

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERKEN EOSEN ADAKİTİK ANDEZİTLER (ALTINPINAR, TORUL)
İÇERİSİNDEKİ MAFİK MİKROGRANÜLER ANKLAVLARIN
PETROKİMYASAL KARAKTERİSTİKLERİ

YÜKSEK LİSANS

Abdulkadir Murat GÜNER

ŞUBAT-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERKEN EOSEN ADAKİTİK ANDEZİTLER (ALTINPINAR, TORUL)
İÇERİSİNDEKİ MAFİK MİKROGRANÜLER ANKLAVLARIN
PETROKİMYASAL KARAKTERİSTİKLERİ**

**PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAFIC MICROGRANULAR
ENCLAVES IN EARLY EOCENE ADAKITIC ANDESITES (ALTINPINAR,
TORUL)**

YÜKSEK LİSANS

Abdulkadir Murat GÜNER

**ŞUBAT-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERKEN EOSEN ADAKİTİK ANDEZİTLER (ALTINPINAR, TORUL)
İÇERİSİNDEKİ MAFİK MİKROGRANÜLER ANKLAVLARIN
PETROKİMYASAL KARAKTERİSTİKLERİ**

**PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAFIC MICROGRANULAR
ENCLAVES IN EARLY EOCENE ADAKITIC ANDESITES (ALTINPINAR,
TORUL)**

YÜKSEK LİSANS

Abdulkadir Murat GÜNER

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER

**ŞUBAT-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Erken Eosen Adakitik Andezitler (Altınpınar, Torul) İçerisindeki Mafik Mikrogranüler Anklavların Petrokimyasal Karakteristikleri**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

06/02/2024

.....
Abdulkadir Murat GÜNER

TEŞEKKÜR

Altınpınar (Torul/Gümüşhane, KD Türkiye) civarında gözlenen bölgenin önemli adakitik kütlelerinden Altınpınar adakitik andezitleri içerisindeki mafik mikrogranüler anklavlarda gerçekleştirilen bu çalışma “22.F5114.02.01” proje kodu ile “*Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü*” tarafından maddi olarak desteklenmiştir.

Çalışma süresince yoğun iş temposuna rağmen tezimin her aşamasında, tecrübesini ve yardımlarını esirgemeyen, iyi niyeti, güler yüzü, hoşgörüsü ve tecrübesi ile her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER’e şükranlarımı sunarım.

Lisansüstü eğitimim süresince, yöneticilik misyonunu üstlendiğim ekiplerimle beraber gerek yurtiçi gerekse yurtdışındaki çalışmalarımız devam etmekteydi. Bu süreçte anlayış ve destekleriyle yanımda olan ekip arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hâlihazırda, Mimarlık Fakültesi öğrencisi olan kız kardeşim Dilara GÜNER’e desteği için ayrıca teşekkür eder, kendisinin de lisans ve akabinde lisansüstü eğitim hayatında başarılar dilerim.

Bu seviyeye gelmemde yaşamını bana adayan, zor günlerimde yanımda olan; bana güvenen, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, ellerinden gelenin en iyisini yapmaya çalışan ve mezuniyet törenimde de yanımda olan fedakâr Annem Hileyyan GÜNER’e ve Babam Veysi GÜNER’e minnet ve hürmetlerimi sunarım.

Abdulkadir Murat GÜNER
GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

Doğu Sakarya Zonu'ndaki (KD Türkiye) erken Senozoyik magmatizması, bölgenin bölgesel tektonomagmatik gelişimi hakkında önemli veriler sağlamaktadır. Bölgede, adakit veya adakit benzeri intrüzif/ekstrüzif kayalar Geç Paleosen'den Pliyo-Kuvaterner döneme kadar yaygın olarak gözlenmektedir. Çalışma alanında, Erken Eosen adakitik andezitler, genellikle 10 km²'den küçük mostralarda halinde gözlenmektedir. Adakitik bileşimli bu andezitler bol miktarda mafik mikrogranüler anklav (MMA) içermekte olup bu çalışmada petrografik/petrokimyasal özellikleri ve ana kayalar ile olan petrolojik ilişkileri irdelenmiştir. Ana kayalara kıyasla daha bazik bileşimli MMA'lar, küreselden elipsoidale kadar değişen şekillerde ve birkaç cm ile 30 cm arasında değişen boyutlarda gözlenmektedir. MMA'lar mikrolitik yer yer porfirik dokulu olup başlıca hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak minerallerden meydana gelmektedir. Gerek petrografik gerekse petrokimyasal özellikleri MMA'ların bazalt ve bazaltik andezit türünde olduğunu ve sub-alkalin bir magmadan türemiş olabileceğini göstermektedir. Ana ve iz element değişimleri, gelişimlerinde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu ve piroksen, hornblend, plajiyoklas, magnetit ve apatit ayrışmasının büyük ölçüde rol oynadığını göstermiştir. MMA ve ana kayaların iz element paternleri benzer bir dağılım sergilemekte olup benzer kaynaktan türemiş olabileceklerini düşündürmektedir. NTE dağılımları ise gelişimlerinde hornblend fraksiyonlaşmasının önemli rol oynadığını, buna karşılık plajiyoklas ayrışmasının etkili olmadığını işaret etmektedir. Tektonomagmatik özellikleri MMA ve ana kayalarının aynı magmadan itibaren ayrışarak farklılaştıklarını ve orojenik andezitlere benzerlik gösterdiğini işaret etmektedir. Petrokimyasal veriler, MMA'ların ana magmasının, kuzey Neotetis okyanusal levhasının yitimi sırasında amfibol-eklojit fasiyesi koşullarında okyanusal bazaltların kısmi erimesi ile üretildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adakitik andezit, Doğu Sakarya Zonu, Erken Eosen, Mafik mikrogranüler anklav, Jeokimya

SUMMARY

The early Cenozoic magmatism in the Eastern Sakarya Zone (NE Turkey) provides significant insights into the regional tectonomagmatic evolution. Adakite-like intrusive/extrusive rocks have been widely observed from the Late Paleocene to the Plio-Quaternary period in the region. In the study area, Early Eocene adakitic andesites are observed in outcrop areas smaller than 10 km² and they contain abundant mafic microgranular enclaves (MMEs). This study presents petrochemistry data of the MMEs and discusses petrological relationships with the host rock. The MMEs, with more basic composition compared to the parent rocks, are observed in ranging from a few to 30 cm in size. They are microlithic to porphyritic in texture and mainly composed of hornblende, plagioclase, clinopyroxene and opaques. Both petrographic and petrochemical characteristics indicate that the MMEs are of basalt and basaltic andesite and may have derived from a sub-alkaline magma. Major and trace element variations indicate that fractional crystallization was effective, and pyroxene, hornblende, plagioclase, magnetite and apatite fractionation played an important role. Both trace and REE patterns of the rocks show a similar distribution, suggesting that they may be derived from similar sources, and indicating hornblende fractionation played an important role in their evolution, whereas plagioclase fractionation was less effective. Tectonomagmatic characteristics of the rocks reveal that they were differentiated from the same origin and are similar to orogenic andesites. Petrochemical data suggest that the parent magma of the MMEs was produced by the partial melting of oceanic basalts under amphibole-eclogite facies conditions during the subduction of the northern Neotethyan oceanic slab.

Keywords: Adakitic andesite, Eastern Sakarya Zone, Early Eocene, Mafic microgranular enclaves, Geochemistry

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam	2
1.3. Çalışma Alanının Konumu ve Özellikleri.....	2
1.4. Bölgesel Jeoloji	4
1.6. Önceki Çalışmalar.....	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1. Arazi Çalışmaları	9
2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	9
2.2.1. Petrografik Tayinler	9
2.2.2. Tüm-kayaç Ana ve İz Element Analizleri.....	10
2.2.3. Büro Çalışmaları	10
3. BULGULAR	11
3.1. İnceleme Alanının Stratigrafisi	11
3.2. Adakitik Andezitlerin Petrografisi	16
3.3. Anklavların Petrografisi	19
3.4. Tüm-kayaç Element Jeokimyası	23
4. TARTIŞMA	31
4.1. Kaynak Alan Karakteristikleri	31
4.2. Fraksiyonel Kristallenme ve Asimilasyon Süreçleri.....	35
4.3 Tektonik Konum	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
KAYNAKÇA.....	43
ÖZGEÇMİŞ	55

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Anklavların sınıflandırılması (Didier ve Barbarin, 1991)	19
Tablo 2. Anklavların ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) içerikleri	24



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Çalışma alanının yerbuldurusu	3
Şekil 2.	a) Türkiye'nin ana tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilmiştir) ve çalışma alanının konumu. b) Doğu Pontidler'deki volkanik kayalar ve bunları kesen plütonların yayılımı (Güven, 1993 ve Aydınçakır, 2012'den değiştirilerek).....	5
Şekil 3.	Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	11
Şekil 4.	Çalışma alanının jeolojisi (Kaygusuz, 2000 ve Gücer, 2021'den değiştirilerek).....	12
Şekil 5.	Yol yarmaları boyunca yüzeylenen granitik kayalar (Bahçelik mevki)	13
Şekil 6.	Sert topografik görünüme sahip kireçtaşlarının görünümü (Tepecik mevki).....	14
Şekil 7.	Kermutdere Formasyonuna ait türbiditik istifin çalışma alanındaki genel görünümü (Güneşli mevki).....	15
Şekil 8.	Altınpınar (Torul) civarında yüzeyleme veren adakitik andezitlerin görünümü.....	15
Şekil 9.	Alibaba Formasyonuna ait andezit, bazalt ve ilişkili piroklastiklerinin görünümü (Tepecik Mevki).....	16
Şekil 10.	Adakitik Andezitlerin a) ve b) genel arazi görünümleri. c) İkincil kil ve karbonat mineralleri. d) İri kristalli plajiyoklas ve hornblend (amfibol) minerallerinin oluşturduğu porfirik doku	17
Şekil 11.	Adakitik andezitin mikroskobik görünümleri (Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ku: Kuvars, Op: Opak mineral, a,c ve e tek nikol, diğer görüntüler çapraz nikolde alınmıştır)	18
Şekil 12.	a-b) Boyutları 10 cm'ye kadar ulaşan küresel/yuvarlağımsı şekilli anklavlar. c-d) Boyutları 30 cm'ye kadar ulaşan elipsoidal biçimli anklavlar. e-f) Küçük ölçekli ve elipsoidal biçimli anklavlar. g-h) Anklavlar içerisinde iri kristalli plajiyoklas ve hornblend minerallerinin görünümü.....	20
Şekil 13.	Adakitik andezitik magmanın yükselimi sırasında kenar zonlarda daha önce soğumuş, aynı bileşime sahip kayaları içerisinde alarak yükselmesi sonucu oluşan ve ana kayaya kıyasla nispeten koyu ancak mafik anklavlara nazaran daha açık ve porfirik dokulu anklavların görünümü	21
Şekil 14.	Anklavların mikroskobik görünümleri (Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Op: Opak mineral, a,c ve e tek nikol, diğer görüntüler çapraz nikolde alınmıştır).....	22
Şekil 15.	Mafik mikrogranüler anklavların ve ana kayalarının kimyasal alterasyon indeksleri. a) Kimyasal Ayrışma İndeksi (Chemical Index of Alteration-CIA) ve ilişkili molar $[Al_2O_3 - CaO + Na_2O - K_2O]$ üçgen diyagramı	

- (Nesbitt ve Young, 1982). b) AI-CCPI alterasyon diyagramı. $[AI = 100 \times (K_2O + MgO) / (K_2O + MgO + Na_2O + CaO)]$ (Ishikawa vd., 1976), $[CCPI = 100 \times (Fe_2O_3 + MgO) / (Fe_2O_3 + MgO + Na_2O + K_2O)]$ (Large vd., 2001). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.....26
- Şekil 16. Anklavların ve ana kayacın AFM ($Na_2O + K_2O$, $Fe_2O_3^*$, MgO) diyagramı. Toleyitik - kalk-alkalin ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.....26
- Şekil 17. a) Toplam alkali-silika (TAS) diyagramı (Le Bas vd., 1986). Alkalin-subalkalin ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre. DSA: Düşük- SiO_2 adakitleri ve YSA: Yüksek- SiO_2 adakitleri (Martin vd., 2005). b) Nb/Y - Zr/TiO₂ sınıflama diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.....27
- Şekil 18. a) $K_2O - SiO_2$ (Peccerillo ve Taylor, 1976) ve b) $K_2O - Na_2O$ (LeMaitre, 2002) diyagramları. Ana kayaçların verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.....27
- Şekil 19. Anklavların ve adakitik andezitlerin (Gücer, 2021) SiO_2 (%)'e karşı ana oksit (%) ve iz element (ppm) değişim diyagramları 28
- Şekil 20. Anklavların (MMA) ve ana kayacın a) ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) ve b) Kondrite (Boynton, 1984) göre normalleştirilmiş iz element dağılım diyagramları. AKK: Alt kıtasal kabuk (Taylor ve McLennan, 1995), OAB: Okyanus adası bazaltı (Sun ve McDonough, 1989), ZOOSB: Zenginleştirilmiş okyanus ortası sırtı bazaltı (Sun ve McDonough, 1989). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.....30
- Şekil 21. Adakit ve normal yay ADR (andezit, dasit ve sodik riyolit) serisi ayırtman diyagramı. a) Sr/Y - Y diyagramı (Defant ve Drummond, 1990). b) $(La/Yb)_N$ ve $(Yb)_N$ diyagramı (Defant ve Drummond, 1990). Adakit, normal yay ADR serisi ve OOSB alanları Martin (1999), kondrit değerleri Taylor ve McLennan (1985) ve ana kayaçların verileri Gücer (2021)'den alınmıştır. Her bir kısmi ergime eğrisi farklı bir OOSB kaynak alanını temsil etmektedir 32
- Şekil 22. a) Ba (ppm) - K_2O (%ağ.) ve b) Rb/Sr - Ba/Rb diyagramları. OIB (Oceanic-Island Basalt): Okyanus adası bazaltı, PM (Primitive Mantle): İlksel manto. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır.....33
- Şekil 23. a) Rb/Y - Nb/Y diyagramı (vektör yönleri yitim zonu bileşenlerinin katkısını gösterir). b) Th/Nb - Nb/Ta diyagramı. c) Nb/La - Ba/Rb diyagramı (düşük Nb/La oranları (<1) yitim bileşenlerinin, yüksek Ba/Rb oranları ise levha ergiyikleri veya yiten sedimanların katkısını gösterir). d) Nb/Ta - Zr/Sm diyagramı (Condie, 2005). Ergime alanları Foley vd. (2002)'den alınmıştır. Düşey çizgiler Sun ve McDonough (1989)'dan alınan ilksel manto Zr/Sm değerini temsil etmektedir. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır. PM (Primitive Mantle): İlksel Manto.....34
- Şekil 24. a) $FeO^*/MgO - SiO_2$ (%ağ.) diyagramı. Toleyitik ve kalk-alkalin ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre. $FeO^* = 0.899Fe_2O_3$. TH (Tholeiitic): Toleyitik, CA (Calc-alkaline): Kalk-alkalin. b) V (ppm) -

TiO ₂ (%ağ.), c) Dy/Yb - Dy (ppm) ve d) K/Rb'a - Rb (ppm) diyagramı. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır	36
Şekil 25. Örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramı (Pearce, 1983; Pearce vd., 1990). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır	37
Şekil 26. Anklavların ve ana kayaçlarının tektonik ortam ayırtman diyagramları. a) Hf/3-Th-Nb/16 (Wood, 1980) ve b) Ti/100-Zr-3*Y (Pearce ve Cann, 1973) üçgen diyagramları. c) Ti-V diyagramı (Shervais, 1982). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır	38
Şekil 27. Örneklere ait tektonik ortam diyagramları. a) Ba (ppm) – Nb (ppm) ve b) Ba (ppm) – La (ppm) diyagramları (alanlar: Perfit vd.,1980; Gill, 1981'den alınmıştır). MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır	39



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kayaçların oluşumunda, ilksel bazik magmayı temsil eden kalıntılar mafik mikrogranüler anklav (MMA) olarak isimlendirilmekte olup bu terim felsik magmatik kayaların içerdiği koyu renkli, bazik kayaç parçalarını tanımlamak üzere ilk kez Lacroix (1890) tarafından kullanılmıştır. Mafik anklavlar olduğu kayaçların kaynak magması, ergiyiklerin oluşum mekanizmaları ve ayrıca kıtasal kabuk ile manto arasındaki etkileşim hakkında önemli bilgiler sağlayabilmektedir (White ve Chappell, 1977). Mafik anklavlar, magmatik kayaçlarda ve özellikle I-tipi kalk-alkali magmatik kayaçlarda yaygın gözlenmekle birlikte (Didier, 1973), boyutları birkaç mikrondan birkaç yüz metreye kadar değişebilmektedir. Ancak boyutları ne olursa olsun içerisinde bulunduğu ana kayaç tarafından tamamen çevrelenmesi, anklavların tanımlanmasındaki başlıca kriteri oluşturmaktadır.

Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı ve Doğu Pontidler (KD Türkiye) olarak da adlandırılan Doğu Sakarya Zonu, Türkiye'nin jeolojik olarak şekillenmesinde önemli bir rol oynayan Alp-Himalaya orojenezinin etkisi ile oluşmuş olup farklı türde magmatik kayaçları içermesi bakımından önemli bir alan konumundadır. Karadeniz havzasının güneydoğu kıyısı boyunca uzanan orojenik bir kuşak meydana getiren bu bölge Mesozoyik dönemde kuzeye yiten okyanusal litosferin üzerinde gelişmiş eski bir ada yayı olarak bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Bölgede yüzeylenen adakitik magmatizma, Türkiye'nin diğer bölgelerine kıyasla nispeten geniş çalışılmış ve çarpışma sonrası adakitik magmatizma için (i) Geç Paleosen - Erken Eosen (Topuz vd., 2005; Karlı vd., 2010, 2011; Eyüboğlu vd., 2011, 2012; Dokuz vd., 2013; Temizel vd., 2020; Gücer vd., 2017; Gücer, 2021), (ii) Miyosen (Eyüboğlu vd., 2012; Dokuz vd., 2013; Karlı vd., 2019), (iii) Oligosen (Karlı vd., 2020) ve (iv) Pliyo-Kuvaterner (Yücel, 2019) olmak üzere dört farklı dönem tanımlanmıştır. Adakitik afiniteye sahip bu kütlelerden bazıları MMA içermeleri bakımından karakteristik olup bunlardan biri olan ve Gümüşhane'nin batısında, Altınpınar (Torul) ve civarında yüzeyleme veren adakitik andezitler çalışma konusu olarak seçilmiştir. Çalışma alanı ve civarında asidik, nötr ve bazik volkanik ve piroklastik kayaçlardan meydana gelen volkanizma, bölgede özellikle kıtasal yay magmatizmasının en iyi gözlemlendiği yerlerden biri olma özelliğindedir.

1.2. Amaç ve Kapsam

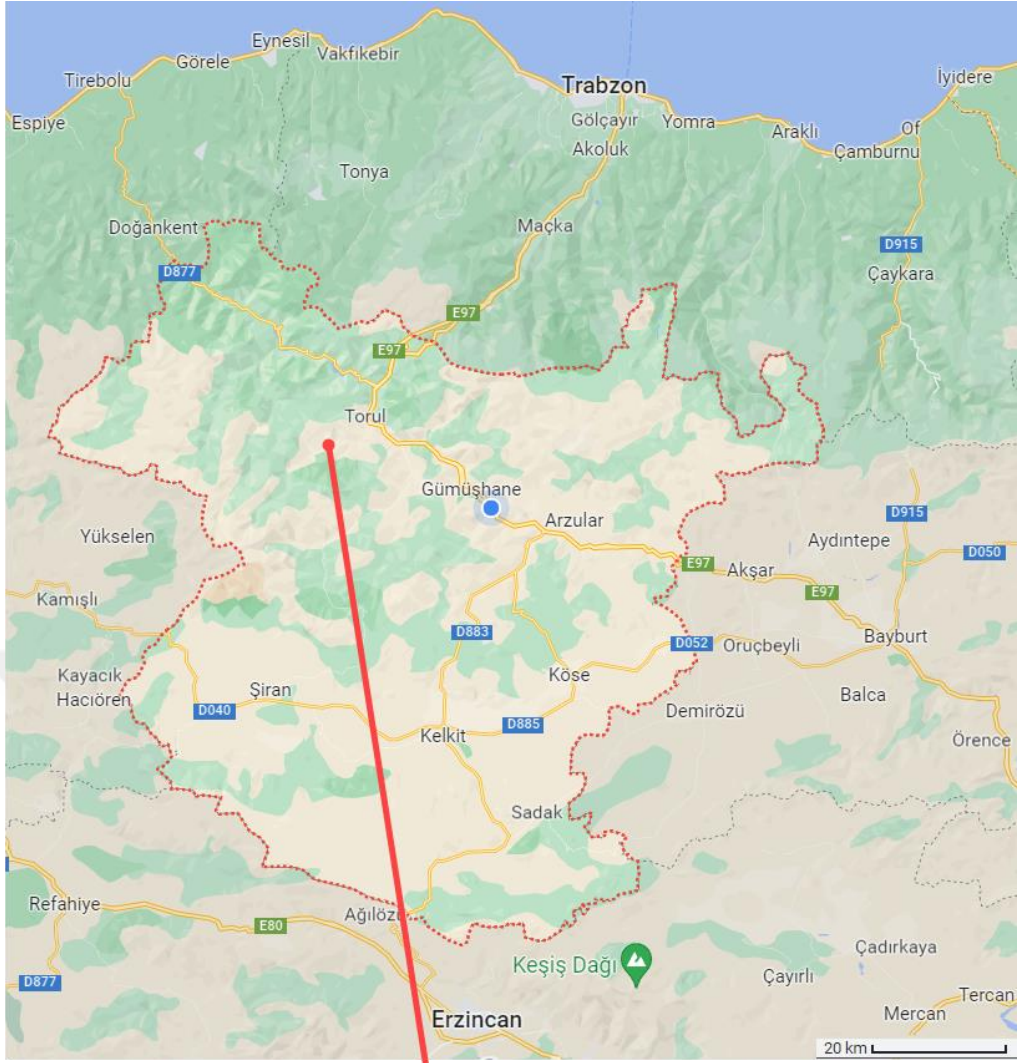
Bu çalışmada, Doğu Pontidler'in güney zonunda, Altınpınar (Torul, Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme sunan erken Eosen yaşlı adakitik andezitler içerisinde gözlenen ve bugüne kadar çalışılmamış olan MMA'ların petrografik ve petrokimyasal özellikleri ile magmatik gelişimi ve içerisinde bulunduğu ana kayaç ile olan jeolojik ilişkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yürütülen saha çalışmaları ile alanın haritalanması ve örnek alımı gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında, yürütülen saha çalışmaları ile alanın jeolojik haritası gözden geçirilmiş, mafik anklavlardan ve içerisinde bulunduğu ana kayaçtan sistematik örnekleme yapılarak petrografik özellikleri ortaya konmuştur. Birimi en iyi temsil eden mafik anklav örneklerinden tüm kayaç jeokimyası analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm bu veriler ışığında, anklavların oluşum mekanizması ve kökeni ortaya konularak yörenin jeodinamik evrimi hakkındaki tartışmalara katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Konumu ve Özellikleri

İnceleme alanı, Gümüşhane ilinin Torul ilçesine bağlı Altınpınar Beldesi ve çevresinde yer almakta olup (Şekil 1), Trabzon G42-c4 ve H42-b1 paftaları sınırları içerisinde kalmaktadır. Yörede en önemli yerleşim yerini Altınpınar Beldesi ve beldeye bağlı mahalleler (Güneşli, Yusufdere, Nohutlu, Tepecik) oluşturmakta ve mevsimlere göre nüfus değişmektedir. Önemli yükseltileri ise Demirtaş Tepe (2219 m), Sineктаş Tepe (2178 m), Canboğul Tepe (2047 m), Ağırdede Tepe (2019 m), Karaca Tepe (1962 m), Çakobaşı Tepe (1936 m) ve Kabak Tepe (1791 m)'dir.

