

Atud (Mısır) Bölgesi'nde Bulunan Pan-African Temel Kayaçlarının Jeokimyasal Karakteristikleri

Demet KIRAN YILDIRIM¹, Amr ABDELNASSER^{1,2}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

²Benha Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Benha, Mısır.

Sorumlu yazar e-posta: kirand@itu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5995-5723>

e-posta: amr.khalil@fsc.bu.edu.eg

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5994-7088>

Geliş Tarihi: 29.04.2022

Kabul Tarihi: 05.08.2022

Öz

Bu çalışmada, Atud bölgesindeki (Mısır'ın Orta Doğu Çölü) Prekambriyen Pan-African temel kayaçlarının jeolojik yerleşimlerini, jeokimyasal özelliklerini, saha ilişkilerini, tektonik yerleşimlerini ve petrojenezlerini belirlemek için petrografik ve jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Atud Bölgesi'nde serpantinitle, bunların türevleri ve metatüfler, metagabro-diyorit kompleksi tarafından kesilmektedir. Metagabro-diyorit kompleksi ise olivin gabronoritik kayaçlar tarafından kesilmektedir. Serpantinitle, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları metamorfik peridotitler olarak adlandırılmıştır. Nadir toprak elementleri (NTE) davranışları, HNTE ve pozitif Eu-anomalisi ile ANTE zenginleşmeleri ile karakterize edilir. Bu durum, hidrotermal akışkanların plajiyoklaz çözünmesi ve/veya sirkülasyonu ile doğada meydana gelen okyanus serpantinleşmesine işaret etmektedir. Metatüfler çoğunlukla en yüksek K/Rb oranına sahip olan bazik ile orta dereceli magma odalarından türetilmiştir. NTE paternleri, HNTE açısından zenginleşmiş, ANTE'den yoksun ve negatif Eu anomalilerine sahip genelde toleyitik ve kalk-alkalin kayaçlarla okyanus ada yayının metasedimentlerine benzemektedir. Ayrıca, dalma-batma zonu boyunca manto kaynağına eklenen bileşenler tarafından kirlenmiş bir magmadan kaynak kayaçlarının oluştuğunu ifade etmektedir, yani negatif Eu-, Sr- ve Zr- anomalileri göstermektedir. Metagabro-diyorit kompleksi kayaçlarının sırasıyla kalk-alkalin gabro ve gabro/diyorit ve diyorit ve gabro/diyorit olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kayaçlar, sırasıyla metagabrolar ve diyoritler için klinopiroksen ve amfibol fraksiyonasyonuna işaret eden ada yayı ortamlarında meydana gelen kalk-alkali bazalt (CAB) ile karşılaştırılabilir. Öte yandan, olivin gabronorit kayaçları, K toleyitik magmatik afinitelere sahip gabroik kayaçlar olarak sınıflandırılır. NTE paternleri, HNTE ile zenginleşmeyi ve pozitif Eu-, Th-, Pb-, Sr- ve Zr-anomalileri ve plajiyoklaz ve olivin düşük basınçlı fraksiyonasyonunu ima eden negatif P- ve Ti-anomalileri ile ANTE açısından tüketilmeyi ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler

Jeokimyasal Özellikler;
Atud Bölgesi; Orta
Doğu Çölü; Mısır

Geochemical Characteristics of the Pan-African Basement Rocks at Atud Area, Central Eastern Desert, Egypt

Abstract

This paper reports the geochemical characteristics of the Precambrian Pan-African basement rocks of the Atud area (Central Eastern Desert of Egypt) to clarify their geological setting, field relationships, and petrographic and geochemical characteristics to define their tectonic setting and petrogenesis. The Atud area is made up of serpentinites and their derivatives and metatuffs that intruded by metagabbro-diorite complex and later intruded by olivine gabbro-diorite rocks. The serpentinites, talc-carbonate, and calc-silicate rocks refer to be metamorphic peridotites. Their rare earth elements (REE) behavior is characterized by enrichment in LREE and flat HREE with positive Eu-anomaly. This suggests to the oceanic serpentinization in nature occurred with the plagioclase circulation/dissolution of the hydrothermal fluids. The metatuffs were mostly derived from basic to intermediate magmatic suites pointing to have highest K/Rb ratio. They are, therefore, similar to the metasediments of the oceanic island arc having tholeiitic to calc-alkaline affinities and negative Eu-anomalies, HREE-depleted, and LREE-enriched patterns. Moreover, their source rocks originated from a magma contaminated by components added to the mantle source along the subduction zone that is back to their negative Eu-, Sr-, and Zr- anomalies. The metagabbro-diorite complex rocks show calc-alkaline gabbro and gabbro/diorite and diorite and gabbro/diorite, respectively. They are comparable with the calc-alkaline

Keywords

Geochemical
Characteristics; Atud
Area; Central Eastern
Desert; Egypt

basalt (CAB) occurred in island arc setting indicating clinopyroxene and amphibole fractionation for the metagabbros and diorites, respectively. On the other hand, the olivine gabbro-norite rocks are low-K tholeiitic gabbroic rocks having enrichment in the LREE and flat HREE. In addition, their REE pattern show negative anomalies of P and Ti and positive anomalies of Eu, Pb, Sr, Th, and Zr. It concluded that the gabbro-norite rocks display low-pressure fractionation of olivine and plagioclase.

Afyon Kocatepe Üniversitesi©

1. Giriş

Atud Bölgesi Mısır'ın Mısır Doğu Çölü'nün orta kısmında yer almaktadır (Şekil 1a). Bu makale, Atud Bölgesi'ndeki (Mısır Orta Doğu Çölü) Prekambriyen Pan-Afrikan temel kayaçlarının jeokimyasal özelliklerine odaklanarak, sahadaki farklı litolojik birimlerin stratigraflarını, saha ilişkilerini ve petrografik özelliklerini açıklığa kavuşturmuştur. Bu çalışma ile kayaçların jeokimyasal ve petrokimyasal özelliklerini belirlemenin yanı sıra çalışma alanındaki kaya birimlerinin tektonik yerleşimini ve petrojenezini de belirlemek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanındaki altın içeren cevherli ve yan kayaçların kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi amacı ile toplam 41 örnekte major oksit, iz element ve nadir toprak element analizleri İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (İTÜ/JAL) İstanbul'da yapılmıştır. Bu analizler, 0.01-12 nm dalga boyu aralığına sahip bir BRUKER S8 TIGER model X-ışını floresan spektrometresi (XRF) ve ELAN DRC-e Perkin Elmer modeli Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler için, Standart referans malzemelerin ölçülen ve yayınlanmış bileşimleri arasındaki karşılaştırmaya dayalı olarak, analizlerin nispi doğruluğu, ağırlıkça >%1 konsantrasyonlar için ~%1–2 ve ağırlıkça <%1 konsantrasyonlar için ~%5–10'dur.

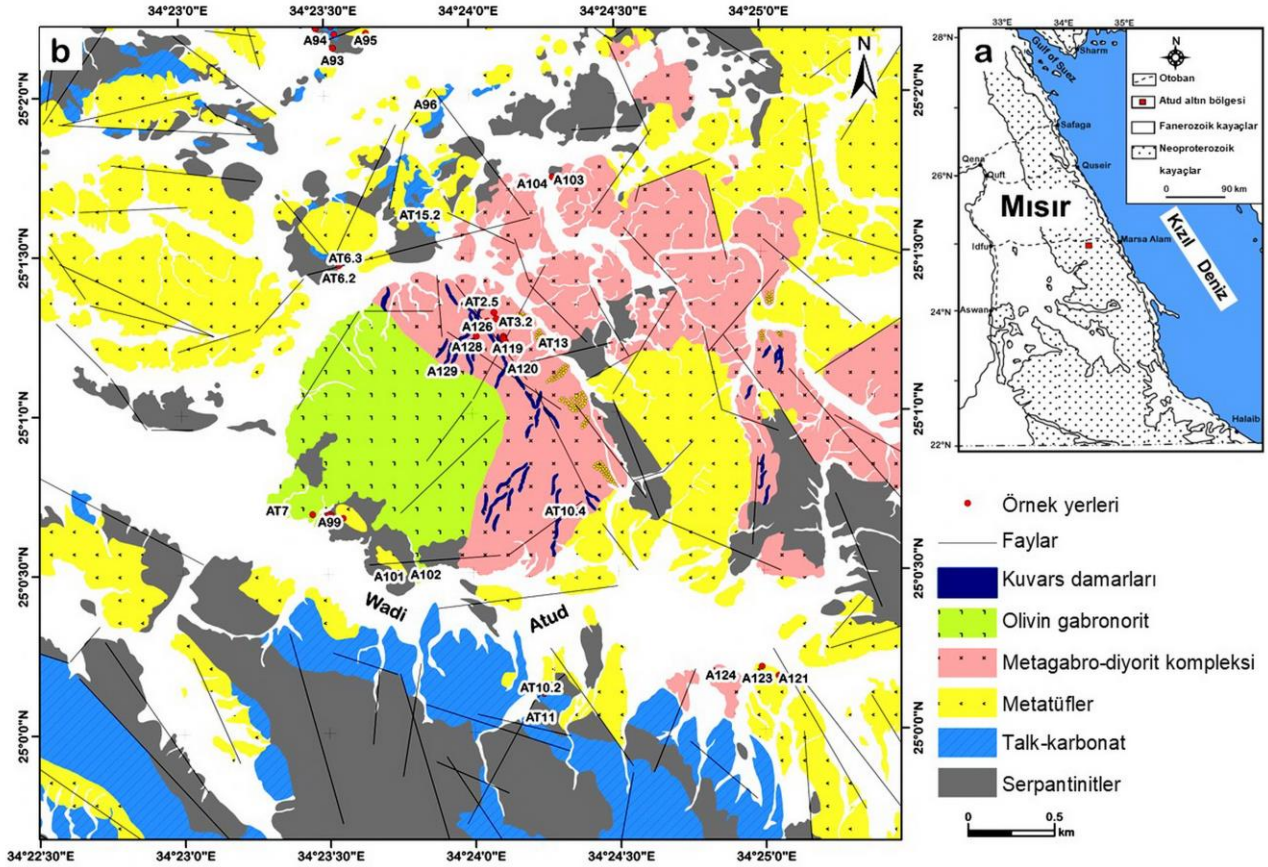
Çalışma alanından derlenen 30 örneğin mineralojik içeriklerinin belirlenmesi, mineral parajenezi, mineral ilişkileri, dokusal özellikler vb. özelliklerin saptanması amacıyla, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (İTÜ/JAL)

Leica DM4500P model mikroskop ile incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

