

## Gülümuşağı (Malatya) çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı bazik magmatik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri

*Petrographic and geochemical characteristics of Eocene (?) basic igneous rocks outcropping around Gülümuşağı (Malatya)*

Abdullah SAR\* 

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23100, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 23.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 05.05.2024

### Öz

Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nda (GAOK) Malatya ili Gülümuşağı çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı magmatik kayalar gabro ve diyorit bileşiminde olup petrografik olarak plajiyoklaz, piroksen ve amfibol minerallerinden oluşmaktadır. İnceleme konusu gabro ve diyoritler düşük-orta K karakterine sahip olup ilksel mantoya göre normalize edilmiş iz element diyagramında Rb, P, Nb ve Ti elementlerinde negatif gidişler, Sr ve Ba değerlerinde pozitif yönsemelere sahiptir. Kondrite göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında yataya yakın bir gidiş göstermektedir. İnceleme konusu gabro ve diyoritler hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve ağır nadir toprak elementleri (ANTE) arasında  $La_N/Lu_N$  oranları 1.31 ile 1.53 arasında değişmekte ( $AS17=0.53$ ,  $AS20=5.35$ ) olup zayıf-orta seviyelerde fraksiyonlaşma göstermektedir. Gabro ve diyorit türü kayalar pozitif Eu anomalileri göstermekte olup,  $Eu_N/Eu^*$  değerleri (1.01-1.46) aralığında değişmektedir. Gabro ve diyoritler kısmen düşük La/Yb (0.63-6.31) ve Nb/La (0.42-0.75) oranlarına sahip olup litosferik manto/litosferik-astenosferik manto kökenine işaret etmektedir. Düşük Zr/Hf (12.6-39.3) ve Nb/Yb (0.31-3.26) oranları bu kayaların tüketilmiş bir manto kaynağından oluştuğunu göstermektedir. Gabro ve diyoritleri oluşturan ana magmanın gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin rolü asimilasyona göre daha fazladır. Tüm veriler ışığında, Eosen (?) yaşlı gabro ve diyoritlerin ana magmasının sığ derinlikleri temsil eden spinel içeren bir kayaktan türediği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Gülümuşağı, Gabro/diyorit, Jeokimya, Petrografi, Petrojenez

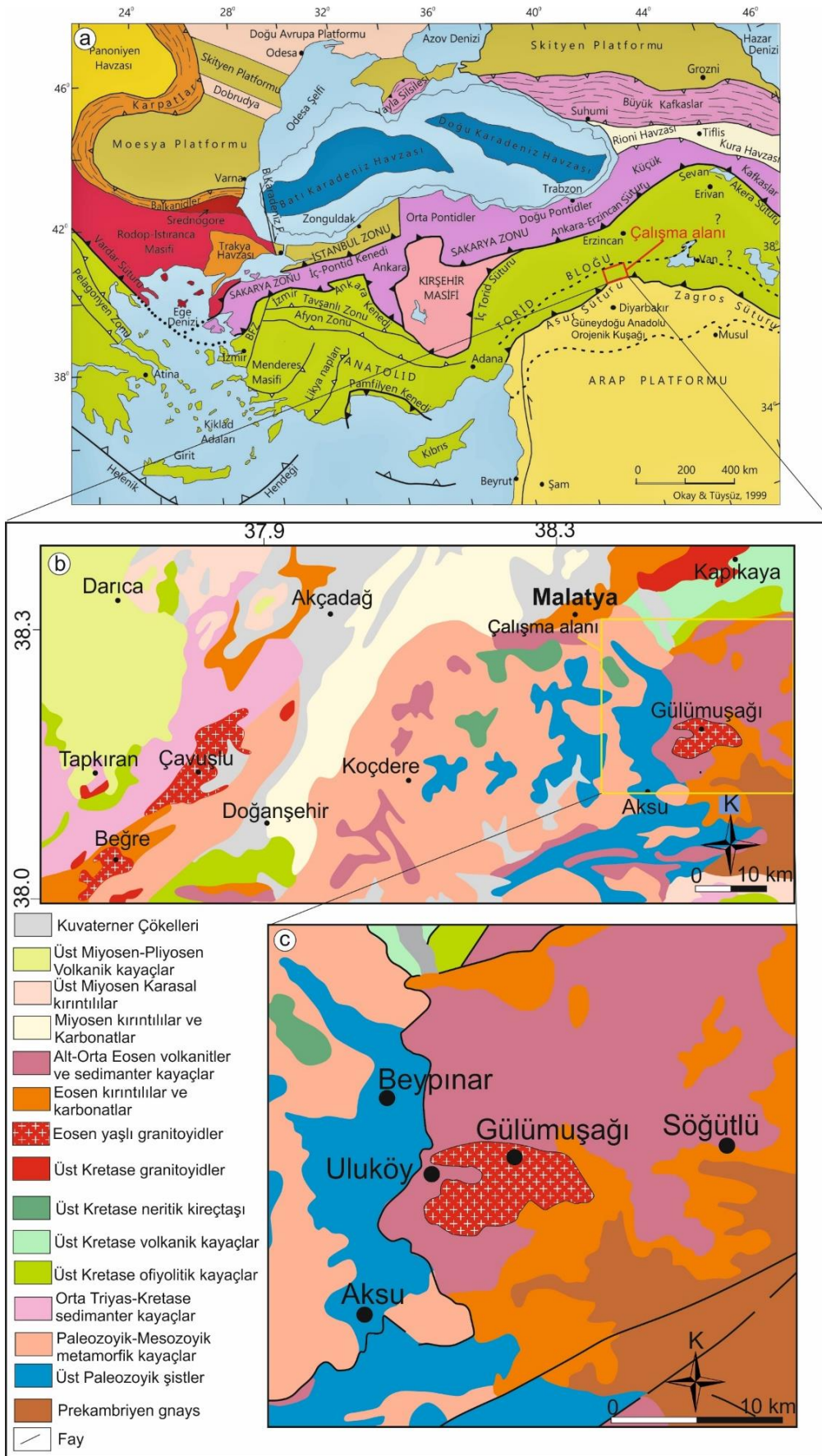
### Abstract

*Eocene (?) aged magmatic rocks cropping out around Gülümuşağı in Malatya province in the Southeastern Anatolian Orogenic Belt (SAOB) are in the composition of gabbro and diorite and petrographically consist of plagioclase, pyroxene and amphibole minerals. The gabbros and diorites under investigation have low-medium K character, negative trends in Rb, P, Nb and Ti elements, and positive trends in Sr and Ba values in the trace element diagram normalized according to the Primary Mantle. It shows an almost horizontal trend in the trace element variation diagram normalized according to chondrite. The  $La_N/Lu_N$  ratios between light rare earth elements (LREE) and heavy rare earth elements (HREE) in the gabbros and diorites under investigation vary between 1.31 and 1.53 ( $AS17=0.53$ ,  $AS20=5.35$ ) and show weak-medium levels of fractionation. Gabbro and diorite-type rocks show positive Eu anomalies, and  $Eu_N/Eu^*$  values vary between (1.01-1.46). Gabbro and diorites have relatively low La/Yb (0.63-6.31) and Nb/La (0.42-0.75) ratios, indicating lithospheric mantle/lithospheric-asthenospheric mantle origin. Low Zr/Hf (12.6-39.3) and Nb/Yb (0.31-3.26) ratios suggest that these rocks are formed from a depleted mantle source. The role of fractional crystallization is greater than assimilation in developing the main magma that forms the gabbros and diorites under investigation. In light of all the data, it is thought that the main magma of Eocene (?) aged gabbros and diorites was derived from a source containing spinel representing shallow depths.*

**Keywords:** Gülümuşağı, Gabbro/diorite, Geochemistry, Petrography, Petrogenesis

\*Abdullah SAR; asar@firat.edu.tr





**Şekil 1.** (a) Türkiye tektonik birlikler haritası (Okay & Tüysüz, 1999). (b,c) İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA, 2002)