Bitki örtüsü bakımından nispeten zengin olan alanda çam ve meşe ormanları sıkça görülmektedir. Geniş ve zengin ormanlara sahip alanda, ormancılığın köylünün iktisadi hayatında önemli rolü vardır. İlçede kısıtlı olarak hayvancılık, halkın geçim kaynaklarında önemli yer tutar. Yılın dört mevsimi akan irili ufaklı dereler bulunmaktadır. Bölge, karasal ve denizel iklimlerin etkisi altında kaldığından, ilkbaharda bol yağışlı, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Yıl içerisinde sıcaklık normalde -8°C ila 25°C arasında değişiklik gösterir ve nadiren -16°C altında ve 31°C üzerinde olur. Ancak iklim açısından Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu Bölgesi arasında bir iklim geçişi teşkil eder gibi görünse de son yıllarda yapılan barajların etkisiyle bölgede daha çok Karadeniz Bölgesi'nin iklim tipi hüküm sürmektedir. İnceleme alanına ulaşım Torul-Altınpınar karayolu ile sağlanmakla birlikte, mahalleler arası ulaşım asfalt yollar vasıtası ile rahatlıkla yapılabilir.



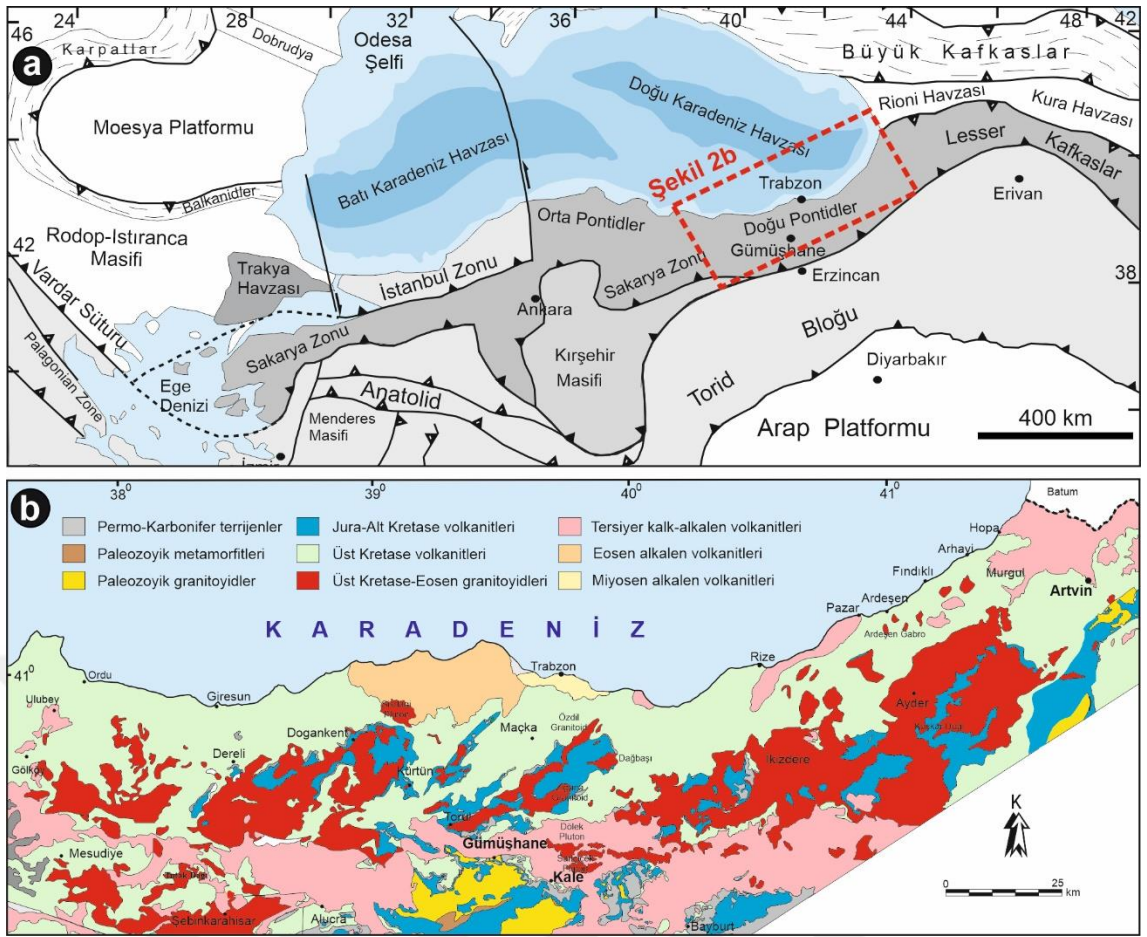
Şekil 1. Çalışma alanının yerbuldurusu

1.4. Bölgesel Jeoloji

Anadolu levhası, Alpin kuşağı içerisinde konumlanan ve daha eski orojenik dönemleri temsil eden alanları da içermekte olup farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektono-stratigrafik birliğin bu orojen sırasında Neotetis okyanusunun kollarının kapanmasıyla bir araya gelmesi sonucu oluşmuştur. Tetis okyanusunun farklı kollarının açılıp kapanması sürecinde oluşan aktif ve pasif kıta kenar çökelleri ile yay ve suture karmaşıkları içeren kıta parçaları, Geç Tersiyer dönemde birleşerek tek bir kara parçası halini almıştır (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010). Ayrıca, Pan-Afrikan/Kadomiyen, Variskan ve Kimmeriyen gibi daha eski orojenik dönemlere ait metamorfik-magmatik masifler ve örtü birimleri Alpin tektonik birliklerin tabanında yer almaktadır. Bu birliğin bir parçası olan ve Doğu Pontid Orogenik Kuşağı olarak da adlandırılan Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ise farklı magma türlerinde oluşmuş farklı volkanik ve intrüzif kayalar gözlenmektedir. Bölgede volkanizmanın Liyas, Geç Kretase ve Eosen ve sonrası olmak üzere üç ana dönemde geliştiği bilinmektedir (Adamia vd., 1977; Eğin vd., 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Kazmin vd., 1986; Korkmaz vd., 1995; Çamur vd., 1996; Arslan vd., 1997; Aslan, 2010; Aydınçakır, 2014, 2016, 2017; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Yücel vd., 2014; Sipahi, 2017; Yücel, 2017; Gücer vd., 2017; Sipahi vd., 2020; Gücer, 2021; Aydınçakır vd., 2022; Kaygusuz vd., 2022).

Geç Kretase'de Neo-Tetis Okyanusu'nun kuzeye yitimine bağlı olarak gelişen ve Sakarya Zonu'nun doğu kesimini teşkil eden Doğu Pontidler, özellikle Kretase ve sonrası magmatizmanın iyi gözlemlendiği bir yay konumundadır (Okay ve Şahintürk, 1997; Okay ve Tüysüz, 1999; Şekil 2). Pontidler'de kuzeye doğru daha çok kalkalkalen volkanik kayalar, bunlarla ilişkili piroklastik ve epiklastik birimler ile granitik intrüzyonlar gözlenirken (Arslan vd., 1997; Kaygusuz ve Şen, 2011; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz ve Aydınçakır, 2009, 2011; Aydın, 2014; Yücel vd., 2014; Sipahi vd., 2018), güney kesimlerde çoğunlukla alkali potasik kayalar dağılım sergilemektedir (Bektaş ve Gedik, 1988; Alther vd., 2008; Eyüboğlu, 2010; Gülmez ve Genç, 2015). Bununla birlikte, ağırlıklı olarak güney kesimlerde olmak üzere, gabrodan granite kadar değişen bileşime sahip irili ufaklı birçok Paleozoyik intrüzif kütlelerin varlığı da bilinmektedir (Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2004, 2010; Ustaömer ve Robertson, 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012, 2016; Karlı vd., 2016; Kaygusuz, 2020; Gücer ve Sarı, 2021).

Çalışma alanının bulunduğu bölgenin temel birimlerini Karbonifer yaşlı Pulur Masifi ve Kurtoğlu Metamorfikleri ile onları keserek yerleşen Permiyen-Karbonifer granitleri (Topuz vd., 2004, 2007, 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2016; Karlı vd., 2016), dasitleri (Dokuz vd., 2017a) ve riolitleri (Dokuz vd., 2017b) teşkil etmektedir.



Şekil 2. a) Türkiye'nin ana tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilmiştir) ve çalışma alanının konumu. b) Doğu Pontidler'deki volkanik kayalar ve bunları kesen plütonların yayılımı (Güven, 1993 ve Aydınçakır, 2012'den değiştirilerek).

Bölgede temel birimler, rift ile ilişkili subalkalen karakterli volkano-sedimanter istif olarak nitelendirilmiş olan Liyas yaşlı piroklastitler ile kırıntılı ve karbonat arakatmanlı sedimanter kayalar tarafından uyumsuz örtülmektedir (Robinson vd., 1995; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Sığ denizel istif özelliğindeki Jura-Alt Kretase platform karbonatları tarafından uyumlu olarak örtülen birim, Doğu Pontidlerin güneyinde ağırlıklı olarak tortul, kuzeyinde ise volkanitler oluşan Üst Kretase birimleri tarafından uyumsuz olarak üzerlenir (Pelin, 1977; Taşlı, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002).

Kuzey ve güney zonların özellikle Üst Kretase dönemde belirgin farklılıklar gösterdiği Doğu Pontid'lerde, toleyitik bileşimden kalk-alkalene kadar değişen volkanik kayalar, yine Üst Kretase yaşlı granitler tarafından kesilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Kaygusuz vd., 2013; Sipahi vd., 2018). Bölgedeki tüm birimler Eosen birimleri tarafından uyumsuz olarak örtülmekte olup taban konglomerası ile başlayan istif üstlere doğru volkanik tüf, *Nummulites*'li kireçtaşı ve volkanik kayalar

ile temsil edilmektedir (Saydam Eker vd., 2016). Sahanın stratigrafik olarak en geç birimlerini oluşumu güncel devam eden karasal Kuvaterner alüvyonları ve yamaç molozları oluşturmaktadır.

1.6. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanında Erken Eosen adakitik andezitler içerisindeki mafik anklavlar üzerinde doğrudan yapılmış bir çalışma bulunmamakta olup ilk kez çalışılmıştır. Ancak çalışma alanı ve yakın civarında ağırlıklı olarak 2000’li yıllardan sonra özellikle Eosen yaşlı volkanitler üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları ise aşağıda kronolojik sırada özetlenmiştir.

Arslan vd. (1997), Doğu Pontid Orojenik Kuşağında volkanik kayalar Liyas, Üst Kretase ve Eosen olmak üzere üç evrede incelemiştir. Her bir volkanizma evresini petrokimyasal-petrolojik açıdan ayrı olarak ele almış ve karşılaştırmıştır. Liyas volkanitlerinin ekstansiyonel rejimde riftleşmeyle ilişkili, Üst Kretase volkanitlerinin yitim ilişkili ve Eosen volkanizmasının ise yitimin sonunda alt kabuk ve/veya üst mantonun kısmi ergimesi ile türemiş olabileceğini ifade etmişlerdir. Elde ettikleri petrokimyasal veriler Doğu Pontidlerde gelişen volkanizmanın yay ortamını işaret ettiği sonucuna götürmüştür. Bununla birlikte, kuzey zonda yayılım gösteren Eosen volkanizmasının petrokimyasal açıdan farklılık sergilediğini belirtmiş, bu nedenle de ilgili kayaları Trabzon ve Tonya grubu olarak ikiye ayırmışlardır.

Aliyazıcıoğlu (1999), Gümüşhane’nin Kale yöresinde Eosen yaşlı Alibaba formasyonu üzerinde detaylı çalışmalar yapmış ve birimde yüzeyleme veren volkanik kayalarda jeokimyasal çalışmalar gerçekleştirmiştir. Araştırmacı bu birimi üç alt üyeye ayırarak çalışma alanı ve civarında ilk kez Paleosen birimlerin varlığından söz etmiştir.

Aslan (2010), Gümüşhane merkez ve civarında yayılım gösteren Alibaba Formasyonu’na ait volkanik tüflerde detaylı çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda tüflerin kristalizasyon (U-Pb zirkon SHRIMP) yaşını 45.8 ± 1.2 My olarak bulmuştur. Jeokimyasal olarak, Eosen yaşlı bu tüflerin kalk-alkalin volkanik yay karakterine sahip olduğu, tüfleri oluşturan ana ergiyiğin zenginleşmiş bir üst mantodan itibaren türediği ve yay içi bir havzada oluştuğu sonucuna varmıştır.

Karslı vd. (2010), Kale (Gümüşhane) yöresinde erken Senozoik (48-50 Ma) yaşlı adakitik volkanik kayaların, kalkalkalin ve yüksek-K kalkalkalin andezit ve dasitten oluştuğunu rapor etmişlerdir. Tüm kayaç jeokimya ve izotop verilerinin bu kayaları oluşturan adakitik magmaların delamine olmuş eklojitik mafik alt kabuğun kısmi

erimesi sonucu oluştuğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar biyotit ve hornblend minerallerinden 47 – 50 My $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşları elde etmiştir.

Kaygusuz vd. (2011) tarafından Doğu Pontidler’de Eosen yaşlı Torul volkanitleri bazaltik andezit, andezit, trakiandezit ve trakidasit olarak ayırtlanmıştır. Araştırmacılar Hornblend minerallerinden K-Ar yöntemi ile 33-44 My yaşları elde ederek volkanik kayaçların Orta - Üst Eosen zamanda oluştuğunu ifade etmiştir. İz element ve Sr-Nd izotop verilerinin, kayaçların oluşumunda ana magma(lar)ının muhtemelen çarpışma sonrası jeodinamik ortamda yitimin neden olduğu metasomatizma tarafından daha önce değiştirilmiş, zenginleştirilmiş bir üst mantodan türediği sonucunu desteklediğini savunmuştur.

Arslan vd. (2013), çalışma alanının doğusunda ve güneybatısında yer alan Eosen volkanitlerinde yapmış oldukları çalışmalarla bölgedeki kayaçların ağırlıklı olarak bazalt ve andezitten dasite kadar değiştiğini ve baskın kalk-alkali ile nadir toleyitik eğilime sahip olduğunu savunmuştur. Volkanitlerin Ar-Ar yaşı 38-45 My olarak bulunmuş olup oluşumları Orta Eosen döneme karşılık gelmektedir.

Eyüboğlu vd. (2013) ise Gümüşhane’nin Pirahmet ve Kale Köyleri civarında yayılım sergileyen ve biyotit/hornblend açısından zengin adakitik andezit ve dasitlerde U-Pb zirkon yöntemine göre 48 My yaşı elde etmiştir. Araştırmacılar, Geç İpresiyen-Erken Lutesiyen döneme karşılık gelen bu yaştan bölgede gözlenen adakitik volkanizmanın yaşı olan Erken Eosen dönemini temsil ettiğini savunmuştur.

Aslan vd. (2014), Gümüşhane’de Eosen-Miyosen yaşlı andezitik kayaçlar ve ilişkili tüfler ile bunları kesen bazik daykaları tanımlayarak 38 My (Orta Eosen) ile 30 My (Erken Oligosen) K-Ar yaşları elde etmiştir. Çalışma alanında tanımlanan bazik daykların ise yaşını 16 My (Orta Miyosen) olarak bulmuştur. Bölgedeki Eosen-Miyosen volkanizmasının, litosferik delaminasyondan ve buna bağlı olarak mantonun konvektif incelmelerinden kaynaklandığını ve bu da yitim-metasomatize olmuş litosferik mantonun kısmi erimesine yol açtığını ifade etmişlerdir.

Akaryalı (2016), çalışma alanının bulunduğu sahada gözlenen cevherleşmelerin mineral kimyası, sıvı kapanımları ve duraylı izotop sistematiği üzerine çalışmalar yürütmüştür. Altınpınar (Torul - Gümüşhane) Pb-Zn±Au mineralizasyonu, Gümüşhane Granitoidi ile Şenköy Formasyonu arasındaki temas zonunda bulunan silika damarlarında yer almaktadır. Mineral oluşumunu sağlayan kükürtün magmatik kökenli olduğu ve sıvılar magmatik su ile meteorik suyun karışımıyla oluşmuştur. Bu bulgular, mineralizasyonun granitik magmalar ile ilişkili bir epitermal damar tipi mineralizasyonu olduğunu göstermektedir.

Gücer vd. (2017) ve Gücer (2018) çalışma alanında yüzeylenen Tersiyer yaşlı andezitlerin petrografisi, mineral kimyası ve kristalleşme koşulları üzerine çalışmalar yapmış ve andezitlerin kristallenme koşullarını 765-867°C sıcaklık, 2.5-4 kbar basınç ve kıtasal kabukta 9-15 km derinlik olarak bulmuştur. Araştırmacılar, andezitlerin ana magmasının Paleosen-Eosen dönemde Pontid yayının kalınlaşması sonrasında kısmi ergime ile üst manto-kabuk sınırında türemiş olabileceği ileri sürmüştür, muhtemelen çarpışma sonrası jeodinamik ortamda zenginleşmiş bir litosferik mantodan türediğini savunmuştur.

Gücer (2021), çalışma konusunu oluşturan anklavların ana kayacı olan adakitik andezitler üzerinde detaylı çalışmalar yaparak bunların adakit benzeri bileşime sahip olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacıya göre adakitik andezitler orta ila yüksek-K kalk-alkalindir ve adakitlerin tipik özelliklerinin çoğunu göstermektedir. Orta MgO (%1.7-4.1), düşük Y (9–14 ppm), Yb (0.9–1.5 ppm) ve HREE, yüksek Sr (325–964 ppm) içerikleri, yüksek Sr/Y (36–76) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ (0.704948–0.705100), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$ (0.512588–0.512628) oranları ile karakterize edildiğini ifade etmiştir. Araştırmacı ayrıca adakitik bileşimli andezitlerin mutlak yaşını Ar-Ar yöntemine göre 52.8 - 48.8 My olarak belirlemiştir. Adakitik andezitlerin ana magmasının, kuzey Neotethys okyanus levhasının yitimi sırasında amfibol-eklojit fasiyesi koşulları altında okyanus bazaltlarının kısmi erimesiyle üretildiğini öne sürmüştür.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında araziden derlenen ve veri elde edebilmek amacıyla çeşitli yöntemlerin kullanıldığı kayaç numuneleri materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmalar, sahada yapılmış önceki çalışmaların derlenmesi, harita yapımı, numune alımı, petrografik tayin amaçlı kesit yapımı, jeokimyasal analizler ve tez yazımı olmak üzere çeşitli aşamalarda gerçekleştirilmiş olup aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1. Arazi Çalışmaları

Bu aşamada alanın jeoloji haritası mevcut haritalardan da yararlanılarak oluşturulmuş, sınırlar gözden geçirilmiş ve yapısal unsurlar belirlenerek analiz amaçlı örnekler alınmıştır. Çalışmanın hedefi doğrultusunda adakitik andezitler içerisinde gözlenen mafik anklavlar titizlikle örneklenmiştir. Amaca uygun olarak 20 civarında anklav örneği alınmış ve anklavları içeren adakitik andezitik kayaçların 1/25000 ölçekli jeoloji haritası oluşturularak örnek alım noktalarının konumları haritaya işlenmiştir. Seçilen taze örneklerden petrografik tayin amaçlı ince kesitler yaptırılmış ve bunlardan uygun olanları ise jeokimyasal analiz amaçlı seçilmiştir.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Petrografik Tayinler

Anklavların petrografik özelliklerini ortaya koyabilmek için Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında el örneklerinden petrografik kesitleri hazırlanmıştır. Bunun için amaca uygun seçilen 10 adet anklav örneği kullanılmıştır. İnce kesit yapımı için el örneklerinden 0.5x2x4 cm boyutunda plakalar alınmış ve bir yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiştir. Sonrasında plakalar bir milimetre kalınlık ve 2.5x5 santimetre boyutlardaki lamellere kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. MA381450 model PetroThin marka cihaz yardımı ile aşındırılan örnekler 0.025 milimetre kalınlığa kadar inceltilerek petrografik tayinlere uygun hale getirilmiştir. Petrografik incelemeler için LEICA DM-EP marka polarizan mikroskop kullanılmış ve LEICA DFC295 marka kamera ile mikro görüntüler alınmıştır.

2.2.2. Tüm-kayaç Ana ve İz Element Analizleri

Birimi temsilen 19 adet anklav örneği ayrılmış ve Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü örnek hazırlama laboratuvarında yaklaşık 200 mesh boyutuna kadar öğütülmüştür. Örneklerin tüm kayaç jeokimya analizleri SampleSolution Analytical Technology Co., Ltd. (Wuhan, Çin) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Ana (major) elementler ZSX Primus II marka dalga boyu dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi (XRF) yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz edilen numunelerin ön hazırlık işlemlerinde eritme yöntemi kullanılmıştır. Akı (flux) işlemleri için lityum tetraborat, lityum metaborat ve lityum florürden (45:10:5) oluşan bir karışım kullanılmış olup sırasıyla oksidan ve ayırıcı madde olarak amonyum nitrat ve lityum bromür kullanılmıştır. Erime sıcaklığı 1050°C ve erime süresi 15 dakika olarak uygulanmıştır. Test koşulları voltaj: 50kV ve akım: 60mA şeklinde olup analizlerde GBW07101-14 standardı kullanılmıştır. Veriler teorik α katsayısı yöntemiyle düzeltilmiş olup bağıl standart sapma (RSD) %2'den azdır. İz element jeokimya analizleri Agilent 7700e marka İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı numune hazırlama prosedüründe şu adımlar izlenmiştir: (1) 200 mesh boyutunda toz halindeki numunenin 12 saat boyunca 105°C'deki bir fırında kurutulması; (2) 50 mg numune tozunun tartılıp bir Teflon tutucuya yerleştirilmesi; (3) Teflon tutucuya yavaş yavaş 1 ml HNO₃ ve 1 ml HF eklenmesi; (4) Teflon tutucunun paslanmaz çelik bir basınç ceketine yerleştirilmesi ve >24 saat boyunca bir fırında 190°C'ye ısıtılması; (5) Soğutulduktan sonra Teflon tutucunun açılması ve 140°C'de bir ısıtıcı plaka üzerine yerleştirilerek başlangıç kuruluşuna kadar buharlaştırılması ve ardından 1 ml HNO₃ ilave edilip tekrar kuruyana kadar buharlaştırılması; (6) 1 ml HNO₃, 1 ml MQ su ve 1 ml 1 ppm In'lik dahili standart çözeltinin ilave edilmesi ve Teflon tutucunun yeniden kapatılarak >12 saat süreyle 190°C'deki fırına yerleştirilmesi; (7) Nihai çözeltinin bir polietilen şişeye aktarılarak %2 HNO₃ ilavesiyle 100 gr'a seyreltilmesi. Jeokimyasal yorumlar için diyagramlar GCDkit (version 6.0 2019; Janoušek vd., 2006, <http://www.gcdkit.org/>) ve CorelDRAW® Graphics Suite 2019 yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur.

