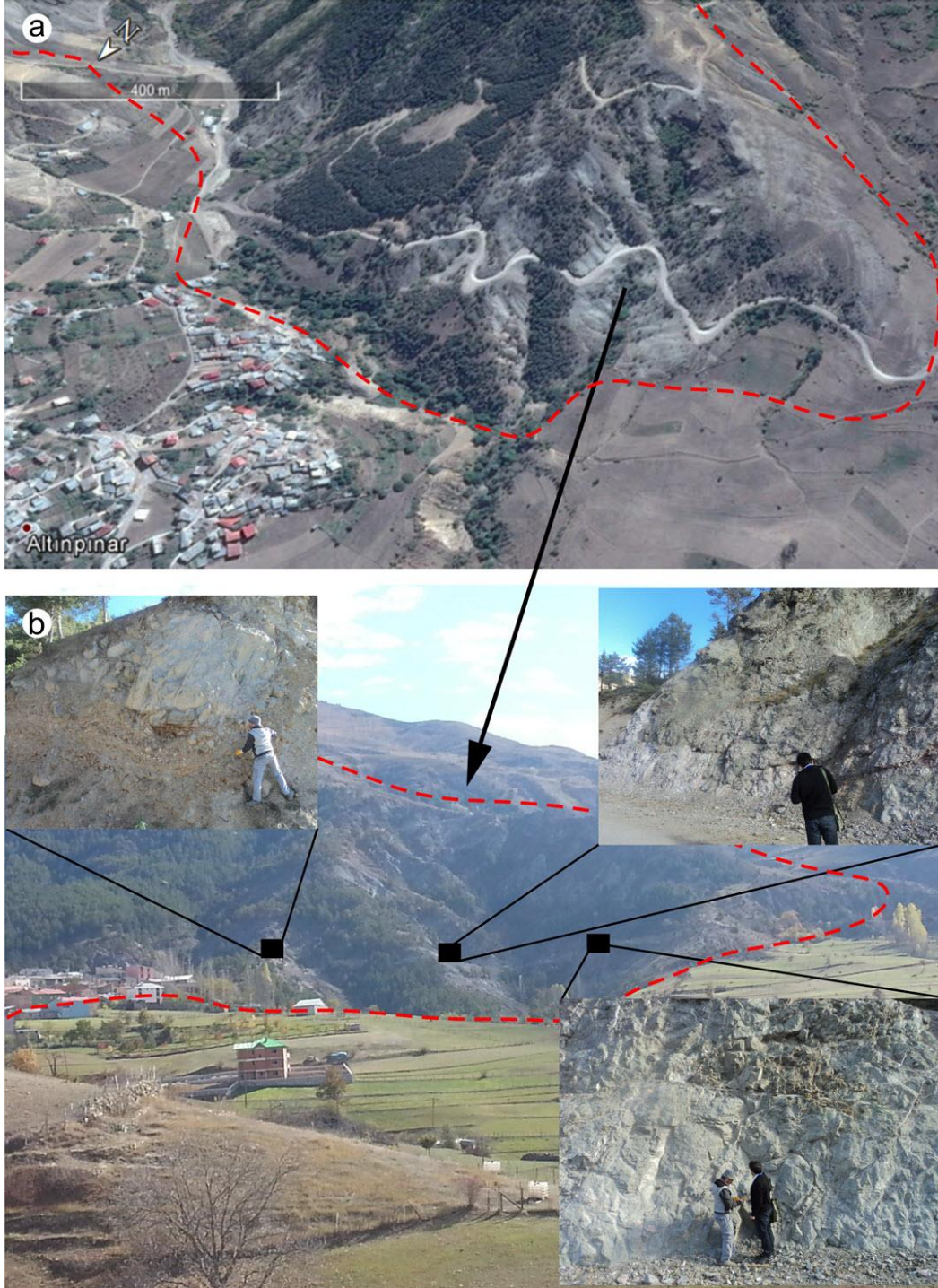
**Şekil 2.** Çalışma alanı ve civarının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (Jica, 1986 ve Kaygusuz vd., 2011'den değiştirilerek).

#### 4. Bulgular ve Tartışma

##### 4.1. Arazi İlişkileri, Mineraloji ve Petrografi

Bol hornblend içerikli andezitler inceleme alanında genel olarak Alibaba Formasyonu içerisinde gözlenmekte olup, sahada izlenebilen kütlelerin yayılımları birkaç metreden yüz metreye kadar değişmektedir

(Şekil 3). Andezitler, sert ve çatlaklı bir yapı sunması ve çevre fasiyeslere oranla taze görünümleri ile dikkat çekmektedir (Şekil 4a). Genellikle açık gri tonlarda gözlenmekte olup, bol miktarda hornblend kristalleri içermeleri ile tipiktir (Şekil 4b). Andezitlerin diğer ana bileşenini oluşturan plajiyoklas kristalleri de sahada makroskobik olarak ayırt edilebilmektedir.



Şekil 3. (a) Altınpınar Beldesinin G-GB kesiminde yüzeyleme veren bol hornblend içerikli andezit kütlelerinin uydu görünümü, (b) Andezit kütlelerinin sahadaki görünümü.



Birim içerisinde, boyutları değişiklik gösteren anklav ve kayaç çakılları yaygın olarak izlenmekte olup (Şekil 4c), andezitlere oranla daha ince kristalli ve koyu renklere sahiptir. Bazı anklavlarda yer yer kloritleşmelere rastlamak da mümkündür. Çalışma alanında andezit kütlelerinin özellikle kenar zonlarında hematitleşme ve kalsitleşme türü ikincil alterasyon ürünlerine de rastlanmaktadır (Şekil 4d). İnceleme alanındaki birimlerde, tektonik faaliyetler sonucu gelişen çatlaklar yoğun olarak ikincil kalsit mineralleri tarafından doldurulmuştur.

Andezitlerde gerçekleştirilen petrografik çalışmalarda, örneklerin mikrolitik-porfirik, vitrofirik-porfirik, yer yer ise glomeroporfirik ve poikilitik doku gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 5). Mineralojik olarak hornblend, plajiyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri ile

bu minerallerin mikro ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen hamur malzemesi içermektedir. İkincil olarak kalsit, serizit ve epidot minerallerine rastlanmıştır.

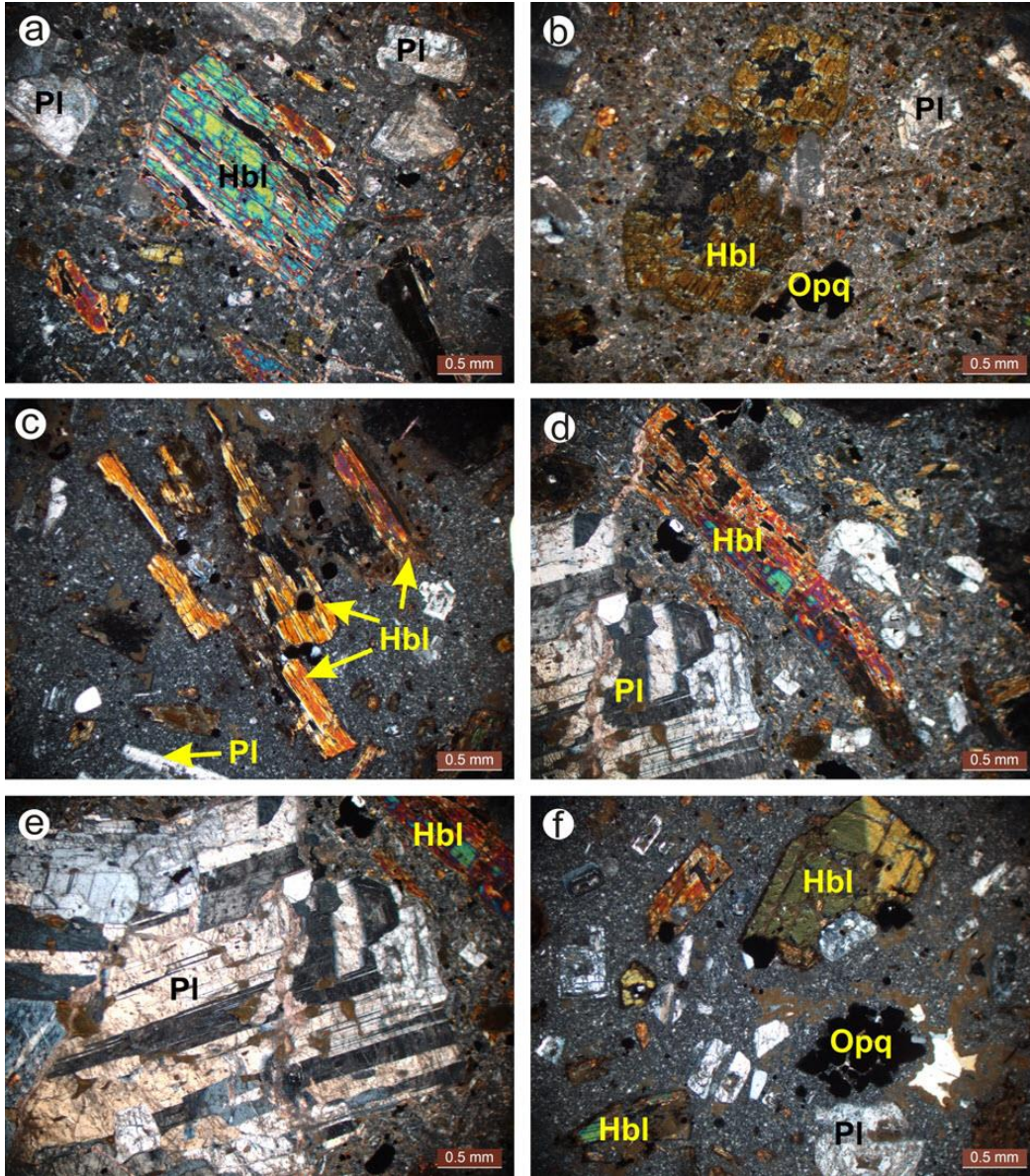
Hornblend fenokristalleri genellikle iri, yarı özşekli ve özşekli gelişmiş olup, dilinim düzlemleri boyunca çatlak ve kırıklar ile birlikte yer yer ayrılmış şekilde gözlenirler (Şekil 5a ve 5b). Uzun eksenli boyunca uzanan kristallerde genellikle hamur tarafından kemirilme dokuları daha sık izlenmektedir (Şekil 5c). Örneklerde yer yer plajiyoklas ve hornblend mineralleri bir arada bulunurlar (Şekil 5d ve 5e). Hornblendler yer yer kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuşlardır (Şekil 6a). Örneklerde gözlenen en yaygın ayrışma ürünlerini klorit mineralleri ve plajiyoklaslardan itibaren gelişmiş olan serizitler oluşturmaktadır.



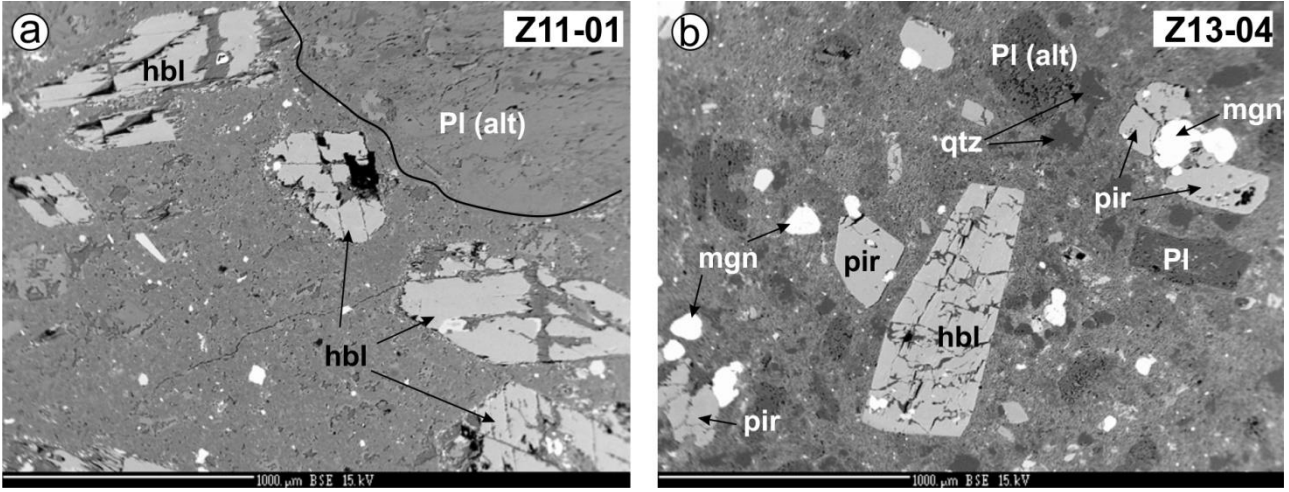
**Şekil 4.** (a) Hornblendli andezitlerin görünümü, (b) Andezitlerde gözlenen hornblend kristalleri (siyah renkli mineraller), (c) Birim içerisinde gözlenen değişik boyutlardaki anklav ve kayaç çakılları, (d) Andezit kütlelerinin kenar zonlarında gözlenen hematitleşme türü alterasyonlar.

Plajiyoklas mineralleri genel olarak iri kristalli ve yarı özşekilli fenokristaller, hamurda ise mikrokristaller halinde gözlenir. Kristaller büyük oranda albit ikizlenmesi gösterir. Bazı örneklerde farklı büyüklüklerde ve dağınık halde seri dokuyu oluştururlar. Yer yer zonlu plajiyoklaslar da izlenmektedir (Şekil 5f). Yüksek oranda altere olmuş ve albite dönüşmüş plajiyoklasların çevresinde yer yer ikincil kuvars dolguları gözlenmektedir (Şekil 6b). Klinopiroksenler genellikle ince taneli çoğunlukla öz şekilsiz,

yer yer ise yarı özşekilli kristaller halinde gözlenir. Kenarları kemirilmiş ve kırıklı bir yapı sunarlar. Bazı örneklerde kenarları boyunca ayrışarak hornblende dönüşmüşlerdir. Genellikle magnetit mineralleri ile bir arada gözlenmektedirler. Opak mineral oluşumları hamurda dağınık halde ve hornblend minerali içerisinde kapanım halinde bulunurlar. Kayaç içerisinde yer yer hornblend ve plajiyoklas mineralleri ile bir araya gelerek glomeroporfirik dokuyu oluştururlar.



**Şekil 5.** (a) Yarı özşekilli hornblend fenokristali, (b) Ayrışmış, kırıklı hornblend fenokristali ve opak mineral oluşumu, (c) Kemirilmiş hornblend mineralleri ve vitrofirik-porfirik doku, (d) Plajiyoklas ve hornblend minerallerinin bir arada olduğu glomeroporfirik doku, (e) Plajiyoklas fenokristalleri ve glomeroporfirik doku oluşumu, (f) Yarı özşekilli hornblend ve zonlu plajiyoklas mineralleri (Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Opq: Opak mineral, mikro-görüntüler çapraz nikolde alınmıştır).



**Şekil 6.** Z11-01 ve Z13-04 nolu kesitlerinin BSE görüntüleri, (a) Kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuş hornblend kristalleri ile altere plajiyoklas, (b) Hornblend, magnetit ve piroksen kristalleri, yüksek oranda altere olmuş ve albitleşmiş plajiyoklas ile ikincil kuvars dolguları (hbl: hornblend, pl: plajiyoklas, mgn: magnetit, pir: piroksen, qtz: kuvars, pl (alt): altere plajiyoklas/albit).

#### 4.2. Mineral Kimyası

İncelenen andezitlerde yer alan hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineralerden mineral kimyası analizleri gerçekleştirilerek kimyasal özellikleri irdelenmiştir.

Hornblendler, Altınpınar andezitlerinde mafik faz olarak en yaygın mineral türünü oluşturur. Örneklerden elde edilen analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar Ek 1'de verilmiştir. Hornblendlerin  $TiO_2$  içerikleri nispeten düşük (% 0.90-1.89) iken,  $FeO^*$  (% 11.78-15.27) ve  $MgO$  (% 12.42-15.97) içeriği bakımından nispeten zengindir. Örneklerin  $Mg\#$  ( $Mg/Mg+Fe^{+2}$ ) değerleri 0.72-0.91 arasında değişmektedir. Hornblendlerde Si, Ca+Na+K ve  $Ca+Al^{IV}$  değerleri sırasıyla 6.60-6.97, 2.00-2.29 ve 2.70-3.16 (a.p.f.u.) aralığında değişmekte olup, bu durum hornblendlerin oluşumunda magmatik bir kökeni işaret etmektedir (Leake, 1971; Giret vd., 1980). Amfibollerin, Leake vd. (1997)'nin Si'a karşı  $Mg/Mg+Fe^{+2}$  sınıflamasında göre Ca-tipi (kalsik) amfibol oldukları [ $Ca_B \geq 1.5$ ,  $(Na+K)_A < 0.5$  ve  $Na_B < 0.5$ ] ve magnezyo-hornblend bileşimi gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 7a). Bununla birlikte,  $Al^{IV}$  değerleri 1.03-1.40 arasında değişmekte olup, bu durum magnezyohornblend bileşimini desteklemektedir (Leake vd., 2004). Hornblendlerin Na+K'a karşı  $Al^{IV}$  oranlarının karşılaştırıldığı

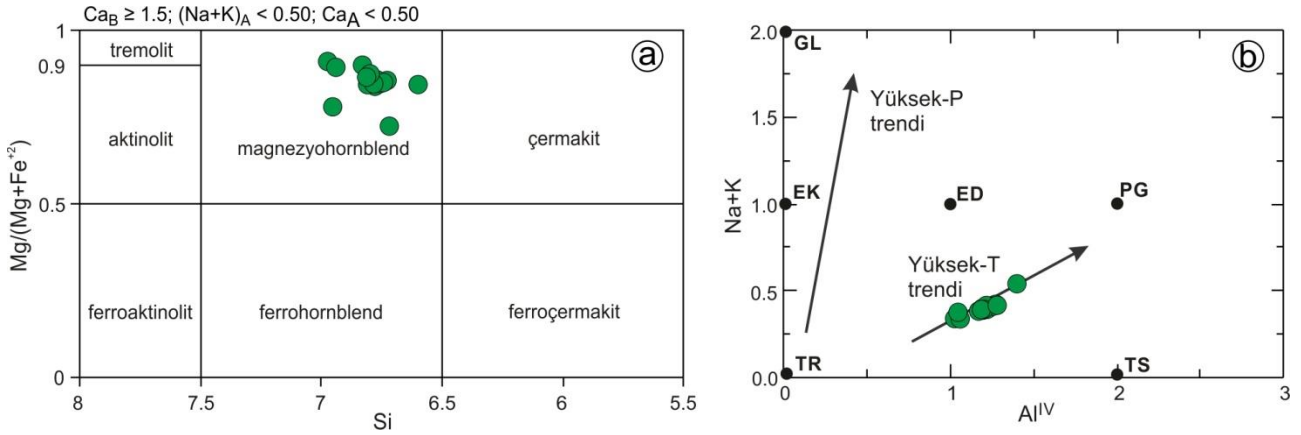
diyagramda ise tremolitten pargazite (yüksek sıcaklık trendine) doğru bir yönseme gösterdiği görülmektedir (Şekil 7b).

Plajiyoklaslar, Altınpınar andezitlerinde hornblendlerden sonra gözlenen en yaygın mineral türünü oluşturur. Örneklerden elde edilen analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar Ek 2'de verilmiştir. Minerallerin kompozisyonu  $An_{40-61}Ab_{38-57}Or_{1-5}$  aralığında değişmekte olup, türleri andezin ve labrador olarak belirlenmiştir (Şekil 8a). Plajiyoklaslar bazı örneklerde ayrışarak tamamen albite ve kil minerallerine dönüşmüştür.

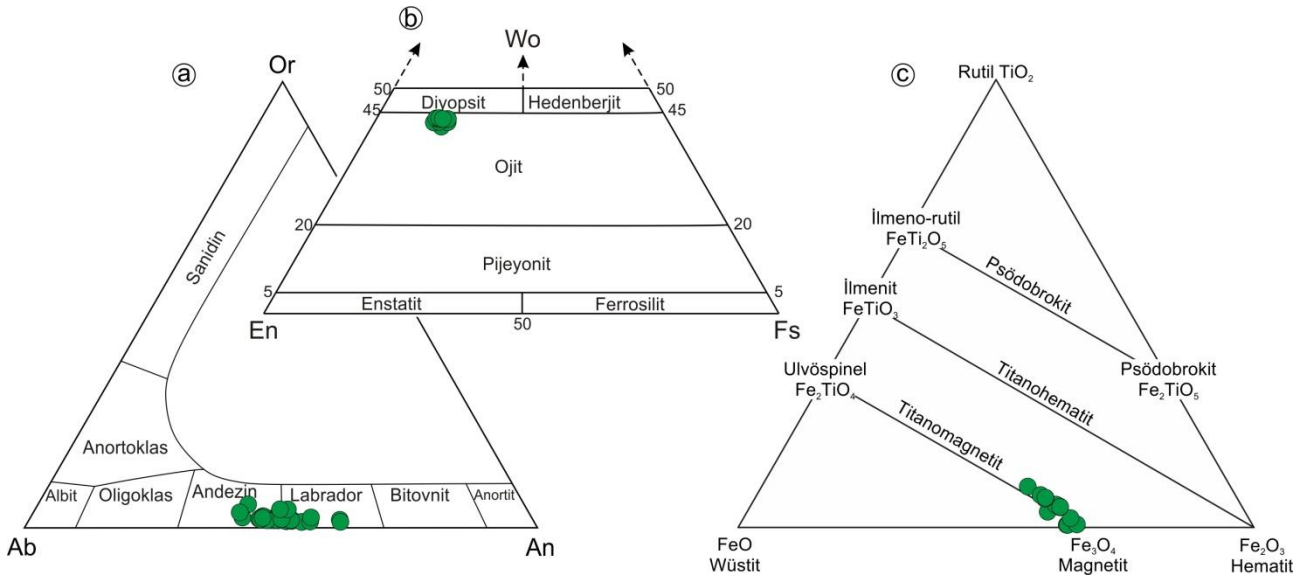
Piroksenler, mafik mineral olarak kayalarda pek yaygın olmayıp, çoğunlukla klinopiroksen türünde gözlenirler. Örneklerden elde edilen mineral kimyası analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar Ek 3'de verilmiştir. İncelenen andezitlerde, Morimoto vd.'nin (1988) sınıflamasına göre klinopiroksen türleri ojit olarak belirlenmiştir (Şekil 8b). Bu mineraller genel olarak  $Wo_{44-45}En_{43-44}Fs_{12}$  bileşimindedir ve Mg numaraları ( $Mg\#$ ) 0.78-0.79 (n=9) arasında değişmektedir. Genellikle düşük  $TiO_2$  (% 0.27-0.40) ve  $Al_2O_3$  (% 1.20-1.80) içeriklerine sahip klinopiroksenlerde  $MgO$  ve  $FeO^*$  değerleri sırasıyla % 14.63-15.16 ve % 8.11-8.64 arasında değişmektedir. İncelenen andezitlerde gözlenen bir diğer mineral grubu ise Fe-Ti oksitler olup,

minerallere ait kimyası analiz sonuçları Ek 4'de verilmiştir. Kayaçlarda bulunan Fe-Ti oksitler genellikle hamurda ve hornblendler

içerisinde kapanım olarak gözlenmekte ve magnetit ( $Fe_3O_4$ ) bileşimi sunmaktadır (Şekil 8c).



**Şekil 7. (a)**  $Ca_B \geq 1.5$ ;  $(Na+K)_A < 0.50$  ve  $Ca_A < 0.50$  parametrelerine sahip kalsik amfibollerin sınıflaması (Leake vd., 1997);  $Ca_B$ : Formülde B odacığına giren Ca kasyonu miktarı,  $(Na+K)_A$ : A odacığına giren toplam Na ve K kasyonu miktarı,  $Ca_A$ : A odacığına giren Ca kasyonu miktarı). **(b)** Amfibollerin  $Al^{IV}$ 'e karşı Na+K diyagramı. Uç üye bileşenleri; GL: Glokofan, EK: Ekermanit, ED: Edenit, PG: Pargazit, TR: Tremolit, TS: Çermakit (Guilmette vd., 2008).



**Şekil 8.** Altınpınar andezitlerine ait **(a)** Feldispatların Ab-An-Or üçgen diyagramı, **(b)** Wo-En-Fs üçgen diyagramı (Morimoto vd., 1988), **(c)** Fe-Ti oksit minerallerinin bileşimi (Bacon ve Hirschmann, 1988).

### 4.3. Andezitlerin P-T Kristallenme Koşulları

Volkanik kayaçları oluşturan magmaların kabukta yerleştiği ve depolandığı derinlikleri belirlemek ve termal gelişimini anlayabilmek için bazı kayaç yapıcı minerallerin kimyasal özellikleri kullanılmaktadır. Özellikle

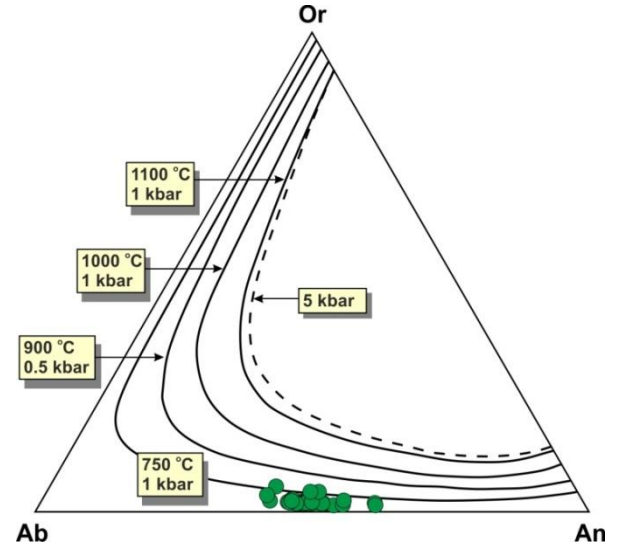
hornblend-plajiyoklas birlikteliği içeren kayaçlar jeotermobarometre hesaplamaları için uygun mineralojik bileşime sahip olmaktadır.

Feldispat mineralleri için Deer vd. (1992) tarafından önerilen ve Ab-An-Or üçgen

diyagramı üzerinde gösterilen eş sıcaklık eğrileri, magmatik kayalarda etkili bir jeotermometre olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem çalışma konusunu oluşturan

andezitlerdeki plajiyoklaslara uygulandığında, örneklerin Ab-An-Or üçgen diyagramında 650-800 °C sıcaklık eğrileri arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 9).

**Şekil 9.** Andezitlerde gözlenen plajiyoklasların Ab-An-Or üçgen diyagramdaki kristallenme sıcaklıklarının belirlenmesi (sıcaklık eğrileri Fuhrman ve Lindsley, 1988'e göredir).

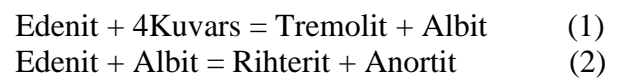


Çalışma alanında jeotermobarometre hesaplamalarının yapıldığı bir diğer önemli mineral grubu ise hornblendlerdir. Altınpınar hornblendli andezitleri özellikle hornblend-plajiyoklas birliktelikleri içermesi bakımından hesaplamalar için uygun mineralojik bileşim sunmaktadır. Ancak, hornblend oluşumundan sonra sistemde aktinolite dönüşüm, kloritleşme, opak mineral oluşumları yaygın olacağından bu gibi alterasyona uğramış bileşimler özellikle hesaplamaların dışında tutulmalıdır (Hammarstrom ve Zen, 1986). Bununla birlikte, amfibol ve plajiyoklas gibi minerallerin kimyasal bileşimlerinin artan sıcaklık ve basınç koşullarına göre değişim gösterdiği de bilinmektedir (Laird ve Albee, 1981; Hammarstrom ve Zen, 1986).

Basınç ( $P$ ) koşullarını belirlemek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından hornblendlerin Al içeriğinden hareketle kristallenme basınçlarının hesaplandığı deneysel korelasyonlar kullanılmıştır. Bu korelasyonların hornblendlerin ve buna bağlı olarak komşu minerallerin kristalizasyon basıncını verdiği kabul edilmekte (Ghent vd., 1991) olup, hesaplanan basınçlar hornblendlerin kristallenme derinliklerini yansıtabilmektedir. Ancak hornblendlerde  $Al = 0.79$  sınırı alt sınırını oluşturmakta olup

(Leake, 1971), toplam Al ( $Al^T$ )  $< 0.79$  olması durumunda negatif basınçlar söz konusu olmaktadır. Hornblendlerin kristallenme basınçları ile  $Al^T$  içerikleri arasında oluşturulan deneysel korelasyonlar çalışma alanındaki örnekler üzerine uygulandığında basınç ( $P$ ) değerleri;  $P_1 = 2.6-3.7$  kbar (ort =  $3.0 \pm 0.3$  kbar; Hammarstrom ve Zen, 1986),  $P_2 = 2.7-3.9$  kbar (ort =  $3.1 \pm 0.3$  kbar; Hollister vd., 1987),  $P_3 = 2.1-2.9$  kbar (ort =  $2.4 \pm 0.2$  kbar; Johnson ve Rutherford, 1989),  $P_4 = 3.2-4.2$  kbar (ort =  $3.6 \pm 0.3$  kbar; Schmidt, 1992) ve  $P_5 = 2.6-3.6$  kbar (ort =  $3.0 \pm 0.3$  kbar; Anderson ve Smith, 1995) olarak elde edilmiştir (Tablo 1).

Sıcaklık ( $T$ ) koşullarını belirleyebilmek amacıyla, özellikle kalk-alkali granitoidlerdeki amfibol-plajiyoklas çiftlerinde geliştirilen jeotermometre için önerilen net-transfer değişim reaksiyonları (1) ve (2) kullanılmıştır (Holland ve Blundy, 1994).



Jeotermometre hesaplamalarında her iki değişim reaksiyonu için de denge ilişkisi (3) nolu denklemde verilmektedir (Blundy ve Holland, 1990);

$$T=(0.677P-48.98+Y)/(-0.0429-0.008314\ln K) \quad (3)$$

Burada  $T$  sıcaklık (kelvin ölçeğine göre olup dönüşüm için:  $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$ ),  $P$  basınç (kbar),  $Y$  ise plajiyoklasın ideal olmaması durumu olup,  $X_{\text{Ab}} > 0.5$  için  $Y=0$ ,  $X_{\text{Ab}} < 0.5$  için  $Y= -8.06 + 25.5 (1 - X_{\text{Ab}})^2$ 'dir. Değişim reaksiyonlarının dağılım katsayısı ise  $K = X_{\text{Ab}}(\text{Si}-4)/(8-\text{Si})$  olarak verilmektedir. 500-1100  $^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklarda oluşmuş

amfibol-plajiyoklas birlikteliklerinde kullanılan bu termometre  $\text{An}_{92}$ 'den daha az kalsik plajiyoklas ve birim formülünde 7.8'den daha az Si içeren amfibol birliktelikleri için kullanılmaktadır (Blundy ve Holland,1990).

Yapılan hesaplamalara göre, Altınpınar andezitlerinde sıcaklık aralıklarının birbirine oldukça yakın olduğu ve genel olarak 790 – 810 ( $\pm 22$ )  $^{\circ}\text{C}$  arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Altınpınar hornblendli andezitlerinin Al in-hornblend barometre ve hornblend-plajiyoklas termometre hesaplamaları ile elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Referans		Al in Hornblend (Al-Hbl) Barometresi		
Basınç $P$ (kbar)		$P_{\min}$	$P_{\max}$	$P_{\text{ort}} (n= 14)$
Hammarstrom ve Zen (1986); $P_1$		2.6	3.7	3.0 $\pm$ 0.3
Hollister vd. (1987); $P_2$		2.7	3.9	3.1 $\pm$ 0.3
Johnson ve Rutherford (1989); $P_3$		2.1	2.9	2.4 $\pm$ 0.2
Schmidt (1992); $P_4$		3.2	4.2	3.6 $\pm$ 0.3
Anderson ve Smith (1995); $P_5$		2.6	3.6	3.0 $\pm$ 0.3
Hbl-Pl (Blundy ve Holland, 1990) Termometresi*				
Sıcaklık $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )		$T_{\min}$	$T_{\max}$	$T_{\text{ort}} (n= 41)$
$P_1$ ortalama için $T_1$		765	827	801 $\pm$ 22
$P_2$ ortalama için $T_2$		764	826	799 $\pm$ 21
$P_3$ ortalama için $T_3$		775	837	810 $\pm$ 22
$P_4$ ortalama için $T_4$		757	819	792 $\pm$ 21
$P_5$ ortalama için $T_5$		766	828	801 $\pm$ 22

$P_1= -3.92+5.03\text{Al}^{\text{T}}$ ;  $P_2= -4.67+5.64\text{Al}^{\text{T}}$ ;  $P_3= -3.46+4.23\text{Al}^{\text{T}}$ ;  $P_4= -3.01+4.76\text{Al}^{\text{T}}$ ;  $P_5= 4.76\text{Al}^{\text{T}}-3.01-[(T-675)/85] \times [0.53\text{Al}^{\text{T}}+0.005294 \times (T-675)]$ . \* $T_1$ - $T_5$  sıcaklıkları, her bir  $P_1$ - $P_5$  ortalama basınç değerleri kullanılarak Blundy ve Holland (1990) termometre yöntemine göre hesaplanmıştır.

Bununla birlikte, örneklerin sıcaklık ve basınç koşullarını karşılaştırabilmek amacıyla; Holland ve Blundy (1994) tarafından önerilen net-transfer değişim reaksiyonları (1) ve (2)'nin kullanıldığı ve Schmidt (1992), Schmidt (1993) ve Anderson ve Smith (1995) basınç değerlerinin temel alınarak hesaplandığı reaksiyonlarda elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çıkan değerlerin daha önce elde edilen değerler ile örtüştüğü görülmektedir.

Amfiboller, 1.5-12 kbar basınç aralığında veya kabuktan Moho'ya (kabuk-manto sınırı) yakın derinliklerde yaklaşık % 2'nin üzerindeki su içeriğinde duraylı kalk-alkali

magmalar için tipik minerallerdir. Bu faz bileşimi ana magmanın basınç-sıcaklık ( $P$ - $T$ ) ve oksijen fugasitesini ( $f_{\text{O}_2}$ ) yansıtır ve amfibol/amfibol-plajiyoklas jeotermobarometrelerini kalibre etmek için kullanılır (Schmidt, 1992; Anderson ve Smith, 1995; Blundy ve Holland, 1990). Son zamanlarda bazı araştırmacılar (Wones, 1989; Ridolfi vd., 2010)  $f_{\text{O}_2}$  ve  $P$ - $T$  parametrelerinin tahmininde ampirik (deneysel) formüller önermiştir. Çalışma alanındaki andezitlerde bulunan hornblendler, Ridolfi vd. (2010) tarafından önerilen (4) nolu eşitliğe göre kalibre edilmiş ve amfibol jeotermometresi hesaplamaları için örneklere uygulanmıştır.

**Tablo 2.** Altınpınar hornblendli andezitlerinin hornblend-plajiyoklas (Hbl-Pl) termobarometre hesaplamaları ve elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Schmidt basınç değerleri temel alınarak hesaplanan Hbl-Pl termobarometre hesaplamaları				
	Min	Mak	Ort (n=13)	Referans
<i>P</i> (kbar)	3.3	4.2	3.6±0.2	Schmidt (1992); Schmidt (1993)
<i>T</i> (°C) HB1 '94*	732	849	765±29	Holland ve Blundy (1994)
<i>T</i> (°C) HB2 '94**	751	854	786±25	Holland ve Blundy (1994)
Anderson ve Smith basınç değerleri temel alınarak hesaplanan Hbl-Pl termobarometre hesaplamaları				
	Min	Mak	Ort (=13)	Referans
<i>T</i> (°C) HB1*	737	791	759±12	Holland ve Blundy (1994)
<i>P</i> (kbar) HB1*	2.0	3.0	2.4±0.2	Anderson ve Smith (1995)
<i>T</i> (°C) HB2**	747	791	768±11	Holland ve Blundy (1994)
<i>P</i> (kbar) HB2**	2.0	2.8	2.2±0.2	Anderson ve Smith (1995)

\*HB1'94, Holland ve Blundy (1994) Hbl-Pl termometre kalibrasyon reaksiyonu: edenit + 4 kuvars = tremolit + albit

\*\*HB2'94, Holland ve Blundy (1994) Hbl-Pl termometre kalibrasyon reaksiyonu: edenit +albit=rihterit+anortit

$$T = -151.487Si^* + 2,041 \quad (4)$$

Burada;

$$Si^* = Si + \frac{^{4}Al}{15} - 2^{[4]}Ti - \frac{^{6}Al}{2} - \frac{^{6}Ti}{1.8} + \frac{Fe^{+3}}{9} + \frac{Fe^{+2}}{3.3} + \frac{Mg}{26} + \frac{^B Ca}{5} + \frac{^B Na}{1.3} - \frac{^A Na}{15} + \frac{^A []}{2.3} \quad (5)$$

Diğer yandan, andezitlerde jeobarometrik hesaplamalar, Ridolfi vd. (2010) tarafından önerilen ve toplam Al içeriğinin dikkate alındığı (6) nolu eşitliğe göre yapılmıştır.

$$P = 19.209e^{(1.438A/tot)}, R^2 = 0.99 \quad (6)$$

Yapılan hesaplamalarda hornblendlerin sıcaklık (*T*) değerleri 790-867 °C (n= 17) arasında değişmekte olup ortalama 815 ± 18 °C sıcaklık değeri vermektedir. Hesaplanan basınç (*P*) değerleri ise 0.9-1.7 kbar (n= 17) arasında değişmekte ve ortalama 1.3 ± 0.2 kbar değeri vermektedir (Tablo 3; Şekil 10a).

Magmatik kayaların kristallenme süreçlerindeki bir diğer önemli etmen ise oksijen fugasitesi (*f*O<sub>2</sub>) olup, oksijenin kısmi basıncı olarak tanımlanmaktadır. Oksijen fugasitesi, kayacı oluşturan ergiyiğin basınç-sıcaklık ilişkisini kontrol etmekle birlikte, kayacın oluşturuca minerallerin duraylılık alanlarını da etkilemektedir. Sıcaklığın bir fonksiyonu

olarak değişmekte olan bu değer, sıcaklık artışına bağlı olarak genellikle yükselmektedir (Wones, 1989; Ridolfi vd., 2008; 2010). Bununla birlikte kayaçları oluşturan silikat ergiyiğinin içerdiği oksijen miktarı sıcaklığın kaynağı ve gazların karışım oranları ile kontrol edilmektedir.

İnceleme alanındaki andezitlerde oksijen fugasitesi hesaplamaları Wones (1989) (7) ve Ridolfi vd. (2010) (8) tarafından önerilen ampirik formüllere göre gerçekleştirilmiştir.

$$\log fO_2 = -30930/T + 14.98 + 0.142(P-1)/T \quad (7)$$

Burada, *T*; kelvin cinsinden sıcaklık ve *P*; bar cinsinden basıncı ifade etmektedir.

$$\Delta NNO = 1.644Mg^* - 4.01 \quad (8)$$

Burada;

$$Mg^* = Mg + \frac{Si}{47} - \frac{^{6}Al}{9} - 1.3^{[6]}Ti + \frac{Fe^{+3}}{3.7} + \frac{Fe^{+2}}{5.2} - \frac{^B Ca}{20} - \frac{^A Na}{2.8} + \frac{^A []}{9.5}$$

Wones (1989)'a göre yapılan hesaplamalarda  $fO_2$  değerleri  $-12.7$  ile  $-14.4$  arasında olup, ortalama  $fO_2$  değeri  $-13.4 \pm 0.6$  olarak hesaplanmıştır. Hornblendlerin Mg indeksi dikkate alınarak Ridolfi vd. (2010)'a göre gerçekleştirilen hesaplamalarda ise en düşük  $-12.6$ , en yüksek  $-11.1$  ve ortalama  $-11.9 \pm 0.3$  değerleri elde edilmiştir (Tablo 3; Şekil 10b). Relatif oksijen fugasitesi ( $\Delta NNO$ ) ise  $1.0$  ile  $2.1$  arasında olup,  $1.7 \pm 0.2$  ortalama değeri sunmaktadır.

Ergiyikteki su içeriğinin ( $H_2O_{\text{ergiyik}}$ ), Moore vd. (1998) ve Newman ve Lowenstern (2002) çözülebilirlik modellerine göre amfibol

bileşimleri ile iyi bir korelasyon vermediği, buna karşın yapılan çalışmalar tutarlı (ideal) amfibollerin bileşimlerinin  $H_2O_{\text{ergiyik}}$  ile ilişkili olduğunu ve amfibollerin mineral kimyasının  $fH_2O$ 'dan etkilendiğini göstermektedir (Ridolfi vd., 2010). Dolayısıyla, amfibollerde bulunan oktahedral Al ( $Al^{VI}$ ) ergiyikteki  $H_2O$  içeriğine duyarlı olup, oktahedral Al indeksine ( $^{[6]}Al^*$ ) göre  $H_2O_{\text{ergiyik}}$  şu şekilde hesaplanmaktadır (9):

$$H_2O_{\text{ergiyik}} = 5.215^{[6]}Al^* + 12.28 \quad (9)$$

Burada;

$$^{[6]}Al^* = ^{[6]}Al + \frac{^{[4]}Al}{13.9} - \frac{Si + ^{[6]}Ti}{5} - \frac{CFe^{+2}}{3} - \frac{Mg}{1.7} + \frac{^B Ca + ^A \square}{1.2} + \frac{^A Na}{2.7} - 1.56K - \frac{Fe\#}{1.6}$$

İnceleme alanındaki andezitler için yapılan hesaplamalarda  $H_2O_{\text{ergiyik}}$  değerleri en düşük  $5.1$ , en yüksek  $6.4$  ve ortalama  $5.7 \pm 0.4$  olarak hesaplanmış (Tablo 3) ve sıcaklığa göre dağılımı Şekil 10c'de verilmiştir.

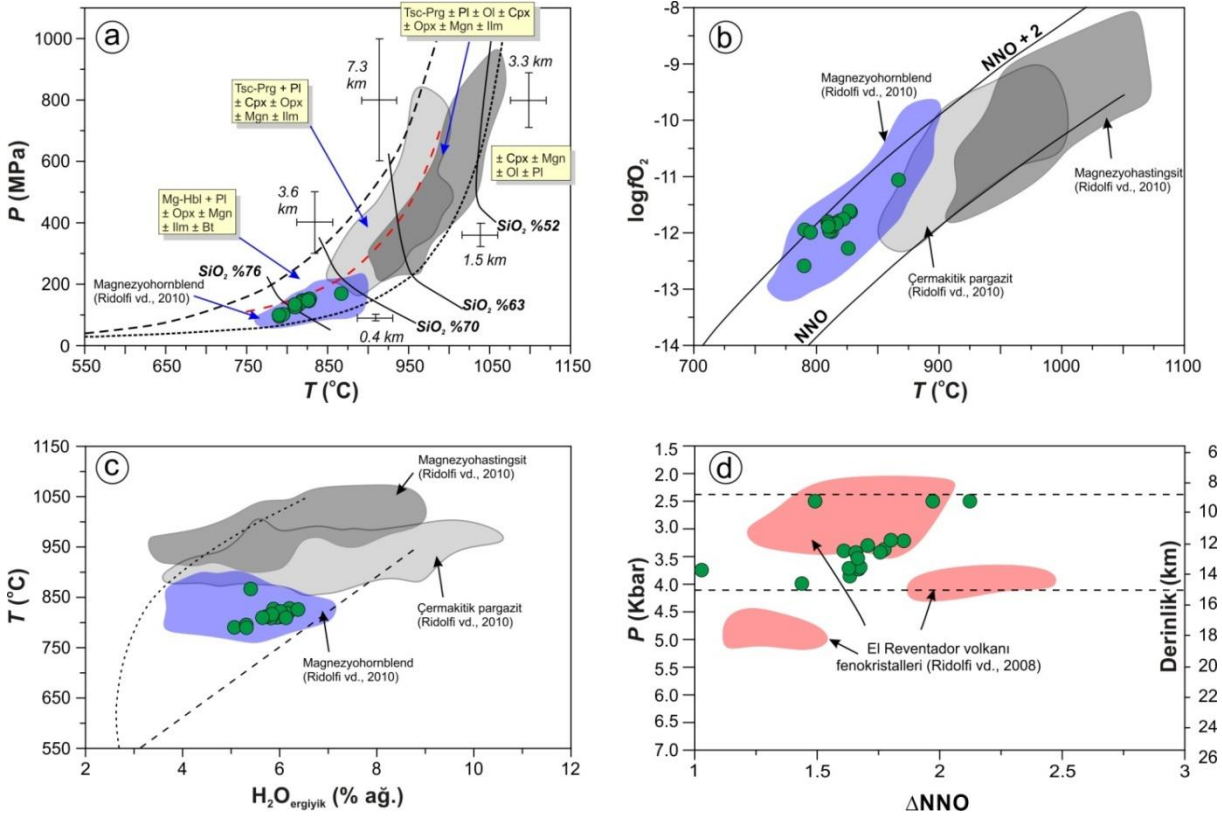
Hornblend minerallerinde gerçekleştirilen tüm çalışmalarda sıcaklık ( $T$ ) değerlerinin  $765 - 867$  °C (ort=  $790 \pm 20$  °C); basınç ( $P$ )

değerlerinin  $2.5 - 4$  kbar ve oksijen fugasitesinin ( $fO_2$ )  $-14.4$  ile  $-11.1$  arasında değiştiği ortaya konmuştur. Elde edilen bu değerler hornblendlerin  $9 - 15$  km derinliklerde kristallendiğini (kıtasal kabukta  $1$  kbar =  $3.78$  km derinlik kabul edilerek hesaplanmıştır; Ridolfi vd., 2010) göstermektedir (Şekil 10d).

**Tablo 3.** Altınpınar hornblendli andezitlerinin amfibol termobarometresi (Ridolfi vd., 2010), oksijen fugasitesi hesaplamaları ve elde edilen değerlerin karşılaştırılması.