**Figure 1.** (a) Turkey tectonic units map (Okay & Tüysüz, 1999). (b,c) Generalized geological map of the study area (MTA, 2002)

### 3. Bölgesel jeoloji

#### 3. Regional geology

İnceleme alanının içerisinde yer aldığı GAOK, kuzeyden güneye doğru Arap Platformu, Yığılım Prizması ve Nap bölgesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır (Yılmaz, 1993, 2019; Parlak, 2006; Ertürk vd., 2017, 2018; Nurlu vd., 2022). Arap levhasının kuzey bölümünü temsil eden Arap Platformu Kambriyenden günümüze kadar çökelen çoğunlukla denizel sedimanter birimleri içermektedir. Güneyde Arap Platformu kuzeyde Nap Zonu ile sınırlanan Yığılım Prizması Zonu, diğer iki bölgeden bindirme zonu ile ayrılmıştır. Yığılım Prizması Zonu, Geç Kretase-Orta Miyosen sürecinde oluşmuş farklı kaya türlerini içeren tektonik dilimlerden oluşmaktadır (Yılmaz, 1993, 2019; Parlak, 2006; Nurlu vd., 2022). Nap Zonu, alt nap ve üst nap olarak ayrılmakta olup, alt nap matamorfizma geçirmiş ofiyolitik kayaları ve Maden Karmaşığı'nı, üst nap ise Malatya, Keban, Pütürge, Engizek ve Binboğa metamorfik masiflerini kapsamaktadır (Yılmaz, 1993, 2019). Malatya'nın güneydoğusunda konumlanan Gülümuşığı bölgesinde yüzeyleyen (Şekil 1b), Prekambriyen yaşlı Metamorfikler, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Malatya-Keban Metamorfikleri, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Eosen yaşlı magmatik kayalar ve Eosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayalar (Şekil 1b) nap zonu içerisinde yer almaktadır (Parlak, 2006; Karaoğlu vd., 2013; 2016). Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Malatya Keban Metaforfitleri (Perinçek & Kozlu, 1984; Yiğitbaş, 1989) fillat, mikaşist, kuvarşist ve rekristalize kireçtaşı ve mermer seviyelerinin yer aldığı karbonat istifi ile temsil edilmektedir (Nurlu vd., 2022). Birim allokton bir kütle konumunda olup Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ile tektonik dokanağa sahiptir.

İnceleme konusunu oluşturan Eosen yaşlı magmatik kayalar çalışma alanında ince-iri taneli gabro ve diyoritler ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Makroskobik olarak gabro ve diyoritler açık griden koyu griye değişen renklere sahiptir. Kayaçlarda mafik mineral oranları ve boyutları oldukça değişkendir. Plütonun kenar zonları genel olarak ince taneli koyu renkli diyoritler ile temsil edilmektedir. İç zonlara doğru tane boyunda artış gözlenmektedir. Kayaçlarda genel olarak kloritleşme ve serizitleşme türündeki alterasyonlar düşük-orta seviyelerde görülmektedir. İncelenen magmatik kayalar çalışma alanında Eosen yaşlı Maden Karmaşığı içerisine sokulum yapmıştır. Birimin, Maden Karmaşığı ile dokanak olan kısımlarında daha çok ince taneli diyorit türü kayalar baskınken, plütonun iç kısımlarına doğru iri taneli hatta bazı kesimlerinde pegmatitik boyutlarda gabro ve diyoritler gözlenmiştir.

### 4. Bulgular

#### 3. Results

#### 4.1. Petrografi

##### 4.1. Petrography

Gülümuşığı bölgesinde yüzeyleyen Eosen yaşlı magmatik kayalar ince-iri taneli diyorit ve gabrolar ile temsil edilmektedir.

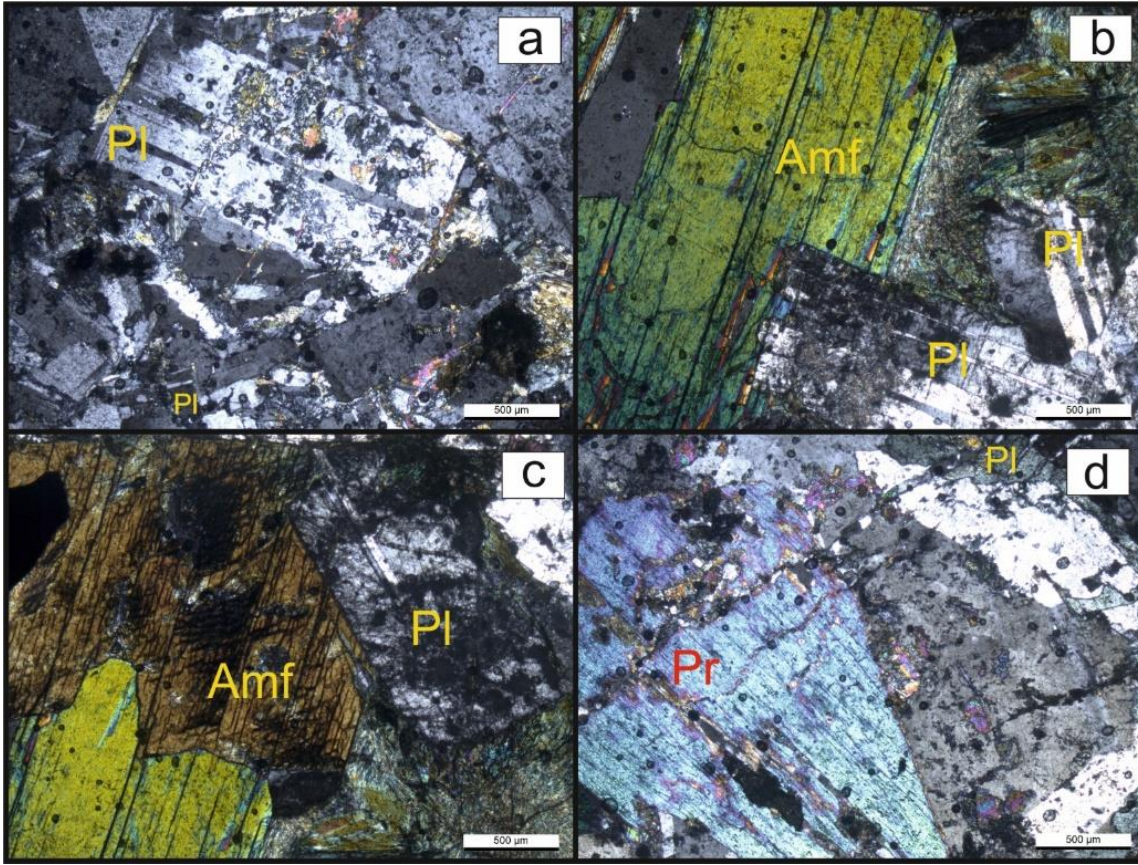
Diyoritlerde ana mineral fazını plajiyoklazlar (% 42-68) oluşturmaktadır (Şekil 3a). Mafik mineral fazı amfibollerle (% 24-37) temsil edilmektedir (Şekil 3b, c). Dokusal olarak holokristalen ve poiklitik doku hakimdir. Albit ve polisentetik ikizlenmeler gösteren plajiyoklazlar genellikle yarı özşekilli veya özşekilli formlarda prizmatik kristaller halindedir. Sönme açısı tayinlerine göre plajiyoklazların andezin türü olduğu tespit edilmiştir. Alterasyon kaynaklı serizitleşmelerden dolayı bazı plajiyoklaz kristallerinde ikiz lamelleri tam olarak gözlenmemektedir. Amfiboller, genel olarak prizmatik kristaller şeklindedir. C eksenine dik geçmiş kesitlerde yarı öz şekilli altıgen kristaller halinde gözlenmektedir. Çift nikolde canlı girişim renkleri göstermekte olup, tek nikolde yeşil tonlarındaki pleokroizmaları ile karakteristiktir. Serizit, kaolinit, tremolit aktinolit ve klorit gibi alterasyon mineralleri gözlenmektedir.