2.2.3. Büro Çalışmaları

Bu aşamada, elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması gerçekleştirilmiş, çeşitli hesaplamalar ve programlar yardımıyla tez kapsamındaki konular aydınlatılmaya çalışılmıştır. Tez ise Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünün ilgili kurallarına göre yazılmıştır.

3. BULGULAR

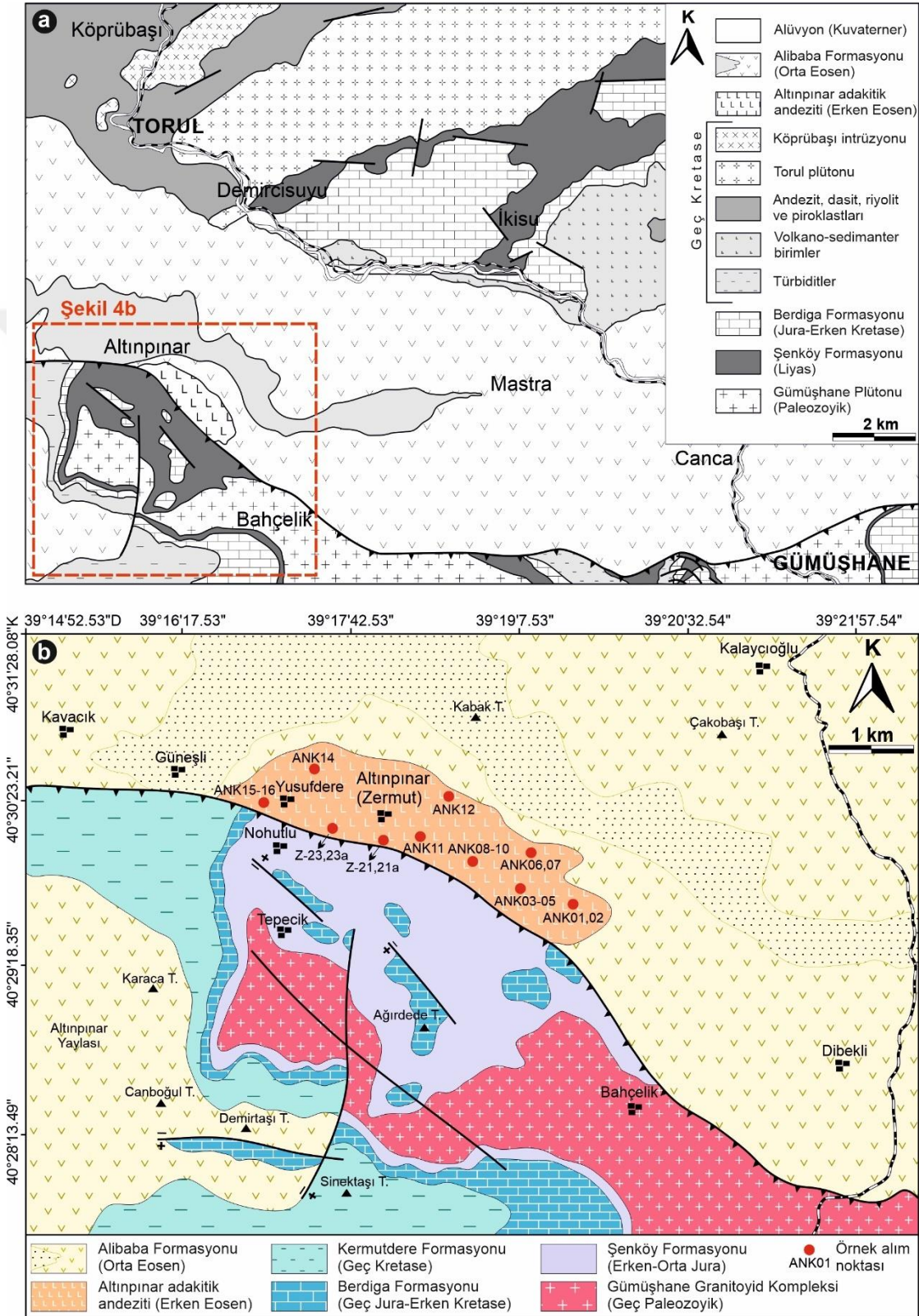
3.1. İnceleme Alanının Stratigrafisi

Altınpınar (Torul) ve yakın civarını (Gümüşhane, KD Türkiye) kapsayan çalışma alanı Doğu Sakarya Zonu’nda Doğu Pontid Orojenik Kuşağı içerisinde yer almaktadır. Çalışmaya konu anklavlar ise Altınpınar adakitik andezitleri (Gücer, 2021) içerisinde gözlenmekte ve yüzeyleme alanları itibariyle 10 km²’den az küçük mostralara halinde yayılım sergilemektedir. Adakitik andezitlerin Gümüşhane ve çevresinde Geç Paleosen-Erken Eosen adakitik bileşimli kayalar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 3).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENZOYİK	PALEOJEN	KUV.			Traverten
		ORTA EOSEN	ALIBABA		Kumtaşı, silttaşı, kiltası ardışımı
	KRETASE	ÜST KRETASE	KERMUTDERE		Bazaltik-andezitik aglomera lapilli tuf, tuf ardışımı
		ALT KRETASE	BERDİGA		Nummulitli kireçtaşı, kumtaşı Taban konglomerası
MESOZOYİK	JURA	ÜST	ŞENKÖY		Adakitik bileşimli intrüzif ve ekstrüzif kayalar (Geç Paleosen - Erken Eosen) (kuvarslı diyorit, tonalit, granodiyorit, andezit, dasit)
		ALT-ORTA			Gri renkli çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn kiltası ardışımı
	PALEOZOYİK	ÜST			Kırmızı kumtaşı silttaşı, marn, kireçtaşı
		ALT			Sarı renkli kalkarenit
ÜST PALEOZOYİK	JURA	ÜST	ŞENKÖY		Kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı
		ALT-ORTA			Çört yumru ve ara seviyeleri içeren dolomitik kireçtaşı
	PALEOZOYİK	ÜST			Çakıltası, kumtaşı, silttaşı ardışımı
		ALT			Kireçtaşı
ÜST PALEOZOYİK	JURA	ÜST	ŞENKÖY		Kömür ara seviyeleri içeren çakıltası, kumtaşı
		ALT-ORTA			Yer yer bazik volkanik düzeyleri de içeren volkanijenik çakıltası, kumtaşı, silttaşı ardışımı
	PALEOZOYİK	ÜST			Bol makro fosilli kırmızı kireçtaşları (Ammonitico Rosso fasiyesi)
		ALT			Üst kısımlara doğru kömür ara seviyeleri ve mercekleri içeren taban konglomerası
ÜST PALEOZOYİK	JURA	ÜST	ŞENKÖY		Gümüşhane granitoid kompleksi
		ALT-ORTA			
	PALEOZOYİK	ÜST			
		ALT			

Şekil 3. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti

Çalışma alanında Jura öncesi temeli Geç Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyid Kompleksi (Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2016; Karşı vd., 2016) temsil etmekte ve sahanın güney kesimlerinde Gümüşhane merkezden Bahçelik ve Tepecik köylerine doğru yayılım göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanının jeolojisi (Kaygusuz, 2000 ve Gücer, 2021'den değiştirilerek)

Ağırlıklı olarak granit ve granodiyorit ile az oranda mikrodiorit, monzonit, dasit ve riyolit türü kayalardan meydana gelen Gümüşhane Granitoidi yer yer tamamen ayrılarak arenalaşma göstermekte ve bol oranda süreksizlikler içermektedir. Süreksizlikler çoğunlukla ikincil karbonat, kil mineralleri ve silis dolguludur. Ayrıca granitik birimler içerisinde yer yer aplitik dayklara da rastlanmaktadır. Birim açık ve pembemsi renk tonları ile diğer birimlerden ayrılır (Şekil 5).



Şekil 5. Yol yarmaları boyunca yüzeylenen granitik kayalar (Bahçelik mevki)

Gümüşhane Granitoidi Komplexi üzerine uyumsuzlukla Erken-Orta Jura Şenköy Formasyonu (Kandemir ve Yılmaz, 2009) gelmekte ve kırmızı kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı, kıltaşı, andezit bazalt ve çört karakterli bir yapı sunmaktadır. Birimde transgersif rejime bağlı gelişmiş tortullaşmaya zaman zaman volkanik faaliyetler de eşlik etmiş olmakla birlikte volkanotortul karakterli bir dizilim özelliği sunmaktadır. Tabanda kuvars ve kumtaşı çakılları içeren konglomera ve yer yer kömür ara seviyeleri ile başlar ve bol makro fosilli Ammonitico Rosso fasiyesinin kırmızı kireçtaşları ile devam eder. Üst seviyelere doğru tüf, tüfit, andezit, spilitik bazalt, lav ve piroklastiklerinden oluşan bazik volkanik seviyeleri de içeren volkanik kökenli çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı-marn ardışımı şeklinde devame etmektedir. Formasyonun üst seviyelerine doğru andezitik kayalar ve Berdiga kireçtaşları ile arasında kömürlü seviyeye de rastlanmaktadır.

Sahada Şenköy Formasyonu  zerine uyumlu gelen ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kılavuz bir stratigrafik düzey oluşturan Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977)  alışma alanının güneyi boyunca yüksek kesimlerde yayılım göstermektedir. Formasyon orta ila kalın tabakalı, zaman zaman ise masif yapılı, taban seviyeleri ise genellikle dolomitik kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Üst düzeylerine doğru çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı ardışımı ile devam eden Berdiga Formasyonu, tavanda kireçtaşı ve dolomit ile sonlanmaktadır. Sahada genellikle sert topografya sunan masif yapısı bu birim genellikle grimsi, kirli beyaz veya bej renkleri ile karakterizedir (şekil 6). Berdiga Formasyonu Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu  zerine uyumlu olarak gelmekte ve yine Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenmektedir.



şekil 6. Sert topografik görünüme sahip kireçtaşlarının görünümü (Tepecik mevki)

Berdiga Formasyonu  zerine ince zaman zaman ise orta tabakalı, açık yeşil tonlarda ve yumuşak topografyalı Geç Kretase Kermutdere Formasyonu (Tokel, 1972; Saydam Eker ve Korkmaz, 2006) uyumlu olarak gelmektedir. Genel olarak tabanda sarı renkli kumlu kireçtaşları ile başlamakta ve bölgede kılavuz seviye olarak kabul edilen kırmızı renkli mikritik kireçtaşları, kırmızı kumtaşı, silttaşı ve marn ile devam etmektedir. Bunlar  zerine tüfit ara katkılı gri renkli çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, marn ve kıltaşı ardışımı türbiditik istif gelmektedir. Yer yer mikrokonglomeratik seviyelere de rastlanan birim kalın istifler halinde gözlenmekte ve kalınlığı birkaç yüz metreyi bulmaktadır (şekil 7). Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı adakitik kayaçlar tarafından kesilen birim, Berdiga Formasyonu  zerine uyumlu olarak gelmektedir.



Şekil 7. Kermutdere Formasyonuna ait türbiditik istifin çalışma alanındaki genel görünümü (Güneşli mevkii)

Sahanın bir diğer birimini teşkil eden Erken Eosen yaşlı Altınpınar Adakitik Andezitleri (Gücer, 2021) yaklaşık 5 km²'lik bir alanda yayılım göstermekte olup KB-GD yönünde uzanmakta ve güneyden bir bindirme fayı ile sınırlanmaktadır. Adakitik andezitler genel olarak taze ve grimsi renkli görünmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Altınpınar (Torul) civarında yüzeyleme veren adakitik andezitlerin görünümü

Yörede geniş alanlarda mostra veren Orta Eosen yaşlı volkano-sedimanter birim Geç Kretase kayaçlarını uyumsuz olarak üzerlemektedir (Güven, 1993; Arslan ve Aliyazıoğlu, 2001). Tabanda, kumtaşı ve tüfit ara katkılı nummulitli kireçtaşları ile başlayarak, üst seviyelere doğru andezit, bazalt ve ilişkili piroklastikleri, bazaltik-andezitik aglomera, lapilli tuf ve tuf ardışımı ile devam eden birim, yer yer aşınmış olarak bulunan kireçtaşı, kumtaşı, marn tuf ardalanması ile son bulmaktadır. Orta Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu, çalışma alanında Kermutdere Formasyonu ve Erken Eosen yaşlı Altınpınar Adakitik Andezitleri (Gücer, 2021) uyumsuz olarak üzerlemektedir (Şekil 9).

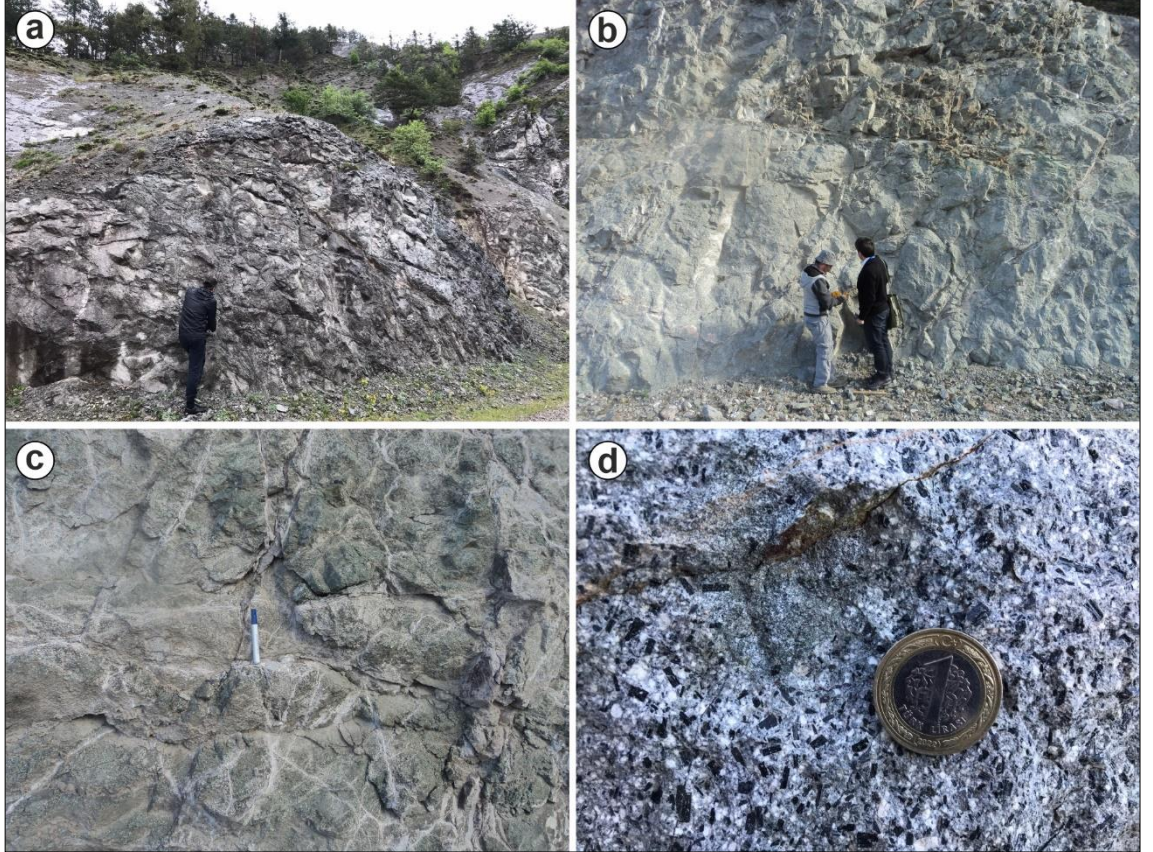


Şekil 9. Alibaba Formasyonuna ait andezit, bazalt ve ilişkili piroklastiklerinin görünümü (Tepecik Mevkii).

3.2. Adakitik Andezitlerin Petrografisi

Adakitik bileşimli andezit türü kayaçlardan meydana gelen ana kayaçlar genel görünüşleri itibariyle oldukça taze ve grimsi renklidir (Şekil 10a,b). Ancak içerisinde gelişmiş ikincil karbonatlaşma ve killeşme gibi ayrışmalar da görülmektedir (Şekil 10c). Bununla birlikte adakitik andezitler, aynı minerallerden oluşan bir hamur içinde yaklaşık 2-3 cm'ye kadar ulaşan boyutlarda iri kristalli plajiyoklas ve hornblend (amfibol) fenokristallerinden oluşan porfirik doku göstermektedir (Şekil 10d).

Adakitik andezitler mineralojik olarak başlıca plajiyoklas ve hornblend fenokristalleri ile bu minerallerin mikro ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen hamur malzemesinden oluşmaktadır. Hamur içerisinde ince taneli piroksen, kuvars ve opak minerallere nadiren rastlanır. Dolayısıyla mineral topluluğu plajiyoklas + hornblend $\pm$ piroksen $\pm$ Fe-Ti oksit $\pm$ kuvars ile sınırlandırılabilir. Adakitik andezitlerde ve yer yer anklavların ana kayaç ile olan sınırları boyunca ikincil kalsit, serizit ve epidot minerallerine de rastlanmaktadır.



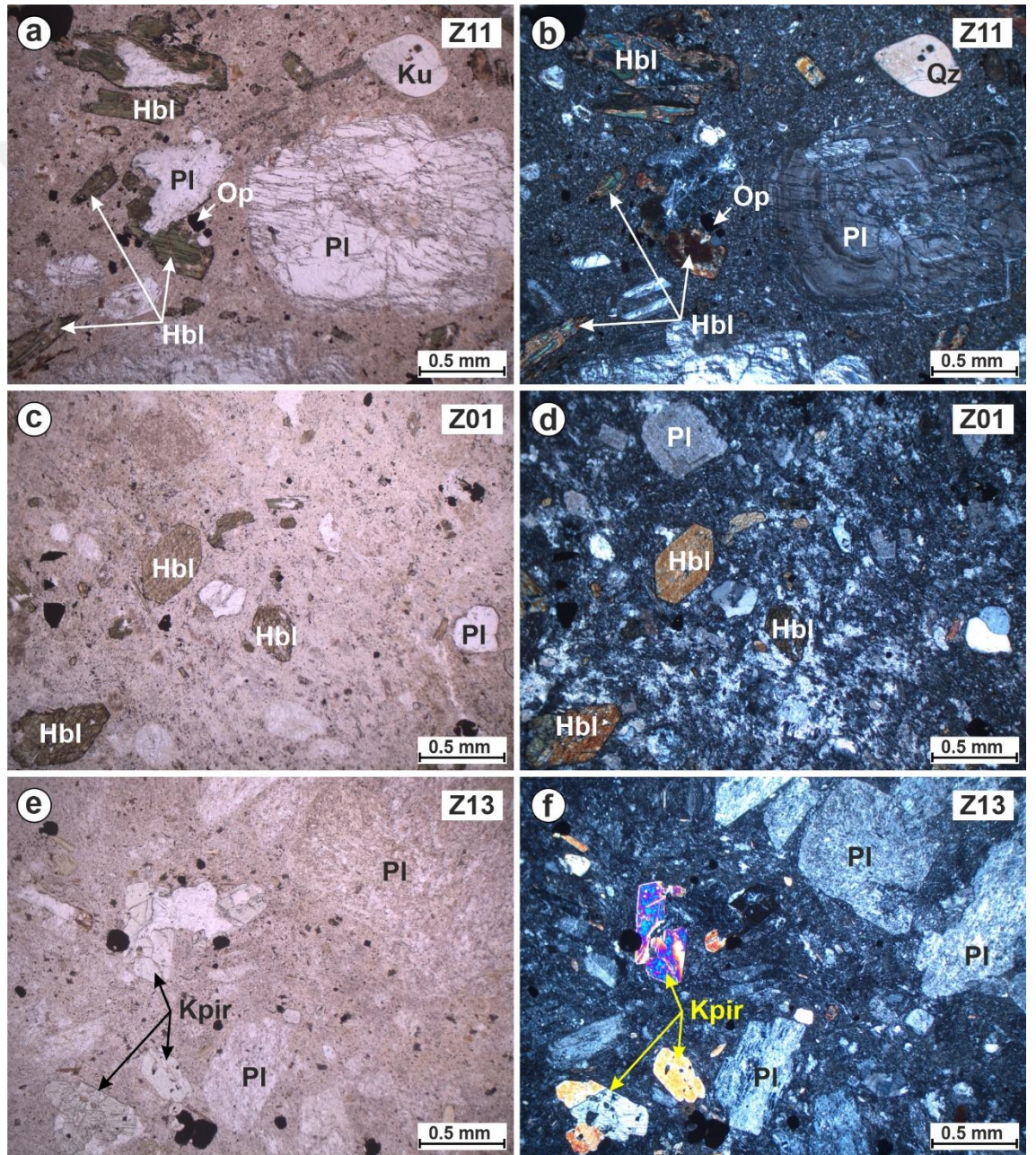
Şekil 10. Adakitik Andezitlerin a) ve b) genel arazi görünüşleri. c) İkincil kil ve karbonat mineralleri. d) İri kristalli plajiyoklas ve hornblend (amfibol) minerallerinin oluşturduğu porfirik doku

Anklavları barındıran ana kayaçlar ağırlıklı olarak andezit türündedir. Adakit benzeri kimya gösteren bu kayaçlar başlıca mikrolitik porfirik, vitrofirik porfirik, nadiren ise glomeroporfirik doku göstermektedir. Başlıca hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineral fenokristalleri ile bu minerallerin mikrokristalen ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen volkanik hamur içermektedir (Şekil 11).