Referans		Amfibol Termobarometresi		
<b>Sıcaklık <math>T</math> (°C)</b>		$T_{min}$	$T_{mak}$	$T_{ort}$ (n= 17)
Ridolfi vd. (2010)		790	867	$815 \pm 18$
<b>Basınç <math>P</math> (kbar)</b>		$P_{min}$	$P_{mak}$	$P_{ort}$ (n= 14)
Ridolfi vd. (2010)		0.9	1.7	$1.3 \pm 0.2$
Referans		Oksijen Fugasitesi ( $fO_2$ )		
		$fO_{2min}$	$fO_{2mak}$	$fO_{2ort}$ (n= 41)
Wones (1989)		$-14.4$	$-12.7$	$-13.4 \pm 0.6$
Ridolfi vd. (2010)		$-12.6$	$-11.1$	$-11.9 \pm 0.3$
		$\Delta NNO_{min}$	$\Delta NNO_{mak}$	$\Delta NNO_{ort}$
Ridolfi vd. (2010)		1.0	2.1	$1.7 \pm 0.2$
Referans		Ergiyikteki Su İçeriği ( $H_2O_{\text{ergiyik}}$ )		
		$H_2O_{\text{ergiyik}}$ (%ağ.) <sub>min</sub>	$H_2O_{\text{ergiyik}}$ (%ağ.) <sub>mak</sub>	$H_2O_{\text{ergiyik}}$ (%ağ.) <sub>ort</sub>
Ridolfi vd. (2010)		5.1	6.4	$5.7 \pm 0.4$



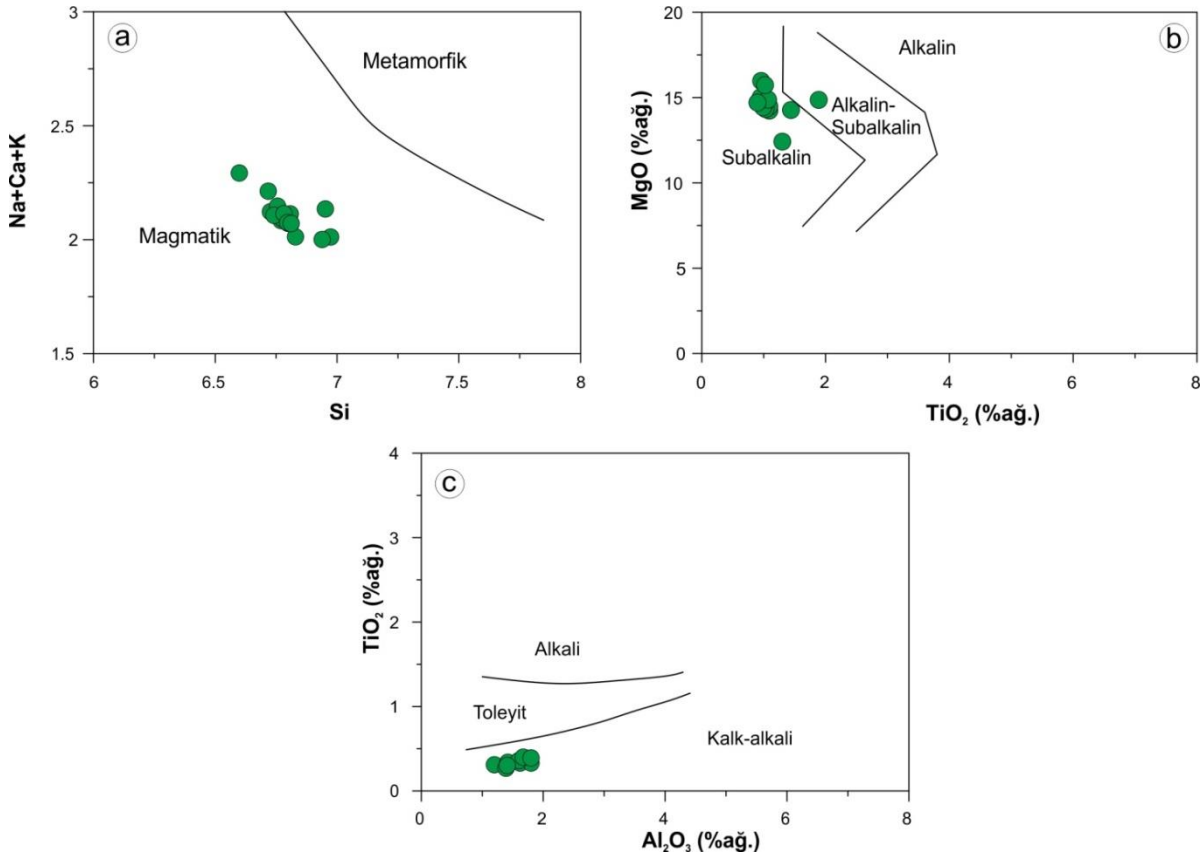


**Şekil 10.** Altınpınar hornblendli andezitlerinin (a) Basınç ( $P$ ) – Sıcaklık ( $T$ ), (b) Oksijen fugasitesi ( $fO_2$ ) - Sıcaklık ( $T$ ), (c) Sıcaklık ( $T$ ) –  $H_2O_{\text{ergiyik}}$  (%ağ.) ve (d) Basınç ( $P$ ) -  $\Delta NNO$  – derinlik (km) değerlerinin karşılaştırılması (Ridolfi vd., 2010).  $P$  (kbar) değerleri Altınpınar andezitlerinde hesaplanan tüm basınçların ortalama değer aralığını yansıtmaktadır. Kapalı alanlar magnezyo-hornblend (Ridolfi vd., 2010) ve El Reventador volkanı (Ekvador) fenokristalleri (Ridolfi vd., 2008) veri dağılımlarını yansıtmaktadır.

#### 4.4. Magma Özellikleri ve Jeotektonik Ortam

Minerallerin kimyasal özelliklerinin, magmatik seriler ve magmatik kayaların tektonik ortamlarının ayırt etmek için kullanıldığı bilinmektedir (Le Bas, 1962; Leterrier vd., 1982; Nachit, 1986; Abdel-Rahman, 1994; Molina vd., 2009). Andezitlerde gözlenen hornblend fenokristalleri kalsik bileşimde (magnezyo-hornblend) olup, Na, Ca, K ve Si içeriklerine göre magmatik bir oluşum ortamını yansıtmaktadır (Şekil 11a). Bununla birlikte, hornblend ve piroksen minerallerinin magmatik afinite ayırtman diyagramlarına bakıldığında, Altınpınar hornblendli andezitlerinin kalk-alkalin bir magmadan itibaren türediklerini işaret etmektedir (Şekil 11b ve 11c). Ancak mineral kompozisyonları kullanılarak oluşturulan bu diyagramlarda kalk-alkali, yüksek-K kalk-alkali ve şoşonitik ayırımı yapılamamaktadır. Buna karşın, Gümüşhane

çevresinde Eosen volkanizması üzerine yapılan bazı çalışmalar, bu volkanizma ürünlerinin kalk-alkali bir magmadan itibaren türediğini işaret etmektedir (Aslan, 2010; Karşlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2013). Dolayısıyla, çalışma konusunu oluşturan andezitlerin de kalk-alkali bir magmadan itibaren türemiş olabileceğini desteklemektedir. Bununla birlikte, yapılan son çalışmalar Doğu Pontidler'deki Eosen volkanitlerinin zenginleşmiş litosferik mantonun kısmi ergimesinden itibaren oluştuğunu ve buna ilaveten kabuk katkısının da gözlendiğini işaret etmektedir (Kaygusuz vd., 2011; Arslan vd., 2013; Aslan vd., 2014; Temizel vd., 2016). Eosen volkanitlerinde gerçekleştirilen petrokimyasal çalışmalar ise volkanitleri oluşturan ana magmanın olasılıkla Paleosen-Eosen döneminde Pontid yayının kalınlaşmasından sonra kısmi ergime ile üst manto-kabuk sınırında türemiş olabileceğini göstermektedir (Aslan, 2010).



**Şekil 11.** Altınpınar hornblendli andezitlerinde (a) Si'ya karşı Na+Ca+K magmatik ve metamorfik amfibol ayırım diyagramı (Sial vd., 1998), (b) Amfibol kompozisyonunun magmatik afinite ayırım diyagramı (Molina vd., 2009), ve (c) Piroksen kompozisyonunun magmatik afinite ayırım diyagramı (Le Bas, 1962).

## 5. Sonuçlar

Eosen veya daha genç olduğu düşünülen bol hornblend içeren andezitler Alibaba Formasyonu içerisinde gözlenmekte olup, arazide izlenebilen kütlelerin yayılımları birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar değişmektedir. Andezitler mikrolitik-porfirik, vitrofirik-porfirik, yer yer ise glomeroporfirik ve poikilitik doku göstermekte olup, hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineral fenokristallerinden oluşmaktadır.

Hornblendler Ca-tipi (kalsik) olup, magnezyohornblend bileşimine sahiptir. Kimyasal olarak magmatik bir kökeni işaret etmektedir. Plajiyoklasların kompozisyonu An<sub>40-61</sub>Ab<sub>38-57</sub>Or<sub>1-5</sub> aralığında değişmekte ve andezin-labrador kompozisyonunu yansıtmaktadır. Piroksenlerin türleri ojit olarak belirlenmiş olup, Wo<sub>44-45</sub>En<sub>43-44</sub>Fs<sub>12</sub> bileşimindedir ve Mg# = 0.78-0.79 aralığında değişmektedir. Fe-Ti oksitler genellikle hamurda ve hornblendler içerisinde kapanım

olarak gözlenmekte ve magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) bileşimi sunmaktadır.

Hornblend minerallerinde gerçekleştirilen hesaplamalarda sıcaklık (*T*) değerlerinin 765 - 867 °C (ort= 790±20 °C); basınç (*P*) değerlerinin 2.5 - 4 kbar ve oksijen fugasitesinin (*f*O<sub>2</sub>) -14.4 ile -11.1 arasında değiştiği ortaya konmuştur. Elde edilen bu değerler hornblendlerin kıtasal kabukta 9-15 km derinliklerde kristallendiğini işaret etmektedir.

Minerallerin kimyasal özellikleri kullanılarak yapılan ayırtma diyagramları, andezitlerin kalk-alkalin bileşimli bir magmadan itibaren türemiş olabileceğini göstermektedir. Değişik araştırmacılar tarafından çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan petrokimyasal çalışmalar, Eosen volkanitlerini oluşturan ana magmanın Paleosen-Eosen döneminde Pontid yayının kalınlaşmasından sonra kısmi ergime ile üst manto-kabuk sınırında türemiş olabileceğini işaret etmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 113Y381 numaralı ve Gümüşhane Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (GÜBAP) tarafından 16.F5114.02.02 numaralı projeler ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Baş Editör Serhat DAĞ, Bölüm Editörü Selçuk ALEMDAĞ ve Hakemlere teşekkür ederiz.

## 6. Kaynaklar

- Abdel-Rahman, A.M., 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-Alkaline, and Peraluminous Magmas. Journal of Petrology, 35, 2, 525-541.
- Adamia, S.A., Lordkipanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of Caucasus. Tectonophysics, 40, 183-199.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akaryalı, E. ve Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). Geoscience Frontiers, 4-4, 409-421.
- Akaryalı E. ve Akbulut K., 2016. Constraints of C–O–S isotope compositions and the origin of the Ünlüpinar volcanic-hosted epithermal Pb–Zn±Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 117, 119-134.
- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn ± Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). Ore Geology Reviews, 74, 1-14.
- Akçay, M. ve Arar, M., 1999. Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Çayeli Massive Sulphide Ore Deposit, Rize, NE Turkey, Mineral Deposits: Processes to Processing, Standley et al. (eds), Balkema, Rotterdam, 459-462.
- Akçay, M. ve Tüysüz, N., 1998. Murgul Cu Madeni Çevresinde Ağır Elementlerin Yanal Dağılımı ve Çevresel Kirlilik Üzerine Etkileri, Geosound, 30, 725-741.
- Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits. In: J.E. Dixon & A.H.F. Robertson (eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geological Society, London, Special Publications, 17, 415-428.
- Alemdag, S., 2015. Assessment of Bearing Capacity and Permeability of Foundation Rocks at the Gumustas Waste Dam Site, (NE Turkey) Using Empirical and Numerical Analysis. Arabian Journal of Geosciences, 8, 1099–1110.
- Alemdag, S., Akgün, A., Kaya, A., Gökçeoğlu, C., 2014. A large and rapid planar failure: causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey), Arabian Journal of Geosciences, 7 (3), 1205-1221.
- Alemdag, S., Kaya, A., Karadağ, M., Gurocak, Z., Bulut, F. 2015. Utilization of the limit equilibrium and finite element methods for the stability analysis of the slope debris: An example of the Kalebasi District (NE Turkey).

- Journal of African Earth Sciences, 106, 134-146.
- Alp, D., 1972. Amasya Yöresinin Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fak. Monografileri, 22, İstanbul, 135.
- Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P. ve Satır, M., 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.
- Altunkaynak, L., 2000. Ağvanis masifi doğu kesimi ve çevre kayaçlarının jeolojisi, petroğrafisi ve jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Anderson, J.L. ve Smith, D.R., 1995. The Effect of Temperature and Oxygen Fugacity on Al-in-Hornblende Barometry. American Mineralogist, 80, 549-59.
- Arslan, M. ve Aliyazıcıoğlu, İ., 2001. Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene evolution of Eastern Pontide arc volcanism, Northeast Turkey, International Geology Review, 43, 595-610.
- Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Arslan, M., Şen, C., Aliyazıcıoğlu, İ., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z. 2000. Comparative geology, mineralogy and petrology of Eocene (?) volcanics in Trabzon and Gümüşhane areas (NE, Turkey). Earth Science and Mining Conference, Journal of Conference Book 1, 39-53.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. ve Şen, C., 2013.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin. Contributions to Mineralogy and Petrology, 166, 113-142.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey, Chemie der Erde, 57, 157-187.
- Aslan, Z., 2010. U-Pb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides. Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen, 187/3, 329-346.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A., 2014. K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. Mineralogy and Petrology, 108, 245-267.
- Aydınçakır, E. ve Kaygusuz, A., 2012. Geç Kretase Yaşlı Dağbaşı (Araklı, Trabzon) Volkanitlerinin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, KD Türkiye, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(2), 123-142 .
- Aydınçakır, E., 2012. Borçka (Artvin, KD-Türkiye) Yöresi tersiyer Volkanitlerinin Petroğrafisi, Jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 200s.

- 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.
- 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.
- Aydin, F., 2014, Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Maçka Subvolcanic Intrusions: Implications for the late Cretaceous Magmatic and Geodynamic Evolution of the Eastern Part of the Sakarya Zone, Northeastern Turkey, International Geology Review, 56,10, 1246-1275.
- Bacon, C.R. ve Hirschmann, M.M., 1988. Mg/Mn Partitioning as a Test for Equilibrium Between Coexisting Fe-Ti Oxides, American Mineralogist, 73, 57-61.
- Bektaş, O. ve Gedik, İ. 1988. A new formation with leucitebearing shoshonitic volcanism in the Kop area (Everekhanları Formation) and its relationship with the evolution of the eastern Pontide arc, NE, Turkey. Geological Society of Turkey Bulletin, 31, 11-19.
- Bektaş, O., 1984., Doğu Pontidler'de Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KÜ Dergisi, 3, 1-2, 53-62, Trabzon.
- Blundy, J.D. ve Holland, T.J.B., 1990. Calcic Amphibole Equilibria and A New Amphibole-Plagioclase Geothermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 104, 208-24.
- 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.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R.c., Wagner, G.A. ve Yeğingil, Z., 2004. Slow Senonian and fast Paleocene-Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. Tectonophysics, 382, 213-228.
- Çamur, M.Z., Güven, T.B. ve Er, M., 1996. Geochemical characteristics of the eastern Pontide volcanics: An example of multiple volcanic cycles in arc evolution, Turkish Journal of Earth Sciences, 5, 123-144.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrografik ve Jeokronolojik Araştırmalar, İTÜ Kütüphanesi, 1034, İstanbul.
- Deer, W.A., Howie, R.A. ve Zussman, J., 1992. An introduction to the rock forming minerals: (2nd): London, Longman.
- Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn Madenleri ve Yan Kayaçlarının Mineralojisi ve Dokusal Özelliklerinin Karşılaştırılması İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demir, Y., Uysal, İ., Sadıklar, M.B. ve Sipahi, F., 2008. Mineralogy, Mineral Chemistry, and Fluid Inclusion Investigation of Köstere Hydrothermal Vein-Type Deposit (Gümüşhane, NE-Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 185, 2, 215-232.

- Dokuz, A. ve Tanyolcu, E., 2006. Gechemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Arvin), NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 181-209.
- Dokuz, A., 2000. Yusufeli yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik-metamorfik kayaların jeokimyası ve petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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: Köse composite pluton, Gondwana Research, 19, 926-944.
- EğİN, D., Hirst, D.M. ve Phillips, R., 1979. The petrology and geochemistry of volcanic rocks from the northern Harşit river area, Pontid Volcanic Province, Northeast Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 6, 105-123.
- Eyüboğlu, Y., 2006. Doğu Pontid Magmatik Yayı'nda (KD Türkiye) Alaska-Tip Mafik- Ultramafiklerin Tanımı ve Jeotektonik Önemi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontide orogenic belt, and its implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. International Geology Review, 52, 2/3, 142-186.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryalı, E., Chung, S.L., Akdağ, K. ve Bektaş, O., 2013. The Nature of Transition from Adakitic to non-Adakitic Magmatism in a Slab Window Setting: a Synthesis from the Eastern Pontides, Ne Turkey. Geoscience Frontiers, 4(4), 353-375.
- Fuhrman, M.L. ve Lindsley, D.H., 1988. Ternary feldspar modeling and thermometry: American Mineralogist, 73, 201-215.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize-Fındıklı Çamlıhemşin arasında (Doğu Karadeniz) yer alan magmatik kayaların petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki bölgesel yayılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38.
- Ghent, E.D., Nicholls, J., Siminy, P.S., Sevigny, J.H. ve Stout, M.Z., 1991. Hornblende Geobarometry of the Nelson Batholith, Southeastern British Columbia: Tectonic Implications. Canadian Journal of Earth Sciences, 28, 1982-1991.
- Giret, A., Bonin, B. ve Leger, J.-M., 1980. Amphibole compositional trends oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ringcomplexes. Canadian Mineralogist, 18, 481-495.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. MTA Gen. Müd. Monografi Serisi No: 5, 69 s., Ankara.
- Guilmette, C., Hebert, R., Dupuis, C., Wang, C. ve Li, Z., 2008. Metamorphic History and Geodynamic Significance of High-Grade Metabasites from the Ophiolitic Melange Beneath the Yarlung Zangbo Ophiolites, Xigaze Area, Tibet. Journal of Asian Earth Sciences, 32, 423-437.
- Gülmez, F. ve Genc, S.C., 2015. Amasya Civarı Geç Kretase Yaşlı Ultrapotasik Volkaniklerinde Farklılaşma Süreçleri. Maden Teknik Arama Dergisi, 151, 153-172.
- Güngör, Y., Boztuğ, D. ve Yılmaz, O., 1997. Kaçkar Batoliti Altıparmak Dağı-Soğanlı Dağı arası (GD Çamlıhemşin-Rize) kesiminin

- petrografik, jeokimyasal ve petrojenetik incelenmesi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, 30 Nisan - 3 Mayıs 1997, Adana, Bildiri Özetleri, s. 223-224.
- Güven İ.H. 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA (Ankara), (yayınlanmamış).
- Hammarstrom, J.M. ve Zen, E., 1986. Aluminum in Hornblende: An Empirical Igneous Geobarometer. American Mineralogist, 71, 1297-1313.
- Holland, T. ve Blundy, J., 1994. Non-ideal Interactions in Calcic Amphiboles and Their Bearing on Amphibole-Plagioclase Thermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, 433-47.
- Hollister, L.S., Grisson, G.C., Peters, E.K., Stowel, H.H. ve Sisson, V. B., 1987. Confirmation of the empirical calibration of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. American Mineralogist, 72, 231-239.
- Jica, 1986. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Consolidated Report. Japanese International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan.
- Johnson, M.C. ve Rutherford, M.J., 1989. Experimental Calibration of the Aluminum in Hornblende Geobarometer with Application to Long Valley Caldera (California) Volcanic Rocks. Geology, 17, 837-841.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C., 2009. □Lithostratigraphy, Facies and Deposition Environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso Type Sediments (ARTS) in the Gumushane Area, NE Turkey: Implications for the Opening of the Northern Branch of the Neo-Tethys Ocean. Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586-598.
- Karlı, O., Aydın, F. ve Sadıklar, B., 2004. The morphology and chemistry of K-feldspar megacrysts from İkizdere Pluton: evidence for acid and basic magma interactions in granitoid rocks, NE Turkey. Chemie der Erde, 64, 155-170.
- Karlı, O., Chen, B., Aydın, F. ve Şen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting. Lithos, 98, 67-96.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J.R., 2010. Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implication for crustal thickening to delamination, Lithos, 114, 109-120.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E., 2009. Mineralogy, Whole-Rock and Sr-Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. Chemie der Erde, 69, 247-277.
- 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 - Abhandlungen, 188, 3, 211-233.

- Kaygusuz, A. ve Şen, C., 2011. Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions. Chemie der Erde, 71, 59-75.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enst., 235 Sayfa, Trabzon.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., İlbeyli, N., Sipahi, F. ve Aydınçakır, E., 2012b. Doğu Pontid Kuzey Zonunda yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı granitlerin U-Pb zirkon yaşlandırması, Sr-Nd-Pb-O izotop sistematiği ve jeodinamik evrimi, (Tübitak Projesi) Proje No: 109Y052.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C., 2011a. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Post-Collisional 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, doi:10.1016/j.gr.2016.01.011.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012a. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, Eastern Pontides, Turkey. International Geology Review, 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Wolfgang, S. ve Şen, C., 2011. Geochemical and Sr Nd isotopic characteristics of post collisional calc alkaline volcanics in the Eastern Pontides NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 1, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Insight Into Magma Genesis at Convergent Plate Margins – A Case Study From the Eastern Pontides (NE Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 187/3, 265-287.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., ve Aydınçakır, E., 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. Geoscience Frontiers, 4; 423-438.
- Kaygusuz, A. ve Şahin, K., 2016. Petrographical, geochemical and petrological characteristics of Eocene volcanic rocks in the Mescitli area, Eastern Pontides (NE Turkey). Journal of Engineering Research and Applied Science, 5 (2), 473-486.
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z., 2006. Petrographic and petrological features of Torul (Gümüşhane) volcanites (NE Turkey); Evidences for fractional crystallisation and magma mixing/mingling. – Geological Bulletin of Turkey, 49: 49-82.
- Kazmin, V.G., Sborshnikov, I.M., Ricou, L.E., Zonenshain, L.P., Boulin, J. ve Knipper, A.I., 1986. Volcanic belts as marker of the Mesozoic-Cenozoic evolution of Tethys. Tectonophysics, 123, 123-152.
- Kırmacı, Z. 1992. Alucra-Gümüşhane-Bayburt Yörelerindeki (Doğu Pontid Güney Zonu) Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Berdiga Kireçtaşı'nın Sedimentolojik İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.



- Korkmaz, S., Tüysüz, N., Er, M., Musaoğlu, A. ve Keskin, İ., 1995. Stratigraphy of the Eastern Pontides, NE-Turkey. *Geology of the Black Sea Region*, MTA, Ankara, 59-69.
- Köprübaşı, N., Şen, C. ve Kaygusuz, A., 2000. Doğu Pontid ada yayı granitoidlerin karşılaştırılmalı petrografik ve kimyasal özellikleri. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 1, 111-120.
- Laird, J. ve Albee, A.L., 1981. Pressure, Temperature and Time Indicators in Mafic Schist: Their Application to Reconstructing the Polymetamorphic History of Vermont. *American Journal of Science*, 281, 127-175.
- Le Bas, M.J., 1962. The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science*, 260, 267-288.
- Leake, B.E., 1971. On Aluminous and Edenitic Hornblendes. *Mineralogical Magazine*, 38, 389-407.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Birch, W.D., Burke, E.A.J., Ferraris, G., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N. ve Whittaker, E.J.W., 2004. Nomenclature of Amphiboles; Additions and Revisions to the International Mineralogical Association's Amphibole Nomenclature. *American Mineralogist*, 89, 883-887.
- Leake, E.B., Wooley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickhel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. ve Youzhi, G., 1997. Nomenclature of Amphiboles Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *European Journal of Mineralogy*, 9, 623-651.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa / Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Letierrier, J., Maury, R.C., Thonon, P., Girard, D. ve Marchal, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of Paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 139-154.
- Maden, N. ve Akaryalı, E., 2015a. A review for genesis of continental arc magmas: U, Th, K and radiogenic heat production data from the Gümüşhane Pluton in the Eastern Pontides (NE Türkiye), *Tectonophysics* 664, 225–243.
- Maden, N. ve Akaryalı, E., 2015b. Gamma ray spectrometry for recognition of hydrothermal alteration zones related to a low sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Türkiye), *Journal of Applied Geophysics* 122, 74-85.
- Molina, J., Scarrow, J., Montero, P.G. ve Bea, F., 2009. High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry: evidence for mildly alkalic-hybrid melts during evolution of Variscan basic–ultrabasic magmatism of Central Iberia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 158, 69-98.
- Moore, G., Vennemann, T. ve Carmichael, I.S.E., 1998. An empirical model for the solubility of H<sub>2</sub>O in magmas to 3 kilobars. *American Mineralogist*, 83, 36–42.

- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. ve Gottardi, G., 1988. Nomenclature of Pyroxenes. American Mineralogist, 73, 1123–1133.
- Nachit, H., 1986. Contribution a letude analytique et experimental des biotite des granitoids Applications typologiques. PhD, University of Western Brittany, Brest, France (in French).
- Newman, S. ve Lowenstern, J.B., 2002. VolatileCalc: a silicate melt–H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub> solution model written in Visual Basic for excel. Computers and Geosciences, 28, 597–604.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: Robinson, A.G. (Editor), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region, AAPG Bulletin, 68, 291-311.
- Okay, A.I., 1984. Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (ed. J.E. Dixon ve A.H.F. Robertson), Geological Society, London, Special Publications, 17, 455-466.
- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: A Synopsis. Anschnitt, 21, 19-42.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M. ve Kylander-Clark, A.R.C., 2014. Low-Pressure-High-Temperature Metamorphism During Extension in A Jurassic Magmatic Arc, Central Pontides, Turkey. Journal of Metamorphic Geology, 32, 49-69.
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümegeç, M. ve Tekeli, O., 1980. Amasya-Turhal arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rap. No: 6722.
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve yakın çevresinin jeolojisi-mineralojisi-petrografisi ve maden zuhurlarının jenetik incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Konya.
- Özsayar, T., Gedikoglu, A. ve Pelin, S., 1981. Artvin Yöresi Yastık-Lavların Yaşına İlişkin Paleontolojik Veriler, KTÜ.,Yerbilimleri Dergisi, 1, 1, 38-42.
- Pelin, S. 1977. Alucra (Giresun) Güneydogu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi, K.TÜ. Yayınları, 87, 103s, Trabzon.
- Ridolfi, F., Puerini, M., Renzulli, A., Menna, M. ve Toulkeridis, T., 2008. The magmatic feeding system of El Reventador volcano (Sub-Andean zone, Ecuador) constrained by texture, mineralogy and thermobarometry of the 2002 erupted products. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 176, 94–106.
- Ridolfi, F., Renzulli, A. ve Puerini, M., 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. Contributions to Mineralogy and Petrology, 160, 45–66.
- Robinson, A.G., Banks, C.J., Rutherford, M.M. ve Hirst, J.P., 1995. Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey, Journal of Geological Society of London, 152, 861-872.

- Rojay, B., 1993. Tectonostratigraphy and neotectonic characteristics of the southern margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya), Phd Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Schmidt, M.W. 1993. Phase relations and compositions in tonalite as a function of pressure: an experimental study at 650 °C. American Journal of Science, 293, 1011-60.
- Schmidt, M.W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 110, 304-10.
- Sial, A.N., Ferreira, V.P., Fallick, A.E., Jeronimo, M. ve Cruz, M., 1998. Amphibole rich clots in calc-alkalic granitoids in the Borborema province northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 11, 457-471.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineraloji ve jeokimyası, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Sipahi, F., ve Sadıklar, M. B., 2014. Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontide (NE Turkey). Geochemistry International, 52, 4, 329-349.
- Sipahi, F., 2011. Formation of Skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen, 188, 2, 169-190.
- Şahin, K. ve Kaygusuz, A., 2016. Mescitli (Torul/Gümüşhane) ve Çevresindeki Eosen Yaşlı Volkanik Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (2), 89-116.
- Şahin, S. Y., Güngör, Y. ve Boztuğ, D., 2004. Comparative petrogenetic investigation of Composite Kaçar Batholith granitoids in Eastern Pontide magmatic arc, Northern Turkey. Earth, Planets and Space, 56, 429-446.
- 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.
- Taşlı, K., 1990. Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat istiflerinin stratigrafisi ve mikropaleontolojik incelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Temizel İ., Arslan M., Yücel C., Abdioğlu Yazar E. ve Ruffet G., 2016. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. Lithos, 258-259, 92-114.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region (Ne Turkey), PhD. Thesis, University Colloge, London.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Eosen yaşlı kalk-alkalen andezitler ve jeotektonizma. TJK Bülteni, 20,1, 49-54.
- Topuz, G. ve Altherr, R., 2004. Pervasive rehydration of granulites during exhumation-an example from the Pulur complex, Eastern Pontides, Turkey. Mineralogy and Petrology, 81, 165-185.

- Topuz, G. Altherr, R. Kalt, A. Satır, M. Wemer, O. ve Schwarz, W.H. 2004a. Aluminous granulites from the Pular complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization, Lithos, 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, W.H., 2004b. Low-grade metamorphic rocks from the Pular complex, NE Turkey: implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides, International Journal of Earth Sciences, 93, 72-91.
- Topuz, G. Altherr, R. Schwarz, W.H. Dokuz, A. ve Meyer, H.P. 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey, International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz, G. Altherr, R. Wolfgang, S. Schwarz, W.H. Zack, T. Hasanözbek, A. Mathias, B. 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, N. ve Akçay, M., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırmalı İncelemesi, Cumhuriyetin 75. Yılı Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi, Ekim MTA, Ankara, Bildiriler Kitabı: 625-645.
- Tüysüz, N., 1995. Lahanos (Espiyeye-Giresun) Masif Sülfür Yatağına Ait Cevher Mineralleri ve Dokularının Cevher Oluşumu Açısından İncelenmesi. Geosound, 26, 79-92.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z. ve Ağanoğlu, A., 1994. Pontid Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru. Türkiye Jeoloji Bülteni, 37, 41-46.
- Tüysüz, O., 1996. Amasya ve çevresinin jeolojisi, Türkiye 11. Petrol Kongresi Bildirileri, 32-48.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H.F.A, 2010. Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia, Geological Society, London, Special Publications, 340, 281-327.
- Wones, D.R., 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. American Mineralogist, 74, 744-749.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt yöresindeki mesozoyik havzalarının tektono-sedimentolojik kayıtları ve kontrol etkenleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 1, 141-165.
- Yılmaz, S. ve Boztaş, D., 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey, International Geology Review, 38, 935-956.
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical study of the Gümüşhane Granite, İst. Üniv. Fen. Fak. Mec. Seri B, 39, 3-4, 173-203.
- Yılmaz, Y., Tuysuz, O., Yiğitbaş, E., Genc, Ş.C. ve Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonics of the Pontides. In:Robinson, A.G.(ed), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. AAPG Memoirs 68, 183-226.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu, E., 2014. Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary alkaline volcanics in the northern zone of the Eastern Pontides, northeast Turkey: Implications for pre-eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. Mineralogy and Petrology, 108, 3, 439-467.

**Ek 1.** Altunpınar hornblendli andezitlerine ait amfibol minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral	Amfibol																
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z13	Z13				
Analiz No	Z11-01	Z11-02	Z11-03	Z11-04	Z11-05	Z11-06	Z11-07	Z11-08	Z11-09	Z11-10	Z11-11	Z11-12	Z11-13	Z11-14	Z13-04	Z13-18	Z13-19
Profil	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	
SiO <sub>2</sub>	47.22	47.85	47.82	47.41	47.88	47.43	48.36	47.19	47.75	47.40	47.85	49.43	47.99	49.98	45.59	48.27	45.19
TiO <sub>2</sub>	1.02	0.99	0.93	1.09	1.09	1.01	0.95	1.03	1.01	0.99	1.07	0.96	0.90	1.02	1.89	1.44	1.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.59	8.49	8.00	7.99	8.08	8.39	7.86	8.39	7.89	8.15	7.80	6.68	8.08	7.09	8.88	6.75	8.10
FeO	13.31	13.35	13.21	13.90	13.50	13.02	13.08	13.59	13.36	13.37	13.21	11.78	13.24	12.72	11.80	13.40	15.27
MnO	0.51	0.48	0.51	0.54	0.52	0.50	0.48	0.50	0.48	0.49	0.52	0.55	0.49	0.53	0.38	0.56	0.54
MgO	14.48	14.56	14.74	14.23	14.48	14.68	15.01	14.33	14.62	14.43	14.88	15.97	14.70	15.73	14.86	14.27	12.42
CaO	11.15	11.10	11.10	11.10	11.01	11.38	10.78	11.09	11.24	11.09	11.06	11.07	11.05	11.19	11.31	11.41	11.29
Na <sub>2</sub> O	1.28	1.18	1.18	1.15	1.17	1.17	1.19	1.19	1.15	1.19	1.18	1.04	1.21	1.04	1.67	1.09	1.19
K <sub>2</sub> O	0.37	0.43	0.34	0.40	0.41	0.48	0.31	0.44	0.43	0.46	0.37	0.30	0.32	0.32	0.38	0.38	0.38
F	0.11	0.20	0.12	0.15	0.10	0.08	0.11	0.04	0.07	0.16	0.13	0.12	0.20	0.13	DLA	DLA	DLA
Cl	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	DLA	DLA	DLA
H <sub>2</sub> O	1.99	1.96	1.99	1.96	2.00	2.01	2.01	2.02	2.01	1.96	1.99	2.01	1.95	2.03	1.99	1.99	1.99
Toplam	100.00	100.53	99.92	99.89	100.24	100.16	100.09	99.84	100.01	99.67	100.02	99.87	100.08	101.74	98.69	99.50	97.61
Si	6.73	6.77	6.80	6.78	6.80	6.76	6.83	6.74	6.81	6.78	6.80	6.97	6.81	6.94	6.60	6.95	6.72
Al <sup>IV</sup>	1.27	1.23	1.20	1.22	1.20	1.24	1.17	1.26	1.19	1.22	1.20	1.03	1.19	1.06	1.40	1.05	1.28
Al <sup>VI</sup>	0.17	0.19	0.14	0.12	0.15	0.16	0.14	0.15	0.13	0.16	0.10	0.08	0.16	0.10	0.11	0.10	0.14
Ti	0.11	0.11	0.10	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.21	0.16	0.15
Fe <sup>+3</sup>	1.06	1.07	1.09	1.07	1.07	0.98	1.19	1.08	1.01	1.03	1.11	1.05	1.08	1.08	0.83	0.74	0.84
Fe <sup>+2</sup>	0.52	0.51	0.48	0.59	0.53	0.57	0.36	0.54	0.58	0.57	0.46	0.34	0.49	0.39	0.60	0.87	1.05
Mn	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07
Mg	3.07	3.07	3.13	3.03	3.07	3.12	3.16	3.05	3.11	3.08	3.15	3.36	3.11	3.26	3.21	3.06	2.75
Ca	1.70	1.68	1.69	1.70	1.68	1.74	1.63	1.70	1.72	1.70	1.68	1.67	1.68	1.66	1.75	1.76	1.80
Na	0.35	0.32	0.33	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.32	0.33	0.32	0.28	0.33	0.28	0.47	0.30	0.34
K	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	0.09	0.06	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
Toplam	15.12	15.08	15.08	15.09	15.07	15.15	15.01	15.11	15.11	15.11	15.08	15.01	15.07	15.00	15.29	15.13	15.21
OH*	1.94	1.90	1.94	1.92	1.94	1.95	1.94	1.97	1.96	1.92	1.93	1.94	1.90	1.94	2.00	2.00	2.00
Mg#	0.85	0.86	0.87	0.84	0.85	0.85	0.90	0.85	0.84	0.84	0.87	0.91	0.86	0.89	0.84	0.78	0.72

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 23 oksijene göre hesaplanmıştır. Mg# = Mg/(Mg+Fe<sup>+3</sup>). DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

**Ek 2.** Altınpınar hornblendli andezitlerine ait plajiyoklas minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral		Plajiyoklas																	
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11
Analiz No	Z11-21	Z11-22	Z11-23	Z11-24	Z11-25	Z11-26	Z11-27	Z11-28	Z11-29	Z11-32	Z11-33	Z11-35	Z11-36	Z11-37	Z11-38	Z11-39			
Profil	kenardan - merkeze									kenardan - kenara									
SiO <sub>2</sub>	58.18	56.77	56.25	55.52	55.92	56.19	56.05	56.12	56.42	52.30	54.79	55.10	56.04	54.59	55.45	57.46			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.28	27.17	27.58	27.87	27.75	27.69	27.77	27.61	27.43	30.10	28.38	28.22	27.88	28.74	28.02	26.44			
FeO*	0.32	0.25	0.33	0.31	0.24	0.20	0.19	0.22	0.19	0.36	0.29	0.30	0.21	0.21	0.20	0.21			
CaO	8.27	9.00	9.38	9.98	9.71	9.58	9.62	9.60	9.44	12.54	10.39	10.27	9.76	10.72	10.13	8.37			
Na <sub>2</sub> O	6.06	5.99	5.63	5.53	5.62	5.74	5.74	5.76	5.86	4.37	5.33	5.26	5.57	5.09	5.39	6.37			
K <sub>2</sub> O	0.90	0.35	0.30	0.33	0.32	0.36	0.33	0.34	0.36	0.32	0.27	0.30	0.29	0.23	0.30	0.40			
SrO	0.08	0.15	0.16	0.13	0.14	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.13	0.19	0.18	0.13			
BaO	0.03	0.05	0.01	0.06	0.01	0.04	0.06	0.03	0.07	0.02	DLA	0.03	0.06	0.04	0.02	0.08			
<b>Toplam</b>	<b>100.13</b>	<b>99.72</b>	<b>99.64</b>	<b>99.73</b>	<b>99.71</b>	<b>99.96</b>	<b>99.93</b>	<b>99.84</b>	<b>99.91</b>	<b>100.14</b>	<b>99.60</b>	<b>99.65</b>	<b>99.94</b>	<b>99.81</b>	<b>99.67</b>	<b>99.47</b>			
Si	2.61	2.56	2.54	2.51	2.53	2.53	2.53	2.53	2.54	2.38	2.48	2.50	2.52	2.47	2.51	2.59			
Al	1.39	1.44	1.47	1.49	1.48	1.47	1.48	1.47	1.46	1.61	1.52	1.51	1.48	1.53	1.49	1.41			
Ca	0.40	0.43	0.45	0.48	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.61	0.50	0.50	0.47	0.52	0.49	0.40			
Na	0.53	0.52	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.51	0.39	0.47	0.46	0.49	0.45	0.47	0.56			
K	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02			
<b>Toplam</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>	<b>4.98</b>	<b>5.00</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.02</b>	<b>5.00</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>			
Or	5.28	2.06	1.79	1.93	1.88	2.10	1.93	1.98	2.09	1.83	1.58	1.77	1.71	1.36	1.76	2.34			
Ab	54.00	53.51	51.13	49.10	50.20	50.93	50.92	51.02	51.80	37.97	47.38	47.25	49.94	45.59	48.19	56.58			
An	40.72	44.43	47.08	48.97	47.92	46.97	47.16	46.99	46.11	60.20	51.04	50.98	48.35	53.06	50.05	41.08			

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 8 oksijene göre hesaplanmıştır. An, Ab ve Or: sırasıyla Anortit, Albit ve Ortoklas yüzdeleri. Fe<sup>+2</sup> toplam Fe olarak alınmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

## Ek 2. devamı

Mineral		Plajiyoklas																
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11					
Analiz No	Z11-40	Z11-41	Z11-42	Z11-43	Z11-44	Z11-45	Z11-46	Z11-48	Z11-49	Z11-50	Z11-52	Z11-53	Z11-54					
Profil	kenardan - kenara			merkez			kenar			merkezden - kenara			merkez			kenar		
SiO <sub>2</sub>	56.61	55.27	56.16	54.68	54.68	55.47	56.64	58.21	52.70	56.61	55.66	55.48	55.99	55.89	55.65	55.03	56.24	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.31	28.29	27.53	29.61	29.61	28.14	27.32	26.57	29.86	27.43	28.44	28.05	27.96	27.79	27.89	28.43	27.73	
FeO*	0.25	0.21	0.22	0.29	0.29	0.20	0.21	0.28	0.28	0.25	0.22	0.24	0.22	0.23	0.27	0.35	0.25	
CaO	9.31	10.21	9.45	11.22	11.22	10.12	9.21	8.19	12.14	9.36	10.22	10.03	9.89	9.71	10.07	10.38	9.76	
Na <sub>2</sub> O	5.98	5.40	5.77	4.98	4.98	5.42	5.95	6.40	4.22	5.89	5.54	5.53	5.61	5.72	5.52	5.36	5.78	
K <sub>2</sub> O	0.33	0.29	0.30	0.25	0.25	0.26	0.45	0.60	0.23	0.35	0.28	0.34	0.36	0.31	0.36	0.30	0.30	
SrO	0.17	0.16	0.13	0.17	0.17	0.14	0.16	0.21	0.13	0.19	0.12	0.15	0.13	0.21	0.20	0.19	0.15	
BaO	DLA	0.04	0.07	0.07	0.07	0.04	0.02	0.11	DLA	0.06	0.06	0.05	0.04	DLA	DLA	0.03	0.02	
Toplam	99.96	99.86	99.62	101.26	101.26	99.81	99.98	100.56	99.57	100.12	100.54	99.87	100.20	99.86	99.96	100.05	100.22	
Si	2.55	2.50	2.54	2.44	2.44	2.51	2.55	2.60	2.40	2.55	2.50	2.51	2.52	2.52	2.51	2.49	2.53	
Al	1.45	1.51	1.47	1.56	1.56	1.50	1.45	1.40	1.60	1.45	1.50	1.49	1.48	1.48	1.48	1.51	1.47	
Ca	0.45	0.49	0.46	0.54	0.54	0.49	0.44	0.39	0.59	0.45	0.49	0.49	0.48	0.47	0.49	0.50	0.47	
Na	0.52	0.47	0.51	0.43	0.43	0.47	0.52	0.55	0.37	0.51	0.48	0.48	0.49	0.50	0.48	0.47	0.50	
K	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Toplam	5.00	5.00	4.99	5.00	5.00	4.99	5.00	4.99	4.99	4.99	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
Or	1.91	1.70	1.76	1.45	1.45	1.53	2.61	3.49	1.37	2.04	1.62	1.98	2.09	1.81	2.09	1.75	1.74	
Ab	52.73	48.07	51.57	43.90	43.90	48.46	52.49	56.53	38.09	52.16	48.72	48.95	49.59	50.67	48.76	47.46	50.83	
An	45.36	50.23	46.67	54.65	54.65	50.01	44.90	39.98	60.55	45.80	49.66	49.07	48.31	47.53	49.15	50.79	47.43	

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 8 oksijene göre hesaplanmıştır. An, Ab ve Or: sırasıyla Anortit, Albit ve Ortoklas yüzdeleri. Fe<sup>2+</sup> toplam Fe olarak alınmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında.

## Ek 2. devamı

Mineral		Plajiyoklas											
Örnek No	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z13	Z13
Analiz No	Z11-61	Z11-62	Z11-63	Z11-64	Z11-65	Z11-68	Z13-08	Z13-36	Z13-41	kenar	merkez	kenar	merkez
Profil	kenar	kenar	kenar	kenar	merkez	kenar	kenar	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez
SiO <sub>2</sub>	56.51	56.04	56.65	56.77	56.78	55.73	53.51	55.45	55.61	53.51	55.45	55.45	55.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.42	27.87	27.79	27.43	27.40	28.74	28.55	27.65	27.33	28.55	27.65	27.65	27.33
FeO*	0.21	0.25	0.24	0.26	0.24	0.36	0.41	0.43	0.48	0.41	0.43	0.43	0.48
CaO	9.15	9.85	9.48	9.20	9.29	9.91	10.73	9.81	9.58	10.73	9.81	9.81	9.58
Na <sub>2</sub> O	5.87	5.74	5.92	6.05	6.01	5.52	4.72	5.19	5.40	4.72	5.19	5.19	5.40
K <sub>2</sub> O	0.44	0.32	0.30	0.33	0.39	0.34	0.39	0.70	0.71	0.39	0.70	0.70	0.71
SrO	0.18	0.16	0.22	0.18	0.17	0.19	0.21	0.19	0.13	0.21	0.19	0.19	0.13
BaO	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.08	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.06
Toplam	99.81	100.27	100.63	100.24	100.31	100.81	98.59	99.47	99.30	98.59	99.47	99.47	99.30
Si	2.55	2.52	2.54	2.55	2.55	2.49	2.46	2.52	2.53	2.46	2.52	2.52	2.53
Al	1.46	1.48	1.47	1.45	1.45	1.52	1.55	1.48	1.46	1.55	1.48	1.48	1.46
Ca	0.44	0.47	0.45	0.44	0.45	0.48	0.53	0.48	0.47	0.53	0.48	0.48	0.47
Na	0.51	0.50	0.51	0.53	0.52	0.48	0.42	0.46	0.48	0.42	0.46	0.46	0.48
K	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04
Toplam	4.99	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.99	4.99	5.00	4.99	4.99	4.99	5.00
Or	2.58	1.85	1.74	1.91	2.25	1.99	2.35	4.16	4.18	2.35	4.16	4.16	4.18
Ab	52.34	50.38	52.13	53.30	52.72	49.20	43.28	46.88	48.38	43.28	46.88	46.88	48.38
An	45.08	47.77	46.13	44.79	45.03	48.81	54.37	48.96	47.43	54.37	48.96	48.96	47.43

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 8 oksijene göre hesaplanmıştır. An, Ab ve Or: sırasıyla Anortit, Albit ve Ortoklas yüzdeleri. Fe<sup>+2</sup> toplam Fe olarak alınmıştır.