**Şekil 2.** Eosen (?) yaşlı (a-d) gabro ve diyoritlerin arazi görünüşleri, (e) Eosen yaşlı (?) gabro ve diyoritler ile Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'na ait volkanik kayaların dokanak ilişkileri

**Figure 2.** Eocene (?) aged (a-d) Field views of gabbro and diorites, (e) Contact relations of Eocene (?) aged gabbro and diorites and volcanic rocks belonging to the Eocene aged Maden Complex

Gabrolar ana mineral olarak plajiyoklaz (% 36-70), mafik mineral olarak piroksen (% 27-40) içermektedir. Plajiyoklazlar genellikle yarı özşekilli veya özşekilli formlarda prizmatik kristaller halinde görülmektedir. Albit ve polisentetik ikizlenmeleri ile karakteristiktir. Alterasyon kaynaklı serizitleşmelerden dolayı bazı plajiyoklaz kristallerinde ikiz lamelleri tam olarak gözlenememektedir. Sönme açısı tayinlerine göre plajiyoklazların labrador türü olduğu tespit edilmiştir. Kayaçalarda genel olarak holokristalen doku görülmektedir. Piroksenler prizmatik kristaller halinde olup canlı girişim renkleri göstermektedir (Şekil 3d). Eğik sönmeleri ile karakteristiktir. Gabrolar içerisindeki piroksenlerin türü klinopiroksendir. Gabrolar içerisinde serizit, kaolinit ve klorit gibi alterasyon mineralleri bulunmaktadır.



**Şekil 3.** İncelenen gabro ve diyoritlerin ince kesit görünümleri. (a) plajiyoklazlardaki mineral kapantıları. (b) diyoritlerdeki porfirik amfibol minerali. (c) diyoritlerdeki holokristalen doku (d) gabrolardaki piroksen mineralleri

**Figure 3.** Thin section views of the gabbro and diorite examined. (a) mineral inclusions in plagioclase. (b) porphyritic amphibole mineral in diorites. (c) holocrystalline texture in the diorite. (d) pyroxene minerals in gabbros

## 4.2. Jeokimya

### 4.2. Geochemistry

İnceleme konusunu oluşturan Eosen (?) yaşlı magmatik kayalara ait jeokimyasal analiz sonuçları Tablo 1. de verilmiştir. İncelenen magmatik kayalar  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  diyagramında gabro alanına düşmektedir (Şekil 4a; Cox vd., 1979). İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler değişen oranlarda  $\text{SiO}_2$  (% 45.83–49.77),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (% 15.11–18.68),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (% 3.75–14.96),  $\text{MgO}$  (% 2.93–9.74),  $\text{CaO}$  (% 8.58–16.74)  $\text{Na}_2\text{O}$  (% 2.2–4.38),  $\text{K}_2\text{O}$  (% 0.02–1.35),  $\text{TiO}_2$  (% 0.34–2.49),  $\text{MnO}$  (0.06–0.23),  $\text{Ni}$  (50–179 ppm),  $\text{Co}$  (17.8–45.8 ppm),  $\text{Sr}$  (155.2–336.4 ppm) ve  $\text{Nd}$  (1.5–25.1 ppm) değerlerine sahiptir.  $\text{Mg}$  numaraları 60.1 ile 82.5 arasında değişmektedir ( $\text{AS}5=27.9$ )  $\text{SiO}_2$ 'ye karşı  $\text{K}_2\text{O}$  diyagramında gabro ve diyoritler düşük-orta-K karakterde gözlenmektedir. (Şekil 4b; Peccerillo & Taylor, 1976).

$\text{MgO}$  (% 2.93–9.74) değerine karşı ana oksit ve iz element değişim diyagramlarında,  $\text{MgO}$  değerinin artması ile  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Ni}$  değerlerinde pozitif yönsemeler,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Zr}$  değerlerinde negatif yönsemeler gözlenmektedir. Bu durum incelenen gabro ve diyoritlerin magma evrimi sırasında fraksiyonel kristallenme süreçlerinden etkilendiğini göstermektedir (Şekil 5).

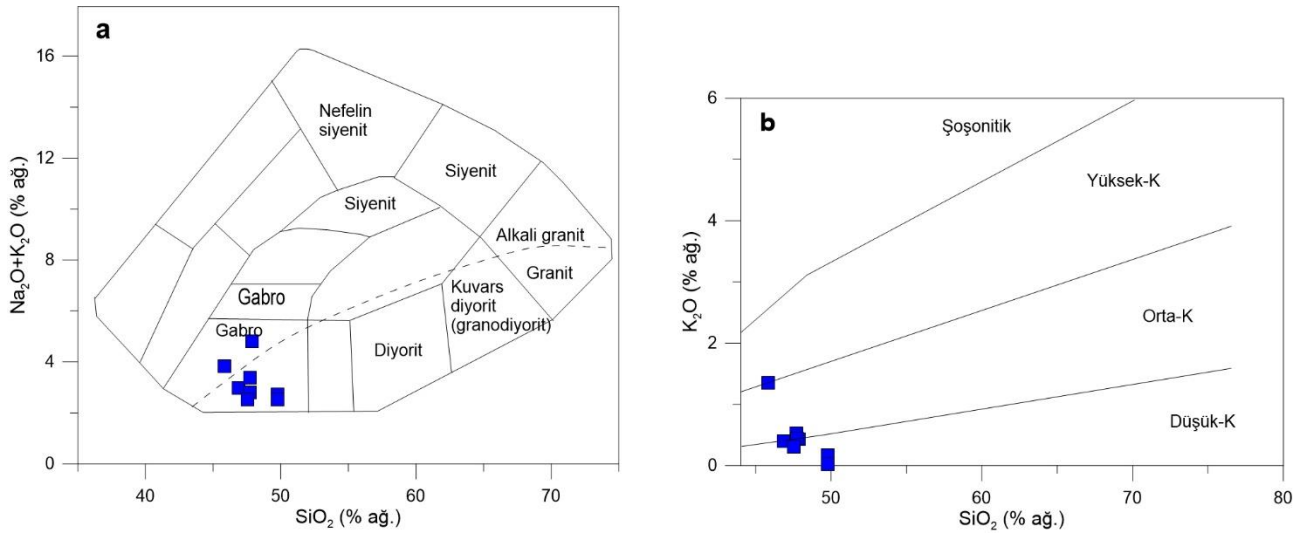
İlksel mantoya göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında gabro ve diyoritlerde  $\text{Rb}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Nb}$  ve  $\text{Ti}$  elementlerinde negatif yönsemeler,  $\text{Sr}$  ve  $\text{Ba}$  değerlerinde pozitif yönsemeler görülmektedir. (Şekil 6a). Kondrite göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında yataya yakın bir gidiş gözlenmektedir (Şekil 6b). İnceleme konusu gabro ve diyoritler hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ve ağır nadir toprak elementleri (ANTE) arasında  $\text{La}_N/\text{Lu}_N$  (HNTE/ANTE) oranları 1.31 ile 1.53 arasında değişmekte ( $\text{AS}17=0.53$ ,  $\text{AS}20=5.35$ ) olup zayıf-orta seviyelerde fraksiyonlaşma göstermektedir. Gabro ve diyorit türü kayaların pozitif  $\text{Eu}$  anomalileri göstermekte olup,  $\text{Eu}_N/\text{Eu}^*$  değerleri (1.01-1.46) aralığında değişmektedir.