Hornblend mineralleri mafik faz olarak en yaygın mineral türünü oluşturur. Fenokristalleri genellikle iri, yarı özşekilli ve özşekilli gelişmiş, yer yer kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuştur. Bazı hornblend kristalleri üzerinde opak

mineral inklüzyonları da görülmektedir. Tipik olarak hornblen kristallerinin uzun eksenleri boyunca hamur tarafından kemirilme dokuları sıklıkla görülmektedir (Şekil 11a-b). Örneklerde yer yer plajiyoklas ve hornblend mineralleri bir arada bulunur (Şekil 11a-b). Düşey (c) eksenine dik kesitler çoğunlukla öz şekilli (hegzagonal) olarak görülmektedir (Şekil 11c-d).

Plajiyoklas mineralleri çoğunlukla iri kristalli ve yarı özşekilli fenokristaller, hamurda ise mikrolitler halinde gelişmiştir. Kristaller büyük oranda albit ikizlenmesi göstermekle birlikte, iç içe büyümüş zonlu şekillerde de gelişmiştir (Şekil 11b).



Şekil 11. Adakitik andezitin mikroskobik görünüşleri (Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Kpir: Klinopiroksen, Ku: Kuvars, Op: Opak mineral, a,c ve e tek nikol, diğer görüntüler çapraz nikolde alınmıştır)

Bazı örneklerde farklı büyüklüklerde ve dağınık halde seri dokuyu oluştururlar. Albit ikizlenmesi belirgin olan plajiyoklas kristallerinde sönme açıları genellikle 26°-38° arasında değişmekte olup türleri andezin ve labrador olarak belirlenmiştir. Bazı örneklerde ise sönme açıları 22°-28° arasında değişir. Bu ise andezin türü plajiyoklasla karşılık gelmektedir. Altere olmuş ve albite dönüşmüş plajiyoklasların çevresinde yer yer ikincil kuvars dolguları gözlenmektedir.

Klinopiroksen kayaçlarda az görülmekle birlikte, genellikle ince taneli, öz şekilsiz, yer yer yarı özşekillidir (Şekil 11e-f). Bazı kirstaller kırıklı bir yapı sunmaktadır. Dilinim izlerine göre 37-40° sönme açısı gösterir.

Opak mineraller ince kristalli ve dağınık halde gözlenir. Yer yer hornblend ve piroksen kristalleri içerisinde kapanım halinde de bulunmaktadır.

3.3. Anklavların Petrografisi

Felsik magmatik kayaçlar içerisinde yaygın olarak gözlenen ve bulundukları ana kayaca oranla daha koyu renkli ve bazik bileşimli alt kabuk kaya parçaları için kullanılan anklav terimi ilk kez Lacroix (1890) tarafından tanımlanmıştır. Sonrasında ise birçok araştırmacı tarafından farklı tanımlamalar ortaya atılmış olmakla birlikte, en yaygın kabul gören tanımlama Didier ve Barbarin (1991) tarafından yapılmıştır (Tablo 1). İlksel bazik magmanın kalıntılarını temsil eden anklavlar, felsik kayacın oluşumu ve kökeni hakkında önemli ipuçları verebilmektedir (White ve Chapel, 1977).

Tablo 1. Anklavların sınıflandırılması (Didier ve Barbarin, 1991)

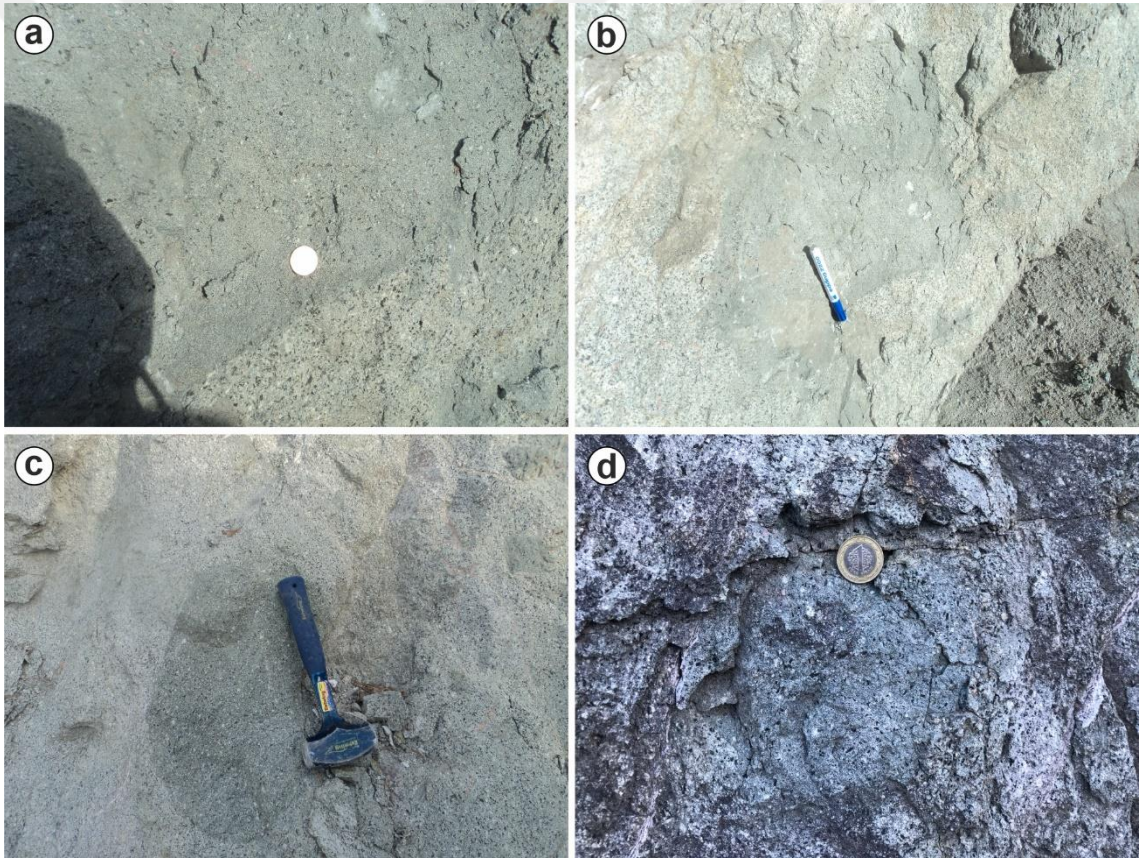
Terim	Bulunuş şekli	Sınır ilişkisi	Biçimi	Tanımlayıcı özellikleri
Ksenolit	Yan kayaç parçaları	Keskinden dereceliye	Köşeliden ovale	Kontakt metamorfizma dokusu ve mineralleri
Ksenokristal	İzole edilmiş yabancı kristaller	Keskin	Köşeli	Korozyona uğramış reaksiyon kuşağı
Mikamsı anklav	Ergime kalıntısı (Restit)	Keskin (biyotit birikmesiyle keskinleşmiş)	Merceksi	Metamorfik doku, mikalar ve Al'ce zengin mineraller
Şiliriye	Düzensizleştirilmiş anklav	Dereceli	Elipsoidal	Eş düzlemli yönelim (düzlemsel yapılar)
Felsik mikrogranüler anklav (FME)	Düzensizleştirilmiş ince taneli kenar	Keskinden dereceliye	Yuvarlağımsı-elipsoidal	İnce taneli magmatik doku
Mafik mikrogranüler anklav (MME)	Eşyaşlı mafik magma damlacığı	Çoğunlukla keskin	Yuvarlağımsı-elipsoidal	İnce taneli magmatik doku
Kümülat anklav (Otolit)	Düzensizleştirilmiş kümülat	Çoğunlukla dereceli	Yuvarlağımsı-elipsoidal	İri taneli kümülat dokusu

Çalışma alanında gözlenen anklavlar şekilsel olarak küreselden elipsoidala kadar ve boyutları birkaç cm ile 30 cm arasında değişmektedir (Şekil 12a-f). Ancak, daha çok elipsoidal/oval biçimli olarak gözlenmektedir. Ayrıca zaman zaman 2-3 mm boyutuna ulaşan hornblend ve plajiyoklas minerallerini de görmek mümkündür (Şekil 12g-h).



Şekil 12. a-b) Boyutları 10 cm'ye kadar ulaşan küresel/yuvarlağımsı şekilli anklavlar. c-d) Boyutları 30 cm'ye kadar ulaşan elipsoidal biçimli anklavlar. e-f) Küçük ölçekli ve elipsoidal biçimli anklavlar. g-h) Anklavlar içerisinde iri kristalli plajiyoklas ve hornblend minerallerinin görünümü

Mafik mikrogranüler anklavların, ana kayaca kıyasla mafik bileşim göstermekle birlikte, zaman zaman daha açık renkli bir bileşim de sunabildiği ve magmaların yükselimi esnasında daha erken soğumuş kenar zonlarının parçalanması sonucu oluştukları bilinmektedir (Didier ve Barbarin, 1991). Çalışma alanında bu tür anklavlara da sıklıkla rastlanmaktadır. Andezitik magmanın yükselimi sırasında kenar zonlarda daha önce soğumuş kayaçları içerisine alarak yükselmesi sonucu oluşmuş bu anklavlar ana kayaca kıyasla nispeten koyu ancak mafik anklavlara nazaran daha açık ve porfirik dokulu olarak gözlenirler (Şekil 13). Çok farklı şekillerde (küresel, elipsoidal, yuvarlağımsı) ve 50 cm uzunluklara kadar çıkabilen boyutlarda rastlanmakta olup çoğunlukla porfirik dokuludur. Uzunlukları birkaç mm'yi bulan plajiyoklas ve hornblend mineralleri kolayca ayırt edilebilmektedir.



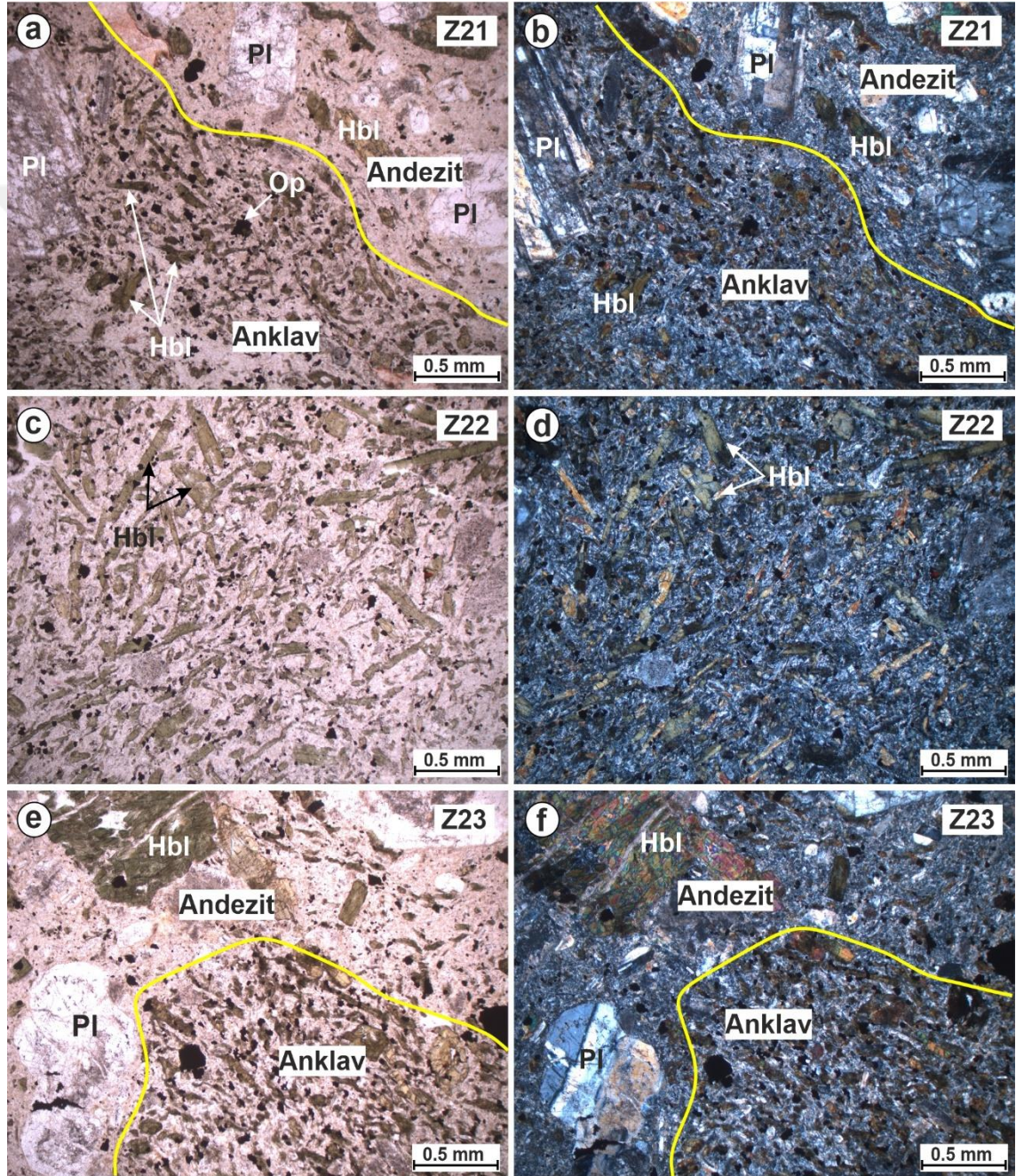
Şekil 13. Adakitik andezitik magmanın yükselimi sırasında kenar zonlarda daha önce soğumuş, aynı bileşime sahip kayaçları içerisine alarak yükselmesi sonucu oluşan ve ana kayaca kıyasla nispeten koyu ancak mafik anklavlara nazaran daha açık ve porfirik dokulu anklavların görünümü

Mikrolitik doku gösteren anklavlar içerisinde yer yer iri kristalli (porfirik) plajiyoklas ve hornblend minerallerine rastlamak mümkündür. Mineralojik olarak ise başlıca hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak minerallerden meydana gelmektedir (Şekil 14).

Hornblend, anklavlarda plajiyoklas ile birlikte en yaygın mineral grubunu oluşturur. Genellikle yarı öz şekilli yer yer ise öz şekilli olarak gelişmiştir. Yeşilimsi renkli ve sarımsıdan yeşile değişen belirgin pleokroizma gösterir. Çift kırıcılığı yüksektir. Yer yer kloritlemiştir.

Plajiyoklas mineralleri ince kristalli ve yarı özşekilli görülmekte olup renksiz ve çift kırıcılığı düşüktür. Genellikle prizmatik şekilli gelişmiştir.

Opak mineraller ince kristalli ve kayalarda dağınık halde bulunur.



Şekil 14. Anklavların mikroskopik görünüşleri (Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Op: Opak mineral, a,c ve e tek nikol, diğer görüntüler çapraz nikolde alınmıştır)

3.4. Tüm-kayaç Element Jeokimyası

Mafik mikrogranüler anklavların ana magmalarının bileşimini, oluşum süreçlerini, tektonik ortamlarını ve ana kayaçlarla olan petrolojik ilişkilerini belirleyebilmek için tüm kayaç jeokimya analizleri gerçekleştirilmiştir. Anklavların petrokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla elde edilen ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri Tablo 2’de verilmiştir.

Gerek saha çalışmalarında gerekse petrografik incelemelerde yer yer alterasyonlar gözlemlendiğinden, anklav ve ana kayaçlarda gelişen mineralojik ve kimyasal değişimleri belirleyebilmek için, incelenen kayaçlara uygulanabilen ve farklı araştırmacılar tarafından önerilen CIA (Nesbitt ve Young, 1982), AI (Ishikawa vd., 1976) ve CCPI (Large vd., 2001) kimyasal ayrışma indeksleri kullanılmıştır (Şekil 15).

Anklavların CIA (kimyasal ayrışma indeksi) değerleri 44-47 (n= 19) arasında değişmekte olup taze sınıfına girmekte, molar A-CN-K diyagramına göre ise bazalt-andezit arasında dağılım göstermektedir (Şekil 15a). Buna karşılık ana kayaçlarda çok az oranda alterasyon/ayrışma görülmekte ve andezit-dasit/granodiyorit bileşimine benzemektedir. Buna karşılık Ishikawa vd. (1976) tarafından önerilen alterasyon indeksine göre ($AI = 100 \times (K_2O + MgO) / (K_2O + MgO + Na_2O + CaO)$) anklavların alterasyon indeksi 36-46 (n= 19), adakitik andezitlerin ise 29-52 (n= 13) arasında değişmektedir (Şekil 15b). Bununla birlikte, Large vd. (2001) tarafından önerilen ve klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) olarak da bilinen alterasyon indeksine ($CCPI = 100 \times (Fe_2O_3 + MgO) / (Fe_2O_3 + MgO + Na_2O + K_2O)$) göre ise anklavlar 73-85 (n= 19), adakitik andezitler ise 46-68 (n= 13) arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 15b). Elde edilen bu değerler gerek anklav gerekse adakitik andezitlerin alterasyondan en düşük oranda etkilenmiş olduğunu, anklav örneklerinin adakitik andezitlere kıyasla daha taze olduğunu ve adakitik andezitlerin nispeten daha altere özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Anklavların $Fe_2O_3^*$ ve MgO değerleri sırasıyla %6.91-11.31 ve %4.70-7.18 arasında değişmekte olup Mg numaraları [$Mg\# = \text{molar MgO} / \text{molar (MgO} + FeO^T) \times 100$] 53-59 arasında değişmektedir. Adakitik andezitlerde ise bu oran 42-60 arasındadır. Bu değerler anklavların ana kayaca oranla daha bazik bir bileşime sahip olduğunu desteklemektedir.

Yine, $Na_2O + K_2O$ değerleri %2.70-5.66 arasında değişen örneklerde Irvine ve Baragar (1971)’in alkali-subalkali sınıflamasına göre ağırlıklı olarak kalk-alkalin bir afiniteye sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 16).

Tablo 2. Anklavların ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) içerikleri

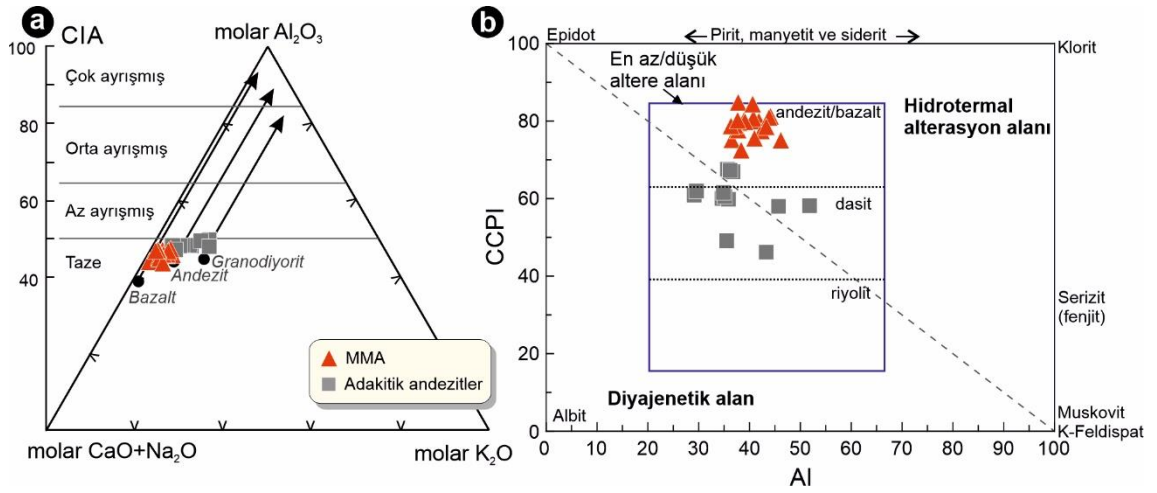
Örnek	ANK01	ANK02	ANK03	ANK04	ANK05	ANK06	ANK07	ANK08	ANK09	ANK10
SiO ₂	49.57	50.67	46.15	58.21	49.88	54.46	52.23	49.32	49.83	49.68
TiO ₂	0.72	0.73	0.81	0.56	0.74	0.63	0.65	0.74	0.76	0.69
Al ₂ O ₃	18.06	17.32	18.58	16.05	17.59	15.63	18.97	18.26	18.24	15.84
Fe ₂ O ₃ *	9.55	9.96	11.31	6.91	9.97	8.97	7.47	9.93	10.22	9.80
MgO	6.38	6.08	7.12	4.70	5.71	6.16	5.14	6.58	6.88	7.18
CaO	8.92	8.20	8.59	6.75	7.95	8.51	7.83	8.75	8.34	8.42
Na ₂ O	3.12	2.44	2.56	2.96	2.55	2.30	3.11	3.12	3.09	2.71
K ₂ O	0.98	1.58	1.70	0.88	2.01	0.40	1.67	0.97	0.99	0.43
P ₂ O ₅	0.21	0.25	0.25	0.16	0.25	0.24	0.17	0.21	0.21	0.25
MnO	0.18	0.16	0.17	0.11	0.15	0.16	0.13	0.18	0.19	0.20
A.K.	1.67	2.71	1.96	2.18	2.95	2.19	1.92	1.33	1.60	4.57
Toplam	99.35	100.08	99.20	99.47	99.74	99.65	99.26	99.39	100.33	99.76
Li	10.2	11.0	16.9	16.4	9.8	14.2	12.3	10.3	12.6	8.7
Be	1.2	1.3	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Sc	32.1	29.7	31.6	22.5	28.0	32.6	26.1	31.7	34.0	37.9
V	274.9	280.3	327.0	192.7	284.5	253.9	214.1	277.4	288.7	280.5
Co	29.2	28.3	34.9	22.4	27.9	26.2	24.4	29.5	29.7	31.0
Ni	21.6	13.2	14.0	10.1	10.6	18.8	11.9	21.1	18.8	17.9
Cu	33.0	28.8	148.0	54.1	27.4	32.9	42.3	25.1	20.8	33.6
Zn	82.5	79.1	93.4	66.3	81.0	68.7	74.9	84.0	86.0	77.1
Ga	18.9	18.5	20.0	16.7	18.6	15.6	20.4	19.4	19.9	17.4
Rb	32.9	51.2	48.7	24.1	66.3	5.6	42.7	33.3	34.2	7.3
Sr	828.8	898.4	937.3	871.6	971.2	877.0	764.9	817.3	770.4	480.7
Y	17.3	21.7	17.9	14.7	21.0	19.4	14.3	18.0	17.2	18.2
Zr	65.4	71.2	76.2	72.7	75.4	59.5	89.1	65.7	65.7	65.2
Nb	3.3	3.4	3.2	3.9	3.4	2.9	4.6	3.2	3.3	3.0
Sn	0.8	0.9	1.1	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Cs	0.9	1.3	2.3	0.6	1.7	0.4	1.4	0.9	1.0	1.2
Ba	394.3	774.6	666.7	506.4	1058.4	212.2	715.7	339.0	302.0	196.0
La	23.0	19.4	16.3	19.2	17.1	23.1	17.7	22.0	20.7	24.3
Ce	42.4	40.9	35.4	34.8	39.6	43.3	34.2	42.0	41.6	47.8
Pr	5.1	5.3	4.6	4.1	5.2	5.2	4.1	5.0	5.2	5.8
Nd	19.7	21.3	20.1	14.9	21.7	21.0	14.6	19.4	19.5	22.6
Sm	4.2	4.8	4.7	3.3	4.8	4.5	3.3	4.1	4.1	4.9
Eu	1.2	1.4	1.4	1.0	1.5	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3
Gd	3.5	4.4	4.2	3.0	4.3	3.8	3.0	3.6	3.6	4.1
Tb	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
Dy	3.1	3.6	3.4	2.5	3.7	3.3	2.6	3.1	3.1	3.3
Ho	0.6	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6
Er	1.8	2.0	1.8	1.5	2.0	1.9	1.5	1.8	1.8	1.8
Tm	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Yb	1.8	1.9	1.6	1.4	1.8	1.8	1.5	1.8	1.8	1.8
Lu	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Hf	1.9	2.1	2.2	2.1	2.2	1.7	2.5	1.9	2.0	1.9
Ta	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
Pb	10.5	8.7	16.8	13.4	7.2	11.1	12.8	10.0	9.2	10.6
Th	5.3	5.8	6.2	6.6	6.0	5.2	7.9	5.3	5.6	5.2
U	1.0	1.0	0.7	1.9	1.1	1.0	1.3	0.9	1.0	1.1
Mg#	56.9	54.7	55.5	57.4	53.1	57.6	57.7	56.8	57.1	59.2
Eu/Eu*	0.93	0.91	0.98	0.99	0.99	0.87	1.06	0.95	0.95	0.90
La _N /Yb _N	8.83	6.78	6.80	8.94	6.22	8.53	7.69	8.15	7.94	9.21
CIA	44.6	45.6	46.2	47.0	45.8	44.3	47.3	45.3	46.1	43.9

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeOT)*100. Eu/Eu* = Eu_N/√(Sm_N×Gd_N), N= Kondrit değerleri (Boynton, 1984). CIA (Chemical Index of Alteration/Kimyasal Ayrışma İndeksi)= molar[(Al₂O₃)/(Al₂O₃+CaO+NaO+K₂O)]x100 (Nesbitt ve Young, 1982).