**Ek 3.** Altınpınar hornblendli andezitlerine ait klinopiroksen minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral		Klinopiroksen											
Örnek No	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13
Analiz No	Z13-03	Z13-05	Z13-06	Z13-14	Z13-15	Z13-16	Z13-17	Z13-20	Z13-21	Z13-03	Z13-05	Z13-06	Z13-14
Profil (m-k)	merkez	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar
SiO <sub>2</sub>	52.70	52.24	52.04	52.45	52.23	52.49	52.34	52.12	52.43	52.43	52.43	52.43	52.43
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.33	0.34	0.33	0.27	0.36	0.30	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.20	1.62	1.42	1.80	1.39	1.60	1.41	1.67	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DLA	0.01	DLA	0.02	DLA	DLA	0.01	0.04	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
FeO*	8.11	8.61	8.64	8.59	8.51	8.57	8.16	8.33	8.39	8.39	8.39	8.39	8.39
MnO	0.55	0.43	0.41	0.43	0.42	0.42	0.44	0.41	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
MgO	14.94	14.80	14.63	15.16	14.70	14.89	14.84	14.79	14.78	14.78	14.78	14.78	14.78
CaO	21.42	21.29	21.15	20.97	21.15	21.26	21.38	21.30	21.40	21.40	21.40	21.40	21.40
Na <sub>2</sub> O	0.33	0.36	0.34	0.36	0.34	0.32	0.31	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
<b>Toplam</b>	<b>99.55</b>	<b>99.68</b>	<b>98.96</b>	<b>100.10</b>	<b>99.02</b>	<b>99.91</b>	<b>99.18</b>	<b>99.39</b>	<b>99.97</b>	<b>99.97</b>	<b>99.97</b>	<b>99.97</b>	<b>99.97</b>
Si	1.96	1.94	1.95	1.94	1.96	1.95	1.96	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94
Al	0.05	0.07	0.06	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe <sup>+2</sup>	0.22	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Fe <sup>+3</sup>	0.03	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Mn	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.83	0.82	0.82	0.84	0.82	0.82	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
Ca	0.85	0.85	0.85	0.83	0.85	0.85	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Na	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Toplam</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>
Mg#	0.79	0.79	0.78	0.79	0.78	0.78	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.78
Wo	0.45	0.45	0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
En	0.44	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Fs	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Fe<sup>+2</sup> toplam Fe olarak alınmıştır. Mg# = Mg/(Mg+Fe<sup>+2</sup>). Yapısal formüller 6 oksijene göre hesaplanmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

**Ek 4.** Altınpınar hornblendli andezitlerine ait Fe-Ti oksit minerallerinin mikroprob analiz sonuçları ve yapılan hesaplamalar.

Mineral		Fe-Ti oksit																								
Örnek No	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z11	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	Z13	
Analiz No	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	kenar	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez	merkez
SiO <sub>2</sub>	1.69	2.42	2.48	2.44	1.41	0.89	0.06	0.07	0.06	0.24	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.11	0.22	0.10	0.24	0.11	0.24	0.11	0.24	0.11
TiO <sub>2</sub>	1.24	3.11	0.52	0.50	0.63	1.93	4.82	4.33	4.58	4.87	4.39	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	6.17	6.02	8.45	6.73	6.73	6.73	6.73	6.73	6.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57	2.29	0.71	0.67	0.41	0.67	1.52	1.50	1.60	1.30	1.46	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.13	1.90	2.42	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.10	DLA	0.01	DLA	0.11	0.10	0.09	0.11	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.03	0.05	0.06	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.07
FeO*	84.74	80.45	84.56	84.62	86.06	85.03	85.02	86.11	86.15	85.10	85.55	86.15	86.15	86.15	86.15	86.15	86.15	82.55	82.37	79.44	81.18	81.18	81.18	81.18	81.18	82.50
MnO	0.36	0.33	0.15	0.12	0.21	0.20	1.09	0.89	1.02	1.10	1.05	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.86	0.87	1.36	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.39
MgO	0.07	0.07	0.05	0.03	0.04	0.04	DLA	0.04	0.11	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.47	0.21	0.43	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.26
CaO	0.20	1.46	0.21	0.27	0.12	0.15	0.01	0.01	0.02	0.11	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.11	0.06	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.05
<b>Toplam</b>	<b>88.91</b>	<b>90.23</b>	<b>88.68</b>	<b>88.66</b>	<b>88.89</b>	<b>89.03</b>	<b>92.62</b>	<b>93.04</b>	<b>93.65</b>	<b>92.84</b>	<b>92.66</b>	<b>93.65</b>	<b>93.04</b>	<b>93.65</b>	<b>92.84</b>	<b>92.66</b>	<b>92.38</b>	<b>91.79</b>	<b>92.34</b>	<b>92.58</b>	<b>92.58</b>	<b>92.58</b>	<b>92.58</b>	<b>92.58</b>	<b>92.58</b>	<b>92.92</b>
Si	0.54	0.54	0.80	0.78	0.45	0.29	0.02	0.02	0.02	0.07	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.07	0.03	0.03	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.03
Ti	0.30	0.73	0.13	0.12	0.15	0.47	1.12	1.00	1.05	1.13	1.02	1.00	1.00	1.05	1.13	1.02	1.43	1.41	1.96	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.44
Al	0.22	0.84	0.27	0.25	0.16	0.25	0.55	0.54	0.58	0.47	0.53	0.54	0.54	0.58	0.47	0.53	0.77	0.70	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.80
Cr	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Fe <sup>+3</sup>	14.09	12.16	13.89	13.94	14.63	14.21	13.14	13.39	13.26	13.10	13.38	13.26	13.39	13.26	13.10	13.38	12.29	12.33	11.11	11.11	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	12.22
Fe <sup>+2</sup>	8.64	8.88	8.78	8.76	8.49	8.63	8.85	8.77	8.75	8.87	8.74	8.75	8.77	8.75	8.87	8.74	9.02	9.11	9.42	9.05	9.05	9.05	9.05	9.05	9.05	8.98
Mn	0.10	0.09	0.04	0.03	0.06	0.05	0.29	0.23	0.26	0.29	0.27	0.26	0.23	0.26	0.29	0.27	0.22	0.23	0.36	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.36
Mg	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.01	0.01	0.22	0.10	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.12
Ca	0.07	0.49	0.07	0.09	0.04	0.05	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.02
<b>Toplam</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>	<b>24.00</b>

Not: Ana oksit değerleri % ağırlık cinsindedir. Yapısal formüller 32 oksijene göre hesaplanmıştır. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

## Şanlıurfa İlinde Koyunculuk İşletmelerinin Sosyo-Ekonomik Durumu: Siverek İlçesi Örneği

Köksal KARADAŞ\*

Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü

Geliş tarihi/Received 17.02.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 07.06.2017

Kabul tarihi/Accepted 18.07.2017

### Öz

*Bu çalışmanın amacı Şanlıurfa İli koyunculuk işletmelerinin demografik özelliklerini ve koyunculuk faaliyeti ile ilgili sorunlarını belirleyerek bu sorunların çözümüne ve daha karlı bir faaliyet sürdürebilmelerine olanak sağlayacak önerilerde bulunmaktadır. Bu amaçla Basit Tesadüfi Örneklem Yöntemiyle belirlenen ve Şanlıurfa İli Siverek İlçesinde bulunan 127 adet koyunculuk işletmesi ile anket yapılmıştır. Anketlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonunda işletmecilerin ortalama yaşı 48 ve hayvancılık tecrübesi 29 yıl olarak belirlenmiştir. Her işletmede Erkek İş Birimi (EİB) cinsinden ortalama nüfus 5.39 ve işletmecilerin % 15.7 sinin okuryazarlığı olmayıp % 74.8'i ilkökul seviyesinde eğitime sahiptir. İşletmecilerin % 36.2 sinin koyunculuk faaliyeti dışında ortalama 23937 TL yıllık işletme dışı tarımsal gelirleri bulunmaktadır. İşletmelerde ortalama 39.6 da lık alanda 2.43 adet parselde buğday, arpa ve mercimek üretimi yapılmaktadır. İşletmelerin dönem sonunda ortalama 62875 TL değerinde 125 adet koyunu ve 43500 TL değerinde 125 adet kuzusu bulunmaktadır. Tamamı herhangi bir tarımsal örgüte üye olmayan işletmecilerin % 52.7 sinin dönem sonunda ortalama 5701 TL ve 7 ay vadeli borcu bulunmakta olup borç kaynağı akraba ve komşulardır. Üreticilerin % 85 i koyunculuktan elde ettiği ürünleri araçlar vasıtası ile pazarlamaktadır. Koyuncululuğu olumsuz yönde etkileyen faktörlerden önemlileri yem fiyatlarının yüksek olması, hayvanların içme suyu temini zorluğu ve yem bitkileri üretiminde karşılaşılan sorunlardır. Bölgede koyuncululuğun geliştirilmesi için koyunculuk işletmelerinin yem bitkileri üretimi teşvik edilerek köy içi ve meralarda su sorunu çözümlenmelidir.*

**Anahtar kelimeler:** Demografik Özellikler, Koyunculuk, Şanlıurfa, Üretici Sorunları

## Socioeconomic Status of Sheep Breeding Farms in Sanliurfa Province: Case of Siverek District

### Abstract

*The aim of this study were to give suggestions for solving the problems and sustaining more profitable breeding by determining demographic characteristics and the sheep related problems of sheep breeding farms in Sanliurfa province. With this aim, a questionnaire study on 127 sheep farms in Siverek district determined by a simple random sampling was conducted. As a result of evaluating the data obtained from the questionnaire study, average age (48) and experience (29 years) of the farmers were determined. In each farm, average population (5.39) in male work unit, as well as 15.7 (%) illiterate and 74.8 (%) primary school levels of the farmers were found. In 36.2 (%) of them, there was an income of 23937 TL from other agricultural activities expect for sheep breeding. At the farms, wheat, barley and lentil were produced at 39.6 da and 2.4 parcels*

\* Köksal KARADAŞ, kkaradas2002@gmail.com, Tel:(505)6976660

averagely. At the end of period, there were average 125 heads sheep having the value of 62875 TL and 125 heads lambs having the value of 43500 TL. All of them were nonmember farmers to any agricultural organization and 52.7 (%) of them had 5701 TL dept at seven month time loan. The sources of their loans were relatives and neighbors. 85 (%) of the producers were marketing the obtained products by means of middlemen. The factors negatively affecting sheep breeding were high feed prices, lack of animal's drinking water and the problems encountered in producing forage crops. In conclusion, water problem should be solved in village pastures by promoting forage crops of sheep breeding farms for developing sheep breeding in the region.

**Keywords:** Demographic Characteristic, Sheep Breeding, Sanliurfa, Producer Problems

## 1.Giriş

Hayvancılık sektörü, dengeli ve sağlıklı beslenmede olduğu kadar, kırsal ve ekonomik kalkınmada da önemli işlevler yüklenmiş olup, bu sektörün önemli bir alt faaliyet alanı olan koyun yetiştiriciliği üreticilere birçok yönden avantajlar sağlamaktadır. Koyun, farklı çevre şartlarına kolaylıkla uyum gösteren bir hayvan olup sürü halinde yetiştirilebildiğinden çeşitli bölgelerde kolaylıkla üretilmekte ve düşük kalitedeki meralar ile sığırların yararlanamadığı bitki örtüsünü oldukça iyi bir şekilde değerlendirmekte, bakım ve beslemesi kolay, daha az emek ve sermayeye ihtiyaç duymaktadır (Paksoy ve Özçelik, 2008; Semerci ve Çelik, 2016). Tarım sektörüne istihdam olanağı sağlayan koyunculuktan et, süt, yapağı, deri ve gübre gibi ürünler elde edilirken; koyunların bağırsakları, sucuk ve sosis kılıflarının, operasyon yaralarının dikilmesinde kullanılan dikis ipliklerinin (katgüt) imalinde, kemik, boynuz ve tırnakları; düğme, tarak, tutkal ve boya imalinde, yün yağı ise ilaç ve kozmetik sanayiinde kullanılmaktadır (Akçapınar, 2000; Günaydın, 2009; Tamer, 2014). Koyunculuktan elde edilen süt hem süt ürünlerine dönüştürülmekte ve hem de kuzuların beslenmesinde kullanılmaktadır (Sezenler vd., 2016). Ayrıca koyunculuk özellikle yılın her döneminde gelir sağlaması ve köyden kente göçü engellemesi açısından önemli bir gelir kaynağıdır. Türkiye'nin doğal ve ekonomik koşulları ile tarımsal yapısı ve gelenekleri koyun yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapılmasına ve hayvancılık içerisinde önemli bir yer tutmasına uygun bir ortam oluşturmakla birlikte, Türkiye'de koyunculuk

genellikle ekstansif olarak yapılmaktadır (Akçapınar vd., 2002). 2014 yılı dünya koyun varlığının (1195624523 baş) %2.6 sı (31140244 baş) Türkiye'de bulunmaktadır (Anonim, 2014a). 2015 yılında Türkiye de üretilen 18654682 ton sütün % 6.3 ü (1177228 ton) koyunlardan elde edilirken (Anonim, 2015), 2014 yılında 30694 ton koyun peyniri, 26400 ton koyun tereyağı, 98978 ton koyun eti üretilmiştir (Anonim, 2014b). Türkiye koyun varlığı 1991 yılında 40432340 baş iken 2010 yılında 23089601 başa düşmüş ve 2016 yılında 30983933 başa yükselerek kısmen de olsa artmaya başlamıştır. Genellikle düşük süt verimine sahip olan yerli ırklar Türkiye koyun varlığının % 93 ünü (Anonim, 2016) araştırma bölgesinde bulunan Akkaraman ırkı ise % 40 ını oluşturmaktadır (Ertuğrul vd., 2009). Türkiye koyun varlığının % 6.4'ü (1856508 baş) Şanlıurfa'da bulunmaktadır (Anonim, 2014). Koyunculuk işletmelerinin daha fazla verim ve kâr elde etmeleri koyunculukla ilgili problemlerinin belirlenmesi ve çözüm önerilerinin sunulmasına bağlıdır. Bu çalışma, Şanlıurfa ilinde koyun yetiştiriciliği yapan üreticilerin koyunculukla ilgili sorunlarını belirlemek ve bu sorunların çözümüne yönelik önerilerde bulunmak amacıyla yapılmıştır.

Koyun yetiştiriciliği konusunda daha önce yapılan çalışmalarda; Geeta vd. (1999) koyunculukta yıllık faaliyet sonuçları ve brüt kârlarının pozitif olduğunu, Connoly (2000) koyunculuk işletmelerinin % 75'inin koyunculuk faaliyeti için uygun olmayan alanlarda yoğunlaştığını, Direk vd. (2000)

Konya ilinde yaygın koyun ırkının Akkaraman olduğunu ve koyunculüğün işletmelerde yan gelir kaynağı olarak yapıldığını Aydın (2001) koyun yetiştiriciliğinin esas olarak yaylacılık tarzında yapıldığını, Koyun (2001), Hatay bölgesinde koyun yetiştiriciliğinin % 61,4'ünün süt, % 29,3'ünün besi ve % 9,9'unun süt ve besi amaçlı yapıldığını, Aktürk vd., (2005) koyunculuk işletmelerinde ortalama nüfusun 4.4 ve işletme başına işgücünün 3.21 EİB olduğunu, Sezgin (2006) göçer aile reislerinin ortalama yaşının 44 ve göçer ailelerin % 47,7'sinin 1.000-3.000 baş koyuna sahip olduklarını, Dayan (2007) koyun yetiştiricilerinin; yaş ortalamalarının 35-50, eğitim durumunun % 59,15'nin ilkokul mezunu, aile bireyleri sayısının ortalama 8 kişi, arazi varlığının ise ortalama 137 da olduğunu, Alçiçek ve Yurtman (2009) Koyun yetiştiriciliğinde başarının büyük ölçüde koyun başına büyütilen kuzu yüzdesi ve pazara sunulan kuzu miktarı ile ölçüldüğünü, Deniz (2009) koyun başına düşen verimin yükseltilmesi bakımından; yem bitkileri ekim alanlarının artırılması, yem miktarı ve kalitesinin uygun olması, bakım ve besleme koşullarının iyileştirilmesi gerektiğini, Karaca vd. (2009) koyun sayısındaki sayısal azalmanın nedenleri arasında işletmelerin küçük, dağınık ve örgütsüz oluşunu, Çağlıyan ve Durmuş (2010) Diyarbakır Havzası'nda küçükbaş hayvancılığın gerek güvensizlik ortamı gerekse de ekonomik sorunlardan dolayı son dönemlerde giderek azalmasına dikkat çekmişler ve 15 yıllık dönemde küçükbaş hayvan sayısında % 50'lik bir azalma meydana geldiğini, Şahinli (2011) koyunculuk işletmelerinde bir çiftçi ailesinin ortalama nüfusu 3.97 kişi ve ortalama işletme arazisi genişliği 137.95 da olduğunu, Browne vd. (2012) 14 farklı tarım ürününün karlılığını farkı yağış senaryolarında karşılaştırdıkları çalışmada en karlı faaliyetin kuzu yetiştiriciliği olduğunu, Karakuş ve Akkol (2013) yetiştiricilerin yapısal ve teknik sorunlarının yanı sıra yetiştirme, besleme ve sağlık koruma konularında bilgi eksiklikleri olduğunu, Karakaya ve Kızıloğlu (2014) koyun yetiştiricilerinin, tarımsal örgütlerden çözüm beklediği en temel sorunların % 36 oranla ürünlerin pazarlanması ve veteriner

hekim hizmetleri olduğunu, Koca (2014) ortalama hayvan varlığının 9.29 BBHB olduğunu, işletme başına ortalama 122.18 da işletme arazisinin bulunduğunu, Altınçekiç (2014) Bursa İli Koyunculuk İşletmelerinde tarım örgütüne üyelik ve işletmede kayıt tutulması gibi koyunculüğün yapısal ve donanımsal özelliklerini ortaya koyan kriterler bakımından işletmeler arasında farklılık olduğunu, Yılmaz vd. (2014) koyunculüğün Ekonomik açıdan bakıldığında yüksek bir gelir getirmesi yanı sıra, sosyolojik olarak da yüzyıllardır sürdürülen geleneksel bir yaşam tarzı olduğunu göçer koyunculüğün birçok sorunu da beraberinde getirdiğini ve bu nedenle bu üretim sistemi için devlet eliyle ciddi politikaların devreye sokulması gerektiğini, Ayvazoğlu Demir vd. (2015) koyunculuk işletmelerinin pek çoğunun küçük ölçekli aile işletmesi tarzında oluşu, pazar koşullarına karşı üreticinin pazar ve fiyat garantisinin olmaması nedeniyle, verilen destek ve teşviklere rağmen işletmelerin sermaye artırımına gidemediğini ve rasyonelleşmediğini, Ceyhan vd., (2015) koyun yetiştiren işletme sahiplerinin büyük bir kısmının (% 68.8) ilkokul mezunu olduğu, koyunculuk yapma süresinin ortalama 25.7 yıl olduğu, çoban olarak önemli oranda (% 63.5) aile işgücünün kullanıldığı, koyun ırkı olarak işletmelerin % 99'unda Akkaraman, işletme başına ortalama koyun sayısının 314.5 baş olduğunu, Çelik (2016) özellikle kırsal alanlardan kentlere göçü engelleme ve gizli işsizliği önleme, mevcut gıda sanayi sektörüne kaynak oluşturma ve insanların yeterli ve dengeli beslenmesini sağlama açısından küçükbaş hayvancılığın vazgeçilmeyecek bir hayvancılık alanı olduğunu bildirmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan veriler 37.45 kuzey enlem ile 39.19 doğu boylamlarının kesiştiği ve 800 m rakımda bulunan Şanlıurfa İli Siverek İlçesi'nde koyun yetiştiriciliği yapan işletmelerle yapılan anketlerden elde edilmiştir. Ayrıca konu hakkında daha önce yapılmış çeşitli ulusal ve uluslararası

araştırma makaleleri ve raporlar ile çeşitli istatistik kurumlarının verileri araştırmanın ikincil veri kaynaklarını oluşturmaktadır.

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Örnek Büyüklüğünün Belirlenmesinde Uygulanan Yöntem

Bir popülasyon üzerinde yürütülen araştırmada popülasyona ait verilerin toplanmasında kullanılan iki yöntemden birisi örneklemedir. Örnekleme yapılması daha ucuz, daha çabuk, daha ayrıntılı ve başka bir şekilde elde edilemeyecek verilerin elde edilmesine olanak sağlaması ve örnek sonuçları için güvenilirliğin bir ölçüsünün elde edilebilmesi nedenlerinde dolayı avantajlıdır (Yamane, 2010). Araştırma popülasyonunu 2014 yılı itibariyle Şanlıurfa ilinde koyun üretiminin % 31.1'inin gerçekleştirildiği Siverek ilçesi (Anonim, 2014) diğer örnekleme yöntemlerinin ön aşamasını oluşturan ve örneklemin yapılacağı popülasyon seçiminin araştırıcı tarafından belirlendiği Gayeli Örnekleme Yöntemi ile Seçilmiştir.

Popülasyona girecek işletmelerin seçiminde Şanlıurfa İli Siverek İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Çiftçi Kayıt Sistemine (ÇKS) kayıtlı bulunan 1128 adet koyunculuk işletmesi esas alınmış olup veriler 2014 yılına aittir. Örnek popülasyondan anket yapılacak işletmelerin seçiminde işletmelerin ÇKS' ye kayıtlı koyun varlıkları dikkate alınmış ve Basit Tesadüfî Örnekleme Yöntemi kullanılmıştır (Karadaş, 2016).

Koyun varlığı dikkate alınarak popülasyonu temsil edecek işletme sayısı;

$$n = \frac{NS^2t^2}{(N-1)d^2 + S^2t^2} \quad (1)$$

formülü kullanılarak elde edilmiştir.

n: Popülasyonu temsil edecek işletme sayısını,

N: Popülasyondaki toplam işletme sayısını (1128),

S: Popülasyonun standart sapması (144.79),

t: % 90 güven sınırlarında cetvel değeri (1.65)

d=kabul edilebilir hata payı (Popülasyon ortalamasının % 10'u: 20.00)

$$n = \frac{1128 \times 144.79^2 \times 1.65^2}{(1128 - 1)20^2 + 144.79^2 \times 1.65^2} = 126.76$$

Anket yapılacak işletme sayısı hesaplandıktan sonra ankete tabi tutulacak işletmelerin tespiti için tesadüfî sayılar tablosu kullanılmıştır.

### 2.2.2. Erkek İş Birimi (EİB) ve Büyükbaş Hayvan Birimi (BBHB) Hesaplanmasında Kullanılan Yöntem

Erkek İş Birimini Hesaplama Katsayıları Tablo 1'de verilmiştir (Karadaş, 2000). İşletmelerde bulunan toplam hayvanların BBHB cinsinden hesaplanmasında kullanılan formül Tablo 2'de verilmiştir (Aktaş, 2009).

### 2.2.3. Anket Formlarının Hazırlanmasında ve İstatistiksel Analizde Uygulanan Yöntem

Anket çalışmasına katılan üreticilere işletmecinin yaşı, eğitim durumu, işletmelerdeki nüfus ve iş gücü varlığı işletmelerin arazi varlığı, parsel sayısı ve üretim deseni, işletmelerin hayvan varlığı, işletmecilerin borçluluk durumu, koyunculuk faaliyeti ile ilgili sorunlar ve çözüm önerileri vb. konularla ilgili sorular sorulmuştur.

**Tablo 1.** Erkek iş birimini hesaplamada kullanılan katsayılar

Yaş	Cinsiyet	
	Erkek	Kadın
0-6	0.00	0.00
7-14	0.50	0.50
15-49	1.00	0.75
50-64	0.75	0.50
65 ve +	0.50	0.50

**Tablo 2.** BBHB'nin hesaplanmasında kullanılan katsayıları

Cinsi	BBHB
Toklu	0.08
Kuzu	0.05
Koç	0.12
Koyun	0.10

Anketlerle sağlanan bilgiler 2014 yılı tarımsal üretim dönemini kapsamaktadır. İstatistiksel analizlerde SPSS 21 ve EXCEL paket programları kullanılarak verilerin frekansları ve ortalamaları alınmıştır.

### 3. Araştırma Bulguları

#### 3.1. İşletmelerin Nüfusu ve İşletmeci Yaşı

Şanlıurfa İli Siverek ilçesinde bulunan ve koyun yetiştiriciliği yapan 127 adet işletme ile yapılan anketlerin değerlendirilmesinde öncelikle demografik özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak işletme sahiplerinin yaşları değerlendirilmiş en genç işletmecinin yaşı 25 en yaşlı işletmecinin yaşı 80 ve ortalama işletmeci yaşı 47.8 olarak belirlenmiştir. Nüfus, tarımsal faaliyetin temel unsurlarından olan işgücünün kaynağını

oluşturduğundan sosyal ve ekonomik nitelikleriyle ortaya konulmalıdır (Peker ve Ayyıldız, 1996).

İncelenen her işletmede ortalama olarak 5.39 Erkek İş Birimi (EİB) bulunurken (Tablo 3.) en az 2, en çok 13 ve ortalama 7.9 adet hane halkı mevcut olup bu sayı 2011 yılı hane halkı ortalama sayılarına göre hem Türkiye ortalama hane halkı (3.8) ve hem de Şanlıurfa İli ortalama hane halkı sayısından (6.2) daha fazladır (Anonim. 2011). Her işletmede kız çocuğu sayısı en çok 5 ve ortalama 2.4 adet, erkek çocuğu sayısı en çok 6 ve ortalama 3.1 adet olup toplam çocuk sayısı ise en çok 10 ve ortalama 5.5 adettir. İşletmecilerin kaç yıldır koyunculuk faaliyeti ile uğraştıkları sorulmuş en az 10. en çok 65 ve her işletmecinin ortalama 29 yıldır koyun yetiştiriciliği yaptığı belirlenmiştir.

**Tablo 3.** İncelenen işletmelerde nüfusun yaş ve cinsiyete göre dağılışı ve EİB

Yaş	Ortalama Birey sayısı	Katsayı	EİB
0-6	0.70	0.00	0.00
7-14 Kadın-Erkek	2.00	0.50	1.00
15-49 Kadın	1.90	0.75	1.42
15-49 Erkek	2.44	1.00	2.44
50-64 Kadın	0.37	0.50	0.18
50-64 Erkek	0.37	0.75	0.28
65 + Kadın-Erkek	0.15	0.50	0.07
Toplam	7.93		5.39

#### 3.2. İşletmecilerin Eğitim Durumu

İşletmecilerin eğitim durumları incelenmiş ve % 15.7'sinin (n=20) okuma yazma

bilmedikleri belirlenmiştir. Okuryazar olup diploması olmayanlar ile ilkökul mezunu olanlar toplamı işletmecilerin % 74.8'ini (n=95) oluşturmaktadırlar (Tablo 4.)

**Tablo 4.** İşletmecilerin eğitim durumu

Eğitim Durumu	N	%
Okuryazar değil	20	15.7
Okuryazar (diploma yok)	33	26.0
İlkokul mezunu	62	48.8
Ortaokul mezunu	9	7.1
Lise Mezunu	3	2.4
Toplam	127	100

### 3.3. Yabancı İşgücü Kullanım Durumu

Koyun yetiştiriciliğinde incelenen işletmelerin % 22.0'ı 1 ve % 1.6'sı 2 yabancı işçi çalıştırırken yabancı işçilerin yaşları 27 ila 48 arasında olup ortalama yaşları 38'dir.

Yabancı işçi çalıştıran işletmelerdeki yabancı işçilerin ortalama çalışma süreleri 227 gün/yıl olup bu işçiler işletmede çobanlık ve sağım işlerinde çalışmaktadırlar. Yabancı işçi

çalıştıran her işletme işçilerine ortalama 1160 TL değerinde 116 kg peynir ve 580.5 TL değerinde 21.5 kg tereyağını aynı ödeme olarak yaparken nakdi ödeme olarak ise en az 10000 TL, en çok 37680 TL ve yabancı işçi çalıştıran her işletme işçi başına ortalama 19620 TL/yıl ücret ödemektedir. Yabancı işçilere ödenen yevmiye 50 TL ila 105 TL arasında değişmekte olup ortalama 82.6 TL/gün olarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

**Tablo 5.** İşletmelerdeki yabancı işgücü durumu

Değişkenler	Minimum	Maksimum	Ortalama	
İşçinin yaşı	27	48	38	
İşletmede çalıştığı süre (gün)	120	300	227	
Aldığı aynı ürün (kg)	Peynir	20	400	116
	Tereyağ	50	150	21.5
Aldığı aynı ürün değeri (TL)	Peynir	500	4000	1160
	Tereyağ	1350	4050	580.5
Nakdi ücret (TL)	10000	37680	19620	
Yevmiye (TL)	50	105	82.6	

### 3.4. Arazi Kullanım Durumu

Çalışma kapsamına alınan işletmelerde sulu arazi bulunmamakta ve üretim kıraç arazide yapılmakta olup kıraç arazinin kirası ortalama 72 TL/da ve satış fiyatı ise 5.250 TL/da'dır. Bölgede koyun yetiştiriciliği yapan işletmelerin % 10'u (n=13) ortalama 1.9 parsel, 55 da'lık alanda buğday üretimi

yaparken % 44'ü (n=56) ortalama 2.5 parsel, 26 da'lık alanda arpa üretmekte ve % 34'ü (n=43) ise ortalama 2.9 parsel, 38 da'lık alanda mercimek üretimi yapmakta ve diğer işletmeler herhangi bir ürün üretmemektedirler (Tablo 6.). Bitkisel üretim yapan işletmelerin ortalama arazi miktarları ise 39.6 da'dır.

**Tablo 6.** İşletmelerin arazi kullanımları

Ürünler	İşletme Sayısı	(%)	Parsel sayısı	Minimum (da)	Maksimum (da)	Ortalama (da)
Buğday	13	10	1.9	20	150	55
Arpa	56	44	2.5	3	100	26
Mercimek	43	34	2.9	3	120	38



### 3.5. Hayvan Varlığı

İşletmelerde her biri 503 TL, toplam değeri 62875 TL olan 125 adet koyun, her biri 348 TL, toplam değeri 43500 TL olan 125 adet kuzu ve her biri 986 TL, toplam değeri 6902 TL olan 7 adet koç bulunmaktadır. İşletmelerde keçi varlığı tespit edilmeye çalışılmış ve her işletme 2 den daha az sayıda

keçi bulunduğu için değerlendirmeye alınmamıştır. İşletmelerin hayvan varlıkları BBHB'ne dönüştürülerek toplandığında her işletmede BBHB cinsinden ortalama 19.59 hayvan varlığı hesaplanmıştır (Tablo 7.). Üreticilerin ürünlerini pazarlama durumları değerlendirilmiş ve % 85.0'ını araçlar vasıtası ile ürün pazarladığı belirlenmiştir.

**Tablo 7.** İşletmelerin hayvan varlığı

Cinsi	Adet	BBHB
Koyun	125	12.50
Kuzu	125	6.25
Koç	7	0.84
Toplam	257	19.59

### 3.6. İşletmelerin Borçluluk Durumu

İşletmecilerin dönem başı, dönem içi ve dönem sonu borçluluk durumları, borçların ödenmemesi, vadesi, kaynağı ve alınma amaçları araştırılmış ve aşağıda belirtilmiştir.

Dönem başı itibarıyla işletmelerin % 98.4'ü borçludur. Koyun yetiştiricilerinin % 96.8'i borcunun bir kısmını dönem içerisinde, % 47.3'ü borcunun tamamını dönem sonunda öderken % 52.7'si dönem sonunda borçludur.

Borç miktarı 2000 - 50000 TL arasında olup ortalama 5701 TL dir. Borcun vadesi 2 – 24 at arasında olup ortalama 7 ay dır. Borcun kaynağının % 49.6'sı akrabalar (n=63) ve % 50.4'ü (n=64) diğer şahıslardır (Tablo 8).

Üreticilerin borçlanma nedenleri içinde en fazla payı % 44.1 ile (n=56) üretim masrafları ve % 39.3 ile (n=50) ailenin zorunlu gıda maddeleri ve üretim masrafları alırken en az borçlanma nedeni ise % 0,8 (n=1) hayvan alımı olarak belirlenmiştir (Tablo 9).

**Tablo 8.** İşletmelerin borçluluk durumları

	Borçlu Sayısı (Adet)		Borçsuz Sayısı (Adet)		En Az (TL)	En Fazla (TL)	Ortalama (TL)
	Sayı	%	Sayı	%			
Dönem Başı	125	98.4	2	1.6	1000	25000	11712
Dönem İçi Alınan	83	65.3	44	34.7	2000	50000	5234
Dönem İçi Bir Kısmını Ödeyen	4	3.2	123	96.8	1000	60000	12654
Dönem Sonu	67	52.7	60	47.3	2000	50000	5701
Vade					2 ay	24 ay	7 ay

**Tablo 9.** İşletmecilerin borç alma nedenleri

Borç Alma Nedeni	N	%
Üretim Masrafları	56	44.1
Ailenin Zorunlu Gıda Maddelerinin Karşılanması ve Üretim Masrafları	50	39.3
Ailenin Zorunlu Gıda Maddelerinin Karşılanması	8	6.3
Araç Alımı	4	3.1
Düğün Masrafları	3	2.4
Ailenin Zorunlu Gıda Maddelerinin Karşılanması ve Düğün Masrafları	3	2.4
Ev Onarım Masrafları	2	1.6
Hayvan Alımı	1	0.8
Toplam	127	100

### 3.7. Koyunculuk Faaliyeti Sorunları ve Çözüm Önerileri

Koyunculuk faaliyeti ile ilgili önemli sorunlara verilen cevaplar Tablo 10'da verilmiştir.

Koyunculuk yetiştiriciliği açısından en fazla tekrarlanan sorun (% 29.2) yem fiyatlarının yüksek olması, sulama sorunu ve yem bitkileri üretiminde karşılaşılan problemler

olarak belirlenmiştir. Diğer önemli sorunlar arasında; mera ıslahının yapılmaması, aşırı otlatma, meranın korunmaması (% 24.0), girdi temininden ürünlerinin pazarlanmasına kadar olan örgütlenme ile ilgili sorunlar (% 13.9), hayvansal üretime verilen destek ve hibelerin doğru kanallara aktarılmaması ve verilen bu desteklerin yarar ve zararlarının analiz edilmemesi (% 12.5) ve diğer problemler gelmektedir (% 20.4), (Tablo 10).

**Tablo 10.** Koyunculuk faaliyeti sorunları

Sorunlar	Cevap Sayısı	(%)
Yem fiyatlarının yüksek olması, sulama sorunu ve yem bitkileri üretiminde karşılaşılan sorunlar.	124	29.2
Mera ıslahının yapılmaması, aşırı otlanma, meranın korunmaması.	102	24.0
İşletmelerin girdi temininden ürünlerinin pazarlanmasına kadar olan örgütlenme ile ilgili sorunlar.	59	13.9
Hayvansal üretime verilen destek ve hibelerin doğru kanallara aktarılmaması ve verilen bu desteklerin yarar ve zararlarının analiz edilmemesi.	53	12.5
Pazarlama ile ilgili sorunlar(ithal ürünler, yerli et ve süt ürünlerinin değerinin düşük olması, gelirlerin büyük bir kısmının araçlara gitmesi).	49	11.5
Sürü sağlığı konusunda yetiştiricinin bilinçli olmaması ve hayvan hastalandıktan sonra müdahale edilmesi.	12	2.8
Barınak alanları(büyüklik metrekare olarak) ve havalandırma yerleri ile ilgili önemli problemler.	10	2.4
Modern tekniklerle hayvan beslemesinin ve modern işletme için gereken kuralların bölge insanı tarafından bilinmiyor olması.	8	1.9
Devletin hayvancılığa yönelik her sene değişken bir politika uygulaması.	7	1.6
Üniversitenin yeni kurulmuş olması ve üreticilere birebir eğitim verememesi ve üreticiye ulaşamaması.	1	0.2
<b>Toplam</b>	<b>425</b>	<b>100</b>

Üreticilerin bölgede yürütülen koyunculuk faaliyeti ile ilgili sorunları ifade etmesinden sonra bu sorunların çözümü için sizce neler yapılmalı veya hangi önlemler alınmalı sorusuna birden fazla cevap verilmek suretiyle 482 cevap verilmiş olup cevaplar Tablo 11.'de gösterilmiştir.

Yem bitkileri üretiminin teşvik edilmesi, bu konuda eğitim verilmesi ve silaj makinesi alımının desteklenmesi ile işletmelerin ihtiyaç duydukları yemi kendi üretme imkânlarının sağlanması koyunculuk problemlerinin çözümü için üreticilerin yaklaşık yarısı tarafından önerilmiştir.

Diğer çözüm önerileri ise devlet eliyle daha modern barınaklar yapılması ve yetiştiricilerin bu konuda eğitilmesi, yöreye uygun hayvan barınak modelinin geliştirilmesi, et ithalatının durdurulması, kültür ırkı hayvancılığa geçilmesi vb. çözüm önerileri ifade edilmiştir.

### 4. Sonuç ve Öneriler

Türkiye koyun varlığının % 6.4'ünü oluşturan Şanlıurfa ilinde koyun yetiştiriciliği yapan 127 adet işletmeden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda ortalama işletmecisi yaşı 47.8, iş tecrübesi 29 yıl, her işletmede bulunan ortalama EİB sayısı 5.9 ve

nüfus 7.9 olarak belirlenmiştir. Koyunculuk faaliyeti ile uğraşan işletmecilerin % 90,5'inin ilkökul düzeyinde eğitime sahip olmaları bu bireylerin hayvancılık faaliyetlerini yetersiz teknik bilgi düzeyi ve geleneksel yöntemlerle yaptıklarını göstermektedir. Bu sebepten bölge koyun üreticisinin eğitim düzeyinin yükseltilmesi yönünde tedbirler alınmalıdır. İşletmeciler çalıştırdıkları yabancı işçilere 1740.5 TL değerinde 137.5 kg ürünü aynı ödeme olarak yapmışlardır. İşletmeciler ortalama 2.4 parsel ve 39.6 da'lık alanda arpa, buğday ve mercimek üretimi yapmaktadırlar. Üreticiler yem bitkisi üretmemekte olup işletmecilerin yem bitkisi üretmeleri teşvik edilmelidir. İşletmelerde BBHB cinsinden ortalama 19.59 hayvan bulunmaktadır. İşletmecilerin % 52.7'si ortalama 7 ay vadeli 5701 TL borca sahiptir. Dönem sonunu borç ile kapattığından ve en fazla borçlanma sebebi (üreticilerin % 89.7'si ) ailenin zorunlu

gıda maddelerinin karşılanması ve üretim masrafları için borçlandığından üreticilere düşük faizli kredi verilerek borçların ödenmesi sağlanmalıdır. Koyunculuk yetiştiriciliğindeki en önemli sorunlar yem fiyatlarının yüksek olması, sulama sorunu ve yem bitkileri üretiminde karşılaşılan problemler olarak belirlenmiştir. Bölge koyun yetiştiricilerinin sorunlarının çözümünde yem desteğinin artırılması, su sorununun çözülmesi için köy içinde sulama şebekesi kurulması ve meralarda belirli alanlarda yapay göletlerin oluşturulması, yem bitkileri üretimi konusunda eğitim verilmesi sağlanmalıdır. Üreticilere koyun yetiştiricileri birliği, tarımsal kooperatifler vb. örgütlerin önemi anlatılarak bu örgütlere üye olmaları için gerekli tedbirler alınmalıdır. Ayrıca mera ıslahlarının yapılması, et ithalatının durdurulması ve daha verimli hayvan ırklarının bölge üreticisine kazandırılması sağlanmalıdır.

**Tablo 11.** Koyunculuk faaliyetinin geliştirilmesi için üreticilerin yaptıkları öneriler

Öneri	N	(%)
Yem bitkileri üretimi teşvik edilerek, üreticiler bu konuda eğitilmeli ve silaj makineleri alımına destek verilmelidir.	110	22.8
İşletmelerin ihtiyaç duydukları yemi kendi üretme imkânları sağlanmalıdır	108	22.4
Devlet eliyle daha modern barınaklar yapılmalı ve yetiştiriciler bu konuda eğitilmelidir. Barınaklarla ilgili her yöreye uygun hayvan barınak modeli geliştirilmelidir.	79	16.4
Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı meraları ıslah etmeye ve korumaya yönelik çalışmaları artırmalıdır. Otlatma teknikleri ile kullanılan meralardaki hayvanlarda çok ciddi verimler alınabilir	76	15.8
Et ithalatının durdurulması.	33	6.8
Islah konusunda çalışmalar yapılmalı üreticilere yeterli derecede veteriner hizmeti verilmelidir.	20	4.1
Hayvansal üretimde kültür ırkı hayvan varlığının artırılması veya yaşam koşullarının iyileştirilmesi sağlanmalıdır.	18	3.7
Bölgeye yönelik küçükbaş hayvancılık politikası belirlenmeli buna yönelik çalışmalar yapılmalıdır.	16	3.3
Üretim ve kalitenin artırılması ile pazarlamanın batıya yapılması.	11	2.3
Bölgede modern işletmeler yaygınlaştırılmalıdır.	11	2.3
Toplam	482	100.0

## Kaynaklar

Akçapınar, H., 2000. Koyunculuga Genel Bakış, Koyun Yetiştiriciliği. (2.baskı), İsmat Matbaacılık, ISBN: 975-96978-1-5. s 3-11, Ankara.

Akçapınar, H., Ünal, N., Atasoy, F., Özbeyaz, C. ve M., 2002. Karayaka ve Bafra (Sakız × Karayaka G1) Koyunlarının Lalahan Hayvancılık Araştırma

- Enstitüsü Şartlarına Uyum Kabiliyeti. Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 42, 11-24.
- Aktaş, A., 2009. Konya İli Karapınar İlçesi Koyunculuk İşletmelerinin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Aktürk, D., Savran, F., Hakyemez, H., Daş, G. ve Savaş, T., 2005. Gökçeada'da Ekstansif Koşullarda Hayvancılık Yapan İşletmelerin Sosyo-Ekonomik Durumu, Tarım Bilimleri Dergisi, 11, 229-235.
- Alçıçek, A. ve Yurtman, Y., 2009. Entansif Koyunculukta Beslenme. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23, 1-13.
- Altınçekiç, Ş. Ö., 2014. Bursa İli Koyunculuk İşletmelerinin Yapısal Özellikleri ve Refah Ölçütleri Açısından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bursa.
- Anonim, 2011. TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Nüfus ve Konut Araştırmaları. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15843> Erişim Tarihi: 15.02.2017.
- Anonim, 2014a. FAOSTAT. Food and Agricultural Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA> Erişim Tarihi: 10.02.2017.
- Anonim, 2014b. TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Hayvancılık İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/hayvancilikapp/hayvancilik.zul> Erişim Tarihi: 09.02.2017.
- Anonim, 2015. Türkiye İstatistik Kurumu. Hayvansal Üretim İstatistikleri <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21822> Erişim Tarihi: 09.02.2017.
- Anonim, 2016. TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Hayvancılık İstatistikleri. <http://rapory.tuik.gov.tr/17-02-2017-16:16:00-21191502262850069831280502936.html>? Erişim Tarihi: 11.01.2017.
- Aydın, S., 2001. Artvin İlinin Koyun Yetiştiriciliğinin Yapısal Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Ayvazoğlu, Demir., P, Adıgüzel Işık, S., Aydın, E., Yazıcı, K. ve Ayvazoğlu, C., 2015. Ardahan İlinde Koyun Yetiştiriciliğinin Sosyo-Ekonomik Önemi, Van Veteriner Journal, 26, 141-146.
- Browne, N., Kingwell, R., Behrendt, R. and Eckard, R., 2012. Comparing the Profitability of Sheep, Beef, Dairy and Grain Farms in Southwest Victoria Under Different Rainfall Scenarios. 56th AARES Annual Conference. Fremantle, Western Australia, February 7. P:3-16.
- Ceyhan, A., Şekeroğlu, A., Ünalın, A., Çınar, M., Serbester, U., Akyol, E. ve Yılmaz, E., 2015. Niğde İli Koyunculuk İşletmelerinin Yapısal Özellikleri ve Sorunları Üzerine Bir Araştırma, KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi 18, 60-68.
- Connoly, L., 2000. Economic Performance in Irish Sheep Production. End of Project Reports: Sheep Series No:9, Project 4015, Research Centre, Athenry, Co. Galway, 14 pages.
- Çağlıyan, A. ve Durmuş, E., 2010. Diyarbakır Havzası ve Yakın Çevresinde Küçükbaş Hayvancılık, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20, 29-56.

- Çelik, H. T., 2016. Ordu İli Küçükbaş Hayvancılığının Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, 345-351.
- Dayan, Y. A., 2007. Norduz Koyunu Yetiştiriciliği Yapılan Kimi İşletmelerin Yapısal Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Deniz, A., 2009. Hakkari İli Merkez İlçede Koyunculuk Yapan İşletmelerin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Direk, M., Öztürk, A. ve Boztepe, S., 2000. Konya İlindeki Koyunculuk İşletmelerinin Yapısal Özellikleri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1, 49-58.
- Ertuğrul, M., Dellal, G., Soysal, İ., Elmacı, C., Akın, O., Arat, S., Barıtcı, İ., Pehlivan, E. ve Yılmaz, O., 2009. Türkiye Yerli Koyun Irklarının Korunması. Türkiye Ulusal Koyunculuk Kongresi 12-13 Şubat, İzmir.
- Geeta, M., Sunanda, K. and Bhavani, K., 1999. Karnataka Sheep Farmers, Indian Journal of Small Ruminants, 5, 82-84.
- Günaydın, G., 2009. Koyun Yetiştiriciliğinin Ekonomi Politieęi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23, 15-32.
- Karaca, O., Arık, İ. Z., Biçer, O., Cemal, İ., Yılmaz, O. ve Ulutař, Z., 2009. Türkiye Koyunculugunda Üretim Sistemleri ve Stratejik Öneriler. Türkiye Ulusal Koyunculuk Kongresi, 12-13 Şubat, İzmir.
- Karadaş, K., 2000. Erzurum İlinde Patates Üretim Ekonomisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Karadaş, K., 2016. Ağrı İli Tarım İşletmelerinde Buğday Üretim Maliyetlerinin Hesaplanması. Alınteri Ziraat Bilimler Dergisi, 31, 33-41.
- Karakuş, F. ve Akkol, S., 2013. Van İli Küçükbaş Hayvancılık İşletmelerinin Mevcut Durumu ve Verimliliği Etkileyen Sorunların Tespiti Üzerine Bir Araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18, 09-16.
- Koca, A., 2014. Karaman İlinde Koyunculuk Üretim Faaliyetine Yer Veren İşletmelerin Yapısal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Koyun, N., 2001. Hatay Bölgesinde Koyun Yetiştiriciliğinin Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Antakya.
- Paksoy, M. ve Özçelik, A., 2008. Kahramanmaraş İlinde Süt Üretimine Yönelik Keçi Yetiřtiricilięine Yer Veren Tarım İşletmelerinin Ekonomik Analizi. Ankara Tarım Bilimleri Dergisi 14, 420-427.
- Peker, K. ve Ayyıldız, T., 1996. Pasinler İlçesi Tarım İşletmelerinde Atıl İşgücünün Tespiti ve Bu İşgücünü Değerlendirme İmkanları. Turkish Journal of Ariculture and Forestry, 20, 23-190.
- Semerci, A. ve Çelik, A. D., 2016. Türkiye'de Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliğinin Genel Durumu. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 21, 182-196.
- Sezenler, T., Ceyhan, A., Yüksel, M. A., Koncagül, S., Soysal, D. ve Yıldırım, M., 2016. Influence of Year, Parity

- and Birth Type on Milk Yield and Milk Components of Bandırma Sheep (German Black Head Mutton x Kıvrıcık). *Journal of Agricultural Sciences*, 22, 89-98.
- Sezgin, Y., 2006. Bitlis İlinde Göçer Ailelerin Küçükbaş Hayvancılık Faaliyetleri. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Şahinli, M. A., 2011. Konya İlinde Koyunculuk Faaliyetine Yer Veren Tarım İşletmelerinin Ekonomik Analizi ve Koyunculuk Faaliyetinde Etkili Olan Unsurların Saptanması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Tamer, B., 2014. Yozgat Merkez İlçede Koyunculuk Yapan İşletmelerin Sosyo-Ekonomik Yapısı ve Üretim Maliyetlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Kayseri.
- Yamane, T., 2010. Temel Örnekleme Yöntemleri. Literatür Yayıncılık. S:6-7, İstanbul.
- Yılmaz, O., Karaca, O., İnce, D., Cemal, İ., Yaralı, E., Varol, M. ve Sevim, S., 2014. Batı Anadolu Göçer Koyuncululuğu ve Islah Planlamalarındaki Rolü, *Tekirdađ Ziraat Fakóltesi Dergisi*, 11, 89-97.

