

Galatya Volkanik Provensi'nin (Orta Anadolu) Miyosen Volkanizmasının Petrolojik
Evrimi

Özlem Toygar Sağın

DOKTORA TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2020

Petrologic Evolution of Miocene Volcanism of Galatean Volcanic Province (Central
Anatolia)

Özlem Toygar Sağın

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Geological Engineering

July 2020

Galatya Volkanik Provensi'nin (Orta Anadolu) Miyosen Volkanizmasının Petrolojik
Evrimi

Özlem Toygar Sağın

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Yatakları-Jeokimya Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Selahattin KADİR

Temmuz 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Selahattin KADİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “Galatya Volkanik Provensi’nin (Orta Anadolu) Miyosen Volkanizmasının Petrolojik Evrimi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilişimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 17/07/2020

Özlem TOYGAR SAĞIN

ÖZET

Bu çalışmada Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasının petrolojik evrimi araştırılmıştır. Mesozoyik ve Senozoyik boyunca meydana gelen yakınlaşma, dalma-batma ve çarpışma süreçleri ile şekillenen Anadolu'da ve çevresinde magmatik aktivite gösteren ve farklı bileşimlerde ürünleri meydana getiren volkanik provenslerden biri olan Galatya Volkanik Provensi, kuzeybatı Anadolu'da yaklaşık 7500 km²'lik bir alana yayılan Türkiye'nin en geniş yayılımlı volkanik merkezlerinden birisidir. Provens çapında gözlenen Miyosen volkanizması iki ana evreye ayrılmıştır. İlk evre Erken Miyosen yaşlı piroklastik ürünler, asidik-ortaç bileşimli volkanikler ile az oranda alkali bazaltik lavları içerirken; ikinci evre Geç Miyosen yaşlı alkali bazaltik kayaçları kapsamaktadır. Erken Miyosen volkanik kayaçları belirgin bir şekilde fraksiyonel kristalizasyon etkisi göstermekte ve evrimlerinde az oranda kabuksal kirlenme etkisi taşımaktadır. Geç Miyosen alkali volkanikleri ise E-MORB benzeri bir kaynaktan itibaren düşük dereceli kısmi ergimeler ile oluşmuştur. Provensin doğu kesiminde bazı Geç Miyosen alkali volkanik kayaçları elementsel ve izotopik içerikleri bakımından astenosferik bir manto bileşenini yansıtmaktadır. Bunlar yüksek ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ve düşük ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr değerleri ile sub-alkali ve diğer alkali volkanik kayaçlardan ayrılmaktadır. Erken Miyosen'de dalan okyanusal kabuğun ergimesinden ve dehidrasyonu sonucu ortaya çıkan akışkanlarca metasomatize olmuş litosferik manto kaynak alanına, Geç Miyosen'in sonlarına doğru muhtemelen Kıbrıs diliminin roll-back hareketi sonucunda yükselen astenosferik ergiyiklerin karıştığı ve Çamlıdere-Güvem-Orta civarında yüzlek veren astenosferik kökenli alkali volkanik kayaçları meydana getirdiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Galatya Volkanik Provensi, alkali kayaç, sub-alkali kayaç, izotop, Miyosen, astenosfer

SUMMARY

The petrological evolution of the Galatean Volcanic Province was investigated based on whole-rock geochemistry and radiogenetic isotope (Sr-Nd) analyzes in this study. During Mesozoic and Senozoic, Anatolia and its surrounding regions was affected by convergence, subduction and collision events and intense magmatic activities generated different types of products during this time. Galatean Volcanic Province which spreads over an area of approximately 7500 km² in northwest Anatolia is one of the biggest volcanic provinces in Turkey. The Miocene volcanism observed across the province is divided into two main phases. First phase includes Early Miocene of pyroclastic products, acidic-intermediate sub-alkaline volcanic rocks with a small amount of alkaline basaltic lavas; the second phase contains Late Miocene of alkaline basaltic lavas. Sub-alkaline volcanic rocks originated from a subduction related metasomatised lithospheric mantle source whereas alkaline basaltic rocks show subduction effect less than the older phase. Early Miocene volcanic rocks have a significant fractional crystallization effect with a little crustal contamination, while Late Miocene alkaline volcanics were formed with low grade partial melting from a similar source to E-MORB. Some Late Miocene alkali volcanic rocks in the eastern part of the province reflect an asthenospheric mantle component in terms of their elemental and isotopic characteristics. These rocks distinguish from sub-alkaline and other alkaline volcanic rocks with high ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd and low ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values. The asthenospheric component is thought to be risen due to the roll-back movement of the Cyprus slab beneath center Anatolia, thereafter it percolated Early Miocene of metasomatised lithospheric mantle source towards the end of the Late Miocene and finally generate the alkaline basaltic rocks which outcrop around Çamlıdere-Güvem-Orta region.

Keywords: Galatean Volcanic Province, alkaline rocks, sub-alkaline rocks, isotope, Miocene, asthenosphere

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın başladığı 2014 yılından bu yana attığım her adımı, yaptığım her işi içimdeki idealist duygunun ışığında, ilk günkü gibi hevesle ve kalpten yapmaya çalıştım. Bu süreçte yaşanan zorluklar her ne kadar içimdeki bu ışığın zaman zaman sönmesine sebep olsa da her zaman yanımda olan güzel insanlar sayesinde bu sürecin sonuna gelebildim. Her şeyden önce bu aşamaya gelebilmemi sağlayan, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, bulduğu çözüm ve önerilerle bu çalışmanın tamamlanmasında büyük emeği olan danışmanım sayın Prof. Dr. Selahattin KADİR'e ve jürideki değerli hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Sekiz yıldır birlikte adım attığım, yaşadığımız her zorlukta, yolumuzdaki her engelde yanımda olmaktan ve desteğinden bir an bile vazgeçmeyen eşim Gökcem'e, her şeyin daha iyi olacağına olan inancımı hiç bıkmadan tamir etmeye çalışan annem Serap'a, babam Hikmet'e ve kardeşim Emre'ye sevgileri, destekleri ve sabırları için kalpten teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları ve örneklerin analize hazırlanması aşamasında büyük desteklerini gördüğüm öğrencilerimiz Serdar ÇİLOĞLU'na ve Süleyman Uğur SAYIN'a, yorumları, katkıları ve paylaşımcılığı ile bu çalışmanın ilerlemesindeki yardımları için çalışma arkadaşım Araş. Gör. Dr. Duru CESUR'a, birlikte başladığımız akademik kariyerimizin bu basamağına gelene kadarki bu zorlu yıllarda birbirimizi güldürecek bir şeyler bulabildiğimiz için Araş. Gör. Kübra OKUR'a, beni her zaman can kulağı ile dinledikleri için Dr. Öğr. Üyesi Didem YASİN ve Doç. Dr. Hülya ERKOYUN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Son olarak, Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasının evriminin araştırılması amacıyla bu çalışmanın ortaya çıkmasında, projelerin oluşturulmasında ve arazi çalışmalarındaki yardımlarından ötürü Doç. Dr. Özgür KARAOĞLU'na ve tez izleme komitesi üyelerinden Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin SENDİR'e katkıları için teşekkür ederim. Bu tez çalışması ESOGÜ BAP 201715031, 201715A215 ve 201815A203 no.lu projeleri ile maddi olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1 Arazi Çalışmaları.....	12
3.2 Laboratuvar Çalışmaları	13
3.3 Jeokimyasal Modelleme Çalışmaları.....	14
3.3.1 Kısmi ergime	14
3.3.2 Asimilasyon- fraksiyonel kristalizasyon (AFC).....	15
4. BÖLGESEL JEOLojİ VE STRATİGRAfİ	17
4.1 Galatya Volkanik Provensi'nin Doğu Kesiminin Volkanostratigrafisi.....	20
4.1.1 Hançili Formasyonu	20
4.1.2 Uludere Piroklastikleri.....	22
4.1.3 Tekke Volkaniti	23
4.1.4 Karasivri Volkaniti	25
4.1.5 Ilıcadere Volkaniti	28
4.1.6 Deveören Volkaniti.....	31
4.1.7 Bakacaktepe Volkaniti.....	31
4.1.8 Özlü Bazaltı (Sabuncudere Bazaltı)	34
4.2 Galatya Volkanik Provensi'nin Batı Kesiminin Volkanostratigrafisi	36
4.2.1 Deveören Volkaniti.....	37
4.2.1 Bakacak Tepe Volkaniti	38
5. PETROGRAfİ	44
5.1 Riyolitik Birimler	44
5.2 Dasitik Birimler	45

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3 Andezitik Birimler.....	49
5.4 Trakitik Birimler.....	51
5.5 Bazaltik Birimler	53
6. JEOKİMYA	56
6.1 Ana Element Jeokimyası	56
6.2 İz ve Nadir Toprak Element Jeokimyası	70
6.3 İzotop Jeokimyası.....	86
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	93
7.1 Fraksiyonel Kristalizasyon ve Kabuksal Kirlenme (Asimilasyon) Süreçleri.....	93
7.2 Kısmi Ergime Süreçleri	99
7.3 Kaynak Karakteristikleri	102
7.4 Jeotektonik Evrim.....	113
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	119
ÖZGEÇMİŞ	143

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

1.1. Anadolu ve çevresinde Eosen'den itibaren görülen volkanik kayaların yayılımı (Ersoy vd.'den, 2012). VİAS: Vardar-İzmir-Ankara Süturu; BZS: Bitlis-Zagros Süturu; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; PNT: Pontidler; ATB: Anatolid-Torid Bloğu; AP: Arap Platformu; BAVP: Batı Anadolu Volkanik Provensi; EAIIV: Eskişehir- Afyon- Isparta Volkanik Alanı; GVP: Galatya Volkanik Provensi; OAVP: Orta Anadolu Volkanik Provensi; DAVP: Doğu Anadolu Volkanik Provensi. 2	
1.2. Galatya Volkanik Provensi'nin genelleştirilmiş jeolojik haritası (MTA 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasından değiştirilerek).	4
3.1. Galatya Volkanik Provensi'nde yürütülen arazi çalışmaları esnasında alınan örneklemelerin lokasyonları	12
4.1. Türkiye'nin ve çevresinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz'den, 1999).	20
4.2. Galatya Volkanik Provensi'nde gözlenen Hançili Formasyonu'na ait birimler: a) Kurşunlu doğusunda gözlenen riyoitik birimler tarafından üzerlenen killi kumtaşları, b) Çerkeş civarında andezitik volkanikler tarafından kesilmiş turuncu renkli marn-kumtaşı ardalanması, c) Kurşunlu civarında gözlenen, volkanik kayaçlar ile arakatlı şekilde bulunan turuncumsu-sarımsı killi kumtaşları, d) Güvem, Beşkonak civarında gözlenen tabakalı, killi ve makrofosil içerkli kumtaşları.	21
4.3. a) Temel kayaçları, Uludere Piroklastikleri ve volkanik kayaçlar arasındaki stratigrafik ilişki, b) Andezitik birimleri tarafından üzerlenen Uludere Piroklastikleri, c) Heterolitolojik moloz akması çökelleri.	23
4.4. Volkaniklastik malzemenin içerisine sokulmuş, yaklaşık 3 metre eninde D-B uzanımlı dayk, b) İçerisine sokulmuş olduğu breşik malzeme ve daykın yakın görüntüsü, c) Zıt yönlerde volkaniklastik bir malzemenin içerisine sokulmuş dayklar, d,e) Bu daykların yakın görüntüsü	24
4.5. a) Piroklastik birimler ile Karasivri Volkaniti'ne ait lavlar arasındaki K-G (1) ve K30B (2) uzanımlı faylanmalar, b) Bu faylı dokanağın devamında, piroklastikler ile lavlar arasındaki belirgin pişme zonu, c) Lavlarda gözlenen bozunmalar, d) Soğan kabuğu şekilli (onion shape) bozunmaların yakın görünümü.	26
4.6. a) Yaylakent (Orta, Çankırı) köyü çıkışında gözlenen perlitlerin içinde gözlenen kıvrım, b) Kıvrımın katmanlı yapısı ve içindeki kırılğan sferoidal yapılar, c) Sünürlü (Kurşunlu, Çankırı) köyünde perlitleşen volkaniklerde gözlenen kıvrım, d) Berçinçatak (Kızılcahamam, Ankara) yolu üzerinde perlitik seviyeler, e) Yaylakent köyü çıkışında terkedilmiş perlit ocağı	27
4.7. a) Beşkonak civarında incelenen volkanik istif. Vesiküler boşluklu volkanik kayaç üzerine gelen ve sütunsal yapı gösteren volkanik kayaçlar ikinci bir fazı temsil etmektedir, b) Bu istifin KB'dan görünüşü. c) İstifin devamında tuf ve breşlerin üzerlediği Hançili Formasyonu'na ait sedimanter birimler.	29

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 4.8. a) Ovacık Kalderası, b) Aşağı Ovacık Köyü çıkışında yolun iki yakasında gözlenen Ovacık Kalderası'na ait kaldera içi breşler, c) Koyu gri, kahverengi renkli kendinden yapılı breşler, d) Bu breşlerin yakın görüntüsü, e) Kaldera kenarında gözlenen K10B doğrultulu bazaltik bileşimli dayk, f) Kaldera kenarı boyunca izlenen, breşlere malzeme üreten lavlar. 30
- 4.9. a) Oğlakçı-Avdan arasında gözlenen kalın lav akma çökelleri, b) İki farklı seriden oluşan ve ikinci serinin oluşturduğu otobreşler ile ayrılan volkanik istif 31
- 4.10. Ovacık Kalderası güneydoğusunda gözlenen Bakacaktepe Volkaniti'ne ait olan andezitik dayk. 32
- 4.11. Süleler- Karaağaç arasında gözlenen patlama merkezine ait volkanik birimler. a) Belirgin bir pışme zonu ile piroklastikleri üzerleyen lavlar, b) Kırmızımsı rengi ile belirgin bir şekilde ayırt edilen pışme zonu, c) Normal faylar ile kesilmiş ve içerisinde iri pümislerin gözlendiği masif düşme çökelleri, d) Katmanlı lapilli tüfler ve arasındaki masif düşme çökelleri ve yakın görünümü, e) Piroklastikleri üzerleyen breşik seviyelerdeki mega breş, f) Takip edilen breşik seviyeler içinde gözlenen diğer mega breşler, g) Dayk şeklinde bir intrüzif, h) Altere lavların içerisine sokulmuş bir sil.... 33
- 4.12. a) Güvem Sabuncudere mevkinde bulunan bazalt sütunları jeositi. Alt seviyede daha açık renkli ve altere olmuş sütunlar görülmektedir, b) üst kesimde daha koyu renkli ve yataya yakın şekilde bulunan ikinci bir sütun oluşumu, c) jeosite yaklaşık 300 metre uzaklıkta, bu sütun bazaltları oluşturan lav göllerini beslediği düşünülen çıkış merkezlerinden bir tanesi, d) çıkış merkezinin yakın görünümü 34
- 4.13. Galatya Volkanik Provensi son evre volkanik ürünlerinden Özlü Bazaltı'na ait sokulumlar. a) Orta Yaylakent civarında gözlenen farklı yönlerde sokulum yapmış intrüzifler, c) Yüzeye ulaşmış intrüziflerin akma ürünleri, d) Yeniköy civarında gözlenen, intrüzifler ve lav akma çökelleri 35
- 4.14. Yıprak civarında gözlenen KAFZ üzerindeki atım sebebiyle yaklaşık 8 metre atıma uğrayan son evreye ait lavlar, b) KAFZ boyunca yer yer piroklastik birimleri üzerleyen kahverengi bazaltik volkanikler, c) Yıprak civarında gözlenen piroklastikler, d) Fay zonu boyunca gözlenen piroklastik birimler ve içyapısı 36
- 4.15. a) Beyaz, gri renkli camsı ve yer yer katmanlı şekilde gözlenen lavlar, b) Kızılcaören civarında gözlenen yoğun şekilde altere olmuş volkanikler, c) Bu volkaniklerin içinde gözlenen, boyutları 3 metreye varan bir megabreş 38
- 4.16. a) Bürnük yol ayrımında intrüzif şeklinde yüzlek veren andezitik kayalar ve sedimanter kayalar ile olan ilişkisi, b) kırmızımsı- turuncu alterasyon rengi ile ayırt edilen andezitik kayalar ile üzerlediği piroklastikler, c) bu altere andezitik volkanikler içinde yer alan, boyutları 70 santimetreye varan patlama ürünü bloklar 39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 4.17. a) Köroğlu Volkanik Merkezi alt seviyelerinde gözlenen filon şeklindeki andezitik intrüzif, b) Gri renkli andezitik intrüzifin yakın görünümü, c) Bağlayıcı destekli blok ve kül akıntısı, d) İri blokları içeren blok ve kül akıntısı, e) İri bloklarda yer yer gözlenen, sıcak yerleşimi gösteren radyal çatlaklar, f) Blok ve kül akıntıları üzerine gelen ortaç karakterli altere volkanikler, g) Kartalkaya mevki en üst seviyelerde gözlenen iri andezitik intrüzif, h) Köroğlu Volkanik Merkezi en üst seviyelerinde gözlenen intrüzifler..... 40
- 4.18. a) Karaköy (Kıbrısık, Bolu) civarında incelenen, gri renkli lavların pembemsi lavlar içerisine sokulum yaptığı volkanik seri, b) Gri renkli lavların oluşturduğu sokulum, c) Genç lavların içinde özümselemeyen pembemsi, daha yaşlı olan lava ait parçalar, d) Boyları 40 santimetreye varan anklavlar. 41
- 4.19. Galatya Volkanik Provensi'nde yürütülmüş çalışmalarda yapılan K/Ar radyometrik yaş tayinleri sonuçları 42
- 4.20. a) Galatya Volkanik Provensi doğu kesimi (Kurşunlu, Çerkeş, Orta, Kızılcahamam) genelleştirilmiş stratigrafik kesiti, b) Provensin batı kesimi (Köroğlu, Kıbrısık) genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (kesitlerin oluşturulmasında alınan örneklerin ait olduğu formasyonlar ve bunların literatürdeki yaşı temel alınmıştır. Ölçeksizdir.).... 43
- 5.1. Riyolitik birimlerde gözlenen: a) Fenokristal şeklinde, az oranda cam kapanımı içeren ve hamurda mikrolitler şeklinde de gözlenen feldispat kristalleri (çift nikol), b) Kenarları yuvarlaklaşmış şekilde gözlenen kuvars mineralleri ve tamamen opaklaşmış oksit mineralleri (çift nikol), c) Özşekilli kristaller sunan, tamamen opaklaşmış oksit mineralleri (tek nikol). 45
- 5.2. Birinci grup mineral birlikteliğine sahip dasitik kayalarda gözlenen: a) Polisentetik ikizlenmeleri ile tipik olan plajiyoklaz fenokristalleri ve içerisindeki piroksen kapanımları, b) Yarı özşekilli ve özşekilsiz orta taneli piroksenler, c) Cam kapanımlarının gözlemlendiği orta taneli plajiyoklaz ve orta taneli özşekilsiz klinopiroksenler. 46
- 5.3. İkinci grup mineral birlikteliğinin gözlemlendiği dasitik birimlerdeki a) İri ve özşekilli, kenarları boyunca veya tamamen opasitleşmiş amfibol fenokristalleri, b) İntersertal dokulu kayaç içerisinde gözlenen piroksenlerin ve amfibollerin oluşturduğu glomeroporfirik doku, c) Zonlu ve cam kapanımları içeren plajiyoklaz fenokristalleri, d) Cam kapanımları içeren ve polisentetik ikizlenmesi belirgin plajiyoklaz fenokristali ve ince taneli amfibol kristalleri 48
- 5.4. Üçüncü grup mineral birlikteliği içeren dasitik birimlerde gözlenen a) Tamamen camdan oluşan hamur içerisindeki zonlu plajiyoklaz ve ince taneli piroksenler, b) İri amfibol fenokristali içindeki opak mineral kapanımları, c,d) Etrafı tamamen ince plajiyoklaz mineralleri ile çevrili reaksiyon dokusu 49
- 5.5. Andezitik birimlerde gözlenen a) Mega amfibol fenokristali, b) Poikilitik doku sergileyen amfiboller ile feldispatların oluşturduğu kümelenme ve mikrolitlerdeki yönlendirmeler, c) Tamamen mikrolitlerden oluşmuş hamur içerisindeki ince-orta taneli piroksen ve amfibollerin oluşturduğu glomeroporfirik doku 51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

5.6. a) Trakitik birimlerde ilk mineral birlikteliğine sahip kayaçlarda gözlenen a) Yarı özşekli piroksenlerin oluşturduğu glomeroporfirik doku, b) Polisentetik ikizlenmeleri ile tipik iri taneli plajiyoklaz mineralleri ve aralarını dolduran piroksenler, c) İkinci tip mineral birlikteliği gösteren kayaç içindeki orta taneli piroksenlerin oluşturduğu glomeroporfirik doku, d) Hamur içinde yönlenmiş vaziyette bulunan plajiyoklazlar.	53
5.7. Birinci grup mineral birlikteliğinin gözleendiği bazaltik birimlerdeki a) Kenarları itibariyle opasitleşmiş klinopiroksenler ve feldispat kristallerinin arasını dolduran mikrolitleri. Aynı zamanda iri ve kalsitle dolmuş gaz boşlukları da görülmektedir, b) Neredeyse tamamen opasitleşmiş piroksenler, c) Kenarları boyunca ayrılmaya başlamış plajiyoklaz, d) Etrafı piroksenler tarafından mantolanmış, korona dokusunun gözleendiği feldispat	54
5.8. İkinci grup mineral birlikteliğini içeren bazaltik birimlerde gözlenen a) Glomeroporfirik dokulu olivinler, b) Mikrolitler şeklinde gözlenen olivin ve oksit mineralleri ile orta taneli, parlak girişim rengi ile tipik olivin, c) Kenarları itibariyle cam kapanımları içeren feldispat, d) Orta-ince taneli özşekilsiz piroksenler	55
6.1. a) Çalışma alanına ait volkanik kayaçların TAS diyagramına göre sınıflaması (Le Bas vd., 1986; PB: Pikrobazalt, B: Bazalt, BA: Bazaltik andezit, A: Andezit, D: Dasit, R: Riyolit, TB: Trakibazalt, BTA: Bazaltik trakiandezit, TA: Trakiandezit, T&TD: Trakit/Trakidasit, T/B: Tefrit/Bazanit, PT: Fonotefrit, TP: Tefrifonolit, P: Fonolit, F: Foidit). Alkali- subalkali ayırıtman çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'a göredir, b) Sub-alkali örneklere ait K ₂ O- SiO ₂ diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976).....	64
6.2. AFM (Alk: Na ₂ O+K ₂ O- Fe ₂ O ₃ - MgO) diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971).....	64
6.3. Çalışma alanına ait örneklerin normatif mineralojilerine bağlı Ol- Ne- Q üçgen diyagramı (Ol: Olivin, Ne: Nefelin, Q: Kuvars, Al: Albit, Opx: Ortopiroksen)	67
6.4. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının artan SiO ₂ içeriğine bağlı majör oksit değişim diyagramları	69
6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının artan SiO ₂ içeriğine bağlı iz element değişim diyagramları	77
6.6. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının artan MgO içeriğine bağlı bazı majör oksit ve iz element değişim diyagramları	79
6.7. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının N tipi MORB'a göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (Sun ve McDonough, 1989).....	82
6.8. Galatya Volkanik Provensi kayaçlarının ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (Sun ve McDonough, 1989).	83
6.9. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının OIB'ye göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (Sun ve McDonough, 1989).	84
6.10. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element içerikleri diyagramı (Sun ve McDonough, 1989).....	85
6.11. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait ilksel ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ve ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd bileşimleri diyagramı. BSE: Bulk Silicate Earth, ChUR: Chondritic Uniform Reservoir; Manto rezervuarları Zindler ve Hart (1996), Cebria ve Wilson (1995) ile Workman ve Hart'tan (2005) alınmıştır.	91

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 6.12. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait izotop bileşimlerinin diğer volkanik kayaçlar ile karşılaştırılmasına ait diyagram. BAVK: Batı Anadolu Volkanik Kayaçları (Geç Miyosen; Aldanmaz vd., 2006; Kuvaterner Kula Volkanikleri (Alıcı vd., 2000), Orta Anadolu Volkanik Provensi (Orta Miyosen-Pliyosen, Di Guiseppe vd., 2018), DAVK: Doğu Anadolu Volkanik Kayaçları (Miyosen- Pleistosen, Buket ve Temel, 1998; Di Guiseppe vd., 2017); Afyon Volkanik Kompleksi (Miyosen, Prelevic vd., 2012); Afar Sorgucu (Deniel vd., 1994)..... 92
- 7.1. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının FC-AFC süreçlerini gösteren a) Zr/Nb-SiO₂ diyagramı, b) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr- SiO₂ diyagramı, c) ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd- SiO₂ diyagramı, d) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr- Rb/Sr diyagramı (FC: Fraksiyonel Kristalizasyon, AFC: Asimilasyon- Fraksiyonel Kristalizasyon)..... 96
- 7.2. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait karışım modellemesi (DM: Tüketilmiş manto, LCC: Alt kıtasal kabuk, UCC: Üst kıtasal kabuk) 97
- 7.3. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının izotop bileşimlerinden itibaren oluşturulan AFC modellemesi. 98
- 7.4. Galatya Volkanik Provensi alkali volkanik kayaçların modal olmayan yığın ergime modellemesi diyagramları. 101
- 7.5. Galatya Volkanik Provensi alkali volkanik kayaçlarına ait Tb/Yb- La/Yb diyagramı. Kısmi ergime eğrileri çiziminde kullanılan parametreler Çizelge 7.1'deki gibidir. DM: Tüketilmiş Manto (Salters ve Stracke, 2004), E-MORB: Zenginleşmiş MORB, N-MORB: Normal MORB, PM: İlksel Manto ve OIB: Okyanus Adası Bazaltları (Sun ve McDonough, 1989),..... 102
- 7.6. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının Th/Y- Nb/Y diyagramı (Pearce, 1983). Kahverengi alan Ezine-Gülpınar-Ayvacic volkaniklerini (Aldanmaz vd., 2000), pembe alan ise Kula bölgesi volkaniklerini (Alıcı vd., 2002) temsil etmektedir. 104
- 7.7. Galatya Volkanik Provensi'ne ait volkanik kayaçların Th/Yb- Ta/Yb diyagramı (Pearce, 1983). DMM: Depleted MORB Mantle (Tüketilmiş MORB Mantosu, Workman ve Hart, 2005); N-MORB: Normal MORB, PM: Primitive Mantle (İlksel Manto), E-MORB: Enriched MORB (Zenginleşmiş MORB), OIB: Oceanic Islands Basalts (Okyanus Adası Bazaltları, Sun ve McDonough, 1989); UCC: Upper Continental Crust (Üst Kıtasal Kabuk, Taylor ve McLennan, 1985); GloSS: Global Subducted Oceanic Sediments (Global Yiten Okyanusal Sedimanlar, Plank ve Langmuir, 1998). Pembe alanlar Kula ve Batı Anadolu Neojen Volkanik Kayaçları, mor alanlar Doğu Anadolu Neojen Volkanik Kayaçları, çizgili alan Orta Anadolu Volkanik Provensi'ne ait volkanik kayaçları temsil etmektedir (Agostini vd., 2005, 2007; Aldanmaz vd., 2000, 2006; Buket ve Temel, 1998; Di Guiseppe vd., 2017, 2018; Innocenti vd., 2005).... 106
- 7.8. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait Nb/La- SiO₂ diyagramı (Pearce, 2008; Kula-Ezine volkanik kayaçları Aldanmaz vd., 2000, Ersoy vd., 2008)..... 108
- 7.9. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait Nb/La - La/Yb diyagramı (Abdel-Rahman ve Nassar, 2004; Ortalama OIB verisi: Fitton vd., 1991) 109

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.10. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının HFS element oranlarından a) Zr/Ta-Nb/Hf diyagramı, b) Zr/Ta- Zr/Nb diyagramı (Ersoy vd., 2012; PM Hofmann, 1988, McDonough ve Sun, 1995, Palme ve O'Neill, 2004; E-MORB ve DM Hart vd., 1999, Klein, 2004, Workman ve Hart, 2005; OIB (Samoa) Workman vd., 2004).....	110
7.11. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait tektonik ortam ayırtman diyagramı (Wood, 1980).....	111
7.12. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının a) Ba/La-Th/Ce, b) Sr/Ce-Th/Nd ve Ba/Th- Th/Nd diyagramları	112
7.13. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının izotopik bileşimlerinden itibaren dünyadaki diğer volkanik bölgeler ile karşılaştırılması (Volkanik bölgeler Zindler ve Hart, 1986 ve Sun ve McDonough, 1989).....	113
7.14. a) Anadolu'nun altında yer alan Güney Neotetis'e ait dilim sınırları (Rabayrol vd.'den, 2019), b) Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasının oluşumu için öngörülen tektonik modelleme (modellemede Rabayrol vd., 2019 tarafından önerilen görüşlerden ve modelden yararlanılmıştır).....	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının majör oksit içerikleri (% ağı.).....	58
6.2. Galatya Volkanik Provensi'nin susuz değerlere göre hesaplanan majör oksit içerikleri (%ağı.)	61
6.3. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının normatif mineralojik bileşimleri (%An: Anortit, Q: Kuvars, or: ortoklaz, ab: albit, an: anortit, ne: nefelin, di: diyopsit, hy: hyalin, ol: olivin, mt: , il: ilmenit, ap: apatit)	65
6.4. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait iz element içerikleri (ppm).....	71
6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının nadir toprak element içerikleri (ppm)	73
6.6. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ sonuçları. Standart sapmalar son basamağa aittir.....	88
6.7. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait literatür izotop içerikleri (*Pümis; **ilgili literatür tarafından maksimum yaş olarak belirlenen tahmini yaş).....	88
7.1. Karışım modellemesinde kullanılan uç bileşenlere ait değerler.	97
7.2. AFC modelinde kullanılan uç bileşenlere ait değerler	98
7.3. Kısmi ergime modellemesinde kullanılan parametreler. K_d verileri McKenzie ve O'nions (1991) ile Adam ve Green'den (2006) alınmıştır.	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

λ

Açıklama

Yarılma ömrü

Kısaltmalar

LIL

İri katyonlu litofil (Large Ion Lithophile)

HFS

Yüksek değerlikli katyonlar (High-field strength)

N-MORB

Normal okyanus sırtı bazaltları

OIB

Okyanus adası bazaltları

E-MORB

Zenginleşmiş okyanus sırtı bazaltları

DM

Tüketilmiş manto (Depleted Mantle)

HIMU

Yüksek U/Pb oranına sahip manto

LCC

Alt kıtasal kabuk (Lower Continental Crust)

UCC

Üst kıtasal kabuk (Upper Continental Crust)

EM-I

Zenginleşmiş manto I (Enriched Mantle I)

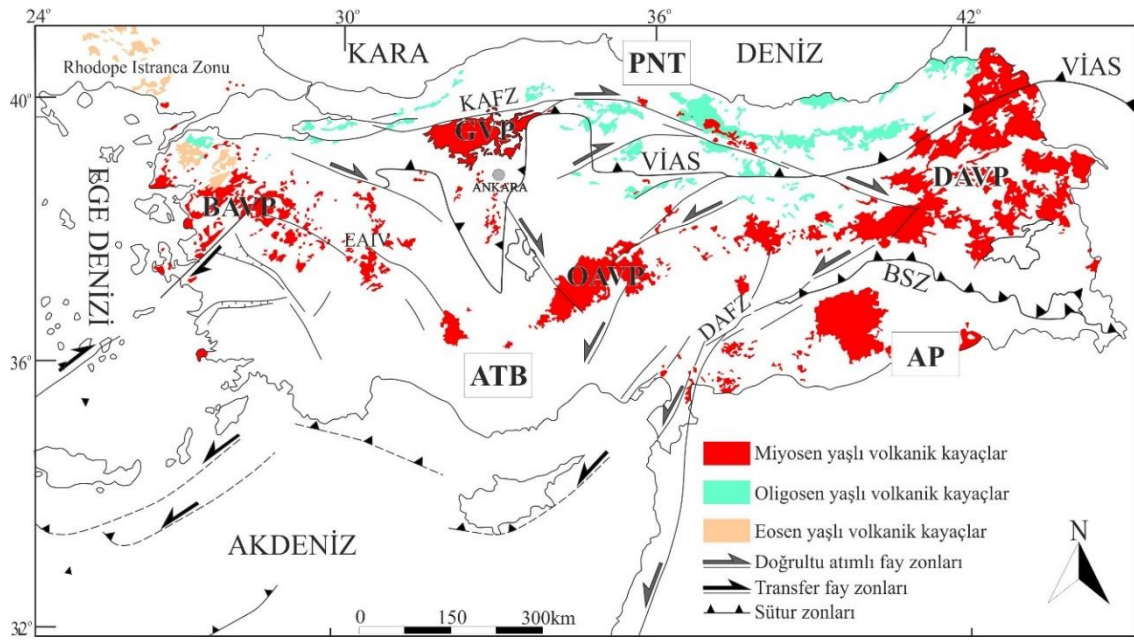
EM-II

Zenginleşmiş manto II (Enriched Mantle II)

1. GİRİŞ

Mesozoyik ve Senozoyik boyunca etkili olan dalma- batma ve kıtasal çarpışma süreçleri ile şekillenmiş olan Anadolu’da ve çevresinde, farklı volkanik ürünlerin gözlendiği volkanik provensler meydana gelmiştir (Şekil 1.1; Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999; Okay vd., 2001; Innocenti vd., 1982; Tokel, 1984; Tokel vd., 1988; Gülen, 1990; Pearce vd., 1990; Savaşçın, 1990; Savaşçın ve Güleç, 1990; Yılmaz, 1990; Güleç, 1991; Keller vd., 1992; Notsu vd., 1995; Wilson vd., 1997; Seyitoğlu vd., 1997; Savaşçın ve Oyman, 1998; Kürkcüoğlu vd., 1998; Alıcı vd., 1998, 2001, 2002; Buket ve Temel, 1998; Tankut vd., 1998 a, 1998 b; Temel, 2001; Keskin vd., 1998; Keskin, 2003; Özdemir vd., 2006; Karaoğlu ve Helvacı, 2010; Temel vd., 2010; Gençalioğlu-Kuşçu ve Geneli, 2010; Gülmez vd., 2012; Ersoy vd., 2008, 2012, 2013, ; Kürkcüoğlu, 2010; Lustrino vd., 2010, 2012; Varol vd., 2008, 2014; Özdemir ve Güleç, 2014; Prelevic vd., 2015; Semiz vd., 2015; Seghedi ve Helvacı, 2016; Kasapoğlu vd., 2016; Oyan vd., 2017; Di Giuseppe vd., 2017, 2018; Ersoy vd., 2017; Doğan- Külahçı vd., 2016, 2018; Kocaarslan ve Ersoy, 2018; Erkül vd., 2019; Rabayrol vd., 2019; Karaoğlu vd., 2020). Anadolu’da yüzlek veren Miyosen yaşlı volkanik alanlar göz önüne alındığında Galatya Volkanik Provensi, bulunduğu konum ve volkanik ürünlerin gösterdiği yayılım açısından önem teşkil etmektedir. Bu sebeple çalışmanın amacını, Galatya Volkanik Provensi’nin Miyosen boyunca geçirdiği petrolojik evrimi, meydana gelen volkanik ürünlerin jeokimyasal özellikleri ile açıklamak ve provensin oluşumunda etkili olan süreçlere bir yaklaşımda bulunmak oluşturmaktadır. Diğer volkanik provenslere göre lokal şekilde, genellikle provensin doğu kesiminde (Kızılcahamam, Orta, Çamlıdere civarı) çalışma yürütülmesinden ötürü, bu provensi kapsayacak türde daha güncel jeokimyasal kökenli bir çalışma yapılmak istenmiştir. Özellikle provensin batı kesiminde (Kıbrısık, Köroğlu civarı), bölgenin çoğunun ormanlarla kaplı olmasından ötürü etkin bir çalışma yürütülememesi sebebiyle literatürde var olan sınırlı sayıdaki örneklemeler çoğaltılarak, Galatya Volkanik Provensi’nin tamamını kapsayacak şekilde petrolojik evrimin açıklanması amaçlanmıştır. Aynı şekilde, daha önce küçük ölçekte yürütülen çalışmalar sonucunda elde edilen kısmi ergime, fraksiyonel kristalizasyon ve asimilasyon süreçleri hakkında provens ölçeğinde yaklaşımlarda bulunularak, volkanik kayaçların oluşumunda magma kaynağından yüzeye yerleşmesine kadar meydana gelmiş kökensel

süreçlerin anlaşılması hedeflenmiştir. Çalışmanın bir başka önemli hedefi literatürde oldukça sınırlı örnekler yardımıyla incelenen ve üzerine çalışılması gerektiği belirtilen (Tankut vd., 1998 b) ikinci evreye ait alkali bazaltik kayaçların petrolojisi hakkında ayrıntılı bilgi elde etmektir. Bu amaçla alkali bazaltik volkaniklere ait örnekler çoğaltılmış ve türedikleri kaynak alanının karakteristikleri incelenerek bu kayaçların geçirmiş olduğu evrimin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi hedeflenmiştir.



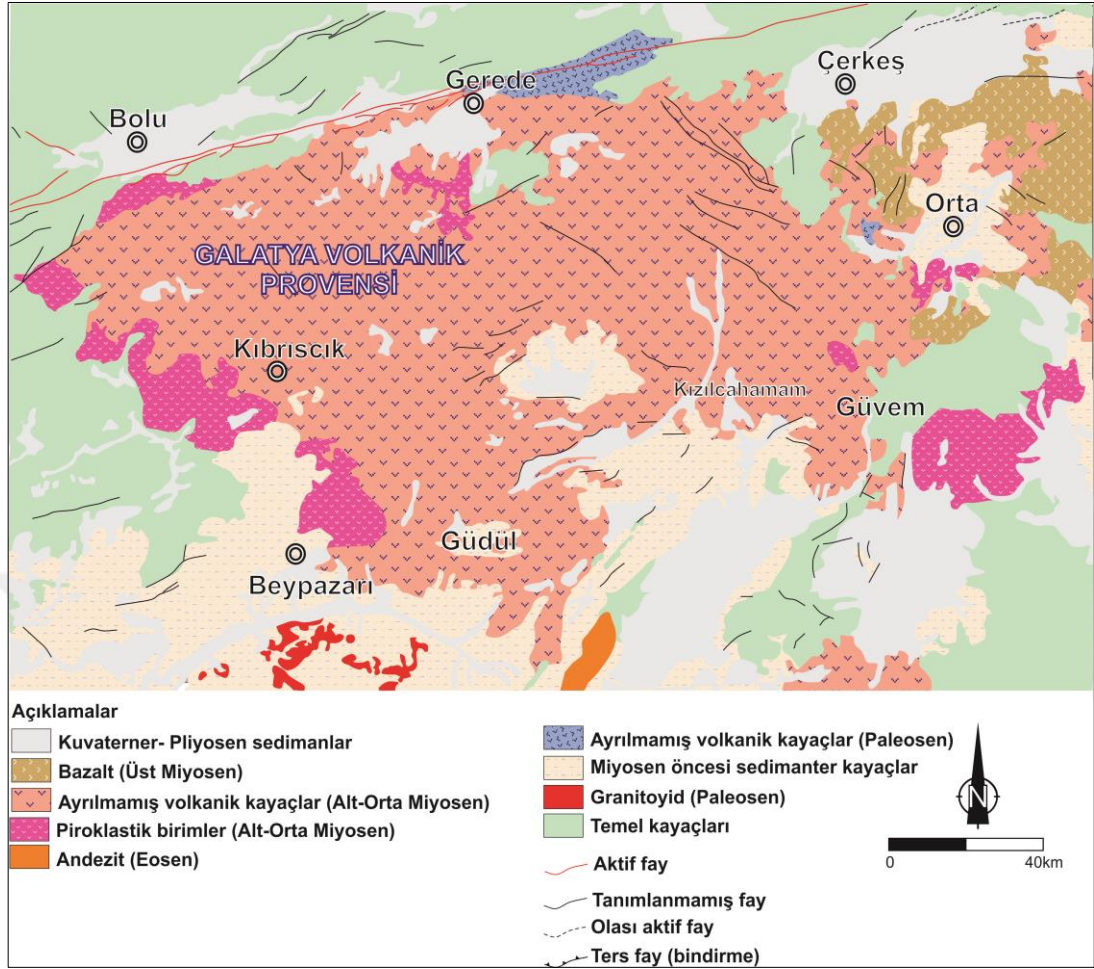
Şekil 1.1. Anadolu ve çevresinde Eosen'den itibaren görülen volkanik kayaların yayılımı (Ersoy vd.'den, 2012). VİAS: Vardar-İzmir-Ankara Süturu; BZS: Bitlis-Zagros Süturu; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; PNT: Pontidler; ATB: Anatolid-Torid Bloğu; AP: Arap Platformu; BAVP: Batı Anadolu Volkanik Provensi; EAIV: Eskişehir- Afyon- Isparta Volkanik Alanı; GVP: Galatya Volkanik Provensi; OAVP: Orta Anadolu Volkanik Provensi; DAVP: Doğu Anadolu Volkanik Provensi

Çalışma alanı, kuzeybatı Anadolu'da yaklaşık 7500 km²'lik alanı kapsayan, Türkiye'nin en geniş yayımlı volkanik provenslerinden biri olan Galatya Volkanik Provensi'dir (Şekil 1.2). Kuzeybatıda Bolu, doğuda Çankırı, güneyde Ankara illerini kapsayan provens, 1/100000 ölçekli jeoloji haritalarından G27, G28, G29, G30, G31, H27, H28, H29 ve H30 paftaları boyunca yayılım göstermektedir.

Neotetis'in kuzey kolunun kapanması ile gelişen yakınlaşma, dalma-batma ve çarpışma süreçleri ile ilişkili olarak gelişen provensin kuzeyi Kuzey Anadolu Fay Zonu ile, güneyi ise Erken-Orta Miyosen yaşlı volkaniklerle ara katkılı şekilde bulunan gölsel

sedimanter birimleri içeren havzalar ile sınırlandırılmıştır (Toprak vd., 1996). Galatya Volkanik Provensi, kıtasal kırıntılı sedimanter çökeller, düşme ve akma çökelleri şeklinde piroklastik çökeller ile volkanik lav akma çökellerini içermekte ve dokuz ana volkanik merkezden oluşmaktadır (Erol, 1954; Toprak vd., 1996).

Galatya Volkanik Provensi'nin evrimi, Kretase sonunda başlamakta (Keller vd., 1992; Koçyiğit vd., 2003) ve provensin volkanik aktivitesi genel olarak Erken Miyosen ve Geç Miyosen şeklinde iki ana evreye ayrılmaktadır (Türkecan vd., 1991; Keller vd., 1992; Tankut vd., 1995, 1998 a; Wilson vd., 1997; Adıyaman vd., 2001; Schumacher vd., 2001; Varol vd., 2014). Erken Miyosen evresi genel olarak sub-alkali karakterdeki ortaç-asidik lav akma çökelleri ve bu ürünlerle ilişkili piroklastikler ile az oranda alkali bazaltlardan oluşmakta; Geç Miyosen evresi ise genellikle provensin kuzey ve kuzeydoğusunda yüzlek veren ve ilk evreye oranla oldukça az hacimdeki alkali bazaltik ürünleri kapsamaktadır.



Şekil 1.2. Galatya Volkanik Provensi'nin genelleştirilmiş jeolojik haritası (MTA 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasından değiştirilerek).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İlk olarak Erol (1954) tarafından tanımlanan Galatya Volkanik Provensi, petrolojik açıdan incelenmesinin yanında, gerek kuzeyinin Kuzey Anadolu Fay Zonu ile sınırlandırılması, gerekse güneyinde volkanosedimanter birimleri içeren havzaların varlığından dolayı farklı ana bilim dalları için bir odak noktası olmuştur. Petrolojik çalışmalar genellikle provensin doğu kesimi (Kızılcahamam ve Güvem civarı) ile sınırlı kalmıştır. Batı kesimi konu alan çalışmalar oldukça azdır.

Fourquin vd. (1970), Beşkonak civarında (Kızılcahamam) 1100 metre kalınlığa varan andezitik, dasitik ve riyolitik ürünler ile bunlarla ilişkili piroklastikleri içeren Güvem Formasyonu'nun tabanındaki piroklastik birimler ile ara katkılı şekilde bulunan diatomitler üzerinde polen analizleri yürütmüştür. Buna göre Güvem Formasyonu'nun tabanı Burdigaliyen olarak belirlenmiştir.

Tankut (1985) Ankara ve çevresindeki volkanik kayalar üzerinde yürüttüğü jeokimyasal çalışmalar sonucunda, ortaç-asidik karakterde olan ürünleri kalkalkali, bazik karakterdeki ürünleri ise alkali olarak sınıflamışlar ve kalkalkali volkanik kayaların And tipi kıta kenarı volkanik kayaları ile benzer olduklarını, alkali kayaların ise levha içi tektonik ortamı karakterize ettiklerini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın devamında Tankut ve Türkmenoğlu (1988), Ankara'nın kuzeyindeki alkali bazaltik lav akıntılarının Orta Miyosen- Geç Pliyosen aralığında bölgede etkili olan volkanik aktivitenin son ürünleri olduğunu ve bu ürünlerin lerzolitik bir mantonun kısmi ergimesi ile oluşmuş olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Bölgede hem stratigrafik hem de volkanolojik açıdan geniş çaplı bir araştırma olmasından dolayı önem teşkil eden Türkecan vd. (1991), çalışmalarında Miyosen volkanizmasının bölgede etkin olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar, Erken Miyosen yaşlı kalkalkali karakterdeki ilk evre volkanizmasının andezitik, dasitik tüf, tüfit, aglomera ve bu ürünlerle ilişkili olan andezit, bazalt, dasit bileşimli lav akıntılarından oluşan Uludere Piroklastikleri ile başladığını öne sürmektedir. Erken Miyosen evresi volkanizması Uludere Piroklastikleri ile girik şekilde bulunan ve Karasivri Volkaniti olarak adlandırdıkları dasitik-

riyolitik lav, tuf ve aglomeralardan oluşan ürünler ile devam etmektedir. Araştırmacılar bu ürünleri kabuksal malzemeden türemiş, Neotetis'in kuzey kolunun kapanmasını takip eden orojenik volkanizmanın ürünü olduklarını kabul etmişlerdir. Kalkalkali karakterdeki volkanizmanın Ilıcadere Volkaniti (bazaltik, andezitik lav, tuf ve aglomera) ve stratigrafik olarak Erken-Orta Miyosen yaşlı olabileceği öne sürülen Deveören Volkaniti (andezitik, dasitik lavlar ve bunlarla ilişkili tuf ve aglomeralar) ile devam ettiği; bu ürünlerin ise Geç Miyosen yaşlı (Deleuil, 1977) ve çarpışma sonrası volkanizmayı temsil eden Bakacaktepe Volkaniti (andezitik-dasitik karakterli lav, tuf ve aglomera) ile üzerlendiğini tespit etmişlerdir. Miyosen volkanizması, Erken Pliyosen yaşlı, Özlü Volkaniti olarak araştırmacılar tarafından adlandırılan bazaltik volkanik kayalar tarafından üzerlendiği belirlenmiştir. Bu volkanik ürünlerin alkali özelliklerin yanında yer yer şošonitik özellikler gösterdiği ve Kuzey Anadolu Fayı'nın hareketi ile meydana gelen yersel genleşmelerin meydana gelmesiyle yüzlek verdiğini öne sürmektedir.

Bölgenin gittikçe önem kazanması ile birlikte artan petrolojik kökenli çalışmaların bir başlangıcı sayılabilecek araştırmalardan olan Keller vd. (1992) provensin volkanik ürünleri üzerinde radyometrik yaş tayini çalışmaları yürütmüştür. Bölgedeki volkanizmaya ait andezitik ve dasitik ürünlerin Miyosen yaşlı olduğu, en genç ürünler olarak belirlenen bazaltik kayaların ise Geç Miyosen yaşlı olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda araştırmacılar tarafından provensin volkanik aktivitesi iki ana evreye ayrılmıştır. Radyometrik çalışmalara göre, provens üzerinde 73,2 milyon yıl yaşlı volkanik kayaların varlığı belirlenmiş ve bu ürünlerin Galatya'nın oluşumunu işaret edebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Tankut vd. (1995) bölgedeki volkanizmanın iki evreli olduğunu, birinci evrenin 16-24 My yaşlı kalkalkali karakterdeki ortaç-asidik karakterdeki lav akmaları ile piroklastiklerden oluştuğunu; ikinci evrenin ise 9-11 My yaşlı alkali karakterdeki, genişlemeli tektonizma ile ilişkili rift tipi bazaltlardan meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Toprak vd. (1996) çalışmalarında provensin yapısal unsurları ile bölgedeki volkano-stratigrafik ilişkiler üzerinde durmuştur. Araştırmacılar saha çalışmaları ve uydu fotoğrafı analizleri ile provensin birçok volkanik kompleksten meydana geldiği ve bu volkanik komplekslerin stratovolkanlar ve kalderalar şeklinde polijenetik yapı gösterdiğini, ana

patlama merkezlerinin daireden eliptiğe değişir şekilde topoğrafik yapılar gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Provens çapında dokuz adet volkanik merkez tanımlanmış ve bu çalışmada isimlendirilen merkezlerin en büyüğü Kartalkaya- Köroğlu kompleksi olarak belirlenmiştir. Bölgedeki yapısal unsurları inceleyen çalışmaları araştırmacılar, provens sınırlarındaki çoğu fayın volkanik aktiviteden daha önce oluştuğunu saha gözlemlerinden yola çıkarak önermişler; bölgenin güney kesimindeki fayların normal fay karakteristiği sergilediği, bunların Pliyosen ve daha yaşlı olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Provencin petrolojik evrimi, Tankut ve ekibi tarafından yürütölen bir dizi çalışmayla aydınlatılmaya devam edilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmalarda, daha çok Güvem ve çevresindeki lokal alanlara odaklanmışlar ve sınırlı örnekler üzerinden provencin oluşumuna ışık tutmuşlardır.

Wilson vd. (1997) bölgenin petrolojik açıdan evrimini anlatması bakımından oldukça değerli olan çalışmaları, kıtasal çarpışma sonrası oluşın volkanizmanın KAFZ boyunca meydana gelen hareketlenme ile ilişkili olarak meydana gelen tektonizma ile oluştuğunu belirtmişlerdir. Provens boyunca farklı bölgelerden alınan mafik ve ortaç karakterdeki volkanik kayalar üzerinde yürütölen ana ve iz element jeokimyası ile Sr-Nd izotop analizlerine göre provensteki iki evreli volkanizmanın farklı manto kaynaklarından türediğini öne sürmüşlerdir. Yürütölen K-Ar yaşlandırma analizleri ile volkanizmanın Erken Miyosen (17-19 My) ve Geç Miyosen (<10 My) şeklinde ikiye ayrıldığı ve jeokimyasal karakteristiklerine göre Erken Miyosen volkanik ürünlerinin dalma-batma süreçlerinden etkilenmiş bir mantodan türediği; Geç Miyosen volkanik kayalarının ise ilk evreye göre daha tüketilmiş bir manto kaynağından itibaren oluştuğunu tespit etmişlerdir. Erken Miyosen evresine ait ortaç karakterdeki volkanik kayalar ile alkali bazaltların oluşumunda fraksiyonel kristalleşme süreçleri ile üst kıtasal kabuk bileşeni asimilasyonunun öne çıktığını ileri sürmüşlerdir.

Tankut vd. (1998 a) çalışmaları provencin kuzeydoğusundaki Güvem (Kızılcahamam, Ankara) bölgesine yoğunlaşmışlar ve bu kesimde ayrıntılı haritalama çalışmaları ile jeokimyasal çalışmalar yürütmüşlerdir. Birbirinden uyumsuzlukla ayrılan Erken Miyosen (16-20 My, Burdigaliyen) ve Geç Miyosen (<10 My; Tortoniyen) evrelerinin çarpışma sonrası tektoniği karakteristiği gösterdikleri ve geç evrenin muhtemelen KAFZ

boyunca meydana gelen transtansiyonel tektonizma başlangıcı ile ilişkili olabileceğini öne sürmüşlerdir. Erken Miyosen ve Geç Miyosen rejimleri arasındaki patlama stili ve jeokimyasal farklılıkların, bölgedeki jeodinamik sistemin değişmesi ile ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Erken Miyosen evresinin en hacimli, yaklaşık 1500 metre kalınlığında potasyumca zengin ortaça-asidik karakterli volkaniklerden oluştuğunu, Geç Miyosen evresinin ise ilk evreye göre hacimce oldukça az, 70 metre kalınlığında alkali bazaltik karakterde akma ürünleri olduğunu belirtmişlerdir. Sr-Nd izotop karakteristiklerine göre Erken Miyosen'e ait mafik volkaniklerin, Tetis dalma-batma zonuna ait akışkanlarla zenginleşmiş sığ litosferik mantodan itibaren oluştuklarını belirtmişlerdir. Buna karşılık Geç Miyosen bazaltlarının tüketilmiş bir mantodan kısmi ergime süreçleri ile meydana geldiğini ve bu kaynağın bölgedeki üst manto karakteristikleri ile uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. Erken Miyosen serilerinin petrojenezlerinde fraksiyonel kristalizasyon süreçleri ile birlikte az oranda kıtasal kontaminasyonun etkili olduğunu, bazı yüksek derecede evrimleşmiş volkaniklerin ise petrojenezlerinde farklı kabuksal bileşenleri işaret eder şekilde farklı iz element karakteristikleri sunduğunu belirtmişlerdir.

Tankut vd. (1998 b), bir başka çalışmalarında Güvem ve Orta civarından elde ettikleri sınırlı sayıdaki alkali bazalt numuneleri üzerinde yoğunlaşmış, bunların yeni K-Ar yaşlandırma analizlerine göre, Erken Miyosen ve Geç Miyosen şeklinde iki farklı zamanda püskürdüğünü belirtmişlerdir. Erken Miyosen'e ait bazaltların, bölgedeki geniş yer kaplayan andezitik volkanizma ile eş yaşı olduğunu; bir suskunluk dönemini takiben Geç Miyosen'de az hacimdeki bazaltların püskürdüğünü vurgulamışlardır. Farklı zamanda püskürmelerine rağmen, bu bazaltların alkali karakterde olduğunu ve plaka içi tektoniği özelliklerini sergilediklerini açıklayan araştırmacılar, Erken Miyosen bazaltlarının bölgedeki sedimanter havzaların gelişmesiyle eş yaşı olabileceğini, Geç Miyosen'de yüzlek veren bazaltların ise Neo-Tetis'in kuzey kolunun kapanmasını takiben gelişen lokal genişleme zonları boyunca püskürdüğünü düşünmektedir.

Schumacher vd. (2001) Çamlıdere (Kızılcahamam, Ankara) civarında yüzlek veren Sarıkavak tefraları üzerine yaptıkları çalışmalarında, bu ürünlerin Miyosen yaşı, çok fazlı kompleks pliniyen patlama ürünleri olduğunu belirtmişlerdir. Litolojileri ve patlama mekanizmalarından yola çıkarak Alt, Orta ve Üst Sarıkavak Tefraları şeklinde ayırdıkları bu birimlerde, ayrıntılı stratigrafik çalışmalar ve patlama sistemi çözümlemeleri

gerçekleştirmişlerdir. Alt Sarıkavak Tefrası pümis döküntü çökelleri ve litik oranı %50'den fazla olan ince taneli kül tabakaları şeklinde tanımlanmış, üst kesimlerinde ise ters derecelenmiş ve daha az oranda litik taneler içeren pümis döküntü ürünleri ile devam ettiği gözlenmiştir. Bu birimler patlamanın ana pliniyen fazı olarak belirlenmiştir. Orta Sarıkavak Tefrası, çapraz tabakalı kül ve pümis yayılma çökelleri şeklinde, alt kesiminde az oranda pümis döküntü çökelleri ve üst kesiminde ana piroklastik akma çökelleri ile devam eden birim olarak ayrılmıştır. Üst Sarıkavak Tefrası ise alt kesimde yayılma ürünleri, üst kesiminde ise tefra yatakları olarak gözlenmektedir.

