



**Çarpışma Sonrası Pliyo-Kuvaterner Gözucu (Taşlıçay-Ağrı)  
Volkaniklerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Magma Kaynak Bölge Karakteristikleri,  
Doğu Anadolu, Türkiye**  
*Geochemical Features and Magma Source Regional Characteristics  
of the Post-Collisional Plio-Quaternary Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Volcanics, Eastern Anatolia, Turkey*

**Mustafa Açlan<sup>\*1</sup> , Yusuf Altun<sup>1</sup> **

<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Van

• Geliş/Received: 23.05.2019 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 01.08.2019 • Kabul/Accepted: 16.09.2019  
• Çevrimiçi İlk Yayın/Available online: 10.02.2020 • Baskı/Printed: 01.04.2020

*Araştırma Makalesi/Research Article* *Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Bu çalışma Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) volkaniklerinin petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesini amaçlar. İncelenen volkanikler subalkali, kalkalkali, yüksek K'lu seri ve şoşonitik özelliklere sahip olup, bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasitlerden meydana gelirler. Gözucu volkanikleri hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve büyük iyonlu litofil elementlerde (BİLE) zenginleşme, ağır nadir toprak elementleri (ANTE) ve kalıcılığı yüksek elementlerde (KYE) tüketilmeye sahiptirler. Gözucu volkanikleri kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerlerine yakın Sr ve Ba değerlerine (Sr-379 ppm Ba-639 ppm) sahiptirler. Bu yüksek değerler Gözucu volkaniklerinin oluşumu sırasında kıtasal kabuk kayalarından kirlenmeye uğradığına işaret eder. Düşük Nb/La (5,13 ppm) ve yüksek Ba/Rb (16,75 ppm) oranı Gözucu volkaniklerinin kirlenme süreci sırasında akışkanlardan ziyade sediment katkısının daha baskın rol oynadığını ifade etmektedir. Ana ve eser elementlerin ikili değişim diyagramlarındaki artma ve azalma eğilimleri fraksiyonel kristallenmeye ve tek bir manto kaynağına işaret etmektedir. Jeodinamik ortam olarak kıtasal yay ortamında ve çarpışma sonrasında oluşmuştur. Gözucu volkanikleri spinel mineralojisi açısından zengin bir litosferik manto kaynak bölgesinin %0,1 ile %3 oranında kısmi erimesi sonucu oluşmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kıtasal çarpışma, Bazalt, Doğu Anadolu, Taşlıçay, Kabuksal kirlenme

**Abstract:** This study aimed to determine the petrographic and geochemical features of the Plio-Quaternary Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) volcanics. These volcanics have subalkaline, calc-alkaline, high-K-series and shoshonitic features and are composed of basalt, andesite, trachyandesite, trachydacite and dacites. The Gözucu volcanics exhibit enrichment in light rare earth elements (LREE) and large ion lithophile elements (LILE) while showing depletion in heavy rare earth elements (HREE) and high field strength elements (HFSE). The average Sr and Ba values of Gözucu volcanics are close to continental crust values (Sr-379 ppm Ba-639 ppm), which means that these rocks were contaminated by the continental crust during formation. Low Nb/La (5.13 ppm) and high Ba/Rb (16.75 ppm) ratios indicate that the contribution of sediments was more than that of fluids during the contamination process of the Gözucu volcanics. Positive and negative trends of major and trace elements in the variation diagrams indicate fractional crystallization and a single mantle source. The Gözucu volcanics occurred with a partial melting of the spinel-rich lithospheric mantle source with 0.1-3% partial melting in the continental arc environment after the collision.

**Keywords:** Continental collision, Basalt, Eastern Anatolia, Taşlıçay, Crustal contamination.

\* Yazışma / Correspondence: maclan@yyu.edu.tr

## GİRİŞ

Doğu Anadolu Bölgesi dünyadaki kıtasal çarpışma sonucu gelişmiş orojenik kuşak özelliklerini yansıtan istisnai alanlardan birisi olması nedeniyle jeolojik açıdan büyük öneme sahiptir (Yılmaz vd., 1998; Keskin, 2003, 2007; Şengör vd., 2003; Barazangi vd., 2006; Keskin vd., 2006; Şengör vd., 2008; Ekici vd., 2012; Açlan ve Turgut, 2017; Oyan vd., 2017; Özdemir vd., 2019). Doğu Anadolu Bölgesinde Karlıova'nın doğusundaki Kafkaslarla Bitlis-Zagros kenet kuşağı arasındaki bölge (Şekil 1a) Doğu Anadolu Yığılım Kompleksi (DAYK) olarak adlandırılır (Şengör and Yılmaz 1981; Bozkurt 2001; Şengör vd., 2003; 2008). DAYK, Arabistan ve Avrasya levhaları arasında Erken Miyosen'de Bitlis-Zagros suture zonu boyunca meydana gelen çarpışma sonucu oluşmuştur (Şengör vd., 2003; 2008; Okay vd., 2010; Karaoğlan vd., 2016; Oyan, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018).

Bölgede Orta Miyosen'de (~15 My; Lebedev et. al., 2010) başlayan volkanik aktivite Pliyosen ve Kuvaterner'de yoğunlaşmıştır (Oyan vd., 2017). Bugüne kadar bölgedeki volkanik kayaçların jeolojik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen (Innocenti vd., 1976; Innocenti vd., 1980; Yılmaz vd., 1987; Ercan vd., 1990; Yılmaz vd., 1998; Al-Lazki vd., 2003; Keskin, 2003, 2007; Sandvol vd., 2003; Şengör vd., 2003; Özdemir vd., 2006; Şengör vd., 2008; Özdemir ve Güleç, 2014; Oyan vd., 2016, 2017; Açlan ve Turgut, 2017; Oyan, 2018; Açlan ve Davran, 2019; Özdemir vd., 2019), çalışmaya konu olan volkaniklerle ilgili Çakır (1994)'ün çalışması dışında bir çalışma mevcut olmayıp, bu çalışma da tamamen genel jeoloji amaçlı olarak yapılmıştır. Bu nedenle çalışmanın literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, Ağrı ilinin Taşlıçay ilçesinin 18 km güneybatısında yer alan (Şekil 1) Gözucu

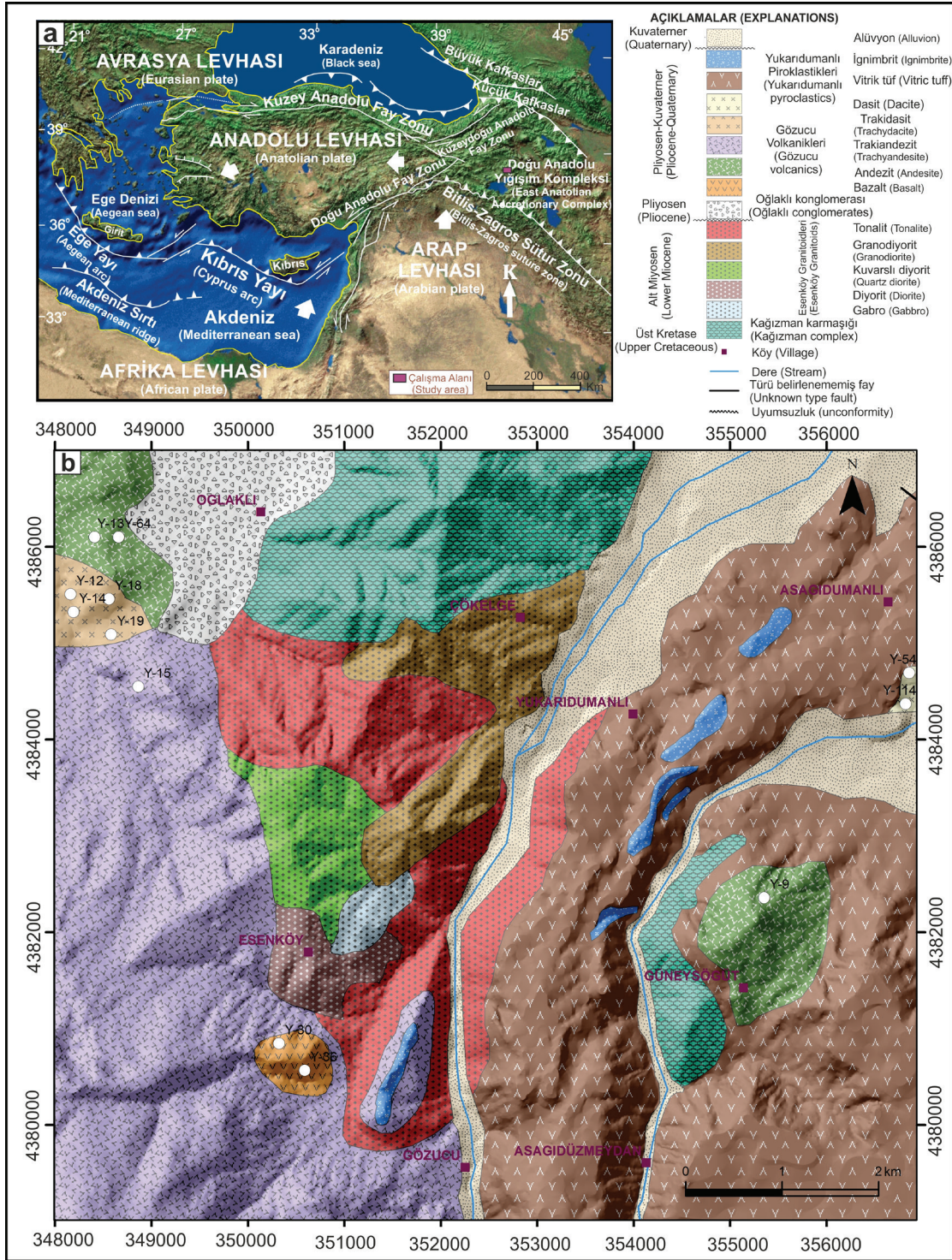
(Taşlıçay-Ağrı) dolaylarında gözlenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı (Çakır, 1994) volkanik kayaçların petrografik ve jeokimyasal özelliklerini belirlemek, bu kayaçların oluşumunda ve evriminde etkili olan magmatik süreçlere ve kaynak bölge karakteristiklerine yaklaşımda bulunmak amacıyla yapılmıştır.

## JEOLOJİ

DAYK bölgede temeli oluşturur (Şengör vd., 2003; 2008). DAYK içinde bulunan birimler, Paleozoyik-Mezozoyik metamorfik kayaçlar (Perinçek, 1980), Üst Kretase ofiyolitik melanj (Ketin, 1977) ve fliş (Şengör ve Yılmaz, 1981), Eosen-Alt Miyosen okyanusal sedimanter kayaçlar (Şengör and Yılmaz 1981; Şengör vd., 2008), Orta Miyosen ve daha genç kalkalkali ve alkali volkanik kayaçlar olarak gruplandırılabilir (Yılmaz vd., 1987; Keskin 2003; Şengör vd., 2008). Ek olarak bölgede Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanikler de oldukça yaygın olarak bulunurlar (Keskin, 2003; Özdemir vd., 2006; Şengör vd., 2008; Özdemir ve Güleç 2014; Oyan vd., 2016, 2017; Açlan ve Turgut, 2017; Açlan ve Davran, 2019).

