



Yerbilimleri, 2019, 40 (3), 293-325, DOI: 10.17824/yerbilimleri.633036
Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni
Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Zigana Dağı (Gümüşhane, KD Türkiye) Dayklarının Jeokimyası ve Jeolojik Anlamı

Geochemistry of the Zigana Mountain (Gümüşhane, NE Turkey) Dykes and Their Geological Meaning

FERKAN SİPAHİ ^{*1}, MEHMET ALİ GÜCER ¹, MÜNÜR BURHAN SADIKLAR ²

¹ Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100 Gümüşhane

² Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

Geliş (received): 15Ekim (October) 2019

Kabul (accepted) : 5 Aralık (December) 2019

ÖZ

Eski bir magmatik yay olan Doğu Karadeniz Bölgesi (Pontidler) Sakarya Zonu içinde yer alan andezit ve porfirik dasit daykları Geç Kretase yaşlı volkanitleri kesmektedir. Andezit ve porfirik dasit daykları porfirik doku sergilemektedir. Andezitler başlıca plajiyoklas ve ojit minerallerinden ibaret olup, plajiyoklaslar elek dokusu ve polisentetik ikizlenme göstermektedir. Ojit minerallerinin kenar kısımlarında opak mineral oluşumları yaygındır. Porfirik dasitler ise kuvars, plajiyoklas, amfibol ve biyotit minerallerinden oluşmakta olup, kuvars kristallerinin kenarları kısmen yenmiştir. Plajiyoklaslar yaygın olarak serizitleşmiş, daha az oranda kalsitleşmiştir. Amfiboller hidrotermal ayrışma sonucu klorit, karbonat (kalsit ve ankerit) ve opak minerallere, biyotitler ise genel olarak kloritlere dönüşmüştür. Ana oksit ve iz element değişim diyagramlarındaki düzgün yönsemeleri ve mineral ayrışma diyagramlarındaki

10.17824/yerbilimleri.633036



Ferkan SİPAHİ ferkansipahi@gmail.com

¹ Gümüşhane Üniv.Müh.ve Doğa Bil.Fak.Jeol.Müh.Böl. 29100 Gümüşhane ORCID 0000-0002-4072-4834

² Gümüşhane Üniv.Müh.ve Doğa Bil.Fak.Jeol.Müh.Böl. 29100 Gümüşhane ORCID 0000-0002-9075-3350

³ Karadeniz Tek.Üniv. Müh.Fak., Jeoloji Müh.Böl. 61080 Trabzon ORCID 0000-0002-1231-1362

durumları, daykların gelişiminde fraksiyonel kristalleşmenin etkili olduğunu göstermektedir. Plajiyoklas ve ojit ayrılaşmasının andezit daykların gelişiminde, hornblend ve plajiyoklas ayrılaşmasının ise porfirik dasitlerin gelişiminde etkili olduğu belirlenmiştir. Zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltlara (Z-OOSB) göre normalleştirilmiş iz element diyagramında negatif Nb, P₂O₅ ve TiO₂ anomalileri olup, büyük iyon çaplı elementler (BİYE) yüksek çekim alanlı elementlere (YÇAE) nazaran daha fazla zenginleşmiştir. Düşük Nb/U ile yüksek La/Nb ve Th/Nb oranları, andezit ve porfirik dasit dayklarının kıtasal kabuk kirlenmesinden etkilendiğini belirtmektedir. Sonuç olarak, daykların yay ortamında, Geç Kretase sonlarına doğru benzer kökenli ve yitim ilişkili metasomatize olmuş bir manto kaynağından türemiş oldukları düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dayk, Zigana (Gümüşhane), Geç Kretase, Jeokimya, KD-Türkiye.

ABSTRACT

The andesite and porphyritic dacite dykes in the Sakarya Zone of the Eastern Black Sea Region (Pontides), an ancient magmatic arc, cut through the Late Cretaceous volcanic rocks. Andesite and porphyritic dacite dykes show porphyritic texture. Andesites consist mainly of plagioclase and augite minerals and plagioclases show sieve texture and polysynthetic twinning. Opaque mineral formations are common on the marginal parts of augite minerals. Porphyritic dacites consist of quartz, plagioclase, amphibole and biotite minerals and the edges of quartz crystals are partially corroded. Plagioclases are commonly sericitized and less calcitized. As a result of hydrothermal alteration, amphibole decomposed to chlorite, carbonate (calcite and ankerite) and opaque minerals, and biotite to chlorite. The uniform orientations in the main oxide and trace element exchange diagrams and the states in the mineral separation diagrams show that fractional crystallization is effective in the development of dykes. It was determined that plagioclase and augite differentiation was effective in the development of andesite dykes, and hornblende and plagioclase differentiation in the development of porphyritic dacites. In the normalized trace element diagram according to enriched mid-ocean ridge basalts (E-MORB), there are negative Nb, P₂O₅ and TiO₂ anomalies, and large ion-diameter elements (LILE) are more enriched than high-gravity elements (HFSE). LowNb/U and high La/Nb and Th/Nb ratios indicate that andesite and porphyritic dacite dykes are affected by continental crust contamination. As a result, it

is thought that the dikes are derived from a metasomatized mantle source, a similar origin and related to subduction, towards the end of Late Cretaceous in the arc environment.

Keywords: *Dyke, Zigana (Gümüşhane), Late Cretaceous, geochemistry, NE-Turkey.*

GİRİŞ

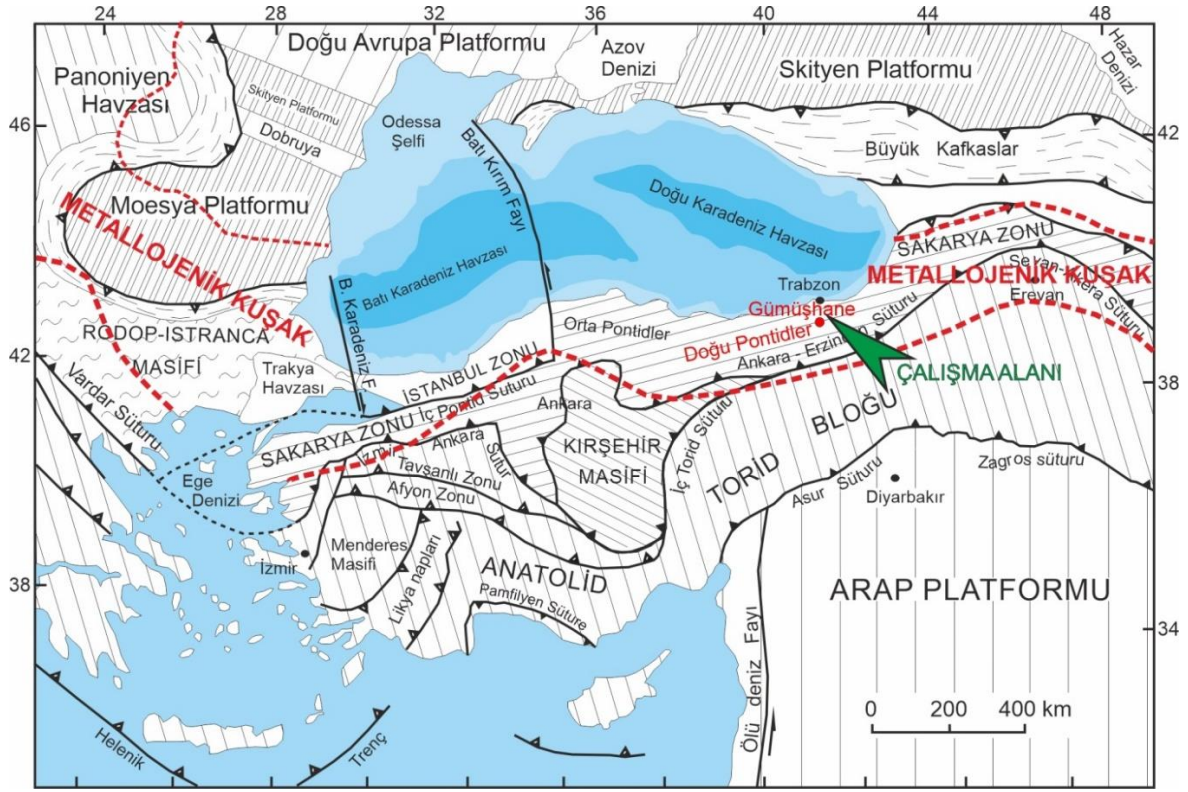
Zigana Dağı (Gümüşhane), Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Alp-Himalaya Dağ silsilesinin üzerinde olan Doğu Karadeniz Dağları üzerinde bulunmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi (Doğu Pontidler) zengin maden yatakları içermesi, tektoniği ve jeolojisi açısından günümüze kadar bir çok araştırmacının (Adamia vd., 1977; Pejatoviç, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Özsayar vd., 1981; Akıncı, 1984; Bektaş vd., 1984; Dokuz, 2011; Sipahi, 2011, 2017, 2019; Sipahi ve Sadıklar, 2010, 2014 Saydam Eker vd., 2012; Sipahi vd., 2014, 2017, 2018; Kaygusuz vd., 2013, 2014, 2016; Aydınçakır, 2016; Gücer vd., 2017; vs.) ilgisini çekmiştir. Jura'dan Tersiyer'e kadar etkin denizaltı volkanizmasıyla karakterize bir ada yayı özelliği gösteren bölge, volkanizma eşlikli masif sülfid, porfiri bakır, epitermal damar ve skarn tipte maden yatakları içermektedir (Sipahi ve Sadıklar, 2010; Sipahi, 2011, 2019; Eyüboğlu vd., 2014; Akaryalı, 2016; Akbulut ve Akaryalı, 2016; Sipahi vd., 2017). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Karbonifer'den Eosen'e kadar değişik seviyelerdeki magmatik kayalar kesen çok sayıda dayklar bulunmakla birlikte, bunlar şimdiye kadar sadece petrografik olarak incelenmiş olup jeokimyasal olarak ele alınmamıştır. Dolayısıyla bölgede bulunan daykların jeokimyasal anlamı ve önemi araştırılmamıştır.

Zigana Dağı ve civarında yüzlek veren Geç Kretase yaşlı volkanitler (bazalt, andezit, dasit-I ve dasit-II) çok sayıda dayk tarafından kesilmekte olup, genellikle dasit ve andezit bileşimlidir. Bu çalışma kapsamında, Geç Kretase yaşlı volkanitleri kesen dayklar, jeokimyasal olarak irdelenmiş ve bölgenin jeolojik evrimindeki yerinin araştırılması hedeflenmiştir.

BÖLGENİN VE ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

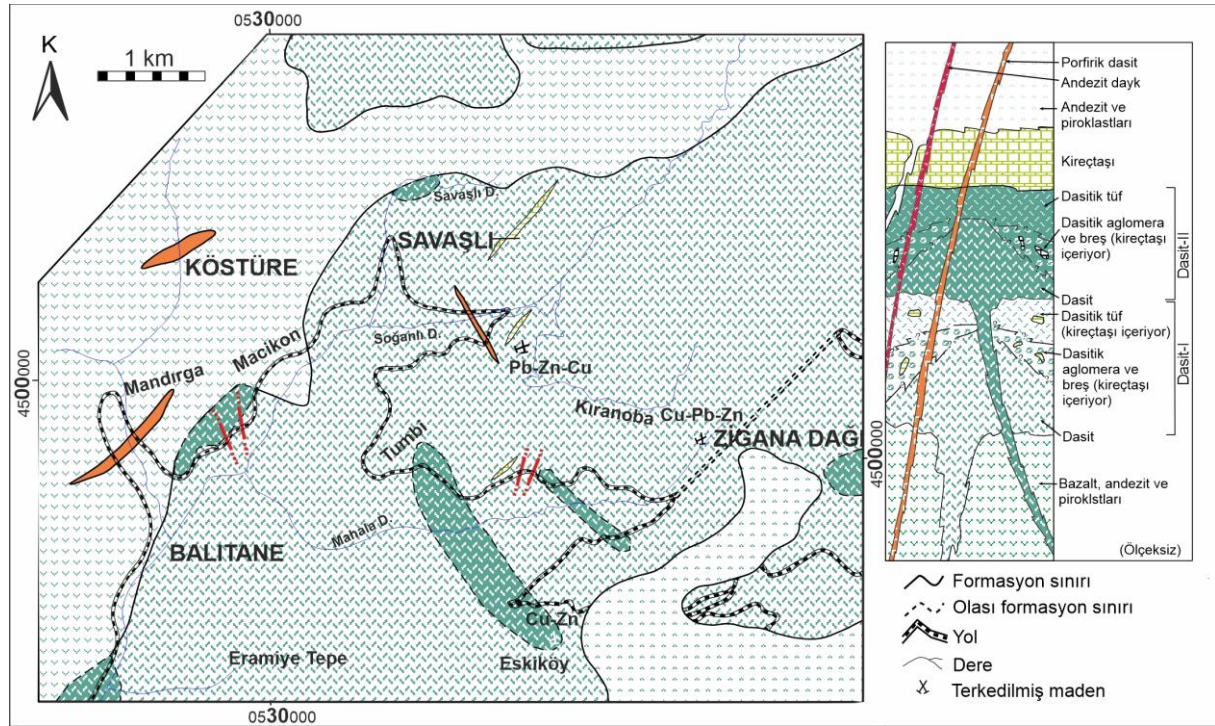
Eski bir magmatik yayı temsil eden Doğu Karadeniz Bölgesi (Pontidler), Sakarya Zonu içinde yer almaktadır (Okay ve Tüysüz, 1999). Pontidler, Jura öncesi temel birimlerdeki farklılıklara göre batı, orta ve doğu olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şekil 1). Alpin orojenezi süresince Torid-Anatolid ile Avrasya plakasının çarpışmasından etkilenmiş olan bölge, Neo-Tetisin kenarları boyunca gelişen magmatizmanın izlerini taşımaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Doğu Pontidler farklı magmatik, tektonik ve sedimantolojik evrim aşamalarına göre kuzeyden güneye doğru Kuzey, Güney ve Eksen zonları olmak üzere üç alt birliğe ayrılmıştır (Bektaş vd., 1995). Bölgede ilki Erken Jura'da başlayan ve bazik volkanitleri oluşturan üç ana volkanik evre ayırt edilmiştir (Arslan vd., 1997). Çalışma alanını da içine alan Kuzey zon genellikle Geç Kretase (Arslan vd., 1997; Sipahi, 2005, 2017; Kaygusuz vd., 2014; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Sipahi vd., 2014, 2018), Eosen (Arslan vd., 1997; Temizel vd., 2012; Aydınçakır, 2014; Sipahi vd., 2017; Gücer vd., 2017) ve Neojen (Aydın vd., 2008) kayaları ile temsil edilmekle birlikte, bu zonun temel birimlerini, küçük mostralarda halinde yüzlek veren, Karbonifer yaşlı granitoidler oluşturmaktadır (Kaygusuz vd., 2012, 2016). Liyas'dan Erken Kretase sonuna kadar devam eden bazik volkanizmanın ürünleri granitik kayalar tarafından kesilmektedir. Liyas yaşlı kayalar üzerinde, Geç Jura - Erken Kretase yaşlı karbonatlar (Berdiga Formasyonu) mercek ya da iri bloklar şeklinde bulunmaktadır. Doğu Karadeniz'in Kuzey ve Güney zonlarında, Kretase süresince stratigrafi ve magmatizma açısından bazı farklılıklar belirtilmekte olup, Kuzey zonda özellikle magmatitler yaygın iken, Güney zonda genellikle sedimanter kayalar egemenlik sunmaktadır (Bektaş vd., 1984).