Adıyaman vd. (2001) Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelen Geç Oligosen-Kuvater yaşlı volkanizmayı araştırdıkları çalışmalarında, uydu görüntüleri, jeokimya ve arazi çalışmaları yardımıyla bölgedeki tektonizma ile volkanizma arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlamışlardır. Fay zonu boyunca izlenen volkanizmanın genişleme ve bunu takip eden doğrultu atımlı tektonik ortam koşulları ile ilişkili olarak geliştiğini; Galatya Masifi'ndeki erken evre volkanizmasının (22-14,5 My) litosferik manto kaynağından itibaren KAF'ın güneyindeki K-doğrultulu açılma ile ilişkili D- doğrultulu kırık hatları boyunca yüzeye çıktığını; 11-8,5 My yaşlı genç volkanizmanın ise az oranda astenosferik katkı içeren kaynaktan itibaren D doğrultulu fayların sağ yanal yöndeki açılma süreçleri ile ilişkili olarak yüzlek verdiğini belirtmişlerdir.

Yürür vd. (2002), provensin güney ve doğu kesiminde arazi çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Kendi gözlemleri ve Toprak vd., (1996)'nin verileri ile birlikte, Galatya Volkanik Provensi'nin Erken Miyosen- Geç Miyosen aralığında hüküm sürmüş olan K-G doğrultulu genişlemeli tektonik rejimle ilişkili olarak oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Ege Bölgesi'nde gözlenen Miyosen tektonomagmatik özelliklerin Galatya Provensi'nde de gözlendiğini, aynı şekilde bu zaman aralığında Ege'deki kinematik davranışların Galatya ile benzerlik gösterdiğini de vurgulamışlardır.

Koçyiğit vd., (2003) Ankara'nın 40 km kuzeyindeki Saraçköy bölgesindeki Miyosen yaşlı volkanik seri üzerinde yürüttükleri çalışmalarında, dalma batma sürecini takip eden genişlemeye sebep olan yitimin roll-back hareketinin bu volkanik serinin oluşumunda etkili olan süreç olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Galatya Volkanik Provensi'nin bir magmatik yay gelişimi şeklinde üç evreli bir süreç sonucu oluştuğunu; bu evrelerin Geç Kampaniyen-

Lütesiye dalma-batma evresi, Lütesiye sonrası çarpışma evresi ve Oligosen-Miyosen çarpışma sonrası evresi olduğunu vurgulamışlardır.

Rojay ve Karaca (2008), provensin güney kesimindeki Miyosen sonrası deformasyon ile ilgili çalışmalarında, bölgedeki Miyosen-Kuvaterner yaşlı birimler üzerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Tektonik kökenli bu çalışmada, Miyosen sonrası- Pliyosen öncesi sıkışma dönemi için güvenilir sonuçlar elde edilemese de; bölgede Pliyosen'den itibaren sürekli bir genişlemenin varlığı ortaya konulmuştur.

Varol vd., (2008), Çamlıdere (Kızılcahamam, Ankara) bölgesinde yürüttükleri çalışmalarında, bu alanda yüzlek veren volkanik kayalara ait fenokristallerin petrografik açıdan birtakım dengesizlik özellikleri sergilediğini; bundan dolayı bu volkanik kayaların oluşumunda magma odasında veya magma yükselimi sırasında magma karışımı gibi bir açık sistem süreci meydana gelmiş olabileceğini belirtmişlerdir. Petrografik incelemeler, mineral kimyası analizleri ve ana element modellemesi çalışmaları ile mafik bir magmanın daha felsik bir magma ile karışması sonucu meydana gelen zonlanmış bir magma odasının ve bu süreci takip eden bir magma karışım sürecinin varlığını belirterek; bazaltik bir ana magmanın fraksiyonel kristalleşmesinin de Galatya Volkanik Provensi kayalarının oluşumunda etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Temel vd., (2010) Polatlı (Ankara) civarında yüzlek veren Erken-Orta Miyosen yaşlı (19,9- 14,1 My) bazaltik kayaların kökeni hakkındaki yaptıkları çalışmalarında, bölgedeki bu kayaların Eskişehir Fay Zonu'nu kullanarak yüzeye çıkan ve kuzeye doğru akan magmadan itibaren oluştuğunu; bu magmanın yükselimi sırasında kabuksal bir kontaminasyona maruz kaldığını ve Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarından farklı olarak herhangi bir dalma-batma bileşeni içermediğini ortaya koymuşlardır. Zaman ve mekan açısından benzer olan bu iki bölgedeki volkanik kayaların farklı kökenlerden itibaren oluştuklarını, Galatya'dan yaklaşık 100 km uzakta olan Polatlı'daki volkanik kayaların tamamen genişlemeli tektonik rejim etkisi altında oluştuğunu vurgulamışlardır. Bu çalışma, bitmiş bir dalma-batma sürecinin bir mantoyu ne kadar süre ile modifiye ettiğini, bu dalma-batma etkisinin magmatizma esnasında ne kadar süre ile korunduğunu ve bu etkinin çarpışma zonu boyunca mantoda yanal olarak ne kadar mesafede etkili olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

Varol vd., (2014) Çamlıdere bölgesindeki volkanik kayaçlar üzerinde yürüttükleri jeokimyasal analiz ve radyometrik yaşlandırma çalışmaları sonucunda elde ettikleri verilere göre, bu bölgedeki ilk kalkalkali serinin ($>20\text{My}$) dalma-batma süreçleri sonucu değişikliğe uğramış litosferik mantodan itibaren oluştuğunu ve bunu daha alkali serinin takip ettiğini; bazı volkanik kayaçların ise kökensel açıdan farklılık gösterdiğini ve bunların kökeninde astenosferik katkının gözlendiğini belirtmişlerdir. Provenstekki volkanik kayaçların sadece Erken Miyosen’de değil, Erken-Orta Miyosen’de oluştuklarını ve bu Orta Miyosen’de oluşan volkanik kayaçların kalkalkali volkanizmadan, alkali volkanizmaya geçişi simgeleyen ilk ürünler olabileceğini ortaya koymuşlardır.

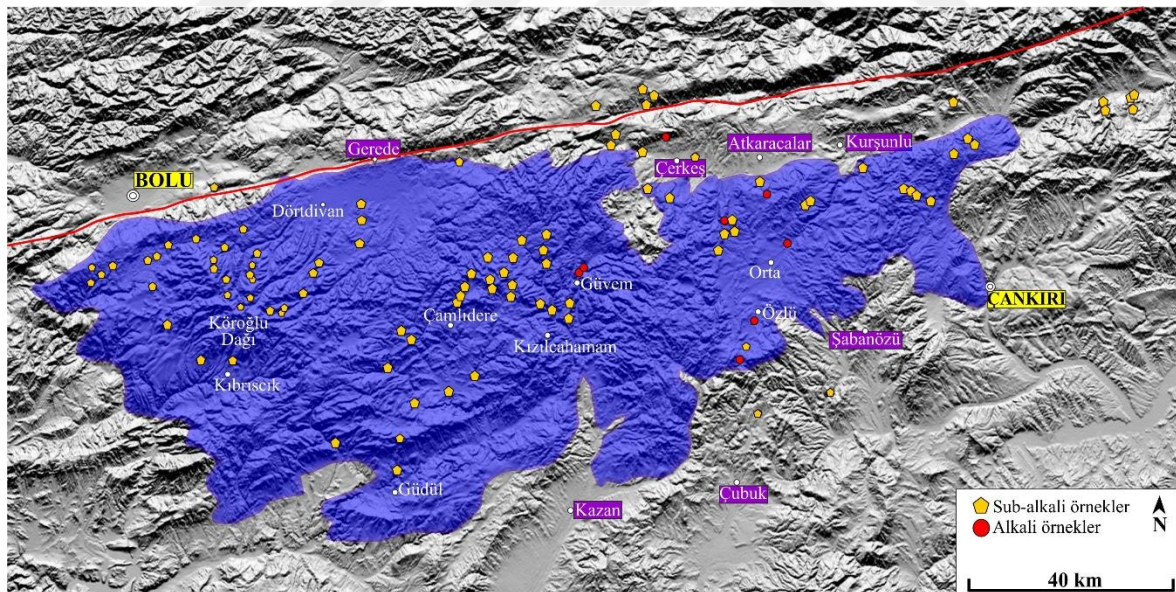
Tüm çalışmalar, Galatya Volkanik Provensi’nde hüküm sürmüş olan Miyosen yaşlı volkanizmanın genel anlamda ikiye ayrılabilceğini, Erken Miyosen evresinin asidik-ortaç karakterli sub-alkali ürünlerden ve az oranda alkali karakterdeki bazaltik ürünlerden oluştuğunu, bu ürünlerin evrimleşmesinde fraksiyonel kristalizasyon süreçlerinin ve az oranda kabuk katkısının rol oynadığını işaret etmektedir. Geç Miyosen evresini temsil eden alkali karakterdeki bazaltik ürünlerin ise kaynak alanındaki farklılaşmadan ötürü, astenosferik bir katkıya işaret ettiğini ve levha içi bazaltları ile benzerlik gösterdiği belirtilmiştir. Gerek bu çalışmaların lokal alanlarda sınırlı kalması, gerekse Geç Miyosen evresindeki alkali bazaltik ürünleri temsil eden numune sayısının yetersiz oluşu, bölgedeki magmatizmanın provens ölçeğinde değerlendirilmesinde bir eksikliğe sebep olmaktadır. Bu tez çalışmasının bu eksikliği giderme yönünde bir adım teşkil etmesi ve Galatya Volkanik Provensi’nin petrolojik evrimini açıklamada önemli bir çalışma olması hedeflenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Galatya Volkanik Provensi'nin petrolojik evriminin açıklanması amacıyla bölgede yüzlek veren Miyosen volkanizmasına ait volkanik kayaçların majör ve iz element karakteristikleri ve izotopik bileşimleri kullanılarak bölgedeki kaynak alanlarının araştırılması amacıyla hazırlanan bu tez çalışması arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

3.1 Arazi Çalışmaları

2017 ve 2018 yıllarında Galatya Volkanik Provensi'nde arazi çalışmaları yürütülmüştür. Bu arazi çalışmalarında volkanik serileri temsil edecek şekilde örneklemeler yapılmış, bu birimlerin arazi özellikleri ve birbirleri ile ilişkileri hakkında incelemeler gerçekleştirilmiştir. Örneklem lokasyonları Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Galatya Volkanik Provensi'nde yürütülen arazi çalışmaları esnasında alınan örneklemelerin lokasyonları

İlk arazi çalışması Çerkeş, Kurşunlu (Çankırı) ve Orta (Ankara) bölgelerinde yürütülmüştür. Her bir volkanik seriyi temsil edecek şekilde örneklemeler yapılmış, özellikle Çankırı civarında yürütülen çalışmalarda bölgedeki volkanizma ve Kuzey Anadolu Fay

Zonu arasındaki ilişki üzerinde ayrıca incelemeler gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl, ikinci arazi çalışması Kızılcahamam ve Güvem (Ankara) civarında yapılmıştır. Bu çalışmada volkanik serilerin örneklenmesine devam edilerek, bölgedeki Ovacık Kalderası gibi büyük ölçekli ve küçük ölçekli patlama merkezleri incelenerek analiz edilmiştir. Bu arazi çalışmasında toplam 67 volkanik kayaç örnekleme yapılmıştır.

Galatya Volkanik Provensi'nin literatürde nadir olarak çalışma yürütülen batı kesiminde ise 2018 yılında bir arazi çalışması yürütülmüştür. Bu arazi çalışmasının ana hedefi Köroğlu Dağları ve civarının incelenmesi olarak belirlenmiştir. Kıbrıscık ve Gerede (Bolu) civarında yürütülen bu çalışmada, Köroğlu Dağları volkanostratigrafik olarak incelenmiş ve volkanik seriler örneklenmiştir. Bu çalışmanın devamında Çamlıdere (Kızılcahamam) bölgesinde incelemeler ve örneklemler gerçekleştirilerek arazi çalışmaları sonlandırılmıştır. Bu arazi çalışmasında toplam 47 volkanik kayaç örnekleme yapılmıştır.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmaları sonucunda toplanan 114 kayaç numunesi incelenerek petrografik çalışmalar gerçekleştirmek amacıyla, volkanik birimleri temsil edecek şekilde 105 adet volkanik kayaç seçilmiştir. Bu kayaçlar ESOGÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Numune Hazırlama Laboratuvarı'nda altere kısımları temizlenerek ayıklanmış ve ODTÜ Merkez Laboratuvarı ve Ankara Üniversitesi YEBİM Laboratuvarları'na ince kesitlerin hazırlanması amacıyla gönderilmiştir. İnce kesitlerin incelenmesi ve görüntülenmesi, ESOGÜ Jeoloji Mühendisliği Sedimanter Kayaç Petrografisi Laboratuvarı'nda polarizan mikroskop ve kamera yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Petrografik incelemeler ve yorumlamalar sonucunda majör oksit, iz ve nadir toprak element içeriklerinin belirlenmesi amacıyla her bir volkanik seriyi temsil edecek şekilde toplam 56 volkanik kayaç numunesi seçilmiştir. Öncelikle numune hazırlama laboratuvarında alterasyonlu kısımları temizlenen bu kayaçlar, sonrasında çeneli kırıcıdan geçirilerek belli bir boyuta indirgenmiştir. ESOGÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda halkalı öğütücü yardımıyla toz haline getirilen numuneler ACT Labs (Kanada)'a jeokimyasal analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla gönderilmiştir. Majör oksit içerikleri ICP-OES, iz element içerikleri ise ICP-MS ile tespit edilmiştir.

Petrografik ve jeokimyasal olarak incelenen volkanik kayaçlar içinden provenisi en iyi şekilde temsil edecek biçimde 7 volkanik kayaç numunesi seçilmiştir. ESOGÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Numune Hazırlama Laboratuvarı'nda çeneli kırıcıdan geçirilerek serbest hale getirilen örnekler, halkalı öğütücü ile toz haline getirme işlemi sonrasında Southampton Üniversitesi'ne $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla gönderilmiştir.

Yukarıda bahsedilen analizlerden ve incelemelerden elde edilen tüm sayısal veriler, Iqpet programı yardımıyla grafiklendirilmiş ve yorumlanmıştır. Grafik yorumlamalarında bu çalışmanın verileri ile birlikte literatürdeki tüm Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının jeokimya verileri de değerlendirmeye alınmıştır.

Volkanik kayaçların türediği kaynak alanlarına ilişkin modelleme çalışmalarında Excel tabanlı Petromodeler (Ersoy, 2013) programından, AFC modellemelerinde ise Keskin (2013) tarafından hazırlanan AFC Modeler programından destek alınmıştır.

3.3 Jeokimyasal Modelleme Çalışmaları

Magmatik kayaçların oluşumu esnasında hangi kaynak alanından itibaren oluştuğunu tespit edebilmek ve bu kaynak hakkında yorumlamalar yapmak amacıyla jeokimyasal modellemeler kullanılmaktadır. Bu kaynak alanlarında gerçekleşen fraksiyonel kristalizasyon, kısmi ergime, magma karışım süreçleri, kabuksal kirlenme ve asimilasyonla birlikte fraksiyonel kristalizasyon (AFC) gibi süreçler iz elementler ve izotop içerikleri yardımıyla takip edilebilmektedir. Bu süreçlerin aydınlatılmasında kullanılan yöntemler ve ilgili formüller aşağıda verilmektedir.

3.3.1 Kısmi ergime

Kısmi ergime, ortama uçucu bileşen ilavesi, sıcaklığın artması veya litostatik basıncın azalması gibi sebeplere bağlı olarak magma oluşumunun gerçekleşmesi sürecidir. Kısmi ergime sürecinin modellemesi ile kayaçların türediği kaynak alanlarına ilişkin yaklaşımlarda bulunmak, ergimenin türü ve derecesini yorumlamak mümkündür. Bunun için

kayaçların iz element içerikleri kullanılmaktadır. Doğada bu süreç yığın ergime ve fraksiyonel ergime olarak iki farklı şekilde gerçekleşmektedir.

Yığın ergimede oluşan ergiyik sürekli olarak kalıntı faz ile reaksiyona girmekte ve ergiyik diyapirik olarak yükselmesine kadar kalıntı faz ile dengede kalmaktadır. Fraksiyonel ergimede oluşan ergiyik kaynak malzemedan herhangi bir çokluk miktarına ulaşmayı beklemeksizin ayrılarak uzaklaşmaktadır. Bu sebeple bu tip kısmi ergimede oluşan ergiyik ile kaynak arasında denge kurulamamaktadır. Kısmi ergime modellemesinde farklı kısmi ergime derecelerinde oluşan ergiyiklerin iz element konsantrasyonlarının hesaplanmasında Shaw (1970) tarafından önerilen aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$C_L/C_0 = 1/[D_0 + F(1-D_0)] \quad (3.1; \text{Yığın ergime eşitliği})$$

$$C^L/C^0 = 1/D^0(1-F)^{[1/(D_0-1)]} \quad (3.2; \text{Fraksiyonel ergime eşitliği})$$

Bu eşitliklerde,

C_L = Elementin sıvıdaki konsantrasyonu

C_0 = Elementin ilksel katı kaynak malzemesindeki konsantrasyonu

D_0 = İlksel katı kaynak malzemesindeki toplam paylaşma katsayısı

F = Kısmi ergime sonucu oluşan ergiyik fraksiyonu (kısmi ergime derecesi)

olarak ifade edilmektedir.

3.3.2 Asimilasyon- fraksiyonel kristalizasyon (AFC)

Magmanın katılaşılarak kayaçları oluşturma sürecinde yan kayacı eritip özümseyerek ilksel bileşimini değiştirmesi ve eş zamanlı olarak fraksiyonel kristalizasyon sürecinin devam etmesini anlatan bir süreçtir. Bu sürecin hem iz element hem de izotop içerikleri kullanılarak modellemesine ilişkin DePaolo (1981) tarafından önerilen formüller kullanılmaktadır.

$$C_m / C_0 = f' + (r / (r-1+D_0)) C_a / C_m^0 (1-f') \quad (3.3; \text{iz element eşitliği})$$

Bu eşitlikte;

r = Asimilasyon hızının kristalizasyon hızına oranı

C_a = Asimile edilen yan kayaçtaki iz element konsantrasyonu

C_m^0 = İz elementin asimile olmuş kayaçtaki bileşimi

F = Fraksiyonlanma derecesi

f = Ergiyik fraksiyonu

D_0 = Tüm kayaç paylaşma katsayısı

olarak ifade edilmektedir.

$$(\epsilon_m - \epsilon_m^0) / (\epsilon_a - \epsilon_m^0) = 1 - (C_m^0 / C_m) F^{-z} \quad (3.4; \text{izotop oranları eşitliği})$$

Bu eşitlikte;

ϵ_m^0 = Magmadaki ilksel izotop oranı (başlangıç bileşeni)

ϵ_m = Magmanın izotop oranı

ϵ_a = Yan kayaç izotop oranı olarak ifade edilmektedir.

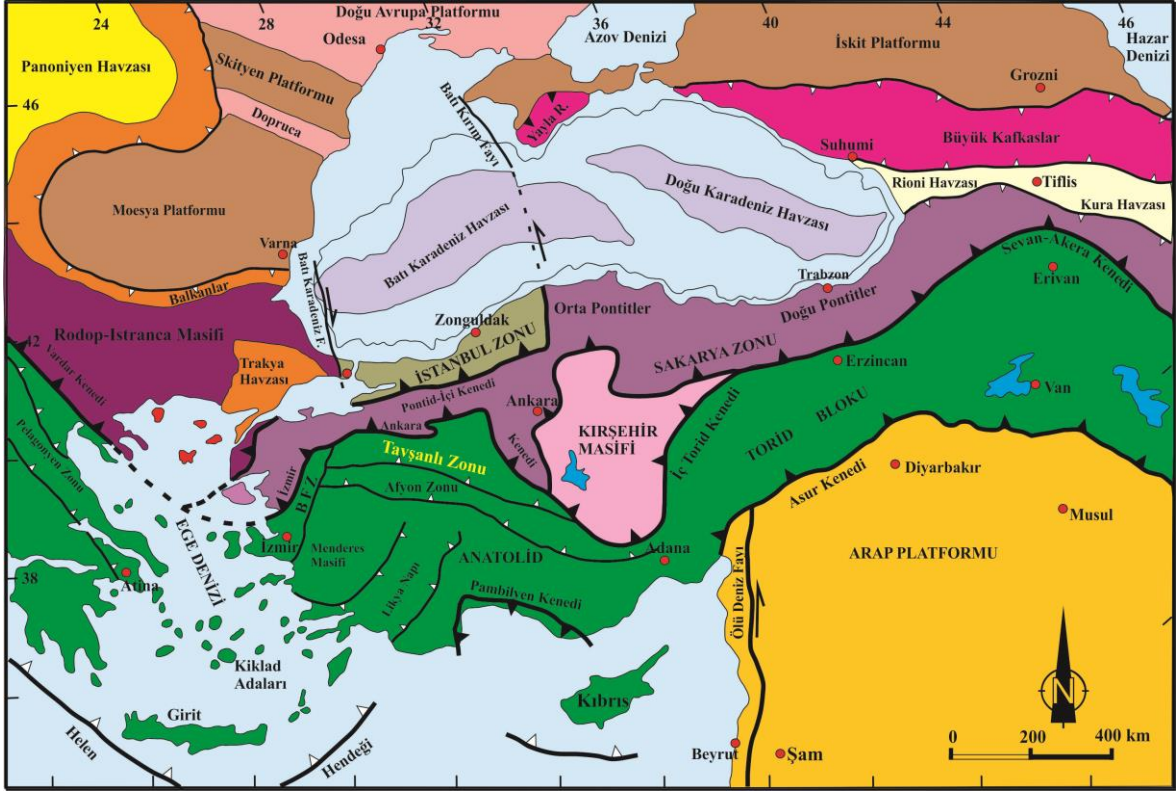
4. BÖLGESEL JEOLojİ VE STRATİGRAFI

Türkiye, Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı'nın bir parçasıdır ve ilk defa Ketin (1966) tarafından Anatolidler, Toridler, Pontidler ve kenar kıvrımları şeklinde dört ana tektonik birliğe ayrılmıştır. Türkiye'nin jeolojik evrimi ve kompleks tektonik yapısı, Mesozoyik ve Senozoyik boyunca Tetis Okyanusu'nun farklı kollarının kapanması ile gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Paleotetis'in kapanmasının ardından Neotetis Okyanusu, kuzeye doğru gerçekleşen bir dalma-batma süreci ile tüketilmeye başlamıştır (Şengör vd., 1985; Yılmaz, 1993; Okay ve Tüysüz, 1999; Bozkurt ve Mittweide., 2001; Dilek, 2006). Arap Plakası'nın Avrasya Plakası ile Bitlis-Zagros Suture Zonu boyunca çarpışması yaklaşık 13-15 My zamanında tamamlanmış (Şengör vd., 2003; Faccenna vd., 2006), bu süreç Anadolu'da neotektonik dönem başlamasına sebebiyet vermiş, aktive olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (Orta Miyosen, Şengör vd., 2005) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (Geç Miyosen, Bozkurt ve Mittweide, 2001; Karaoğlu vd., 2017) boyunca Anadolu Plakası'nın Avrasya'ya göre batıya doğru kaçmasına neden olmuştur (McKenzie, 1972; Dewey vd., 1986; Faccenna vd., 2006; McClusky vd., 2000). Kıta- kıta çarpışmasından ötürü Doğu Anadolu'da kabuksal kısalma ve kalınlaşma, Batı Anadolu'da yay ardı genişlemesi meydana gelmiştir. Kabuksal kısalmanın sonucunda süregelen sıkışmalı tektonik rejim ise Orta Miyosen zamanında yerini genişlemeli tektonik rejime bırakmıştır (Cavazza vd., 2019).

Neotektonik dönem boyunca kabukta meydana gelen bu deformasyon sonucu Anadolu, bileşim açısından birbirinden farklı ürünleri oluşturan volkanik aktivitelere maruz kalmıştır. Oluşan volkanik kayalar, Anadolu'nun birbirinden farklı lokasyonlarında, farklı tektonik ortamları temsil eder şekilde dalma-batma sürecinin izini taşıyan sub-alkali kayalar (Erken-Orta Miyosen) ile levha içi volkanizması karakterine sahip alkali kayalardan (Geç Miyosen-Holosen) oluşmaktadır (Bkz. Giriş bölümündeki referanslar). Galatya Volkanik Provensi yakınlaşma, dalma-batma ve çarpışma süreçleri ile ilişkili olarak oluşan volkanik provenslerden bir tanesidir ve Kretase sonundan Miyosen başlangıcına kadar olan yay evriminin ise dalma-batma, çarpışma ve çarpışma sonrası oluşan volkanizma şeklinde üç ana evrede olduğu düşünülmektedir (Koçyiğit vd., 2003). İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zonu'nun kuzey kesiminde yer alan provens, Anatolid-Torid bloğu ile

birlikte Anadolu'nun iki ana tektonik birliğini oluşturan Pontidler içerisinde yer almaktadır. Pontidler, Mesozoyik boyunca birleşmeye devam eden batıda Istranca Masifi, doğuda İstanbul ve Sakarya Zonları'ndan meydana gelmektedir (Şekil 4.1; Okay ve Tüysüz, 1999). Galatya Volkanik Provansı'nın içinde bulunduğu Sakarya Zonu, İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu boyunca meydana gelen kuzeye doğru yitim sebebiyle geç Paleozoyik'ten Mesozoyik'in sonuna kadar Avrasya'nın aktif güney kenarını durumundaydı (Okay, 2000; Okay vd., 2011; Okay ve Nikishin, 2015; Topuz vd., 2018). Zonun temel kayaçlarını Erken-Orta Devoniyen yaşlı granitik sokulumlar (Okay vd., 1996; Aysal vd., 2012), Karbonifer yaşlı gnays, amfibolit ve mermerlerden oluşan metamorfikler ile bu metamorfikleri kesen Erken Karbonifer-Triyas yaşlı granitik kayaçlar (Topuz vd., 2007; Okay vd., 2006; Dokuz, 2011; Ustaömer vd., 2012; Karslı vd., 2017) ve Karakaya Kompleksi'ne ait Permo-Triyas yaşlı metabazitler, mermerler ve fillitlerden oluşmaktadır (Okay vd., 2002). Bu birimler yeşilşist fasiyesinde yüksek-basınç metamorfizmasına uğramış olup; ayrıca Üst Triyas yaşlı eklojitleri ve mavişistleri içermektedir (Okay vd., 2002; Robertson ve Ustaömer, 2012; Catlos vd., 2013; Topuz vd., 2014). Tüm bu temel birimler okyanusal bir platoyu yansıtmaktadır ve Geç Triyas boyunca çarpışma süreci ile Avrasya kıtasına eklenmeye başlamıştır (Okay, 2000; Genç, 2004; Okay ve Nikishin, 2015). Bu birimlerin üzerine yüksek derecede deforme olmuş ve yer yer metamorfizmaya uğramış Permo-Triyas yaşlı, yay önu birimlerini temsil eder şekilde klastik sedimanlar ile Triyas yaşlı asidik- ortaç karakterli volkanik kayaçlar gelmektedir (Karslıoğlu vd., 2012; Ustaömer vd., 2014; Okay vd., 2011, 2015). Erken Jura'da meydana gelen yükselim ve bunun sonucunda meydana gelen transgresyon sonucu batıda sığ denizel konglomera ve kumtaşları meydana gelmiştir (Okay ve Tüysüz, 1999; Okay ve Nikishin, 2015). Sakarya Zonu'nun doğusunda ise temel birimler Karbonifer yaşlı metamorfik kayaçlardan, Erken Karbonifer yaşlı birçok plütonlardan ve Geç Karbonifer-Triyas yaşlı mafik-ultramafik kayaçlardan oluşmaktadır (Topuz vd., 2004; Eyüboğlu vd., 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012, 2016). Bu Jura öncesi temel birimler Erken ve Orta Jura yaşlı volkanosedimanter kayaçlar ile üzerlenmekte ve Orta-Geç Jura yaşlı felsik intrüzyonlar tarafından kesilmektedir (Dokuz vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2016; Karslı vd., 2017). Güneyde ise Orta Jura yaşlı ofiyolitler, ofiyolitik melanaj ve metamorfik kayaçlar yüzlek vermektedir (Dilek ve Thy, 2006; Göncüoğlu vd., 2012; Okay vd., 2013, 2014; Topuz vd., 2013; Okay ve Nikishin, 2015). Geç Kretase'de (Turoniyen) başlayan yay magmatizması tüm Sakarya Zonu'nda etkili olmuş ve Kampaniyen'e kadar devam etmiştir (Okay ve Şahintürk, 1997). Volkanik kayaçlar toleyitik

ve kalk alkali bileşimde ve ada yayı karakteristikleri göstermektedir (Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997; Şen, 2007; Sipahi vd., 2014). Bu dönemde Galatya Volkanik Provensi'nin yay evriminin oluşmaya başladığı öne sürülmektedir (Koçyiğit vd., 2003). Geç Kretase boyunca çeşitli I-tipi plütonik kayalar dalma batma olayları sonucunda oluşmuştur (Kaygusuz vd., 2008, 2010; Dokuz vd., 2010; Karlı vd., 2010; Temizel vd., 2019; Kaygusuz vd., 2020). Ayrıca bu dönemde alkali ultrapotasik magmatik kayalar da bölgede yüzlek vermektedir (Gülmez vd., 2016). Maastrichtiyen'de volkanizma son bulmuştur ve geniş alanlarda marl-kireçtaşı oluşumları meydana gelmiştir (Okay ve Nikishin, 2015). Erken Eosen'de Anatolid-Torid bloğu ve Kırşehir Masifi'nin Avrasya ile çarpışması sonrasında Neotetis'in kuzey kolu kapanmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Şahintürk, 1997; Sosson vd., 2010). Çarpışma sonrası bölgedeki volkanik aktivite doğuda Geç Palaeosen-Erken Eosen yaşlı adakitik ve Orta Eosen yaşlı plütonik kayalar ile yarı volkanik ve volkanik kayalar ile temsil edilmektedir (Topuz vd., 2005; Karlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2011, 2013; Boztuğ vd., 2006; Arslan ve Aslan 2006; Arslan vd., 2013; Kaygusuz ve Öztürk, 2015, Eyüboğlu vd., 2017; Yücel vd., 2017; Kaygusuz vd., 2018). Bölgede meydana gelen yükselme ve deformasyon sonucu Orta Eosen'de (Lütesiyen) denizel sediman oluşumu sona ermiş ve Oligosen'in sonunda bölge karasallaşmaya başlamıştır (Okay ve Tüysüz, 1999; Okay ve Nikishin, 2015).



Şekil 4.1. Türkiye'nin ve çevresinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz'den, 1999).

4.1 Galatya Volkanik Provensi'nin Doğu Kesiminin Volkanostratigrafisi

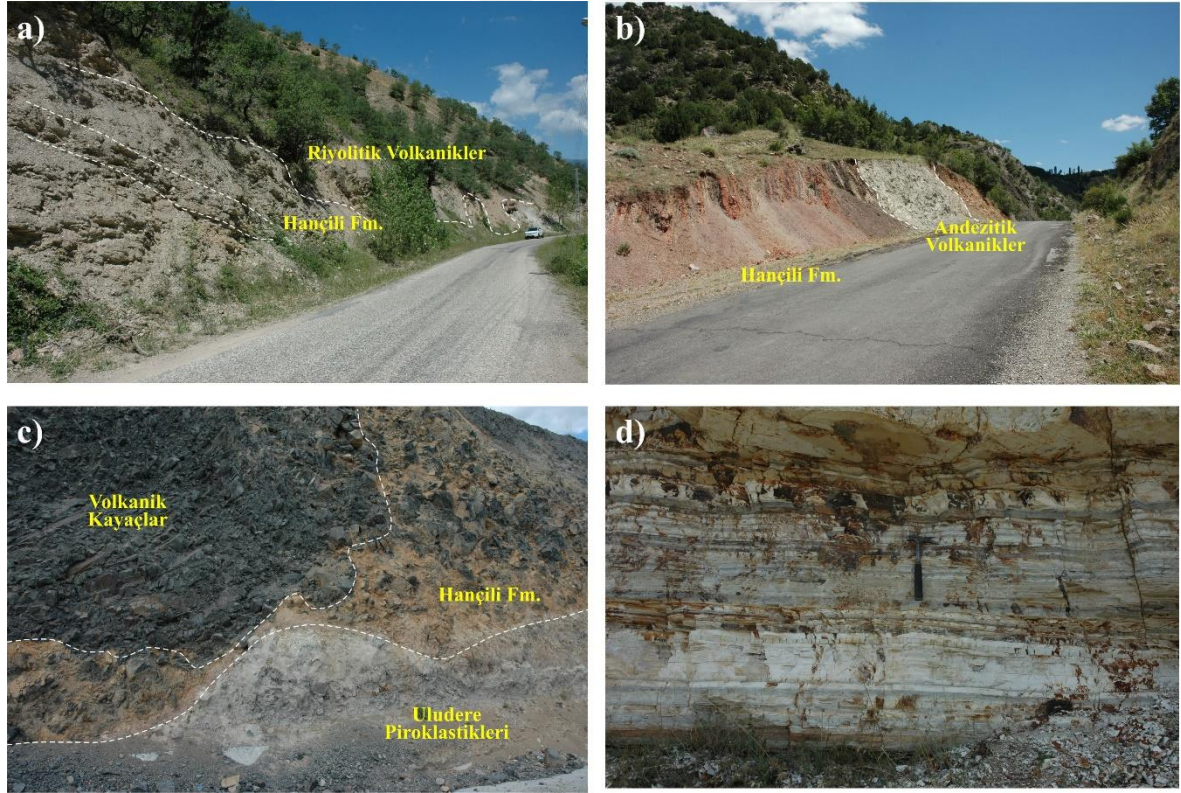
Çalışmanın ana hedefini Miyosen yaşlı volkanikler oluşturmaktadır. Bu sebeple bir önceki bölümde bölge jeolojisi kapsamında anlatılan temel birimler stratigrafik kesitlerde genel olarak Miyosen öncesi olarak tanımlanmıştır. Literatürde verilen yaşlar değerlendirildiğinde provensin doğu kesiminde Erken- Orta Miyosen yaşlı volkanik kayalar Uludere Piroklastikleri, Tekke Volkaniti, Karasivri Volkaniti, Ilıcaderi Volkaniti, Deveören Volkaniti ve Bakacaktepe Volkaniti'ni kapsamakta, Geç Miyosen volkanizması ise Özlü Bazaltı'ndan (Sabuncudere Bazaltı) oluşmaktadır (Türkecan vd., 1991). Provensin batı kesiminde ise Deveören ve Bakacaktepe Volkaniti incelenmiştir.

4.1.1 Hançili Formasyonu

Kumtaşı, kıltaşı, şeyl, tuf ve kireçtaşıdan oluşan bu birim Akyürek vd. (1980) tarafından adlandırılmıştır. Birim, provens boyunca geniş bir yayılım göstermektedir. Hançili Formasyonu'nun oluşum ortamı kıyı ve gölsel çökeltim ortamını yansıtmaktadır

(Karadenizli, 2011). Formasyon, içerdği memeli faunasından ötürü ilk olarak Türkecan vd. (1991) tarafından Erken Miyosen, Akyürek vd. (1996) tarafından Serravaliyen- Tortoniyen olarak yaşlandırılmıştır. Güncel çalışmalarda memeli fosillerinin tekrar yaşlandırılması sonucunda birimin yaşı Erken- Orta Miyosen olarak belirlenmiştir (Kaymakçı, 2000; Saraç, 2003; Karadenizli vd., 2004).

Birim, özellikle provensin doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde, volkaniklerle arakatlı veya volkanikler tarafından üzerlenmiş olarak gözlenmekte ve sarı, bej, turuncumsu renkleri ile ayırt edilmektedir (Şekil 4.2). Güvem (Beşkonak, Ankara) civarında formasyona ait makro fosillerin gözlendiği bir jeosit alanı bulunmaktadır.

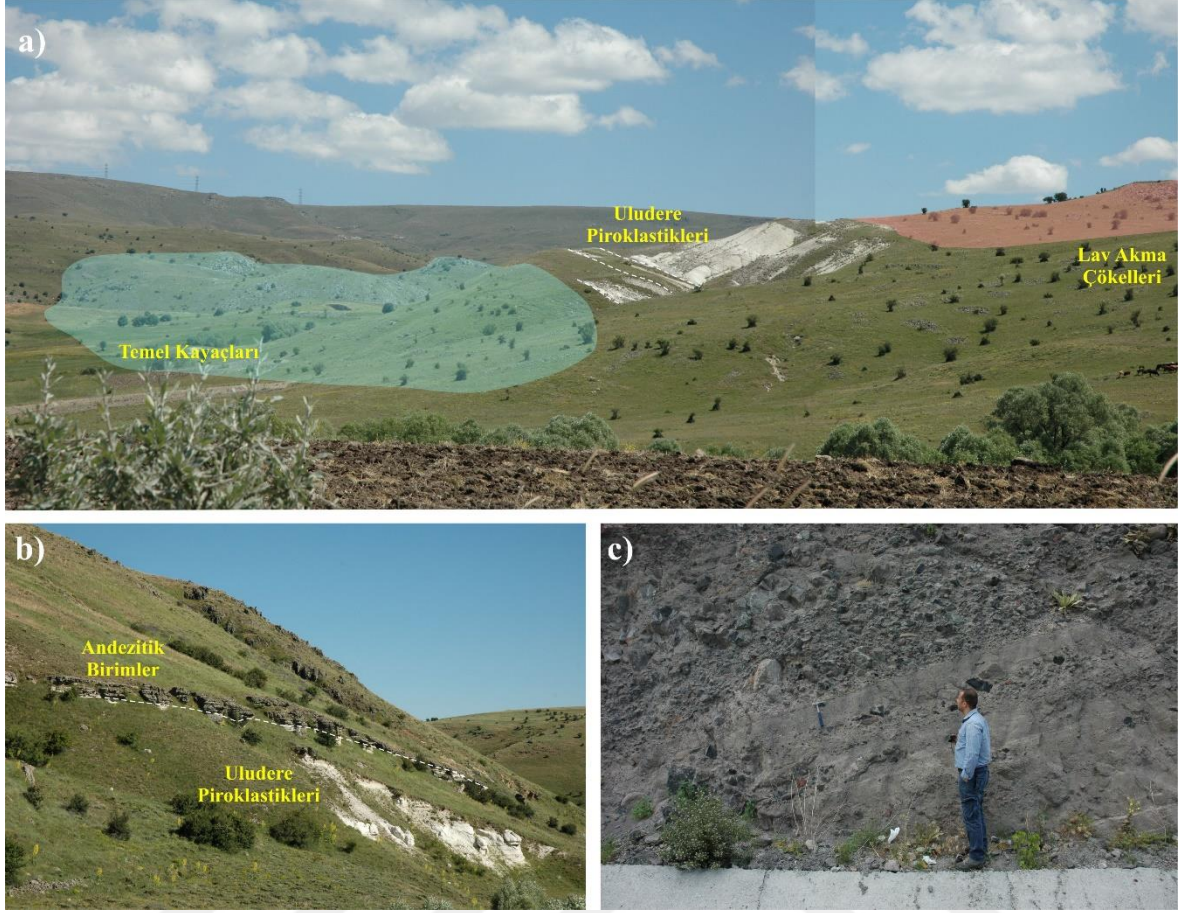


Şekil 4.2. Galatya Volkanik Provensi'nde gözlenen Hançili Formasyonu'na ait birimler: a) Kurşunlu doğusunda gözlenen riyoitik birimler tarafından üzerlenen killi kumtaşları, b) Çerkeş civarında andezitik volkanikler tarafından kesilmiş turuncu renkli marn-kumtaşı aralanması, c) Kurşunlu civarında gözlenen, volkanik kayaçlar ile arakatlı şekilde bulunan turuncumsu-sarımsı killi kumtaşları, d) Güvem, Beşkonak civarında gözlenen tabakalı, killi ve makrofosil içerikli kumtaşları.

4.1.2 Uludere Piroklastikleri

Bölgede patlamalı volkanizmanın yaygın ürünlerinden piroklastik kayalar tüm provenans alanında yaygın şekilde yüzlek vermektedir. Türkecan vd. (1991) tarafından Uludere Piroklastikleri olarak adlandırılan bu birim, araştırmacılar tarafından andezitik, dasitik, tüf, breş, aglomera ile aralarında ince lav akıntıları şeklinde tanımlanmıştır. Bu ürünlerin, Erken Miyosen'de karasal ve gölgesel ortamlarda faaliyet gösteren volkanikler olarak tanımlanmış, volkanik faaliyetin suskun olduğu dönemler de ise yamaçlardan akan parçalar, lahar breşleri, sulu ortamlarda da tüfitleri oluşturmuştur (Türkecan vd., 1991). Miyosen öncesi taban birimlerinin üzerine uyumsuzluk ile gelen Uludere Piroklastikleri Hançili Formasyonu ile yer yer girik, yer yer de bu formasyonu üzerler şeklinde, volkanik kayaların ise genellikle taban seviyelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.3a, b). Bu stratigrafik ilişki Orta (Çankırı) ilçesinin güney kesiminde, Yaylakent köyü çıkışında net bir şekilde gözlemlenmektedir (Şekil 4.3a).

Çalışma alanında Yerkuyu (Çankırı) civarında, yer yer moloz akımlarına (debris flow) rastlanmıştır (Şekil 4.3c). Bu moloz akımları, heterolitolojik olup, içerisinde andezitik blokları barındırmaktadır. İstifin üst kısımları ters derecelenme göstermektedir ve tane destekli bir doku sunmaktadır. İçerisindeki bu heterolitolojik malzemelerin Uludere Piroklastikleri'ne ait olduğu düşünülmektedir. Piroklastiklerin tabanından alınan obsidiyenlerden 24,4 My ile 25 My arasında yaşlar elde edilmiştir (Ercan vd., 1990; Biggazi vd., 1993). Hançili Formasyonu ile yer yer yanal yönde de ilişki sunan bu birimin yaşı Alt-Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir (Bilginer vd., 2002).



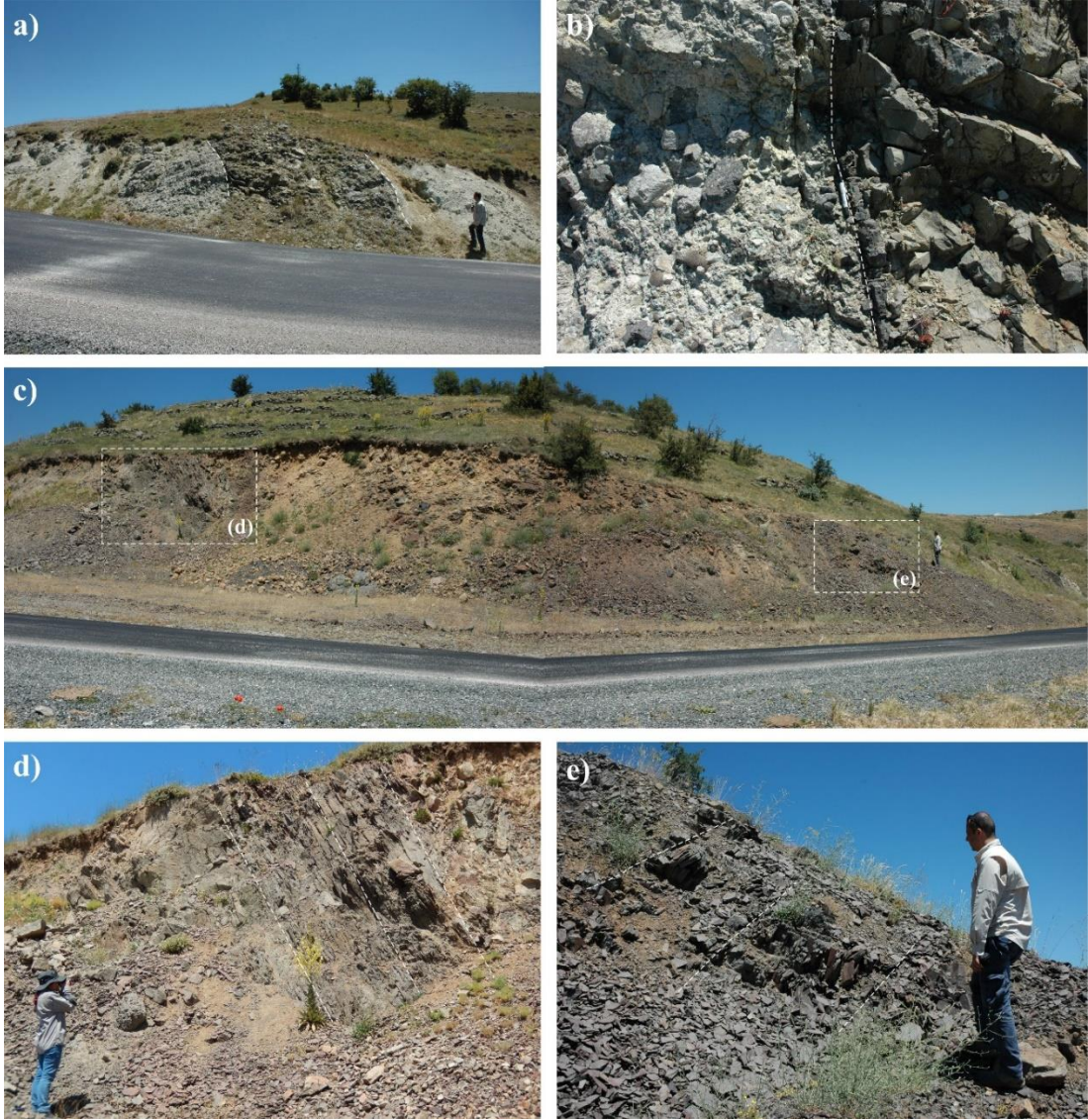
Şekil 4.3. a) Temel kayaçları, Uludere Piroklastikleri ve volkanik kayaçlar arasındaki stratigrafik ilişki, b) Andezitik birimleri tarafından üzerlenen Uludere Piroklastikleri, c) Heterolitolojik moloz akması çökelleri.

4.1.3 Tekke Volkaniti

Galatya Volkanik Provensi'nde gözlenen volkanik kayaçlar Türkecan vd. (1991) ve Akyürek vd. (1982, 1984) tarafından adlandırılmıştır. Arazi çalışmaları boyunca bu adlandırmalar kullanılarak araştırmalar gerçekleştirildiğinden, volkanik kayaçların stratigrafik ilişkilerinin ve petrografik karakteristiklerinin açıklanmasında da bu isimlendirmeler kullanılmıştır.

Provensin kuzeydoğu kesiminde, Korgun (Çankırı) kuzeyinde Şeyhyunus, Ericek ve Kese köyleri civarında (G31 a4 paftası) Hançili Formasyonu ve Uludere Piroklastikleri ile yer yer girik, yer yer de bu birimleri kesen dayklar şekilde oldukça altere riyolitik ve dasitik volkaniklere rastlanmıştır (Şekil 4.4). Bu birimler Akyürek vd. (1982, 1984) tarafından Tekke Volkaniti olarak adlandırılmıştır. Stratigrafik konumundan ötürü Erken Miyosen yaşlı

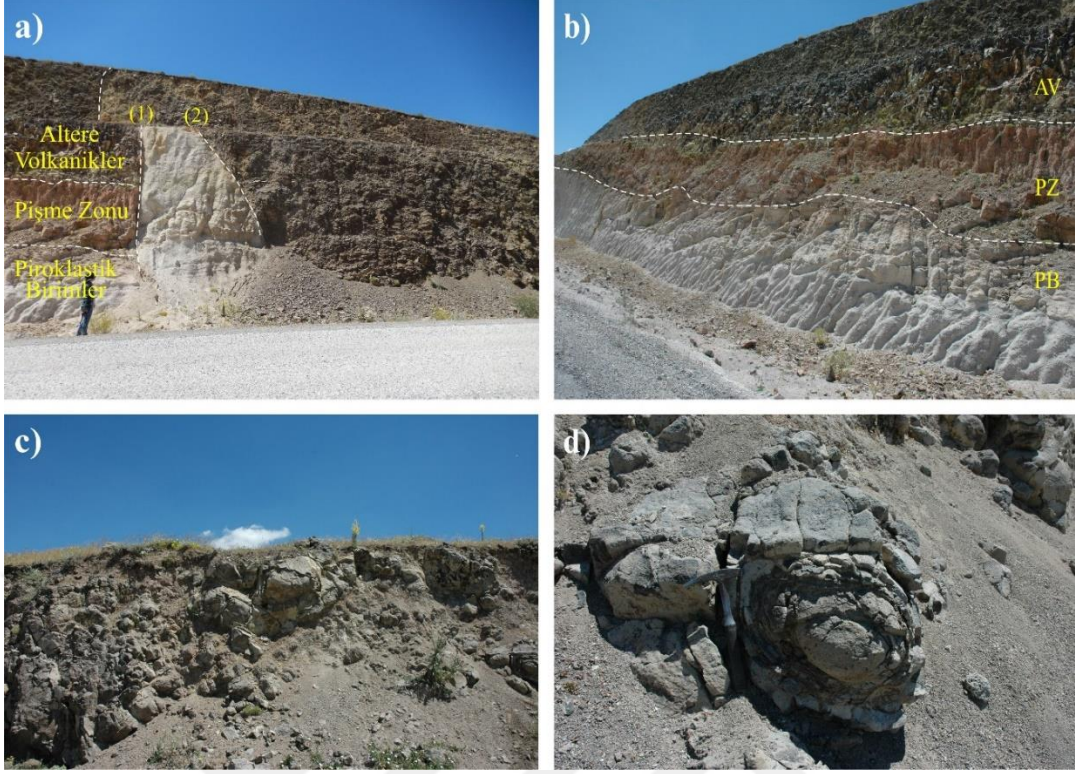
olduğu öne sürülen Tekke Volkaniti'ne ait olduğu düşünülen volkanikler, kendilerinden daha açık renkli, altere ve breşik yapıda bir volkaniklastik malzemenin içerisine sokulmuş vaziyette gözlenmektedir. El örneklerinde iri plajiyoklaz kristallerinin gözlendiği bir görünüm sunan bu kayalar üst kesimlerde mikrolit içeriği baskın lav akmaları şeklinde devam etmektedir.



Şekil 4.4. Volkaniklastik malzemenin içerisine sokulmuş, yaklaşık 3 metre eninde D-B uzanımlı dayk, b) İçerisine sokulmuş olduğu breşik malzeme ve daykın yakın görüntüsü, c) Zıt yönlerde volkaniklastik bir malzemenin içerisine sokulmuş dayklar, d,e) Bu daykların yakın görüntüsü

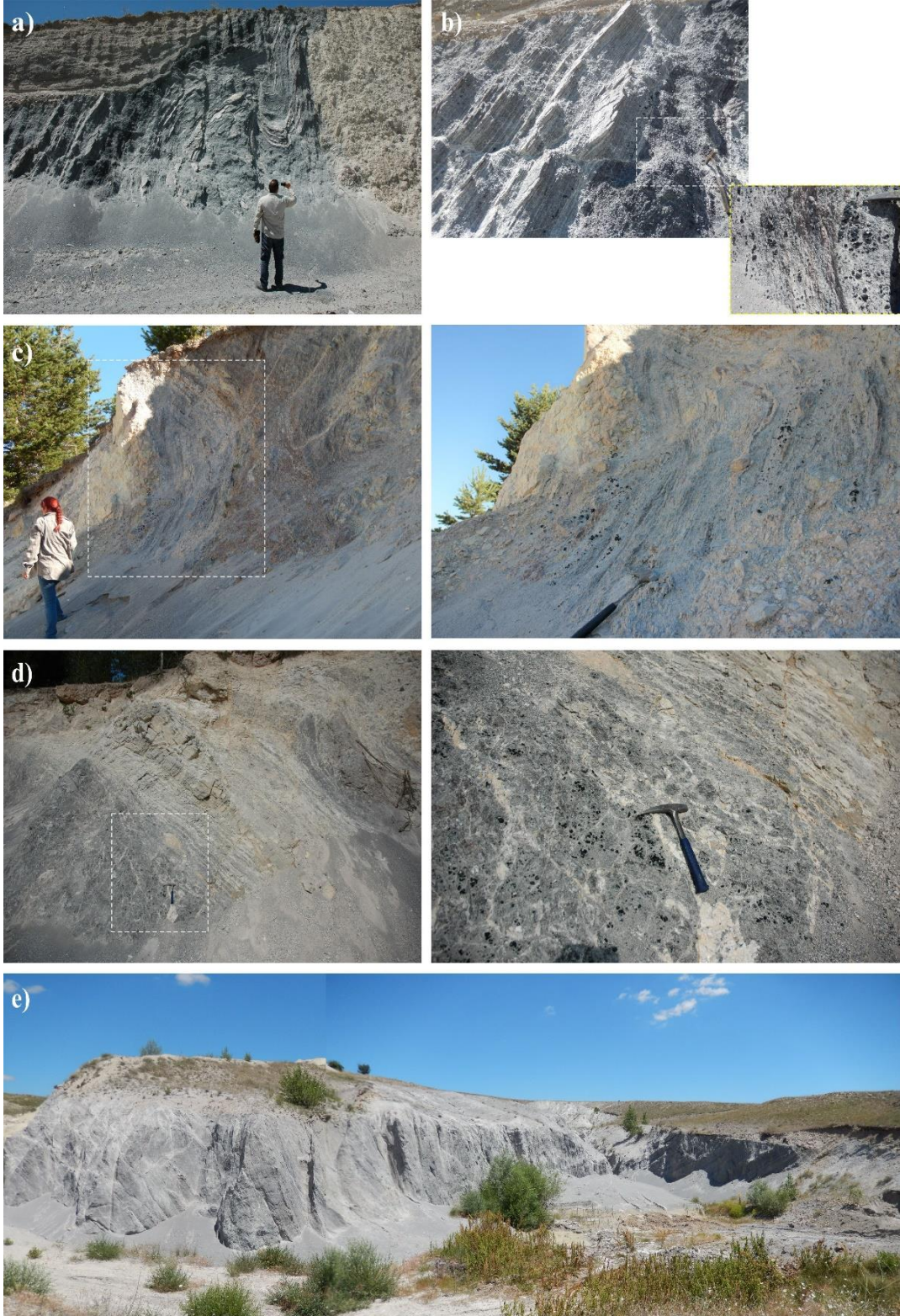
4.1.4 Karasivri Volkaniti

Sünürlü civarında (Orta ilçesinin kuzeyi) tabandaki piroklastik birimleri üzerler şeklinde altere lav akma ürünleri izlenmiştir. Beyaz, grimsi, pembe renkli riyolitik ve dasitik karakterdeki bu ürünler ile tabanda yer yer takip edilebilen piroklastikler arasında faylı dokanaklar tespit edilmiştir (Şekil 4.5a). Türkecan vd. (1991) tarafından Karasivri Volkaniti olarak adlandırılan bu birimlerin dasit, riyolit ve tüften oluştuğu belirtilmektedir. Yer yer katmanlı şekilde gözlenen bu volkanik kayalar ile piroklastik birimler arasında kalın bir pişme zonu göze çarpmaktadır. Oldukça altere olan bu volkanikler içerisinde yer yer soğan kabuğu şekilli (onion shape) alterasyon yapılarına rastlanmaktadır (Şekil 4.5b). Birimin yaşı fizyon izi yöntemi ile 17,9-23 My arasında tespit edilmiştir (Türkecan vd., 1991). Çamlıdere civarında bu birimin devamından alınan bir riyolit örneğinin K-Ar yöntemi ile yaşlandırmasını gerçekleştiren Varol (2006), birimin yaşını 22,45 My (Alt Miyosen, Akitaniyen) olarak belirlemiştir. Tekke Volkaniti ve Karasivri Volkaniti bölgede Erken Miyosen evresinde gelişen, asidik-ortaç karakterli yaygın volkanizmanın ürünlerini temsil etmektedir.