Tablo 2. (Devamı)

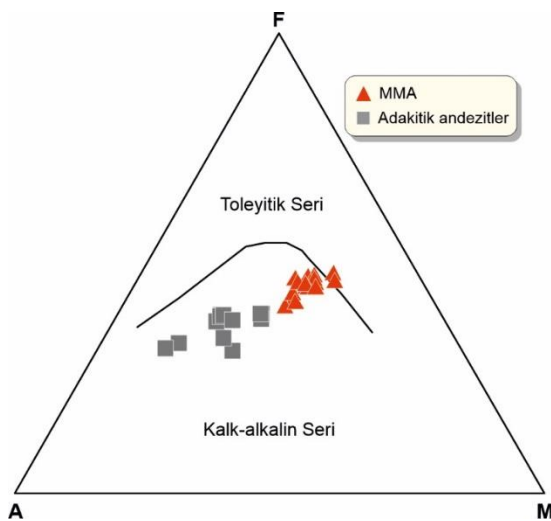
Örnek	ANK11	ANK12	ANK13	ANK14	ANK15	ANK16	Z21a	Z22a	Z23a
SiO ₂	50.19	46.62	52.35	54.96	52.04	48.66	49.05	49.30	48.40
TiO ₂	0.73	0.78	0.69	0.64	0.84	0.76	0.70	0.70	0.72
Al ₂ O ₃	18.06	18.39	16.79	15.95	16.23	16.50	18.65	18.51	18.54
Fe ₂ O ₃ *	9.92	11.00	9.54	8.76	9.97	10.45	9.13	9.15	9.36
MgO	6.45	7.14	6.13	5.30	7.04	6.87	6.12	5.89	6.53
CaO	8.60	8.53	6.66	7.46	5.47	7.97	7.99	7.99	8.19
Na ₂ O	3.07	2.66	3.88	2.99	4.31	3.13	3.44	3.43	3.43
K ₂ O	1.05	1.61	1.19	1.05	1.35	1.60	0.63	0.63	0.49
P ₂ O ₅	0.21	0.25	0.23	0.26	0.19	0.23	0.17	0.17	0.18
MnO	0.19	0.16	0.15	0.16	0.24	0.15	0.17	0.17	0.18
A.K.	1.27	2.31	2.47	2.43	2.30	3.59	3.60	3.80	3.70
Toplam	99.74	99.44	100.09	99.94	99.97	99.90	99.72	99.73	99.72
Li	10.2	17.8	8.6	8.2	11.8	8.9			
Be	1.2	0.9	1.3	1.3	1.1	1.1	2.0	2.0	2.0
Sc	31.9	29.8	26.6	33.1	34.1	29.2	26.0	26.0	27.0
V	285.1	310.5	247.8	255.8	284.8	295.3	254.0	258.0	265.0
Co	30.0	34.1	33.3	25.7	32.3	40.7	26.5	25.9	26.2
Ni	21.9	12.5	18.3	14.3	17.9	14.7	5.8	6.3	6.6
Cu	26.8	87.7	72.9	20.3	34.7	49.9	63.5	60.3	56.4
Zn	85.6	90.2	90.5	68.7	87.7	106.4	53.0	57.0	57.0
Ga	20.1	19.6	18.8	17.6	17.9	19.0	17.8	17.4	18.6
Rb	35.9	40.1	29.4	39.5	32.3	34.2	13.7	13.5	9.4
Sr	819.2	934.1	589.0	895.7	583.1	656.6	772.1	761.2	739.7
Y	17.6	17.7	17.6	18.1	19.3	17.7	14.9	15.6	15.6
Zr	64.8	75.7	58.3	64.8	60.1	75.7	65.0	59.3	49.5
Nb	3.2	3.5	3.1	3.0	3.9	3.1	4.0	3.8	4.2
Sn	0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9
Cs	0.9	1.9	1.0	1.4	1.3	0.9	1.0	1.1	0.9
Ba	396.4	743.7	425.9	257.1	479.4	590.0	207.0	204.0	194.0
La	22.2	17.8	19.8	20.1	14.5	20.6	16.0	16.4	16.3
Ce	42.6	36.9	37.2	44.0	34.1	40.9	35.5	34.0	33.3
Pr	5.2	4.6	4.7	5.6	4.6	5.2	4.4	4.4	4.4
Nd	19.1	19.2	18.1	21.2	18.4	21.4	18.6	17.4	17.7
Sm	4.0	4.4	4.0	4.6	4.2	4.8	3.6	3.4	3.8
Eu	1.2	1.4	1.2	1.3	1.3	1.4	1.1	1.0	1.1
Gd	3.6	4.2	3.7	3.9	3.8	4.3	3.3	3.2	3.5
Tb	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Dy	3.1	3.4	3.1	3.1	3.4	3.3	2.9	2.7	2.8
Ho	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
Er	1.8	1.8	1.7	1.7	1.9	1.7	1.7	1.6	1.7
Tm	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Yb	1.8	1.6	1.8	1.7	1.9	1.6	1.7	1.8	1.8
Lu	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Hf	1.9	2.2	1.9	1.9	1.9	2.1	1.9	1.8	1.7
Ta	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2
Pb	10.4	20.2	11.5	5.8	6.9	11.4	8.5	8.6	8.7
Th	5.1	6.0	4.9	5.8	3.8	6.1	3.3	3.1	3.2
U	0.8	0.7	0.6	1.2	0.3	1.2	1.1	1.1	1.1
Mg#	56.3	56.2	56.0	54.5	58.3	56.6	57.0	56.0	58.0
Eu/Eu*	0.97	0.99	0.97	0.92	0.98	0.94	0.98	0.96	0.93
LaN/YbN	8.55	7.46	7.64	7.96	5.11	8.83	6.38	6.14	6.04
CIA	45.3	46.0	45.9	44.8	46.7	43.6	47.2	47.0	46.8

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeOT)*100. Eu/Eu* = Eu_N / √(Sm_N×Gd_N), N= Kondrit değerleri (Boynton, 1984). CIA (Chemical Index of Alteration/Kimyasal Ayrışma İndeksi)= molar[(Al₂O₃)/(Al₂O₃+CaO+NaO+K₂O)]x100 (Nesbitt ve Young, 1982).

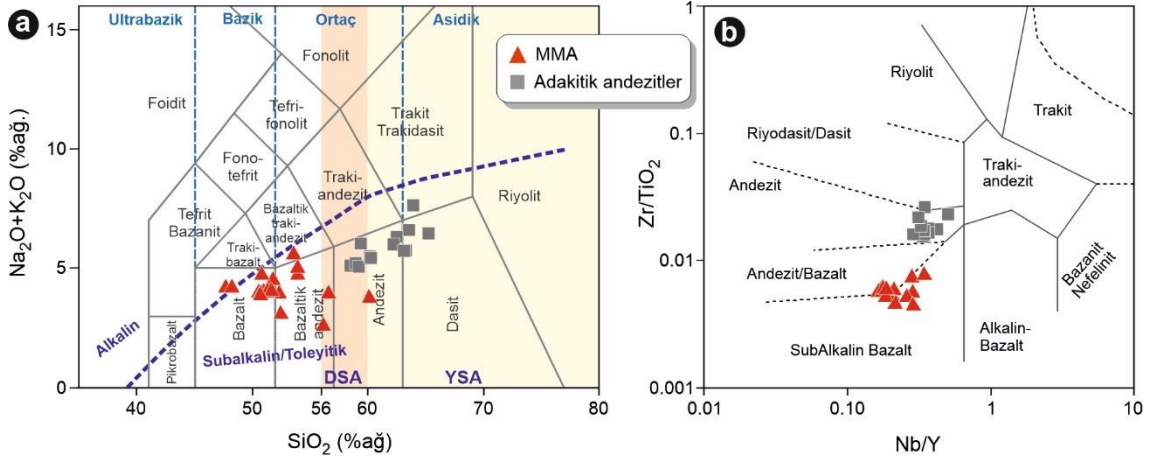


Şekil 15. Mafik mikrogranüler anklavların ve ana kayaçlarının kimyasal alterasyon indeksleri. a) Kimyasal Ayrışma İndeksi (Chemical Index of Alteration-CIA) ve ilişkili molar $[Al_2O_3 - CaO + Na_2O - K_2O]$ üçgen diyagramı (Nesbitt ve Young, 1982). b) AI-CCPI alterasyon diyagramı. $[AI = 100 \times (K_2O + MgO) / (K_2O + MgO + Na_2O + CaO)]$ (Ishikawa vd., 1976), $[CCPI = 100 \times (Fe_2O_3 + MgO) / (Fe_2O_3 + MgO + Na_2O + K_2O)]$ (Large vd., 2001). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

Ana kayaçlar nispeten yüksek, anklavlar ise daha düşük bir kalk-alkalin benzeri bir bileşime sahiptir (Şekil 16). Gerek toplam alkali-silis (TAS) diyagramı ve gerekse ayrışma süreçlerinde daha duraylı olan Zr, Nb, Y ve Ti gibi elementlerin dikkate alınarak yapıldığı kimyasal sınıflama diyagramları anklavların bazalt ve bazaltik andezit bileşimde olduğunu ve sub-alkalin bir magmadan itibaren türediklerini göstermektedir (Şekil 17a-b). Diğer yandan ana kayaçların ise andezitik bileşimde olduğu ve kısmen de olsa alterasyondan etkilendikleri görülmektedir. Bu durum aynı zamanda anklavların taze olduğu ve ayrışmadan pek etkilenmedikleri görüşünü desteklemektedir.



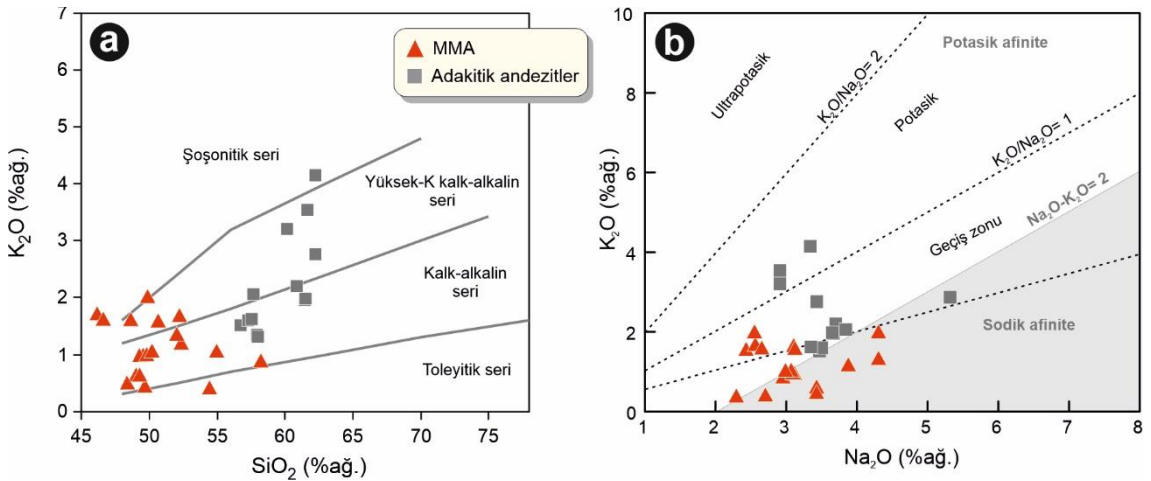
Şekil 16. Anklavların ve ana kayacın AFM ($Na_2O + K_2O$, $Fe_2O_3^*$, MgO) diyagramı. Toleyitik - kalk-alkalin ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır



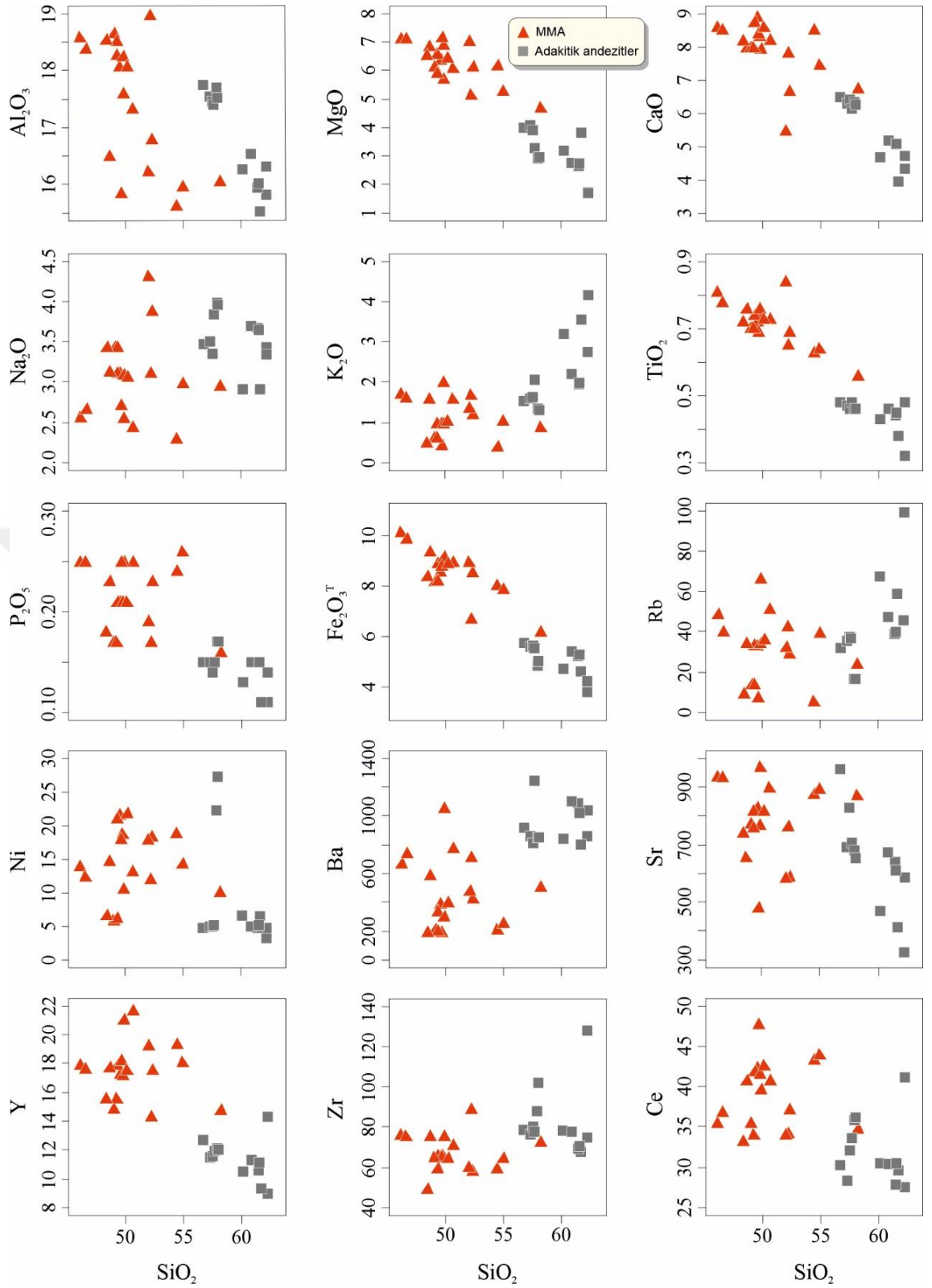
Şekil 17. a) Toplam alkali-silika (TAS) diyagramı (Le Bas vd., 1986). Alkalın-subalkalin ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'e göredir. DSA: Düşük-SiO₂ adakitleri ve YSA: Yüksek-SiO₂ adakitleri (Martin vd., 2005). b) Nb/Y - Zr/TiO₂ sınıflama diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

Anklavlar K₂O ve SiO₂ içeriklerine göre orta-yüksek K'lu kalkalkalin potasik bileşimli iken, K₂O ve Na₂O değerleri çoğunlukla sodik kısmen ise potasik bir bileşim gösterir (Şekil 18). Buna karşılık adakitik andezitler orta-yüksek K'lu potasik afiniteye sahip bir magmadan itibaren türediğini işaret etmektedir (Şekil 18).

SiO₂'ye karşı ana element değişim diyagramlarında, gerek anklav gerekse ana kayalar nispeten düzenli dağılım göstermekle birlikte, K₂O'da pozitif yönseme, diğer elementlerde (Al₂O₃, MgO, CaO, TiO₂, P₂O₅ ve Fe₂O₃*) ise negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 19). Na₂O ise zayıf negatif bir dağılım sergilemektedir. Bu dağılımlar anklavların ana kayalar ile benzer bir kaynaktan itibaren türemiş olabileceğini ve kaynaktan öncelikle anklavların kristallendiğini, sonrasında ise farklılaşma ile andezitik kayaların oluşmuş olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 19).



Şekil 18. a) K₂O - SiO₂ (Peccerillo ve Taylor, 1976) ve b) K₂O - Na₂O (LeMaitre, 2002) diyagramları. Ana kayaların verileri Gücer (2021)'den alınmıştır



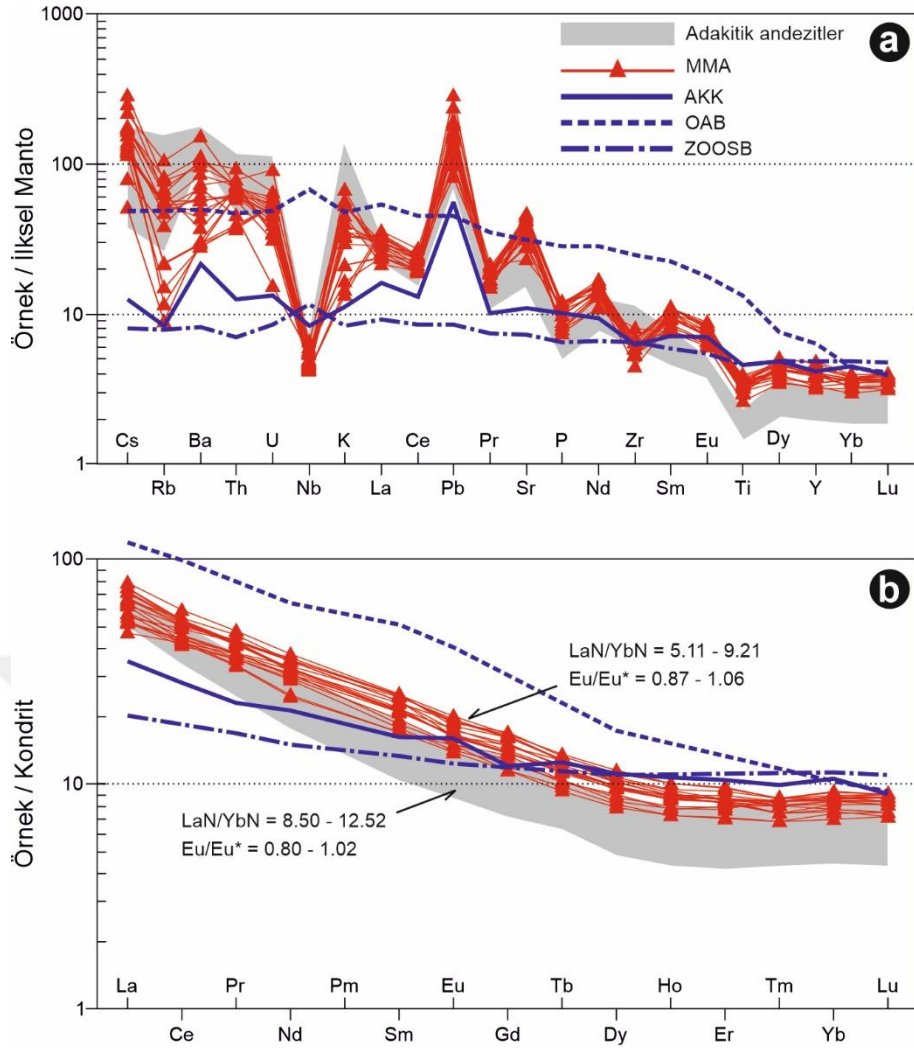
Şekil 19. Anklavların ve adakitik andezitlerin (Gücer, 2021) SiO_2 (%)’e karşı ana oksit (%) ve iz element (ppm) değişim diyagramları

Bununla birlikte, CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3^* azalması önemli ölçüde plajiyoklas ve piroksen farklılaşmasının, Al_2O_3 azalması ise aynı zamanda hornblend ayrımlaşmasının da etkili olabileceğinin bir göstergesidir (Cawthorn ve O’Hara, 1976). Fe_2O_3^* ve TiO_2 azalması magnetit ayrımlaşması, P_2O_5 ’deki yönseme ise apatitin kristellenmesi ile

ilişkilidir. İz element değişim diyagramlarında ise Sr, Y ve Ce negatif, Ni düzensiz ve zayıf negatif, Rb, Ba ve Zr ise düzensiz zayıf pozitif dağılım göstermektedir (Şekil 19). Tüm bu değişimler hem anklav hem de ana kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu ve piroksen, hornblend, plajiyoklas, magnetit ve apatit ayrımlaşmasının büyük ölçüde rol oynadığını göstermektedir.