Zigana Dağı civarında Geç Kretase yaşlı birimler genellikle bazalt, andezit ve dasitlerden oluşmaktadır. Bimodal karakterde ve volkanik yay ortamlarında gelişmiş dasitler dasit-I (illit: 78.7 ± 2.3 My) ve dasit-II (illit: 75.3 ± 2.4 My) olarak adlandırılmıştır (Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2014). Geç Kretase sonlarına doğru volkanitler, iri kuvarslı porfirik dasit ve andezit daykları tarafından kesilmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Türkiye'nin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999) ve çalışma alanının konumu.

Figure 1. Tectonic map of Turkey (Okay and Tüysüz, 1999) and the location of the study area.



Şekil 2. İnceleme alanının detaylı jeoloji haritası ve stratigrafik kesiti (Sipahi, 2005).

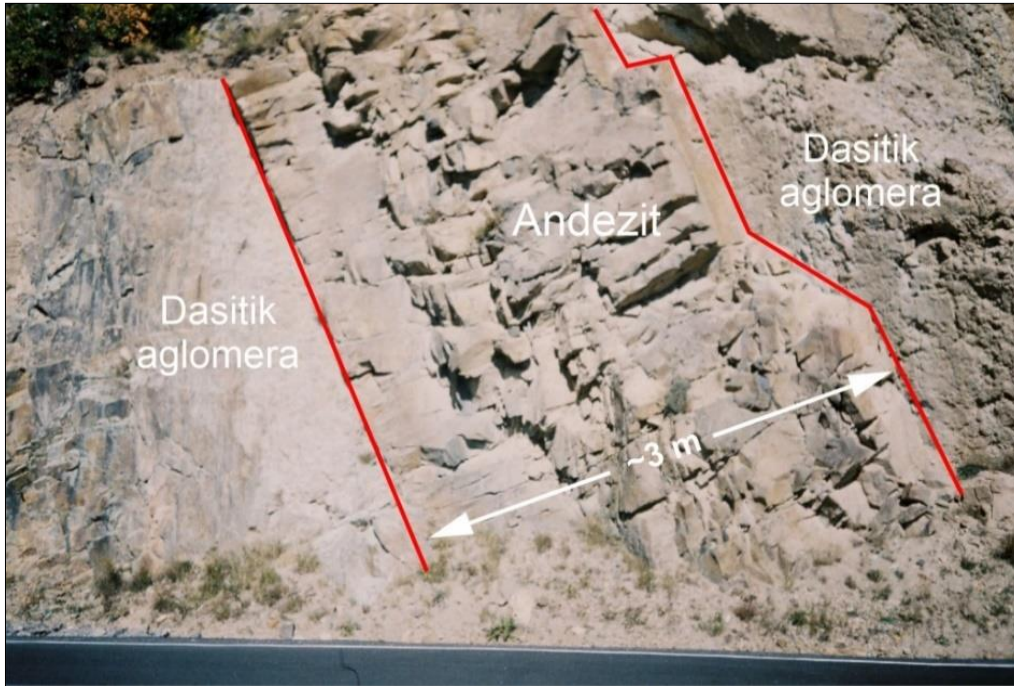
Figure 2. Detailed geological map and stratigraphic column of the study area (Sipahi, 2005).

BULGULAR

Petrografi

Andezit daykları

Andezitler Macikon ve Zigana Tüneli civarında mostra vermektedir (Şekil 2). Birim, arazide koyu yeşilimsi siyah renkleriyle tanınmakta ve dasitleri kesmekte olup, KB ve KD uzanımlı dayklar halinde görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Dasitik aglomeraları kesen andezit daykının arazideki görünümü.

Figure 3. Field photograph of an andesite dyke cutting through dacitic agglomerates.

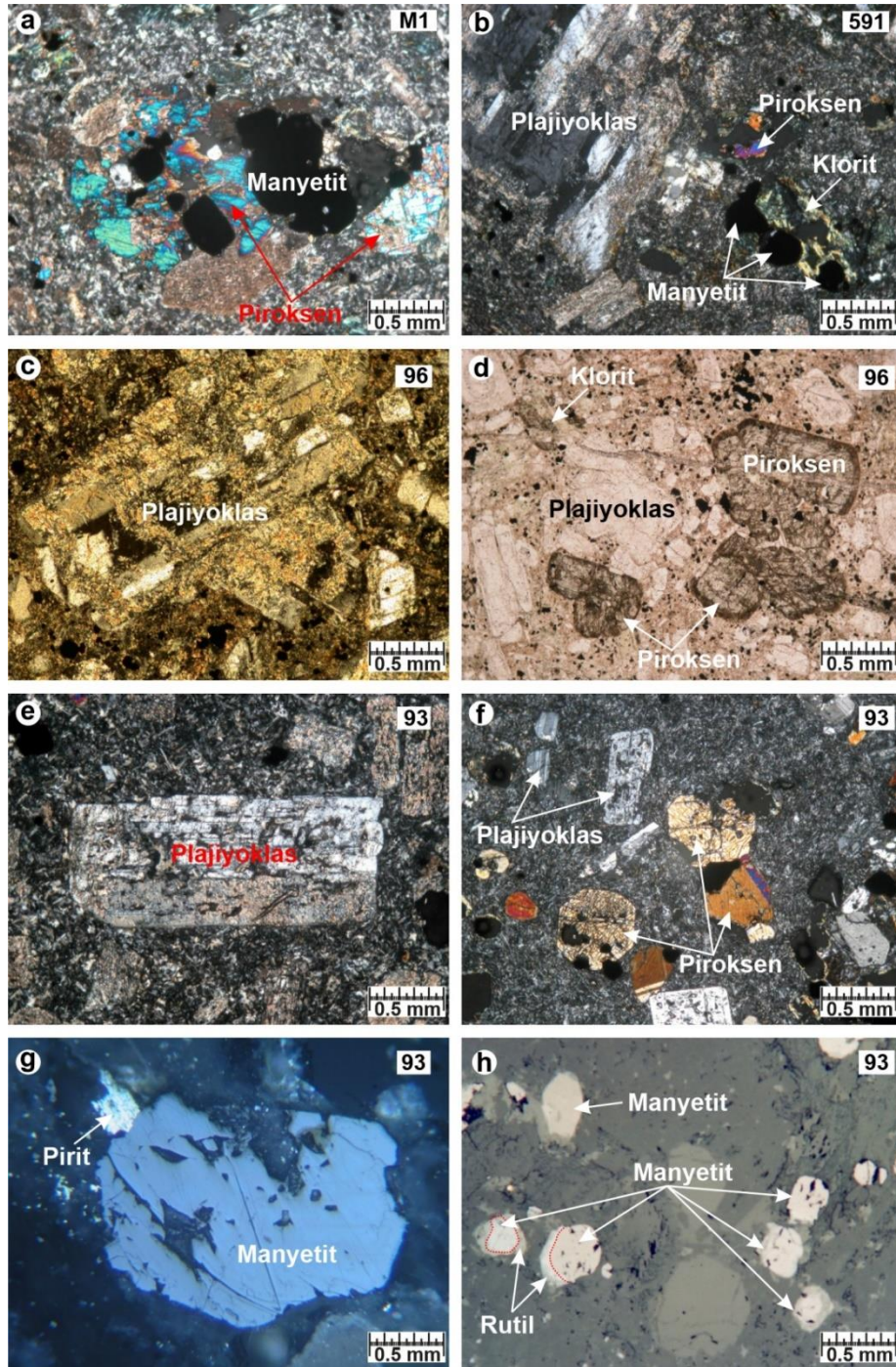
Küçük kristalli porfirik, camsı ve elek dokularla karakterize olan dayklar, plajiyoklas ve ojit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 4). İkincil ürün olarak muskovit ve kuvars mineralleri gözlenmektedir. Öz ve yarı öz şekilli plajiyoklaslar hem iri kristaller hem de hamurda mikrolitler şeklinde bulunmaktadır. İri plajiyoklas kristalleri, minerallerin % 50-65'ini oluşturmakta olup, yaygın olarak serizitleşmiş (Şekil 4c), silisleşmiş ve daha az oranda kalsitleşmiştir. Bazı plajiyoklas kristallerinde polisentetik ikizlenmeler belirlenmiştir (Şekil 4b). Ojit mineralleri iri, öz ve yarı öz şekilli olarak bulunmakta ve iri kristallerin % 30-40'nı oluşturmaktadır. Çoğunlukla kloritleşme ve kalsitleşme türünde

ayrışma gösteren ojitlerin bazılarının etrafında opak mineral oluşumları bulunmaktadır (Şekil 4d). Ojitlerde ayrışma daha çok kırıklar boyunca gelişmiştir. Manyetit, pirit ve rutil opak mineralleri oluşturmaktadır (Şekil 4g ve 4h). Rutil, manyetitlerin kenar ve kırıkları boyunca gelişmiştir. Andezitlerde genel olarak killeşme, serizitleşme, silisleşme, kloritleşme, hematitleşme, limonitleşme şeklinde ayrışma belirlenmiştir. Hacimsel açıdan kayacın % 30-45'ini oluşturan hamur plajiyoklas, ojit ve opak minerallerden, bazen de volkan camından oluşmaktadır.

Porfirik dasit daykları

Porfirik dasitler, Balitane, Köstüre ve Savaşlı civarında mostra vermektedirler (bkz. Şekil 2). Hem bazalt ve andezitleri hem de dasitleri kesmekte olan bu dayklar, KB ve KD uzanımlı olup, kolonsu yapı gösterirler (Şekil 5). Porfirik dasitte ufak kristalli porfirik, camsı ve sferulitik dokular belirlenmiştir (Şekil 6). Mineral olarak en fazla kuvars ve plajiyoklas, daha az oranlarda amfibol, biyotit, muskovit ve pirit bulunmaktadır.