3. Jeoloji

Atud Bölgesi, Doğu Çölü'nün (Mısır) orta bloğunda yer almaktadır. Çalışma alanındaki arazi çalışmaları ve petrografik incelemelere göre, bölgede yoğunlukla serpantinitle ve metatüfler yer almaktadır. Bu kayaçlar metagabro-diyorit kompleksi tarafından kesilmektedir. Daha sonra bu kompleksin içerisine olivin gabronorit sokulumu yerleşmiştir (Şekil 1b). Atud çevresinde oluşan serpantinitle ve türevlerinin serpantinit, talk-karbonat, dolomitik mermer ve kalk-silikat kayaçlarından oluştuğu görülmektedir (Şekil 1b ve 2a). Asıl serpantinit kütleleri, talk-serpantinit ve talk-karbonat kayaçları ile metatüflerle ilişkili olarak Atud bölgesinin güney ve güneydoğusunda yüzeylenmektedir (Şekil 2b ve 2c). Başta antigorit ile tremolit, az miktarda aktinolit, grafit ve kromit bulunmaktadır (Şekil 2d). Talk-karbonat kayaçları ise, çalışma alanının güney kesiminde, talk ve dolomitten oluşan metatüfler ve serpantinit kayaçları (Şekil 1b ve 2b-c) ile daha az miktarda antigorit, grafit ve kromit ile geniş bir alana yayılmaktadır (Şekil 2e). Çalışma alanının kuzey kesiminde ise metatüflerle ilişkili kalsilikat kayaçları görülmektedir (Şekil 2h). Bu kayaçlar ise esas olarak ankerit, kalsit ve kuvars, az miktarda klinoklor, epidot ve kromitten oluşmaktadır (Şekil 2i).

Bölgede daha yaşlı kayaç topluluklarını kesen iki yönlü farklı tipte damar kayaçları bulunmaktadır (Şekil 1b); en yaşlı damar kayaçları serpantinitle kesen ankerit daylıları (KKD-GGB yönlü) ve en gençleri ise meta-gabro-diyorit kompleksini kesen porfiritik andezit ve aplitik daylılarıdır (KB-GD yönlü).



Şekil 1. a) Çalışma alanının (Atud Bölgesi-Mısır) yer bulduru haritası b) Jeoloji haritası (Abdelnasser and Kumral 2016, Gabra 1986, Harraz 1999)'dan değiştirilerek çizilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

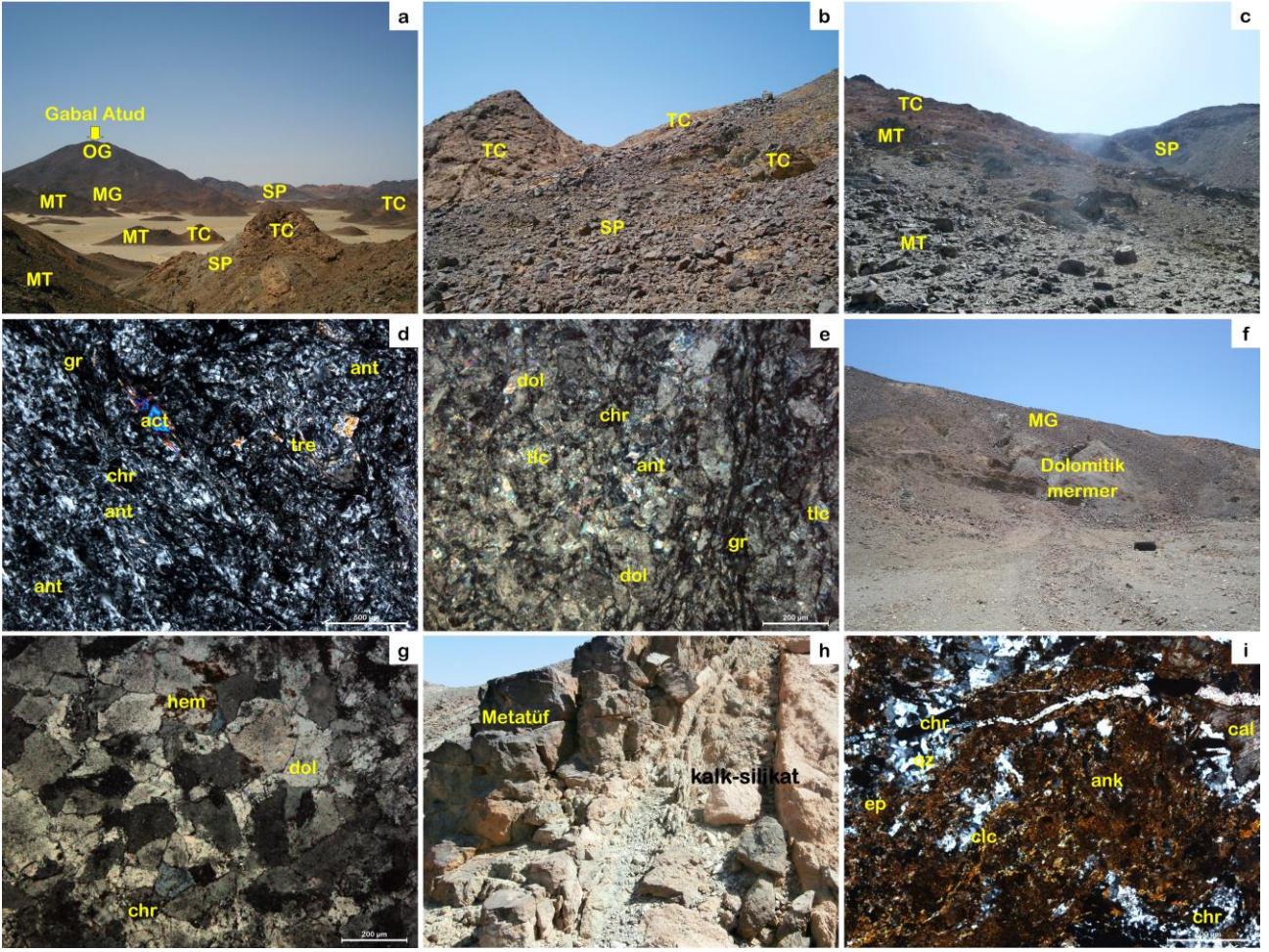
4.1. Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Atud'un güney kısmında dolomit (%90), az miktarda kromit ve götit içeren (Şekil 2g) metagabro-diyoritik kayaçlar (Şekil 2f) ile birlikte küçük izole dolomitik mermer kütleleri bulunmaktadır. Talk-karbonat ve serpantinitle kayaçları ile birlikte mafik lapilli metatüfler, çalışma alanının güneyinde yer almaktadır (Şekil 3a). Esas olarak bunlar kaolinleşmiş plajiyoklaz ve mikrokristalin tüflü bir matriks içerisinde bulunan tremolitli mikropertit, klinopiroksen, klinozoisit ve manyetitten oluşmaktadır (Şekil 3b).

Öte yandan, çalışma alanının kuzey kesiminde, çoğunlukla kaolinleşmiş mikropertit, flogopit ve çok daha ince bir tüflü matriks içine gömülmüş (Şekil 3c) biyotit ve manyetit ile kuvarstan oluşan kalk-silikat kayaçları (Şekil 2h) ile ilişkili ara metatüfler görülmektedir. Metaçört, Atud'un güney yamacında, kuvars ve feldspat bakımından zengin iki alternatif düzensiz bantlı laminadan oluşmaktadır (Şekil 3d).

Kuvars biyotit şistler ayrıca Atud'un güney yamacında yapraklanmış mostralalar oluştururlar ve faylanmayla etkilenirler (20° GD'ye eğimli K 30° B gidişli) (Şekil 3e). Esas olarak, kuvars ve biyotit içeren kaolinleşmiş K-feldispat ve kuvars damarcıkları ile kesilen az miktarda muskovit, karbonat ve manyetitten oluşmaktadır (Şekil 3f).

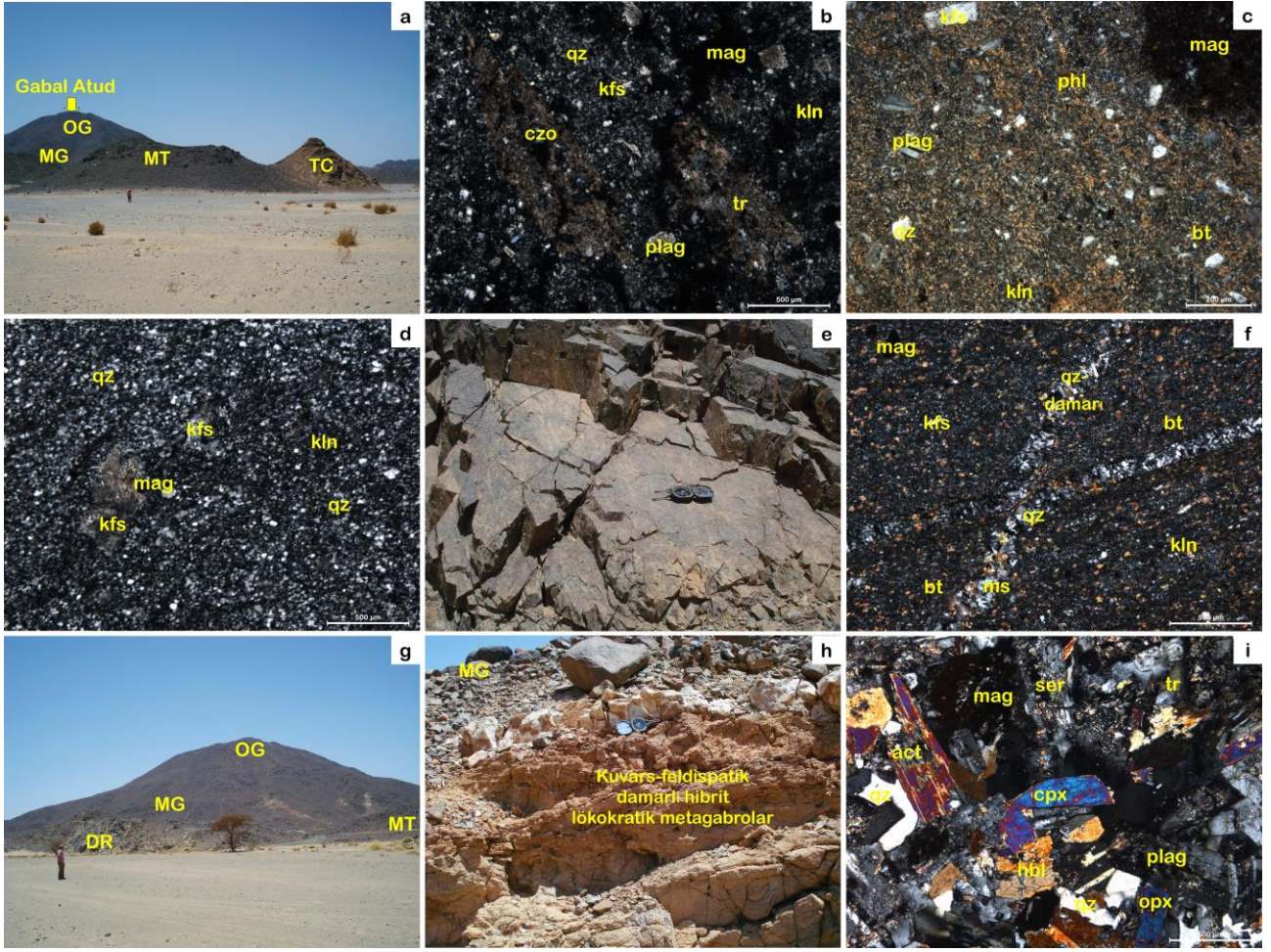
Bölgede daha yaşlı serpantinitle ve metatüflerin içerisinde intruzif şeklinde gözlemlenen bu kompleksin yanı sıra daha genç olivin gabronorit sokulumlarına da rastlanmaktadır. Atud'da, bunlar aralarında kuvarso-feldspatik damarlı hibrit lökokratik metagabroların bulunduğu metamorfozlu gabro ve diyorit kayaları (Şekil 3g) olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 3h). Bu kompleks, Atud'un doğu ve güneydoğu yamaçlarında çok sayıda mineralize ve mineralize olmayan kuvars damarları ve daykları tarafından kesilen Atud altın yatağının ana kayası olarak işlev görmektedir (Şekil 1b).