Şekil 4.5. a) Piroklastik birimler ile Karasivri Volkaniti'ne ait lavlar arasındaki K-G (1) ve K30B (2) uzanımlı faylanmalar, b) Bu faylı dokanağın devamında, piroklastikler ile lavlar arasındaki belirgin pişme zonu, c) Lavlarda gözlenen bozunmalar, d) Soğan kabuğu şekilli (onion shape) bozunmaların yakın görünümü.

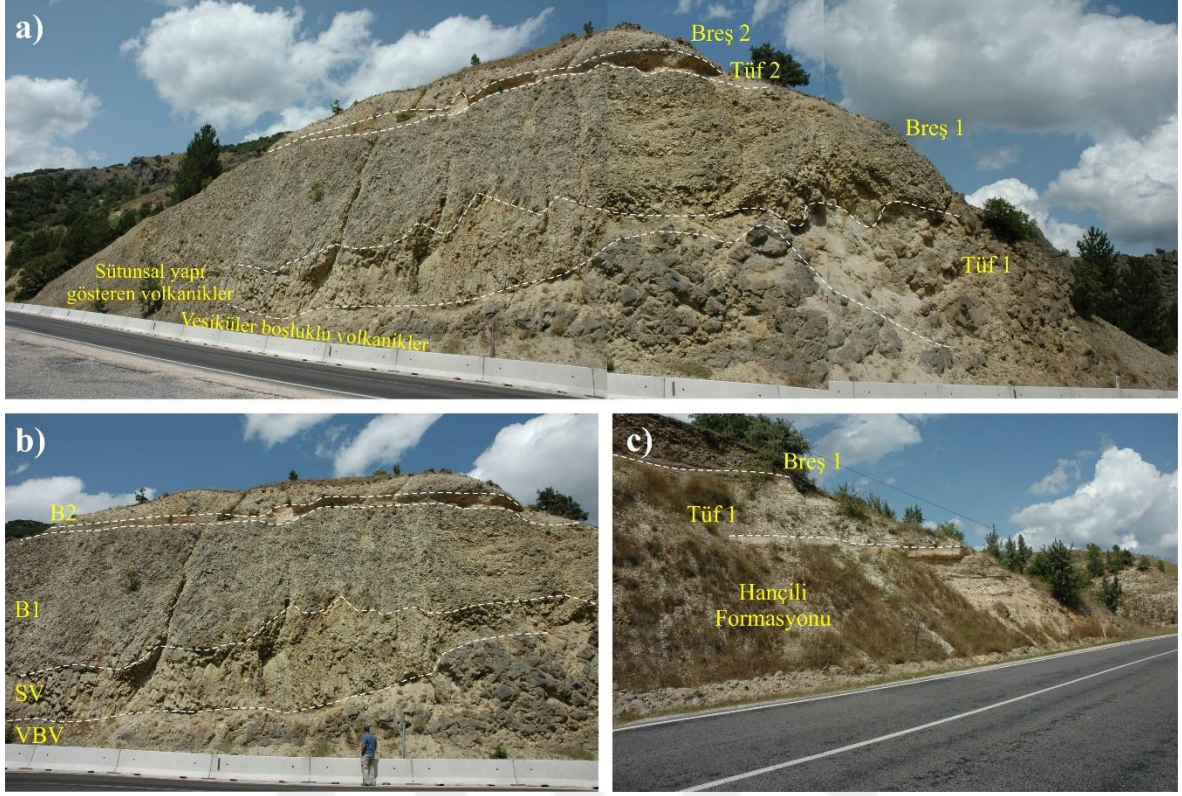
Karasivri Volkaniti'nde yer yer perlitleşmeler göze çarpmaktadır. Bölgedeki sıkışmalı tektonik rejimin etkileri, perlitleşen volkanik ürünler içinde kıvrımlar şeklinde izlenmektedir (Şekil 4.6). Deformasyona uğrayan bu birim bu alanlarda pekişmemiştir ve içerisinde kırılğan, sferoidal obsidiyenler barındırmaktadır (Şekil 4.6b, c). Yaygın bir endüstriyel hammadde olarak kullanılan perlitler, genellikle asidik volkanik ürünlerin oluşumu ve soğuması esnasında su ile olan etkileşim sonucunda kayacın yapısına su moleküllerinin girmesi ile oluştuğu ileri sürülmektedir (Bates, 1960; Richter, 1961). Bir başka görüş ise bu sürecin tamamen fiziksel şartlar altında gerçekleştiği, kayacın oluşumu esnasında su buharı ile gerçekleşen fiziksel etkileşimin perlitleri oluşturduğunu ileri sürmektedir (Mempel, 1968). Bu iki görüşün ortak yanı, asidik karakterdeki bir volkanik kayacın, ortamdaki su ile bir şekilde etkileşime girmesi ile perlitlerin oluşmasıdır. Türkecan vd. (1991) çalışma alanındaki perlitleşen bu kayaların hamurundaki silis miktarının yüksekliği sebebiyle, bu kayaların asidik karakterde olduğunu tespit etmiştir. Bölgede perlit ocaklarının varlığı, endüstriyel açıdan bu ürünlerden yararlanıldığını göstermektedir (Şekil 4.6e).



Şekil 4.6. a) Yaylakent (Orta, Çankırı) köyü çıkışında gözlenen perlitlerin içinde gözlenen kıvrım, b) Kıvrımın katmanlı yapısı ve içindeki kırılğan sferoidal yapılar, c) Sünürlü (Kurşunlu, Çankırı) köyünde perlitleşen volkaniklerde gözlenen kıvrım, d) Berçinçatak (Kızılcahamam, Ankara) yolu üzerinde perlitik seviyeler, e) Yaylakent köyü çıkışında terkedilmiş perlit ocağı

4.1.5 Ilıcadere Volkaniti

Beşkonak köyü (Kızılcahamam, Ankara) civarında bu bölgenin kuzeydoğu kesiminde birbirinden farklı özellikler gösteren lav serilerini içeren volkanik istiflere rastlanmıştır. Tabanda vesiküler boşluklu siyahımsı renkte bazaltik volkanikler ile başlayan istif, sütunsal soğuma gösteren sarımsı renkli bazaltik seri ile devam etmektedir. Bu iki bazaltik seri arasında belirgin bir erozyon düzlemi bulunmaktadır. Bu sebeple, sütunsal yapı gösteren bazaltik ürünler farklı bir patlama fazının ürünleri olmalıdır. Sütunsal yapı sergileyen bazaltik ürünlerin üzerine ince bir tuf tabakası gelmekte ve volkanik seri kalın bir breş seviyesi ile devam etmektedir (Şekil 4.7). Bu seri içerisinde yer yer tabakalı tuf serileri gözlenmekte ve tabakalı tuf çökelleri ortamdaki su varlığını işaret etmektedir. Aynı zamanda bu volkanik birimler, Hançili Formasyonu ile yer yer yanal geçiş göstermekte, yer yer de üzerlemiş pozisyonda izlenmektedir. Volkanik istifte breşik seviyeyi oluşturan patlamanın sonrasında devam eden sediman çökelimini, bir başka patlama süreci sonucu oluşan düşme çökelleri (fall deposit) izlemiştir. Bu birimler Türkecan vd. (1991) tarafından Ilıcadere Volkaniti olarak adlandırılmıştır. Gri, siyah, kahverengi renklerde, masif, yer yer bloklu cüruf biçiminde gözlenen lavların bazalt ve bazaltik andezit türünde olduğu ve göreceli olarak Orta Miyosen yaşlı olduğu belirtilmiştir (Bilginer vd., 2002). Varol (2006) Çamlıdere civarında bu birimlerden alınan trakitik ve trakiandezitik karakterli örneklerden yaptığı K-Ar analizi sonucunda 22,35 My ile 20,8 My (Akitaniyen- Erken Miyosen) yaşları elde etmiştir.



Şekil 4.7. a) Beşkonak civarında incelenen volkanik istif. Vesiküler boşluklu volkanik kayaç üzerine gelen ve sütunsal yapı gösteren volkanik kayaçlar ikinci bir fazı temsil etmektedir, b) Bu istifin KB'dan görünüşü. c) İstifin devamında tüf ve breşlerin üzerlediği Hançili Formasyonu'na ait sedimanter birimler.

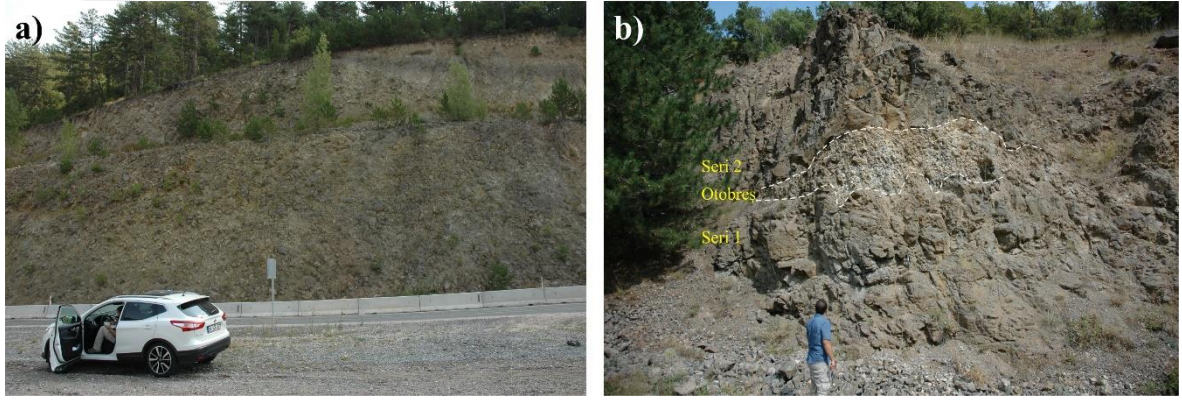
Ilıcadere Volkaniti'ne ait birimler bölgedeki en büyük ve en önemli patlama merkezlerinden birisi olan Ovacık Kalderası'nda da gözlenmektedir (Şekil 4.8a). Aşağı Ovacık Köyü civarında kaldera kenarına ait çökme olaylarını işaret eden breşler bulunmaktadır. Bu breşik yapılar kendinden yapılı ve matriks desteklidir. El örneklerinde iri mafik fenokristaller içerdiği gözlenen bu breşik yapılar kaldera çökmesi sırasında parçalanmış lav akma çökellerinden oluşmaktadır (Şekil 4.8b,c,d). Kaldera içinde dayk oluşumları da göze çarpmaktadır (Şekil 4.8e). Kaldera kenarı boyunca, kaldera içine doğru eğimli ve kaldera çökmesini takiben breşlere malzeme üreten lavlar gözlenmektedir (Şekil 4.8f).



Şekil 4.8. a) Ovacık Kalderası, b) Aşağı Ovacık Köyü çıkışında yolun iki yakasında gözlenen Ovacık Kalderası'na ait kaldera içi breşler, c) Koyu gri, kahverengi renkli kendinden yapıllı breşler, d) Bu breşlerin yakın görüntüsü, e) Kaldera kenarında gözlenen K10B doğrultulu bazaltik bileşimli dayk, f) Kaldera kenarı boyunca izlenen, breşlere malzeme üreten lavlar.

4.1.6 Deveören Volkaniti

Oğlakçı- Avdan arasında (Kızılcahamam, Ankara) lokal alanlarda, yeşilimsi, kahverengi renkli kalın lav akma çökelleri incelenmiştir (Şekil 4.9). Cam miktarı açısından zengin olan bu lavlar akma sürecinde kendi içerisinde parçalanarak otobreşleri oluşturmuş ve üzerlediği diğer lav serisinden bu şekilde ayrılmıştır. Bu otobreşler oldukça gaz boşluklu volkanik ürünlerden oluşmaktadır. Varol (2006) tarafından Erken Miyosen yaşlı olduğu K-Ar yaşlandırmasıyla ortaya koyulan bu dasitik, andezitik türü lavlar Türkecan vd. (1991) tarafından Deveören Volkaniti olarak adlandırılmış ve stratigrafik olarak Orta Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.



Şekil 4.9. a) Oğlakçı-Avdan arasında gözlenen kalın lav akma çökelleri, b) İki farklı seriden oluşan ve ikinci serinin oluşturduğu otobreşler ile ayrılan volkanik istif

4.1.7 Bakacaktepe Volkaniti

Çamlıdere (Kızılcahamam) mevki Meşeler Yaylası civarında (Ovacık Kalderası'nın güneydoğusu) andezitik kayaçlar gözlenmektedir (Şekil 4.10). Belirgin özşekilleri ile ayırt edilen iri hornblend fenokristalleri içeren, el örneklerinde grimsi, bejimsi renkler sunan bu dayk yaklaşık 4 metre yüksekliğe sahip olup, 10 metreye varan bir genişlik sunmaktadır. K20B uzanımlı bu sokulum, provens çapında yayılımı yüksek olan Bakacaktepe Volkaniti'ne aittir. Andezit, dasit, tuf ve aglomeradan oluştuğu belirtilen bu birimin yaşı stratigrafik açıdan Orta Miyosen olarak belirlenmiştir (Türkecan vd., 1991). Varol (2006) Çamlıdere civarında bu birimlerden alınan andezitik örneğin yaşını K-Ar yöntemi ile 14,5 My olarak belirlemiştir.



Şekil 4.10. Ovacık Kalderası güneydoğusunda gözlenen Bakacaktepe Volkaniti'ne ait olan andezitik dayk.

Süleler Köyü ve Karaağaç Köyü arasında (Güvem'in kuzeydoğusu, Kızılcahamam) Bakacaktepe Volkaniti'ne ait lavların gözlemlendiği ve yaklaşık 4 kilometre çapına sahip bir alanda bir patlama merkezine ait olduğu düşünülen volkanik ürünler incelenmiştir (Şekil 4.11). Pekışmemiş masif düşme (fall) çökelleri ile birlikte, ortamda su varlığını gösteren katmanlı lapilli tüflerin izlendiği piroklastik ürünlerin üzerine belirgin bir pişme zonu ile kahverengi, bejimsi lavlar gelmektedir (Şekil 4.11a, b). Bu lavlar yer yer masif ve vesiküler boşluklu, yer yer de vitrofirik dokulu gözlenmekte ve bazı alanlarda sarımsı renkleriyle altere şekilde gözlenmektedir. Lavlar tarafından üzerlenen piroklastik birimler yer yer normal faylar ile kesilmiştir (Şekil 4.11c). Hem masif hem de katmanlı tüflerin istif içerisinde gözlenmesi birden fazla patlama olayının gerçekleştiğini işaret etmektedir (Şekil 4.11d). Masif düşme çökelleri içerisinde boyları 7-10 cm'ye varan iri pümsler gözlenmekte ve patlama merkezine yakınlığı belirtmektedir. Ayrıca birkaç lokasyonda piroklastik birimleri kendinden yapıları otobreşlerin üzerlediği gözlenmektedir (Şekil 4.11e, f). Bu breşler birkaç santimetre boyundan, patlama noktasına yakın olduğu düşünülen alanlarda 2-3 metreye varan mega breşler şeklinde boyutlar sergilemektedir. Galatya Volkanik Provensi'ni oluşturan volkanik merkezlerden biri olduğu düşünülen bu bölgede sil ve dayklar şeklinde

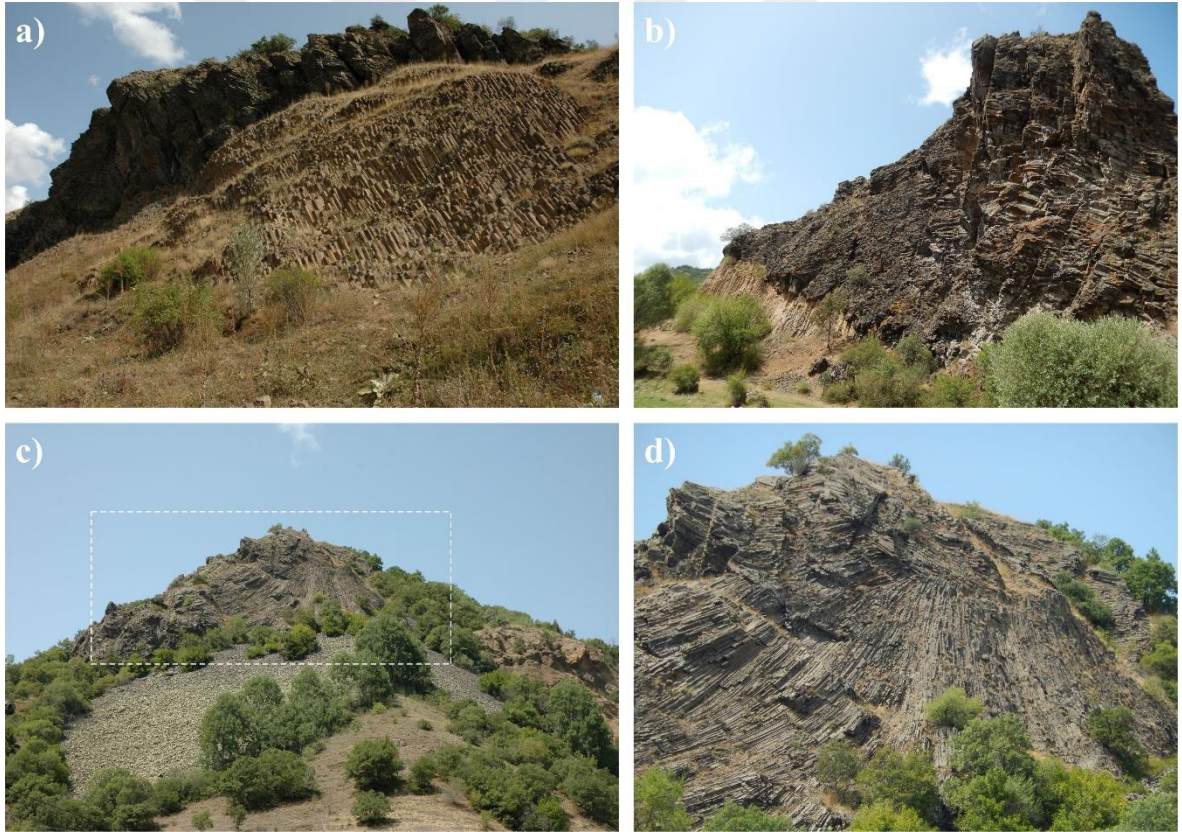
intrüzifler de bulunmaktadır (Şekil 4.11g, h). Bu intrüziflerin patlama sürecini takip eden son volkanik evrede sokulum yapan lavlar olduğu düşünülmektedir. Bu sokulumların etrafındaki volkanik birimler belirgin bir şekilde altere olmuşlardır.



Şekil 4.11. Süleler- Karaağaç arasında gözlenen patlama merkezine ait volkanik birimler. a) Belirgin bir pişme zonu ile piroklastikleri üzerleyen lavlar, b) Kırmızımsı rengi ile belirgin bir şekilde ayırt edilen pişme zonu, c) Normal faylar ile kesilmiş ve içerisinde iri pümislerin gözlendiği masif düşme çökelleri, d) Katmanlı lapilli tüfler ve arasındaki masif düşme çökelleri ve yakın görünümü, e) Piroklastikleri üzerleyen breşik seviyelerdeki mega breş, f) Takip edilen breşik seviyeler içinde gözlenen diğer mega breşler, f) Dayk şeklinde bir intrüzif, g) Altere lavların içerisine sokulmuş bir sil.

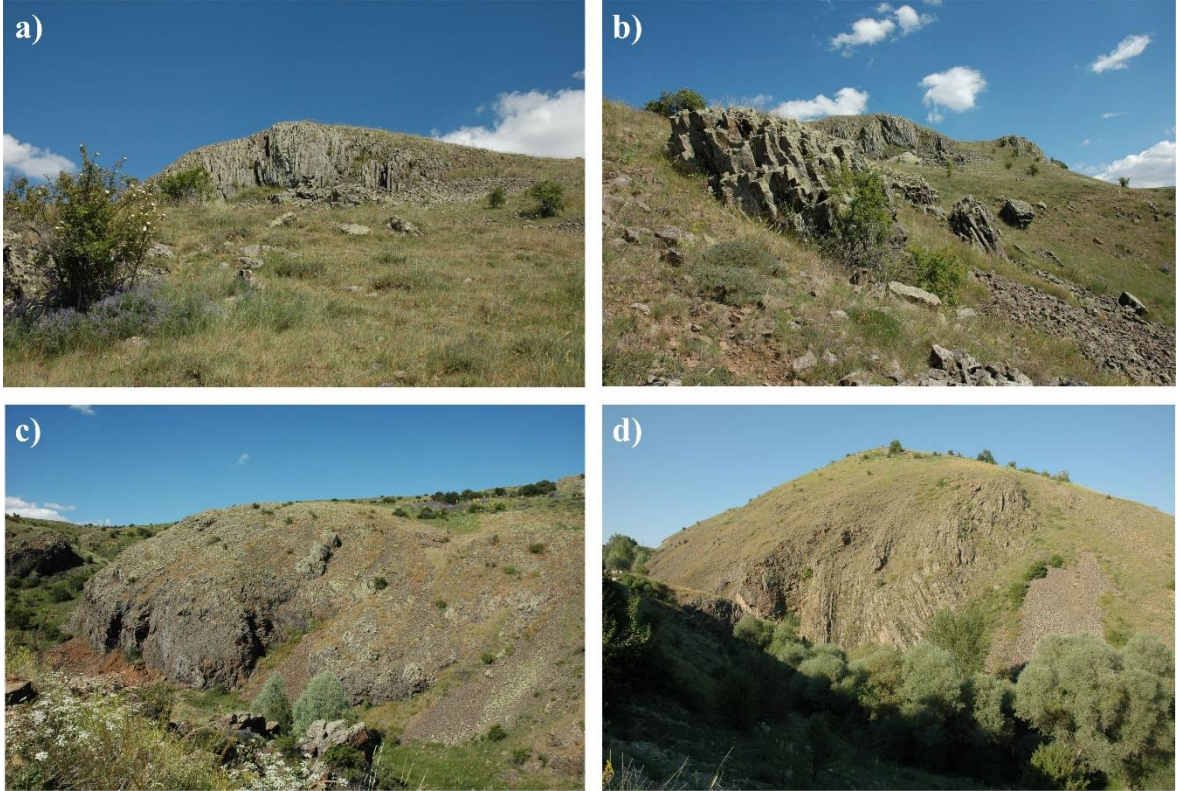
4.1.8 Özlü Bazaltı (Sabuncudere Bazaltı)

Güvem (Kızılcahamam, Ankara) Sabuncudere civarında bölgedeki son evre volkanizmayı temsil ettiği düşünülen ve ülkemizdeki önemli jeositlerden olan bazalt sütunları bulunmaktadır (Şekil 4.12). Sabuncudere'nin her iki yakasında bulunan bu bazaltların alt seviyeleri daha altere, üst seviyedeki diğer fazı oluşturan bazaltlar ise daha koyu renkli, yataya yakın sütunlar şeklinde ve afirik karakterdedir. Bu birbirinden farklı iki sütunsal oluşumlar, farklı volkanik süreçler ile ilişkili olmalıdır. Sütun bazaltlar jeositinden yaklaşık 300 metre kuzeydoğuda bu sütun bazaltları oluşturabileceği düşünülen bir çıkış merkezi (feeder dyke) bulunmaktadır (Şekil 4.12c). Bu çıkış merkezinin ve benzer yapıların sütun bazaltları oluşturacak lav göllerini besleyen kaynakları oluşturabileceği düşünülmektedir.



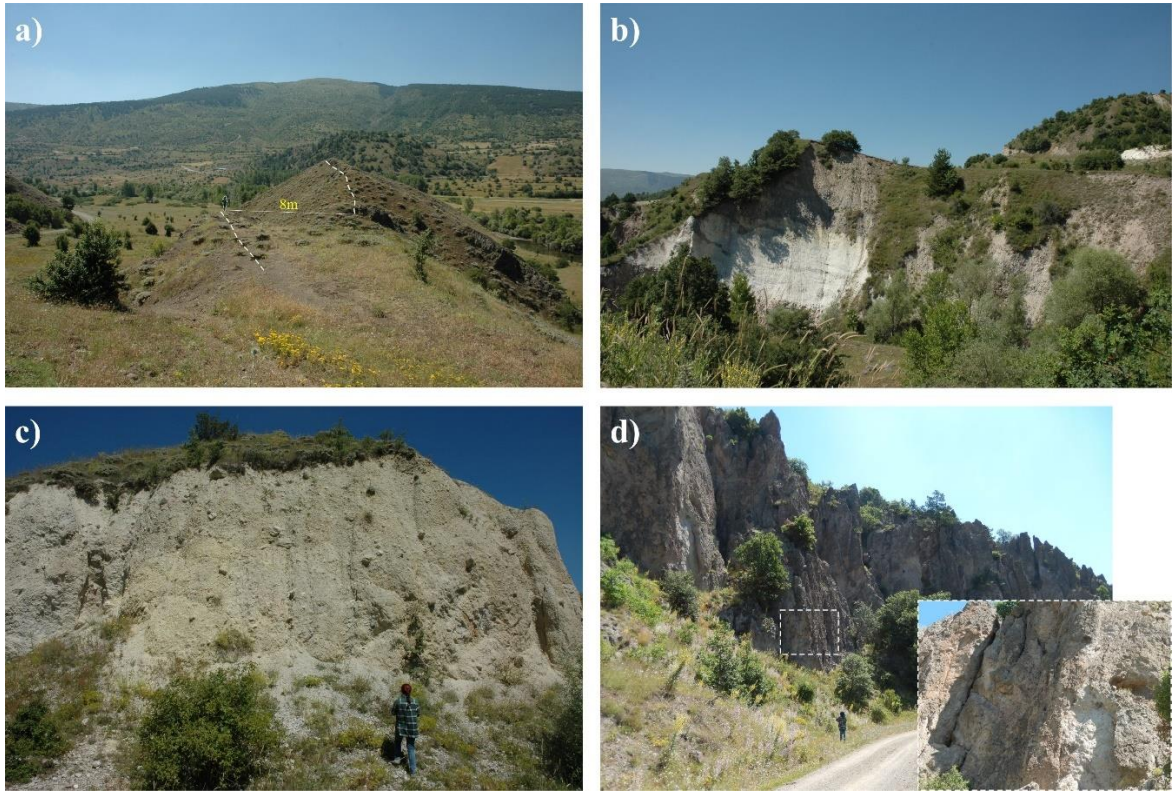
Şekil 4.12. a) Güvem Sabuncudere mevkinde bulunan bazalt sütunları jeositi. Alt seviyede daha açık renkli ve altere olmuş sütunlar görülmektedir, b) üst kesimde daha koyu renkli ve yataya yakın şekilde bulunan ikinci bir sütun oluşumu, c) jeosite yaklaşık 300 metre uzaklıkta, bu sütun bazaltları oluşturan lav göllerini beslediği düşünülen çıkış merkezlerinden bir tanesi, d) çıkış merkezinin yakın görünümü

Galatya Volkanik Provansı kuzeydoğusunda son volkanik evreye ait bazaltik ürünler genellikle intrüzifler şeklinde sokulum yapmış şekilde veya Erken Miyosen serilerine göre az hacimde lav akma çökelleri şeklinde gözlenmektedir (Şekil 4.13). Orta (Çankırı) ve Çerkeş (Çankırı) civarında gözlenen bu bazaltik volkanikler Türkecan vd. (1991) tarafından Özlü Bazaltı olarak adlandırılmış ve bazaltlardan oluştuğu belirtilmiştir. Stratigrafik olarak Üst Miyosen yaşlı olarak kabul edilen bu bazaltik ürünler, yer yer gaz boşluklu yer yer de iri olivin ve piroksen fenokristalleri içeren el örnekleri ile temsil edilmektedir. Gaz boşluklu bazaltik volkaniklerde kalsit, zeolit gibi ikincil mineral dolguları gözlenmiştir. Özellikle Yaylakent köyü mevkiinde (Orta) kalın dayklar şeklinde bu birime ait intrüzifleri görmek mümkündür. Farklı yönlerde sokulum yapmış bu intrüzifler yüzeye ulaştığı zaman lav şeklinde akarak akma çökellerini oluşturmuştur.



Şekil 4.13. Galatya Volkanik Provansı son evre volkanik ürünlerinden Özlü Bazaltı'na ait sokulumlar. a) Orta Yaylakent civarında gözlenen farklı yönlerde sokulum yapmış intrüzifler, c) Yüzeye ulaşmış intrüziflerin akma ürünleri, d) Yeniköy civarında gözlenen, intrüzifler ve lav akma çökelleri

Son evreye ait olan bu volkanik seri Galatya Volkanik Provensi'nin kuzey kenarını sınırlayan Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca, özellikle Çerkeş (Çankırı)- Eskipazar (Karabük) arasında fay zonunun güney ve kuzey yakasında küçük mostralar şeklinde yüzlek vermiştir. Bu alkali bazaltik volkanikler, bu bölge boyunca KAFZ tarafından kesilmiş ve yer yer bazı mostraları fay zonu üzerinde gözlenen atımdan etkilenmiş şekilde gözlenmektedir (Şekil 4.14a). Yıprak mevkiinde (Çerkeş- Çankırı) bu bazaltik volkanikler piroklastik birimleri üzerlemektedir (Şekil 4.14b). KAFZ boyunca, Gerede Çayı'nın iki yakası boyunca izlenebilen kalın piroklastikler muhtemelen yaşlı volkanik evreye aittir (Şekil 4.14c).



Şekil 4.14. Yıprak civarında gözlenen KAFZ üzerindeki atım sebebiyle yaklaşık 8 metre atıma uğrayan son evreye ait lavlar, b) KAFZ boyunca yer yer piroklastik birimleri üzerleyen kahverengi bazaltik volkanikler, c) Yıprak civarında gözlenen piroklastikler, d) Fay zonu boyunca gözlenen piroklastik birimler ve içyapısı

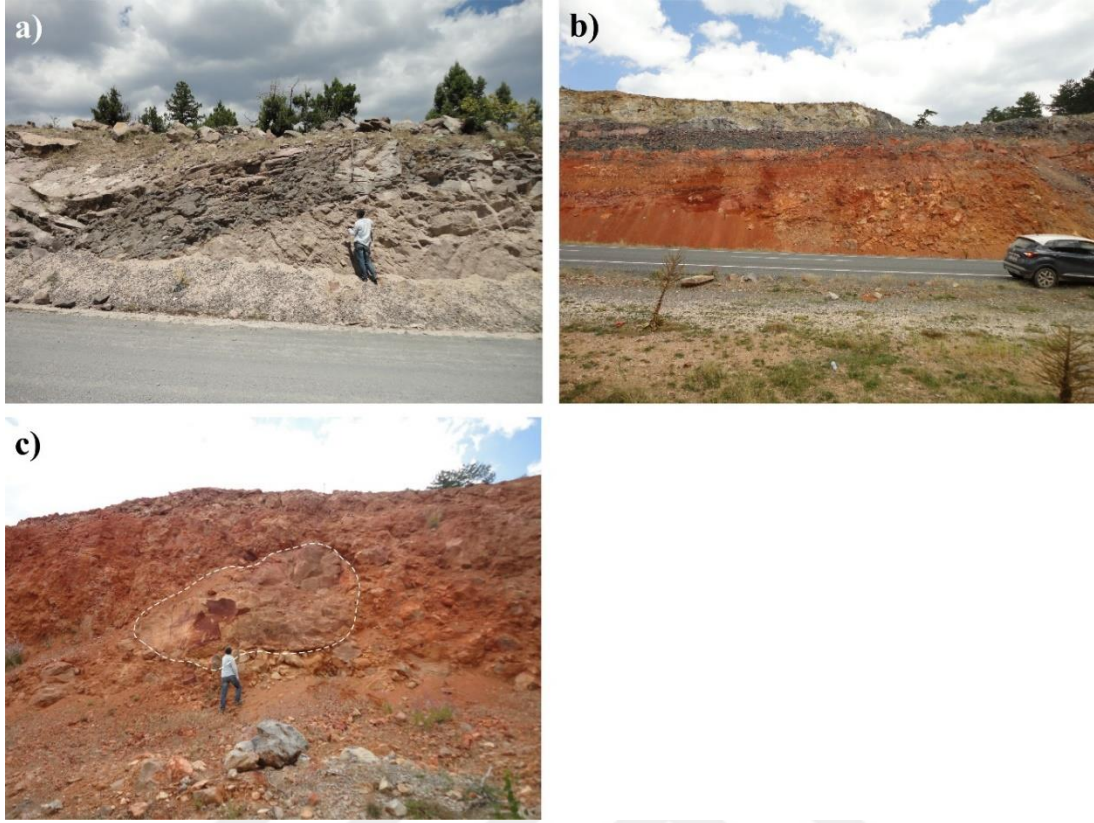
4.2 Galatya Volkanik Provensi'nin Batı Kesiminin Volkanostratigrafisi

Galatya Volkanik Provensi'nin batı kesiminde, Kıbrısık ve Köroğlu civarında ise geniş ormanlık alanlarda çalışmanın zorluğu sebebiyle literatürde yer alan gözlemler ve örneklemeler oldukça azdır. Bölgede bu tez kapsamında yürütülen çalışmalarda, Köroğlu

Volkanik Merkezi'nde belli hatlar belirlenerek incelemeler yapılmış ve burada yüzlek veren kayaçlar hakkında gözlemler gerçekleştirilerek, volkanik serilere ait kayaçlardan numuneler alınmıştır. MTA 1/100000 ölçekli jeoloji haritalarından G27 paftasını kapsayan bu alanda, lokal alanlarda Deveören Volkaniti'ne geniş alanlarda ise Bakacaktepe Volkaniti'ne ait volkanik kayaçlar incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında yürütülen jeokimyasal çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre yapılan kayaç adlandırılması sonucunda bölgedeki kayaçların provenstekteki erken evre volkanizmasını gösterir şekilde ortaç karakterdeki andezitler ve dasitler olduğu belirlenmiştir ve alkali karakterde volkanik ürünlere rastlanmamıştır.

4.2.1 Deveören Volkaniti

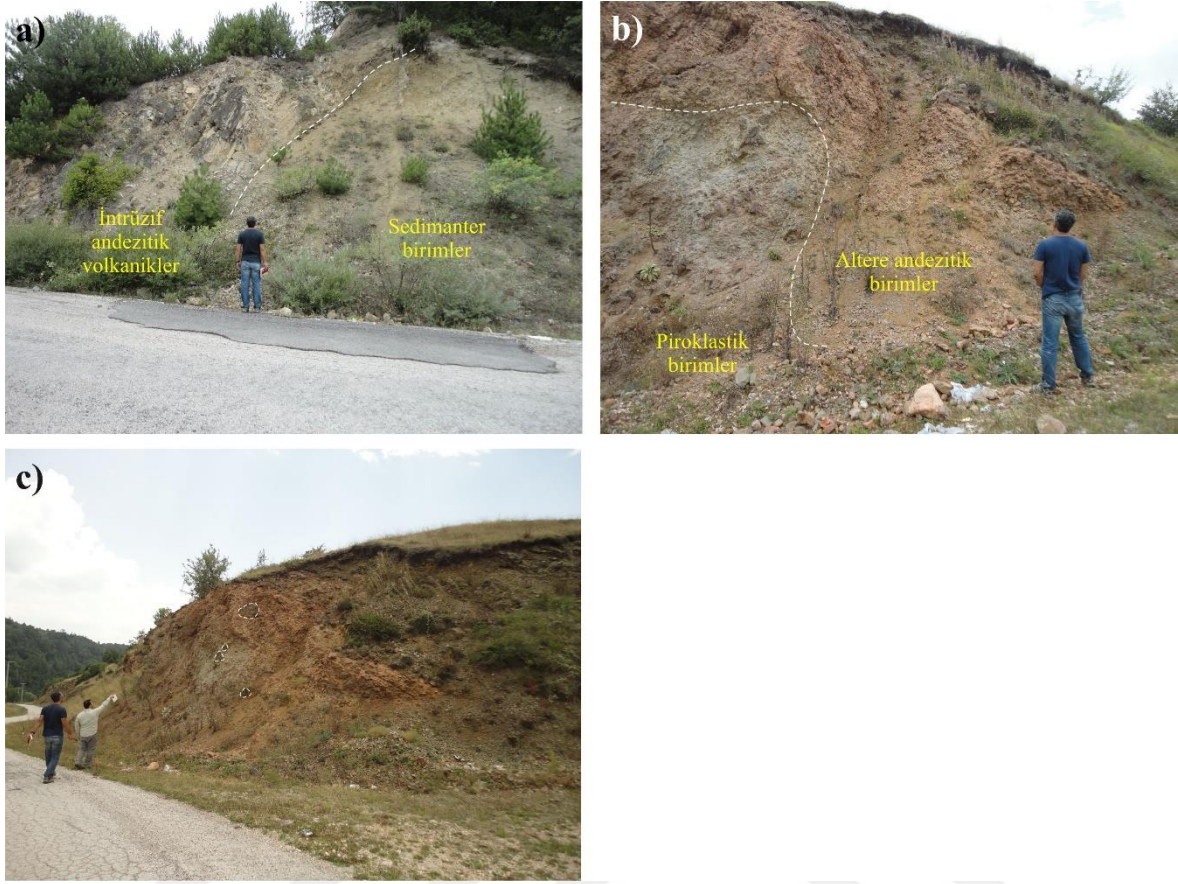
Kıbrısık'ın güneybatısında, Kızılcaören (Bolu) civarında Galatya Volkanik Provensi'nde lokal alanlarda yüzlek veren ve Türkecan vd. (1991) tarafından adlandırılan Deveören Volkaniti'ne ait dasit, andezit türü kayaçlar incelenmiştir (Şekil 4.15a). Orta Miyosen yaşlı olduğu öne sürülen bu kayaçlar, bölgede yer yer camsı dokulu, vesiküler boşluklu şekilde yer yer de yoğun bir şekilde alterasyona uğramış olarak gözlenmektedir. Altere olan kayaçlar belirgin turuncu rengiyle dikkat çekmektedir (Şekil 4.15b). Kızılcaören civarında, bu birimler içerisinde boyu 3 metreye varan mega breşler tespit edilmiştir (Şekil 4.15c).



Şekil 4.15. a) Beyaz, gri renkli camsı ve yer yer katmanlı şekilde gözlenen lavlar, b) Kızılcaören civarında gözlenen yoğun şekilde altere olmuş volkanikler, c) Bu volkaniklerin içinde gözlenen, boyutları 3 metreye varan bir megabreş

4.2.1 Bakacak Tepe Volkaniti

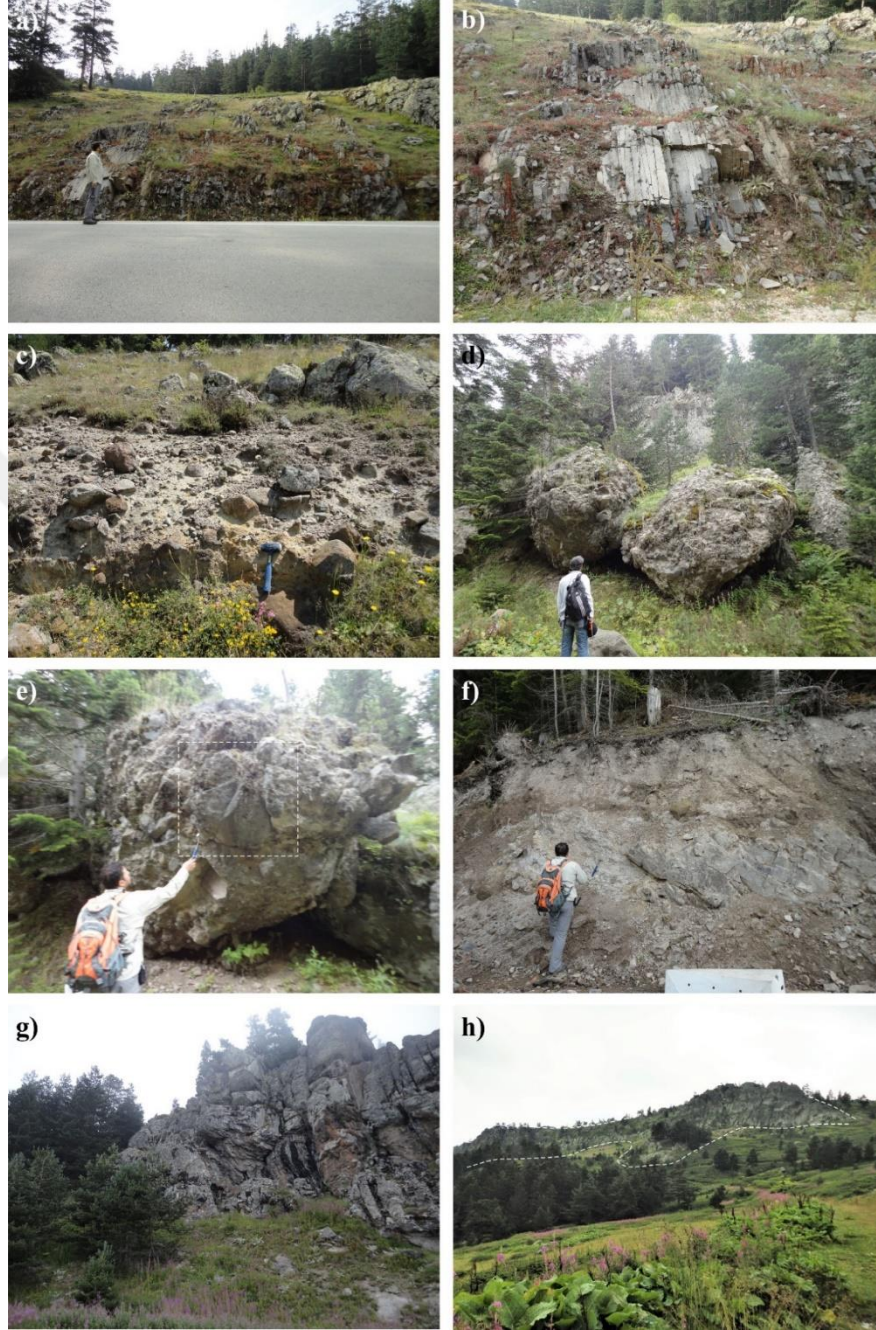
Provensin kuzeybatısında, Bürnük mevkii (Bolu) dolaylarında altere, ilksel dokusunu tamamen kaybetmiş, intrüzif şeklinde sokulum yapmış andezitik birimler incelenmiştir. Bu intrüzifler sedimanter birimler ile kontakt halindedir (Şekil 4.16a). Kırmızı- turuncu alterasyon rengiyle, yer yer de kloritleşmeler ile karakterize edilen bu andezitik ürünler, Köroğlu Volkanik Merkezi'nin alt seviyelerinde, yer yer piroklastikleri üzerler şekildedir (Şekil 4.16b). Ayrıca patlama ürünü olabilecek 70 santimetreye varan büyüklükte bloklar bu andezitik ürünlerin içerisinde göze çarpmaktadır (Şekil 4.16c).



Şekil 4.16. a) Bürnük yol ayırımında intrüzif şeklinde yüzlek veren andezitik kayalar ve sedimanter kayalar ile olan ilişkisi, b) kırmızımsı- turuncu alterasyon rengi ile ayırt edilen andezitik kayalar ile üzerlediği piroklastikler, c) bu altere andezitik volkanikler içinde yer alan, boyutları 70 santimetreye varan patlama ürünü bloklar.

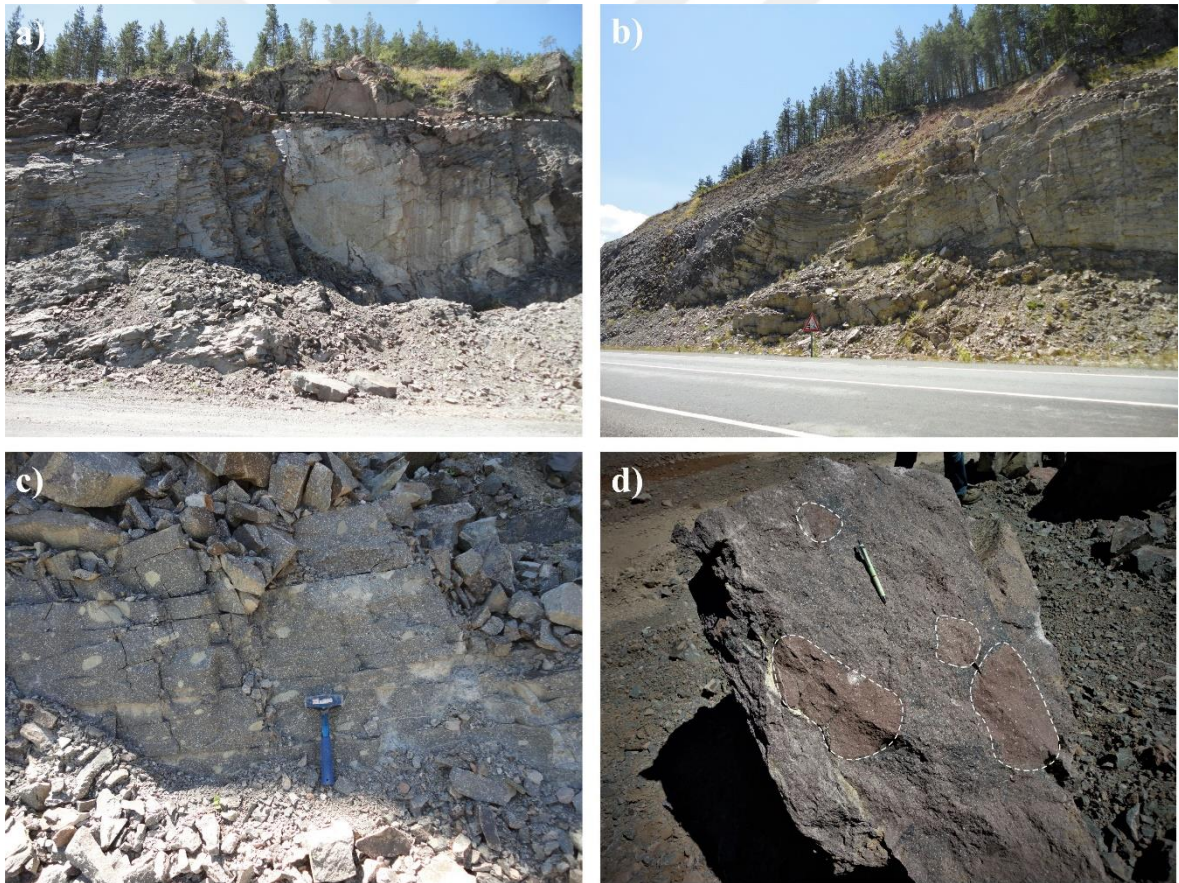
Köroğlu Volkanik Merkezi'nde yapılan gözlemlerde, tipik bir patlama merkezine ait ürünlere rastlanılmıştır. Volkanik serinin alt seviyelerinde, Kartalkaya mevki civarında filonlar şeklinde sokulum yapmış beyazımsı, grimsi renkli andezitik birimler göze çarpmaktadır (Şekil 4.17a, b). El örneklerinde iri amfibol kristalleri ile tipik olan bu andezitik ürünlerin devamında, içerisinde 2 metreye varan boyutlarda heterolitolojik bloklar içeren blok ve kül akıntı ürünleri takip edilmektedir (Şekil 4.17c). Alt seviyelerde daha çok bağlayıcı destekli şekilde gözlenebilen bu blok ve kül akıntıları, Köroğlu Volkanik Merkezi'nin üst kesimlerinde daha iri bloklar içermektedir (Şekil 4.17d). Bu iri bloklarda gözlenen radyal çatlaklar, bu ürünlerin sıcak olarak yerleştiğini ve soğuma sürecinin yerinde gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 4.17e). Ortaç karakterdeki lavlar ise bu blok ve kül akıntı ürünlerini üzerlemektedir (Şekil 4.17f). Köroğlu Volkanik Merkezi'nin en yüksek

noktasında ise, volkanik çıkış merkezlerini temsil edecek şekilde, yüksekliği 5-6 metreye varan intrüzifler şeklinde ortaç karakterdeki lavlar gözlenmektedir (Şekil 4.17g, h).



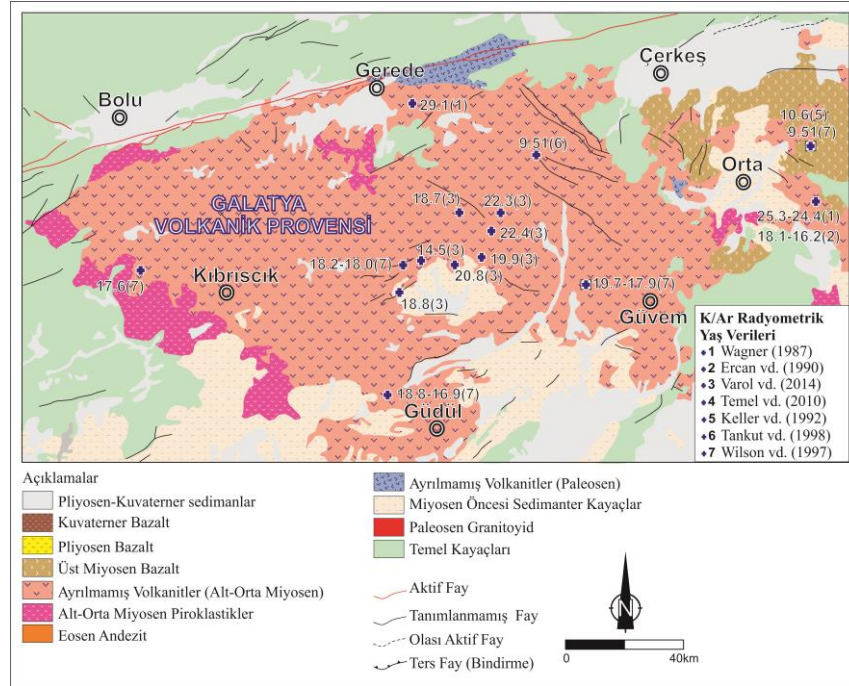
Şekil 4.17. a) Köroğlu Volkanik Merkezi alt seviyelerinde gözlenen filon şeklindeki andezitik intrüzif, b) Gri renkli andezitik intrüzifin yakın görünümü, c) Bağlayıcı destekli blok ve kül akıntısı, d) İri blokları içeren blok ve kül akıntısı, e) İri bloklarda yer yer gözlenen, sıcak yerleşimi gösteren radyal çatlaklar, f) Blok ve kül akıntıları üzerine gelen ortaç karakterli altere volkanikler, g) Kartalkaya mevkii en üst seviyelerde gözlenen iri andezitik intrüzif, h) Köroğlu Volkanik Merkezi en üst seviyelerinde gözlenen intrüzifler

Köroğlu Volkanik Merkezi'nin batı kesiminde, Kıbrısık- Seben ayrımı yakınında Karaköy (Bolu) civarında, volkanik merkezin alt seviyelerine ait farklı lav seviyeleri incelenmiştir. İki farklı volkanik evrenin gözlendiği bu lav serisinin alt seviyesi grimsi yer yer siyahımsı renkli, iri plajiyoklaz kristalli ve altere, üst kesimi ise camsı dokulu ve pembemsi-bej renklidir. Grimsi lavlar, bu pembemsi renkteki lav seviyesinin içerisine intrüzifler şeklinde sokulum yapmıştır (Şekil 4.18a, b). Bu sebeple gri renkli lavların alt kesimde gözlenmesine rağmen, pembemsi lavlardan daha genç olduğu düşünülmektedir. Ayrıca koyu renkli lavların içinde, pembe renkli kayaktan koparıp, bünyesine aldığı ancak özümlememiş parçalar bulunmaktadır (Şekil 4.18c, d). Bu volkanik seriyi oluşturan volkanik kayaların andezit ve trakiandezitten oluştuğu belirlenmiştir. İçerisinde bulunan anklavların altere olmasından dolayı, bu volkanik seriden alınan numune yeterince altere kısımlarından temizlenemediği için kimyasal analizi yaptırılmamıştır.



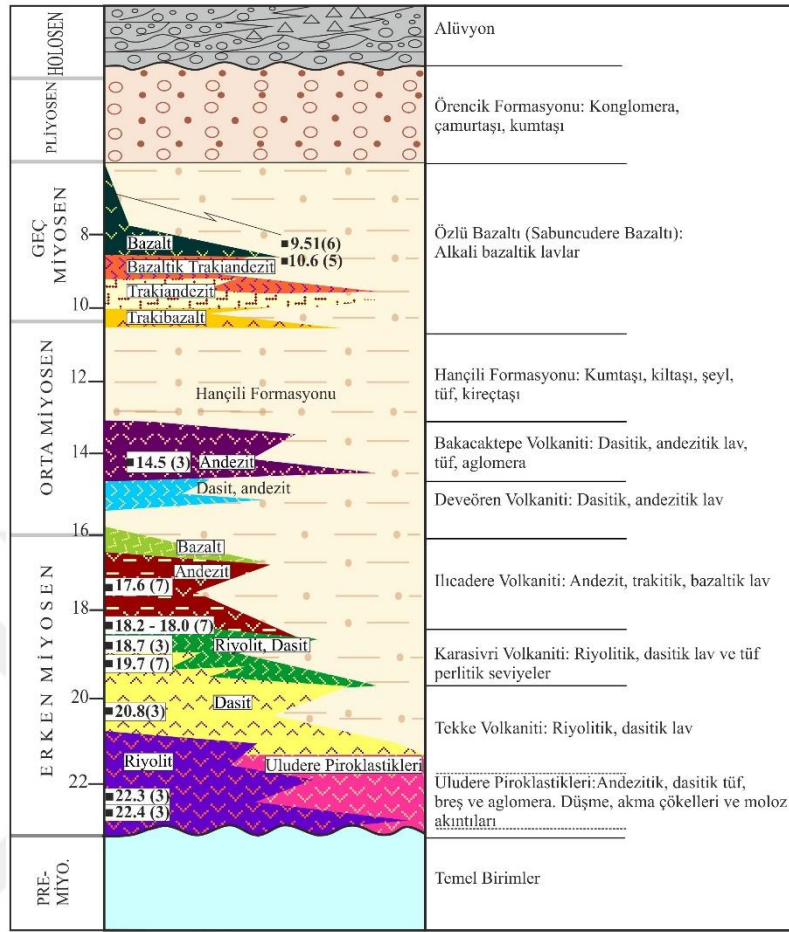
Şekil 4.18. a) Karaköy (Kıbrısık, Bolu) civarında incelenen, gri renkli lavların pembemsi lavlar içerisine sokulum yaptığı volkanik seri, b) Gri renkli lavların oluşturduğu sokulum, c) Genç lavların içinde özümselemeyen pembemsi, daha yaşlı olan lava ait parçalar, d) Boyları 40 santimetreye varan anklavlar.

Galatya Volkanik Provensi doğu ve batı kesiminde incelenen birimlere ait literatürde yer alan yaşların görüldüğü jeolojik harita Şekil 4.19’da, bu bölgeye ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitler Şekil 4.20’de verilmektedir. Volkanik istif, provens boyunca bu çalışmada alınan volkanik kayaç numunelerinin ait olduğu formasyonlar, literatürdeki yaş verileri ve jeokimyasal analizler sonucunda yapılan kayaç adlandırmaları temel alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmalara göre, provensin Çankırı- Kızılcahamam (Ankara) civarında volkanik istif Erken Miyosen yaşlı riyoitik ve dasitik birimler ile başlamakta ve ortaça karakterdeki trakiandezit, trakit-trakidasit ve andezitler ile devam etmektedir. Geç Miyosen serilerini temsil eden bazaltik karakterdeki alkali ürünler ise trakibazalt, bazaltik trakiandezit ve bazalt şeklinde yüzlek vermektedir. Tüm bu birimler Hançili Formasyonu’na ait sedimanter birimler ile arakatkılı veya bu birimi üzerler şekilde bulunmaktadır. Provensin batı kesiminde ise, Erken-Orta Miyosen evresini temsil eden volkanik kayaçlar bulunmaktadır. Genel olarak dasit, andezit, trakit, trakidasit gibi erken evre volkanik serilerine ait ortaça ve asidik karakterdeki volkanik kayaçların yüzlek verdiği provensin bu kesiminde, hacimce az oranda bazik karakterdeki volkanik ürünlere de rastlanmaktadır (bazaltik trakiandezit). Köroğlu Volkanik Merkezi’nin, Galatya Volkanik Provensi’nin erken evresini temsil eden ilk ürünleri meydana getirdiği düşünülmektedir.