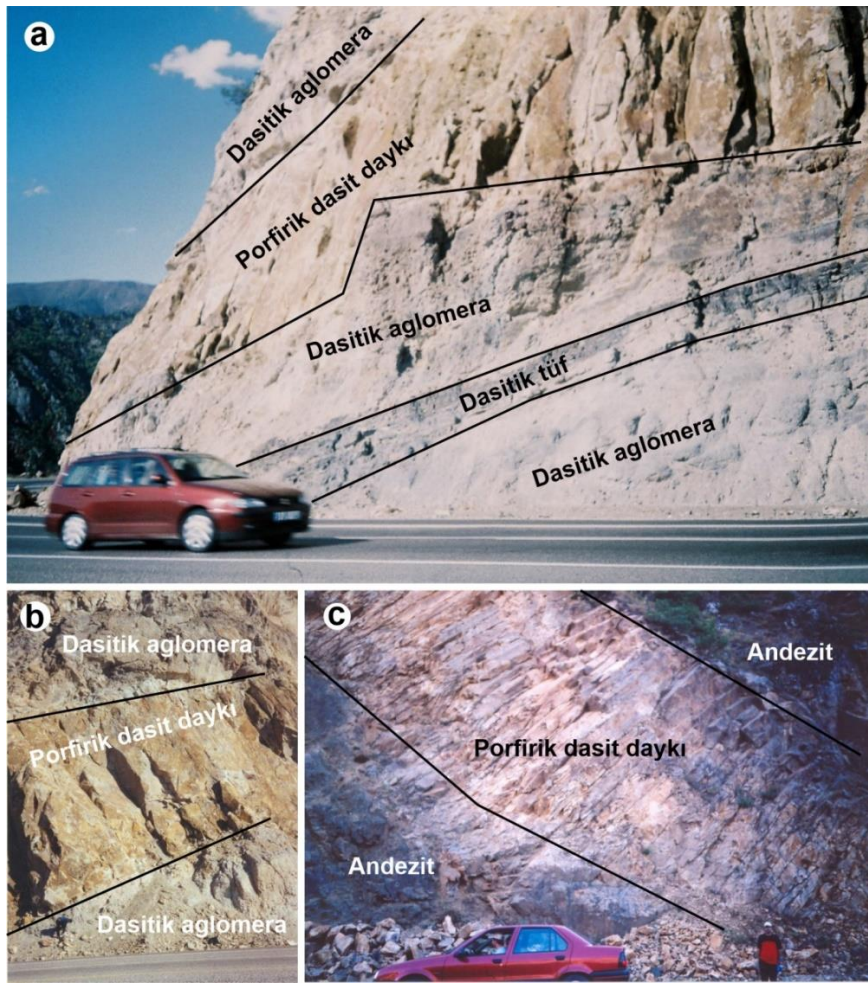
Kuvars, hem iri hem de hamurda küçük kristaller halinde, genellikle yarı öz şekilli ve öz şekilsiz olarak bulunmakta ve minerallerin % 50-55'ini oluşturmaktadır. İri kuvars kristallerinin kenarları hamur tarafından kısmen yenmiştir (Şekil 6b, 6e ve 6f). Plajiyoklas, hem iri kristaller hem de hamurda mikrolitler şeklinde bulunmakta olup, iri plajiyoklas kristalleri minerallerin % 45-50'sini meydana getirmektedir. Plajiyoklas minerallerinde yaygın olarak serizitleşme, daha az oranda kalsitleşme mevcuttur. Çoğunlukla iri, öz ve yarı öz şekilli olan amfiboller kloritleşmiş, karbonatlaşmış (kalsit ve ankerit) ve opaklaşmıştır (Şekil 6c). Biyotitlerde de amfibol minerallerinde olduğu gibi kloritleşmeler gözlenmektedir (Şekil 6a). Ayrıca, kloritler boşluk dolgusu şeklinde



Şekil 4. Andezitik daykların mikroskop görünüşleri. a) ve f) Mikrolitik porfirik doku (ÇN). b) Kloritleşmiş piroksen ve ayrılmış plajiyoklas minerali (ÇN). c) Glomerokristal dokulu serizitleşmiş plajiyoklas (ÇN). d) Camsı porfirik (hipokristalin) dokulu andezit (TN). e) Elek dokulu plajiyoklas fenokristali (ÇN). g) Manyetit ve pirit mineralleri (parlatılmış ince kesit) ve h) Manyetit ve kenarlarında rutil oluşumları (parlatılmış ince kesit).

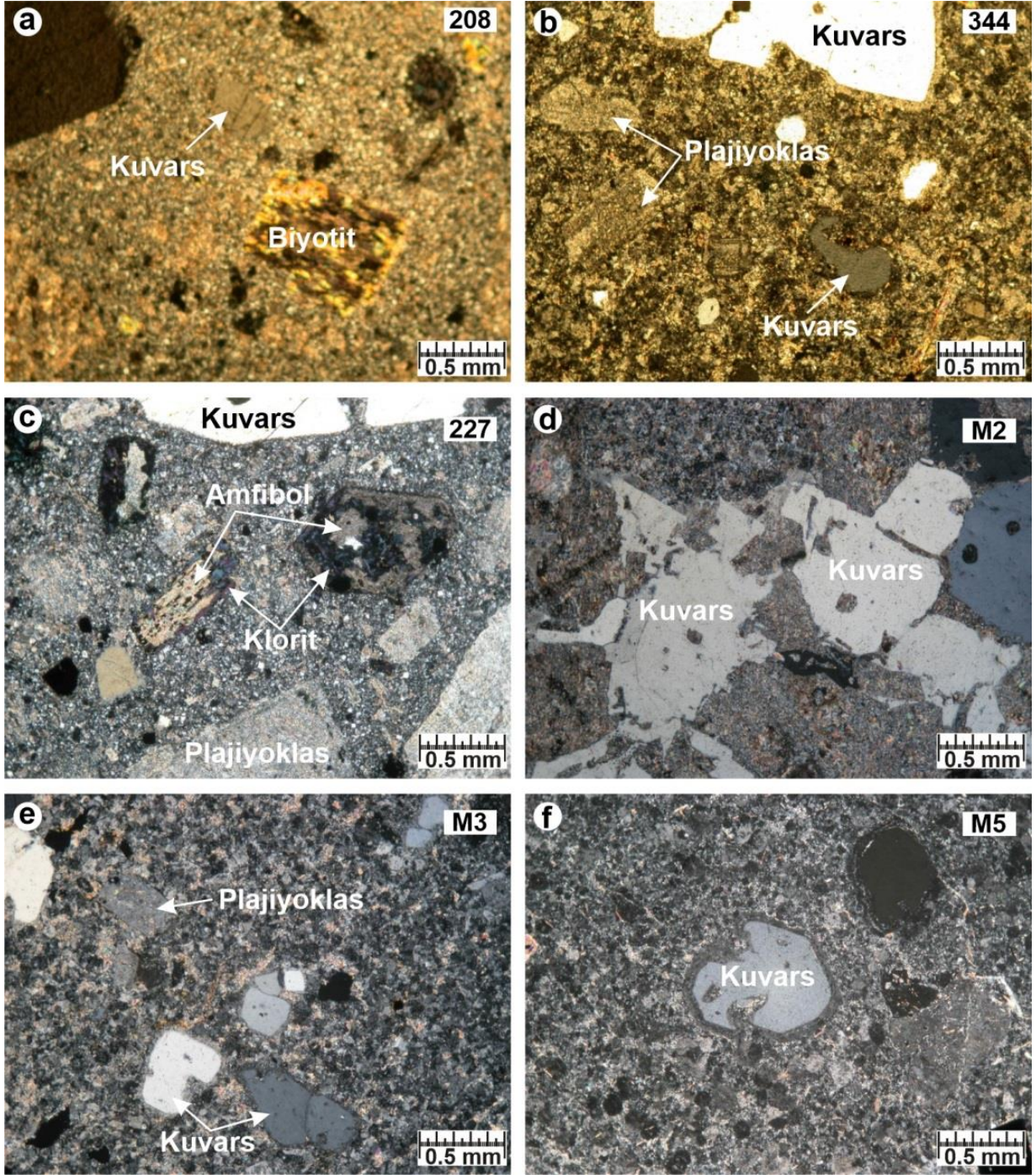
Figure 4. Microphotographs of andesitic dykes. a) and f) Microlithic porphyritic textures (XN). b) Chloritized pyroxene and altered plagioclase mineral (XN). c) Sericitized plagioclase with glomerocryst texture (XN). d) Glassy porphyritic (hypocrystalline) texture in andesite (PPL). e) Plagioclase phenocryst with sieve texture (XN). g) Magnetite and pyrite minerals (polished thin section), and h) Magnetite minerals and rutil formations around magnetite rims (polished thin section).

ikincil kuvarslarla birlikte bulunmaktadır. Morumsu mavi renkte ve paralel sönme gösteren klorit minerallerinin mikroskopik özelliklerine göre pennin oldukları belirlenmiştir. Opak mineral olarak pirit ve hematit gözlemlenmiştir. Piritler genellikle kırıklı ve çatlaklı olup, kataklastik deformasyonun izlerini işaret etmektedir. Porfirik dasitlerde genel olarak serizitleşme, kloritleşme, silisleşme ve karbonatlaşma (kalsit ve ankerit) gibi ayrışmalar yaygındır. Hamur, küçük kristalli kuvars, plajiyoklas ve opak minerallerden oluşmakta ve kayacın toplam bileşen oranının % 35-50'sini teşkil etmektedir.



Şekil 5. Çalışma alanında a-b) dasitleri ve c) andezitleri kesen KB ve KD uzanımlı porfirik dasitlerin arazideki görünüşleri.

Figure 5. Field photographs of porphyritic dacites extending in NW and NE directions, and cutting through (a-b) dacites and (c) andesites in the study area.

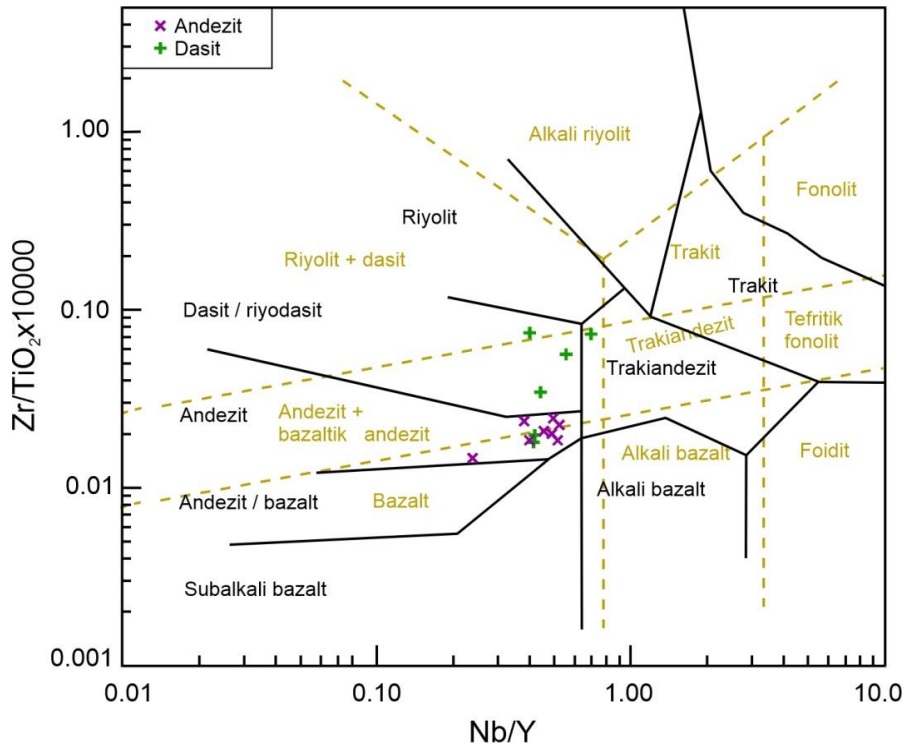


Şekil 6. Porfirik dasitlerin mikroskop görünüşleri. a) ve b) Küçük kristalli porfirik doku (TN). c) Serizitleşmiş plajiyoklas ve kloritleşmiş amfibol minerali (ÇN). d), e) ve f) Kenarları yenmiş kuvars mineralleri (ÇN). e) ve f) Sferolitik doku ve kuvars etrafındaki tepkime haleleri (ÇN).

Figure 6. Microphotographs of porphyritic dacites. a) and b) Porphyritic texture with relatively small crystals (PPL). c) Sericitized plagioclase and chloritized amphibole minerals (XN). d, e and f) The embayed quartz crystals (XN). e) and f) Spherulitic texture with reaction halos around the quartz crystals (XN).