Çalışma alanında temel Üst Kretase yaşlı Kağızman kompleksi tarafından temsil edilir. Alt Miyosen yaşlı ve başlıca gabro, diyorit, kувraslı diyorit, granodiyorit ve tonalitlerden oluşan Esenköy granitoidleri (Açlan ve Altun, 2018) bu kompleksi intrüzif olarak keser. Pliyosen yaşlı Oğlaklı konglomerası bu birimler üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gözucu volkanikleri (Çakır, 1994) ve Yukarıdumanlı piroklastikleri bu birim ile uyumlu bir dokanak ilişkisine sahiptir. Kuvaterner yaşlı alüvyon çalışma alanındaki en genç birimdir (Şekil 1).





Şekil 1. a) Çalışma alanının yer bulduru haritası (yer bulduru haritası üzerindeki tektonik hatlar Bozkurt, 2001 ve Koçyiğit, 2013'ten modifiye edilmiştir) b) Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (Altun, 2016).

Figure 1. a) Location map of study area (tectonic lines modified from Bozkurt, 2001 and Koçyiğit, 2013) b) 1/25.000 scale geology map of study area (Altun, 2016).

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanında bulunan volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bölgedeki volkaniklerden 18 adet kayaç örneği alınmıştır. Araziden toplanan kayaç örneklerinin tamamının petrografik ince kesitleri Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü incekesit laboratuvarında hazırlanmış olup kayaçların polarizan mikroskop ile yapılan petrografik incelemeleri sonucunda jeokimyasal analiz için uygun olan 12 adet kayaç örneğinin tüm kayaç ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME laboratuvarlarında (Vancouver-Kanada) yaptırılmıştır.

Ana elementler,  $\text{LiBO}_2$  ile füzyondan sonra İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES- Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy) ile ölçülmüştür. Ana element saptama limitleri yaklaşık % 0,001-0,04 arasındadır.

İz ve nadir toprak elementleri için, 0,2 g numune tozu ve 1,5 g  $\text{LiBO}_2$  bileşimli eritici, grafit potada karıştırılmış ve ardından 15 dakika boyunca 1.050 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Erimiş numune daha sonra %5  $\text{HNO}_3$  içinde çözülmüştür. Sonraki aşamada numune çözeltileri bir İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresine (ICP-MS- Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer) aspire edilmiştir.

Element konsantrasyonları, STD GS 311, STD GS910-4, STD OREAS45EA, STD DS10, STD SO 18 standartlarına göre belirlenmiştir. Kayaç içindeki ana ve iz elementlerin tespit sınırları, 0,01 ila 0,5 ppm aralığındadır.

## BULGULAR

### Petrografi

Çalışma alanında bulunan volkanik kayalar başlıca bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit türü kayalardan oluşurlar (Şekil 2, Çizelge 1).

Bazaltlar, mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik dokuya sahip olup, plajiyoklaz (labrador), klinopiroksen (ojit) ve olivin kayacın esas bileşenlerini oluştururlar (Şekil 2a). Plajiyoklazlar subtomorf tabüler fenokristaller ve hamurda mikrolitler halinde bulunurlar. Genellikle polisentetik albit ikizlenmesi gösteren plajiyoklazların mikroskopta incelenmesi sonucu (albit kanununa göre ikizlenmiş kristallerde sönme açılarının yardımı ile anortit içeriğinin saptanması yöntemi-Michel Levy yöntemi) Labrador ( $\text{An}_{55-65}$ ) türü oldukları tespit edilmiştir. Klinopiroksenler otomorf ve subtomorf fenokristaller halinde ve hamurda ksenomorf mikrotaneler halinde bulurlar ve ojit türü ile temsil edilirler (Şekil 2a). Yüksek optik engebeye sahip olan klinopiroksenler, tek nikolde renksiz veya soluk yeşil, çift nikolde ise III. ve IV. diziye ait yüksek dalga boylu mavi, mor girişim renklerini gösterirler. Olivinler kayaçta otomorf ve subtomorf fenokristaller halinde ve hamurda ksenomorf kristaller halinde bulunurlar (Şekil 2a).

Yaygın olarak hyalo-mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik doku gözlenen andezitlerde kayaç yapıcı bileşenler olarak plajiyoklaz ve hornblend görülür (Şekil 2b). Tali olarak gözlenen epidot (pistazit) ve klorit hornblend ve kayaçta az miktarda bulunan biyotitin alterasyonu sonucu gelişmiştir. Subtomorf fenokristaller ve mikrolitler halinde gözlenen plajiyoklazların andezin ( $\text{An}_{35-44}$ ) oldukları tespit edilmiştir. Çok yaygın olmamakla birlikte bazı plajiyoklaz kristallerinde zonlanma gözlenir. Hornblendler otomorf ve subtomorf fenokristaller halinde bulunurlar. Otomorf kristallerinde çift yöndeki dilinim izleri tipik olan hornblendlerde yer yer ikiz düzlemi (100) olan basit ikizlenme gözlenmiştir. Biyotitler kayaçta az miktarda subtomorf kristaller halinde bulunur. Kahverengi pleokroizma rengine sahip biyotitlerde kenarlarından itibaren kloritleşme gelişmiştir.

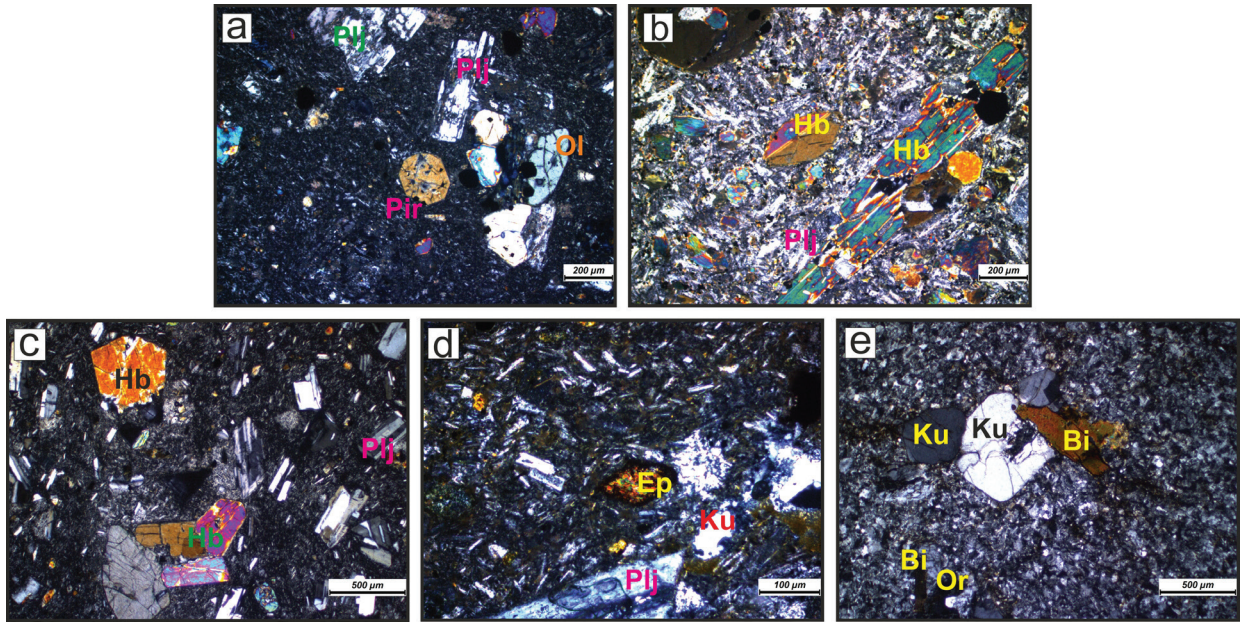
Trakiandezitlerde mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik doku gözlenir. Kayaçtaki mineral parajenezi olarak plajiyoklaz, hornblend,



klinopiroksen ile birlikte az miktarda biyotit sayılabilir. Epidot ve klorit mineralleri, hornblend ve biyotitten itibaren gelişen bozunma sonucu kayada ikincil olarak yer almaktadırlar (Şekil 2c).

Trakidasitlerde mikrolitik porfirik, glomeroporfirik ve trakitik dokular gözlenir. Plajiyoklaz, potasyumlu feldispat, kuvars ve hornblend kayadaki mineral parajenezinin bileşenleri olarak sayılabilir. Kayada gözlenen epidotlar hornblendlerin bozunması ile gelişmiştir (Şekil 2d).

Dasitlerde mikrogranüler porfirik ve glomeroporfirik doku hakim olup, plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars esas bileşenlerdir. Kayada mafik mineral olarak biyotit gözlenir (Şekil 2e). Plajiyoklazlar subtomorf kristaller halinde bulunurlar. Ortoklazlar daha çok hamurda mikrokristaller olarak bulunur ve kaolinleşme türü alterasyon gösterirler. Kuvarlar subtomorf ve ksenomorf fenokristal ve hamurda daha çok ksenomorf taneler şeklinde gözlenir. Düzensiz gelişmiş çatlaklı kuvarlar yer yer kenarlarından kemirilmiş şekilde bulunurlar. Biyotitler kayada az miktarda fenokristal olarak bulunur.



**Şekil 2.** Gözucu volkaniklerine ait polarizan mikroskop görüntüleri a) Bazalt (ÇN) b) Andezit (ÇN) c) Trakiandezit (ÇN) d) Trakidasit (ÇN) e) Dasit (ÇN), (ÇN:Çift Nikol), (Bi: Biyotit, Ep: Epidot, Hb: Hornblend, Ku: Kuvars, Ol: Olivin, Or: Ortoklaz, Pir: Piroksen, Plj: Plajiyoklaz).

**Figure 2.** Polarized microscope views of Gözucu volcanics: a) Basalt (PPL) b) Andesite (PPL) c) Trachyandesite (PPL) d) Trachydacite (PPL) e) Dacite (PPL), (PPL: Plane Polarized Light), (Bi: Biotite, Ep: Epidote, Hb: Hornblende, Ku: Quartz, Ol: Olivine, Or: Orthoclase, Pir: Pyroxene, Plj: Plagioclase).

**Çizelge 1.** Gözucu volkaniklerinin modal mineralojisi ve petrografik özellikleri.**Table 1.** Modal mineralogy and petrographic features of the Gözucu volcanics.