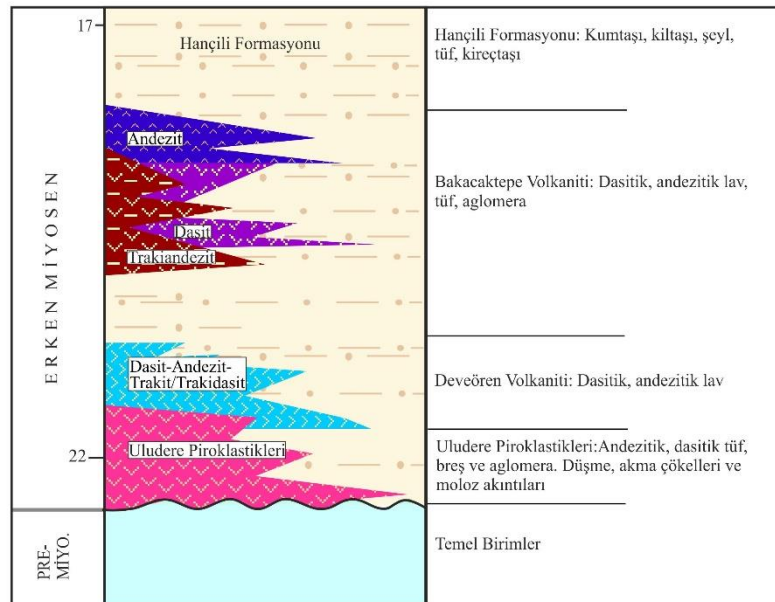


Şekil 4.19. Galatya Volkanik Provensi'nde yürütülmüş çalışmalarda yapılan K/Ar radyometrik yaş tayinleri sonuçları

a)



b)



Şekil 4.20. a) Galatya Volkanik Provensi doğu kesimi (Kurşunlu, Çerkeş, Orta, Kızılcahamam) geliştirilmiş stratigrafik kesiti, b) Provensin batı kesimi (Köroğlu, Kıbrısık) geliştirilmiş stratigrafik kesiti (kesitlerin oluşturulmasında alınan örneklerin ait olduğu formasyonlar ve bunların literatürdeki yaşı temel alınmıştır. Ölçeksizdir.)

5. PETROGRAFİ

Galatya Volkanik Provensi'nin kuzey, kuzeydoğu, doğu ve batı kesiminde yürütülen arazi çalışmaları esnasında her bir volkanik seriyi temsilen alınan kayaç numunelerinden petrografik inceleme amaçlı hazırlanan ince kesitler, polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Volkanik kayaç numunelerine ait karakteristik özellikler, mineral birliktelikleri ve alterasyonlar tespit edilmiş ve görüntülenmiştir. Kayaç gruplandırmasında, Bölgesel Jeoloji bölümünde anlatıldığı şekilde, formasyon adlandırmaları temel alınmıştır. Petrografik incelemeler, en yaşlı kayaç grubundan (sub-alkali seri) en genç gruba (alkali seri) doğru anlatılmıştır. Tüm kayaçlarda porfirik doku gözlenmektedir.

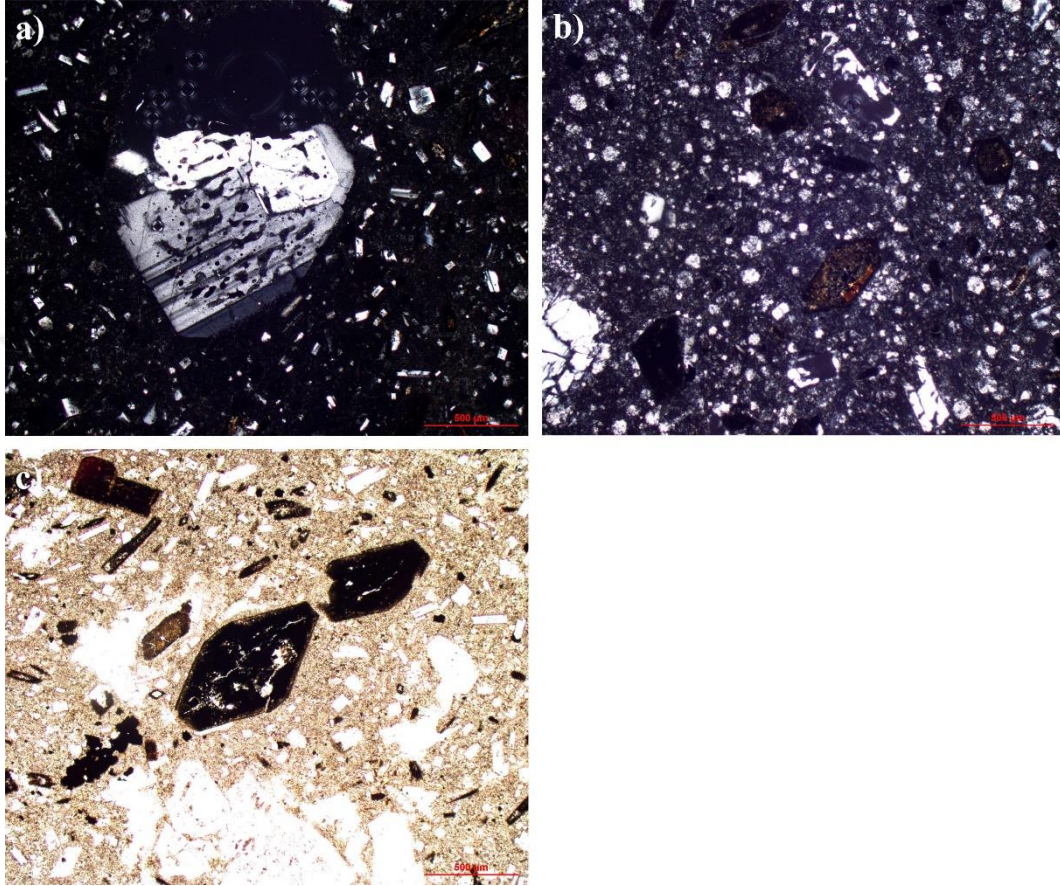
5.1 Riyolitik Birimler

Galatya Volkanik Provensi'nde incelenen riyolitik birimler, çok nadir olarak çalışma alanının kuzeydoğu ucunda, Çerkeş'in kuzeydoğusunda Aşağıkayı köyü ve Kayaönü köyü civarında gözlenmiştir. Bu birimler oldukça alteredir ve bu alterasyondan etkilenmemiş ve petrografik gözlem yapabilmek için ayrılması gereken numune oldukça zor elde edilmiştir. Provensin volkanik evriminin ilk ürünlerinden olan kalkalkali karakterdeki ve muhtemelen Erken Miyosen yaşlı bu riyolitik birimlerde gözlenen mineral birlikteliği plajiyoklaz+ kuvars+ oksit mineralleri şeklindedir. Hamurda neredeyse hiç mikrolit bulunmamaktadır ve kayaçlara vitrofirik doku hakimdir.

Plajiyoklazlar iri fenokristaller şeklinde, genellikle yarı özşekilli çubuksu kristaller şeklinde yer yer az miktarda ince kristaller şeklinde hamurda gözlenmektedir. Çok nadir zonlu doku sergilemekle birlikte, genellikle polisentetik ikizleri ile tipiktir. Nadir olarak oksit mineral kapanımları içeren feldispatlarda cam kapanımları oldukça yaygındır (Şekil 5.1a).

Kuvars mineralleri genellikle ince kristaller şeklinde, kenarları neredeyse tamamen yuvarlaklaşmış ve temiz yüzeyli kristaller sergilemektedir (Şekil 5.1b).

Oksit mineralleri çoğunlukla özşekilli, altıgen kristaller (amfibol) veya çubuksu kristaller (biyotit) ile tipiktir ve yer yer orta tane boyutunda veya hamurda ince kristaller şeklinde dağılmış halde bulunmaktadır (Şekil 5.1c).



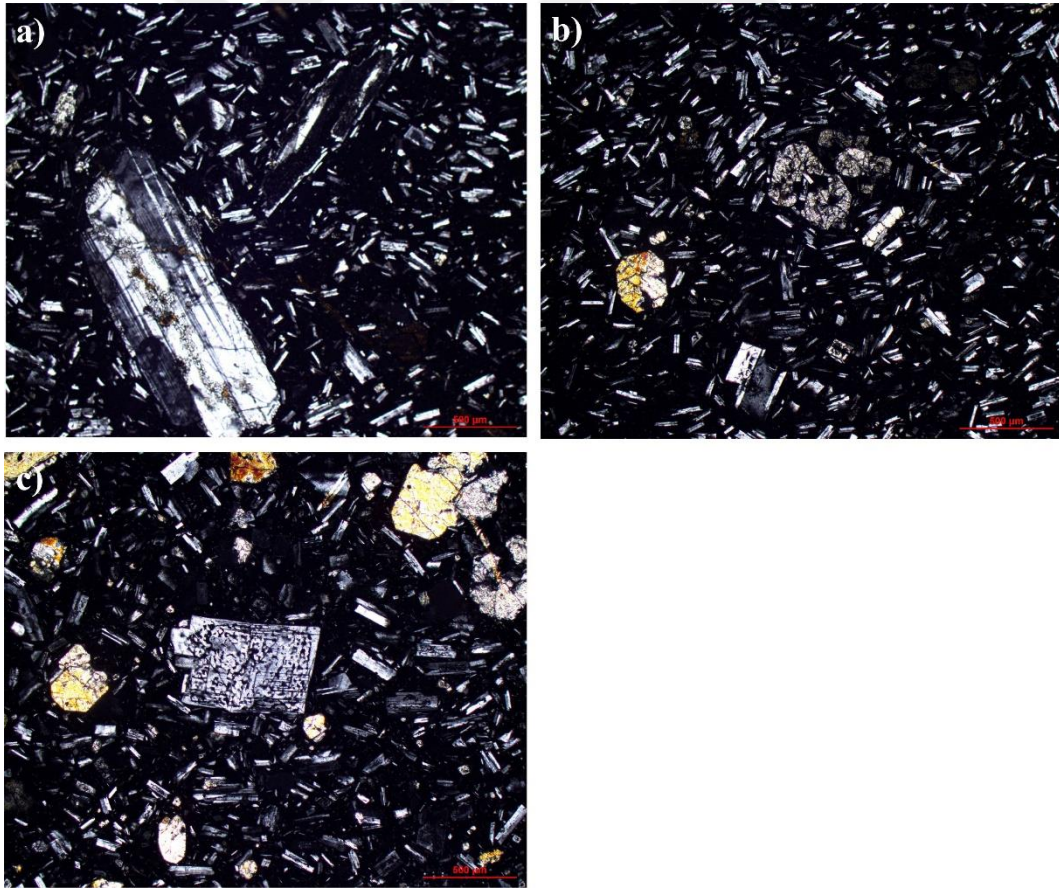
Şekil 5.1. Riyolitik birimlerde gözlenen: a) Fenokristal şeklinde, az oranda cam kapanımı içeren ve hamurda mikrolitler şeklinde de gözlenen feldispat kristalleri (çift nikol), b) Kenarları yuvarlaklaşmış şekilde gözlenen kuvars mineralleri ve tamamen opaklaşmış oksit mineralleri (çift nikol), c) Özşekilli kristaller sunan, tamamen opaklaşmış oksit mineralleri (tek nikol).

5.2 Dasitik Birimler

Galatya Volkanik Provensi çapında yaygın olarak gözlenen dasitik birimlerde birbirinden farklı üç tip mineral birlikteliği saptanmıştır.

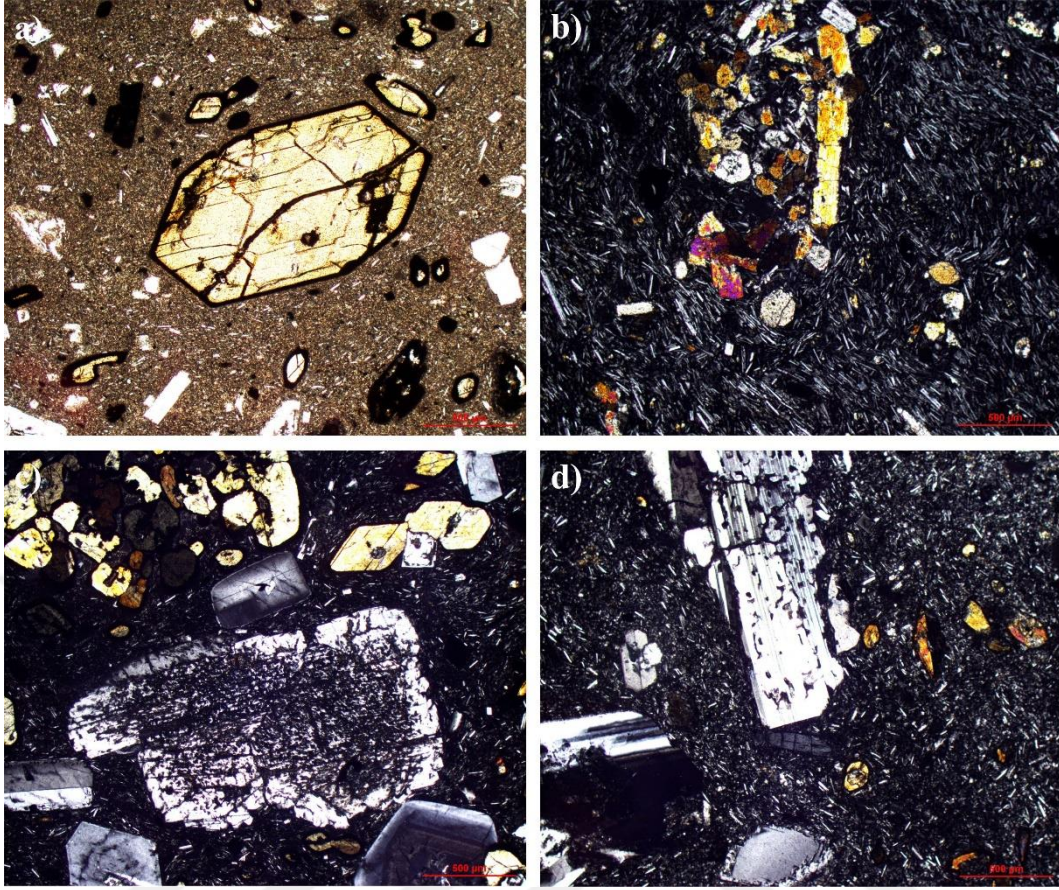
Birinci tip mineral birlikteliği klinopiroksen + plajiyoklaz $\pm$ oksit mineralleri şeklindedir ve kayaçlarda hyalopilitik doku hakimdir. Bu mineral birlikteliğinin görüldüğü dasitik kayaçlar da kendi aralarında iki farklı grupta incelenebilir. Birinci grupta az oranda

çubuksu, iri plajiyoklaz fenokristalleri ve orta taneli yarı özşekilli ve özşekilsiz klinopiroksenler gözlenmektedir. Klinopiroksenler yer yer polisentetik ikizlenmeleri ile tipik olan plajiyoklazlar içerisinde kapanımlar oluşturarak poikilitik dokuyu meydana getirmektedir (Şekil 5.2a, b). Oksit minerallerinin nadir olarak gözlendiği bu tip dasitik kayalarda, hamur camdan oluşmakta ve mikrolit gözlenmemektedir (Şekil 5.2a, b). İkinci gruptaki kayalarda ise orta taneli özşekilsiz ve nadir yarı özşekilli klinopiroksenler ve özşekilsiz plajiyoklazlar bulunmakta ve yer yer bu iki mineralin oluşturduğu glomeroporfirik dokular gözlenmektedir. Bu kayaların hamurunda cam ile birlikte oksit minerallerine ait mikrolitler de göze çarpmakta ve hyalopilitik doku gözlenmektedir. İkinci gruptaki orta taneli plajiyoklazların içerisinde cam kapanımları mevcuttur. Her iki gruptaki plajiyoklazlarda zonlu dokuya rastlanmamıştır (Şekil 5.2c). Bu mineral birlikteliğinin gözlendiği dasitik kayaların, provensin volkanik evriminin ilk evresine ait olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.2. Birinci grup mineral birlikteliğine sahip dasitik kayalarda gözlenen: a) Polisentetik ikizlenmeleri ile tipik olan plajiyoklaz fenokristalleri ve içerisindeki piroksen kapanımları, b) Yarı özşekilli ve özşekilsiz orta taneli piroksenler, c) Cam kapanımlarının gözlendiği orta taneli plajiyoklaz ve orta taneli özşekilsiz klinopiroksenler.

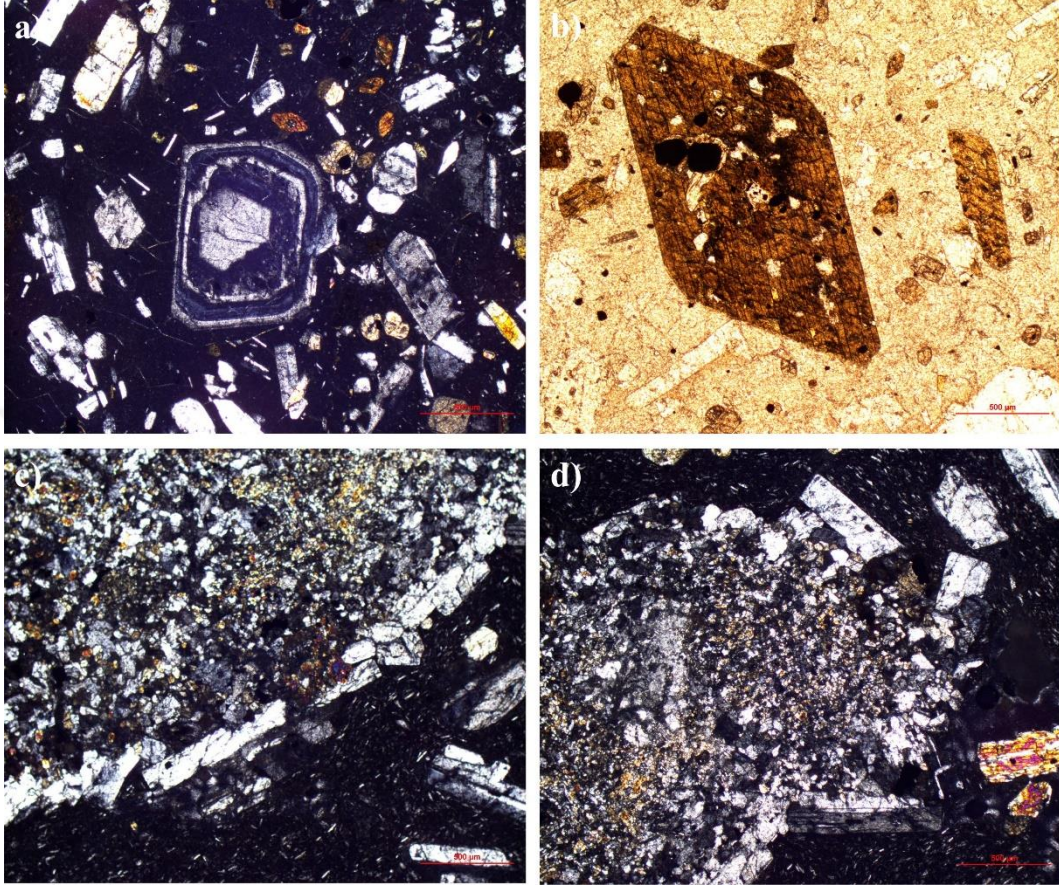
Dasitik kayalarda gözlenen ikincil mineral birlikteliği amfibol+ plajiyoklaz $\pm$ klinopiroksen $\pm$ biyotit $\pm$ oksit mineralleri şeklindedir. Amfiboller yer yer altıgen geometrik şekli ile belirgin özşekilli, iri fenokristaller ve çeşitli büyüklükteki kristaller şeklinde ve ya kenarları boyunca ya da tamamen opasitle mi  şekilde gözlenmektedir ( ekil 5.3a). Nadir olarak bulunan ince taneli klinopiroksen mineralleri ile glomeroporfirik dokuyu oluşturmaktadır ( ekil 5.3b). Amfiboller tek nikolde belirgin pleokroizması ile tipiktir ve yeşil rengi ile tanınmaktadır. Plajiyoklazlar yarı özşekilli, nadir olarak polisentetik ikizlenmeli ve çoğunlukla zonlu fenokristaller veya hamurda mikrolitler şeklinde bulunmaktadır. Fenokristallerin kenarları yer yer kemirilmi  ve cam kapanımları içerir şekilde gözlenmektedir ( ekil 5.3c, d). Biyotitler ya tamamen opakla mı  ya da ince kristaller halinde hamur içinde dağılmış vaziyettedir. Bu mineral birlikteliğine sahip dasitik kayalarda, ilk mineral birlikteliğinin gözlendiği kayalardakine göre hamurdaki mikrolit miktarı fazladır ve intersertal doku gözlenmektedir. Ayrıca plajiyoklaz mikrolitlerinde yer yer akma dokusu belirgindir ( ekil 5.3b).



Şekil 5.3. İkinci grup mineral birlikteliğinin gözleendiği dasitik birimlerdeki a) İri ve özşekilli, kenarları boyunca veya tamamen opasitleşmiş amfibol fenokristalleri, b) İntersertal dokulu kayaç içerisinde gözlenen piroksenlerin ve amfibollerin oluşturduğu glomeroporfirik doku, c) Zonlu ve cam kapanımları içeren plajiyoklaz fenokristalleri, d) Cam kapanımları içeren ve polisentetik ikizlenmesi belirgin plajiyoklaz fenokristali ve ince taneli amfibol kristalleri

Dasitik kayaçlarda gözlenen üçüncü mineral birlikteliği plajiyoklaz+ amfibol $\pm$ klinopiroksen $\pm$ kuvars $\pm$ oksit mineralleri şeklindedir. Plajiyoklazlar nadir zonlu fenokristaller sergilemekte, genellikle polisentetik ikizlenmeleri ile tanınmaktadır (Şekil 5.4a). Amfiboller kenarları boyunca opasitleşmiş iri kristaller şeklinde, özşekilli ve iki yönde belirgin dilinimleri ile ayırt edilmektedir. Bazı iri amfibol fenokristalleri içinde opak mineral kapanımları bulunmaktadır (Şekil 5.4b). Klinopiroksenler genellikle ince kristaller halinde, yarı özşekli ve özşekilsiz olarak nadiren göze çarpmaktadır. Kuvarslar tamamen özşekilsiz, kenarları kemirilmiş ve yuvarlaklaşmış ince kristaller şeklinde nadir olarak bulunmaktadır. Oksit mineralleri ya ince kristaller olarak ya da mikrolitler halinde hamura dağılmış vaziyette gözlenmektedir. Bazı dasitik kayaçları içerisinde, etrafı tamamen ince plajiyoklaz kristalleri ile sarılı reaksiyon dokularına rastlanmıştır (Şekil 5.4d). Bu mineral birlikteliğine

sahip dasitik kayaçlarda hamur ya tamamen camdan oluşmakta ya da çok az oranda mikrolit içermektedir.



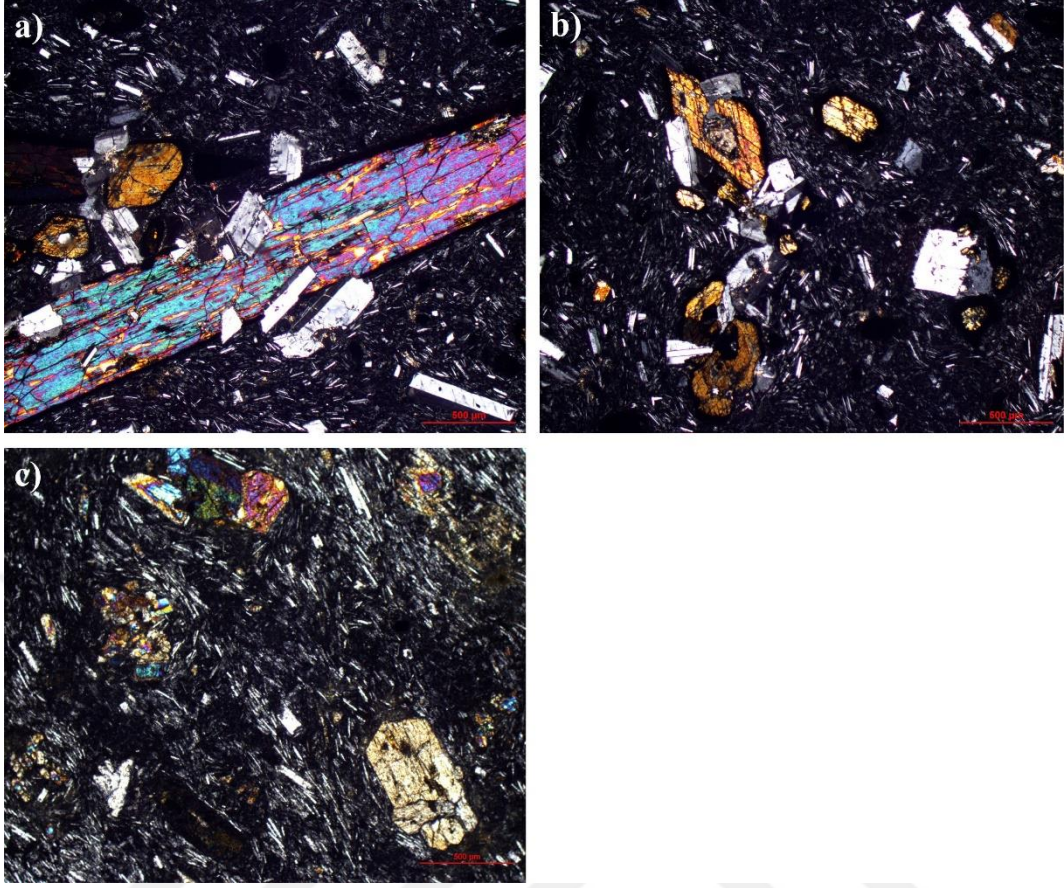
Şekil 5.4. Üçüncü grup mineral birlikteliği içeren dasitik birimlerde gözlenen a) Tamamen camdan oluşan hamur içerisindeki zonlu plajiyoklaz ve ince taneli piroksenler, b) İri amfibol fenokristali içindeki opak mineral kapanımları, c,d) Etrafı tamamen ince plajiyoklaz mineralleri ile çevrili reaksiyon dokusu

5.3 Andezitik Birimler

Andezitik birimler Galatya Volkanik Provensi'nde dasitik birimler kadar yaygın bir şekilde yüzlek vermektedir. Bu birimlerde amfibol+ plajiyoklaz+ klinopiroksen± oksit mineralleri tek tip mineral birlikteliği gözlenmektedir. Ancak andezitik kayaçlarda gözlenen bu mineral birlikteliği farklı boyutlarda ve mikrolit-cam oranı farklı hamur karakteristiklerine sahip iki grup şeklinde tespit edilmiştir.

Birinci grup andezitik kayaçlarındaki amfiboller mega fenokristaller şeklindedir (Şekil 5.5a). Bu mega fenokristaller içinde birbirinden farklı mineral kapanımları poikilitik dokuyu oluşturmaktadır (Şekil 5.5b). Tek nikolde karakteristik yeşilimsi renkleri ile ayırt edilmektedir ve güçlü paleokroizma göstermektedir. Kenarları boyunca opasitleşmişlerdir. Amfibollerde yer yer mineral kapanımları gözlenmektedir. Nadir olarak gözlenen klinopiroksen mineralleri ince taneli ve özşekilsiz kristaller halindedir. Herhangi bir zonlu doku sergilemeyen, çubuksu kristallere sahip plajiyoklazlar hem hamur içinde mikrolit olarak hem de orta boyutta kristaller halinde bulunmaktadır ve yer yer diğer mineraller ile birlikte kümelenmiş şekilde gözlenmektedir. Mikrolitler kısmi olarak yönlenmeler sergilemektedir (Şekil 5.5c).

Bir diğer andezitik kayaç grubunda ise orta-ince taneli kristaller tipiktir. İnce taneli piroksen ve amfiboller yer yer glomeroporfirik dokuyu oluşturmaktadır. Bu mineral boyutunun gözlendiği kayaçların hamurunda cam yoktur ve kayaca intersertal doku hakimdir. Ayrıca burada da mikrolitlerde kısmi yönlenmeler mevcuttur. Her iki grup andezitik kayaçtaki oksit mineralleri genellikle ince taneli ve yuvarlaklaşmış şekilde gözlenmektedir.



Şekil 5.5. Andezitik birimlerde gözlenen a) Mega amfibol fenokristali, b) Poikilitik doku sergileyen amfiboller ile feldispatların oluşturduğu kümelenme ve mikrolitlerdeki yönlenmeler, c) Tamamen mikrolitlerden oluşmuş hamur içerisindeki ince-orta taneli piroksen ve amfibollerin oluşturduğu glomeroporfirik doku

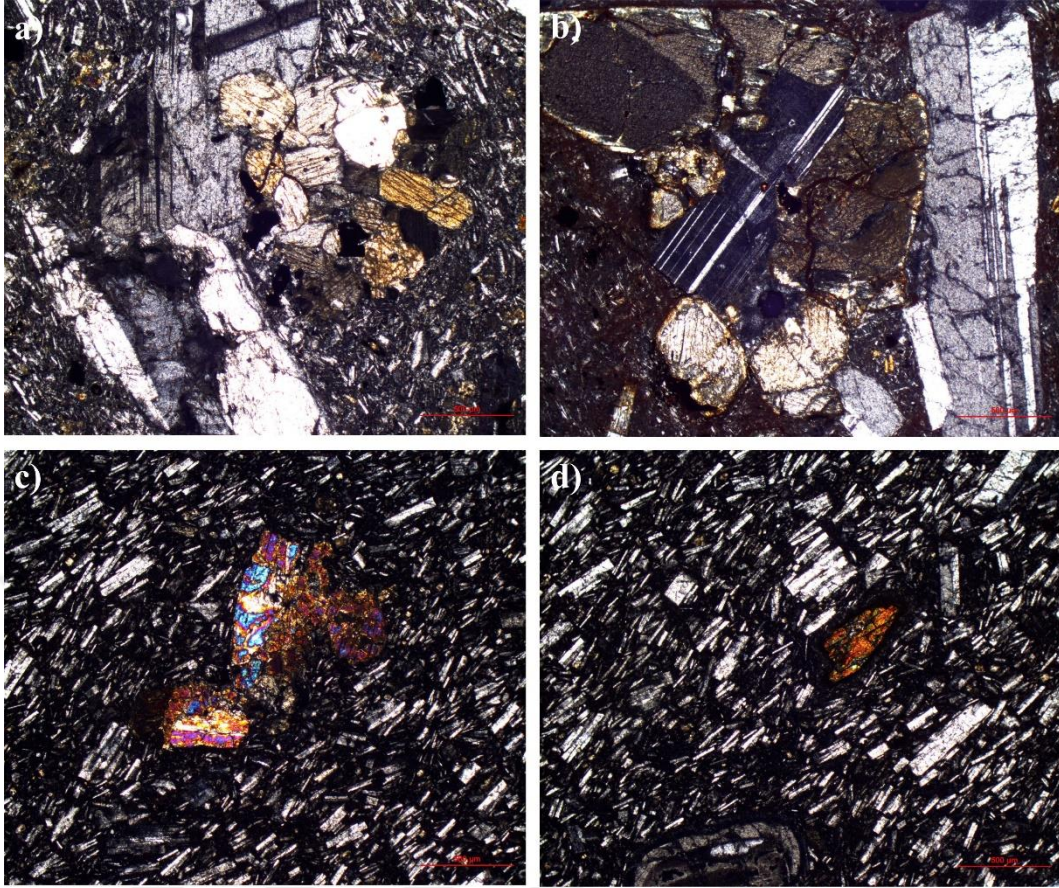
5.4 Trakitik Birimler

Trakitik birimler andezitik ve dasitik birimler kadar yaygın yüzlek vermemektedir ve kayalarda iki farklı mineral birlikteliği sergilemektedir. Bu kayaların karakteristik özelliği, hamur içindeki mikrolitlerin belli bir yönde dizilmesi ile oluşan trakitik (akma dokusu) dokuyu göstermesidir.

Bu kayalara ait ilk mineral birlikteliği klinopiroksen+ plajiyoklaz± oksit mineralleri şeklindedir. Bu tip mineral grubuna sahip kayalarda tane boyutları daha büyüktür. Klinopiroksenler altere, iri tane boyutunda ve yarı özşekilli olarak gözlenmektedir (Şekil 5.6a). Bazı kesitlerde glomeroporfirik dokuyu, bazılarında da plajiyoklaz mineralleri ile birlikte intergranuler dokuyu oluşturur şekilde bulunmaktadır. Plajiyoklazlar genellikle orta-ince tane boyutunda, yer yer iri taneli çubuksu kristaller sergilemekte ve polisentetik

ikizlenmeleri ile tanınmaktadır (Şekil 5.6b). Herhangi bir zonlu doku göstermeyen plajiyoklazlar, ayrıca mikrolitler olarak hamurda bulunmakta ve akma yönüne doğru belirgin bir yönlenme sergilemektedir. Oksit mineralleri hamurda yuvarlaklaşmış kristalli mikrolitler halinde dağılmış durumdadır. Hamurun cam miktarı yüksektir ve intersertal doku gözlenmektedir.

Trakitik kayalardaki bir diğer mineral birlikteliği klinopiroksen+ plajiyoklaz+ amfibol± oksit mineralleri olarak tanımlanmaktadır. Bu tip mineral birlikteliğine sahip kayalardaki minerallerin tane boyutları ilk gruba göre daha küçüktür. Klinopiroksenler genellikle orta taneli ve yarı özşekilli prizmatik kristaller sunmaktadır. Bazıları glomeroporfirik dokuyu oluşturacak şekilde kümelenmiş halde gözlenmektedir (Şekil 5.6c). Az miktarda piroksen mikrolit olarak hamura dağılmış haldedir. Bunlar genellikle tamamıyla yuvarlaklaşmış durumdadır. Plajiyoklazlar ince tane boyutunda çubuksu kristaller sergilemekte, hamur içindeki ince taneli olanları belirgin bir şekilde yönlenmiş durumda bulunmaktadır (Şekil 5.6d). Çok nadir olarak zonlu doku gözlenmektedir. Amfiboller kenarları boyunca opasitleşmiştir ve orta taneli, yarı özşekilli, kenarları kısmen yuvarlaklaşmış kristaller sergilemektedir.



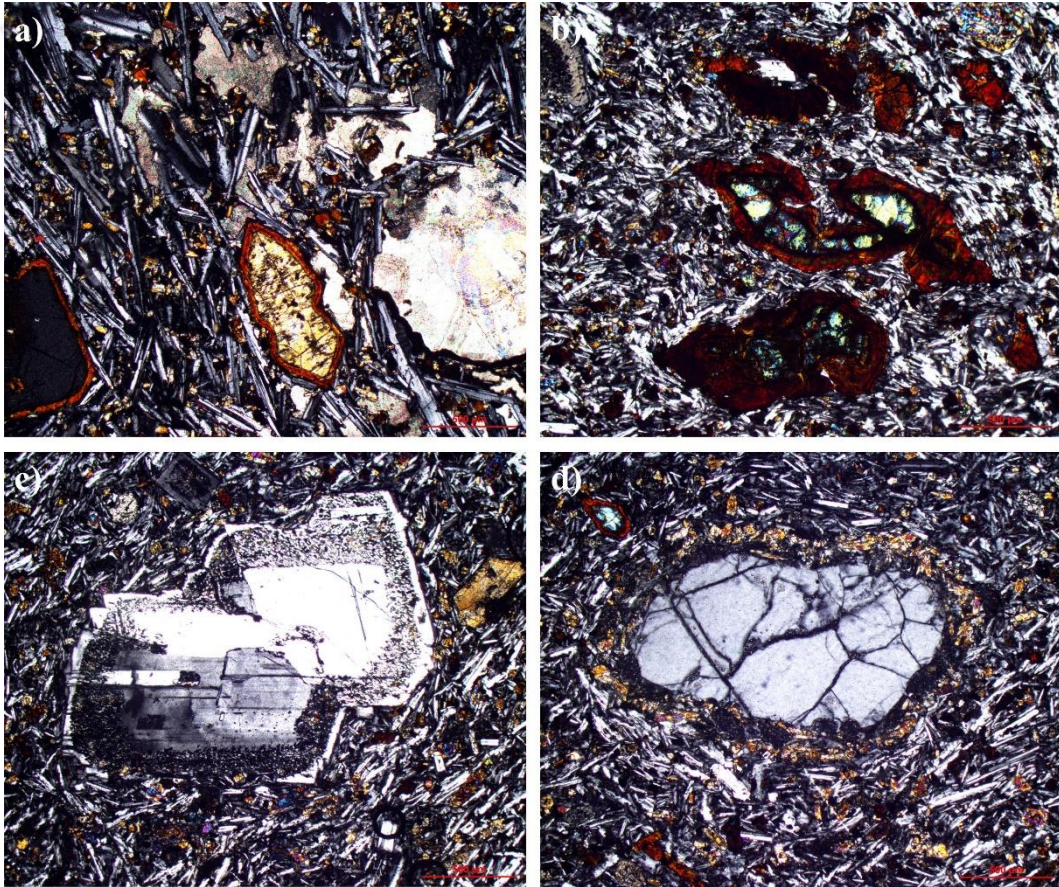
Şekil 5.6. a) Trakitik birimlerde ilk mineral birlikteliğine sahip kayalarda gözlenen a) Yarı özşekli piroksenlerin oluşturduğu glomeroporfirik doku, b) Polisentetik ikizlenmeleri ile tipik iri taneli plajiyoklaz mineralleri ve aralarını dolduran piroksenler, c) İkinci tip mineral birlikteliği gösteren kayaç içindeki orta taneli piroksenlerin oluşturduğu glomeroporfirik doku, d) Hamur içinde yönlenmiş vaziyette bulunan plajiyoklazlar.

5.5 Bazaltik Birimler

Galatya Volkanik Provensi'nde gözlenen bazaltik birimler, provensin genellikle kuzeydoğu kesiminde, Orta ve Kızılcahamam civarında, Çerkeş'in güneydoğusunda ve Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney ve kuzey kesimlerinde küçük mostralara şeklinde yüzlek vermektedir. Kıbrısık civarında, yani provensin batı kesiminde bazaltik kayalara rastlanmamıştır. Provenste gözlenen bazaltik birimlerde iki farklı mineral birlikteliği gözlenmektedir.

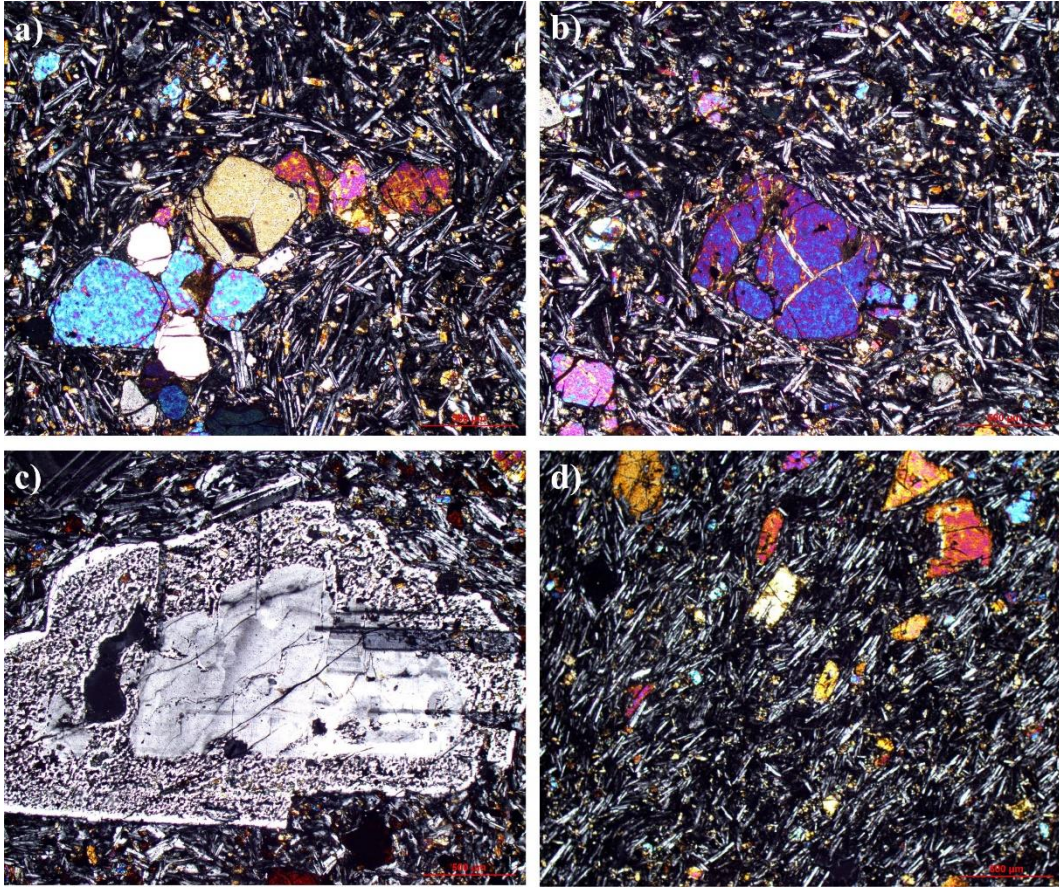
İlk mineral grubu plajiyoklaz+ klinopiroksen+ oksit mineralleri şeklindedir. Bu kayalarda olivin minerali gözlenmemektedir. Klinopiroksenler çoğunlukla yarı özşekli ve özşekilsiz orta taneli kristaller şeklinde ve hamurda tamamıyla yuvarlaklaşmış ve

opasitleşmiş mikrolitler şeklinde bulunmaktadır (Şekil 5.7a). Orta taneli piroksenlerin tamamı kenarları boyunca neredeyse tamamı opasitleşmiş haldedir (Şekil 5.7b). Plajiyoklazlar iri taneli, ince çubuksu kristaller şeklinde, araları yer yer piroksenlerce doldurulmuş şekilde gözlenmektedir. Mikrolit olarak hamurda bulunmayan feldispatlar yer yer zonlu doku sergilemektedir. Bazı plajiyoklazlar kenarları itibariyle cam kapanımı içermektedir (Şekil 5.7c). Bazı kesitlerde feldispat minerallerinin etrafını piroksen mineralleri mantolamış şekilde korona dokusu gözlenmektedir (Şekil 5.7d). Ayrıca bu kayalar içerisinde iri ve ikincil mineraller (kalsit) ile doldurulmuş gaz boşlukları bulunmaktadır. Hamur cam içermemekte ve kayada pilotaksitik doku gözlenmektedir.



Şekil 5.7. Birinci grup mineral birlikteliğinin gözleendiği bazaltik birimlerdeki a) Kenarları itibariyle opasitleşmiş klinopiroksenler ve feldispat kristallerinin arasını dolduran mikrolitleri. Aynı zamanda iri ve kalsitle dolmuş gaz boşlukları da görölmektedir, b) Neredeyse tamamen opasitleşmiş piroksenler, c) Kenarları boyunca ayrılmaya başlamış plajiyoklaz, d) Etrafı piroksenler tarafından mantolanmış, korona dokusunun gözleendiği feldispat

İkinci mineral birlikteliği plajiyoklaz+ olivin+ klinopiroksen+ oksit mineralleri şeklindedir. Olivinler orta tane boyutunda, özşekilsiz ve çift nikolde parlak girişim renkleri ile belirgindir ve genellikle kümelenmiş halde gözlenmektedir (Şekil 5.8a). Ayrıca mikrolit olarak hamura dağılmış halde bulunmaktadır. Klinopiroksenler, orta-ince tane boyutunda özşekilsiz ve genellikle mikrolitler şeklinde gözlenmektedir. Bu mineral birlikteliğine sahip kayalarda gözlenen plajiyoklaz kristalleri, ilk mineral grubunu içeren kayalara göre daha küçüktür. İnce çubuksu kristaller şeklinde gözlenen plajiyoklazların arasını yer yer piroksen mikrolitleri doldurmaktadır. Nadir olarak gözlenen iri feldispat kristalleri genellikle kenarları itibariyle cam kapanımları içermekte bazıları da zonlu doku sergilemektedir (Şekil 5.8c). Hamurda cam bulunmamakta ve kayada pilotaksitik doku gözlenmektedir.



Şekil 5.8. İkinci grup mineral birlikteliğini içeren bazaltik birimlerde gözlenen a) Glomeroporfirik dokulu olivinler, b) Mikrolitler şeklinde gözlenen olivin ve oksit mineralleri ile orta taneli, parlak girişim rengi ile tipik olivin, c) Kenarları itibariyle cam kapanımları içeren feldispat, d) Orta-ince taneli özşekilsiz piroksenler

6. JEOKİMYA

Galatya Volkanik Provensi'nde yürütülen arazi çalışmaları esnasında alınan volkanik kayaç numunelerinden, her bir volkanik seriyi temsil edecek şekilde jeokimyasal analizlerin yapılması amacıyla alterasyondan/yüzey ayrışmasından etkilenmemiş örnekler seçilmiştir. Bu örneklerin majör oksit, iz ve nadir toprak element içerikleri kimyasal analizler yardımıyla saptanmıştır ve ilgili grafikler aracılığıyla yorumlanmıştır. Galatya Volkanik Provensi'ni temsil eden 56 volkanik kayaç numunesi üzerinde ACT LABS (Kanada)'da kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya ait örnekler dışında, yapılan jeokimyasal değerlendirmelere literatürdeki çalışmalarda yer alan, K/Ar analizleri ile yaşları belirlenmiş örnekler de grafiklere iz düşürülmüştür (Wilson vd., 1997; Tankut vd., 1998a, 1998b; Temel vd., 2010; Varol vd., 2014). Örnekler, Galatya Volkanik Provensi'nin jeodinamik evrimine uygun olacak şekilde, sub-alkali volkanik kayaçlar ve alkali volkanik kayaçlar şeklinde gruplandırılmış ve yorumlamalar bu grupta üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Bu kimyasal analizler sonucu elde edilen değerlendirmeler sonucu seçilen 7 volkanik kayaç numunesi üzerinde ise $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop analizleri Southampton Üniversitesi (İngiltere)'nde gerçekleştirilmiş ve ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu analizlerin çözümlemeleri ve kayaçların jeokimyasal karakteristikleri bu bölümde anlatılacaktır. Bu bölümden sonraki Bulgular kısmında ise kayaçların bu jeokimyasal özelliklerden yola çıkılarak, Galatya Volkanik Provensi'nin magma süreçleri ve manto kaynak alanına yaklaşımlarda bulunulacaktır.

6.1 Ana Element Jeokimyası

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının toplam kaya majör oksit içerikleri Çizelge 6.1'de verilmektedir. Numuneler, susuz değerlere göre tekrar hesaplanmış majör element sonuçlarına göre, % 47,28- %71,46 arasında değişen SiO_2 ve % 0,27- % 11,42 arasında değişen MgO içeriklerine sahip olup, ateşte kayıp değerleri (LOI: Loss of Ignitation) % 0,01- % 4,4 arasında değişmektedir (Çizelge 6.2). Volkanik kayaçların adlandırılması ve sınıflandırılması amacıyla örnekler $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ (TAS: Toplam alkali

silis diyagramı, Le Bas vd., 1986) diyagramına düşürülmüştür (Şekil 6.1a). Bu diyagram üzerine ayrıca Irvine ve Baragar (1971) alkali- subalkali ayırıtman çizgisi eklenmiştir. Alkali örnekler bazalt, trakibazalt ve bazaltik trakiandezit, sub-alkali örnekler ise trakiandezit, andezit, trakit- trakidasit, dasit ve riyolit bileşimi sergilemektedir. Sub-alkali örneklerin trakiandezitten riyolite doğru değişen ortağ ve asidik karakter sergilemesi sonucu, örnekler arasındaki değişimin ve/veya benzerliğin de net bir şekilde izlenebilmesi amacıyla % 65'ten fazla, %65-%60 ve %60-55 arasında SiO_2 içeren örnekler için farklı semboller kullanılmıştır. Alkali kayaç grubuna ait volkanik kayaçlardan trakibazalt alanına düşen bir örneğin potasik trakibazalt (GP-45; $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} \leq 2$), diğer üç örneğin ise hawaiiit (GP-24, GP-26, GP-31; $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} \geq 2$); bazaltik trakiandezit alanına düşen iki örneğin şoşonit karakterinde olduğu saptanmıştır (GP-32, GP-20A; $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} \leq 2$). Sub-alkali kayaçlardan trakiandezit alanına düşen kayaçların benmorit ve latit karakterinde olduğu belirlenmiştir (GP-87, GP-86A, GP-83; $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} \geq 2$; GP-30, GP-84, GP-10; $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} \leq 2$). Trakit/ trakidasit alanına düşen örnekler normatif kuvars içeriklerinin 20'den küçük olması sebebiyle trakit olarak adlandırılmıştır. Sub-alkali karakterdeki volkanik kayaçlar Peccerillo ve Taylor'a (1970) ait $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ diyagramına göre kalkalkali ve yüksek potasyumlu kalkalkali karakterdedir (Şekil 6.1b). Bu kayaçların tamamı AFM diyagramında kalkalkali alana düşmektedir (Şekil 6.2; Irvine ve Baragar, 1971).

Çizelge 6.1. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının majör oksit içerikleri (% ağırlık)

Örnek	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
GP-1	70,52	15,01	3	0,02	0,43	2,65	3,52	2,91	0,43	0,18	2,21	100,9
GP-3	68,63	14,17	3,33	0,042	0,93	3,02	3,65	2,84	0,437	0,14	1,74	98,92
GP-5	68,68	15,01	3,22	0,054	0,64	3,11	3,78	2,85	0,482	0,18	1,59	99,59
GP-6	58,44	16,2	6,26	0,096	2,88	6,58	3,98	1,7	0,946	0,43	1,02	98,53
GP-7	63,28	15,77	4,34	0,069	2,3	4,32	3,77	3,14	0,7	0,35	1,88	99,92
GP-8	65,89	14,26	3,83	0,061	1,9	4,33	2,97	3,31	0,62	0,29	2,38	99,85
GP-10	60,28	15,84	5,72	0,088	1,74	5,13	4,18	2,74	0,95	0,45	1,69	98,82
GP-14	61,49	15,22	5,21	0,087	2,98	5,2	3,2	3,19	0,793	0,44	1,18	99
GP-15	66,91	15,07	3,73	0,023	0,53	3,87	3,86	2,47	0,542	0,21	1,52	98,73
GP-16	66,3	16,36	3,81	0,019	0,36	3,85	4,31	2,67	0,7	0,31	1,58	100,3
GP-19	46,74	15,29	9,12	0,141	8,13	9,81	2,81	1,65	1,441	0,51	3,21	98,85
GP-20A	49,46	16,21	8,53	0,128	5,18	9,16	3,9	2,06	1,501	0,47	2,03	98,63
GP-23	63,64	17,06	3,92	0,018	0,39	3,65	4,44	3,26	0,622	0,36	1,58	98,94
GP-24	46,82	17,17	9,76	0,145	5,93	9,54	3,71	1,74	1,819	0,59	2,04	99,26
GP-26	46,29	15,62	8,74	0,141	7,14	10,08	3,89	1,16	1,424	0,7	3,36	98,55
GP-27	60,65	15,34	4,79	0,081	3,09	5,86	3,65	1,91	0,984	0,33	2,59	99,27
GP-28	59,24	16,98	5,91	0,022	0,76	5,47	3,6	1,58	1,209	0,36	4,16	99,29
GP-30	55,26	15,85	4,99	0,111	2,38	9,55	4,16	2,56	0,999	0,52	3,67	100
GP-31	47,84	14,37	7,52	0,183	8,12	11,1	3,63	1,42	1,201	0,68	2,62	98,67

Çizelge 6.1. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının majör oksit içerikleri (% ağı.) (devam)

Örnek	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
GP-32	50,96	16,64	8,43	0,13	5,08	8,43	3,97	2,27	1,369	0,53	0,87	98,68
GP-34	62,26	16,36	4,94	0,102	1,63	4,75	4,66	2,08	0,639	0,37	1,09	98,88
GP-36	46,85	13,65	8,94	0,152	11,18	11,23	3,03	1,08	1,198	0,63	1,38	99,33
GP-38	62,6	16,56	4,83	0,077	2,56	5,33	3,87	1,94	0,833	0,31	1,57	100,5
GP-40	62,73	16,25	4,62	0,077	2,63	5,29	4,16	1,98	0,836	0,29	1,08	99,95
GP-41	67,72	15,39	3,89	0,071	1,94	4,42	4,21	2,02	0,561	0,25	0,01	100,5
GP-42	54,36	16,42	6,46	0,112	3,84	7,95	4,36	1,16	0,912	0,56	3,03	99,17
GP-44	62,89	16,93	3,35	0,027	0,32	3,79	4	3,6	0,889	0,54	2,65	98,98
GP-45	48,06	16,49	8,53	0,143	6,92	9,22	3,11	2,27	1,675	0,52	2,16	99,11
GP-46	44,68	14,23	9,94	0,234	6,3	12,67	2,77	1,24	1,349	1,08	4,2	98,68
GP-50	61,71	15,9	5,01	0,108	2,78	5,78	3,47	2,61	0,811	0,26	1,61	100,1
GP-54	63,83	16,02	4,73	0,071	2,38	5,15	4,14	1,82	0,754	0,2	0,97	100,1
GP-55	61,24	15,62	5,15	0,09	2,82	5,95	4,08	2,04	0,798	0,32	0,83	98,94
GP-58	64,48	16,63	4,58	0,028	0,57	3,85	4,24	3,13	0,723	0,36	1,78	100,4
GP-62	67,93	16,17	2,67	0,027	0,91	3,93	4,13	1,87	0,441	0,18	1	99,26
GP-66	62,98	16,03	4,75	0,046	1,71	4,66	3,93	2,71	0,792	0,39	1,31	99,33
GP-73	62,52	17,47	4,29	0,076	2,22	4,27	4,59	2,39	0,722	0,28	1,14	99,97
GP-74	64,3	17,46	4,27	0,06	1,38	4,04	4,78	2,3	0,717	0,28	0,88	100,5
GP-77	64,47	17,42	3,9	0,056	1,57	4,23	4,57	2,3	0,634	0,22	0,84	100,2
GP-79	66,13	18,4	3,16	0,044	0,96	4,4	4,85	1,13	0,501	0,17	0,93	100,7

Çizelge 6.1. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının majör oksit içerikleri (% ağırlık) (devam)

Örnek	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
GP-80	63	17,28	3,94	0,07	2,16	4,34	4,39	2,31	0,653	0,24	1,76	100,2
GP-81	64,68	18,07	3,39	0,038	1,77	4,33	4,82	1,39	0,484	0,17	1,11	100,3
GP-83	60,22	18,39	5,28	0,07	1,82	4,89	4,8	2,47	0,953	0,41	1,28	100,6
GP-84	60,19	17,72	5,2	0,091	2,97	4,99	4,6	2,67	0,954	0,43	0,97	100,8
GP-86A	59,33	18,69	5,41	0,084	2	5,17	4,91	2,09	0,997	0,38	0,91	99,96
GP-86B	61,44	16,41	5,5	0,075	1,94	5,38	4,54	1,94	0,922	0,38	1,15	99,69
GP-87	56,82	18,13	6,36	0,091	3,41	5,86	4,8	2,03	1,187	0,61	0,98	100,3
GP-89	63,24	17,08	4,24	0,083	2,44	4,32	4,73	1,97	0,706	0,3	1,63	100,8
GP-90	61,34	17,26	4	0,067	2,05	4,26	3,93	2,16	0,59	0,22	4,4	100,3
GP-92	63,95	16,66	3,7	0,051	1,85	3,61	4,06	1,82	0,64	0,22	3,47	100
GP-93	63,9	17,46	4,24	0,063	1,45	4,25	4,63	2,38	0,72	0,27	1,1	100,5
GP-94	62,19	18,5	3,44	0,059	1,67	4,18	4,41	2,97	0,704	0,34	2	100,5
GP-95	59,79	17,29	5,31	0,077	3,03	4,98	4,18	2,28	0,994	0,32	1,46	99,71
GP-98	69,21	16,09	3,08	0,039	0,27	2,77	4,55	2,45	0,475	0,19	1,1	100,2
GP-99	62,09	16,71	4,53	0,077	2,71	4,67	3,69	3	0,746	0,29	1,94	100,5
GP-101	67,87	16,86	3,02	0,038	0,74	4,09	4,35	1,94	0,459	0,17	0,99	100,5
GP-102	64,23	18,03	4,01	0,055	1,11	4,04	4,75	2,36	0,63	0,25	1,33	100,8

Çizelge 6.2. Galatya Volkanik Provensi'nin susuz değerlere göre hesaplanan majör oksit içerikleri (%ağ.)