Jeokimya

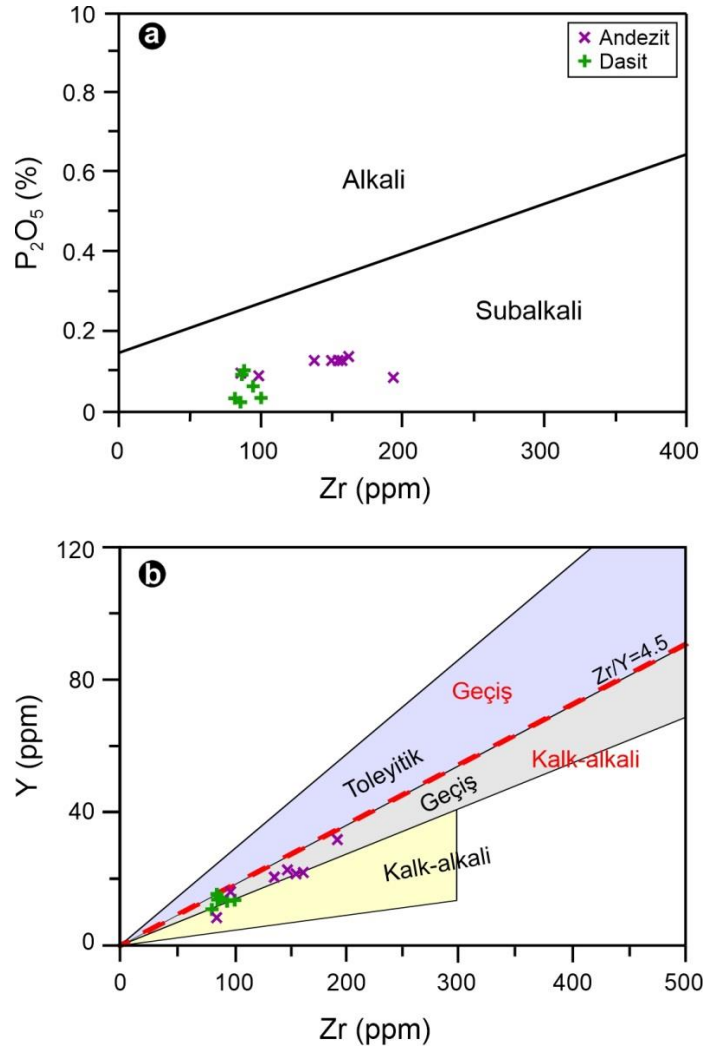
Andezit ve porfirik dasitlerden alınan örneklerin ana ve iz element analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Andezit ve porfirik dasit dayklarının adlandırılmasında Nb/Y-Zr/TiO₂ diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977; Şekil 7) kullanılmış ve andezit dayklara ait tüm örnekler “andezit” alanında yer almıştır (Şekil 7). Porfirik dasit dayklarda ise, iki örnek andezit ve bir örnek trakiandezit alanına düşmüştür. Dayklardan alınan örneklerde, Huston (1993) tarafından geliştirilen İzokon Yöntemi kullanılarak yapılan kütle değişim hesaplamalarına (Sipahi, 2005) göre andezit alanına düşen örneklerde Zr azalması, trakiandezit alanında yer alan örnekte ise Nb, Zr ve Y zenginleşmesi mevcuttur. Nb’daki zenginleşme Y’un hemen hemen iki katı olduğundan, örnek trakiandezit alanında yer almıştır. Dolayısıyla, bu durum ilgili örneklerin aslında porfirik dasitlere ait olduğunu göstermektedir. Ayrıca mikroskop incelemeleri de bunların önemli miktarda kuvars içerdiğini ve porfirik dasit olarak adlandırılmasının daha uygun olacağını desteklemektedir.



Şekil 7. Andezit ve porfirik dasit dayklarının Nb/Y-Zr/TiO₂ sınıflama diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977’den değiştirilerek) kullanılarak adlandırılması. Kesikli çizgilerin oluşturduğu alanlar ve adlandırılmaları Pearce (1996)’dan alınmıştır.

Figure 7. Nb/Y-Zr/TiO₂ classification diagram of the andesite and porphyritic dacite dykes (after Winchester and Floyd, 1977). The classification fields formed by dashed lines and rock names are according to Pearce (1996).

Andezitler jeokimyasal açıdan incelendiğinde, P_2O_5 'e karşı Zr diyagramında (Şekil 8a) subalkali; Y'a karşı Zr diyagramında (Şekil 8b) ise, bir örnek hariç, kalk-alkali geçiş alanında yer almaktadır. Porfirik dasitler ise P_2O_5 'e karşı Zr diyagramında (Şekil 8a) subalkali; Y'a karşı Zr diyagramında (Şekil 8b) ise kalk-alkali-geçiş alanına düşmektedir. Kütle değişim hesaplamalarına (Sipahi, 2005) göre, porfirik dasitler, iki örnek hariç, Y'ca zenginleşmiştir.



Şekil 8. Andezit ve porfirik dasit dayklarının jeokimyasal ayırtman diyagramları. a) Zr (ppm)'a karşı P_2O_5 (%) alkali-subalkali ayırtman diyagramı (Winchester ve Floyd, 1976'dan değiştirilerek). b) Zr-Y sınıflama diyagramı (Barret vd., 1993). Kırmızı renkli kesikli kalk-alkali-geçiş çizgisi Ross ve Bédard, 2009'dan alınmıştır.

Figure 8. Geochemical discrimination diagrams for the andesite and porphyritic dacite dykes. a) Zr (ppm) vs. P_2O_5 (%) plot distinguishing alkali from subalkali fields (after Winchester and Floyd, 1976). b) Zr vs. Y classification diagram of Barret et al. (1993). Red dashed line indicates the boundary between alkaline and calc-alkaline fields from Ross and Bédard (2009).

Çizelge 1. Andezit ve porfirik dasit dayklarının ana (% ağırlık), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analiz sonuçları.

Table 1. Results of major oxide (wt%), trace (ppm) and rare earth (ppm) element analyses of andesite and porphyritic dacite dykes.

Andezit dayk								
Element \ Örnek	591	DE1	M1	588	H	M4	93	96
Ana oksitler (%)								
SiO ₂	58.92	57.74	58.09	54.68	71.01	58.57	57.05	53.83
TiO ₂	0.57	0.61	0.63	1.02	0.38	0.66	0.61	0.66
Al ₂ O ₃	17.28	15.51	15.90	20.90	13.87	15.90	16.56	16.97
Fe ₂ O ₃	6.37	6.74	7.01	11.81	2.76	6.89	7.45	8.04
MnO	0.11	0.09	0.11	0.03	0.13	0.10	0.14	0.10
MgO	4.68	3.84	4.29	0.93	1.52	3.82	3.70	3.79
CaO	1.89	6.29	4.26	0.79	1.90	6.47	4.26	7.71
Na ₂ O	2.52	2.86	4.35	0.17	0.10	2.45	3.28	2.21
K ₂ O	4.05	3.19	2.98	5.82	3.94	2.67	3.56	1.78
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.13	0.09	0.10	0.12	0.13	0.09
CO ₂	0.02	0.38	0.12	0.02	a.e.	0.11	a.e.	a.e.
AK	3.06	2.24	1.73	3.41	3.93	1.70	2.46	4.78
Toplam	99.61	99.62	99.60	98.88	99.64	99.46	99.20	99.96
İz (ppm) ve nadir toprak (ppm) elementler								
As	4.44	31	5.79	0.6	2	20	41	12
Ba	771	763	561	1163	367	774	1058	419
Ce	64.13	55.58	58.05	76.2	52	56.04	54.8	35.5
Cl	a.s.a	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	<10	a.s.a.	17	26
Co	17	16	14	13	<5	21	19	20
Cu	66	48	35	49	49	41	62	62
Cr	19	12	18	6	22	25	24	43
Cs	0.58	2.44	0.22	4.21	1.7	2	1.3	2.3
Ga	15	12	13	19	19	12	16	19
Hf	4.59	4.31	4.2	4.73	2.6	3.96	4.2	3
Nb	11.12	10.33	9.82	16.1	7	8.92	9	4
Ni	14	9	9	17	<5	12	11	16
Pb	26	19	16	6.27	16	24	24	78
Rb	91	71	55	120	123	66	93	56
S	671.6	362	585.7	152	899	795	185	1057
Sc	a.e.	a.e.	a.e.	a.e.	6	a.e.	16	25
Sb	0.15	0.6	a.s.a.	0.45	a.e.	0.55	a.e.	a.e.
Sn	a.e.	a.e.	a.e.	a.e.	3	a.e.	2	3
Sr	247	241	233	76	14	261	344	176
Ta	0.85	0.73	0.7	1.04	0.4	0.64	0.8	0.4

Th	18.1	11.9	12.5	10.7	13	13.84	15	7
Tl	a.e.	a.e.	a.e.	a.e.	0.7	a.e.	0.3	0.7
U	5.56	4.51	4.42	2.13	10	4.05	8	4
V	127	146	145	196	47	154	157	172
W	a.e.	a.e.	a.e.	a.e.	1	a.e.	3	1
Zn	163	40	45	47.39	119	435	68	65
Zr	131	123	130	181	131	119	156	99
Y	21.38	21.39	21.62	31.7	8.1	22.38	20.1	16
La	34.71	29.22	30.72	37.7	26	29.57	29	25
Ce	64.10	55.60	58.10	76.20	37.50	56.00	54.80	35.50
Pr	7.11	6.21	6.43	8.49	3.64	6.29	6.24	4.19
Nd	25.10	23.00	23.30	33.00	12.20	23.40	23.80	16.50
Sm	4.83	4.60	4.57	6.59	2.00	4.65	5.30	3.60
Eu	1.10	1.04	0.993	1.47	0.51	1.07	1.12	0.86
Gd	4.20	4.13	4.13	5.83	1.57	4.34	4.11	2.98
Tb	0.631	0.644	0.613	0.896	0.22	0.639	0.56	0.43
Dy	3.80	3.79	3.72	5.77	1.50	4.03	3.88	3.08
Ho	0.777	0.743	0.754	1.17	0.30	0.778	0.80	0.64
Er	2.29	2.32	2.31	3.46	0.97	2.36	2.30	1.97
Tm	0.322	0.330	0.327	0.495	0.15	0.331	0.32	0.25
Yb	2.32	2.23	2.25	3.34	1.21	2.29	2.25	1.77
Lu	0.349	0.352	0.339	0.512	0.17	0.34	0.34	0.26

Hesaplamalar

Mg [#]	74.42	69.29	70.82	23.73	68.56	68.71	66.30	65.10
KAl	59.11	44.19	46.75	72.26	63.74	45.97	49.34	46.41
Al	66.42	43.40	45.81	87.53	73.20	42.14	49.08	35.93
L _{Al}	1.68	1.75	1.54	2.12	1.05	2.08	1.62	2.94
(La/Lu) _N	10.33	8.62	9.41	7.64	12.95	9.03	8.76	6.91
(La/Sm) _N	4.52	4.00	4.23	3.60	6.67	4.01	3.41	3.02
(Gd/Lu) _N	1.50	1.46	1.52	1.42	1.15	1.59	1.51	1.43
(Sm+Gd) _N	34.65	33.38	33.30	47.59	13.79	34.29	36.38	25.32
Eu*	17.32	16.69	16.65	23.79	6.89	17.15	18.19	12.66
Eu _N	12.62	11.96	11.41	16.85	5.86	12.29	12.87	9.89
Eu	0.73	0.72	0.69	0.71	0.85	0.72	0.71	0.78
(Tb/Lu) _N	1.19	1.20	1.19	1.15	0.85	1.23	1.08	1.09

AK: Ateşte kayıp, Mg[#]: Mg numarası, KAl: Kimyasal ayrışma indeksi, Al: Ishikawa ayrışma indeksi, L_{Al}: Lentz'in ayrışma indeksi, a.s.a.: Analiz sınırlarının altında, a.e.: Analiz edilmedi, Eu*=(Sm_N+Gd_N)/2, Eu=Eu_N/Eu*

Porfirik dasit dayk						
Element / Örnek	M2	M3	M5	344	208	227
Ana oksitler (%)						
SiO ₂	63.26	72.45	70.07	77.51	60.33	63.74
TiO ₂	0.27	0.14	0.14	0.12	0.45	0.50
Al ₂ O ₃	16.92	17.56	16.04	13.31	17.50	16.74
Fe ₂ O ₃	2.75	1.21	1.49	1.24	4.30	4.60
MnO	0.08	0.02	0.04	a.s.a.	0.10	0.09
MgO	0.85	0.55	1.11	0.29	2.21	1.85
CaO	5.08	0.17	1.25	0.14	4.26	2.77
Na ₂ O	1.84	2.47	1.81	2.75	1.52	2.59
K ₂ O	3.97	3.82	4.45	3.48	3.63	3.86
P ₂ O ₅	0.06	0.03	0.03	0.03	0.09	0.10
CO ₂	0.89	0.02	0.50	a.e.	0.83	0.35
AK	3.73	1.54	2.41	1.30	4.47	2.74
Toplam	99.70	99.98	99.74	100.14	99.69	99.93
İz (ppm) ve nadir toprak (ppm) elementler						
As	1.2	5.43	1.3	18	0.6	0.4
Ba	470	306	1005	383	492	458
Ce	40.5	48.3	70.9	47	40.9	41.7
Cl	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.	a.s.a.
Co	3.7	0.7	0.5	5	7.8	8.3
Cu	6.47	8.62	2.67	5	13	15
Cr	2	7	1	8	34	17
Cs	1	0.92	3.12	0.9	1.53	1.85
Ga	12	11	12	10	15	15
Hf	0.24	2.77	2.82	3.3	2.11	2
Nb	5.75	5.74	10.15	6	5.6	5.87
Ni	2.2	3.7	0.5	a.s.a.	6.8	6.7
Pb	7.02	16.91	5.36	25	18	41
Rb	108	97	89	123	92	103
S	1800	330	1340	300	870	240
Sc	a.e.	a.e.	a.e.	3	a.e.	a.e.
Sb	a.s.a.	a.s.a.	0.05	a.e.	0.35	0.25
Sr	58	50	66	72	38	82
Ta	0.52	0.73	0.97	0.9	0.56	0.56
Th	10.7	19.8	20.9	22	13.7	11.5