**Tablo 1.** Gabro ve diyoritlerin tüm kayaç ana oksit ve iz element analiz sonuçları  
**Table 1.** Whole-rock major oxide and trace element analysis results of gabbro and diorites

Kayaç türü Örnek No.	Gabro AS3	Gabro AS5	Gabro AS9	Gabro AS12	Gabro AS13	Diyorit AS15	Gabro AS17	Diyorit AS20
Ana Oksitler (% ağ.)								
SiO <sub>2</sub>	46.87	47.88	47.72	45.83	47.74	49.76	47.53	49.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.28	15.11	15.52	18.68	16.12	15.57	16.62	15.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.00	14.96	9.34	7.84	8.80	8.84	6.73	3.75
MgO	8.38	2.93	8.81	9.15	8.01	7.59	9.74	8.91
CaO	11.55	8.58	11.31	9.83	12.76	12.58	13.39	16.74
Na <sub>2</sub> O	2.58	4.38	2.86	2.47	2.37	2.55	2.22	2.50
K <sub>2</sub> O	0.40	0.43	0.52	1.35	0.44	0.17	0.31	0.02
TiO <sub>2</sub>	1.19	2.49	1.13	0.68	0.76	0.82	0.34	0.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.93	0.07	0.06	0.07	0.03	<0.01	0.02
MnO	0.17	0.23	0.14	0.13	0.15	0.14	0.12	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.019	<0.002	0.032	0.038	0.035	0.012	0.038	0.059
LOI	2.3	1.9	2.3	3.7	2.5	1.7	2.7	2.0
Toplam İz Elementler (ppm)	99.76	99.86	99.77	99.78	99.78	99.79	99.76	99.77
Ba	52	95	71	184	59	38	42	15
Ni	64	<20	91	179	55	50	117	134
Sc	43	30	46	26	43	54	47	42
Be	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Co	45.8	24.3	38.7	37.7	36.7	37.4	38.3	17.8
Cs	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Ga	13.1	18.7	12.7	11.5	12.5	12.6	9.8	9.5
Hf	1.7	2.4	1.6	1.1	1.1	1.6	0.6	0.5
Nb	2.1	6.1	2.2	2.5	1.9	1.6	0.2	3.1
Rb	2.8	2.7	3.9	11.3	3.4	1.1	2.8	0.2
Sn	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1
Sr	155.2	214.7	156.5	175.2	165.9	167.9	213.8	336.4
Ta	<0.1	0.2	0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Th	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	<0.2	0.8
U	0.2	0.2	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3
V	335	107	277	133	212	278	169	192
W	<0.5	0.7	1.0	1.3	0.9	1.4	<0.5	<0.5
Zr	54.5	87.5	51.6	43.3	33.3	55.0	7.6	19.4
Y	15.3	54.7	18.4	14.2	14.8	20.4	6.8	8.5
La	3.2	9.6	3.5	3.3	3.3	3.8	0.4	6.0
Ce	7.8	28.4	9.1	7.2	7.9	8.8	1.0	14.6
Pr	1.01	4.52	1.28	0.97	1.06	1.30	0.16	1.68
Nd	4.9	25.1	6.2	5.0	5.5	6.8	1.5	6.7
Sm	1.59	7.58	2.06	1.42	1.68	2.26	0.56	1.38
Eu	0.72	3.00	0.86	0.57	0.74	0.94	0.36	0.57
Gd	2.43	10.02	2.78	2.09	2.46	3.18	0.99	1.58
Tb	0.45	1.68	0.49	0.38	0.43	0.57	0.18	0.24
Dy	2.82	10.16	3.35	2.52	2.71	3.95	1.14	1.72
Ho	0.67	2.22	0.70	0.52	0.63	0.81	0.23	0.39

Tablo 1. devamı

Er	1.81	5.95	2.11	1.63	1.72	2.34	0.74	1.07
Tm	0.26	0.82	0.30	0.22	0.22	0.34	0.09	0.15
Yb	1.65	4.82	1.87	1.49	1.58	2.21	0.63	0.95
Lu	0.24	0.71	0.27	0.23	0.23	0.31	0.08	0.12
Mg#	60.1	27.9	65.1	69.8	64.3	63.0	74.1	82.5
Nb/La	0.65	0.63	0.62	0.75	0.57	0.42	0.50	0.51
Nb/Y	0.13	0.11	0.11	0.17	0.12	0.07	0.02	0.36
Nb/Yb	1.27	1.26	1.17	1.67	1.20	0.72	0.31	3.26
La/Yb	1.93	1.99	1.87	2.21	2.08	1.71	0.63	6.31
La <sub>N</sub> /Lu <sub>N</sub>	1.42	1.44	1.38	1.53	1.53	1.31	0.53	5.35
Eu/Eu*	1.11	1.05	1.09	1.01	1.11	1.07	1.46	1.17



Şekil 4. (a) SiO<sub>2</sub>'ye karşı Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O (TAS) sınıflandırma diyagramı. (Cox vd., 1979) (b) SiO<sub>2</sub>'ye karşı K<sub>2</sub>O değişim diyagramı (Peccerillo & Taylor, 1976)

Figure 4. (a) SiO<sub>2</sub> vs. Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O (TAS) classification diagram. (Cox et al., 1979) (b) SiO<sub>2</sub> vs. K<sub>2</sub>O discrimination diagram (Peccerillo & Taylor, 1976)

