

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Bahrican AR Tarafından Hazırlanan**

**SAMSUN YÖRESİ EOSEN YAŞLI BAZİK VOLKANİTLERİN TÜM-KAYAÇ
OLDUKÇA SİDEROFİL ELEMENT JEOKİMYASI**

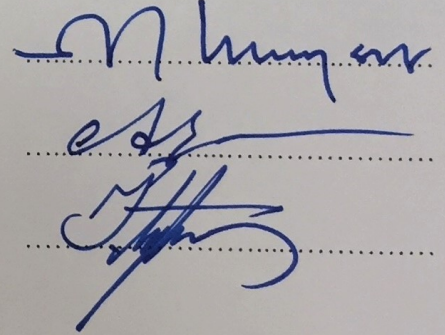
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 31 / 12 / 2019 gün ve 1834 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ

Üye : Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Üye : Doç. Dr. İrfan TEMİZEL



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında, Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı'nda, Samsun yöresi Eosen yaşlı bazik volkanitlerin tüm-kayaç oldukça siderofil element jeokimyası ile volkanitlerin gelişimini etkileyen petrolojik süreçler irdelenerek ana magma kaynağının gelişimi ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada beni yönlendiren, çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bilgi, deneyim ve tecrübeleri ile yol gösteren, maddi manevi desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli maddi destek sağlayan 117Y075 No'lu ÇAYDAG projesi için TÜBİTAK yönetimine ve FBA-2018-7747 Kod No'lu KTÜ-BAP projesi için Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim. Yüksek Lisans Tezi'nin hazırlanmasında bilgi, tecrübe, görüş ve önerilerinden yararlandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet ARSLAN'a, Prof. Dr. Emel ABDİOĞLU YAZAR'a, Doç.Dr. İrfan TEMİZEL'e ve Doç. Dr. Cem YÜCEL'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İnceleme alanına ait örneklerin ince ve parlak kesit yapımında emeği geçen Mak. Müh. Murat KAYIKÇI'ya teşekkür ederim. Oldukça Siderofil Element (OSE) içerikleri ve Os izotop analizlerinin, Çek Cumhuriyeti'nde Bilimler Akademisi Jeoloji Enstitüsü ve Çek Jeoloji Kurumu laboratuvarlarında gerçekleştirilmesinde yardımcı olan Dr. Lucas ACKERMAN ve teknisyenlere teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve tez yazım sürecinde manevi destekleri için değerli arkadaşlarım Esin YALÇIN, Fatma ARSLANTÜRK, İrem BAŞ ve Ayşe KURT'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca attığım her adımda maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve Yüksek Lisans çalışmamın başından sonuna kadar her zaman varlıklarını yanımda hissettiğim annem, babam ve kardeşime şükranlarımı borç bilirim.

Bahrican AR
Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “*Samsun Yöresi Eosen Yaşlı Bazik Volkanitlerin Tüm-kayaç Oldukça Siderofil Element Jeokimyası*” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ’ün sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/ yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16/01/2020

Bahrican AR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. İnceleme Alanının Coğrafik Konumu ve Özellikleri.....	1
1.3. Bölgesel Jeoloji.....	2
1.4. Önceki Çalışmalar	5
1.4.1. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'ndaki Senozoyik Yaşlı Volkanitlerin Petrojeneziyle İlgili Literatür Özeti.....	5
1.4.2. Volkanitlerin Petrolojisinde OSE Kullanımıyla İlgili Literatür Özeti.....	10
1.5. Çalışma Konusunun Gerekçesi ve Amacı	15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Materyal ve Yöntemler	16
2.1.1. Arazi Çalışmaları	16
2.1.2. Laboratuar Çalışmaları ve Analitik Yöntemler	16
2.1.2.1. Mikroskopik Tayinler	17
2.1.2.2. OSE ve Os İzotop Analizleri İçin Örnek Hazırlama	18
2.1.2.3. OSE ve Os İzotop Analizleri	18
2.1.3. Büro Çalışmaları.....	20
3. BULGULAR.....	21
3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi	21
3.1.1. Tekkeköy Yöresi Volkanitleri	22
3.1.2. Kulacadağ Yöresi Volkanitleri	24
3.1.3. Bafra Yöresi Volkanitleri	26

3.2.	Petrografi	28
3.2.1.	Tekkeköy Yöresi Bazaltik Lavları.....	28
3.2.2.	Kulacadağ Yöresi Tefritik Silleri.....	32
3.2.3.	Bafra Yöresi Bazaltik-Tefritik Lav/Daykları.....	35
3.3.	Jeokimya	40
3.3.1.	Volkanitlerin Tüm-Kayaç Litofil Element Jeokimyasal Özellikleri	40
3.3.2.	Volkanitlerin Tüm-Kayaç Oldukça Siderofil Element Jeokimyasal Özellikleri	46
3.3.3.	Volkanitlerin Tüm-Kayaç Os İzotop Jeokimyasal Özellikleri	51
4.	İRDELEME VE TARTIŞMA	53
4.1.	Kısmi Ergime.....	53
4.2.	Fraksiyonel Kristallenme.....	58
4.2.1.	Kükürt Doygunluğu	55
4.2.2.	Silikat / Sülfür Fraksiyonlaşması.....	57
4.3.	Kabuk Asimilasyonu	60
5.	SONUÇLAR.....	63
6.	KAYNAKLAR	65
7.	EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

SAMSUN YÖRESİ EOSEN YAŞLI BAZİK VOLKANİTLERİN TÛM-KAYAÇ
OLDUKÇA SİDEROFİL ELEMENT JEOKİMYASI

Bahrican AR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ
2020, 74 Sayfa, 1 Ek

Bu çalışmada, Samsun ve yakın çevresinde yüzeyleyen Orta Eosen yaşlı bazik volkanitlerin oldukça siderofil element (OSE: Os, Ir, Ru, Rh, Pd, Pt, Re) jeokimyasal özellikleri belirlenmiş olup, gelişimlerinde etkili olan petrolojik süreçler (kısmi ergime, fraksiyonel kristallenme, kabuk asimilasyonu) irdelenmiştir.

İnceleme alanında yüzeyleyen bazik volkanitler; Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yöresi olmak üzere üç grupta incelenmiştir. İncelenen Tekkeköy volkanitleri bazaltik lav örneklerinden, Kulacadağ volkanitleri tefritik sil örneklerinden ve Bafra volkanitleri ise bazaltik ve tefritik lav/dayk örneklerinden oluşmaktadır.

İncelenen bazik volkanitlerin OSE bollukları dikkate alındığında, toplam PGE içerikleri (0.13 ile 11.6 ppb) genel olarak düşük olup, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 0.15-1.20 arasında değişmektedir. İncelenen volkanitlerin kondrite normalize OSE dağılımlarında PPGE IPGE'ye göre zenginleşme göstermektedir. Ayrıca, incelenen volkanitlerin düşük toplam PGE içerikleri ve Cu/Zr oranları ile yüksek Cu/Pd oranları, kükürtçe doymun magmalardan türeyebileceklerine işaret etmektedir. Volkanitlerin gelişiminde silikat fraksiyonlaşmasının yanı sıra sülfid fraksiyonlaşmasının da etkili olduğu söylenebilir.

İncelenen volkanitlerin OSE ve Os izotop sistematiği ile AFC modellemesi birlikte değerlendirildiğinde, magmalarının gelişimlerinde fraksiyonel kristallenmenin yanında az da olsa kabuk asimilasyonunun etkili olduğu ileri sürülebilir.

Anahtar Kelimeler: Jeokimya, OSE, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotopları, Tekkeköy, Kulacadağ, Bafra, Samsun, Türkiye.

Master Thesis

SUMMARY

WHOLE-ROCK HIGHLY SIDEROPHILE ELEMENT GEOCHEMISTRY OF EOCENE AGED
BASIC VOLCANICS IN THE SAMSUN AREA

Bahrican AR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ
2020, 74 Pages, 1 Appendix

In this study, highly siderophile element (HSE: Os, Ir, Ru, Rh, Pd, Pt, Re) geochemical characteristics of Middle Eocene aged basic volcanics outcropping in Samsun and surrounding areas have been determined, and petrological processes (partial melting, fractional crystallization, crustal assimilation), which are important in their genesis, were evaluated.

Basic volcanics in the study area are investigated as three groups; Tekkeköy, Kulacadağ and Bafra areas. The studied Tekkeköy volcanics are composed of basaltic lava samples, the Kulacadağ volcanics are consist of tephritic sil samples, and the Bafra volcanics contain basaltic and tephritic lava/dyke samples.

When the highly siderophile element abundances of the the studied basic volcanics were considered, total PGE contents (0.13 to 11.6 ppb) are generally low and $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ isotope ratios range from 0.15 to 1.20. The chondrite normalised HSE patterns of the studied volcanics exhibit PPGE enrichment compared to IPGE. Besides, low total PGE and Cu/Zr ratios, and high Cu/Pd ratios of the volcanics suggest that they may have derived from sulfur saturated magmas. In addition to silicate fractionation, it can be suggested that sulphide fractionation is also effective in evolution of the studied volcanics.

Integrated HSE and Os isotope systematics as well as AFC modelling of the studied volcanics suggest that fractional crystallization with lesser crustal assimilation are effective in the evolution of the parental magmas.

Key Words: Geochemistry, HSE, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ isotopes, Tekkeköy, Kulacadağ, Bafra, Samsun, Turkey.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.	(a) Türkiye'nin tektonik birliklerini gösteren harita (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek), (b) Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda yer alan Senozoyik yaşlı volkanitlerin ve çalışılan Samsun yöresi bazik volkanitlerin dağılımını gösteren jeolojik harita (Güven, 1993; Arslan vd., 2013; Temizel vd., 2016; Yücel vd., 2017, Yücel, 2019).	3
Şekil 3.	İnceleme alanının jeoloji haritası (Güven, 1993 ve Temizel vd., 2016'dan değiştirilerek).....	22
Şekil 4.	Alibeyli civarında yüzeyleyen Tekkeköy yöresi volkanitlerine ait bazaltik lavın arazi görünümü.....	23
Şekil 5.	Gökçepınar civarında yüzeyleyen Tekkeköy yöresi volkanitlerine ait bazaltik lav ve piroklastitlerinin arazi görünümü.....	23
Şekil 6.	Devgeriş civarında yüzeyleyen Tekkeköy yöresi volkanitlerine ait bazaltik lavın arazi görünümü.....	24
Şekil 7.	Kulacadağ yöresinin kuzeyinde yer alan Kusuri Formasyonu içerisindeki tortul birimlerin arasına yerleşen tefritik sillerin arazi görünümü.....	25
Şekil 8.	Kulacadağ yöresinin kuzeyinde yüzeyleyen Kulacadağ volkanitlerine ait tefritik silin görünümü.....	25
Şekil 9.	Bafra yöresinde yüzeyleyen volkanitlere ait bol kırıklı ve çatlaklı bazaltik lavların arazi görünümü.....	26
Şekil 10.	Bafra yöresinde yüzeyleyen volkanitlere ait bazaltik lavlarda gözlenen soğuma çatlaklarının arazi görünümü.....	27
Şekil 11.	Bafra yöresinde yüzeyleyen volkanitlere ait tefritik silin genel arazi görünümü.....	27
Şekil 12.	Bafra yöresinde yüzeyleyen volkanitlere ait prizmatik yapıdaki tefritik lavın arazi görünümü.....	28
Şekil 13.	Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin mikrofotografaları; (a-b) bütünüyle karbonatlaşmış ve iddingsitleşmiş olivin kristali ile kırık ve çatlaklı klinopiroksen fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-9), (c-d) iddingsitleşmiş olivin kristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-43), (e-f) opak mineral ve plajiyoklas kapanımları içeren ve ikizlenme gösteren klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-109), (g-h) klinopiroksen ve opak minerallerinden oluşan kümülofirik doku ile elek dokusu gösteren plajiyoklas fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-120), (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ol: Olivin Op: Opak mineral).....	30
Şekil 14.	Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin cevher mikroskobu görüntüleri; (a-d) klinopiroksen içinde kapanım halinde yer alan oksit ve	

- sülfür mineralleri (Örnek No: S-43, S-120, S-121), (e-f) klinopiroksen içerisinde kırık ve çatlaklar boyunca gelişen ikincil sülfür ile ergiyik kapanımları ile beslenen sülfür mineralleri (Örnek No: S-109, S-120), (g-h) hamur içerisinde ve klinopiroksen etrafında gelişen sülfür mineralleri. 31
- Şekil 15. Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin mikrofotografaları; (a-b) özşekilli zonlanma gösteren klinopiroksen fenokristali ve plajiyoklas mikrolitleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-4), (c-d) özşekilli plajiyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-4), (e-f) opak mineral ve plajiyoklas inklüzyonları içeren iri klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-6), (g-h) kloritleşmiş biyotit fenokristali ve poikilitik doku gösteren klinopiroksen fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-11), (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Bi: Biyotit, Op: Opak mineral)..... 33
- Şekil 16. Kulacadağ yöresi tefritik sillerin cevher mikroskobu görünüşleri; (a-d) klinopiroksen minerali içerisinde inklüzyon halinde yer alan oksit ve sülfür mineralleri (Örnek No: KT-6, KT-11), (e-h) hamur içerisinde gözlenen özşekilli sülfür mineralleri (Örnek No: KT-4, KT-6). 34
- Şekil 17. Bafra yöresi bazaltik lav (a-d) ve dayk (e-h) örneklerinin mikrofotografaları; (a-b) mikrolit ve fenokristal boyutunda plajiyoklas, mikrogranüller ve mikrofenokristal halinde olivin ve klinopiroksen mineralleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-9), (c-d) tamamen iddingsitleşmiş olivin mikrofenokristali ve kümülofirik doku gösteren iri klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-20), (e-h) mikrofenokristal boyutta klinopiroksen, olivin ve plajiyoklas fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-34) (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ol: Olivin, Op: Opak mineral)..... 36
- Şekil 18. Bafra yöresi tefritik lav (a-d) ve dayk (e-h) örneklerinin mikrofotografaları; (a-b); zonlanma gösteren iri klinopiroksenler, analsim mikrofenokristalleri ve bıçağımsı biyotit minerali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-10), (c-d) içerisinde plajiyoklas lataları, analsim ve opak mineral kapanımları içeren iri klinopiroksen fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-38), (e-h) hamurda mikrokristaller halinde gözlenen analsim mineralleri, yarıözşekilli klinopiroksenler ve yuvarlağımsı opak mineraller (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-13). (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ol: Olivin, Bi: Biyotit, An: Analsim, Op: Opak mineral). 37
- Şekil 19. Bafra yöresi bazaltik lav (a) ve tefritik lav/dayk (b-h) örneklerinin cevher mikroskobu görünüşleri; (a) olivin minerali içerisinde kapanım halinde yer alan sülfür mineralleri (Örnek No: B-9), (b-d) klinopiroksen içerisinde kapanım halinde yer alan sülfür mineralleri (Örnek No: B-10, B-13), (e-h) hamur içerisinde yer alan yarı özşekilli ve özşekilsiz sülfür mineralleri (Örnek No: B-10, B-13). 39
- Şekil 20. Şekil 20. İncelenen volkanitlerin (a) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ karşı SiO_2 (Le Maitre vd., 2002) sınıflama diyagramı (Alkali-subalkali ayırım çizgisi, Irvine ve Baragar (1971)'e göredir), (b) SiO_2 (%) karşı K_2O (%) diyagramı (Le

	Maitre vd., 2002). Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır.....	40
Şekil 21.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların MgO'e karşı ana oksit değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	42
Şekil 22.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların MgO'e karşı iz element değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	43
Şekil 23.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların N-tipi OOSB'a göre normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilmiş iz element dağılımları Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	44
Şekil 24.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların kondrite normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilmiş nadir toprak element dağılımları Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	45
Şekil 25.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların kondrite normalize edilmiş (Fischer - Götde vd., 2010) oldukça siderofil element dağılımları. İM (ilksel manto) değerleri Becker vd., 2006; OAB (Okyanus adası bazaltları) değerleri Day vd., 2010b; OOSB (Okyanus ortası sırtı bazaltları) değerleri Schiano vd., 1997, Rehkamber vd., 1999, Escrig vd., 2005, Bezos vd., 2005, Gannoun vd., 2007'ye göredir (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	50
Şekil 26.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların (a) Os'a karşı Re/Os değişim diyagramları ile (b) $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 'a karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop değişim diyagramları. İM: İlksel Manto değerleri Becker vd. (2006)'dan; OAB: Okyanus Adası Bazaltları değerleri Hauri ve Hart (1993)'den; OOSB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları değerleri Gannoun vd. (2007)'den; MKBAL: Miyosen ve Kuvaterner yaşlı Batı Anadolu Lavları değerleri Aldanmaz vd. (2015)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).	52
Şekil 27.	İncelenen volkanitlere modal olmayan Rayleigh kısmi ergime modeli uygulanarak zenginleşmiş manto kaynağının değişik derecelerdeki kısmi ergimesi ile oluşturulan ergiyiğin kondrite normalize edilmiş OSE dağılımları. Ayrılma katsayıları, Puchtel ve Humayun (2001), Chazey ve Neal (2005), McKenzie ve O'Nions (1991) ve Gannoun (2007)'den alınmıştır. Kondrit değerleri Fischer-Götde vd. (2010)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	54
Şekil 28.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların Cu'a karşı Pd içerikleri, Cu/Zr'a karşı Pd/Zr oranları ve MgO'e karşı Cu/Pd oranları değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi MgO ve Cu içerikleri, Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	56
Şekil 29.	İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların MgO'e karşı oldukça siderofil element değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi MgO içerikleri, sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).....	58

- Şekil 30. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların Ir'a karşı Os, Ru içerikleri ve PdN/IrN oranları. Kondrit değerleri; Fischer - Gödde vd. (2010)'den alınmıştır. Ana magma değerleri ise Aldanmaz vd. (2006)'dan alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir)..... 60
- Şekil 31. İncelenen volkanitlerin (a) Os'a karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ ve (b) AFC modellemesini gösteren $1/\text{Os}$ 'a karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ diyagramı. Co: Tüketilmiş Manto için Os değeri Salters ve Stracke (2004)'den, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranı van Keken vd. (2002)'den; CA: Üst Kıtasal Kabuk bileşimi Puecker-Ehrenbrink ve Jahn (2001)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir)..... 62



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	İncelenen Eosen yaşlı bazaltik-tefritik volkanitlerden lokasyonlara göre alınan örneklerin dağılımı ve koordinatları..... 17
Tablo 2.	OSE ve Os izotop analizlerinde yöntemsel boşlar ve bazalt referansı (BIR-1a) için elde edilen ölçüm değerleri. 20
Tablo 3.	Bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin oldukça siderofil element ve Os izotop analiz sonuçları..... 47
Tablo 4.	Bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin oldukça siderofil element ve Os izotop analiz sonuçlarına göre hesaplanan bazı oranlar 48
Ek Tablo 1.	Samsun yöresi bazik volkanitlerin litofil element jeokimyasal analizleri (Tekkeköy volkanitleri; Bilici (2013)'den; Bafra volkanitleri, Temizel vd. (2016)'dan alınmıştır) 75

SEMBOLLER DİZİNİ

NTE	: Nadir Toprak Elementler
T.N.	: Tek Nikol
Ç.N.	: Çapraz Nikol
OOSB	: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları
KAB	: Kıtasal Akma Bazaltları
OAB	: Okyanus Adası Bazaltları
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometri
N-TIMS	: Negatif Termal İyonlaşma Kütle Spektrometresi
SHRIMP	: Hassas Yüksek Çözünürlüklü İyon Mikroprobu
OSE	: Oldukça Siderofil Elementler
ODSE	: Orta Dereceli Siderofil Elementler
DDSE	: Düşük Dereceli Siderofil Elementler
ΣPGE	: Toplam Platin Grubu Elementleri
ΣIPGE	: Toplam İridyum Grubu Elementleri
ΣPPGE	: Toplam Paladyum Grubu Elementleri
TM _A	: Kondritik gelişimden ayrılan modal yaş
γOs	: Kondritik osmiyum izotop bileşimine göre yüzde sapma
εNd	: Nd izotopik bileşiminin bir manto rezervuarına göre oranı
Ol	: Olivin
Kpir	: Klinopiroksen
Plj	: Plajiyoklas

1. GENEL BİLGİLER

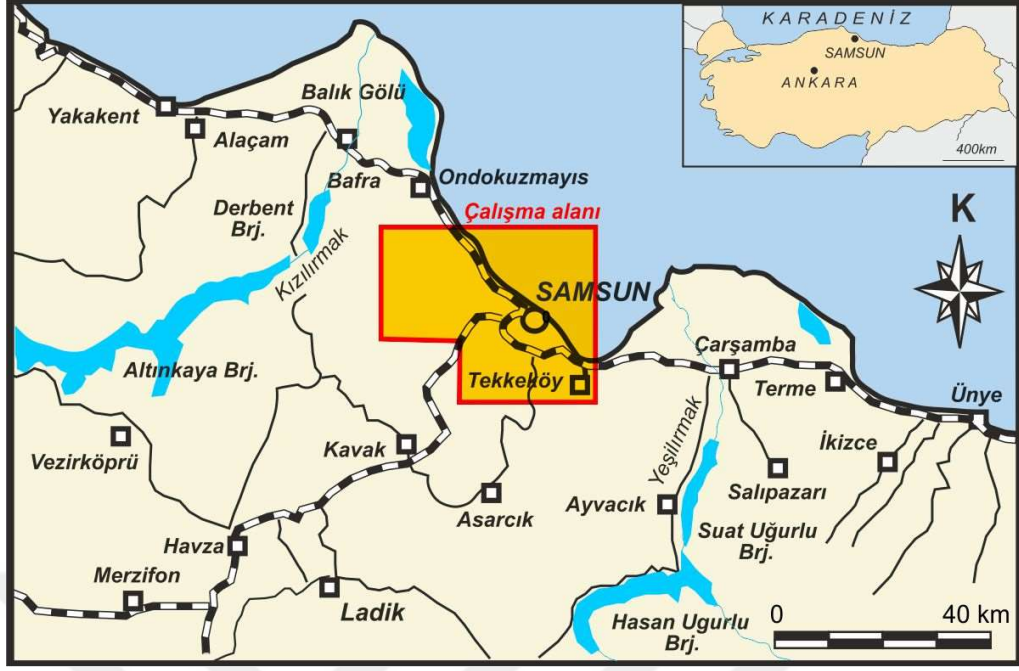
1.1. Giriş

Bu çalışmada, Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı (DPOK)'nın batı kısmında, Samsun yöresinde yüzeyleyen Eosen yaşlı bazik volkanitlerin tüm-kayaç oldukça siderofil element (OSE) jeokimyası, Os izotop jeokimyası ve bu kayaçların gelişiminde etkili olan petrolojik süreçler incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, Samsun yöresinde yüzeyleyen Eosen yaşlı bazik volkanitlerin daha önceki çalışmalarda geleneksel yöntemlerle petrografisi, tüm-kayaç litofil element (ana-iz-nadir toprak element) jeokimyası ve jeokronolojisinin detaylı bir şekilde ortaya konulduğu alanlarda çalışmalar yapılmış ve son zamanlarda bazik volkanitlerin petrolojik gelişiminin açıklanmasında etkili olan oldukça siderofil element (OSE) jeokimyası ve Os izotop jeokimyası yöntemlerinden yararlanılarak elde edilen veriler yorumlanmıştır. Böylece sonuçların bundan sonra yapılacak olan araştırmalara ve çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

1.2. İnceleme Alanının Coğrafik Konumu ve Özellikleri

Çalışma alanı, Orta Karadeniz Bölgesi Samsun İli ve yakın çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Karadeniz sahil şeridinin orta bölümünde Yeşilırmak ve Kızılırmak nehirlerinin Karadenize döküldükleri deltalar arasında yer alan Samsun ili, 9.083 km²'lik bir yüzölçüme sahiptir. Coğrafi konum olarak 40°50' ve 41°51' kuzey enlemleri, 37°08' ve 34°25' doğu boylamları arasında yer alan Samsun İli'nin kuzeyinde Karadeniz, doğusunda Ordu, batısında Sinop, güneyinde Amasya ve Tokat, güney batısında ise Çorum ili yer almaktadır. Samsun ili; (i) güneyindeki dağlık kesim, (ii) bu dağlık kesim ile kıyı şeridi arasında yer alan yaylalar ve (iii) bu yaylalar ile Karadeniz arasında kalan kıyı ovalarını içerisinde bulunduran üç farklı özellikte yeryüzü şekillerine sahiptir. Kızılırmak ve Yeşilırmak akarsularının delta alanlarında, yurdumuzun tarımsal potansiyeli en yüksek ovalarından Bafra ve Çarşamba ovaları yer almaktadır.

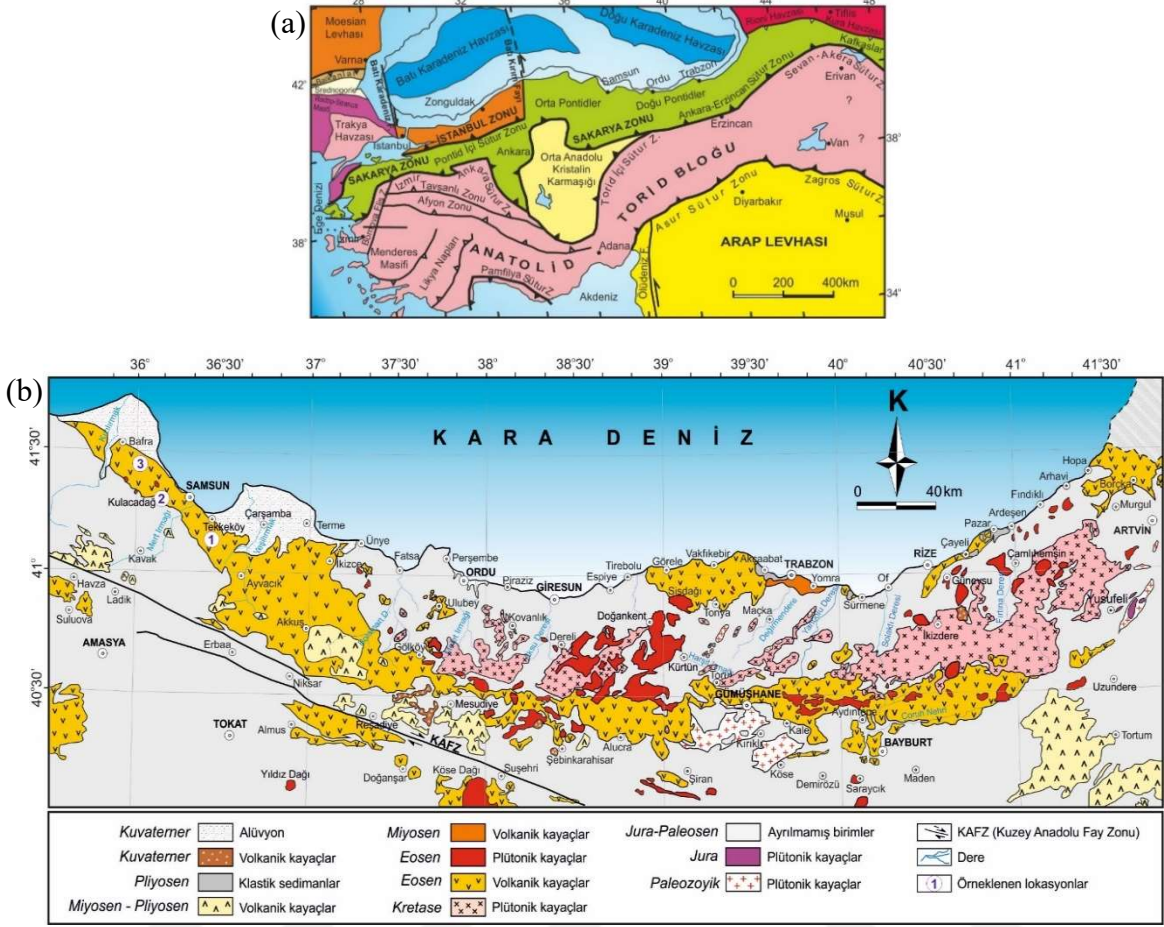


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Samsun ili genellikle ılıman bir iklime sahiptir. Ancak sahil şeridi ve iç kesimlerinde farklı iklim özellikleri gösterir. Sahil şeridinde (Merkez ilçe, Terme, Çarşamba, Tekkeköy, 19 Mayıs, Bafra, Alaçam ve Yakakent) Karadeniz ikliminin etkileri görüldüğünden yazları sıcak, kışları ılık ve yağışlı geçer. İç kesimlerinde (Vezirköprü, Havza, Ladik, Kavak, Asarcık ve Salıpazarı) ise yüksekliği 2.000 metreyi bulan Akdağ ve 1.500 metreyi bulan Canik dağlarının etkisiyle kışları soğuk, yağmur ve kar yağışlı, yazları ise serin geçer. Yıllık ortalama sıcaklık 15 °C'dir.

1.3. Bölgesel Jeoloji

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağının bir parçası olarak, farklı stratigrafik ve yapısal özelliklere sahip üç ana tektonik birlik (Anatolid-Torid bloğu, Orta Anadolu Kristalin Karmaşığı ve Sakarya zonu: İstanbul zonu ile Orta-Doğu Pontidler) ile bu birlikleri sınırlayan temel okyanusal kenet kuşakları'ndan (İzmir-Ankara-Erzurum suture zonu, Pontid içi suture zonu, Torid içi suture zonu ve Asur-Zagros suture zonu) meydana gelmekte ve Tetis okyanusal havzalarının kalıntılarını içermektedir. (Şekil 2a; Okay ve Tüysüz, 1999).



Şekil 2. (a) Türkiye'nin tektonik birliklerini gösteren harita (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek), (b) Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nda yer alan Senozoyik yaşlı volkanitlerin ve çalışılan Samsun yöresi bazik volkanitlerin dağılımını gösteren jeolojik harita (Güven, 1993; Arslan vd., 2013; Temizel vd., 2016; Yücel vd., 2017, Yücel, 2019).

Türkiye'nin tektonik birlikleri Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak dört ayrı kısımda adlandırılmaktadır (Ketin, 1966). Pontidler, Özsayar vd. (1981) tarafından, Doğu ve Batı Pontid olarak ikiye ayrılmıştır. Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan Doğu Pontidler (Okay ve Tüysüz, 1999), bölgesel ve litolojik özellikleri dikkate alınarak bazı araştırmacılar tarafından farklı zonlara ayrılmıştır. Bektaş (1986) tarafından bu orojenik kuşak, kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt grupta incelenmiştir.

Bu orojenik kuşağın jeodinamik evrimi aydınlatılırken farklı görüşlerden bahsedilmektedir. Öncelikli görüş olarak Paleozoyik'ten Eosene kadar devam eden süre zarfında güneyde okyanusal litosferin kuzeye doğru yitim gösterdiği belirtilirken (örn., Ustaömer ve Robertson 1996; Rice vd., 2009; Dilek vd., 2010); bir diğer görüşte,

Mesozoyik süresince Neotetis okyanusunun kuzey yönlü yitimi sonucu orojenik kuşağın oluştuğu ve Senozoyik boyunca Anatolid-Torid bloğu ile Pontid bloğunun çarpışması ile sürecin devam ettiği belirtilmektedir (örn., Arslan vd., 1997, 2013; Okay ve Şahintürk, 1997; Şengör ve Yılmaz, 1981). Başka bir bakış açısıyla, orojenik kuşağın kuzeyinde yer alan Paleotetis okyanusunun Paleozoyik'ten Eosen'e kadar güneye doğru bir yitim ile jeolojik evrim açıklanmaktadır (örn., Bektaş vd., 1999; Eyüboğlu, 2010).