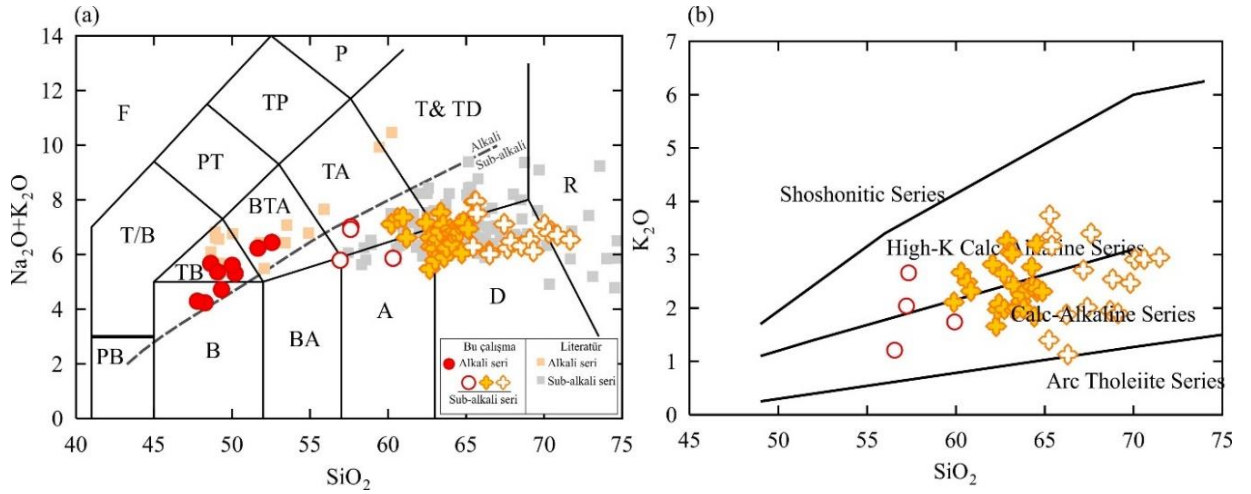
Örnek	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
GP-1	71,46	15,23	3,04	0,02	0,44	2,69	3,57	2,95	0,44	0,18
GP-3	70,61	14,58	3,43	0,04	0,96	3,11	3,76	2,92	0,45	0,14
GP-5	70,08	15,32	3,29	0,06	0,65	3,17	3,86	2,91	0,49	0,18
GP-6	59,93	16,61	6,42	0,10	2,95	6,75	4,08	1,74	0,97	0,44
GP-7	64,55	16,09	4,43	0,07	2,35	4,41	3,85	3,20	0,71	0,36
GP-8	67,61	14,63	3,93	0,06	1,95	4,44	3,05	3,40	0,64	0,30
GP-10	62,07	16,31	5,89	0,09	1,79	5,28	4,30	2,82	0,98	0,46
GP-14	62,87	15,56	5,33	0,09	3,05	5,32	3,27	3,26	0,81	0,45
GP-15	68,83	15,50	3,84	0,02	0,55	3,98	3,97	2,54	0,56	0,22
GP-16	67,18	16,58	3,86	0,02	0,36	3,90	4,37	2,71	0,71	0,31
GP-19	48,87	15,99	9,54	0,15	8,50	10,26	2,94	1,73	1,51	0,53
GP-20A	51,20	16,78	8,83	0,13	5,36	9,48	4,04	2,13	1,55	0,49
GP-23	65,37	17,52	4,03	0,02	0,40	3,75	4,56	3,35	0,64	0,37
GP-24	48,16	17,66	10,04	0,15	6,10	9,81	3,82	1,79	1,87	0,61
GP-26	48,63	16,41	9,18	0,15	7,50	10,59	4,09	1,22	1,50	0,74
GP-27	62,73	15,87	4,95	0,08	3,20	6,06	3,78	1,98	1,02	0,34
GP-28	62,27	17,85	6,21	0,02	0,80	5,75	3,78	1,66	1,27	0,38
GP-30	57,34	16,45	5,18	0,12	2,47	9,91	4,32	2,66	1,04	0,54
GP-31	49,80	14,96	7,83	0,19	8,45	11,55	3,78	1,48	1,25	0,71
GP-32	52,10	17,01	8,62	0,13	5,19	8,62	4,06	2,32	1,40	0,54

Çizelge 6.2. Galatya Volkanik Provensi'nin susuz değerlere göre hesaplanan majör oksit içerikleri (%ağ.) (devam)

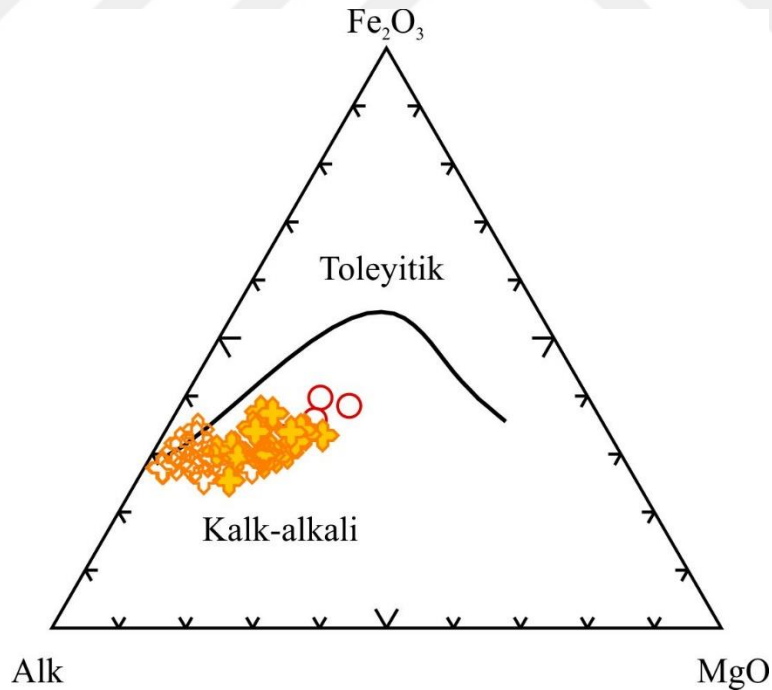
Örnek	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
GP-34	63,67	16,73	5,05	0,10	1,67	4,86	4,77	2,13	0,65	0,38
GP-36	47,84	13,94	9,13	0,16	11,42	11,47	3,09	1,10	1,22	0,64
GP-38	63,29	16,74	4,88	0,08	2,59	5,39	3,91	1,96	0,84	0,31
GP-40	63,45	16,44	4,67	0,08	2,66	5,35	4,21	2,00	0,85	0,29
GP-41	67,40	15,32	3,87	0,07	1,93	4,40	4,19	2,01	0,56	0,25
GP-42	56,55	17,08	6,72	0,12	3,99	8,27	4,54	1,21	0,95	0,56
GP-44	65,28	17,57	3,48	0,03	0,33	3,93	4,15	3,74	0,92	0,56
GP-45	49,58	17,01	8,80	0,15	7,14	9,51	3,21	2,34	1,73	0,54
GP-46	47,28	15,06	10,52	0,25	6,67	13,41	2,93	1,31	1,43	1,14
GP-50	62,69	16,15	5,09	0,11	2,82	5,87	3,53	2,65	0,82	0,26
GP-54	64,41	16,17	4,77	0,07	2,40	5,20	4,18	1,84	0,76	0,20
GP-55	62,42	15,92	5,25	0,09	2,87	6,06	4,16	2,08	0,81	0,33
GP-58	65,40	16,87	4,65	0,03	0,58	3,91	4,30	3,17	0,73	0,37
GP-62	69,13	16,46	2,72	0,03	0,93	4,00	4,20	1,90	0,45	0,18
GP-66	64,27	16,36	4,85	0,05	1,74	4,76	4,01	2,77	0,81	0,40
GP-73	63,26	17,68	4,34	0,08	2,25	4,32	4,64	2,42	0,73	0,28
GP-74	64,57	17,53	4,29	0,06	1,39	4,06	4,80	2,31	0,72	0,28
GP-77	64,88	17,53	3,92	0,06	1,58	4,26	4,60	2,31	0,64	0,22
GP-79	66,30	18,45	3,17	0,04	0,96	4,41	4,86	1,13	0,50	0,17
GP-80	64,04	17,56	4,00	0,07	2,20	4,41	4,46	2,35	0,66	0,24

Çizelge 6.2. Galatya Volkanik Provensi'nin susuz değerlere göre hesaplanan majör oksit içerikleri (%ağ.) (devam)

Örnek	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
GP-81	65,24	18,23	3,42	0,04	1,79	4,37	4,86	1,40	0,49	0,17
GP-83	60,64	18,52	5,32	0,07	1,83	4,92	4,83	2,49	0,96	0,41
GP-84	60,30	17,75	5,21	0,09	2,98	5,00	4,61	2,67	0,96	0,43
GP-86A	59,89	18,87	5,46	0,08	2,02	5,22	4,96	2,11	1,01	0,38
GP-86B	62,36	16,66	5,58	0,08	1,97	5,46	4,61	1,97	0,94	0,39
GP-87	57,22	18,26	6,40	0,09	3,43	5,90	4,83	2,04	1,20	0,61
GP-89	63,81	17,23	4,28	0,08	2,46	4,36	4,77	1,99	0,71	0,30
GP-90	63,68	18,00	4,17	0,07	2,14	4,44	4,10	2,25	0,62	0,23
GP-92	66,23	17,25	3,83	0,05	1,92	3,74	4,20	1,88	0,66	0,23
GP-93	64,31	17,57	4,27	0,06	1,46	4,28	4,66	2,40	0,72	0,27
GP-94	63,16	18,79	3,49	0,06	1,70	4,25	4,48	3,02	0,71	0,35
GP-95	60,85	17,60	5,40	0,08	3,08	5,07	4,25	2,32	1,01	0,33
GP-98	69,82	16,23	3,11	0,04	0,27	2,79	4,59	2,47	0,48	0,19
GP-99	63,03	16,96	4,60	0,08	2,75	4,74	3,75	3,05	0,76	0,29
GP-101	68,69	16,94	3,03	0,04	0,74	4,11	4,37	1,95	0,46	0,17
GP-102	64,58	18,13	4,03	0,06	1,12	4,06	4,78	2,37	0,63	0,25



Şekil 6.1. a) Çalışma alanına ait volkanik kayaçların TAS diyagramına göre sınıflaması (Le Bas vd., 1986; PB: Pikrobazalt, B: Bazalt, BA: Bazaltik andezit, A: Andezit, D: Dasit, R: Riyolit, TB: Trakibazalt, BTA: Bazaltik trakiandezit, TA: Trakiandezit, T&TD: Trakit/Trakidasit, T/B: Tefrit/Bazanit, PT: Fonotefrit, TP: Tefrifonolit, P: Fonolit, F: Foidit). Alkali- subalkali ayırıtman çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'a göre, b) Sub-alkali örneklerle ait K_2O - SiO_2 diyagramı (Peccerillo ve Taylor, 1976).



Şekil 6.2. AFM (Alk: $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ - Fe_2O_3 - MgO) diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971).

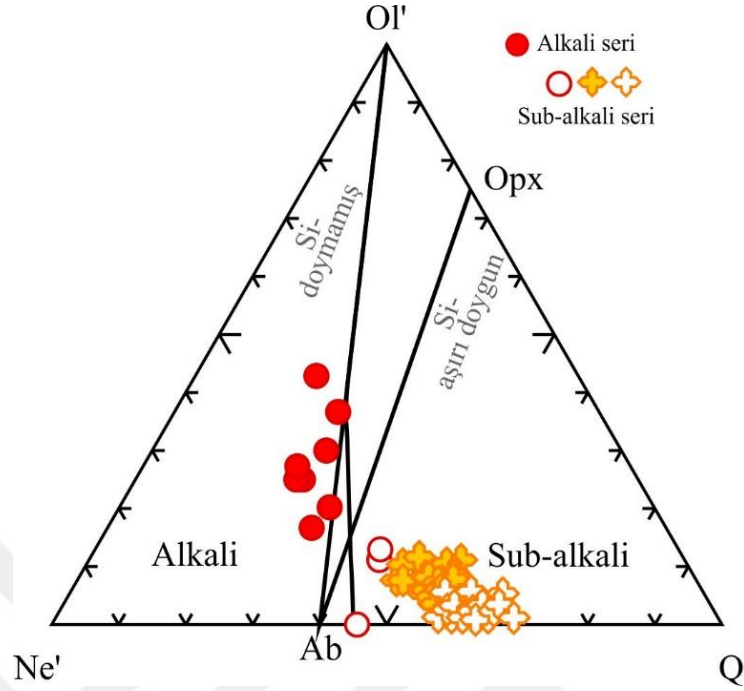
Volkanik kayaçların majör oksit bileşimlerine göre hesaplanan normatif mineralojik bileşimleri Çizelge 6.3'te verilmektedir. Ol-Ne-Q diyagramına göre alkali örnekler nefelin normatif bileşimde silise doymamış, sub-alkali örnekler ise kuvars normatif bileşimde ve silise aşırı doymuş olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 6.3).

Çizelge 6.3. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının normatif mineralojik bileşimleri (%An: Anortit, Q: Kuvars, or: ortoklaz, ab: albit, an: anortit, ne: nefelin, di: diyopsit, hy: hyalin, ol: olivin, mt: , il: ilmenit, ap: apatit)

Örnek	%An	Q	or	ab	an	ne	di	hy	ol	mt	il	ap
GP-1	28	31	18	33	12			1		1	0,6	0,4
GP-3	30	28	17	34,2	14		0,2	3		2	0,6	0,3
GP-5	30	27	17	35	15			2		2	0,7	0,4
GP-6	37	12	10	37	22		7	7		3	1	0,9
GP-7	33	17	19	35	17		2	6		2	1	0,8
GP-8	37	24	20	28	16		3	4		2	0,9	0,6
GP-10	30	13	17	39	17		5	4		3	1	1
GP-14	38	16	19	30	18		4	8		2	1	0,9
GP-15	32	26	15	36	17		1	1		2	0,8	0,5
GP-16	31	22	16	40	17			1		2	1	0,7
GP-19	50		10	25	25	0,9	18		15	3	2	1
GP-20A	40		13	32	21	3	18		7	3	2	1
GP-23	28	17	20	41	16			1		2	0,9	0,8
GP-24	51		11	25	26	5	15		10	4	3	1
GP-26	47		7	26	23	6	20		11	3	2	2
GP-27	38	17	12	34	21		6	6		3	1	0,7
GP-28	43	20	10	35	27		0	3		3	2	0,8
GP-30	31	4	16	39	18		15			3	1	1
GP-31	45		9	24	19	6	26		10	3	2	1
GP-32	38		14	35	21	0,6	14		9	3	2	1
GP-34	30	15	13	43	18		3	5		2	0,9	0,8
GP-36	52		6	19	21	5	25		18	3	2	1
GP-38	39	17	12	35	22		2	7		2	1	0,7
GP-40	35	16	12	38	20		4	6		2	1	0,6
GP-41	31	23	12	38	17		3	5		2	0,8	0,5
GP-42	36	5	7	41	23		12	8		3	1	1
GP-44	30	18	22	37	16			0,9		0,4	1	1
GP-45	49		14	26	25	2	15		12	3	2	1
GP-46	57		8	19	24	5	28		9	3	2	2
GP-50	39	16	16	32	21		6	6		2	1	0,5
GP-54	35	18	11	38	20		4	6		2	1	0,4
GP-55	33	14	12	37	19		7	6		2	1	0,7
GP-58	31	18	19	39	17			2		2	1	0,8
GP-62	33	26	11	38	19			3		0,7	0,6	0,4

Çizelge 6.3. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının normatif mineralojik bileşimleri (%An: Anortit, Q: Kuvars, or: ortoklaz, ab: albit, an: anortit, ne: nefelin, di: diyopsit, hy: hyalin, ol: olivin, mt: , il: ilmenit, ap: apatit) (devam)

Örnek	%An	Q	or	ab	an	ne	di	hy	ol	mt	il	ap
GP-66	34	17	16	36	19		2	5		2	1	0,8
GP-73	32	14	14	42	20			7		2	1	0,6
GP-74	30	16	14	43	18		0	4		2	1	0,6
GP-77	32	17	14	41	20			5		2	0,9	0,5
GP-79	32	22	7	44	21			3		1	0,7	0,4
GP-80	34	16	14	40	20			6		2	0,9	0,5
GP-81	32	19	8	43	20			5		2	0,7	0,4
GP-83	33	10	15	43	21		0,2	6		3	1	0,9
GP-84	32	9	16	41	20		2	8		3	1	0,9
GP-86A	34	9	12	44	23		0,3	6		3	1	0,8
GP-86B	31	14	12	42	19		4	5		3	1	0,8
GP-87	34	5	12	43	22		3	10		3	2	1
GP-89	31	15	12	43	20			7		2	1	0,6
GP-90	36	18	13	37	21			7		2	0,9	0,5
GP-92	31	23	11	38	17			5		2	0,9	0,5
GP-93	32	16	14	42	19			4		2	1	0,6
GP-94	32	14	18	40	19			5		1	1	0,7
GP-95	37	11	14	38	22		0,7	9		3	1	0,7
GP-98	23	26	15	41	13			0,8		1	0,7	0,4
GP-99	38	15	18	34	20		1	8		2	1	0,6
GP-101	33	24	12	39	19			2		1	0,6	0,4
GP-102	30	17	14	43	19			3		2	0,9	0,5

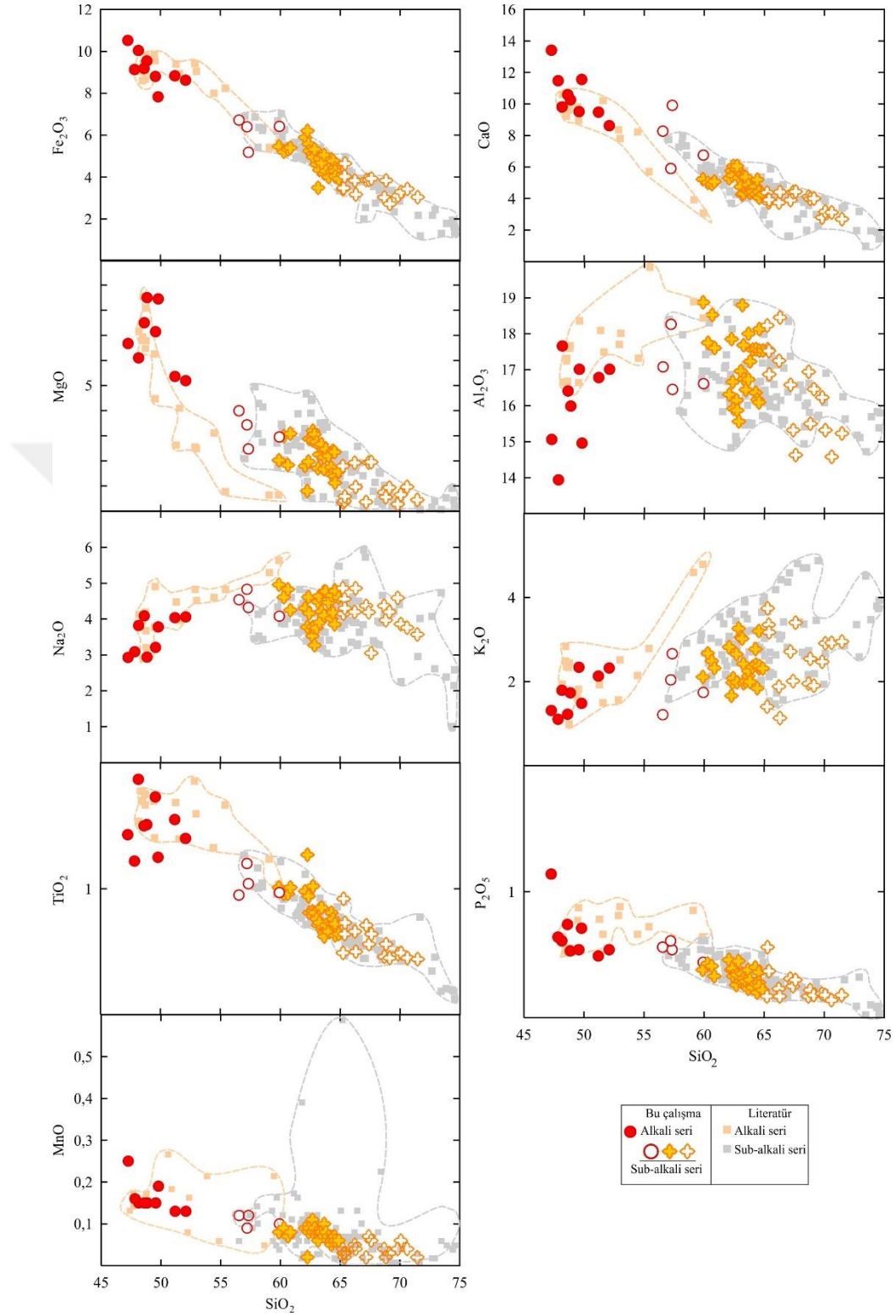


Şekil 6.3. Çalışma alanına ait örneklerin normatif mineralojilerine bağlı Ol- Ne- Q üçgen diyagramı (Ol: Olivin, Ne: Nefelin, Q: Kuvars, Al: Albit, Opx: Ortopiroksen)

Volkanik kayaçların majör oksit içeriklerinin artan SiO_2 ile değişimlerinin izlendiği Harker değişim diyagramları Şekil 6.4'te görülmektedir. Bu grafikler, örneklerin evriminde fraksiyonel kristalizasyon süreçlerini gözlemleyebilmek açısından oldukça önemlidir. Bu diyagramlara ayrıca literatürde yer alan ve alkali ile sub-alkali şeklinde ayırtlanmış örnekler de iz düşürülmüştür (Wilson vd., 1997; Tankut vd., 1998 a, 1998 b; Temel vd., 2010; Varol vd., 2014). Magmanın diferansiyasyonu ile birlikte değişen majör oksit içeriklerine göre andezitik, dasitik ve riolititik örneklerin, yani sub-alkali kayaçların alkali kayaçları takip eder şekilde bir desen çizdiği, bu iki grup kayacın birbirleriyle uyumlu bir ilişki sergilediği göze çarpmaktadır. Bu durum, magmatik ayrışma sürecinde bu ürünlerin benzer magmalardan türemiş olabileceğine bir işaret sunabilir. Artan SiO_2 ile birlikte sub-alkali örnekler için CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 belirgin, MnO , P_2O_5 ve MgO ile kısmi negatif korelasyon göstermektedir. SiO_2 içeriğinin artmasıyla gözlenen Fe_2O_3 negatif ilişki bu volkanik ürünler için piroksen mineralinin ayrışması ile ilişkilidir. CaO içeriğinde gözlenen azalma ise piroksen ve kalsiyumca zengin plajiyoklazların oluşumunu göstermektedir. TiO_2 içeriğinde artan SiO_2 ile gözlenen negatif eğilim Fe-Ti oksit minerallerinin ayrışmasını işaret etmektedir. MnO ve P_2O_5 içeriğindeki kısmi negatif yönelme ise amfibol ve apatit mineralinin ayrışması ile ilişkili olabilir. Petrografik incelemelerde bu kayaçlarda gözlenen ana fenokristal fazının

klinopiroksen ve amfibol olması bu fraksiyonel kristalizasyon sürecinin etkisini işaret etmektedir. Ayrıca sub-alkali örneklerde özellikle SiO_2 içeriğinin % 65'i geçmesi ile birlikte belirginleşen Al_2O_3 kısmi negatif korelasyonu özellikle asidik ürünlerde plajiyoklaz ayrımlaşmasını göstermektedir. Na_2O ve K_2O içeriklerinde fraksiyonlanmanın artmasıyla bir değişimin gözlenmemesi, Na ve K elementlerinin bünyelerine girdiği Na-plajiyoklaz, mika ve alkali feldispatların fraksiyonel kristalizasyonda önemli bir rolü olmadığı göstermektedir. Artan SiO_2 içeriği ile majör oksit içeriklerinde gözlenen değişimler, bu kayaların evriminde fraksiyonel kristalizasyonun önemli bir süreç olduğunu gösterir niteliktedir.

Alkali volkanik seriye ait olan örneklerin artan SiO_2 ile değişen majör oksit içerikleri sub-alkali örnekler kadar belirgin yönelimler göstermemektedir. İlerleyen fraksiyonlanma süreci ile MgO , CaO , Fe_2O_3 ile TiO_2 içeriğinde ise kısmi negatif eğilim izlenmektedir. Fe_2O_3 ve CaO içeriklerindeki değişim, mafik minerallerden olivin ile piroksen ayrımlaşması ile ilişkilidir. Bu görüşü destekler şekilde alkali bazaltik örneklerin petrografik incelemelerinde bu minerallerin ana fenokristal fazını oluşturduğu belirlenmiştir. Çok belirgin olmamakla beraber artan diferansiyasyon ile kısmi negatif yönelim gösteren TiO_2 , Fe-Ti oksit minerallerinin oluşumu ile ilişkilendirilebilir. K_2O ve Na_2O içeriğinde gözlenen kısmi pozitif yönelim plajiyoklazların kristalleşmesine işaret etmektedir. Al_2O_3 içeriğinde gözlenen kısmi pozitif korelasyon piroksen ayrımlaşması ile ilişkili olabilir. Alkali volkanik kayalarda gözlenen fraksiyonel kristalizasyon etkisinin, sub-alkali ürünlerdeki kadar belirgin olmaması, bu kayaların evriminde başka süreçlerin de etkili olabileceğini gösterebilir.



Şekil 6.4. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının artan SiO_2 içeriğine bağlı majör oksit değişim diyagramları

6.2 İz ve Nadir Toprak Element Jeokimyası

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait iz element içerikleri Çizelge 6.4'te, nadir toprak element içerikleri ise Çizelge 6.5'te verilmektedir. Volkanik kayaçların majör oksit içeriklerinin artan SiO_2 ile değişimleri boyunca izlenmiş olan fraksiyonel kristalizasyon etkilerini takip etmek amacıyla iz element değişim diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 6.5). İz elementlerde gözlenen değişimler, majör oksit diyagramlarında gözlenen fraksiyonel kristalizasyon etkisini desteklemektedir.

Sub-alkali karakterdeki volkanik kayaçlarda, artan SiO_2 içeriği ile birlikte andezitik ürünlerden daha asidik seriye doğru Y ve Sm elementlerinde kısmi bir negatif eğilim göze çarpmaktadır. Bu negatif korelasyon, amfibol ayrımlaşması ile açıklanabilir. Yine bu volkanik kayaçlarda gözlenen Sr ve Eu elementlerindeki az da olsa gözlenen kısmi negatif yönelim, kalsiyumca zengin plajiyoklaz fraksiyonlanması ile ilişkilidir. Ancak bu minerallerin fraksiyonlanması magmanın evriminde önemli bir rolü üstlenmemektedir. Sc elementinde özellikle andezitik ürünlerde gözlenen belirgin negatif ilişki, bu kayaçlarda amfibol ve piroksen fraksiyonlanmasının önemli bir rolü olduğunu göstermektedir. Aynı ürünlerde gözlenen Co negatif yönelimi bu görüşü desteklemektedir.

Alkali karakterdeki volkanik kayaçlarda gözlenen Co ve Sc kısmi negatif ilişkisi, magma diferansiyasyonu sırasında meydana gelen olivin ve piroksen ayrımlaşmasını göstermektedir. Plajiyoklaz ayrımlaşmasının etkileri, iz elementler açısından alkali volkanik kayaçlarda çok belirgin bir şekilde izlenmemektedir.

Çizelge 6.4. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait iz element içerikleri (ppm)

Örnek	Cs	Rb	Ba	Sr	Pb	Th	U	Zr	Hf	Ta	Y	Nb	Sc	Cr	Ni	Co	V	W	Ga	Zn	Cu
GP-1	2,5	97	584	369	18	13,8	3,3	160	3,9	0,9	12	11	6	50	20	4	50	3	17	40	10
GP-3	3	95	538	354	18	12,5	2,9	150	3,6	0,9	14	10	6	540	20	8	52	40	17	60	10
GP-5	3,5	102	577	394	15	12,6	3,3	139	3,7	1	14	10	6	100	20	7	50	1	19	50	10
GP-6	0,8	38	490	825	13	7,1	1,5	171	3,7	0,9	15	12	9	90	50	18	110	3	20	80	20
GP-7	3,9	103	804	548	19	14,8	3,5	220	5,3	1,4	17	20	8	110	50	12	76	11	18	70	20
GP-8	3,6	101	504	423	18	12,7	2,9	196	4,2	1	14	12	7	70	30	10	71	1	18	60	10
GP-10	3,5	84	1437	716	21	13,7	3,3	213	4,3	1,7	20	20	10	100	60	15	100	1	19	70	30
GP-14	3,6	104	616	582	20	14,1	3,2	211	4,4	1,5	22	19	10	130	50	15	97	2	18	70	20
GP-15	3,7	98	468	368	17	12,5	3,2	162	3,5	0,9	11	9	8	90	20	5	66	1	18	60	20
GP-16	2,5	87	491	457	17	12,9	3,1	225	4,6	1,4	16	16	7	50	20	6	63	1	18	50	10
GP-19	1,5	49	490	863	5	3,2	0,8	151	3	1,3	20	20	21	230	130	38	158	1	16	70	30
GP-20A	0,8	37	588	741	5	3,7	1,1	165	3,3	1,9	19	28	19	180	90	30	144	1	17	70	30
GP-23	3,5	106	748	711	25	18,3	4,6	253	5	1,8	16	21	4	30	20	5	51	1	19	60	10
GP-24	0,5	29	616	875	5	2,9	0,6	155	3,7	1,3	22	23	20	70	40	33	182	1	18	70	20
GP-26	0,9	31	531	891	5	3,5	1	160	3,3	1,6	19	26	20	220	120	34	163	1	17	80	40
GP-27	3,4	78	495	512	16	12,3	3,3	226	4,9	1,6	17	20	11	110	70	20	116	1	19	60	10
GP-28	1,5	50	466	648	11	8	1,9	151	3,2	1,3	12	15	12	50	30	10	128	15	19	50	30
GP-30	2	64	522	814	16	12,2	3,3	172	4,4	1,8	18	28	16	260	100	23	134	4	17	70	30
GP-31	0,9	24	389	935	7	6,5	1,4	164	3,9	1,3	21	24	21	430	230	45	174	7	16	80	40
GP-32	0,8	41	688	722	5	4	1,1	183	3,6	2,3	19	36	18	170	100	30	144	3	18	70	30
GP-34	0,7	33	531	756	11	7,4	1,8	232	4,8	1,2	17	18	6	100	20	9	66	1	20	80	10

Çizelge 6.4. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait iz element içerikleri (ppm) (devam)

Örnek	Cs	Rb	Ba	Sr	Pb	Th	U	Zr	Hf	Ta	Y	Nb	Sc	Cr	Ni	Co	V	W	Ga	Zn	Cu
GP-36	0,7	19	367	899	10	7,3	1,8	157	3,2	1,2	21	22	23	480	280	43	182	1	16	80	60
GP-38	1,6	49	317	533	8	5,6	1,6	174	3,6	1	16	13	10	130	30	13	85	1	18	60	20
GP-40	1,7	51	334	540	8	6,3	1,9	183	3,9	1,1	14	14	9	90	30	13	81	1	18	60	20
GP-41	2,9	67	320	404	12	8,3	2,2	202	4,2	0,8	13	8	7	170	30	9	64	11	18	60	20
GP-42	0,5	18	276	788	6	4,3	0,9	195	4,1	1	19	16	12	150	110	20	113	1	20	80	20
GP-44	10,9	132	772	880	26	25,8	6,7	301	6,8	2,3	19	34	8	70	20	5	86	3	19	80	20
GP-45	0,7	38	407	644	5	3,5	1,1	175	3,6	2,4	21	38	20	130	100	32	167	1	18	60	30
GP-46	5,7	47	976	1810	21	14,6	2,8	103	2,2	1,4	24	25	19	200	140	40	191	1	17	110	60
GP-50	2,4	80	488	561	14	10,8	2,6	183	3,9	1,1	14	13	10	100	50	16	98	1	18	60	30
GP-54	1,5	50	496	472	10	7,3	1,6	151	3,3	0,8	13	10	9	100	50	13	81	1	18	60	20
GP-55	1,6	56	497	544	12	8,7	2,1	191	4	1,1	15	15	11	120	90	16	90	1	18	60	30
GP-58	2,9	102	616	590	20	16	4,1	224	4,6	1,7	15	21	6	60	30	8	69	1	19	70	20
GP-62	1,3	56	294	428	12	6,2	3,2	116	2,7	0,9	12	7	5	70	20	5	47	1	17	50	10
GP-66	2,6	94	506	508	18	13	3,4	222	4,8	1,8	33	23	8	200	50	11	77	1	19	80	30
GP-73	2	59	445	547	10	8,9	2,4	182	4	1,2	15	20	7	140	40	10	93	1	17	60	10
GP-74	1	59	424	528	12	7,9	2,4	188	4,5	1	15	13	7	80	40	9	66	1	19	50	10
GP-77	1,6	68	394	504	12	8,4	2,1	172	4,2	1	12	12	7	110	40	9	59	1	20	40	20
GP-79	0,9	29	168	447	133	3,1	1	136	3,2	0,3	11	3	6	70	20	6	52	1	18	30	20
GP-80	2,4	63	360	486	11	8,2	2,2	163	4	0,9	12	12	7	80	40	10	63	1	19	40	10
GP-81	0,8	34	260	516	8	4	1,2	136	3,4	0,4	10	5	7	150	80	8	55	1	19	30	20
GP-83	1,6	62	430	645	12	7,5	2,1	179	4,4	1,4	15	19	9	90	60	12	81	1	19	50	20

Çizelge 6.4. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait iz element içerikleri (ppm) (devam)

Örnek	Cs	Rb	Ba	Sr	Pb	Th	U	Zr	Hf	Ta	Y	Nb	Sc	Cr	Ni	Co	V	W	Ga	Zn	Cu
GP-84	2	62	421	626	10	7,5	2	169	4,3	1,4	15	19	10	120	50	15	89	1	18	50	20
GP-86A	1,4	51	410	669	9	6,9	1,8	176	4,3	1,1	17	16	10	90	50	15	76	1	20	50	10
GP-86B	1,3	49	401	576	9	7,2	1,8	188	4,4	1	15	17	10	100	20	13	95	1	18	60	20
GP-87	1	45	410	841	9	6,2	1,8	190	4,4	1,6	19	24	11	110	70	18	118	1	20	60	20
GP-89	5,3	65	428	549	11	7,7	2,4	172	3,9	1,3	15	15	8	100	40	12	66	1	19	40	10
GP-90	1,3	54	427	416	13	7,8	2	169	4	0,8	14	9	7	80	50	9	58	1	18	50	20
GP-92	1,2	34	367	420	13	8,2	2,3	163	4	1,1	13	14	6	60	30	9	57	1	18	40	10
GP-93	1,1	67	391	493	18	8,4	2,2	192	4,5	1	17	15	8	70	50	11	65	1	19	50	10
GP-94	3,4	94	545	609	16	12,5	3,5	225	5,1	1,4	15	17	6	80	30	10	68	1	20	70	20
GP-95	2,8	77	488	480	11	9,9	2,9	208	4,8	1,2	17	15	11	100	60	16	93	1	19	50	20
GP-98	1,8	74	402	304	14	10,8	2,7	220	4,7	0,9	14	12	5	50	20	5	23	1	17	40	10
GP-99	3,6	78	396	488	17	9,2	2,7	185	4,3	1	14	13	9	160	70	13	78	1	18	50	20
GP-101	2,6	69	328	361	11	7,1	2,3	148	3,8	0,7	11	5	6	90	20	5	49	1	18	30	20
GP-102	2	69	389	453	13	8,8	2,7	182	4,3	1	16	13	7	70	40	9	58	1	19	50	20

Çizelge 6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının nadir toprak element içerikleri (ppm)

Örnek	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
GP-1	30	51,9	5,46	18,9	3,3	0,89	2,6	0,4	2,2	0,4	1,2	0,19	1,4	0,19
GP-3	28,8	50,6	5,22	18,6	3,2	0,82	2,6	0,4	2,5	0,5	1,4	0,21	1,4	0,21
GP-5	29,5	52,9	5,54	19,2	3,6	0,93	3	0,5	2,6	0,5	1,5	0,22	1,5	0,22

Çizelge 6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının nadir toprak element içerikleri (ppm) (devam)

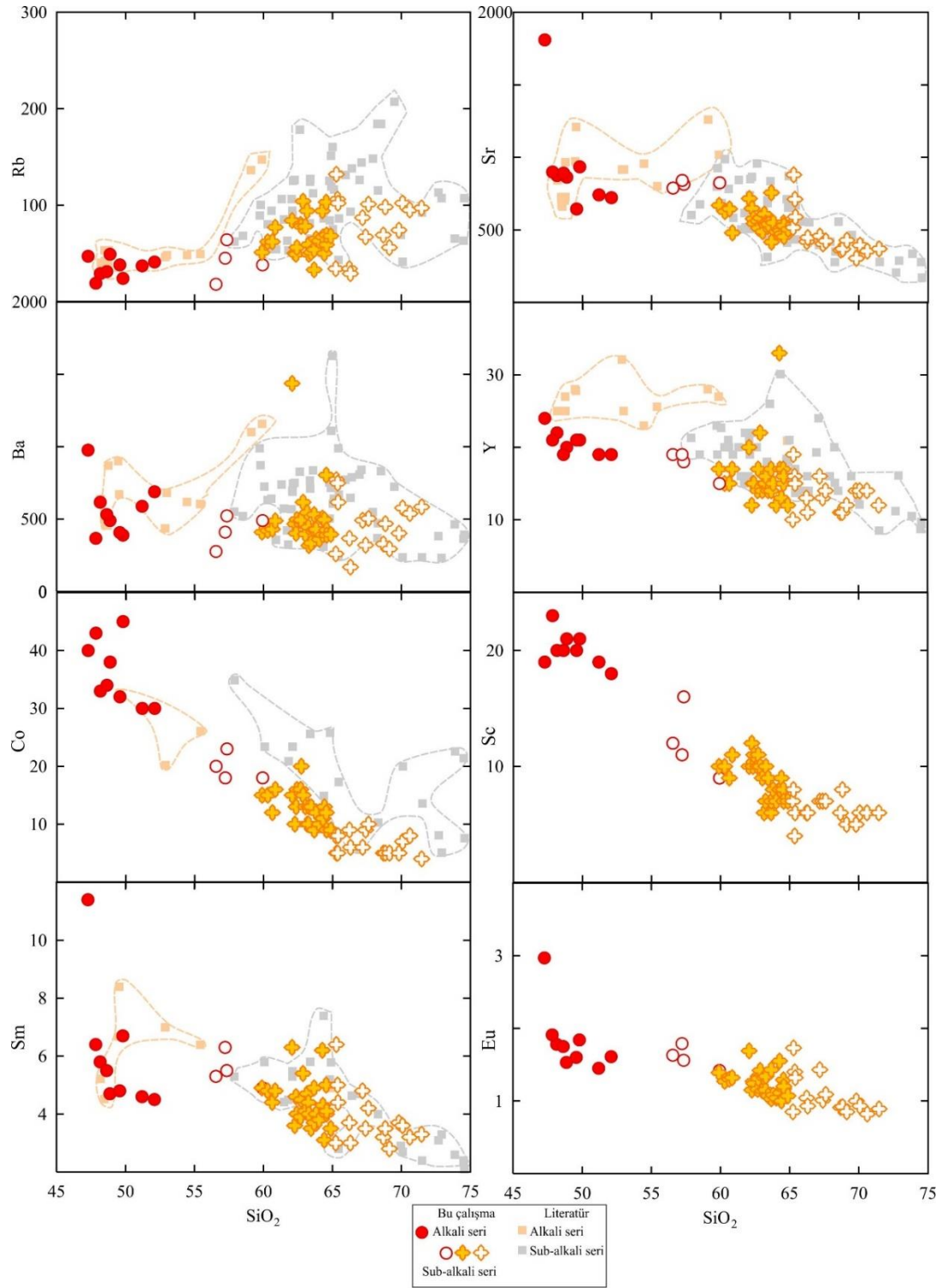
Örnek	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
GP-6	38,7	74,6	7,91	28,9	4,9	1,42	3,9	0,6	3,2	0,6	1,7	0,24	1,6	0,24
GP-7	49,8	83,4	8,95	31,5	5	1,29	3,7	0,6	3,2	0,6	1,7	0,23	1,4	0,21
GP-10	62,8	92,3	11,1	38,4	6,3	1,69	5	0,7	4	0,7	2	0,29	1,9	0,3
GP-14	51,5	87,9	8,98	31,3	5,4	1,42	4,6	0,6	3,8	0,7	2,2	0,32	2	0,32
GP-16	42,5	68,1	7,75	27,4	4,8	1,43	4	0,6	3,2	0,6	1,7	0,25	1,6	0,24
GP-19	25,7	53	6,13	23,5	4,7	1,53	4,2	0,7	3,9	0,8	2,2	0,31	2,1	0,3
GP-20A	25,8	48,8	5,39	20,9	4,6	1,45	4,4	0,7	4	0,8	2,2	0,32	2,1	0,28
GP-23	60,7	104	10,1	33,4	5	1,4	3,6	0,5	3	0,6	1,7	0,26	1,7	0,24
GP-24	28,9	63,2	7,53	29,4	5,8	1,78	5,2	0,8	4,6	0,9	2,5	0,34	2,2	0,33
GP-26	34,4	71,1	8,04	30	5,5	1,75	4,6	0,7	4	0,8	2,1	0,3	2	0,29
GP-27	35,5	62,3	6,61	24,4	4,5	1,31	3,9	0,6	3,4	0,7	1,9	0,27	1,9	0,28
GP-28	28,6	47,1	5,28	19,4	3,6	1,15	3	0,5	2,6	0,5	1,3	0,19	1,2	0,18
GP-30	49	89,2	9,25	33,5	5,5	1,56	4,3	0,6	3,6	0,7	1,9	0,29	1,8	0,27
GP-31	45,9	92,9	10,2	38,1	6,7	1,84	5,3	0,7	4	0,8	2,1	0,31	1,9	0,28
GP-32	29,7	56	6,09	24,1	4,5	1,61	4,4	0,7	4	0,8	2,2	0,32	1,9	0,3
GP-34	44	82,4	8,38	28,6	4,9	1,43	3,8	0,6	3,3	0,6	1,9	0,3	1,9	0,28
GP-36	48,7	92	9,91	36,5	6,4	1,91	5	0,8	4,3	0,8	2,3	0,32	2	0,3
GP-38	27,4	50,4	5,5	21,1	4	1,34	3,5	0,6	3,2	0,6	1,6	0,24	1,5	0,24
GP-40	26,9	49,6	5,26	19,8	3,5	1,07	3,1	0,5	2,7	0,5	1,5	0,22	1,5	0,22
GP-41	28,7	53	5,49	19,7	3,5	1,01	3,1	0,5	2,6	0,5	1,3	0,18	1,2	0,19

Çizelge 6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının nadir toprak element içerikleri (ppm) (devam)

Örnek	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
GP-42	33,4	67	7,57	28,8	5,3	1,63	4,5	0,7	3,9	0,7	2,1	0,3	2	0,29
GP-44	73,1	128	12,8	41,9	6,4	1,73	4,7	0,7	3,8	0,7	2	0,28	1,8	0,26
GP-45	25,3	48,8	5,57	22,3	4,8	1,6	4,4	0,7	4,1	0,8	2,3	0,34	2,2	0,31
GP-46	103	194	20,7	73,3	11,4	2,97	7,6	1	5,1	0,9	2,6	0,37	2,3	0,35
GP-50	36,5	63,5	6,53	22,6	3,9	1,16	3,4	0,5	3	0,6	1,5	0,21	1,4	0,22
GP-54	28,4	47,8	5,18	18,7	3,1	1	3	0,5	2,7	0,5	1,4	0,22	1,4	0,22
GP-55	33,8	60	6,43	23	4	1,24	3,4	0,5	3	0,6	1,6	0,24	1,6	0,23
GP-58	48,5	82,9	8,26	27,5	4,4	1,32	3,5	0,5	2,7	0,5	1,5	0,21	1,4	0,2
GP-66	48,3	84,1	9,48	33,9	6,2	1,55	5,6	0,9	5,3	1,1	3,2	0,46	3	0,45
GP-73	32,7	59	6,24	24,1	4,4	1,15	3,4	0,5	2,8	0,6	1,5	0,22	1,4	0,2
GP-74	32,5	58,1	6,46	23,2	4	1,17	3,3	0,5	2,7	0,6	1,6	0,23	1,6	0,23
GP-77	29,7	53,1	5,71	19,7	3,5	1,07	2,9	0,4	2,5	0,5	1,3	0,19	1,2	0,18
GP-79	19,4	32,2	4,14	15,7	3	0,93	2,6	0,4	2,2	0,4	1,1	0,16	1,1	0,16
GP-80	29,6	54,3	5,7	20,1	3,8	1,04	3,1	0,4	2,4	0,5	1,3	0,19	1,3	0,2
GP-81	20,1	33,6	4,37	15,7	3	0,85	2,4	0,4	2,1	0,4	1	0,14	0,9	0,14
GP-83	34,4	63,6	6,85	24,4	4,4	1,3	3,5	0,5	3	0,5	1,5	0,23	1,4	0,23
GP-84	34,6	65,1	6,96	24,5	4,8	1,27	3,4	0,5	3,1	0,6	1,7	0,24	1,5	0,25
GP-86A	33,2	62,1	6,92	25,7	4,9	1,39	4,1	0,6	3,4	0,6	1,8	0,26	1,6	0,25

Çizelge 6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının nadir toprak element içerikleri (ppm) (devam)

Örnek	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
GP-86B	31,2	57	6,67	22,7	4,6	1,27	4	0,6	3,1	0,6	1,7	0,23	1,4	0,21
GP-87	42,4	83,6	9,24	34,9	6,3	1,79	4,6	0,7	3,9	0,7	2	0,28	1,8	0,28
GP-89	32,5	59,7	6,39	22,9	4	1,08	3,3	0,5	2,9	0,6	1,5	0,22	1,5	0,24
GP-90	30,3	54,5	5,75	21	3,7	1,03	2,9	0,4	2,5	0,5	1,4	0,19	1,3	0,21
GP-92	31	55,9	5,75	20,3	3,7	1,04	3,2	0,5	2,6	0,5	1,4	0,2	1,3	0,21
GP-93	34,9	62,5	6,59	23,3	4,3	1,11	3,2	0,5	2,8	0,6	1,6	0,23	1,5	0,22
GP-94	48,4	84,3	8,59	28,9	4,7	1,32	3,4	0,5	2,9	0,5	1,5	0,21	1,4	0,23
GP-95	34,8	60,8	6,93	24,9	4,8	1,32	3,9	0,6	3,6	0,7	1,8	0,25	1,6	0,26
GP-99	34,1	60,9	6,37	23	4,1	1,14	3,3	0,5	2,7	0,5	1,5	0,2	1,3	0,2
GP-102	36,5	60,3	6,74	24,2	4,1	1,2	3,4	0,5	3,1	0,6	1,6	0,24	1,5	0,24

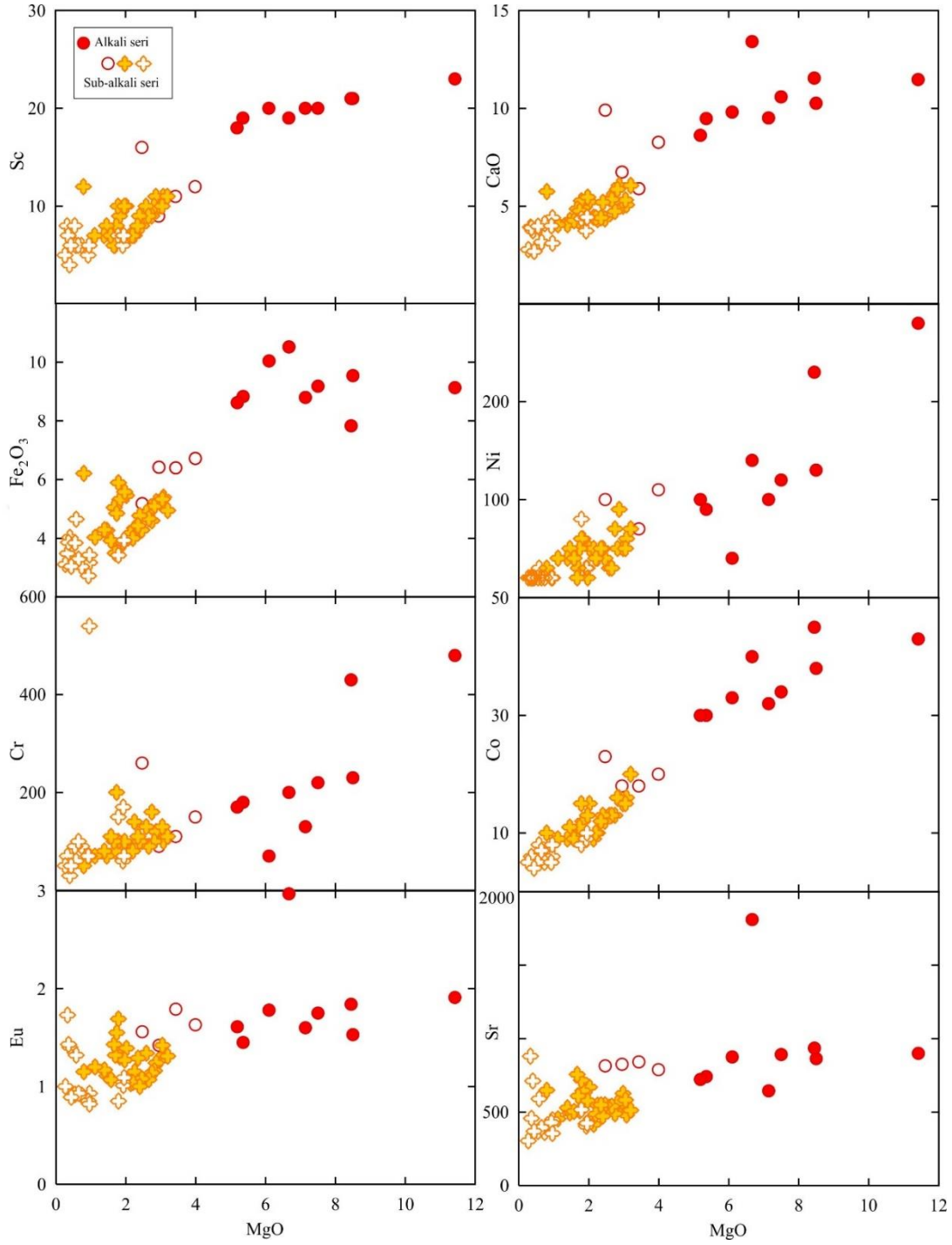


Şekil 6.5. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının artan SiO_2 içeriğine bağlı iz element değişim diyagramları

Alkali volkanik kayalardaki fraksiyonel kristalizasyon etkilerinin daha net bir şekilde izlenebilmesi için, bu örneklere ait bazı majör oksit ve iz element içerikleri, SiO_2 içeriklerinin yanında ayrıca artan MgO değerlerine göre incelenmiştir (Şekil 6.6). Ayrıca, sub-alkali volkanik kayalardaki baskın süreç olan fraksiyonel kristalizasyon etkisinin desteklenmesi amacıyla, bu örnekler de grafiklere iz düşürülmüştür. Değişim diyagramlarına göre artan MgO değerlerine karşılık alkali volkanik ürünler için Sc, CaO, Ni ve Co elementlerinde gözlenen kısmi pozitif ilişki, diğer değişim diyagramlarında izlenebilen olivin ve piroksen ayrışmasını destekleyebilir.

Sub-alkali ürünlerde belirgin bir değişim görülmemekle birlikte, CaO, Fe_2O_3 ile Sc ve Co elementlerinde özellikle ortaç karakterdeki ürünlerde gözlenen pozitif yönelim bu ürünlerdeki piroksen ayrışmasını destekler niteliktedir.

Artan MgO içeriği ile her iki volkanik seri için herhangi bir Eu ve Sr değişiminin gözlenmemesi, plajiyoklaz ayrışmasının bu ürünleri oluşturan magmanın evriminde önemli bir role sahip olmadığını göstermektedir.



Şekil 6.6. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaların artan MgO içeriğine bağlı bazı majör oksit ve iz element değişim diyagramları.