Örnek No	Kayaç Adı	Doku	Modal Mineralojik Bileşim
Y-30	Bazalt	Mikrolitik porfirik, Glomeroporfirik	Plj, Ol, Kpir, Opak
Y-36	Bazalt	Mikrolitik porfirik	Plj, Ol, Kpir, Opak
Y-9	Andezit	Hyalo-Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Bi, Ep
Y-13	Andezit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Bi, Ep, Opak
Y-15	Trakiandezit	Mikrolitik porfirik, Entersertal	Plj, Hb, Bi, Opak
Y-64	Trakiandezit	Mikrolitik porfirik	Plj, Hb, Kpir, Ep, Opak
Y-12	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-14	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-18	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-19	Trakidasit	Mikrolitik porfirik, Trakitik	Plj, Or, Ku, Hb
Y-114	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Or, Ku, Bi
Y-54	Dasit	Mikrogranüler porfirik	Plj, Or, Ku, Bi

(Plj: plajiyoklaz; Or: ortoklaz; Ku: kuvars; Ol: olivin; Kpir: klinopiroksen; Hb: hornblend; Bi: biyotit; Ep: epidot)

(Plj: plagioclase; Or: ortoclase; Ku: quartz; Ol: olivine; Kpir: clinopyroxene; Hb: hornblende; Bi: biotite; Ep: epidote)

**Jeokimya**

Çalışma alanındaki volkanik kayaçların ana-iz ve nadir toprak element jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Gözucu volkaniklerinin  $\text{SiO}_2$  içerikleri 42,28-65,03 arasında,  $\text{MgO}$  içerikleri 0,50-13,38 arasında,  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  içerikleri 2,25-9,36 arasında değişir. Örnekler toplam alkali-silis (TAS) diyagramında (Le Bas vd. 1986) bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit alanlarına düşmektedirler (Şekil 3a). Gözucu volkanikleri TAS diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971) subalkali bölgede (Şekil 3b), AFM diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971) kalkalkalen bölgede yer alırlar (Şekil 3c). Örnekler  $\text{SiO}_2$ ’ye karşı  $\text{K}_2\text{O}$  diyagramında (Peccerillo ve Taylor, 1976) toleyitik alandan şoşonitik alana kadar dağılmış olarak gözlenirler (Şekil 3d).

Gözucu volkaniklerine ait kayaçların ana element oksit ve seçili iz elementlerinin  $\text{SiO}_2$ ’ye göre değişim diyagramlarına bakıldığında, ana oksitlerden  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriğinde silis miktarının artışı ile plajiyoklaz kristalizasyonuna bağlı olarak düzenli bir azalma görülür,  $\text{MgO}$

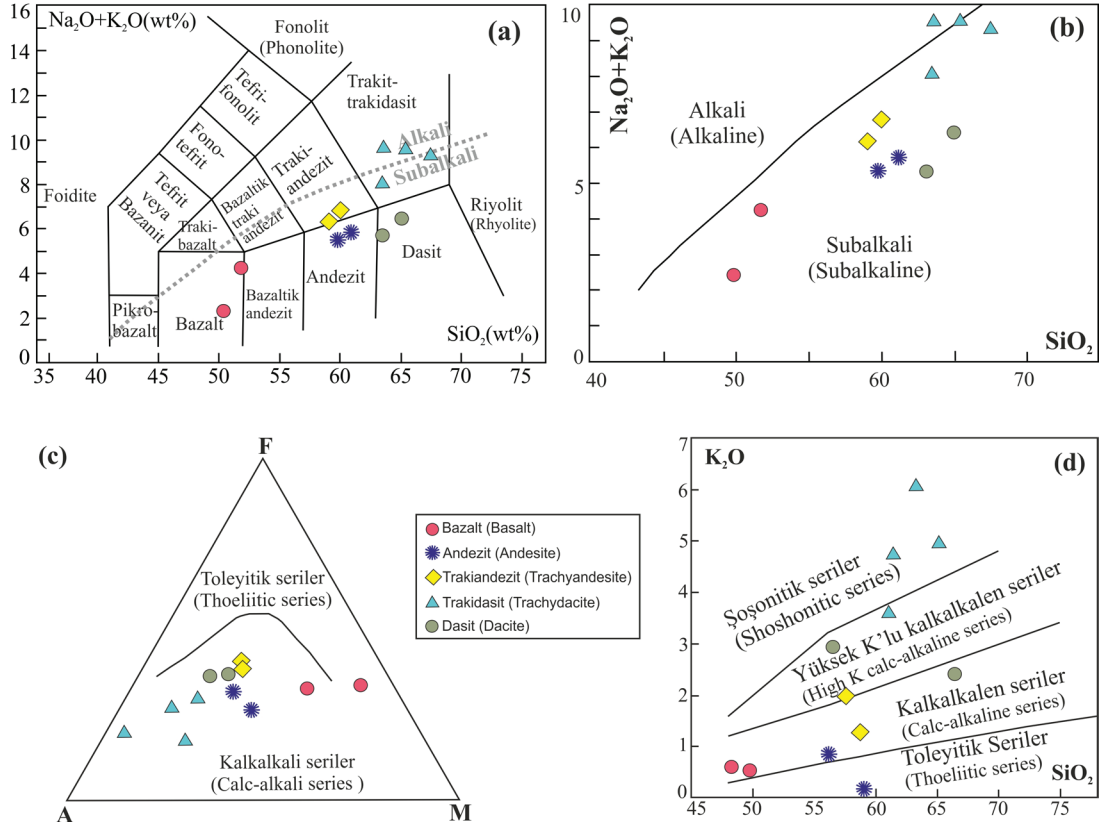
oranındaki silis artmasına karşın negatif gidiş hornblend, biyotit ve piroksen kristalizasyonu ile açıklanabilir.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  içeriğinde silis içeriğinin artışına bağlı olarak görülen düzenli azalma trendi her ne kadar doğrusal olmasa da bazalttan dasite doğru belirtilen elementlerin azalması piroksen ve titanit kristalizasyonundan kaynaklanmaktadır.  $\text{CaO}$  içeriğinde kalsiyumca zengin plajiyoklazların kristallenmesi nedeniyle düzenli bir azalma görülmektedir;  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  miktarları sodik plajiyoklazların ve K’lu feldispatların kristalizasyonu nedeniyle silis artışı ile artar; iz elementlerden Sc, piroksen, amfibol ve biyotitlerin kristallenmesine bağlı olarak azalma eğilimi; Co ise olivin kristalizasyonuna bağlı olarak silis artışına karşı azalma eğilimi sergiler. Ba ve Rb miktarlarında K’lu feldispat, biyotit ve hornblend kristalizasyonuna bağlı olarak silis miktarının artması ile artış gözlenir, Th, Zr ve Nb kalıcılığı yüksek elementler ana minerallerden ziyade aksesuar minerallerin bünyesine girerek eriyikten uzaklaşma eğiliminde olduklarından ve aksesuar minerallerin kristallenmenin sonlarına doğru oluşması nedeniyle silis miktarındaki artışa

**Çizelge 2.** Gözucu volkaniklerine ait ana-iz ve nadir toprak element jeokimyasal analiz sonuçları.

**Table 2.** Geochemical analysis results of major-trace and rare earth elements Gözucu volcanics.

Örnek	Y-30	Y-36	Y-9	Y-13	Y-15	Y-64	Y-12	Y-14	Y-18	Y-19	Y-114	Y-54
<b>Kayaç Adı</b>	<b>Bazalt</b>	<b>Bazalt</b>	<b>Andezit</b>	<b>Andezit</b>	<b>Trakiandezit</b>	<b>Trakiandezit</b>	<b>Trakidasit</b>	<b>Trakidasit</b>	<b>Trakidasit</b>	<b>Trakidasit</b>	<b>Dasit</b>	<b>Dasit</b>
SiO <sub>2</sub>	48,27	49,74	58,68	57,47	56,51	56,31	65,03	61,33	63,23	60,92	63,87	60,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,36	16,97	16,16	16,10	16,73	16,22	16,88	16,59	16,42	16,72	15,75	14,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,73	6,59	6,39	6,13	5,82	5,43	2,90	4,88	3,11	6,33	4,17	4,11
MgO	13,38	7,80	3,91	3,58	3,34	3,72	0,50	2,00	3,18	2,95	2,18	4,35
CaO	10,84	9,52	5,25	6,90	6,42	5,32	1,06	1,54	0,52	0,71	5,39	5,62
Na <sub>2</sub> O	1,68	3,63	4,46	3,40	3,09	5,60	4,11	4,51	3,28	4,19	4,00	5,09
K <sub>2</sub> O	0,57	0,45	1,22	1,91	2,94	0,84	4,97	4,78	6,08	3,62	2,37	0,29
TiO <sub>2</sub>	0,64	1,42	0,71	0,83	0,87	0,69	0,89	0,76	0,88	0,71	0,57	0,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,28	0,14	0,25	0,25	0,13	0,21	0,24	0,22	0,28	0,20	0,12
MnO	0,12	0,11	0,04	0,11	0,16	0,04	0,04	0,27	0,03	0,06	0,05	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	<0,002	0,01	<0,002	<0,002	0,01	0,02
AK(LOI)	2,90	3,20	2,80	3,00	3,60	5,50	3,00	2,80	2,80	3,30	1,20	4,40
Toplam	99,68	99,71	99,80	99,68	99,70	99,82	99,55	99,73	99,77	99,77	99,79	99,81
Ni	97,00	23,00	26,00	<20	<20	<20	<20	26,00	<20	<20	33,00	60,00
Sc	35,00	35,00	16,00	15,00	17,00	16,00	9,00	12,00	9,00	11,00	10,00	13,00
Ba	104,00	129,00	316,00	685,00	657,00	244,00	2467,00	826,00	805,00	805,00	532,00	107,00
Be	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	1,00	4,00	2,00	<1	1,00	<1	1,00
Co	39,30	17,10	7,10	17,00	16,90	14,30	2,10	14,60	4,90	8,40	10,60	11,90
Cs	4,10	1,60	1,40	86,70	3,50	0,50	3,70	2,30	0,50	1,00	2,00	0,30
Ga	11,30	18,40	15,00	15,10	17,50	14,70	17,40	16,60	16,10	16,30	16,60	14,90
Hf	1,90	4,30	4,00	5,70	5,90	3,70	10,10	6,70	8,00	5,60	4,30	3,70
Nb	4,60	14,90	12,50	17,00	18,10	9,80	32,20	21,80	26,10	19,10	12,20	10,30
Rb	13,40	7,70	28,70	64,70	105,60	24,80	155,20	161,00	98,70	76,70	66,10	6,60
Sn	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	<1	3,00	2,00	2,00	2,00	<1	1,00
Sr	289,90	523,90	357,30	705,80	525,20	380,80	188,40	385,10	71,20	170,60	516,60	441,00
Ta	0,30	1,00	0,90	1,00	1,00	0,80	2,00	1,60	1,50	1,30	0,80	0,90
Th	3,00	3,30	8,60	14,60	13,40	7,70	21,10	20,20	17,90	14,10	9,10	11,30
U	0,60	1,30	3,10	4,50	4,20	2,60	6,10	5,60	5,60	3,90	2,90	3,80
V	184,00	295,00	145,00	155,00	156,00	137,00	60,00	113,00	56,00	123,00	84,00	116,00
W	<0,5	0,60	0,50	1,20	1,20	0,80	1,80	1,70	2,20	2,20	0,70	0,80
Zr	64,40	155,20	155,10	239,60	241,10	134,60	408,10	287,20	329,00	220,50	169,40	145,80
Y	15,10	29,60	21,10	22,10	21,80	15,50	34,90	26,40	31,90	19,70	14,10	16,10
La	14,70	31,60	30,20	36,80	37,00	18,90	64,00	47,90	52,60	38,90	35,20	26,20
Ce	28,40	66,50	53,40	70,80	71,20	34,80	111,30	86,90	99,50	76,60	53,70	47,20
Pr	3,32	8,37	5,82	7,55	7,71	3,68	13,26	9,38	10,90	7,68	6,18	4,87
Nd	14,40	34,70	20,90	28,30	28,30	14,10	46,90	34,30	42,30	28,00	22,10	18,00
Sm	3,25	7,21	4,47	5,29	5,46	2,77	8,32	5,74	7,47	5,02	3,87	3,21
Eu	0,96	1,91	0,95	1,28	1,30	0,79	1,76	1,39	1,62	1,09	1,00	0,80
Gd	3,13	6,66	3,99	4,74	4,99	2,70	7,38	5,46	6,27	4,35	3,32	3,02
Tb	0,51	1,00	0,67	0,73	0,75	0,48	1,10	0,81	0,98	0,68	0,50	0,49
Dy	2,86	5,45	3,87	4,48	4,31	2,74	6,40	4,50	5,61	3,74	2,77	2,94
Ho	0,55	1,07	0,77	0,82	0,83	0,57	1,32	0,84	1,17	0,75	0,50	0,57
Er	1,49	2,90	2,23	2,34	2,30	1,69	3,75	2,56	3,48	2,16	1,39	1,66
Tm	0,22	0,44	0,33	0,38	0,36	0,28	0,60	0,41	0,54	0,30	0,20	0,27
Yb	1,30	2,75	2,20	2,36	2,38	1,80	3,90	2,76	3,75	2,19	1,25	1,84
Lu	0,20	0,42	0,36	0,39	0,37	0,28	0,63	0,40	0,59	0,30	0,19	0,29
Nb/La	0,31	0,47	0,41	0,46	0,49	0,52	0,50	0,46	0,50	0,49	0,35	0,39
Ba/Rb	7,76	16,75	11,01	10,59	6,22	9,84	15,90	5,13	8,16	10,50	8,05	16,21
(Th/Nb) <sub>N</sub>	12,7	4,3	13,4	16,7	14,4	15,3	12,72	17,99	13,31	14,33	14	21
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1,93	1,94	1,45	1,61	1,68	1,20	1,51	1,58	1,34	1,59	2,12	1,31
(La/Yb) <sub>N</sub>	7,54	7,66	9,15	10,40	10,36	7,00	10,94	11,57	9,35	11,84	18,77	9,49