Geç Karbonifer granitoidleri ile Geç Karbonifer-Erken Permiyen metasedimanter kayaçları Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın temelini oluşturmaktadır (Topuz vd., 2007; Kaygusuz vd., 2016) ve bu temelde yer alan metamorfik kayaçlar, Permo-Karbonifer yaşlı plütonlar tarafından kesilmişlerdir (Kaygusuz vd., 2012; Okay ve Şahintürk, 1997; Topuz vd., 2010). Bunun yanı sıra, temeli oluşturan kayaçlar, çoğunlukla mafik bileşimli kayaçlardan meydana gelen Jura yaşlı plütonlar tarafından da kesilmiştir (Dokuz vd., 2010; Ustaömer vd., 2013).

Erken-Orta Jura yaşlı volkanik ve volkaniklastik kayaçlar orojenik kuşağın temelindeki kayaçları uyumsuz olarak örter ve bu birimler rift ortamı ile ilişkilendirilerek volkano-tortul istif şeklinde yorumlanır (Arslan vd., 1997). Ayrıca bu birimler kuzeyde volkanitlerle temsil edilirken güneyde genellikle tüf ve tüfitlerle ardalı tortul ağırlıklı istif şeklinde temsil edilir. Erken-Orta Jura yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayaçlar, Orta-Geç Jura-Kretase yaşlı sığ ve derin denizel karbonatlar tarafından kesilmiştir (Okay ve Şahintürk, 1997). Geç Jura-Erken Kretase dönemi, Doğu Pontidler'de karbonat birikiminin etkili olduğu durağanlık dönemine denk gelmektedir (Arslan vd., 1997).

Geç Kretase döneminde Sakarya Zonu'nu boyunca Tetis okyanusunun kuzeye yitimiyle Doğu Pontid magmatik yayı gelişmiştir (Okay ve Şahintürk, 1997; Topuz vd., 2007; Ustaömer vd., 2013; Topuz vd., 2013; Okay vd., 2013). Doğu Pontid magmatik yay birimleri, Geç Kretase yaşlı volkano-tortul istif ile I-tipi granitoidler (Okay ve Şahintürk, 1997; Karşlı vd., 2010, 2012; Kaygusuz vd., 2010, 2013, 2014; Temizel vd., 2019a) ve yer yer A-tipi plütonlar (Karşlı vd., 2018) ile temsil edilir.

Geç Kretase yaşlı plütonlar, yitimin etkili olduğu ortamlarda kabuk ve mantodan türeyen magmaların karışımından oluşan ergiyiklerden türemişlerdir ve İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu boyunca Tetis okyanusal kabuğun kuzeye doğru yitimiyle üretildikleri kabul edilmiştir (Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Karşlı vd., 2010; Kaygusuz vd., 2010, 2013, 2014; Temizel vd., 2019a). Paleosen yaşlı kabul edilen plajiyolositit tipi volkanik kayaçlar, yitiminin son ürünleri olarak değerlendirilir (Altherr vd., 2008, Gülmez vd., 2016). Farklı

bir bakış açısı olarak, bu birimlerin oluşumu sırasında Tetis okyanusal kabuğun güneye yitimi sonucu Geç Kretase yaşlı yay-ardı havzalarının açılma gösterdiği belirtilmiştir (Eyüboğlu, 2010).

Doğu Pontidler’de yer alan Eosen yaşlı birimler, taban konglomerasıyla Geç Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine gelmektedir ve bu birimler andezit-bazalt ve piroklastitleri ile filiş tabakalarından oluşan kayaç birimleri ile üzerlenmektedir (Arslan vd., 2013). Çarpışma sonrasında Orta Eosen’de kalk-alkali özellikte volkanik kayaçlar ve yüksek potasyumlu kalk-alkali-şoşonitik karakterli plütonlar meydana gelmiştir (Arslan vd., 1997; Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001; Arslan ve Aslan, 2006; Karşlı vd., 2018; Temizel, 2014; Temizel vd., 2012, 2014, 2016, 2019a; Yücel vd., 2017).

Miyosen magmatizması orojenik kuşak boyunca daha az oranda bir yayılım göstermiştir ve kalk-alkali’den orta alkalin karaktere kadar değişen özellik göstermektedir (Aydın vd., 2008; Aslan vd., 2014; Yücel vd., 2014a, 2017). Miyosen yaşlı volkanik kayaçların üzerine uyumsuz olarak Miyosen-Pliyosen yaşlı tortul kayaçlar yerleşmiştir. Aynı zamanda bu volkanik kayaçlar üzerinde güney zonda Pliyosen-Kuvaterner yaşlı volkanik kayaçlar (Linnemann, 2002; Karşlı, 2006; Karşlı vd., 2008) ile adakitik volkanitler (Yücel, 2019) yer alırken, kuzey zonda ise traverten ve alüvyonlarla temsil edilen Kuvaterner yaşlı birimler uyumsuz olarak yer almaktadırlar.

1.4. Önceki Çalışmalar

1.4.1. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı’ndaki Senozoyik Yaşlı Volkanitlerin Petrojeneziyle İlgili Literatür Özeti

Doğu Pontidler’de yer alan Senozoyik yaşlı volkanitler ile ilgili genellikle tüm-kayaç litofil element jeokimyası, petrolojisi ve kayaçların kökensel yönden incelenmesi açısından çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı şekilde çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Arslan vd. (1997), “Doğu Pontid Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası ve Petrojenezi” adlı çalışmada, Orojenik kuşağı üç temel volkanik evreye ayırmışlar ve bu evrelerin jeokimyasal ve petrolojik açısından özelliklerini detaylı bir şekilde inceleyip karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu doğrultuda bölgedeki volkanik kayaçların ada yayında

oluştuklarını ve Eosen magmatizmasının, yitim sonrası alt kabuk ve/veya üst mantonun kısmi ergimesi sonucu oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Arslan ve Aliyazıcıoğlu (2001), “Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri” ni inceledikleri çalışmalarında, volkanik kayaçların kalk-alkali bileşimde olmalarının yanında orta derecede potasyum zenginleşmesi gösterdiklerini ve gelişimleri sırasında fraksiyonel kristallenmenin önemli bir etkisinin olduğunu, ana ve iz element dağılımları ile belirtmişlerdir. Elde ettikleri jeokimyasal veriler göz önüne alınarak Paleosen-Eosen döneminde Doğu Pontid yayının kalınlaşmasını takiben, kısmi ergime ile metasomatizmaya uğramış üst mantodan türeyen magmaların sığ seviyelerde fraksiyonel kristallenme ve magma karışımının etkisiyle geliştiklerini ifade etmişlerdir. Dahası, farklılaşmanın ekstansiyonel tektonik rejim etkisinde yer kabuğunda bulunan magma odalarında gerçekleştiği sonucuna varmışlardır.

Temizel ve Arslan (2008), “İkizce (Ordu) Yöresi Tersiyer Yaşlı Volkanik Kayaçların Jeokimyası ve Petrolojisi” adlı çalışmalarında, volkanitler bazaltik ve andezitik kayaçlar ile ilişkilendirilmiştir. Aynı zamanda volkanitlerin E-tipi OOSB’ye göre normalize edilmiş iz element dağılımları dikkate alınarak, büyük iyon yarıçaplı litofil element ve daha az oranda hafif nadir toprak element içerikleri bakımından zenginleşmesi ve yüksek çekim alanlı element içerikleri bakımından tüketilmesi ile tipik bir yitim kuşaklı tektonik ortamları ifade eden kayaçlara benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kayaçların yitim ile ilişkili metasomatizmaya bağlı zenginleşmiş kaynaktan türeyen bir ana magmadan geliştiğini ifade etmişlerdir. Bazaltik kayaçların gelişiminde derin seviyelerdeki, andezitik kayaçların gelişiminde ise sığ seviyelerdeki magma odalarında gerçekleşen fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Aydın vd. (2008), Doğu Pontid Neojen yaşlı volkanitlerin konu edildiği bu çalışmada, Trabzon yöresinden alınan Neojen yaşlı alkalin volkanitlerin tüm kayaç jeokimyası, Sr-Nd-Pb izotop kimyası ve K-Ar yaşlandırması ile kayaçların gelişiminde etkili olan magmatik süreçleri incelemişlerdir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda elde edilen veriler ışığında, volkanitlerin delaminasyon sonucu litosferdeki incelleme ve astenosfer yükselimiyle kimyasal açıdan zenginleşme gösteren genç litosferik mantonun kısmi ergime süreci ile meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Keskin vd. (2008), Doğu Pontidlerin güney batısında yer alan çarpışma sonrası oluşmuş Orta Eosen yaşlı volkanitlerin jeokimyasal ve petrolojik özelliklerini inceledikleri bu çalışmada, volkanitlerin bazalttan riyolite kadar değişen bileşimlerde kalk-alkali

karakterli olduklarını (inceleme alanında istifin üzerinde yer alan alkali-hafif alkali lavların dışında) ve yitim izi taşıdıklarını belirtmişlerdir. Orta Eosen volkanizmasının gelişimi açısından alternatif olarak kullanılan diğer modellere kıyasla slab break-off modelinin daha açıklayıcı bir model olduğunu savunmuşlardır.

Temizel ve Arslan (2009), Ulubey (Ordu) yöresi Tersiyer yaşlı volkanik kayalar ele aldıkları çalışmalarında, volkanitlerin N-tipi OOSB'ye göre normalize edilmiş iz element dağılımlarını dikkate alarak büyük iyon yarıçaplı element ve nispeten daha az oranda Th ve Ce içerikleri bakımından zenginleşme, aksine Zr, Y ve TiO₂ içerikleri bakımından tüketilme gösterdiğini belirtmişlerdir. Elde edilen tüm veriler doğrultusunda, volkanitleri oluşturan ana magma kökeninin daha önceden akışkanlarca metasomatizmaya uğramış litosferik bir manto kaynağından türemiş olabileceğini ifade etmişlerdir.

Aydın vd. (2009), Doğu Pontidlerde yer alan Neojen yaşlı alkali volkanitlerin üç potasyumlu gruplarındaki C2/c piroksen fenokristallerin kristal kimyasının basınç ve sıcaklık koşulları ile ilişkili petrojenetik izlerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, iki ayrı gruba ayrılan klinopiroksenlerden yapılan jeobarometre hesaplamalarına göre, Ti-Fe⁺³'ce fakir Al-diyopsitlerin oluşturduğu grubun kristallenme basıncının 4,5 kbar dan düşük olduğunu aksine Ti-Fe⁺³ zengin Al-diyopsitlerin oluşturduğu grubun ise 5,6-10,6 kbar gibi yüksek değerlere sahip olduğunu tayin etmişlerdir. Ayrıca P-T diyagramları ile volkanitlerden alınan klinopiroksen fenokristallerin kaynağının orta-düşük basınç koşullarında kapalı plumbing sistemindeki kristal magma odalarında geliştiğini belirtmişlerdir.

Kaygusuz vd. (2011), Doğu Pontidler'de çarpışma sonrası kalk-alkali volkanizmasının jeokimyası ve izotop karakterlerini araştırmak amacıyla Torul volkanitleri içerisinde yer alan volkanitleri incelemişlerdir. Hornblendlerdeki K-Ar yaşlandırma yöntemiyle ile volkanitlerin yaşının Orta-Geç Eosen (43.99-33.45 Milyon yıl) olduklarını saptamışlardır. Çalışma sırasında elde ettikleri veriler ışığında, volkanitlerin kökenini oluşturan magma(lar)nın çarpışma sonrası jeodinamik bir ortamda daha önceden meydana gelen yitim akışkanları ile metasomatizmaya uğramış zenginleşmiş litosferik manto bileşiminden türeyebileceklerini ileri sürmüşlerdir.

Temizel vd. (2012), Doğu Pontidlerde çarpışma ve çarpışma sonrası Tersiyer yaşlı Ulubey (Ordu) yöresi volkanitlerini dört grupta incelemişlerdir ve volkanitlerin kalk-alkali karakterli, orta dereceli potasyum içeriklerine sahip olduklarını belirlemişlerdir. Volkanitlerin jeokimyasal, petrolojik ve izotopik verileri birlikte değerlendirildiğinde, incelenen kayaların çarpışma ve çarpışma sonrası açılma ile ilişkilendirilen jeodinamik bir

havzada yitim akışkanlarının metasomatizmasına uğrayan zenginleşmiş bir mantodan türediklerini ifade etmişlerdir.

Aydınçakır ve Şen (2013), Doğu Pontidler'deki Eosen magmatizmasının gelişimini açıklamak amacıyla Borkça (Artvin) yöresinin volkanitlerini inceledikleri bu çalışmalarında, volkanitlerin büyük iyon yarıçaplı litofil elementler ve hafif nadir toprak element içeriklerinde zenginleşmenin, yüksek çekim alanlı element içeriklerinde tükenmenin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Tüm veriler, volkanitlerin çarpışma sonrası ekstansiyonel ile ilişkili jeodinamik havza içerisinde yitimden türeyen akışkanlar tarafından metasomatizmaya uğramış zenginleşmiş manto ergimesiyle türeyen ana magmalardan oluştuğu sonucuna varmışlardır.

Arslan vd. (2013), Doğu Pontidler'in Güney Zonunda yer alan çarpışma sonrası volkanik kayaçların ^{40}Ar - ^{39}Ar yaşlandırması, tüm kayaç Sr-Nd-Pb izotop jeokimyasının ele alındığı bu çalışmalarında, Bayburt, Gümüşhane, Alucra ve Şiran yörelerinden alınan volkanik kayaçların genellikle toleyitik ve kalk-alkali karakterde bazalt, andezit ve dasit örnekleri oldukları belirtilmiştir. ^{40}Ar - ^{39}Ar yaşlandırması ile volkanitlerin yaşının Orta Eosen olduğunu, nadir toprak element dağılımlarında orta-düşük dereceli bir zenginleşmenin gözlenmesi ile spinel lertzolit kaynağından türemiş olabileceklerini yorumlamışlardır. Ayrıca, Sr-Nd-Pb izotop verileri ışığında, volkanitlerin yitim ile ilişkili olarak kıtasal kabuğun altında yer alan litosferik mantodan türediği kanısına varmışlardır.

Dokuz vd. (2013), Doğu Pontidler'deki çarpışma sonrası adakitik volkanizmasını incelemek amacıyla Yoncalık ve Tavdağı yörelerinden alınan örneklerin petrojenezinde yiten levha ve alt kabuk ergimesinin önemli bir etkisinin olduğunu belirtilmişlerdir. Yoncalık dasitinin jeokimyasal verileri dikkate alınarak petrojenezinde yiten bazalt ve sediman kaynaklı ergiyiklerin değişik oranlardaki katkısının var olduğunu ifade etmişlerdir. Tavdağı riyolitlerinin adakitik özelliği taşıyan bu kayaçların, düşük Nd ve yüksek Sr izotop oranlarının yanında yüksek Sr/Y, La/Yb oranlarına sahip kalk-alkali juvenil bir kabuğun ergimesiyle meydana geldikleri kanısına varmışlardır.

Bilici (2013), Tekeköy (Samsun) yöresi Senozoyik yaşlı volkanitlerin petrografisi, petrokimyası ve petrolojisinin incelendiği yüksek lisans tez çalışmasında, volkanitleri fasiyes özelliklerine göre dört gruba ayırmıştır. Bu volkanitlerin jeokimyasal verilerine dayanarak orta-yüksek potasyum içerikli ve hafif derecede alkali karakterde olduklarını belirtmiştir. İlksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.704862-0.705282) ve ilksel $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (0.512556-0.512630) oranları ile diğer tüm veriler yorumlanarak, volkanitlerin petrojenezinde yitim

zonu metasomatizması ile zenginleşmiş litosferik manto kaynağının etkili olduğu ve orojenik kuşaktaki çarpışma sonrası volkanizmanın özelliklerini gösterdiğini ifade etmiştir.

Yücel vd. (2014a), Doğu Pontidlerde yer alan Tersiyer volkanitlerinin oluşumu öncesi kristallenme durumları ve magma odası süreçlerinin irdelenmesi adına yapılan çalışmada, Eosen ve Miyosen volkanik birimlerinin ana magma kaynağının derin ve orta kabuk seviyelerinde fraksiyonel kristallenme ve kabuk asimilasyonu ya da kabuk ergiyikleri ile karışıma maruz kalmış olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, Miyosen volkanitlerinde yer alan aynı türden inklüzyonların orta kabuk seviyelerde farklılaşmış ve katman halindeki magma odalarının geri karışımı ile oluştuklarını belirtmişlerdir.

Aslan vd. (2014), Doğu Pontidlerdeki çarpışma sonrası volkanizmanın irdelenmesi adına Gümüşhane yöresindeki andezitler ile bunları kesen bazaltik daykaları incelemişlerdir. Andezitik kayaların Orta Eosen-Erken Oligosen yaşta oldukları, bazaltik dayk örneklerinin ise Orta Miyosen yaşta olduklarını belirtmişlerdir. Jeokimyasal ve petrolojik veriler doğrultusunda, bölgedeki Eosen-Miyosen volkanizmasının petrojenezinde manto incelenmesi ve litosferik delaminasyonun etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Temizel vd. (2016), Bafra (Samsun) yöresinde yer alan Eosen yaşlı volkanik kayaların jeokimyası ve jeokronolojisinin incelendiği çalışmada, volkanitleri üç ayrı grupta (trakibazalt/bazalt, piroklastitler ve tefrit) incelemişlerdir. Volkanitlerin genel olarak hafif derecede alkali ve yüksek potasyum içerikli kalkalkali karakterde olduklarını, sahip oldukları $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları (0.7042-0.7051) ve ϵNd değerlerine (+0.20 ila +3.32) göre volkanitlerin petrojenezinde yiten kabuk malzemesinin karışımıyla zenginleşmiş bir manto kaynağının etkili olduğu ileri sürülmüştür.

Yücel vd. (2017), süregelen ekstansiyonel ortamlarda litosferik mantodan türeyen potasyumca zengin magmaların evriminin konu alındığı çalışmada, volkanitleri Eosen ve Miyosen şeklinde iki grupta incelemişlerdir. Her iki volkanit grubunun gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin daha etkili olduğunu vurgulamışlardır. Eosen volkanitlerinin ana magmasının spinel bileşimli peridotit kaynağının yüksek kısmi ergime derecesiyle meydana geldiğini, Miyosen volkanitlerinin ise daha önceden bir garnet peridotit kaynağından türeyen metasomatik ergiyiklerden meydana gelen bir mantonun düşük kısmi ergime derecesiyle oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Göçmengil vd. (2018), çarpışma sonrası Orta Eosen magmatizmasını açıklamak amacıyla Almus (Tokat) ve Yıldızeli (Sivas) yörelerinden alınan örneklerin jeokimyasal ve petrolojik özelliklerini incelemişlerdir. Stratigrafiye bağlı olarak üç farklı volkanik döneme

ayrılan Almus ve Yıldızeli yörelerinin volkano-sedimanter istif ile temsil edildiğini belirtmişlerdir. Petrolojik veriler doğrultusunda kayaçların fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon ile birlikte gelişen fraksiyonel kristallenme ile şekillendiği belirtilmiştir. Tüm verilere göre, Orta Eosen magmatizmasının çarpışma sonrasında eş zamanlı olarak geliştiği ve magmatizmayı tetikleyen olayın bölgesel ölçekte bir delaminasyon veya litosferik ayrılma süreçleri ile kontrol edildiğini ileri sürmüşlerdir.

Yücel (2019), Şebinkarahisar (Giresun) yöresi Pliyosen-Kuvaterner yaşlı adakitik volkanizmanın jeokimyası ve petrolojisinin ele alındığı bu çalışmada, volkanitlerin U-Pb zirkon yaşlandırmasının 1.9-3.4 Milyon yıl olduğunu, jeokimyasal verilerin volkanitlerin ana magmalarının önceden yitim sedimanları ve akışkanlar tarafından zenginleşen bir manto kaynağından türediklerini ifade ettiklerini belirtmiştir. Ayrıca adakitik olarak kabul edilen volkanitlerin magmalarının yüksek kısmi ergime derecesine sahip heterojen karışımli manto kaynaklarından türediklerini ve bunun yanında sığ kıtasal kabuk seviyelerinde magma karışımlarına maruz kaldıklarını ifade etmiştir.

1.4.2. Volkanitlerin Petrolojisinde OSE Kullanımıyla İlgili Literatür Özeti

Elementler jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak ilk kez Goldschmidt (1954) tarafından dört alt grupta (litofil, siderofil, kalkofil, atmofil) incelenmiştir. Bu sınıflandırmada önemli bir gubu oluşturan siderofil elementler, silikat içerikli yeryuvarı, hidrosfer ya da atmosfere kıyasla metalik demir ile ayrılmaya meyilli, demir seven elementler olarak tanımlanmıştır. Bu elementlerden bazıları, aynı zamanda sülfid eriyik ve bazı sülfid mineralleri ile güçlü bir şekilde ayrılmaya meyilli kalkofil elementler olarak adlandırılmaktadır. Bu elementler ayrıca, yüksek yoğunlukta ferromanyetik (demirsel mıknatıs özelliğine sahip) ve aynı zamanda eriyik ya da katı çözelti haldeki demirde çözünebilen paramanyetik (mıknatıs özelliğine sahip) geçiş metallere, oksijen ile hiçbir bağ oluşturmamaktadır. Sıklıkla kalkofil elementlerle bağ oluşturmaktadırlar. Bu elementler; Co, Au, Ag, Ir, Fe, Mn, Mo, Ni, Os, Pd, Pt, Re, Rh ve Ru'dur (Haldar, 2017).

Siderofil elementler, yeryuvarı ve ayın oluşumu hakkında önemli bilgiler sunmalarının yanında manto tüketimi, mantoda eriyik-kayaç ilişkisini açıklamaya yönelik çalışmalarda da önemli bilgiler vermektedir (Walker vd., 2007; Walter vd., 2000). Elementlerin mineral içerisindeki miktarının silikat içerisindeki miktarına oranı ile hesaplanan dağılım katsayılarına (D) göre bu oran; (i) >10000 ise Oldukça Siderofil

Elementler (OSE) (Re, Os, Ir, Ru, Pt, Rh, Au, Pd), (ii) 3-10000 arasında ise Orta Dereceli Siderofil Elementler (ODSE) (Ga, P, W, Co, Ag, Ni, Sb, As, Ge, Mo) ve (iii) <3 ise Düşük Dereceli Siderofil Elementler (DDSE) (Mn, V, Cr) şeklinde adlandırılır (Walker, 2016).

Oldukça Siderofil Elementlerin içerisinde Platin Grubu Elementler (PGE; Os, Ir, Ru, Rh, Pt ve Pd) ve bunların yanında Re ve Au elementleri yer almaktadır. PGE'ler sıcaklığın 2000 C'nin altında ve üzerinde olma durumuna bağlı olarak sırasıyla İridyum Grubu (IPGE; Os, Ir ve Ru) ile Paladyum Grubu (PPGE; Pt, Pd ve Ru) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İridyum grubu elementleri olivin ve piroksen gibi silikat mineralleri içerisinde sülfid inklüzyonları halinde yer aldıkları gibi birbirleri ile etkileşimleri ile doğal mineralleri de meydana getirebilirler. Ayrıca OSE verileri ile $^{187}\text{Re} - ^{188}\text{Os}$, $^{190}\text{Pt} - ^{186}\text{Os}$ izotop sistemleri birlikte yorumlandığında bazaltik kayaç çalışmalarında önemli faydalar sağlamaktadır (Shirey ve Walker, 1998; Carlson, 2005; Day, 2013).

Bazaltik volkanitlerde gerçekleşen petrolojik süreçlerin aydınlatılmasında son yıllarda yeni yeni kullanılmaya başlayan Platin Grubu Element (PGE) ve Os izotop sistematiği ile ilgili literatür araştırmalarına bakıldığında, özellikle 2000'li yıllardan sonra gerçekleştirilen detaylı çalışmalar yıllara göre aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Crocket (2002), alkali bazaltlardaki düşük PGE içeriklerini, Hawaii'nin Miu yöresinde yer alan alkali bazaltları dikkate alarak incelemiştir. Bu kapsamda Kilaueu yöresi toleyitik bazaltlara kıyasla alkali bazaltların sekiz kat daha düşük seviyelerde PGE içeriklerine sahip olduklarını tespit etmiştir. Oradaki bu düşüklüğün fraksiyonel kristallenmenin aksine manto kaynağının kısmi ergime derecesi ile alakalı olduğunu belirtmiştir. Alkali bazaltların petrojenezinin, kaynak bölgede düşük PGE içeriklerinin önemli derecede katkısıyla düşük derecede kısmi ergimenin meydana gelmesiyle oluştuğunu belirtmiştir.

Schmidt ve Snow (2002), Eifel (Almanya) volkanik alanı ve civarındaki Volgersberg volkanizması ile yüzeye kadar ulaşan farklı metasomatik etkilerle zenginleşmiş manto ksenolitleri üzerinde Os izotop çalışmaları yaparak Re-Os sistemlerinde metasomatik etkilerin varlığını araştırmışlardır. Ayrıca, sülfid hareketliliğini açıklamaya odaklandıkları çalışmada, bu hareketliliğin yüksek Os izotop içerikleri ile karakterize edilen metasomatize geçirmiş peridotitlere sülfid eklenmesi sonucu oluşan ergiyik taşınımına bağlı olduğunu belirtirlerken, ikincil olarak etkilenmeden kalan kalıntı ergiyiklerin ise litosfer oluşum işlemlerine bağlı olarak zamansal dağılım konusunda veriler sunduğunu ileri sürmüşlerdir.

Ivanov vd. (2008), Kamçatka Pliyo-Kuvaterner yaşlı ada yayı örneklerini ele alınarak bazaltlarda PGE ve Re dağılımlarını ilk kez konu edinmişlerdir. Ele alınan örneklerin düşük-orta dereceli potasyum içeriklerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Yitim sonucunda oluşan ada yaylarındaki kısmi ergime ve akışkan kütle yönsemelerinin örnekler için benzerlik gösterdiği ve bu olaylar sayesinde N tipi OOSB manto kaynağına kıyasla ada yaylarındaki PGE içeriklerinin (özellikle paladyum grubu içerikleri) açısından yüksek değerlerde olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sayede manto sıcaklık ve basıncında sulu akışkanlar yardımıyla PGE transferlerinin gerçekleştiği kanısına varmışlardır.

Ireland (2009), Hawaii pikritlerinden alınan örnekler ile OSE ve Os izotop verilerinden faydalanarak ana magma kaynağının belirlenmesine ışık tutmak için yapılan çalışmada, dokuz ayrı lokasyondan pikritik ($MgO > \%13$) ve toleyitik karakterdeki (MgO oranı yaklaşık $\%7-12$ arasında) bazaltların OSE ve Os izotop jeokimyasını incelemiştir. MgO ' karşı OSE içeriklerinin dağılımlarına göre pikritlerde iki farklı dağılımın söz konusu olduğu ve bu farklılığı kısmi ergime oranı ile magma yükselimi sırasında gerçekleşen sıvı-karışmazlığı ilişkisine dayandırmıştır.

Yuan vd. (2012), Çin'in Xinjiang bölgesinde Tarım kıtasal akma bazaltlarının sülfür ve kalkofil element metal değişimlerini göz önüne alarak sülfür doyumluk evrimi ve Ni-Cu-PGE mineralizasyonunu açıklamaya yönelik fikirler ortaya atmışlardır. Bazaltların özellikle oldukça düşük $(Cu/Zr)_{IM}$ ve $(Pd/Cu)_{IM}$ oranları içerdikleri ve bu oranlar ile Ni-Cu-PGE miktarları birlikte değerlendirildiğinde MgO 'e karşı oranlarda bir değişimin gözlenmediğini vurgulamışlardır. Bazaltların ana magmalarının zenginleşmiş manto kaynağından türediklerini, sülfür doyumluğu bakımından daha düşük kükürt içeriğine sahip olduklarını, derinlerde kabuk malzemeyi asimile ettiklerini belirtmişlerdir.

Ma vd. (2013), Suriye'nin Halep platosunda Orta Eosen-Miyosen yaşlı levha içi bazaltların PGE jeokimyasının irdelendiği bu çalışmada, bazaltların PGE içeriklerinin alkali bazalt örnekleri (Hawaii) ile OOSB'lere kıyasla oldukça düşük değerlerde olduklarını belirtmişlerdir. Düşük PGE içerikleri ve yüksek Pd/Ir, Pt/Ir, Cu/Pd, Y/Pt ve Cu/Zr oranları ile birlikte manto kaynağında kısmi ergime ve bu ergime ile de sülfür fraksiyonlaşmasının gerçekleştiği ileri sürülmüştür. Örneklerin 5.6 ya ulaşan Pd/Pt oranlarına sahip olması ve bu oranın kondritik ve ilksel mantoya kıyasla (yaklaşık 0.5-0.6) oldukça yüksek olduğu göz önüne alarak bazaltların petrojenezinde metasomatizmaya uğramış manto kaynağının etkili olduğunun kanısına varmışlardır.

Chu vd. (2013), Çin'in kuzeydoğusunda yer alan oldukça potasik bazaltların petrojenezinin açıklanmasında PGE analizleri ile beraber Re-Os, Lu-Hf ve Sr-Nd izotopik verilerini değerlendirmişlerdir. Jeokimyasal veriler ışığında, orta derecede $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranları (0.1187- 0.17) içerdikleri ve paladyum grubu (Pd, Pt ve Rh) açısından az oranda bir zenginleşme olduğu belirtilmiştir. $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranına karşı 1/Os diyagramına göre, bazaltların gelişiminde magma yükselimi esnasında %2-8 arasında alt kıtasal kabuk asimilasyonunun etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca kıta altı litosferik mantodan türeyen sülfidlerin ve PGE alaşımları sayesinde radyojenik olmayan Os atomlarının bazaltlar içerisinde var olduğunu ifade etmişlerdir.

Aldanmaz vd. (2015), Batı Türkiye'de yer alan Geç Miyosen-Kuvaterner yaşlı okyanus adası bazaltları (OAB) tipi mafik alkali levha içi lavları ile Orta Miyosen yaşlı aktif kıta kenarı lavlarının OSE ve Hf-Pb-Os izotop jeokimyası verileri irdelenerek volkanitlerin magma kaynağının belirlenmesi ve petrolojik evrimini açıklamaya çalışmışlardır. OAB tipi lavlarda iridyum grubu (Os, Ir ve Ru) içeriklerinde fraksiyonlaşma ile azalmanın gözlemlendiği ve ilksel bileşime göre Pd ve Re içeriklerinin MgO ile negatif yönselmeler gösterdiğini belirtmişlerdir. Pt'nin düzensiz korelasyonlar göstermesini ise Pt'ce zengin alaşımlardan kaynaklandığı şeklinde yorumlamışlardır. Farklılaşmış lavların yüksek Os izotop oranları içermesini, bu volkanitlerin gelişiminde sığ derinlik farklılaşması ile gelişen kabuk asimilasyonunun etkili olduğu şeklinde yorumlamışlardır.