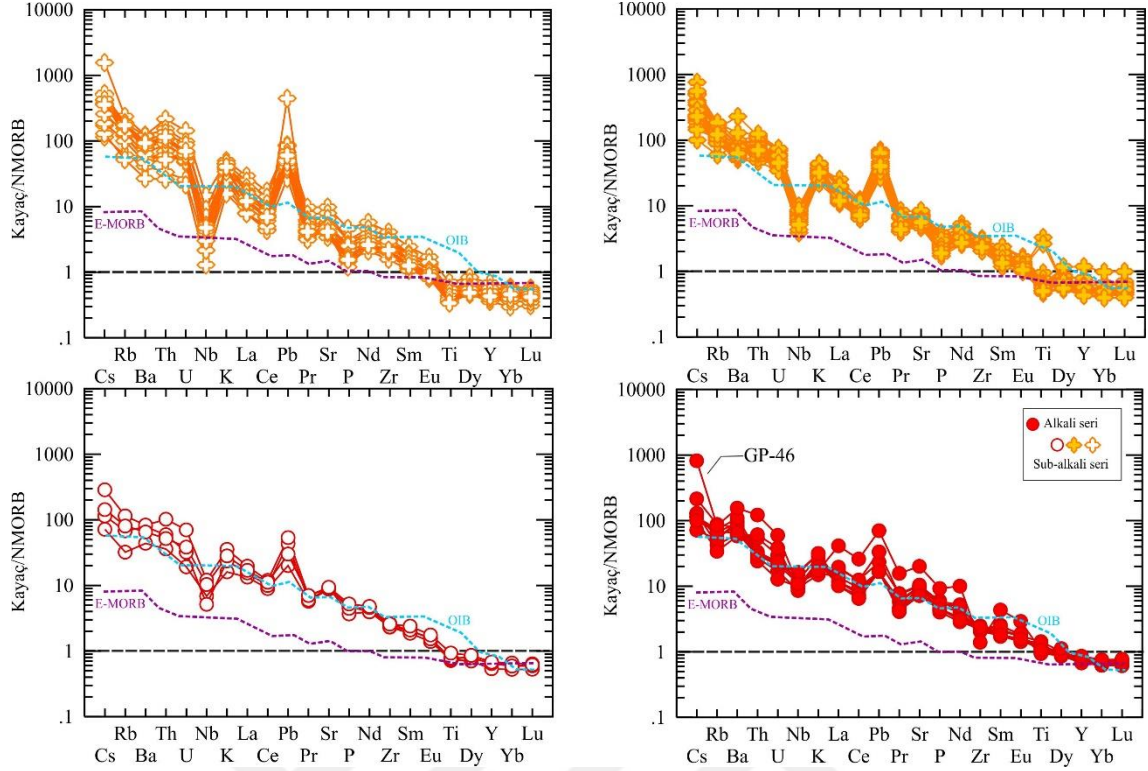
Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasının ürünleri olan volkanik kayaların oluşum süreçlerine ve kaynak bileşenine bir yaklaşımda bulunabilmek amacıyla çeşitli rezervuarlara göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları oluşturulmuştur. Bu diyagramlar, daha önce yapılmış olan çalışmalarda bahsedildiği üzere Galatya Volkanik

Provensi'ndeki volkanizmanın Erken Miyosen ve Geç Miyosen olarak iki farklı evrede meydana geldiği ve alkali volkanik serinin (Geç Miyosen) sub-alkali seriden (Erken Miyosen) daha genç olduğu göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Volkanik kayaçlar N-tipi MORB'a göre normalize edilerek oluşturulmuştur. Normalize değerler için Sun ve McDonough (1989) tarafından önerilmiş değerler kullanılmıştır. Ayrıca tüm örneklerin oluşturduğu desenlerin karşılaştırılması amacıyla bu diyagramlara E-MORB ve OIB eğrileri de iz düşürülmüştür. Genel anlamda hem alkali hem de sub-alkali seriye ait volkanik kayaçlar benzer desenler oluşturmakta ve bu da kökenlerinin aynı olduğunu düşündürmektedir. Tüm örnekler OIB'ye yaklaşık olarak benzer desenler sergilemekle birlikte bu benzerlik en fazla alkali volkanik kayaçların oluşturduğu desenlerde göze çarpmaktadır. İki volkanik seriye ait kayaçlarda büyük iyon yarıçaplı elementler (LIL elementler: Cs, Rb, K, Ba, Pb, Sr ve Eu) küçük iyon yarıçaplı elementlere oranla (HFS elementler: Y, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta ve nadir toprak elementler) zenginleşmiştir. Bu tür zenginleşmeler aktif kıta kenarı magmatizmasının karakteristik özelliğidir (Wilson, 1989). Örneklerde bazı HFS elementlerin (Yb, Y, Lu) N-MORB'a göre tüketildiği ve bu elementlerin yatay bir desen oluşturduğu gözlenmektedir. Bu tüketilme özellikle asidik karakterdeki sub-alkali ürünlerde daha fazladır ve tüketilme derecesi alkali volkanik ürünlere doğru azalmaktadır. Örneklerin sergilediği desenlerde dikkat çekici bir nokta ise Nb elementinde gözlenen negatif anomalidir. Bu negatif anomali, alkali volkanik seriden, sub-alkali volkanik seriye ait asidik karakterdeki volkanik kayaçlara doğru belirgin bir şekilde artış göstermektedir. Bu durum, bu anomaliyi gösteren kayaçların yitim ile ilişkili yani dalma-batma süreçlerinden etkilenerek metasomatize olmuş bir mantodan türemiş olabileceklerini gösterebilir. Yitim zonlarında dalan okyanus kabuğu üst mantoya girdiğinde uyumlu olarak davranan Nb, Ta, Ti gibi elementler, dalan kabuğun daha derin kısımlarında meydana gelen ergimelerle uyumsuz davranış sergilemekte ve ilerleyen süreçlerde meydana gelen metasomatizma ile birlikte manto kaması bu bileşenlerce zengin hale gelmektedir (Ringwood, 1990; Pearce, 1983; Pearce ve Parkinson, 1993; Wilson, 1989). Yitimden etkilenen akışkanlar tarafından metasomatize edilmiş magmaların iz element değişim diyagramlarında Nb, Ta ve Ti elementleri negatif anomali göstermektedir (Hawkesworth vd., 1997; Elburg vd., 2002). Özellikle aktif kıta kenarlarında için karakteristik olan bu durum, Galatya Volkanik Provensi sub-alkali karakterdeki kayaçlar için tipik olarak gözlenmektedir. Aynı zamanda Nb elementinde meydana gelen bu negatif anomali,

magmanın yükselimi esnasında meydana gelebilecek olan kabuksal kirlenmeden de kaynaklanabilmektedir. Ancak önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere, asidik-ortaç bileşimdeki Erken Miyosen volkanizması, dalma-batma süreçleri sonucunda meydana gelen metasomatizmadan etkilenen bir kaynak bileşeninden itibaren oluşmuştur (Wilson vd., 1997; Tankut vd., 1998 a, 1998 b; Varol vd., 2014). Bu çalışmaya ait sub-alkali örneklerin evriminde de kabuksal kirlenmeden çok, yitim etkisiyle metasomatizma olmuş bir manto kaynağı varlığı öne çıkmaktadır. Nb anomalisinde gözlenen değişim, aynı şekilde Ti elementinde de gözlenmektedir. Alkali kayalardan sub-alkali volkanik kayaların asidik bileşenlerine doğru artan Ti anomalisi de yitimden etkilenen bir manto kaynağına işaret etmektedir.

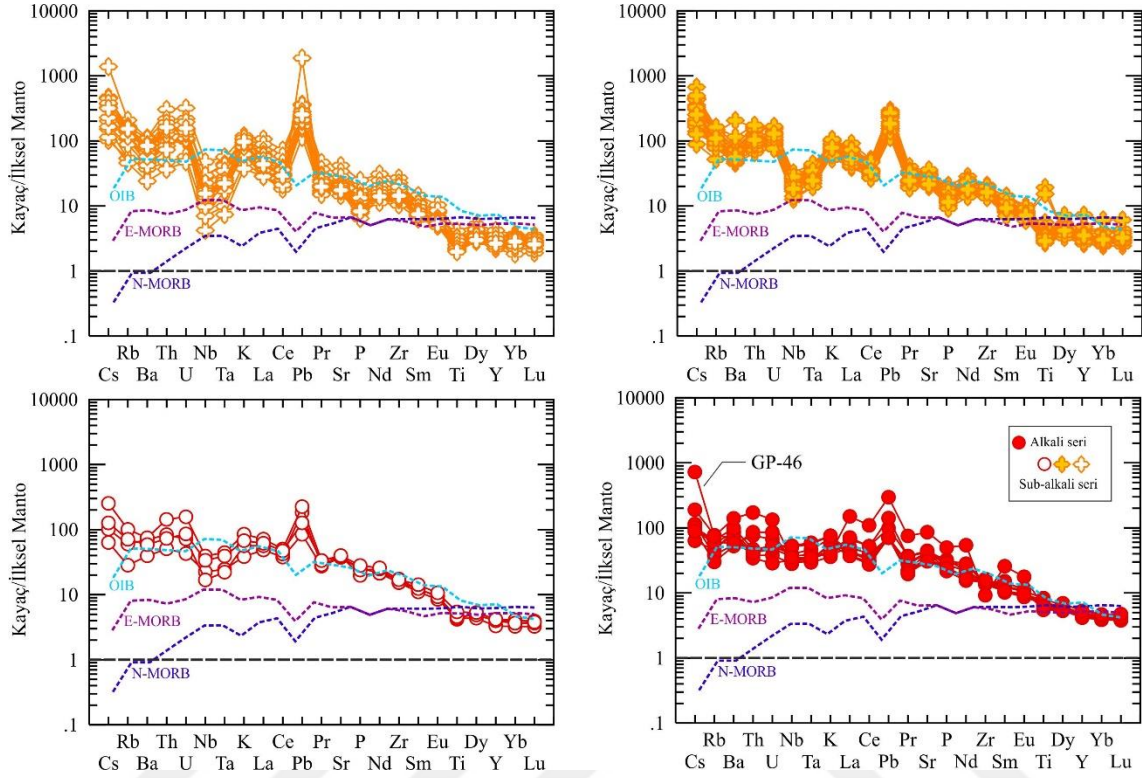
Yitimden etkilenen bir manto kaynağının varlığını gösteren bir başka nokta da pozitif Pb anomalisidir. Nb, Ti ve Ta negatif anomalisiyle birlikte gözlenen Pb elementindeki pozitif anomali, dalma- batma ile ilişkili oluşmuş volkanik kayalar için tipiktir (Gill, 1981; White ve Dupre, 1986; McCulloch ve Gamble, 1991). Pb suda yüksek derecede çözünür ve dalan kabuğun dehidrasyonu sırasında kabukta fakirleşerek, ergiyik bünyesine katılmaktadır (Brenan vd., 1995; Kogiso vd., 1997; Kessel vd., 2005). Bu pozitif anomali, Nb ve Ti elementlerinde olduğu gibi, sub-alkali karakterdeki volkanik kayalarda daha fazla, alkali volkanik kayalarda ise en az oranda gözlenmektedir ve bu kayaların evriminde yitimden etkilenmiş bir manto kaynağının varlığına kanıt teşkil etmektedir. Aynı pozitif ve negatif anomaliler kabuksal kirlenme süreçlerinin yaşandığına da işaret edebilmektedir. Bu konu fraksiyonel kristalizasyon ve asimilasyon olaylarının tartışıldığı bölümde ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.



Şekil 6.7. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının N tipi MORB'a göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (Sun ve McDonough, 1989).

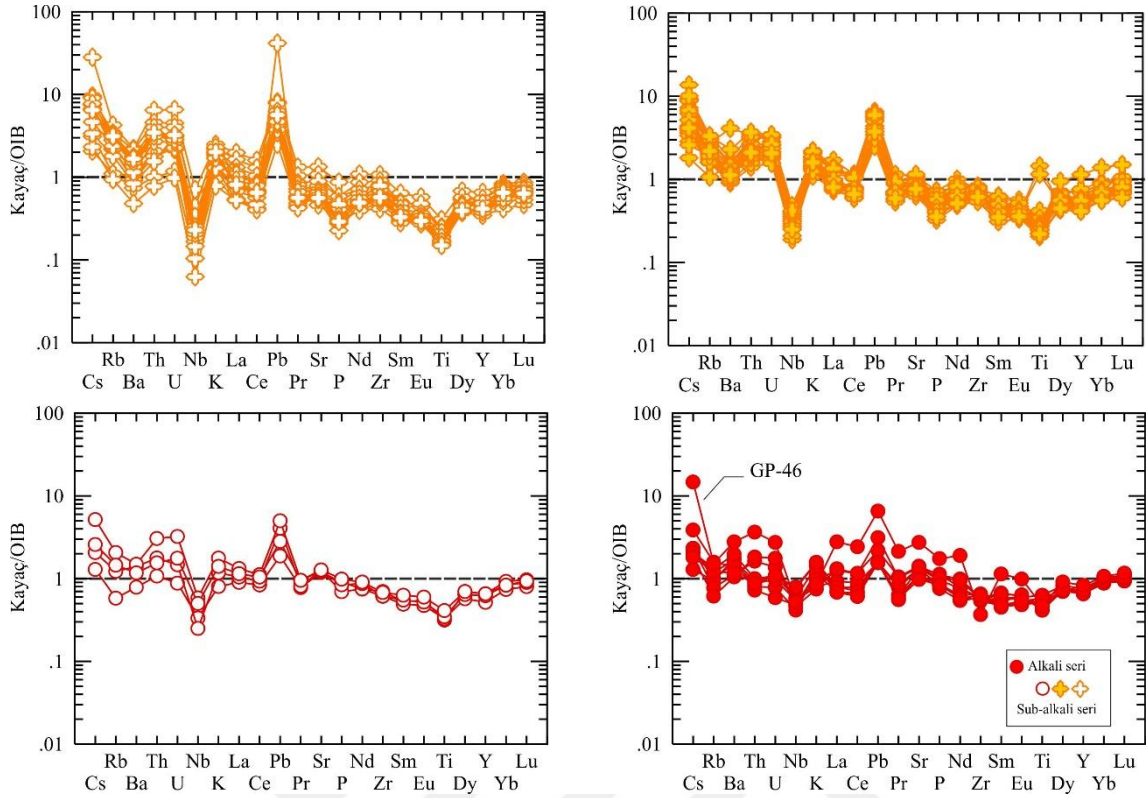
Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları Şekil 6.8'de verilmektedir. Normalize değerler Sun ve McDonough'dan (1989) alınmıştır. N tipi MORB'a göre normalize edilmiş diyagramlarda benzer desenler sergileyen volkanik kayaçların bu diyagramlarda da oluşturduğu desenler birbirlerine benzemektedir ve tüm elementler açısından, ilksel mantoya göre zenginleşme göstermektedir. N tipi MORB grafiklerini doğrular şekilde, ilksel mantoya göre normalize edilmiş diyagramlarda sub-alkali örneklerden alkali örneklere doğru gidildikçe azalan Nb, Ta ve Ti negatif anomalisi göze çarpmaktadır. Bununla birlikte örneklerde gözlenen HFS elementlerine karşılık LIL elementlerinde gözlenen zenginleşme ve bu zenginleşmenin sub-alkali gruptaki asidik bileşimli volkanik kayaçlara doğru artması, bu örneklerin evriminde yitimden etkilenen bir manto kaynağını işaret etmektedir. Pb pozitif anomalisi bu görüşü desteklemektedir. Sub-alkali volkanik kayaçlarda asidik bileşimdeki volkaniklerden ortaça volkaniklere doğru ve gidildikçe kaybolan kısmi bir Eu negatif anomalisi göze çarpmaktadır. Alkali volkanik kayaçlarda ise bu negatif anomali gözlenmemektedir. Bu anomalinin varlığı plajiyoklaz fraksiyonlanması ile ilgilidir. Harker diyagramlarında da incelendiği üzere,

plajiyoklaz mineralinin ayrımlaşması Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları açısından özellikle alkali volkanik kayaçların evriminde etkin bir rol oynamamaktadır.



Şekil 6.8. Galatya Volkanik Provensi kayaçlarının ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (Sun ve McDonough, 1989).

Volkanik kayaçların OIB'ye göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları Şekil 6.9'da verilmektedir. Genel anlamda alkali volkanik kayaçların oluşturduğu desenler ortalama OIB'ye benzerlik sunmaktadır. Bu benzerlik sub-alkali volkanik kayaçlara doğru gidildikçe farklı elementlerdeki negatif ve pozitif anomalilerde meydana gelen değişimlerden ötürü azalmaktadır. Bazı uyumsuz elementlerdeki (Rb, Ba, Th, U gibi) OIB'ye göre zenginleşmeler göstermesi yitimden etkilenmiş bir manto kaynağına işaret edebilir. Bu etki alkali volkanik kayaçlarda en az oranda izlenmektedir. Ayrıca sub-alkali volkanik kayaçlardan, alkali volkanik seriye doğru azalan negatif Nb ve pozitif Pb anomalisi bu grafiklerde de dikkat çekicidir.

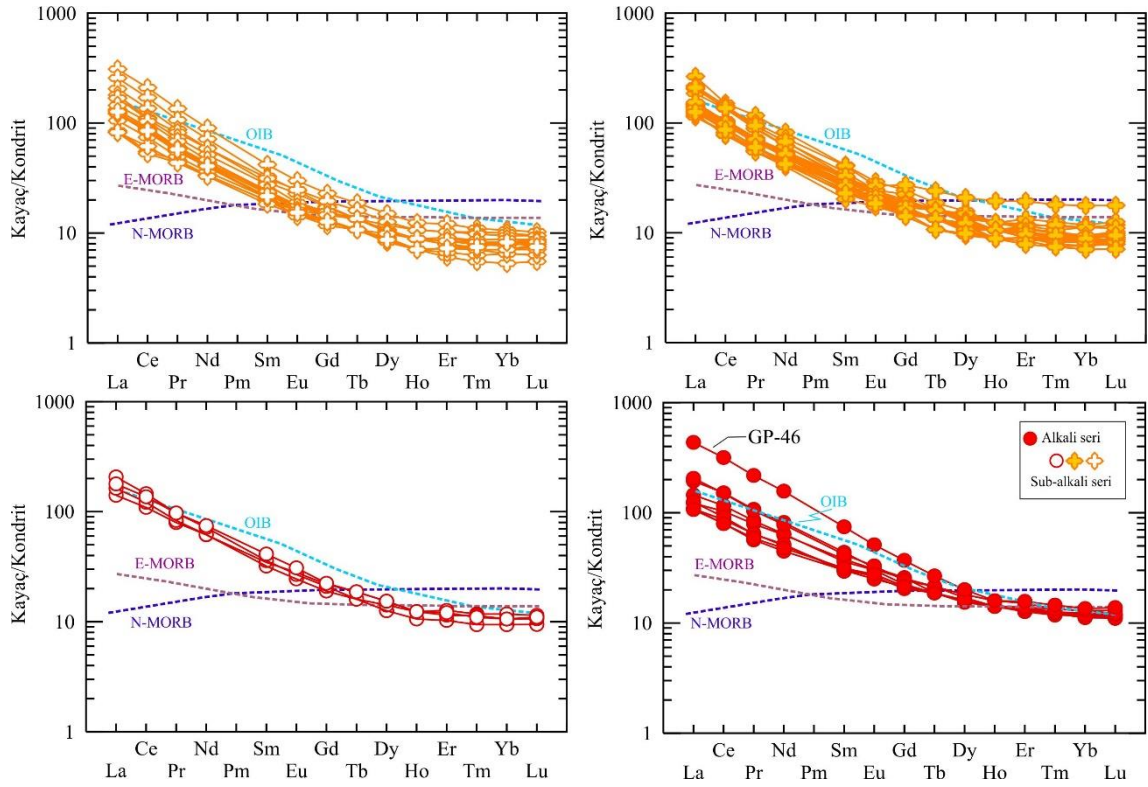


Şekil 6.9. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaların OIB'ye göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları (Sun ve McDonough, 1989).

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramları, Sun ve McDonough (1989)'nun normalize değerleri kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 6.10). Bu diyagramlara bazı önemli rezervuarlar da iz düşürülmüştür. Birbirleri ile benzer desenler sergileyen örnekler, OIB eğrisi ile uyumludur. Hem alkali hem de sub-alkali örnekler için hafif nadir toprak elementler (LREE) ağır nadir toprak elementlere (HREE) göre zenginleşme göstermektedir. Diğer diyagramlarda olduğu gibi örneklerin oluşturduğu desenlerde herhangi bir Eu negatif anomali göze çarpmamaktadır.

Normalize nadir toprak elementleri diyagramında dikkat çekici bir diğer nokta ağır nadir toprak elementlerinin düz bir desen oluşturmasıdır. Bu durum, volkanik kayaların sığ bir mantodan itibaren türediklerine işaret edebilir. Çünkü ağır nadir toprak elementleri ergime sürecinde granat için uyumlu davranış gösterirken, spinel için uyumsuz davranış göstermektedir (Ellam, 1992). Bu sebeple granat barındıran bir mantonun ergimesiyle oluşacak volkanik ürünlerin ağır nadir toprak element içerikleri, spinel içeren bir mantonun ergimesiyle oluşacak ürüne göre daha düşük değerler sunacaktır. Ağır nadir toprak

elementlerin uyumluluk değerleri granat için daha fazla olduğundan ötürü, bu elementlerin desenleri diyagramın soluna doğru azalarak ilerleyecek, spinel fasiyesinde ise daha düz bir desen meydana gelecektir. Yüksek LREE/HREE oranı Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarlarının yitim etkisindeki bir manto kaynağından veya düşük dereceli kısmi ergimeler sonucunda oluşmuş olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 6.10. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarlarının kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element içerikleri diyagramı (Sun ve McDonough, 1989).

Oluşturulan normalize çoklu element diyagramlarında dikkat çekici olan bir başka önemli nokta alkali volkanik kayalarda gözlenen GP-46 örneğine ait desenlerin, sub-alkali volkanik kayalara olan benzerliğidir. Bu alkali volkanik kayaç (bazalt), diğer alkali örneklerden daha düşük Nb, Ti ve Ta negatif anomalisi ve daha yüksek Pb pozitif anomalisi sergilemekle birlikte bazı LIL elementleri açısından daha fazla zenginleşme göstermektedir. Bu örneğin Erken Miyosen döneminin sonlarında yüzlek vermiş olan az hacimdeki alkali bazaltik volkanizmanın ürünlerinden olduğu düşünülmektedir.

6.3 İzotop Jeokimyası

Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasının kaynak bileşimlerine yaklaşımda bulunmak amacıyla 7 volkanik kayaç numunesinden $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ölçülen ile hesaplanan ilksel izotop değerleri ve ilgili açıklamalar Çizelge 6.6'da verilmektedir. Literatür verilerinden derlenen ilksel izotop verileri ise Çizelge 6.7'de yer almaktadır. Bu çalışmaya ait veriler değerlendirildiğinde sub-alkali örneklerin ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bileşimleri 0,704565- 0,705243, ilksel $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ oranı ise 0,512649-0,512748 arasında; alkali örneklerin ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0,703792-0,705257 ve ilksel $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ oranı ise 0,512646-0,512889 arasında değişmektedir. En yüksek $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ ve en düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı ile GP-32 diğer örneklerden ayrılmaktadır. Aynı şekilde literatür örneklerinden TY-486 (Tankut vd., 1998 a; Wilson vd.'nin (1997) çalışmasında Gü486 örneği) tüm Galatya örneklerinden farklı olarak yüksek $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ ve düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı sergilemektedir. Wilson vd. (1997) ise yaşlı alkali bazaltik örneklerin sergiledikleri daha radyojenik Nd-Sr izotop bileşimlerini Geç Mesozoyik-Erken Tersiyer zamanında meydana gelen dalma-batma zonu sonucunda oluşan akışkan/ergiyik infiltrasyonu sonucunda metasomatize olarak zenginleşen bir mantodan türemiş olmalarına bağlamaktadır. Bununla birlikte Geç Miyosen yaşlı TY 486 örneğinin göstermiş olduğu izotopik bileşimi yaşlı evreye göre tüketilmiş bir manto kaynağından itibaren oluşmuş olmasıyla açıklamaktadır. Ayrıca örneğin EAR (European Asthenospheric Reservoir; Granet vd., 1995; Cebria ve Wilson, 1996) bileşimine yakın bir bileşim sergilemesinin, astenosferik bir katkıya işaret eden bir kimyasal karakteristik olabileceğini de öne sürmektedir. Bu çalışmaya ait örneklerin ilksel izotop bileşimleri literatür verileri ile birlikte değerlendirildiğinde manto aralığında bir yönelim sergilediğini ve ilksel manto rezervuarından, EM-I ile tanımlanan kıtasal kabuk rezervuarına doğru bir eğilim sunduğu tespit edilmektedir (Şekil 6.11). Erken Miyosen evresine ait olduğu düşünülen sub-alkali örneklerin ve yine aynı evreye ait alkali bazaltik kayaçların (tahmini yaş 20 My) daha düşük ilksel $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ ve yüksek ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ile tanımlandığı görülmektedir. GP-46 örneği çoklu element diyagramlarında sergilemiş olduğu sub-alkali kayaçlara benzer özellikler sunması izotopik bileşim açısından da izlenmektedir. Geç Miyosen evresine ait olduğu düşünülen alkali bazaltik volkaniklerin ise (GP-32 ve GP-24, tahmini yaş 10 My) yüksek $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ ve düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ile karakterize edilmektedir. Örneklerin zenginleşmiş mantoyu temsil eden alandan itibaren sergilediği yönelim, Erken Miyosen zamanında

kaynak alanının dalma-batma benzeri süreçler ile zenginleştğini ve/veya kabuksal kirlenme etkilerinin varlığını göstermektedir. GP-32 örneğinin TY-486 örneği ile benzer şekilde EAR manto bileşimine yakın değerler sergilemesi bu örneğin petrojenezinde diğer volkanik kayalara göre bir farklılık sunmasından kaynaklanmaktadır.



Çizelge 6.6. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ sonuçları. Standart sapmalar son basamağa aittir. ($\lambda_{\text{Rb}} = 1,42 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$, Steiger ve Jager, 1977; $\lambda_{\text{Sm}} = 6,54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$, Lugmair ve Marti, 1978).

Grup	Örnek	Lokasyon	Kayaç Türü	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(\text{m})}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(\text{m})}$	Tahmini Yaş (My)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(\text{i})}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(\text{i})}$
Sub-alkali	GP-1	Aşağıkayı	Riyolit	0,705161±6	0,512711±5	20	0,704945	0,512697
	GP-42	İsmetpaşa	Andezit	0,704565±16	0,512748±4	20	0,704565	0,512748
	GP-44	Çerkeş	Trakit	0,705366±5	0,512661±5	20	0,705243	0,512649
	GP-77	Kartalkaya	Dasit	0,704781±6	0,512702±10	20	0,704670	0,512688
Alkali	GP-24	Özlü	Trakibazalt	0,704376±8	0,512750±5	10	0,704362	0,512742
	GP-32	Hacılar	Bazaltik trakiandezit	0,703815±6	0,512896±4	10	0,703792	0,512889
	GP-46	Güvem	Bazalt	0,705278±6	0,512658±5	20	0,705257	0,512646

Çizelge 6.7. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait literatür izotop içerikleri (*Pümis; **ilgili literatür tarafından maksimum yaş olarak belirlenen tahmini yaş)

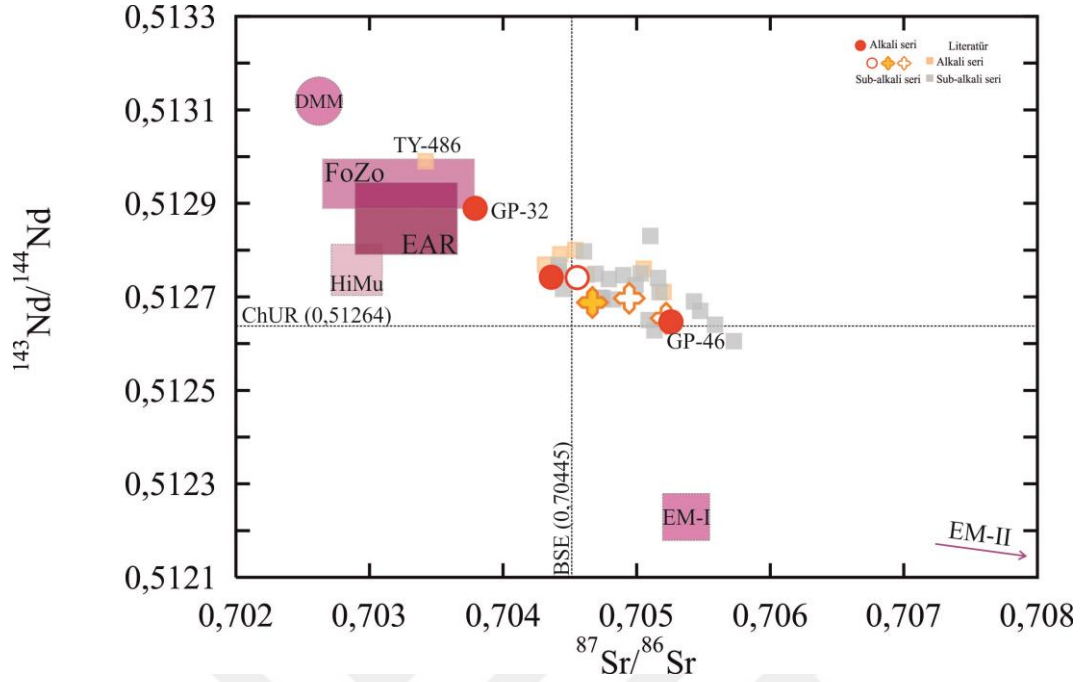
Grup	Örnek	Lokasyon	Kayaç Türü	K/Ar Yaş (My)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Referans
Sub-alkali Volkanik Kayaçlar	Oz- 18	Özmüş	Trakiandezit	18	0,704607	0,512797	Wilson vd., 1997
	Güd16	Güdül	Trakidasit	**20	0,704992	0,512725	

Çizelge 6.7. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait literatür izotop içerikleri (*Pümis; **ilgili literatür tarafından maksimum yaş olarak belirlenen tahmini yaş) (devam)

Grup	Örnek	Lokasyon	Kayaç Türü	K/Ar Yaş (My)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Referans
Sub-alkali Volkanik Kayaçlar	Or28	Trakiandezit	Orta	**20	0,705031	0,512750	Wilson vd., 1997
	Ka228	Karasar	Trakiandezit		0,704418	0,512768	
	Ka262	Karasar	Trakiandezit		0,704418	0,512755	
	Güd12	Güdül	Trakiandezit	16,9	0,704900	0,512746	
	Ky2	Kızıkyayla	Trakiandezit	**20	0,704450	0,512717	
	Gü502	Güvem	Trakidasit	**20	0,705103	0,512830	
	Gü514	Güvem	Trakidasit	**20	0,705430	0,512690	
	Gü497	Güvem	Trakidasit	17,8	0,705587	0,512640	
	Gü500	Güvem	Trakiandezit	**20	0,705172	0,512710	
	Gü512	Güvem	Trakiandezit	**20	0,705477	0,512670	
	Gü395	Güvem	Trakiandezit	19,7	0,705729	0,512605	
	Gü496	Güvem	Trakidasit	**20	0,705162	0,512740	
	GM-15	Çamlıdere	*Riyolit		0,704746	0,512697	Varol vd., 2014
	GM-16	Çamlıdere	Dasit		0,705134	0,512628	

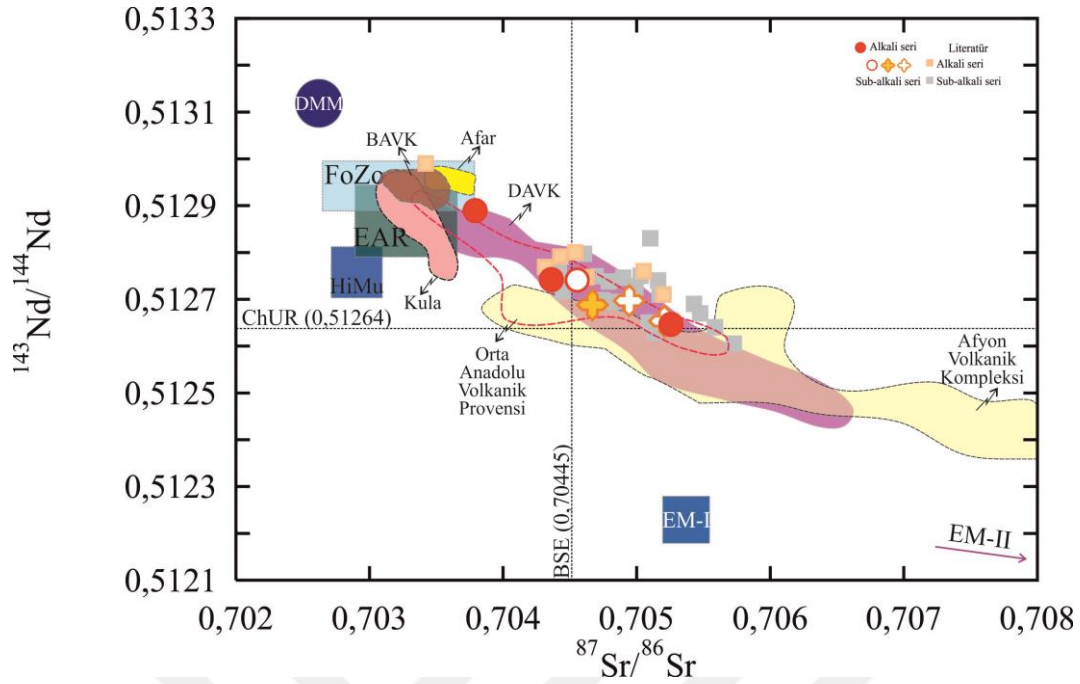
Çizelge 6.7. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait literatür izotop içerikleri (*Pümis; **ilgili literatür tarafından maksimum yaş olarak belirlenen tahmini yaş) (devam)

Grup	Örnek	Lokasyon	Kayaç Türü	K/Ar Yaş (My)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	Referans
Sub-alkali Volkanik Kayaçlar	GM-21	Çamlıdere	*Riyolit		0,704729	0,512698	Varol vd., 2014
	GM-25	Çamlıdere	Andezit	14,5	0,704793	0,512738	
	GM-27	Çamlıdere	*Riyolit		0,704826	0,512694	
	GM-46	Çamlıdere	Dasit	19,9	0,704694	0,512749	
	GM-48	Çamlıdere	Andezit		0,705091	0,512650	
Alkali Volkanik Kayaçlar	Oz11	Özmüş	Bazalt	18,2	0,705053	0,512760	Wilson vd., 1997; Tankut vd., 1998 a
	Or29	Orta	Trakiandezit	**20	0,704541	0,512800	
	Güd10	Güdül	Bazalt	18,8	0,704429	0,512791	
	Gü490	Güvem	Trakiandezit	**20	0,705201	0,512710	
	TY486	Güvem (Gü486)	Bazalt	9,51	0,703421	0,512990	
	GM-47	Çamlıdere	Trakiandezit		0,704626	0,512747	Varol vd., 2014
	GM-57	Çamlıdere	Trakibazalt	18,7	0,705260	0,512653	
	GM-125	Çamlıdere	Bazaltik trakiandezit	18,8	0,704315	0,512769	



Şekil 6.11. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ bileşimleri diyagramı. BSE: Bulk Silicate Earth, ChUR: Chondritic Uniform Reservoir; Manto rezervuarları Zindler ve Hart (1996), Cebria ve Wilson (1995) ile Workman ve Hart'tan (2005) alınmıştır.

Örneklerin ilksel izotopik bileşimleri farklı volkanik alanlar ve kayaç grupları ile karşılaştırıldığında, Doğu Anadolu Volkanik Kayaçları ve Orta Anadolu Volkanik Provensi ile yaklaşık olarak benzer yönelimler sergilediği ve artan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranına karşılık azalan $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ bileşimleri gösterdiği tespit edilmektedir (Şekil 6.12). Geç Miyosen alkali bazaltik kayaçları Afyon bölgesi alkali volkanik kayaçlarına göre daha yüksek $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ve daha düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları ile tanımlanmaktadır.



Şekil 6.12. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait izotop bileşimlerinin diğer volkanik kayaçlar ile karşılaştırılmasına ait diyagram. BAVK: Batı Anadolu Volkanik Kayaçları (Geç Miyosen; Aldanmaz vd., 2006; Kuvaterner Kula Volkanikleri (Alıcı vd., 2000), Orta Anadolu Volkanik Provensi (Orta Miyosen-Pliyosen, Di Guiseppe vd., 2018), DAVK: Doğu Anadolu Volkanik Kayaçları (Miyosen- Pleistosen, Buket ve Temel, 1998; Di Guiseppe vd., 2017); Afyon Volkanik Kompleksi (Miyosen, Prelevic vd., 2012); Afar Sorgucu (Deniel vd., 1994).

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasına ait volkanik kayalar üzerinde gerçekleştirilmiş mineralojik, jeokimyasal ve izotopik bulgular değerlendirilerek bu kayaların oluşumunda etkili olmuş olabilecek fraksiyonel kristalizasyon, kabuksal kirlenme, kısmi ergime süreçleri tartışılacak ve manto kaynak bileşimleri hakkında yorumlamalarda bulunulacaktır.

Galatya Volkanik Provensi Miyosen yaşlı volkanik kayaları jeokimyasal açıdan incelendiğinde, özellikle iz elementlerin diyagramlarda gösterdiği benzer desenler bu kayaların kökenlerinin aynı olabileceğini göstermektedir. Ancak, bu kayaların oluşumu esnasında meydana gelebilecek magma kaynağının kısmi ergime derecesindeki farklılıklar, kabuksal kirlenmenin varlığı ve derecesi, dalma-batma süreçlerinin manto kaynağına etkisi, kayaların yitimden ne derece etkilendiği veya magma karışımı gibi süreçler dikkatle incelenmelidir. Bu sayede provensin petrolojik evriminin net bir şekilde anlaşılacağı düşünülmektedir.

7.1 Fraksiyonel Kristalizasyon ve Kabuksal Kirlenme (Asimilasyon) Süreçleri

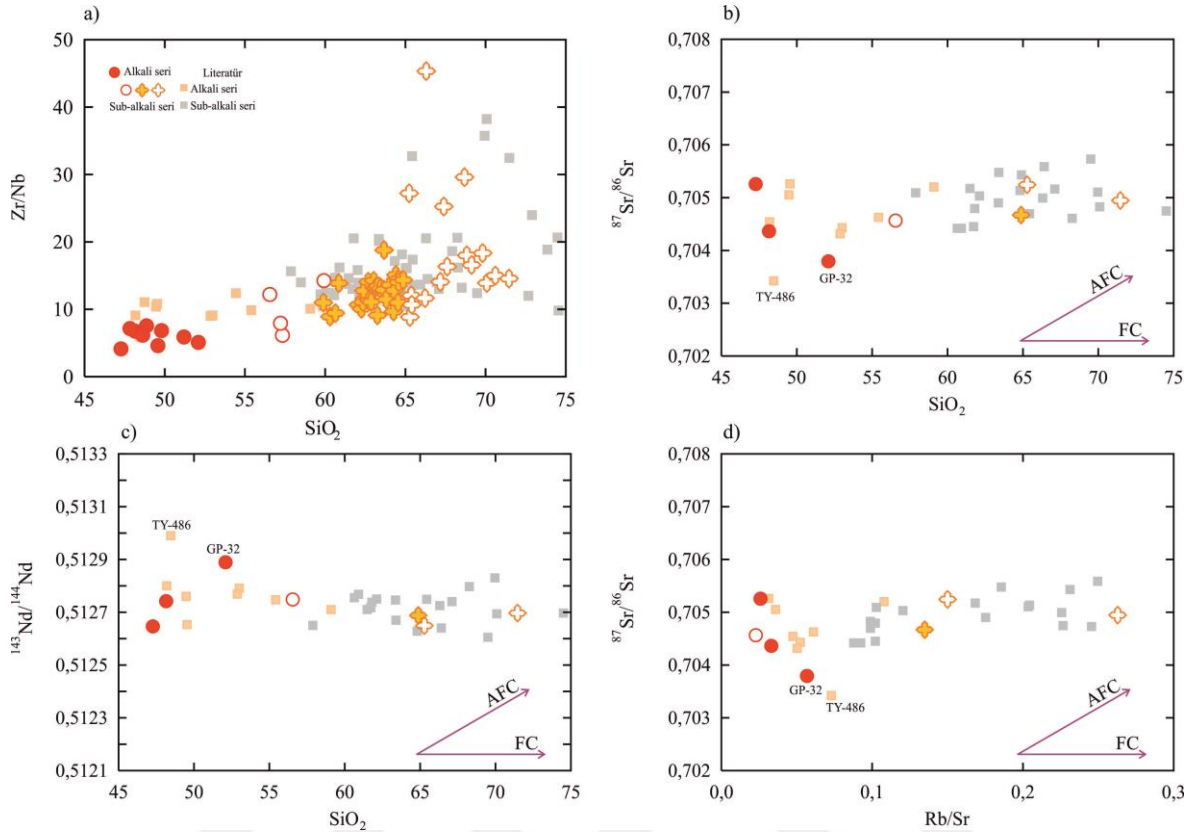
Galatya Volkanik Provensine'ne ait kayaların tüm kayaç jeokimyasal verileri incelendiğinde örneklerin MgO içerikleri (%ağ.) %0,27- %11,42; #Mg içerikleri 14,8- 71,2, Ni ve Cr içerikleri sırasıyla 20-280 ppm ve 30-540 ppm arasında değişmektedir. Bölgedeki en bazik örnek olan GP-46 örneğinin (bazalt) bileşimi %6,67 MgO, 55,7 #Mg, 140 ppm Ni ve 200 ppm Cr şeklindedir ancak ilksel mantoya yakın bir değer sunmamaktadır (%37,80 MgO, 89,3 #Mg Sun ve McDonough, 1989; 1860 ppm Ni, 2520 ppm Cr, Palme ve O'Neill, 2004). Böylelikle kayaları oluşturan magma kaynak alanının primitif özellik sunmadığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple, fraksiyonel kristalizasyonun volkanik kayaların üzerindeki etkisini anlayabilmek için ana oksit, iz ve nadir element içerikleri Harker değişim diyagramlarında incelenmiştir. Bu diyagramlara göre, Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının evriminde fraksiyonel kristalizasyon süreçleri oldukça önemli bir süreci oluşturmaktadır. Bilindiği üzere volkanik kayaların evriminde fraksiyonel kristalizasyon süreci etkiliyse, magmadan ilk olarak olivin, piroksen, kalsiyumca zengin plajiyoklaz ve

oksit mineralleri ayrılacak, ayrımlaşma devam ettikçe sodyumca zengin plajiyoklaz, amfibol, mika, alkali feldispat ve kuvars mineralleri oluşacaktır. Bu süreç sırasında ergiyikteki SiO_2 miktarı artacak ve oluşacak volkanik kayalar ultrabazikten, ortaç ve asidik bileşime doğru bir değişim gösterecektir. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaların petrografik incelemelerinde ve Harker değişim diyagramlarında izlendiği üzere, alkali volkanik kayalardan itibaren oluşan olivin ve piroksen mineralleri yerini devam eden magma evrimi sonucunda sub-alkali volkanik kayalarda gözlenen amfibol, biyotit, alkali feldispat ve kuvars minerallerine bırakmıştır. Harker değişim diyagramlarında gözlenen artan SiO_2 içeriği ile Fe_2O_3 , CaO , MgO majör oksit içeriklerinin negatif ilişki göstermesi kayalar için olivin ve piroksen ayrımlaşmasını gösterirken, TiO_2 negatif anomalisi oksit minerallerinin ayrımlaşması ile ilişkilidir. Fraksiyonlanmayla birlikte MnO , Al_2O_3 , Sc ve Y gibi majör oksit ve iz elementlerde gözlenen yönelimler kayalarda amfibol ve piroksen minerallerinin oluşumundan kaynaklanmaktadır. Petrografik incelemelerde alkali volkanik kayalarda ana fenokristal fazı olarak olivin ve piroksenlerin, sub-alkali kayalarda ise amfibol, biyotit, piroksenlerin bulunması majör oksit ve iz elementlerle açıklanan fraksiyonel kristalizasyonun varlığını desteklemektedir. Kayaların bazı majör oksit ve iz element içerikleri incelendiğinde plajiyoklaz fraksiyonlanmasının önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Sadece sub-alkali örneklerde gözlenen kısmi yönelimler ve az oranda gözlenen Eu anomalisi, plajiyoklaz fraksiyonlanmasının varlığını gösterebilir. Ayrıca kayaların adlandırılması amacıyla kullanılan toplam alkali- silika (TAS) diyagramında kayaların bazalttan riyolit bileşimine kadar tam bir volkanik seri meydana getirdiği tespit edilmektedir. Bu da fraksiyonel kristalizasyon süreçlerinin bu kayaların oluşumunda önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir.

Örneklerin çoklu element diyagramları incelendiğinde Nb , Ta ve Ti negatif anomalileri ile pozitif Pb anomalisi sergilediği saptanmıştır. Bu durum, önceki paragraflarda da bahsedildiği gibi dalma-batma süreçlerinden etkilenmiş bir manto kaynağını işaret edebileceği gibi, kabuksal kirlenmeden dolayı da meydana gelmiş olması ihtimal dahilindedir. Çünkü kıtasal kabuk Nb ve Ta elementleri açısından tüketilmiştir (Rollison, 1993; Rudnick ve Gao, 2003) ve normalize edilmiş iz element değerlerinde negatif Nb ve Ta anomalisi göstermektedir (Cox ve Hawkesworth, 1985). Pb elementinde gözlenen pozitif anomali de aynı şekilde kabuksal katkıya işaret edebilmektedir. Çünkü kıtasal kabuk pozitif Pb anomalisine sahiptir (Taylor ve McLennan, 1985). Volkanik kayaların iz elementlerinin

sergilediği bu element karakteristikleri her ne kadar dalma-batma süreçleri ile zenginleşen bir manto kaynak alanını yansıtır olsa da, kabuksal kirlenme süreçlerinin de irdelenmesi gerekmektedir.

Örneklerin ilksel izotop bileşimlerine karşılık artan SiO_2 ve çeşitli iz element içeriklerinin incelenmesi kayaçların kabuksal kirlenmeye maruz kalması yönünde ipuçları sağlayabilmektedir. Galatya alkali ve sub-alkali kayaçlarda gözlenen kabuksal kirlenme süreçlerine yönelik farklılıklar artan SiO_2 içeriğine karşılık değişen Zr/Nb oranı ile test edilmiştir (Şekil 7.1a). Artan Zr/Nb oranı kabuksal kirlenme süreçlerinin varlığını açıklarken, kirlenmeye uğramamış kayaçlar sabit ve düşük Zr/Nb oranı sunmaktadır. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları bu açıdan incelendiğinde, alkali kayaçların sub-alkali kayaçlardan neredeyse sabit bir Zr/Nb oranı sergileyerek belirgin derecede ayrı bir eğilim gösterdiği, asidik bileşimdeki sub-alkali kayaçların ise kısmen yüksek Zr/Nb oranları sergileyerek evrimlerinde az oranda kabuksal kirlenme süreçlerinin var olduğuna işaret ettiği anlaşılmaktadır. Alkali volkanik kayaçların sunduğu sabit Zr/Nb oranları, bu kayaçların evriminde kabuksal kirlenme süreçlerinin etkin olmadığını vurgulamaktadır. Karşılaştırma amaçlı diyagrama düşürülen verilerde de gözlemlendiği üzere, Geç Miyosen evresine ait volkanik kayaçlar (<10 My), Erken Miyosen evresinden farklı olarak düşük Zr/Nb oranları sergilemektedir. Kabuksal katkıyı sorgulamak adına yorumlanan izotop bileşimlerine göre, Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları artan SiO_2 içeriği ile birlikte ilksel izotop bileşimlerinde belirgin bir değişim sunmamaktadır (Şekil 7.1b, c). Rb/Sr oranının ilksel izotop bileşimlerine karşılık incelenmesi kabuksal kirlenmeyi göstermesi açısından önemlidir. Kabuksal materyal yüksek Rb/Sr oranına sahiptir ve kirlenmeye uğramış bir kayaç yüksek Rb/Sr oranı sergilemektedir. Galatya volkanik kayaçları bu oran açısından incelendiğinde örneklerin sabit bir Rb/Sr değeri sunduğu gözlenmektedir (Şekil 7.1d). Tüm bu verilere göre, Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının evriminde fraksiyonel kristalizasyon ile birlikte gelişen kabuksal kirlenme süreçlerinin önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Özellikle Geç Miyosen alkali kayaçlarında bu etki neredeyse hiç gözlenmemektedir. Erken Miyosen evresini temsil eden volkanik kayaçlarda ise kabuksal kirlenme etkisinin çok az olduğu düşünülmektedir. Varol vd. (2014) asimilasyon süreçlerinin Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları üzerinde baskın bir süreç olmadığını, kayaçların evriminde fraksiyonel kristalizasyonun etkin olduğunu en küçük kareler yöntemi ile kanıtlamıştır.



Şekil 7.1. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının FC-AFC süreçlerini gösteren a) Zr/Nb-SiO₂ diyagramı, b) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr- SiO₂ diyagramı, c) ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd- SiO₂ diyagramı, d) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr- Rb/Sr diyagramı (FC: Fraksiyonel Kristalizasyon, AFC: Asimilasyon-Fraksiyonel Kristalizasyon).

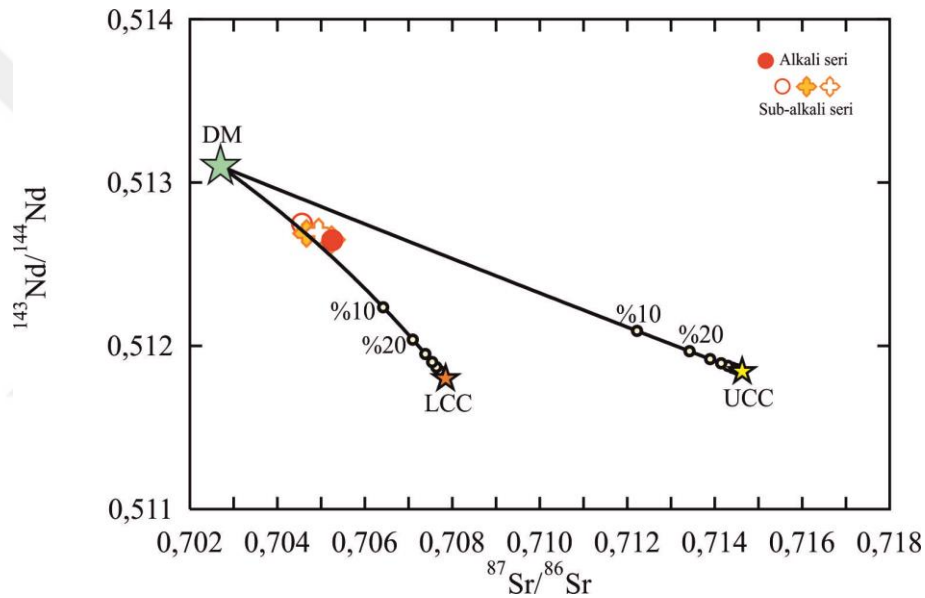
Alkali volkanik kayaçların kabuksal kirlenme etkisi göstermediği açık olmasına karşılık, izotop oranları açısından sub-alkali kayaçlara benzer özellik sunan GP-46 örneği AFC modellemesine dahil edilmiştir. Bu kayacın Erken Miyosen'in son evrelerinde az hacimde yüzlek veren alkali bazaltik kayaçlardan olduğu ve az da olsa kabuksal kirlenme süreçlerinden etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir. Ancak GP-32 ve GP-24 örneği sub-alkali ve GP-46 örneğinden farklı bir yönelim sergilediğinden ve E-MORB benzeri bir magmadan itibaren düşük dereceli kısmi ergimelerle oluştuğundan, modellemeye dahil edilmemiştir. Bu örneklerin evriminde kabuksal kirlenme süreci gözlenmemektedir.

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının izotopik bileşimlerinden itibaren Lagmuir vd. (1978) tarafından önerilen magma karışım eğrileri oluşturulmuştur (Çizelge 7.1; Şekil 7.2). Volkanik kayaçlar, başlangıç bileşimi olarak seçilen tüketilmiş manto (DM, Zindler ve Hart, 1986; Salters ve Stracke, 2004) ve kirlenici olarak seçilen alt ve üst kabuk

değerleri arasında (Taylor ve McLennan, 1995) çizilen karışım eğrilerinden DM-alt kabuk eğrisi üzerine iz düşmekte ve kabuk katkısının çok az olduğu göze çarpmaktadır.

Çizelge 7.1. Karışım modellemesinde kullanılan uç bileşenlere ait değerler.

Uç Bileşen	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
DM	0,702700	0,513100
LCC	0,707850	0,511800
UCC	0,714630	0,511843



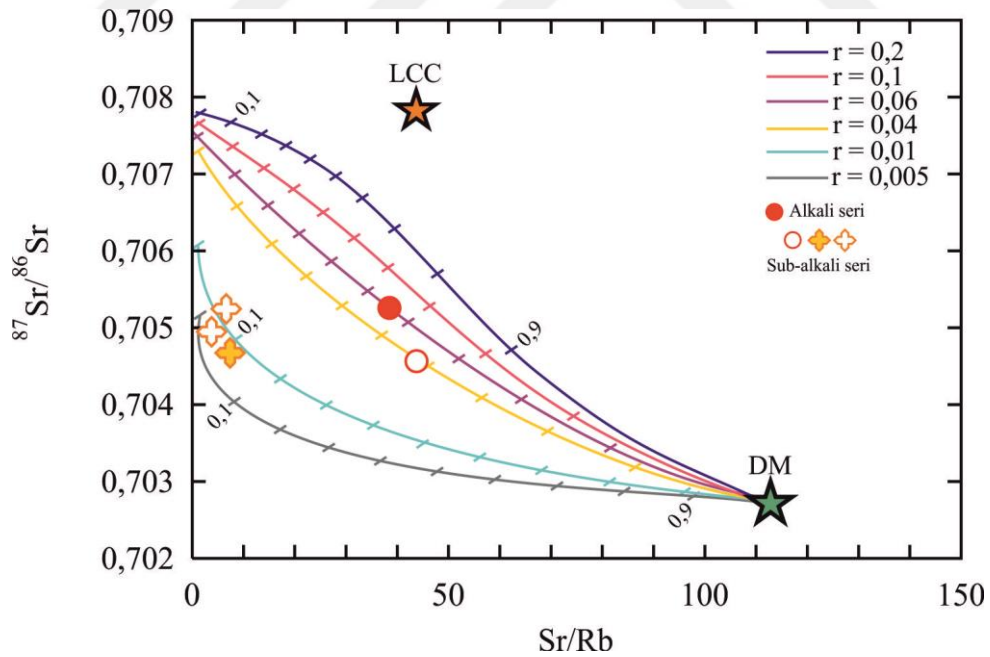
Şekil 7.2. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait karışım modellemesi (DM: Tüketilmiş manto, LCC: Alt kıtasal kabuk, UCC: Üst kıtasal kabuk)

Tüm bu bilgiler ışığında kabuksal kirlenme süreçlerinin Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaları üzerinde çok etkin olmadığı düşünülse de, izotop bileşimleri üzerinden asilimilasyon-fraksiyonel kristalizasyon süreçlerinin incelenmesi gerekmektedir (DePaolo, 1981). İzotop oranlarının yorumlanması, fraksiyonel kristalizasyon ve kabuksal kirlenme süreçlerinin irdelenmesi amacıyla kullanılabilir. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop bileşimleri kullanılarak De Paolo (1981) tarafından öne sürülen eşitlik üzerinden AFC modellemesi oluşturulmuştur. Modellemenin oluşturulmasında AFC Modeller programı kullanılmıştır (Keskin, 2013). Manto başlangıç bileşeni olarak tüketilmiş manto (DM, Zindler ve Hart, 1986; Salters ve Stracke, 2004),

kirletici bileşen olarak Taylor ve Mc Lennan (1995) tarafından belirlenen alt kabuk değerleri kullanılmıştır. Modellemede kullanılan parametreler Çizelge 7.2’de verilmektedir. Modelleme sonucuna göre Galatya Volkanik Provensi erken evre volkanik kayaçlarındaki asimilasyonun fraksiyonel kristalizasyona oranı (r) 0,005-0,06 arasında değişmektedir (Şekil 7.3). Buna göre Galatya volkanik kayaçlarının evriminde kabuksal kirlenme süreçlerinin baskın olmadığı anlaşılmaktadır. GP-46 alkali bazalt örneği en fazla r değeri sergileyerek sub-alkali volkanik kayaçlardan ayrılmaktadır. Kabuksal kirlenme süreçlerinin Erken Miyosen’de volkanizmanın son evrelerine doğru (sub-akaliden alkaliye geçiş sürecinde) artış gösterdiği düşünülmektedir.

Çizelge 7.2. AFC modelinde kullanılan uç bileşenlere ait değerler

Uç Bileşen	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr	Rb
DM (Tüketilmiş manto)	0,7027	9,8	0,1
Alt kabuk	0.7078	230	5,3



Şekil 7.3. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının izotop bileşimlerinden itibaren oluşturulan AFC modellemesi.

7.2 Kısmi Ergime Süreçleri

Kısmi ergime, üst manto veya diğer bir kaynak malzemesinin ortama uçucu bileşen ilavesi, sıcaklığın artması veya litostatik basıncın azalmasına bağlı olarak (adiyabatik dekompresyon) magmanın oluşması sürecidir. Kısmi ergime süreci ile oluşan magmanın bileşimi manto malzemesinin kimyasal özelliklerine, ergime derecesi ile türüne ve derinliğe ve magmanın yüzeye ulaşma koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Wilson, 1989).