## Öklid Uzayında Bir Yüzeyin İnvaryantlarının Bonnet Sistemi Hakkında

İdris ÖREN\*

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

Geliş tarihi/Received 23.02.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 19.07.2017

Kabul tarihi/Accepted 20.07.2017

### Öz

$R^3$  Öklid uzayında, bir  $x = x(u) = x(u_1, u_2)$  yüzeyinin birinci ve ikinci temel formlarının tüm katsayılarından oluşan küme  $K = \{g_{ij}(x), L_{ij}(x), \forall i, j = 1, 2\}$  olsun.  $R^3$ 'ün tüm özel Öklid hareketler grubu  $SM(3)$  olmak üzere, bazı yüzeyler için  $K$ 'daki invaryantların hesaplanarak,  $K$ 'nın,  $R^3$ 'teki bir regüler yüzeyin  $SM(3)$ -invaryantlarının bir minimal tam sistemi olduğu ispatlandı.

**Anahtar kelimeler:** Bonnet sistem, İnvaryant, Yüzey

## About the Bonnet System of Invariants of a Surface in the Euclidean Space

### Abstract

Let  $K = \{g_{ij}(x), L_{ij}(x), \forall i, j = 1, 2\}$  be the set of all coefficients of the first and second fundamental forms of a surface  $x = x(u) = x(u_1, u_2)$  in a Euclidean space  $R^3$ . Using computations of invariants from  $K$  for some surfaces, it is proved that  $K$  is a minimal complete system of  $SM(3)$ -invariants of a regular surface in  $R^3$ , where  $SM(3)$  is the group of all special Euclidean motions of  $R^3$ .

**Keywords:** Bonnet system, Invariant, Surface.

### 1.Giriş

$U = (0,1) \times (0,1)$  olmak üzere,  $x: U \rightarrow R^3$   $R^3$ 'te bir parametrik yüzey (kısaca, yüzey) olsun (bkz. Gray,1998).  $x = x(u) = x(u_1, u_2)$  bir yüzey olmak üzere,  $x$ 'in birinci ve ikinci temel formları sırasıyla  $I(x) = g_{11}du_1^2 + 2g_{12}du_1du_2 + g_{22}du_2^2$  ve  $II(x) = L_{11}du_1^2 + 2L_{12}du_1du_2 + L_{22}du_2^2$  ile gösterelim.  $\forall u \in U$  için  $\Delta_x = \det \|g_{ij}(x(u))\|_{i,j=1,2} \neq 0$  ise  $x$  yüzeyine regüler denir.  $R^3$ 'ün tüm regüler yüzeylerinin kümesini  $H$  ile gösterelim ve  $T = \{(i, j): 1 \leq i \leq j \leq 2\}$  alalım.

Özel ortogonal grup  $SO(3)$  olmak üzere, Özel Öklid hareket grubunu,

$SM(3) = \{F: R^3 \rightarrow R^3 | Fx = gx + b, g \in SO(3), b \in R^3\}$  ile gösterelim.

Bonnet teoremine göre,  $\forall u \in U$  ve  $\forall (i, j) \in T$  için  $g_{ij}(x(u)) = g_{ij}(y(u))$  ve  $L_{ij}(x(u)) = L_{ij}(y(u))$  olan  $x$  ve  $y$  regüler yüzeyler ise, bu durumda  $\forall u \in U$  için  $y(u) = Fx(u)$  olan  $F \in SM(3)$  dönüşümü vardır. (Kaya, 2015; Kose, 2011).

Bu çalışmada, aşağıdaki problem incelendi:

\* İdris ÖREN, oren@ktu.edu.tr, Tel: (0462) 377 25 75

$x, y \in H$  olmak üzere,  $\forall u \in U$  için  $y(u) = Fx(u)$  şeklinde  $F \in SM(3)$  dönüşümünün mevcut olduğunu gösteren ve  $\forall u \in U, \forall (i, j) \in T$  için  $g_{ij}(x(u)) = g_{ij}(y(u))$  ve  $L_{ij}(x(u)) = L_{ij}(y(u))$  eşitliklerini sağlayan  $T_1 \subset T$  altkümesi var mı?

Yüzeyinin birinci ve ikinci temel formlarının tüm katsayılarından oluşan  $K$  kümesi, bir yüzeyin invaryantlarının Bonnet sistemi olarak adlandırılır. Yukarıda bahsedilen problemdeki şartları sağlayan  $K$ 'nın bir altkümesi de bir regüler yüzeyin invaryantlarının bir tam sistemi olarak adlandırılır. Ancak yüzeyin birinci temel formunun tüm katsayılarının sisteminin bir tam sistem değildir.

Bu çalışma aşağıdaki gibi düzenlendi.

2. Bölümde, diğer bölümlerde kullanmak üzere, bir küme üzerinde grup hareketi için invaryantların bir tam sisteminin tanımı, invaryantların bir minimal tam sisteminin tanımı ve ilgili önermeler verildi.
3. Bölümde, tamlık için bir regüler yüzeyin ikinci temel formunun katsayıları incelendi.
4. Bölümde, bazı regüler yüzeyler için  $K$ 'daki invaryantlar kullanılarak,  $K$ 'nın bir regüler yüzeyin  $SM(3)$ -invaryantlarının bir minimal tam sistemi olduğu Teorem 4.1'de ispatlandı.
5. Bölümde, çalışmanın temel sorusu cevaplandı.

## 2. İnvaryantların minimal tam sistemi

$A \neq \emptyset$  ve  $B \neq \emptyset$  olan iki altküme olsun.  $h: A \rightarrow B$  dönüşümlerinin kümesini  $M(A, B)$  ve  $f_i \in M(A, B), i = 1, 2, \dots, m$  olan dönüşümlerin kümesini  $P = \{f_1, \dots, f_m\}$  ile gösterelim. Bu durumda,  $f \in M(A, B)$  dönüşümünü,  $\forall t \in A$  için  $f(t) = (f_1(t), \dots, f_m(t))$  şeklinde ve kümeyi de  $M(A, B; P) = \{h \in M(A, B) | h(t) = \varphi(f(t)), \forall t \in A, \varphi: f(A) \rightarrow B\}$  olarak tanımlayalım.  $G$  bir grup ve  $A$  kümesi üzerinde  $G$ 'nin bir hareketi  $\alpha$  olsun. Aşağıdaki temel tanımlar (Khadjiev, 2010)'da verilmiştir.

**Tanım 2. 1.**  $t_1, t_2 \in A$  olmak üzere,  $t_2 = \alpha(q)t_1$  olacak şekilde bir  $q \in G$  mevcutsa  $t_1$  ve  $t_2$ 'ye  $G$ -denk denir ve  $t_1 \sim t_2$  ile gösterilir.

**Tanım 2. 2.**  $t_1, t_2 \in A$  olmak üzere,  $t_1 \sim t_2$  denkliğinden  $h(t_1) = h(t_2)$  ise  $h: A \rightarrow B$  dönüşümüne  $G$ -invariant denir. Tüm  $G$ -invariant dönüşümlerin kümesini  $M(A, B)^G$  ile gösterelim.

**Tanım 2. 3.** (Sibirskii, 1976)  $f_i \in M(A, B), i = 1, 2, \dots, m$  ve  $a, b \in A$  olmak üzere,  $f_i(a) = f_i(b), i = 1, 2, \dots, m$  için  $a \sim b$  ise  $\{f_i, i = 1, 2, \dots, m\}$  sistemine  $\alpha$  hareketine karşılık gelen  $G$ -invariantlarının bir tam sistemi denir.

**Önerme 2. 4.**  $h \in M(A, B)^G$ ,  $A$  kümesinde  $G$ 'nin bir hareketi  $\alpha$  ve  $P, A$ 'da  $G$ -invariant fonksiyonların bir tam sistemi olsun. Bu takdirde,  $h \in M(A, B; P)$ 'dir.

**İspat:** Önermenin ispatı (Sibirskii, 1976) 'da verilmiştir.

**Tanım 2. 5.** (Sibirskii, 1976)  $A$ 'da  $G$ -invariant fonksiyonların bir tam sistemi  $P$  olsun.  $P \setminus \{f_i\}, \forall i = 1, 2, \dots, m$  bir tam sistem değilse  $P$ 'ye bir minimal tam sistem denir.

**Önerme 2. 6.**  $i = 1, 2, \dots, m$  için  $f_i \in M(A, B)^G$  olmak üzere,  $G$ -invariant fonksiyonların bir tam sistemi  $P$  olsun. Bu takdirde,  $P$  bir minimal tam sistemdir ancak ve ancak  $\forall i = 1, 2, \dots, m$  için  $f_i \notin M(A, B; P \setminus \{f_i\})$  dir.

**İspat:** Önermenin ispatı (Khadjiev, 2010) 'da verilmiştir.

## 3. Bir yüzeyin ikinci temel formunun katsayıları

$R^3$ 'ün bir ortonormal tabanı  $\{e_1 = (1, 0, 0), e_2 = (0, 1, 0), e_3 = (0, 0, 1)\}$  ve  $R^3$ 'teki vektörlerin bir sistemi  $\{a_1 = (a_{11}, a_{21}, a_{31}), a_2 = (a_{12}, a_{22}, a_{32})\}$  olsun.

Burada  $a_i$  'yi  $a_i = (a_{1i}, a_{2i}, a_{3i})^T$  sütun vektörler ve  $e_i$  'yi  $\varepsilon = (e_1, e_2, e_3)^T$  olarak düşünelim.



$M_1 = \det \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix}, M_2 = \det \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix}, M_3 = \det \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$  determinanlar olmak üzere,

$$A_k = (-1)^{k+1} M_k, k = 1, 2 \quad (1)$$

kofaktörünü tanımlayalım.  $R^3$ 'te  $A_1 e_1 + A_2 e_2 + A_3 e_3$  vektörünü  $[\varepsilon \ a_1 \ a_2]$  ile gösterelim. Bu durumda,

$$[\varepsilon \ a_1 \ a_2] = \det \begin{vmatrix} e_1 & a_{11} & a_{12} \\ e_2 & a_{21} & a_{22} \\ e_3 & a_{31} & a_{32} \end{vmatrix} \quad (2)$$

elde edilir.

$x = (x_1, x_2, x_3)^T, y = (y_1, y_2, y_3)^T \in R^3$  olmak üzere, bu vektörlerin Öklid iç çarpımı  $\langle x, y \rangle = x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3$  olarak tanımlanır.

$a_i \in R^3, i = 1, 2$  vektörlerinin  $\|\langle a_i, a_j \rangle\|_{i,j=1,2}$  Gram matrisinin determinantını  $\det Gr(a_1, a_2)$  ile gösterelim (Ören, 2016).

**Önerme 3. 1.**  $\langle [\varepsilon \ a_1 \ a_2], [\varepsilon \ a_1 \ a_2] \rangle = \det Gr(a_1, a_2)$ 'dir.

**İspat:** (1) ve (2) eşitliklerinden,

$$\langle [\varepsilon \ a_1 \ a_2], [\varepsilon \ a_1 \ a_2] \rangle = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 \quad (3)$$

elde edilir. Açıkça,  $M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 = \det Gr(a_1, a_2)$ 'dir. Böylece ispat tamamlanır.

**Önerme 3. 2.**  $R^3$ 'teki lineer bağımsız vektörlerin bir sistemi  $\{a_1, a_2\}$  olsun. Bu takdirde,

$$N = \frac{[\varepsilon \ a_1 \ a_2]}{\sqrt{\det Gr(a_1, a_2)}}$$

vektörü birim vektördür ve  $\langle [\varepsilon \ a_1 \ a_2], a_j \rangle = 0, \forall j = 1, 2$ 'dir.

**İspat:**  $\{a_1, a_2\}$  sistemi lineer bağımsız olduğundan  $\det Gr(a_1, a_2) \neq 0$ 'dır. Önerme 3.1'den,  $N$  birim vektördür. Ayrıca,  $\langle [\varepsilon \ a_1 \ a_2], a_j \rangle = [a_j \ a_1 \ a_2] = 0, \forall j = 1, 2$ 'dir.

**Önerme 3. 3.**  $R^3$ 'teki lineer bağımsız vektörlerin bir sistemi  $\{a_1, a_2\}$  ve  $b = (b_1, b_2, b_3) \in R^3$  olsun. Bu takdirde,

$$\langle N, b \rangle = \frac{[b \ a_1 \ a_2]}{\sqrt{\det Gr(a_1, a_2)}} \text{ 'dir.}$$

**İspat:** (2) eşitliği kullanılarak,  $\langle N, b \rangle = \frac{A_1 b_1 + A_2 b_2 + A_3 b_3}{\sqrt{\det Gr(a_1, a_2)}} = \frac{[b \ a_1 \ a_2]}{\sqrt{\det Gr(a_1, a_2)}}$  'dir.

**Sonuç 3. 4.**  $R^3$ 'te  $x = x(u)$  bir regüler yüzey olsun. Bu takdirde,  $x = x(u)$ 'nun ikinci temel formunun katsayıları

$$L_{ij}(x) = \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 x}{\partial u_i \partial u_j} & \frac{\partial x}{\partial u_1} & \frac{\partial x}{\partial u_2} \\ \frac{\partial x}{\partial u_1} & \frac{\partial x}{\partial u_1} & \frac{\partial x}{\partial u_2} \end{vmatrix}}{\sqrt{\det Gr\left(\frac{\partial x}{\partial u_1}, \frac{\partial x}{\partial u_2}\right)}}, i, j = 1, 2 \text{ 'dir.}$$

**İspat:** Yukarıdaki eşitlik, (Aminov, 2001)'deki  $L_{ij}(x) = \langle N, \frac{\partial^2 x}{\partial u_i \partial u_j} \rangle$  katsayılarının tanımı,  $a_1 = \frac{\partial x}{\partial u_1}, a_2 = \frac{\partial x}{\partial u_2}$  eşitlikleri ve Önerme 3.3 kullanılarak elde edilir.

#### 4. Bir yüzeyin invaryantlarının Bonnet sisteminin minimalliği hakkında

Kolaylık için,  $K$  sistemi bir yüzeyin invaryantlarının Bonnet sistemi olsun.

**Teorem 4. 1.**  $K$  sistemi, regüler yüzeylerin  $H$  kümesi üzerindeki invaryantların bir minimal tam sistemidir.

**İspat:** Bu teoremin ispatı aşağıdaki lemmalar yardımıyla verilecektir.

**Lemma 4. 2.**  $K \setminus \{g_{12}(x)\}$  alt sistemi  $H$  kümesinde tam sistem değildir.

**İspat.**  $R^3$ 'te iki regüler yüzey  $x(u_1, u_2) = (u_1, u_2, 0)$  ve  $y(u_1, u_2) = \left(\frac{u_1}{\sqrt{2}}, \frac{u_1}{\sqrt{2}} + u_2, 0\right)$  alalım. Bu yüzeyler için  $g_{11}(x) = g_{11}(y) = 1, g_{22}(x) = g_{22}(y) = 1, L_{11}(x) = L_{11}(y) = 0, L_{12}(x) = L_{12}(y) = 0, L_{22}(x) = L_{22}(y) = 0$ 'dir.

$g_{12}(x)$  ve  $g_{12}(y)$ , SM(3)-invariantlardır ancak  $g_{12}(x) = 0$  ve  $g_{12}(y) = \frac{1}{\sqrt{2}}$  olduğundan  $x$  ve  $y$  yüzeyleri SM(3)-denk değildir. Böylece  $K \setminus \{g_{12}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

(Khadjiev, 2013)'deki Teorem 4,  $n=2$  ve  $p=0$  durumunda, aşağıdaki gibidir.

**Lemma 4. 3.**

$I = (0,1) \subset R$  olmak üzere,  $C^\infty$ -sınıfından  $p(t)$  ve  $q(t)$  fonksiyonları  $\forall t \in I$  için  $p(t) > 0$  ve  $q(t) \neq 0$  şartlarını sağlasın. Bu takdirde,  $I$ 'da  $C^\infty$ -sınıfından  $a(t)$  ve  $b(t)$  fonksiyonları mevcut ve  $a'(t)^2 + b'(t)^2 = p(t)$  ve  $a'(t)b''(t) - a''(t)b'(t) = q(t)$ 'dir.

**Lemma 4. 4.**  $K \setminus \{g_{ii}(x)\}, i = 1,2$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

**İspat:** Lemmayı  $i=1$  durumu için ispatlayalım.  $R^3$ 'te iki regüler yüzey  $x(u_1, u_2) = (a(u_1), u_2, b(u_1))$  ve  $y(u_1, u_2) = (c(u_1), u_2, d(u_1))$  şeklinde alalım. Bu yüzeyler için  $g_{11}(x) = a'(u_1)^2 + b'(u_1)^2, g_{11}(y) = c'(u_1)^2 + d'(u_1)^2, g_{22}(x) = g_{22}(y) = 1, g_{12}(x) = g_{12}(y) = 0, L_{11}(x) = \frac{a'(t)b''(t) - a''(t)b'(t)}{\sqrt{a'(t)^2 + b'(t)^2}}, L_{11}(y) = \frac{c'(t)d''(t) - c''(t)d'(t)}{\sqrt{c'(t)^2 + d'(t)^2}}, L_{12}(x) = L_{12}(y) = 0$  ve  $L_{22}(x) = L_{22}(y) = 0$ 'dır.

Şimdi  $\forall u_1 \in I$  için  $p_1(u_1) = q_1(u_1) = 1, p_2(u_1) = 2, q_2(u_1) = \sqrt{2}$  olan  $p_1(u_1), p_2(u_1), q_1(u_1), q_2(u_1)$  fonksiyonlarını alalım. Lemma 4.3'ten  $I$ 'da  $C^\infty$ -sınıfından  $a(u_1), b(u_1), c(u_1), d(u_1)$  fonksiyonları mevcut öyle ki  $a'(u_1)^2 + b'(u_1)^2 = p_1(u_1) = 1, a'(u_1)b''(u_1) - a''(u_1)b'(u_1) = q_1(u_1) = 1, c'(u_1)^2 + d'(u_1)^2 = p_2(u_1) = 2, c'(u_1)d''(u_1) - c''(u_1)d'(u_1) = q_2(u_1) = \sqrt{2}$ 'dir. Bu takdirde,  $L_{11}(x) = L_{11}(y) = 1, g_{11}(x) = 1$  ve  $g_{11}(y) = 2$ 'dir. Buradan,  $g_{11}(x)$  ve  $g_{11}(y)$ , SM(3)-invariantlardır ancak  $g_{11}(x) \neq g_{11}(y)$  olduğundan  $x$  ve  $y$  yüzeyleri SM(3)-denk değildir. Böylece  $K \setminus \{g_{11}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir. Benzer şekilde,  $K \setminus \{g_{22}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

**Lemma 4. 5.**  $K \setminus \{L_{ii}(x)\}, i = 1,2$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

**İspat:** Lemmayı  $i=1$  durumu için ispatlayalım.  $R^3$ 'te iki regüler yüzey  $x(u_1, u_2) = (a(u_1), u_2, b(u_1))$  ve  $y(u_1, u_2) = (c(u_1), u_2, d(u_1))$  şeklinde alalım. Lemma 4.4'deki gibi  $g_{11}(x) = a'(u_1)^2 + b'(u_1)^2, g_{11}(y) = c'(u_1)^2 + d'(u_1)^2, g_{22}(x) = g_{22}(y) = 1, g_{12}(x) = g_{12}(y) = 0, L_{11}(x) = \frac{a'(t)b''(t) - a''(t)b'(t)}{\sqrt{a'(t)^2 + b'(t)^2}}, L_{11}(y) = \frac{c'(t)d''(t) - c''(t)d'(t)}{\sqrt{c'(t)^2 + d'(t)^2}}, L_{12}(x) = L_{12}(y) = 0$  ve  $L_{22}(x) = L_{22}(y) = 0$ 'dır.

Şimdi  $\forall u_1 \in I$  için  $p_1(u_1) = p_2(u_1) = 1, q_1(u_1) = 1, q_2(u_1) = 2$  olan  $p_1(u_1), p_2(u_1), q_1(u_1), q_2(u_1)$  fonksiyonlarını alalım. Lemma 4.3'ten  $I$ 'da  $C^\infty$ -sınıfından  $a(u_1), b(u_1), c(u_1), d(u_1)$  fonksiyonları mevcut öyle ki  $a'(u_1)^2 + b'(u_1)^2 = p_1(u_1) = 1, a'(u_1)b''(u_1) - a''(u_1)b'(u_1) = q_1(u_1) = 1, c'(u_1)^2 + d'(u_1)^2 = p_2(u_1) = 1, c'(u_1)d''(u_1) - c''(u_1)d'(u_1) = q_2(u_1) = 2$ 'dir. Bu takdirde,  $L_{11}(x) = 1, L_{11}(y) = 2, g_{11}(x) = g_{11}(y) = 1$ 'dir. Buradan,  $L_{11}(x)$  ve  $L_{11}(y)$ , SM(3)-invariantlardır ancak  $L_{11}(x) \neq L_{11}(y)$  olduğundan  $x$  ve  $y$  yüzeyleri SM(3)-denk değildir. Böylece  $K \setminus \{L_{11}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir. Benzer şekilde,  $K \setminus \{L_{22}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

**Lemma 4. 6.**  $K \setminus \{L_{12}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

**İspat:**  $R^3$ 'te iki regüler yüzey  $x(u_1, u_2) = (u_1, u_2, u_1u_2)$  ve  $y(u_1, u_2) = (u_1, u_2, -u_1u_2)$  şeklinde olsun. Lemma 4.4'deki gibi  $g_{11}(x) = g_{11}(y) = 1 + u_2, g_{22}(x) = g_{22}(y) = 1 + u_1, g_{12}(x) = g_{12}(y) = u_1u_2, L_{12}(x) = \frac{1}{\sqrt{1+u_1^2+u_2^2}}, L_{12}(y) = \frac{-1}{\sqrt{1+u_1^2+u_2^2}}, L_{11}(x) = L_{11}(y) = 0$  ve  $L_{22}(x) = L_{22}(y) = 0$ 'dır.

Buradan,  $L_{12}(x)$  ve  $L_{12}(y)$ , SM(3)-invariantlardır ancak  $L_{12}(x) \neq L_{12}(y)$  olduğundan  $x$  ve  $y$  yüzeyleri SM(3)-denk

değildir. Böylece  $K \setminus \{L_{12}(x)\}$  alt sistemi H kümesinde tam sistem değildir.

Yukarıdaki lemmalardan K sisteminin, regüler yüzeylerin H kümesi üzerindeki invaryantların bir minimal tam sistemi olduğu elde edilir. Böylece teoremin ispatı tamamlanır.

### Teşekkür

Değerli önerileri ve yararlı yorumları için hakemlere teşekkür ederim.

### Kaynaklar

Aminov, Yu. A., 2001. The Geometry of Submanifolds, Gordon and Breach Sciences Publ.

Gray, A., 1998. Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica, CRC press.

Kaya, Y., Küçük, A. ve Melekoğlu, A., 2015. Diferensiyel Geometriye Giriş, (çev:Yusuf Kaya(eds)), Dora

yayımları, ISBN 978-605-9929-34-9, Bursa.

Khadjiev, D., 2010. Complete systems of differential invariants of vector fields in a Euclidean space, Turk. J. Math, 34, 543-559.

Khadjiev D., Ören, İ. and Pekşen, Ö., 2013. Generating systems of differential invariants and the theorem on existence for curves in the pseudo-Euclidean geometry. Turk J Math, 37 (1), 80-94.

Kose, Z., Toda, M., and Aulisa, E., 2011. Solving Bonnet problems to construct families of surfaces, Balkan J. Geom. Appl., 16 (2), 70-80.

Ören, İ., 2016. Equivalence conditions of two Bézier curves in the Euclidean geometry, Iran. J. Sci. Technol. Trans. A Sci. (article in press).

Sibirskii, K. S., 1976. Algebraic Invariants of Differential Equations and Matrices, Kishinev, Stiintsa.

## ***Lactobacillus curvatus* Suşu ile Asetofenon Türevlerinin Asimetrik İndirgenmesi**

Engin ŞAHİN\*

Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 69000, Bayburt

Geliş tarihi/Received 29.03.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 01.07.2017

Kabul tarihi/Accepted 20.07.2017

### **Öz**

Sekiz farklı *Lactobacillus curvatus* suşu asetofenon'un 1-fenil etanol'e asimetrik indirgenmesinde biyokatalizör olarak değerlendirildi. Test edilen bu laktik asit bakterisi (LAB) suşları arasında *Lactobacillus curvatus* N5 asetofenon'un enantioseçici indirgenmesinde en etkili biyokatalizör olarak bulundu. Optimize edilen reaksiyon şartları altında asetofenon türevleri % 99 enantiyomerik fazlalığa kadar ilgili kiral sekonder alkollere dönüştürüldü.

**Anahtar kelimeler:** *Biyokatalizör, Enantioseçici indirgenme, Keton, Kiral alkol, Lactobacillus curvatus*

## **Asymmetric Reduction of Acetophenone Derivatives by a *Lactobacillus curvatus* strain**

### **Abstract**

Eight strains of *Lactobacillus curvatus* were evaluated as biocatalysts in the asymmetric reduction of acetophenone to 1-phenyl ethanol. Among the tested lactic acid bacteria (LAB) strains *Lactobacillus curvatus* N5 was found to be an effective biocatalyst for the enantioselective reduction of acetophenone. Under the optimized reaction conditions, derivatives of acetophenones were converted to the corresponding chiral secondary alcohols in up to 99% enantiomeric excess.

**Keywords:** *Biocatalyst, enantioselective reduction, ketone, chiral alcohol, Lactobacillus curvatus*

### **1. Giriş**

Kiral alkoller çeşitli biyolojik aktif bileşiklerin ve ilaçların sentezinde değerli ara ürünlerdir. Son yıllarda ilaç, kimya ve kimyasal tarım alanlarında optikçe aktif bileşiklere talep artmıştır ve bu yüzden bu bileşiklerin sentezinde önemli başlangıç maddesi olan kiral

sekonder alkollere olan talep de her geçen gün artmaktadır (Zilbeyaz vd., 2016). Optikçe aktif aromatik alkoller, L-klorpromazin, S-fluoksetin, R-atomoksetin ve R-denopamin gibi bir çok kiral ilacın önemli yapı taşlarıdır (Kataoka vd., 2003). Çoğu ilaç kiraldır ve hatta büyük bir

\* Engin ŞAHİN, esahin@bayburt.edu.tr, Tel: (0458) 211 11 53/1654

kısmı birden fazla kiral merkeze sahiptir (Murzin vd., 2005). Kiral alkollerin sentezinde kullanılan yöntemler, prokiral ketonların biyokatalizör veya metal katalizörler ile indirgenmesi ve rasemik alkollerin kinetik rezolusyonu ya da uygun esterlerin hidrolizidir (Wong vd., 1985, Yang vd., 2006). Kimyasal katalizörlerin dezavantajları toksik metal kullanımı, zayıf seçicilik, düşük dönüşüm oranı, sert reaksiyon koşulları, yan ürünlerin fazla olması ve pahalı olmalarıdır (Hage vd., 2001). Enantiyomerik saf aromatik alkollerin üretilmesinin en önemli yollarından biri, aktif hücreler tarafından katalize edilen ilgili prokiral aromatik ketonların asimetrik indirgenmesidir. İzole edilmiş enzimler veya tüm hücreleri içeren biyokatalizörler ılımlı reaksiyon koşulları, stereo seçiciliklerinin yüksek olması ve özellikle çevreci olmalarından dolayı daha çekici hale gelmişlerdir. Asimetrik indirgenmede kullanılan izole enzimler indirgenme fonksiyonunu yerine getirmesi için NADPH gibi pahalı kofaktörlere ihtiyaç duyarlar (Faber, 1997). Ayrıca bu enzimlerin saflaştırılmasının pahalı olması da indirgenmede saf enzim kullanmanın diğer bir dezavantajıdır. Biyokatalizör olarak mikrobiyal tüm hücrenin kullanılması arzu edilen indirgenmenin yapılmasında önemlidir. Çünkü bütün gerekli kofaktörleri ve kendilerinin yeniden oluşumları için gerekli metabolik yolları içerirler (Mandal vd., 2004). Aynı zamanda bütün enzimler ve kofaktörler kendi doğal hücre ortamlarında iyi bir şekilde korunmuş durumdadır. Bu yüzden tüm hücre olarak kullanılan biyokatalizörler enzim saflaştırılması gerektirmediği ve ekstradan kofaktör gerektirmedikleri için biyokatalizör olarak daha avantajlıdır (Faber, 2000). Bu yüzden mikrobiyal tüm hücreler asimetrik indirgenme reaksiyonlarında biyokatalizör olarak tercih edilirler. Bu çalışmada, sekiz *Lactobacillus curvatus* suşunun asetofenon türevlerinin indirgenmesinde biyokatalizör olarak kullanılma potansiyelleri değerlendirilmiştir.

## 2. Metaryal ve Yöntem

Kullanılan tüm çözücüler, kimyasallar ve kültür ortamı yüksek saflıkta Sigma ve Merck'ten

satın alındı.  $^1\text{H}$  ve  $^{13}\text{C}$  NMR'lar Bruker 400 MHz NMR ile belirlendi. Enantiyomerik fazlalık (*ee*) kiral detektöre sahip Agilent 1260 HPLC'de OD, OD-H ve AS kiral kolonlar kullanılarak belirlendi. Çevirme açıları Bellingham + Stanley, ADP 220, polarimetre ile belirlendi. Saflaştırma işlemi kolon kromatografisi ile Silikajel 60 (70-230 mesh ASTM) (Merck) kullanılarak yapıldı.

### 2.1. Kullanılan mikroorganizmalar ve Kültür Koşulları

Bu çalışmada daha önce ekşi hamurdan izole edilmiş *Lactobacillus curvatus* suşları kullanılmıştır (Dertli vd., 2016). Bu amaçla suşlar MRS (%2 glikoz, maya ekstraktı [Difco]  $5 \text{ g l}^{-1}$ , lab lemco [Oxoid]  $8 \text{ g l}^{-1}$ , pepton [Oxoid]  $10 \text{ g l}^{-1}$ , Sodyum asetat.  $3\text{H}_2\text{O}$   $5 \text{ g l}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$   $2 \text{ g l}^{-1}$ , triamonyum sitrat  $2 \text{ g l}^{-1}$ , tuz çözeltisi [ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  %11.5 (w/v),  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  %2.8 (w/v)]  $5 \text{ ml l}^{-1}$ , Tween 80  $1 \text{ ml l}^{-1}$ ) besiyerinde  $37^\circ\text{C}$ 'de 2 gün süreyle geliştirilmiş ve takiben yıkama işleminin ardından suşlar dondurularak kurutulmuştur. Liyofilize suşlar oda sıcaklığında saklanarak daha sonraki reaksiyonlarda kullanılmıştır.

### 2.2. Genel Biyoindirgenme Reaksiyon Prosedürü

Steril 100 mL'lik MRS besiyeri içerisine 25 mg kuru *Lactobacillus curvatus* suşu ilave edildi ve 2 saat  $28^\circ\text{C}$ 'de 150 rpm karıştırıldı ve daha sonra pH 7.5'e ayarlanarak 2 saat daha aynı şartlarda karışmaya devam edildi. Bunu takiben 1 mmol substrat direkt olarak reaksiyon ortamına ilave edildi ve 48 saat 150 rpm ve  $28^\circ\text{C}$ 'de karıştırılmaya devam edildi. İnkübasyon süresinin sonunda reaksiyonun misel kısmı süzülerek ayrıldıktan sonra sıvı kısım NaCl ile doyuruldu ve dietil eter ile ekstrakte edildi. Dietil eter ekstraktı susuz  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ile kurutuldu ve dietil eter düşük basınçta uzaklaştırıldı. Elde edilen ham ürün silikajel kolon kromatografisinde etil asetat-hekzan (10:90) çözücü karışımı ile saflaştırıldı. Kiral alkollerin yapıları NMR ile ve enantiyomerik fazlalıklar da kiral HPLC ile belirlendi.

### 2.3. Asimetrik İndirgenme ve Reaksiyon Şartlarının Optimizasyonu

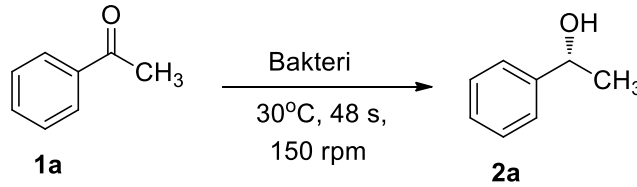
Model substrat asetofenon (**1a**) kullanılarak sekiz *Lactobacillus curvatus* suşunun (Dertli vd., 2016) biyokatalizör olarak kullanılma kapasiteleri test edildi (Tablo 1). Yapılan asimetrik indirgenmede reaksiyon sıcaklığı, pH, inkübasyon süresi ve karıştırma hızı gibi parametreler enantioseçiciliğe etki eden önemli faktörlerdir. Bu amaçla model substrat asetofenon kullanılarak bu parametreler için en uygun reaksiyon şartları belirlendi. Bu optimizasyon şartları Tablo 2’de özetlenmiştir.

*Lactobacillus curvatus* N5 suşunun optimize reaksiyon şartları altında asetofenon türevleri (**1b-j**)’nin asimetrik indirgenmesinde biyokatalizör etkinliği değerlendirildi (Tablo 3).

### 3. Bulgular

Asimetrik indirgenme 25 mg kuru bakterinin 100 ml besiyeri ortamına alınması ve 2 saat 30°C, 150 rpm’de karıştırıldıktan sonra üzerine 1 mmol (**1a**) eklenmesi ve aynı şartlar altında 48 saat karıştırılmaya devam edilerek gerçekleştirildi.

**Tablo 1.** Asetofenon’un asimetrik indirgenmesinde en iyi *Lactobacillus curvatus* bakteri suşunun belirlenmesi



Bakteri <sup>a</sup>	Dönüşüm <sup>b</sup> (%)	%Verim <sup>c</sup>	%ee <sup>d</sup> (R)
<i>Lactobacillus curvatus</i> N1	95	83	50
<i>Lactobacillus curvatus</i> N2	98	81	61
<i>Lactobacillus curvatus</i> N3	95	87	51
<i>Lactobacillus curvatus</i> N4	99	92	54
<i>Lactobacillus curvatus</i> N5	97	90	66
<i>Lactobacillus curvatus</i> N6	95	89	64
<i>Lactobacillus curvatus</i> N7	98	88	55
<i>Lactobacillus curvatus</i> N8	95	87	57

Reaksiyon Şartları: biyokatalizör 25 mg, substrat: 1mmol, sıcaklık: 30°C, süre: 48s, 150 rpm

<sup>a</sup> Biyokatalizör suşlarının karşılaştırılması.

<sup>b</sup> Dönüşümler HPLC ile belirlendi.

<sup>c</sup> Saflaştırılan verim.

<sup>d</sup> Kiral OD-H kolon kullanılarak belirlendi.

**Tablo 2.** *Lactobacillus curvatus* N5 bakteri suşu kullanılarak asimetrik indirgenme şartlarının optimizasyonu.

pH	Sıcaklık		İnkübasyon süresi		Karıştırma Hızı						
	Dönş. (%) <sup>b</sup>	ee (%) <sup>c,d</sup>	°C	Dönş. (%) <sup>b</sup>	ee (%) <sup>c,d</sup>	rpm	Dönş. (%) <sup>b</sup>	ee (%) <sup>c,d</sup>			
5.5	97	66 (R)	26	93	59 (R)	24	92	87 (R)	100	86	61 (R)
6	93	71 (R)	28	99	92 (R)	48	99	92 (R)	150	99	92 (R)
6.5	90	73 (R)	30	97	75 (R)	72	99	90 (R)	200	60	44 (R)
7	93	75 (R)	32	93	9 (R)						
7.5	97	75 (R)									

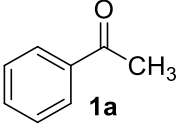
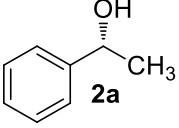
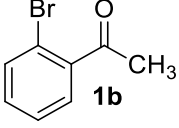
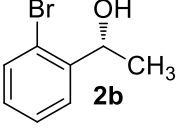
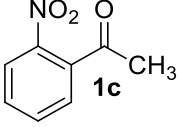
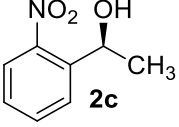
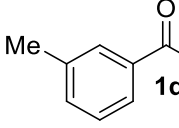
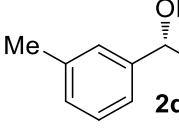
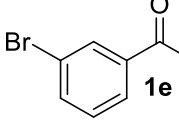
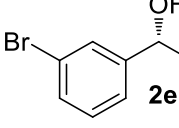
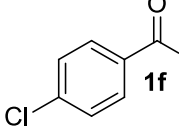
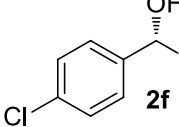
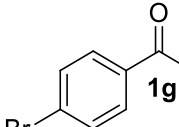
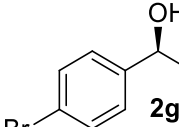
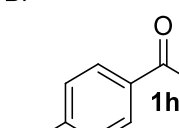
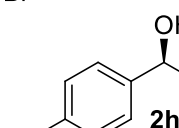
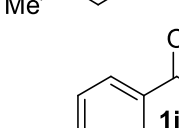
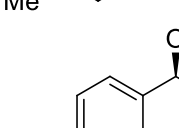
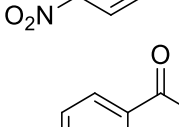
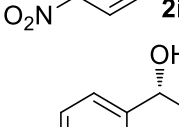
<sup>a</sup> Substrat 1mmol.

<sup>b</sup> Dönüşümler HPLC ile belirlendi.

<sup>c</sup> Enantiyomerik fazlalık kirial kolon OD-H kullanılarak belirlendi.

<sup>d</sup> Konfigürasyonlar literatürdeki çevirme açıları ile karşılaştırılarak belirlendi

**Tablo 3.** *Lactobacillus curvatus* N5 bakteri suşu kullanılarak asetofenon türevlerinin asimetrik indirgenmesi.

Substrat	Ürün	ee (%) <sup>c,d</sup>	Dönüşüm (%) <sup>b</sup>	Verim (%) <sup>e</sup>
		92 ( <i>R</i> )	>99	87
		80 ( <i>R</i> )	69	64
		>99 ( <i>S</i> )	98	91
		96 ( <i>R</i> )	98	89
		53 ( <i>R</i> )	98	88
		64 ( <i>R</i> )	91	85
		53 ( <i>S</i> )	97	92
		94 ( <i>S</i> )	98	90
		>99 ( <i>S</i> )	72	67
		92 ( <i>R</i> )	38	30

<sup>a</sup> İndirgenme koşulları: substrat: 1 mmol, sıcaklık: 28°C, süre: 48s, pH: 7.5, 150 rpm.

<sup>b</sup> Dönüşümler HPLC ile belirlendi.

<sup>c</sup> Enantiyomerik fazlalıklar kiral kolon OD-H, OD ve AS kullanılarak belirlendi.

<sup>d</sup> Konfigürasyonlar literatürdeki çevirme açıları ile karşılaştırılarak belirlendi

<sup>e</sup> Saflaştırılan verimler.

### 3.1. Elde edilen sekonder alkollerin spectral verileri

#### 3.1.1. (R)-1-feniletanol (2a) (Wei ve Du, 2014)

Renksiz sıvı, verim %87,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.38-7.33 (m, 4H), 7.31-7.26 (m, 1H), 4.84 (q,  $J$ = 6.45 Hz, 1H), 2.62 (bs, 1H), 1.48 (d,  $J$ = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 146.0, 128.4, 127.3, 125.5, 70.2, 25.2;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +40.6 (c 1.1,  $\text{CHCl}_3$ ), ee %92; alıkonma zamanları: 9.3dk. (*R* enantiyomer), 11.0 dk. (*S* enantiyomer), Chiralcel OD-H, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 95:5, akış hızı 1.0 mL/dk., 210 nm.

#### 3.1.2. (R)-1-(2-bromo fenil) etanol (2b) (Zhang vd., 2011, Li vd., 2014)

Renksiz sıvı, verim % 64,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.56-7.54 (m, 1H), 7.50-7.48 (m, 1H), 7.33-7.29 (m, 1H), 7.12-7.08 (m, 1H), 5.39 (q,  $J$  = 6.4 Hz, 1H), 2.79 (bs, 1H), 1.44 (d,  $J$  = 6.4 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 144.7, 132.6, 128.7, 127.8, 126.7, 121.6, 69.1, 23.6;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +45.7 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ), ee %80; alıkonma zamanları: 12.6 dk. (*S* enantiyomer), 13.6 dk. (*R* enantiyomer) Chiralcel OD-H, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 98:2, akış hızı 1.0 mL/dk., 220 nm.

#### 3.1.3. (S)-1-(2-nitro fenil) etanol (2c) (Vieira vd., 2010)

Renksiz sıvı, verim % 91,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.84 (dd,  $J$  = 8.2, 1.1 Hz, 1H), 7.79 (dd,  $J$  = 7.9, 1.1 Hz, 1H), 7.63-7.59 (m, 1H), 7.40-7.36 (m, 1H), 5.35 (q,  $J$  = 6.4 Hz, 1H), 2.85 (bs, 1H), 1.51 (d,  $J$  = 6.4 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 147.7, 141.0, 133.6, 128.0, 127.5, 124.2, 65.4, 24.2;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = -29.7 (c 0.4,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % >99; alıkonma zamanları: 19.1 dk (*R* enantiyomer), 20.3 dk. (*S* enantiyomer), Chiralcel AS, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 97:3, akış hızı 0.8 mL/dk., 220 nm.

#### 3.1.4. (R)-1-(3-metil fenil) etanol (2d) (Ren vd., 2015)

Renksiz sıvı, verim % 89,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.25-7.09 (m, 4H), 4.84 (q,  $J$  = 6.4

Hz, 1H), 3.38 (s, 3H), 2.20 (bs, OH), 1.46 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ =145.8, 138.1, 128.4, 128.2, 126.1, 122.4, 70.4, 25.1, 21.5;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +58.8 (c 0.9,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % 96; alıkonma zamanları: 10.9 dk. (*R* enantiyomer), 13.5 dk. (*S* enantiyomer), Chiralcel OD-H, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 97:3, akış hızı 1.0 mL/dk., 210 nm.

#### 3.1.5. (R)-1-(3-bromo fenil) etanol (2e) (Ren vd., 2015)

Renksiz sıvı, verim % 88,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.49 (s, 1H), 7.36-7.38 (m, 1H), 7.25-7.16 (m, 2H), 4.79 (m, 1H), 2.67 (bs, 1H), 1.44 (d,  $J$  = 6.4 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ =148.1, 130.4, 130.1, 128.5, 124.0, 122.5, 69.6, 25.2;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +56.6 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % 53; alıkonma zamanları: 15.5 dk. (*S* enantiyomer), 17.4 dk. (*R* enantiyomer) Chiralcel OD-H, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 98:2, akış hızı 1.0 mL/dk., 210 nm.

#### 3.1.6. (R)-1-(4-kloro fenil) etanol (2f) (Wei ve Du, 2014, Liu vd., 2015)

Renksiz sıvı, verim %85,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.29-7.22 (m, 4H), 4.79 (q,  $J$  = 6.5 Hz, 1H), 2.77 (bs, 1H), 1.41 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 144.2, 132.9, 128.5, 126.8, 69.6, 25.2;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +34.4 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % 64; alıkonma zamanları: 13.7 dk. (*S* enantiyomer), 15.4 dk. (*R* enantiyomer), Chiralcel OD-H, *n*-hekzan/*i*-PrOH, 98:2, akış hızı 1 mL/dk., 220 nm.

#### 3.1.7. (S)-1-(4-bromo fenil) etanol (2g) (Singh ve Chopra, 2016)

Renksiz sıvı, verim % 92,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.43-7.40 (m, 2H), 7.18-7.15 (m, 2H), 4.75 (q,  $J$  = 6.5 Hz, 1H), 2.93 (bs, 1H), 1.39 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 144.7, 131.5, 127.2, 121.0, 69.6, 25.2;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = -25.1 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % 53; alıkonma zamanları: 9.0 dk. (*R* enantiyomer), 9.9 dk. (*S* enantiyomer), Chiralcel OD-H, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 95:5, akış hızı 1 mL/dk., 220 nm.



### 3.1.8. (S)-1-(4-metil fenil) etanol (2h) (Wakeham vd., 2015)

Renksiz sıvı, verim % 90,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.27 (d,  $J$  = 8.0 Hz, 1H), 7.17 (d,  $J$  = 7.9 Hz, 1H), 4.84 (q,  $J$  = 6.5 Hz, 1H), 2.42 (bs, 3H), 2.37 (s, 3H), 1.48 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 142.9, 137.0, 129.1, 125.4, 70.1, 25.1, 21.1;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = -56.9 (c 1.0,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % 94; alıkonma zamanları: 14.5 dk. (*S* enantiyomer), 21.5 dk. (*R* enantiyomer), Chiralcel OD, *n*-hekzan /*i*-PrOH, 90:10, akış hızı 0.5 mL/dk., 220 nm.

### 3.1.9. (S)-1-(4-nitro fenil) etanol (2i) (Vieira vd., 2010)

Renksiz sıvı, verim % 67,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 8.10-8.14 (m, 2H), 7.51-7.48 (m, 2H), 5.00-4.94 (m, 1H), 2.75 (d,  $J$  = 3.4 Hz, 1H), 1.47 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 153.3, 147.0, 126.1, 123.7, 69.4, 25.4;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = -25.4 (c 0.5,  $\text{CHCl}_3$ ), ee % >99; alıkonma zamanları: 13.2 dk. (*R* enantiyomer), 15.4 dk. (*S* enantiyomer), Chiralcel AS, *n*-hekzan/*i*-PrOH, 95:5, akış hızı 0.8 mL/dk., 220 nm.