Şekil 2. a) Serpantinitler (SP) ve türevleri talk-karbonat (TC); Metagabro-diyorit kompleksi (MG) ve olivin gabro norit (OG) çevresindeki metatüflerle (MT) meydana gelmiştir; b) Talk karbonat kayaçları (TC) ile ilişkili serpantinitler (SP); c) Çalışma alanının güney kesiminde metatüflerle birleşmiş serpantinit (SP) ve talk karbonat kayaçları (TC); d) Serpantinit kayaçtaki tremolit (tre), aktinolit (act), grafit (gr) ve kromit (chr) ile antigorit (karınca) fotomikrografisi; e) Talk-karbonat kayaçlarında daha az antigorit (karınca), grafit (gr) ve kromit (chr) içeren talk (tlc) ve dolomit (dol); f) Atud'un güney yamacındaki dolomitik mermer; g) Dolomitik mermerin mineral bileşimi; h) Çalışma alanının kuzey kesiminde ara metatüflerle ilişkili kalk-silikat kayaçlar; i) Kalsit (cal), klinoklor (clc), epidot (ep) ve kalk-silikat kayaçta kromit (chr) ile ankerit (ank) ve kuvars (qz).

Metagabrolar esasen altere plajiyoklaz (bileşiminde labradorit, serisitleşmiş ve kaolinitleşmiş), aktinolit ve az miktarda klorit, kuvars, klinopiroksen ve ortopiroksen kalıntıları, hornblend ve manyetitten oluşmaktadır (Şekil 3i). Diyorit kayaçları, grimsi renkli, orta-iri taneli, hipidiyomorfik dokuludur. Serisitleşmiş plajiyoklaz, klorit ve hornblend, önemli miktarda kuvars ve demir oksit içermektedir (Şekil 4a-b).

Bunlar, deforme olmamış, masif, koyu gri ve başlıca plajiyoklaz (labradorit -bitovnit; %35-40), diyopsit (%25-30; kısmen altere olmuş aktinolit ve tremolit), hipersten (%15-20), kümülat olivin (kısmen serpantin minerallerine dönüşmüş, hacimce %15-20), ve demir oksit (%3) içermektedir (Şekil 4c-d).



Şekil 3. a) Atud Bölgesi'nde talk-karbonat ve serpantinitle oluşmuş mafik lapilli metatüfleri; b) Mafik lapilli metatüflerde mikrokristalin tüflü bir matris içinde kaolinitleşmiş plajiyoklas (plag) ve klinozoisit (szo) ve manyetit (mag) ile mikropertit (kfs); c) Ara metatüflerin mineral bileşimlerinin fotomikrografisi; d) Metaçört içinde düzensiz olarak kuvarşça zengin ve feldispatça zengin bantlı laminalar; e) Atud'un güney yamacındaki kuvarş biyotit şistleri üzerinde etkilenmiş faylanma (K 30°B, 20°GD'ye eğimli); f) Kuvarş biyotit şistleri kesen ince kuvarş damarları; g) Metagabro (MG) ve diyoritik kayaçlar (DR) Atud olivin gabronorit (OG); h) Atud metagabro (MG) ve diyoritik kayaçlar arasında oluşan kuvarşo-feldispatik damarlı hibrit lökokratik metagabrolar; i) Metagabro'nun mineral parajenezini.

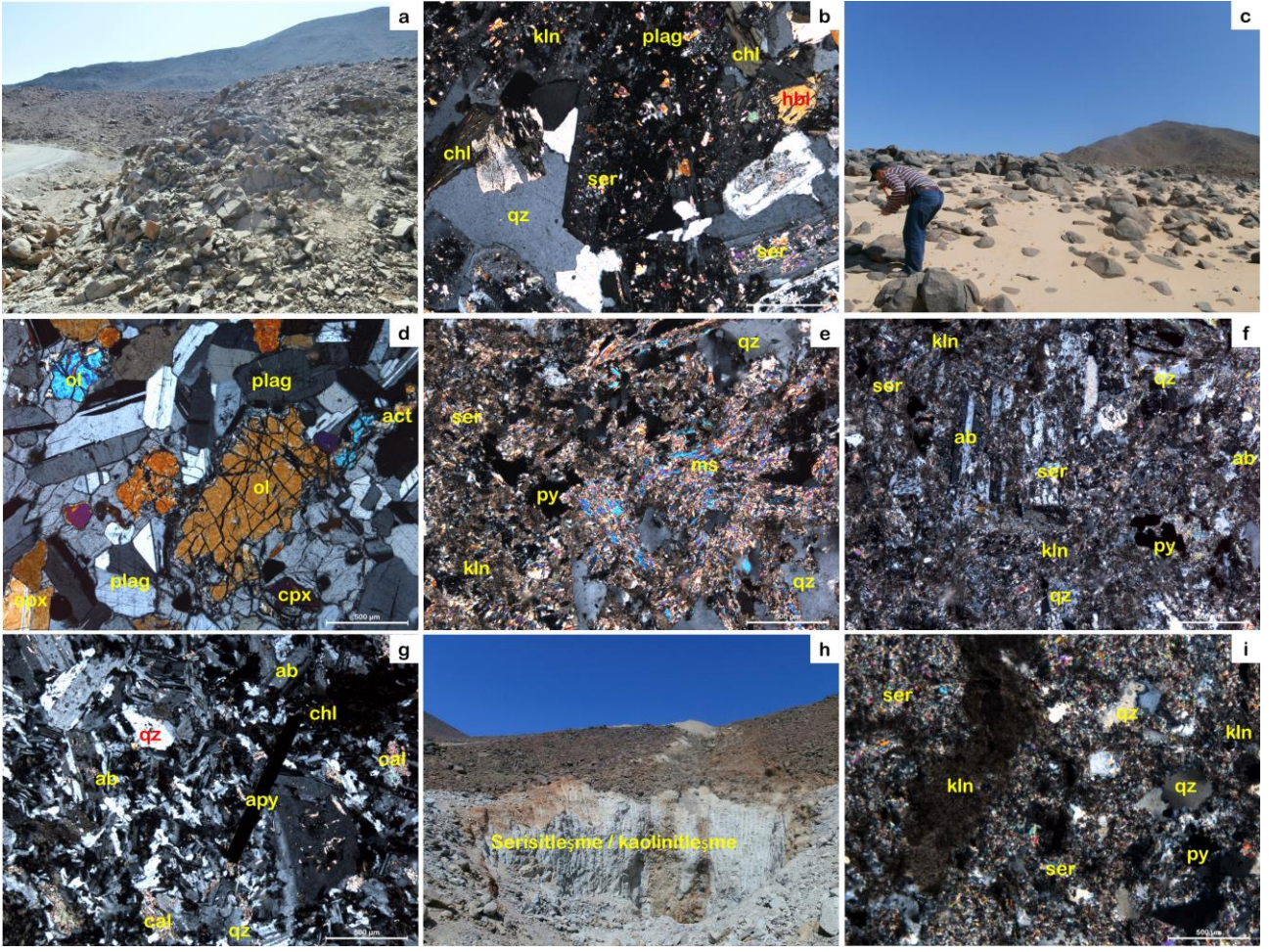
4.2. Jeokimyasal İncelemeler

Atud Bölgesi'ndeki serpantinitle ve bunların türevleri, metatüfler ve olivin gabronorit kayaçları ile temsil edilen farklı kaya birimlerinin majör, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) verileri Çizelge 1 ve 2'de gösterilmektedir. Ayrıca farklı alterasyon bölgelerinin NTE analizleri de Çizelge 3'te verilmektedir.

Analiz edilen serpantinitle, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaç örnekleri, metamorfik peridotitler ve mafik-ultramafik kümülat ofiyolitik kayaçlar alanına düşmektedir (Coleman 1977, Şekil 5a-b). Serpantinitle kayaçları metamorfize harzburjit, olivin vebsterit ve ortopiroksenitten, talk-karbonat kayaçları dünit ve

vabsteritten, kalk-silikat kayaçları ise piroksenit kayaçlarından türemiştir (Şekil 5c).

Yapılan bir araştırmada ultramafik kayaçların metamorfizmasını $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO-H}_2\text{O-CO}_2$ (CMS-HC) sistemi ile açıklayan Bucher and Frey (1994) bu sistemle bölgedeki serpantinitlelerin antigorit-enstatit-talk-tremolit bileşimlerinde, talk karbonat kayaçlarının ise talk, tremolit, diyopsit ve dolomit çevresinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 5d). Öte yandan kalk-silikat kayaçlarının ise tremolit-talk-kuvarş bileşimindeki alana düştüğü gözlenmektedir (Şekil 5d).