## 5. Tartışma

### 5. Discussion

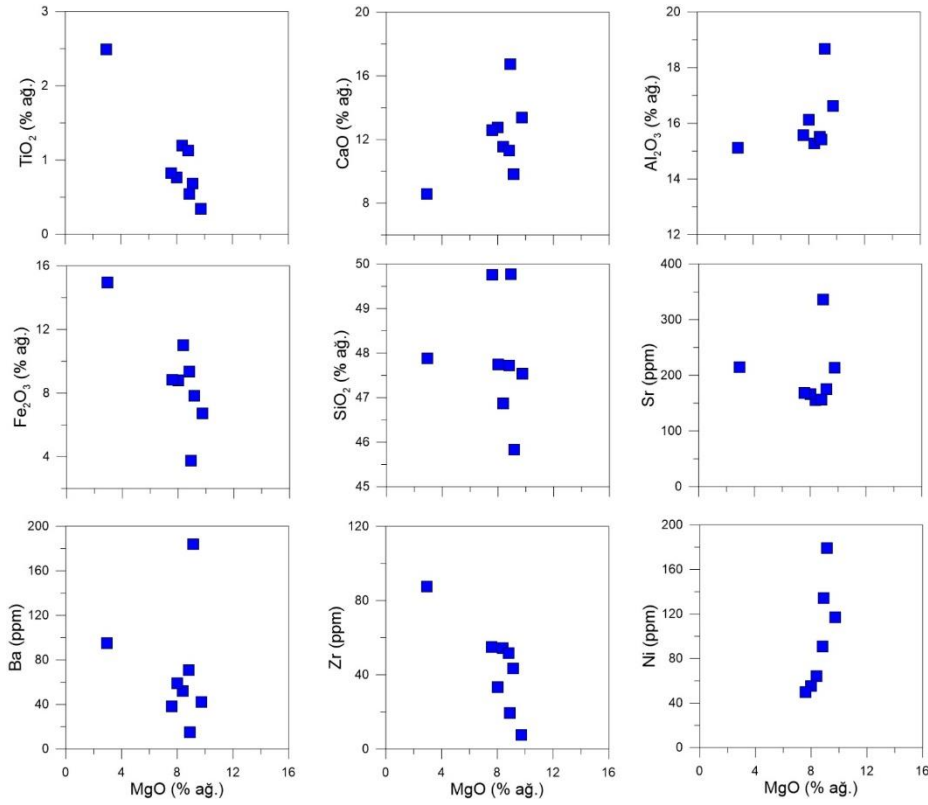
#### 5.1. Magma kökeni ve petrojenez

##### 5.1. Magma source and petrogenesis

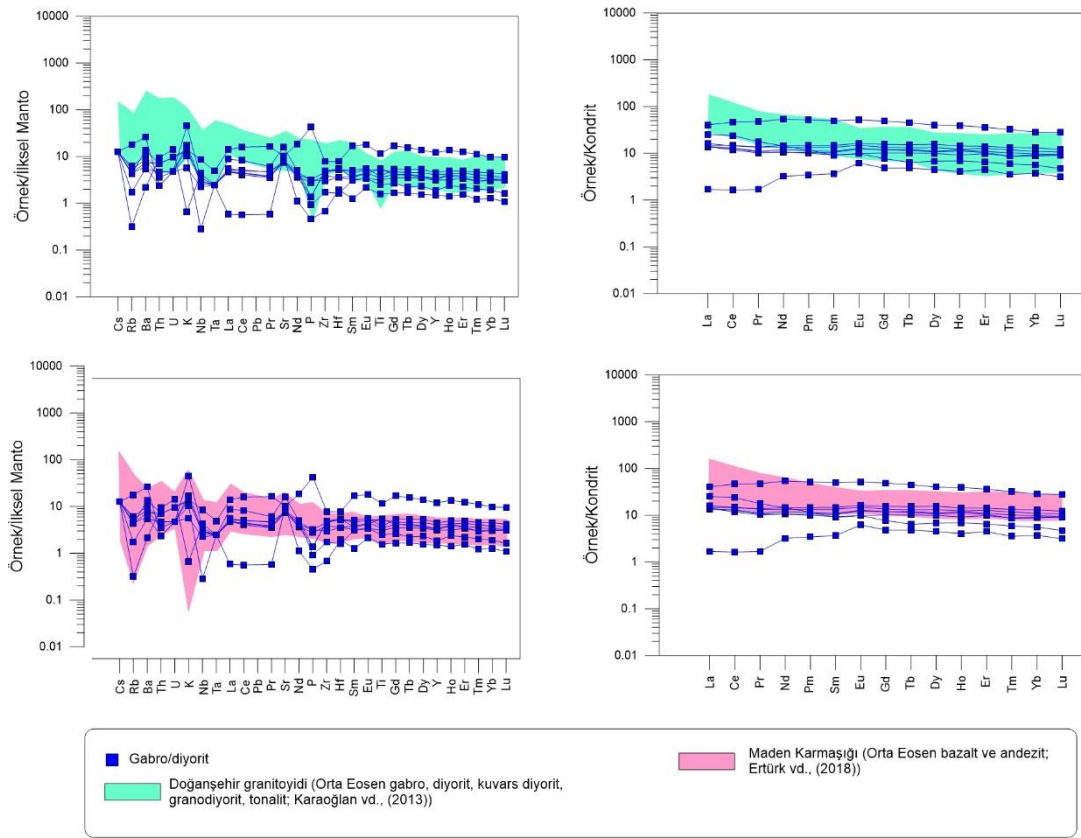
Gülümuşığı çevresinde yüzeyleyen Eosen (?) yaşlı magmatik kayalar petrografik olarak gabro ve diyoritler ile temsil edilmektedir. Düşük-orta K bileşimine sahiptirler. Gabro ve diyoritlerin SiO<sub>2</sub> (% 45.83–49.77), MgO (% 2.93–9.74) içerikleri ve Mg numaraları 27.9 ile 82.5 arasında değişmektedir. Buna göre, Bu kayaları oluşturan ana magma kaynağının manto kökeninden kaynaklandığı ve magma odasındaki farklılaşma süreçlerinden oluştuğu söylenebilmektedir.

İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler jeokimyasal verilere göre, düşük LOI değerlerine sahiptir. Zhang vd. (1994) ve Bau (1996) gabro ve diyorit türü kayalarda Y/Ho oranını, kayalar üzerinde alterasyonun etkilerini belirlemek için önermişlerdir. Taze gabro ve diyorit örneklerinde Y/Ho oranının ortalama 28 olduğunu, alterasyonun etkili olduğu örneklerde ise bu oranın 44-47 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. İnceleme konusu gabro ve diyorit örneklerinin Y/Ho oranları 21.7 ile 29.5 arasında değişmektedir. Bu oranlar inceleme alanında ikincil süreçlerin önemli bir faktör olmadığını göstermektedir.



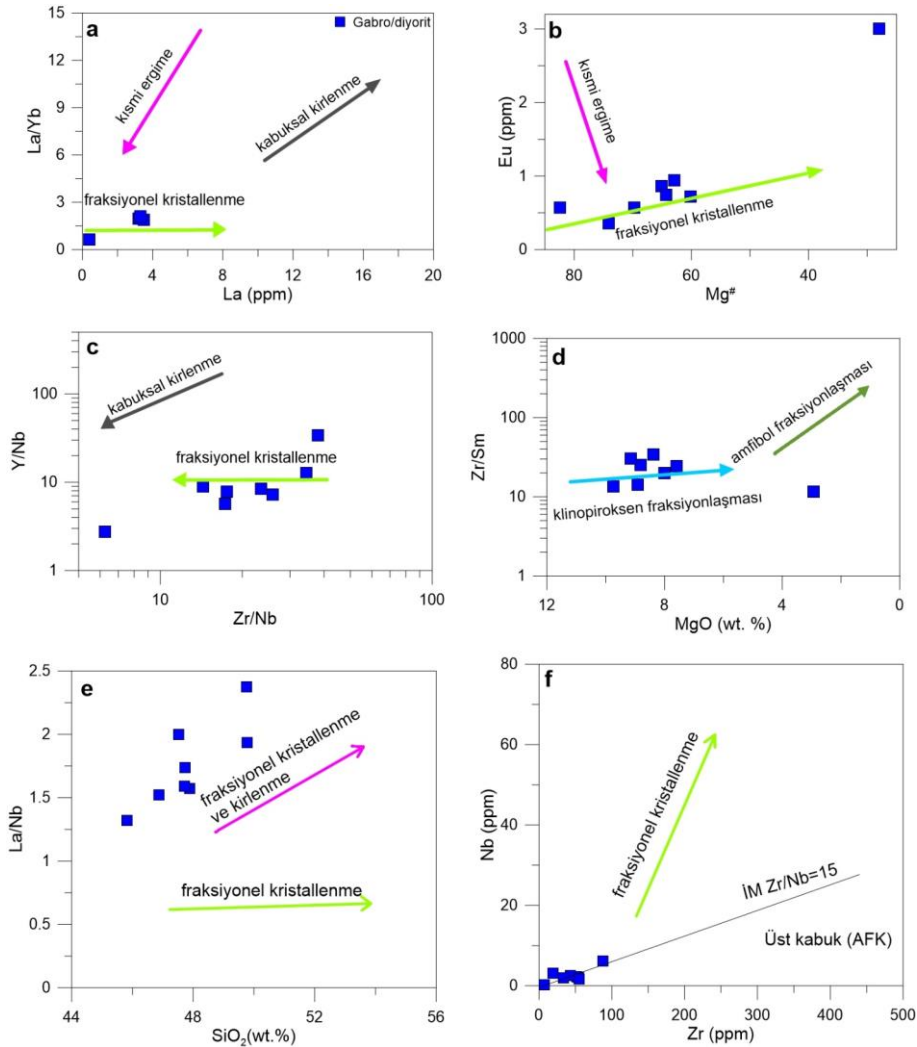


**Şekil 5.** Gabro ve diyoritler için MgO oranına karşı bazı ana oksit ve iz element değişimleri  
**Figure 5.** MgO vs. some major oxides and trace element variation plots for gabbro and diorite



**Şekil 6.** Gabro ve diyoritlerin (a) ilksel mantoya göre normalize edilmiş spider diyagramı (Sun & McDonough, 1989). (b) kondrite göre normalize edilmiş spider diyagramı (Sun & McDonough, 1989)  
**Figure 6.** Gabbro and diorites (a) spider diagram normalized to the primitive mantle (Sun & McDonough, 1989). (b) spider diagram normalized to chondrite (Sun & McDonough, 1989)