Zhang vd. (2015), Kuzey Çin Kratonunda yer alan Senozoyik yaşlı bazaltların PGE jeokimyası ile heterojen manto kaynaklarının gelişimini incelemişlerdir. İlksel mantoya normalize edilmiş PGE dağılımlarının pozitif korelasyon gösterdiği ve PGE içerikleri ile Pd/Ir oranlarının 1.2-25 arasında değişmesi, bazaltların OOSB bileşimlerine benzerlik gösterdiğini vurgulamışlardır. Sr-Nd-Pb-Hf izotop sistemleri ile PGE jeokimyası birlikte yorumlandığında bazaltların ana magma kökeninde peridotitik ve eklojitik manto ergimesinin etkili olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Zeng vd. (2016), Çin'in doğusunda yer alan Nanjing yöresindeki Senozoyik yaşlı bazaltların ksenolit-magma etkileşiminin açıklandığı bu çalışmada, düşük-Ca ve yüksek-Ca içerikli bazaltların düşük PGE verileri ile yüksek Cu/Pd oranlarına sahip olduklarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, bu durumun bazaltların ana magmalarının gelişimde, mantodaki ergime sırasında veya erken sülfid segregasyonu ile gelişen miktarda kalıntı sülfid içeren sülfidce doygun manto kaynaklarından türemiş olabileceğine işaret ettiğini

ileri sürmüşlerdir. Düşük Ca içerikli bazaltların PGE bileşimlerinin ksenolit-magma etkileşimi ile kontrol edildiğini vurgulamıştır.

Gannoun vd. (2016), levha içi ile yakınlaşan ve uzaklaşan plaka sınırlarında gelişen volkanizmanın OSE içeriklerini ve Os izotop verilerini değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda, OOSB, OAB ve kıtasal akma bazaltlarında (KAB) OSE dağılımlarını karşılaştırmışlardır. Manto mineralleri arasında ve bunların ergimesiyle ilişkili olarak OSE dağılımlarını, farklı tektonik ortamlarda gelişen bazaltik magmalara göre OSE içerikleri ve Os izotop bileşimlerini göz önüne almışlardır. Bunların yanında silikat minerallerinde gözlenen OSE dağılımını mevcut veriler ile karşılaştırıp yorum yapmışlardır.

Izokh vd. (2016), Sibiry (Rusya) büyük magmatik sahasında yer alan Permo-Triyas yaşlı bazaltlarda PGE dağılımları analiz edilerek Siberian manto yükselmesi ile ilişkilerini ortaya koymuşlardır. Veri elde etmek amaçlı Norilsk yöresinden rift ve akma bazaltı, Tunguska senklinealinin orta kesimdeki Semeitau akma bazaltı, Kazakistanın doğusundan subalkali bazaltından örnekler almışlardır. Elde edilen veriler doğrultusunda rift sahasında gelişen örneklerin düşük PGE, pikritik ve toleyitik bazaltların yüksek PGE içerdiklerini ve rift akma bazaltlarının düşük PGE içeriklerine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Hopkins vd. (2016), Auckland (Yeni Zelanda) levha içi bazaltik volkanik alanından alınan örneklerin Re-Os içerikleri ile Os izotop verilerinden yararlanarak volkanitlerin gelişiminde kabuk ve manto ile ilgi magmatik süreçlerin belirlenmesini amaçlamışlardır. İncelenen bazaltların Os içerikleri (6-579 ppt) ile $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları, manto bileşimine (0.123) benzer bileşimde ve bunun yanında oldukça yüksek oranları da gösterdiğini belirtmişlerdir. Çoğu örneklerin nispeten oldukça yüksek $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranları ve göreceli olarak düşük Os içeriklerinin var olması, ergiyiklerin yükselmesi sırasında yüksek $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranlarına sahip metasedimenter kayalar (örneğin, grovak) tarafından asimilasyona maruz kalarak oluştuklarını ileri sürmüşlerdir.

Chu vd. (2017), Orta-Doğu Çin'de yer alan düşük Ca alkali, yüksek Ca alkali ve toleyitik karakterde Senozoyik yaşlı bazaltların tüm kayaç Re-Os ve PGE içerikleri ile beraber ana-iz element ve Sr-Nd izotop değerlerinden yararlanarak bazaltların petrojenezini açıklamaya çalışmışlardır. Düşük Ca içeren alkali bazaltların $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranı (çoğunlukla <0.14) ile kondrite normalize edilmiş PGE dağılımları kısmende olsa kıtasal kabuk katkısına maruz kalan tüketilmiş manto kaynağından türediğini ifade etmişlerdir. Yüksek Ca içeren alkali ve toleyitik karakterdeki bazaltların ise yüksek Os içerikleri ile düşük Pd/Ir oranlarının yanında Os izotop oranına karşı 1/Os modelleme

yorumlamalarına göre, bazaltların petrojenezinde kabuk asimilasyonundan ziyade heterojen bileşimli manto kaynaklı bir magmanın etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Huang vd. (2017), Çin'in güneydoğusunda Niutoushan ve Mingxi (Fujian), Xilong (Zhejiang) ve Penghu (Tayvan) yörelerindeki Senozoyik yaşlı bazaltlarının kaynak alanlarını belirlemek için PGE jeokimyasından yararlanmışlardır. İncelenen bazaltların okyanus adası bazaltı bileşimlerine benzer iz element dağılımları ve düşük PGE içerikleri (Ir ve Pd=0.02–0.7 ppb, Ru=0.05–1.4 ppb, Rh=0.01–0.2 ppb, Pt=0.06–1.1 ppb), yüksek Cu/Pd oranları (~69.000–3.500.000) ve düşük Cu/Zr oranları (0.1–0.8) göstermeleri nedeniyle sülfürce doymuş fraksiyonlaşmanın bu bazaltların gelişiminde etkili olduğunu destekler nitelikte bir sonuca varmışlardır. Yöredeki farklı yaşlardaki bazalt gruplarında gözlenen belirgin PGE dağılımlarının manto heterojenliğini yansıttığını ileri sürmüşlerdir.

1.5. Çalışma Konusunun Gerekçesi ve Amacı

Doğu Pontidlerde yer alan Eosen yaşlı volkanik kayalarda son yıllarda geleneksel jeokimyasal yöntemler kullanılarak detaylı bir şekilde yapılan petrografik, jeokimyasal ve petrolojik çalışmalar sonucunda Eosen magmatizmasının çarpışma sonrası litosferik manto kökeni ile ilişkili olduğu ileri sürülmüştür. Ancak, geleneksel jeokimyasal yöntemler kullanılarak elde edilen litofil element ve özellikle Sr-Nd-Pb izotop verileri volkanitlerin kaynak alanlarının ve gelişimlerinde etkisi olası kabuk asimilasyonunun belirlenmesi oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple bazalt petrolojisinde son yıllarda oldukça siderofil element jeokimyası kullanılarak magma kaynak alanı ve kabuk asimilasyonu gibi petrolojik olayların açıklanmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Doğu Pontidler'in batı kısmında, Samsun yöresinde yüzeylenen Eosen yaşlı bazik volkanitlerin ilk defa geleneksel jeokimyasal yöntemlerden (tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri) farklı olarak oldukça siderofil element (OSE: Os, Ir, Ru, Rh, Pd, Pt, Re) jeokimyasal özellikleri belirlenerek, bu kayaları oluşturan magmaların gelişiminde etkili olan petrolojik süreçler (kısmi ergime, fraksiyonel kristallenme, kabuk asimilasyonu) irdelenecektir. Ayrıca elde edilen OSE verileri ile geleneksel yöntemlerle elde edilen litofil element ve izotop jeokimyası verileri karşılaştırılacaktır.

Bu bağlamda, güncel yöntemler ile elde edilecek OSE jeokimyasal veriler ışığında Eosen volkanitlerinin petrojenezinin açıklığa kavuşmasının yanı sıra Doğu Pontidler'in jeodinamik evrimine dair ipuçları da elde edilmiş olacaktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal ve Yöntemler

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Saha incelemeleri Eosen yaşlı volkanik kayaçların yüzeyleme verdiği Samsun iline ait Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerinde yapılmıştır ve bazaltik ve tefritik kayaçların yayılım gösterdiği alanların mevcut jeolojik haritaları kontrol edilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında lav, dayk ve sil olarak yayılım gösteren bazik volkanitlerin arazi (ve petrografik) özellikleri ortaya konularak, GPS cihazı yardımıyla sistematik örnekler alınmıştır.

Bu amaçla, daha önceki çalışmalarda (Bilici, 2013; Temizel vd., 2016) söz konusu volkanitlerin petrografisi, jeokimyası ve jeokronolojisinin detaylı olarak incelendiği alanlarda arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve yayılım kriterlerine uygun 15 adet bazalt-tefrit örneği alınmıştır (Tablo 1).

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları ve Analitik Yöntemler

Laboratuvar çalışmaları, (i) ince ve parlak kesitlerin hazırlanması, mineralojik ve petrografik tayinler, (ii) OSE ve Os izotop analizler için örnek hazırlama ve (iii) OSE ve Os izotop analizleri olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

İnceleme alanında çalışılan volkanitlerin detaylı petrografisi (mineral kimyası dahil) daha önceki çalışmalarda (Bilici, 2013; Temizel vd., 2016) verilmiş olduğundan bu çalışma kapsamında araziden alınan bazik volkanit örneklerini analize hazır hale getirmeden önce genel dokusal özellikleri ve mineralojik bileşimlerini kontrol amaçlı ince kesitler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ince kesitler üzerinde kayaçların mineralojik ve dokusal özellikleri mevcut çalışmalar da dikkate alınarak ele alınmıştır.

Ayrıca, ince kesit incelemeleri sonucunda bazik volkanitlerde oksit ve sülfür minerallerinin varlığının incelenmesine yönelik olarak da parlatılmış ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesit incelemeleri sonucunda (ve mevcut petrografik, jeokimyasal, jeokronolojik ve petrolojik çalışmalar da dikkate alınarak) 15 adet bazik kayaç örneği,

OSE içerikleri ve Os izotop ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$) oranlarını belirlemeye yönelik analitik çalışmalar yapılmak üzere hazırlanmıştır.

Tablo 1. İncelenen Eosen yaşlı bazaltik-tefritik volkanitlerden lokasyonlara göre alınan örneklerin dağılımı ve koordinatları.

Lokasyon No	Lokasyon/ Yöre adı	Alınan örnek sayısı	Örnek No	Örnek Koordinatları		Yaş (My) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Referans
				Enlem	Boylam		
1	Tekkeköy (Samsun) yöresi	6	Bazaltik Lav			44.59- 46.22	Bilici (2013) ve M.Arslan (yayınlanmamış yaş verileri)
			S-9	41° 14' 13"	36° 22' 09"		
			S-43	41° 11' 56"	41° 11' 56"		
			S-103	41° 12' 31"	36° 18' 48"		
			S-109	41° 12' 30"	36° 23' 16"		
			S-120	41° 12' 05"	36° 23' 02"		
2	Kulacadağ (Samsun) yöresi	3	Tefritik Sil			42.66	Temizel vd. (2019b)
			KT-4	41° 16' 55"	34° 8' 39"		
			KT-6	41° 16' 55"	34° 8' 26"		
			KT-11	41° 16' 55"	34° 8' 27"		
3	Bafra (Samsun) yöresi	6	Bazaltik Dayk			44.12- 51.38	Temizel vd. (2016)
			B-34	41° 18' 54"	41° 20' 01"		
			Bazaltik Lav				
			B-9	41° 18' 51"	41° 19' 09"		
			B-20	41° 17' 43"	41° 19' 10"		
			Tefritik Dayk				
			B-13	41° 20' 01"	36° 07' 56"		
			Tefritik Lav				
B-10	41° 19' 09"	36° 07' 42"					
B-38	41° 19' 10"	36° 15' 24"					

2.1.2.1. Mikroskobik Tayinler

İnce kesitler için seçilen el örneklerinden yaklaşık olarak 0.5 cm kalınlığında, 2 cm genişliğinde ve 4 cm boyutunda düzgün plakalar kesilmiştir. Elde edilen bu plakalar epoksi yardımıyla 0.1 cm kalınlığında, 2.7 cm genişliğinde ve 4.7 cm uzunluğundaki lamlar üzerine yapıştırılmıştır. Daha sonra çeşitli aşındırma tozları yardımıyla lam üzerine yapıştırılan plakalar inceltilerek alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop incelemeleri için ince kesitler, üstten aydınlatmalı mikroskop çalışmaları için ise parlatılmış kesitler hazırlanmıştır. Tüm kesitler Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarları imkanları kullanılarak hazırlanmıştır.

İnce kesiti ve parlak kesiti hazırlanan bazik volkanit örneklerinin alttan ve üstten aydınlatmalı mikroskopik incelemeleri, K.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Lisansüstü Araştırma Laboratuvarı'ndaki Nikon E200POL marka mikroskopta gerçekleştirilmiştir. İnce kesitlerin alttan aydınlatmalı (polarizan) mikroskop incelemelerinde bazik volkanitlerin önemli görülen dokusal ve mineralojik özellikleri, parlak kesitlerin üstten aydınlatmalı (cevher) mikroskop incelemelerinde bazik kayaç örneklerinde mafik mineraller (klinopiroksen, olivin, hornblend, biyotit) içinde kapanım halinde ve hamurda bulunan oksit ve sülfid minerallerinin varlığı mikro fotoğraflar ile belgelenmiştir.

2.1.2.2. OSE ve Os İzotop Analizleri İçin Örnek Hazırlama

Saha çalışmaları ve petrografik incelemeler ile mevcut jeokimyasal, jeokronolojik ve petrolojik çalışmalar da dikkate alınarak seçilen 15 adet bazik volkanik kayaç örneklerinin tüm-kayaç OSE ve Os izotop analizleri için K.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kayaç Öğütme Laboratuvarı'nda toz haline getirilmiştir. 400-500 gr ağırlığındaki örnekler önce küçük parçalara ayrılarak agat halkalı öğütücüde yaklaşık 250 mesh boyutuna kadar öğütülmüştür. Öğütülen tozlardan her örnek için 10-15 gr ayrılarak analizler için Çek Bilimler Akademisi Jeoloji Enstitüsü Laboratuvarları'na (Çek Cumhuriyeti) gönderilmiştir.

2.1.2.3. OSE ve Os İzotop Analizleri

İncelenen Eosen yaşlı bazik volkanitlerin tüm-kayaç OSE içerikleri ve Os izotop bileşimleri, Çek Cumhuriyeti Bilimler Akademisi Jeoloji Enstitüsü (Institute of Geology AS CR, v.v.i.) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Toz örneklerden elementlerin kimyasal yolla ayrımı ve zenginleştirme işlemleri, indüksiyonlu eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer; ICP-MS) kullanılarak ve bazı örneklerde Os izotoplarının analizleri negatif termal iyonizasyon kütle spektrometresi (Negative Thermal Ionization Mass Spectrometry; N-TIMS) kullanılarak Çek Cumhuriyeti Bilimler Akademisi Jeoloji Enstitüsü laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Analizler için yaklaşık 1.5-2 gr tüm-kayaç toz örnekleri, Carius Tüpleri (Shirey ve Walker, 1995) ve 260

°C’de en az 72 saat boyunca ters kral suyu (2:1 oranında 16 N HNO₃ ve 12 N HCl, 9 ml) kullanılarak çözdürülmüş ve ¹⁸⁵Re, ¹⁹⁰Os ve ¹⁹¹Ir-⁹⁹Ru-¹⁰⁵Pd-¹⁹⁴Pt zenginleştirmeleri ile dengelenmiştir. Çözdürme işlemine, CHCl₃ çözücü ekstraksiyonu (Cohen ve Waters, 1996) ve Os mikrodamıtma (Birck vd., 1997) yoluyla Os elementinin ayrılması sağlanarak devam edilmiştir. Kalan çözeltiden Ir, Ru, Pt, Pd ve Re elementleri, anyon değiştiricili kromatografi kullanılarak ayrılmış ve sonra Aridus IITM (CETAC) çözücülü nebulizörle eşleşmiş sektör alanlı (SF) ICP-MS Element 2 (Thermo) ile analiz edilmiştir. İzotop fraksiyonlaşması, doğrusal olarak ve örneklerle birlikte analiz edilen standart Ir, Ru, Pd, Pt (E-pond) ve Re (NIST 3143) çözeltileri kullanılarak düzeltilmiştir. Analizlerde ölçülen izotopik oranların hassasiyeti ± %0.4 (2σ)’den daha iyi olmuştur.

Os konsantrasyonları ve izotopik oranları, N-TIMS (Creaser vd., 1991; Völkening vd., 1991) kullanılarak ölçülmüştür. Örnekler, Ba(OH)₂ aktivatörlü Pt filamentler üzerine konsantre HBr ile yüklenmiş ve daha sonra maksimum atlama modunda ikincil elektron çoğaltıcı kullanılarak Thermo Triton Termal iyonizasyon spektrometresinde OsO₃⁻ olarak analiz edilmiştir. ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os belirlenmesinde hassasiyet her zaman ± %0.3 (2σm)’ye eşit veya bundan daha iyisi kabul edilmiştir. Ölçülen Os izotopik oranları, oksijen izobarik etkileşimleri, zenginleştirme (spike) katkısı, aletsel kütle fraksiyonlaşmasını ayarlamak için ¹⁹²Os/¹⁸⁸Os = 3.08271 (Shirey ve Walker, 1998) verisi kullanılarak çevrim dışı düzeltilmiştir. BIR-1a bazalt referansı (USGS) ve yöntemsel boşlar için OSE ve Os izotop verileri Tablo 2’de sunulmuştur.

Ayrıca örneklerde ölçülen ¹⁸⁷Re/¹⁸⁸Os ve ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os oranları, kayaçların mutlak yaşları (önceki çalışmalardaki ³⁹Ar-⁴⁰Ar yaşlandırmaları) ve kondritik ¹⁸⁷Re/¹⁸⁸Os ve ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os bileşimleri esas alınarak, ilksel Os izotop oranı (¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os)_i, gamma (γ)-Os parametresi (kondritik osmiyum izotop bileşimine göre yüzde sapma), yaşa göre kondritik osmiyum izotop bileşimi (¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os)_T ve model yaş (T_{MA}; kondritik gelişimden ayrılma zamanı) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, günümüz kondritik ¹⁸⁷Re/¹⁸⁸Os=0.40186 ve ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os=0.127 değerleri (Shirey ve Walker, 1998) ile ⁸⁷Re bozunma sabiti (λ)=1.6668x10⁻¹¹ y⁻¹ (Selby vd., 2007) kullanılarak, aşağıdaki formüller (3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4) ile hesaplanmıştır.

$$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{ilksel}} = ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}} - [(^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}}) \times (e^{\lambda t} - 1)] \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{Os}} &= [(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}(t)} / ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{Knd}(t)}) - 1] \times 100 \\ &= [(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{ilk}} / ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{T}}) - 1] \times 100 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_T = ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{ilk}} + ^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}} (e^{\lambda(4568000000)} - e^{\lambda t}) \quad (3.3)$$

$$T_{MA} = 1/\lambda \ln \left[\left(\frac{^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}} - ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}}}{(^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}} - ^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}}) + 1} \right) \right] \quad (3.4)$$

Tablo 2. OSE ve Os izotop analizlerinde yöntemsel boşlar ve bazalt referansı (BIR-1a) için elde edilen ölçüm değerleri.

		Lab. Örn.No	Re (pg)	Os (pg)	Ir (pg)	Ru (pg)	Pt (pg)	Pd (pg)	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	
Boşlar	ultra temiz değil	1144	-	0.5	11	23	65	56	0.43	
	ultra temiz değil	1167	4	0.4	12	22	35	62	0.23	
		1245	15	0.4	5	5	7	45	0.44	
		1255	10	0.4	3	6	6	20	0.27	
		1349	4	2.5	1	6	-	117	0.26	
Ortalama			10	1	6	14	28	46		
			Re (ppb)	Os (ppb)	Ir (ppb)	Ru (ppb)	Pt (ppb)	Pd (ppb)	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$2\sigma_m$
BIR-1a RM		1143	0.75	0.36	0.16	0.40	4.7	5.1	0.1339	1
BIR-1a RM (yeni 2018 spike ile zenginleştirilmiş)		1195	0.72	0.38	0.15	0.28	4.8	5.9	0.1324	2
BIR-1a RM		1235	0.66	0.38	0.13	0.32	4.7	3.8	0.1341	1
BIR-1a RM		1285	0.70	0.36	0.13	0.33	4.7	5.2	0.1329	6
BIR-1a RM		1348	0.59	0.34	0.12	0.69	4.0	4.6	0.1341	1
BIR-1a RM		1420	0.70	0.37	0.14	0.68	5.6	3.3	0.1339	7
BIR-1a RM		1457	0.70	0.40	0.12	0.32	5.0	5.9	0.1346	3
BIR-1a RM (yeni 2018 spike ile zenginleştirilmiş)		1458	0.71	0.40	0.15	0.31	6.4	6.6	0.1361	3
Referans değer			0.63- 0.68	0.31- 0.38	0.12- 0.15	0.26- 0.54	4.2-4.6	5.5-6.3	0.1330-0.140	

2.1.3. Büro Çalışmaları

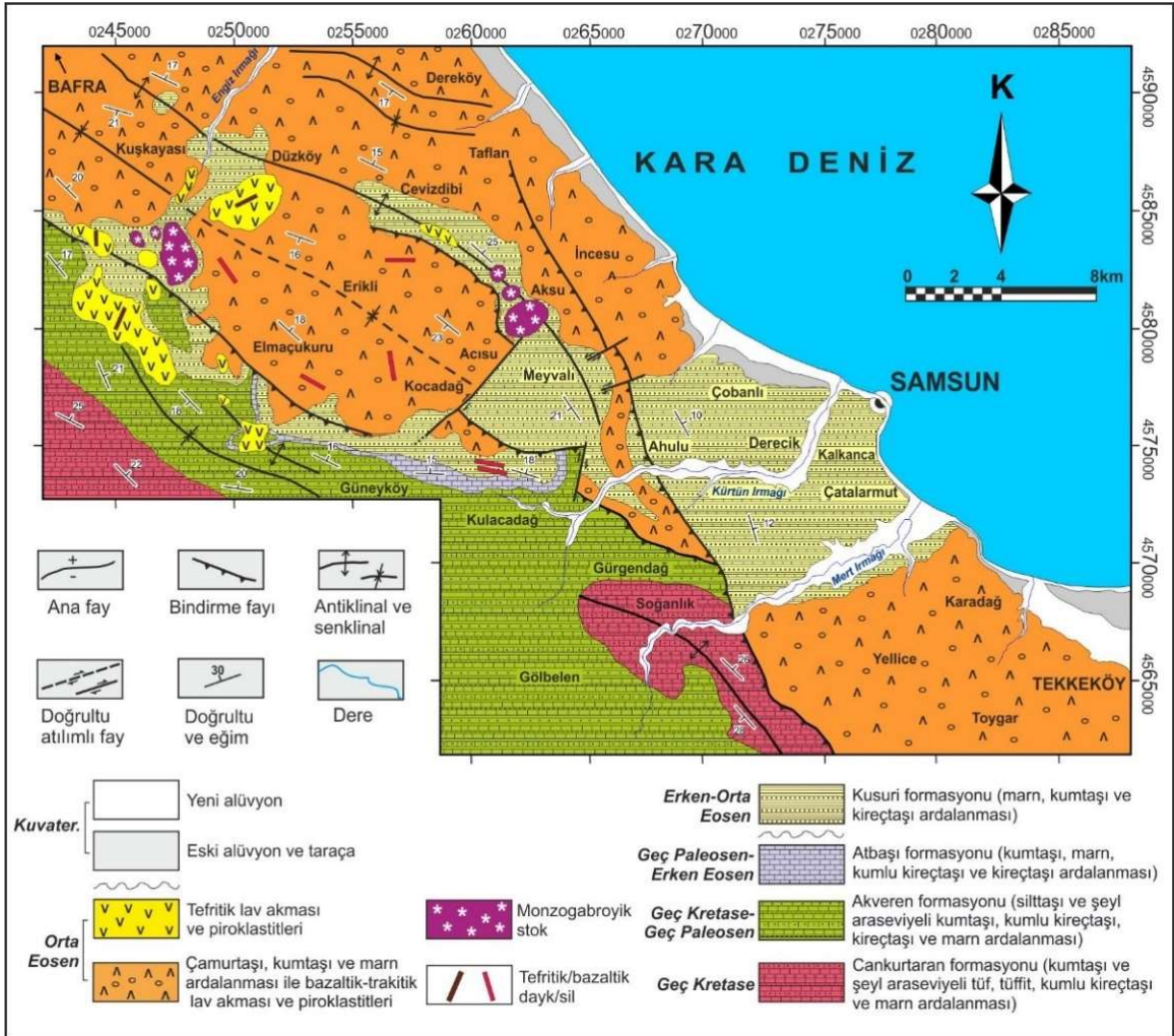
Saha ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yorumlanmış, petrografik ve mineralojik bulgular ile tüm kayalık OSE ve Os izotop analizleri jeolojik amaçlı paket programlarda değerlendirilerek grafik ve tablolar hazırlanmış ve böylelikle elde edilen tüm veriler bir araya getirilerek sonuçta “Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Klavuzu” kurallarına uygun olarak yüksek lisans tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Doğu Pontidler'in batısında Samsun ve yakın çevresinde yüzeyleme veren birimler Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yöresi volkanitleri olmak üzere üç grupta incelenmiştir (Şekil 2b).

İnceleme alanındaki en yaşlı birim, ilk kez Ketin ve Gümüş (1963) tarafından Gürsoku Formasyonu adıyla isimlendirilmiş olup, Gedik ve Korkmaz (1984) tarafından Cankurtaran Formasyonu olarak tanımlanmıştır ve formasyon, tuf, tüfit, kumlu kireçtaşı ve marn ara seviyeli kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Bu birimin üzerine silttaşı ve şeyl ara seviyeli kumlu kireçtaşı, kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşan Geç Kretase-Geç Paleosen yaşlı Akveren Formasyonu uyumlu olarak yerleşmiştir (Görür ve Tüysüz, 1997). Bu birim üzerine uyumlu olarak bej renkli kireçtaşı, kırmızı renkli kumlu kireçtaşı, gri ve bordo renkli kumtaşı ve bordo renkli marn ardalanmasından oluşan Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı Atbaşı Formasyonu gelmektedir (Gedik vd., 1984). Bu birimlerin üzerine uyumsuz bir şekilde sarımsı gri renkli kumtaşı ve koyu grimsi marn ara tabakalı grimsi kireçtaşından meydana gelen Erken-Orta Eosen yaşlı Kusuri Formasyonu yerleşmiştir (Görür ve Tüysüz, 1997). Orta Eosen yaşlı çamurtaşı, silttaşı, kireçtaşı ve marn ara seviyeli bazaltik-trakitik lav akmaları ile dayk ve piroklastitlerinden oluşan birim, Kusuri Formasyonu üzerine uyumlu olarak yerleşmiş ve Gedik vd. (1984) tarafından Orta-Geç Eosen yaşlı Tekkeköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Tekkeköy Formasyonu, Eosen sonrası volkanizmanın ürünleri olan bazalt, andezit ve piroklastitlerden meydana gelen, inceleme alanında genellikle tefritik dayk, sil ve batolitler şeklinde gözlenen ve bunların yanında Gedik vd. (1984) tarafından tanımlanan Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Mahmurdağ Volkanitleri ile gabroyik kayaçların oluşturduğu monzogabroyik stoklar tarafından kesilmişlerdir. Tüm bu birimler uyumsuz bir şekilde Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyondan oluşan birimler tarafından örtülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası (Güven, 1993 ve Temizel vd., 2016'dan değiştirilerek).

3.1.1. Tekkeköy Yöresi Volkanitleri

İnceleme alanının güneydoğusunda yer alan Tekkeköy volkanitleri, bazaltik lav örneklerinden oluşmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan bazaltik lav örnekleri; Alibeyli, Gökçepınar, Devgeriş ve Kaşyayla çevrelerinden alınmıştır (Şekil 4, 5 ve 6). Bazaltik bileşime sahip lav akıntılarının, inceleme alanı içerisindeki aglomeralara göre oldukça sınırlı bir alanda yayılım gösterdiği belirtilmiştir (Bilici, 2013). Saha çalışmaları ile bazaltik lavlar koyu gri, siyah renklerde ve taze kırık yüzeyleri ile masif ve bloklu yapı gösterdikleri ve bunların yanında belirgin akma yapılarına sahip oldukları, alterasyondan oldukça az etkilendikleri gözlenmiştir.



Şekil 4. Alibeyli civarında yüzeyleyen Tekkeköy yöresi volkanitlerine ait bazaltik lavın arazi görünümü.



Şekil 5. Gökçepınar civarında yüzeyleyen Tekkeköy yöresi volkanitlerine ait bazaltik lav ve piroklastitlerinin arazi görünümü.



Şekil 6. Devgeriş civarında yüzeylenen Tekkeköy yöresi volkanitlerine ait bazaltik lavın arazi görünümü.

3.1.2. Kulacadaĝ Yöresi Volkanitleri

İnceleme alanı içerisinde Kulacadaĝ ve çevresinde yüzeyleme veren Kulacadaĝ volkanitleri, tefritik sil  rn klerini içermektedir. Bu volkanitler inceleme alanında daha yaşı birimleri stok, dayk ve siller şeklinde keserek yüzeylenmiş ya da daha yaşı bu birimlerin aralarına yerleşmişlerdir. İnceleme alanı içerisindeki tefritik sil  rn kleri, sarımsı gri renkli kumtaşı ve koyu grimsi marn ara tabakalı grimsi kireçtaşından meydana gelen Kusuri Formasyonu'nu keserek/arasına yerleşerek gözlenmiştir (Şekil 7 ve 8). Arazi çalışmalarında tefritik sil  rn klerinin açık kahve-bej renkli ayrışma yüzeyleri ile açık-koyu gri renklere taze kırık ve çatlak yüzeylerine sahip oldukları belirlenmiştir. Ayrıca, bu volkanitlerde iri fenokristaller ile bunları birbirine baĝlayan hamurun meydana getirdiĝi porfirik doku gözlenmiştir.



Şekil 7. Kulacadağ yöresinin kuzeyinde yer alan Kusuri Formasyonu içerisindeki tortul birimlerin arasına yerleşen tefritik sillerin arazi görünümü.



Şekil 8. Kulacadağ yöresinin kuzeyinde yüzeylenen Kulacadağ volkanitlerine ait tefritik silin görünümü.

3.1.3. Bafra Yöresi Volkanitleri

İnceleme alanının kuzeybatısında yüzeylenen Bafra volkanitleri, bazaltik ve tefritik lav/dayk örneklerinden seçilmiştir.

Bazaltik lav/dayk örnekleri, çalışma alanı içerisinde açık gri-yeşil ayrışma yüzeyleri ile koyu gri ve siyah renklerde taze kırık yüzeylerine sahip, masif ve bloklı yapılardan meydana gelmiştir (Şekil 9 ve 10). Yer yer kolon yapısı gösteren bazaltik lav/dayk örneklerinde soğuma çatlakları gözlenmiş olup genellikle bazaltların porfitik dokulu, iri plajiyoklas ve ojit fenokristalleri içerdikleri görülmüştür.

Tefritik örnekler, çoğunlukla sil ve dayklar şeklinde diğer formasyonları keserek ya da aralarına yerleşerek yüzeylenmiştir (Şekil 12), Arazi çalışmaları ile prizmatik yapıları oldukları ve koyu, açık gri renklerde porfirik dokuya sahip oldukları gözlenmektedir (Şekil 11). Araziden alınan makro örneklerde yer yer fenokristal şeklinde lösit (analsim) ile piroksen mineralleri içerdikleri görülmektedir.



Şekil 9. Bafra yöresinde yüzeylenen volkanitlere ait bol kırıklı ve çatlaklı bazaltik lavların arazi görünümü.



Şekil 10. Bafra yöresinde yüzeylenen volkanitlere ait bazaltik lavlarda gözlenen soğuma çatlaklarının arazi görünümü.



Şekil 11. Bafra yöresinde yüzeylenen volkanitlere ait tefritik silin genel arazi görünümü.



Şekil 12. Baflra yöresinde yüzeylenen volkanitlere ait prizmatik yapıdaki tefritik lavın arazi görünümü.