### 3.1.10. (R)-1-(*p*-bifenil) etanol (2j) (Zilbeyaz vd., 2012)

Beyaz katı, EN. 92-94°C, verim % 30,  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 7.63-7.60 (m, 4H), 7.49-7.45 (m, 4H), 7.40-7.36 (m, 1H), 4.95 (qd,  $J$  = 6.4, 2.9 Hz, 1H), 2.24 (d,  $J$  = 2.8 Hz, 1H), 1.56 (d,  $J$  = 6.5 Hz, 3H);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ = 144.9, 140.9, 140.4, 128.8, 127.3, 127.3, 127.1, 125.9, 70.1, 25.2;  $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$  = +45.3 (c 0.55,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), ee % 92; alıkonma zamanları: 16.8 dk. (*S* enantiyomer), 18.2 dk. (*R* enantiyomer), Chiralcel OD, *n*-hekzan/*i*-PrOH, 90:10, akış hızı 0.6 mL/dk., 220 nm.

## 4. Tartışma ve Sonuç

Tablo 1'de görüldüğü gibi suşlar (*R*)-fenil etanol (2a)'yı % 50'den % 66'ya değişen enantiyomerik fazlalıkta ürettiler. Biyo indirgenmenin en iyi sonucu *Lactobacillus curvatus*

N5 suşu kullanıldığında elde edildi. Bu indirgenme reaksiyonunda % 97 gibi yüksek bir dönüşüm ve % 66 gibi ılımlı bir enantiyomerik fazlalık gözlemlendi. Bundan dolayı en iyi biyokatalizör olarak *Lactobacillus curvatus* N5 suşu seçildi ve bundan sonraki reaksiyonlarda bu suş kullanıldı. Başarılı bir şekilde kiral sekonder alkol elde etmek için pH, sıcaklık, inkübasyon süresi ve karıştırma hızı gibi reaksiyon koşullarını optimize etmek çok önemlidir (Pereira, 1998). *Lactobacillus curvatus* N5 suşu kullanılarak pH, sıcaklık, inkübasyon süresi ve karıştırma hızı gibi reaksiyon koşulları optimize edildi (Tablo 2). Optimizasyon için öncelikle pH'nın seçiciliğe etkisi araştırıldı. Reaksiyon 100 ml besiyeri (MRS) içerisinde 25 mg bakteri 2 saat 30°C'de 150 rpm'de karıştırıldı ve daha sonra pH'lar (5.5-7.5) ayarlandı 2 saat daha aynı şartlar altında karıştırıldıktan sonra 1mmol substrat (1a) ortama ilave edildi ve 48 saat aynı şartlarda karıştırılmaya devam edildi. Biyokatalizör ile yapılan indirgenme reaksiyonlarında dönüşüm özellikle seçicilik ortamın pH'sından oldukça etkilenmektedir, çünkü pH değiştiğinde enzimin üç boyutlu yapısı değişmektedir ve bu da seçicilik için çok önemlidir. Tablo 2'de görüldüğü gibi optimum pH 7.5 olarak belirlendi. Bu pH değerinde (2a) % 97 dönüşüm ve % 75 enantiyomerik fazlalık ile elde edildi. Sıcaklığın seçiciliğe etkisini belirlemek için pH değerinin 7.5 olduğu şartlarda 26-32°C gibi farklı sıcaklıklarda reaksiyonlar yapıldı. İndirgenme reaksiyonu için en iyi sıcaklık 28°C olarak belirlendi. Tablo 2'de görüldüğü gibi sıcaklık 30°C'nin üzerine çıktığında enantiyomerik aşırılıkta keskin bir düşüş olmuştur. Bu da sıcaklıktaki artışın enantiyomerik fazlalık için negatif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı sonraki reaksiyonlar 28°C sıcaklıkta yapıldı. Sıcaklığın 28°C ve pH'nın 7.5 olduğu reaksiyon şartları altında değişik inkübasyon sürelerinde reaksiyonlar gerçekleştirilerek inkübasyon süresinin seçiciliğe etkisi belirlendi. Tablo 2'de görüldüğü gibi inkübasyon süresi 24 saat olduğunda dönüşüm ve enantiyomerik fazlalığın düşük, 72 saat olduğunda ise dönüşümün yüksek enantiyomerik fazlalığın

düşük olduğu görülmektedir. Dönüşüm ve enantiyomerik fazlalığın en yüksek olduğu inkübasyon süresi 48 saat olduğundan dolayı reaksiyon için en iyi inkübasyon süresi olarak bu süre belirlenmiştir. Bir diğer önemli parametre karıştırma hızıdır, çünkü karıştırma hızı enzimin yapısını değiştirmektedir. Optimize şartlar için karıştırma hızlarına bakıldığında karıştırma hızının 150 rpm olduğunda en iyi dönüşüm ve enantiyomerik fazlalık elde edildi. Karıştırma hızı arttığında dönüşüm ve enantiyoseçicilik düşmektedir. Bu düşüş yüksek karıştırma hızının hücrenin yapısını değiştirmesi sonucu biyokatalizörün aktivitesini düşürmesi ile ilişkilendirilebilir. Bu durumlar dikkate alınarak optimum karıştırma hızı olarak 150 rpm belirlendi. Sonuç olarak optimizasyon şartları pH 7.5, sıcaklık 28°C, inkübasyon süresi 48 saat ve karıştırma hızı 150 rpm olarak başarılı bir şekilde belirlendikten sonra optimum şartlar altında asetofenon türevlerinin asimetric indirgenmeleri değerlendirildi. *o*-bromo asetofenon (**1b**)'nin asimetric indirgenmesinde % 80 gibi yüksek bir enantiyomerik fazlalık ve % 96'lık bir dönüşüm gözlenirken, *m*-bromo asetofenon (**1e**) ve *p*-bromo asetofenon (**1g**)'de düşük enantiyomerik fazlalık ve yüksek dönüşüm gözlenmiştir. Bu da brom atomunun sterik ve elektronik etkisinin seçicilik ve dönüşümde önemli olduğunu göstermektedir. *o*-nitro (**1c**) mükemmel bir enantiyomerik fazlalık ve dönüşüm ile (**2c**)'ye indirgenmiştir. Aynı şekilde *p*-nitro (**1i**) mükemmel bir enantiyomerik fazlalık ve yüksek bir dönüşüm ile (**2i**)'ye indirgenmiştir. Klor atomunun *p*-pozisyonunda olduğu asetofenon türevi (**1f**)'de ise ortalama bir enantiyomerik fazlalık ve yüksek bir dönüşüm ile (**2f**)'ye indirgenmiştir. Elektron veren metil grubunun *m*- ve *p*- pozisyonunda olduğu asetofenon türevleri (**1d**) ve (**1h**) yüksek dönüşüm ve enantiyomerik fazlalık ile (**2d**) ve (**2h**)'ye indirgenmiştir. Bir diğer elektron sağlayan grup olan fenil grubunun *p*-pozisyonunda olduğu asetofenon türevi (**1j**) yüksek enantiyomerik fazlalık ve düşük bir dönüşüm ile (**2j**)'ye indirgenmiştir. Oluşan sekonder alkollerin konfigürasyonları benzen

halkasına bağlı grubun pozisyonuna göre değişmektedir.

Sonuç olarak asetofenon (**1a**) ve türevleri (**1b-j**) biyokatalizör *Lactobacillus curvatus* N5 kullanılarak ilgili kiral alkollere (**2a-j**) % 99'a varan bir enantiyomerik fazlalık ile indirgenmiştir. Kullanılan bu biyokatalizör benzen halkasındaki substituentin bulunduğu konuma göre yüksek enantiyomerik fazlalık göstermiştir. Bu çalışmada kullanılan biyokatalizörün dönüşüm ve seçiciliğinin benzen halkasına bağlı grupların pozisyonu ve elektronik etkisi tarafından kontrol edildiği görülmektedir. Bu da bu biyokatalizörün enantiyosaf kiral sekonder alkollerin sentezinde kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca bu ucuz ve çevreci biyokatalizör *Lactobacillus curvatus* N5 prokiral ketonların asimetric olarak kiral karbinol bileşiklerine indirgenme reaksiyonlarında kullanılan klasik toksik kimyasal katalizörlere alternatif bir biyokatalizör olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir.

### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan suşların sağlanmasındaki katkılarından dolayı Dr. Enes Dertli (Bayburt Üniversitesi)'ye teşekkür ederiz.

### 5. Kaynaklar

- Yang, V., Xu, J. H., Xie, Y., Xu, Y., Zhao, G., ve Lin, G. Q., 2006. Asymmetric reduction of ketones by employing *Rhodotorula* sp. AS2. 2241 and synthesis of b-blocker (R)-nifenalol. Tetrahedron: Asymmetry, 17, 1769-1774.
- Dertli, E., Mercan, E., Arıcı, M., Yılmaz, M. T., ve Sağdıç, O., 2016. Characterisation of lactic acid bacteria from Turkish sourdough and determination of their exopolysaccharide (EPS) production characteristics, LWT-Food Science and Technology, 71, 116-124.
- Faber, K., 1997. Biotransformations in Organic Chemistry, Springer Press, Berlin, Germany, 405p.

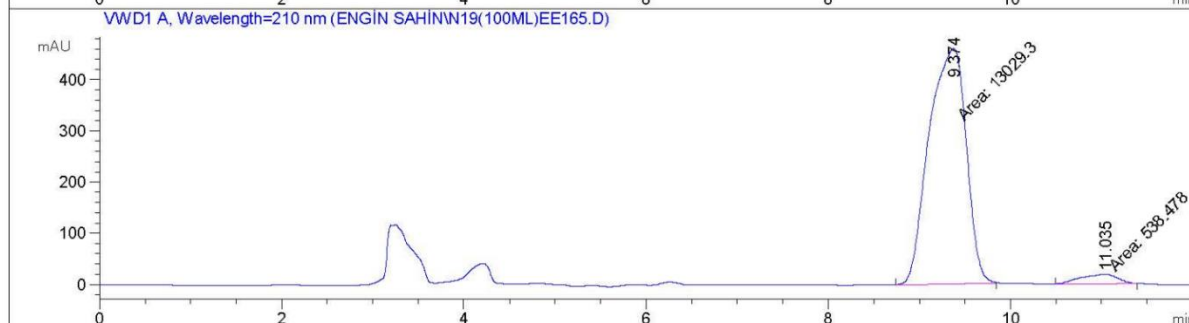
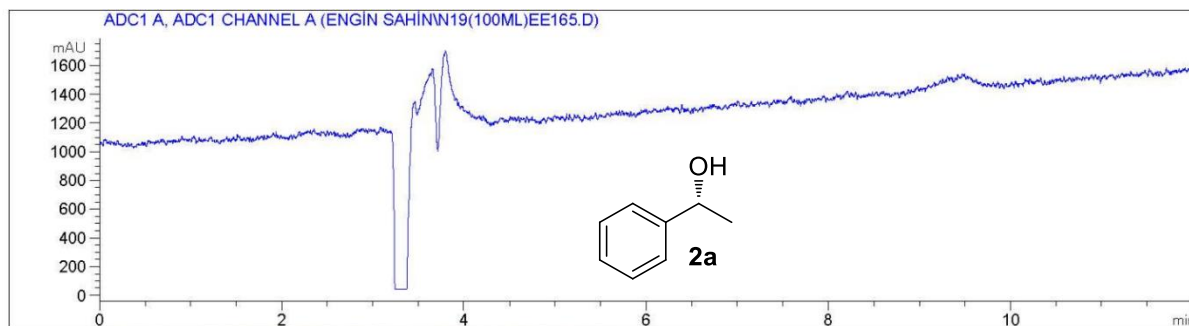
- Faber, K., 2000. Biocatalytic Application. In biotransformations in Organic Chemistry, Springer Press, Berlin, Germany, 437p.
- Hage, A., Petra, D.G.I., Field, J.A., Schipper, D., Wijnberg, J.B.P.A., Kamer, P.C.J., Reek, J.N.H., Van Leeuwen, P.W.N.M., Waver, R. ve Schoemaker, H.E, 2001. Asymmetric reduction of ketones via whole cell bioconversions and transfer hydrogenation: complementary approaches, Tetrahedron: Asymmetry, 12,7, 1025-1034.
- Kataoka, M., Kita, K., Wada, M., Yasohara, Y., Hasegawa, J. ve Shimuzu, S., 2003. Novel bioreduction system for the production of chiral alcohols, Appl. Microbial. Biotechnol., 62,5-6, 437-445.
- Li, Y., Yu, S., Wu, X., Xiao, J., Shen, W., Dong, Z. ve Gao, J., 2014. Iron Catalyzed Asymmetric Hydrogenation of Ketones, J. Am. Chem. Soc., 136,10, 4031-4039.
- Liu, W. P., Yuan, M. L., Yang, X. H., Li, K., Xie, J. H. ve Zhou, Q. L., 2015. Efficient asymmetric transfer hydrogenation of ketones in ethanol with chiral iridium complexes of spiroPAP ligands as catalysts, Chem. Commun., 51,28, 6123-6125.
- Mandal, D., Ahmad, A., Khan, M. I. ve Kumar, R., 2004. Enantioselective bioreduction of acetophenone and its analogous by the fungus *Trichothecium* sp., J. Mol. Catal. B: Enzym., 27,2-3, 61-63.
- Murzin, D. Y., Mäki-Arvela, P., Toukoniitty, E. ve Salmi, T., 2005. Asymmetric heterogeneous catalysis: Science and engineering, Catal Rev., 47,2, 175-256.
- Pereira, R. D. S., 1998. The use of baker's yeast in the generation of asymmetric centers to produce chiral drugs and other compounds, Crit. Rev. Biotechnol., 18,1, 25-64.
- Ren, X., Li, G., Wei, S. ve Du, H., 2015. Facile Development of Chiral Alkenylboranes from Chiral Dienes for Asymmetric Hydrogenation of Silyl Enol Ethers, Org. Lett., 17,4, 990-993.
- Singh, A. ve Chopra, H. K., 2016. New benzimidazolium-based chiral ionic liquids: synthesis and application in enantioselective sodium borohydride reductions in water, Tetrahedron: Asymmetry, 27,11, 448-453.
- Vieira, G. A. B., Araujo, D. M. F., Lemos, T. L. G., Mattos, M. C., Oliveira, M. C. F., Melo, V.M. M., Gonzalu, G., Gotor-Fernández, V. ve Gotor, V., 2010. *Candida tropicalis* CE017: A new Brazilian Enzymatic Source for the Bioreduction of Aromatic Prochiral Ketones, J. Braz. Chem. Soc., 21,8, 1509-1516.
- Wakeham, R. J., Morris, J. A. ve Williams, J. M. J., 2015. Alternative Hydrogen Source for Asymmetric Transfer Hydrogenation in the Reduction of Ketones, ChemCatChem., 7, 4039-4041.
- Wei, S. ve Du, H., 2014. A Highly Enantioselective Hydrogenation of Silyl Enol Ethers Catalyzed by Chiral Frustrated Lewis Pairs, J. Am. Chem. Soc., 136,35, 12261-12264.
- Wong, C. , Drueckhammer, D. G. ve Sweers, H. M., 1985. Enzymatic vs. fermentative synthesis: thermostable glucose dehydrogenase catalyzed regeneration of NAD(P)H for use in enzymatic synthesis, J. Am. Chem. Soc., 107,13, 4028-4031.
- Zhang, Z., Jain, P. ve Antilla, J. C., 2011. Asymmetric Reduction of Ketones by Phosphoric Acid Derived Catalysts, Angew. Chem. Int. Ed., 50,46, 10961-10964.

Zilbeyaz, K., Kilic, H., Sisecioğlu, M., Özdemir, H. ve Güngör, A. A., 2012. Preparation of enantiomerically pure *p*-substituted phenylethyl hydroperoxides by kinetic resolution and their use as enantioselective oxidants in the asymmetric Weitz–Scheffer epoxidation

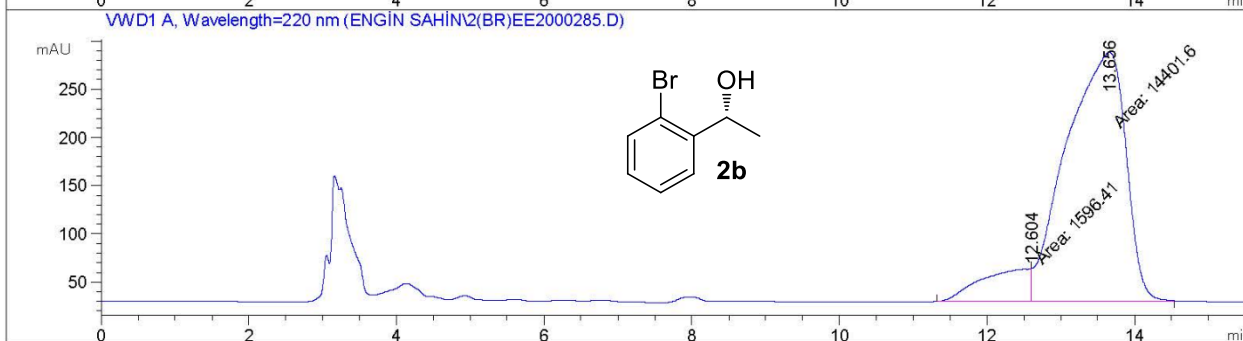
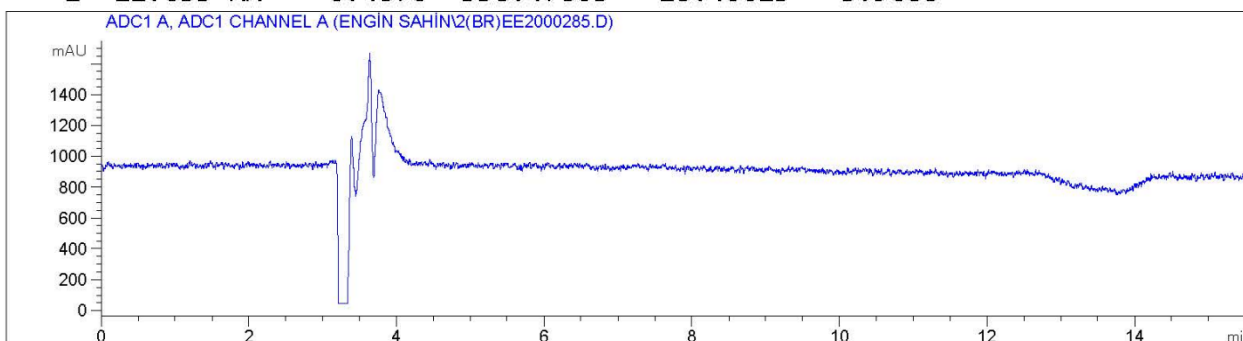
of *E*-chalcone, Tetrahedron: Asymmetry, 23,8, 594-601.

Zilbeyaz, K., Kurbanoglu, E. B., ve Kilic., H., 2016. Preparation of Enantiomerically Pure (S)- (-) - 1-(1'-naphthyl)-ethanol by the fungus *Alternaria alternata*, Chirality, 28, 669-673.

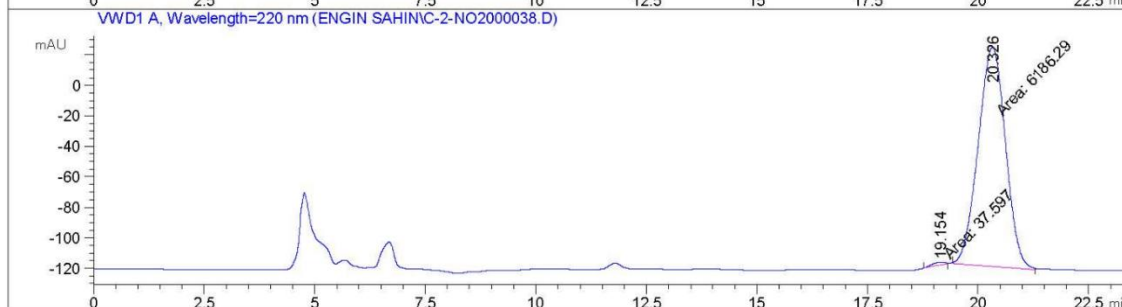
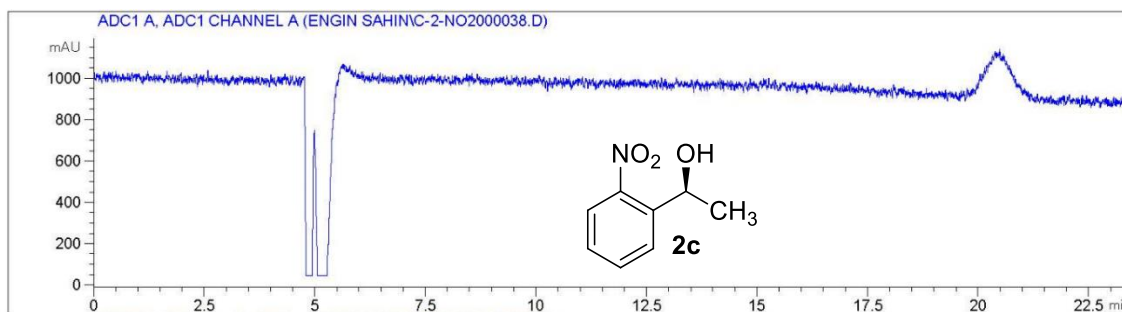
Ek <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C NMR ve HPLC spektrumları



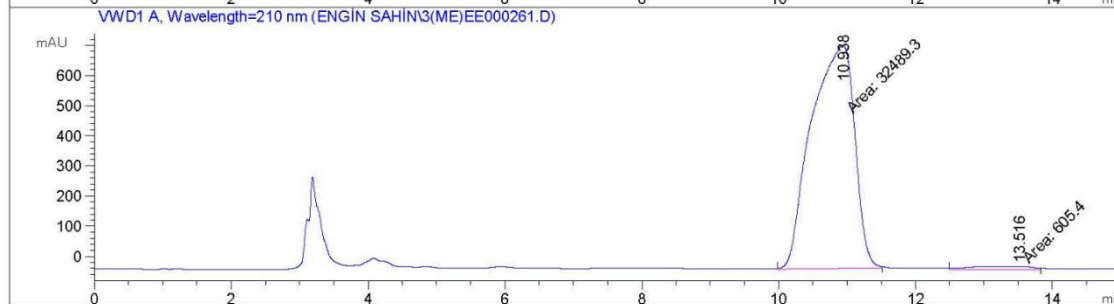
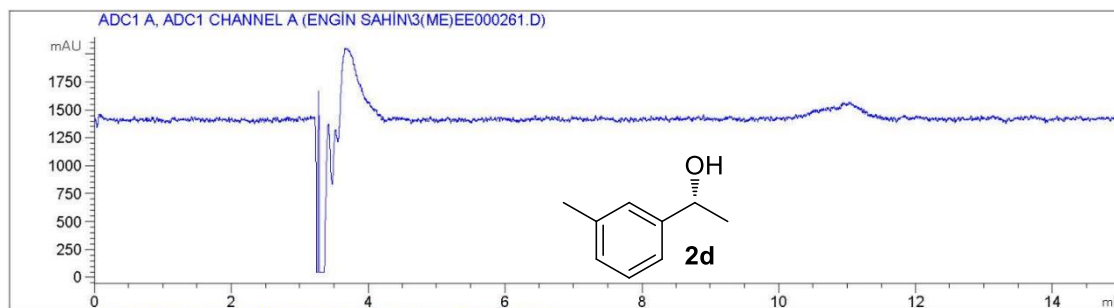
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	9.374	MM	0.4723	1.30293e4	459.75446	96.0312
2	11.035	MM	0.4876	538.47803	18.40613	3.9688



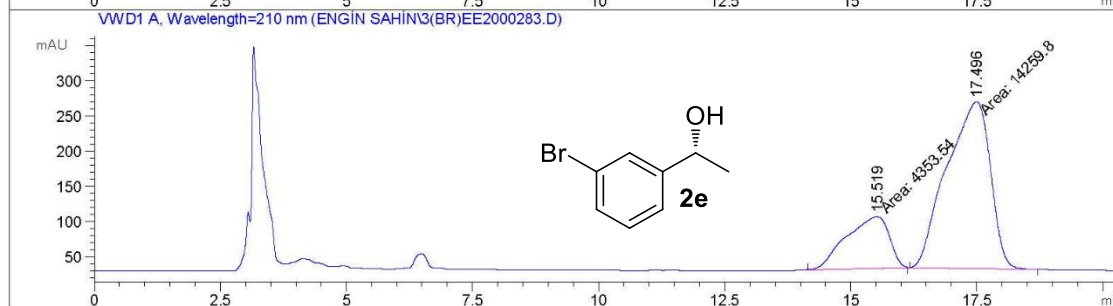
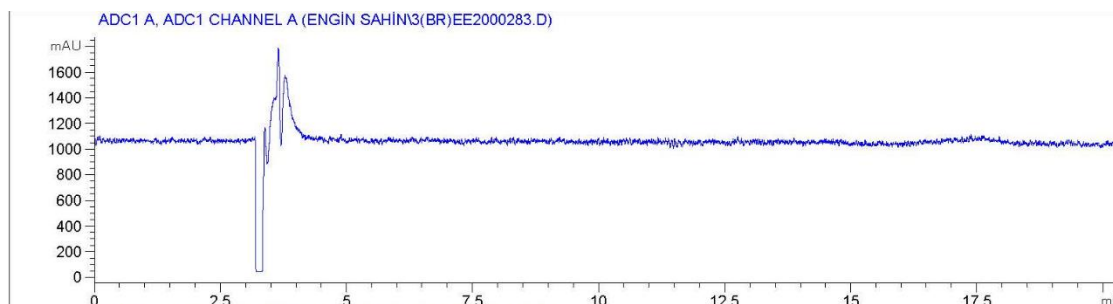
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	12.604	MF	0.7802	1596.40735	34.10357	9.9788
2	13.656	FM	0.9298	1.44016e4	258.13986	90.0212



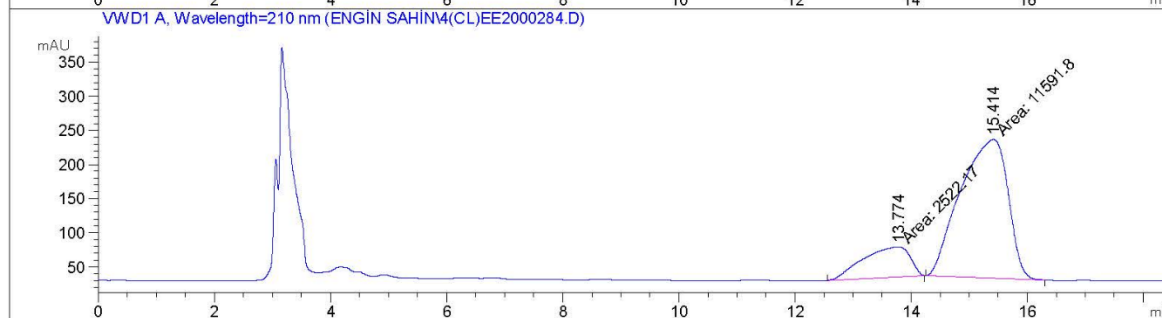
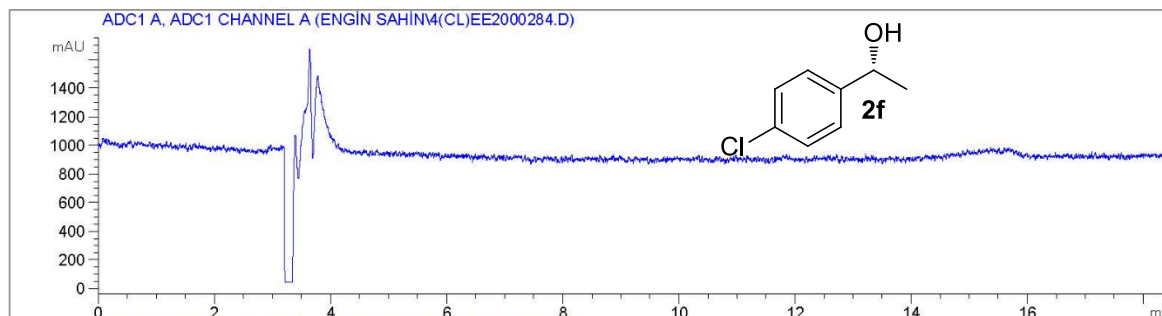
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	19.154	MM	0.3945	37.59699	1.58831	0.6041
2	20.326	MM	0.7170	6186.28760	143.80521	99.3959



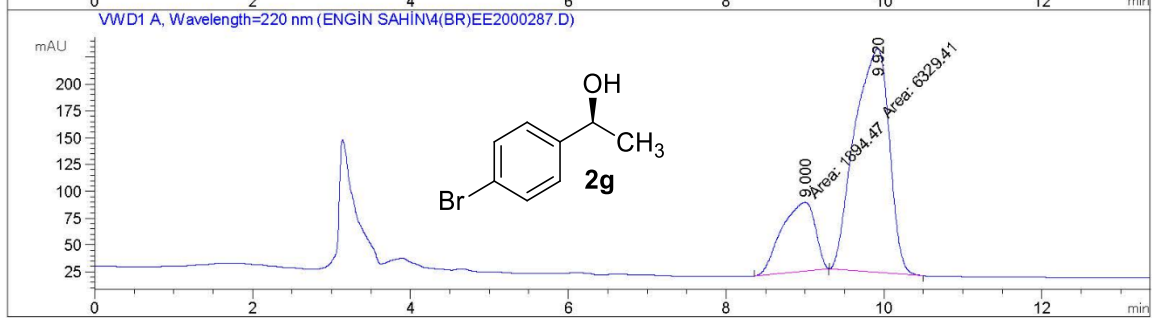
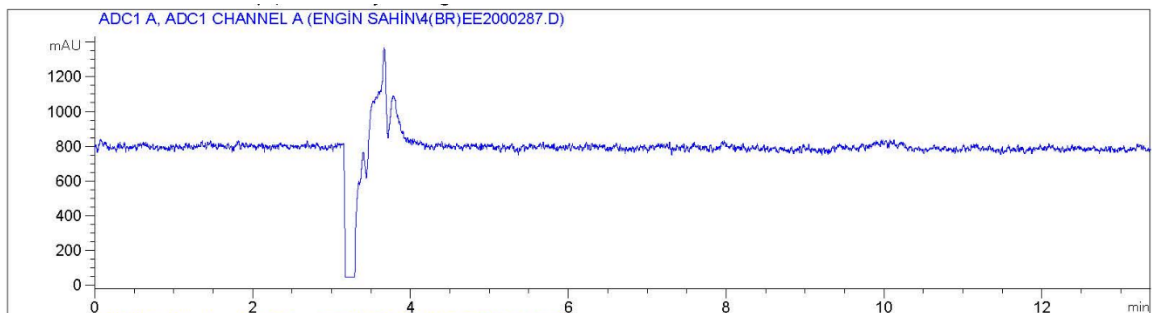
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	10.938	MM	0.7314	3.24893e4	740.29999	98.1707
2	13.516	MM	1.0474	605.40009	9.63305	1.8293



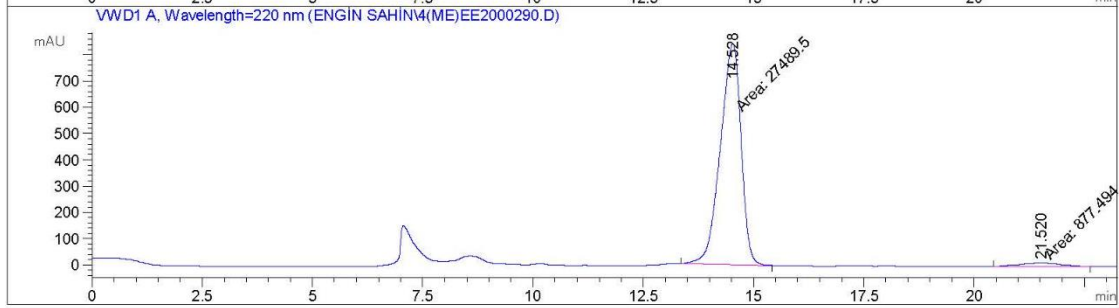
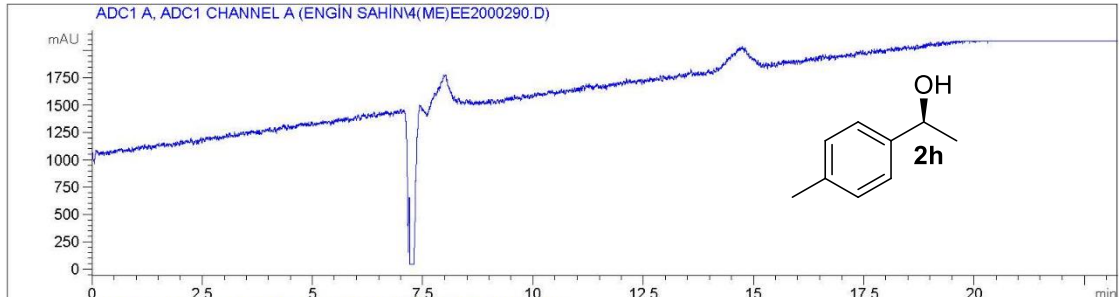
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	15.519	MM	0.9882	4353.53564	73.42900	23.3893
2	17.496	MM	1.0007	1.42598e4	237.50142	76.6107



Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	13.774	MM	0.9470	2522.17065	44.38805	17.8700
2	15.414	MM	0.9486	1.15918e4	203.65471	82.1300

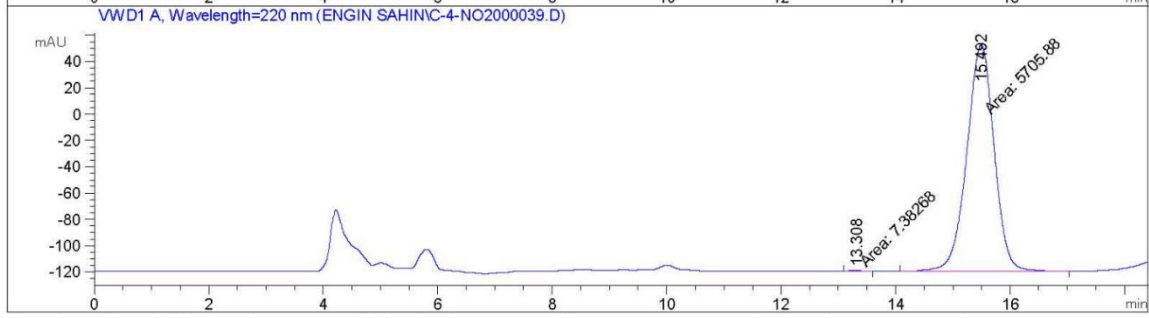
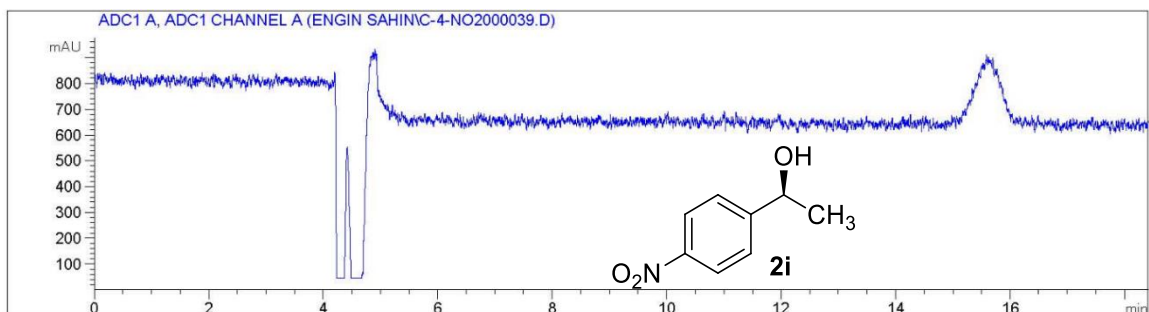


Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	9.000	MM	0.4913	1894.47168	64.26962	23.0362
2	9.920	MM	0.5058	6329.41211	208.54593	76.9638

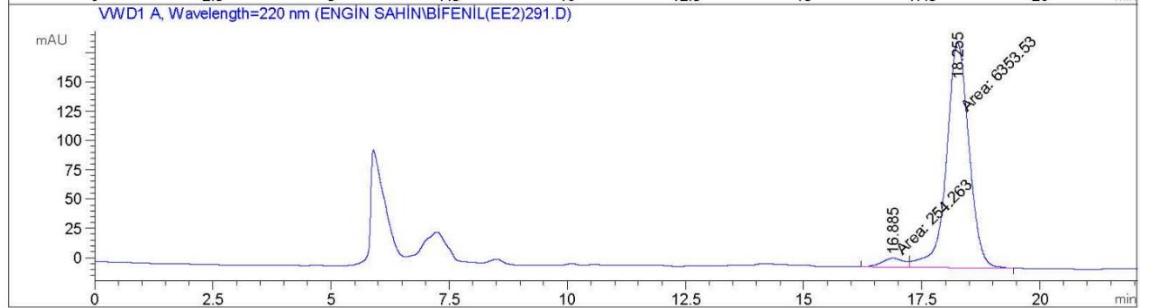
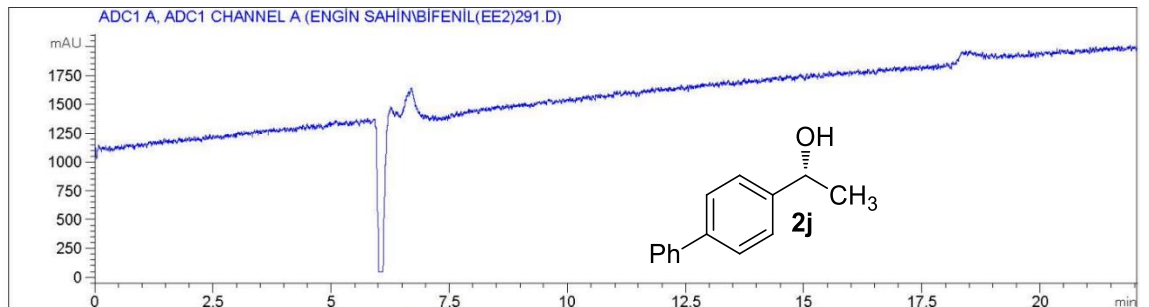


Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU *s	Height [mAU]	Area %
1	14.528	MM	0.5438	2.74895e4	842.44312	96.9066
2	21.520	MM	1.0633	877.49359	13.75456	3.0934

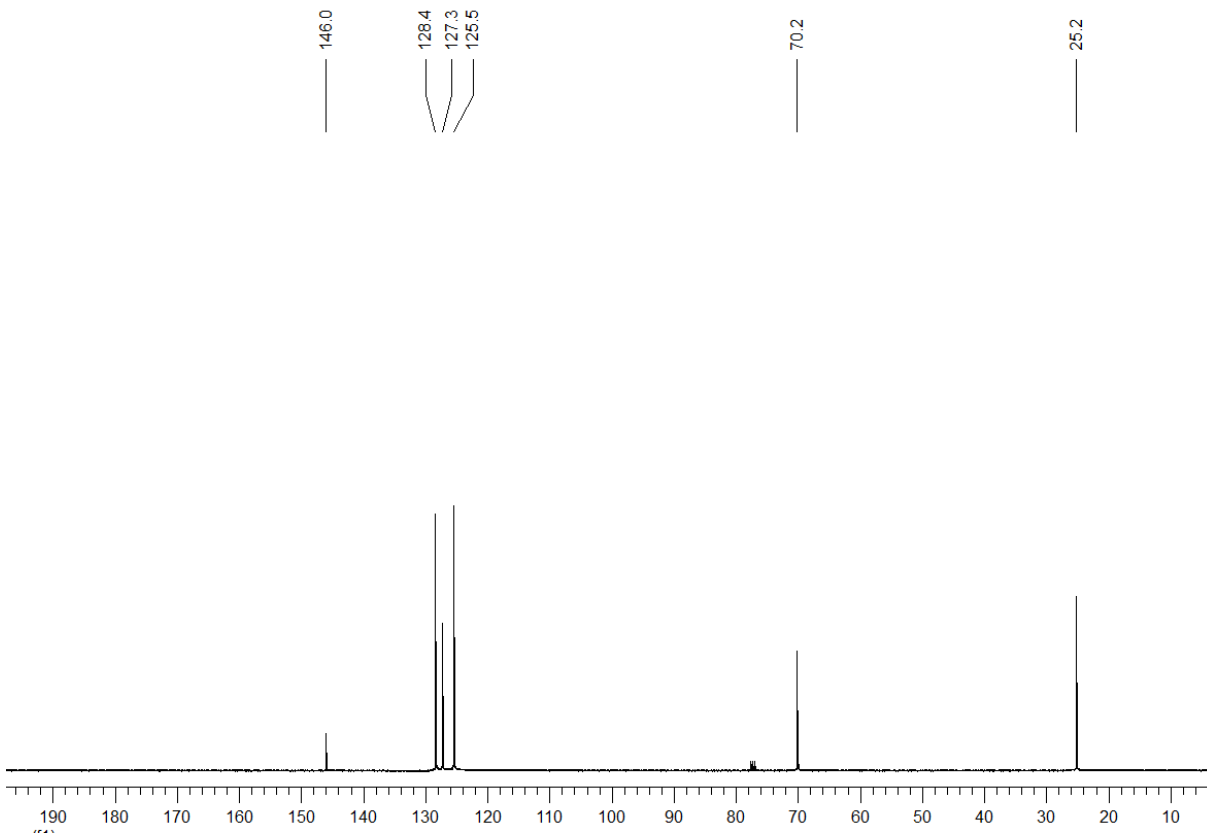
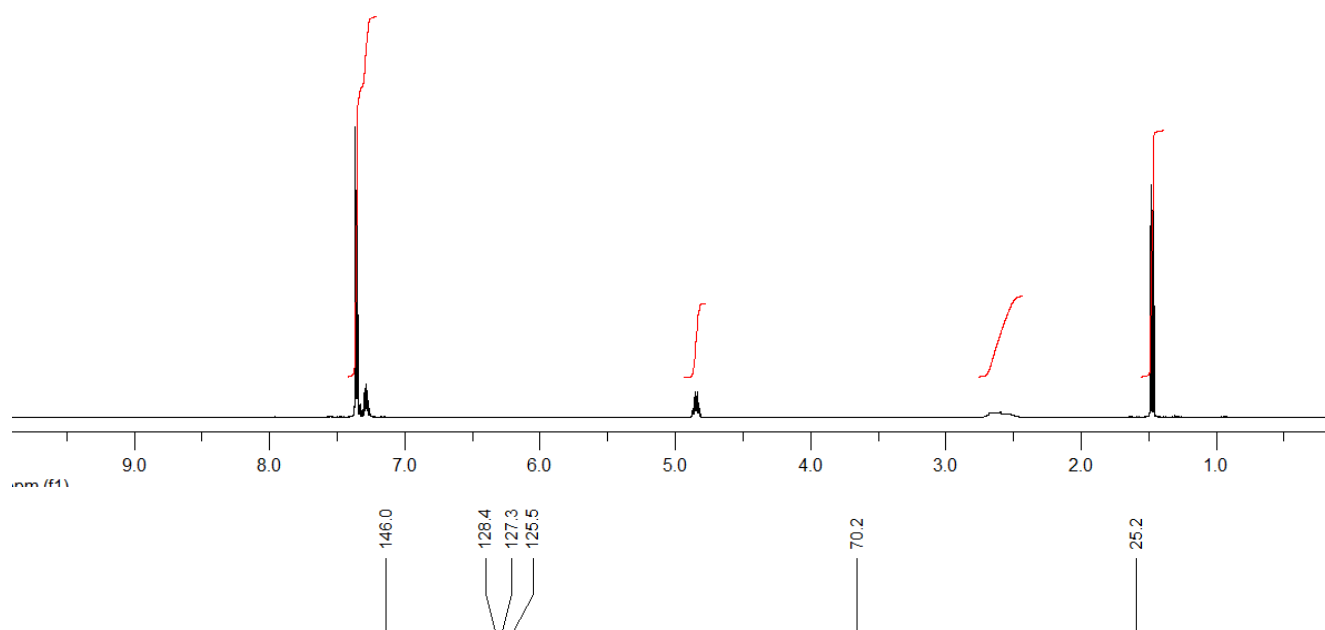
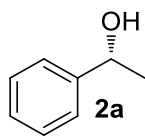