Örneklerin tektonik ortamlarını saptamak, farklı özellikteki manto kaynaklarından türeyen ve farklı tektonik ortamları temsil eden kayaçlar ile karşılaştırabilmek amacıyla çoklu element değişim diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 20). İlkel mantoya normalize edilmiş diyagrama göre (Şekil 20a), Cs, Rb, Ba, Th, K ve Sr gibi büyük iyon yarıçaplı litofil elementleri (LILE'ler), yüksek çekim alanlı elementlere (HFSE'ler) oranla önemli ölçüde zenginleşmiştir. Bu zenginleşme kaynak bölgesinde düşük dereceli bir kısmi ergime veya kaynağa yitim katkısı gibi kabuksal bileşenlerin etkisini gösterir. Rb, Nb, P, Zr ve Ti genellikle negatif, Pb ise güçlü pozitif anomali sergiler. Genellikle adayayı bazaltlarında gözlenen bu negatif anomaliler, ana magmanın gelişiminde yitim bileşenlerinin etkili olduğunu göstermekte olup yiten eklojit kabuğun üst kısımlarının kısmi ergimeye uğraması sırasında bu elementlerin rutil, sfen ve perovskit tarafından tutulmasına bağlı olabilir. İz element paternlerinin, ana kayaç ile oldukça uyumlu bir dağılım sergilediği gözlenmekte olup bu durum gerek anklavları gerekse ana kayaçları oluşturan magmanın benzer kaynaktan türemiş olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , Ba, Rb, Sr, Ce ve Y elementlerinde ayrışmanın etkisine bağlı düzensiz dağılımlar da görülmektedir.

Benzer şekilde, kondrite normalize edilmiş nadir toprak element (REE) desenlerinde (Şekil 20b), gerek anklavlar gerekse adakitik andezitler uyumlu olarak dağılmakta olup hafif nadir toprak elementler (LREE'ler) hafif sağa eğimli, ağır nadir toprak elementler (HREE'ler) ise düz desenler sergilemektedir (anklav $La_N/Yb_N = 5.11-9.21$; ana kayaç $La_N/Yb_N = 8.50-12.52$). Buna ilaveten, anklav örneklerinin REE değerleri ana kayaca oranla nispeten daha fazla zenginleşmiştir. HREE'ler özellikle amfibol mineralinin bünyesine girdiğinden (örneğin Gill, 1981; Romick vd., 1992; Thirlwall vd., 1994) elementlerde gözlenen bu içbükey yapı kayaçların gelişiminde hornblend fraksiyonlaşmasının (Fujimaki vd., 1984) önemini vurgulamaktadır. Mineralojik olarak gerek anklav gerekse ana kayaçlarda hornblend mineralinin bol miktarda gözlenmesi bu durumu destekler niteliktedir. Ayrıca hem anklavlar hem de ana kayaçlar tipik olarak Eu anomalileri göstermemeleri (anklav $Eu/Eu^* = 0.87-1.06$; ana kayaç $Eu/Eu^* = 0.80-1.02$; Şekil 20b) ile karakterize edilmekte olup bu durum örneklerin gelişiminde plajiyoklas ayrımlaşmasının etkili olmadığını işaret etmektedir.



Şekil 20. Anklavların (MMA) ve ana kayacın a) ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) ve b) Kondrite (Boynton, 1984) göre normalleştirilmiş iz element dağılım diyagramları. AKK: Alt kıtasal kabuk (Taylor ve McLennan, 1995), OAB: Okyanus adası bazaltı (Sun ve McDonough, 1989), ZOOSB: Zenginleştirilmiş okyanus ortası sırtı bazaltı (Sun ve McDonough, 1989). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

4. TARTIŞMA

Yapılan çalışmalar volkanik kayaçların farklı tektonik ortamlarda ve farklı kaynaklardan itibaren türeyebileceğini göstermektedir. Bunların ayırt edilebilmesi ise kayaçların petrokimyasal ve petrolojik özelliklerinin ortaya konması ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, gerek ana kayaçlar gerekse içerisine aldıkları mafik mikrogranüler anklavların oluşum ortamları, kaynak alanları ve gelişim süreçleri bu açıdan irdelenmiştir.

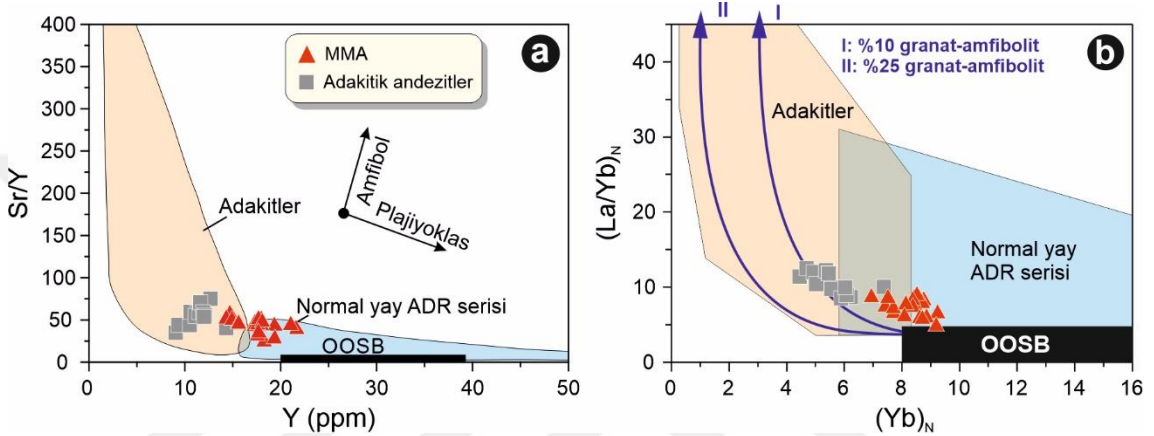
Çalışma konusu anklavların ve adakitik andezitlerin kimyasal özelliklerini belirleyen temel etken, magmanın türediği kaynağın kimyasal bileşimi ve ürünün oluşumu sırasında geçirmiş olduğu süreçlerdir. Örneklerin gerek petrografik gerekse jeokimyasal özellikleri, anklavları ve ana kayaçlarını oluşturan ana magmanın ilksel magmaya göre farklılaştığını göstermektedir. Bu durum, kayaçların oluşumunda kısmi ergime, ayrışma ve özümleme gibi süreçlerin etkili olduğunu göstermektedir.

4.1. Kaynak Alan Karakteristikleri

Adakitik andezitler orta ila yüksek K'lu kalk-alkalin bir magmatizma ile karakterize edilirken, anklavlar nispeten düşük K'lu kalk-alkalin magmatik özellik göstermektedir (bkz. Şekil 16-18). Dolayısıyla, ana kayaçlar potasik bir afiniteye sahip iken, anklavlar potasik-sodik geçişli bir afinite sergilemektedir. İlkel manto ve kondrite normalize edilmiş paternlerde (bkz. Şekil 20), önemli Eu anomalileri göstermeksizin, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE'ler) ve hafif nadir toprak elementler (LREE'ler) bakımından önemli zenginleşmeler görülmektedir. Tüm bu işaretler yitim bölgesi ortamında oluşan kayaçlarla tutarlılık göstermektedir (Pearce ve Peate, 1995). Bununla birlikte, gerek ana kayaçlar gerekse anklavlar normal yay andezitleri ve dasitlerinkinden biraz daha negatif Nb ve Ti anomalileri, daha yüksek Sr/Y (26.36-59.10) ve La_N/Yb_N (5.11-9.21) oranları, daha düşük Y ve Yb_N içerikleri sergilemektedir (Şekil 21). Tüm bu jeokimyasal izler anklavların, mantodan türemiş ve fraksiyonlaşmış kayaçlarından ziyade, yiten okyanus levhasından veya alt kıtasal kabuktan gelen bazaltların kısmi erimesiyle, adakitik andezitlerin ise aynı ortamdan fraksiyonlaşmış adakitik kayaçlarımla tutarlı olduğunu göstermektedir (Defant ve Drummond, 1990; Stern ve Kilian, 1996; Martin vd., 2005; Castillo, 2006).

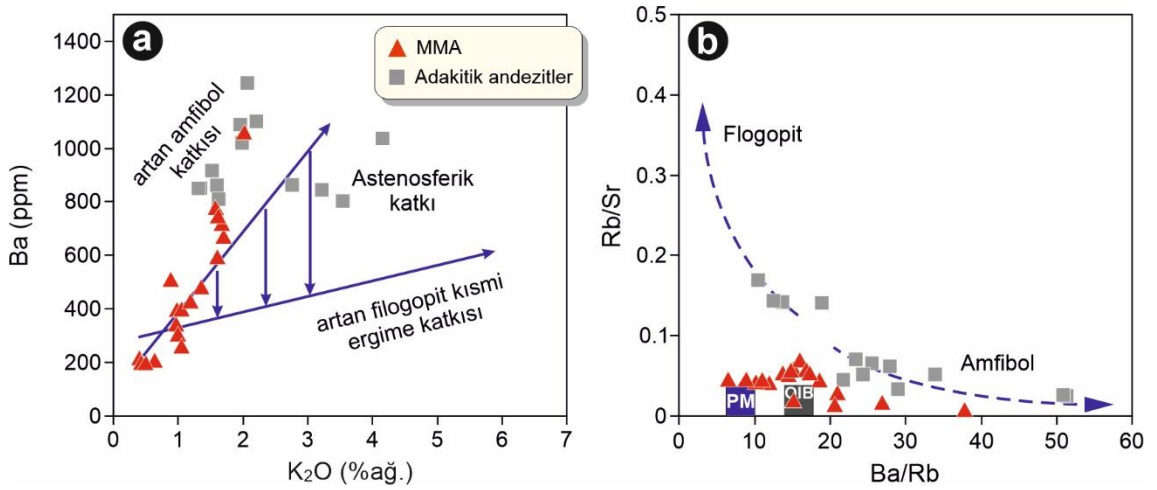
Ana kayacın ve anklavların LILE bakımından zenginleşmiş, HFSE ve TiO_2 içerikleri bakımından ise tüketilmiş olmaları, ayrıca litosferik mantodaki yitim zonu

metazomatizmasıyla da ilişkilidir. Yitim sırasında yiten plakanın yüksek çekim alanlı elementleri tutması, bu metazomatizmayla açıklanırken, LILE ve LREE yiten plaka boyunca manto kamasını zenginleştiren akışkan ve ergiyikler vasıtasıyla yukarı yönde hareket eder (Münker vd., 2004) veya yiten sedimanlar yardımıyla manto kaynak alanına geçerler (Conticelli ve Peccerillo, 1992; Hawkesworth vd., 1993; Zhao vd., 2009). Bu nedenle adakitik andezitlerin LILE ve LREE içeriklerinde gözlenen bu zenginleşme, kaynak alanda yitim zenginleşmesinin bir sonucu olarak yorumlanabilir (Pearce ve Peate, 1995).



Şekil 21. Adakit ve normal yay ADR (andezit, dasit ve sodik riyolet) serisi ayırtma diyagramı. a) Sr/Y - Y diyagramı (Defant ve Drummond, 1990). b) $(La/Yb)_N$ ve $(Yb)_N$ diyagramı (Defant ve Drummond, 1990). Adakit, normal yay ADR serisi ve OOSB alanları Martin (1999), kondrit değerleri Taylor ve McLennan (1985) ve ana kayaların verileri Gücer (2021)'den alınmıştır. Her bir kısmi ergime eğrisi farklı bir OOSB kaynak alanını temsil etmektedir

Anklav örneklerinin Ba içerikleri tek örnek (1058 ppm) dışında 194-775 (ppm) arasında değişmekte iken, adakitik ana kayalar 802 ile 1244 ppm (Gücer, 2021) arasında değişen yüksek Ba içerikleri sergilemektedir. Dolayısıyla anklavların Ba içerikleri ana kayaca oranla oldukça düşüktür (Şekil 22a). Bu durum gerek anklav gerekse ana kayaların kaynak alanında flogopit yerine amfibol katkısını göstermektedir (Şekil 22a). Benzer şekilde, kaynak alan mineralojisinde K içeren faz olarak flogopit veya amfibolün varlığını belirlemek için genellikle K/Rb , Rb/Sr ve Ba/Rb oranları da kullanılmaktadır. Anklavların düşük Rb ve Ba içerikleri ve ilksel mantodan okyanus adası bazaltı bileşimine doğru dağılım sergilemesi, bu kayaların ilksel mantodan itibaren farklılaşarak geliştiğini göstermekte iken, adakitik ana kayalardaki Rb elementinin tüketilmesi, yiten levha kaynağında amfibolün varlığını ve manto kamasının yükselen adakit magma ile çok az etkileşime girdiğini göstermektedir (örneğin Rogers vd., 1985; Calmus vd., 2003; Şekil 22b).



Şekil 22. a) Ba (ppm) - K₂O (%ağ.) ve b) Rb/Sr - Ba/Rb diyagramları. OIB (Oceanic-Island Basalt): Okyanus adası bazaltı, PM (Primitive Mantle): İlksel manto. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

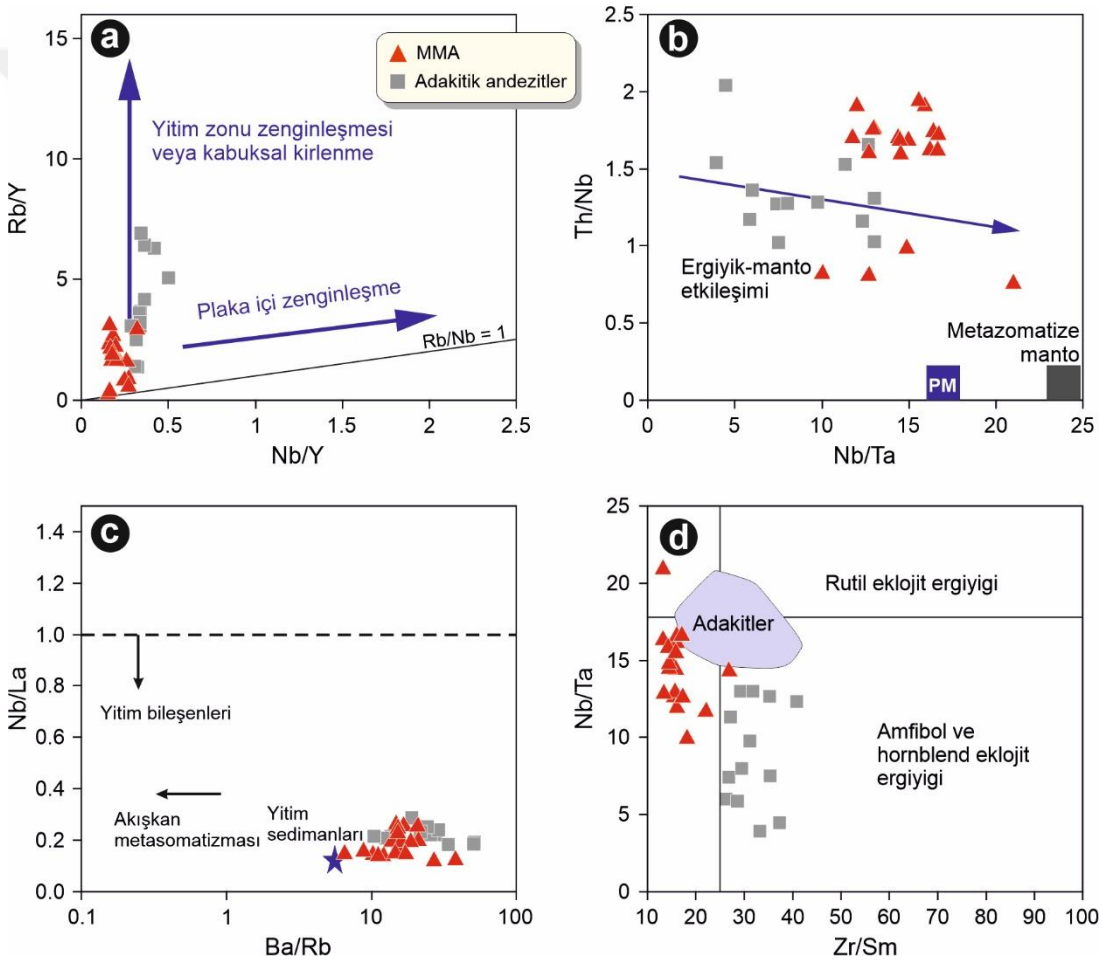
Anklavlar genel olarak düşük Ba/Rb (6.50–37.83) ve Rb/Sr (0.01-0.07) oranları ile karakterize iken, adakitik andezitler yüksek Ba/Rb (10.46–51.33) ve düşük Rb/Sr (0.02–0.17) oranlarıyla (Gücer, 2021) karakterize edilir. Bu durum anklavların ilksel mantodan itibaren gelişen, ana kayaçların ise kaynaktaki amfibol içeren özelliği ile uyumludur (Şekil 22b). Sonuç olarak, amfibol ile ergiyik dengesinde Rb/Sr oranının düşük (<0.1), Ba/Rb oranını ise yüksek (>20) olması beklenirken, flogopit ile eriyik dengesi yüksek Rb/Sr (>0.1) ve düşük Ba/Rb (<20) oranları ile karakterize edilmektedir (Furman ve Graham, 1999). İncelenen örneklerin eriyiğinin oluşumu sırasında, Şekil 22'de görüldüğü üzere, manto kaynağının büyük iyon yarıçaplı litofil element (LILE) içerikleri ağırlıklı olarak flogopitten ziyade amfibol tarafından kontrol edilmiştir.

Yitim zonu bileşeninin katkısı, örneklerin yitim zonu zenginleşmesine doğru eğilim gösterdiği Rb/Y'ye karşı Nb/Y diyagramında (Şekil 23a) gösterilmektedir. Levha eriyikleri tarafından metasomatize edilen manto kaması türevli magmaların Nb içerikleri genellikle 7 ppm'den yüksektir (Defant vd., 1992; Maury vd., 1996; Martin vd., 2005). Gerek anklav gerekse adakitik benzeri andezitik ana kayaçların Nb içerikleri sırasıyla 2.9-4.6 ppm ve 3.4-4.9 ppm (Gücer, 2021) olup manto türevli magmalara göre daha düşüktür. Bu değerler, incelenen örneklerin okyanusal levhanın bazik kayaçlarına benzeyen, manto kamasından daha düşük Nb içeriğine sahip bir kaynaktan türetilmiş olabileceğini ortaya koymaktadır.

Diğer yandan, tüm örneklerde Th/Nb'nin artan Nb/Ta ile negatif korelasyonu (Şekil 23b), yitim bileşenleri tarafından farklı derecelerde modifiye edilmiş metasomatize bir manto kamasının etkileşimiyle uyumludur (örneğin, Dokuz vd., 2013). Bu, litosferik mantonun levha türevli akışkanlardan daha yüksek Nb içeriğine sahip

olması nedeniyle eriyik-manto etkileşimini işaret etmekte olup örneklerin negatif bir korelasyon göstermesine sebebiyet vermektedir (Dokuz vd., 2013).

Düşük bir Nb/La (<1) oranı, yiten okyanus ortası sırtı bazaltları gibi Nb açısından tüketilmiş bir kaynağın varlığına işaret ederken, yüksek bir Ba/Rb oranı yiten tortulların katkısını gösterir (örneğin, Wang vd., 2004; Şekil 23c). İncelenen anklavların 0.12-0.27 ve ana kayaçların 0.18 ile 0.29 (Gücer, 2021) arasında değişen düşük Nb/La oranları ve sırasıyla 6.50-37.83 ile 10.46-51.33 (Gücer, 2021) arasında değişen yüksek Ba/Rb oranları, gerek anklav gerekse ana kayaçların ana magmalarının oluşumunda levha ergiyiklerinin ve bir miktar sediman katkısının da muhtemel olduğunu göstermektedir (Şekil 23c).



Şekil 23. a) Rb/Y - Nb/Y diyagramı (vektör yönleri yitim zonu bileşenlerinin katkısını gösterir). b) Th/Nb - Nb/Ta diyagramı. c) Nb/La - Ba/Rb diyagramı (düşük Nb/La oranları (<1) yitim bileşenlerinin, yüksek Ba/Rb oranları ise levha ergiyikleri veya yiten sedimanların katkısını gösterir). d) Nb/Ta - Zr/Sm diyagramı (Condie, 2005). Ergime alanları Foley vd. (2002)'den alınmıştır. Düşey çizgiler Sun ve McDonough (1989)'dan alınan ilksel manto Zr/Sm değerini temsil etmektedir. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır. PM (Primitive Mantle): İlksel Manto

Nb/Ta oranları anklavların ve adakitik andezitlerin ana magmasının muhtemelen amfibol-eklojit fasiyesi koşulları altında mafik kayalardan türemiş olabileceğini göstermektedir (Şekil 23d). Bununla birlikte, gerek anklav gerekse ana kayaların düşük Nb/Ta oranları, ana ergiyik bileşiminin manto kaması boyunca yükselişi sırasında farklılaştırılmış olabileceğini ve manto peridotitleri ile etkileşime girdiğini göstermektedir. Örneklerin rutil içermeyen bir kaynaktan türemiş ergiyikler alanına doğru dağılımı, düşük MgO amfibol varlığına bağlı olabilir (örneğin, Dokuz vd., 2013).