3.2. Petrografi

Bu kısımda, inceleme alanı içerisinde Tekkeköy, Kulacadağ ve Baflra yöresi volkanitlerinden alınan bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örnekleri alttan aydınlatmalı (polarizan) ve üstten aydınlatmalı (cevher) mikroskop altında incelenmiştir.

3.2.1. Tekkeköy Yöresi Bazaltik Lavları

Bazaltik lav örneklerinde, genellikle hyalo-porfirik, porfirik, kümülofirik ve intergranüler doku gözlenmektedir. Kayaç içerisinde fenokristal ve mikrokristaller halinde olivin, klinopiroksen, plajiyoklas ve opak mineraller bulunmaktadır (Şekil 13a-h). Bu mineraller aynı zamanda mikrolitler ve mikrokristaller halinde hamur içerisinde de gözlenmektedir.

Plajiyoklaslar öz ve yarı özşekilli, fenokristaller ve mikrolitler halinde gözlenmektedir (Şekil 13). Aynı zamanda fenokristallerde albit ikizi ve yer yer zonlanma görülmektedir. Çoğu plajiyoklas örneği elek dokusu göstermektedir.

Klinopiroksenler kesitlerin çoğunda iri fenokristaller halinde öz ve yarı özşekilli olarak yer almaktadır (Şekil 13a-h). Çoğunlukla opak mineral ve plajiyoklas kapanımları içermektedir. Kırık ve çatlaklı görünümünün yanında minerallerde ikizlenme görülmektedir. Opak mineral ve birden fazla klinopiroksen bir araya gelerek kümülofirik doku oluşturmaktadır.

Olivinler bazı kesitlerde fenokristal ve mikrokristal halinde öz ve yarı öz şekilli olarak gözlenmektedir. Özellikle çatlaklı ve opak mineral kapanımları ile göze çarpılmaktadırlar ve bununla birlikte mineral çevresi ve çatlakları boyunca iddingsitleşme göstermektedirler. Bazı örneklerde karbonatlaşma ve serpantinleşme gözlenmektedir.

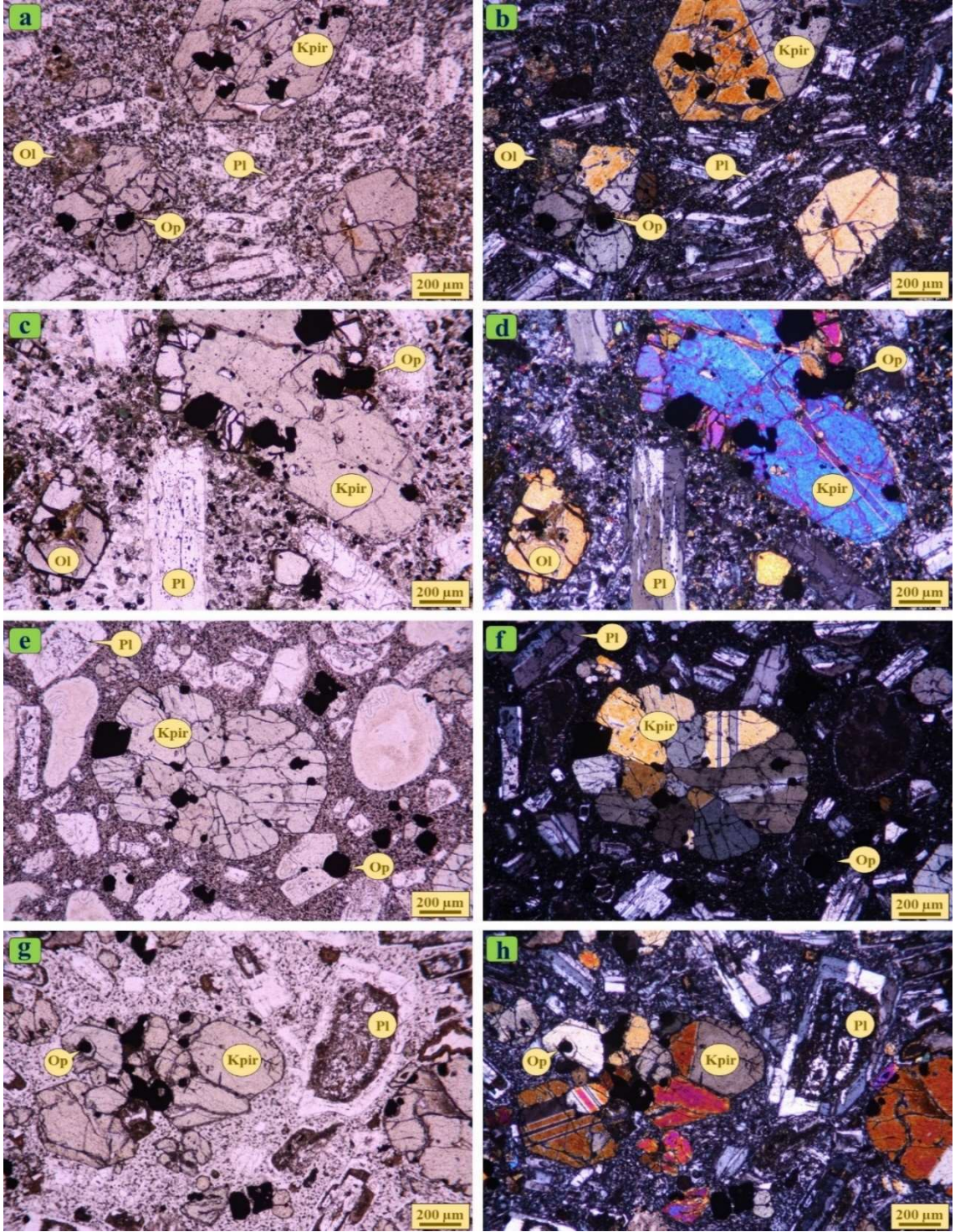
Opak mineraller ise düzensiz şekilli, yer yer mikro taneler şeklinde, klinopiroksen ve bazı örneklerde plajiyoklas mineralleri içerisinde kapanım halinde yer almaktadır.

Hamur genellikle mikrogranüler boyutlarda plajiyoklas, piroksen, olivin mikrogranülleri ile opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 13). Bazı kayaç örnekleri içerisinde gözlenen boşluklar kalsit ve zeolit mineralleri tarafından doldurulmuştur.

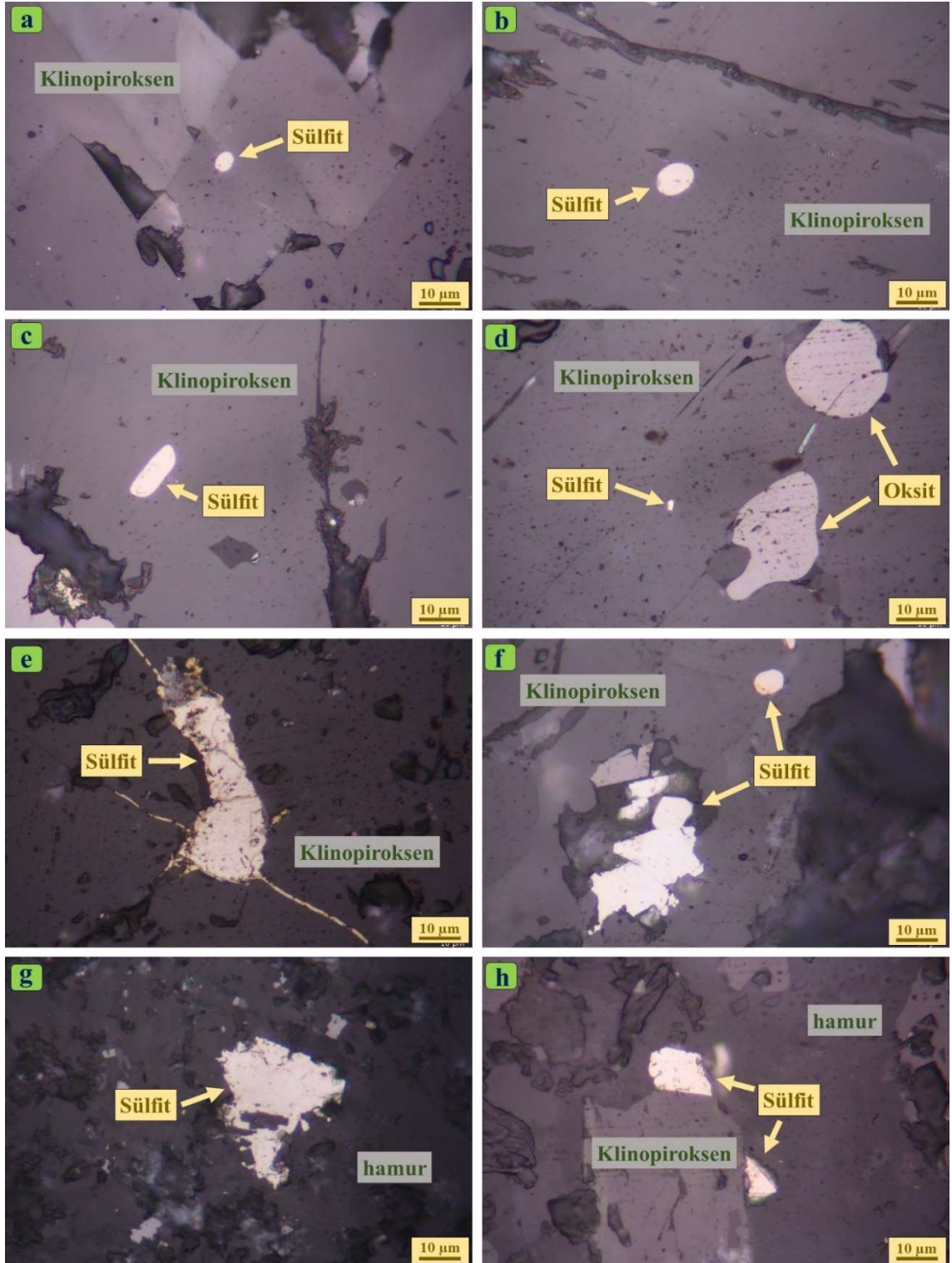
Bazaltik lav örnekleri içerisindeki opak mineraller alltan aydınlatmalı (cevher) mikroskop altında incelediğinde, oksit ve sülfid mineralleri olarak genellikle klinopiroksen mineralleri içerisinde inklüzyonlar halinde yer alırken, hamur içerisinde klinopiroksen etrafında ya da dağınık halde yer almaktadır. Ayrıca klinopiroksenlerin kırık ve çatlak yüzeyleri boyunca gelişen ve yer yer ergiyik kapanımları ile beslenen ikincil sülfid minerali oluşumları da gözlenmektedir (Şekil 14a-h).

Klinopiroksenler içerisinde kapanım halinde yer alan sülfid mineralleri genellikle küçük boyutlarda (3-10 μm) öz ve yarı öz şekilli olarak gözlenirken, kırık ve çatlak yüzeyleri boyunca yerleşen ikincil sülfid mineralleri daha büyük boyutlarda (yaklaşık 50 μm) özşekilsiz olarak gözlenmektedir. Ayrıca klinopiroksen içerisindeki ergiyik kapanımlarında gelişen sülfid mineralleri öz ve yarı öz şekilli olarak kesitlerde yer almaktadır.

Hamurda yer alan sülfid mineralleri, genellikle yarı özşekilli ve özşekilsiz olarak dağınık bir halde ve klinopiroksen ile plajiyoklas minerallerinin çevresinde gözlenmektedir. Ölçülebilir boyutları yaklaşık 20 μm üzerindedir.



Şekil 13. Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin mikrofotografaları; (a-b) bütünüyle karbonatlaşmış ve iddingsitleşmiş olivin kristali ile kırık ve çatlaklı klinopiroksen fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-9), (c-d) iddingsitleşmiş olivin kristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-43), (e-f) opak mineral ve plajiyoklas kapanımları içeren ve ikizlenme gösteren klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-109), (g-h) klinopiroksen ve opak minerallerinden oluşan kümülofirik doku ile elek dokusu gösteren plajiyoklas fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: S-120), (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ol: Olivin Op: Opak mineral).



Şekil 14. Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin cevher mikroskobu görünüşleri; (a-d) klinopiroksen içinde kapanım halinde yer alan oksit ve sülfit mineralleri (Örnek No: S-43, S-120, S-121), (e-f) klinopiroksen içerisinde kırık ve çatlaklar boyunca gelişen ikincil sülfit ile ergiyük kapanımları ile beslenen sülfit mineralleri (Örnek No: S-109, S-120), (g-h) hamur içerisinde ve klinopiroksen etrafında gelişen sülfit mineralleri.

3.2.2. Kulacadağ Yöresi Tefritik Silleri

Tefritik sil örnekleri, genellikle porfirik, mikrogranüler porfirik ve poikilitik doku gözlenmektedir. Kayaç içerisinde fenokristal ve mikrofenokristal şeklinde klinopiroksen, plajiyoklas, biyotit ve opak mineraller bulunmaktadır (Şekil 15a-h). Hamur çoğunlukla mikrolitler ve mikrogranüler boyutlarda plajiyoklas, piroksen ve opak mineraller oluşturmaktadır.

Plajiyoklaslar genellikle öz ve yarı özşekillidir. Çoğunlukla mikrolit ve mikrofenokristaller halinde hamuru oluşturmaktadırlar (Şekil 15a-h). Fenokristal olarak gözlenen plajiyoklasların çoğunda albit ikizi görülmekte olup, opak mineral ve plajiyoklas kapanımları içerirler.

Klinopiroksenler mikrofenokristalden iri fenokristale kadar değişen boyutlarda öz ve yarı özşekillidir. Çoğunlukla hafif pleokroizma özelliği gösteren zonlu bir yapıya sahiptir. İçerdiği opak mineral ve plajiyoklas kapanımları ile poikilitik doku göstermektedir (Şekil 15a-h). İnce kesitlerde klinopiroksenlerin etrafını plajiyoklas mikrotaneleri ve mikrolitlerinin bir yığılması oluşturacak biçimde çevrelediği gözlenmektedir.

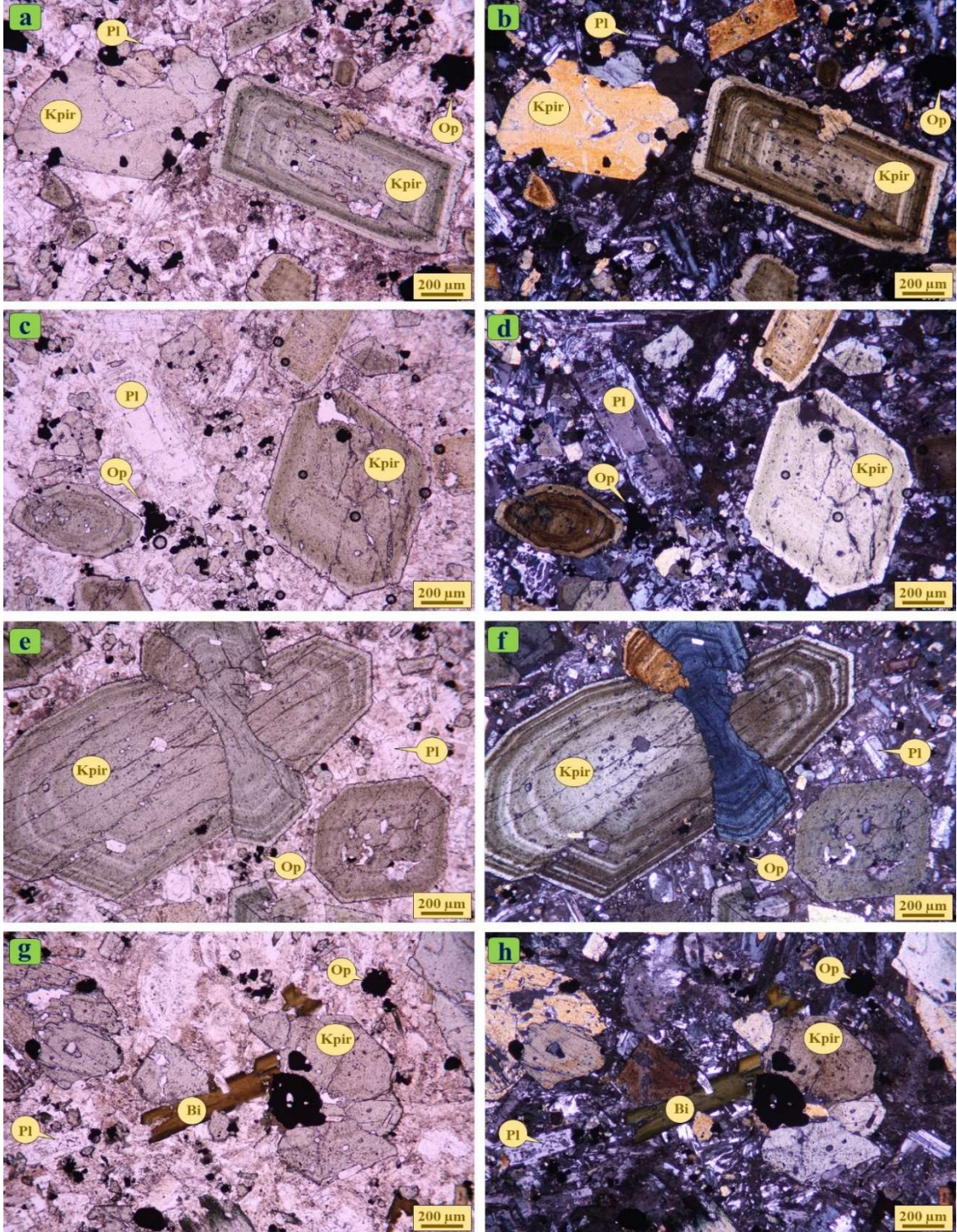
Biyotit mineralleri genellikle özşekilli fenokristal ve yer yer latalar halinde gözlenmiştir (Şekil 15g-h). Güçlü bir pleokroizma sunmaktadırlar. Tek yönlü dilinim mevcut olup, dilinimleri boyunca kloritleşme gözlenmiştir (Şekil 15g-h).

Opak mineraller ise genellikle hamur içerisinde yuvarlağımsı şekilde yer yer kümelenmiş ve dağınık hallerde gözlenmektedirler.

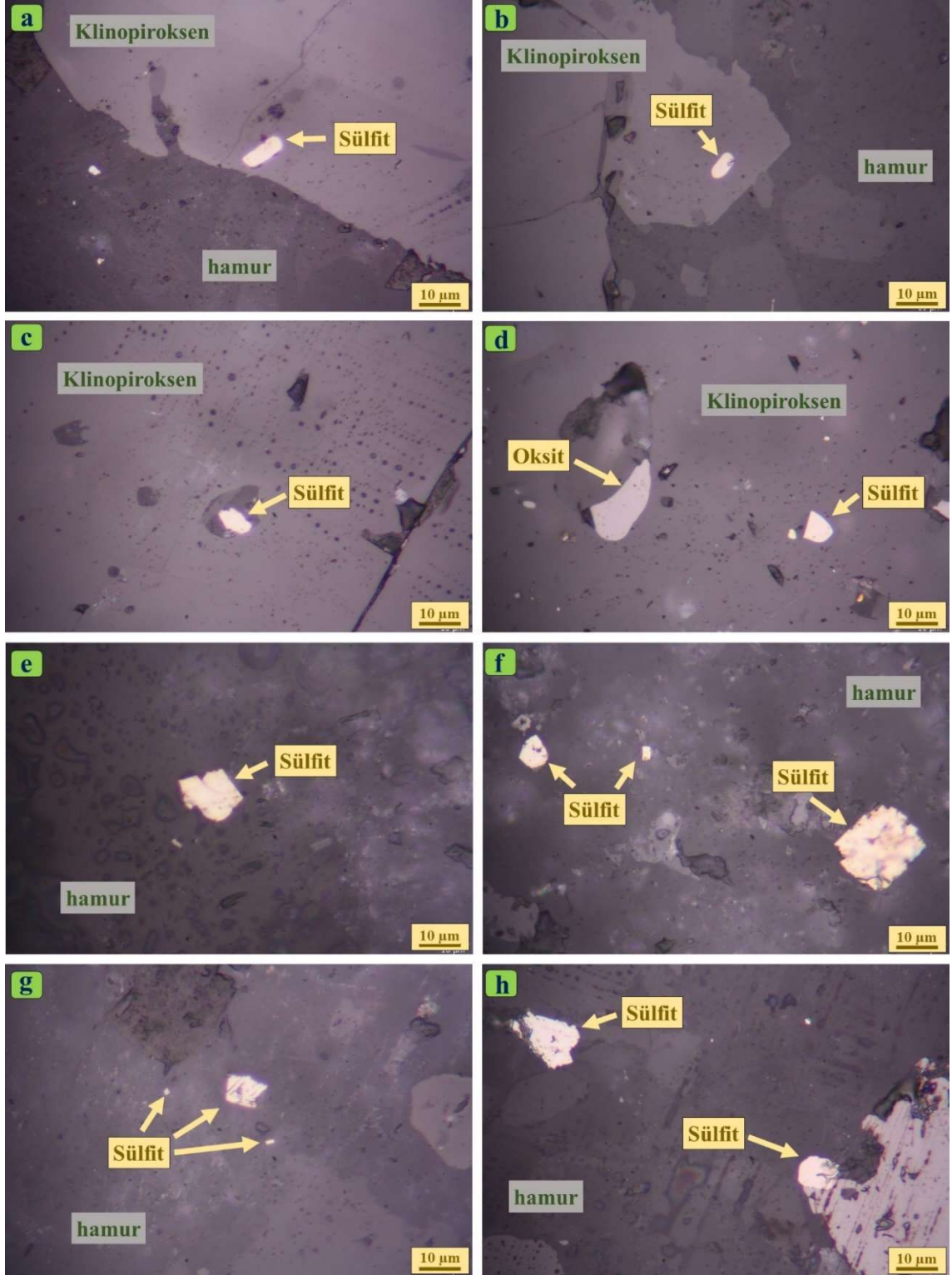
Tefritik sil örnekleri içerisindeki opak mineraller alltan aydınlatmalı (cevher) mikroskop altında incelediğinde, oksit ve sülfid mineralleri klinopiroksen mineralleri içerisinde kapanım halinde yer almaktadır. Hamurda ise bu mineraller çoğunlukla mikrogranüler boyutlarda gözlenmiştir (Şekil 16a-h).

Klinopiroksenler içerisinde kapanım halinde yer alan sülfid mineralleri genellikle 8 ile 10 μm boyutunda öz ve yarı öz şekilli olarak gözlenmektedir. Çoğunlukla klinopiroksen içerisindeki ergiyik kapanımlarında gelişen sülfid mineralleri öz ve yarı öz şekilli olarak kesitlerde yer almaktadır.

Hamurda yer alan sülfid mineralleri, genellikle öz ve yarı özşekilli olarak ya klinopiroksen, plajiyoklas mineralleri ve oksitlerin çevresinde ya da plajiyoklas lataları arasında gözlenmektedir. Boyutları 10 ile 25 μm arasında değişmektedir.



Şekil 15. Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin mikrofotografaları; (a-b) özşekilli zonlanma gösteren klinopiroksen fenokristali ve plajiyoklas mikrolitleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-4), (c-d) özşekilli plajiyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-4), (e-f) opak mineral ve plajiyoklas inklüzyonları içeren iri klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-6), (g-h) kloritleşmiş biyotit fenokristali ve poikilitik doku gösteren klinopiroksen fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: KT-11), (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Bi: Biyotit, Op: Opak mineral).



Şekil 16. Kulacadağ yöresi tefritik sillerin cevher mikroskobu görünümüleri; (a-d) klinopiroksen minerali içerisinde inklüzyon halinde yer alan oksit ve sülfıt mineralleri (Örnek No: KT-6, KT-11), (e-h) hamur içerisinde gözlenen özşekilli sülfıt mineralleri (Örnek No: KT-4, KT-6).

3.2.3. Bafra Yöresi Bazaltik-Tefritik Lav/Daykları

Bazaltik lav/dayk örnekleri, hyalo porfirik, mikrogranüler porfirik, intersertal ve kümülofirik doku göstermektedir. Kayaç içerisinde klinopiroksen, plajiyoklas, olivin ve opak mineraller yer almaktadır. Hamurda da mikrokristaller ve mikrolitler olarak bu minerallerden bulunmaktadır (Şekil 17a-h).

Plajiyoklaslar genellikle özşekilli olup, mikrolit ve fenokristaller halinde gözlenmektedirler. Plajiyoklas fenokristallerinde albit ikizi ve elek dokusu hakimdir.

Klinopiroksenler genellikle öz ve yarı özşekilli fenokristaller halinde, hamurda ise mikrokristaller halinde gözlenmektedirler. Klinopiroksenler kırıklı, çatlaklı, yer yer yuvarlak yapıda olup, opak mineral kapanımları içermektedir (Şekil 17a-h).

Olivin mineralleri öz ve yarı özşekilli olup mikrofenokristaller halinde gözlenmektedirler. Olivinler genel olarak kırıklı bir yapıya sahiptir. Olivinler kırık ve çatlakları boyunca tamamen iddingsitleşmiştir (Şekil 17a-h).

Opak mineraller, genellikle yarı özşekilli olup, olivin ve piroksenler içerisinde kapanım halinde ve mikrogranüler boyutlarda hamurda yerini alırlar.

Tefritik lav/dayk örnekleri, genellikle porfirik, mikrogranüler porfirik doku göstermektedir. Kayaç içerisinde klinopiroksen, plajiyoklas, analsim, biyotit ve opak mineraller bulunmaktadır. Hamur ise çoğunlukla mikrolit ve mikrokristaller halinde aynı minerallerden oluşmaktadır (Şekil 18a-h).

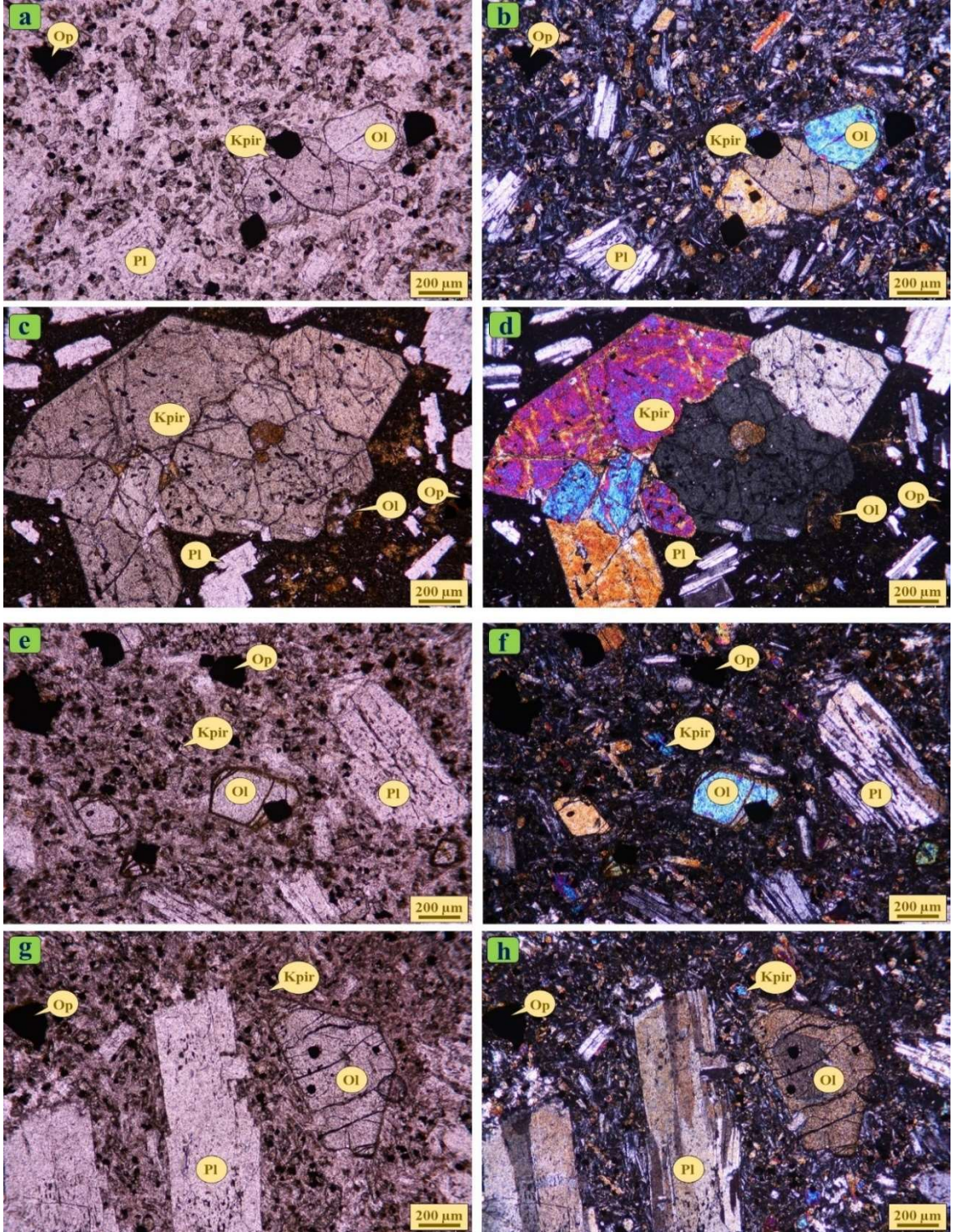
Plajiyoklaslar genellikle özşekilli olup, mikrofenokristaller ve mikrolitler halinde gözlenmiştir.

Klinopiroksenler özşekilli olup iri fenokristaller ve mikrokristaller halinde gözlenmiştir. Bolca kırık ve çatlaklı yapıdan oluştuğu ve yer yer halkalı zonlanma gösterdiği görülmektedir (Şekil 18a-h).