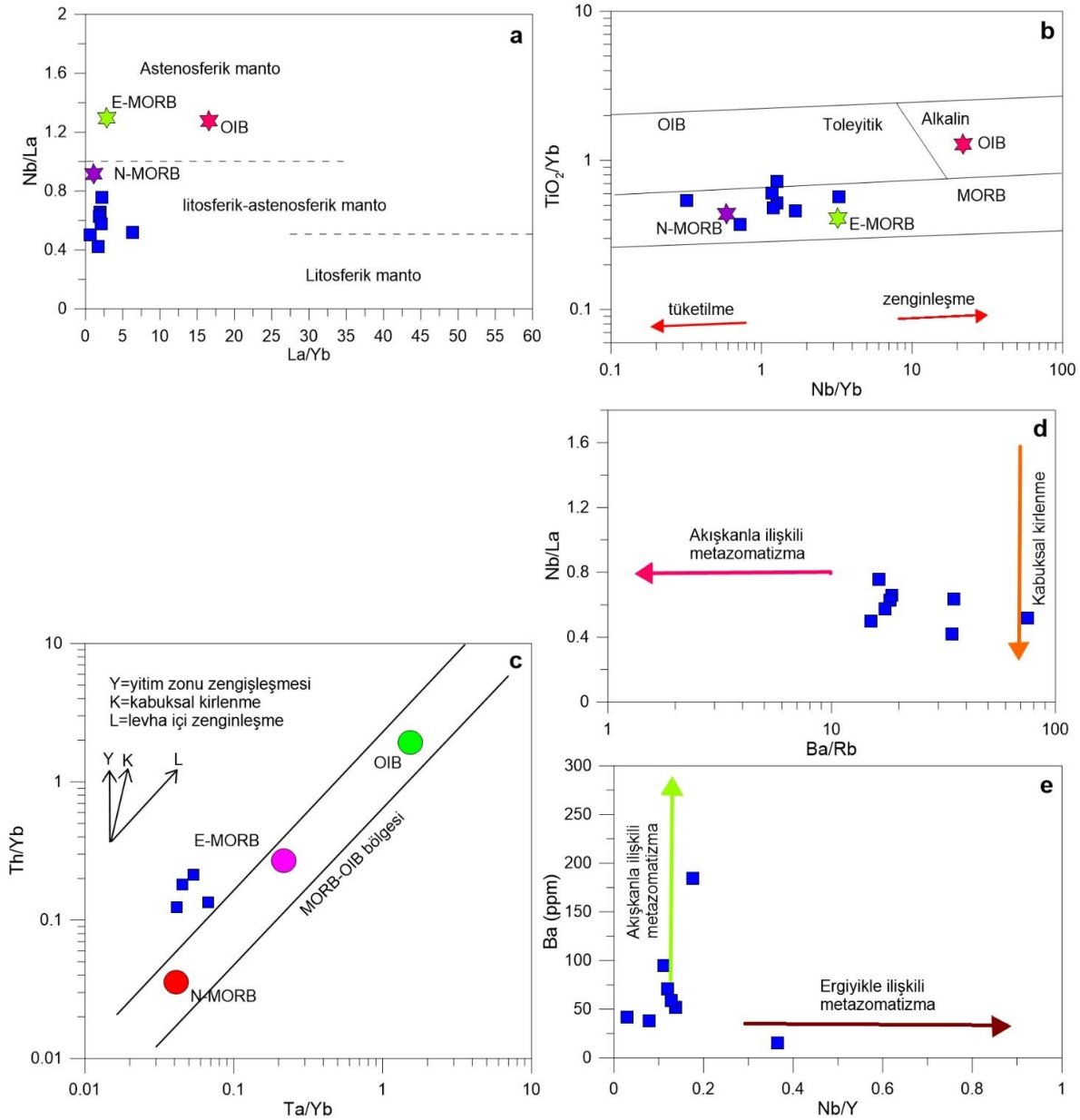
Gabro ve diyoritler yüksek Mg# (27.9-82.5) ve Ni (50–179 ppm) değerlerine sahiptirler. Genel olarak artan MgO oranları ile CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sr ve Ni değerlerinde pozitif yönsmeler, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba ve Zr değerlerinde ise negatif yönsmeler görülmektedir. CaO ve Sr değerlerindeki pozitif yönsmeler plajiyoklazların fraksiyonel kristallenmedeki etkisini göstermektedir. SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerindeki negatif yönsmeler ve Ni değerlerindeki pozitif yönsmeler olivin, piroksen ve Fe-Ti oksitlerin fraksiyonel kristallenmesine işaret etmektedir. Buna ek olarak La'a karşı La/Yb diyagramı (Şekil 7a), Mg#'a karşı Eu içeriği (Şekil 7b), Zr/Nb'ye karşı Y/Nb (Şekil 7c) ve MgO'ya karşı Zr/Sm (Şekil 7d) diyagramları gabro ve diyoritlerin evriminde fraksiyonel kristallenmenin etkili olduğunu özellikle piroksen fraksiyonlaşmasının etkin rol oynadığını göstermektedir. SiO<sub>2</sub>'ye karşı La/Nb diyagramı (Şekil 7e) ve Zr'a karşı Nb (Şekil 7f) diyagramında gabro ve diyoritlerin hem fraksiyonel kristallenme hemde kirlenme trendi gösterdikleri görülmektedir. [Abdelfadil vd. \(2022\)](#) 1.5 ten büyük La/Nb ve 22'den büyük La/Ta oranlarının kabuksal kirlenmeye işaret ettiğini söylemişlerdir. İncelenen kayaçların La/Nb değerleri 1.5-2.3 (bir örnek 1.3) arasında değişmekte, La/Ta oranları ise 33-48 arasında değişmektedir. Bu oranlar gabro ve diyoritler üzerinde düşük oranlarda kabuksal etkinin varlığını göstermektedir. Ancak, [Wagner vd. \(1995\)](#) tipik kabuksal kayaçlarda Ti/Zr oranlarının 30'dan düşük, Ti/Y oranlarının ise 200'den düşük olduğunu belirtmişlerdir. İncelenen kayaçların yüksek Ti/Zr (33.3-87.5; iki örnek hariç) ve yüksek Ti/Y (240-466) oranları incelenen gabro ve diyoritler üzerinde önemli bir kabuksal etkinin olmadığını göstermektedir.



**Şekil 7.** (a) La'a karşı La/Yb diyagramı. (b) Mg#'na karşı Eu diyagramı. (c) Zr/Nb'ye karşı Y/Nb diyagramı. (d) MgO'ya karşı Zr/Sm diyagramı (a-d Fraksiyonlaşma trendleri [Temizel vd., \(2022\)](#)'den alınmıştır). (e) SiO<sub>2</sub>'ye karşı La/Nb diyagramı ([Pearce & Peate, 1995](#)). (f) Zr'a karşı Nb diyagramı (Fraksiyonlaşma trendleri [Dong vd., \(2010\)](#)'dan alınmıştır. AFK: asimilasyon fraksiyonel kristallenme; İM: İlksel manto).

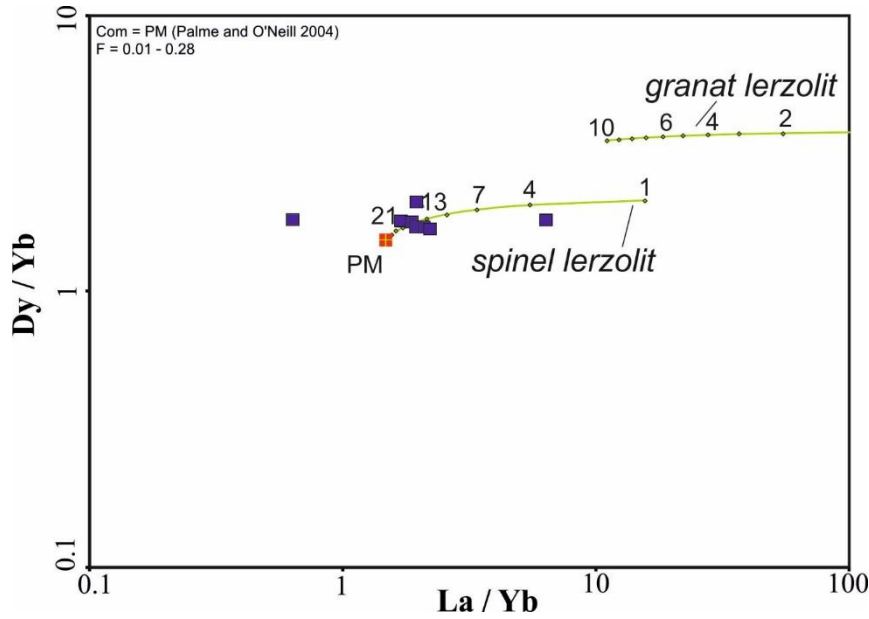
**Figure 7.** (a) La vs. La/Yb diagram. (b) Mg# vs. Eu diagram. (c) Zr/Nb vs. Y/Nb diagram. (d) MgO vs. Zr/Sm diagram (Fractionation trends taken from [Temizel et al., \(2022\)](#)). (e) SiO<sub>2</sub> vs. La/Nb diagram ([Pearce & Peate, 1995](#)). (f) Zr vs. Nb diagram (FC trend: after [Dong et al., \(2010\)](#). AFC: assimilation fractional crystallization; PM: primitive mantle)

İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler kısmen düşük La/Yb (0.63-6.31) ve Nb/La (0.42-0.75) oranlarına sahip olup litosferik manto/litosferik-astenosferik manto alanlarına düşmektedir (Şekil 8a). Düşük Zr/Hf (12.6-39.3) ve Nb/Yb (0.31-3.26) oranları bu kayaların tüketilmiş bir manto kaynağından oluştuğunu göstermektedir (Pearce ve Peate, 1995). Nb/Yb'ye karşı  $TiO_2/Yb$  diyagramında incelenen örnekler N-MORB ve E-MORB arasında bir dizilim sergilemektedir (Şekil 8b). Pearce (1982)'nin Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramında incelenen gabro ve diyoritler benzer şekilde N-MORB ve E-MORB arasında bir dizilim göstermektedir. Genellikle levha akışkanları tarafından değiştirilmiş manto kaynaklarından türeyen magmalar ergiyiklerle değiştirilmiş olanlardan daha düşük NTE konsantrasyonları ve düşük Nb/Zr, Nb/La ve Nb/Y oranlarına sahiptir (Zhang vd., 2022). Ba/Rb'a karşı Nb/La diyagramında inceleme konusu gabro ve diyoritler akışkanlarla ilişkili metazomatizma yönünde yatay bir dizilim sergilemektedir (Şekil 8e). Düşük Nb/Zr (0.02-0.15), Nb/Y (0.02-0.17; bir örnek 0.36) ve Nb/La (0.42-0.75) ve yüksek Sr/Yb (44-354) ve Ba/Rb (15-75) değerleri magama kaynak bölgesinin levhadan türeyen akışkanlar tarafından değiştirildiğini göstermektedir (Temizel vd., 2022). Nb/Y'ye karşı Ba diyagramında (Şekil 8f) da benzer şekilde akışkanlarla ilişkili metazomatizma yönünde bir yönseme gözlenmektedir (Bir örnek hariç).



**Şekil 8.** (a) La/Yb'ye karşı Nb/La diyagramı. (b) Nb/Yb'ye karşı  $TiO_2/Yb$  diyagramı (Pearce, 2008). (c) Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramı (Pearce, 1982). (d) Ba/Rb'a karşı Nb/La diyagramı. (e) Nb/Y'ye karşı Ba diyagramı

**Figure 8.** (a) La/Yb vs. Nb/La diagram. (b) Nb/Yb vs.  $TiO_2/Yb$  diagram (Pearce, 2008). (c) Ta/Yb vs. Th/Yb diagram. (Pearce, 1982) (d) Ba/Rb vs. Nb/La diagram. (e) Nb/Y vs. Ba diagram



**Şekil 9.** La/Yb'ye karşı Dy/Yb diyagramı (Kapalı sistem modal olmayan fraksiyonel ergime (kritik ergime porozitesi %1) İlksel manto kökeni (PM; [Palme & O'Neill, 2007](#)), granat lherzolit için (Ol 0.60/0.03 + Opx 0.20/0.16 + Kpr 0.10/0.88 + Grt 0.10/0.09; [Walter, 1998](#)), Spinel lherzolit için (Ol 0.53/0.06 + Opx 0.27/0.28 + Cpx 0.17/0.67 + Spl 0.03/0.11; [Kinzler, 1997](#)). Bölünme katsayıları [McKenzie & O'nions \(1991\)](#) ve [Adam & Green \(2006\)](#)'dan alınmıştır. Modal olmayan fraksiyonel erime eğrileri [Ersoy \(2013\)](#)'un (Petromodeler) yazılım programı kullanılarak hesaplanmıştır.

**Figure 9.** La/Yb vs. Dy/Yb diagram (Closed-system non-modal fractional melting model (with critical melt porosity of 1%) from Primitive Mantle source (PM; [Palme & O'Neill, 2007](#)) for garnet lherzolite (Ol 0.60/0.03 + Opx 0.20/0.16 + Cpx 0.10/0.88 + Grt 0.10/0.09; [Walter 1998](#)), for spinel lherzolite (Ol 0.53/0.06 + Opx 0.27/0.28 + Cpx 0.17/0.67 + Spl 0.03/0.11; [Kinzler 1997](#)). Partition coefficients are compiled from [McKenzie & O'nions \(1991\)](#); [Adam & Green \(2006\)](#). The non-modal fractional melting curves were calculated by using the software (Petromodeler) program of [Ersoy \(2013\)](#).

İncelenen gabro ve diyoritlerin derinlik, kaynak mineralojisi ve kısmi ergime derecelerini tespit etmek amacıyla iz element içeriklerine dayalı petrolojik modelleme kullanılmıştır. Bu kapsamda x ekseninde La ve Yb elementleri ve Y ekseninde Dy ve Yb elementleri kullanılmıştır. Bu elementler spinel ve granat gibi köken mineralojisindeki değişimlerden önemli ölçüde etkilenmemekte ve bu sebeple kaynağın kimyasal bileşimi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır ([Aldanmaz vd., 2000](#)). Hafif Nadir Toprak Element'leri granatların kristal yapısında güçlü bir şekilde yer almaktadır. Özellikle Yb elementi granat ile uyumludur ([Aldanmaz vd., 2000](#)). [Yang vd. \(2012\)](#) granatlı manto mineralojisinin daha derin bir kaynağı işaret ettiğini ve genellikle Dy/Yb >2.5 oranlarına sahip ergiyikler üretebildiğini belirtmiştir. İnceleme konusu gabro ve diyoritlerin Dy/Yb oranları 1.69 ile 2.10 arasında değişmektedir. Bu oranlar incelenen magmatik kayaçları oluşturan magmaların sığ derinlikleri temsil eden spinel içeren bir kaynaktan türediğini göstermektedir (Şekil 9).

## 6. Sonuçlar

### 6. Conclusion

İnceleme konusu gabro ve diyoritler genellikle holokristalen ve poiklitik dokular sergilemekte olup, başlıca plajiyoklaz, piroksen ve amfibol minerallerini içermektedir.

Ana oksit/iz element değişim diyagramları ve fraksiyonel kirlenme/kirlenme değişim diyagramlarına göre gabro ve diyoritlerin gelişiminde etkin olan magmatik olay kabuksal kirlenmeden ziyade fraksiyonel kristallenmedir.

İnceleme konusunu oluşturan gabro ve diyoritler kısmen düşük La/Yb (0.63-6.31) ve Nb/La (0.42-0.75) oranlarına sahip olup litosferik manto/litosferik-astenosferik manto kökenini yansıtmaktadır. Düşük Zr/Hf (12.6-39.3) ve Nb/Yb (0.31-3.26) oranları bu kayaçların tüketilmiş bir manto kaynağından oluştuğunu göstermektedir.

Düşük Dy/Yb oranları incelenen magmatik kayaları oluşturan magmaların sığ derinlikleri temsil eden spinel içeren bir kaynaktan türediğini düşündürmektedir.

### **Teşekkür / Katkı belirtme (Gerekli durumlarda veya tercihen kullanılır)**

#### *Acknowledgement*

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 123Y070 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederim.

### **Yazar katkısı**

#### *Author contribution*

Yazar makale konusunun oluşumunda, verilerin temini, analizlerin değerlendirilmesi ve makale bölümlerinin yazılması aşamalarında görev almıştır.