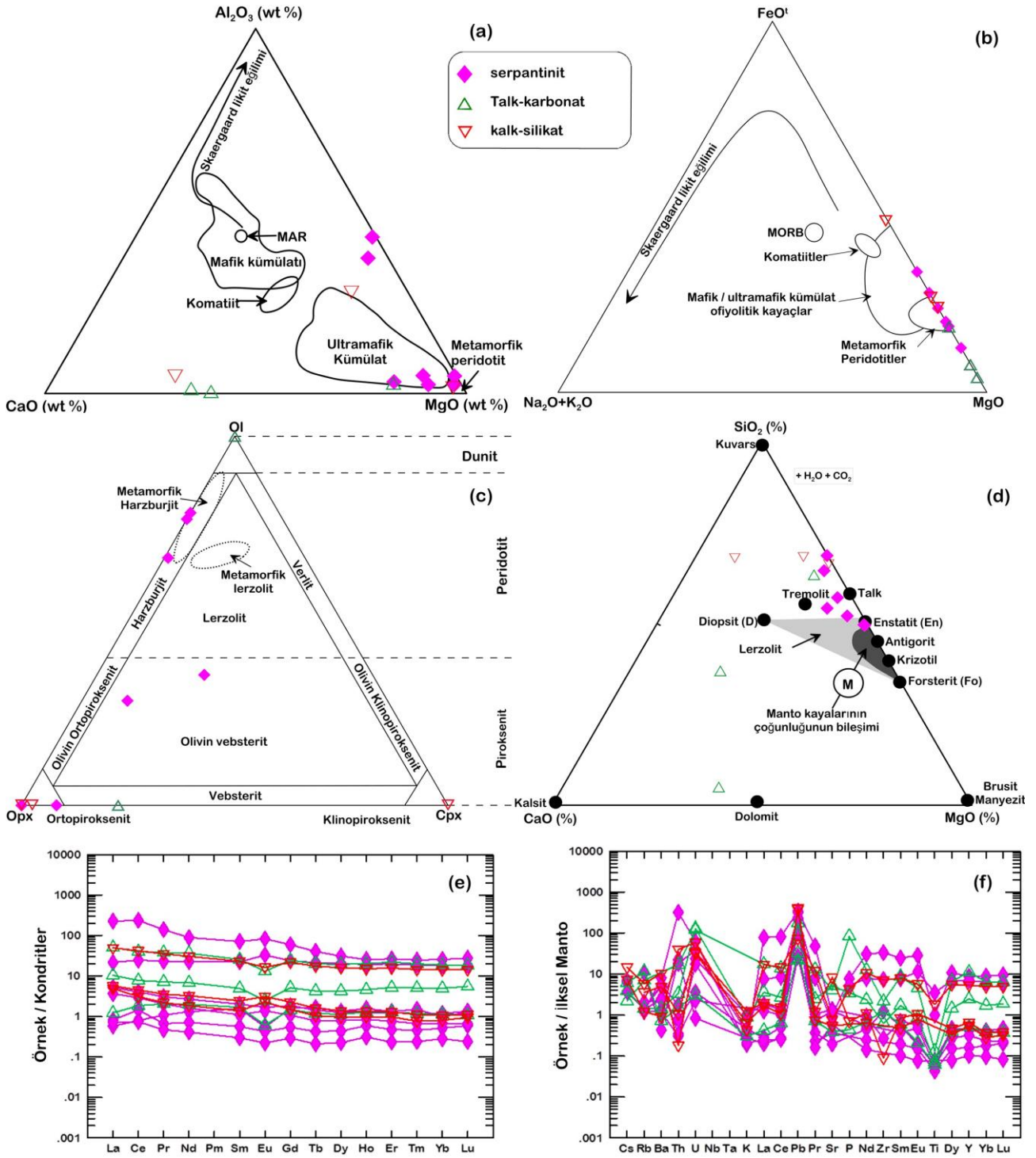
Şekil 4. a) Atud'un doğu yamacındaki diyorit; b) Önemli miktarda kuvars (qz) içeren serisitleşmiş plajiyoklaz (ser-plag), klorit (chl) ve hornblend (hbl); c) Atud'un batı yamacında büyük olivin gabronorit (OG) kayası; d) Olivin gabronoritte diyopsit (cpx), hipersten (opx) ve aktinolit (act) ile olivin (ol) ve plajiyoklaz (plag); e) Hidrotermal alterasyon zonu-1'de kuvars (qz) ve pirit (py) ile muskovit (ms), serisit (ser) ve kaolinit (kln); f) Kuvars (qz), albit (ab), serisit (ser) ve kaolinit (kln), zon-2'de pirit (py) ile; g) Klorit (chl), albit (ab), kalsit (cal), arsenopirit (apy) ve kuvars (qz) ile zon-3; h) Atud'un doğusunda meydana gelen serisitleşme/kaolinitleşme alterasyonu, i) Serisit (ser) ve kaolinit (kln), kuvars (qz) ve pirit (py) ile Atud'daki yüzey alterasyon ürünlerini temsil etmektedir.

Serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçlarının kondrit normalize edilmiş NTE diyagramlarına bakıldığında, serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları için sırasıyla ortalama 25.8, 25.6 ve 23.6'lık HNTE zenginleşmeleri gözlemlenmektedir [Serpantinit için, $(La/Sm)_N=0.4-3.2$, talk-karbonat için 0.7-2.0 ve kalk-silikat kayaçlar için, 2.0-3.4] (Şekil 5e).

Ayrıca serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları için sırasıyla ortalama 8.1, 8.5 ve 6.1 ile

önemli ölçüde yükselmiş ANTE değerleri gösterirler. Serpantinit için $[(Gd/Yb)_N=1.0-2.2]$, talk-karbonat için 1.0-1.3 ve kalk-silikat kayaçlar için de 1.5-2.0] (Şekil 5e).

Pozitif Eu-anomali, serpantinit $[Eu/Eu^*=1.0]$ ve kalk-silikat kayaçlarını $[Eu/Eu^*=1.2]$ ayırt eder (Şekil 5e). Pozitif Eu anomalisi plajiyoklazların alterasyonu ve/veya hidrotermal akışkanların dolaşımını belirleyen okyanusal kayaçların serpantinleşmesi sırasında gelişmiştir (Debret *et al.* 2013, Douville *et al.* 2002, Paulick *et al.* 2006).



Şekil 5. Serpantinit ve türevlerinin (talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları) jeokimyasal diyagramları: a) $CaO-Al_2O_3-MgO$ diyagramı (Coleman 1977); b) AFM diyagramı (Coleman 1977); c) sınıflandırma ve adlandırma şeması (Streckeisen 1976), metamorfik harzburgit ve metamorfik lertzolit alanı (Coleman 1977); d) ultramafik kayaçların $SiO_2-MgO-CaO-H_2O-CO_2$ (CMS-HC) sisteminin kemografisi (Bucher ve Frey 1994); e) Kondrit ile normalize edilmiş NTE modelleri; f) İksel manto ile normalize edilmiş eser element paternleri (Sun ve McDonough 1989).

Çizelge 1. Çalışma alanındaki serpantiniter, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçlarının ana, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) değerleri.