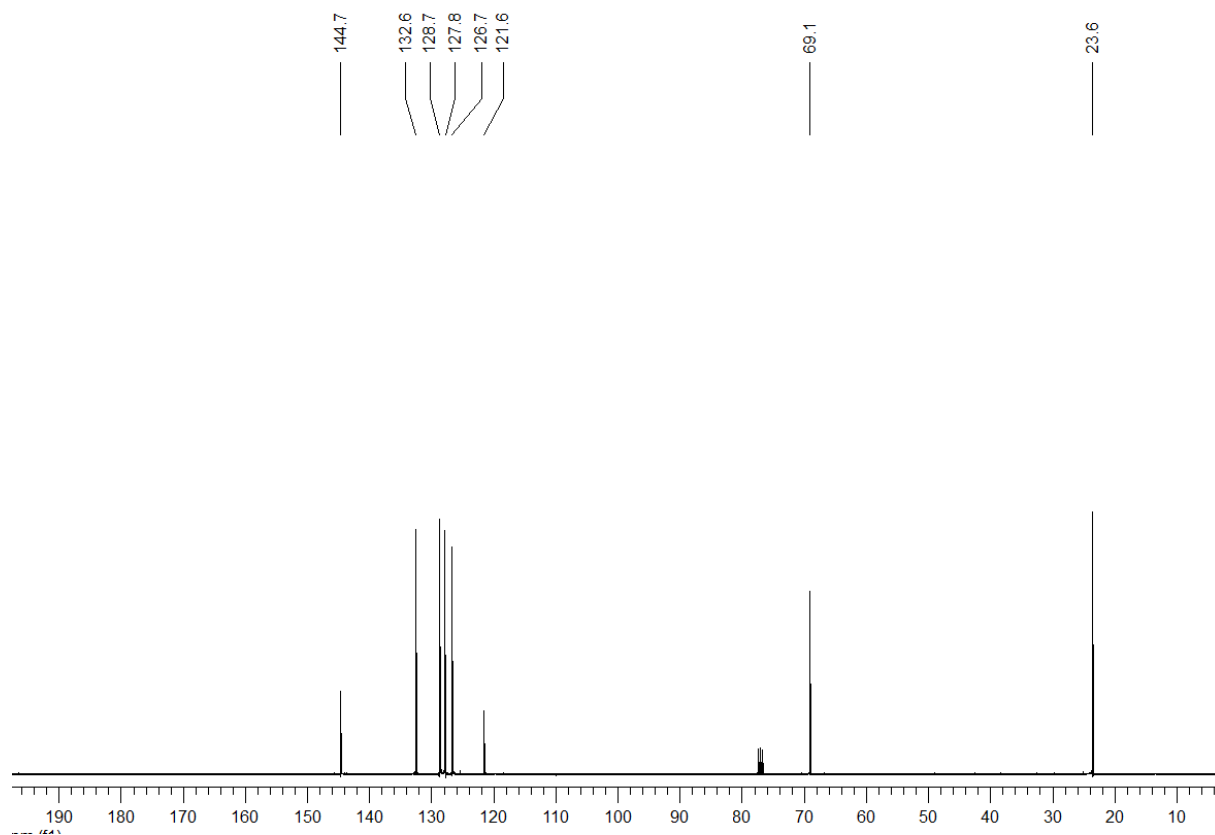
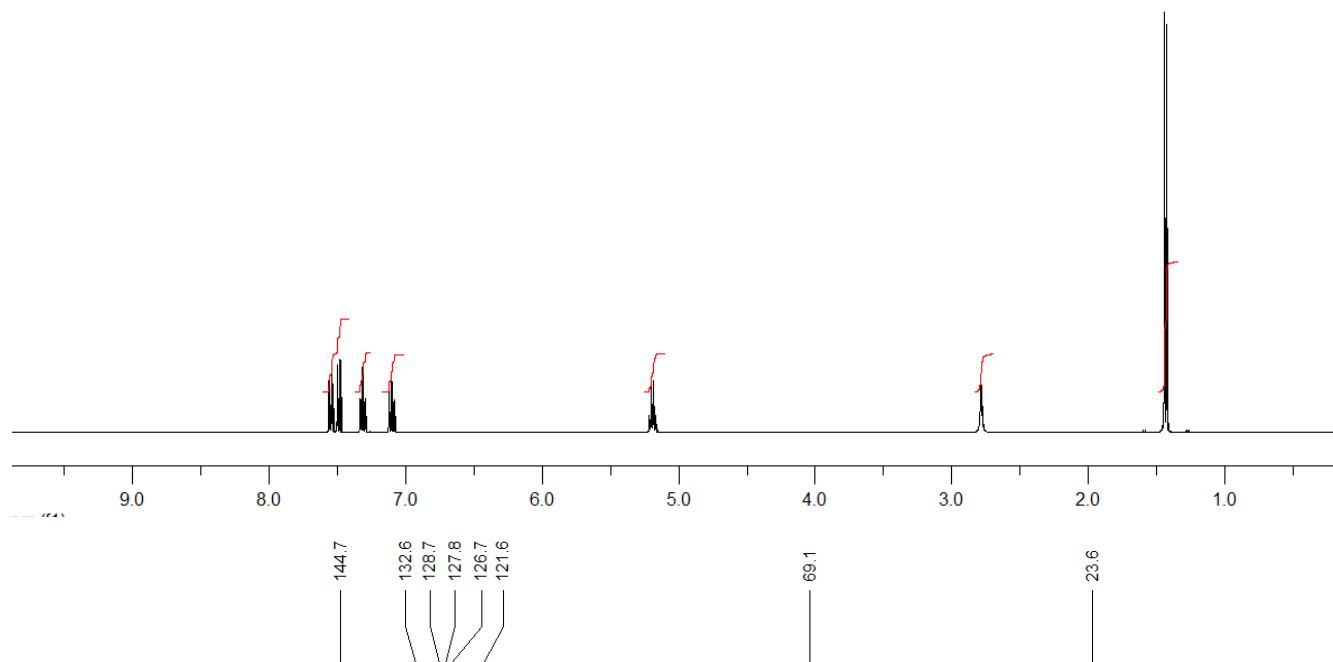
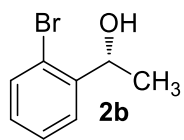


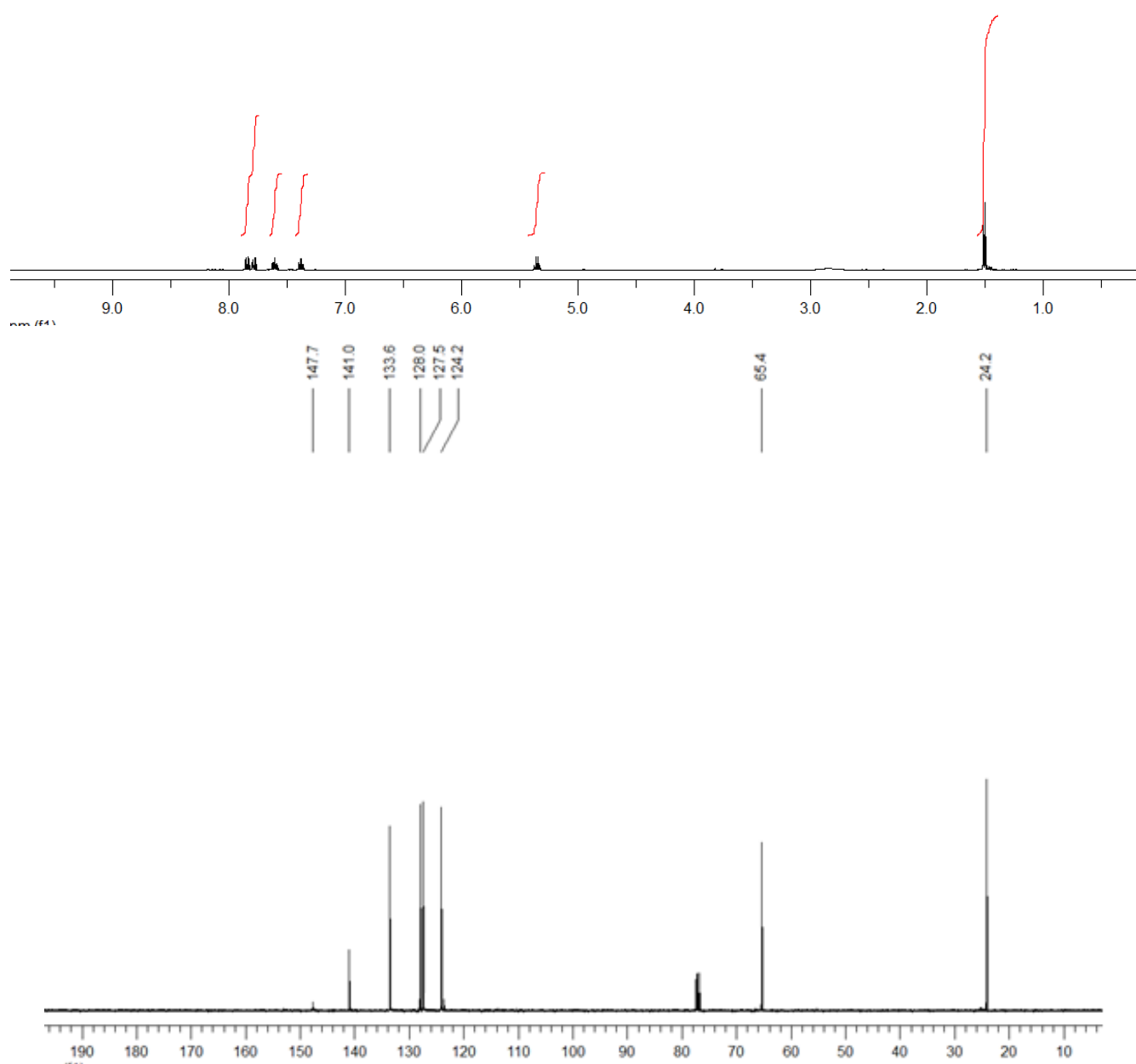
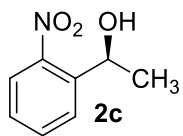
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU	Height [mAU]	Area %
1	13.308	MM	0.3099	7.38268	3.97033e-1	0.1292
2	15.492	MM	0.5527	5705.88086	172.07132	99.8708

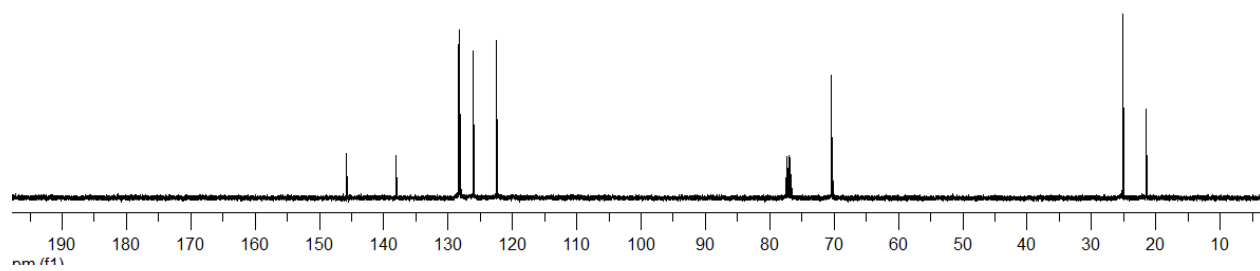
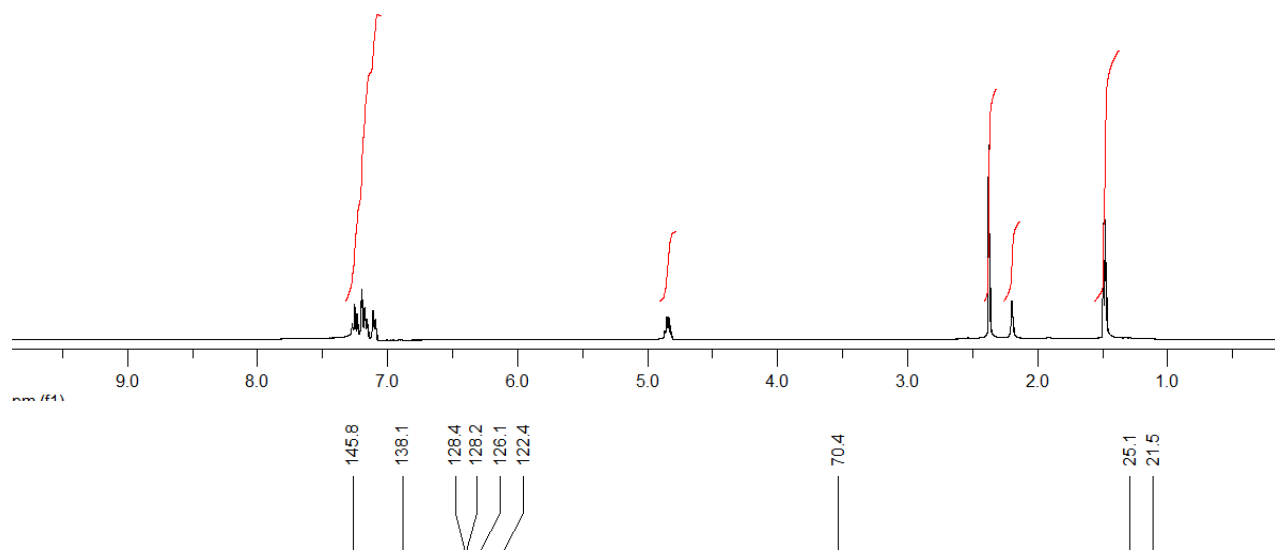
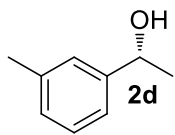


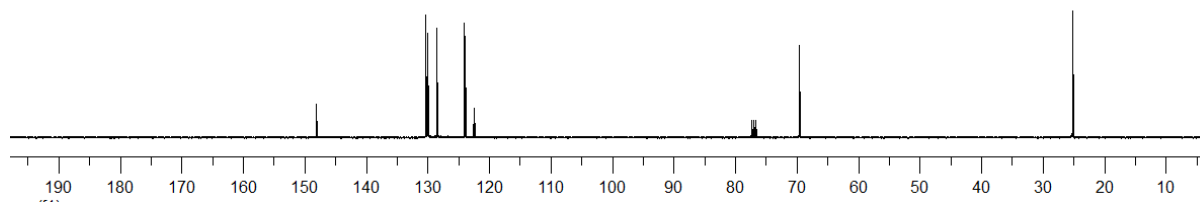
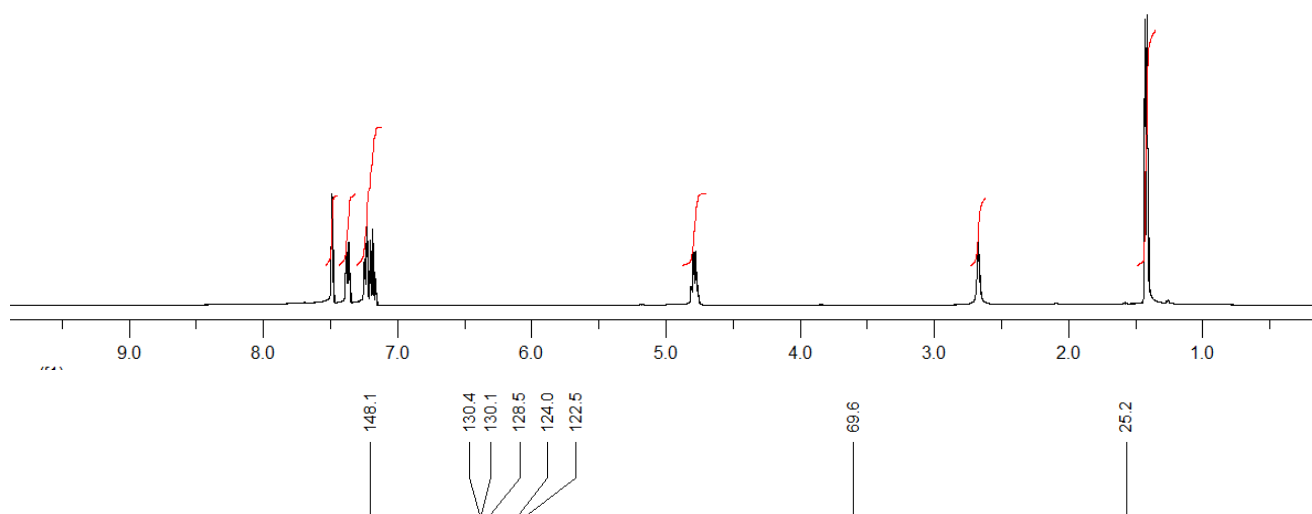
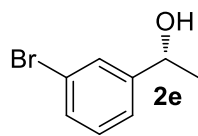
Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU	Height [mAU]	Area %
1	16.885	MF	0.5561	254.26286	7.62007	3.8479
2	18.255	FM	0.5508	6353.52881	192.24095	96.1521

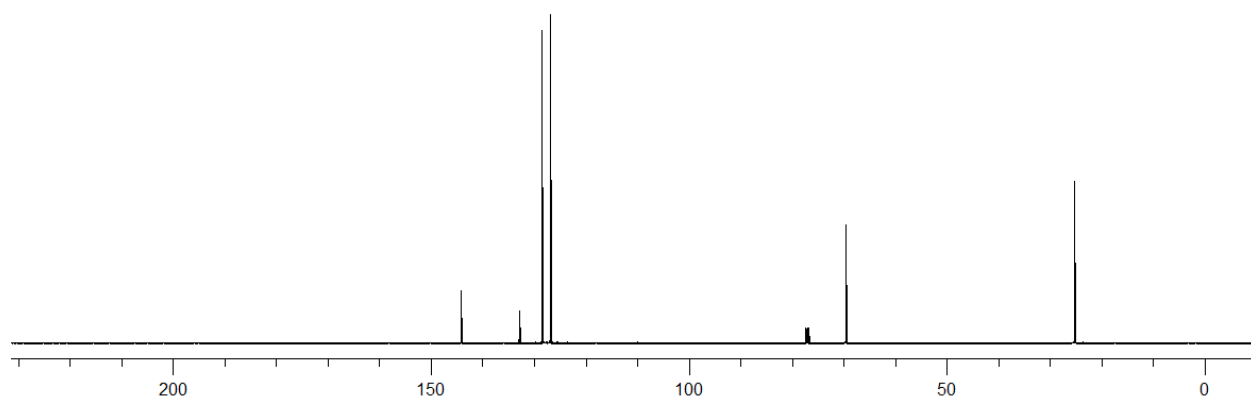
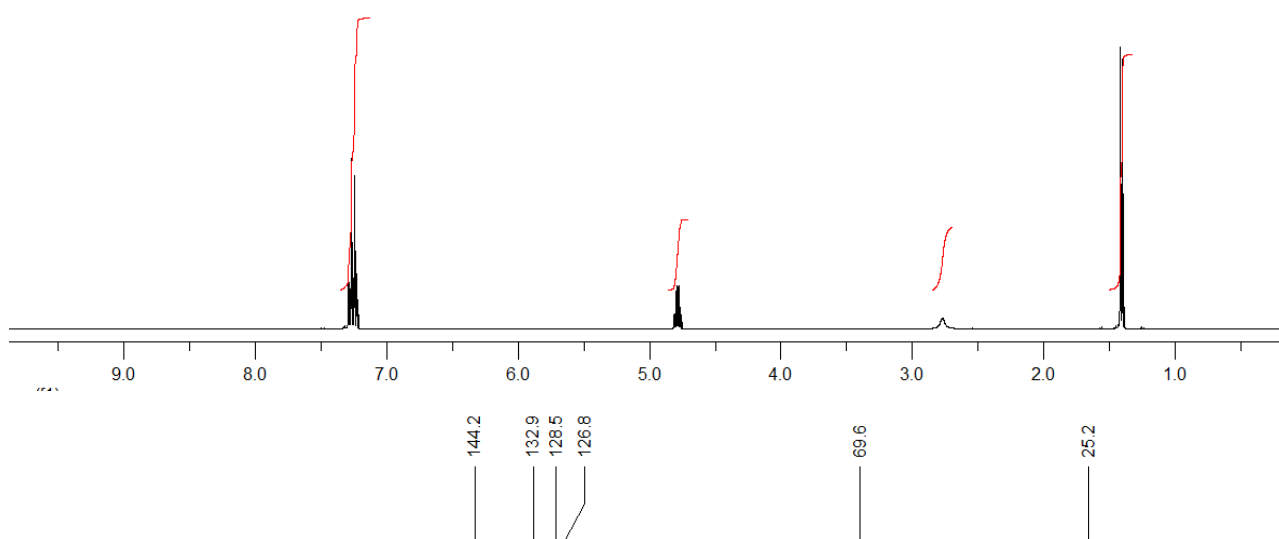
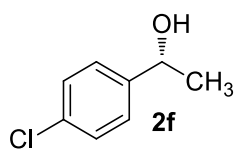


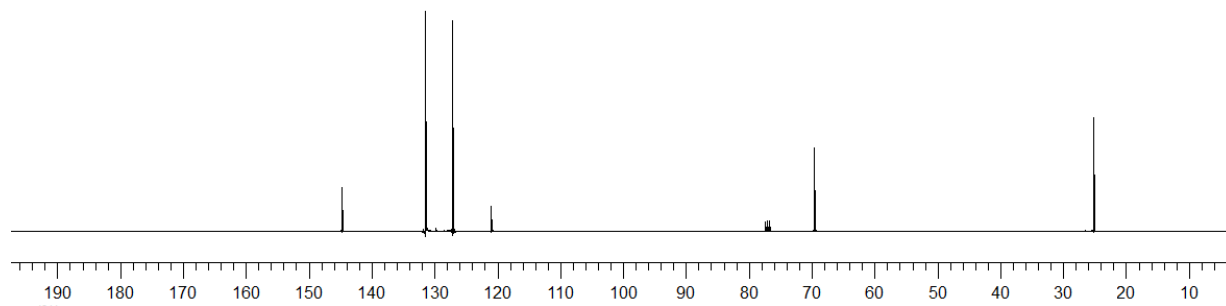
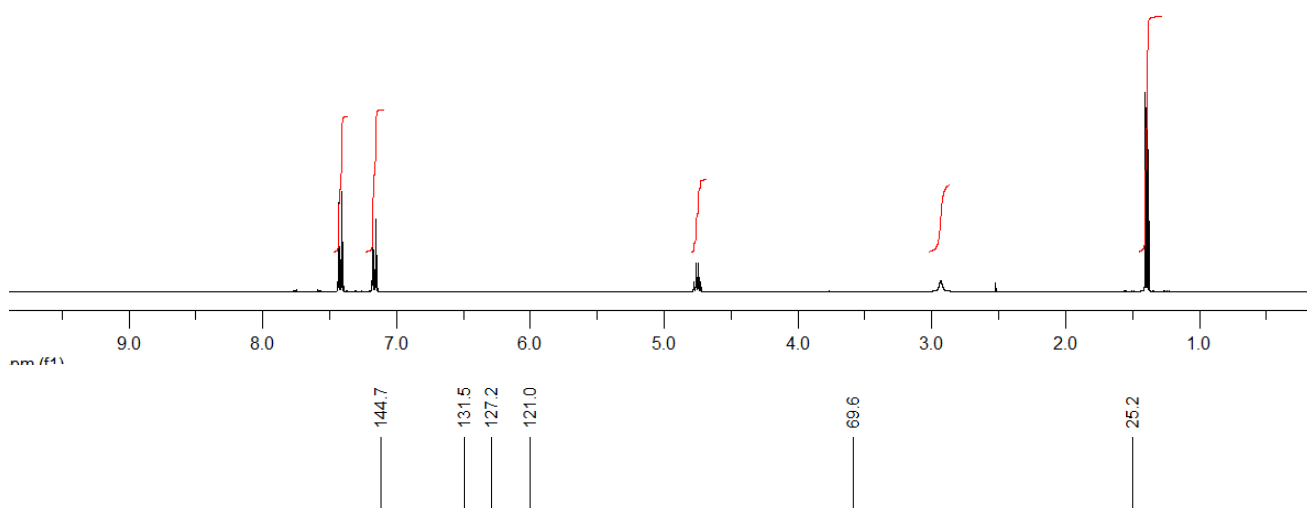
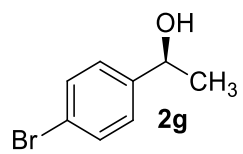




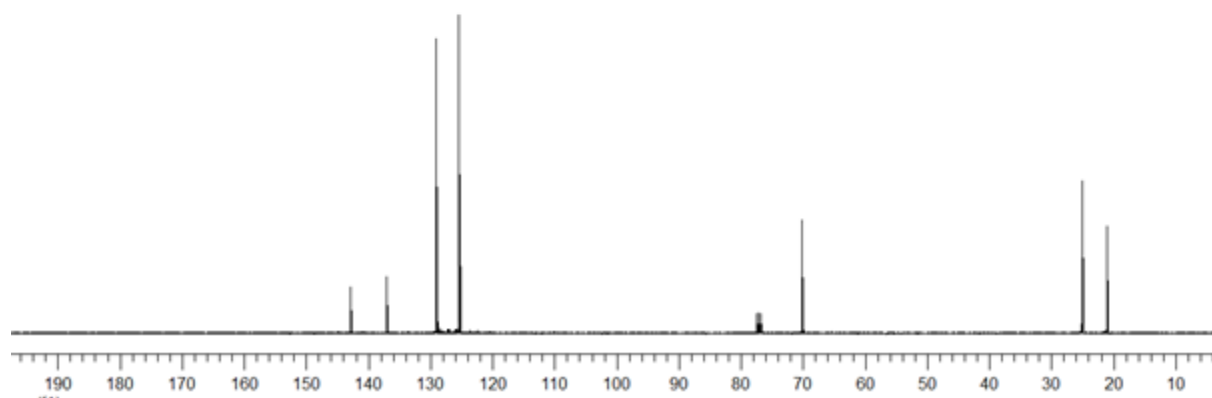
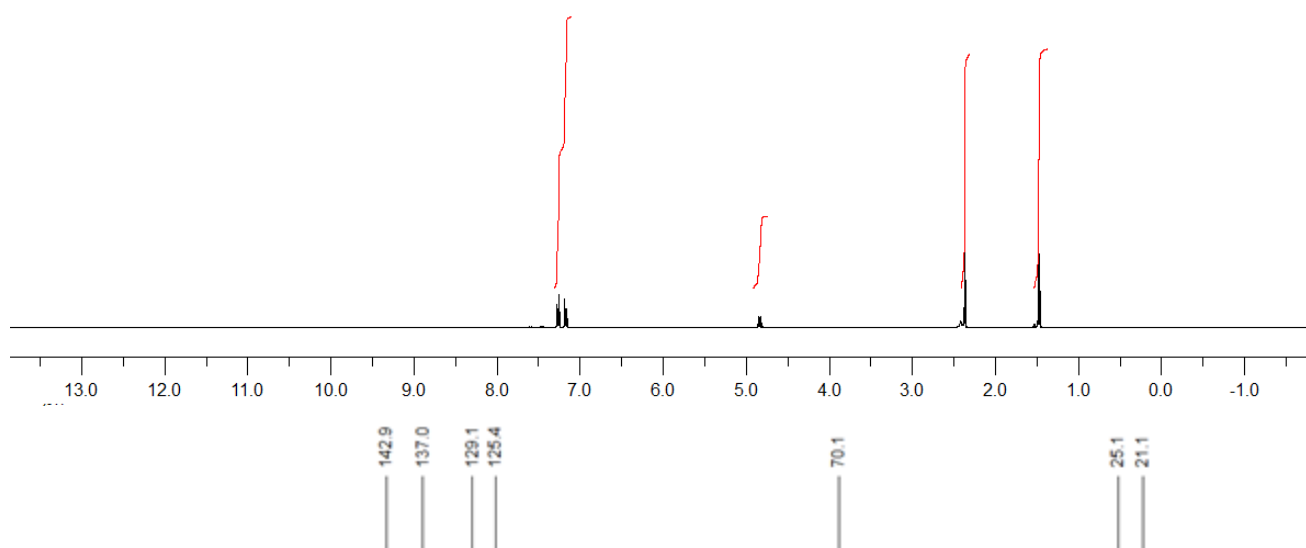
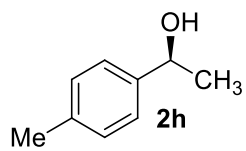


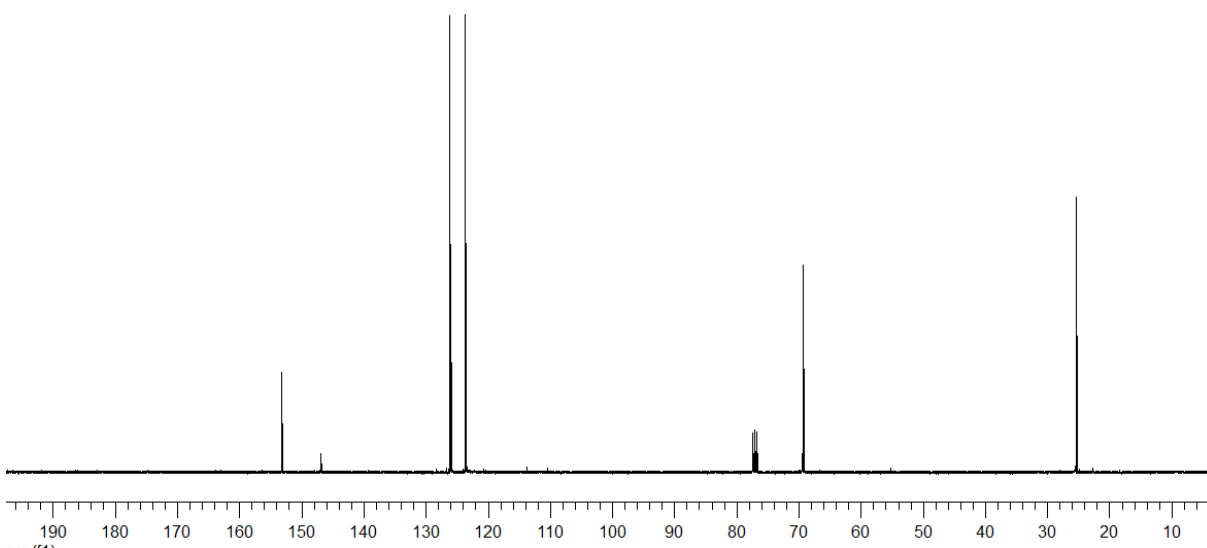
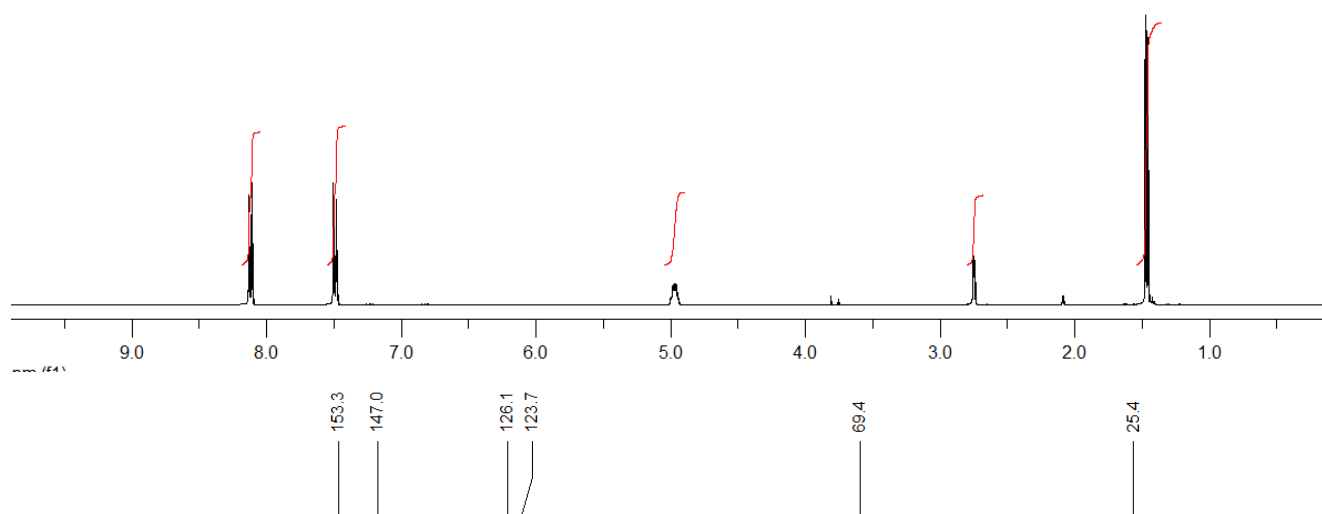
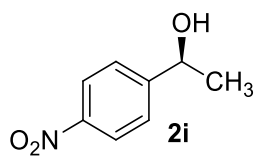


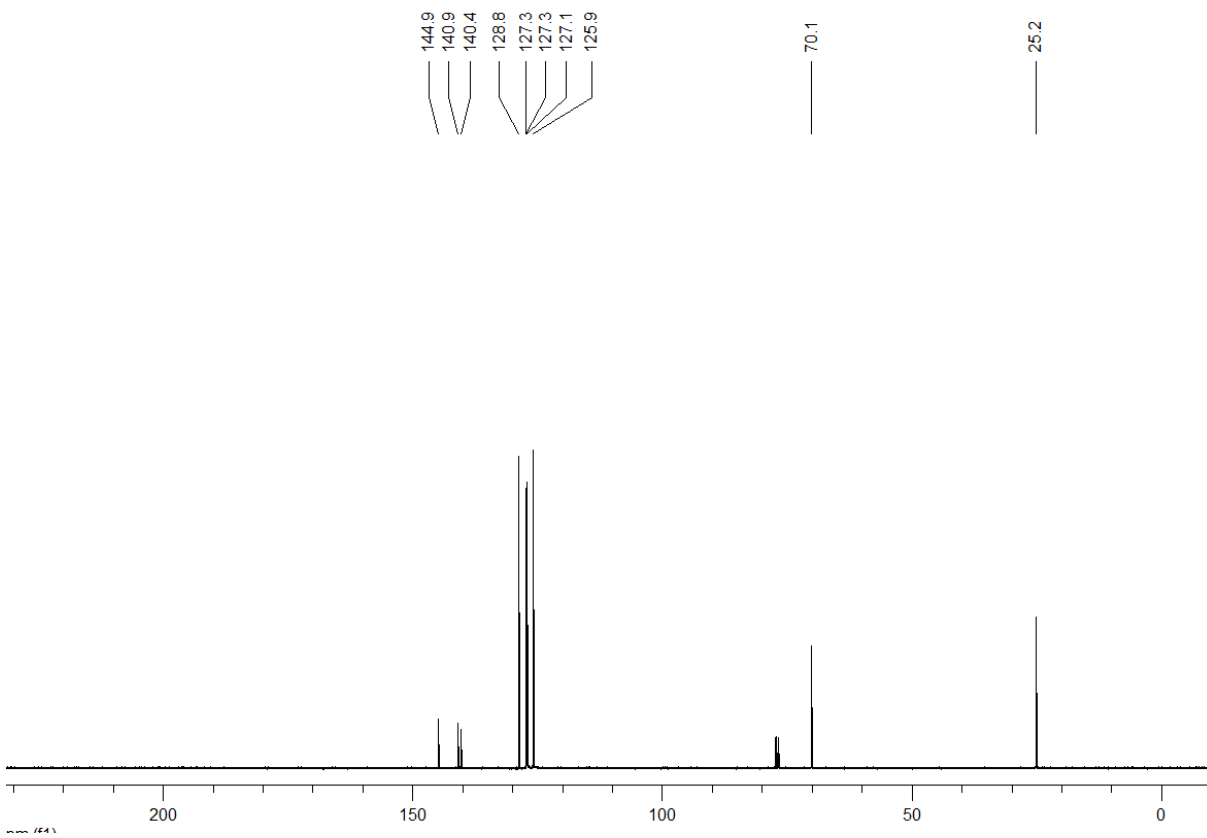
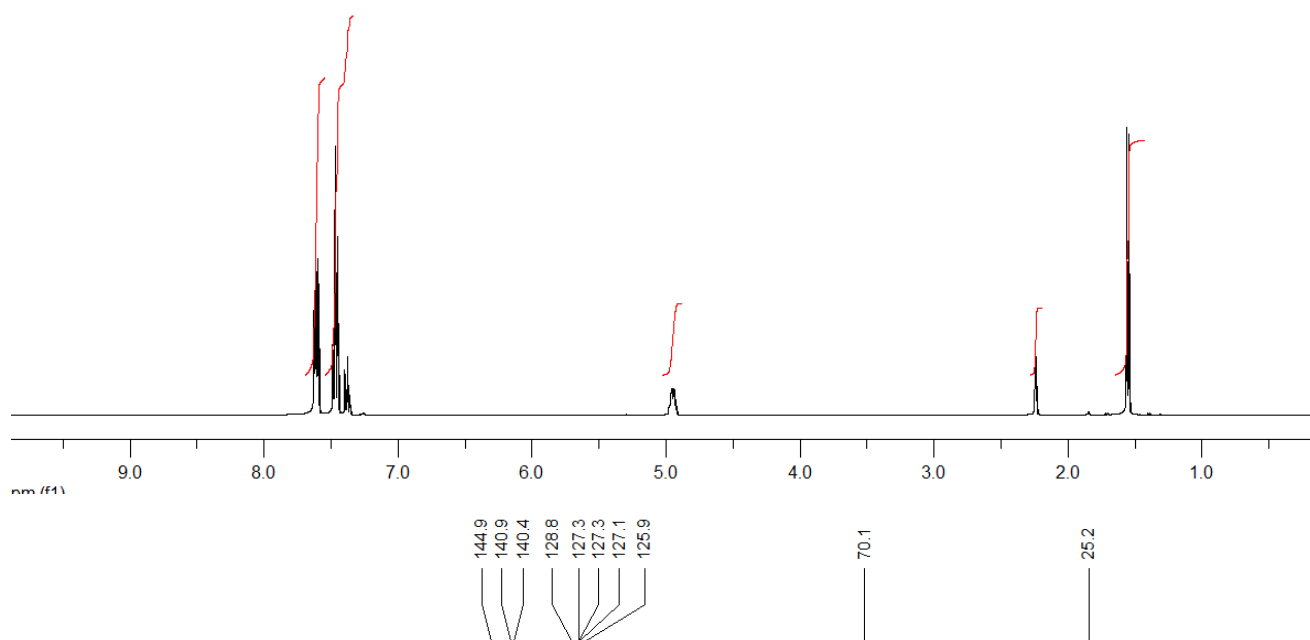
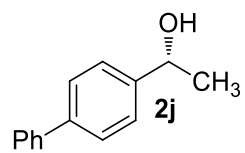












## GA<sub>3</sub> Uygulamalarının Malta Eriği (*Eriobotrya japonica*) Tohumlarının Çimlenmesi ve Çöğür Gelişimi Üzerine Etkileri

Volkan OKATAN\*

Uşak Üniversitesi, Sivaslı Meslek Yüksekokulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bölümü, Uşak

Geliş tarihi/Received 22.03.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 19.07.2017

Kabul tarihi/Accepted 24.07.2017

### Öz

Bu çalışma 2015 yılı vejetasyon döneminde Uşak Üniversitesi, Sivaslı Meslek Yüksekokulunda gerçekleştirildi. Araştırmanın amacı malta eriği üretiminde GA<sub>3</sub>(Gibberellik Asit)'ün farklı dozlarının (0, 100, 200, 300 ppm) tohumlar üzerindeki etkilerini belirlemektir. Çalışmada malta eriğinin "Uzun Çukurgöbek" çeşidinin tohumları kullanıldı. Tohumlar katlamaya alınmadan önce 24 saat GA<sub>3</sub> (kontrol, 100, 200 ve 300 ppm) uygulamalarının içinde bekletilmiş daha sonra 3.6±1.0 °C'de katlamaya alındılar ve 60 gün katlamada bekletildiler. Daha sonra torf dolu viyollere dikimleri yapıldı ve dikimden 45 gün sonra elde edilen fidelerde çimlenme oranlarına ve bitkisel özelliklerine bakıldı. Çalışma sonunda tüm GA<sub>3</sub> uygulamalarında fide randımanı kontrol uygulamasına göre arttığı görüldü. GA<sub>3</sub> uygulamalarının etkileri kalite parametreleri üzerinde farklı şekilde ortaya çıktığı saptandı. Uygulamalar içerisinde tüm konularda en yüksek değere 300 ppm uygulamasında ulaşılmış en düşük değer ise gövde çapı hariç kontrol grubunda görüldü.

**Anahtar kelimeler:** Malta eriği, GA<sub>3</sub>, katlama, kök uzunluğu, kök genişliği.

## The Effects of GA<sub>3</sub> Applications on Germination and Seedling Development of Loquat (*Eriobotrya japonica*) Seeds

### Abstract

This study was carried out during 2015 vegetation periods at the Uşak University, Sivaslı Vocational School. The aim of study, is to determine the effects of GA<sub>3</sub> doses (0, 100, 200, 300 ppm) on plant quality of loquat seeds. The seeds of the "Uzun Çukurgöbek" varieties of loquat were used in the study. Seeds 24 hours before folding in the GA<sub>3</sub> (Control, 100, 200 and 300 ppm) application were then folded at 3.6±1.0 °C and they waited for 60 days over there. Then they were planted with full turf pots and germination rate and plant characteristics of the seedlings obtained after 45 days of planting. At the end of the study, seedling yield increased in all GA<sub>3</sub> application compared to control application. The effects of GA<sub>3</sub> application emerged differently on quality parameters. The highest value in all treatments was found in the application of 300 ppm, while the lowest value was observed in the control group except for the trunk diameter.

**Keywords:** Loquat, GA<sub>3</sub>, folding, root length, root width.

\* Volkan OKATAN, okatan.volkan@gmail.com, Tel: (0276) 221 21 56

## 1. Giriş

Malta eriği (*Eriobotrya japonica*) Rosaceae familyasının en iyi bilinen türlerinden bir tanesidir. Anavatanı Japonya ve Çin olup hem taze hem de işlenmiş olarak tüketilmektedir. Yaprakları ve meyvelerinde bulunan bileşikler sayesinde geleneksel tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır (Lin et al. 1999). Geleneksel Çin tıbbında malta eriğinin yaprakları öksürük, kronik bronşit, balgam giderme, yüksek ateş düşürme gibi rahatsızlıklarda kullanıldığı görülmektedir (Perry, 1980).

Malta eriği bitkileri hemen hemen bütün toprak şartlarına iyi bir şekilde adaptasyon göstermektedirler. Ancak topraktaki tuzluluk bitki büyümesini olumsuz etkilemektedir (Morton, 1987; Lin et al., 1999). Malta eriği tohumları çimlenmede genel olarak sıkıntı yaşarlar ve çimlenme oranları düşüktür. Bu yüzden anaç olarak genellikle ayva kullanılmaktadır (El-Dengawy ve El-Refaey, 2005).

Kök sistemi, çoğunlukla 25-30 cm derinlikte, yüzlek ve dağınık saçak kök yapısındadır. Bunun yanında kuvvetli bir kök yapısına sahiptir. Malta eriği, 5-6 m boyunda, düzgün gövdeli, alçaktan dallanan, sık görünümlü, yayvan ile yuvarlak arasında taç yapısına sahiptir. Yaprakları 12-40 cm uzunlukta sert ve kısa saplıdır (Anonim, 2016).

Tohumlarda çimlenmeyi sağlamak, hızlandırmak veya çimlenen tohum miktarını arttırmak amacı ile çimlenme öncesi bazı ön uygulamaların yapılması gerektiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Mekanik aşındırma, kimyasal aşındırma, soğuk ve/veya sıcak katlama, tohumların suda ıslatılması, GA<sub>3</sub> uygulaması, kuru saklama, sıcaklık uygulamaları, ışık uygulamaları bu uygulamalardan bazılarıdır (Kaşka ve Yılmaz, 1987; Hartmann vd., 1990; Başal vd., 1991).

Gibberellinler 1920'li yıllarda Japon bilim adamları tarafından Gibberella fujiuroi (*Fusarium moniliforme*) üzerinde yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmış olsa da asıl tanımlanmaları 1950'lerde İngiliz ve

Amerikalı bilim adamları tarafından yapılmış ve "Gibberellin" (GA) adını almışlardır (Palavan-Ünsal, 1993; Taiz ve Zieger, 2008). GA'ların esas hormonal fonksiyonları boyuna büyümenin teşviki, çimlenen tohumlarda hidrolitik enzimleri uyarması, uzun gün bitkilerinde gövde uzaması ve çiçeklenmeyi teşvikidir. Diğer taraftan, pek çok GA'in esas görevi bilinmemektedir (Rademacher, 2000).

Malta eriği ülkemizde çoğunlukla Akdeniz kıyı kuşağında yetiştirilen bir meyve türüdür. Ülkemizde toplam üretimi TÜİK verilerine bakıldığında 12 bin tonun üzerinde olduğu görülmektedir. Bu üretimin yarısından fazlası Antalya bölgesinden, bir kısmı Çukurova'dan ve geri kalan kısmı da Hatay ve Muğla civarlarından karşılır (TÜİK, 2016).

Bu çalışmanın amacı çimlenmede sıkıntı yaşayan malta eriğinin farklı GA<sub>3</sub> uygulamaları yaparak çimlenme oranlarını ve yavru bitki özelliklerinin gözlemlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metod

Bu araştırma Uşak Üniversitesi Sivaslı Meslek Yüksekokulunda yürütüldü. Araştırma materyali olarak malta eriği (*Eriobotrya japonica*) bitkisinin Uzun Çukurgöbek çeşidi tohumları kullanıldı. Çalışmada katlama yapılmadan önce 14 Mayıs 2015 tarihinde tohumlar 0 (kontrol), 100 ppm, 200 ppm ve 300 ppm GA<sub>3</sub> solüsyonlarda 15 Mayıs 2015 tarihine kadar 24 saat bekletildi. 15 Mayıs günü buzdolabı poşetlerine alınan tohumlar buzdolabında 3.6±1.0 °C de 45 gün katlamada bekletildi ve 29 Haziran 2015 günü katlamadan çıkartılarak torf dolu viyollere dikilerek iklim odasına alındı. Bitkilerin çimlenmesi günlük olarak takip edildi. 29 Ağustos 2015 tarihinde bitkiler viyollerden alınarak laboratuvar ortamında fiziksel ölçümleri yapıldı. Fiziksel ölçüm olarak bitkilerde; gövde boyu (cm), çögür gövde çapı (mm), kazık kök çapı (mm), kazık kök boyu (cm), yan kök sayısı (adet), yaprak sayısı (adet), yaprak uzunluğu ve genişliği (mm), gövde kuru ağırlığı (%) ve kök kuru ağırlığı (%) belirlendi. Gövde ve

köklerin kuru ağırlıkları 29 Ağustos 2015 tarihinde laboratuvar ortamında kurutma kağıtlarına bırakıldı ve 29 Eylül 2015 tarihinde ölçümleri yapıldı. Denemeler tesadüf bloklarında 4 tekerrürlü olarak kuruldu ve her tekerrürde 6 bitki kullanıldı.

### 2.1. İstatistik Analiz

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SPSS 20 programı kullanıldı. Tek yönlü

varyans analizi yapılan verilere ortalamaların karşılaştırılması için 'Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi' uygulandı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda çimlenme oranlarına bakıldığında uygulamalar arasında istatistik olarak önemli ( $P<0.05$ ) fark olduğu belirlendi (Tablo 1).

**Tablo 1.** Haftalara göre çimlenme sayıları ve toplam çimlenme yüzdesi.

Haftalar	0 (30 tohum)	100 ppm (30 tohum)	200 ppm (30 tohum)	300 ppm (30 tohum)
1. Hafta	0	0	0	0
2. Hafta	0	0	0	0
3. Hafta	0	0	0	3
4. Hafta	0	1	7	10
5. Hafta	0	6	12	6
6. Hafta	8	9	2	8
7. Hafta	1	2	2	3
Toplam Çimlenme	9 (%30)	18 (%60)	23 (%77)	30 (%100)

Tohumlarda çimlenme en erken üçüncü haftada başlayıp yedinci haftada 300 ppm uygulamasında % 100'e ulaştı. Çimlenme oranlarında en yüksek değerler sırasıyla 300 ppm uygulaması (%100), 200 ppm (% 77), 100 ppm (% 18) ve en düşük değer ise kontrol (% 9) olarak ortaya çıktı.

Kimyasal uygulamaların yanı sıra tohumların katlanılarak çimlenme oranlarının belirlenmesi üzerinde çalışan Ak (1988), *Pistacia vera* tohumlarını 20, 40 ve 60 gün sürelerle katladığını, bu sürelerde sırasıyla. % 81.4, % 90 ve % 90 oranlarında çimlenme elde ettiğini, buna karşılık tanık olarak kullanılan tohumlarda ise bu oranın % 63.3 olduğunu belirtmiştir. Aynı araştırmacı, antep fıstığı tohumlarında en yüksek çimlenmenin 100 gün katlanan tohumlardan % 80 oranında alındığını belirtmiştir. Ak vd. (1993), Siirt (Antep Fıstığı) çeşidinin tohumlarına 24 ve 48 saat süreyle 0, 125, 250, 500 ve 1000 ppm'lik GA<sub>3</sub> uygulamışlardır. En yüksek tohum çimlenmesi 48 saat süreyle 125 ppm GA<sub>3</sub> çözeltisinde tutulan tohumlarda %73.33 olarak saptanmıştır. Araştırmacılar, fidanlardaki

en uzun boğum arasını ve fidan boyunu 48 saat süreyle 1000 ppm GA<sub>3</sub> uygulamalarından ve en sağlıklı çöğürlerin ise 250-500 ppm'lik GA<sub>3</sub> uygulamalarından elde edildiğini belirtmişlerdir. *Juniperusoxycedrus* L. Üzerinde çalışan Köse (1997) ön üşütme, katlama, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve GA<sub>3</sub>'ün farklı uygulama süre ve dozlarından 28 farklı kombinasyon oluşturmuş ve çimlendirme öncesi tohumlara uygulamıştır. Araştırmacı tohumlara yaptığı uygulamalara göre çimlenme oranlarının %3 ila % 62 arasında değişim gösterdiğini ve en yüksek çimlenme oranını 20 °C' de 60 gün sıcak katlama + 4 °C' de 60 gün soğuk katlama uygulamalarından oluşturduğu kombinasyondan elde ettiğini bildirmektedir. El-Dengawy ve El-Refaey (2005) yaptıkları bir çalışmada malta erikleri tohumlarına farklı dozlarda GA<sub>3</sub> uygulaması yapmışlar ve ortalama % 80 ve 85 oranında çimlenme oluşmuştur.