### **Etik beyanı**

#### *Declaration of ethical code*

### **Çıkar çatışması beyanı**

#### *Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynaklar**

#### *References*

- Abdelfadil, K.M., Gehad, M., Putis, M., & Sami, M. (2022). Mantle source characteristics of late neoproterozoic post-collisional gabbroic intrusion of wadi abu-hadieda from the north arabian nubian shield (Egypt). *Journal of African Earth Science*, 193 [https://doi.org/ 10.1016/j.jafrearsci.2022.104607](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104607)
- Adam, J., & Green, T. (2006). Trace element partitioning between mica- and amphibole- bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. Experimental results and the investigation of controls on partitioning behaviour, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152, 1–17. doi: <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0085-4>
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., & Mitchell, J.G. (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00182-7)
- Bau, M. (1996). Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/hf, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. *Contrib. Mineral. Petrol.* 123, 323–333. <https://doi.org/10.1007/s004100050159>
- Cox, K.G., Bell, J.D., & Pankhurst, R.J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. Allen and Unwin, London.
- Dong, Y., Xiao, L., Zhou, H., Du, J., Zhang, N., Xiang, H., Wang, C., Zhao, Z., & Huang, H. (2010). Volcanism of the nanpu sag in the Bohai Bay Basin, Eastern China: geochemistry, petrogenesis, and implications for tectonic setting. *J. Asian Earth Sci.* 39,173–191. [https://doi.org/ 10.1016/j.jseas.2010.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jseas.2010.03.003).
- Ersoy, E.Y. (2013). PETROMODELER (Petrological Modeler): a Microsoft® Excel© spreadsheet program for modelling melting, mixing, crystallisation and assimilation processes in magmatic systems, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 115–125. [https://doi.org/ 10.3906/yer-1104-6](https://doi.org/10.3906/yer-1104-6)
- Ertürk, M.A., Beyarslan, M., & Sar, A. (2017). In the Case of Maden Complex, Geochemical Constraints on the Origin and Tectonic Implication of Eocene Magmatism in SE Turkey, *Journal of Tethys*, 5, 240–263.
- Ertürk, M.A., Beyarslan, M., Chung, S.L., & Lin, T.H. (2018). Eocene magmatism (maden complex) in the Southeast anatolian orogenic belt: magma genesis and tectonic implications, *Geoscience Frontiers*, 9, 1829-1847. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.09.008>

- Karaođlan, F., Parlak, O., Hejl, E., Neubauer, F., & Klötzli, U. (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. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.12.011>
- Karaođlan, F., Parlak, O., Robertson, A., Thöni, M., Klötzli, U., Koller, F., & Okay, A.İ. (2013). Evidence of Eocene high-temperature/high-pressure metamorphism of ophiolitic rocks and granitoid intrusion related to Neo-Tethyan subduction processes (Doğanşehir area, SE Anatolia), *Geological Society, London, Special Publications*, 372, 249–272. <https://doi.org/10.1144/SP372.21>
- Kinzler, R.J. (1997). Melting of mantle peridotite at pressures approaching the spinel to garnet transition: application to mid-ocean ridge basalt petrogenesis, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102, 853–874. <https://doi.org/10.1029/96JB00988>
- McKenzie, D., & O'Nions, R.K. (1991). Partial melt distributions from inversion of rare earth element concentrations, *Journal of Petrology*, 32, 1021–1091. <https://doi.org/10.1093/ petrology/32.5.1021>
- MTA, 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritasi, *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara, Turkey.
- Nurlu, N., Köksal, S., & Kohut, M. (2022). Late Cretaceous volcanic arc magmatism in southeast Anatolian Orogenic Belt: Constraints from whole-rock, mineral chemistry, Sr–Nd isotopes and U–Pb zircon ages of the Baskil Intrusive Complex (Malatya, Turkey), *Geological Journal*, 57, 3048–3073. <https://doi.org/10.1002/gj.4460>
- Okay, A., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Serane, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, *Geological Society, London, Special Publications*, 156, 475-515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Palme, H., & O'Neill, H.S.C. (2007). *Cosmochemical estimates of mantle composition*. In: *Treatise on Geochemistry*, 2–9, 1–38. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/ 02177-0>
- Parlak, O. (2006). Geodynamic significance of granitoid magmatism in the southeast Anatolian orogen: geochemical and geochronological evidence from Göksun–Aşın (Kahramanmaraş, Turkey) region, *International Journal of Earth Sciences*, 95, 609-627. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0058-2>
- Pearce, J.A. (1982). *Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries*. In: Torpe, R.S. (Ed.), *Andesites*. Wiley, New York, NY, USA, pp. 525–548.
- Pearce, J.A. (2008). Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100, 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>
- Pearce, J.A., & Peate, D.W. (1995). Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 23, 251–285. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.23.050195.001343>
- Peccerillo, A., & Taylor, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63–81. <http://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Perinçek, D., & Kozlu, H. (1984). Stratigraphy and structural relation of the units in the Aşın-Elbistan-Doğanşehir Region. In *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 1983*, Mineral Research and Exploration Institute, Ankara, Edited by O. Tekeli and C. Göncüođlu, pp. 181–198.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O., & Ustaömer, T. (2012). Overview of the Palaeozoic-Neogene evolution of NeoTethys in the Eastern Mediterranean region (southern Turkey, Cyprus, Syria). *Petroleum Geoscience*, 18: 381–404. <https://doi.org/10.1144/ petgeo2011-091>.
- Sun, S.S., & McDonough, W. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. London, Special Publi.* 42, 313–345.
- Şengör, A.M.C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey — a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Temizel, İ., Arslan, M., Abdiođlu Yazar, E., Aslan, Z., Kaygusuz, A., Baki Eraydın, T. (2022). Zircon U–Pb geochronology and petrology of the tholeiitic gabbro from the Kovanlık (Giresun) area: Constraints for the Late

Cretaceous bimodal arc magmatism in the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey. *Lithos*, 428-429, 106840. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106840>

- Wagner, T.P., Donnelly-Nolan, J.M., & Grove, T.L. (1995). Evidence of hydrous differentiation and crystal accumulation in the low-MgO, high-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Lake Basalt from Medicine Lake volcano, California. *Contrib. Mineral. Petrol.* 121, 201-216. <https://doi.org/10.1007/s004100050099>
- Walter, M.J. (1998). Melting of garnet peridotite and the origin of komatiite and depleted lithosphere, *Journal of Petrology*, 39, 29–60. <https://doi.org/10.1093/ptro/39.1.29>
- Yang, W., Niu, H., Shan, Q., Luo, Y., Sun, W., Li, C., Li, N., & Yu, X. (2012). Late Paleozoic calcalkaline to shoshonitic magmatism and its geodynamic implications, Yuximolegai area, western Tianshan, Xinjiang: *Gondwana Research*, 22, 325–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.10.008>
- Yıldırım, E. (2015). Geochemistry, petrography and tectonic significance of the ophiolitic rocks, felsic intrusions and Eocene volcanic rocks of an imbrication zone (Helete area, Southeast Turkey), *Journal of African Earth Sciences*, 107, 89-107. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.04.002>
- Yılmaz, Y. (1993). New evidence and model on the evolution of the Southeast Anatolian Orogen, *Geological Society of America Bulletin*, 105, 251–271. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1993\)105<0251:NEAMOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1993)105<0251:NEAMOT>2.3.CO;2)
- Yılmaz, Y. (2019). Southeast Anatolian Orogenic Belt Revisited (Geology and Evolution), *Canadian Journal of Earth Sciences*, 56, 1163–1180. <https://doi.org/10.1139/cjes-2018-0170>
- Yiğitbaş, E. (1989). Engizek Dağı (Kahraman Maraş) dolayındaki tektonik birliklerin petrolojik incelenmesi (Doktora tezi). [Petrological Studies of the tectonic units in the Engizek Mountain, Kahraman Maras,.] Ph.D. thesis, Istanbul Üniversitesi, 347pp.
- Zhang, J., Amakawa, H., & Nozaki, Y. (1994). The comparative behaviors of yttrium and lanthanides in the sea water of the North Pacific. *Geophys. Res. Lett.* 21, 2677–2680. <https://doi.org/10.1029/94GL02404>