Örnek No	Serpantiniter						Talk-karbonat kayaları				Kalk-silikat kayaları			
	A89	AT6.1	AT6.2	AT9.1	AT11.1	AT12.1	AT15	A97	AT8.1	A90	14.2	AT2.1	AT15.2	
SiO ₂	52.33	44.48	27.77	58.89	39.36	40.10	30.53	24.27	2.53	50.05	51.34	52.21	54.42	
Al ₂ O ₃	1.48	0.83	21.25	1.35	1.10	1.00	16.56	0.68	0.40	0.92	1.17	9.24	0.40	
Fe ₂ O ₃ ^(T)	5.67	8.70	9.88	6.54	5.28	5.24	12.12	0.46	0.95	4.92	5.75	6.96	7.93	
MgO	26.36	30.68	27.88	26.69	27.89	39.94	25.94	14.29	19.55	24.30	7.24	19.69	26.89	
CaO	2.37	2.68	0.45	0.13	5.35	0.72	2.14	27.46	30.43	4.80	16.93	4.52	0.70	
Na ₂ O								0.04			0.04	0.07		
K ₂ O	0.01	0.03	0.01	0.01		0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	
TiO ₂	0.01	0.02	0.22	0.01	0.01		0.76	0.03	0.02	0.01		0.39		
P ₂ O ₅		0.00	0.17				0.11	1.84	0.08	0.01	0.02	0.09		
MnO	0.06	0.12	0.28	0.04	0.08	0.05	0.23	0.03	0.09	0.06	0.30	0.14	0.07	
Cr ₂ O ₃	0.52	0.30	0.00	0.57	0.28	0.27	0.18	0.02	0.00	0.27	0.58	0.08	0.38	
L.O.I	11.19	11.68	11.96	5.49	20.36	12.32	11.23	30.89	45.76	14.65	16.04	6.40	8.51	
İz and nadir toprak elementler (ppm)														
Ag	0.3	0.2	2.0	0.3	-0.4	0.7	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.7	1.4	
As	2.0	33.9	33.3	53.0	69.9	43.1	48.4	4.0	32.1		106.5	31.3	68.2	
Au (ppb)	184.7	66.6	41.2	4.0	11.1	25.5	6.0	14.9	6.9	49.4	19.8	25.5	20.9	
Ba	3.0	37.8	55.7	17.2	8.2	35.2	16.3		10.2	5.0	72.8	6.4	34.2	
Be	0.8	0.5	0.5	0.6	0.3	0.2	0.9	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.5	
C	347.5	8095.6	584.9	1337.1	42574.0	2673.3	3204.0	74469.0	131000.0	1500.8	37658.0	0.0	1443.8	
Cd	0.1	0.1	0.6	4.6	3.7	0.1	3.0	0.7	3.6	0.2	4.6	0.5	3.1	
Co	92.0	92.7	15.0	32.2	64.6	80.9	53.8		19.0	68.0	161.7	39.6	79.5	
Cr	3562.6	2041.7	0.0	3925.3	1897.3	1846.7	1238.4	122.5	23.9	1817.9	3958.1	565.1	2584.2	
Cu	11.5	13.4	2.3	51.8	32.4	5.8	-4.7	96.4	50.4	76.3	25.9	6.9	17.1	
Ga	5.6	3.6	18.0	2.0	1.1	1.8	16.3	2.2	0.6	4.4	5.8	7.6	2.2	
Hf	0.1	0.1	9.1	0.1	0.0	0.1	2.8	0.3	0.1	0.1	0.1	2.7	0.1	
Li	0.5	4.9	60.3	10.0	1.5	3.6	35.7	21.8	3.8	0.9	47.1	23.3	8.1	
Ni	0.5	1878.9	61.7	1022.1	1256.5	1992.4	403.5	296.0	31.3	0.5	1385.1	574.4	1526.9	
Pb	1.9	7.1	24.1	22.3	16.4	15.3	16.6	1.5	12.4	2.3	27.4	5.2	29.5	
Pd	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.2	0.8	0.1	0.2	
Pt	0.05	0.01	0.1	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	
Rb	7.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.3	4.5	0.9	7.3	3.7	0.8	2.3	
Ru	0.1	0.04	0.01	0.1	0.1	0.04	0.03	0.1	0.03	0.1	0.1	0.04	0.1	
S	76.4	419.5	87.5	76.7	117.7	144.3	59.5	102.9	177.9	104.2	409.6	55.5	1280.6	
Sb	1.3	0.9	0.3	0.4	1.2	3.3	0.4	9.6	0.7	4.4	159.1	0.5	0.9	
Sn	0.8	0.9	1.6	0.8	1.1	0.6	1.8	0.8	0.6	0.8	1.5	1.5	1.2	
Sr	4.1	28.4	20.8	7.8	26.6	12.3	13.0	86.3	107.9	8.2	176.0	16.2	11.5	
Te	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.2	
Tl	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
U	0.0	0.5	1.3	0.1	0.0	0.4	0.8	2.5	2.7	0.1	0.7	1.2	0.7	
Zn	86.7	15.2	163.3	15.1	16.7	54.2	71.9	63.5	48.5	49.5	15.5	48.1	4.9	
Zr	14.0	3.0	372.0				82.0	24.0	7.0	14.0	1.0	80.0		
Sc	185.0	81.7	60.5	101.7	74.8	81.6	97.3	85.5	13.1	192.8	100.4	111.6	122.4	
Y	2.1	1.9	39.4	0.7	1.4	0.5	31.8	50.4	11.2	2.3	3.0	24.5	2.5	
La	0.1	1.2	53.6	0.2	0.9	0.2	5.1	12.0	2.5	0.3	1.4	11.7	1.2	
Ce	0.5	2.5	144.8	0.9	1.8	0.5	15.1	24.5	4.8	1.1	2.8	25.9	1.9	
Pr	0.1	0.3	13.2	0.1	0.2	0.04	2.2	3.6	0.7	0.2	0.3	3.4	0.2	
Nd	0.6	1.2	41.6	0.3	0.8	0.2	10.6	17.1	3.2	0.9	1.5	14.3	0.9	
Sm	0.2	0.3	10.9	0.1	0.2	0.05	3.4	3.9	0.8	0.3	0.4	3.5	0.2	
Eu	0.03	0.1	4.8	0.02	0.1	0.01	1.9	0.8	0.1	0.0	0.2	1.0	0.1	
Gd	0.3	0.4	12.2	0.1	0.2	0.1	4.9	5.0	1.1	0.3	0.5	4.5	0.3	
Tb	0.1	0.1	1.5	0.02	0.03	0.01	0.8	0.7	0.2	0.0	0.1	0.7	0.0	
Dy	0.3	0.3	7.9	0.1	0.2	0.1	5.2	4.9	1.1	0.3	0.3	4.1	0.2	
Ho	0.1	0.1	1.4	0.03	0.05	0.02	1.1	1.1	0.3	0.1	0.1	0.9	0.1	
Er	0.2	0.2	4.4	0.1	0.1	0.04	3.3	3.7	0.9	0.2	0.2	2.6	0.2	
Tm	0.04	0.03	0.6	0.01	0.02	0.01	0.5	0.5	0.1	0.03	0.03	0.4	0.02	
Yb	0.2	0.2	4.3	0.1	0.1	0.05	3.1	3.2	0.8	0.2	0.2	2.4	0.1	
Lu	0.03	0.03	0.7	0.02	0.02	0.01	0.5	0.5	0.1	0.0	0.03	0.4	0.02	
Th	1.9	0.1	27.1	0.1	0.03	0.03	1.5	1.5	0.3	0.1	0.02	3.4	0.1	
Parametreler														
FeO ^t	5.8	9.0	10.2	6.3	6.0	5.4	12.5	0.6	1.6	5.2	6.2	6.8	7.9	
Na ₂ O+K ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	
Σ REE	2.9	6.9	302.0	2.1	4.6	1.2	57.6	81.6	16.6	4.0	7.9	75.5	5.5	
Σ LREE	1.6	5.6	269.0	1.6	3.8	0.9	38.3	61.9	12.0	2.9	6.5	59.7	4.5	
Σ HREE	1.3	1.3	33.1	0.5	0.8	0.2	19.3	19.7	4.5	1.2	1.4	15.8	1.0	
Eu/Eu*	0.3	0.9	1.3	0.8	1.3	0.8	1.4	0.5	0.5	0.4	1.3	0.7	1.6	
(La/Sm) _n	0.4	2.5	3.0	1.4	3.2	2.3	0.9	1.9	2.0	0.7	2.2	2.0	3.4	
(Gd/Yb) _n	1.6	1.5	2.2	1.0	1.5	1.0	1.3	1.3	1.0	1.2	2.0	1.5	1.8	
Diopsit	6.9	10.1	0.0	0.0	23.4	0.8	0.0	0.0	0.0	19.6	60.3	0.0	2.1	
Hipersten	77.1	57.5	14.7	78.0	36.7	30.1	15.2	0.0	0.0	67.1	0.0	59.6	83.5	
olivine		26.7	56.3		32.8	63.0	52.7	34.7	61.0					

Serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları için oluşturulan spider diyagramına bakıldığında, U, Pb ve Eu'nun zenginleşme gösterdiği Th, Ti ve Rb'nin tüketildiği bu kayaçlarda karbonat oluşumunun varlığına işaret ettiği söylenebilmektedir (Deschamps *et al.* 2010) (Şekil 5f).

İncelenen metatüflerin analiz edilen örnekleri, çoğunlukla bazik bileşime sahip magmatizmadan türeyen yüksek K/Rb değerine sahiptir. Buna rağmen bazı örnekler de metavolkanik tüfler alanında asidik ara katkılar da gözlemlenmektedir (Floyd and Leveridge 1987) (Şekil 6a). Tortul kayaçların jeokimyasına dayanan dört köken halinde tanımlanan F1–F2 sınıflandırma diyagramına göre; P1-mafik ve daha az orta dereceli magmatik köken; P2-orta dereceli magmatik köken, P3-Felsik magmatik köken ve P4-kuvartoz tortul köken olduğunu göstermektedir (Roser and Korsch 1986).

Araştırılan metatüflerin çoğu ortaç magmatik kökenli (P2) alanına, bazı örnekler ise mafik ve felsik magmatik kökenli (P1 ve P3) alanına düşmektedir (Şekil 6b). Bhatia (1983), kabuğun bileşimine göre kıta kenarlarını ve okyanus havzalarını dört ayrı alt-başlık halinde incelemiştir; (1) Okyanus ada yaylarındaki komşu tortul havzalara karşılık gelen okyanus ada yayları ve bunların tortulları kalk-alkalin veya toleyitik yay magmatik kayaçlarından türemiştir. (2) bir kıta kabuğu üzerinde oluşan havzalar, ada yaylarına komşu tortul havzalarla karşılaştırılabilir ve kıta ada yayları ile bunların tortulları esas olarak felsik volkanik kayalardan türemiştir. Yay önü, yay arkası ve yaylar arası havzalarda birikim alanları olarak gözlemlenebilir. (3) Aktif kıta kenarları, kalın bir kıta kabuğu üzerinde veya ona komşu olarak gelişmiş tortul havzaları içerir ve bunların tortulları, esas olarak And tipi yerleşimde yükselen temelin granit-gneys ve silisli volkanitlerinden türemektedir. (4) Kıtaların kenarları boyunca meydana gelen Atlantik tipi riftli kıta kenarlarını oluşturan pasif kenarların yanı sıra aktif olmayan yakınsak kenarlara komşu olan

okyanus havzalarının kenarları ve çarpışma orojenleri ile bunların tortulları, yaşlı tortul ve metamorfik kayaçların ergimesi ile gelişir.

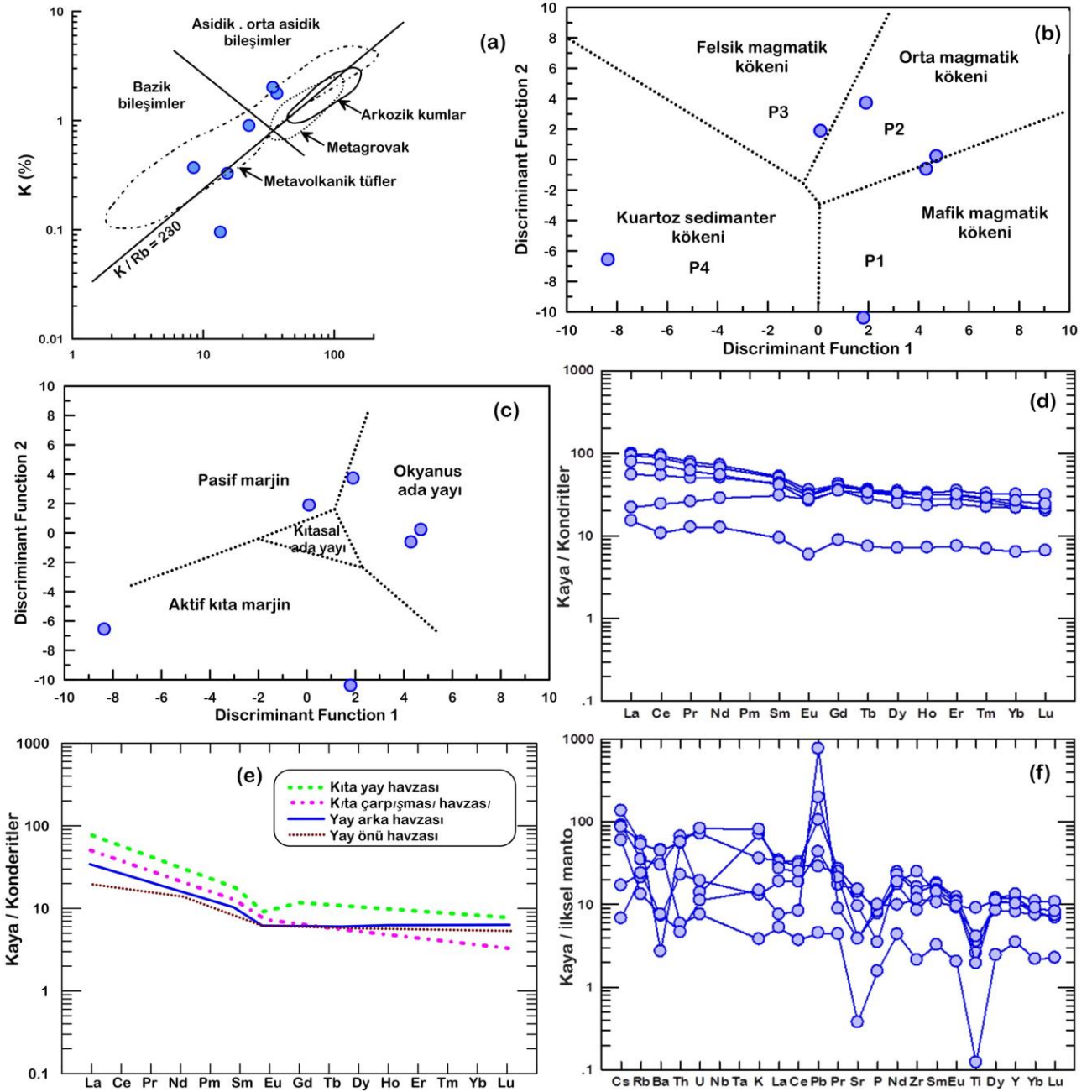
Şekil 6c'de incelenen metatüflerin çoğunlukla kalk-alkalin ve toleyitik kayaçlardan türeyen okyanusal ada yayının metasedimentlerine veya yaşlı metamorfik/sedimanter kayaçların ergime ürünlerine benzer olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Metatüflerin kondrite göre normalize edilmiş NTE değerlerine bakıldığında, bu kayaların ANTE $[(Gd/Yb)_N = 1.5]$ ve negatif Eu-anomalisi $[Eu/Eu^* = 0.7]$ göstermesine karşın HNTÉ $[(La/Yb)_N = 2.6]$ açısından zenginleştiği görülmektedir (Şekil 6d). İncelenen metatüflerin NTE profili, McLennan *et al.* (1990)'nın yaptığı araştırmadaki kıtasal yay havzası ile karşılaştırılabilir (Şekil 6e).