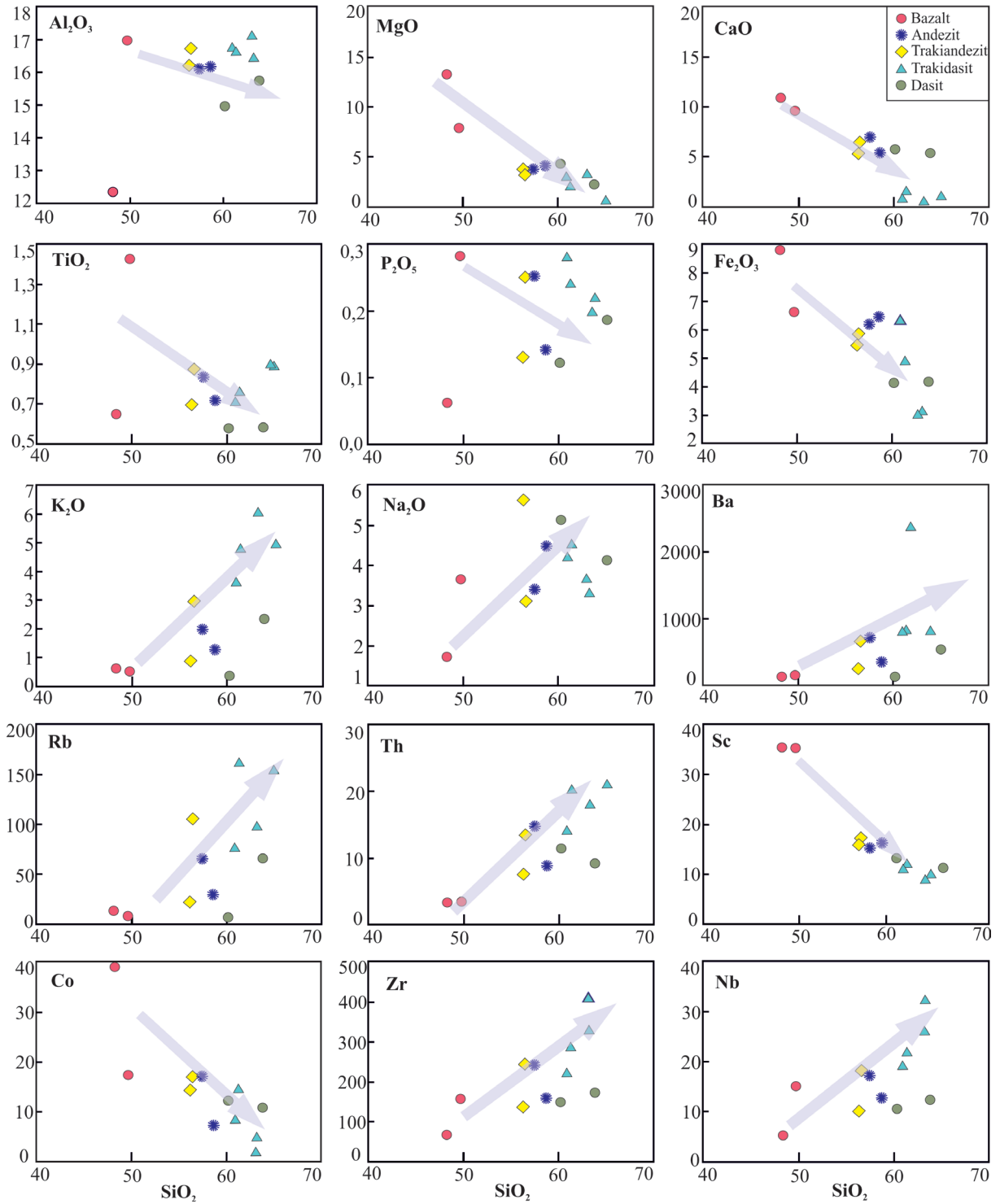


**Şekil 3.** Gözucu volkaniklerinin a) TAS diyagramındaki konumları (Le Bas vd., 1986). b) Irvine ve Baragar'ın (1971)'in TAS diyagramındaki, c) AFM (A:  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ , F: FeO, M: MgO) diyagramındaki (Irvine ve Baragar, 1971) d),  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{SiO}_2$  diyagramındaki (Peccerillo ve Taylor, 1976) konumları.

**Figure 3.** Location of rock samples on volcanic units: a) TAS diagram of Le Bas et al., (1986) b) TAS diagram from Irvine and Baragar (1971) c) AFM (A:  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ , F: FeO, M: MgO) diagram d)  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{SiO}_2$  diagram from Peccerillo and Taylor (1976).

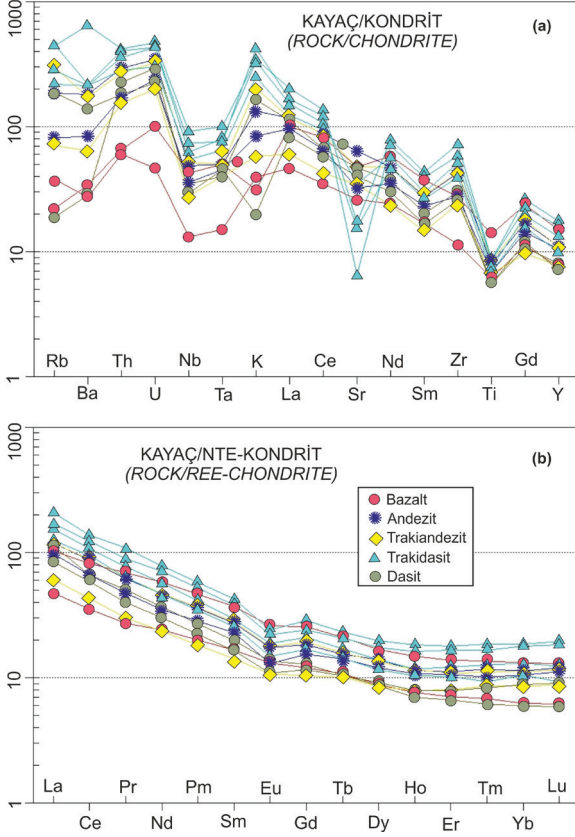
karşı artış eğilimi gösterirler (Şekil 4). Genel olarak çalışılan volkanik kayaların mafik üyesinden (bazalt) felsik üyesine (dasit) doğru ana ve iz elementlerdeki bu artma ve azalma trendleri bu kayaların tek bir magma kaynağından fraksiyonel kristalleşmeyle (Cox vd., 1979) oluştuğuna işaret etmektedir. İlksel mantoya göre normalize çoklu element örümcek diyagramında Cs, Rb, Ba, U ve K gibi büyük iyonlu litofil elementlerde (BİLE)

zenginleşme, Nb gibi yüksek değerlikli katyonlar (YDK) ve ağır nadir toprak elementlerinde ise (ANTE) tüketilme söz konusudur (Şekil 5a). İlksel mantoya göre normalize edilerek hazırlanan nadir toprak elementleri (NTE) örümcek diyagramında hafif nadir toprak elementleri (HNTE) açısından zenginleşme, ağır nadir toprak elementleri (ANTE) açısından tüketilme dikkat çeker. Eu açısından ise zayıf bir negatif trend gözlenir (Şekil 5b).



Şekil 4. Gözucu volkaniklerinin seçilmiş ana ve iz elementlerinin  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı değişim diyagramları.

Figure 4. Variation diagrams of selected major and trace elements of Gözucu volcanics.



**Şekil 5.** Gözucu volkaniklerinin örümcek diyagramları a) Kayaç/Kondrit b) Kayaç/NTE-Kondrit (kondrit normalize değerleri Sun vd., 1980, NTE kondrit normalize değerleri Boynton, 1984'ten alınmıştır)

**Figure 5.** Spider diagrams for Gözucu volcanics: a) Rock/Chondrite b) Rock/REE-Chondrite (chondrite normalizing values from Sun et al., 1980, REE chondrite-normalizing values from Boynton, 1984).