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına dair ayrıntılı kısmi ergime modellemesi Varol vd. (2014) tarafından Çamlıdere bölgesi bazaltik ve ortaç bileşimli volkanik kayaçlar için gerçekleştirilmiştir. Nadir toprak elementleri içeriklerine göre yapılan modellemeye göre bu volkanik kayaçların %80 spinel ve %20 granat içeren manto peridotitlerinden itibaren %2-6 arasında değişen kısmi ergimesiyle oluştuğu öne sürülmüştür.

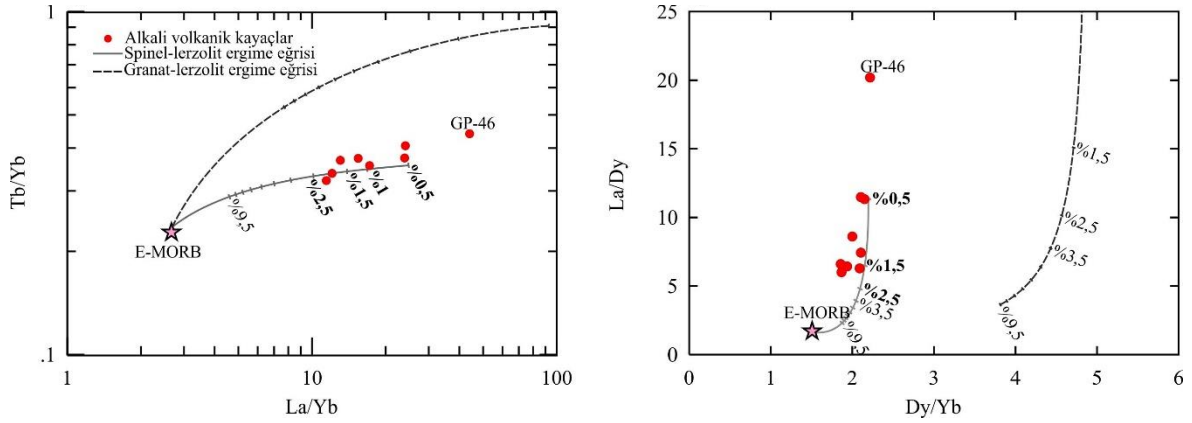
Bu çalışmaya ait Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait kısmi ergime modellemesi çeşitli nadir toprak element oranları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu elementlerin manto kaynak alanlarındaki kısmi ergimelerde sergiledikleri farklı davranışlardan dolayı bu modellemelerde kullanılması oldukça faydalıdır (Shaw vd., 2003). Volkanik kayaçların çoklu element diyagramlarında yüksek LREE/HREE sergilemesi kayaçların kısmi ergimesinde granat fasiyesinden çok spinel fasiyesinden itibaren gerçekleşen bir süreci akla getirmektedir. Çünkü kaynağın türü ne olursa olsun, gerçekleşen kısmi ergime esnasında ergiyikte ilk olarak oldukça uyumsuz olan hafif nadir toprak elementler zenginleşmekte ve ağır nadir toprak elementler özellikle granat uyumlu davranış gösterdiğinden (Yb elementi gibi) kalıntı faz içinde kalmaktadır. Sürecin ilerlemesiyle ağır nadir toprak elementler hafiflere göre ergiyikte daha az oranda bulunmakta ve yüksek LREE/HREE oranına sebep olmaktadır. Bu sebeple bu oranı, spinel peridotit bileşimli bir kaynak, granat peridotite göre daha yüksek göstermektedir (Shaw vd., 2003). Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının yüksek LREE/HREE sergilemesi spinel lerzolit bileşimli bir manto kaynağından itibaren türemiş olabileceğini akla getirmektedir. Bu modellemeye sadece alkali volkanik kayaçlar dahil edilmiştir. Bir önceki bölümde tartışıldığı üzere bu volkanik kayaçların kabuksal kirlenme süreçlerinden etkilenmediği belirlenmiştir. Aynı şekilde fraksiyonel kristalizasyon etkisi sub-alkali volkanik kayaçlarda

gözlemlendiği kadar belirgin değildir. Böylelikle bu bu kayaçlar için bir manto kaynak alanından itibaren kısmi ergime süreçlerinin etkin olduğu düşünülmektedir.

Kısmi ergime diyagramlarını oluşturmak için Excel tabanlı Petromodeler programından yararlanılmıştır (Ersoy, 2013). Alkali volkanik kayaçlar için manto başlangıç bileşimi E-MORB olarak belirlenmiştir (Sun ve McDonough, 1989). Ergime modeli için Shaw (1970) tarafından önerilen modal olmayan yığın ergime denklemi kullanılmıştır. Spinel-lerzolit için Kinzler (1997), granat-lerzolit için Walter (1998) tarafından önerilen modal mineral bileşimleri kullanılmıştır. Modellemede kullanılan parametreler Çizelge 7.3'te verilmektedir. K_d verileri için GERM Partition Coefficient (K_d) Database (<https://earthref.org/KDD/>) sisteminden yararlanılmıştır. Oluşturulan kısmi ergime modellemesine göre Galatya Volkanik Provensi alkali volkanik kayaçları E-MORB benzeri zenginleşmiş bir manto kaynağından itibaren %0,5- %2,5 arasında değişen derecelerde spinel lerzolit fasiyesinde gerçekleşen kısmi ergimeler sonucu oluşmuştur (Şekil 7.4). Modellemeye göre Galatya Volkanik Provensi alkali volkanik kayaçları, E-MORB benzeri bir manto kaynak alanından itibaren sığ derinliklerde düşük derecelerde gerçekleşen ergime sonucunda meydana gelmiştir.

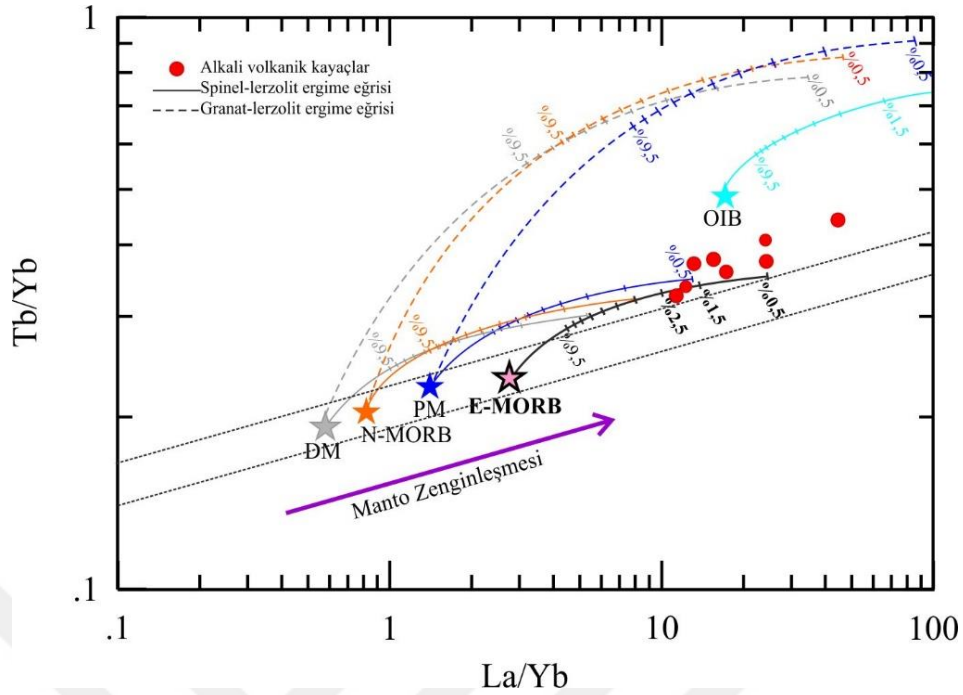
Çizelge 7.3. Kısmi ergime modellemesinde kullanılan parametreler. K_d verileri McKenzie ve O'Nions (1991) ile Adam ve Green'den (2006) alınmıştır.

Spinel-lerzolit ($ol_{0,53}+opx_{0,27}+cpx_{0,17}+sp_{0,03}$; Kinzler, 1997)					
Element	K_d (paylaşım katsayıları)				D_o
	Olivin	O.Piroksen	K.piroksen	Spinel	
La	0,0001	0,0006	0,03	0,01	0,0056
Yb	0,05	0,077	0,28	0,01	0,0952
Tb	0,0015	0,019	0,31	0,01	0,0589
Dy	0,0017	0,022	0,33	0,01	0,0632
Granat-lerzolit ($ol_{0,60}+opx_{0,20}+cpx_{0,10}+gt_{0,10}$; Walter, 1998)					
Element	K_d (paylaşım katsayıları)				D_o
	Olivin	O.Piroksen	K.piroksen	Granat	
La	0,0001	0,0006	0,03	0,002	0,0034
Yb	0,05	0,077	0,28	4,03	0,4764
Tb	0,0015	0,019	0,31	0,75	0,1107
Dy	0,0017	0,022	0,33	1,06	0,1444



Şekil 7.4. Galatya Volkanik Provensi alkali volkanik kayaçların modal olmayan yığın ergime modellemesi diyagramları.

Karşılaştırma amacıyla oluşturulan farklı manto başlangıç bileşimlerinden itibaren oluşturulan spinel ve granat lerzolit eğrileri Şekil 7.5'te verilmektedir. Düşük dereceli kısmi ergimelerde hafif nadir toprak elementlerden olan La uyumsuz davranış göstereceğinden, ergiyikte zenginleşecek ancak ağır nadir toprak elementlerden Yb (aynı şekilde orta nadir toprak elementlerden olan Tb ve Dy) özellikle granat için uyumlu davranış gösterdiğinden ergiyikte daha az oranlarda bulunacaktır. Bunun sonucunda spinel fasiyes ergimelerinde yüksek La/Yb oranları gözlenecektir. Tb/Yb oranı açısından örneklerin manto alanına paralel yakın bir eğilim göstermesi, alkali volkanik örneklerin sık bir kaynak alanından itibaren (spinel fasiyes ergimesi) oluştuğunu gösterir. Çünkü kaynak alanında granatın varlığı, Tb/Yb oranında artışa sebep olacaktır (Shaw vd., 2003). Bazı alkali örneklerin diğerlerine göre yüksek Tb/Yb oranı sergilemesi, kaynak alanında önemsiz miktarda granatın varlığına işaret edebilir.



Şekil 7.5. Galatya Volkanik Provensi alkali volkanik kayaçlarına ait Tb/Yb- La/Yb diyagramı. Kısmi ergime eğrileri çiziminde kullanılan parametreler Çizelge 7.1'deki gibidir. DM: Tüketilmiş Manto (Salters ve Stracke, 2004), E-MORB: Zenginleşmiş MORB, N-MORB: Normal MORB, PM: İlk Manto ve OIB: Okyanus Adası Bazaltları (Sun ve McDonough, 1989),

Alkali volkanik kayaçlardan sadece GP-46 örneği kısmi ergime modellemesine uymamaktadır. Bunun sebebi, hem gösterdiği izotopik bileşim açısından hem de Kaynak Karakteristikleri bölümünde tartışılacağı üzere, bu kayacın Erken Miyosen sub-alkali volkanik kayaçlara benzer özellikler göstermesi ve dalma-batma süreçlerinden etkilenmiş bir görüntü çizmesidir. Bu örneğin, Galatya Miyosen volkanizmasında Erken Miyosen zamanında yüzlek veren az hacimdeki alkali bazaltlardan olduğu düşünülmektedir ve evriminde az oranda da olsa kabuksal kirlenmenin izleri görülmektedir.

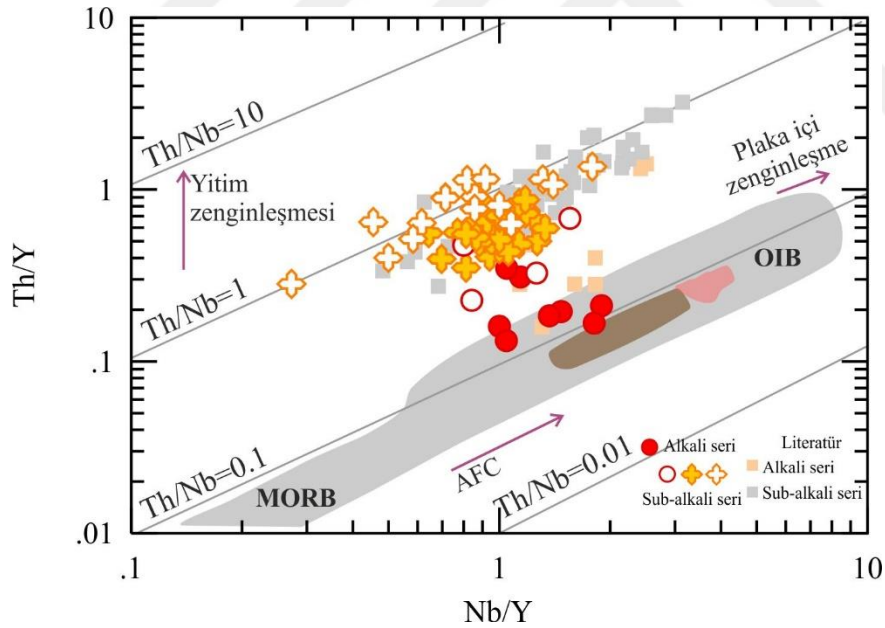
7.3 Kaynak Karakteristikleri

Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasına ait sub-alkali ve alkali volkanik kayaçların türedikleri kaynak alanına ve bu alana etki eden unsurlara ilişkin yaklaşımlarda bulunulmuştur. Çeşitli rezervuarlara göre normalize edilmiş çoklu element diyagramları ilk aşamada kaynak karakteristiklerini ortaya koymada faydalı olduğundan, bu diyagramlarda öne çıkan özellikler tekrar özetlenecektir. Çoklu element diyagramlarında volkanik kayaçların oluşturduğu desenlerde dikkat çeken ilk özellik birbirlerine yakın benzer desenler

oluşturması ve LIL elementlerin HFS elementlerine göre gösterdiği zenginleşmedir. Ayrıca örneklerin oluşturduğu desenlerin kısmen OIB ile benzeştiği görülmektedir. Bazı uyumsuz elementlerde, özellikle sub-alkali volkaniklerde OIB'ye göre gözlenen zenginleşmeler dalma-batma ile ilişkili olarak metasomatize olmuş bir manto kaynak alanından türemiş olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte Nb, Ta ve Ti elementlerinde gözlenen negatif anomaliler asidik bileşimdeki volkanik kayalarda daha baskın bir şekilde gözlenmektedir. Bu elementlere ait negatif anomali, alkali volkanik kayalarda eser miktarda izlenmektedir (GP-46 hariç). Pozitif Pb anomalisi ise en belirgin olarak asidik bileşimli sub-alkali volkanik kayalarda görülmekte ve bu durum alkali volkanik kayaların sergilediği desenlerde belirginliğini azaltmaktadır. Öncelikle örneklerin birbirine benzer desenler oluşturması, bu volkanik kayaların benzer bir kaynaktan oluştuğuna dair bir işaret oluşturmaktadır. LIL elementlerde HFS elementlere göre gözlenen zenginleşmeler düşük dereceli bir kısmi ergimenin varlığını göstermekle beraber, bu kayaların oluştuğu kaynağın dalma-batma sürecinden etkilendiğini ve/veya kayaların oluşumunda kabuksal kirlenme sürecini işaret etmektedir. Nb, Ta ve Ti elementlerinde gözlenen negatif anomaliler ise bu elementlerin yitim zonlarında belli bir derinliğe kadar duraylı kalabilen minerallerce (rutil, sfen, titanit gibi) tutulması ile açıklanabilmekte, bu durum da yay magmatizmasının karakteristik özelliğini oluşturmaktadır (Fitton vd., 1988; Pearce vd., 1990; Ringwood, 1990).

Bazı iz element içerikleri ve bunların birbirleri ile oluşturdukları oranlar kullanılarak yapılan yorumlar, volkanik kayaların oluştuğu kaynak bileşenlerinin tanımlanmasında oldukça kullanışlıdır. Bu sebeple, Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanik kayalarının Th/Y oranına karşılık Nb/Y grafiği çizilmiştir (Şekil 7.6; Pearce, 1983). Bu diyagram kaynak alanının volkanikler üzerindeki etkilerini ve kabuksal kirlenmenin değişimini izlemek için kullanılmaktadır. Artan Th/Y oranı volkanik kayalar için yitim zenginleşmesini göstermektedir. Bir kabuksal bileşen ile kirlenmeye uğrayan örnekler ise artan Nb/Y oranı ile doğru orantılı Th/Y oranı sergilemekte ve asimilasyon etkisini göstermektedir (Güleç, 1991). Galatya Volkanik Provensi kayaları bu diyagrama iz düşürüldüğünde, alkali örnekler ve sub-alkali örnekler birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Yitim etkisinin artışı alkali volkaniklerden sub-alkali örnekler doğru net bir şekilde görülmekte ve asidik bileşene sahip sub-alkali örnekler $Th/Nb=1$ doğrusu üzerinde, diğer sub-alkali volkanik kayalar ise bu doğruya yakın bir şekilde yer almaktadır. Alkali

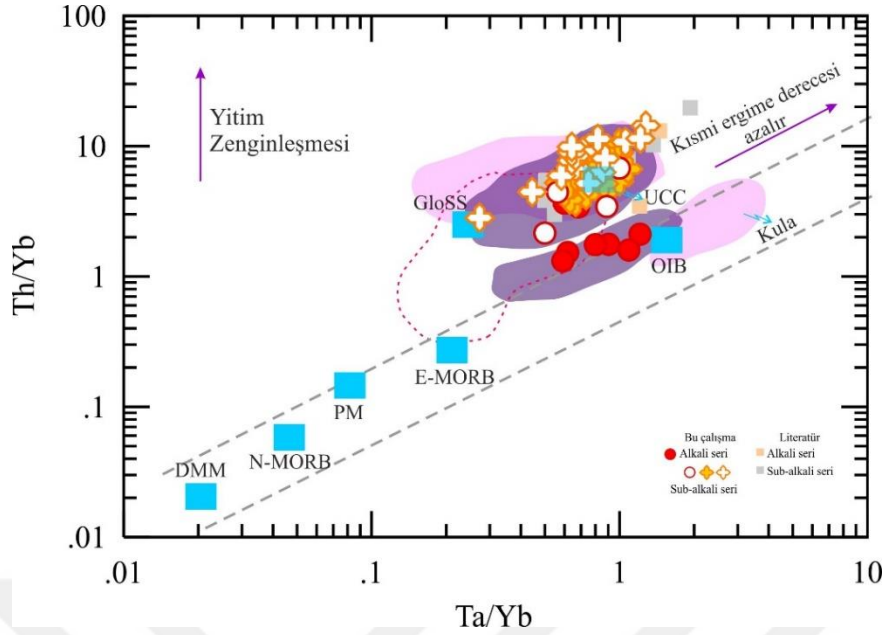
örnekler ise $Th/Nb=0,1$ doğrusuna yakın değerler sergilemekle birlikte, bunlardan bazıları (Galatya Volkanik Provensi kuzey kesimi; GP-19, GP-20A, GP-24, GP-26, GP-32, GP-45) manto kaynak bölgesi içinde bulunmaktadır. MORB'a göre daha fazla zenginleşme gösteren bu kayaçların daha düşük Th/Y oranı sergilemesi, diğer örneklerle oranla dalma-batma süreçlerinden daha az etkilendiğini ve/veya kaynaklarında herhangi bir kabuksal kirlenme belirtecini olmadığını düşündürmektedir. GP-46 örneği sub-alkali volkanik kayaçlar ile benzer yönelimler göstermekte ve erken volkanik evreyi temsil eder şekilde kısmen yitim etkisi göstermektedir. Nb/Y oranı 2'den fazla olan volkanik kayaçlar, astenosferik bir kaynaktan itibaren türemişlerdir (Pearce ve Cann, 1973). Galatya volkanik kayaçlarının Nb/Y oranları 0,27 ile 1,89 arasında değişmektedir (en yüksek değer GP-32). Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları sahip oldukları Nb/Y oranları itibarıyla genellikle litosferik bir kaynağa işaret etmektedir. Bununla beraber örneklerin asimilasyon etkisini artan Th/Y oranıyla az miktarda değişen Nb/Y oranı ile belirgin olmayan bir şekilde sergiledikleri söylenebilir. Bu doğru orantılı artış sub-alkali örneklerde daha belirgindir.



Şekil 7.6. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının Th/Y - Nb/Y diyagramı (Pearce, 1983). Kahverengi alan Ezine-Gülpınar-Ayvacık volkaniklerini (Aldanmaz vd., 2000), pembe alan ise Kula bölgesi volkaniklerini (Alıcı vd., 2002) temsil etmektedir.

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları Th/Yb - Ta/Yb diyagramına iz düşürülmüştür (Şekil 7.7; Pearce, 1983). Bu oranlar fraksiyonel kristalizasyon, kısmi ergime ve asimilasyon gibi süreçlerden etkilenmemekte ve bu sebeple kaynak bileşenlerinin ortaya

ıkarılmasında kullanılmaktadır (Pearce, 1983; Pearce ve Peate, 1995). Astenosferik mantodan türeyen veya az oranda astenosferik katkının olduğu litosferik manto kaynağından itibaren oluşan volkanik kayalar bu diyagramda manto aralığı içinde veya bu alana yakın şekilde yer almakta ve sabit Th/Ta oranı sergilemektedir. Ayrıca bu dizilim, bu kayaların dalma-batma süreçlerinden az oranda etkilendiğini ve/veya kaynak alanlarında bir kirletici etkisi taşımadığını göstermektedir. Buna karşılık, dalma-batma süreçleri ile metasomatize olmuş kaynak alanlarından itibaren oluşan volkanik kayalarda Th miktarı Ta ve Yb elementine göre daha fazla zenginleştiğinden, bu kayalarda yüksek Th/Yb oranı gözlenmektedir (Pearce, 1983; Pearce ve Peate, 1995). Aynı zamanda Th/Yb oranlarındaki artış dalma-batma sürecinde denizel sedimanların, bu kayaların daha fazla Th içermesi sebebiyle, kaynak alana katılmış olabileceğini de göstermektedir (Plank ve Langmuir, 1998; Elliott vd., 1997; Class vd., 2000; Singer vd., 2007). Kabuksal kirlenme açısından bakıldığında Th/Yb oranı, Ta/Yb oranına göre daha yüksek olacaktır. Çünkü kabuk kayalarında Ta elementine oranla Th içeriği daha fazladır. Bu açıklamalara göre Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının ilgili oranları diğer bazı volkanik kayalarla karşılaştırılarak incelendiğinde, sub-alkali volkanik kayaların yüksek Th/Yb oranları sergileyerek yitim bileşenlerinden belirgin derecede etkilendiği ve Doğu Anadolu Neojen volkanizmasıyla benzer bir dizilim sergilediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte alkali volkanik kayalar bir önceki diyagramda olduğu (Galatya Volkanik Provensi kuzey kesimi; GP-19, GP-20A, GP-24, GP-26, GP-32, GP-45) gibi manto aralığına yakın paralel bir eğilim sergilemekte ve kısmi olarak sabit bir Th/Ta oranı sunmaktadır (1,45-2,46). GP-45 ve GP-32 rnekleri en yüksek Th/Ta oranı sergileyerek Kula volkaniklerine yakın bir değer göstermektedir.

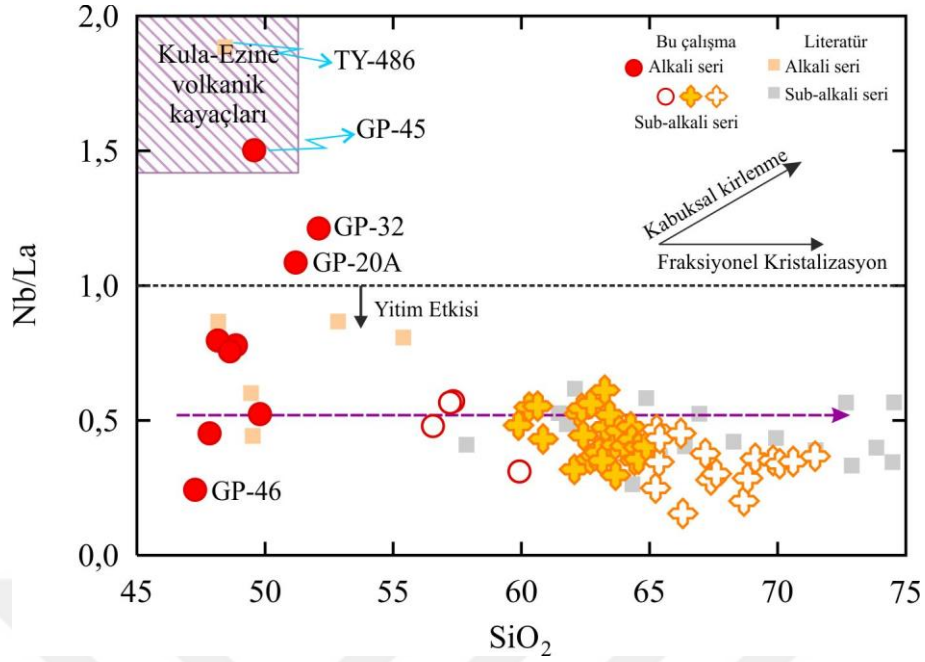


Şekil 7.7. Galatya Volkanik Provensi'ne ait volkanik kayaların Th/Yb- Ta/Yb diyagramı (Pearce, 1983). DMM: Depleted MORB Mantle (Tüketilmiş MORB Mantosu, Workman ve Hart, 2005); N-MORB: Normal MORB, PM: Primitive Mantle (İlksel Manto), E-MORB: Enriched MORB (Zenginleşmiş MORB), OIB: Oceanic Islands Basalts (Okyanus Adası Bazaltları, Sun ve McDonough, 1989); UCC: Upper Continental Crust (Üst Kıtasal Kabuk, Taylor ve McLennan, 1985); GloSS: Global Subducted Oceanic Sediments (Global Yiten Okyanusal Sedimanlar, Plank ve Langmuir, 1998). Pembe alanlar Kula ve Batı Anadolu Neojen Volkanik Kayaçları, mor alanlar Doğu Anadolu Neojen Volkanik Kayaçları, çizgili alan Orta Anadolu Volkanik Provensi'ne ait volkanik kayaçları temsil etmektedir (Agostini vd., 2005, 2007; Aldanmaz vd., 2000, 2006; Buket ve Temel, 1998; Di Guiseppe vd., 2017, 2018; Innocenti vd., 2005)

Volkanik kayaçlara ait Nb/La oranları incelendiğinde, dalma-batma süreçleri ile ilişkili litosferik bir kaynaktan türeyen kayaçların Nb/La oranlarının genellikle 1'den küçük; OIB benzeri astenosferik bir kaynaktan itibaren oluşan volkaniklerin ise 1'den büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir (Pearce, 2008). Çünkü HFS elementler (Nb gibi) hafif nadir toprak elementlerine oranla (La gibi) litosferik mantoda tüketilmiş durumdadır (Bradshaw ve Smith, 1994; Smith vd., 1999). Aynı şekilde bu oranın 1'den yüksek olması kabuksal kirlenmeye maruz kalmamış veya kıta içi zenginleşme ile ilişkili olarak oluşmuş kayaçların karakteristik özelliği olarak öne çıkmaktadır (Haase vd., 2000). DePaolo ve Daley'e (2000) göre ayrıca La/Nb oranının yaklaşık 0,7 olması astenosferik bir kaynağı ve levha içi magmatizmayı, 1'den yüksek olması ise litosferik bir kaynağı ve dalma-batmadan kaynaklanan zenginleşmeyi işaret etmektedir (Huang vd., 2000). Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının Nb/La oranı 0,15- 1,50 arasında değişmektedir (La/Nb oranları ise 0,66- 6,46). Bu oranı 1'den büyük sergileyen kayaçlar, daha önce bahsedilen diğer

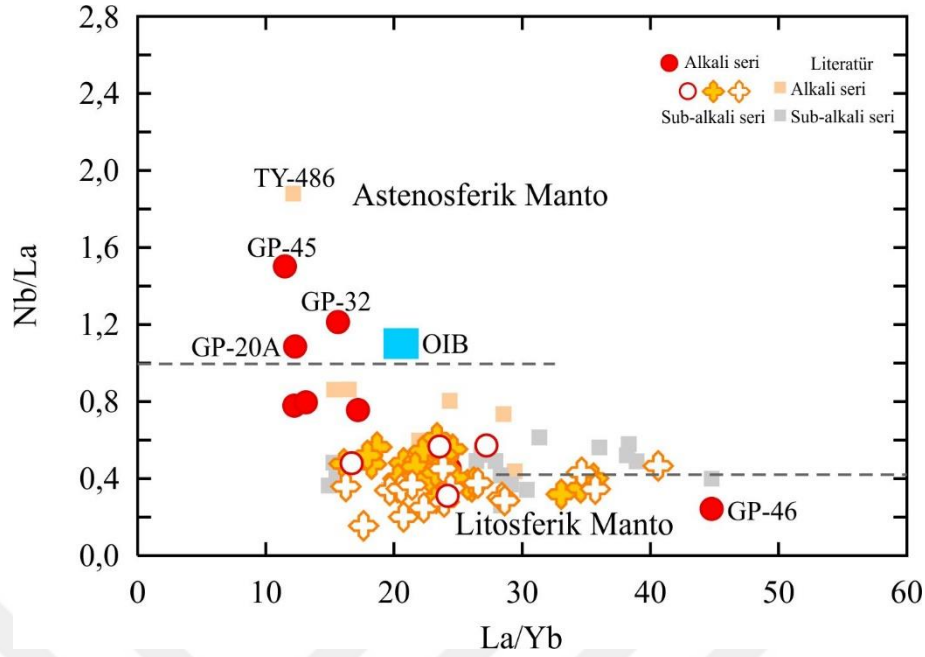
diyagramlarda astenosferik bir kaynağı veya katılımı gösteren kayaçlardan GP-20A, GP-32 ve GP-45 numuneleridir (Nb/La oranları sırasıyla 1,21, 1,50; GP-20A örneğinin oranı 1,08). Şekil 7.8’de artan SiO₂ ile değişen Nb/La oranlarını sergileyen diyagram görülmektedir. Bu diyagrama karşılaştırma amacıyla astenosferik kökenli olduğu belirlenen Kula-Ezine volkanik kayaçları (Aldanmaz vd., 2006; Ersoy vd., 2008) iz düşürülmüştür. Bu kayaçlar ile GP-45 (bazalt) örneğinin aynı alana düştüğü görülmektedir. Bununla beraber literatür verilerinden TY-486 örneği (bazalt; Tankut vd., 1998 a; Gü486 örneği Wilson vd., 1997, Güv.486 örneği Tankut vd., 1998 b) de aynı alanda yer almaktadır. Bu iki örnek Kızılcahamam Güvem bölgesi Sabuncukaya bazaltlarından olup; TY- 486 bazalt örneğinin K-Ar yaşı $9,5 \pm 0,3$ My olarak belirlenmiş (Wilson vd., 1997) ve Tankut vd. (1998 a) tarafından Galatya Volkanik Provansı Miyosen volkanizmasının son evre ürünlerinden biri olarak tanımlanmıştır. GP-45 örneği de aynı lokasyondan alınmıştır ve aynı şekilde muhtemelen geç evre volkanizmanın ürünüdür. TY-486 (Gü486 veya Güv.486 örneği) bazalt örneği araştırmacılar tarafından farklı bir kaynaktan itibaren türediği ortaya atılmıştır. GP-20A, GP-45 ve GP-32 örneği de benzer şekilde, sergiledikleri Nb/La oranları itibariyle diğer Galatya volkaniklerinden farklı olarak astenosferik bir işaret sergilemektedir.

Bu çalışmaya ait veriler incelendiğinde sub-alkali volkanik kayaçların yitim etkisini belirgin bir şekilde gösterdiği ve artan SiO₂ içeriğinde karşılık neredeyse sabit bir Nb/La oranı sergilediği tespit edilmiş ve bu durum fraksiyonel kristalizasyon etkisi ile bağdaştırılmıştır. Buna karşılık alkali volkanik kayaçların sabit bir SiO₂ ile artan bir Nb/La oranı gösterdiği ve yukarıda bahsedilen üç örnek haricinde litosferik bir kaynak bileşenini yansıtmakta ve sub-alkali grup ile astenosferik bileşim gösteren örnekler arasında bir geçişi temsil ettiği düşünülmektedir.



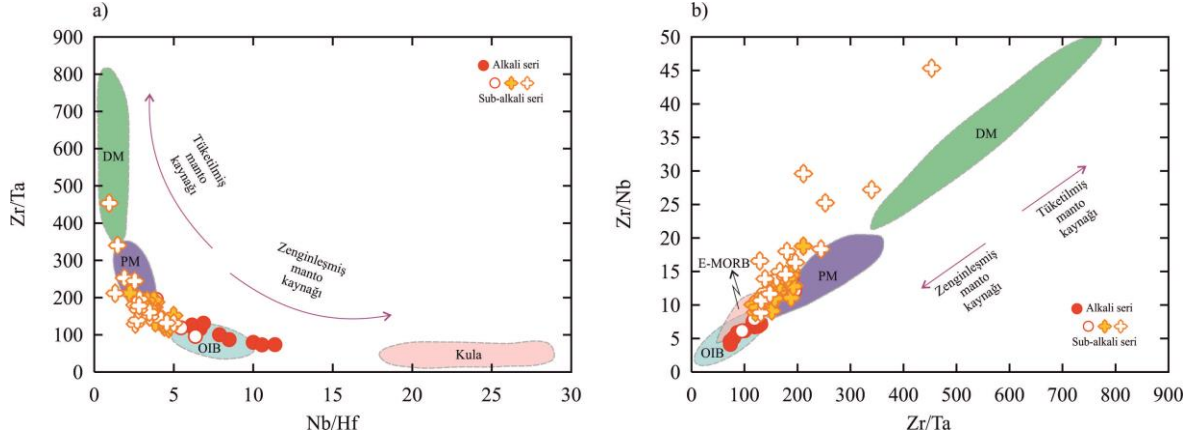
Şekil 7.8. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarına ait Nb/La- SiO₂ diyagramı (Pearce, 2008; Kula-Ezine volkanik kayaları Aldanmaz vd., 2000, Ersoy vd., 2008)

Buraya kadar tartışıldığı üzere, Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının litosferik bir kaynaktan türediği ancak Geç Miyosen evresine ait olduğu düşünülen alkali volkanik kayaların bazılarının astenosferik kaynağı işaret ettiği anlaşılmaktadır. Bu görüşü desteklemek amacıyla Nb/La oranına karşılık La/Yb oranı kullanılarak çizilen diyagrama örnekler iz düşürülmüştür (Şekil 7.9; Abdel-Rahman ve Nassar, 2004). Diyagrama göre, diğer verilerle örtüşür şekilde, farklı kaynağı işaret eden üç örnek (GP-20A, GP-32 ve GP-45 ve TY-486 örneği) yüksek Nb/La oranlarından ötürü astenosferik manto alanına düşmektedir. Sub-alkali gruba ait volkanik kayalar incelendiğinde ortaç karakterli sub-alkali volkanik kayaların, asidik bileşimli kayalar ile alkali volkanikler arasında bir geçişi temsil edecek şekilde dizilim yaptığı gözlenmektedir. GP-46 örneği belirgin bir şekilde litosferik manto alanına düşerken, erken evre alkali volkanizmasını işaret etmektedir. Bu çalışmaya ait verilerin, literatür verileri ile uyumlu olduğu ve birbirine benzer yönelimler sergilediği anlaşılmaktadır.



Şekil 7.9. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait Nb/La - La/Yb diyagramı (Abdel-Rahman ve Nassar, 2004; Ortalama OIB verisi: Fitton vd., 1991)

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının manto kaynak alanlarına yaklaşımda bulunmak amacıyla bazı HFS elementlerin birbiri ile olan ilişkisi irdelenmiştir (Şekil 7.10). Miyosen volkanizmasına ait tüm volkaniklerin tüketilmiş manto ve OIB benzeri bir manto bileşimi arasında değişen bir kaynak karakteristiği sergilediği gözlenmektedir. Sub-alkali volkanik kayaçlar tüketilmiş bir kaynak alanına doğru yönelirken, alkali volkanik kayaçlar ise zenginleşmiş bir MORB bileşeninden (E-MORB) OIB benzeri bir kaynağa yönelmektedir. Sub-alkali volkaniklerin tamamen Galatya Erken Miyosen volkanizmasını temsil ettiği düşünüldüğünde, litosferik bir manto kaynağını gösteren Erken Miyosen'den Geç Miyosen zamanına doğru manto kaynak alanında bir değişim meydana geldiği ve bazı Geç Miyosen alkali bazaltik volkaniklerinin astenosferik bileşim sunduğu (GP-20A, GP-32, GP-45, TY-486) göz önüne alındığında, litosferik bileşimi işaret eden Geç Miyosen alkali bazaltik volkaniklerin bu iki trend arasındaki geçişi temsil ettiği anlaşılmakta, Geç Miyosen evresi içerisinde astenosferik katkının zamanla arttığı söylenebilmektedir.

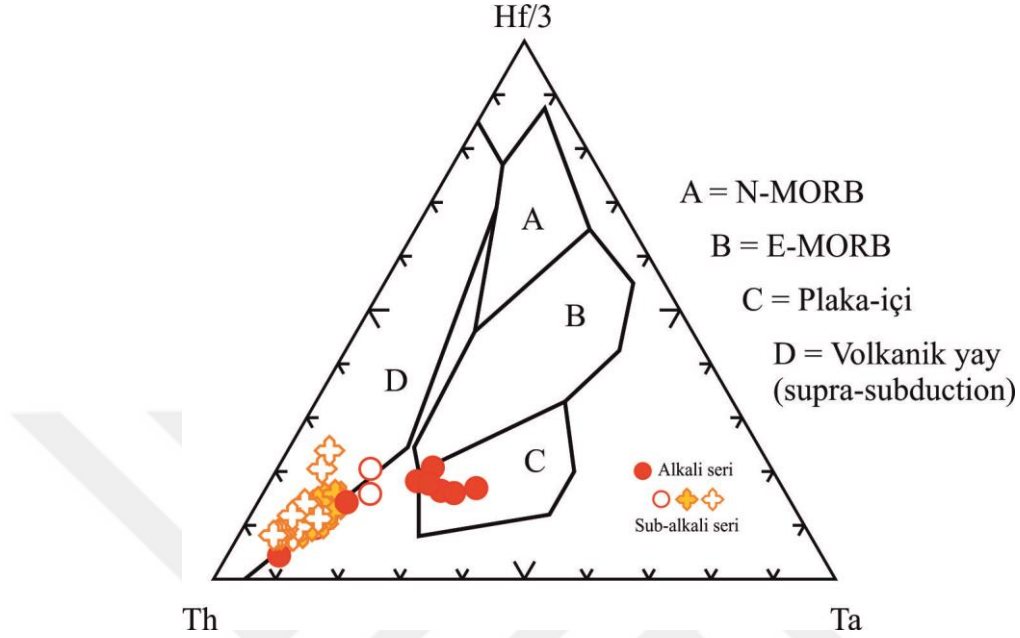


Şekil 7.10. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının HFS element oranlarından a) Zr/Ta- Nb/Hf diyagramı, b) Zr/Ta- Zr/Nb diyagramı (Ersoy vd., 2012; PM Hofmann, 1988, McDonough ve Sun, 1995, Palme ve O'Neill, 2004; E-MORB ve DM Hart vd., 1999, Klein, 2004, Workman ve Hart, 2005; OIB (Samoa) Workman vd., 2004).

Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizması kayaçları için, kaynak bileşenlerine açıklık getirmek adına, diğer bazı iz element oranlarından faydalanılmıştır. Astenosferik kaynaktan itibaren türeyen volkanik kayaçların La/Ta oranları 10 civarındadır (Thompson ve Morrison, 1988). Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları 10,54- 73 arasında La/Ta oranı sergilemektedir. Yine aynı şekilde, farklı bir kaynak bileşenine işaret eden örneklerden GP-20A, GP-32 ve GP-45 örneğinin La/Ta oranlarının 13, 12,9 ve 10,54 olması ve astenosferik köken değerlerine yakın bir değer sergilemesi öne çıkan sonuçlardandır ve elde edilen diğer veriler ile uyumludur. Yüksek Ba/Ta oranı ve Ba/Nb oranının 28'den büyük olması dalma-batma ile ilişkili magmaların karakteristik özelliklerindendir (Ba/Ta>450, Gill, 1981; Fitton vd., 1988). Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının Ba/Ta oranı 169,5- 854,2 arasında değişmektedir. Ba/Nb oranı ise 10,7- 71,8 arasındadır. GP-20A, GP-32 ve GP-45 örneği hariç genel anlamda örneklerin yitimin izini gösteren değerler taşıdığı söylenebilir. Sub-alkali örneklerin kendi içinde farklı değerler göstermesi manto kaynak alanında meydana gelen heterojenleşmelerden ötürü olduğu düşünülmektedir.

Galatya volkanik kayaçlarının olduğu tektonik ortam hakkında yorumlamalar yapabilmek amacıyla örnekler Wood (1980) tarafından önerilen tektonik ortam ayırtman diyagramına iz düşürülmüştür (Şekil 7.11). Buna göre provense ait Miyosen yaşlı volkanik kayaçlardan Erken Miyosen'e ait seriler, volkanik yay bazaltları alanında yer aldığı, Geç

Miyosen evresine ait alkali bazaltik kayaçların ise plaka içi bölgesine düştüğü görülmektedir.

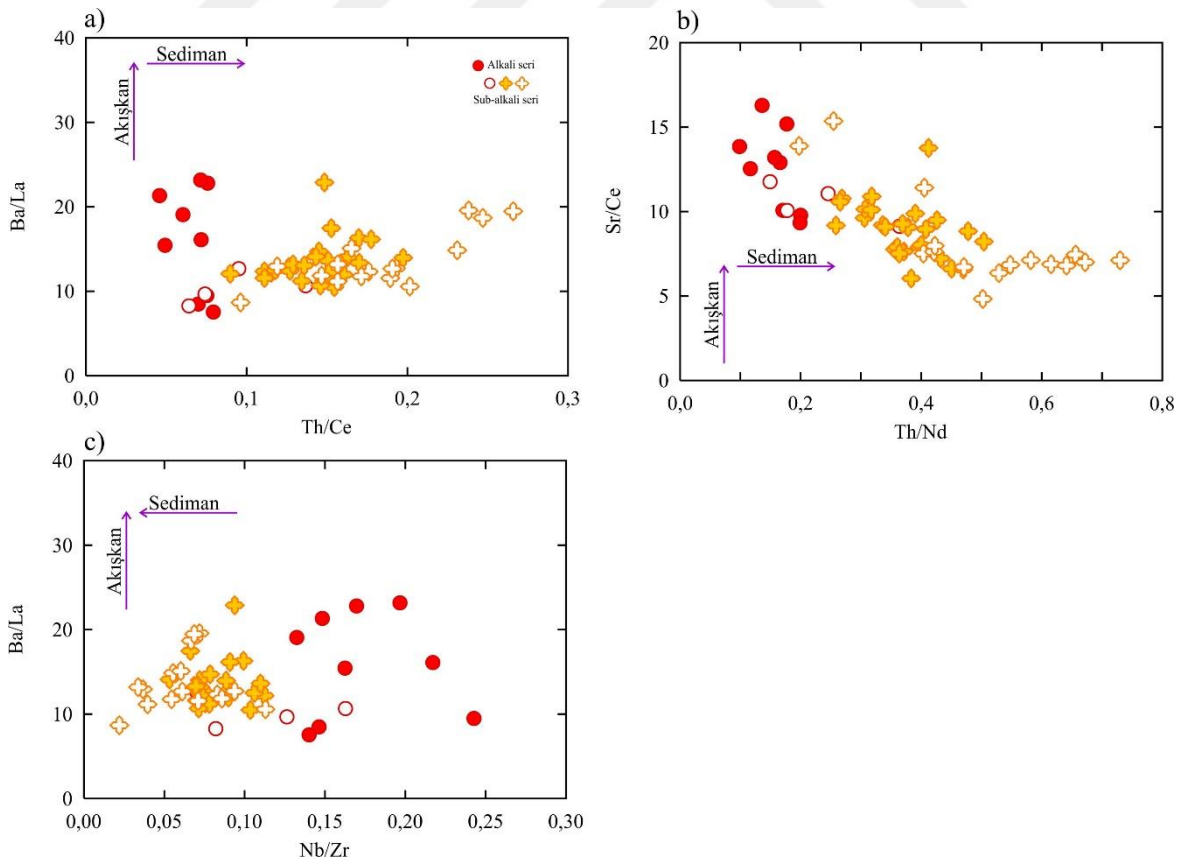


Şekil 7.11. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarına ait tektonik ortam ayırtman diyagramı (Wood, 1980)

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının farklı derecelerde yitimden etkilendiği, bu etkinin volkanizmanın ilk evrelerini temsil ettiği düşünülen sub-alkali serinin asidik bileşenli kayaçlarında en fazla oranda gözlemlendiği ve zamanla bu etkinin azaldığı hem çoklu element diyagramlarında hem de çeşitli iz elementlerin kullanıldığı diyagramlarda gözlenmektedir. Dalma-batma süreçlerinde mantoya yitim bileşeni eklenmesi yani yitimle meydana gelen kaynak alanı zenginleşme süreçleri jeokimyasal açıdan net bir şekilde ayrılabilen iki yol ile meydana gelmektedir. Bunlardan ilki yitim esnasında altere okyanus kabuğunun dehidrasyonu sonucu oluşan akışkanların manto kamasına eklenmesidir (Tatsumi vd., 1986; Hawkesworth vd., 1997; Elliott vd., 1997). Diğer bir yol ise, dalan kabuğun ergimesi sonucunda meydana gelen yitim zenginleşmesidir (Elliott vd., 1997; Hawkesworth vd., 1997). Cs, Ba, Sr, Pb, Rb gibi LIL elementler suda çözünbildikleri için akışkanlarda uyumlu davranırken, Nb, Ta, Zr, La, Ce, Th ve Nd elementleri akışkanlarda uyumsuz davranmaktadır (Turner ve Hawkesworth, 1997; Elburg vd., 2002; Kessel vd., 2005). Bu elementler arasında oluşturulmuş oranlar incelendiğinde, yitimden ötürü zenginleşmiş manto kamasını etkileyen kaynak hakkında yorumlamalar yapılabilmektedir. Çeşitli araştırmacılar bu oranlar hakkında yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Akışkanlar

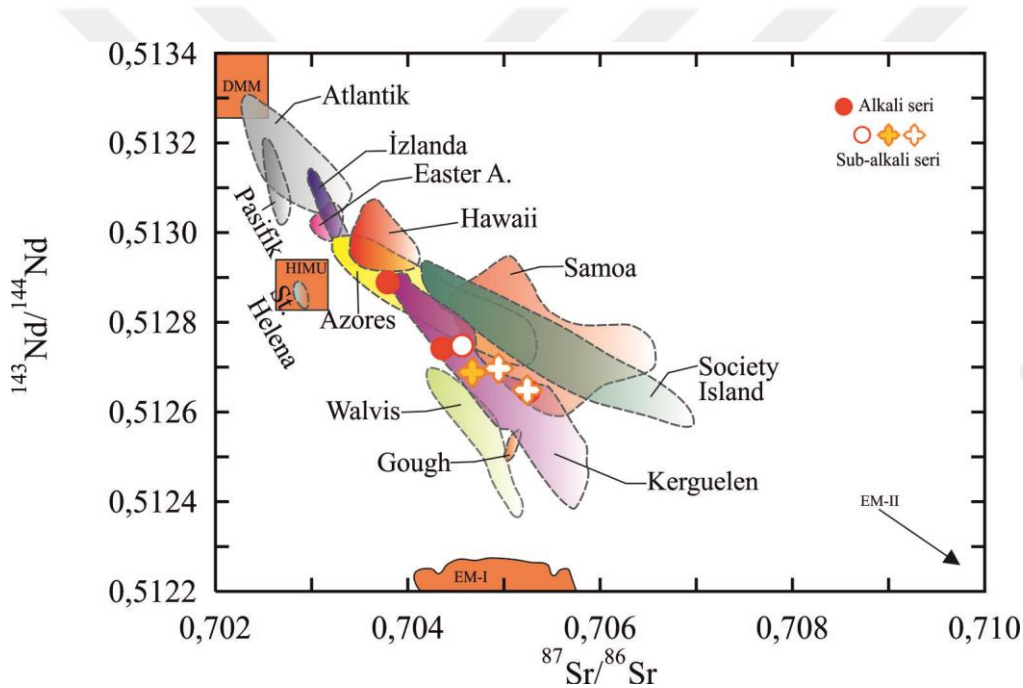
tarafından zenginleştirilen kaynak alanından itibaren oluşan volkanik kayalar yüksek Ba/Th (>170), Pb/Ce ($>0,1$), Sr/Ce ve Ba/La oranlarına sahip olmaktadır (Hawkesworth vd., 1997; Elburg vd., 2002; Pearce vd., 2005). Kabuğun dalması ile gerçekleşen sediman ergimesi sonucu zenginleşen manto kaynak alanları ise yüksek Th/Ce ($>0,15$), Nb/Zr (0,05), Th/Nd ve düşük Sr/Ce ile Ba/La oranları göstermektedir (Hawkesworth vd., 1997; Elburg vd., 2002; Pearce vd., 2005; Tuena vd., 2007).

Tüm bu verilere göre Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaları incelendiğinde, Ba/Th oranı 30-212, Pb/Ce oranı 0,07-4,13, Th/Ce oranı 0,04- 0,26 ve Nb/Zr oranı 0,02-0,24 arasında değişmekte ve manto kaynak alanının baskın olarak yitim sedimanlarının ergimesi tarafından zenginleştiği; aynı zamanda dalan dilimin dehidrasyonu sonucu oluşan akışkanların da katkısının olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu oranlar grafiksel olarak birbirine karşı değerlendirildiğinde sub-alkali gruba ait asidik bileşimli kayalarında yitim etkisi ile yaratılan zenginleşmenin akışkanlarla birlikte dalan sedimanların ergimesinin katkısı görülmektedir (Şekil 7.12).



Şekil 7.12. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayalarının a) Ba/La-Th/Ce, b) Sr/Ce-Th/Nd ve Ba/La-Th/Nd diyagramları

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının izotopik bileşimleri çeşitli volkanik alanlar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7.13). Erken Miyosen evresini temsil eden örneklerin (sub-alkali kayaçlar ve GP-46 alkali bazaltı) Samoa ve Kerguelen benzeri izotopik karakter sergilerken, Geç Miyosen evresini temsil eden alkali volkanik kayaçlardan GP-24 Kerguelen, GP-32 de Azorlara yakın bir izotopik bileşim sergilemektedir. Genel anlamda bakıldığında örneklerin EM tipi rezervuarı temsil eden volkanikler ile benzer değerler sunduğu görülmektedir. Yalnızca GP-32 örneği elementsel özelliklerine göre astenosferik bir kökeni işaret ederek diğer örneklerden farklılaştığı üzere, burada da yüksek $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ile düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri göstererek farklı bir özellik sunmaktadır.



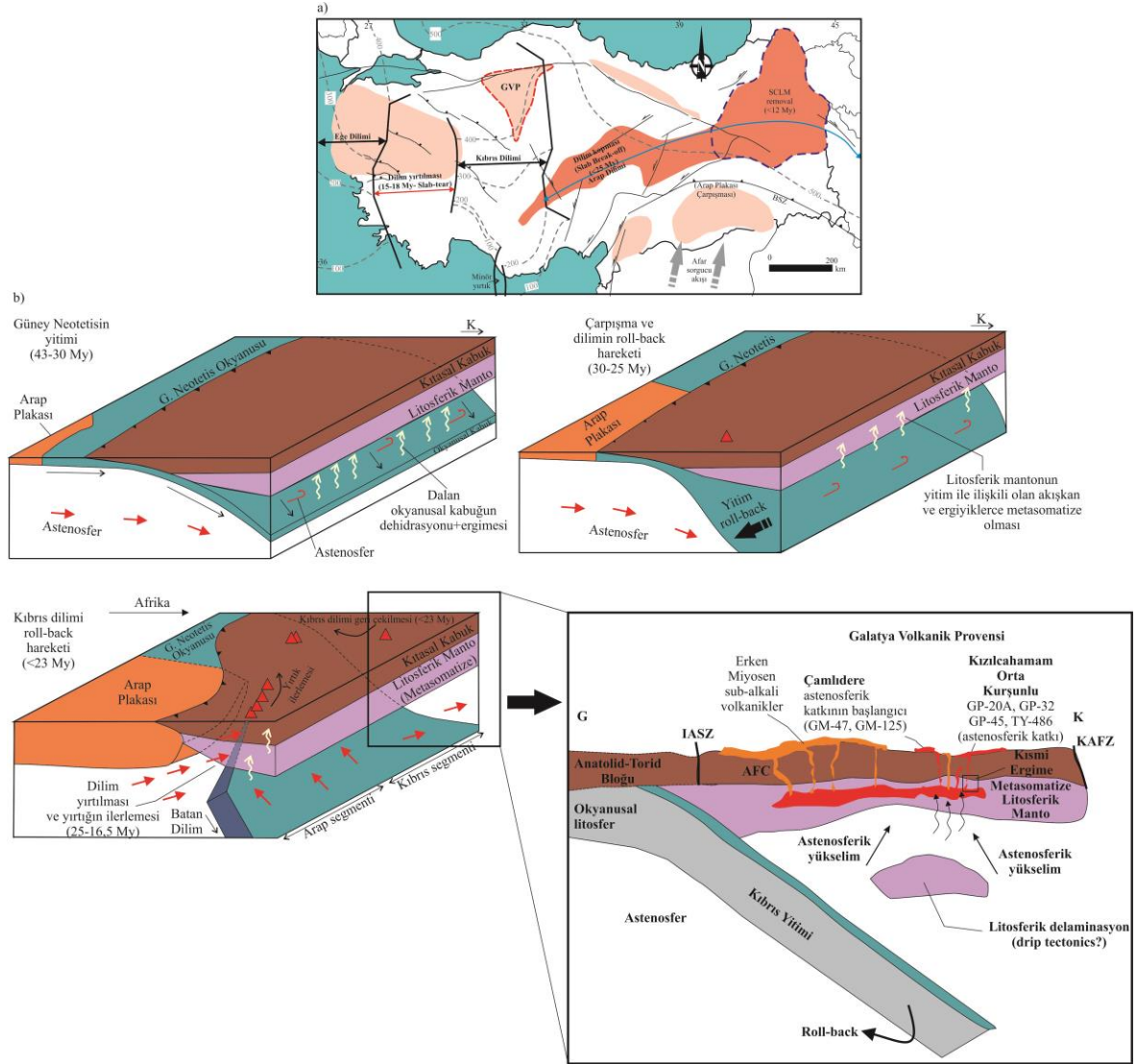
Şekil 7.13. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının izotopik bileşimlerinden itibaren dünyadaki diğer volkanik bölgeler ile karşılaştırılması (Volkanik bölgeler Zindler ve Hart, 1986 ve Sun ve McDonough, 1989)

7.4 Jeotektonik Evrim

Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizması, literatürdeki değerli çalışmalar aracılığıyla incelenmiş, kökensel olarak volkanik kayaçlara yaklaşımda bulunulmuş ve yürütülen lokal çalışmalarda provensin jeodinamik evrimi aydınlatılmaya çalışılmıştır. Erken Miyosen sub-alkali asidik ve ortaç bileşim sergileyen kayaçların açık bir şekilde yitim ile ilişkili olarak zenginleşme gösteren litosferik bir mantodan itibaren oluştuğu belirgindir.