Tl	a.e.	a.e.	a.e.	0.4	a.e.	a.e.
U	4.36	5.6	5.33	10	4.22	3.22
V	29	a.s.a.	a.s.a.	12	76	71
Zn	49.75	36.95	24.27	20	64	64
Zr	95	82	101	86	87	89
Y	13.13	10.28	13.6	15	13.35	14.19
La	23.76	27.15	39.4	23	22.4	23.48
Ce	58.10	48.30	70.90	54.50	40.90	41.70
Pr	6.43	4.63	7.07	5.34	4.26	4.45
Nd	23.30	14.60	22.10	17.10	15.10	15.70
Sm	4.57	2.38	3.38	2.70	2.90	3.10
Eu	0.993	0.296	0.464	0.40	0.694	0.729
Gd	4.13	1.76	2.46	2.15	2.54	2.71
Tb	0.613	0.252	0.361	0.31	0.383	0.403
Dy	3.72	1.61	2.25	2.05	2.39	2.48
Ho	0.754	0.348	0.46	0.42	0.483	0.504
Er	2.31	1.18	1.45	1.38	1.44	1.55
Tm	0.327	0.195	0.227	0.22	0.206	0.225
Yb	2.25	1.48	1.69	1.61	1.45	1.46
Lu	0.339	0.235	0.255	0.27	0.22	0.225
Hesaplamalar						
Mg [#]	55.04	64.29	74.86	47.69	67.06	61.43
KAl	50.52	67.38	61.45	60.87	55.25	55.40
Al	41.06	62.35	64.46	56.28	50.28	51.53
L _{Al}	0.61	0.28	0.41	0.24	1.26	1.00
(La/Lu) _N	10.45	11.99	16.01	11.65	10.58	10.86
(La/Sm) _N	6.37	7.19	7.33	7.06	4.87	4.77
(Gd/Lu) _N	1.08	0.93	1.20	0.99	1.44	1.50
(Sm+Gd) _N	16.86	16.04	22.67	18.71	20.84	22.27
Eu*	8.43	8.02	11.34	9.36	10.42	11.14
Eu _N	6.69	3.40	5.34	4.60	7.97	8.37
Eu	0.79	0.42	0.47	0.49	0.76	0.75
(Tb/Lu) _N	0.90	0.70	0.93	0.75	1.14	1.18

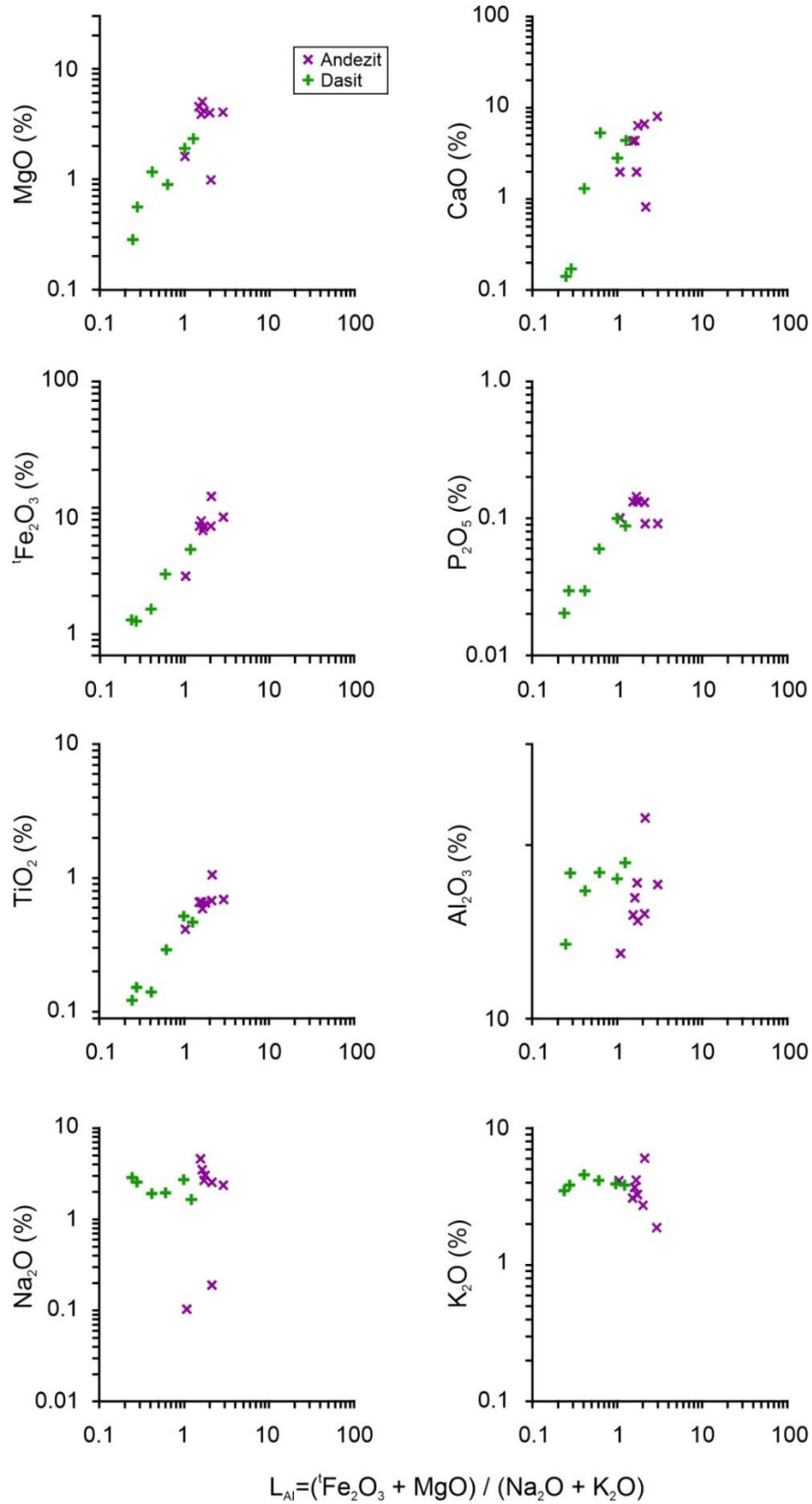
AK: Ateşte kayıp, Mg[#]: Mg numarası, KAl: Kimyasal ayrışma indeksi, Al: Ishikawa ayrışma indeksi, L_{Al}: Lentz'in ayrışma indeksi, a.s.a.: Analiz sınırlarının altında, a.e.: Analiz edilmedi, Eu*=(Sm_N+Gd_N)/2, Eu=Eu_N/Eu*

Andezitlerin ve porfirik dasitlerin Harker (değişim) diyagramları oluşturulurken, ana ve iz elementler, L_{Al} [(Fe₂O₃+MgO)/(Na₂O+K₂O)] (Lentz,1996, 1999)'a karşı korele

edilmiştir (Şekil 9 ve 10). Bunun nedeni, daykların az veya çok oranda ayrıışmış ve bu ayrıışmanın silisleşme, serizitleşme, kloritleşme ve kaolinleşme şeklinde gelişmiş olmasıdır. Dolayısıyla, değişim diyagramları ayrıışmanın etkisini en aza indirmek için L_{Al} indeksine göre oluşturulmuştur.

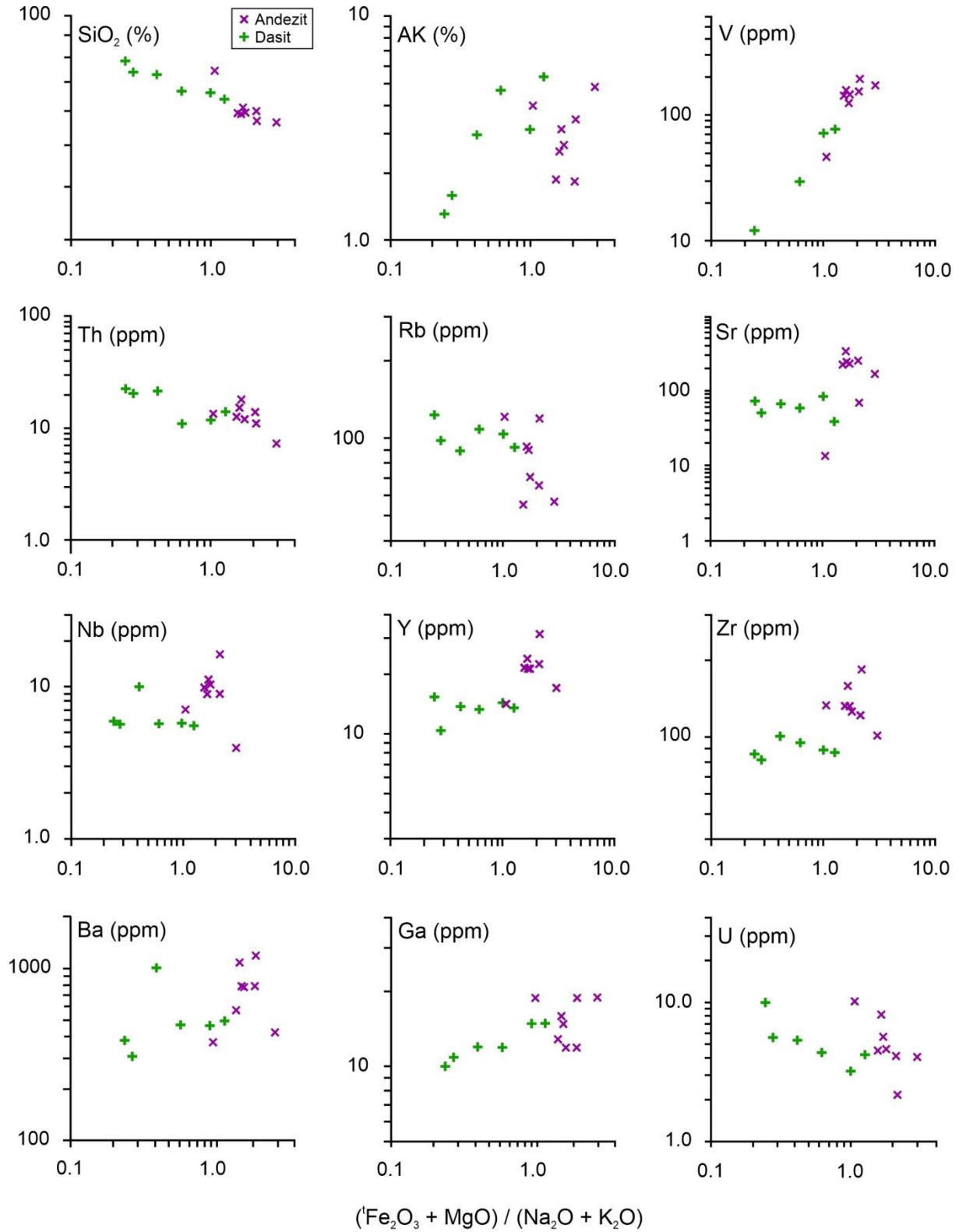
Ana element değişim çizgisellemelerinde L_{Al} 'ya karşı 1Fe_2O_3 , TiO_2 ve Al_2O_3 'da pozitif; MgO , CaO , P_2O_5 , Na_2O ve K_2O 'de ise düzensiz bir ilişki görülmektedir (Şekil 9). L_{Al} 'ya karşı İz element değişim diyagramlarında ise, Zr ve Th negatif, V, Sr ve Cs pozitif bir ilişki, diğerlerinde ise düzensiz bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 10). Rb'un L_{Al} 'ne karşı gösterdiği ilişki K_2O ile uyumludur. L_{Al} değerinin artmasına karşılık CaO 'ın düzensiz dağılımı, ayrıışmanın etkisini göstermektedir. Andezitlerde, ince kesitte, ojit minerali tespit edilmiş olup, bu mineral 1Fe_2O_3 ve MgO artışını işaret etmektedir. Oysa andezitlerde L_{Al} 'ne karşı oluşturulan MgO diyagramı incelendiğinde, az da olsa düzenli bir ilişki, 1Fe_2O_3 'de ise pozitif bir ilişki mevcuttur. MgO 'deki bu düzensiz değişim, bazı örneklerde piroksen mineralinin kloritleşmesi ile ilişkilidir. Sr'un pozitif korelasyonu ise CaO 'inki ile uyumludur. Porfirik dasitlerde L_{Al} 'ne karşı oluşturulan ana element değişim diyagramlarında MgO , CaO , 1Fe_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 , Al_2O_3 ve AK pozitif; K_2O hemen hemen sabit, Na_2O ve SiO_2 'de ise negatif bir ilişki görülmektedir (Şekil 9). İz element değişim diyagramlarında ise Th, Rb ve U'da negatif; V ve Ga'da pozitif; Sr, Nb, Y ve Zr'da hemen hemen sabit ve Ba'da ise düzensiz bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 10). Porfirik dasitlerde L_{Al} 'nin artmasıyla K_2O 'da bir değişiklik olmaması, bu kayalarda ayrıışma ürünü olarak illit ve kaolinit mineralleri bulunduğunu ve dolayısıyla ayrıışmanın etkisini işaret etmektedir.

Andezit dayklardaki mineral ayrılaşmasını denetleyen faktörler için Y-Cr ve Zr- TiO_2 değişimleri incelenmiştir (Şekil 11). Andezitlere ait Y ve Cr arasında negatif, Zr ve TiO_2 arasında ise örneklerin çoğunda Zr artışına karşın TiO_2 değişmezken, bazı örneklerde pozitif (Şekil 11b) bir ilişki mevcuttur. Porfirik dasitlerde ise Y-Cr ve Zr- TiO_2 arasındaki ilişki incelendiğinde, Cr artarken Y'un ve TiO_2 artarken Zr'un sabit kaldığı görülmektedir.