### Kabuksal Kirlenme ve Fraksiyonel Kristallenme

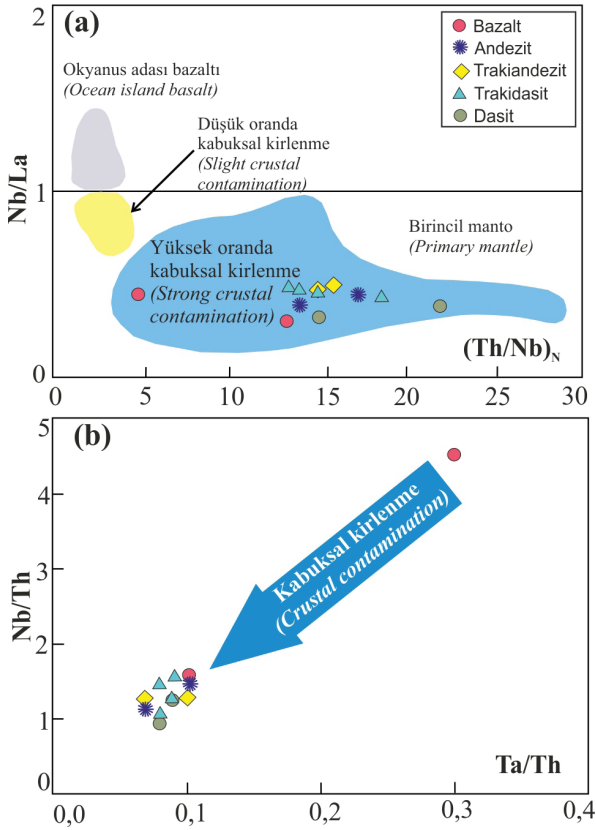
Kayaçların kimyasal bileşimindeki değişimler, magmaların evrimi sırasındaki değişim veya kirlenme hakkında bilgi verebilir. Çünkü mantodan türetilen magmaların kıtasal kabuk içinde yükselimleri ve yerleşmeleri sırasında bileşimlerinin, fraksiyonel kristalleşme ve kabuksal

kirlenme gibi bazı işlemlerle değiştirilmesi kaçınılmazdır (De Paolo, 1982; Hawkesworth vd., 1984; Lightfoot ve Hawkesworth, 1988; Arndt vd., 1993; Seghedi vd., 2001, 2004; Dessai vd., 2008; Michael ve Cheadle, 2009; Freund vd., 2013; Azzone vd., 2016; Hutchison vd., 2018). Kalıcılığı yüksek element içeriğinin düşük Sr ve Ba oranlarının yüksek olması, MgO içeriği düşük kayaçların kirlenmesine ilişkin göstergelerdir, çünkü kabuk BİLE'de zenginleşme ve kalıcılığı yüksek elementlerde tükenme gösterir (De Paolo, 1982; Cribb ve Barton, 1996; Ayalew vd., 2002; Beard vd., 2005; Ayalew ve Gibson 2009; Genske vd., 2013).

Gözucu volkaniklerinin ortalama Sr ve Ba değerleri sırasıyla 379 ppm ve 639 ppm olup, bu değerler kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerlerine oldukça yakındır (kıtasal kabuğun ortalama Sr ve Ba değerleri 503 ppm ve 707 ppm dir, Weaver ve Tarney, 1984). Bu Sr ve Ba'daki yüksek değerler, BİLE (örn. Rb, Ba, Sr) ve HNTE'inde ve kalıcılığı yüksek elementlerde (örn. Zr, Th, U, Ce) görülen zenginleşmeler Gözucu volkaniklerinin oluşumu sırasında kıtasal kabuk kayaçlarından kirlenmeye uğradığına veya magma kaynağına dalan levha tarafından sediman katkısına işaret etmektedir. Kabuksal kirlenmenin fraksiyonel kristalleşme ile birlikte etkili olduğu Nb/La'a karşı  $(Th/Nb)_N$  ve Nb/Th'a karşı Ta/Th diyagramlarından da görülebilir (Şekil 6a, b). Çalışılan volkanik kayaçların Nb/La,  $(Th/Nb)_N$ , Nb/Th ve Ta/Th değerleri sırasıyla 0,31-0,52; 4,3-17,99; 0,91-4,52; 0,07-0,3 arasında değişmektedir.

Üst kıtasal kabuğun ortalama Ta/Zr değeri 0,01 ppm ilksel mantonun Ta/Zr değeri 0,003 ppm (Taylor ve McLennan, 1985) olup Gözucu volkaniklerinin 0,02 pmm-0,08 pmm arasında değişen ve üst kıtasal kabuk değerinden yüksek Ta/Zr değerleri de kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir.





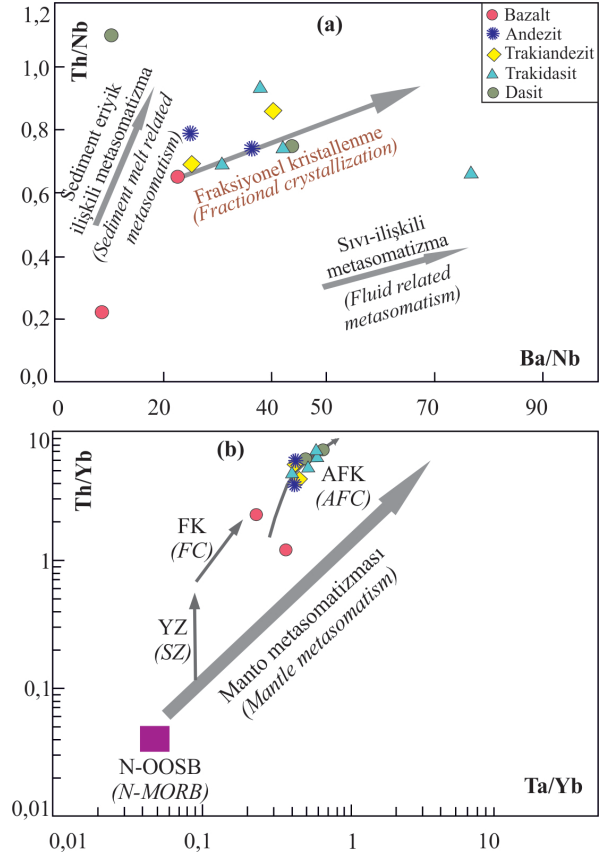
Şekil 6. Gözucu volkaniklerinin (a) Nb/La'a karşı (Th/Nb)<sub>N</sub> (Hart, 1988'den sonra) ve b) Nb/Th'a karşı Ta/Th diyagramlarındaki konumları.

Figure 6. Location of Gözucu volcanics in: a) Nb/La vs. (Th/Nb)<sub>N</sub> (after Hart, 1988) b) Nb/Th vs. Ta/Th diagrams.

Nadir toprak elementleri (NTE) açısından bakıldığında okyanus ortası sırtı bazaltının ortalama HNTE değeri 6,05 ppm ve ANTE değeri 2,664 ppm dir (McDonough, 1996). Çalışılan volkanik kayaların ortalama NTE değerlerine bakıldığında ortalama HNTE değerinin 413,83 ppm ve ANTE değerinin 26,625 ppm olduğu görülür ve yüksek değerler de kirlenmeye işaret eder.

Gözucu volkaniklerinin Th/Nb; Ba/Nb; Th/Yb ve Ta/Yb değerleri sırasıyla 0,22-1,1; 8,66-76,61; 1,2-7,32 ve 0,23-0,64 arasındadır. Çalışılan örnekler Th/Nb'a karşı Ba/Nb diyagramında fraksiyonel kristallenme (FK) vektörü boyunca; Th/Yb'ye karşı Ta/Yb diyagramında ise

asimilasyon fraksiyonel kristallenme (AFK) vektörü boyunca konumlanır (Şekil 7a, b). Bu özellikler Gözucu volkaniklerinin evrimi sırasında fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon fraksiyonel kristallenmenin ana etkili süreçler olduğunu ifade eder.



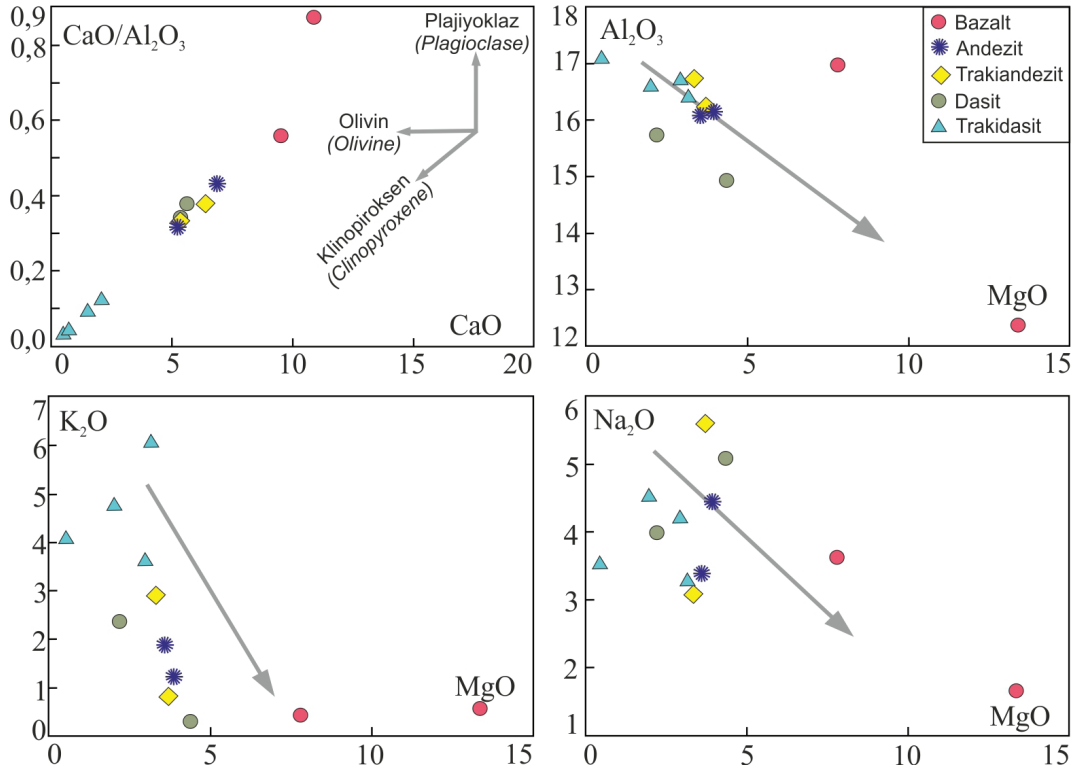
Şekil 7. Gözucu volkaniklerinin (a) Th/Nb'a karşı Ta/Nb diyagramı (b) Th/Yb-Ta/Yb diyagramındaki konumları (Pearce vd., 1984). Manto metasomatizması vektörü için N-OOSB (Sun ve McDonough, 1989) (Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı) değerleri kullanılmıştır YZ (Yitim Zonu). FK (Fraksiyonel Kristallenme). AFK (Asimilasyon Fraksiyonel Kristallenme).