Çalışmalarda dikkat çeken noktalardan bir tanesi Erken Miyosen ve Geç Miyosen alkali bazaltik kayaçların benzer kökenler sergilediğidir (Tankut vd., 1998 b). Bu çalışmada GP-46 örneği ile temsil edilen bu evre, belirgin bir şekilde yitimden etkilenen bir kaynaktan itibaren türemiştir ve Erken Miyosen sub-alkali volkanik kayaçları ile benzer bileşimler sergilemektedir. Bununla birlikte literatürde başka bir dikkat çeken nokta Güvem civarında alınan ve Geç Miyosen (<10 My) evresini temsil eden bazalt örneğinin (TY-486) sergilemiş olduğu astenosferik kökendir (Wilson vd., 1997). Aynı şekilde Varol vd.'nin (2014) Çamlıdere civarında yürütmüş olduğu çalışmalarda astenosferik kökeni sergileyen alkali volkanikler mevcuttur (GM- 47 ve GM-125). Bu çalışmada astenosferik kökeni işaret eden GP-20A, GP-32 ve GP-45 örnekleri ile birlikte Galatya Volkanik Provensi'ndeki bu astenosferik getirimi gösteren volkanik kayaçlar Çamlıdere'den Kurşunlu'ya kadar uzanan yaklaşık GB-KD doğrultulu bir alan içerisinde bulunmaktadır. Bu alan içerisinde en yüksek astenosferik katkıyı Güvem bölgesindeki Geç Miyosen bazaltları göstermektedir ve muhtemelen Galatya Miyosen volkanizmasının son ürünlerini temsil etmektedir. (GP-45 ve TY-486 örnekleri). Çamlıdere bölgesinde astenosfer işareti taşıyan örneklerin ise genişlemeli tektonik rejimin bir sonucu olarak, metasomatize olmuş heterojen bir litosferik manto içerisine sızan astenosferik ergiyiklerden itibaren oluşan ilk ürünler olabileceği iddia edilmiştir (Koçyiğit vd., 2003; Varol vd., 2014). Rabayrol vd., (2019) Kıbrıs yitiminin roll-back hareketi ile ilişkilendirerek kuzeyden Galatya ile başlayan volkanizmanın güneye doğru Sulutaş ve Konya volkanikleri ile son bulduğunu öne sürmektedir. Bu görüşünü hem kendi çalışmaları hem de son zamanlarda yürütülmüş jeofiziksel çalışmalardan elde edilen en erken Orta Miyosen zamanından bu yana Kıbrıs diliminin meydana getirdiği roll-back hareketi ile meydana gelen genişlemeli tektonizma sürecine dayandırmaktadır (Faccenna vd., 2006; Gans vd., 2009; van Hinsbergen vd., 2016; Biryol vd., 2011; Schleiffarth vd., 2018; Reid vd., 2019). Geç Miyosen-Kuvaterner zamanında orta Anadolu'da var olan astenosferik katkıyı ise Doğu Anadolu'da var olan dilim yırtılmasının ilerlemesi sonucunda oluşan astenosferik yükselmenin, Kıbrıs segmenti ile arap segmenti arasında oluşan yitim boşluğunun (slab gap) genişlemesi ve oluşan astenosferik akışa bağlamaktadır. Göğüş vd. (2017) deneysel çalışmalarında oluşturdukları modelin (drip tectonic model) Galatya'nın (ve güneyde Kapadokya'nın) son evrede sergilediği astenosferik manto kaynağına uygun olabileceğini belirtmektedir. Ancak araştırmacılar bu modeli gerçekleştirmek için ayrıntılı petrolojik çalışmalar yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizması için oluşturulan tektonik model Şekil 7.14'te verilmektedir. Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçları genel anlamda iki farklı bileşen sergilemektedir. İlki, yitim ile ilişkili ergiyik ve akışkanlarca zenginleşen litosferik bir manto kaynağından itibaren türeyen, Erken Miyosen yaşlı asidik ve ortaçağ bileşimli sub-alkali ve alkali bazaltik kayaçları oluşturan bileşendir. Diğeri ise yaşlı evreye göre az oranda yitim işareti veren, plaka içi magmatizma özelliği gösteren Geç Miyosen yaşlı alkali volkanik kayaçlardır. Bu grubun içindeki bazı örnekler ise astenosferik bileşen içeriği ile karakterize edilmektedir. Heterojen litosferik manto ve bu dalma-batma süreçleri ile ilişkili manto içerisine astenosferik ergiyiklerin katkısı birçok araştırmacı tarafından Anadolu'daki volkanik bölgeler için öne sürülmüştür (Aldanmaz vd., 2000; Alıcı vd., 2002; Altunkaynak ve Dilek, 2006; Dilek ve Altunkaynak, 2009). Kıbrıs diliminin roll-back hareketi sonucu oluşan astenosferik yükselim, litosferik delaminasyon veya önerilen modeldeki gibi bir drip tektoniği sonucu litosferik mantonun içerisine astenosferik ergiyiklerin sızması önerilebilir bir modeldir. Bu astenosferik katkı, güneybatıda Çamlıdere alkali bazaltik volkanikleri ile başlamakta ve kuzeydoğuya doğru Güvem-Orta-Kurşunlu civarına kadar devam etmektedir.



Şekil 7.14. a) Anadolu'nun altında yer alan Güney Neotetis'e ait dilim sınırları (Rabayrol vd.'den, 2019), b) Galatya Volkanik Provensi Miyosen volkanizmasının oluşumu için öngörülen tektonik modelleme (modellemede Rabayrol vd., 2019 tarafından önerilen görüşlerden ve modelden yararlanılmıştır).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Galatya Volkanik Provensi'nde yürütülen jeolojik, petrografik ve jeokimyasal çalışmaların ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Bölgede yürütülen arazi çalışmalarına dayanan gözlemlere göre, piroklastik birimler geniş alanlara yayılmış şekilde volkanik istifin tabanında veya yer yer asidik-ortaç karakterli volkaniklerle girik şekilde yüzlek vermektedir. Bu volkanik kayaçlar, provensin Miyosen volkanizmasının ilk ürünleridir ve riyolitik bileşimli kayaçlara provensin en doğu kesiminde, andezitik ve dasitik bileşimli kayaçlara ise provensin batı kesiminde Köroğlu Dağı'nda başta olmak üzere yaygın şekilde rastlanmaktadır. Alkali volkanik kayaçlar Kızılcahamam-Güvem ve Orta ilçesi civarında oldukça lokal olarak yüzlek vermektedir ve bu kayaçların volkanizmanın son evresi olan Geç Miyosen evresine ait olduğu düşünülmektedir.

Yürütülen petrografik çalışmalara göre, kayaçlar genel olarak porfirik doku sergilemekte ve ana mineral fazları sub-alkali kayaçlar için amfibol, klinopiroksen, plajiyoklaz; alkali volkanik kayaçlar için ise olivin ve klinopiroksenden oluşmaktadır.

Sub-alkali asidik ve ortaç bileşimli kayaçlar net bir şekilde yitimden etkilenmiş, litosferik bir mantonun izlerini taşımaktadır. Sahip oldukları negatif Nb, Ti ve Ta anomalileri ile pozitif Pb anomalisi, LIL elementlerinde gözlenen zenginleşme ve yüksek LREE/HREE oranı dalma-batma süreçleri ile gerçekleşen, dalan okyanusal levhanın dehidrasyonu ile oluşan akışkanlar ve okyanusal kabuğun ergimesi ile ortaya çıkan ergiyikler ile metasomatize olmuş bir mantoyu işaret etmektedir. Bu etki asidik bileşimli kayaçlarda oldukça belirgindir ve ortaç bileşimli kayaçlara doğru gittikçe azalmaktadır. Alkali volkanik kayaçlardan GP-46 örneği en az derecede yitim etkisi gösteren örnektir ve muhtemelen Erken Miyosen'in sonunda yüzlek veren volkanik kayaçlardandır. Sub-alkali volkanik kayaçlar, baskın şekilde fraksiyonel kristalizasyon süreçleri ile oluştuklarını gösterse de, evrimlerinde çok az oranda kabuksal kirlenme etkisi mevcuttur.

Geç Miyosen evresini temsil eden alkali volkanik kayaçlar çok az oranda yitim bileşeni etkisi göstermektedir. Plaka içi tektonizması özellikleri taşıyan bu kayaçlar E-

MORB benzeri bir mantodan itibaren düşük kısmi ergimeler ile meydana gelmiştir ve evrimlerinde herhangi bir kabuksal kirlenme bileşeni yansıtmamaktadır. Bazı alkali volkanik kayaların belirgin bir şekilde astenosferik katkıyı işaret etmesi, bu örneklerin petrojenezinde farklılaşan bir manto kaynağını göstermektedir. Bu örneklerin Geç Miyosen volkanizmasının son evrelerinde yüzlek veren, Galatya Volkanik Provensi'nin son volkanik ürünleri olduğu düşünülmektedir.

Kayaçlar izotopik bileşimleri açısından incelendiğinde örneklerin manto aralığında EM-I rezervuarına doğru bir dizilim sergilediği gözlenmekte; sub-alkali ve alkali kayaçlar farklı özellikler sergilemektedir. Geç Miyosen evresi alkali volkanik kayaçları yüksek $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ve düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri sergilerken, Erken Miyosen evresini temsil eden sub-alkali asidik ve orta bileşimli kayaçlar ile alkali bazaltik kayaçlar düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ve yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ içeriklerine sahiptir.

Galatya Volkanik Provensi volkanik kayaçlarının genellikle yitimden etkilenmiş litosferik bir mantodan itibaren fraksiyonel kristalizasyon (az oranda kirlenme) ve kısmi ergimelerle oluştuğu düşünülmektedir. Geç Miyosen'nin sonunda manto kaynak alanına astenosferik bir girişin olduğu ve bunun sebebinin Kıbrıs yitiminde meydana gelen roll-back hareketinin sebep olabileceği öne sürülmektedir. İleriki çalışmalarda özellikle bu astenosferik katkıyı gösteren Çamlıdere, Güvem ve Orta civarındaki alkali bazaltik kayaçların çalışılması bölgedeki manto kaynak alanında meydana gelen değişimi anlamak açısından önemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdel-Rahman, A.F.M., Nassar, P.E., 2004, Cenozoic volcanism in the Middle East: petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon, *Geological Magazine*, 141 (5), p. 545-563.
- Adam, J., Green, T., 2006, Trace element partitioning between mica- and amphibole bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. Experimental results and the investigation of controls on partitioning behaviour, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, p. 1-17.
- Adıyaman, Ö., Chorowicz, J., Arnaud, O.A., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A., 2001, Late Cenozoic tectonics and volcanism along the North Anatolian Fault: new structural and geochemical data, *Tectonophysics*, 338, p. 79-206.
- Agostini, S., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., Tonarini, S., 2005, Tertiary high-Mg volcanic rocks from Western Anatolia and their geodynamic significance for the evolution of the Aegean area, M. Fytikas, G.E. Vougioukalakis (Eds.) *The south Aegean volcanic arc development in volcanology*, Elsevier, p. 345-362.
- Agostini, S., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., 2007, The transition from orogenic to intraplate Neogene magmatism in western Anatolia and Aegean area, L. BecceLuva, G. Bianchini, M. Wilson (Eds) *Cenozoic volcanism in the Mediterranean area*, Geological Society of America, Special Paper 418, p. 1-15.
- Akyürek, Z., Bilginer, E., Çatal, E., Dağ, Z., Soysal, Y., Sunu, O., 1980, Eldivan-Şabanözü (Çankırı), Hasayaz-Çandır (Kalecik Ankara) dolayının jeolojisi, MTA Raporu (yayımlanmamış).
- Akyürek, Z., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., Hakyemez, Y., 1982, Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisi, MTA raporu (yayımlanmamış).
- Akyürek, Z., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., Hakyemez, Y., 1984, Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği*, 20, s. 31-46.
- Akyürek, Z., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S., Yaşar, T., 1996, Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar projesi, MTA raporu (yayımlanmamış).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.G., 2000, Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, p. 67-95.
- Aldanmaz, E., Köprübaşı, N., Gürer, Ö.F., Kaymakçı, N., Gourgau, A., 2006, Geochemical constraints on the Cenozoic, OIB-type alkaline volcanic rocks of NW Turkey: implications for mantle sources and melting processes, *Lithos*, 86, p. 50-76.
- Alıcı, P., Temel A., Gourgau, A., Kieffer, G., Gündoğdu, M.N., 1998, Petrology and geochemistry of potassic rocks in the Gölcük area (Isparta, SW Turkey): genesis of enriched alkaline magmas, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, p. 423-446.
- Alıcı, P., Temel, A., Gourgau, A., Vidal, P., Gündoğdu, M.N., 2001, Quaternary tholeiitic and alkaline volcanism in the Karasu Valley (Hatay, SE Turkey): Sr-Nd-Pb-O isotopic compositions and trace element geochemistry, *International Geology Review*, 43, p. 120-138.
- Alıcı, P., Temel, A., Gourgau, A., 2002, Pb-Nd-Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (Western Anatolia, Turkey), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, p. 487-510.
- Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., 2006, Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications, *Geological Society of America, Special Paper*, 409, p. 321-351.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Kurt, H., 1997, Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, northeastern Turkey, *Chemie der Erde*, 57, p. 157-187.
- Arslan, M., Aslan, Z., 2006, Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the eastern Pontides, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27i p. 177-193.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D., Şen, C., 2013, ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, p. 113-142.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aydın, M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O., Özçelik, Y., 1987, Çamdağ (Sakarya)- Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 30 (1), s. 1-14.
- Aysal, N., Ustaömer, T., Öngen, A.S., Keskin, M., Köksal, S., Peytcheva, I., Fanning, M., 2012, Origin of the early-middle Devonian magmatism in the Sakarya Zone, NW Turkey: geochronology, geochemistry and isotope systematics, Journal of Asian Earth Sciences, 45, p. 201-222.
- Bates, R.,L., 1960, Geology of the industrial rocks and minerals, Harpers Geoscience Ser. 12, 441p., New York.
- Bigazzi, G., Yeğingil, Z., Ercan, T., Massimo, O., Özdoğan, M., 1993, Fission track dating obsidians in central and northern Anatolia, Bulletin of Volcanology, 55, p. 588-595.
- Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Aksay, A., 2002, 1:100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Bolu-G29 paftası raporu, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi (yayımlanmamış).
- Biryol, C.B., Becks, S.L., Zandt, G., Özacar, A.A., 2011, Segmented African lithosphere beneath Anatolian region inferred from teleseismic P-wave tomography, Geophysical Journal International, 184, p. 1037-1057.
- Bozkurt, E., Mittweide, S.K., 2001, Introduction to the geology of Turkey- a synthesis, International Geology Review, 43, p. 578-594.
- Boztuğ, D., Erçin, A.İ., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, İ., İskenderoğlu, A., 2006, Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, eastern Pontides, Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 27, p. 286-302.
- Bradshaw, T.K., Smith, E.I., 1994, Polygenetic Quaternary volcanism at Crater Flat, Nevada, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 63, p. 165-182.
- Brenan, J.M., Shaw, H.F., Phinney, D.L., Ryerson, F.J., 1994, Rutile-aqueous fluid partitioning of Nb, Ta, Hf, Zr, U and Th: implications for high field strength element depletions in island-arc basalt, Earth and Planetary Science Letters, 128, p. 327-339.
- Buket, E., Temel, A., 1998, Major-element, trace-element and Sr-Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto (Muş) volcanic rocks, eastern Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85 (1-4), p. 405-421.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Catlos, E., Hubert, K., Shin, T.A., 2013, Geochemistry and geochronology of meta-igneous rocks from the Tokat Massif, north-central Turkey: implications for the Tethyan reconstructions, *International Journal of Earth Sciences*, 102, p. 2175- 2198.
- Cavazza, W., Albino, I., Galoyan, G., Zattin, M., Catto, S., 2019, Continental accretion and incremental deformation in the thermochronologic evolution of Lesser Caucasus, *Geoscience Frontiers*, 10, p. 2189-2202.
- Cebria, J.M., Wilson, M., 1995, Cenozoic mafic magmatism in western/central Europe: a common European asthenospheric reservoir, *Terra Nova Abstract*, 7, p. 162.
- Class, C., Miller, D.M., Goldstein, S.L., Langmuir, C. H., 2000, Distinguishing melt and fluid subduction components in Umnak volcanics, Aleutian, Arc, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 1, 1-28.
- Cox, K.G., Hawkesworth, C.J., 1985, Geochemical stratigraphy of the Deccan traps, at Mahabaleshwar, western Ghats, India, with implications for open system magmatic processes, *Journal of Petrology*, 26, p. 355-377.
- Çamur, M.Z., Güven, İ.H., Er, M., 1996, Geochemical characteristics of the eastern Pontide volcanics: an example of multiple volcanic cycles in arc evolution, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, p. 123-144.
- Deniel, C., Vidal, P., Coulon, C., Vellutini, P.J., Piguet, P., 1994, Temporal evolution of mantle sources through continental rifting: the volcanism of Djibouti (Afar), *Journal of Geophysical Research*, 99, p. 2853-2869.
- DePaolo, D.J., 1981, A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calcalkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsula Ranges, California, *Journal of Geophysical Research*, 86, p. 10470-10488.
- DePaolo, D.J., Daley, E.E., 2000, Neodymium isotopes in basalts of the southwest basin and range and lithospheric thinning during continental extension, *Chemical Geology*, 169, p. 157-185.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986, Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia- a young collision zone,. M.P. Cowardi, A.C. Ries, (Eds.) *Collision zone tectonics*, Geological Society of London, Special Publication, 19, p. 3-36.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Di Giuseppe, P., Agostini, S., Lustrino, M., Karaoğlu, Ö., Savaşçın, M.Y., Manetti, P., Ersoy, Y., 2017, Transition from compression to strike-slip tectonics revealed by Miocene-Pleistocene volcanism West of the Karlıova Triple Junction (East Anatolia), *Journal of Petrology*, 58, p. 2055-2087.
- Di Giuseppe, P., Agostini, S., Savaşçın, M.Y., Manetti, P., Conticelli, S., 2018, Sub-lithospheric origin of Na-alkaline and calc-alkaline magmas in a post-collisional tectonic regime: Sr-Nd-Pb isotopes in recent monogenetic volcanism of Cappadocia, central Turkey, *Lithos*, 316-317, p. 304-322.
- Dilek, Y., 2006, Collision tectonics of the Mediterranean region: causes and consequences, *Geological Society of America, Special Paper 409*, p. 1-13.
- Dilek, Y., Thy, P., 2006, Age and petrogenesis of plagiogranite intrusions in the Ankara melange, central Turkey, *The Island Arc*, 15, p. 44-57.
- Dilek, Y., Altunkaynak, Ş., 2009, Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in western Turkey: mantle response to collision, slab-break off, and lithospheric tearing in an orogenic belt, *Geological Society of London, Special Publications*, 311, p. 213-233.
- Doğan-Külahçı, G.D., Guillou, H., Gourgaud, A., Deniel, C., Temel, A., Varol, E., 2016, New K-Ar ages of post-collisional Quaternary basaltic volcanism in the central Anatolian Volcanic Province, Turkey, *Goldschmidt Abstracts*, p. 689.
- Doğan- Külahçı, G.D., Temel, A., Gourgaud, A., Varol, E., Guillou, H., Deniel, C., 2018, Con-temporaneous alkaline and calc-alkaline series in central Anatolia (Turkey): spatio-temporal evolution of a post-collisional Quaternary basaltic volcanism, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 356, p. 56-74.
- Dokuz, A., Karşlı, O., Chen, B., Uysal, İ., 2010, Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusuei area, northeastern Turkey: implications for pre- and post-collisional lithospheric thinning of the eastern Pontides, *Tectonophysics*, 480, p. 259-279.
- Dokuz, A., 2011, A slab detachment and delamination model for the generation of carboniferous high potassium I-type magmatism in the eastern Pontides, NE Turkey: Köse composite pluton, *Godwana Research*, 19 (4), p. 926-944.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Elburg, M.A., Bergen, M.V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I., Nasution, A., 2002, Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait Volcanoes, Indonesia, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, p. 2771-2789.
- Ellam, R.M., 1992, Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry, *Geology*, 20, p. 153-156.
- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., White, W., Bourdon, B., 1997, Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc, *Journal of Geophysical Research*, 102, p. 14991-15019.
- Ercan, T., Yeğingil, Z., Bigazzi, G., Oddone, M., Özdoğan, M., 1990, Kuzeybatı Anadolu obsidiyen buluntularının kaynak belirleme çalışmaları, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36, s. 19-32.
- Erkül, F., Çolak, C., Tatar Erkül, S., Varol, E., 2019, Geology and geochemistry of the Middle Miocene Yağcıköy volcanic complex, western Turkey: wide-rift alkaline volcanism associated with incipient stages of slab tearing, *Journal of Asian Earth Sciences*, 179, p. 112-126.
- Erol, O., 1954, Köroğlu-Işık dağları volkanik kütesinin orta bölümleri ile Beypazarı-Ayaş arasındaki Neojen havzasının jeolojisi hakkında rapor, *Maden Tetkik Arama Enstitüsü*, No: 2279.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F., Bozkurt, E., 2008, A geochemical approach to Neogene- Quaternary volcanic activity of western Anatolia: an example of episodic bimodal volcanism within the Selendi basin, Turkey, *Chemical Geology*, 255 (1-2), 265-282.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R., 2012, Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE-SW trending basins in western Anatolia, Turkey, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 163 (3), p. 379-401.
- Ersoy, E.Y., 2013, PETROMODELER (Petrological Modeler): a Microsoft Excel spreadsheet program for modeling melting, mixing, crystallisation and assimilation processes in magmatic systems, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, p. 115-125.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ersoy, E.Y., Palmer, M.R., 2013, Eocene- Quaternary magmatic activity in the Aegean: implications for mantle metasomatism and magma genesis in an evolving orogeny, *Lithos*, 180-181, p. 5-24.
- Ersoy, E.Y., Palmer, M.R., Genç, Ş.C., Prelevic, D., Akal, C., Uysal, İ., 2017, Chemo-probe into the mantle origin of the NW Anatolia Eocene to Miocene volcanic rocks: implications for the role of crustal accretion, subduction, slab roll-back and slab break-off processes in genesis of post-collisional magmatism, *Lithos*, 288, p. 55-71.
- Eyüboğlu, Y., Dilek, Y., Bozkurt, E., Bektaş, O., Rojay, B., Şen, C., 2010, Geochemistry and geochronology of a reversely-zoned, alaskan-type ultramafic- mafic complex in the eastern Pontides, NE Turkey, *Gondwana Research*, 18, p. 230-252.
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Dudas, F.O., Santosh, M., Akaryalı, E., 2011, Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the eastern Pontides, NE Turkey: implications for slab window melting, *Gondwana Research*, 19, p. 413-429.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Yi, K., Kwon, S., Akaryalı, E., 2013, Petrogenesis and U-Pb zircon chronology of adakitic porphyries within the Kop ultramafic massif (Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey), *Gondwana Research*, 24, p. 742-766.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Xiao, Y., Yi, K., Chattarjee, N., Wu, F.Y., Bektaş, O., 2016, Where are the remnants of a Jurassic ocean in the eastern Mediterranean region?, *Gondwana Research*, 33, p. 63-92.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Thorkelson, D., Zhu, D.C., Liu, Z., Chattarjee, N., Yi, K., Santosh, M., 2017, Eocene granitoids of northern Turkey: polybaric magmatism in an evolving arc-slab window system, *Gondwana Research*, 50, p. 311-345.
- Faccenna, C., Bellier, O., Martinod, J., Piromallo, C., Regard, V., 2006, Slab detachment beneath eastern Anatolia: a possible cause for the formation of the North Anatolian Fault, *Earth and Planetary Science Letters*, 242, p. 85-97.
- Fitton, J.G., James, D., Kempton, P.D., Ormerod, D.S., Leeman, W.P., 1988, The role of lithospheric mantle in the generation of late Cenozoic basic magmas in the western United States, *Journal of Petrology*, p. 331-349.
- Fitton, J.G., James, D., Leeman, W.P., 1991, Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the western United States: compositional variations in space and time, *Journal of Geophysical Research*, 96, p. 13693-13712.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fourquin, C., Paicheler, J.C., Sauvage, J., 1970, Premieres donnees sur la stratigraphie du Massif Galate d'andesites, étude palynologique de la base des diatomites Miocenes de Beskonak au nord-est de Kızılcahamam (Anatolie, Turquie), *Compte Rendu Ac. Sc.*, D270, p. 2253-2255.
- Gans, C.R., Beck, S.L., Zandt, G., Biryol, C.B., Özacar, A.A., 2009, Detecting the limit of slab break-off in central Turkey: new high resolution Pn tomography results, *Geophysical Journal International*, 179, p. 1566-1572.
- Genç, Ş.C., 2004, A Triassic large igneous province in the Pontides, northern Turkey: geochemical data for its tectonic setting, *Journal of Asian Earth Sciences*, 22, p. 503-516.
- Gençalioglu Kuşçu, G., Geneli, F., 2010, Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian Volcanic Province (Turkey), with special reference to the Tepeköy Volcanic Complex, *International Journal of Earth Science*, 99, p. 593-621.
- Gill, J.B., 1981, *Orogenic andesites and plate tectonics*, Springer-Verlag, New York, 138 p.
- Göğüş, O.H., Psyklywec, R.N., Şengör, A.M.C., Gün, E., 2017, Drip tectonics and the enigmatic uplift of the central Anatolian plateau, *Nature Communications*, 8, p. 1538.
- Göncüoğlu, M.C., Marroni, M., Sayit, K., Tekin, U.K., Ottria, G., Pandolfi, L., Ellero, A., 2012, The Ayli dağ ophiolite sequence (central northern Turkey): a fragment of middle Jurassic oceanic lithosphere within the Intra-Pontide suture zone, *Ofioliti*, 37, p. 77-92.
- Granet., M., Wilson, M., Achauer, U., 1995, Imaging a mantle plume beneath the French Massif Central, *Earth and Planetary Science Letters*, 136, p. 281-296.
- Güleç, N., 1991, Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics, *Geological Magazines*, 128, p. 417-435.
- Gülen, L., 1990, Isotopic characterization of Aegean magmatism and geodynamic evolution of the Aegean subduction, *IESCA 1990 Proceedings*, p. 143- 166.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gülmez, F., Genç, Ş.C., Keskin, M., Tüysüz, O., 2012, A post-collision slab-breakoff model for the origin of the Middle Eocene magmatic rocks of the Armutlu-Almacık belt, NW Turkey and its regional implications, Geological Society of London, Special Publications, 372, p. 107-139.
- Gülmez, F., Genç, Ş.C., Prelevic, D., Tüysüz, O., Karacık, Z., Roden, M.F., Billor, Z., 2016, Ultrapotassic volcanism from the waning stage of the Neotethyan subduction: a key study from the İzmir-Ankara-Erzincan suture belt, central northern Turkey, Journal of Petrology, 57, p. 561-593.
- Haase, K.M., Mühe, R., Stoffers, P., 2000, Magmatism during extension of the lithosphere: geochemical constraints from lavas of the Shaban Deep, northern Red Sea, Chemical Geology, 166, p. 225-239.
- Hart, S.R., Blusztajn, J., Dick, H.J.B., Meyer, P.S., Muehlenbachs, K., 1999, The fingerprint of seawater circulation in a 500 meter section of ocean crust gabbros, Geochimica et Cosmochimica Acta, 63, p. 4059-4080.
- Hawkesworth, C.J., Turner, S.P., McDermott, F., Peate, D.W., Van Calsteren, P., 1997, U-Th isotopes in arc magmas: implications for element transfer from the subducted crust, Science, 276, p. 551-555.
- Hoffman, A.W., Jochum, K.P., Seuffer, M., White, W.M., 1986, Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution, Earth and Planetary Science Letters, 79, p. 33-45.
- Hoffman, A.W., 1988, Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust, Earth and Planetary Science Letters, 90, p. 297-314.
- Huang, Y., Hawkesworth, C., Smith, I., Calsteren, P., Black, P., 2000, Geochemistry of late Cenozoic basaltic volcanism in Northland and Coromandel, New Zealand: implications for mantle enrichment processes, Chemical Geology, 164, p. 219-238.
- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, G., Pasquare, G., Villarri, L., 1982, Anatolia and northwestern Iran, R.S. Thorpe (Eds), Orogenic andesites and related rocks, p. 327-439.
- Innocenti, F., Agostini, S., Vincenzo, G., Di Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., Tonarini, S., 2005, Neogene and Quaternary in Western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution, Marine Geology, 221, p. 397-421.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971, A guide of to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Science, 8, p. 523-548.
- Karadenizli, L., 2011, Oligocene to Paleocene palaeogeographic evolution of the Çankırı-Çorum basin, central Anatolia, Turkey, Sedimentary Geology, 237, p. 1-29.
- Karadenizli, L., Saraç, G., Sen, S., Seyitoğlu, G., Antoine, P.O., Kazancı, N., Varol, B., Alçiçek, M.C., Gül, A., Erten, H., Esat, K., Özcan, F., Savaşçı, D., Antoine, A., Filoreau, X., Herve, S., Bouvrain, G., de Bonis, L., Hakyemez, H.Y., 2004, Oligo-Miocene mammalian biostratigraphy a depositional evolution of the western and southern parts of Çankırı- Çorum basin, central Anatolia, MTA raporu (yayımlanmamış).
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., Ersoy, E.Y., 2010, Petrogenesis and $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ geochronology of the volcanic rocks of the Uşak-Güre basin, western Turkey, Lithos, 119, p. 193-210.
- Karaoğlu, Ö., Selçuk Sağlam, A., Gudmundsson, A., 2017, Tectonic controls on the Karlıova Triple Junction (Turkey): implications for tectonic inversion and the initiation of volcanism, Tectonophysics, 694, p.368-384.
- Karaoğlu, Ö., Gülmez, F., Göçmengil, G., Lustrino, M., Di Giuseppe, P., Manetti, P., Savaşçı, M.Y., Agostini, S., 2020, Petrological evolution of Karlıova-Varto volcanism (Eastern Turkey): magma genesis in a transtensional triple-junction tectonic setting, Lithos, 364-365, p. 1-15.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, R.J., 2010, Generation of the early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination, Lithos, 114, p. 109-120.
- Karlı, O., Dokuz, A., Kandemir, R., 2017, Subduction related Late Carboniferous to Early Permian magmatism in the eastern Pontides, the Çamlık and Casurluk plutons: insights from geochemistry, whole-rock, Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes and U-Pb geochronology, Lithos, 266-267, p. 98-114.
- Karlıoğlu, Ö., Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., Peytcheva, I., 2012, Age and provenance of detrital zircons from a sandstone turbidite of the Triassic- Early Jurassic Küre Complex, central Pontides, International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, IAESCA 2012, p. 57.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kasapoğlu, B., Ersoy, E.Y., Uysal, İ., Palmer, M.R., Zack, T., Koralay, E.O., Karlsson, A., 2016, The petrology of Paleogene volcanism in the central Sakarya, Nallıhan region: implication for the initiation and evolution of post-collisional, slab break-off magmatic activity, *Lithos*, 246-247, p. 81-98.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C., Satır, M., 2008, Petrochemistry and petrology of I type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, eastern Pontides, NE Turkey, *International Journal of Earth Sciences*, 97, p. 739-764.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satır, M., Şen, C., 2010, Insight into magma genesis at convergent plate margins- a case study from eastern Pontides (NE Turkey), *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 187, p. 265-287.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N., 2012, Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey, *International Geology Review*, 54, p. 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Öztürk, M., 2015, Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Eocene Bayburt intrusions, Eastern Pontides, NE Turkey: evidence for lithospheric mantle and lower crustal sources in the high-K calc-alkaline magmatism, *Journal of Asian Earth Sciences*, 108, p. 97-116.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F., 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, p. 327-346.
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Arslan, M., Sipahi, F., Temizel, İ., Çakmak, G., Güloğlu, Z.S., 2018, Petrography, mineral chemistry and crystallization conditions of Tertiary plutonic rocks located to the north of Bayburt (Eastern Pontides, Turkey), *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157, p. 75-102.
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Keewook, Y., Jeong, Y.J., Siebel, W., Sipahi, F., 2020, Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: insights into magma genesis and magma-tectonic evolution from whole-rock geochemistry, geochronology and isotope systematics, *International Geology Review*, 62, p. 1406-1432.
- Kaymakçı, N., 2000, Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı basin (central Anatolia, Turkey), *Geologia Ultraiectiona*, 190, p. 1-247.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Keller, J., Jung, D., Eckhardt, F.J., Kreuzer, H., 1992, Radiometric ages and chemical characterization of the Galatean Andesite Massif, Pontus, Turkey, *Acta Vulcanologica*, 2, p. 267-276.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G., 1998, Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision- related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, p. 355-404.
- Keskin, M., 2003, Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: and alternative model for collision- related volcanism in eastern Anatolia, Turkey, *Geophysical Research Letters*, 30, p. 8046.
- Keskin, M., 2013, AFC-Modeler: a Microsoft Excel workbook program for modelling assimilation combined with fractional crystallization (AFC) process in magmatic systems by using equations of DePaolo (1981), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, p. 304-319.
- Kessel, R., Schmidt, M., Ulmer, P., Pettke, T., 2005, Trace element signature of subduction-zone fluids, melts and supercritical liquids at 120-180 depth, *Nature*, 437, p. 724-727.
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun tektonik birlikleri, *MTA Dergisi*, 66, s. 20,34.
- Kinzler, R.J., 1997, Melting of mantle peridotite at pressures approaching the spinel to garnet transition: application to mid-ocean ridge basalt petrogenesis, *Journal of Geophysical Research*, 102, p. 853-874.
- Klein, E.M., 2004, Geochemistry of the igneous oceanic crust, *Treatise on geochemistry*, 3, p. 433-463.
- Kocaarslan, A., Ersoy, E.Y., 2018, Petrological evolution of Miocene-Pliocene mafic volcanism in the Kangal and Gürün basins (Sivas-Malatya), central east Anatolia: evidence for Miocene anorogenic magmas contaminated by continental crust, *Lithos*, 310-311, p. 392-408.
- Koçyiğit, A., Winchester, J.A., Bozkurt, E., Holland, G., 2003, Saraçköy Volcanic Suite: implications for subductional phase of arc evolution in Galatean Arc Complex, Ankara, Turkey, *Geological Journal*, 38, p. 1-14.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kogiso, T., Tatsumi, Y., Nakano, S., 1997, Trace element transport during dehydration processed in the subduction oceanic crust: 1. Experiments and implications for the origin of ocean island basalts, *Earth and Planetary Science Letters*, 148, p. 193-205.
- Kürkcüoğlu, B., Şen, E., Aydar, E., Gourgaud, A., Gündoğdu, N., 1998, Geochemical approach to magmatic evolution of Mt. Erciyes stratovolcano central Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, p. 473-494.
- Kürkcüoğlu, B., 2010, Geochemistry and petrogenesis of basaltic rocks from the Develidağ complex, central Anatolia, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, p. 42-51.
- Langmuir, C.H., Vocke, R.D., Hanson, G.N., Hart, S.R., 1978, A general mixing equation with applications to Icelandic basalts, *Earth and Planetary Science Letters*, 37, p. 380-392.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, *Journal of Petrology*, p. 27, 745-750.
- Lugmair, G.W., Marti, K., 1977, Sm-Nd-Pu timepieces in the Angra dos Reis meteorite, *Earth and Planetary Science Letters*, 35, p. 273-284.
- Lustrino, M., Keskin, M., Mattioli, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A., Sharkov, E., Kavak, O., 2010, Early activity of the largest Cenozoic shield volcano in the circum-Mediterranean area: Mt. Karacadağ, SE Turkey, *European Journal of Mineralogy*, 22, p. 343-362.
- Lustrino, M., Keskin, M., Mattioli, M., Kavak, O., 2012, Heterogeneous mantle sources feeding the volcanic activity of Mt. Karacadağ (SE Turkey), *Journal of Asian Earth Sciences*, 46, p. 120-139.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzonois, A., Paradisis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Rellinger, R., Şanlı, İ., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000,, Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, 105 (B3), p. 5695-5719.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- McCulloch, M.T., Gamble, J.A., 1991, Geochemical and geodynamic constraints on subduction zone magmatism, *Earth and Planetary Science Letters*, 102, 358-374.
- McDonough, W.F., Sun, S.S., 1995, Composition of the earth, *Chemical Geology*, 120, p. 223-253.
- McKenzie, D.P., 1972, Active tectonics of Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie, D., O'nions, R.K., 1991, Partial melt distributions from inversion of rare Earth element concentrations, *Journal of Petrology*, 32, p. 1021-1091.
- Mempel, G., 1968, Perlite, in *Lehrbuch der Angew. Geologie*.
- Muratçay Varol, E., 2006, Çamlıdere (Ankara kuzeybatısı) yöresi volkanik kayaçlarının petrolojisi ve jeokimyası, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 222 s. (yayımlanmamış).
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Matsuda, J., Ercan, T., 1995, Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 64, p. 171-192.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., Akyüz, S., 1996, A. Yin, M. Harrison (Eds.) *Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints*, *Tectonics of Asia*, Cambridge University Press, p. 420-441.
- Okay, A.I., Şahintürk, Ö., 1997, Geology of the Eastern Pontides, A.G. Robinson (Eds.) *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region*, American Association of Petroleum Geologist, 68, p. 291-311.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey, B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath, M. Seranne (Eds.) *the Mediterranean Basins: Tertiary extension within Alpine Orogen*, Geological Society of London, Special Publications, 156, p. 475-515.
- Okay, A.I., 2000, Was the Late Triassic orogeny in Turkey caused by the collision of an oceanic plateau?, E. Bozkurt, J.A. Winchester, J.A.D. Piper (Eds.), *Tectonics and magmatism in Turkey and surrounding area*, Geological Society, London, Special Publications, 173, p. 25-41.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Okay, A.I., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., Chen, F., 2001, The tectonics of Strandja Massif: Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean, *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 90, p. 217-233.
- Okay, A.I., Monod, O., Monie, P., 2002, Triassic blueschist and eclogites from northwest Turkey: vestiges of the Paleo-Tethyan subduction, *Lithos*, 64, p. 155-178.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan Altıner, S., Altıner, D., Sherlock, S., Eren, R.H., 2006, Cretaceous and Triassic subduction-accretion, high-pressure- low temperature metamorphism and continental growth in the central Pontides, Turkey, *Geological Society of America Bulletin*, 118 (9-10), p. 1247-1269.
- Okay, A.I., Noble, P.J., Tekin, U.K., 2011, Devonian radiolarian ribbon cherts from the Karakaya Complex, northwest Turkey: implications for the Paleo-Tethyan evolution, *Comptes Rendus Palevol*, 10, p. 1-10.
- Okay, A.I., Sunal, G., Sherlock, S., Altıner, D., Tüysüz, O., Kylander Clark, A.R.C., Aygöl, M., 2013, Early Cretaceous sedimentation and orogeny on the southern active margin of Eurasia: Central Pontides, Turkey, *Tectonics*, 32, p. 1247- 1271.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M., Kylander Clark, A.R.C., 2014, Low-pressure high-temperature metamorphism during extension in a Jurassic magmatic arc, central Pontides, Turkey, *Journal of Metamorphic Geology*, 32, p. 49-69.
- Okay, A.I., Nikishin, A., 2015, Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region, *International Geology Review*, 57, p. 1051-1076.
- Okay, A.I., Altıner, D., Kılıç, A.M., 2015, Triassic limestone, turbidite and serpentinite-Cimmeride orogeny in the central Pontides, *Geological Magazine*, 152 (3), p. 460-479.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., Ünal, E., 2017, Petrology and geochemistry of the Quaternary mafic volcanism to the NE of Lake Van, eastern Anatolian collision zone, Turkey, *Journal of Petrology*, 58, p. 1701-1728.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü., Güleç, N., 2006, Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano, (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey, *Chemical Geology*, 226, p. 189-211.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özdemir, Y., Güleç, N., 2014, Geological and geochemical evolution of the Quaternary Suphan stratovolcano, eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere-asthenosphere interaction in post-collisional volcanism, *Journal of Petrology*, 55, p. 37-62.
- Palme, H., O'Neill, H.St.C., 2004, Cosmochemical estimates of mantle composition, *Treatise on Geochemistry*, 2, p. 1-38.
- Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, *Earth and Planetary Science Letters*, 19, p. 290-300.
- Pearce, J.A., 1983, The role of suncontinental lithosphere in magma genesis destructive plate margins, C.J. Hawkesworth, M.J. Norry (Eds.) *Continental basalts and mantle xenoliths*, p. 230-249.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Şaroğlu, F. Yılmaz, Y., Moor bath, S. and Mitchell, J.G., 1990, Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, p. 189-229.
- Pearce, J.A., Parkinson, I.J., 1993, Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis, H.M. Prichard, T. Alabaster, N.B.W. Harris, C.R. Neary (Eds.) *Magmatic processes and plate tectonics*, Geological Society Special Publication, 76, p. 373-403.
- Pearce, J.A., Peate, D.W., 1995, Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, p. 251-285.
- Pearce, J.A., Stern, R.J., Bloomer, H.S., Fryer, P., 2005, Geochemical mapping of the Mariana arc-basin system: implications for the nature and distribution of subduction components, *Geochemistry, Geophysics, Geosystem* (3G), 6, p. 1-27.
- Pearce, J.A., 2008, Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust, *Lithos*, 100, p. 14-48.
- Peccerillo, A., Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 58, p. 63-81.
- Plank, T., Langmuir, C.H., 1998, The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle, *Chemical Geology*, 145, p. 325-394.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Prelevic, D., Akal, C., Foley, S.F., Romer, R.L., Stracke, A., Van Den Bogaard, P., 2012, Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for post-collisional dynamics of orogenic lithospheric mantle: the case of southwestern Anatolia, Turkey, *Journal of Petrology*, 53, p. 1019-1055.
- Prelevic, D., Akal, C., Romer, R.L., Mertz-Kraus, R., Helvacı, C., 2015, Magmatic response to slab tearing: constraints from the Afyon Alkaline Volcanic Complex, western Turkey, *Journal of Petrology*, 56 (3), p. 527-562.
- Rabayrol, F., Hart, C.J.R., Thorkelson, D.J., 2019, Temporal, spatian and geochemical evolution of late Cenozoic post-subduction magmatism in central and eastern Anatolia, *Lithos*, 336-337, p. 67-96.
- Reid, M.,R., Schleiffarth, W.K., Cosca, M.A., Delph, J.R., Blichert- Toft, J., Cooper, K.M., 2017, Shallow melting of MORB-like mantle under hot continental lithosphere, central Anatolia, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, p. 1866-1888.
- Richter, K., 1961, Üner perlite usx, *Zeitschr, Deutsch, geol. Ges.*, 112, p. 197-207.
- Ringwood, A.E., 1990, Slab-mantle interactions: petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle, *Chemical Geology*, 82, p. 187-207.
- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T., 2012, Testing alternative tectono-stratigraphic interpretations of the Late Palaeozoic- Early Mesozoic Karakaya Complex in NW Turkey: support for and accretionary origin related to northward sunduction of Palaeotethys, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, p. 961-1007.
- Rojay, B., Karaca, A., 2008, Post-Miocene deformation in the south of the Galatean Volcanic Province, NW of central Anatolia, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, p. 653-672.
- Rollison, H.R., 1993, Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons, New York, 352 p.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2003, Composition of the continental crust, *Treatise on geochemistry*, p. 1-64.
- Salters, V.J., Stracke, A., 2004, Composition of the depleted mantle, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saner, S., 1980, Mudurnu, Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleri ile paleocoğrafya yorumlaması, Bulletin of Geological Society of Turkey, 23, s. 39-52.
- Saraç, D., 2003, Türkiye omurgalı fosil yatakları, MTA raporu (yayımlanmamış)
- Savaşçın, M.Y., 1990, Magmatic activities of Cenozoic compressional and extensional tectonic regimes in western Anatolia, IESCA 1990 Proceedings, p. 421-434.
- Savaşçın, M.Y., Güleç, N., 1990, Relationships between magmatic and tectonic activities in western Turkey, IESCA 1990 Proceedings, p. 300-314.
- Savaşçın, M.Y., Oyman, T., 1998, Tectonomagmatic evolution of alkaline volcanics at the Kırka-Afyon-Isparta structural trend, SW Turkey, Turkish Journal of Earth Science, 7 (3), p. 201-214.
- Schleiffarth, W., Darin, M., Reid, M., Umhoefer, P., 2018, Dynamics of episodic Late Cretaceous-Cenozoic magmatism across central to Eastern Anatolia: new insights from extensive geochronology compilation, Geosphere, 14, 1-19.
- Schumacher, R., Mues-Schumacher, U., Toprak, V., 2001, The Sarıkavak Tephra, Galatea, north central Turkey: a case study of a Miocene complex plinian eruptive deposit, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 112, p. 231-245.
- Seghedi, I., Helvacı, C., 2016, Early Miocene Kırka-Phrygian Caldera, western Turkey (Eskişehir province), preliminary volcanology, age and geochemistry data, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 327, p. 503-519.
- Semiz, B., Ersoy, E.Y., Özpınar, Y., Helvacı, C., Palmer, M.R., Billor, M.Z., 2015, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ geochronology, geochemistry and petrology of volcanic rocks from Simav Graben, western Turkey, Contribution to Mineralogy and Petrology, 170, p. 1-24.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G., Scott, B., 1997, The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in western Turkey: implications for enrichment processes in lithospheric mantle, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 76, p. 127-147.
- Shaw, J.E., 1970, Trace element fractionation during anatexis, Geochimica et Cosmochimica Acta, 34, p. 237-243.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shaw, J.E., Baker, J.A., Menzies, M.A., Thirlwall, M.F., İbrahim, K.M., 2003, Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian Plate (Jordan): a mixed lithosphere-asthenosphere source activated by lithospheric extension, *Journal of Petrology*, 44, p. 1657-1679.
- Singer, B.S., Jicha, B.R., Leeman, W.P., Rogers, N.W., Thirlwall, M.F., Ryan, J., Nicolaysen, K.E., 2007, Along- strike trace element and isotopic variation in Aleutian island arc basalt: subduction melts, sediments and dehydrates serpentine, *Journal of Geophysical Research*, 112, p. 1-26.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B., Şen, C., 2014, The geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Murgul (Artvin) volcanics in the Eastern Black Sea region (NE Turkey), *Chemie der Erde*, 74, p. 331-342.
- Smith, E.I., Sanchez, A., Walker, J.D., Wang, K., 1999, Geochemistry of mafic magmas in the Hurricane volcanic field, Utah: implications for small- and large- scale chemical variability of the lithospheric mantle, *Journal of Geology*, 107, p. 433-448.
- Sossan, M., Rolland, Y., Müller, C., Danelian, T., Melkonyan, R., Kekelia, S., Adamia, S., Babazadeh, V., Kangarlı, T., Avagyan, A., Geloyan, G., Mosar, J., 2010, Subduction, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insides, M. Sossan, N. Kaymakçı, R.A. Stephenson, F. Bergerat, V. Starostenko (Eds.) *Sedimentary basin tectonics from Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*, London, Geological Society, Special Publications, 340, p. 329-352.
- Steiger, R.H., Jager, E., 1977, Subcomission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology, *Earth and Planetary Science Letters*, 36, p. 359-362.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, A.D. Saunders, J. Norry (Eds.) *Magmatism in the ocean basin*, Geological Society of London Special Publications, 42, p. 313-345.
- Şen, C., 2007, Jurassic volcanism in the Eastern Pontides: is it rift related or subduction related?, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, p. 523-539.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, p. 181-241.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *The Society of Economic Paleontologist and Mineralogist*, 37, p. 227-264.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T., Zor, E., 2003, East Anatolian high plateau as a mantle supported, north-south shortened domal structure, *Geophysical Research Letters*, 30, p. 8045.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2005, The North Anatolian Fault: a new look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, p. 37-112.
- Tankut, A., 1985, Ankara dolaylarındaki Neojen yaşlı volkaniklerin jeokimyası, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28, s. 55-66.
- Tankut, A., Satır, M., Güleç, N., Toprak, V., 1995, Galatya Volkanikleri'nin petrojenezi, sonuç raporu, TÜBİTAK YBAG, 78 s. (yayımlanmamış).
- Tankut, A., Wilson, M., Yihunie, T., 1998 a, Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem area, Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, p. 285-301.
- Tankut, A., Güleç, N., Wilson, M., Toprak, V., Savaşçın, Y., Akman, O., 1998 b, Alkali basalts from the Galatia volcanic complex, NW central Anatolia, Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 7, p. 269-274.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.L., Nesbitt, R.W., 1986, Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high-pressure experiments and natural rocks, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 29 (1), p. 293-309.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985, *The continental crust: its composition and evolution*, Blackwell, Oxford, p. 322.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995, The geochemical evolution of the continental crust, *Reviews of Geophysics*, 33, p. 241-265.
- Temel, A., 2001, Post-collisional Miocene alkaline volcanism in the Oğlakçı region, Turkey: petrology and geochemistry, *International Geology Review*, 43, p. 640-660.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Temel, A., Yürür, T., Alıcı, P., Varol, E., Gourgaud, A., Bellon, H., Demirbağ, H., 2010, Alkaline series related to early-middle Miocene intra-continental rifting in a collision zone: an example from Polatlı, central Anatolia, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 38 (6), p. 289-306.
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E., Kaygusuz, A., Aslan Z., 2019, 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, p. 305-320.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Dickin, A.P., Hendry, G.L., 1983, Continental flood basalts... arcnids rule OK?, C.J. Hawkesworth, M.J. Norry (Eds.) *Continental basalts and mantle xenoliths*, p. 158-185.
- Tokel, S., 1984, Mechanism of crustal deformation in eastern Anatolia and the petrogenesis of young volcanites, *Ketin Symposium Proceedings*, p. 121-130.
- Tokel, S., Ercan, T., Akbaşlı A., Yıldırım, T., Fişekçi, A., Selvi, Y., Ölmez, M., Can, B., 1988, Neogene tholeiitic province of central Anatolia: implications for magma genesis and post- collision lithospheric dynamics, *Journal of Pure and Applied Sciences*, 21, p. 461-477.
- Toprak, V., Savaşçın, Y., Güleç, N., Tankut, A., 1996, Structure of Galatean Volcanic Province, Turkey, *International Geology Review*, 38, p. 747-758.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O., Schwarz, W.H., 2004; Aluminous granulites from the Pulur complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization, *Lithos*, 72, p. 183-207.
- Topuz, G., Alther, R., Scharz, W.H., Siebel, W., Satır, M., Dokuz, A., 2005, Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık granodiorite (eastern Pontides, Turkey), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, p. 441-455.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A., Meyer, H.P., 2007, Variscan amphibolite-facies metamorphic rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey), *International Journal of Earth Sciences*, 96, p. 861-873.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Topuz, G., Çelik, O.F., Şengör, A.M.C., Altıntaş, I.E., Zack, T., Rolland, Y., 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, p. 1054-1087.
- Topuz, G., Okay, A.I., Altherr, R., Schwarz, W.H., Sunal, G., Altınkaynak, L., 2014, Triassic warm subduction in northeast Turkey: evidence from the Ağvanis metamorphic rocks, *Island Arc*, 23, p. 181- 205.
- Topuz, G., Okay, A.I., Schwarz, W.H., Sunal, G., Altherr, A., Kylander Clark, A.R.C., 2018, A middle Permian ophiolite fragment in Late Triassic greenschist- to blueschist-facies rocks in NW Turkey: an additional pulse of suprasubduction-zone ophiolite formation in the Tethyan belt?, *Lithos*, 300-301, p. 121-135.
- Tuena, A.G., Langmuir, C.H., Goldstein, S.L., Straub, M.S., Gutierrez, F.O., 2007, Geochemical evidence for slab melting in the Trans-Mexican volcanic belt, *Journal of Petrology*, 48, p. 537-562.
- Turner, S., Hawkesworth, C., 1997, Constraints on flux rates and mantle dynamics beneath island arcs from Tonga- Kermadec lava geochemistry, *Nature*, 389, p. 568-573.
- Türkecan, A., Hepşen, N., Papak, I., Akbaş, B., Karataş, S., Özgür, İ., Akay, E., Bedi, Y., Sevin, M., Mutlu, G., Sevin, D., Ünay, E., Saraç, G., 1991, Seben-Gerede (Bolu), Güdül-Beyazır (Ankara) ve Çerkeş-Orta-Kurşunlu (Çankırı) yörelerinin (Köroğlu Dağları) jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, 118 s. (yayımlanmamış).
- Ustaömer, P.A., Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., 2012, Ion probe U-Pb dating of the Central Sakarya basement: a peri-Gondwana terrane intruded by the Late Carboniferous subduction/collision-related granitic rocks, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, p. 905-932.
- Ustaömer, P.A., Ustaömer, T., Gerdes, A., Robertson, A.H.F., Zulauf, G., 2014, Discovery of a Triassic magmatic arc source for the Permo-Triassic Karakaya subduction complex, NW Turkey, *Geophysical Research Abstracts*, 16.
- Van Hinsbergen, D.J., Maffione, M., Plunder, A., Kaymakçı, N., Ganerod, M., Hendricks, B.W., Corfu, F., Gürer, D., Gelder, G.I., Peters, K., 2016, Tectonic evolution and paleogeography of Kırşehir ophiolites and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey, *Tectonics*, 35, p. 983-1014.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Varol, E., Temel A., Gourgaud, A., 2008, Textural and compositional evidences for magma mixing in the evolution of Çamlıdere volcanic rocks (Galatean Volcanic Province), central Anatolia, Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 17, p. 709-727.
- Varol, E., Temel, A., Yürür, T., Gourgaud, A., Bellon, H., 2014, Petrogenesis of the Neogene bimodal magmatism of the Galatean Volcanic Province, central Anatolia Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, p. 280, 14-29.
- Wagner, G., 1987, Deutsches Archäologisches Institut Demircihöyük, Die Ergebnisse der Ausgrabungen, 1975-1978 Herausgegeben, von. Manfred Korfmann, Band II, Naturwissenschaftliche Untersuchung en, Verlag, 26-29.
- Walter, M.J., 1998, Melting of garnet peridotite and the origin of komatiite and depleted lithosphere, Journal of Petrology, 39, p. 29-60.
- White, W.M., Dupre, B., 1986, Sediment subduction and magma genesis in the Lesser Antilles: isotopic and trace element constraints, Journal of Geophysical Research, 91 (B6), p. 5927-5941.
- Wilson, M., 1989, Igneous Petrogenesis, Unwin Hyman Ltd., London, UK, 466 p.
- Wilson, M., Tankut, A., Güleç, N., 1997, Tertiary volcanism of the Galatia province, north- west central Anatolia, Turkey, Lithos, 42, p. 105-121.
- Wood, D.A., 1980, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province, Earth and Planetary Science Letters, 50, p. 11-30.
- Workman, R.K., Hart, S.R., Jackson, M., Regelous, M., Farley, K.A., Bluzstajn, J., Kurz, M., Stauigel, H., 2004, Recycled metasomatised lithosphere as the origin of the enriched mantle II (EM2) end-member: evidence from Samoan volcanic chain, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 5.
- Workman, R.K., Hart, S.R., Major and trace element composition of the depleted MORB mantle (DMM), Earth and Planetary Science Letters, 231, p. 53-72.
- Yılmaz, Y., 1990, Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44, p. 69-87.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yılmaz, Y., 1993, New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen, Geological Society of America Bulletin, 105, p. 251-271.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Yazar, E.A., 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, p. 65-86.
- Yürür, M.T., Temel, A., Köse, O., 2002, Evidences of extensional tectonics at the southern boundary of the Galatean Volcanic Province, NW central Anatolia, Bulletin of the Turkish Geological Society, 45 (1), p. 85-98.
- Zindler, A., Hart, S., 1986, Chemical dynamics, Annual Reviews of Earth Planetary Science, 14, p. 493- 571.
- Zhou, M.F., Zhao, J.H., Jiang, C.Y., Gao, J.F., Wang, W., Yang, S.H., 2009, OIB-like, heterogeneous mantle sources of Permian basaltic magmatism in the western Tarim Basin, NW China: implications for a possible Permian large igneous province, Lithos, 113, p. 583-594.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: Özlem TOYGAR SAĞIN

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara (Keçiören)- 4.09.1987

E-posta: toygara@ogu.edu.tr, ozlemtoygara6@gmail.com

Eğitim Bilgisi:

Lisans: Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (2005-2010)

Yüksek Lisans: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Yatakları ve Jeokimya Bilim Dalı (2011-2014)

İş Tecrübesi:

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (Araştırma Görevlisi, 2011- devam ediyor.)