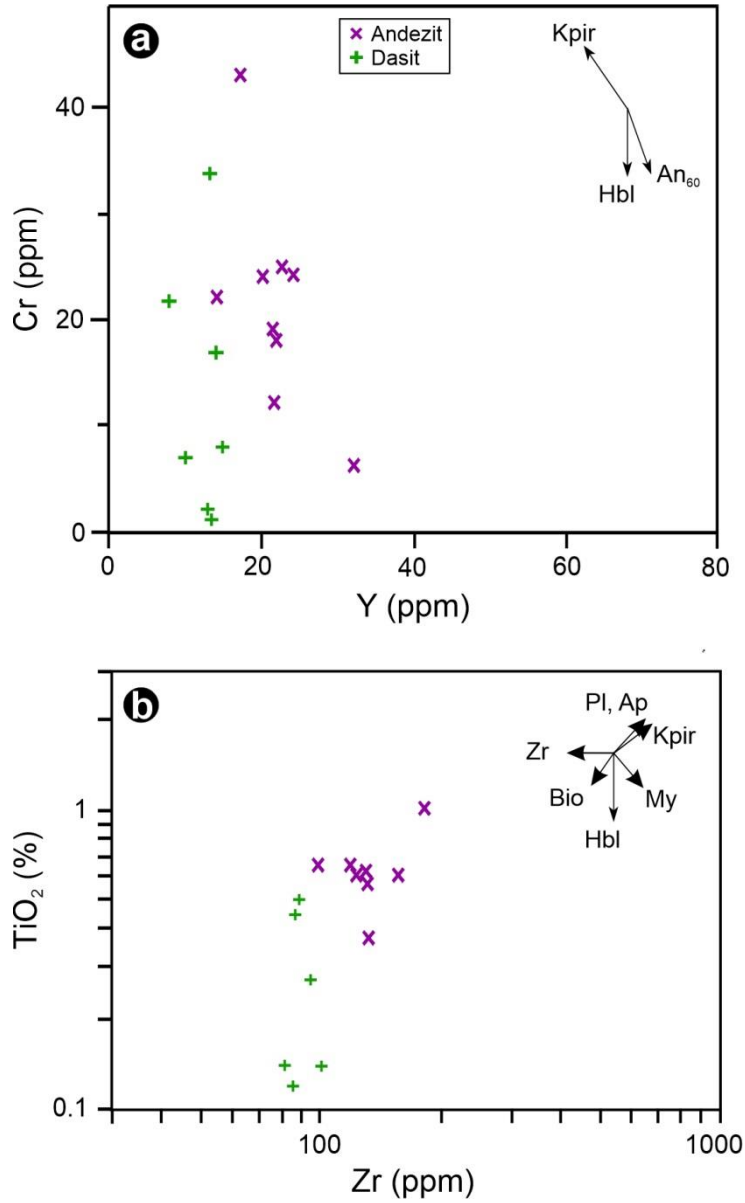
Şekil 9. Andezit ve porfirik dasit dayklarında bazı ana oksitlerin (%), $L_{Al}({}^t\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ oranına karşı değişim diyagramları.

Figure 9. Some major oxides (%) vs $L_{Al}({}^t\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ variation diagrams for the andesite and porphyritic dacite dykes.



Şekil 10. Andezit ve porfirik dasit dayklarında bazı iz elementlerinin (ppm), $L_{Al}(Fe_2O_3+MgO)/(Na_2O+K_2O)$ oranına karşı değişim diyagramları.

Figure 10. Some trace elements (ppm) vs $L_{Al}(Fe_2O_3+MgO)/(Na_2O+K_2O)$ variation diagrams for the andesite and porphyritic dacite dykes.

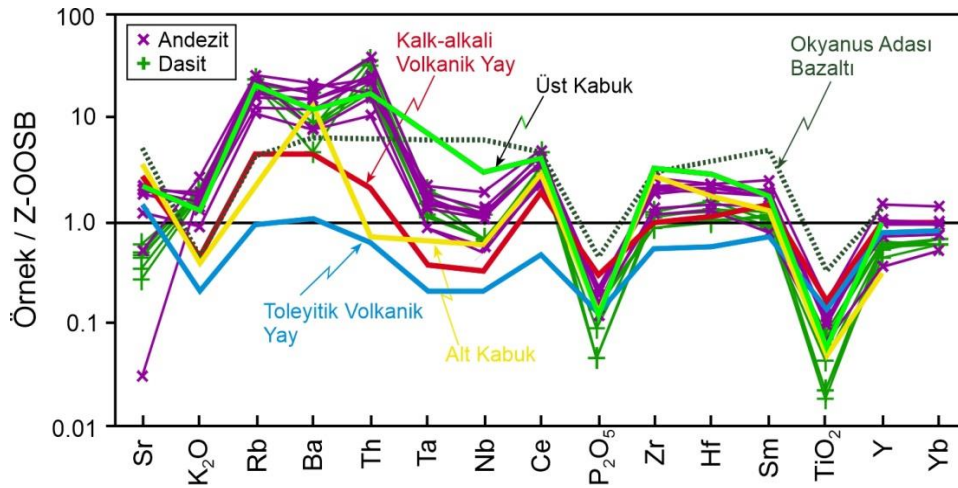


Şekil 11. Andezit ve porfirik dasit dayklarının mineral ayırma diyagramları. a) Y (ppm)'a karşı Cr (ppm) ve b) Zr (ppm)'a karşı TiO₂ (%) diyagramları. Mineral ayırma gidişatları Pearce ve Norry (1979)'dan alınmıştır.

Figure 11. Mineral discrimination diagrams for the andesite and porphyritic dacite dykes. a) Y (ppm) vs Cr (ppm) and, b) Zr (ppm) vs TiO₂ (%) diagrams. Mineral differentiation trends are according to Pearce and Norry (1979).

Andezit ve porfirik dasit dayklarının iz ve nadir toprak element analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiş olup, bu kayaçlar Z-OOSB göre normalize edilmiş ve uyumsuz element çizgisellemeleri oluşturulmuştur (Şekil 12). Andezit dayklarda, Z-OOSB'a göre BİYE'lerce zenginleşme ve YÇAE'lerce fakirleşme söz konusudur. BİYE'lerden (Sr, K,

Rb, Ba ve Th) özellikle Th'da, bazalt ve andezitlerde olduğu gibi, zenginleşme en yüksek değere ulaşmakta olup, Sr ve K₂O'de ise diğerlerine nazaran azalma görülmektedir. Sr'daki bu azalmanın plajiyoklas ayrılaşmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Z-OOSB'a göre genel olarak paralel bir dağılım sunan YÇAE (Ta'dan Yb'a kadar olan) çok az tüketilmiştir. Andezit dayklarda normalleştirme sonucu YÇAE'den Ce'da pozitif anomali; Ta, Nb, P ve Ti'da negatif anomali gözlenmektedir. Ayrıca Ta, Nb, Zr, Hf, Sm, Y ve Yb'un Z-OOSB çizgisine yaklaşık düz bir çizgi halinde paralellik gösterirken, Sr, K, Rb, Ba, Th ve Ce'da zenginleşme söz konusudur. Andezit dayklar yüksek BİYE ve nispeten düşük YÇAE içeriklere sahip olup, yüksek BİYE/YÇAE oranları ile yitim ilişkili kayaçların tipik karakterlerini yansıtırlar. Andezit daykların BİYE zenginleşmesi ve gösterdikleri anomali değerleri ada yayı toleyitik volkanitlerinden fazla ve genel olarak KVK (kalk-alkali volkanik) yayların BİYE değişimlerine benzemektedir.



Şekil 12. Andezit ve porfirik dasit dayklarının Z-OOSB (zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltı; Sun ve McDonough, 1989)'ye göre normalize edilmiş uyumsuz element paternleri.

Figure 12. E-MORB (enriched mid-ocean ridge basalts; Sun ve McDonough, 1989) normalized immobile element patterns for the andesite and porphyritic dacite dykes.

Porfirik dasitler, Z-OOSB'ne göre normalleştirildiğinde BİYE'ce zenginleşme ve YÇAE'ce fakirleşme görülmesi söz konusudur (Şekil 12). BİYE (K, Rb, Ba ve Th)'lerden özellikle Rb ve Th'da zenginleşme en yüksek değere ulaşmaktadır. YÇAE (Ta'dan Yb'a kadar olan), Ce, P₂O₅ ve TiO₂ hariç, OOSB'na göre genel olarak paralel bir dağılım sunmakta ve buna göre çok az miktarda tüketilmiş olabileceğini göstermektedir. Porfirik dasitler yüksek BİYE ve düşük YÇAE içerikleri ve yüksek BİYE/YÇAE oranları

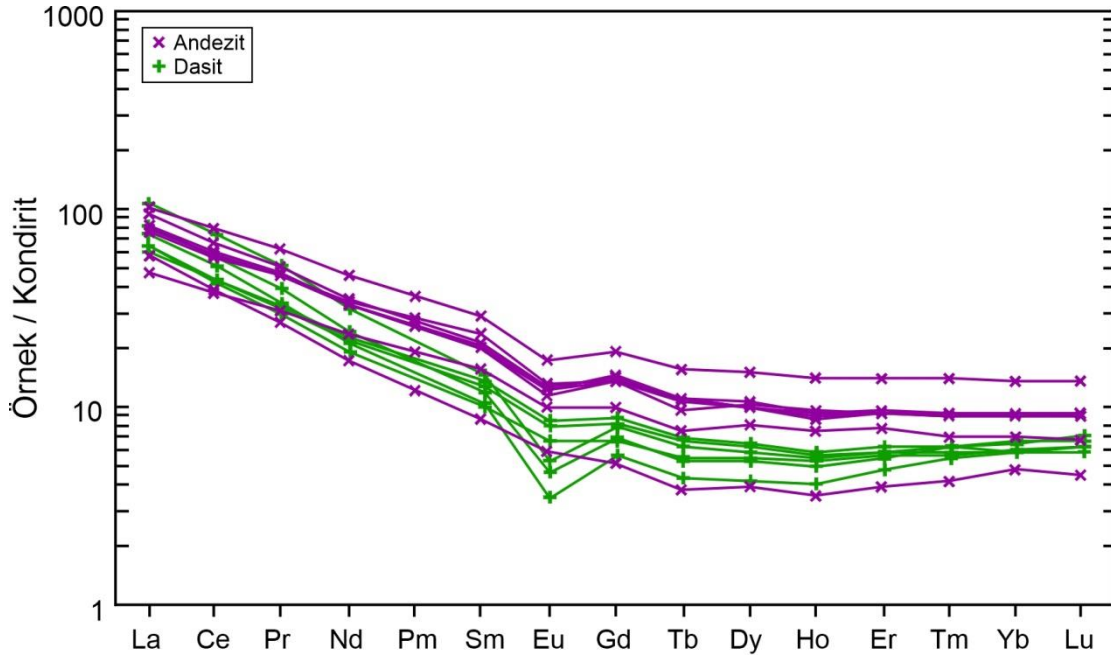
ile yitim ilişkili kayaçların karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Bu kayaçlarda BİYE zenginleşmesi ve gösterdikleri anomali değerleri, ada yayı toleyitik ve kalk-alkali volkanitlerinden fazla, fakat dağılım şekli genel olarak kalk-alkali volkanik yaylardakine benzemektedir. Fakat kalk-alkali volkanik yaylardan daha fazla BİYE, Ta, Nb ve Ce zenginleşmesi göstermektedirler.

Andezit daykların nadir toprak elementleri (NTE) kondirite göre normalleştirilmiştir (Şekil 13). Andezit dayklar, La_N/Lu_N (7.64-12.95) oranlarına göre, az farklılaşmış ve az da olsa negatif Eu anomalisi göstermektedir. Ayrıca ağır nadir toprak element (ANTE) bakımından yataya yakın bir dağılım sunarlar (Şekil 13). Hafif nadir toprak element (HNTE) içeriği 45-100 x kondirit, ANTE içeriği 5-15 x kondirit arasında değişmektedir. Bu kayaçlarda ortalama Eu anomalisi 0.73'dür. Porfirik dasitlerin nadir toprak elementleri (NTE) kondirite göre normalleştirilerek değişimleri verilmiştir (Şekil 13). Bu kayaçlarda La_N/Lu_N oranları 10.45-16.01 arasında değişmektedir. Ayrıca ağır NTE bakımından dasit porfirler yataya yakın bir dağılım sunmaktadır (Şekil 13). Hafif NTE içerikleri 61-107 x kondirit, ağır NTE içerikleri ise yaklaşık 6-7 x kondirit arasında değişmektedir.

TARTIŞMA

Fraksiyonel Kristallenme

Çalışma alanındaki andezit dayklarda TiO_2 ve Fe_2O_3 'ün artması, manyetit ve rutil ayrılaşmasını belirtirken (Şekil 9), Na_2O ise daha çok ayrışmanın etkisini göstermektedir. La_{Al} 'ne göre Y ve Co'nun artması andezitlerin bünyesindeki ojitlerin varlığı ile desteklenmektedir (Şekil 10). Andezit dayklarda Cr'un artmasına karşılık Y'un azalması, klinopiroksen ve plajiyoklas ayrılaşmasını işaret etmektedir (Şekil 11a). Zr ve TiO_2 arasında pozitif ilişki (Şekil 11b), mineral vektörlerinden de anlaşılacağı gibi plajiyoklas, klinopiroksen, biyotit ve apatit ayrılaşmalarına dikkat çekmektedir.