4.2. Fraksiyonel Kristallenme ve Asimilasyon Süreçleri

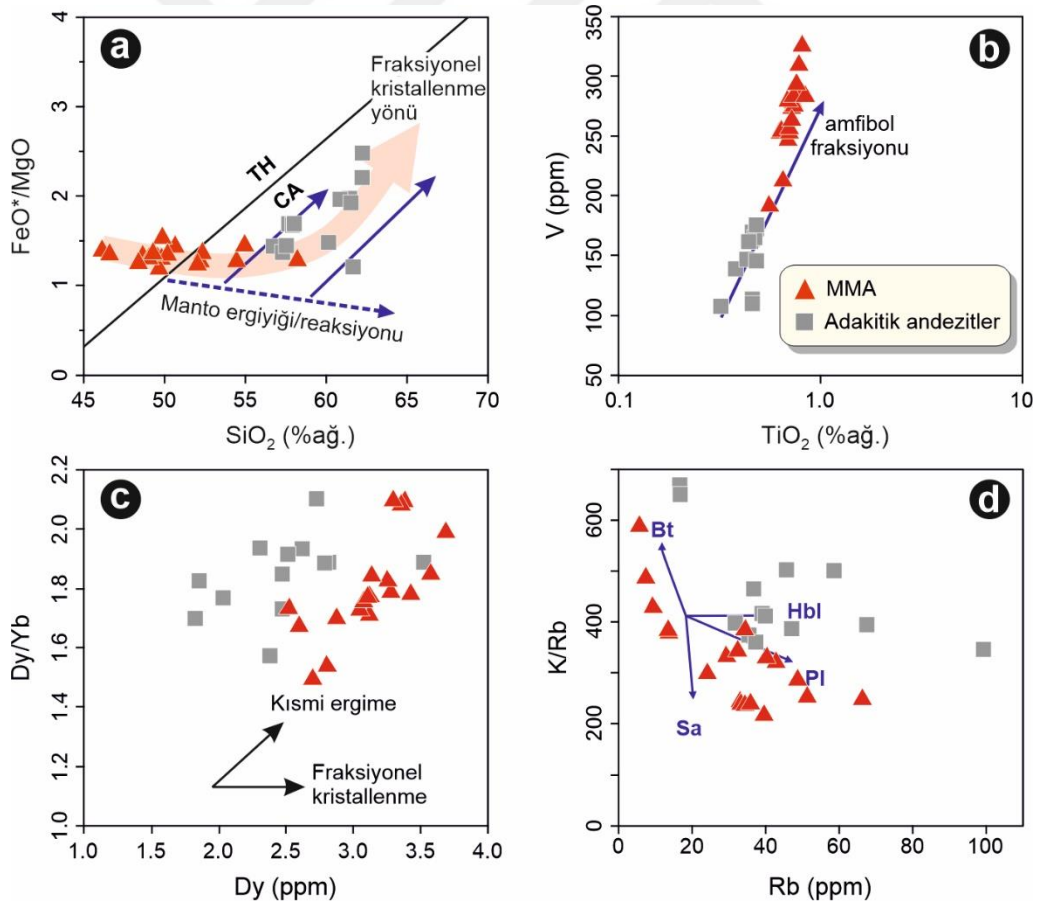
Magmanın soğuması ve kristallenmesi esnasında bütün mineraller aynı anda soğumayıp kabaca 1500° ile 400°C arasında kademeli olarak kristallenmektedir. Soğumanın ilerleyen safhalarında yüksek sıcaklık minerallerinin bileşimine giren elemanlar bakımından fakirleşme, düşük sıcaklık minerallerinin bileşimine girecek elemanlar bakımından ise zenginleşme gözlenir. Magmadaki bu kristallenmeye fraksiyonel veya kesirli kristallenme adı verilir. Magmanın kristallenmesi karmaşık bir süreç olup birçok etkenin tesiri altında meydana gelmektedir.

Fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon gibi kabuksal süreçlerin boyutunu anlamak, kaynak bileşimi üzerinde bir kısıtlama sağlamak için önemlidir. Fraksiyonel kristallenme süreçleri en iyi şekilde ana ve iz elementlerin çeşitli korelasyonları ile ortaya çıkmaktadır. SiO₂ özellikle nötr ve felsik kayalarda en geniş değişime sahip olduğu için yaygın olarak kullanılan ana oksittir. Ancak, incelenen anklavların ve ana kayalarının SiO₂ ve diğer ana element içerikleri dar aralıklar göstermektedir. Bu nedenle gerek anklav gerekse adakitik andezitlerin magmatik gelişimi sırasındaki fraksiyonlaşma süreçlerini ortaya çıkarmak için çeşitli ana oksitler ve iz element oranları kullanılmıştır (Şekil 24).

FeO*/MgO'ya karşı SiO₂ (%ağ.) değişim diyagramında (Şekil 24a), anklav örnekleri düşük FeO*/MgO ve düşük SiO₂ (%ağ.) içeriklerine sahip iken, ana kayalar nispeten yüksek değerler göstermektedir. Anklavlar artan SiO₂ (%ağ.) yönüne doğru yataya yakın lineer bir dağılım sergilemekte olup manto ergiyiği/reaksiyonu yönünde yönsemeye sahiptir. Buna karşılık ana kayalar düşükten yüksek FeO*/MgO ve yüksek SiO₂ (%ağ.) fraksiyonel kristalleşme yönüne doğru bir eğilim göstermektedir. Bu durum anklavları içeren ana kayaların fraksiyonel kristallenme ile ayrılaştığını işaret etmektedir (Şekil 24a). Benzer şekilde, V (ppm) değerlerine karşın TiO₂ (%ağ.) değerlerinde gözlenen pozitif eğilimi (Şekil 24b) amfibol fraksiyonlaşmasının magma gelişimi sırasında etkili olduğunu göstermektedir.

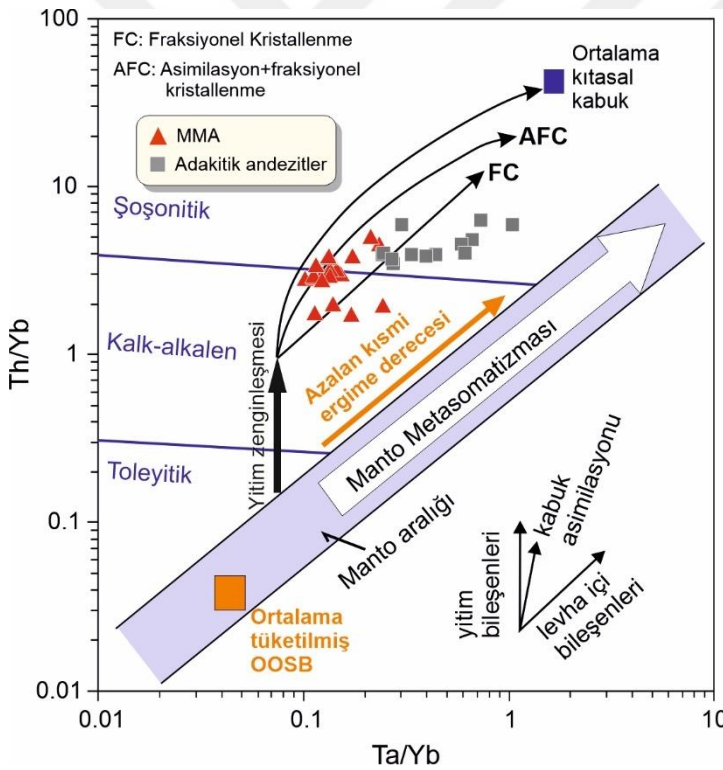
Bu durum, kondrite normalize edilmiş nadir toprak element diyagramında (bkz. Şekil 20b) ağır nadir toprak element paternlerinin tipik olarak düze yakın dağılması tarafından da desteklenmekte olup gerek anklav gerekse ana kayaçların oluşumu esnasında hornblend fraksiyonlaşmasının rolünü vurgulamaktadır (örneğin, Gill, 1981). Bir başka dikkat çekici özellik de, hem anklav hem de ana kayaçların gelişiminde plajiyoklas fraksiyonlaşmasının baskın olmadığı veya önemsiz olduğunu ima eden önemli Eu anomalilerinin olmamasıdır.

Dy/Yb oranları da, magmanı gelişimi sırasında kısmi ergime ve fraksiyonel kristalleşme süreçleri arasında bir ayırım yapmak için kullanılabilir (örneğin, Bourdon vd. 2002; Gao vd., 2007). Dy/Yb - Dy değişim diyagramlarında (Şekil 24c), hem anklav hem de ana kayaç örnekleri benzer dağılım sergilemekte ve nispeten kısmi ergime ile daha uyumlu bir dağılım göstermektedir. K/Rb-Rb diyagramında da tüm örneklerin daha çok hornblend/plajiyoklas fraksiyonlaşma yönsemeleriyle uyumluluk gösterdiği görülmektedir (Şekil 24d).



Şekil 24. a) FeO*/MgO - SiO₂ (%ağ.) diyagramı. Toleyitik ve kalk-alkalin ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'e göre. FeO* = 0.899Fe₂O₃. TH (Tholeiitic): Toleyitik, CA (Calc-alkaline): Kalk-alkalin. b) V (ppm) - TiO₂ (%ağ.), c) Dy/Yb - Dy (ppm) ve d) K/Rb'a - Rb (ppm) diyagramı. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

Örneklerde Th/Yb ve Ta/Yb oranları, kaynak alanı ve bu kayaçların gelişiminde kabuk kirlenmesinin etkisinin yorumlanmasına imkan sağlamaktadır (Pearce, 1983; Pearce vd., 1990). Gerek anklav gerekse adakitik andezitler yüksek Th/Yb oranlarına sahiptir. Anklav örneklerinde yitim zenginleşmesinden fraksiyonel kristallenme-asimilasyon yönünde bir dağılım görülürken, ana kayaçlarda fraksiyonel kristallenme süreçleri daha baskın gözlenmektedir (Şekil 25). Ayrıca, manto aralığına paralel veya yarı paralel değişimler fraksiyonel kristallenme ve Asimilasyonla beraber gelişen fraksiyonel kristallenmeyi işaret etmektedir. Nitekim, tüm örneklerin manto çizgisinden sapması, örneklerin yitim etkisiyle zenginleşmiş mantodan türemiş veya yükselimi sırasında kabuk tarafından kirlenmiş magmalardan itibaren oluştuğunu işaret etmektedir. Gözlenen bu sapma kaynak bölgesinde yitimle ilgili bir metasomatizma ile açıklanabileceği gibi, manto türevli ergiyiklere önemli ölçüde kabuksal ergiyik katılımına da işaret edebilir.



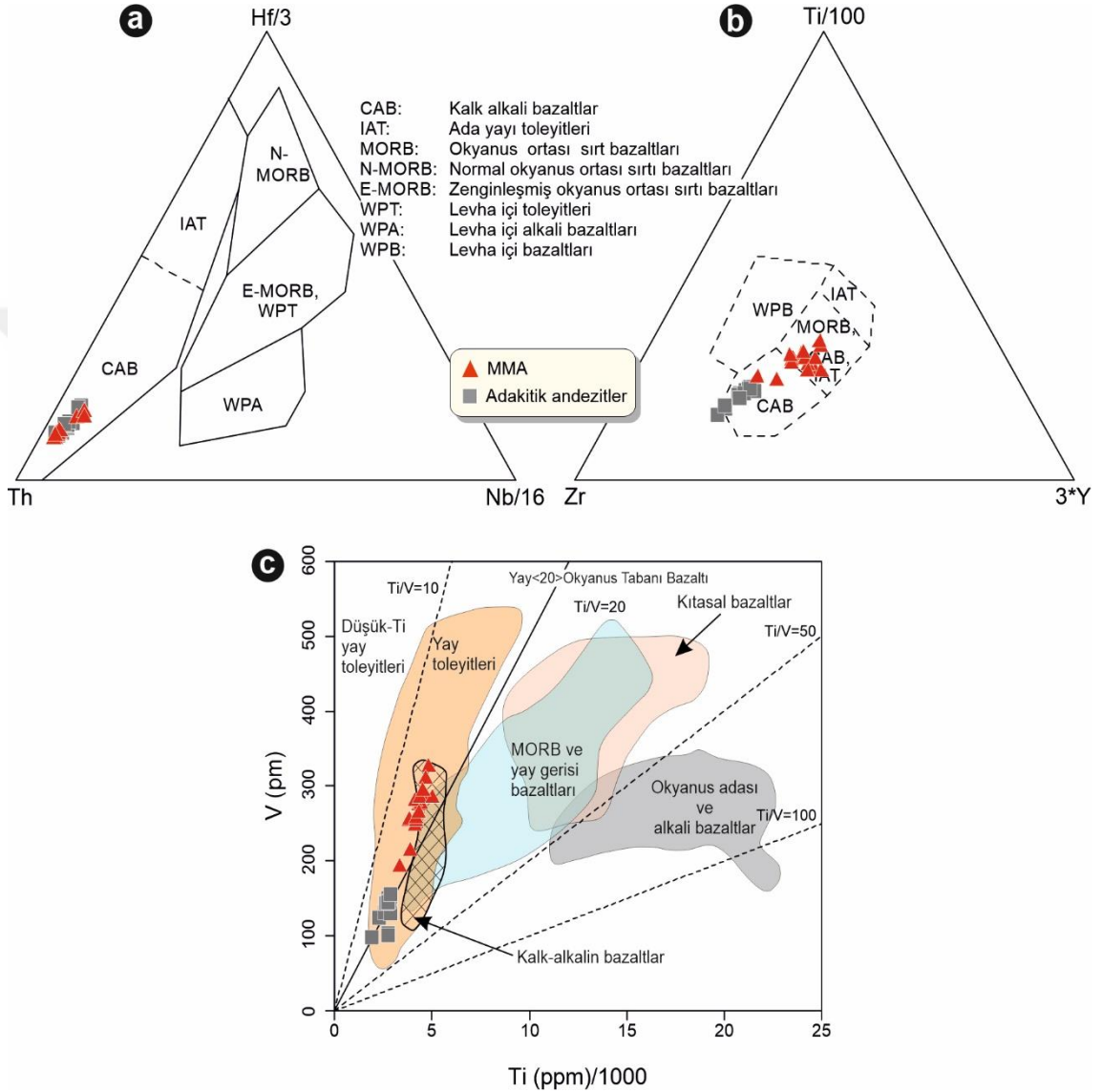
Şekil 25. Örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramı (Pearce, 1983; Pearce vd., 1990). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

4.3 Tektonik Konum

Anklavların ve ana kayaçlarının türemiş olduğu magmanın tektonik ortamlarının belirlenmesinde bazı iz elementlerin kullanıldığı diyagramlarından yararlanılmıştır.

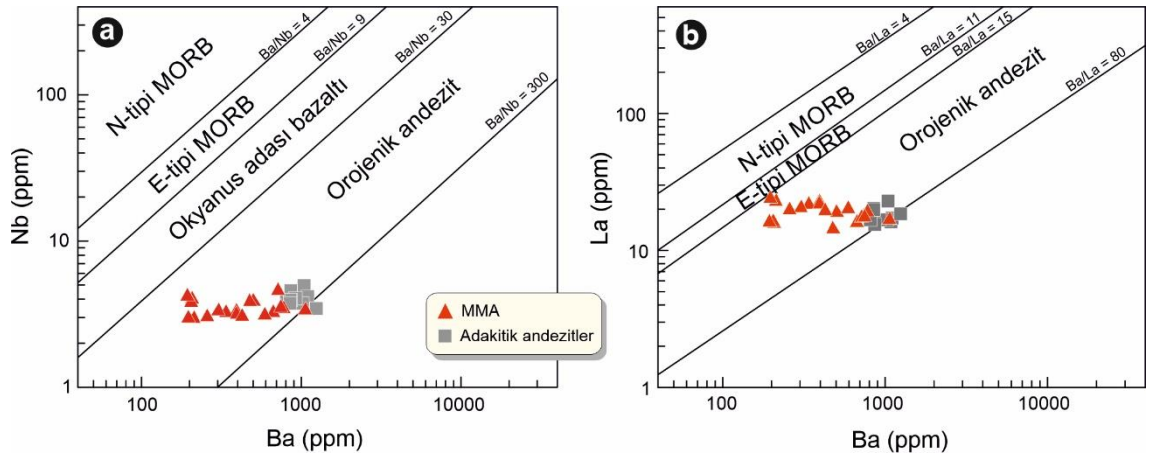
İz element içerikleri tüm örneklerin kalk-alkali bazalt (CAB) türü kayaçlarla benzerlik gösterdiğini işaret etmektedir (Şekil 26a,b). Ancak Ti, Zr ve Y element

içeriklerine göre anklav örnekleri ada yayı toleyitik ortamlarına da benzerlik göstermektedir. Yüksek alterasyon koşulları karşısında oldukça duraylı kalabilen Ti ve V elementlerine (örneğin; Shervais, 1982) göre oluşturulan tektonomagmatik ayırım diyagramında anklavlar genel olarak yay toleyitlerine, ana kayaçlar ise yay toleyitleri/kalk-alkalin bazaltlar ortamına benzer bir karakter göstermektedir (Şekil 26c).



Şekil 26. Anklavların ve ana kayaçlarının tektonik ortam ayırtman diyagramları. a) Hf/3-Th-Nb/16 (Wood, 1980) ve b) Ti/100-Zr-3*Y (Pearce ve Cann, 1973) üçgen diyagramları. c) Ti-V diyagramı (Shervais, 1982). Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)'den alınmıştır

Örneklerin Ba, Nb ve La içeriklerine bakıldığında hem anklav hem de ana kayaçların orojenik andezitlere benzerlik gösterdikleri görülmektedir (Şekil 27). Örneklerin birbirine yakın değerler sergilemesi ise aynı magmadan itibaren ayrılaştıklarını işaret etmektedir.



Şekil 27. Örneklere ait tektonik ortam diyagramları. a) Ba (ppm) – Nb (ppm) ve b) Ba (ppm) – La (ppm) diyagramları (alanlar: Perfit vd.,1980; Gill, 1981’den alınmıştır). MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları. Adakitik andezitlerin verileri Gücer (2021)’den alınmıştır

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Altınpınar (Torul, Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme veren Erken Eosen adakitik andezitler içerisindeki mafik mikrogranüler anklavların mineralojik, petrografik ve petrokimyasal verileri ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Mafik mikrogranüler anklavlar Erken Eosen yaşlı Altınpınar adakitik andezitleri içerisinde gözlenmektedir. Ana kayalar 10 km²'den az küçük mostralarda yayılım sergilemekte ve oluşumu itibarıyla Gümüşhane ve çevresinde yayılım gösteren Geç Paleosen-Erken Eosen adakitik bileşimli kayalar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.
- Mafik mikrogranüler anklavlar küreselden elipsoidal farklı şekillerde gözlenmekte ve boyutları birkaç cm ile 30 cm arasında değişmektedir. Bununla birlikte, magmanın yükselimi sırasında kenar zonlarda daha önce soğumuş lavları içerisine alarak yükselmesi sonucu oluşmuş ve ana kayaya kıyasla nispeten koyu ancak mafik anklavlara nazaran daha açık ve porfirik dokulu anklavlar da görülmektedir.
- Ana kayalar başlıca porfirik, mikrolitik porfirik, vitrofirik porfirik, nadiren ise glomeroporfirik dokulu olup esas olarak hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineral fenokristalleri ile bu minerallerin mikrokristalen ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen volkanik hamur içermektedir. Buna karşılık anklavlar daha mafik bileşimli ve ince taneli olup mineralojik olarak başlıca hornblend, plajiyoklas, klinopiroksen ve opak minerallerden meydana gelmektedir.
- Anklavlar bazalt ve bazaltik andezit bileşimde ve sub-alkalin bir magmadan itibaren türemiş, buna karşılık ana kayalar andezitik bileşimde ve kısmen de olsa alterasyondan etkilenmiştir.
- Anklavlar genel olarak orta-yüksek K'lu kalkalkalin potasik bileşime sahip iken, adakitik andezitler orta-yüksek K'lu potasik bileşim sergiler. Ana ve iz element değişimleri hem anklav hem de ana kayaların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu ve piroksen, hornblend, plajiyoklas, magnetit ve apatit ayrılaşmasının büyük ölçüde rol oynadığını göstermiştir.
- İz element paternleri, anklav ile ana kayalarının benzer bir dağılım sergilemekte ve bu durum gerek anklavların gerekse ana kayaların ana magmalarının benzer kaynaktan türemiş olabileceğini düşündürmektedir. Nadir toprak element

dağılımları gerek anklav gerekse ana kayaçlarda hornblend fraksiyonlaşmasının önemli rol oynadığını, zayıf Eu anomalileri göstermeleri (anklav $Eu/Eu^*=0.87-1.06$; ana kayaç $Eu/Eu^*=0.80-1.02$; Şekil 20b) örneklerin gelişiminde plajiyoklas ayrımlaşmasının etkili olmadığını veya çok az etkili olduğunu işaret etmektedir.

- Yüksek Sr/Y (26.36-59.10) ve La_N/Yb_N (5.11-9.21) oranları ve daha düşük Y ve Yb_N içerikleri anklavların, mantodan türemiş ve fraksiyonlaşmış kayaçlarından ziyade, yiten okyanus levhasından veya alt kıtasal kabuktan gelen bazaltların kısmi erimesiyle, ana kayaçların ise aynı ortamdan fraksiyonlaşmış adakitik kayaçlarıncilerle tutarlı olduğunu göstermektedir.
- İncelenen örneklerin ana eriyiğinin oluşumu sırasında, manto kaynağının büyük iyon yarıçaplı litofil element (LILE) içerikleri ağırlıklı olarak flogopitten ziyade amfibol tarafından kontrol edilmiştir. Gerek anklav gerekse adakitik andezitlerin Nb içerikleri manto türevli magmalara göre daha düşük olup okyanusal levhanın bazik kayaçlarına benzeyen, manto kamasından daha düşük Nb içeriğine sahip bir kaynaktan türetilmiş olabileceğini işaret etmektedir.
- Tüm örneklerde Th/Nb'nin artan Nb/Ta ile negatif korelasyonu, yitim bileşenleri tarafından farklı derecelerde modifiye edilmiş metasomatize bir manto kamasının etkileşimiyle uyumludur. Nb/Ta oranları anklavların ve adakitik andezitlerin ana magmasının muhtemelen amfibol-eklojit fasiyesi koşulları altında mafik kayaçlardan türemiş olabileceğini göstermektedir.
- Ana ve iz element oranları anklavları içeren ana kayaçların fraksiyonel kristallenme ile ayrılaştığını ve magma gelişimi sırasında hornblend fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynadığına desteklemektedir.
- İz element içerikleri genel olarak tüm örneklerin kalk-alkali bazalt (CAB) türü kayaçlarla benzerlik gösterdiğini ancak Ti, Zr ve Y element içeriklerine göre anklav örneklerinin ada yayı toleyitik ortamlarına daha çok benzediğini işaret etmektedir. Ti ve V elementlerine göre anklavlar genellikle yay toleyitlerine, ana kayaçlar ise yay toleyitleri/kalk-alkalin bazaltlar ortamına daha fazla benzerlik göstermektedir. Buna karşılık, Ba, Nb ve La içerikleri ise örneklerin orojenik andezitlere benzerlik gösterdiğini vurgulamaktadır. Örneklerin tektonomagmatik özellikleri anklav ve ana kayaçlarının aynı magmadan itibaren ayrılaştıklarını işaret etmektedir.
- Adakitik bileşimli andeitik ana kayaçlarda Gücer (2021) tarafından yaş ve radyojeniz izotop çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, anklavlarda herhangi bir

yaş veya izotop tayinleri yapılmamıştır. Dolayısıyla bunların ortaya çıkarılması, anklav ve ana kayaçların oluşum ve gelişim süreçlerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle, bu çalışmanın bir sonraki ayağının radyojenik izotop ve yaş çalışmaların oluşturması ve anklavların kristallenme/yerleşim yaşının ortaya çıkarılması önerilmektedir. Buna ilaveten Doğu Sakarya Zonunda (KD Türkiye) yüzeyleme vermiş bir çok adakitik veya adakit benzeri intrüzif ve ekstrüzif kayaçlar gözlenmekte olup içerdikleri anklavların petrokimyasal olarak irdelenerek benzerlikleri ve/veya farklılıkları ortaya konulabilir.