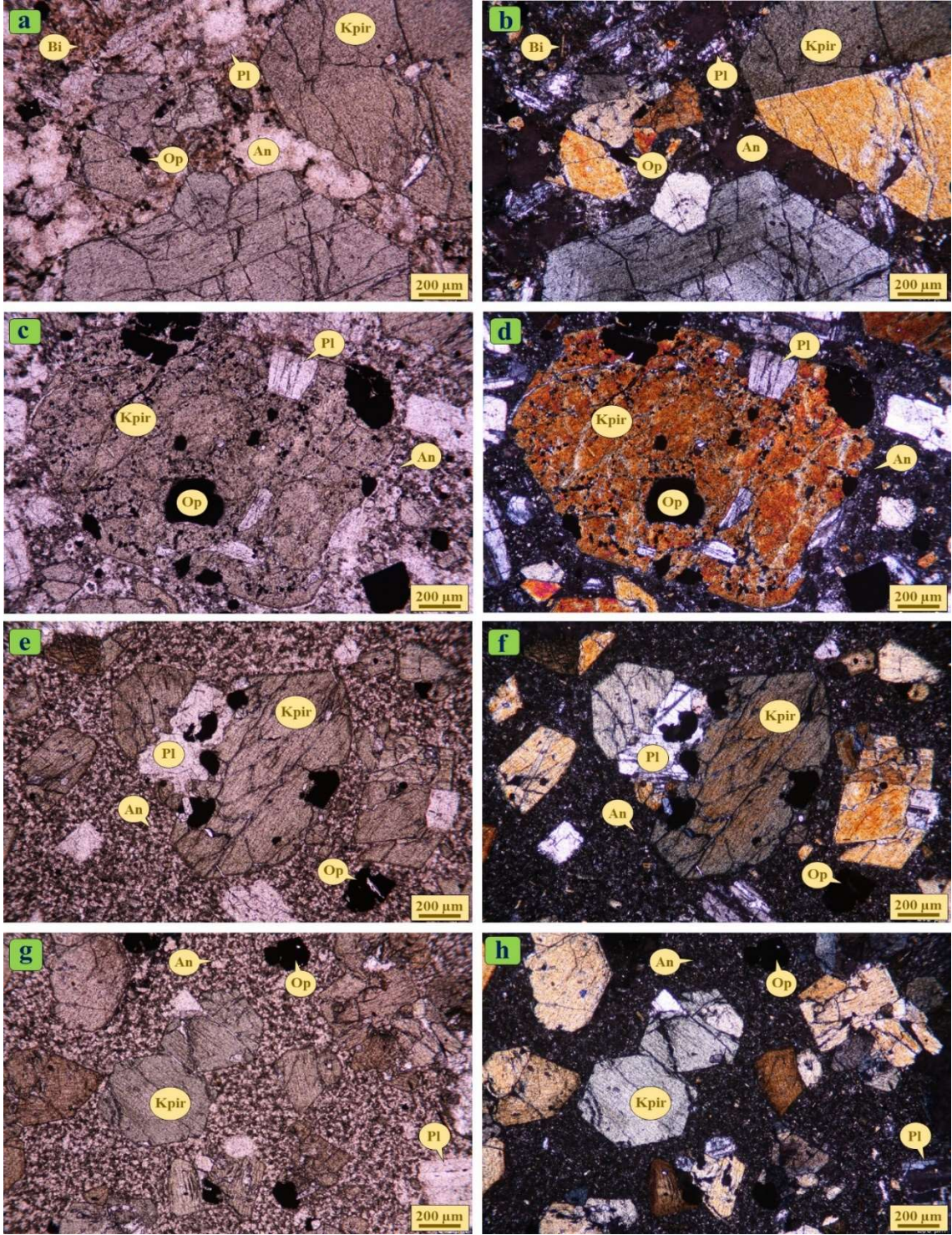
Analsimler (muhtemelen lösitten itibaren dönüşmüştür, Yücel vd., 2014b) genellikle özşekilli, yuvarlağımsı altıgen yapıda olup mikrofenokristaller halinde gözlenmiştir. Analsimler tek nikolde renksiz veya çok açık kahverengimsi, çapraz nikolde ise karanlık ve düşük çift kırıcılık rengi ayırt edilmektedir.

Biyotitler küçük, bıçağımsı mikrolitler halinde hamur içerisinde yer almakta olup, klinopiroksenler etrafında yayılım göstermektedirler.

Opak mineraller yarı özşekillidir. Çoğunlukla hamur içerisinde yer yer de klinopiroksen içerisinde kapanım halinde görülmektedirler.



Şekil 17. Bafra yöresi bazaltik lav (a-d) ve dayk (e-h) örneklerinin mikrofotografaları; (a-b) mikrolit ve fenokristal boyutunda plajiyoklas, mikrogranüller ve plajiyoklas halinde olivin ve klinopiroksen mineralleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-9), (c-d) tamamen iddingsitleşmiş olivin mikrofenokristali ve kümülofirik doku gösteren iri klinopiroksen fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-20), (e-h) mikrofenokristal boyutta klinopiroksen, olivin ve plajiyoklas fenokristalleri (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-34) (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ol: Olivin, Op: Opak mineral).

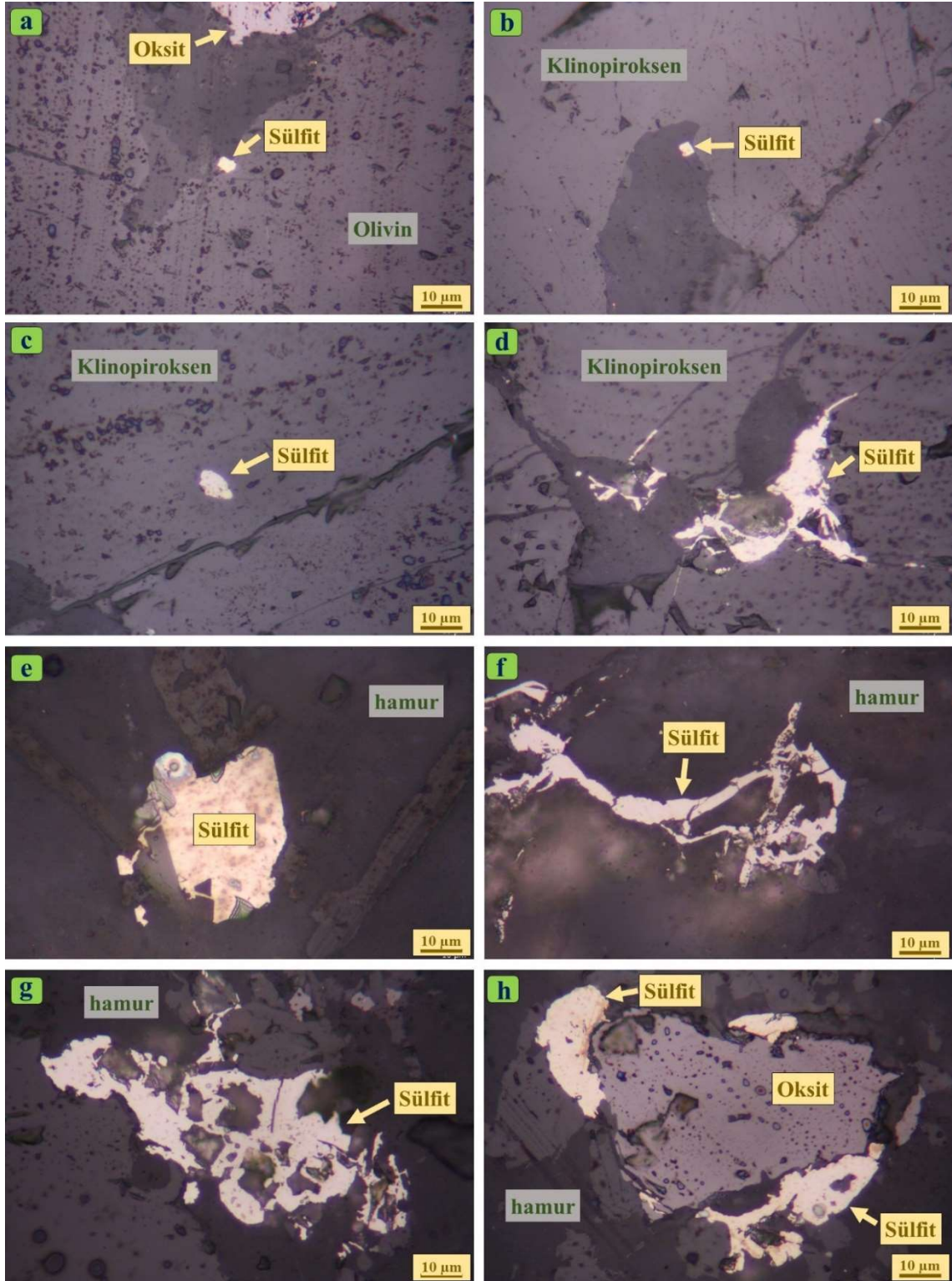


Şekil 18. Bafra yöresi tefritik lav (a-d) ve dayk (e-h) örneklerinin mikrofotografaları; (a-b); zonlanma gösteren iri klinopiroksenler, analsim mikrofenokristalleri ve bıçağımsı biyotit minerali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-10), (c-d) içerisinde plajiyoklas lataları, analsim ve opak mineral kapanımları içeren iri klinopiroksen fenokristali (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-38), (e-h) hamurda mikrokristaller halinde gözlenen analsim mineralleri, yarıözşekilli klinopiroksenler ve yuvarlağımsı opak mineraller (T.N. ve Ç.N.; Örnek No: B-13). (T.N.: Tek Nikol, Ç.N.: Çapraz Nikol, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ol: Olivin, Bi: Biyotit, An: Analsim, Op: Opak mineral).

Bazaltik-tefritik lav/dayk örnekleri içerisindeki opak mineraller alltan aydınlatmalı (cevher) mikroskop altında incelediğinde, özellikle tefritik lav/dayk örneklerinde baskın olarak yer alan oksit ve sülfid mineralleri; bazaltik lav örneklerinde klinopiroksen ve olivin mineralleri içerisinde, tefritik lav örneklerinde ise klinopiroksen içerisinde kapanım halinde yer almaktadır. Hamurda ise bu mineraller çoğunlukla mikrogranüler ve mikrofenokristal boyutlarda gözlenmiştir (Şekil 19a-h).

Klinopiroksen ve olivinler içerisinde kapanım halinde yer alan sülfid mineralleri genellikle 2 ile 8 µm boyutunda öz ve yarı öz şekilli olarak gözlenmektedir. Çoğunlukla klinopiroksen içerisinde ergiyik kapanımları ile kırık ve çatlaklar boyunca gelişen özşekilsiz ikincil sülfid mineralleri kesitlerde göze çarpmaktadır.

Hamurda yer alan sülfid mineralleri genellikle klinopiroksen ile hamur arasında sınır oluşturacak şekilde saçınım halinde özşekilsiz olarak gözlenmektedir. Ayrıca kırık ve çatlak yüzeyleri boyunca boşluk dolgusu olarak yer alırlarken, öte yandan oksitlerin çevrelerinde yarı özşekilli olarak da gözlenmiştir.



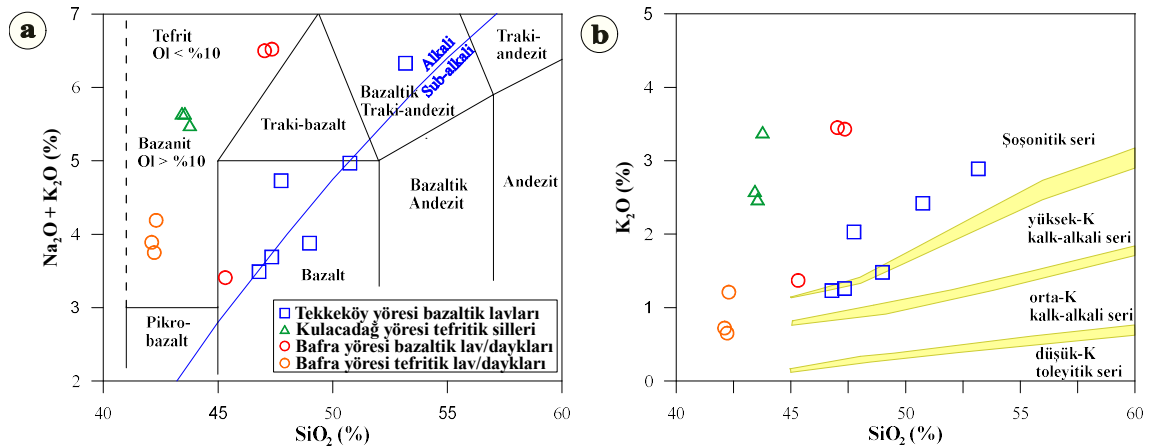
Şekil 19. Bafra yöresi bazaltik lav (a) ve tefritik lav/dayk (b-h) örneklerinin cevher mikroskobu görüntüleri; (a) olivin minerali içerisinde kapanım halinde yer alan sülfıt mineralleri (Örnek No: B-9), (b-d) klinopiroksen içerisinde kapanım halinde yer alan sülfıt mineralleri (Örnek No: B-10, B-13), (e-h) hamur içerisinde yer alan yarı özşekilli ve özşekilsiz sülfıt mineralleri (Örnek No: B-10, B-13).

3.3. Jeokimya

Bu bölümde, Tekkeköy (Samsun) ve Bafra (Samsun) yörelerinde yüzeyleme veren Eosen yaşlı bazaltik ve tefritik lav/dayk örneklerinin mevcut tüm-kayaç litofil element jeokimyasal verileri (Bilici, 2013; Temizel vd., 2016) ile Kulacadağ (Samsun) yöresi tefritik sil örneklerinin tüm-kayaç litofil element jeokimyasal verileri (bu çalışma) incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın esas amacını oluşturan, incelenen bazaltik ve tefritik lav/sil/dayk örneklerinin tüm-kayaç oldukça siderofil element jeokimyasal özellikleri ve Os izotop analizleri değerlendirilmiştir.

3.3.1. Volkanitlerin Tüm-Kayaç Litofil Element Jeokimyasal Özellikleri

İncelenen volkanitlerin, SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (TAS; Le Maitre vd. 1989) diyagramına (Şekil 20a) göre Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerin çoğu bazalt alanında, bir örnek de bazaltik traki-andezit alanında yer almaktadır. Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin de tefrit/bazanit alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 20a). Bafra yöresi bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinin çoğu tefrit/bazanit alanında, bir örneğin de bazalt (B-20) alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 20a).



Şekil 20. İncelenen volkanitlerin (a) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ karşı SiO_2 (Le Maitre vd., 2002) sınıflama diyagramı (Alkali-subalkali ayırım çizgisi, Irvine ve Baragar (1971)'e göredir), (b) SiO_2 (%) karşı K_2O (%) diyagramı (Le Maitre vd., 2002). Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır.

Ayrıca, yine bu diyagram üzerinde yer alan Irvine ve Baragar (1971)'in alkali-subalkali ayırımı dikkate alınarak Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerin alkali/sub-alkali ayırım sınırında geçiş karakterli, Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin ve Bafra yöresi bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinin ise alkali karakterli olduğu söylenebilir (Şekil 20a).

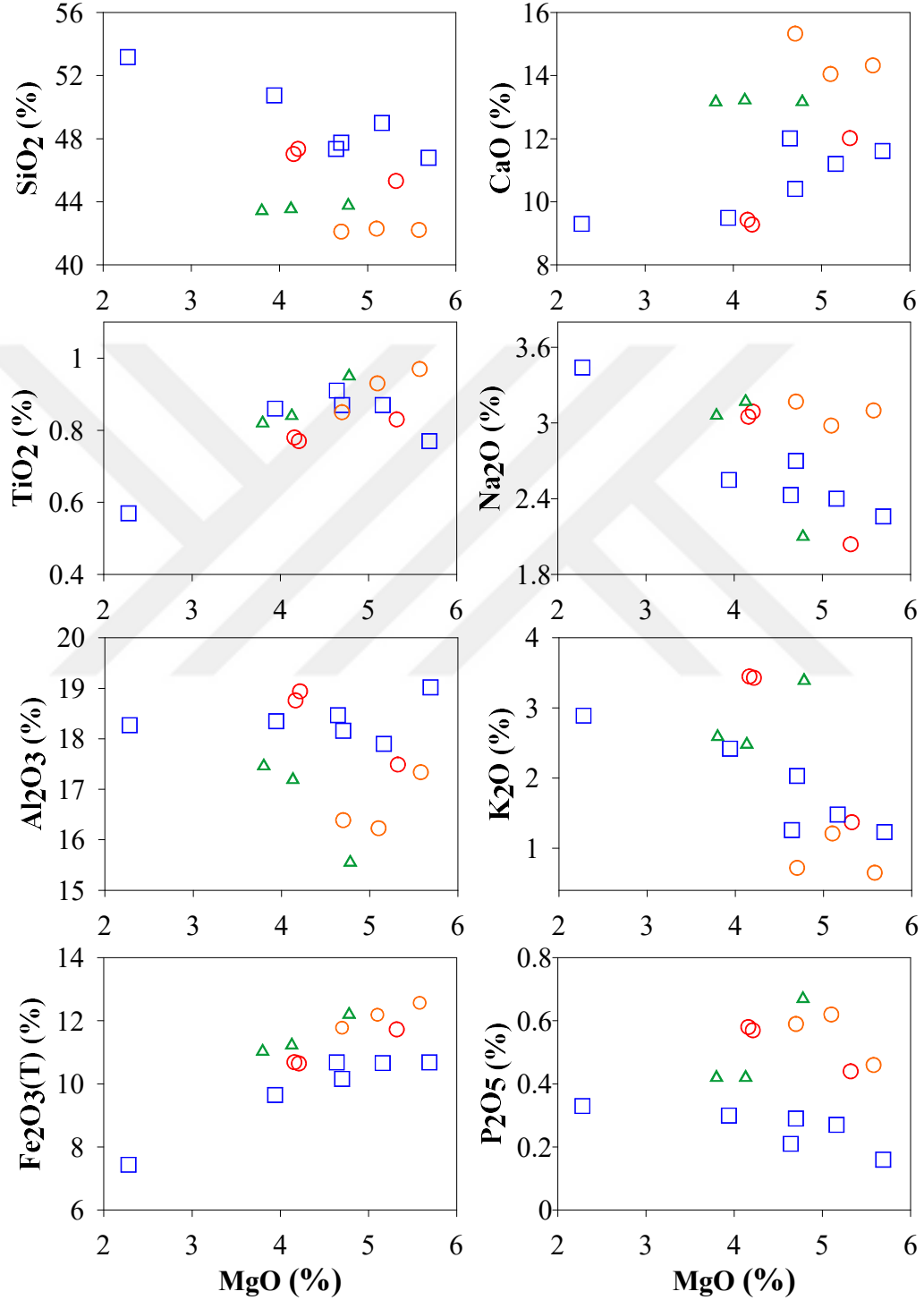
SiO₂ (%) karşı K₂O (%) diyagramına (Le Maitre vd., 2002) göre incelenen bazaltik-tefritik örneklerin tümü yüksek-K kalk-alkali ve şoşonitik karakterlidir (Şekil 20b).

Bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin MgO'e karşı ana oksit ve iz element diyagramlarında; Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinde MgO içeriğinin azalışıyla CaO, Fe₂O₃(T) ve kısmen de TiO₂ içerikleri azalarak pozitif bir ilişki gözlenirken SiO₂, Na₂O, K₂O ve P₂O₅ içerikleri artarak negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 21). Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinde MgO içeriğinin azalışıyla SiO₂, TiO₂, K₂O, Fe₂O₃(T) ve P₂O₅ içerikleri azalarak pozitif bir ilişki gözlenirken Al₂O₃ ve Na₂O içerikleri artarak negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 21). Bafra yöresi bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinde ise MgO içeriğinin azalışıyla CaO, Fe₂O₃(T) ve TiO₂ içerikleri azalarak pozitif bir ilişki gözlenirken Na₂O, K₂O, Al₂O₃ ve P₂O₅ içerikleri artarak negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 21).

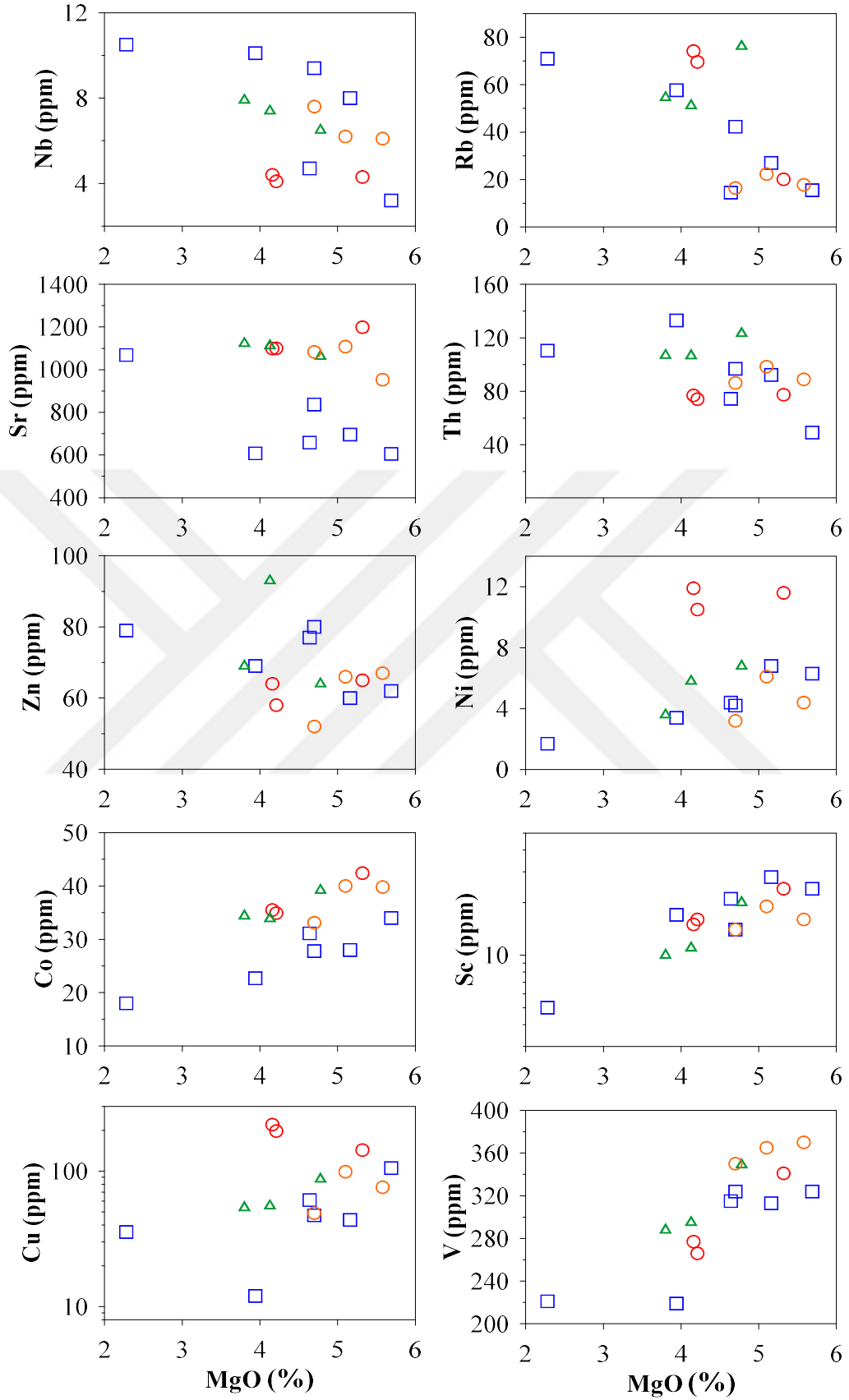
İncelenen volkanitlerin iz element değişim diyagramlarında; Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinde MgO içeriğinin azalışıyla Ni, Co, Sc, Cu ve V içerikleri azalarak pozitif bir ilişki gözlenirken Nb, Rb, Sr, Th ve Zn içerikleri artarak negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 22). Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinde MgO içeriğinin azalışıyla Ni, Co, Sc, Cu, V ve Th içerikleri azalarak pozitif bir ilişki gözlenirken Nb, Rb, Sr ve Zn içerikleri artarak negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 22). Bafra yöresi bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinde ise MgO içeriğinin azalışıyla Co, Sc, V, Zn ve Th içerikleri azalarak pozitif bir ilişki gözlenirken Rb, Sr, Nb, Cu ve Ni içerikleri artarak negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 22).

Ana oksit ve iz element değişim diyagramlarında pozitif ve negatif ilişkiler, Samsun yöresi Eosen yaşlı bazaltik ve tefritik kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristallenme sürecinin etkili olduğunu göstermektedir. Tekkeköy volkanitlerine ait bazaltik lav örneklerinin gelişiminde genel olarak olivin + klinopiroksen + plajiyoklas + Fe-Ti oksit fraksiyonlaşması etkilidir (Bilici, 2013). Kulacadağ volkanitlerine ait tefritik sil örneklerinin gelişiminde genel olarak klinopiroksen + plajiyoklas + biyotit + Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasının etkili olduğu söylenebilir. Bafra volkanitlerine ait tefritik lav/dayk örneklerinin gelişiminde klinopiroksen + plajiyoklas + analsim + flogopit + Fe-Ti oksit

fraksiyonlaşmasının, bazaltik lav/dayk örneklerinin gelişiminde ise olivin + klinopiroksen + plajiyoklas + Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasının etkilidir (Temizel vd., 2016).

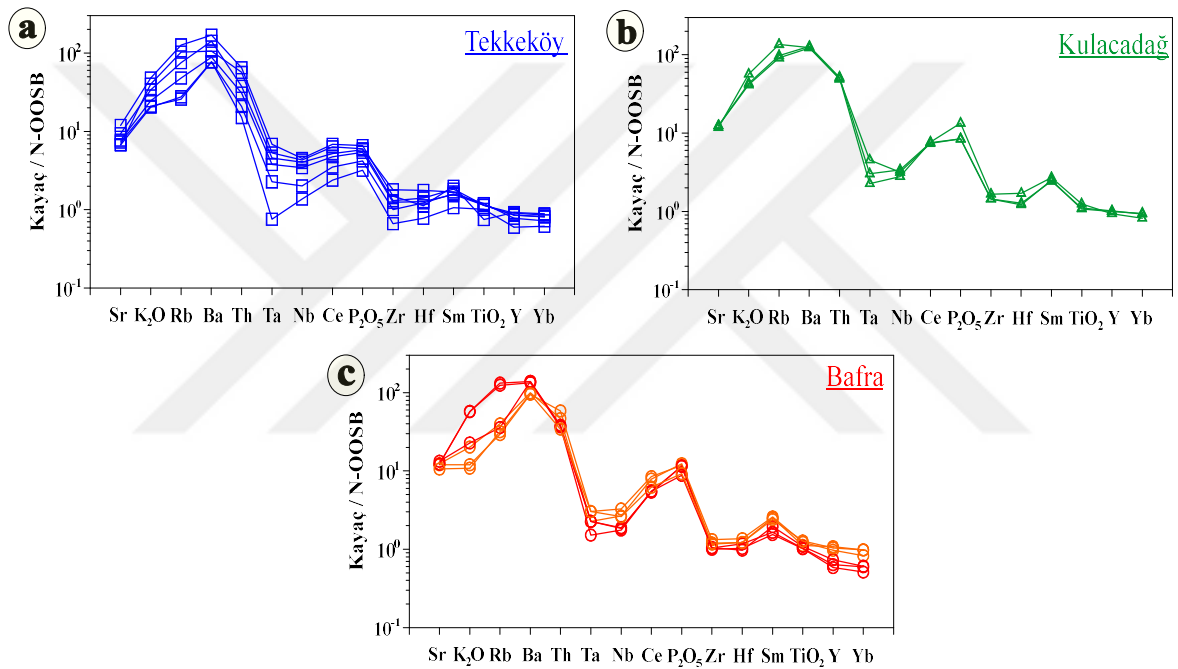


Şekil 21. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların MgO'ye karşı ana oksit değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).



Şekil 22. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların MgO'ye karşı iz element değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

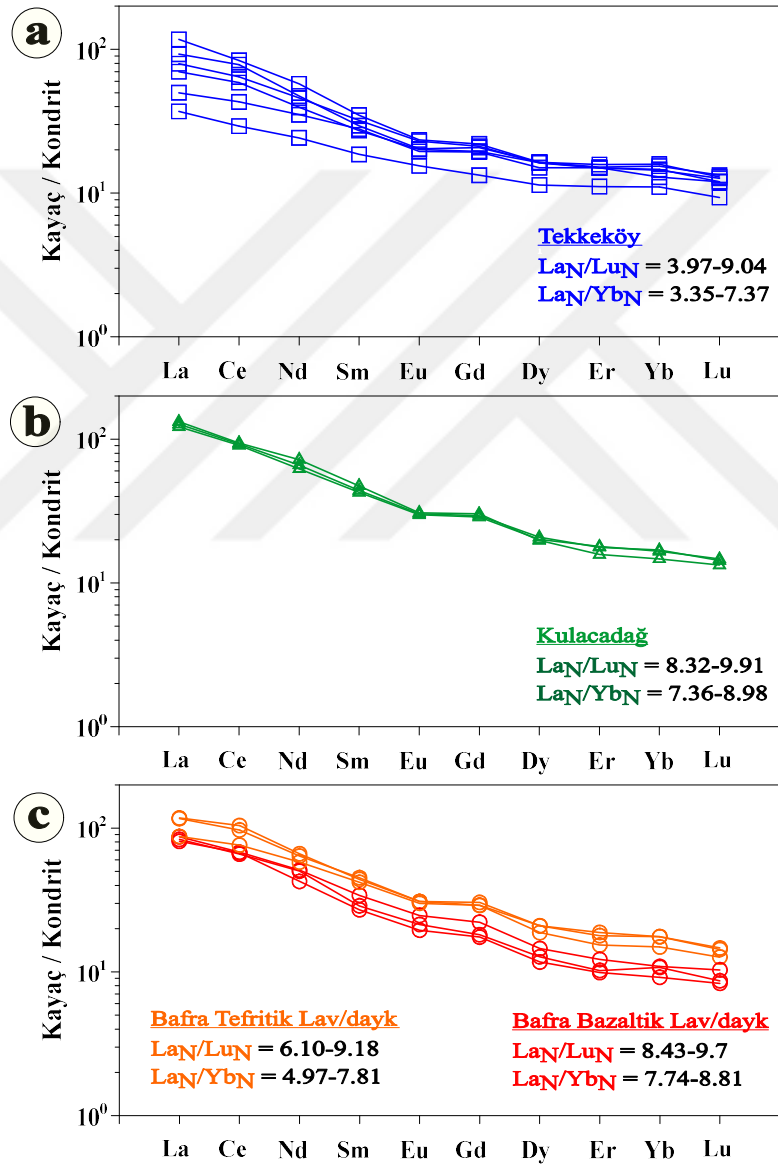
İncelenen bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin iz element içerikleri N- tipi OOSB (Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı)'ye göre normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilerek, iz element dağılımları oluşturulmuş ve volkanitlerin ana magma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 23a, b ve c). İncelenen volkanitlerin iz element dağılımlarına bakıldığında; genel olarak tüm örneklerin Sr, K₂O, Rb, Ba, P₂O₅ ve Sm içerikleri bakımından zenginleşme ve Nb, Ta, Zr, Hf ve kısmen de TiO₂ içerikleri bakımından fakirleşme göstermektedir.



Şekil 23. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların N-tipi OOSB'a göre normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilmiş iz element dağılımları Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

İncelenen üç yöreye ait bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin kondrite normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımları Şekil 24a, b ve c'de verilmiştir. Bu dağılım diyagramlarında; bazaltik ve tefritik kayaların birbirine benzer dağılım sergiledikleri gözlenmektedir (Şekil 24a, b ve c). Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin La_N/Lu_N oranı 3.97-9.04, La_N/Yb_N oranı 3.35-7.37 arasında (Şekil 24a), Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin La_N/Lu_N oranı 8.32-9.91, La_N/Yb_N oranı ise 7.36-8.98 arasında değişim göstermektedir (Şekil 24b). Bafra yöresi bazaltik lav/dayk

örneklerinin La_N/Lu_N oranı 8.43-9.7, La_N/Yb_N oranı 7.74-8.81 arasında değişirken, tefritik lav/dayk örneklerinin ise La_N/Lu_N oranı 6.11-9.18, La_N/Yb_N oranı 4.97-7.81 arasında değişim göstermektedir (Şekil 24c). Genel olarak, incelenen volkanitlerin kondritlere göre normalize edilmiş NTE dağılımlarında gözlenen düşük-orta derecede zenginleşmeyle tüm örneklerin birbirlerine paralellik göstermesi, bu kayaların benzer kaynaklardan itibaren oluştuğunu ifade edebilir.



Şekil 24. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların kondrite normalize (Sun ve McDonough, 1989) edilmiş nadir toprak element dağılımları Tekkeköy ve Bafra yöresi verileri sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

3.3.2. Volkanitlerin Tüm-Kayaç Oldukça Siderofil Element Jeokimyasal Özellikleri

İncelenen bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin Tablo 3’de verilen OSE analiz sonuçları göz önüne alındığında, verilerin ppm değerindeki iz elementlere kıyasla ppb değerinde oldukça düşük değerlerde oldukları gözlenmektedir.

Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin Re içerikleri 0.23-2.31 ppb, Os içerikleri 0.004-0.007 ppb, Ir içerikleri 0.015-0.13 ppb, Ru içerikleri 0.041-0.14 ppb, Pt içerikleri 0.029-0.27 ppb, Pd içerikleri ise 0.030-0.15 ppb arasında değişmektedir (Tablo 3). Ayrıca, Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin, Re/Os oranları 56.75-329.29, Σ PGE içerikleri 0.13-0.69 ppb, Σ IPGE içerikleri 0.072-0.274 ppb, Σ PPGE içerikleri 0.06-0.41 ppb, Σ IPGE/ Σ PPGE oranları 0.26-1.30, Σ PPGE/ Σ IPGE oranları 0.77-3.79, Pt_N/Ir_N oranları ise 0.52-6.70 arasında değişmektedir (Tablo 4).

Kulacadağ yöresi tefritik sil örnekleri için Re içerikleri 0.32-0.97 ppb, Os içerikleri 0.006-0.086 ppb, Ir içerikleri 0.015-0.15 ppb, Ru içerikleri 0.049-0.64 ppb, Pt içerikleri 0.31-0.45 ppb, Pd içerikleri ise 0.49-3.07 ppb arasında değişmektedir (Tablo 3). Ayrıca, Kulacadağ yöresi tefritik sil örnekleri için Re/Os oranları 4.76-138.43, Σ PGE içerikleri 1.28-3.80 ppb, Σ IPGE içerikleri 0.07-0.87 ppb, Σ PPGE içerikleri 0.94-3.42 ppb, Σ IPGE/ Σ PPGE oranları 0.06-0.93, Σ PPGE/ Σ IPGE oranları 1.07-17.28, Pt_N/Ir_N oranları ise 1.25-10.14 arasında değişmektedir (Tablo 4).

Bafra yöresi bazaltik lav/dayk örneklerinin Re içerikleri 0.74-1.21 ppb , Os içerikleri 0.008-0.029 ppb, Ir içerikleri 0.014-0.040 ppb, Ru içerikleri 0.016-0.14 ppb, Pt içerikleri 0.10-7.15 ppb ve Pd içerikleri 2.59-11.4 ppb arasında değişirken, bu yöreye ait tefritik lav/dayk örneklerinin Re içerikleri 0.48-6.88 ppb, Os içerikleri 0.005-0.006 ppb, Ir içerikleri 0.011-0.097 ppb, Ru içerikleri 0.016 ppb, Pt içerikleri 0.48-1.96 ppb ve Pd içerikleri 0.20-2.01 ppb arasında değişmektedir (Tablo 3). Ayrıca, Bafra yöresi bazaltik lav/dayk örnekleri için Re/Os oranları 41.80-92.5, Σ PGE içerikleri 9.81-14.26 ppb, Σ IPGE içerikleri 0.08-0.17 ppb, Σ PPGE içerikleri 9.73-14.17 ppb, Σ IPGE/ Σ PPGE oranları 0.006-0.015, Σ PPGE/ Σ IPGE oranları 67.61-157.43, Pt_N/Ir_N oranları 2.12-229.25 aralığında değişirken, bu yöreye ait tefritik lav/dayk örnekleri için Re/Os oranları 96.22-1147.31, Σ PGE içerikleri 0.71-4.05 ppb, Σ IPGE içerikleri 0.03-0.12 ppb, Σ PPGE içerikleri 0.68-3.97 ppb, Σ IPGE/ Σ PPGE oranları 0.02-0.09, Σ PPGE/ Σ IPGE oranları 11.62-45.31, Pt_N/Ir_N oranları ise 3.61-21.22 arasında değişmektedir (Tablo 4).

Tablo 3. Bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin oldukça siderofil element ve Os izotop analiz sonuçları

	Örnek	Kayaç Türü	Re (ppb)	Os (ppb)	Ir (ppb)	Ru (ppb)	Pt (ppb)	Pd (ppb)	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_i$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_T$	γOs	T_{MA}
TEKKEKÖY YÖRESİ	S-9	Bazaltik lav	0.31	0.005	0.020	0.081	0.27	0.13	306.81	0.36	0.13	0.126699	2.52	45.62
	S-43	Bazaltik lav	0.59	0.006	0.015	0.069	0.04	0.030	491.06	0.42	0.05	0.126699	-59.18	35.83
	S-109	Bazaltik lav	1.34	0.006	0.020	0.074	0.10	0.067	1142	0.60	-0.26	0.126699	-302.43	24.86
	S-120	Bazaltik lav	2.31	0.007	0.035	0.058	0.09	0.087	1808.62	1.20	-0.16	0.126699	-223.47	35.61
	S-121	Bazaltik lav	0.23	0.004	0.027	0.041	0.029	0.034	287.45	0.52	0.30	0.126699	140.27	82.12
	S-103	Bazaltik lav	0.70	0.004	0.13	0.14	0.27	0.15	917.81	0.77	0.08	0.126699	-35.55	42.05
KULACADAĞ YÖRESİ	KT-4	Tefritik sil	0.41	0.086	0.15	0.64	0.45	0.49	23.05	0.15	0.14	0.126699	7.51	70.19
	KT-6	Tefritik sil	0.97	0.007	0.14	0.23	0.35	3.07	719.43	0.73	0.19	0.126699	50.31	50.32
	KT-11	Tefritik sil	0.32	0.006	0.015	0.049	0.31	0.90	269.79	0.56	0.36	0.126699	182.29	96.40
BAFRA YÖRESİ	B-9	Bazaltik lav	0.74	0.008	0.022	0.14	0.10	11.4	461.84	0.405	0.06	0.126699	-53.73	36.15
	B-20	Bazaltik lav	1.21	0.029	0.040	0.016	7.15	2.59	204.10	0.229	0.07	0.126699	-40.07	30.05
	B-34	Bazaltik dayk	0.93	0.021	0.014	0.055	6.54	7.63	217.68	0.282	0.11	0.12699	-6.28	42.80
	B-10	Tefritik lav	0.48	0.005	0.067	0.016	1.96	2.01	487.54	0.522	0.16	0.126699	23.41	48.65
	B-13	Tefritik dayk	6.88	0.006	0.097	0.016	0.72	0.67	5946.87	0.708	-3.75	0.126699	3061.38	5.86
	B-38	Tefritik lav	3.31	0.005	0.011	0.016	0.48	0.20	3383.37	0.599	-1.94	0.126699	1629.97	8.37

Not: Tabloda yer alan $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_i$ (İlksel Os izotop oranı), $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_T$ (yaşa göre kondritik Os izotop bileşimleri), γOs (gamma Os) ve T_{MA} (Model yaş) değerleri aşağıdaki parametreler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında örneklerin yaşı daha önceki çalışmalar göz önüne alınarak 45 My olarak kabul edilmiştir. $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{ilksel}} = ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}} - [(^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}}) \times (e^{\lambda t} - 1)]$; $\gamma\text{Os} = [(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}(t)}/^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}(t)} - 1)] \times 100 = [(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{ilksel}}/^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_T - 1)] \times 100$; $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_T = ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{ilksel}} + ^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}} (e^{\lambda(4568000000)} - e^{\lambda t})$; $T_{MA} = 1/\lambda \times \ln\{[(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}} - ^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}}) / (^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{Kond}} - ^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}_{\text{örm}})] + 1\}$.

Tablo 4. Bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin oldukça siderofil element ve Os izotop analiz sonuçlarına göre hesaplanan bazı oranlar

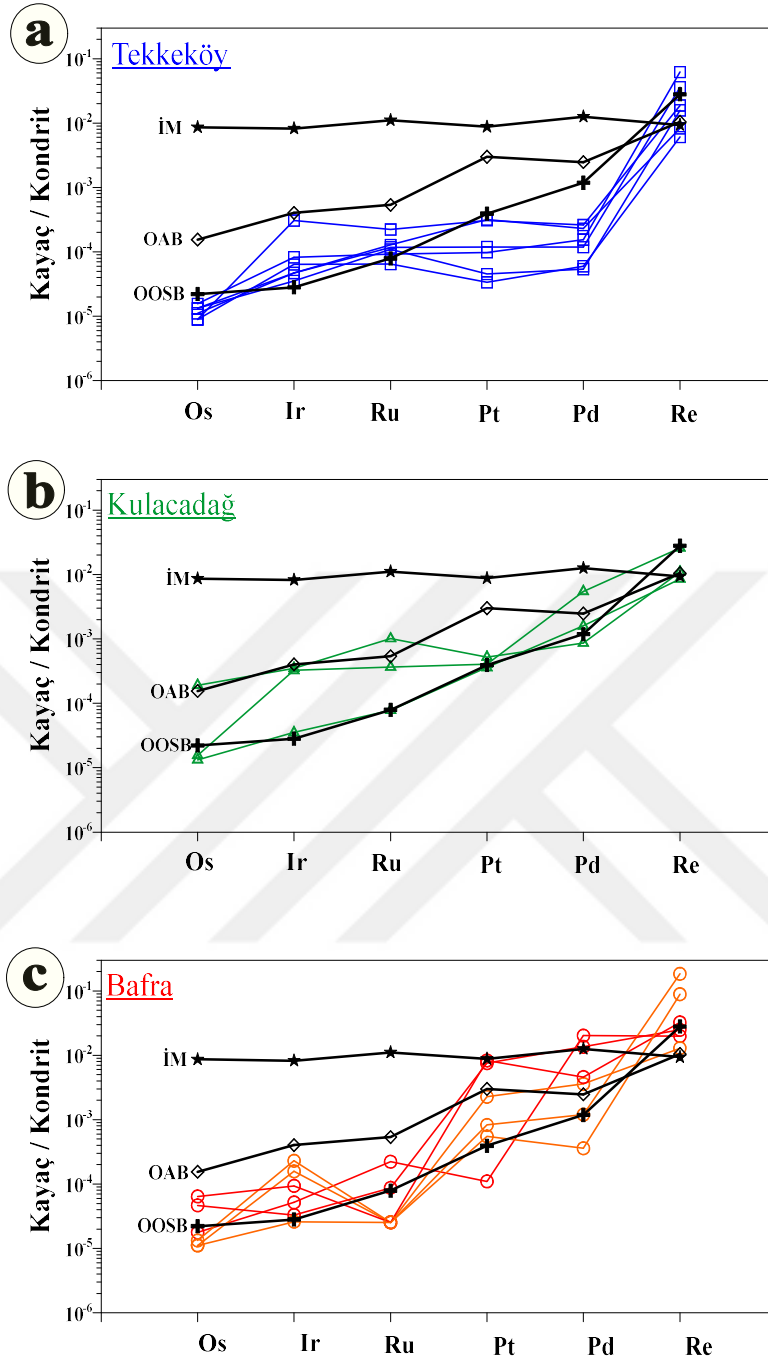
	Örnek	Kayaç Türü	Re/Os	Σ PGE	Σ IPGE	Σ PPGE	Σ IPGE/ Σ PPGE	Σ PPGE/ Σ IPGE	Pd _N /Ir _N	Cu/Pd	Cu/Zr	Pd/Zr	Cu
TEKKEKÖY YÖRESİ	S-9	Bazaltik lav	61.8	0.508	0.106	0.402	0.263	3.794	4.87	92860.56	0.09	9.72*10 ⁻⁷	12.0
	S-43	Bazaltik lav	98.16	0.159	0.09	0.069	1.296	0.771	1.52	1432312	0.47	3.3*10 ⁻⁷	43.6
	S-109	Bazaltik lav	223.33	0.270	0.10	0.170	0.589	1.698	2.51	706976.5	0.48	6.9*10 ⁻⁷	47.2
	S-120	Bazaltik lav	329.29	0.272	0.10	0.172	0.581	1.721	1.87	407414.4	0.32	7.89*10 ⁻⁷	35.5
	S-121	Bazaltik lav	56.75	0.135	0.072	0.062	1.148	0.871	0.94	1816615	0.82	4.53*10 ⁻⁷	61.2
	S-103	Bazaltik lav	175.75	0.687	0.274	0.412	0.664	1.507	0.85	715502	2.14	2.99*10 ⁻⁶	105.1
KULACADAĞ YÖRESİ	KT-4	Tefritik sil	4.77	1.81	0.87	0.94	0.93	1.08	2.46	110572.8	0.50	4.55*10 ⁻⁶	53.8
	KT-6	Tefritik sil	138.42	3.80	0.37	3.42	0.11	9.15	16.90	18019.8	0.52	2.88*10 ⁻⁵	55.4
	KT-11	Tefritik sil	53.0	1.28	0.07	1.21	0.05	17.28	45.18	97021.32	0.71	7.3*10 ⁻⁶	87.3
BAFRA YÖRESİ	B-9	Bazaltik lav	92.5	11.665	0.17	11.495	0.015	67.618	390.25	17307.02	2.66	0.00154	197.3
	B-20	Bazaltik lav	41.80	9.816	0.085	9.731	0.009	144.997	49.13	55278.78	1.85	3.34*10 ⁻⁵	142.9
	B-34	Bazaltik dayk	44.28	14.259	0.09	14.169	0.006	157.432	410.38	28890.14	2.87	9.92*10 ⁻⁵	220.4
	B-10	Tefritik lav	96.22	4.058	0.088	3.970	0.022	45.310	22.75	49129.19	1.01	2.05*10 ⁻⁵	98.9
	B-13	Tefritik dayk	1147.31	1.519	0.119	1.389	0.086	11.630	5.20	72655.43	0.57	7.81*10 ⁻⁶	48.9
	B-38	Tefritik lav	661.48	0.709	0.032	0.678	0.047	21.179	13.82	376292.7	0.85	2.27*10 ⁻⁶	76.0

Bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin MgO içerikleri genel olarak % 2.28–5.69 arasında değişmektedir. Özellikle düşük Os, Ir ve Ru içerikleri ile karakteristik olmalarının yanında; Bafra yöresine ait bazaltik lav/dayk örnekleri ile aynı yöreye ait tefritik lav örneği (B-34) ve Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örneğinde (KT-6) Pd içerikleri diğer volkanitlere göre oldukça yüksek değerde iken; Bafra yöresine ait bazaltik lav/dayk örnekleri (B-9 hariç) diğer volkanitlere göre oldukça yüksek Pt değerleri içermektedir. İncelenen volkanitlerden Bafra yöresine ait tefritik lav/dayk örnekleri (B-10 dışında) diğer yörelerden alınan örneklere göre oldukça yüksek Re değerleri göstermektedir.

Toplam PGE içerikleri dikkate alındığında, Tekkeköy yöresine ait bazaltik lav örneklerinin toplam PGE içerikleri diğer örneklere kıyasla oldukça düşük değerlerde iken, Bafra yöresine ait bazaltik lav/dayk örneklerinin toplam PGE içerikleri daha yüksek değerdedir. Ayrıca, incelenen volkanitlere ait örneklerin toplam PGE içerikleri (0.13 ile 11.6 ppb) dikkate alındığında, ilksel manto bileşimine (29.1 ppb; Becker vd., 2016) kıyasla düşük değerler göstermektedir. Pt_N / Ir_N oranları 0.52-229.246 arasında değişirken, Bafra yöresine ait bazaltik ve tefritik lav/dayk örneklerine ait Pt_N / Ir_N oranları diğer yörelerden alınan örneklere göre yüksek değerler göstermektedir.

İncelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerindeki bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin hem OSE analiz sonuçlarına göre hesaplanan oranlar ve hem de kondrite normalize edilmiş oldukça siderofil element diyagramları (Şekil 25a, b ve c) dikkate alındığında, paladyum grubu elementlerin (PPGE: Pd ve Pt) iridyum grubu elementlere (IPGE: Os, Ir ve Ru) göre güçlü bir zenginleşme göstermekte olup, bu zenginleşme Bafra yöresi volkanitlerine ait bazaltik ve tefritik lav/dayk örnekleri ile Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örneklerinde (KT-4 hariç) daha net görülmektedir.

İncelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerindeki bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin kondrite normalize edilmiş OSE dağılım diyagramları (Şekil 25a, b ve c) dikkate alındığında, OIB ve OOSB'na benzerlik göstermektedirler. Ayrıca Tekkeköy yöresine ait bazaltik lav örnekleri (S-9 ve S-121 hariç), Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örneği (KT-6) ile Bafra yöresine ait örnekler Re bakımından ilksel mantoya göre zenginleşme göstermektedir (Şekil 25). Tekkeköy yöresine ait volkanitlerde göreceli olarak pozitif Ir ile negatif Pd anomalileri gözlenirken, Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örneği (KT-4) pozitif Ru ile negatif Pt anomalisi göstermektedir. Bafra yöresine ait örneklerde (B-9 ve B-34 hariç) negatif Pd anomalileri, bir adet bazaltik lav örneğinde (B-9) pozitif Ru ile Pt anomalisi, tefritik örnekler de negatif Ru ile pozitif Ir anomalileri gözlenmektedir.



Şekil 25. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların kondrite normalize edilmiş (Fischer - Gödde vd., 2010) oldukça siderofil element dağılımları. İM (ilksel manto) değerleri Becker vd., 2006; OAB (Okyanus adası bazaltları) değerleri Day vd., 2010b; OOSB (Okyanus ortası sırtı bazaltları) değerleri Schiano vd., 1997, Rehkamber vd., 1999, Escrig vd., 2005, Bezos vd., 2005, Gannoun vd., 2007'ye göredir (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

3.3.3. Volkanitlerin Tüm-Kayaç Os İzotop Jeokimyasal Özellikleri

Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 287.45-1808.62 arasında değişirken, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 0.36-1.2 arasında değişim göstermektedir (Tablo 3). γOs değerleri, yüksek $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları ile negatif $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}_{(\text{ilksel})}$ değerlerine bağlı olarak bu yöredeki çoğu örnek için sıfırın altında değerler göstermektedir. Ancak S-9 ile S-121 örnekleri için γOs değerleri 2.52-140.26 aralığında değişmektedir. Hesaplanan modal yaş (T_{MA})'lar bu iki örnek göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve böylelikle Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerinin T_{MA} değerlerinin 45.62-82.12 My arasında değiştiği gözlenmiştir.

Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 23.04-719.43 arasında değişirken, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 0.15-0.73 arasında değişim göstermektedir. γOs değerleri ise 7.50-182.29 arasında değişmektedir. Bu yöreye ait tefritik sil örneklerinin hesaplanan T_{MA} değerlerinin 50.31-96.40 My arasında yer aldığı gözlenmiştir.

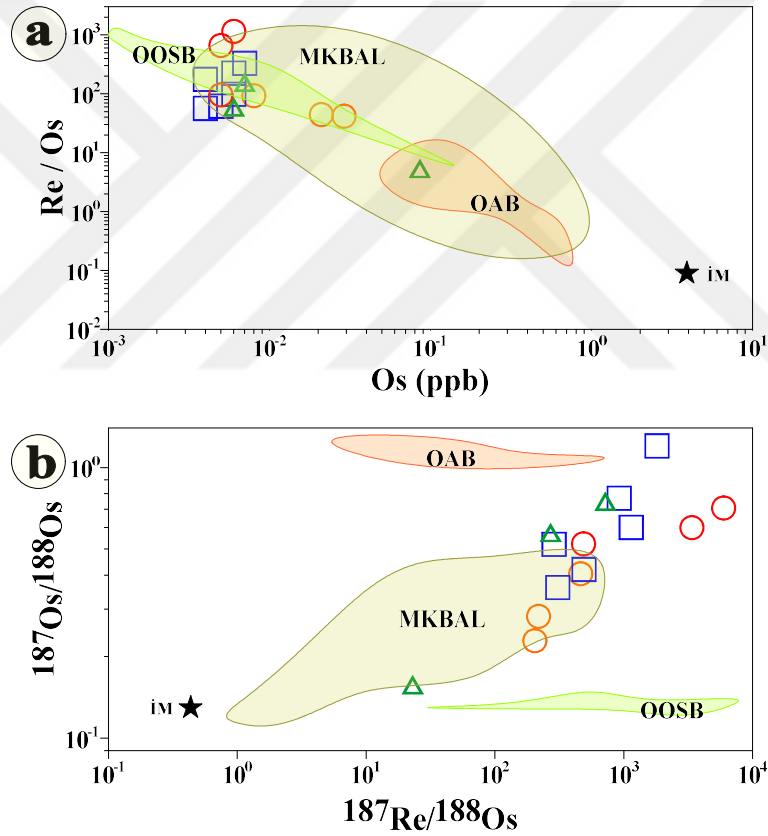
Bafra yöresi bazaltik lav/dayk örneklerinin $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 204.09-461.84 arasında değişirken, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 0.23-0.40 arasında değişmektedir. Aynı yöreye ait tefritik lav/dayk örneklerinde ise $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 487.53-5946.87 aralığında değişirken, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 0.52-0.71 aralığında değişmektedir. Bu yöreye ait $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları ile $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları diğer yörelere ait izotop oranlarına göre oldukça yüksek değer gösterdiklerinden örneklerin genelinde negatif γOs değerleri hesaplanmıştır. Yalnızca B-10 örneği için γOs değeri 23.40 olarak gözlenmektedir. Bu örnek göz önüne alınarak bu yöreye ait T_{MA} değeri 48.65 My olarak hesaplanmıştır.

İncelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerindeki bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin Os karşı Re/Os diyagramı Şekil 26a'da ve $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ diyagramı ise Şekil 26b'de verilmiştir.

Şekil 26a'da görüldüğü üzere, incelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerindeki bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örnekleri ile ilksel mantonun (Becker vd., 2006) Re/Os oranları ve Os içerikleri ile karşılaştırıldığında, incelenen volkanitlerin ilksel mantoya göre oldukça yüksek Re/Os oranlarına ve oldukça düşük Os içeriklerine sahip oldukları söylenebilir. Şekil 26b'de ise, incelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerindeki bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örnekleri ile ilksel mantonun (Meisel vd., 2001) $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları karşılaştırıldığında, incelenen volkanitlerin ilksel

mantoya göre oldukça yüksek $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları sahip oldukları söylenebilir.

Ayrıca, Re/Os oranları ve Os içerikleri dikkate alındığında (Şekil 26a), incelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yörelerindeki bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin çoğu OOSB'ına benzer Re/Os oranlarına ve Os içeriklere sahip olup, geniş bir yayılım gösteren MKBAL'ların oluşturduğu alan içerisinde yer alırlar. $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları dikkate alındığında ise, incelenen bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin çoğu OOSB'den yüksek ve OAB'dan düşük $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranlarına, hemen hemen OAB ve MKBAL'dan yüksek $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ izotop oranlarına sahiptir.



Şekil 26. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların (a) Os'a karşı Re/Os değişim diyagramları ile (b) $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 'a karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop değişim diyagramları. İM: İlksel Manto değerleri Becker vd. (2006)'dan; OAB: Okyanus Adası Bazaltları değerleri Hauri ve Hart (1993)'den; OOSB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları değerleri Gannoun vd. (2007)'den; MKBAL: Miyosen ve Kuvaterner yaşlı Batı Anadolu Lavları değerleri Aldanmaz vd. (2015)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

4. İRDELEME VE TARTIŞMA

Bu bölümde incelenen bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin tüm-kayaç oldukça siderofil element jeokimyası verileri kullanılarak volkanitlerin gelişim süreçlerinde etkili olan petrolojik olaylar (kısmi ergime, fraksiyonel kristallenme ve kabuk asimilasyonu) irdelenmiştir.

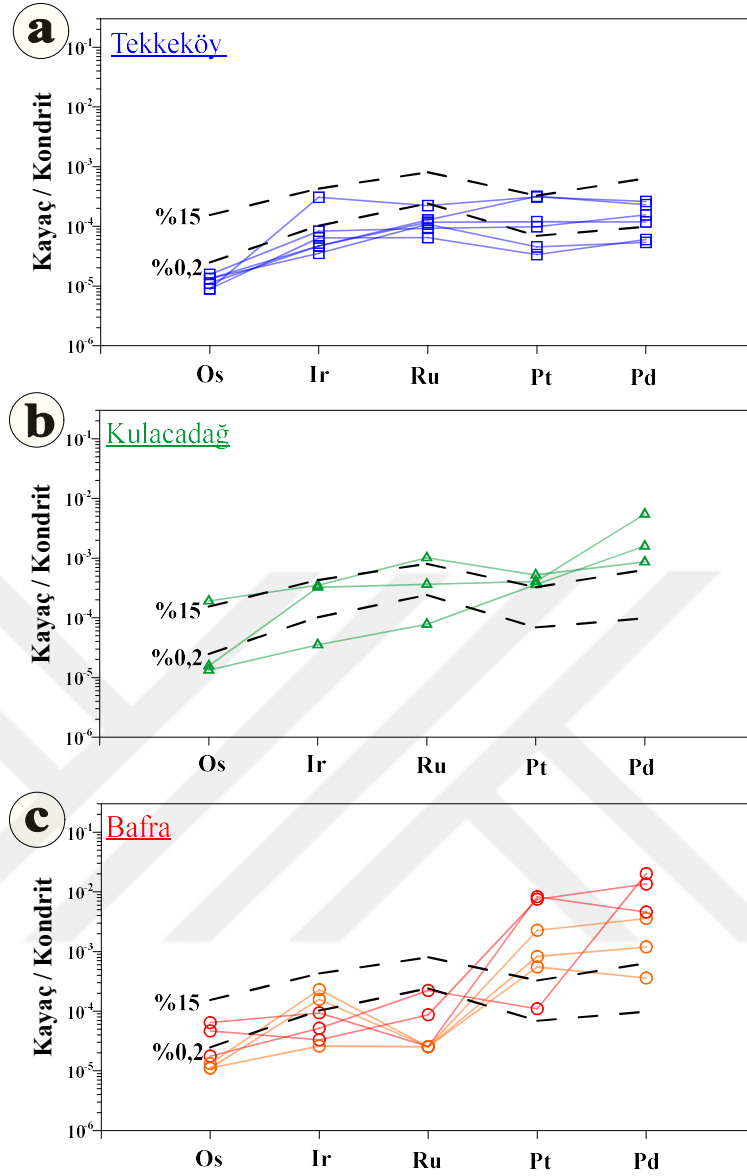
4.1. Kısmi Ergime

Oldukça siderofil elementler kısmi ergime sırasında ergime sıcaklıklarına bağlı olarak farklı davranışlar sergilemektedir. Özellikle paladyum grubu elementler (PPGE: Pd ve Pt, ergime sıcaklıkları < 2000) ile Re elementi kısmi uyumluluktan kısmi uyumsuzluğa kadar değişen davranışlar sergilerken, iridyum grubu elementleri (IPGE: Os, Ir ve Ru, ergime sıcaklıkları >2000) uyumlu element özelliği göstermektedir (Barnes vd., 1985).

Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yöresine ait volkanitler (bazaltik ve tefritik lav/sil/dayk örnekleri), % 2.28-5.69 arasında değişen MgO içerikleri ile 1.7-11.9 ppm arasında değişen Ni içeriklerine sahiptir. Buna göre, incelenen volkanitlerin mantodan türeyen farklılaşmamış ilksel ergiyiklere (örn., 413 ppm Ni ve % 15 MgO; Aldanmaz vd., 2006) göre oldukça farklılaşmış oldukları söylenebilir.

Tekkeköy ve Bafra yöresine ait bazaltik-tefritik lav/dayk örnekleri için daha önceki çalışmalarda (Bilici 2013; Temizel vd., 2016) litofil element jeokimyasal verileri (ana ve iz element sistematiği, litofil iz element manto modellemeleri ve Sr-Nd izotop verileri) kullanılarak bu örneklerin ana magmalarının çoğunlukla spinel lerzolitik az miktarda da granat lerzolitik bileşimde zenginleşmiş litosferik bir mantonun orta dereceli kısmi ergimesi ile meydana geldiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, incelenen Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yöresi volkanitlerine ait örneklerin OSE içeriklerinden yararlanılarak modal olmayan Rayleigh kısmi ergime modellemesi yapılmıştır (Şekil 27a, b ve c). Modellemede tüketilmiş bir manto kaynağı (Salters ve Stracke, 2004) kullanılmış olup, bu kaynağın modal bileşimi Ol: 0.5, Kpir: 0.45; Plj: 0.035, Sülfür: 0.015 ve ergime oranları Ol: 0.5, Kpir: 0.35, Plj: 0.05, Sülfür: 0.1 olarak alınmıştır.



Şekil 27. İncelenen volkanitlere modal olmayan Rayleigh kısmi ergime modeli uygulanarak zenginleşmiş manto kaynağının değişik derecelerdeki kısmi ergimesi ile oluşturulan ergiyiğin kondrite normalize edilmiş OSE dağılımları. Ayrırılma katsayıları, Puchtel ve Humayun (2001), Chazey ve Neal (2005), McKenzie ve O'Nions (1991) ve Gannoun (2007)'den alınmıştır. Kondrit değerleri Fischer-Gödde vd. (2010)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

İncelenen üç yöreye ait örnekler modal olmayan Rayleigh kısmi ergime modeli uygulayarak elde edilen değerlerin kondrite normalize edilmiş OSE dağılımları karşılaştırılmıştır. Buna göre; incelenen volkanitlerin ana magmalarını oluşturabilecek kısmi ergime derecelerinin, IPGE'ler dikkate alındığında %15'in altında, PPGE'ler dikkate alındığında ise (özellikle Kulacadağ ve Bafra yörelerine ait örnekler için) %15'in üzerinde

olduğu görülmektedir. Pt ve Pd içeriklerindeki zenginleşmeler, ergime derecesi arttıkça bu elementlerin uyumsuz karakterlerinden dolayı ergiyiği tercih ettiklerini kanıtlamaktadır (Şekil 27a, b, c).

4.2. Fraksiyonel Kristallenme

Bu bölümde incelenen üç yöreye ait volkanitlerin gelişiminde etkili olduğu düşünülen kükürt doygunluk durumu, silikat ve sülfür fraksiyonlaşması irdelenmiştir.

4.2.1. Kükürt Doymuluğu

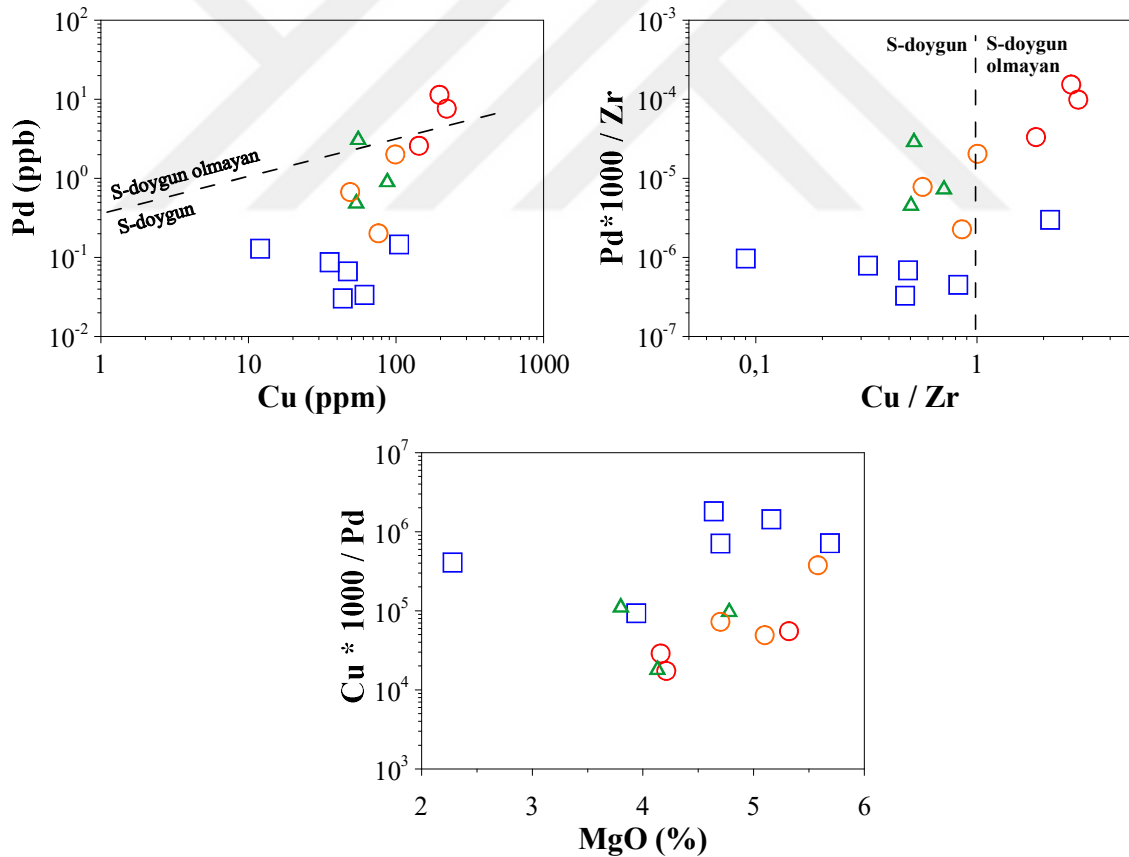
Mantodan türeyen bazaltların PGE jeokimyası, genellikle yükselen magmalarda kısmı ergime sırasında kaynak alanının kükürt doygunluğuna bağlı olarak yorumlanmaktadır. Ayrıca ergiyikte meydana gelen basınç, sıcaklık, oksijen ve kükürt fugasitesindeki değişimler, kükürt çözünürlüğünde ve dolayısıyla kükürt doygunluk koşullarında farklılıklara neden olmaktadır. Bazaltların tüm kayaç analizlerinde kükürt içerikleri, ergiyiklerin kükürt doygunluğunu belirlemek için güvenilir bir gösterge oluşturmamaktadır. Bunun sebebi, ergiyikte çözülmüş halde bulunan önemli miktardaki kükürt içeriklerinin volkanik patlamalar sırasında gazın ayrılmasından dolayı ortamdan uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır (Zhang vd., 2015).