Figure 7. Location of Gözucu volcanics in: a) Th/Nb vs. Ta/Nb (b) Th/Yb vs. Ta/Yb diagrams (Pearce et al., 1984). N-MORB values were used for mantle metasomatizması vector (Sun and McDonough, 1989) (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt). Abbreviations: YZ (Subduction Zone), FK (Fractional Crystallization), AFK (Assimilation Fractional Crystallization).

CaO ve  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  arasındaki doğrusal gidiş bu volkanik kayaların oluşumunun başlangıç aşamasında klinopirotksen ve kalsik plajiyoklazların ana farklılaşma fazı olduğuna (Şekil 8), MgO değerlerine karşılık  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  değerleri kullanılarak hazırlanan ikili değişim diyagramlarında bu oksit içeriklerinin gösterdiği negatif trend (Şekil 8) ve kondrite göre normalize edilmiş NTE örümcek diyagramında çok zayıf negatif Eu anomalisinin görülmesi (Şekil 5b) alkali feldispatların başlangıçtaki kristal fraksiyonlanmasında etkili faz olmadığına delil olarak kabul edilebilir. MgO ile Ni ve Co içerikleri arasında gözlenen pozitif anomaliler fraksiyonel kristallenmenin başlangıcında olivinin etkili bir faz olduğuna işaret eder (Şekil 9).

### Magma Kaynak Zenginleşmesi ve Kısmi Ergime

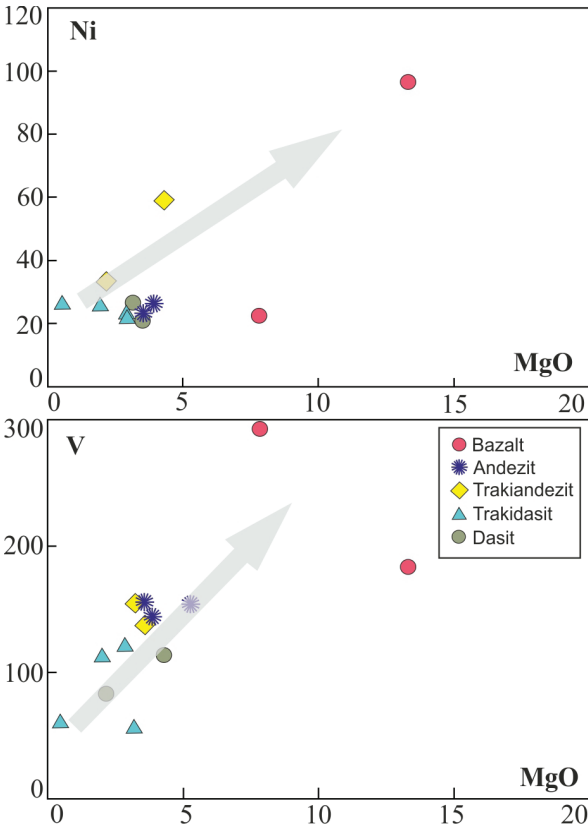
Zenginleşme süreçlerini test etmek için Wang vd. 2004'ün Ba/Rb a karşı Nb/La diyagramı kullanılabilir. Gözucu volkaniklerine ait kayaç örneklerinin tamamı bu diyagramda düşük Nb/La ve yüksek Ba/Rb değerleriyle Küresel Okyanusal Sedimentler (Plank ve Langmuir, 1998) alanına düşerler (Şekil 10a). Gözucu volkaniklerinin düşük Nb/La ve yüksek Ba/Rb değerleri manto kaynak bölge zenginleşmesinde sediment katkısının dahan okyanusal levha ile birlikte götürülen sedimentlerin arasında taşınan deniz suyundan ve okyanusal levhada gerçekleşen dehidratasyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan



**Şekil 8.** Gözucu volkaniklerinin CaO'ye karşı  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e karşı MgO;  $\text{Na}_2\text{O}$ 'e karşı MgO ve  $\text{K}_2\text{O}$ 'e karşı MgO diyagramlarındaki konumları.

**Figure 8.** Location of Gözucu volcanics in CaO vs.  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs. MgO;  $\text{Na}_2\text{O}$  vs. MgO and  $\text{K}_2\text{O}$  vs. MgO diagrams.

ve eriyik oluşumu sırasında açığa çıkan sıvıların oluşturduğu akışkanların katkısından daha fazla olduğunun bir işareti olarak kabul edilebilir (Tatsumi vd., 1986; Ryan vd., 1995; Turner vd., 1996; Plank ve Langmuir, 1998; Class vd., 2000; Turner, 2002; Elburg vd., 2002; Foley vd., 2002; Guo vd., 2005; Kessel vd., 2005). Ek olarak lavlardaki düşük Ba/Rb oranı (<1) manto kaynak bölgesinde akışkanca zengin metasomatizmaya işaret etmektedir (Wang vd. 2004). Çalışılan volkanik kayaların Ba/Rb oranları 5,13 ppm ile 16,75 ppm arasında değiştiğinden sediment katkısının akışkanlara nazaran daha baskın olduğu söylenebilir.



Şekil 9. Gözucu volkaniklerinin MgO'ye karşı Ni ve MgO'ye karşı V diyagramlarındaki konumları.

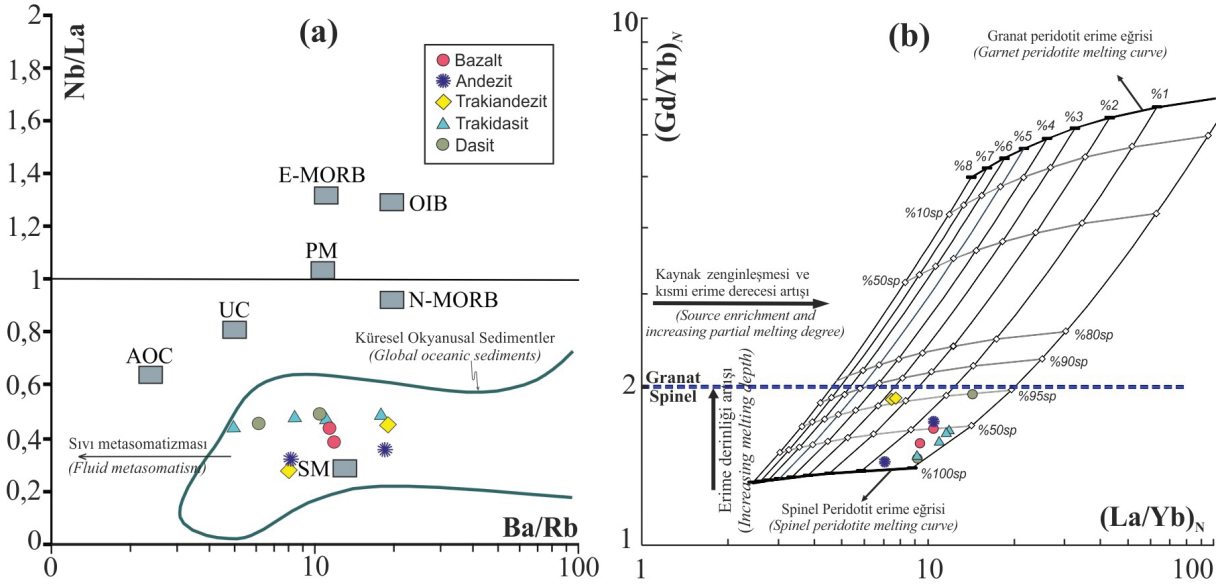
**Figure 9.** Location of Gözucu volcanics in MgO vs. Ni and MgO vs. V diagrams.

Gd/Yb (veya Dy/Yb, Tb/Yb) içerikleri granat ve spinel lerzolit kaynaklarını birbirinden ayırt etmede kullanılabilir (granat lerzolit (Gd/Yb)<sub>N</sub> oranı >2 ve spinel lerzolit (Gd/Yb)<sub>N</sub> oranı <2; Alvarado vd., 2014) (N kondrite göre normalize edilmiş değerleri gösterir). Bu amaçla Shaw 1970'in non-modal yığın kısmi ergime formülasyonu kullanılarak kısmi ergime modeli üretilmiştir. Diyagram üzerine farklı kısmi ergime dereceleri ve farklı kaynak mineralojisine sahip eğriler iz düşürülmüştür.

Gözucu volkaniklerinin kaynak bölgesinin kısmi erime derecesini yansıtmaması nedeniyle hazırlanan (La/Yb)<sub>N</sub> (HNTE/ANTE)'ye karşı (Gd/Yb)<sub>N</sub> (ONTE/ANTE) diyagramı, çalışılan volkaniklerin düşük (Gd/Yb)<sub>N</sub> oranlarına sahip spinel mineralojisi açısından baskın bir kaynak bölgesinin %0,1 ile %3 oranında kısmi erimesi ile türetilmiş olduğuna işaret etmektedir (Şekil 10b). Deneysel çalışmalar granat ile spinel arasındaki geçiş derinliğinin yaklaşık 70-90 km olduğunu ifade etmektedir (Fumagalli ve Klemme, 2015; Naemura vd., 2009; Takahashi ve Kushiro, 1983). Gözucu volkaniklerinin manto kaynağının spinelce zengin oluşu nedeniyle, bu kayaların litosferik mantonun sığ derinlikteki kısmının erimesi ile oluşmuş manto kaynağından itibaren oluştuğu söylenebilir.

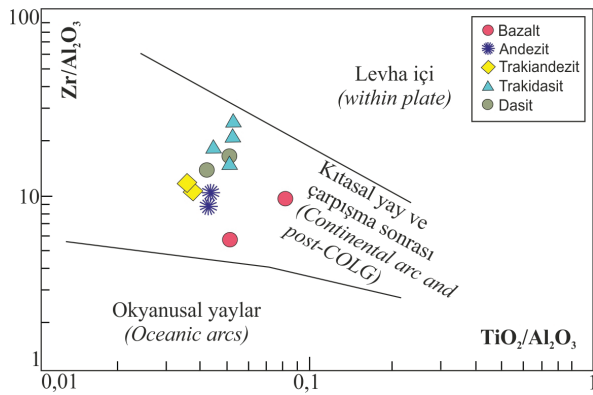
Çalışma alanının da içinde yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesi Pliyosen ve Kuvaterner'de yoğun volkanik faaliyetin etkisinde kalmıştır. Jeokimyasal veriler Gözucu volkaniklerinin çarpışma sonrasında kıtasal yay ortamında (Şekil 11b) oluştuğuna işaret etmektedir.