İncelenen metatüflerin ilksel manto-normalize uyumsuz element spider diyagramına göre, Cs, U, K, La, Pb, Nd ve Y elementlerince zenginleştiği, Ba, Sr, Zr, Eu, Ti ve Yb elementlerince fakirleştiği görülmektedir (Şekil 6f). Negatif Eu- $[Eu/Eu^* = 0.7]$, negatif Sr- $[Sr/Sr^* = 0.04]$ ve negatif Zr- $[Zr/Zr^* = 0.06]$ anomalilerine baktığımızda bu metatüflerin ilksel magma kaynağının yitim sırasında etkileşimde olduğu ikincil metasomatik çözeltiler ile kirletilmiş bir manto kaynağından türemiş olduğu söylenilebilir (Wilson 2007).

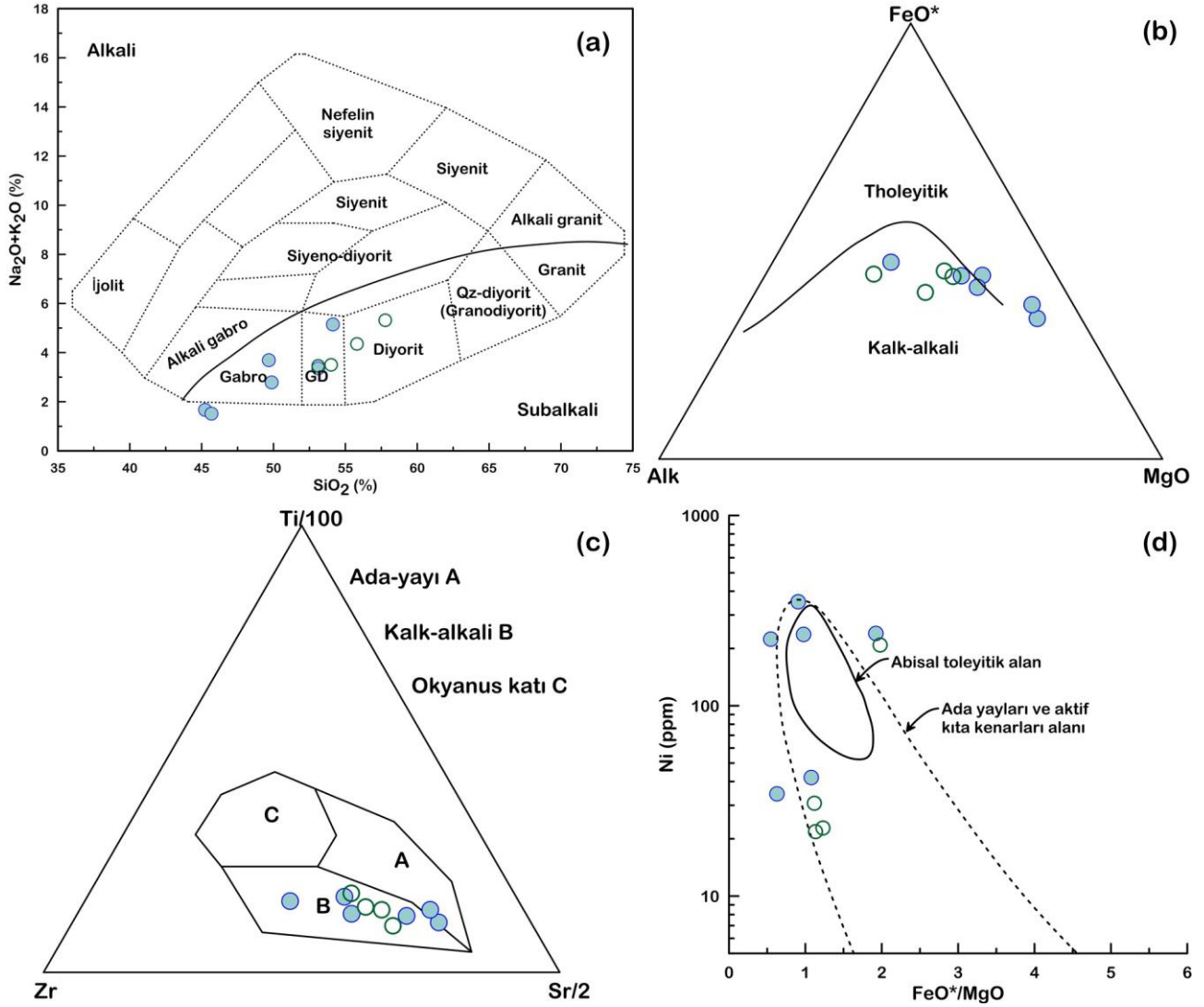
Cox ve diğ. (1979) tarafından önerilen $Na_2O+K_2O - SiO_2$ diyagramında (Şekil 7a), metagabroların gabro ve gabro/diyorit alanlarında olduğunu, diyoritlerin ise diyorit ve gabro/diyorit alanlarına düştüğü görülmektedir. Bu kayaçların kalk-alkali afiniteleri vardır (Şekil 7b) ve kalk-alkali bazalta (CAB) eşdeğerdir (Şekil 7c). Ni ve FeO^*/MgO içeriği arasındaki ilişki Miyashiro and Shido (1975) tarafından volkanik kayaçları farklı tektonik ortamlara göre ayırt etmek için kullanılmıştır, bununla birlikte analiz edilen metagabro-diyorit kompleksinin çizimleri çoğunlukla ada yayı alanına düşmektedir (Şekil 7d).

Çizelge 2. Çalışma alanındaki metatüfler ve olivin gabronorit kayaçlarının ana, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) değerleri.