Bazaltlarda Pd ve Cu elementleri genellikle magmadaki kükürt doygunluğunu tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu elementlerin her ikisi de sülfür fazları ile ilişkili siderofil elementler olmalarına rağmen, Pd'nin sülfür/silikat ayırılma katsayısı Cu elementinden çok daha fazladır (Cu: 245-1383, Pd: ~35000; Peach vd., 1990; Keays, 1995; Maier vd., 1998). Bazaltlarda Cu/Pd oranının 6500'den büyük olması (özellikle ilksel mantoda) kaynağın kükürtçe doymulu bir magmadan türediğini ya da sülfür fraksiyonlaşmasını içeren bir petrolojik süreç geçirdiğini göstermektedir (Maire vd., 1998). İncelenen üç yöreye ait bazaltik-tefritik lav/sil/dayk örneklerinin düşük PGE içeriği ile oldukça yüksek Cu/Pd oranları (17307.02-1816615), bu örneklerin kükürtçe doymulu bir magmadan türediğine işaret etmektedir (Tablo 4).

Bazaltlarda Cu/Zr oranının 1'den küçük olması yükselen magmanın kükürtçe doymulu bir mantodan türediğini göstermektedir (Lightfoot vd.,1994). Bu durum, Cu'nun kükürde

Zr'dan daha duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır. Kükürte doymun olmayan magmalarda Cu/Zr oranı fraksiyonel kristallenme sırasında değişim göstermemektedir. Ancak magma kükürtçe doymun hale geldiğinde sülfid fraksiyonlaşması gerçekleşirken bu oran azalmaktadır (Lightfoot vd.,1994). İncelenen volkanitlerin Cu/Zr oranları; Tekkeköy yöresine ait olan bazaltik lav örneklerinde (S-103 hariç) 0.09-0.82, Kulacadağ yöresine ait örneklerde 0.50-0.71, Bafra yöresine ait tefritik lav/dayk örneklerinde 0.57-1 ve bazaltik lav/dayk örneklerinde ise 1.84-2.86 arasında değişmektedir (Tablo 4).

Cu'a karşı Pd ve Cu/Zr'a karşı Pd/Zr oranları değişim diyagramları (Şekil 28) dikkate alındığında incelenen üç yöreye ait örneklerden Bafra yöresine ait bazaltik lav/dayk örnekleri ile Tekkeköy yöresine ait bir bazaltik lav örneği (S-103) hariç volkanitlerin genel olarak kükürtçe doymun (S-doymun) magmalardan itibaren geliştikleri ileri sürülebilir (Şekil 28).



Şekil 28. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaçların Cu'a karşı Pd içerikleri, Cu/Zr'a karşı Pd/Zr oranları ve MgO'e karşı Cu/Pd oranları değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi MgO ve Cu içerikleri, Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

4.2.2. Silikat / Sülfid Fraksiyonlaşması

Fraksiyonel kristallenme sırasında OSE'in uyumluluğu, mantonun ergimesi sırasında elementlerin gösterdiği uyumluluk ile benzerlik gösterdiğinden ($Os = Ir \geq Ru > Pt > Pd > Re$; Barnes vd., 1985) bazaltlar içerisindeki mineral fazlarındaki fraksiyonlaşmalar (silikat ve sülfid fraksiyonlaşmaları) ergiyiklerde artan $\sum PPGE/\sum IPGE$ oranlarıyla ilişkilidir.

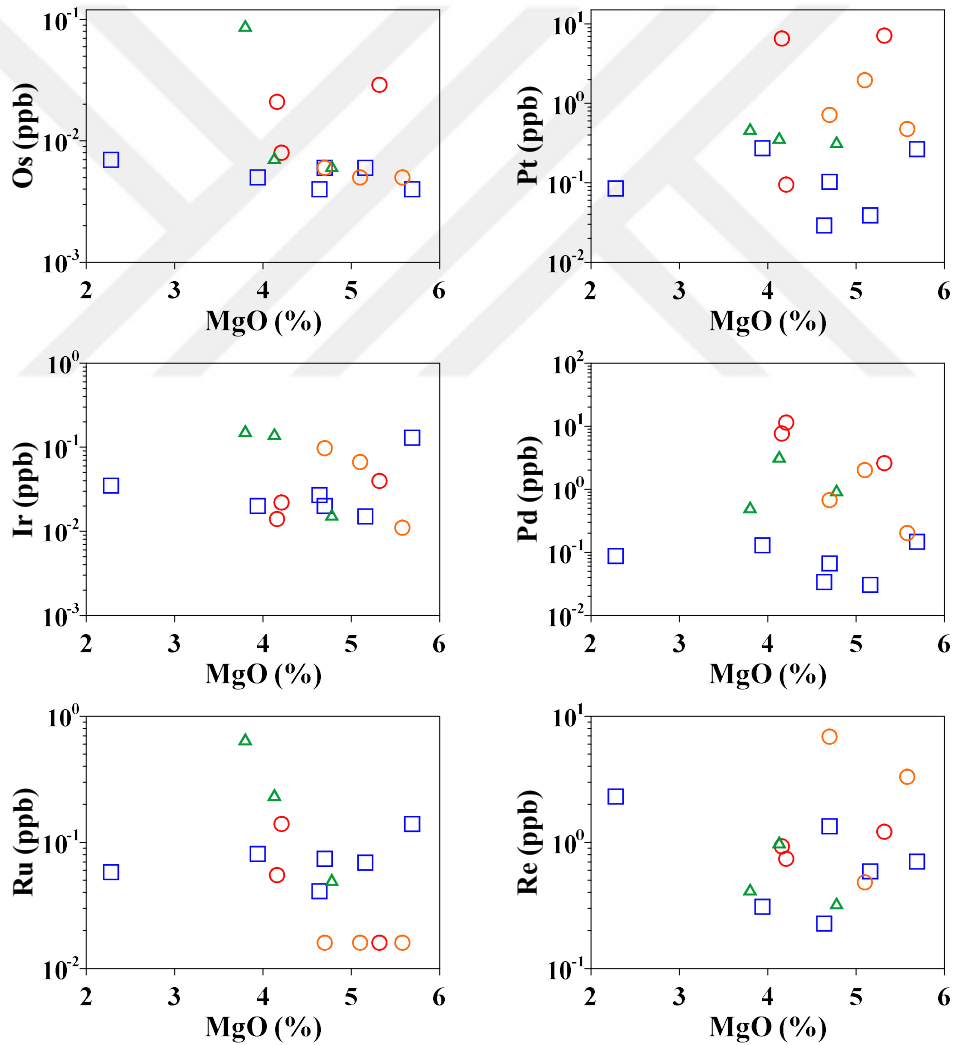
İncelenen volkanitlerin MgO'ye karşı oldukça siderofil element diyagramlarında Tekkeköy yöresine ait bazaltik lav örneklerinin PGE içerikleri MgO azalışıyla belirgin bir ilişki göstermemektedir. Diğer taraftan Bafra yöresine ait bazaltik-tefritik lav/dayk örnekleri ile Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örneklerinde MgO azalışıyla Os, Ir ve Ru artışıyla negatif bir ilişki göstermektedir. Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örneklerinde MgO azalışıyla Pt, Pd ve Re belirgin bir ilişki göstermemektedir. Bafra yöresine ait bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinde MgO azalışıyla IPGE (Os, Ir, Ru) ile PPGE (Pt, Pd)'de artma, buna karşın Re azalma göstermektedir (Şekil 29).

MgO'ye karşı oldukça siderofil element değişim diyagramlarında gözlenen pozitif ve negatif ilişkiler, incelenen volkanitlerin gelişiminde tüm kayaç litofil element jeokimyası verilerine dayalı silikat fraksiyonlaşmasının (Bilici 2013; Temizel vd., 2016) yanında sülfid fraksiyonlaşmasının da etkili olabileceğini ifade etmektedir.

Sülfid fraksiyonlaşması, genellikle magmanın kükürt doygunluğuna bağlı olarak OSE'nin ayrılarak sülfid ve benzeri alaşımların yapısına katılmaları sonucu ergiyikte OSE'nin azalması ile karakterize edilmektedir. Çoğu PGE'ler 10^5 'den daha yüksek sülfid/silikat ayırılma katsayısına sahip olmalarıyla birlikte sülfid fazları içerisinde yer alır (Stone vd., 1990; Bezmen vd., 1994; Keays, 1995; Fleet vd., 1996; Crocket vd., 1997).

İncelenen volkanitlerde MgO azalırken Cu/Pd oranlarının göreceli olarak azalması, volkanitlerin gelişiminde silikat fraksiyonlaşmasıyla birlikte sülfid fraksiyonlaşmasında etkili olduğuna işaret etmektedir (Şekil 28). İncelenen volkanitlerde MgO'ye karşı OSE değişim diyagramları yorumlandığında; Tekkeköy yöresine ait bazaltik lav örneklerinin OSE içerikleri bakımından MgO'in azalmasıyla belirgin bir ilişki göstermemesi, bu volkanitlerin gelişiminde IPGE'lerin silikat minerallerinin (klinopiroksen, olivin) yapısına katılmayarak fraksiyonlaşmaya bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir (Şekil 29). MgO azalırken Re'un bir ilişki göstermemesi de Re'un fraksiyonlaşma fazlarında uyumsuz özellikte olmasının yanında volkanik patlama sonucu magmadan gazların ayrılmasıyla ilişkili olduğu söylenebilir (Jamais vd., 2008).

Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örnekleri MgO'ın azalmasıyla IPGE (Os, Ir, Ru) içeriklerinin artması, bu volkanitlerin gelişiminde silikat minerallerinin (klinopiroksen) fraksiyonlaşmasının yanında sülfür fraksiyonlaşmasının da etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 29). Ayrıca Kulacadağ örneklerinin cevher mikroskobu incelemelerinde klinopiroksenler içerisindeki sülfür mineral kapanımlarının varlığı diyagramlarda gözlenen IPGE'lerin artışını desteklemektedir. Bunun yanında, volkanitlerde MgO'ın azalmasıyla Re'un belirgin bir ilişki göstermemesi ve volkanitlerin ilksel mantoya (0.35; Becker vd., 2006) göre oldukça yüksek Re içeriklerine sahip olması, bu elementin oldukça hareketli olması ile açıklanabilir.



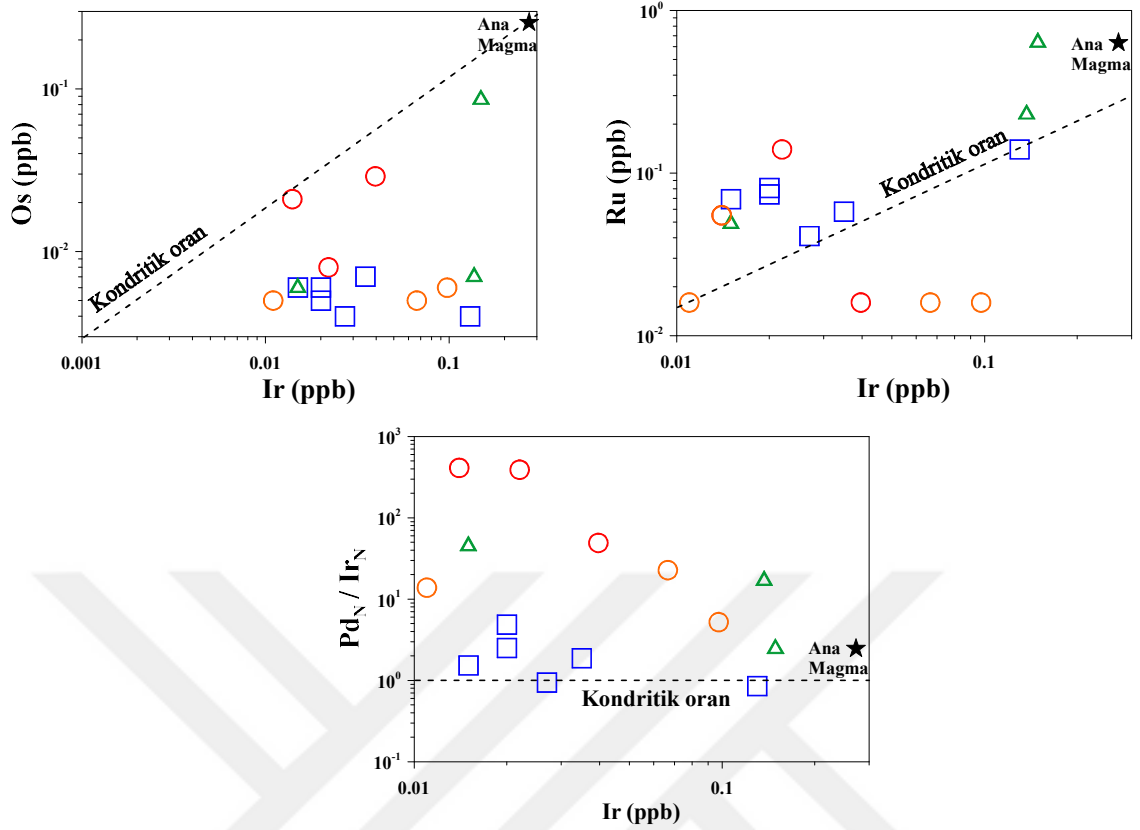
Şekil 29. İncelenen bazaltik ve tefritik kayaların MgO'e karşı oldukça siderofil element değişim diyagramları. Tekkeköy ve Bafra yöresi MgO içerikleri, sırasıyla Bilici (2013) ve Temizel vd. (2016)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

Bafra yöresine ait bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinde MgO'in azalmasıyla IPGE (Os, Ir, Ru) içeriklerinin göreceli olarak artma göstermesi (Şekil 29), cevher mikroskobu incelemelerinde olivin ve klinopiroksen içerisinde kapanım şeklinde gözlenen sülfitlerin yapısına IPGE'in katıldıklarını desteklemektedir. Ayrıca MgO'in azalmasıyla Pt ve Pd içeriklerinin artma göstermesi, bu elementlerin uyumsuz özellikleri nedeniyle silikat minerallerinin fraksiyonlaşması sırasında olivin ya da klinopiroksenin yapısında yer almayarak cevher mikroskobu incelemelerinde hamur içerisinde gözlenen sülfit minerallerinin yapısına katıldıklarını ifade etmektedir. Bu yöreye ait örneklerde (özellikle tefritik örnekler) MgO'in azalmasıyla Re içeriklerinin azalması, cevher mikroskobu incelemelerinde hamur içerisinde öz şekilsiz olarak gözlenen ikincil sülfit oluşumlarıyla açıklanabilir.

Tekkeköy yöresine ait bazaltik lav örnekleri yüksek Ir ve düşük Os içeriklerine sahip olup, Ir içeriği azaldıkça Os ve Ru belirgin ilişki göstermemektedir (Şekil 30). Aynı şekilde Ir içerikleri azalırken Pd_N/Ir_N oranlarının da bir ilişkinin olmaması (Şekil 30), bu yöreye ait volkanitlerin gelişiminde silikat (olivin ve klinopiroksen) fraksiyonlaşması sırasında IPGE'lerin bir katkısının olmadığını ifade etmektedir.

Kulacadağ yöresine ait örneklerde Ir içeriğinin azalmasıyla Os ve Ru içerikleri de azalarak belirgin bir ilişki göze çarpmaktadır (Şekil 30). Tefritik sil örneklerinde dolayısıyla silikat fraksiyonlaşmasının yanında cevher mikroskobu incelemelerinde klinopiroksenlerde kapanım halinde ve hamurda gözlenen sülfit minerallerinin gelişimine IPGE'lerin katkı sağladıkları ileri sürülebilir. Ayrıca Ir azalırken Pd_N/Ir_N oranlarının artması (Şekil 30), Pd'un Ir'a kıyasla silikat mineralleri yerine ergiyiği tercih etmesinden dolayı IPGE'lerin silikat fraksiyonlaşması sırasında klinopiroksenlerin yapısına katıldıkları şeklinde yorumlanabilir.

Bafra yöresine ait örneklerin Ir içeriği azalırken Os ve Ru içeriklerinde artma gözlenmektedir (Şekil 30). Bu ilişkiler cevher mikroskobu incelemelerinde özellikle tefritik örneklerde klinopiroksen kenarlarında ve hamurda yer alan ikincil sülfit minerallerinin gelişimine IPGE'lerin katkı sağladıkları şeklinde yorumlanabilir. Aynı şekilde bu yöreye ait örneklerin Ir içeriği azaldıkça Pd_N/Ir_N oranlarının da artması (Şekil 30) IPGE'lerin silikat minerallerinin (olivin ve klinopiroksen) yapısına da katıldıklarını desteklemektedir.



Şekil 30. İncelenen bazaltik ve tefiritik kayaçların Ir'a karşı Os, Ru içerikleri ve Pd_N/Ir_N oranları. Kondrit değerleri; Fischer - Gödde vd. (2010)'den alınmıştır. Ana magma değerleri ise Aldanmaz vd. (2006)'dan alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

4.3. Kabuk Asimilasyonu

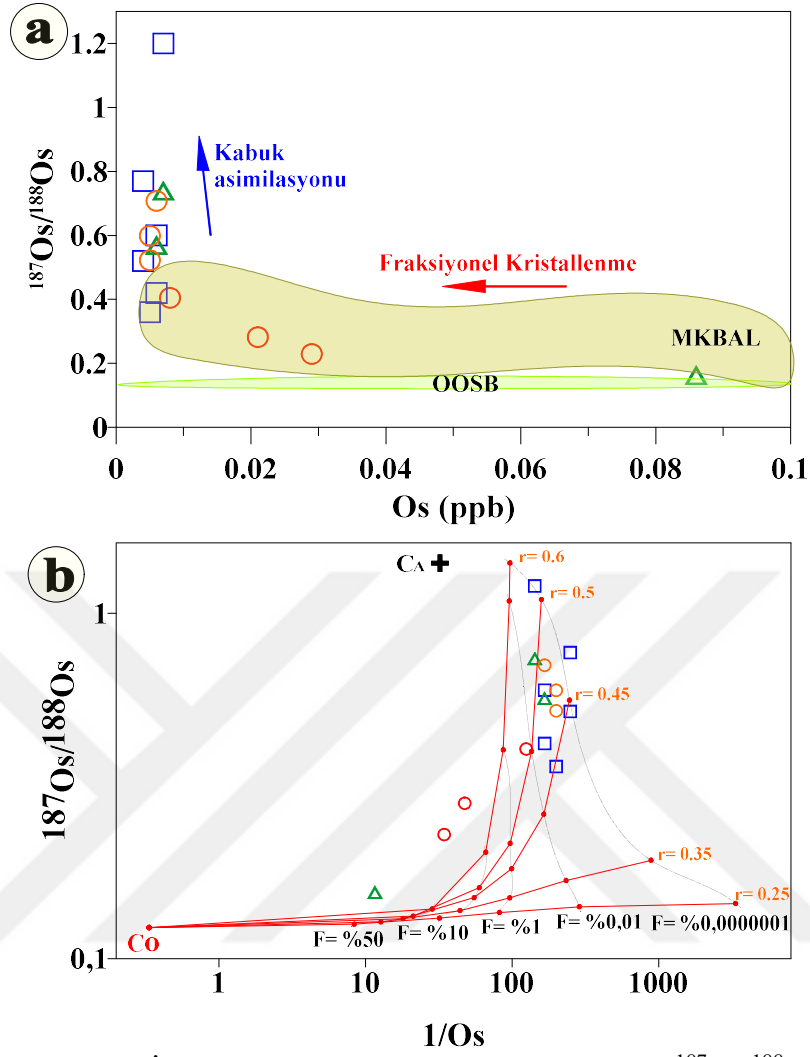
Osmiyum, mantonun kısmi ergimesi sırasında genellikle uyumlu bir davranış sergilediğinden mantodan türeyen bazaltik ergiyiklerde çoğunlukla düşük Os içerikleri gözlenmektedir (Barnes vd., 1985; Reisberg vd., 1991). Ayrıca litofil element izotop sistemlerine (örneğin Sr, Nd, Hf, Pb) kıyasla Os izotopları ergiyikte kalmayı tercih etmektedir. Os izotopları, yüksek Os içerikli litosferik manto ile oldukça düşük Os içerikli ve yüksek $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranına sahip kabuk malzemesinin asimilasyonu arasında ayırım yapmak için kullanılmaktadır. (Reisberg vd., 1991; Widom vd., 1999).

İncelenen üç yöreye ait volkanitlerin Os içeriklerinin (0.004-0.086 ppb) ilksel mantoya göre (3.9; Becker vd., 2006) oldukça düşük olduğu ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranlarının 0.15 ile 1.2 arasında değiştiği gözlenmektedir (Tablo 3). İncelenen volkanitlerin Os izotop oranlarının ilksel manto bileşimine göre (0.1296; Meisel vd., 2001)

oldukça yüksek olması gelişimlerinde kabuk asimilasyonun önemli rol oynadığına işaret etmektedir. Ayrıca Tekkeköy ve Bafra yöresine ait bazaltik/tefritik lav/dayk örneklerinde önceki çalışmalarda (Bilici 2013; Temizel vd., 2016) litofil iz element ve Sr-Nd izotop verileri ile yapılan modellemelere göre volkanitlerin gelişiminde kabuk asimilasyonunun varlığı ileri sürülmüştür.

İncelenen üç yöreye ait volkanitlerde kabuk asimilasyonunu ortaya koymak için $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ -1/Os diyagramı kullanılarak AFC (Asimilasyon ile ilişkili Fraksiyonel Kristallenme) modellenmesi (DePaolo, 1981; Powell, 1984) yapılmıştır. AFC modellemesinde ana magma için tüketilmiş manto bileşimi $\text{Os} = 2.99$ ppb (Salters ve Stracke, 2004) ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.123$ (van Keken vd., 2002) ve asimilant için üst kıtasal kabuk bileşimi $\text{Os} = 0.031$ ve $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 1.4$ (Puecker-Ehrenbrink ve Jahn, 2001) alınarak, farklı r (asimilasyonun fraksiyonlaşmaya oranı) ve F (% fraksiyonlaşma miktarı) değerleri için AFC eğrileri oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan toplam ayrımlanma katsayısı (D), Os için 0.6 kabul edilmiştir.

İncelenen volkanitlerin Os (ppb) karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ diyagramında (Şekil 31a) gözlenen yönselmeler, genel olarak volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenme ile birlikte kabuk asimilasyonunun da etkili olduğu göstermektedir. Ayrıca, AFC modellemesine göre, incelenen volkanitlerin tümü $r=0.45$ eğrisinin üzerinde yer almaktadır (Şekil 31b). Bu r (0.45) değerinin, kritik değer olarak ifade edilen $r=0.25$ 'den (Albarède, 1996) yüksek olması; incelenen volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin yanısıra kabuk asimilasyonunun da önemli rol oynadığı ifade etmektedir.



Şekil 31. İncelenen volkanitlerin (a) Os'a karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ ve (b) AFC modellemesini gösteren $1/\text{Os}$ 'a karşı $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ diyagramı. Co: Tüketilmiş Manto için Os değeri Salters ve Stracke (2004)'den, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ oranı van Keken vd. (2002)'den; CA: Üst Kıtasal Kabuk bileşimi Puecker-Ehrenbrink ve Jahn (2001)'den alınmıştır (Semboller Şekil 20'deki gibidir).

5. SONUÇLAR

1. Samsun ve yakın çevresinde yüzeyleme veren Eosen yaşlı bazik volkanitler Tekkeköy, Kulacadağ ve Bafra yöresi olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Tekkeköy yöresine ait örnekler bazaltik lav, Kulacadağ yöresine ait örnekler tefritik sil, Bafra yöresine ait örnekler ise bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinden oluşmaktadır.

2. Tekkeköy yöresine ait bazaltik lav örnekleri, genellikle hyalo-porfirik, porfirik, kümülofirik ve intergranüler dokulu olup olivin, klinopiroksen, plajiyoklas ve opak (Fe-Ti oksit ve sülfür) minerallerden oluşmaktadır. Bu yöreye ait örneklerde sülfür mineralleri gerek klinopiroksen mineralleri içerisinde kapanımlar halinde gerekse hamur içerisinde klinopiroksen etrafında ya da dağınık halde gözlenmektedir.

3. Kulacadağ yöresine ait tefritik sil örnekleri, porfirik, mikrolitik porfirik ve poikilitik dokulu olup klinopiroksen, plajiyoklas, biyotit ve opak (Fe-Ti oksit ve sülfür) minerallerden oluşmaktadır. Bu yöreye ait örneklerde sülfür mineralleri, hem klinopiroksen mineralleri içerisinde kapanım halinde hem de hamur içerisinde klinopiroksen mineralleri ve plajiyoklas lataları etrafında öz ve yarı özşekilli olarak bulunmaktadır.

4. Bafra yöresine ait bazaltik lav/dayk örnekleri, hyalo porfirik, mikrolitik porfirik, intersertal ve kümülofirik dokulu olup klinopiroksen, plajiyoklas, olivin ve opak (Fe-Ti oksit ve sülfür) minerallerden oluşurken, tefritik lav/dayk örnekleri, porfirik, mikrolitik porfirik dokulu olup klinopiroksen, plajiyoklas, analsim, biyotit ve opak (Fe-Ti oksit ve sülfür) minerallerden oluşmaktadır. Bu yöreye ait örneklerde sülfür mineralleri, bazaltik lav örneklerinde klinopiroksen ve olivin mineralleri içerisinde; tefritik lav örneklerinde ise klinopiroksen içerisinde kapanım halinde yer alırken, hamurda ise genellikle saçınım halinde özşekilsiz olarak ve bunun yanında kırık ve çatlaklar boyunca boşluk dolgusu şeklinde yer almaktadır.

5. Jeokimyasal olarak; Tekkeköy yöresi bazaltik lav örnekleri çoğunlukla bazalt ve bazaltik traki-andezitten oluşurken, Kulacadağ yöresi tefritik sil örnekleri tefritten; Bafra yöresi bazaltik-tefritik lav/dayk örnekleri ise tefrit ve bazalttan oluşmaktadır. Tekkeköy yöresi bazaltik lav örneklerin alkali / sub-alkali ayırım sınırında geçiş karakterli, Kulacadağ yöresi tefritik sil örneklerinin ve Bafra yöresi bazaltik-tefritik lav/dayk örneklerinin ise alkali karakterli olduğu gözlenmektedir.

6. İncelenen volkanitlerin OSE bolluklarına göre, toplam PGE içerikleri düşük olup, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ izotop oranları 0.15-1.20 arasında değişmektedir. Ayrıca, incelenen volkanitlerde PPGE'ler IPGE'lere göre zenginleşme göstermekte olup, kondrite normalize OSE dağılımları genel olarak OOSB'na benzerlik sunarlar.

7. İncelenen volkanitlerin modal olmayan Rayleigh kısmi ergime modellemesine göre, ana magmalarını oluşturabilecek kısmi ergime miktarlarının IPGE'ler dikkate alındığından %15'in altında, PPGE'ler dikkate alındığında ise (özellikle Kulacadağ ve Bafra yörelerine ait örnekler için) %15'in üzerinde olduğu görülmektedir.

8. İncelenen volkanitlerin düşük PGE ile yüksek Cu/Pd oranları ve düşük Cu/Zr oranları, kükürtçe doymuş magmalardan türemiş olabileceklerine işaret etmektedir.

9. İncelenen volkanitlerde MgO'e karşı OSE değişim diyagramlarında gözlenen pozitif ve negatif ilişkiler, petrolojik gelişimlerinde silikat fraksiyonlaşmasının yanı sıra sülfür fraksiyonlaşmasının da etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Tekkeköy ve Kulacadağ volkanitlerinin MgO'e karşı Re'un belirgin bir ilişki göstermemesi ve nispeten yüksek Re içermeleri, Re elementinin oldukça hareketli olması ile açıklanabilir.

10. Tekkeköy volkanitlerinin Ir'a karşı Os ve Pd_N/Ir_N oranları değişim diyagramlarında belirgin bir ilişki göstermemesi, fraksiyonlaşma sırasında IPGE'lerin silikat minerallerinin yapısına girmediği; buna karşın Kulacadağ yöresine ait örneklerde Ir azalırken Pd_N/Ir_N oranlarının artması, IPGE'lerin fraksiyonlaşma sırasında silikat minerallerinin yapısına katıldıkları şeklinde yorumlanmaktadır. Benzer şekilde Bafra yöresine ait örneklerde Ir içeriği azaldıkça Pd_N/Ir_N oranlarının artma göstermesi, IPGE'lerin silikat minerallerinin yapısına katıldıkları şeklinde yorumlanabilir.