**Şekil 10.** a) Ba/Rb'a karşı Nb/La diagramı (Wang vd., 2004'ten sonra). Kısaltmalar: OAB (Okyanus Adası Bazaltı). İM (İlksel Manto). N-OOSB (Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı) Sun and McDonough (1989)'dan. ÜK (Üst Kabuk) Taylor ve McLennan (1985)'den. Küresel okyanusal sedimentler Plank ve Langmuir (1998)'den ve AOK (Altere Okyanusal Kabuk) Staudigel vd. (1996)'dan alınmıştır. (b)  $(La/Yb)_N$ 'a karşı  $(Gd/Yb)_N$  diagramı (Alvarado vd., 2014). Granat-Spinel geçiş çizgisi Alvarado vd. 2014'den alınmıştır. Erime ve karışma eğrileri üzerindeki % değerleri kaynak mineralojisinde sırasıyla spinel ve granatın kısmi erime derecelerini yansıtır. Granat ve spinel peridotit kaynaklarının mineralojisi için hesaplanan kısmi erime eğrileri (kaynak modu: granat peridotit. 0,598 Ol., 0,211 Opir. 0,076 Klp. 0,115 Gr; spinel peridotit: 0,578 Ol. 0,27 Opir. 0,119 Klp. 0,033 Sp (McKenzie ve Onions 1991). erime modu: granat peridotit. 0,05 Ol. 0,2 Opir. 0,3 Klp. 0,45 Gr; spinel peridotit: 0,1 Ol. 0,27 Opir. 0,5 Klp. 0,13Sp (Thirlwall vd. 1994). Bu modelde kullanılan dağılım katsayıları McKenzie ve Onions (1991) ve Adam ve Green (2006)'dan alınmıştır. İlksel manto normalize değerleri Sun ve McDonough (1989)'dan alınmıştır. Sp: spinel. Gr: granat. Ol: olivin. Klp: klinopiroksen. Opir: ortopiroksen).

**Figure 10.** a) Ba/Rb vs. Nb/La diagram (after Wang et al., 2004). Abbreviations: OAB (Ocean Island Basalt); İM (Primitive Mantle); N-OOSB (Normal Mid-Ocean Ridge Basalt) from Sun and McDonough (1989); ÜK (Upper Crust) from Taylor and McLennan (1985); GLOSS (Spherical oceanic sediments) from Plank and Langmuir (1998); AOK (Altered Oceanic Crust) from Staudigel et al., (1996). b)  $(La/Yb)_N$  vs.  $(Gd/Yb)_N$  diagram (Alvarado et al., 2014). Garnet and spinel transition line from Alvarado et al., 2014. % values on melting and mixing curves reflect partial melting degrees of spinel and garnet. Partial melting curves were calculated for mineralogy of garnet and spinel peridotite sources (source mode: garnet peridotite. 0.598Ol. 0.211Opx. 0.076Cpx. 0.115Gr; spinel peridotite: 0.578 Ol. 0.27 Opx. 0.119 Cpx. 0.033Sp; McKenzie and O'Nions 1991; melting mode: garnet peridotite. 0.05Ol. 0.2 Opx. 0.3 Cpx. 0.45Gr; spinel peridotite: 0.1 Ol. 0.27 Opx. 0.5 Cpx. 0.13Sp; Thirlwall et al. 1994). Partition coefficients for this model from McKenzie and O'Nions (1991) and Adam and Green (2006). Normalizing values for Primitive Mantle from Sun and McDonough (1989).



**Şekil 11.** Gözucu volkaniklerinin  $TiO_2/Al_2O_3$ 'e karşı  $Zr/Al_2O_3$  jeotektonik sınıflandırma diyagramlarındaki konumları (Muller vd. 1992).

**Figure 11.** Location of Gözucu volcanics in  $TiO_2/Al_2O_3$  vs.  $Zr/Al_2O_3$  diagrams (Muller et al., 1992).

## SONUÇLAR

Bu çalışma ile incelenen volkanik birimlerin bazalt, andezit, trakiandezit, trakidasit ve dasit türü kayalardan oluştuğu tespit edilmiştir.

Volkanik kayalar subalkali, kalkalkali, yüksek K'lu seri ve şoşonitik özelliklere sahiptirler. İkili değişim diyagramlarında  $SiO_2$  ye karşı ana oksitlerden  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , iz elementlerden Co ve Sc değerlerinde bazalttan dasite doğru gözlenen negatif trendler, benzer şekilde  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ba, Rb, Th, Zr ve Nb değerlerinde gözlenen pozitif trendler Gözucu volkaniklerinin oluşumu sırasında fraksiyonel kristallenme sürecinin etkili olduğunu; kayaların ortalama HNTE değerinin 413,83 ppm ve ANTE değerinin 26,625 ppm olduğu ve hafif nadir toprak elementleri (HNTE), büyük iyonlu litofil elementlerinde (BİLE) görülen zenginleşmeler bu kayaların oluşumu ve evrimi sırasında kıtasal kabuktan kirlenmenin de etkili bir süreç (AFK) olduğuna delil olarak kabul edilebilir.

Düşük Nb/La (5,13 ppm) ve yüksek Ba/Rb (16,75 ppm) oranı Gözucu volkaniklerinin kirlenme süreci sırasında akışkanlardan ziyade sediment katkısının daha baskın rol oynadığını ifade etmektedir.

Jeodinamik ortam olarak çarpışma sonrası kıtasal yay ortamında bulunan Gözucu volkanikleri için hazırlanan kısmi erime modeli ile bu volkanik kayaların spinel mineralojisi açısından baskın bir litosferik manto kaynak bölgesinin sıg bölümünün %0,1-%3 oranında kısmi erimesi ile türetilmiş olabileceği ortaya konulmuştur.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından 2010-FBE-YL 145 No'lu yüksek lisans tez projesi olarak desteklenmiştir.

## EXTENDED SUMMARY

The study area is located in the East Anatolian accretionary complex which formed as a result of the collision between the Arabian and Eurasian plates along the Bitlis-Zagros suture zone during Lower Miocene. The Gözucu volcanics are situated about 25 km southeast of Ağrı province and mainly consist of basalt, andesite, trachyandesite, dacite and trachydacite. The content of  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$  and  $P_2O_5$  systematically decreases with increasing  $SiO_2$ , and the  $K_2O$  and  $Na_2O$  content increases with increasing  $SiO_2$  content. Similarly, the Ba and Rb (LILE) content increases with increasing  $SiO_2$ ; while the content of Th, Zr and Nb increases with increasing  $SiO_2$ . The content of Sc and Co decreases with increasing  $SiO_2$ . These properties indicate fractional crystallization.

In chondrite-normalized multi-element spider diagrams, the Gözucu volcanics exhibit enrichment in LILE (Cs, Rb, Ba, K) and depletion in HFSE (Nb, Ti, Zr). The samples generally show enrichment in LREE and depletion of HREE in the REE chondrite-normalized spider diagram. Eu shows a weakly negative trend.

Fractional crystallization (FC) and assimilation fractional crystallization (AFC) are

*the main effective processes during evolution of the Gözücu volcanic rocks. We can observe this feature in some diagrams. The trend of FC can be seen in the Th/Nb vs. Ba/Nb diagram.*


*There is positive correlation on the MgO vs. Ni and MgO vs. V diagrams. These trends imply that olivine was the main fractionating phase initially, and that pyroxene did not play an important role at the beginning in differentiation of the primitive magmas of the Gözücu volcanics.*

*In addition, the linear trend between CaO and CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> suggests clinopyroxene crystallization in controlling the magmatic differentiation. The negative anomalies between MgO and the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, and K<sub>2</sub>O content indicate that feldspar was not effective at the beginning of the fractional crystallization.*

*The Nb/La vs. (Th/Nb)<sub>N</sub> and Nb/Th vs. Ta/Th diagrams imply crustal contamination during evolution of the Gözücu volcanics. The locations and trends of the rock samples on Th/Yb vs. Ta/Yb diagram support this.*

*The Gözücu volcanics, which formed in an active continental margin, continental arc and post-collisional environment, indicate that these volcanic rocks were formed with a partial melting of the spinel-rich lithospheric mantle source region with 0.1-3% partial melting.*

## ORCID

Mustafa AÇLAN  <https://orcid.org/0000-0002-2131-8646>

Yusuf ALTUN  <https://orcid.org/0000-0002-1963-8149>

## DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

Adam, J., Green, T. 2006. Trace element partitioning between mica- and amphibole-bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. Experimental results and the investigation of controls on partitioning behavior. Contributions to Mineralogy and Petrology, 152, 1-17.

Açlan, M., Turgut, İ.K. 2017. Şekerbulak (Diyadin-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Volkanik Kayaçların Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (4), 163-174.

Açlan, M., Altun, Y. 2018. Syn-collisional I-type Esenköy Pluton (Eastern Anatolia-Turkey): An indication for collision between Arabian and Eurasian plates. Journal of African Earth Sciences, 142, 1-11.

Açlan, M., Duruk, H.İ. 2018. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and tectonic setting of the Taşlıçay Granitoids, Eastern Anatolia, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 11 (336), 1-19.

Açlan, M., Davran, N. 2019. Karlıca Volkanitlerinin (Hamur-Ağrı) Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 40 (1), 72-91.

Al-Lazki, A., Seber, D., Sandvol, E., Türkelli, N., Mohamad, R., Barazangi, M. 2003. Tomographic Pn velocity and anisotropy structure beneath the Anatolian plateau (Eastern Turkey) and the surrounding regions. Geophysical Research Letters, 30, 8043.

Altun, Y. 2016. Oğlaklı-Gözücu (Taşlıçay-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Kayaçların Mineralojik-Petrografik İncelenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 141 s., (yayınlanmamış).

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J.M., Lagreulet, S., Segovia Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrin, P., Quidelleur, X. 2014. Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. Tectonics, 33, 67-83.

Arndt N. T., Czamanske G. K., Wooden J. L., and Fedorenko V. A. 1993. Mantle and crustal contributions to continental flood basalt volcanism. Tectonophysics (1-2), 223, 39-52.

Ayalew, D., Barbey, P., Marty, B., Reisberg, L., Yirgu, G., Pik, R. 2002. Source, genesis, and timing of giant ignimbrite deposits associated with Ethiopian continental flood basalts. Geochimica Cosmochimica Acta, 66 (8), 1429-1448.