Çalışmamızda çöğürlerin fiziksel gelişimlerine bakıldığında uygulamalar arasında istatistik olarak önemli ( $P<0,05$ ) fark olduğu belirlendi (Tablo 2).

**Tablo 2.** Elde edilen çöğürlerin fiziksel ölçümleri.

Uygulama	Gövde Boyu (mm)	Gövde Çapı (mm)	Kazık Kök Çapı (mm)	Kazık Kök Boyu (mm)	Yan Kök Sayısı	Yaprak Sayısı	Yaprak Genişliği (mm)	Yaprak Uzunluğu (mm)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Kuru Ağırlığı (g)	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlığı (g)
0	51.07 a	1.49 a	0.59 a	39.42 b*	14.11 b	2.67 a	16.42 b	32.85 b	0.25 b*	0.09 b	0.04 b	0.02 c
100ppm	53.48 a	1.56 a	0.60 a	52.41 a	21.78 b	2.78 a	18.89 b	37.79 b	0.31 b	0.13 b	0.06 ab	0.03bc
200ppm	55.33 a	1.37 a	0.67 a	48.38 ab	41.00 b	3.00 a	22.13 ab	40.55 ab	0.37 b	0.16 b	0.07ab	0.04 ab
300ppm	61.83 a	1.51 a	0.73 a	53.45 a	78.00 a	3.33 a	27.36 a	51.94 a	0.57 a	0.24 a	0.09 a	0.05 a

\*Aynı sütunda, farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark  $p \leq 0.05$  seviyesinde önemlidir.

GA<sub>3</sub> uygulamalarının malta eriğinde çöğür gelişimi bakımından gövde boyu, gövde çapı, kazık kök çapı ve yaprak sayısı bakımından istatistiki olarak önemli olmadığı ancak kazık kök boyu, yan kök sayısı, yaprak genişliği ve yaprak uzunluğu bakımından önemli olduğu belirlendi. Gövde boyu en düşük kontrol grubunda 51.07 mm ve en yüksek 300 ppm uygulamasında 61.83 mm olarak elde edildi. Gövde çapı değerlerine bakıldığında en düşük 200 ppm uygulamasında 1.37 mm en yüksek değer ise 300 ppm grubunda 1.51 mm olarak elde edildi. Çöğürlerdeki kazık kök çapına bakıldığında en düşük değer kontrol grubunda 0.59 mm en yüksek değer ise 300 ppm uygulamasında 0.73 mm olarak elde edildi. Uygulamalar sonunda kazık kök boyu değeri en düşük kontrol grubunda 39.42 mm en yüksek ise 300 ppm uygulamasında 53.45 mm oldu. Yan kök sayısı bakımından en düşük ortalama 14.11 adet ile kontrol grubundan en yüksek değer ise 300 ppm uygulamasında ortalama 78 adet olarak bulundu. Uygulamalar sonunda en düşük yaprak sayısı kontrol grubundan 2.67 adet ve en yüksek değer ise 300 ppm uygulamasında 3.33 adet olarak belirlendi. Yaprak genişliği en düşük kontrol grubunda 16.42 mm en yüksek değer ise 27.36 mm ile 300 ppm uygulamasından elde edildi. Yaprak uzunluğundan ise en düşük değer 32.85 mm ile kontrol grubundan en yüksek değer ise 300 ppm uygulamasında 51.94 mm olarak bulundu. Gövde yaş ağırlığı en düşük kontrol grubunda 0.25 g en yüksek ise 300 ppm uygulamasında 0.57 g olarak bulundu. Gövde kuru ağırlığında ise en düşük 0.09 g, en yüksek değer ise 0.24 g olarak tespit edildi. Çöğürlerdeki köklerin yaşken en düşük ağırlıkları kontrol grubundan 0.04 g en yüksek ise 300 ppm uygulamasında 0.09 g, köklerin kuru ağırlıklarından ise en düşük

yine kontrol grubundan 0.02 g ve en yüksek yine 300 ppm uygulamasında ortalama 0.05 g olarak elde edildi. Tüm bu değerlere bakıldığında 300 ppm uygulaması incelenen tüm özelliklerde en yüksek değerlere ulaştı. Kontrol grubu ise genel olarak en düşük değerlere sahip oldu.

El-Dengawy ve El-Refaey (2005) yaptıkları bir çalışmada malta Erikleri tohumlarına farklı dozlarda GA<sub>3</sub> uygulaması yapmışlar ve ortalama çöğür uzunluğu 12.1 - 18.9 mm arasında elde etmişlerdir. Beyhan vd. (1999)'nin fındık tohumlarında yaptıkları bir araştırmaya göre fındık tohumlarına katlama yapılmadan önce GA<sub>3</sub> uygulaması yapılmış buna göre elde edilen çöğürlerde; en yüksek gövde boyu 100 ve 200 ppm uygulamalarında (17.00 mm), gövde çapı kontrol grubunda (6.2 mm), kazık kök çapı en yüksek kontrol grubunda (7.7 mm), kazık kök boyu en yüksek 50 ppm uygulamasında (19.7 mm), yan kök sayısı en yüksek 200 ppm uygulamasında (35 adet), gövde kuru ağırlığı oranı en yüksek kontrol grubunda (% 57) ve kök kuru ağırlığı oranı en yüksek kontrol grubunda (% 56) olarak elde edilmiştir. Malta eriğinin tohumlarının çimlenmesi ile ilgili çok fazla literatür bulunmamaktadır. Yaptığımız çalışma ile diğer literatürleri karşılaştırdığımızda bizim elde ettiğimiz sonuçların daha iyi çıktığı belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç

Malta eriğinde katlamadan önce yapılan GA<sub>3</sub> uygulamalarında hem çimlenme üzerine hem de çöğür gelişimi üzerine 300 ppm uygulamasının çok etkili olduğu belirlendi. GA<sub>3</sub> uygulaması yapılmayan tohumların ise

hem çimlenme oranının düşük olduğu hem de çöğür gelişiminin zayıf olduğu görüldü.

## 5. Kaynaklar

- Ak, B.E., 1988. Bazı Pistacia Tohumlarının Çimlenmeleri Üzerinde Araştırmalar. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitk. Ana Bilim Dalı Kod No: 297 Adana.
- Ak, B. E., Özgüven, A. I., Nikpeyma, Y., 1993. Antepfıstığında GA<sub>3</sub> uygulamalarının ohumların çimlenmeleri ve çöğürlerinin büyümeleri üzerine etkileri. Ç.Ü.Z.F. Dergisi, 8,(2):69-80, Adana.
- Anonim, 2016. Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Yeni Dünya Yetiştiriciliği. <http://arastirma.tarim.gov.tr/alata/>
- Başal, M., Yazgan, M. E., Perçin, H., Çelem, H., Haleplioğlu, N., 1991. Süs Bitkileri Üretim Tekniği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak., Peyzaj Mimarlığı Bölümü, A.Ü. Yayınları, Yayın No:1232, Ankara.
- Beyhan, N., Marangoz, D., & Demir, T., 1999. GA<sub>3</sub> Ve Katlama Uygulamalarının Fındıkta Tohum Çimlenmesi ile Açıkta ve Tüplü Çöğür Gelişimi Üzerine Etkisi. J., Agric., Fac. O.M.U. 14 (3):54-64.
- Durmuş, E ve Yiğit, A. 2003., "Türkiye'nin meyve üretim yöreleri. "Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (Fırat University Journal of Social Science) 13. 2: 23-54.
- El-Dengawy, El-Refaey FA., 2005. "Promotion of seed germination and subsequent seedling growth of loquat (*Eriobotrya japonica*, Lindl) by moist-chilling and GA<sub>3</sub> applications." Scientia horticulturae 105.3: 331-342.
- Hartmann T. H., Kester E. D., Davies T. F. & Geneve L. R., 1990. Plant Propagation. Upper Saddle River, New Jersey, 770s.
- Kaşka, N. ve M. Yılmaz., 1987. Bahçe Bitkileri Yetiştirme Tekniği. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: 52, 219-250.
- Köse, H., 1997. Ege Bölgesinde Doğal Olarak Yetişen Bazı Süs Ağaç Ağaççık ve Çalı Tohumlarının Çimlendirme Yöntemleri Üzerinde Araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Peyzaj Mimarlığı ABD., Bornova, İzmir.
- Lin, S., Sharpe, R.H., Janic, J., 1999. Loquat: botany and horticulture. Hort. Rev. 23, 233-276.
- Palavan-Ünsal, N., 1993. Hormonlar ve meyvelenme. Bitki büyüme maddeleri. İstanbul Üniv. Basım Evi ve Film Merkezi., Üniversite Yayın No:3677, 197-211.
- Perry L. M., 1980. "Medicinal Plants of East and Southeast Asia," MIT press, Cambridge, pp. 342-343.
- Rademacher, W., 2000. Growth Retardants: Effect on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. Plant Physiol., Plant Mol. Biol., 51:501-531.
- Taiz L., Zieger E., 2008. Bitki Fizyolojisi (Üçüncü baskıdan çeviri; Çeviri editörü İsmail Türkan). Palme Yayıncılık. 689s. Ankara.



## Geliştirilmiş Dalgarno-Lewis Pertürbasyon Yöntemiyle Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemlerin Enerji Düzeylerinin Hesaplanması

Serhat Fevzi ÖZEREN\*

Hitit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 19030, Çorum  
Hitit Üniversitesi, Bilimsel Teknik Uygulama ve Araştırma Merkezi (HÜBTUAM), 19030, Çorum

Geliş tarihi/Received 11.04.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 03.07.2017

Kabul tarihi/Accepted 24.07.2017

### Öz

*Bu çalışmada, geliştirilmiş Dalgarno-Lewis pertürbasyon yöntemi üzerinde durulmaktadır. Enerji düzeylerinin ve dalga fonksiyonlarının hesabıyla ilgili işlemci tanımlanmaktadır. Elde edilen işlemci yardımıyla birinci ve ikinci mertebeden düzeltme terimleri hesaplanmaktadır. Simetri hesaba katıldığında yöntemin nasıl uygulanacağı ve elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.*

**Anahtar kelimeler:** Cebirsel yöntemler, Kuantum mekaniği, Pertürbasyon yöntemi

## Calculation of Energy Levels of The Linear and Non-Linear Systems By Means of The Emprored Dalgarno-Lewis Perturbation Method

### Abstract

*In this study, it has been focused on the emproved Dalgarno-Lewis perturbation method. The operator related to the calculation of energy levels and wave functions are defined. First and second order correction terms are calculated using the obtained operator. When symmetry is considered, how the method will be applied and the results obtained are discussed.*

**Keywords:** Algebraic methods, Quantum mechanics, Perturbation methods

### 1. Giriş

Atomik ya da moleküler bir yapının tam olarak çözümlenebilmesi, ilgili yapıya ait Schrödinger denkleminin tam olarak çözülmesiyle mümkün olabilir. Çoğu durumda Schrödinger denklemini tam olarak çözmek matematiksel olarak mümkün değildir. Böyle durumlarda ilgili Schrödinger denklemini çözmek ve sistemin fiziksel özelliklerini ortaya koymak için birçok yaklaşım yöntemi geliştirilmiştir

(Merzbacher, 1970; Miller ve Good, 1953; Gutzwiller, M.C., 1967; Hugenholtz, N.M., 1957; Maslov, V.P. ve Fedoriuk, M.V., 1981; March, N.H., 1957; Turbiner, A.V., 2016). Bu yaklaşım yöntemlerinden biri olan pertürbasyon yöntemi, atomik ya da moleküler bir sisteme dışarıdan etki eden bozucu bir etkileşmenin (örneğin, elektrik ve manyetik alan gibi), enerji düzeylerine nasıl bir katkı yaptığını ve sistemin dalga fonksiyonunu

\* Serhat Fevzi ÖZEREN, sfözeren@gmail.com, Tel: (0505) 386 46 51, (0364) 219 28 50

nasıl değiştirdiğini ortaya koymada etkili bir yöntemdir (Landau ve Lifshitz, 1977). Bu yöntemde, pertürbasyon serisi denilen bir serideki ikinci, üçüncü ve diğer terimler hesaplanarak, enerji düzeylerinin ve dalga fonksiyonlarının gerçek değere yakın sonuçları elde edilir. Eğer dış etkiler zayıfsa, ikinci mertebeden sonraki terimler ihmal edilecek kadar küçüktür. Bazı durumlarda, ikinci ve üçüncü mertebeye terimlerin hesaplanması oldukça zor olabilmektedir. Dalgarno ve Lewis (1955), ikinci ve üçüncü mertebeye enerjilerin hesaplanmasında özel bir işlemci tanımlayarak pertürbasyon yöntemini geliştirdiler. Bu çalışmada, dejenere olmayan durumlarda zamandan bağımsız pertürbasyon yöntemi üzerinde durulmaktadır. İkinci mertebeye enerji düzeltme teriminin hesaplanmasında, Dalgarno ve Lewis pertürbasyon yönteminin geliştirilmiş bir şekli olan yeni bir yöntem kullanılmaktadır (Balantekin ve Malkus, 2010). Öncelikle, bu yeni yöntemin detayları özetlenmektedir. Daha sonra, zayıf bir dış etkileşme durumunda ikinci mertebeden enerji düzeltme terimi hesaplanmaktadır. Son olarak, harmonik bir dış etki durumunda, sistemin simetrisini göz önüne alarak enerji düzeyleri bulunmaktadır. Sonuç ve tartışma kısmında, yeni yöntemin diğer yöntemlerle karşılaştırması ve kullanılabilirliği üzerinde durulmaktadır.

## 2. Geliştirilmiş Dalgarno - Lewis pertürbasyon yöntemi

Bu çalışmada, Balantekin ve Malkus (2010) tarafından teklif edilen yeni bir işlemci yardımıyla, Dalgarno-Lewis yönteminin geliştirilmiş bir tanımı kullanılmaktadır. İlgili çalışmada geliştirilen yöntem, çekirdeklerde derin kuyu potansiyellerine uygulanmaktadır. Bu çalışmada ise, aynı yöntem doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlere ve harmonik dış etkiler durumunda ki sistemin enerji düzeylerinin hesabında kullanılmaktadır. Bu

kısımda, hesaplamada kullanılan yöntem özetlenmektedir.

İlgili sistemin toplam Hamiltonyeni

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \lambda \hat{U} \quad (1)$$

formundadır. Burada  $\hat{H}_0$ , dejenere olmayan özdeğerlere sahip çözümü bilinen bir Hamiltonyendir:

$$\hat{H}_0 |n\rangle = \epsilon_n |n\rangle \quad (2)$$

$\lambda$  küçük bir parametre,  $\hat{U}$  sisteme dışarıdan etki eden pertürbasyon terimi,  $|n\rangle$  ve  $\epsilon_n$  ise sırayla, çözümü bilinen Hamiltonyenin dalga fonksiyonu ve enerjilerdir. (1) eşitliği için Schrödinger denklemi

$$\hat{H} |\Psi_n(\lambda)\rangle = E_n(\lambda) |\Psi_n(\lambda)\rangle \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Balantekin ve Malkus (2010), çözümü bilinen pertürbe olmamış  $|n\rangle$  hallerini, (3) eşitliğindeki  $|\Psi_n(\lambda)\rangle$  halleri ile ilişkilendiren yeni bir  $\hat{S}_n(\lambda)$  işlemcisini tanımladılar:

$$|\Psi_n(\lambda)\rangle = \hat{S}_n(\lambda) |n\rangle. \quad (4)$$

$\hat{S}_n(\lambda)$  işlemcisi ve  $E_n(\lambda)$  enerjileri  $\lambda$  parametresi cinsinden aşağıdaki gibi seriye açılabilir:

$$\hat{S}_n(\lambda) = \exp(\lambda \hat{A}_n + \lambda^2 \hat{B}_n + \lambda^3 \hat{C}_n + \dots), \quad (5)$$

$$E_n(\lambda) = \epsilon_n + \lambda \epsilon_n^{(1)} + \lambda^2 \epsilon_n^{(2)} + \dots \quad (6)$$

Burada  $\hat{A}_n, \hat{B}_n, \hat{C}_n, \dots$  belirlenecek olan işlemciler ve  $\epsilon_n, \epsilon_n^{(1)}, \epsilon_n^{(2)}, \dots$  ise sırayla sıfırcı, birinci, ikinci, ... enerji düzeltme terimleridir. (3), (5) ve (6) eşitliklerinden

$$[(\hat{S}_n(\lambda))^{-1} \hat{H} \hat{S}_n(\lambda)] |n\rangle = (\epsilon_n + \lambda \epsilon_n^{(1)} + \lambda^2 \epsilon_n^{(2)} + \dots) |n\rangle \quad (7)$$

yazılabilir. (7) eşitliğinin sol tarafını,

$$\exp(-\hat{A}) \hat{B} \exp(\hat{A}) = \hat{A} + \hat{B} - [\hat{A}, \hat{B}] + \frac{1}{2!} [\hat{A}, [\hat{A}, \hat{B}]] - \frac{1}{3!} [\hat{A}, [\hat{A}, [\hat{A}, \hat{B}]]] + \dots \quad (8)$$

Baker-Campbell-Hausdorff (BCH) formülüyle tekrar düzenleyerek, ilk iki enerji

düzeltilme terimi için aşağıdaki ifadeler kolayca elde edilir:

$$(\hat{U} - [\hat{A}_n, \hat{H}_0])|n\rangle = \epsilon^{(1)}_n |n\rangle \quad (9)$$

$$\left(\frac{1}{2}[\hat{A}_n, [\hat{A}_n, \hat{H}_0]] - [\hat{B}_n, \hat{H}_0] - [\hat{A}_n, \hat{U}]\right)|n\rangle = \epsilon^{(2)}_n |n\rangle. \quad (10)$$

$\hat{H}_0$  işlemcisi  $|n\rangle$  bazında köşegen bir matris işlemcisidir.  $\hat{U}$  pertürbasyon terimini Köşegen (K) ve Köşegen Olmayan (KO) terimlerine ayırarak  $\hat{U} = \hat{U}_K + \hat{U}_{KO}$  şeklinde yazılırsa, birinci ve ikinci mertbe enerji düzeltmeleri için aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$\epsilon^{(1)}_n = \langle n | \hat{U}_K | n \rangle \quad (11)$$

$$\epsilon^{(2)}_n = -\frac{1}{2} \langle n | [\hat{A}_n, \hat{U}_{KO}] | n \rangle. \quad (12)$$

Burada  $\hat{U}_{KO} = [\hat{A}_n, \hat{H}_0]$  dir.

Böylece, Balantekin ve Malkus'un (2010) önerdiği geliştirilmiş Dalgarno-Lewis pertürbasyon yöntemiyle enerji düzeltme terimleri için (11) ve (12) eşitlikleri elde edilir. Yukarıda özetlenen yöntemden yararlanarak ilk iki enerji düzeltmesinin hesaplanabilmesi için  $\hat{A}_n$  işlemcisinin bulunması gerekir. İlgili çalışmada, çekirdeklerde derin kuyu potansiyelleri için enerji düzeltmesinin nasıl hesaplandığı yer almaktadır. Bu çalışmada ise, harmonik titreşim yapan bir sistemin (örneğin, iki atomlu bir molekülün düşük sıcaklıklarda titreşimi) doğrusal bir dış etkiye maruz kalması durumunda (örneğin, zayıf dış elektrik alan durumu) ilk iki enerji düzeyinin hesaplanması yapılmaktadır. Daha sonra, doğrusal olmayan dış etki durumunda enerji düzeyleri hesaplanmaktadır.

### 3. Doğrusal zayıf bir etkileşme durumunda harmonik salınıcı

Harmonik salınıcı modeli, teorik fiziğin hemen hemen her alanında yaygın olarak kullanılan bir modeldir (Shankar, 1980). Bu kısımda, harmonik titreşim yapan bir sistemin (örneğin iki atomlu bir molekül) dış etki

durumunda davranışı incelenmektedir. Harmonik titreşim yapan bir fiziksel sistem dışarıdan zayıf bir doğrusal etkiye maruz kaldığında, sistemin Hamiltoniyeni,

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} m \omega^2 x^2 + m \omega^2 c x \quad (13)$$

olarak verilir (Zettili, 2009). Burada c bir sabittir. (13) eşitliği, kuantum mekaniğinde iyi bilinen yoketme ( $a$ ) ve yaratma ( $a^+$ ) işlemcileri cinsinden aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\hat{H} = \frac{\hbar\omega}{2} (aa^+ + a^+a) + \frac{m\omega^2 c}{2\alpha} (a + a^+) \quad (14)$$

Burada  $\alpha = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{1/2}$  dir. (14) eşitliğinde ilk terim, çözümü iyi bilinen harmonik terimdir. İkinci terim ise pertürbasyon terimidir. (1) ve (14) eşitlikleri karşılaştırılırsa,

$$\hat{H}_0 = \frac{\hbar\omega}{2} (aa^+ + a^+a), \quad (15)$$

$$\hat{U} = a + a^+, \quad (16)$$

$$\lambda = \frac{m\omega^2 c}{2\alpha} \quad (17)$$

olduğu kolayca görülebilir.  $\hat{U}$  pertürbasyon işlemcisi  $|n\rangle$  bazında köşegen olmayan bir işlemcidir. Bundan dolayı, (11) eşitliğine göre birinci mertbe enerji düzeltmesinin  $\epsilon^{(1)}_n = 0$  olduğu açıktır. (15), (16) ve  $\hat{U}_{KO} = [\hat{A}_n, \hat{H}_0]$  eşitliklerini kullanarak  $\hat{A}_n$  işlemcisi kolayca bulunabilir:

$$\hat{A}_n = \frac{1}{\hbar\omega} (a - a^+). \quad (18)$$

(18) eşitliği (12) eşitliğinde yazılırsa, ikinci mertbe enerji düzeltmesinin,

$$\epsilon^{(2)}_n = -\frac{1}{\hbar\omega} \quad (19)$$

olduğu görülmektedir. Böylece (6) eşitliğiyle, zayıf dış etkiye maruz kalmış harmonik salıncının enerjileri,

$$E_n = \frac{\hbar\omega}{2}(2n + 1) - \frac{m\omega^2 c^2}{2} \quad (20)$$

olarak bulunur. (20) eşitliğini literatürdeki sonuçla uyumlu olduğu görülebilir (Zettili, 2009).

$$\hat{H} = \frac{\hbar\omega}{2}(aa^+ + a^+a) + \lambda(a^3 + a^{+2}a + aa^+a + a^+a^2 + a^2a^+ + a^{+3} + aa^{+2} + a^+aa^+). \quad (22)$$

İlk terim çözümü bilinen harmonik terimdir. İkinci terim pertürbasyon terimidir ve  $|n\rangle$  bazında tamamen köşegen olmayan elemanlardan oluşmaktadır. Bundan dolayı,

$$\hat{A}_n = \frac{1}{\hbar\omega} \left( \frac{1}{3}a^3 - aa^{+2} + a^2a^+ + aa^+a + a^+a^2 - a^{+3} - a^+aa^+ - a^{+2}a \right). \quad (23)$$

Böylece, (12) eşitliği yardımıyla ikinci mertebeye enerji düzeltmesi detaylı bir hesaplamayla aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\epsilon^{(2)}_n = -\frac{1}{2\hbar\omega} \left[ \frac{189}{3}n^2 + \frac{195}{3}n + 28 \right]. \quad (24)$$

$$E_n = \frac{\hbar\omega}{2}(2n + 1) - \frac{\hbar^3 d^3}{8m^3 \omega^3} \left[ \frac{189}{3}n^2 + \frac{195}{3}n + 28 \right]. \quad (25)$$

### 5. Harmonik dış etki altında üç-boyutlu harmonik salıncı

Son olarak, bu kısımda, dış etkinin harmonik olması durumunda üç-boyutlu bir salıncının enerji düzeyleri hesaplanmaktadır. Üç-boyutlu harmonik salıncının simetrisi SU(1,1) Lie grubuyla ilgilidir ve baz fonksiyonu olarak su(1,1) Lie cebirinin bazı alınmalıdır (Wybourne, 1974). Sistemin Hamiltonyeni

$$\hat{H} = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 r^2 + \lambda\hat{U} \quad (26)$$

### 4. Doğrusal olmayan etkileşmelerde enerji düzeyleri

Bu kısımda, zayıf dış etkinin doğrusal olmaması durumunda enerji düzeylerinin nasıl hesaplanacağı tartışılmaktadır. Sistemin Hamiltonyeni

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 + dx^3 \quad (21)$$

şeklinde verilebilir. Burada d, küçük bir parametredir. Yoketme ve yaratma işlemcileri cinsinden (21) eşitliği tekrar yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir:

(11) eşitliğine göre birinci mertebeye enerji düzeltmesi  $\epsilon^{(1)}_n = 0$  olarak bulunur.  $\hat{U}_{KO} = [\hat{A}_n, \hat{H}_0]$  eşitliğini sağlayan  $\hat{A}_n$  işlemcisi kolayca hesaplanabilir:

(24) eşitliği ile birlikte düzeltilmiş enerji düzeyleri hesaplanırsa aşağıdaki sonuç elde edilir:

olarak verilir. Burada  $\hat{U} = r^2$  pertürbasyon terimidir. (26) eşitliği pertürbasyon yöntemi kullanılmadan çözümü kolayca yapılabilen bir Hamiltonyen olsa da, bu çalışmada kullanılan yöntemin daha farklı potansiyellere genişletilebileceğini görmek açısından önemlidir. (26) eşitliği, su(1,1) Lie cebirinin işlemcileri cinsinden yazılabilir (Wybourne,

1974). Üç-boyutta yoketme ve yaratma işlemcileri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$a_j^+ = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{1/2} x_j - i \left(\frac{1}{2m\hbar\omega}\right)^{1/2} p_j \quad (27)$$

$$a_j = \left(\frac{m\omega}{2\hbar}\right)^{1/2} x_j + i \left(\frac{1}{2m\hbar\omega}\right)^{1/2} p_j . \quad (28)$$

Burada  $j= 1,2,3$  değerlerini alınır.  $su(1,1)$  Lie cebirinin işlemcileri ise şu şekilde tanımlanır (Inomata, Kuratsuji ve Gerry, 1992):

$$K_0 = \frac{1}{4} \sum_j (a_j^+ a_j + a_j a_j^+) , K_+ = \frac{1}{2} \sum_j a_j^+ a_j^+ , K_- = (K_+)^+ . \quad (29)$$

(29) işlemcileri arasında aşağıdaki komütasyon kurallarının geçerli olduğu kolayca tespit edilebilir:

$$[K_0, K_{\pm}] = \pm K_{\pm} , [K_+, K_-] = -2K_0 . \quad (30)$$

Bu cebir her elemanıyla komüt olan Casimir işlemcisi ise,

$$C_2 = K_0^2 - \frac{1}{2} (K_+ K_- + K_- K_+) \quad (31)$$

olarak verilir. (29) işlemcileri kullanılırsa (31) eşitliği

$$C_2 = \frac{1}{4} L^2 - \frac{3}{16} \quad (32)$$

olur. Burada  $L$ , yörüngesel açısal momentum işlemcisidir.  $su(1,1)$  cebirinin bazı,  $|k, n\rangle$  şeklinde  $k$  ve  $n$  sayılarıyla verilir. Bu bazda

$$C_2 |k, n\rangle = k(k-1) |k, n\rangle \quad (33)$$

özdeğer eşitliği geçerlidir. Burada  $k = \frac{1}{2}(\ell + \frac{3}{2})$  Bargmann indeksidir.  $n = k, k+1, k+2, \dots$  değerlerini alır.  $\ell$ , açısal momentum kuantum sayısıdır. Bu bazda (29) işlemcileri için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir:

$$K_0 |k, n\rangle = n |k, n\rangle , K_{\pm} |k, n\rangle = \sqrt{(n \pm k)(n \mp k \pm 1)} |k, n \pm 1\rangle . \quad (34)$$

Böylece,  $su(1,1)$  Lie cebirinin işlemcileri cinsinden (26) Hamiltonyeni aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\hat{H} = 2\hbar\omega K_0 + \frac{\hbar}{m\omega} (K_+ + K_- + 2K_0) . \quad (35)$$

Burada birinci terim, çözümü bilinen pertürbe olmamış Hamiltonyen ve ikinci terim ise pertürbe olmuş Hamiltonyendir. (34) eşitliğinden sadece  $K_0$  işlemcisinin köşegen olduğu görülmektedir. Böylece,  $\hat{U}_{KO} = [\hat{A}_n, \hat{H}_0]$  eşitliğinden,

$$\hat{A}_n = -\frac{1}{2m\omega^2} K_+ + \frac{1}{2m\omega^2} K_- \quad (36)$$

elde edilir. (11) eşitliğiyle birinci mertebe enerji düzeltmesi hesaplanır:

$$\epsilon_n^{(1)} = \left\langle k, n \left| \frac{2\hbar}{m\omega} K_0 \right| k, n \right\rangle = \frac{2\hbar}{m\omega} n . \quad (37)$$

(12) eşitliği ile ikinci mertebe enerji düzeltmesi hesaplanırsa aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\epsilon_n^{(2)} = -\frac{\hbar}{m^2\omega^3} n . \quad (38)$$

Son olarak, (37) ve (38) eşitliklerinden, düzeltilmiş enerji düzeyleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E_n = \left\{ 2\hbar\omega + \frac{2\hbar^2}{m^2\omega^2} - \frac{\hbar^3}{m^4\omega^5} \right\} n . \quad (39)$$

## 6. Sonuç ve tartışma

Bu çalışmada, Dalgarno-Lewis pertürbasyon yönteminin geliştirilmiş bir formülasyonu üzerinde duruldu. Yöntem kısaca özetlendikten sonra, harmonik titreşim yapan sisteme dış etki olarak katılan pertürbasyon terimlerinin, sistemin enerji düzeylerine katkıları, birinci ve ikinci mertebeden yaklaşımlarla hesaplandı. Pertürbasyon olarak doğrusal, kuadratik ve kübik terimler incelendi. Harmonik salınıcı modeli, iyi bilinen temel bir modeldir. Atomik sistemler düşük sıcaklıklarda harmonik titreşimler yaparlar. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda harmonik olmayan etkileşimler kendini gösterir. Burada çalışılan yöntem, daha yüksek mertebeden pertürbasyonlara da uygulanabilir. Örneğin iki atomlu bir molekül için, molekülün titreşim düzeylerini en iyi tasvir eden potansiyel Morse potansiyelidir. Molekül bir elektrik ya da manyetik alana maruz kalırsa enerji düzeyleri değişir. Bu değişim burada çalışılan yöntem kullanılarak hesaplanabilir. Geliştirilmiş Dalgarno-Lewis yöntemiyle burada sadece ikinci mertebeye kadar olan düzeltmeler hesaplandı. Dış etkinin durumuna göre, üçüncü ve daha yüksek terimleri hesaplamak da mümkündür. Ayrıca, (4) ve (5) eşitlikleri, pertürbe durumda sistemin dalga fonksiyonlarını hesaplamaya izin verir. Böylece, incelenen sisteme ait tüm fiziksel parametreler (bulunma olasılıkları, termodinamik değişkenler, vb.) hesaplanabilir.

### Katkı belirtme

Bu çalışma, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FEF01.13.002 Nolu proje ile desteklenmiştir.

## 7. Kaynaklar

- Balantekin, A.B. ve Malkus, A., 2010. Dalgarno-Lewis method revisited, arXiv:1012.4783v1.
- Dalgarno, A. ve Lewis, J.T., 1956. The exact calculation of long-range forces between atoms by perturbation theory,

Proceedings of The Royal Society of London, Series A, 233, 70-74.

- Gutzwiller, M.C., 1967. Phase-integral approximation in momentum space and the bound states of an atom, Journal of Mathematical Physics, 8, 1979.
- Hugenholtz, N.M., 1957. Perturbation theory of large quantum systems, Physica, 23, 481.
- Inomata, A., Kuratsuji, H. ve Gerry, C.C., 1992. Path integrals and coherent states of SU(2) and SU(1,1), World Scientific, Singapore, 318s.
- Landau, L.D. ve Lifshitz, E.M., 1977. Quantum mechanics, Pergamon Press, Exeter, 677s.
- March, N.H., 1957. The Thomas-Fermi approximation in quantum mechanics, Advances in Physics, 6, 1-101.
- Maslov, V.P. ve Fedoriuk, M.V., 1981. Semi-classical approximation in quantum mechanics, D.Reidel Publishing, London, 307s.
- Merzbacher, E., 1970. Quantum mechanics, Wiley, NY, 621s.
- Miller, S.C. ve Good, R.H., 1953. A WKB-type approximation to the Schrödinger equation, Physical Review, 91, 174.
- Shankar, R., 1980. Principles of quantum mechanics, Plenum, NY, 676s.
- Turbiner, A.V., 2016. One-dimensional quasi-exactly solvable Schrödinger equations, Physics Report, 642,1.
- Wybourne, B.G., 1974. Classical groups for physicists, Wiley, NY, 415s.
- Zettili, N., 2009. Quantum mechanics, Wiley, Wiltshire, 674s.

## Türkiye'deki Enerji İçeceği Kullanım Sıklığının Klasik ve Bayesci Meta-analiz Yöntemlerine Göre Belirlenmesi

Esin AVCI

Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Güre Yerleşkesi, Merkez, Giresun

Geliş tarihi/Received 03.04.2017

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 20.07.2017

Kabul tarihi/Accepted 24.07.2017

### Öz

*Enerji içeceği kullanımı genç nüfusta özellikle son yıllarda artış göstermektedir. Bu tür içeceklerin sağlığa faydalarının yanı sıra zararları da bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki enerji içeceği kullanım sıklığını belirlemektir. Bu amaçla Türkiye'de enerji içeceği kullanımıyla ilgili yapılan çalışmalar derlenerek klasik ve Bayesci meta-analizi ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda Bayesci yaklaşımın daha kesin sıklık tahmin değeri verdiği saptanmıştır.*

**Anahtar kelimeler:** Bayes, Enerji içeceği, Meta-analizi, Prevelans, Sıklık

## Determination of Energy Drink Consumption in Turkey by Classical and Bayesian Meta-analysis methods

### Abstract

*The consumption of energy drinks has increased in recent years, especially among the young population. In addition to the health benefits of such beverages, they also have damages. The aim of this study is to determine the frequency of energy drink consumption in Turkey. For this purpose, studies on energy drink consumption in Turkey have been compiled and analyzed by classical and Bayesian meta-analysis. As a result of the analysis, the Bayesian approach was found to give a more accurate frequency estimation value.*

**Keywords:** Bayesian, Energy drink, Meta-analysis, Prevalence, Frequency

### 1. Giriş

Enerji içecekleri, ilk olarak 1949'da şekerli sodalara alternatif olması için Amerikalı bilim adamı Enuf tarafından tanıtılan vitamin ve şeker içerikli içeceklerdir. 1960'lı yıllarda Asya ve Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır (Reissig vd. 2009). Türkiye'de 2006 yılındaki yasal düzenlemeye kadar içerdiği yüksek kafein nedeniyle yasak olan enerji içecekleri,

içeriğindeki kafein miktarının 150 mg/l aşmaması koşulu ile (Türk Gıda Kodeksi Enerji İçecekleri Tebliği, 2006) günümüzde marketlerdeki raflarda yaklaşık 42 marka ile yer almaktadır (Dikici vd. 2012).

Yapılan araştırmalarda fazla enerji içeceği tüketiminin kalp ritim bozukluğu, migren, kaygı

\* Esin AVCI, esinavci@hotmail.com, Tel: (0454) 310 53 63

bozukluğu, uykusuzluk, diğer ilaçlar ile etkileşim ve bağımlılık yarattığı saptanmıştır (Menci vd. 2013, Alsene vd. 2003, Arria 2011, Usman ve Jawaid 2012, Harb vd. 2016, Svatikova vd. 2015).

Türkiye'nin farklı şehirlerinde enerji içeceklerinin kullanımı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Attila ve Çakır (2010) Hacettepe'de eğitim gören üniversite öğrencilerinin enerji içeceği tüketme sıklıklarını ve etki eden faktörleri incelemişlerdir. Hıdıroğlu vd. (2013) Marmara Üniversitesi Tıp öğrencilerinin enerji içeceği tüketim sıklıklarını, alkol ve sigara ile birlikte kullanımının yan etkisi hakkında bilgi sahibi olma durumlarını incelemişlerdir. Arpacı vd. (2010) Ankara'da bulunan üç Üniversitenin Beden Eğitimi öğrencileri üzerine yaptığı araştırmada, öğrencilerin enerji ile spor içecekleri arasında ayırım yapabilme durumunu ve bilgisini ele almışlardır. Kayapınar ve Özdemir (2016) Honaz meslek yüksekokulu öğrencilerinin enerji içeceği hakkında bilgilerini ve tüketim alışkanlıklarını incelemişlerdir. Bahadır (2013) Tıp uzmanlık tezinde Trakya üniversitesinde eğitim gören üniversite öğrencilerinin enerji içeceği tüketim özellikleri ve alkol-madde kullanımının heyecan arama ile ilişkisini incelemiştir. Bulut vd. (2014) Karadeniz Teknik üniversitesindeki öğrencilerin enerji içeceği tüketme durumu ve nedenleri üzerine araştırma yapmışlardır. Evren ve Evren (2015) İstanbul'da okuyan 10. Sınıf öğrencilerinin enerji içeceği tüketme sıklığı ve etki eden faktörleri incelemişlerdir. İşçioğlu vd. (2010) Ege üniversitesi öğrencilerinin enerji içeceği tüketimini ve bu tüketime etki eden faktörleri incelemişlerdir. Farklı örneklem hacmi ve şehirlerde yapılan bu çalışmalarda, farklı enerji tüketim sıklığı elde edilmiştir. Bu çalışmalar bölgesel olarak yapılan çalışmalar olup, Türkiye geneli için enerji içeceği tüketim sıklığının belirlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bilimsel literatürün artmasıyla, araştırmacının okuduğu bilgileri derlemesi ve yorumlaması sorun haline gelmiştir. Sözel incelemeler, araştırmacıların kriterleri ve güvenilirlik-

geçerlilik farklılıkları nedeniyle verilerin derlemesinde gerçek bir teknik sunamamaktadır. Bu nedenle bu yöntem geçersiz sayılmıştır. Bu durum bilim insanlarını, bilgileri metodolojik bir yolla sentezleyen bir yöntem araştırmaya yönlendirmiştir. Meta-analizi, bağımsız ve karşılaştırılabilir çalışmaları birleştiren ve özetleyen bir yöntemdir. Bu analiz, her bir çalışmadan elde edilen etki büyüklüklerini tek bir istatistik ile özetlemektedir. Meta-analizin avantajlarından biri örneklem hacmini büyütmesidir (Borenstein vd., 2009). İlk meta-analizi, tifo aşısı ile ilgili bağımsız çalışmaları sentezlemek için 1904 yılında Karl Pearson tarafından uygulanmıştır. Smith ve Glass (1977), Psikoterapinin etkililiğini belirlemek için yaklaşık 400 çalışmayı meta-analizi ile birleştirmişlerdir. Rosenthal (1994) materyal algılamada deneyimsel etkileri incelemek için 345 çalışmayı incelemiştir. Gully vd. (2002) ekip etkinliğinin ve ekip potansiyelinin performans ile pozitif yönde ilişkili olup olmadığını belirlemek için yapılan 67 çalışmayı incelemişlerdir. Chen vd. (2011) HIV'li olan hastalara Hepatit B ve Hepatit C görülme sıklığını (prevelans) incelemişlerdir. Mitchell vd. (2011) depresyon, anksiyete bozukluğu ve uyum bozukluklarının görülme sıklıklarını (prevalans) incelemişlerdir.

Meta-analizi bilim insanlarının 1980'lerden sonra geliştirmesiyle istatistiksel bir teknik haline gelmiştir (Cooper 1998, Cooper ve Hedges 1994, Hedges ve Olkin 1985, Light ve Pillemer 1984).

Bu çalışmanın amacı, meta-analizin sıklıklar (frekanslar, insidans, prevelans) için klasik ve Bayesci yöntemle uygulamasının gösterilmesi ve Türkiye'deki enerji içeceği tüketme sıklığının bu yöntemlerle incelenmesidir.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Sıklık için Klasik Meta-analizi Yöntemi

Meta-analizi, bağımsız ve karşılaştırılabilir çalışmalardan elde edilen etki büyüklüklerini



birleştiren ve özetleyen bir yöntemdir. Etki büyüklüğü bir meta-analizin temel birimidir ve iki değişken arasındaki ilişkinin ya da uygulama etkisinin büyüklüğünü yansıtan bir değerdir. Her bir çalışma için etki büyüklükleri hesaplanmaktadır (Borenstein vd. 2009).

Çalışmalarda raporlanan istatistiklere göre meta-analiz yöntemi değişmektedir. Raporlanan istatistiklerin ortalama ve standart sapma olarak verilmesi halinde ortalama farkları, risk şeklinde verilmesi halinde ise risk farkı, korelasyon olarak verilmesi halinde korelasyon ve sıklık olarak verilmesi halinde sıklık olarak birleştirilip etki büyüklüğü hesaplanmaktadır (Borenstein vd. 2009). Literatürde meta-analiz ile ilgili yayınlanan çalışmaların çoğunluğunu, ortalama, risk ve korelasyon oluşturmaktadır. Sıklık verileri için meta-analizi son yıllarda yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Özellikle Tıp alanında; hastalıkların sıklık, insidans ve prevelansların araştırılmasında kullanılmaktadır (Barendregt vd. 2013).

Meta analizinde genel olarak iki model söz konusudur: sabit ve rasgele etki modeli. Çalışmaların yayınlanmış literatürden elde edilmesi halinde rasgele etki modelinin kullanılması daha uygundur. Sabit etki modeli Eşitlik (1)'deki gibi verilmiştir. Çalışmalar arası gözlenen tüm farklılıkların örneklem hatasından kaynaklandığı varsayılmaktadır.

$$T_i = \theta + \varepsilon_i \quad (1)$$

Burada,  $T_i$ , i. çalışma için etki büyüklüğü,  $\theta$  sabit etki büyüklüğü ve  $\varepsilon_i$  hata terimidir. Sabit etki modelinde etki büyüklüğü, analize dahil edilen her bir çalışmanın ağırlığı ile ağırlıklandırılarak ağırlıklı ortalama değeri hesaplanarak elde edilir. Her bir çalışmanın ağırlığı, varyansın çarpımına göre tersidir.

$$w_i = \frac{1}{v_i} \quad (2)$$

Rasgele etki modelinde ise; çalışmalar arasındaki farklılığın örneklem hatasının yanı sıra, çalışma deseni, çalışılan kitle vb. farklılıklardan kaynaklandığı varsayılmaktadır. Rasgele etki modeli Eşitlik (3)'deki gibi verilmiştir. Birleştirilmiş etki, tahmin edilen

etki dağılımının ortalama değeridir (Borenstein vd. 2009).

$$T_i = \theta_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Burada,  $T_i$ , i. çalışma için etki büyüklüğü,  $\theta_i$ , i. çalışmadaki gerçek etki büyüklüğü ve  $\varepsilon_i$  hata terimidir. Rasgele etki modelinde etki büyüklüğü sabit etki modelindeki gibi hesaplanır. Ancak her bir çalışmanın etki büyüklüğüne ait varyans, sabit ve rasgele ( $\tau^2$ ) etki varyanslarının toplamı olarak hesaplanmaktadır.

$$w_i^* = \frac{1}{v_i^*} = \frac{1}{v_i + \tau^2} \quad (4)$$

Sıklık (prevelans) bir oran olup; bir olayın birim zaman içinde hangi sıklıkla, kaç defa tekrarlandığını ölçmektedir. Sıklığın iki özelliği bulunmaktadır; birincisi, her zaman 0 ile 1 arasında değer almasıdır. İkincisi, alt kategoriler toplamı her zaman 1'e eşittir. Bu nedenle sıklıkların Binom dağılımına sahip oldukları varsayılır (Barendregtvd. 2013). Birleştirilmiş sıklık, sabit/rasgele etki modelde her çalışmanın varyansının tersi ile ağırlıklı ortalamasıdır (DerSimonian ve Larid, 1986).

Sıklık verilerinin modellenmesinde üç yaklaşım kullanılmaktadır. En çok kullanılan yaklaşım normal dağılım yaklaşımıdır. Diğer iki yaklaşım ise logit ve çift arcsinüs dönüşümleri kullanılarak elde edilen yaklaşımdır (Nyaga vd. 2014).

Normal dağılım yaklaşımında sıklık varyansı,

$$Var(p) = \frac{p(1-p)}{N} \quad (5)$$

Burada p, sıklık oranıdır ve N kitle büyüklüğü olmaktadır. Birleştirilmiş sıklık aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$p = \frac{\sum_i \frac{p_i}{var(p_i)}}{\sum_i \frac{1}{var(p_i)}} \quad (6)$$

Standart hata;

$$SH(p) = \sum_i \frac{1}{var(p_i)} \quad (7)$$

Birleştirilmiş sıklık için güven aralığı;

$$p \mp Z_{\alpha/2} SH(p) \quad (8)$$

Burada  $Z_{\alpha/2}$ , belirlenen güven düzeyindeki standart normal dağılım değeridir.

Sıklık değerleri 0.5 etrafında değer aldığı anda birleştirilmiş sıklığın, varyansın tersi ile ağırlıklı ortalaması şeklinde hesaplanması doğru sonuç vermektedir. Ancak sıklık değerlerinin 0 veya 1'e yaklaşması durumunda yani çok küçük veya büyük değer alması varyans değerinin 0'a doğru yoğunlaşmaktadır. Bu durumda etki büyüklüğünün dağılımını normalleştirme için sıklıkların doğal logaritması (log) alınarak birleştirilmiş sıklık elde edilir (DerSimonian ve Larid, 1986, Zhang vd. 2011, Horikawa vd. 2011). Meta-analizi uygulandıktan sonra uygulanan dönüşümler sıklığa dönüştürülmelidir (Zhang vd. 2011). Sıkça kullanılan logit dönüşümü, oranın 0 ve 1 arasında yer almasını sağlasa da varyansın sabitlenmesini sağlamamaktadır. Barendregt vd. (2013) varyansın sabitlenmesi için çift arcsin dönüşümü önermişlerdir. Bu dönüşüm hem logit dönüşümünden daha tercih edilmekte hem de çok kategorili sıklık için de uygulanmaktadır.