11. İncelenen volkanitlerin AFC modellemesinde tüm örneklerin $r=0.45$ eğrisinin üzerinde yer alması ve bu r değerinin kritik değer olan $r=0.25$ 'den büyük olması, volkanitlerin gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin yanı sıra kabuk asimilasyonunun da etkili olduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

- Albarède, F., 1996. Introduction to Geochemical Modelling, Cambridge University Press., 543.
- Aldanmaz, E., Köprübaşı, N., Gürer, Ö.F., Kaymakçı, N. ve Gourgaud, A., 2006. Geochemical constraints on the Cenozoic, OIB-type alkaline volcanic rocks of NW Turkey: implications for mantle sources and melting processes, Lithos 86, 50–76.
- Aldanmaz, E., Pickard, M., Meisel, T., Altunkaynak, Ş., Sayıt, K., Şen, P., Hanan, B.B. ve Furman, F., 2015. Source components and magmatic processes in the genesis of Miocene to Quaternary lavas in western Turkey: constraints from HSE distribution and Hf–Pb–Os isotopes, Contributions to Mineralogy and Petrology, 170, 23.
- Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P. ve Satır, M., 2008. Geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclinites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.
- 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.
- 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., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. ve Şen, C. 2013. ^{40}Ar - ^{39}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, Contribution to Mineralogy and Petrology, 166, 113-142.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A., 2014. K–Ar age, whole-rock and Sr–Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanics around the Gümüşhane area (NE Turkey): implications for post-collisional volcanism during Tertiary time in the eastern Pontides, Mineralogy and Petrology, 108, 245–267.
- Aydın, F., Karlı, O. ve Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey, Lithos, 104, 249-266.
- Aydın, F., Thompson, R., Karlı, O., Uchida, H., Burt, J.B. ve Downs, R.T., 2009. C2/c pyroxene phenocrysts from their potassic series in Neogene alkaline volcanics, NE Turkey: Their crystal chemistry with petrogenetic significance as an

- indicator of P-T conditions, Contributions to Mineralogy and Petrology, 158, 131-147.
- 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.
- Barnes, S.J., Naldrett, A.J. ve Gorton, M.P., 1985. The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas, Chemical Geology, 53, 303–323.
- Becker, H., Horan, M.F., Walker, R.J., Gao, S., Lorand, J.P. ve Rudnick, R.L., 2006. Highly siderophile element composition of the Earth's primitive upper mantle: constraints from new data on peridotite massifs and xenoliths, Geochimica et Cosmochimica Acta, 70, 4528–4550.
- Bektaş, O., 1986. Doğu Pontid ark-ark gerisi bölgelerinde paleostre dağılımı ve çok safhali riftleşme, MTA Dergisi, 103-104, 16-39.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N. 1999. Migration of the Upper Cretaceous subduction-related volcanism towards the back-arc basin of the Eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey), Geological Journal, 34, 95-106.
- Bezmen, N.I., Asif, M., Brüggmann, G.E., Romanenko I.M. ve Nalderett A.J., 1994. Distribution of Pd, Rh, Ru, Ir, Os, and Au between sulfide and silicate metals, Geochimica et Cosmochimica Acta, 58, 1251–1260.
- Bézos, A., Lorand, J.P., Humler, E. ve Gros, E., 2005. Platinum group element systematics in mid-oceanic ridge basalt glasses from the Pacific, Atlantic and Indian oceans, Geochimica et Cosmochimica Acta, 69, 2613–2627.
- Bilici, T., 2013. Tekkeköy (Samsun) yöresi Tersiyer volkanitlerinin petrografisi, petrokimyası ve petrolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 136s.
- Birck, J.L., Barman, M.R. ve Capmas, F., 1997. Re-Os isotopic measurements at the femtomole level in natural samples, Geostandards Newsletter: The Journal of Geostandards and Geoanalysis, 20, 19–27.
- Carlson, R.W., 2005. Application of the Pt-Re-Os isotopic systems to mantle geochemistry and geochronology. Lithos, 82, 249–272.
- Chazey, III., William, J. ve Neal, C.R., 2005. Platinum-group element constraints on source composition and magma evolution of the Kerguelen Plateau using basalts from ODP Leg 183, Geochimica et Cosmochimica Acta, 69, 19, 4685-4701.
- Chu, Z.Y., Harvey, J., Liu, C.Z., Guo, J.H., Wu, F.Y., Tian, W., Zhang, Y.L. ve Yang, Y.H., 2013. Source of highly potassic basalts in northeast China: Evidence from Re–Os, Sr–Nd–Hf isotopes and PGE geochemistry, Chemical Geology, 357, 52–66.
- Chu, Z., Yan, Y., Zeng, G., Tian, W., Li, C., Yang, Y. ve Guo, J., 2017. Petrogenesis of Cenozoic basalts in central-eastern China: Constraints from Re–Os and PGE geochemistry, Lithos, 278–281, 72–83.
- Cohen, A.S. ve Waters, F.G., 1996. Separation of osmium from geological materials by solvent extraction for analysis by thermal ionisation mass spectrometry, Analytica Chimica Acta, 332, 269–275.

- Creaser, R.A., Papanastassiou, D.A., ve Wasserburg, G.J., 1991. Negative thermal ion mass spectrometry of osmium, rhenium, and iridium, Geochimica et Cosmochimica Acta, 55, 397–401.
- Crocket, J.H., Fleet, M.E. ve Stone, W.E., 1997. Implications of composition for experimental partitioning of platinum-group elements and gold between sulfide liquid and basalt melt: The significance of nickel content, Geochimica et Cosmochimica Acta, 61, 4139–4149.
- Crocket, J.H., 2002. Platinum-group elements in basalts from Maui, Hawaii: low abundances in alkali basalts, Canadian Mineralogist, 40, 595–609.
- Day, J.M.D., Pearson, D.G., Macpherson, C.G., Lowry, D. ve Carracedo, J.C., 2010b. Evidence for distinct proportions of subducted oceanic crust and lithosphere in HIMU-type mantle beneath El Hierro and La Palma, Canary Islands, Geochimica et Cosmochimica Acta, 74, 6565–6589.
- Day, J.M.D., 2013. Hotspot volcanism and highly siderophile elements, Chemical Geology, 341, 50–74.
- DePaolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wall-rocks assimilation and fractional crystallization, Earth and Planetary Science Letters, 53, 189–202.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. ve Altunkaynak, S., 2010. Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: Collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint, International Geology Review, 52, 4–6, 536–578.
- Dokuz, A., Uysal, İ., Siebel, W., Turan, M., Duncan, R. ve Akçay, M., 2013. Post-collisional adakitic volcanism in the eastern part of the Sakarya Zone, Turkey: Evidence for slab and crustal melting, Contributions to Mineralogy and Petrology, 166, 1443–1468.
- Escrig, S., Schiano, P., Schilling, J.G. ve Allegre, C., 2005. Rhenium–osmium isotope systematics in MORB from the Southern Mid-Atlantic Ridge (40°–50° S), Earth Planet Science Letters, 235, 528–548.
- 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., Akaryali, 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, Geosciences Frontiers, 4, 353–375.
- Fischer-Gödde, M., Becker, H. ve Wombacher, F., 2010. Rhodium, gold and other highly siderophile element abundances in chondritic meteorites, Geochimica et Cosmochimica Acta, 74, 356–379.
- Fleet, M.E., Crocket, J.H. ve Stone, W.E., 1996. Partitioning of platinum-group elements (Os, Ir, Ru, Pt, Pd) and gold between sulfide liquid and basalt melt, Geochimica et Cosmochimica Acta, 60, 2397–2412.

- Gannoun, A., Burton, K.W., Parkinson, I.J., Alard, O., Schiano, P. ve Thomas, L.E., 2007. The scale and origin of the osmium isotope variations in mid-ocean ridge basalts, Earth Planet Science Letters, 259, 541–556.
- Gannoun, A., Burton, K.W., Day, J.M., D., Harvey, J., Schiano, P. ve Parkinson, I., 2016. Highly Siderophile Element and Os Isotope Systematics of Volcanic Rocks at Divergent and Convergent Plate Boundaries and in Intraplate Settings. In: Harvey, J. and Day, J.M.D. (eds.), *Highly Siderophile and Strongly Chalcophile Elements in High-Temperature Geochemistry and Cosmochemistry*, Reviews in Mineralogy & Geochemistry, Mineralogical Society of America, 81, 651-724.
- Gedik, A. ve Korkmaz, S., 1984. Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, MTA Rapor No: 7575.
- Gedik, A., Ercan, T. ve Korkmaz, S., 1984. Orta Karadeniz (Samsun-Sinop) havzasının jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi, MTA Enst. Derg., 99-100, 34-50.
- Goldschmidt, V.M., 1954. *Geochemistry*. Clarendon Press, London, 730.
- Göçmengil, G., Karcacık, Z., Genç, Ş.C. ve Billor, M.Z., 2018. 40Ar-39Ar geochronology and petrogenesis of postcollisional trachytic volcanism along the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (NE, Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences, 27, 1-31.
- Göçmengil, G., Karcacık, Z., Genç, Ş.C., Prelević, D. ve Billor, M.Z., 2019. 40Ar-39Ar ages and petrogenesis of middle Eocene post-collisional volcanic rocks along the Izmir-Ankara-Erzincan suture zone, NE Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 173, 121-142.
- Görür, N. ve Tüysüz, O., 1997. Petroleum geology of the southern continental margin of the Black Sea. In: Robinson, A.G. (Ed.), *Regional and Petroleum geology of the Black Sea and surrounding region*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 241–254.
- Gülmez, F., Genç, Ş.C., Preleviç, D. Tüysüz, O., Karacık, Z., Roden, M. ve Billor, Z., 2016. Ultrapotassic Volcanism from the Waning Stage of the Neotethyan Subduction: a Key Study from the Izmir–Ankara–Erzincan Suture Belt, Central Northern Turkey, Journal of Petrology, 57, 561-593.
- Hauri, E., H. ve Hart, S.R., 1993. Re-Os isotope systematics of HIMU and EMII oceanic island basalts from the South Pacific Ocean, Earth and Planetary Science Letters, 114, 353–71.
- Haldar, S.K., 2017. *Platinum-Nickel-Chromium Deposits: Geology, Exploration and Reserve Base*, Elsevier, 3.
- Hopkins, J.L., Timm, C., Wilson, C.J.N., Millet, M.A., Poirier, A. ve Leonard, G.S., 2016. Os isotopic constraints on crustal contamination in Auckland Volcanic Field basalts, New Zealand, Chemical Geology, 439, 83–97.
- Huang, X.W., Su, B.X., Zhou, M.F., Gao, J.F. ve Qi, L., 2017. Cenozoic basalts in SE China: Chalcophile element geochemistry, sulfide saturation history, and source heterogeneity, Lithos, 282–283, 215-227.
- Ireland, T.J., Walker, R., J. ve Garcia, M.O., 2009. Highly siderophile element and Os-187 isotope systematics of Hawaiian picrites: implications for parental melt composition and source heterogeneity, Chemical Geology, 260, 112-128.

- Irvine, T.N. ve Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Ivanov, A.V., Perepelov, A.B., Palesskii, S.V. ve Nikolaeva, I.V., 2008. First data on the distribution of platinum group elements (Ir, Os, Ru, Pt, and Pd) and Re in island-arc basalts of Kamchatka, Doklady Earth Sciences, 420, 4, 597-601.
- Izokh, A.E., Medvedev, A.Y., Fedoseev, G.S., Polyakov, G.V., Nikolaeva, I.V. ve Palesskii, S.V., 2016. Distribution of PGE in Permo-Triassic basalts of the Siberian Large Igneous Province, Russian Geology and Geophysics, 57, 809-821.
- Jamais, M., Lassiter, J.C. ve Brüggmann, G., 2008. PGE and Os isotopic variations in lavas from Kohala Volcano Hawaii: constraints on PGE behavior and melt/crust interaction, Chemical Geology, 250, 16-28.
- Karlı, O., 2006. Pre-eruptive conditions revealed by mega and pheno-cryst compositions from the Quaternary Erzincan Volcanics, Eastern Turkey: Insights into the magma processes, Chemie der Erde-Geochemistry, 66, 277-305.
- Karlı, O., Chen, B., Uysal, I., Aydin, F., Wijbrans, J.R. ve Kandemir, R., 2008. Elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of the most recent Quaternary volcanism in the Erzincan Basin, Eastern Turkey: Framework for the evaluation of basalt-lower crust interaction, Lithos, 106, 55-70.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydin, F., Bin, C., Kandemir, R. ve Wijbrans, R.J., 2010. Relative contributions of crust and mantle to generation of Campanian high-K calc-alkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harşit pluton, Eastern Turkey, Contributions to Mineralogy and Petrology, 160, 467-487.
- Karlı, O., Caran, Ş., Dokuz, A., Çoban, H., Chen, B. ve Kandemir, R., 2012. A-type granitoids from the Eastern Pontides, NE Turkey: Records for generation of hybrid A-type rocks in a subduction-related environment, Tectonophysics, 530-531, 208-224.
- Karlı, O., Aydin, F., Uysal, İ., Dokuz, A., Kumral, M., Kandemir, R., Budakoğlu, M. ve Ketenci, M., 2018. Latest Cretaceous A(2)-type granites in the Sakarya Zone, NE Turkey: partial melting of mafic lower crust in response to roll-back of Neotethyan oceanic lithosphere, Lithos, 302, 312-328.
- 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, 187, 3, 265-287.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. 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, 20, 137-159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey, International Geology Review, 54, 15, 1776-1800.
- 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., Arslan, M., Wolfgang, S., Sipahi, F., İlbeyli, N. ve Temizel, İ., 2014. LA-ICP MS zircon dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in arc-related I-type magmatism, Lithos, 192-195, 271-290.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ., 2016. U–Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution, Gondwana Research, 39, 327-346.
- Keays, R., R., 1995. The role of komatiitic and picritic magmatism and S-saturation in the formation of the ore deposits, Lithos, 34, 1–18.
- Keskin, M., Genç, Ş. ve Tüysüz, O., 2008. Petrology and geochemistry of post-collisional Middle Eocene volcanic units in North-Central Turkey: Evidence for magma generation by slab breakoff following the closure of the Northern Neotethys Ocean, Lithos, 104, 267-305.
- Ketin, İ. ve Gümüş, A., 1963. Sinop-Ayancık arasında III.Bölgeye dahil sahaların jeolojisi, TPAO Raporu, Rapor No: 288.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, M.T.A. Dergisi, 66, 20-34.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. ve Woolley, A.R., 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks, Cambridge University Press, 236.
- Lightfoot, P.C., Hawkesworth, C.J., Hergt, J. vd., 1994. Chemostratigraphy of Siberian trap lavas, Noril'sk district, Russia: Implications for the evolution of flood basalt magmas. In: Lightfoot P C, Naldrett A J, eds. Proceedings of the Sudbury-Noril'sk Symposium, Ontario Geology Survey, 283–312.
- Linnemann, S., 2002. Quaternary volcanism of the Erzincan Basin, Eastern Turkey: An example of pull-apart basin volcanism. In The Tectonics of Eastern Turkey and Northern Arabian Plate: Int. Workshop, September, Erzurum, Turkey, Bildiriler Kitabı,19.
- Ma, G.S., K., Malpas, J., Gao, J.F., Wang, K.L., Qi, L. ve Xenophontos, C., 2013. Platinum-group element geochemistry of intraplate basalts from the Aleppo Plateau, NW Syria, Geological Magazine, 150, 3, 497–508.
- Maier, W.D., Barnes, S.J. ve Waal, S.A., 1998. Exploration for magmatic Ni-Cu-PGE sulphide deposits: A review of recent advances in the use of geochemical tools, and their application to some South African ores, South African Journal of Geology, 101, 237–253.
- McKenzie D. ve O'niions R.K., 1991. Partial Melt Distributions from Inversion of Rare Earth Element Concentrations, Journal of Petrology, 32, 5, 1021–1091.

- Meisel, T., Moser, J. ve Wegscheider, W., 2001. Recognizing heterogeneous distribution of platinum group elements (PGE) in geological materials by means of the Re–Os isotope system, Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 370, 5, 566-572.
- Okay, A.İ. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 291-311.
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, In: Durand, B., Jolivet, L., Hovarth, F., Séranne, M. (eds), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen Tethyan Sutures of Northern Turkey, Geological Society London Special Publications, 156, 475-515.
- Okay, A.İ., Sunal, G., Sherlock, S., Altner, D., Tüysüz, O., Kylander-Clark, A.R.C. ve Aygül, M., 2013. Early Cretaceous sedimentation and orogeny on the active margin of Eurasia: Southern Central Pontides, Turkey, Tectonics, 32, 1247-1271.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidler'de Kretase, KTÜ., Yerbilimleri Dergisi, 2, 65-114.
- Peach, C.L., Mathez, E.A. ve Keays, R.R., 1990. Sulfide melt-silicate melt distribution coefficients for noble metals and other chalcophile elements as deduced from MORB: Implications for partial melting, Geochimica et Cosmochimica Acta, 54, 3379–3389.
- Powell, R., 1984. Inversion of the assimilation and fractional crystallisation (AFC) equations: suites, Journal of the Geological Society of London, 141, 447-452.
- Puchtel, I.S. ve Humayun, M., 2001. Platinum group element fractionation in a komatiitic basalt lava lake, Geochimica et Cosmochimica Acta, 65,17, 2979-2993.
- Puecker-Ehrenbrink, B. ve Jahn, B.M., 2001. Rhenium-osmium isotope systematics and platinum group element concentrations: Loess and the upper continental crust, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2, 2001GC000172.
- Rehkämper, M., Halliday, A.N, Fitton, J.G, Lee, D.C, Wieneke, M. ve Arndt, N.T., 1999. Ir, Ru, Pt, and Pd in basalts and komatiites: new constraints for the geochemical behavior of the platinum-group elements in the mantle, Geochimica et Cosmochimica Acta, 63, 3915–3934.
- Reisberg, L., Allègre, C.J. ve Luck, M., 1991. The Re–Os systematics of the Ronda Ultramafic Complex of southern Spain, Earth and Planetary Science Letters, 105, 196–213.
- Rice, S.P., Roberson, A.H.F., Ustaömer, T., İnan, T. ve Taslı, K., 2009. Late Cretaceous to early Eocene tectonic development of the Tethyan suture zone in the Erzincan area, eastern Pontides, Turkey, Geological Magazine, 146, 4, 567-590.
- Salter, V.J.M. ve Stracke, A., 2004. Composition of the depleted mantle, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 5, Q05B07, 2003GC000597.
- Schiano, P., Birck, J.L. ve Allegre, C.J., 1997. Osmium–strontium–neodymium–lead isotopic covariations in mid-ocean ridge basalt glasses and the heterogeneity of the upper mantle, Earth Planet Science Letters, 150, 363–379.

- Schmidt, G. ve Snow, J., 2002. Os isotopes in mantle xenoliths from the Eifel volcanic field and the Vogelsberg (Germany): age constraints on the lithospheric mantle, Contributions to Mineralogy and Petrology, 143, 694–705.
- Selby, D., Creaser, R.A., Stein, H.J., Markey, R.J. ve Hannah, J.L., 2007. Assessment of the ^{187}Re decay constant by cross calibration of Re–Os molybdenite and U–Pb zircon chronometers in magmatic ore systems, Geochimica et Cosmochimica Acta, 71, 1999–2013.
- Shirey, S.B. ve Walker, R.J., 1998. The Re–Os isotope system in cosmochemistry and hightemperature geochemistry, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 26, 423–500.
- Stone, W.E., Crocket, J.H. ve Fleet, M.E., 1990. Partitioning of palladium, iridium, platinum, and gold between sulfide liquid and basalt melt at 1200°C , Geochimica et Cosmochimica Acta, 54, 2341–234.
- Sun, S. ve McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes, In: A.D. Saunders, M.J. Norry, (eds.), Magmatism in the Ocean Basins, Geological Society of London Special Publication, 42, 313-345.
- Şen, C., 2007. Jurassic volcanism in the Eastern Pontides: Is it rift related or subduction related?, Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 523–539.
- Şen, C., Arslan, M. ve Van, A., 1998. Geochemical and petrological characteristics of the Eastern Pontide Eocene (?) alkaline volcanic province, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 7, 231-239.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Temizel, İ. ve Arslan, M., 2008. Petrology and geochemistry of Tertiary volcanic rocks from the İkizce (Ordu) area, NE Turkey: implications for the evolution of the eastern Pontide paleo-magmatic arc, Journal of Asian Earth Sciences, 31, 439–463.
- Temizel, İ. ve Arslan, M., 2009. Mineral chemistry and petrochemistry of post-collisional Tertiary mafic to felsic cogenetic volcanics in the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontides, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 18, 29-53.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G. ve Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: implications for extension-related origin and mantle source characteristics, Lithos, 128, 126-147.
- Temizel, İ., 2014. Petrochemical evidence of magma mingling and mixing in the Tertiary monzogabbroic stocks around the Bafra (Samsun) area in Turkey: implications of coeval mafic and felsic magma interactions, Mineralogy and Petrology, 108, 353-370.
- Temizel, İ., 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, 1226–1245.

- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, 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.
- Temizel, İ., Arslan M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z., 2019a. U-Pb geochronology, bulk-rock geochemistry and petrology of Late Cretaceous syenitic plutons in the Gököy (Ordu) area (NE Turkey): Implications for magma generation in a continental arc extension triggered by slab roll-back, Journal of Asian Earth Sciences, 171, 305-320.
- Temizel, İ., Arslan, M., Abdioğlu Yazar, E. ve Yücel, C., 2019b. Bozat (Giresun) ve Kulacadağ (Samsun) yöresi magmatitlerinin petrografisi, jeokimyası ve petrolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Proje No: FBA-2018-7747.
- 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., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeke, A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Carboniferous High-Potassium I-Type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey), Lithos, 116, 92-110.
- Topuz, G., Çelik, Ö.F., Şengör, A.M.C., Altıntaş, İ.E., Zack, T., Rolland, Y. ve Barth, M., 2013. Jurassic Ophiolite Formation and emplacement as backstop to a subduction-accretion complex in Northeast Turkey, The Refahiye Ophiolite, and relation to the Balkan Ophiolites, American Journal of Science, 313, 1054-1087.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H.F.A., 1996. Paleotethyan tectonic evolution of the North Tethyan margin in the central Pontids, N Turkey. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. (Eds.), Proceedings of the International Symposium on the Geology of the Black Sea Region, Ankara, 24-33.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., Ustaömer, P.A., Gerdes, A. ve Peytcheva, I., 2013. Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli–Artvin area), NE Turkey from U–Pb dating and granite geochemistry, in Robertson, A. H. F., Parlak, O., Ünlügenç, U. C. (eds). Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region, Geological Society London Special Publications, 372, 49-74.
- van Keken, P.E., Hauri, E.H. ve Ballentine, C.J., 2002. Mantle Mixing: The Generation, Preservation, and Destruction of Chemical Heterogeneity, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 30, 493-525.
- Völkening, J., Walczyk, T. ve Heumann, K.G., 1991. Osmium isotope ratio determinations by negative thermal ionization mass spectrometry, International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes, 105, 147–159.
- Walker, R.J., 2016. Siderophile Elements in Tracing Planetary Formation and Evolution. Geochemical Perspectives, 5, 1, 145.

- Widom, E., Hoernle, K.A., Shirey, S.B. ve Schmincke, H.U., 1999. Os isotope systematics in the Canary Islands and Madeira: lithospheric contamination and mantle plume signatures, Journal of Petrology, 40, 1–18
- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D., 1996. Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey. International Geology Review, 38, 10, 935-956.
- Yuan, F., Zhou, T., Zhang, D., Jowitt, S.M., Keays, R.R., Liu, S. ve Fan, Y., 2012. Siderophile and chalcophile metal variations in basalts: Implications for the sulphide saturation history and Ni–Cu–PGE mineralization potential of the Tarim continental flood basalt province, Xinjiang Province, China, Ore Geology Reviews, 45, 5–15.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu, E., 2014a. 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, Mineralogy and Petrology, 108, 439-467.
- Yücel, C., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Arslan M. ve Yağcıoğlu U., C., 2014b. Origin of analcimes in the Tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): a textural, mineralogical and geochemical approach, Journal of Mineralogy and Geochemistry, 191, 277-299.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E. ve Ruffet, G., 2017. Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: Geochronology and geochemistry of Eocene and Miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey), Gondwana Research, 45, 65-86.
- Yücel, C., 2019. Geochronology, geochemistry, and petrology of adakitic Pliocene–Quaternary volcanism in the Şebinkarahisar (Giresun) area, NE Turkey, International Geology Review, 61, 754-777.
- Yücel, C., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kaygusuz, A. ve Arslan, M., 2018. Mesudiye (Ordu) Yöresi Çarpışma Sonrası Miyosen-Kuvaterner (?) Volkanitlerinin Petrokimyası, Sr-Nd-Pb-Hf-O İzotop Jeokimyası, Termokronolojisi ve Jeodinamik Gelişimi. TÜBİTAK ÇAYDAG 115Y162 Nolu Proje Sonuç Raporu, 235s (yayımlanmamış).
- Zeng, G., Huang, X.W., Zhou, M.F., Chen, L.H. ve Xu, X.S., 2016. Using chalcophile elements to constrain crustal contamination and xenolith-magma interaction in Cenozoic basalts of eastern China, Lithos, 258–259, 163–172.
- Zhang, W.H., Zhang, H.F., Sun, Y.L., Fan W.M., Han, B.F. ve Tang, Y.J., 2015. Platinum-group element geochemistry of Cenozoic basalts from the North China Craton: Implications for mantle heterogeneity. Science China: Earth Sciences, 58, 881–895.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Samsun yöresi bazik volkanitlerin litofil element jeokimyasal analizleri (Tekkeköy volkanitleri; Bilici (2013)'den; Bafra volkanitleri, Temizel vd. (2016)'dan alınmıştır)

	Sapt. Limit.	Tekkeköy Volk.						Kulacadağ Volk.			Bafra Volk.					
		S-9	S-43	S-103	S-109	S-120	S-121	KT-4	KT-6	KT-11	B-9	B-10	B-13	B-20	B-34	B-38
SiO ₂	0.01	50.75	48.99	46.79	47.75	53.17	47.34	43.43	43.55	43.77	47.35	42.3	42.11	45.32	47.03	42.22
TiO ₂	0.01	0.86	0.87	0.77	0.87	0.57	0.91	0.82	0.84	0.95	0.77	0.93	0.85	0.83	0.78	0.97
Al ₂ O ₃	0.01	18.35	17.9	19.02	18.16	18.27	18.47	17.46	17.19	15.55	18.94	16.23	16.39	17.49	18.76	17.34
Fe ₂ O ₃ (t)	0.04	9.65	10.66	10.68	10.16	7.44	10.68	11.03	11.23	12.20	10.65	12.19	11.78	11.73	10.69	12.57
MnO	0.01	0.17	0.21	0.18	0.22	0.22	0.2	0.27	0.27	0.25	0.2	0.26	0.28	0.18	0.2	0.28
MgO	0.01	3.94	5.16	5.69	4.7	2.28	4.64	3.80	4.13	4.78	4.21	5.1	4.7	5.32	4.16	5.58
CaO	0.01	9.49	11.2	11.61	10.41	9.3	12.01	13.16	13.22	13.17	9.28	14.05	15.33	12.02	9.43	14.32
Na ₂ O	0.01	2.55	2.4	2.26	2.7	3.44	2.43	3.06	3.17	2.10	3.09	2.98	3.17	2.04	3.05	3.1
K ₂ O	0.01	2.42	1.48	1.23	2.03	2.89	1.26	2.59	2.48	3.39	3.43	1.21	0.72	1.37	3.45	0.65
P ₂ O ₅	0.01	0.3	0.27	0.16	0.29	0.33	0.21	0.42	0.42	0.67	0.57	0.62	0.59	0.44	0.58	0.46
A.K.	-	1.3	0.6	1.3	2.3	1.7	1.6	3.6	3.1	2.7	1.1	3.8	3.7	2.8	1.5	2.1
Toplam	-	99.78	99.74	99.69	99.59	99.61	99.75	99.69	99.68	99.66	99.59	99.67	99.62	99.54	99.63	99.59
Zr	0.1	133	92.2	49.1	96.8	110.4	74.4	106.9	106.6	123.2	74.1	98.4	86.2	77.4	76.9	88.9
Y	0.1	25.4	24	16.8	24.1	25.8	21.8	27.9	28.5	26.2	16.3	27.1	30.2	20.5	17.8	29.2
Sr	0.5	607.5	695.9	605.4	836.7	1068.9	658.7	1123.4	1112.3	1063.4	1100	1108	1083	1199	1099	953
Rb	0.1	57.7	27	15.5	42.3	71	14.5	54.6	51.2	76.2	69.6	22.3	16.4	20.1	74.2	17.8
Th	0.2	6.8	3.7	1.8	4.5	7.8	2.5	6.2	5.9	6	4.4	5.6	7	4.4	4.6	4.1
Ta	0.1	0.7	0.5	0.1	0.6	0.9	0.3	0.4	0.6	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4
Sc	1.0	17	28	24	14	5	21	10	11	20	16	19	14	24	15	16
V	8.0	219	313	324	324	221	315	288	295	349	266	365	350	341	277	370
Pb	0.1	4.6	5	5.9	3.4	4.4	4	8.4	8.7	4.8	6.4	7.7	11.3	7.2	5.7	6.5
Ni	0.1	3.4	6.8	6.3	4.2	1.7	4.4	3.6	5.8	6.8	10.5	6.1	3.2	11.6	11.9	4.4
Co	0.1	22.7	28	34	27.8	18	31.1	34.4	33.9	39.2	34.9	40	33.1	42.4	35.5	39.8
Cu	20	12	43.6	105.1	47.2	35.5	61.2	53.8	55.4	87.3	197.3	98.9	48.9	142.9	220.4	76
Ba	1.0	670	559	489	890	1071	486	807	774	779	843	627	603	871	877	607
Nb	0.1	10.1	8	3.2	9.4	10.5	4.7	7.9	7.4	6.5	4.1	6.2	7.6	4.3	4.4	6.1
Hf	0.1	3.6	2.6	1.6	2.9	2.3	2.5	2.5	2.6	3.5	2.1	2.8	2.5	2	2.4	2.5
La	0.1	22.2	16.8	8.9	19.1	28.2	12	30.5	29.3	31.7	19.4	27.9	28.2	20.9	20	21
Ce	0.1	47.7	35.8	17.9	39.2	51.3	26.3	56.5	55.4	57.5	41.2	59.2	63.6	41.4	40.2	46.5
Pr	0.02	5.44	4.4	2.55	5.09	6.55	3.7	7.45	7.15	7.72	4.76	7.28	7.65	5.46	5.17	6.37
Nd	0.3	22.3	18.6	11.4	21.6	27.1	16.5	31.1	29.3	33.9	20	30.1	31.2	24	23.6	27.3
Sm	0.05	4.43	4.09	2.79	4.81	5.24	4.19	6.60	6.41	7.10	4.05	6.79	6.61	5.12	4.32	6.3
Eu	0.02	1.22	1.21	0.93	1.38	1.41	1.17	1.82	1.79	1.85	1.17	1.85	1.85	1.48	1.28	1.8
Gd	0.05	4.36	4.11	2.8	4.46	4.62	4.05	6.17	6.02	6.36	3.66	6.12	6.38	4.66	3.8	6.09
Tb	0.01	0.7	0.69	0.49	0.75	0.77	0.68	0.89	0.90	0.90	0.55	0.92	0.94	0.68	0.58	0.91
Dy	0.05	4.1	4.08	2.85	4.06	4.09	3.76	5.20	5	4.94	2.92	4.69	5.22	3.63	3.18	5.23
Ho	0.02	0.86	0.84	0.6	0.86	0.84	0.83	1.09	1.06	0.98	0.56	0.93	1.02	0.74	0.65	1.04
Er	0.03	2.58	2.55	1.89	2.54	2.69	2.55	3.01	3.05	2.68	1.68	2.61	3.04	2.07	1.74	3.19
Tm	0.01	0.38	0.38	0.29	0.4	0.43	0.38	0.44	0.44	0.43	0.24	0.4	0.45	0.31	0.28	0.44
Yb	0.05	2.62	2.46	1.88	2.49	2.71	2.2	2.88	2.82	2.50	1.56	2.53	2.99	1.85	1.83	2.99
Lu	0.01	0.4	0.38	0.28	0.36	0.39	0.36	0.43	0.44	0.40	0.25	0.38	0.44	0.31	0.26	0.43
La _N /Lu _N	-	6.94	5.53	3.97	6.63	9.04	4.17	8.87	8.32	9.91	9.7	9.18	8.01	8.43	9.62	6.10
La _N /Yb _N	-	6	4.84	3.35	5.43	7.37	3.86	7.50	7.36	8.98	8.81	7.81	6.68	8	7.74	4.97

Fe₂O₃(t), Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği.

ÖZGEÇMİŞ

Bahrican AR 28.07.1989 tarihinde Samsun'da doğdu. Lise öğrenimini 2007 yılında Samsun Atakum Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2008 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı. 2019 yılı Aralık ayı itibariyle Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev almaktadır. İngilizce bilmektedir.