- Ayalew, D., Gibson, S.A. 2009. Head-to-tail transition of the Afar mantle plume: geochemical evidence from a Miocene bimodal basalt–rhyolite succession in the Ethiopian Large Igneous Province. *Lithos*, 112 (3), 461–476.
- Azzone, R.G., Munoz, P.M., Enrich, G.E., Alves, A., Ruberti, E., Gomes, C.B., 2016. Petrographic, geochemical and isotopic evidence of crustal assimilation processes in the Ponte Nova alkaline mafic-ultramafic massif, SE Brazil. *Lithos*, 260, 58–75.
- Barazangi, M., Sandvol, E., Seber, D. 2006. Structure and tectonic evolution of the Anatolian Plateau in eastern Turkey, (Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia, Editörler: Dilek, Y., Pavlides, S.). Geological Society of America Special Paper, 409, 463–473.
- Beard, J.S., Ragland, P.C., Crawford, M.L. 2005. Reactive bulk assimilation: A model for crust-mantle mixing in silicic magmas. *Geology*, 33 (8), 681–684.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies (Rare Earth Element Geochemistry, Editör: Henderson, P.). Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 3-30.
- Class, C., Miller, D.M., Goldstein, S.L., Langmuir, C.H. 2000. Distinguishing melt and fluid subduction components in Umnak volcanics: Aleutian arc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, (3G) 1 (6), 1-34.
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. Boston, George Allen and Unwin.
- Cribb, J.W., Barton, M. 1996. Geochemical effects of decoupled fractional crystallization and crustal assimilation; *Lithos*, 37 (4) 293–307.
- Çakır, Y., 1994. Ağrı Diyadin ve İğdir Dolayının Jeoloji Etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Raporu, (yayınlanmamış).
- De Paolo, D.J., 1982. Sm-Nd, Rb-Sr and U-Th\_Pb systematics of granulite facies rocks from Fyfe Hills, Enderby Land, Antarctica. *Nature*, 298, 614-618.
- Dessai, A.G., Downes, H., Lopez-Moro, F.J., Lopez-Plaza, M., 2008. Lower crustal contamination of Deccan Traps magmas: Evidence from tholeiitic dykes and granulite xenoliths from western India. *Mineralogy and Petrology*, 93 (3–4), 243–272.
- Ekici, T., Colin, M.G., Otlu, N. 2012. Polybaric melting of a single mantle source during the Neogene Siverek phase of the Karacadağ Volcanic Complex SE Turkey. *Lithos*, 146, 152-163
- Elburg, M.A., Bergen, M.V., Hoogewerff, J., Foden, J., Vroon, P., Zulkarnain, I., Nasution, A., 2002. Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 2771–2789.
- Ercan, T., Fujitani, T., Madsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S., Tadahide, U.I. 1990. Doğu ve güneydoğu Anadolu Neojen–Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 110, 143–164.
- Foley, S.F., Tiepolo, M., Vannucci, R. 2002. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature*, 417, 837–840.
- Freund, S., Beier, C., Krumm, S., Haase, K.M. 2013. Oxygen isotope evidence for the formation of andesitic–dacitic magmas from the fast-spreading Pacific–Antarctic Rise by assimilation-fractional crystallization. *Chemical Geology*, 347, 271-283.
- Fumagalli, P., Klemme, S. 2015. Mineralogy of the Earth. Phase transitions and mineralogy of the upper mantle, (Treatise on Geophysics Volume 2, Mineral Physics, 2nd ed., Editör Gerald, S.). Elsevier, Oxford, 7–31.
- Genske, F.S., Beier, C., Haase, K.M., Turner, S.P., Krumm, S., Brandl, P.A., 2013. Oxygen isotopes in the Azores islands: Crustal assimilation recorded in olivine. *Geology*, 41 (4) 491–494.
- Guo, Z., Hertogen, J., Liu, J., Pasteels, P., Boven, A., Punzalan, L., He, H., Luo, X., Zhang, W. 2005. Potassic magmatism in western Sichun and Yunnan provinces, SE Tibet, China: petrological and geochemical constraints on petrogenesis. *Journal of Petrology*, 46, 33-78.



- Hart, S.R. 1988. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies. *Earth and Planetary Science Letter*, 90, 273-296.
- Hawkesworth, C.J., Rogers, N.W., Vancalsteren, P.W.C. 1984. Mantle enrichment processes. *Nature*, 311, 331-335.
- Hutchison, W., Mather, T.A., Pyle, D.M., Boyce, A.J., Gleeson, M.L., Yirgu, G., Blundy, J.D., Ferguson, J.D., Vye-Brown, C., Millar, L.I., Sims, K.W., Finch, A.A. 2018. The evolution of magma during continental rifting: new constraints from the isotopic and trace element signatures of silicic magmas from Ethiopian volcanoes. *Earth Planetary Science Letter*, 489, 203–218.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F., Villari, L. 1976. Evolution of volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates Lake Van, Eastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 103–112.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Serri, G., Villari, L. 1980. Geology of the volcanic area north of Lake Van, Turkey. *Geologischen Rundschau*, 69, 292–322.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Karaoğlan, F., Parlak, O., Thöni, M., Klötzli, U., Koller, F. 2016. The temporal evolution of the active margin along the Southeast Anatolian Orogenic Belt (SE Turkey): Evidence from U-Pb, Ar-Ar and fission track chronology. *Gondwana Research*, 33, 190-208.
- Keskin, M. 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30, 8046-8050.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Kempton, P.D., Greenwood, P. 2006. Magma–crust interactions and magma plumbing in a post-collision setting: geochemical evidence from the Erzurum–Kars Volcanic Plateau, Eastern Turkey, (Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia, Editörler: Dilek, Y., Pavlides, S.). *Geological Society of America Special Paper*, 409, 475–505.
- Keskin, M. 2007. Eastern Anatolia: a hot spot in a collision zone without a mantle pluma, (Plates, Plumes and Planetary Processes, Editörler: Foulger, G.R., Jurdy, D.). *Geological Society of America Special papers*, 430, 693–722.
- Kessel, R., Schmidt, M., Ulmer, P., Pettke, T. 2005. Trace element signature of subductionzone fluids, melts and supercritical liquids at 120-180 km depth. *Nature*, 437, 724–727.
- Ketin, İ. 1977. Türkiye'nin başlıca orojenik olayları ve paleocoğrafik evrimi. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 88, 1-4.
- Koçyiğit, A. 2013. New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586-605.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lebedev, V.A., Sharkov, E.V., Keskin, M., Oyan, V., 2010. Geochronology of the Late Cenozoic volcanism in the area of Van Lake (Turkey): an example of the developmental dynamics for magmatic processes. *Doklady Earth Sciences*, 433, 1031–1037.
- Lightfoot, P., Hawkesworth, C., 1988. Origin of Deccan Trap lavas: Evidence from combined trace element and Sr-, Nd and Pb-isotope studies. *Earth Planetary Science Letter*, 91 (1–2) 89–104.
- McKenzie, D., O'Nions, R.K. 1991. Partial melt distributions from inversion of rare Earth element concentrations. *Journal of Petrology*, 32, 1021-1091.
- Michael, P.J., Cheadle, M.J. 2009. Making a Crust; *Science*, 323 (5917) 1017–1018.
- Muller, D., Rock, N.M.S., Groves, D.I. 1992. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46, 259-289.
- Naemura, K., Hirajima, T., Svojtka, M. 2009. The pressure-temperature path and the origin of phlogopite in spinel-garnet peridotites from the Blansky les massif of the Moldanubian Zone, Czech Republic. *Journal of Petrology*, 50, 1795–1827.

- Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W. 2010. Apatite fission-track data for the Miocene Arabian-Eurasia collision. *Geology*, 38, 35-38.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V. 2016. Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Lithos*, 256-257, 88-108.
- Oyan, V. 2017. Petrogenesis and Ar-Ar dating of Early Miocene Mecitli granitoid in Eastern Anatolian Region, Turkey: evidence for lower crust-mantle interaction and fractionation from MMEs to host rocks on the basis of petrological modelling. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, 11-15 September, 2017. Prague (Czech Republic).
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., Ünal, E. 2017. Petrology and Geochemistry of the Quaternary Mafic Volcanism in the northeast of Lake Van, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Journal of Petrology*, 58, 1701-1728.
- Oyan, V. 2018. Geochemical and petrologic evolution of Otlakbaşı basaltic volcanism to the east of Lake Van. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 157, 1-21.
- Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A.Ü., Güleç, N. 2006. Volcano stratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, 226 (3-4), 189-211.
- Özdemir, Y., Güleç, N. 2014. Geological and geochemical evolution of Suphan stratovolcano Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere-asthenosphere interaction on post collisional volcanism. *Journal of Petrology*, 55, 37-62.
- Özdemir, Y., Mercan, Ç., Oyan, V., Özdemir, A.A. 2019. Composition, pressure, and temperature of the mantle source region of quaternary nepheline-basanitic lavas in Bitlis Massif, Eastern Anatolia, Turkey: A consequence of melts from Arabian lithospheric mantle. *Lithos*, 328-329, 115-129.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G.W. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Peccerillo, A., Taylor, S.P. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contribution Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Perinçek D. 1980. Bitlis metamorfitlelerinde volkanitli Triyas. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23 (2), 201-211.
- Plank, T., Langmuir, C.H. 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chemical Geology*, 145, 325-394.
- Ryan, J.G., Morris, J., Tera, F., Leeman, W.P., Tsvetkov, A. 1995. Cross-arc geochemical variations in the Kurile arc as a function of slab depth. *Science*, 270, 625-627.
- Sandvol, E., Türkelli, N., Barazangi, M. 2003. The Eastern Turkey Seismic Experiment: the study of a young continent-continent collision. *Geophysical Research Letter*, 24, 8038-8041.
- Seghedi, I., Downes, H., Pécskay, Z., Thirwall, M.F., Szakács, A., Prychodko, M., Matthey, D. 2001. Magma genesis in a subduction-related post-collisional volcanic arc segment: the Ukrainian Carpathians. *Lithos*, 57, 237-262.
- Seghedi, I., Downes, H., Szakács, A., Mason, P.R.D., Thirwall, M.F., Rosu, E., Pécskay, Z., Márton, E., Panaiotu, C. 2004. Neogene-Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian-Pannonian region: a synthesis. *Lithos*, 72, 117-146.
- Sun, S.S., Bailey, D.K., Tarney, J., Dunham, K., 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 297, 409-445.
- Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, (Magmatism in Ocean Basins, Editörler: Saunders, A.D., Norry M.J.). *Geological Society of London Special Publication*, 42, 313-345.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genc, T., Zor, E. 2003. East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure. *Geophysical Research Letter*, 30 (24, 8045), 1-4.

- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakiç, M., Özbakır, A.D., Kayan, I. 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth Sciences Review*, 90, 1-48.
- Takahashi, E., Kushiro, I. 1983. Melting of a dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis. *American Mineralogist*, 68, 859-879.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.J., Nesbitt, R.W. 1986. Chemical characterization of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high-pressure experiments and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 29, 293-309.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Turner, S., Arnaud, N., Liu, J., Rogers, N., Hawkesworth, C., Harris, N., Kelley, S., van Calsteren, P., Deng, W. 1996. Post-collisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *Journal of Petrology*, 37, 45-71.
- Turner, S.P., 2002. On the time-scales of magmatism at island-arc volcanoes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360, 2853-2871.
- Wang, K.L., Chung, S., O'Reilly, S.Y., Sun, S., Shinjo, R., Chen, C. 2004. Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the Northern Taiwan region. *Journal of Petrology*, 45, 975-1011.
- Weaver, B.L., Tarney, J., 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature* 310, 575-577
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y. 1987. Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y., Güner, Y., Şaroğlu, F. 1998. Geology of the Quaternary volcanic centers of the east Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 173-210.