Şekil 13. Andezit ve porfirik dasit dayklarının kondirite (Taylor ve McLennan, 1985) göre normalleştirilmiş NTE dağılımları.

Figure 13. Chondrite (Taylor and McLennan, 1985) normalized REE diagram for the andesite and porphyritic dacite dykes.

Andezit dayklarda Sr, K, Rb, Ba, Th ve Ce gibi elementlerdeki zenginleşme, elementlerin yitim kökenli bir kaynaktan türediğini belirlemektedir. Andezit dayklardaki negatif Nb anomalisi, kıtasal kabuğun Nb bakımından fakir olması nedeniyle, kabuksal kirlenmeden kaynaklanabilir. Çünkü negatif Nb anomalisi kıtasal kabuğun bir karakteristiğidir (Rollinson, 1993). Andezit dayklarda görülen negatif Eu anomalisi, düşük basınç (≤ 10 kb) plajiyoklas ayrılaşmasının ürünü olduğunu gösterebilir (Briggs ve McDonough, 1990). Andezit dayklar kondirite göre normalleştirildiğinde, HNTE değerlerinin artmakta, ANTE değerlerinin ise kondirit çizgisine paralel olduğu görülmektedir (Şekil 13). Bu dağılım, andezit daykların gelişiminde klinopiroksen ayrılaşmasının etkili olduğuna işaret etmektedir (Nicholls ve Harris, 1980).

Porfirik dasit dayklarda CaO'un artması plajiyoklas, MgO ve ${}^1\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün artması amfibol ve biyotit, TiO_2 ve ${}^1\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün artması rutil, P_2O_5 'in artması ise apatit ayrılaşmasını göstermektedir (Şekil 9). L_{AI} indeksi arttıkça Ba'un düzensiz bir ilişki göstermesi ve Rb'un azalması porfirik dasitlerin bünyesinde K'lu feldispatların varlığı ve ayrışması ile

desteklenmektedir (Şekil 10). L_{AI} 'ne göre Th ve U'daki negatif (veya SiO_2 ile pozitif) ilişki bunların magmanın kristallenmesi esnasında ayrılaştığını ve asitik kayalarda ve özellikle porfirik dasitlerde biriktiğini göstermektedir. Porfirik dasit dayklarda, L_{AI} arttıkça Sr, Nb, Y ve Zr oranlarının sabit kalması, tamamen ayrışmadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Cr-Y ve TiO_2 -Zr arasındaki ilişki hornblend ayrılaşmasını desteklemektedir (Şekil 11). Y, amfibol minerallerinin bünyesinde bulunmakta ve hareketsiz olarak bilinmektedir. Ancak Y'un kloritleşmiş ortamlarda hareketli olduğu da bilinmektedir (MacLean ve Kranidoitis, 1987; MacLean, 1990; Barrett ve MacLean, 1991; Barrett vd., 1992; Shriver ve MacLean, 1993; Barrett vd., 1993). Dolayısıyla, porfirik dasitlerde Y'un L_{AI} arttıkça sabit kalması, amfibollerin bozuşması sonucu oluşan klorit+kuvars birlikteliğinin ve ayrışmaya bağlı olarak kayaların kütlelerinin artmasının veya azalmasının bir sonucudur.

Porfiri dasit dayklarda görülen negatif Nb anomalisi, kayaların gelişiminde yitimin ve yitim zonu üzerindeki metazomatizmadan etkilenmiş manto kamasının önemli bir rol oynadığını gösterir (Pearce, 1982). Dolayısıyla, negatif Nb anomalisi yitim zonu ortamını yansıtmaktadır. YÇAE'in bir kısmında görülen zenginleşme, porfiri dasit daykların gelişiminde yitim ve yitim zonu üzerindeki metazomatizmadan etkilenmiş manto kamasının etkisini göstermektedir. Porfirik dasitlerde negatif Eu anomalisi gözlenmekte olup, ortalama Eu anomalisi 0.61'dir. Negatif Eu anomalisi, düşük basınç (≤ 10 kb) plajiyoklas ayrılaşmasının ürünü olabilir (Briggs ve McDonough, 1990). Kondirite göre normalleştirilme sonucu, bu kayaların hafif NTE (La, Ce Pr ve Nd) değerlerinin artması, orta (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy ve Ho) ve ağır NTE (Er, Tm, Yb ve Lu) değerlerine göre daha fazladır. NTE'nin dağılım şekli (Şekil 13), bu kayaların gelişiminde hornblend ile plajiyoklas ayrılaşmasının etkili olduğunu belirtmektedir.

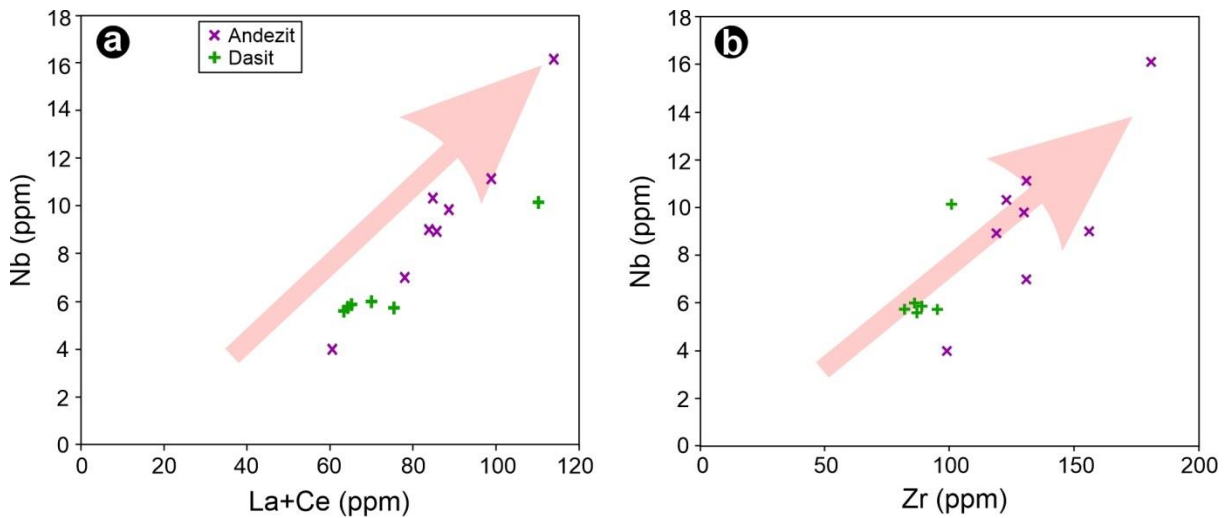
Kabuk Kirlenmesi

Nb/U, La/Nb ve Th/Nb gibi iz element oranları, kıtasal kabuk materyalleri ve manto kökenli mafik magmaların güçlü zıt bileşimlerinden dolayı kabuk kirlenmesinin rolünü belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kıtasal kabuk düşük Nb/U (4.4-25) ile yüksek La/Nb (1.6-2.6) ve Th/Nb (0.24-0.88) oranlarına sahiptir (Rudnick ve Gao,

2003). Okyanus adası bazaltı (OAB) ve okyanus ortası sırtı bazaltı (OOSB) ise yüksek Nb/U (>45) ile düşük La/Nb (0.8–1.1) ve Th/Nb (<0.1) oranlarına sahiptir (Sun ve McDonough, 1989; Hollanda vd., 2006). Çalışma alanındaki andezit daykının, düşük Nb/U (0.70-7.56) ile yüksek La/Nb (2.34-6.25) ve Th/Nb (0.66-1.86) oranlarına; porfirik dasit daykının düşük Nb/U (0.60-1.90) ile yüksek La/Nb (3.83-4.73) ve Th/Nb (1.86-3.67) oranlarına sahip olmaları kıtasal kabuk kirlenmesini işaret etmektedir.

Olası Kaynak

Çalışma alanındaki andezit ve porfirik dasit daykları Nb'a karşı La+Ce ve Zr diyagramlarına aktarıldığında porfirik dasit daykı ile başlayan ve andezit daykı ile devam eden pozitif ilişki görülmektedir (Şekil 14a, 14b). Bu daykların element çiftleri arasında korelasyon ilişkisini gösteren çizginin yaklaşık olarak orijinden geçmesi, daykların benzer kökenli bir kaynaktan türediklerini işaret edebilir (Şekil 14a, 14b).

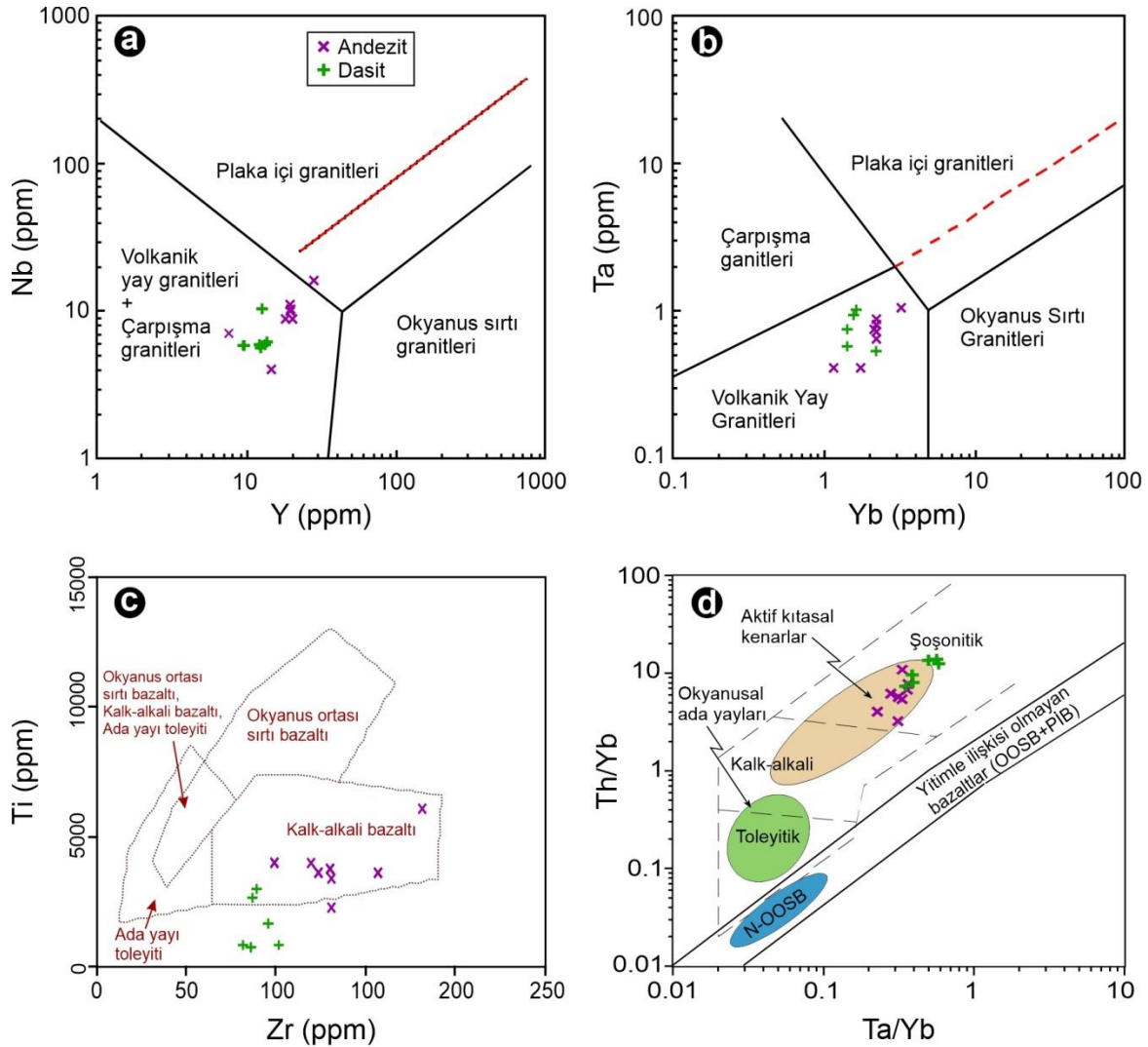


Şekil 14. Andezit ve porfirik dasit dayklarının a) La+Ce (ppm)'a karşı Nb (ppm) ve b) Zr (ppm)'a karşı Nb (ppm) değişim diyagramlarındaki dağılımları.

Figure 14. a) La+Ce (ppm) vs Nb (ppm) and, b) Zr (ppm) vs Nb (ppm) diagrams for the andesite and porphyritic dacite dykes.

Andezit ve porfirik dasit daykları çeşitli tektonik ortam diyagramlarına aktarıldığında, volkanik yay granitoyidi (VYG) alanında yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 15a ve 15b). Çalışma alanındaki andezit dayklar, Zr'a karşı Ti (Pearce ve Cann, 1973) diyagramında kalk-alkali bazalt (KAB) alanına düşerken, porfirik dasit dayklar KAB

alanında ve yakınında yer almaktadır (Şekil 15c). İnceleme alanındaki dayklar, Th/Yb karşı Ta/Yb diyagramında aktif kıta kenarları alanına denk gelmektedir (Şekil 15d).