KAYNAKÇA

- Adamia, S. A., Lordkipanidze, M. B. ve Zakariadze, G. S. (1977). Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of Caucasus. *Tectonophysics*, 40, 183-199.
- Akaryalı, E. (2016). Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn±Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). *Ore Geology Reviews*, 74, 1-14.
- Akıncı, Ö. T. (1984). *The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits*. J. E. Dixon ve A. H. F. Robertson (Der.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean içinde (ss. 415-428). Geological Society, London, Special Publications, 17.
- Aliyazıcıoğlu, İ. (1999). *Kale (Gümüşhane) yöresi volkanik kayaçlarının petrografik, jeokimyasal ve petrolojik incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P. ve Satır, M. (2008). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of Paleocene plagioclites from the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 105, 149-161.
- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D. ve 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, 113–142.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H. (1997). Geochemistry and petrogenesis of the eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey. *Chemie der Erde*, 57, 157-187.
- Aslan, Z. (2010). U–Pb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 187(3), 329–346.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A. (2014). K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 108, 245-267.

- Aydınçakır, E. (2012). *Borçka (Artvin, KD-Türkiye) yöresi tersiyer volkanitlerinin petrografisi, jeokimyası ve petrojenezi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Aydınçakır, E. (2014). The petrogenesis of Early Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on the geodynamic implications. *Lithos*, 208-209, 361-377.
- Aydınçakır, E. (2016). Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: Constraints on geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 28(4), 379-411.
- Aydınçakır, E. (2017). Taşlıyayla (Çaykara, Trabzon, KD Türkiye) civarı Geç Kretase yaşlı kalk-alkali volkanik kayaçların petrografik ve jeokimyasal özellikleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 51-78.
- Aydınçakır, E., Yücel, C., Ruffet, G., Gücer, M. A., Akaryalı, E. ve Kaygusuz, A. (2022). Petrogenesis of post-collisional Middle Eocene volcanism in the Eastern Pontides (NE, Turkey): Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd-Pb isotopes, zircon U-Pb and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Geochemistry*, 82(2), 125871.
- Aydin, F. (2014). Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Maçka subvolcanic intrusions: Implications for the late Cretaceous magmatic and geodynamic evolution of the Eastern Part of the Sakarya Zone, Northeastern Turkey. *International Geology Review*, 56(10), 1246-1275.
- Bektaş, O. ve Gedik, İ. (1988). A new formation with leucitebearing shoshonitic volcanism in the Kop area (Everekhanları Formation) and its relationship with the evolution of the eastern Pontide arc, NE, Turkey. *Geological Society of Turkey Bulletin*, 31, 11-19.
- Bourdon, E., Eissen, J. P., Monzier, M., Robin, C., Martin, H., Cotton, J. ve Hall, M. (2002). Adakite-like lavas from Antisana volcano (Ecuador): Evidence for slab melts metasomatism beneath the andean north volcanic zone. *Journal of Petrology*, 43, 199-217.
- Boynton, W.V. (1984). *Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies*. P. Henderson (Der.), Rare Earth Element Geochemistry içinde (ss. 63-114). Amsterdam: Elsevier.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R. C., Wagner, G. A. ve Yeğingil, Z. (2004). Slow Senonian and fast Paleocene-Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. *Tectonophysics*, 382, 213-228.

- Calmus, T., Aguilon-Robles, A., Maury, R. C., Bellon, H., Benoit, M., Cotten, J., Bourgois, J. ve Michaud, F. (2003). Spatial and temporal evolution of basalts and magnesian andesites (bbajaitesQ) from Baja California, Mexico: the role of slab melts. *Lithos*, 66, 77-105.
- Castillo, P. R. (2006). An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, 51 (3), 257-268.
- Cawthorn, R. G. ve O'Hara, M. J. (1976). Amphibole fractionation in calcalkaline magma genesis. *American Journal of Science*, 276, 309-329.
- Condie, K. C. (2005). TTGs and adakites: Are they both slab melts?. *Lithos*, 80 (1), 33-44.
- Conticelli, S. ve Peccerillo, A. (1992). Petrology and geochemistry of potassic and ultrapotassic volcanism in central Italy: petrogenesis and inferences on the evolution of the mantle sources. *Lithos*, 28, 3-6, 221-240.
- Çamur, M. Z., Güven, T. B. ve Er, M. (1996). Geochemical characteristics of the eastern Pontide volcanics: An example of multiple volcanic cycles in arc evolution. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 123-144.
- Çoğulu, E. (1975). *Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü*. Yayımlanmamış doçentlik tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Defant, M. J., Jackson, T. E., Drummond, M. S., De Boer, J. Z., Bellon, H., Feigenson, M. D., Maury, R. C. ve Stewart, R. H. (1992). The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview. *Journal of the Geological Society*, 149, 569-579.
- Defant, M. J. ve Drummond, M. S. (1990). Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347, 662-665.
- Didier, J. (1973). *Granite and their enclaves: The bearing of enclave on the origin of granites*. Development in Petrology, Elsevier, Amstredam.
- Didier, J. ve Barbarin, B. (1991). *The different type of enclaves in granites: Nomenclature*. J. Didier ve B. Barbarin (Der.), Enclaves in Granite Petrology içinde (ss. 19-23). Amsterdam: Elsevier.
- Dokuz, A. (2011). A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides: The Köse composite Pluton. *Gondwana Research*, 19, 926-944.
- Dokuz, A. ve Tanyolu, E. (2006). Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic

- rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Arvin), NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 181-209.
- Dokuz, A., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Karşlı, O., Siebel, W., Derman, A.S., Turan, M. (2017a). Late Jurassic Magmatism and Stratigraphy in the Eastern Sakarya Zone, Turkey: Evidence for the Slab Breakoff of Paleotethyan Oceanic Lithosphere. *The Journal of Geology*, 125, 1-31.
- Dokuz, A., Külekçi, E., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Cihat Alçiçek, M., Pecha, M.E. ve Sünnetçi, K. (2017b). Cordierite-bearing strongly peraluminous Cebre Rhyolite from the eastern Sakarya Zone, NE Turkey: Constraints on the Variscan Orogeny. *Lithos*, 278-281, 285-302.
- Dokuz, A., Uysal, İ., Meisel, W., Turan, M., Duncan, R. ve Akçay, M. (2013). Post-collisional adakitic volcanism in the eastern part of the Sakarya Zone, Turkey: evidence for slab and crustal melting. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 1443-1468.
- Eğin, D., Hirst, D. M. ve Phillips, R. (1979). The petrology and geochemistry of volcanic rocks from the northern Harşit river area, Pontid Volcanic Province, Northeast Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 6, 105-123.
- Eyüboğlu, Y. (2010). Late Cretaceous high-K volcanism in the eastern Pontide orogenic belt, and its implications for the geodynamic evolution of NE Turkey. *International Geology Review*, 52, 142-186.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M. ve Chung, S. L. (2011). Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust–mantle transition zone: Petrology, geochemistry and U-Pb zircon chronology of the Seme adakites, eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 121, 151-166.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F. O., Akaryalı, E., Chung, S. L., Akdağ K. ve Bektaş, O. (2013). The nature of transition from adakitic to non-adakitic magmatism in a slab window setting: A synthesis from the eastern Pontides, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, 4, 353-375.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Bektaş, O. ve Kwon, S. (2012). Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt and revised geodynamic model for the late Cenozoic evolution of eastern Mediterranean region. *Lithos*, 146-147, 218-232.
- Foley, S., Tiepolo, M. ve Vannucci, R. (2002). Growth of the early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature*, 417, 837-840.

- Fujimaki, H., Tatsumoto, M. ve Aoki, K. (1984). Partition coefficients of Hf, Zr, and ree between phenocrysts and groundmasses. *Journal of Geophysical Research*, 89(S02), B662–B672.
- Furman, T. ve Graham, D. (1999). Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: Geochemical evidence from the Kivu volcanic province. *Lithos*, 48, 237-262.
- Gao, Y., Hou, Z., Kamber, B. S., Wei, R., Meng, X. ve Zhao, R. (2007). Adakite-like porphyries from the southern Tibetan continental collision zones: Evidence for slab melt metasomatism: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153, 105-120.
- Gill, J. B. (1981). *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin, Springer-Verlag.
- Göncüoğlu, M. C. (2010). Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. MTA Genel Müdürlüğü Monografi Serisi No: 5, Ankara.
- Gücer, M. A. (2018). Pre-eruption crystallization conditions of calc-alkaline andesitic magmas at the Altınpınar (Gümüşhane, NE Turkey) Eocene volcanism in the eastern Pontides. Proc. of the International Conference on Multidisciplinary, Engineering, Science, Education and Technology, 25-27 October, 2018, Dubai, Dubai-United Arab Emirates: Eds: Ç. Ağayeva, A. Farzamnina, A. Doğan, İ. Alacabey, J. Rahebi and N. Gültekin, ss. 1-10.
- Gücer, M. A. (2021). Origin, petrogenesis and geodynamic implications of the early Eocene Altınpınar adakitic andesites in the eastern Sakarya Zone, northeastern Turkey. *Geochemistry*, 81(2), 125766.
- Gücer, M. A. ve Sarı, E. (2021). Karbonifer Pamuktaş Plütunu'nun Petroğrafisi, Jeokimyası ve Petrolojik Özellikleri, Bayburt (KD Türkiye). *Yerbilimleri*, 42(1), 85-120.
- Gücer, M. A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Akaryalı, E. (2017). Tersiyer yaşlı Altınpınar hornblendli andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) petroğrafisi, mineral kimyası ve P-T kristalleşme koşulları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 7(2), 236-267.
- Gülmez, F. ve Genç, S. C. (2015). Amasya civarı Geç Kretase yaşlı ultrapotasik volkaniklerinde farklılaşma süreçleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 151, 153–172.
- Güven, İ. H. (1993). Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu. MTA, Ankara.

- Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M. ve McDermott, F. (1993). Trace element fractionation processes in the generation of island arc basalts. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 342(1663), 179-191.
- Irvine, T. N. ve Baragar, W. R. A. (1971). A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Iwaya, S. ve Horiuchi, M., (1976). Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration haloes. *Mining Geology*, 26, 105–117.
- Janoušek, V., Farrow, C. M. ve Erban, V. (2006). Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47(6), 1255-1259.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C. (2009). Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 586-598.
- Karlı, O., Caran, Ş., Çoban, H., Şengün, F., Tekkanat, O. ve Andersen, T. (2020). Melting of the juvenile lower crust in a far-field response to roll-back of the southern Neotethyan oceanic lithosphere: the Oligocene adakitic dacites, NE Turkey. *Lithos*, 370-371, 105614.
- Karlı, O., Dokuz, A. ve Kandemir, R. (2016). Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlik and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology. *Lithos*, 266, 98-114.
- Karlı, O., Dokuz, A., Kandemir, R., Aydın, F., Schmitt, A. K., Ersoy, E. Y. ve Alyıldız, C. (2019). Adakitic parental melt generation by partial fusion of the juvenile lower crust, Sakarya Zone, NE Turkey: a far-field response to break-off of the southern Neotethyan oceanic lithosphere. *Lithos*, 338-339, 58-72.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydın, F., Kandemir, R. ve 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, 109-120.
- Karlı, O., Uysal, I., Ketenci, M., Dokuz, A., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, R. J. (2011). Adakite-like granitoid porphyries in Eastern Pontides, NE Turkey: potential parental melts and geodynamic implications. *Lithos*, 127, 354-372.

- Kaygusuz, A. (2000). *Torul ve çevresinde yüzeylenen kayaçların petrografik ve jeokimyasal incelenmesi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kaygusuz, A. (2020). Geochronological age relationships of Carboniferous Plutons in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 9(1), 1299-1307.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E. (2009). Mineralogy, Whole-Rock and Sr–Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı Granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: Evidence of magma mixing, mingling and chemical equilibration. *Chemie der Erde*, 69, 247-277.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E. (2011). U–Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr–Nd isotopic compositions of Cretaceous plutons in the eastern Pontides (NE Turkey): The Dağbaşı pluton. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 188, 3, 211-233.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C. (2011). Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U–Pb zircon ages, geochemical and Sr–Nd isotopic compositions. *Chemie der Erde*, 71, 59-75.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C. (2011). Geochemical and Sr Nd isotopic characteristics of post collisional calc alkaline volcanics in the Eastern Pontides NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 1(20), 137–159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N. (2012). Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Review*, 54 (15), 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ. (2016). U–Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327–346.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B. ve Aydınçakır, E. (2013). Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4, 423-438.
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Aydınçakır, E., Gücer, M. A. ve Ruffet, G. (2022). ^{40}Ar – ^{39}Ar dating, whole-rock and Sr–Nd isotope geochemistry of the Middle Eocene calc-alkaline volcanic rocks in the Bayburt area, Eastern Pontides (NE Turkey):

- Implications for magma evolution in an extension-related setting. *Mineralogy and Petrology*, 116(5), 379-399.
- Kazmin, V. G., Sbertshikov, I. M., Ricou, L. E., Zonenshain, L. P., Boulin, J. ve Knipper, A. I. (1986). Volcanic belts as marker of the Mesozoic-Cenozoic evolution of Tethys. *Tectonophysics*, 123, 123-152.
- Kırmacı, Z. (1992). *Alucra-Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki (Doğu Pontid Güney Zonu) Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşı'nın sedimentolojik incelemesi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Korkmaz, S., Tüysüz, N., Er, M., Musaoğlu, A. ve Keskin, İ. (1995). Stratigraphy of the Eastern Pontides, NE-Turkey. *Geology of the Black Sea Region*, MTA, Ankara, 59-69.
- Lacroix, A. (1890). Sur les enclaves acides des roches volcaniques d' Auvergne. *Bulletin du Service de la carte géologique de la France*, 2, 25-56.
- Lacroix, A. (1890). Sur les enclaves acides des roches volcaniques d' auvergne. *Bulletin du Service de la carte géologique de la France*, 2, 25-56.
- Large, R. R., Allen, R. L., Blake, M. D. ve Herrmann, W. (2001). Hydrothermal Alteration and Volatile Element Halos for the Rosebery K Lens Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Western Tasmania. *Economic Geology*, 96, 1055-1072.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. ve Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- LeMaitre, R. W. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.
- Martin, H. (1999). Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46, 411-429.
- Martin, H., Smith, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F. ve Champion, D. (2005). An overview of adakite, tonalite-trondjemite-granodiorite (TTG), and sanitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79, 1-24.
- Maury, R. C., Sajona, F. G., Pubellier, M., Bellon, H. ve Defant, M. J. (1996). Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes: l'exemple de Mindanao (Philippines). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167, 579-595.

- Münker, C., Wörner, G., Yogodzinski, G. ve Churikova, T. (2004). Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constraints from Kamchatka-Aleutian arc lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 224, 3-4, 275-293.
- Nesbitt, H. W. ve Young, G. M. (1982). Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites. *Nature*, 199, 715-717.
- Okay, A. İ. (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A. İ. ve Şahintürk, Ö. (1997). *Geology of the Eastern Pontides*. A. G. Robinson (Der.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region içinde (ss. 291-311). Boulder, Tulsa: AAPG Bulletin.
- Okay, A. İ. ve Tüysüz, O. (1999). Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. *Geological Society*, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Pearce, J. A. (1983). *The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins*. C. J. Hawkesworth ve M. J. Norry (Der.), Continental basalts and mantle xenoliths içinde (ss. 230-249). Cheshire: Shiva Publishing.
- Pearce, J. A. ve Cann, J. R. (1973). Tectonic Setting of Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. *Earth Planet. Science Letter*, 19, 290-300.
- Pearce, J. A. ve Peate, D. W. (1995). Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., De Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. ve Mitchell, J. J. (1990). Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229.
- Peccerillo, A. ve Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63-81.
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) Güneydogu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi*, KTÜ Yayınları, 87, 103s, Trabzon.
- Robinson, A. G., Banks, C. J., Rutherford, M. M. ve Hirst, J. P. P. (1995). Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Geological Society of London*, 152, 861-872.
- Rogers, G., Saunders, A. D., Terrell, D. J., Verma, S. P. ve Marriner, G. F. (1985). Geochemistry of Holocene volcanic rocks associated with ridge subduction in Baja California, Mexico. *Nature*, 315, 389-392.

- Romick, J. D., Kay, S. M. ve Kay, R. W. (1992). The influence of amphibole fractionation on the evolution of calc-alkaline andesite and dacite tephra from the central Aleutians, Alaska. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 112, 1, 101-118.
- Saydam Eker, Ç. ve Korkmaz, S. (2006). Doğu Karadeniz Bölgesinde Geç Kretase yaşlı kırıntılı çökellerin sedimantoiojik ve sedimanter petrografik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49(1), 25-48.
- Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ. ve Sipahi, F. (2016). Organic geochemistry and element distribution in coals formed in Eocene lagoon facies from the Eastern Black Sea Region, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 467-489.
- Shervais, J. W. (1982). Ti-V Plots and the Petrogenesis of Modern and Ophiolitic Lava. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 101-118.
- Sipahi, F. (2017). Kalınçam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) yöresi Geç Kretase yaşlı volkanitlerin jeokimyası ve petrojenezi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 102-127.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B. (2014). Geochemistry of dacitic volcanics in the Eastern Pontides NE Turkey. *Geochemistry International*, 52, 4, 296-315.
- Sipahi, F., Gücer, M. A. ve Sadıklar, M. B. (2020). Nature of clays in Late Cretaceous dacitic rocks in the eastern Sakarya Zone (NE Turkey): A geochemical and isotopic approach. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(6), 831-852.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A. ve Akpınar, İ. (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: the Eğrikar Monzogranite example. *International Geology Review*, 60(3), 382-400.
- Stern, C. R. ve Kilian, R. (1996). Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 123 (3), 263-281.
- Sun, S. ve McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42, 313-345.
- Şen, C. (2007). Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift Related or Subduction Related?. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.

- Taşlı, K. (1990). *Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat istiflerinin stratigrafisi ve mikropaleontolojik incelemesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Taylor, S. R. ve McLennan, S. M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford, U.K.: Blackwell Scientific Publications.
- Taylor, S. R. ve McLennan, S. M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241–265.
- Temizel, I., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z. (2020). Eocene tonalite-granodiorite from the Havza (Samsun) area, northern Turkey: adakite-like melts of lithospheric mantle and crust generated in a post-collisional setting. *International Geology Review*, 62, 1131-1158.
- Thirlwall, M. F., Smith, T. E., Graham, A. M., Theodorou, N., Hollings, P. ve Davidson, J.P. (1994). High Field Strength Element Anomalies in Arc Lavas: Source or Processes. *Journal of Petrology*, 35, 819-838.
- Tokel, S. (1972). *Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region (Ne Turkey)*. Yayımlanmamış doktora tezi, University College London, London.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Wemer, O. ve Schwarz, W. H. (2004). Aluminous granulites from the Pulur complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization. *Lithos*, 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W. H., Dokuz, A. ve Meyer, H. P. (2007). Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W. H., Siebel, W., Satır, M. ve Dokuz, A. (2005). Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 441-455.
- Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W. H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Satır, M. ve Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos*, 116, 92-110.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H. F. A. (2010). Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia. *Geological Society, London, Special Publications*, 340, 281-327.

- Wang, K. -L., Chung, S. -L., O'reilly, S. Y., Sun, S. -S., Shinjo, R. ve Chen, C. -H. (2004). Geochemical Constraints for the Genesis of Post-collisional Magmatism and the Geodynamic Evolution of the Northern Taiwan Region. *Journal of Petrology*, 45(5), 975-1011.
- White, A.R. ve Chappell, B.W. (1977). Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, 43, 7-22.
- Winchester, J. A. ve Floyd, P. A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- 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 Planet Science Letter*, 50, 11-30.
- Yılmaz, C. (2002). Gümüşhane-Bayburt yöresindeki mesozoyik havzalarının tektono-sedimentolojik kayıtları ve kontrol etkenleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45(1), 141-165.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genc, Ş. C. ve Şengör, A. M. C. (1997). *Geology and tectonics of the Pontides*. A. G. Robinson (Der.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region içinde (ss. 183-226), Boulder, Tulsa: AAPG Memoirs.
- Yücel, C. (2017). Akçaabat (Trabzon) güneyi ve çevresindeki Kampaniyen yaşlı volkanik kayaların petrografisi, jeokimyası, jeokronolojisi ve petrojenezi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 79-101.
- Yücel, C. (2019). Geochronology, geochemistry, and petrology of adakitic Pliocene-Quaternary volcanism in the Şebinkarahisar (Giresun) area, NE Turkey. *International Geology Review*, 61(6), 754-777.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu Yazar, E. (2014). Volcanic facies and mineral chemistry of Tertiary volcanics in the northern part of the Eastern Pontides northeast Turkey implications for pre eruptive crystallization conditions and magma chamber processes. *Mineralogy and Petrology*, 108, 3, 439-467.
- Zhao, Z. D., Mo, X. X., Dilek, Y., Niu, Y. L., DePaolo, D. J., Robinson, P., Zhu, D. C., Sun, C. G., Dong, G. C., Zhou, S., Luo, Z. H. ve Hou, Z. Q. (2009). Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic compositions of the post-collisional ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and implications for India intra-continental subduction beneath southern Tibet. *Lithos*, 113, 190-212.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğretimini Mehmetçik İlköğretim Okulu'nda ve orta öğretimini Atatürk Anadolu Lisesi'nde olmak üzere farklı şehirlerde sürdürerek 2010 senesinde mezun oldu. Aynı sene Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi-Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü derece ile kazarak lisans öğrenimine başladı.

Lisans öğrenimi süresince birçok ülkeyi gezme fırsatı bularak, ayrımcılıktan ve yargılayıcılıktan uzak kültürel deneyimi geniş bir kişilik kazandı. Aynı zamanda da gerek seyahat ettiği ülkelerin kendisinde oluşturduğu katmadeğer sayesinde, gerekse yabancı dil gelişimi noktasında aldığı akademik eğitimler vesilesiyle profesyonel yetkinlik derecesinde İngilizce, orta-ileri derecede Almanca ve Arapça dillerinde okur yazarlık yetkinliği kazandı.

2018 senesinde lisans öğreniminden mezun olarak aynı yıl profesyonel iş hayatına başladı ve bu süreçte maden arama ve geliştirme alanında deneyim kazanarak yurtiçinde ve yurtdışında, literatüre geçen pek çok önemli projelerde yer aldı.

Türkiye'nin ilk altın rafinerisi olan İstanbul Altın Rafinerisi'nde kıdemli arama jeoloğu pozisyonunda proje yöneticiliği görevi üstlendi. İlerleyen senelerde İzmir Ticaret Odası'na bağlı olarak Deputy Manager görevinde bulundu.

2021 senesinde Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

GÜNER, Saudia Arabia Krallığı'nda 500 milyar \$ değerlemesi olan bir dizi projede kıdemli proje yöneticisi pozisyonunda çalışmalarını başarı ile sürdürmektedir.