Örnek No	Metatüfler						Olivin gabronorit						
	A95	A100	A101	A122	AT6.3	AT12.2	A44	A98	A102	A126	A129	AT7	
SiO ₂	58.58	97.78	69.89	68.87	61.63	44.53	45.55	47.19	47.33	46.55	45.55	44.80	
Al ₂ O ₃	16.40	0.74	13.07	12.48	16.27	12.07	16.12	16.15	19.99	19.35	18.14	19.02	
Fe ₂ O ₃ ^(T)	7.12	0.57	4.70	2.68	6.57	16.17	7.88	5.93	5.25	5.31	6.79	7.00	
MgO	3.24	0.09	1.20	0.63	2.36	7.97	11.22	11.82	9.78	10.02	12.96	11.08	
CaO	5.52	0.11	1.40	8.58	1.74	10.22	13.70	15.69	15.59	15.49	13.41	13.32	
Na ₂ O	4.25	0.19	4.39	2.10	6.22	1.89	1.53	0.94	1.21	1.05	1.00	1.62	
K ₂ O	1.09	0.11	2.14	0.40	2.43	0.45	0.18	0.07	0.08	0.11	0.09	0.14	
TiO ₂	0.78	0.03	0.56	0.42	0.90	1.97	0.61	0.29	0.27	0.24	0.20	0.45	
P ₂ O ₅	0.19	0.03	0.08	0.17	0.18	0.22	0.07	0.03	0.03	0.04	0.04	0.07	
MnO	0.13	-	0.12	0.24	0.15	0.24	0.13	0.10	0.08	0.09	0.11	0.11	
Cr ₂ O ₃	0.02	0.06	0.02	0.03	0.01	0.00	0.07					0.11	
LOI	2.68	0.29	2.43	3.40	1.35	3.92	2.93	1.21	1.36	1.68	2.16	1.85	
İz and nadir toprak elementleri (ppm)													
Ag	0.6	0.1	0.2	0.9	1.2	0.8	0.7	0.2	0.3	0.6	0.5	0.2	
As	5.0	45.0	12.0	2.0	30.8	25.5	2.0	5.0	5.0	6.0	4.0	23.2	
Au (ppb)	27.3	46.5	33.3	19.0	26.4	14.0	34.3	171.3	17.1	133.9	20.5	19.8	
Ba	211.0	320.0	19.0	51.0	312.0	52.9	32.0	24.0	38.0	29.0	27.0	38.8	
Be	1.8	0.5	1.1	1.2	2.1	0.6	0.8	0.6	0.4	0.9	0.8	0.5	
C	4437.2	2137.9	2017.7	4418.7	1979.5	1034.8	1143.3	75.7	110.2	113.0	112.8	1265.5	
Cd	0.2	0.2	0.1	0.4	0.5	4.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	
Co	14.0	438.0	8.0	2.0	29.8	41.0	56.0	49.0	41.0	41.0	56.0	66.9	
Cr	139.6	404.4	112.2	231.3	47.9	0.0	500.2	0.0	0.0	0.0	0.0	729.4	
Cs	0.7	0.1	0.7	0.1	1.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.1	
Cu	11.8	40.7	36.6	13.2	8.1	55.2	50.2	62.0	55.0	41.0	10.1	43.7	
Ga	42.6	4.6	19.5	22.2	32.4	14.5	21.0	8.5	8.9	16.9	15.2	11.1	
Hf	1.8	0.4	1.8	2.3	4.4	2.0	1.3	0.7	1.1	0.5	0.4	1.0	
In	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ir	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	
Li	17.7	0.4	3.3	1.9	10.7	8.6	3.1	1.3	0.7	2.0	3.0	25.3	
Ni	164.4	164.5	273.5	338.3	30.2	37.8	304.2	67.0	74.0	384.8	352.4	126.0	
Pb	7.5	0.3	2.0	3.1	13.9	54.3	40.5	-0.4	-0.3	2.0	1.1	14.6	
Pd	1.1	0.4	1.6	1.5	0.3	0.5	1.1	0.6	0.5	0.6	0.4	1.0	
Pt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Rb	22.3	13.5	36.4	15.3	33.9	8.4	11.7	5.8	7.0	7.8	8.2	2.0	
Rh	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.04	
Ru	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.04	
S	69.6	902.9	213.3	374.8	139.3	230.5	159.2	2392.1	2043.1	1436.7	158.9	902.3	
Sb	1.0	0.4	0.3	4.0	0.4	0.5	13.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	
Sn	2.5	1.3	2.4	2.1	3.0	1.8	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	
Sr	298.4	8.0	201.3	320.8	82.5	81.2	399.6	269.0	327.0	363.3	350.0	256.4	
Te	-	0.1	-	-	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	
Tl	0.2	0.0	0.1	0.03	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
U	1.5	0.2	0.3	0.4	1.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	
V	397.5	237.8	293.5	183.7			400.0	392.3	315.9	367.0	315.0		
Zn	133.9	35.1	57.2	91.5	65.8	81.8	132.9	40.0	31.1	52.7	57.0	39.9	
Zr	181.0	24.0	159.0	96.0	279.0	131.0	48.0	30.0	31.0	28.0	27.0	108.0	
Sc	195.3	222.7	200.3	176.1	114.3	110.8	268.1	237.0	214.7	227.5	209.8	99.5	
Y	49.2	15.9	55.5	60.3	37.2	46.6	19.7	11.7	10.5	9.7	8.2	7.9	
La	23.5	3.6	22.3	13.0	18.7	5.2	4.4	2.2	2.4	2.2	2.3	2.0	
Ce	57.4	6.6	53.8	33.3	44.3	14.9	11.4	5.5	5.8	8.0	5.3	5.1	
Pr	7.5	1.2	6.9	4.8	5.8	2.5	1.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	
Nd	33.5	5.9	30.9	23.7	25.4	13.4	8.6	4.5	4.4	4.1	3.8	3.6	
Sm	8.0	1.4	7.7	6.6	6.3	4.7	2.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	
Eu	2.1	0.3	1.8	1.8	1.5	1.6	1.1	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	
Gd	8.6	1.8	8.8	8.2	7.4	7.2	3.2	1.9	1.8	1.6	1.3	1.5	
Tb	1.3	0.3	1.4	1.3	1.1	1.2	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	
Dy	7.8	1.8	8.6	8.8	6.3	8.3	3.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.4	
Ho	1.6	0.4	1.8	1.9	1.3	1.8	0.7	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	
Er	4.7	1.2	5.2	5.8	4.0	5.2	2.0	1.2	1.0	1.0	0.8	0.9	
Tm	0.6	0.2	0.7	0.8	0.6	0.7	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	
Yb	3.8	1.1	4.1	5.4	3.7	4.5	1.7	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	
Lu	0.5	0.2	0.5	0.8	0.6	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Th	5.6	0.5	4.7	1.9	4.8	0.4	0.5	7.7	0.3	3.1	0.3	0.2	
Parametreler													
Na ₂ O+K ₂ O							1.7	1.0	1.3	1.2	1.1	1.8	
FeO ⁱ /MgO							0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	
K/Rb	403.6	70.6	488.3	215.8	595.6	440.3							
F1	4.3	-8.4	0.1	4.7	1.9	1.8							
F2	-0.6	-6.5	1.9	0.2	3.7	-10.4							
Σ REE	160.8	26.1	154.5	116.2	126.9	71.8	41.5	22.2	21.8	23.1	18.8	18.4	
Σ LREE	131.9	19.1	123.5	83.2	102.1	42.2	29.7	15.1	15.5	17.1	13.9	13.1	
Σ HREE	28.9	7.0	31.0	33.0	24.8	29.6	11.8	7.1	6.4	6.0	5.0	5.3	
Sr _N	3.3	0.1	2.2	3.6	0.9	0.9	4.4	3.0	3.6	4.0	3.9	2.8	
Ce _N	66.4	7.6	62.2	38.5	51.2	17.2	13.2	6.4	6.7	9.2	6.2	5.9	
Sm _N	39.4	7.1	37.9	32.7	31.1	23.3	12.6	7.0	6.6	6.1	5.4	5.4	
(La/Yb) _N	4.1	2.2	3.6	1.6	3.4	0.8	1.7	1.5	1.8	1.8	2.2	1.8	
(Gd/Yb) _N	1.8	1.3	1.7	1.2	1.6	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
Eu/Eu*	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.2	1.4	1.4	1.5	1.3	
Sr/Sr*	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	
Zr/Zr*	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	



Şekil 6. Metatüflerin jeokimyasal diyagramları: a) K-Rb diyagramı (Van de Kamp 1968, Condi *et al.* 1970, Van de Kamp *et al.* 1976, Caby *et al.* 1977, Floyd and Leveridge 1987); b) F1 ve F2 diskriminant fonksiyonlarının grafiği (Rosier ve Korsch 1986); c) Fonksiyon 1'e karşı II boyunca diskriminant fonksiyonlarının grafiği (Bhatia 1983); d) Kondrit ile normalize edilmiş REE modelleri (Sun and McDonough 1989); e) McLennan *et al.* (1990); f) İlksele manto-normalize iz element paternleri (Sun and McDonough 1989).



Şekil 7. Metagabro-diyorit jeokimyasal diyagramları: a) alkali ve subalkali arasındaki ayırım çizgisi (Cox *et al.* 1979); b) AFM üçlü diyagramı (Irvine and Baragar 1971); c) Ti/100-Zr-Sr/2 üçlü diyagramı (Pearce and Cann 1973); d) FeO*/MgO-Ni diyagramı (Miyashiro and Shido 1975).

Zr/Y oranlarının, kaynağın heterojenliği nedeniyle okyanus ortası sirtlardan levha içi bazaltlara doğru arttığını, oysa volkanik ark bazaltlarının düşük Zr ve Zr/Y oranı, tükenmiş bir kaynağın yüksek derecede kısmi ergimesinden kaynaklanmaktadır (Pearce and Norry 1979). Öte yandan, bazaltların yüksek Zr ve benzeri Zr/Y oranı, açık sistem fraksiyonel kristalleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Floyd (1993) amfibol ve klinopiroksen fraksiyonlaşmasının Zr varlığını önemli ölçüde

arttırdığını, oysa olivin ve plajiyoklaz fraksiyonlaşmasının Zr/Y oranını değiştirmedini belirtmiştir.

Zr'ye karşı Zr/Y ikili diyagramına dayalı olarak, Zr/Y oranlarının önemli bir varyasyonu artan Zr ile artar (Şekil 8a). Bu durum, feldspatlı veya feldspatsız mafik fazların fraksiyonel kristalleşmesini göstermektedir (Drury *et al.* 1983).

Çizelge 3. Çalışma alanındaki metagabro-diorite kompleksinin ana, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) değerleri.

Örnek no	Metagabro							Diyorit				
	A 42	A105	A124	A96	A124	A128	AT10.4	A14	A 103	A115	A116	
SiO ₂	53.11	49.87	54.13	49.67	54.13	45.24	45.68	57.77	53.10	54.00	55.80	
Al ₂ O ₃	15.81	16.19	16.79	13.79	16.79	13.96	16.72	16.69	18.33	15.79	16.37	
Fe ₂ O ₃	7.83	8.53	7.73	9.00	7.73	6.47	7.05	6.71	7.39	7.43	6.24	
MgO	6.94	8.19	3.86	9.43	3.86	11.26	10.45	3.16	5.58	6.34	5.25	
CaO	6.99	10.26	5.16	8.57	5.16	15.69	15.09	6.59	8.66	7.18	6.40	
Na ₂ O	2.62	2.43	3.10	2.93	3.10	1.46	1.37	4.39	3.10	2.84	3.53	
K ₂ O	0.74	0.36	2.05	0.76	2.05	0.20	0.14	0.93	0.37	0.67	0.83	
TiO ₂	0.74	0.65	1.23	1.00	1.23	0.45	0.48	0.92	0.98	0.71	0.63	
P ₂ O ₅	0.13	0.11	0.38	0.35	0.38	0.06	0.06	0.26	0.18	0.12	0.11	
MnO	0.14	0.14	0.11	0.16	0.11	0.12	0.13	0.11	0.13	0.13	0.11	
Cr ₂ O ₃		0.05	0.01	0.09	0.01	0.17	0.05	0.01				
LOI	3.99	3.23	5.45	4.26	5.45	4.91	2.28	2.45	2.28	3.66	3.78	
İz ve Nadir Toprak Elementleri (ppm)												
Ag	0.9	0.8	1.4	1.1	1.4	0.6	0.3	0.7	0.3	0.8	1.1	
As	16.0	3.0	1.0	7.0	1.0	9.0	33.0	8.0	3.0	26.0	10.0	
Au (ppb)	35.9	156.2	22.2	27.2	22.2	69.6	8.4	75.1	16.9	49.5	27.7	
Ba	167.0	113.0	43.0	131.0	43.0	26.0	41.5	208.0	126.0	160.0	194.0	
Be	1.2	1.2	1.8	1.5	1.8	0.9	0.5	1.4	0.7	1.4	1.3	
C	349.9	1647.1	6602.0	2461.8	6602.0	3620.0	1096.6	2543.7	100.7	323.2	399.5	
Cd	0.4	0.3	0.5	0.7	0.5	0.3	4.0	0.2	0.2	0.6	0.6	
Co	31.0	50.0	28.0	44.0	28.0	36.0	45.2	42.0	24.0	31.0	26.0	
Cr	0.0	329.8	95.8	604.1	95.8	1132.4		93.7	0.0	0.0	0.0	
Cs	32.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.0	0.9	0.1	0.6	1.3	
Cu	15.1	21.8	72.1	22.3	72.1	28.8	12.7	18.5	15.8	22.6	19.5	
Ga	0.7	30.9	62.4	32.2	62.4	15.4	10.0	40.8	15.9	33.4	38.4	
Hf	1.6	0.8	5.9	3.1	5.9	0.9	0.9	1.2	3.1	2.6	1.2	
In	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	
Ir	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
Li	10.0	8.6	15.3	12.6	15.3	4.8	4.8	12.2	3.0	9.4	10.1	
Ni	42.0	237.4	240.0	352.5	240.0	224.1	34.5	209.3	23.0	31.0	22.0	
Pb	3.6	8.1	25.4	16.3	25.4	14.9	21.0	15.8	0.2	3.9	4.8	
Pd	1.0	0.7	5.4	2.7	5.4	0.8	1.1	0.9	1.2	0.8	0.8	
Pt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Rb	29.5	15.0	39.8	19.0	39.8	10.7	1.8	36.5	11.0	60.0	27.0	
Rh	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Ru	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	
S	250.0	132.1	99.4	208.2	99.4	104.5	1398.3	235.8	244.3	656.9	213.5	
Sb	0.8	4.1	4.6	8.8	4.6	7.9	0.2	5.5	0.5	0.7	1.1	
Sn	1.7	1.3	2.9	1.8	2.9	1.6	0.8	2.0	1.7	1.6	1.5	
Sr	436.2	362.9	366.0	347.1	366.0	336.5	229.7	454.2	334.0	317.0	443.9	
Te		-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	
Tl	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	
U	0.5	0.2	1.2	0.7	1.2	0.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.4	
V	369.7	510.4	486.7	577.6	486.7	443.8		344.4	417.1	442.1	389.4	
Zn	101.9	109.7	141.1	189.4	141.1	84.8	20.8	134.6	51.1	105.6	109.2	
Zr	80.0	47.0	202.0	115.0	202.0	42.0	73.0	107.0	105.0	86.0	96.0	
Sc	245.6	234.4	216.5	220.0	216.5	275.7	123.7	221.5	217.7	213.2	206.5	
Y	29.1	22.0	58.0	31.6	58.0	17.0	9.6	36.0	37.5	29.4	24.6	