Şekil 15. Andezit ve porfirik dasit dayklarının çeşitli tektonik yerleşim diyagramlarındaki dağılımları.

Figure 15. Different tectonic discrimination diagrams for the andesite and porphyritic dacite dykes.

Çalışma alanındaki dayklardan andezitlerde Zr/Nb (11.24–24.75), Zr/Y (5.32–16.17), Nb/Yb (2.26–5.79) ve Ti/V (38.37–80.85) oranları Kıtasal Kabuk (Rudnick ve Gao, 2003) Zr/Nb (16.08–16.50), Zr/Y (6.95–9.19), Nb/Yb (4.21–6) ve Ti/V (50.40–65.98) oranlarına benzemektedir. Benzer şekilde, porfirik dasit daykının Zr/Nb (9.95–16.52), Zr/Y (5.73–7.98), Nb/Yb (2.56–6.01) ve Ti/V (59.21–100) oranları da kıtasal kabuk ve zenginleşmiş okyanus ortası sırtı bazaltına (Sun ve McDonough, 1989) benzemektedir. Hareketsiz uyumsuz element oranları, çalışma alanındaki daykların yitim ilişkili volkanik yay ortamından kaynaklandığını ileri sürmektedir. BİYE

zenginleşmesi, zenginleşmiş alt kıtasal manto kaynağını göstermektedir. Ağır nadir toprak elementlere göre hafif nadir toprak element zenginleşmesi, BİYE'lerce zenginleşme ve negatif Nb anomalisi yitim ilişkili ortamların karakteristik özelliğidir (Rocha-Junior vd., 2013). Ayrıca, sadece ayrılaşma olayının değişmeyen uyumsuz element oranını koruyabildiği bilinmektedir (Innocenti vd., 1980). Çalışma alanındaki dayklarda yüksek Th ve U değerleri (andezitinde Th 7-18.1 ppm arasında ve U 2.13-10 ppm arasında, porfirik dasitte Th 10.7-22 ppm arasında ve U 3.22-10 ppm), bunların yiten kabuk malzemesinin karışmasıyla zenginleşmiş bir manto kaynağından türediklerini ifade etmektedir (Faure ve Mensing, 2005). Daykların ANTE dağılımlarında görülen yatay yönseme, kayaçları oluşturan olası ana magmanın muhtemelen spinel lertzolitik (<50 km derinlik) bir manto kaynağından kaynaklanabileceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla, çalışma alanındaki dayklar için Kretase yitim süresince metasomatize olmuş bir manto kaynağı olası olarak görülmektedir.

SONUÇLAR

Geç Kretase yaşlı volkanitleri kesen andezit ve porfirik dasit daykları porfirik doku sergilemekte olup, andezitler başlıca plajiyoklas ve ojit, porfirik dasitler ise kuvars, plajiyoklas, amfibol ve biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Andezitlerdeki plajiyoklaslar elek dokusu ve polisentetik ikizlenme göstermektedir. Ojit minerallerinin kenar kısımlarında opak mineral oluşumları yaygındır. Porfirik dasitlerde, iri kuvars kristallerinin kenarları kısmen yenmiş; plajiyoklaslar yaygın olarak serizitleşmiş, daha az oranda kalsitleşmiş, amfiboller kloritleşmiş, karbonatlaşmış (kalsit ve ankerit) ve opaklaşmış, biyotitler ise genel olarak kloritleşmiştir.

Daykların ana oksit ve iz element değişim diyagramlarındaki düzgün yönsemeleri ve mineral ayrılaşma diyagramları, kayaçların gelişiminde fraksiyonel kristalleşmenin etkili olduğunu işaret etmektedir. Daykların kondrite göre normalleştirilmiş NTE dağılımlarının belirgin negatif Eu anomali göstermesi, kayaçların gelişiminde plajiyoklas ayrılaşmasının etkili olduğunu belirtmektedir. Andezit daykların gelişiminde plajiyoklas ve ojit, porfirik dasitlerin gelişiminde ise hornblend ve plajiyoklas ayrılaşmasının etkili olduğu anlaşılmaktadır. Andezit daykının, düşük Nb/U ile yüksek La/Nb ve Th/Nb oranlarına; porfirik dasit daykının düşük Nb/U ile yüksek La/Nb ve

Th/Nb oranlarına sahip olmaları, kıtasal kabuk kirlenmesini dikkat çekmektedir. Dayklardaki negatif Ta ve Nb anomalisi olası ana magma gelişiminde yitimin varlığını belirtmektedir.

Sonuç olarak, elde edilen tüm verilere göre daykların, yay ortamında, Geç Kretase sonlarına doğru benzer kökenli ve yitim ilişkili metasomatize olmuş bir manto kaynağından itibaren türemiş oldukları düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Birinci sıradaki yazarın doktora çalışmasının bir bölümünü kapsayan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu (BAP) tarafından 2001.112.005.1 nolu proje ile desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Baş Editör Prof. Dr. Mehmet Tekin YÜRÜR, Teknik Editör Dr. Gülbanu TEKBULUT ve hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Adamia, S.A., Lordkipanidze, M.B., Zakariadze, G.S., 1977. Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of Caucasus. *Tectonophysics*, 40, 183-199.
- Akaryalı, E., Akbulut, K., 2016. Constraints of C-O-S isotope compositions and the origin of the Ünlüpinar volcanic-hosted epithermal Pb-Zn±Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 117, 119-134.
- Akaryalı, E., 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. In: J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society, London, Special Publications, 17, 415-428.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the eastern pontide volcanic rocks, Northeast Turkey. *Chemie der Erde/Geochemistry*, 57, 157-187.

- Aydın, F., Karlı, O., Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104, 249-266.
- 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.
- Barrett, T.J., MacLean, W.H., 1991. Chemical, mass, and oxygen isotope changes during extreme hydrothermal alteration of an Archean rhyolite, Noranda, Quebec. *Economic Geology*, 86 (2), 406-414.
- Barrett, T.J., Cattalani, S., MacLean, W.H., 1993. Volcanic lithochemistry and alteration at the Delbridge massive sulfide deposit, Noranda, Quebec. *Journal of Geochemical Exploration*, 48 (2), 135-173.
- Barrett, T.J., Cattalani, S., Hoy, L., Riopel, J., Lafleur, P.-J., 1992. Massive sulfide deposits of the Noranda area, Quebec. IV. The Moberly mine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29, 1349-1374.
- Bektaş, O., Pelin, S., Korkmaz, S., 1984. Doğu Pontid yay gerisi havzasında manto yükselimi ve polijenetik ofiyolit olgusu. *TJK Ketin Sempozyumu*, pp. 175-188.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdağ, K., Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): The formation of carbonates, breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. *Geologia*, 57, 1-2, 233-244.
- Briggs, R.M., McDonough, W.F., 1990. Contemporaneous Convergent Margin and Intraplate Magmatism, North Island, New Zealand. *Journal of Petrology*, 3 (14), 813-851.
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse composite pluton. *Gondwana Research*, 19, 926-944.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Dudas, F.O., Akaryalı, E., Bektaş, O., 2014. The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: Geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29-54.
- Faure, G., Mensing, T.M., 2005. *Isotope Principle and Applications*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.

- Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C., Akaryalı, E., 2017. Tersiyer Yaşlı Altınpınar Hornblendli Andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) Petrografisi, Mineral Kimyası ve P-T Kristalleşme Koşulları. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (2), 236-267.
- Hollanda, M.H.B.M., Pimentel, M.M., Oliveira, D.C., de Sá, E.F.J., 2006. Lithosphere-aesthenosphere interaction and the origin of Cretaceous tholeiitic magmatism in Northeastern Brazil: Sr-Nd-Pb isotopic evidence. Lithos, 86 (1-2), 34-49.
- Huston, D.L., 1993. The Effect Of Alteration and Metamorphism on Wall Rock to the Balcooma and Dry River South Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits, Queensland, Australia. Journal of Geochemical Exploration, 48, 277-307.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquaré, G., Serri, G., Villari, L., 1980. Geology of the volcanic area north of Lake Van (Turkey). Geologische Rundschau, 69, 292-322.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. International Geology Review, 54, 1776-1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N., Temizel, İ., 2014. La-Icp Ms zircon dating and whole-rock Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı Pluton, eastern Pontides, NE Turkey: Petrogenesis and Tectonic Implications of Arc-Related I-Type Magmatism. Lithos, 192-195, 271-290.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F., Temizel, İ., 2016. U-Pb zircon chronology and petrogenesis of carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. Gondwana Research, 39, 327-346.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B., 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.
- Lentz, D.R., 1996. Trace-element systematics of felsic volcanic rocks associated with massive-sulphide deposits in the Bathurst Mining Camp: petrogenetic, tectonic and chemostratigraphic implications for VMS deposits. In: D.A. Wyman (ed.), *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*, Geological Association of Canada, Short Course Notes 12, pp. 359-402.
- Lentz, D.R., 1999. Petrology, geochemistry, and oxygen isotope interpretation of felsic volcanic rocks and related rocks hosting the Brunswick No. 6 and No. 12 massive

- sulfide deposits, Bathurst Mining Camp, New Brunswick, Canada. *Economic Geology*, 94, 57-86.
- MacLean, W.H., Kranidiotis, P., 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, 82, 951-962.
- MacLean, W.H., 1990. Mass changes in altered rock series. *Mineralium Deposita*, 25, 44-49.
- Nicholls, I.A., Harris, K.L., 1980. Experimental rare earth element partition coefficients for garnet, clinopyroxene and amphibole coexisting with andesitic and basaltic liquids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44 (2), 287-308.
- Okay, A.İ., 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.
- Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., 1981, Doğu Pontidler'de Kretase: KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 1, 2, 65-114.
- Pearce, J.A., Norry, M.J., 1979. Petrogenetic Implication of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 33-47.
- Pearce, J.A., 1982. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries. In: Thorpe, R.S. (ed.), *Andesites, Orogenic Andesites and Related Rocks*. Wiley and Sons, Chichester, 525-548.
- Pearce, J.A., 1996. A User's Guide to Basalt Discrimination Diagrams. In: Wyman, D.A. (ed.) *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada, Short Course Notes 12, 79-113.
- Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973. Tectonic Setting of Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300.
- Pejatoviç, S., 1979. Metallogeny of the pontid-type massive sulphide deposits, mineral geochemistry of massive sulphide-associated hydrothermal sediments of the Brunswick horizon, bathurst mining camp, New Brunswick, Canadian Journal of Earth Sciences, 33, 252-283.
- Rocha-Júnior, E.R.V., Marques, L.S., Babinski, M., Nardy, A.J.R., Figueiredo, A.M.G., Machado, F.B., 2013. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the nature of the mantle sources involved in the genesis of the high-Ti tholeiites from northern Paraná

- continental flood basalts (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 46, 9-25.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. John Wiley & Sons, New York, 352 p.
- Ross, P.-S., Bédard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 46 (11), 823-839.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2003. Composition of the continental crust. In: Rudnick, R.L. (ed.), *The crust. Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64.
- Saydam Eker, Ç., Sipahi, F., Kaygusuz, A., 2012. Trace and Rare Earth Elements as Indicators of Provenance and Depositional Environments of Lias Cherts in Gumushane NE Turkey. *Chemie der Erde*, 72, 167-177.
- Shriver, N.A., MacLean, W.H., 1993. Mass, volume and chemical changes in the alteration zone at the Norbec mine, Noranda, Quebec. *Mineralium Deposita*, 28 (3), 157-166.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B., 2010. The alteration mineralogy and mass change of the Zigana(Gümüşhane) volcanics of NE Turkey. *Geological Bulletin of Turkey*, 53, 122-155.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B., 2014. Geochemistry of dacitic volcanics in the eastern Pontides (NE Turkey). *Geochemistry International*, 4, 329-349.
- Sipahi, F., 2005. Zigana dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineraloji ve jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sipahi, F., 2011. Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrb Mineral Abh (J. Min. Geochem.)*, 188, 169-190.
- Sipahi, F., 2017. Kalınçam (Tonya-Trabzon, KD Türkiye) yöresi Geç Kretase yaşlı volkanitlerin jeokimyası ve petrojenezi. *GÜFBED/GUSTIJ*, 7 (2), 102-127.
- Sipahi, F., 2019. Nature of the Tourmaline in Q-Porphyry from Eastern Pontide (NE Turkey): An U-Pb zircon Age, Geochemistry and Isotopic Approach. *Periodico di Mineralogica*, 88, Doi: 10.2451/2019PM859.
- Sipahi, F., Akpınar, İ., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A., Yılmaz, M., 2017. Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe-Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U-Pb zircon age, litho-geochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion,

- and O-H-C-S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, Part A, 32-52.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A., Akpınar, İ., 2018. Late Cretaceous Arc Igneous Activity: The Eğrikar Monzogranite Example. *International Geology Review*, 60, 382-400.
- Sipahi, F., Sadıklar, M.B., Şen, C., 2014. The geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of Murgul (Artvin) volcanics in the Eastern Black Sea Region (NE Turkey). *Chemie der Erde/Geochemistry*, 74, 331-342.
- Sun, S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Publications, Blackwell, Oxford, U.K., 312 p.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G., Peucat, J.J., 2012. Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: implications for extension-related origin and mantle source characteristics. *Lithos*, 128-131, 126-147.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1976. Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 28, 459-469.