Meta-analizinde heterojenlik olması durumunda çalışmalar arasındaki farklılığın sadece örneklem hatasından kaynaklanmadığı söylenebilir. Bu nedenle sabit etki modeli yerine rasgele etki modeli kullanılmalıdır. Rasgele etki modeli, gözlenen varyansın normal dağılıma sahip olduğunu ve her bir çalışmanın bu dağılımdan rasgele çekildiğini varsaymaktadır (DerSimonian ve Larid, 1986). Buna göre heterojenlik, çalışmalar içindeki hatanın gözlenen varyansa oranı olarak tanımlanmaktadır (Borenstein vd. 2009). Üç farklı heterojenlik kaynağı bulunmaktadır; klinik çalışmalar, istatistiksel ve diğer kaynaklardan kaynaklanan farklılıklar (Rücker vd. 2008). Heterojenlik, Cochrane Q,  $I^2$  ve  $\tau^2$  istatistikleri ile değerlendirilmektedir. Q istatistiği, tüm çalışmaların aynı etkiye ve  $\chi^2$  dağılımına sahip olduğunu varsaymaktadır.  $I^2$  İstatistiği, gözlenen dağılımların gerçekteki oranıdır.

Birçok çalışma  $I^2$  değerinin %25, %50 ve %75 olmasını sırasıyla az, orta ve yüksek heterojenliğin belirteci olarak ele almaktadır.  $\tau^2$ , gerçek etkilerin varyansdır ve aynı ölçümdeki etkilerin varyansıyla aynıdır (Borenstein vd. 2009). Heterojenliği gidermek için alt grup analizi, farklı ölçek ya da etki büyüklüğü, rasgele etki modeli veya meta-regresyon analizi tercih edilebilir.

Meta-analizinde sonuçların görsel olarak daha iyi anlaşılmasını sağlayan grafiklerden biri forest grafiğidir. Bu grafikte her çalışmanın etki büyüklüğü, %95 güven aralıkları, ağırlıklar ve birleştirilmiş etki büyüklüğü gösterilmektedir. Bu grafik, her çalışmanın tahminleri arasındaki değişkenlik hakkında bilgi verir (Sutton vd. 2000).

Yayın yanlılığının test edilmesinde her çalışmanın etki büyüklüğünün standart sapmasına karşı çizilmesiyle elde edilen Begg ve Mazumdar'ın (1994) funnel grafiğinin yanı sıra; Egger vd. (1997) lineer regresyona dayanan test istatistiğinden, sıklığın çok küçük değer aldığı veya tüm çalışmaların aynı örneklem büyüklüğüne sahip olması halinde Harbord vd. (2006) test istatistiğinden ya da varyans ve etki büyüklüğünün korelasyonuna dayanan Begg ve Mazumdar'ın (1994) test istatistiğinden yararlanılabilir.

Farklı model varsayımına ve etki büyüklüğüne göre birçok meta-analiz yöntemi vardır. Sabit etki modeli ve etki büyüklüklerinin oran olduğu meta-analizinde Mantel-Haenszel, Peto ve Ters varyans-ağırlıklı yöntemleri kullanılırken, rasgele etki modeli ve etki büyüklüğünün oran ve ortalama olması durumunda DerSimonian-Laird yöntemi kullanılmaktadır (Borenstein vd. 2009).

## 2.2. Sıklık için Bayesci Meta-analiz Yöntemi

Klasik yaklaşıma göre bir kitleyi ya da olasılık dağılımını şekillendiren parametreler sabittir. Bayesci yaklaşıma göre ise bu parametreler birer rasgele değişkendir ve dolayısıyla birer olasılık dağılımına uymaktadırlar.

Bayesci yaklaşımının temeli Bayes teoremine dayanmaktadır. Bilinmeyen  $\theta$  parametresine ait olasılık fonksiyonu  $p(\theta)$  ise,  $\theta$  parametrelili dağılımdan gözlenen değerlerinin bileşik olasılık dağılımı bir anlamda koşullu bir olasılık fonksiyonu olur ve  $p(y|\theta)$  şeklinde yazılabilmektedir. Bu durumda  $y$  verildiğinde ya da gözleendiğinde  $\theta$ 'nın sonsal dağılımı aşağıdaki gibi ifade edilir (Bolstad 2007).

$$p(\theta|y) = \frac{p(y|\theta)p(\theta)}{\sum_{\theta} p(y|\theta)p(\theta)} \quad (9)$$

Bu ifade literatürde ters olasılık ilkesi (principle of inverse probability) olarak da geçmektedir. Burada  $p(\theta)$  önsel dağılım,  $p(y|\theta)$  örneklem bilgisini gösteren olabilirlik fonksiyonu ve  $\sum_{\theta} p(y|\theta)p(\theta)$  terimi normalleştirme sabiti olarak adlandırılır. Normalleştirme sabiti ihmal edildiğinde;

$$p(\theta|y) \propto p(y|\theta)p(\theta) \quad (10)$$

elde edilir.  $\propto$  simgesi orantısallığı belirtmektedir.

Bayesci yaklaşımın en önemli avantajlarından biri, tüm belirsiz olan değişim kaynakları için hesaplama yapabilmesidir. Klasik analizde çoğu zaman her bir parametre için elde edilen standart sapma ve güven aralığı varyans bileşeninin bilindiği varsayımına dayanarak hesaplanırken, Bayesci yaklaşımda standart sapma ve güven aralığı sonsal dağılımdan hesaplanmaktadır (Whitehead 2002).

Bayesci yaklaşımda karşılaşılan problemlerden birisi sonsal dağılımdan çıkarsamalar yapabilmek için karmaşık

$$p(\theta|y) \propto p(y|\theta)p(\theta) \propto \binom{n}{y} \theta^y (1 - \theta)^{n-y} \times \theta^{a-1} (1 - \theta)^{b-1} \propto \theta^{y+a-1} (1 - \theta)^{n-y+b-1} \quad (13)$$

Önsel dağılımlar, “bilgi verici olmayan” ve “bilgi verici” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bilgi verici olmayan önsel dağılım kullanıldığında sonsal dağılımda örneklem bilgisini içeren veriler daha fazla ağırlıklandırılırken, bilgi verici önsel dağılımda daha az ağırlıklandırılmış olur (Bolstad 2007). Beta dağılımına ait  $a$  ve  $b$  parametrelerinin değerleri

integral hesaplarının yapılmasıdır. Ancak son yıllarda geliştirilen simülasyon yöntemleriyle bu sorun çözülmüştür. En çok kullanılan simülasyon yöntemleri Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC), Metropolis algoritması ve Gibbs örneklemesidir (Bolstad 2007).

Meta-analizinin Bayesci yaklaşımında,  $\theta_i$  i. çalışmadaki gerçek etki büyüklüğü rasgele değişken olmaktadır. Bu nedenle,  $\theta_i$  için olasılık dağılımı söz konusu olmaktadır.

Seçilen önsel dağılım ile sonsal dağılımın aynı fonksiyonel yapıya sahip olması hesaplama kolaylığı sağlamaktadır. Bu tür önsel dağılımlara “eşlenik” adı verilmektedir (Bolstad 2007).

Sıklık  $\theta$  ile gösterilirse; 0 ile 1 aralığında sürekli değerler alan her bir  $\theta$  değeri için olasılık yoğunluk fonksiyonu (önsel dağılım) olarak Uniform (0,1) (beta(1,1)), Jeffrey (beta (0.5,0.5)) ve Beta(a,b) önsel dağılımları seçilebilir.  $\theta$  için önsel dağılımın beta dağılım seçilmesi, sonsal dağılımın farklı parametrelili beta dağılıma uymasını sağlamaktadır. Bu nedenle beta dağılımı  $\theta$  için eşlenik bir önsel dağılımdır. Örneklem bilgisini gösteren olabilirlik fonksiyonu Binom ( $n$ ,  $\theta$ ) ile tanımlanmaktadır (Bolstad 2007).

$$p(y|\theta) = \binom{n}{y} \theta^y (1 - \theta)^{n-y} \quad (11)$$

Beta önsel dağılımı için sonsal dağılım aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$p(\theta) = \theta^{a-1} (1 - \theta)^{b-1} \quad (12)$$

değiştikçe bilgi verici ve bilgi verici olmayan önsel dağılımlar oluşturulmaktadır. Sırasıyla  $a$  ve  $b$ 'ye 1 değeri verilmesi durumunda (Uniform (0,1) dağılımı ile eşdeğerdir);  $\theta$ 'nın (0,1) aralığında herhangi bir değeri eşit olasılıkla alabilmesi nedeniyle bilgi verici olmayan önsel dağılımı vermektedir. Ele alınan  $a$  ve  $b$  değerlerinin 0.5 olması duru-

munda;  $\theta$ 'nın uç değerleri alma olasılığının ortadaki değerleri alma olasılığından daha yüksek olduğunu belirtmesi nedeniyle düşük bilgi verici önsel dağılım olarak adlandırılır. Son olarak a ve b değerlerinin 1 ve 0.5'den daha büyük ve eşit değerler alması  $\theta$  hakkında daha güçlü bilgi sahibi olmayı sağlamaktadır. Bu durumda  $\theta$ 'nın (0,1) aralığında ortadaki değerleri daha büyük olasılıkla aldığını ve gerçekleşme ile gerçekleşmeme olasılığının eşit olduğunu vurgulamaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'deki enerji içeceği tüketim sıklığını belirlemek için Bayesci meta-analizi üç farklı önsel dağılımı için uygulanmış ve klasik meta-analizi ile sonuçları karşılaştırılmıştır.

### 3. Bulgular

Türkiye'deki enerji içeceği tüketim sıklığının saptanması için Ocak 2017'de MEDLINE, Cochrane, EMBASE veri tabanlarından,

“Energy drink”, “Consumption of energy drink”, “enerji içeceği”, “enerji içeceği tüketimi” anahtar kelimeleri ile tarama yapılmıştır. Enerji tüketiminde araştırmacı kontrolü olması ve gerçek tüketim sıklığının belirlenmesinde yanlılığa sebep olacağı gerekçesiyle vaka-kontrol çalışmaları, fareler üzerine yapılan deneysel çalışmalar, kimyasal içerik ile ilgili çalışmalar, sıklık şeklinde raporlanmayan ve İngilizce ile Türkçe dışında yayımlanan çalışmalar kapsam dışına alınmıştır. Enerji içeceği üzerinde Türkiye'de yapılan anket çalışmaları meta-analizine dahil edilmiştir. Toplamda 1095 çalışma incelenmiş ve 8 tanesi istenen kriterlere uymuştur. Meta-analizine dahil edilen çalışmalar ve her bir çalışmaya ait örneklem büyüklükleri, enerji içeceği tüketen birey sayısı ile çalışmanın yapıldığı yer ve yayımlanma bilgisi Tablo 1'de verilmektedir. Tüm istatistiksel analizler R programında “meta” ve “MCMCpack” paketleri kullanılarak yapılmıştır.

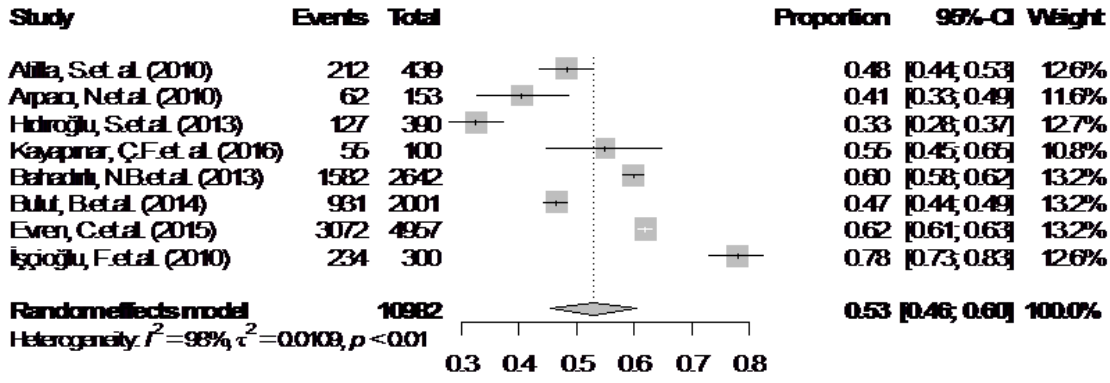
**Tablo 1.** Meta-analizine alınan çalışmaların bilgisi

No	Çalışma	Örneklem Hacmi	Enerji İçeceği Tüketen Birey Sayısı	Yer	Yıl
1	Atila, S. vd.	439	212	Ankara	2010
2	Arpacı, N. vd.	153	62	Ankara	2010
3	Hıdıroğlu, S. vd.	390	127	İstanbul	2013
4	Kayapınar, Ç.F. vd.	100	55	Denizli	2016
5	Bahadırlı, N.B. vd.	2642	1582	Edirne	2013
6	Bulut, B. vd.	2001	931	Trabzon	2014
7	Evren, C. vd.	4957	3072	İstanbul	2015
8	İşçioğlu, F. vd.	300	234	İzmir	2010
<b>Toplam</b>		<b>10982</b>	<b>6275</b>		

Bu çalışmalardan enerji tüketim sıklığı incelenmiştir. Sıklıkların 0.5 etrafında değerler almasından dolayı birleştirilmiş sıklığın hesaplanmasında normal dağılım yaklaşımı ve çalışmaların yayımlanmış literatürden elde edilmesinden dolayı rasgele etki modeli kullanılmıştır. Şekil 1'de uygulanan meta-analizi sonucunda elde edilen forest grafiği gösterilmiştir.

Forest grafiğinden örneklem hacminin 100 ile 4957 arasında değiştiği gözlenmiştir. Her bir çalışma için çizilen kutuların büyüklüğü, doğrudan ilgili çalışmanın meta-analizindeki

ağırlığı ile ilişkilidir. Kutulardan geçen çizgiler ise güven aralığını göstermektedir. Dar güven aralığı kesinliği göstermektedir. Dördüncü ve beşinci sütun, etki büyüklüğü ve güven aralığını göstermektedir. Son sütun ise her bir çalışmanın ağırlığını yüzdelik olarak göstermektedir. Ağırlıklandırmanın 10.8 ile 13.2 arasında değiştiği görülmektedir. Genel etki büyüklüğü üzerinde her bir çalışmanın ağırlığı ya da etkisi, örneklem hacmi ve güven aralığının ifade ettiği kesinlikle belirlenmektedir. Grafikte elmas biçimi, genel etki büyüklüğünü göstermektedir.



Şekil 1. Meta-analiz sonucunda elde edilen forest grafiği

Elmasın genişliği genel güven aralığına bağlı olarak değişmektedir. Genel etki büyüklüğü 0.53 ve güven aralığı (0.46; 0.60) olarak elde edilmiştir. Türkiye’deki enerji içeceği tüketim sıklığının % 53 olduğu saptanmıştır. Grafiğin en sonunda ise, en güvenilir Heterojenlik test istatistiği olan ( $I^2$ ) verilmiştir.  $I^2$ ’nin %98 olması yüksek heterojenliği ve  $p<0.01$  olması istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirtmektedir.

Yayın yanlılığının testinde Egger’ın lineer regresyona dayanan test istatistiğinden ( $p=0.36>0.05$ ) elde edilmiştir. Bu nedenle yayın yanlılığının olmadığı söylenebilmektedir.

Sıklık değerinin Bayesci yaklaşım ile elde edilmesi için sırasıyla olabilirlik ve önsel dağılımların belirlenmesi gerekir. Meta-analizi ile birleştirilmiş çalışmalardan 10982 katılımcıdan 6275 katılımcının ortak enerji içeceği tüketim sıklığı için olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$p(y|\theta) \propto \prod_{i=1}^8 \theta^{y_i} (1 - \theta)^{n_i - y_i} \propto \theta^{6275} (1 - \theta)^{4707} \quad (14)$$

Sıklık için önsel dağılımlar sırasıyla Uniform (0,1) veya Beta (1,1), Jeffrey (Beta (0.5,0.5)) ve enerji içeceği tüketme ile tüketmeme sıklığının eşit olduğu varsayımı altında a ve b değerinin 5491’e eşit olduğu Beta(a,b) önsel dağılımları seçilmiştir.

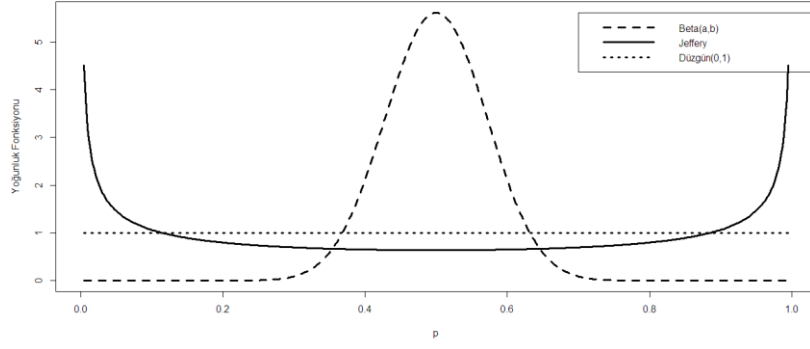
Önsel dağılımların grafiği Şekil 2’de verilmiştir.

Sıklık için sonsal dağılım, olabilirlik fonksiyonu ile önsel dağılımın birleştirilmesiyle elde edilmektedir. MCMC yöntemi kullanılarak yakınsama 1000 iterasyonda sağlanmış ve Burn (yakma) periyodu olarak kullanılmıştır. Olası yanlılığı azaltılmak amacıyla uygulanan Burn (yakma) periyodu çıkarıldıktan sonra 4000 iterasyon sonunda elde edilen her bir önsel dağılım için sonsal dağılımlar Şekil 3’te gösterilmiştir.

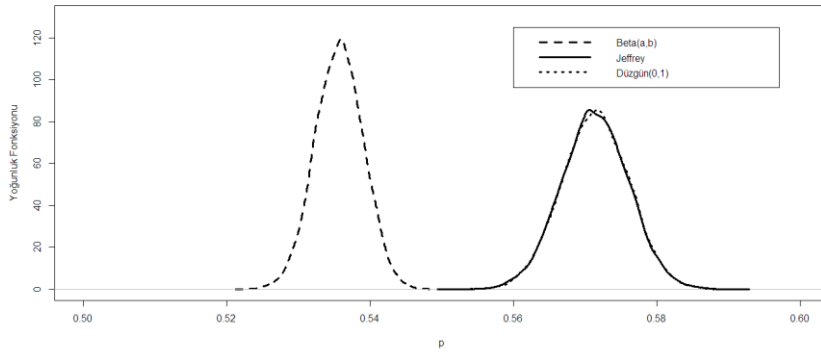
Sonsal dağılım grafiğinden bilgi verici olmayan düzgün ve az bilgi verici olan Jeffery önsel dağılımlarının benzer sonsal dağılım gösterdiği, enerji içeceği tüketme ve tüketmeme olasılığının eşit varsayıldığı önsel dağılımın ise diğerlerinden oldukça farklı bir dağılım özelliğine sahip olduğu görülmektedir.

Seçilen her bir önsel dağılım için yakınsamanın sağlandığını gösteren iz ve sonsal yoğunluk grafiği Şekil 4’te verilmiştir.

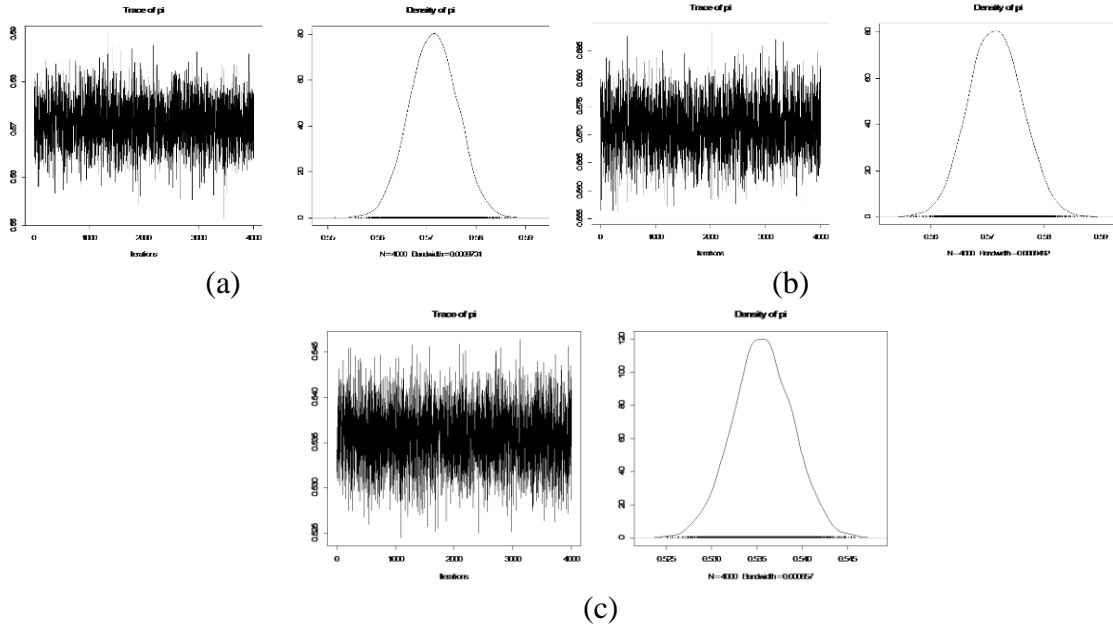
Şekil 4’teki yakınsama grafikleri incelendiğinde; iz grafiklerinin oldukça fazla ve sık salınım göstermesi yakınsamaların hızlı bir şekilde gerçekleşmesini, Kernel yoğunluk grafiklerinin ise, çan şeklinde oluşan görünümü sonsal dağılımlara yakınsamayı göstermektedir.



Şekil 2. Önsel dağılımların grafiği



Şekil 3. Sonsal dağılımların grafiği



Şekil 4. Sıklığın yakınsama grafiği. (a) Uniform (0,1), (b) Jeffery, (c) Beta (a,b)

Enerji içeceği tüketim sıklığı için uygulanan klasik ve Bayesci analiz sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 2’den bilgi verici (tüketim-tüketmemeye eşit olasılık verilmesi

halinde) önsel dağılım kullanılarak elde eden sonsal dağılımdan tahmin edilen sıklığın en dar, klasik yöntemden tahmin edilen sıklığın ise en geniş aralığı verdiği görülmektedir.

**Tablo 2.** Klasik ve Bayesci analiz sonuçları

Yöntem	Sıklık Tahmini	Alt sınır	Üst Sınır	Üst sınır-Alt sınır
<b>Klasik</b>	0.53	0.46	0.60	0.14
<b>Bayes (U(0,1))</b>	0.57	0.56	0.58	0.02
<b>Bayes (Beta(1/2,1/2))</b>	0.57	0.56	0.58	0.02
<b>Bayes (Beta (5491,5491))</b>	0.54	0.53	0.54	0.01

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada klasik ve Bayesci meta-analiz yöntemleriyle Türkiye’deki enerji içeceği tüketim sıklığı belirlenmeye çalışılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda farklı önsel dağılımlar kullanılarak elde edilen Bayesci meta-analizin klasik yöntemden daha dar tahmin aralığı verdiği saptanmıştır.

Bayesci yaklaşımın klasik yöntemle göre en önemli avantajlarından biri, tüm belirsiz olan değişim kaynakları için hesaplama yapabilmesidir. Son yıllarda gelişen simülasyon algoritmaları ile Bayesci yaklaşım için gerekli karmaşık integral işlemlerinin hesaplanması kolaylaşmıştır.

Türkiye’nin enerji içeceği tüketimi, klasik yöntemde %53 (0.46;0.60) olarak elde edilmiştir. Bayesci yaklaşımda bilgi verici olmayan önsel dağılım uniform(0,1) ve az bilgi verici olan Jeffery önseli kullanıldığında sıklık %57 (0.56;0.58), tüketim ve tüketmeme olasılığı eşit olarak alındığı beta(5491,5491) önseli için %54 (0.53;0.54) olarak elde edilmiştir. Üç farklı önsel dağılım için sıklığın sonsal dağılımı 1000 iterasyonda hızlı bir yakınsama göstermiştir. En dar tahmin aralığı veren eşit olasılıklı beta önsel dağılımına göre enerji içeceği tüketiminin %54 olduğu söylenebilmektedir.

#### 5. Kaynaklar

Alsene, K., Deckert, J., Sand, P., De Wit, H., 2003. Association Between A2a

Receptor Gene Polymorphisms and Caffeine - Induced Anxiety, *Neuropsychopharmacology*, 28, 1694-1702.

Arpacı, N., Tosun, S., Ersoy, G., 2010. Sports and Energy Drink Consumption of Physical Education & Sports Students’ and Their Knowledge About Them, *Ovidius University Annals, Physical Education and Sport/Science, Movement and Health Series*, 10 (Suppl 2), 732-736.

Arria, A.M., O’Brien, M.C., 2011. The “High” Risk of Energy Drinks, *The Journal of the American Medical Association*, 305(6), 600-601.

Attila, S., Çakır, B., 2011. Energy-Drink Consumption in College Student and Associated Factors, *Nutrition*, 27, 316-322.

Barendregt, J.J., Doi, S.A., Lee, Y.Y., Norman, R.E., Vos, T., 2013. Meta-Analysis of Prevalence, *Epidemiol Community Health*, 67, 974-978.

Bahadırlı, N.B., 2013, Üniversite Öğrencilerinde Enerji İçeceği Tüketiminin Alkol-Madde Kullanımına Etkisi ve Dürtüsellikle İlişkisi. Tıpta Uzmanlık. Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi. Trakya, 40s.

Begg, C.B., Mazumdar, M., 1994. Operating Characteristics of a Rank Correlation

- Test for Publication Bias, *Biometrics*, 50(4), 1088-101.
- Bolstad, W.M., 2007. Introduction to Bayesian Statistics, Wiley-Interscience, UK.
- Borenstein, M., Hedges, L.V., Higgins, J.P.T., Rothstein, H.R., 2009. Introduction to Meta-Analysis, Chichester: Wiley, UK.
- Bulut, B., Beyhun, N.E., Topbaş, M., Çan, G., 2014. Energy Drink Use in University Students and Associated Factors, *Journal of Community Health*, 39, 1004-1011.
- Chen, J.J., Yu, C.B., Du, W.B., Li, L.J., 2011. Prevalence of Hepatitis B And C in HIV-Infected Patients: A Meta-Analysis, *Hepatobiliary & Pancreatic Diseases International*, 10(2), 122-7.
- Cooper, H., 1998. Synthesizing Research. Thousand Oaks. CA:Sage.
- Cooper, H., Hedges, L.V., 1994. Handbook of Research Synthesis. Washington, DC: American Psychological Association.
- Dersimonian, R., Larid, N., 1986. Meta-Analysis in Clinic Trails, *Controlled Clinical Trials*, 7(3), 177-88.
- Dikici, S., Aydın, L.Y., Kutlucan, A., Ercan, N., 2012. Enerji İçecekleri Hakkında Neler Biliyoruz?, *Dicle Tıp Dergisi*, 39 (4), 609-613.
- Egger, M., Davey, S.G., Schneider, M., Minder, C., 1997. Bias in Meta-Analysis Detected By a Simple Graphical Test, *British Medical Journal*, 315(7109), 629-34.
- Evren, C. Evren, B., 2015. Energy-Drink Consumption and its Relationship With Substance Use and Sensation Seeking Among 10th Gradestudents in Istanbul, *Asian Journal Of Psychiatry*, 15, 44-50.
- Gully, S., Incalcaterra, K., Joshi, A., Beaubien, J., 2002. A Meta Analysis of Team Efficiency, Potency, Andperformance, *Journal Of Applied Psychology*, 87 (5), 819–832.
- Harb, J.N., Taylor, Z.A., Khullar, V., Sattari, M., 2016. Rarecause of Acute Hepatitis: A Common Energy Drink. *British Medical Journal Case Reports*.
- Harbord, R.M., Egger, M., Sterne, J.A., 2006. A Modified Test for Small-Study Effects in Meta Analyses of Controlled Trials With Binary Endpoints, *Statistics in Medicine*, 25(20), 3443-57.
- Hedges, L.V., Olkin, I., 1985. Statistical Method for Meta-Analysis. San Diego, CA: Academic Press.
- Hıdıroğlu, S., Tanrıover, O., Ünaldı, S., Sülün, S., Karavus, M., 2013. A Survey of Energy- Drink Consumption Among Medical Students. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 63(7), 842-5.
- Horikawa, C., Kodama, S., Yachi, Y., Heianza, Y., Hirasawa, R., Ibe, Y., 2011. Skipping Breakfast and Prevalence of Overweight and Obesity in Asian and Pacific Regions: A Meta Analysis, *Prevmed*, 53(4-5), 260-7.
- İşçioğlu, F., Ova, G., Duyar, Y., Köksal, M., 2010. Üniversite Öğrencileri Arasındaki Enerji İçeceği Tüketimi ve Bilinci Araştırması, *Aca Food Journal*, 8(5), 6-11.
- Kayapınar, F.Ç., Özdemir, İ., 2016. Öğrencilerin Enerji İçeceği Tüketim Bilincinin ve Alışkanlıklarının Araştırılmasında Bir Meslek Yüksekokulu Örneği, *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 15(1), 1-12.
- Light, R.J., Pillemer, D.B., 1984. Summing Up: The Science of Reviewing Research. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Menci, D., Righini, F.M., Cameli, M., Lisi, M., Benincasa, S., Focardi, M.,



- Mondillo, S., 2013. Acute Effects of an Energy Drink on Myocardial Function Assessed By Conventional Echo-Doppler Analysis and By Speckle Tracking Echocardiography on Young Healthy Subject, *Journal Of Amino Acids*, 2013, 646-703.
- Mitchell, A.J., Chan, M., Bhatti, H., Halton, M., Grassi, L., Johansen, C., 2011. Prevalence of Depression, Anxiety, and Adjustment Disorder in Oncological, Haematological, and Palliative Care Settings: A Meta-Analysis Of 94 Interview-Based Studies, *The Lancet Oncology*, 12(2), 160-74.
- Nyaga, V. N., Arbyn, M., Aerts M., 2014. Metaprop: A Stata Command to Perform Meta-analysis of Binomial Data, *Archives of Public Health*, 72(39), 1-10.
- Reissig, C.J., Strain, E.C., Griffiths, R.R., 2009. Caffeinated Energy Drinks a Growing Problem, *Drug and Alcohol Dependence*, 99(1-3), 1-10.
- Rosenthal, R., 1994. Interpersonal Expectancy Effects. A 30-Year Perspective, *Current Directions in Psychological Science*, 3, 176-179.
- Rücker, G., Schwarzer, G., Carpenter, J.R., Schumacher, M., 2008. Undue Reliance on I<sup>2</sup> in Assessing Heterogeneity May Mislead, *BMC Medical Research Methodology*, 8, 79.
- Smith, M., Glass, G., 1977. Meta-Analysis of Psychotherapy Outcome Studies, *American Psychologist*, 32, 752-760.
- Sutton, A.J., Abrams, K.R., Jones, D.R., Sheldon, T.A., Song, F., 2000. Methods for Meta-Analysis in Medical Research, John Wiley & Sons.
- Svatikova, A., Covassin, N., Somers, K.R., Somers, K.V., Soucek, F., Kara, T., Bukartyk, J., 2015. A Randomized Trial of Cardiovascular Response to Energy Drink Consumption in Healthy Adults. *The Journal of the American Medical Association*, 314(19), 2079-82.
- Türk Gıda Kodeksi Enerji İçecekleri Tebliği. 2006.  
[Http://Www.Resmigazete.Gov.Tr/Eskiler/2006/10/20061004-15.Htm](http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/10/20061004-15.htm)
- Usman, A. Jawaid, A., 2012. Hypertension in A Young Boy: An Energy Drink Effect, *BMC Research Notes*, 5, 591.
- Whitehead, A., 2002. Meta-Analysis of Controlled Clinical Trails, John Wiley&Sons, UK.
- Zhang, M.W., Ho, R.C., Cheung, M.W., Fu, E., Mak, A., 2011. Prevalence of Depressive Symptoms in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review, Meta-Analysis and Meta-Regression, *General Hospital Psychiatry*, 33(3), 217-23.

## YAZARA BİLGİLER

### 1. Kapsam ve Genel Bilgi

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. Dergi **bilimsel ve hakemli** bir dergi olup, Ocak ve Temmuz aylarında olmak üzere yılda iki kez online yayınlanır.

Derginin esas amacı "Gelişen ve Geliştiren Üniversite" sloganı ile yola çıkan Gümüşhane Üniversitesinin hedeflerinin bir parçası olarak araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bilimsel yayına dönüştürülmesi, ulusal ve uluslararası indekslere girerek evrensel bilime katkı sağlamaktır.

### 2. Yayın Dili

Dergide yayınlanacak tüm yazılar için yayın dili Türkçe' dir. Sadece başlık, öz ve anahtar kelimeler hem Türkçe hem de İngilizce olarak hazırlanmalıdır. Makalelerde patentli gereçler, özel isimler, simgeler ve uluslararası kısaltmalar dışında tüm sözcükler Türkçe okunuşa ve yazım kurallarına uygun olarak yazılır. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise bu sıralama dikkate alınarak yazılır.

### 3. Elektronik Ortamda Başvuru

Dergi ile ilgili **tüm yazışmalarda** [gufbed@gumushane.edu.tr](mailto:gufbed@gumushane.edu.tr) adresi kullanılmalıdır. Dergi **yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış** makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın, Dergipark üzerinden <http://dergipark.gov.tr/gumusfenbil> adresi kullanılarak gönderilmelidir. Dergiye makale göndermek isteyen yazarların yazım kuralları ile birlikte aşağıda belirtilen Gönderi Kontrol Listesindeki her maddeyi de kontrol etmeleri gerekmektedir. Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yayınlanacak makalelerde, araştırma ve yayın etiğine uygunluk esastır. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'ne gönderilen makaleler ile birlikte mutlaka "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" ile "Son Kontrol Listesi" Dergi yazışma adresine "[gufbed@gumushane.edu.tr](mailto:gufbed@gumushane.edu.tr)" gönderilmelidir. 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. Değerlendirme Süreci

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi'ne iletilen yazılar öncelikle dergi editörünün konu başlığı ve anahtar kelimelere dayanılarak yönlendireceği yayın kurulu üyesi tarafından biçimsel açıdan değerlendirilir. Bu ön inceleme aşamasıyla, incelenecek yayının dergi formatına uygun olup olmadığına karar verilir. "Makale Gönderimi ve Telif Hakkı Devir Formu" ile "Son Kontrol Listesi" olmayan veya eksik olan yayınlar ön incelemeye alınmaz. Dergi yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleler düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir.

Formata uygun olarak hazırlanan yazılar ilgili yayın kurulu tarafından bilimsel açıdan değerlendirilir. **Ayrıca bu aşamada ilgili yayın kurulu üyesi yazının alıntı olup olmadığını inceler.** Bilimsel açıdan incelemeye değer bulunan yazılar editöre gönderilir.

Editör bilimsel içerik bakımından değerlendirilmek üzere yazıyı, konusuna uygun olarak en az iki ya da üç hakeme yönlendirir. Hakem seçiminde öncelikle konu ile ilgili dergi 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 son karar editöre aittir. 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 e-posta olarak 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 Türleri

Dergide yayınlanan farklı yayın formatları ile ilgili bilgiler ve yazı türlerine göre yazarların dikkat etmeleri gereken hususlar şu şekildedir:

**Araştırma Makaleleri:** Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Özet, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Özet, 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.**

**Derlemeler:** Dergi kapsamındaki güncel konularda çalışmaları bulunan kişiler tarafından hazırlanan derleme başvuruları incelemeye alınır. Derlemeler, Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Yazarlar, Adresler, Türkçe Özet, Türkçe Anahtar Kelimeler, İngilizce Özet, 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.**

**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. Editöre mektup Türkçe olarak yazılır. **Ana metin en fazla 1000 kelime olup kaynak sayısı 10'u geçmemelidir.**

## 6. Makalenin Hazırlanması

• **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.

• **Satır boşlukları:** Bütün satır boşlukları Times New Roman karakterinde ve 12punto olmalıdır.

• **Metin:** Times New Roman karakterinde 12 punto ile sağa ve sola dayalı olarak tek aralıklı yazılmalıdır. Noktadan ve virgülden sonra 1 boşluk bırakılmalıdır.

• **Paragraf:** Her paragraf arasında bir satır boşluk bırakılmalı, paragraf başlarında içerden başlanmamalıdır (Tab tuşu kullanılmamalıdır).

• **Makale başlığı:** Sayfa başından 3 satır boşluk bırakıldıktan sonra, başlık Times New Roman, 16 punto ve koyu olarak yazılmalıdır. Başlıkta yer alan her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde sayfaya ortalanarak yazılmalıdır.

• **Yazar adı veya adları:** Başlıktan sonra 2 satır boşluk bırakılarak, unvan belirtilmeden, Adın ilk harfi büyük olacak şekilde tüm harfleri ve soyadın tamamı büyük harfle yazılmalıdır. Birden fazla yazarlarda aralarına virgül konularak, Times New Roman, 12 punto, normal ve sayfaya ortalanarak yazılmalıdır. Sorumlu yazar isminde üst simge yıldız sembolü olmalıdır.

• **Yazarın/ların adresi/leri:** 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.

• **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 özet:** Adres/ler den 5 satır boşluk bırakıldıktan sonra, **Özet** kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto, **koyu, italik** ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Özet metni Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto ve *italik* olarak yazılmalıdır. Özet metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Özet kelimesi ile özet metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **İngilizce başlık ve özet (Abstract):** Türkçe anahtar kelimelerin altına 2 satır boşluk bırakılarak, başlık Times New Roman, 16 punto koyu, her kelimenin ilk harfi büyük olacak şekilde sayfaya ortalanarak yazılmalıdır. **Abstract**, kelimesi Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto, **koyu, italik** ve sola dayalı olarak yazılmalıdır. Abstract metni Times New Roman yazı karakterinde, 12 punto ve *italik* olarak yazılmalıdır. Abstract metninin 250 kelimeyi geçmemesine özen gösterilmelidir. Abstract kelimesi ile abstract metni arasında boşluk bırakılmamalıdır.

• **Anahtar kelimeler / Keywords:** Anahtar kelimeler ve Keywords kelimeleri Türkçe özetin ve İngilizce özetin altına bir satır boşluk bırakılarak, Times New Roman, 12 punto, **koyu** ve *italik* olarak yazılmalıdır. En az 3 en fazla 6 adet anahtar kelime verilmeli, anahtar kelimelerin her kelimenin ilk harfi büyük ve aralarına virgöl konularak verilmelidir. Anahtar kelimeler alfabetik sıralamaya uygun olarak verilmelidir. İngilizce anahtar kelimeler (Keywords) ise bu sıralama dikkate alınarak yazılmalıdır.

• **Ana başlıklar:** Ana Başlıklar sırasıyla numaralandırılmalıdır (1. Giriş 2. Amaç, Gereç ve Yöntem gibi). **Tüm başlıklar** sola dayalı Times New Roman, 12 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, 12 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.

• **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.**

• **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 12 punto ile yazılmalıdır. Ancak zorunlu kalınan durumlarda yazı boyutu yazı sınırlarını geçmeyecek şekilde en az 9 puntoya kadar düşürülebilir.

- **Denklemler:** Metin içerisine yazılacak denklemler, Word yazım programındaki denklem 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 12 punto ile *italik* yazılmalıdır. Makalede ondalık gösterimde nokta kullanılmalı, binlikleri ayırırken virgöl kullanılmalıdır.

- **Kaynaklar:** Kaynaklar tez içerisinde “**soyadı ve tarih sistemine**” göre yazılmalıdır. Her kaynak kendi orijinal dilinde verilmelidir. Kaynaklar yazılırken sıralama aşağıdaki şekilde olmalıdır:

**“Yazar soyadı-virgöl - ilk ad(lar)ının baş harfi- nokta-virgöl- yayın yılı- nokta - belgenin başlığı - virgöl-yayınlandığı yer (yayın organı ya da yayın evi)- virgöl- cilt no- virgöl- sayı no- virgöl-sayfa no-virgöl-yayınlandığı şehir veya ülke- nokta”.**

Yazarlar arası virgöl ile ayrılır, ancak iki ve daha fazla yazarlarda son yazar "ve" ile ayrılır. Aynı yazar(lar)ın farklı yıllarda yayınlanmış eserleri veriliyorsa önce yaptığı yayından başlayarak (eskiden yeniye doğru) sıralama yapılmalıdır. Aynı yazar(lar)ın aynı yıla ait yayınları yayın yılını takip eden a, b, c harfleri ile sıralanmalıdır (Örg: 1998a,b).

Kaynak eserin yazımının bir satırdan daha uzun olması halinde ikinci satır ve diğer satırlar, ***değinen ilk eserin yazar ilk adının baş harfi hizasından başlayarak yazılmalıdır. İkinci ve diğer satırları birinci eserin ikinci satırı hizasından başlanmalıdır.*** Dergi adları ise kısaltma yapılmadan ve altı çizili olarak yazılır.

Metin içerisinde yazarı belli olan internet kaynaklarına atıf yapılırken, yazar soyadı sistemine benzer şekilde yazılmalıdır. Örneğin: (James ve Richard, 2003) David ve Clifford' a (2003) göre ...

Metin içerisinde yazarı belli olmayan internet kaynaklarına atıf yapılırken, büyük harflerle URL-sıra numarası (,), yıl şeklinde yazılmalıdır.

Örneğin:

(URL-4, 2003), (URL 1 ve 2, 2003)

Kaynakların yazılması sırasında literatürde yaygın olarak bilinen ***periyodik dergilerin adları açık olarak yazılmalıdır.*** Örneğin: (Journal of Hydrology).

Kitap, makale, bildiri, tez, standartlar ve yönetmelikler aşağıda gösterilmiştir.

### **Ulusal-Uluslararası Makaleler:**

Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004. Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Weighted Linear Combination, The Case in Tsugawa Area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan, Landslides, 1, 73-81.

Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 201-219.

### **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.

### **Tezler:**

Dağ, S., 2007, Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 241s.

Tezcan, L., 1993, Karst Akifer Sistemlerinin Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 125s.

### **Raporlar:**

Aslaner, M., 1972. Çayeli-Madenköy Cu-Pb-Zn Aramaları Hakkında Kısa Not, MTA Maden Etüd Rap. No. 118,

Baran, I., Kasperek, M., 1989, Marine Turtles Of Turkey; Status Survey 1988 And Recommendations For Conservation And Management: WWF Report, Heidelberg, 123p.

IAEA, 1992. Statistical Treatment of Data on Environmental Isotopes, Technical Reports Series No.331, IAEA Vienna, 781p.

### **Editörlü Kitaplar:**

Zuber, A. 1986, Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. and Fontes, J.Ch. (eds.), Elsevier, Amsterdam. pp. 1-59.

### **Bildiriler Kitabı:**

Sualtı Günleri-1999, Türkiye’de Sualtı Görüntüleme, Belgeleme ve Arşivleme Çalışmalarının Günümüzdeki Durumu, 26-27 Şubat 1999, Bildiriler Kitabı (editörler: B. Akınoğlu, M. Draman), Sualtı Araştırmaları Derneği, Ankara, 84s.

### **Bildiri Özeti:**

Tezcan, L., Gunay, G., Hotzl, H., Reichert, B., 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., Tezcan, L., 1998b, Köyceğiz Gölü Karışım Dinamiği: Çevresel İzotoplar Ve Üç Boyutlu Yerinde Yoğunluk Ölçümleri, MTA Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildirileri, 2-6 Kasım 1998, Ankara, s.104-106.

### **Tam Metni Basılı Bildiriler:**

Hamarat, S., Ülkenli, H., Türe, G., 1998, Türkiye kıyıları Aydıncık-Taşucu Deniz Mağaraları Sualtı Araştırmaları, Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı, Aralık 1998, İstanbul, Türkiye, s.105-111.

### **Aktüel Dergi ve Gazete Haberi:**

Corliss, Richard, 1993, 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.).

### **İnternet kaynakları:**

Başaran, A., Yıldırım, N., 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](http://www.tdk.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster.05Ağustos2011).





SİPAHİ F.; Kalınçam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) Yöresi Geç Kretase Yaşlı Volkanitlerin Jeokimyası ve Petrojenezi.....	102-127
KORKMAZ H., ALKAN S.; Yardımcı Bitkiler ve Ekolojik Etkileri.....	128-140
KÜTÜK SERT T.; Sub-Mikron Boyutlarında Üleksit Mineralinin Asfalt Karışımların Suya Hassasiyetine Etkisinin İncelenmesi.....	141-152
GÜZEL M., AKPINAR Ö.; Turunçgil Kabuklarının Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi.....	153-167
DEĞER A H.; Fibonacci Sayıları ile Alt Yörüngesel Grafların Özel Köşeleri Arasındaki İlişkiler.....	168-180
BARAN Ö.; Magnetron Sıçratma Yöntemiyle Kaplanmış TiNbN ve TiVN Filmlerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi.....	181-191
KORKMAZ H., DURMAZ A.; Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar.....	192-207
SAYDAM EKER Ç., ÖZKAN Ö.; Ankara Çayı Dere Yatağı Sedimanlarının Zararlı Element İçeriği.....	208-220
ÇELİK K.; Kentsel Dönüşüm Alanlarının Seçimi ve Dönüştürülmesine Yönelik Örnek Bir Uygulama.....	221-235
GÜCER M A., AYDINÇAKIR E., YÜCEL C., AKARYALI E.; Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları.....	236-267
KARADAŞ K.; Şanlıurfa İlinde Koyunculuk İşletmelerinin Sosyo-Ekonomik Durumu: Siverek İlçesi Örneği.....	268-279
ÖREN İ.; Öklid Uzayında Bir Yüzeyin İnvariantlarının Bonnet Sistemi Hakkında.....	280-284
ŞAHİN E.; <i>Lactobacillus curvatus</i> Suşu ile Asetofenon Türevlerinin Asimetrik İndirgenmesi.....	285-308
OKATAN V.; GA <sub>3</sub> Uygulamalarının Malta Eriği ( <i>Eriobotrya japonica</i> ) Tohumlarının Çimlenmesi ve Çöğür Gelişimi Üzerine Etkileri.....	309-313
ÖZEREN S F.; Geliştirilmiş Dalgarno-Lewis Pertürbasyon Yöntemiyle Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemlerin Enerji Düzeylerinin Hesaplanması.....	314-319
AVCI E.; Türkiye'deki Enerji İçeceği Kullanım Sıklığının Klasik ve Bayesci Meta-analiz Yöntemlerine Göre Belirlenmesi.....	320-330