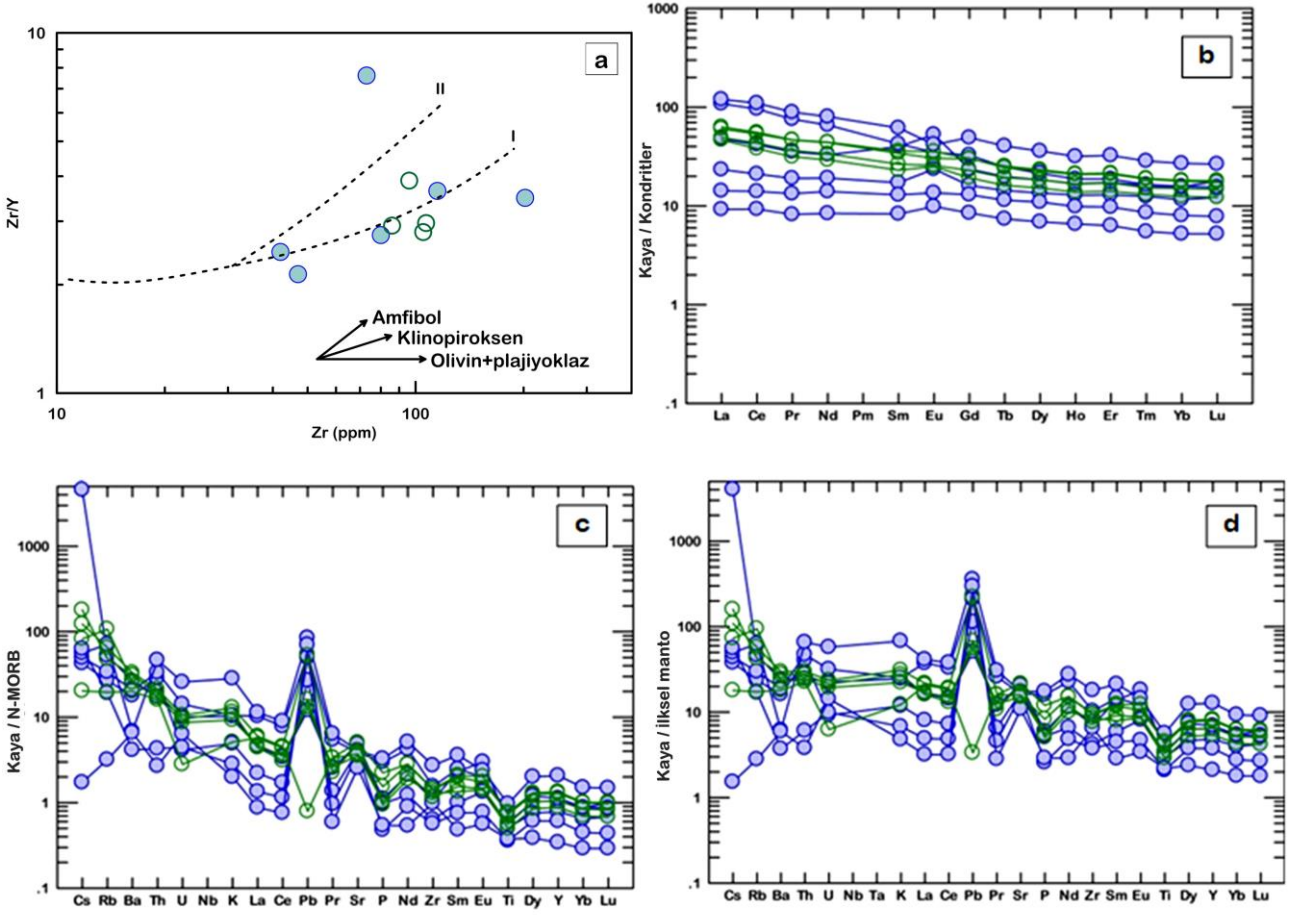
Çizelge 3. devamı

Örenk no	Metagabro						Diyorit				
	A 42	A105	A124	A96	A124	A128	AT10.4	A14	A 103	A115	A116
La	11.3	5.5	28.4	25.7	28.4	3.4	2.2	15.0	14.3	11.7	11.0
Ce	25.6	12.9	67.2	58.7	67.2	8.6	5.7	34.0	32.8	26.5	23.3
Pr	3.3	1.8	8.5	7.2	8.5	1.3	0.8	4.4	4.4	3.5	3.0
Nd	15.4	8.9	37.4	30.8	37.4	6.5	3.9	20.7	20.4	15.7	13.6
Sm	6.1	2.6	9.4	6.5	9.4	2.0	1.3	5.5	5.2	4.1	3.5
Eu	3.1	1.4	2.4	2.0	2.4	0.8	0.6	2.1	1.8	1.5	1.4
Gd	4.8	3.3	10.1	6.7	10.1	2.7	1.7	6.2	6.1	4.7	4.0
Tb	0.7	0.5	1.5	0.9	1.5	0.4	0.3	0.9	0.9	0.7	0.6
Dy	4.7	3.4	9.1	5.4	9.1	2.8	1.8	5.7	5.9	4.7	3.9
Ho	1.0	0.7	1.8	1.1	1.8	0.6	0.4	1.2	1.2	0.9	0.8
Er	2.9	2.1	5.4	3.1	5.4	1.6	1.0	3.5	3.6	2.8	2.3
Tm	0.4	0.3	0.7	0.4	0.7	0.2	0.1	0.5	0.5	0.4	0.3
Yb	2.7	2.0	4.6	2.7	4.6	1.4	0.9	3.0	3.1	2.6	2.1
Lu	0.5	0.3	0.7	0.4	0.7	0.2	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3
Th	2.1	3.4	5.6	4.0	5.6	0.5	0.3	2.5	1.9	2.1	2.3
Parametreler											
FeO*	7.5	8.0	7.4	8.5	7.4	6.2	6.6	6.2	6.8	7.1	5.9
Na ₂ O+K ₂ O	3.4	2.8	5.1	3.7	5.1	1.7	1.5	5.3	3.5	3.5	4.4
FeO*/MgO	1.1	1.0	1.9	0.9	1.9	0.5	0.6	2.0	1.2	1.1	1.1
Zr/Y	2.7	2.1	3.5	3.6	3.5	2.5	7.6	3.0	2.8	2.9	3.9
Σ REE	82.4	45.9	187.2	151.6	187.2	32.4	20.8	103.1	100.7	80.1	70.2
Σ LREE	64.8	33.1	153.3	130.9	153.3	22.5	14.4	81.7	78.9	62.9	55.9
Σ HREE	17.6	12.7	33.9	20.7	33.9	9.8	6.4	21.5	21.8	17.2	14.3
Eu/Eu*	1.7	1.4	0.8	0.9	0.8	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.2
(La/Sm) _N	1.1	1.3	1.9	2.4	1.9	1.0	1.1	1.7	1.7	1.8	1.9
(Gd/Yb) _N	1.5	1.3	1.8	2.0	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5
Sr/Sr*	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2

Metagabro örnekleri ise, ada yaylarından mafik fazlardan kristalize olan klinopiroksen fraksiyonasyonunu yansıtırken (Drury *et al.* 1983), buna karşın metadiyorit örnekleri, And tipi yaylardan mafik fazlardan kristalize olan amfibol fraksiyonlaşmasını yansıtır (Drury *et al.* 1983) ve tipik kalk-alkali volkanik yay lavlarıdır (Brown *et al.* 1977). Metagabro-diyorit kompleks kayaçlarının kondrit-, N-tipi MORB ve ilksel manto-normalize REE paternleri, doğrusal profillerle karakterize edilir (Şekil 8b-d). Bu paternler, metagabro için ortalama LREE değerleri 81.8 ve diyoritik kayaçlar için ortalama 69.9 olan zenginleşmiş bir HNTE ile karakterize edilir. (La/Sm)_N değerleri ise metagabro için 1.1-2.4 ve diyoritik kayalar için 1.7-2.0 olarak gözlemlenmektedir (yüksek oranla daha fazla amfibol grubu mineral içeren mafik kayaçlarda

ONTE grubu elementlerin zenginleşmesi daha düşük (La/Sm)_N değerlerine sebep olmaktadır.

Metagabro için ortalama 19.3 ve diyoritik kayaçlar için 18.7 olan nispeten yatay ANTE paternleri ise diyoritik kayaçların nispeten daha uzun süre kıtasal kontaminasyona maruz kaldığını göstermektedir. [metagabro ve diyoritik kayaçlar için sırasıyla ortalama (Gd/Yb)_N = 1.6 ve 1.5]. Modeller ayrıca hafif pozitif Eu anomalileri de göstermektedir (sırasıyla metagabro ve diyoritik kayaçlar için Eu/Eu* = 0.8-1.7 ve 1.0-1.2). Pozitif Eu anomalileri, Eu ve hafif NTE varlığına katkıda bulunan ve ANTE'nin azalmasına yol açan magmadaki plajiyoklaz fraksiyonlaşmasından kaynaklanmaktadır (Hassanipak *et al.* 1996).

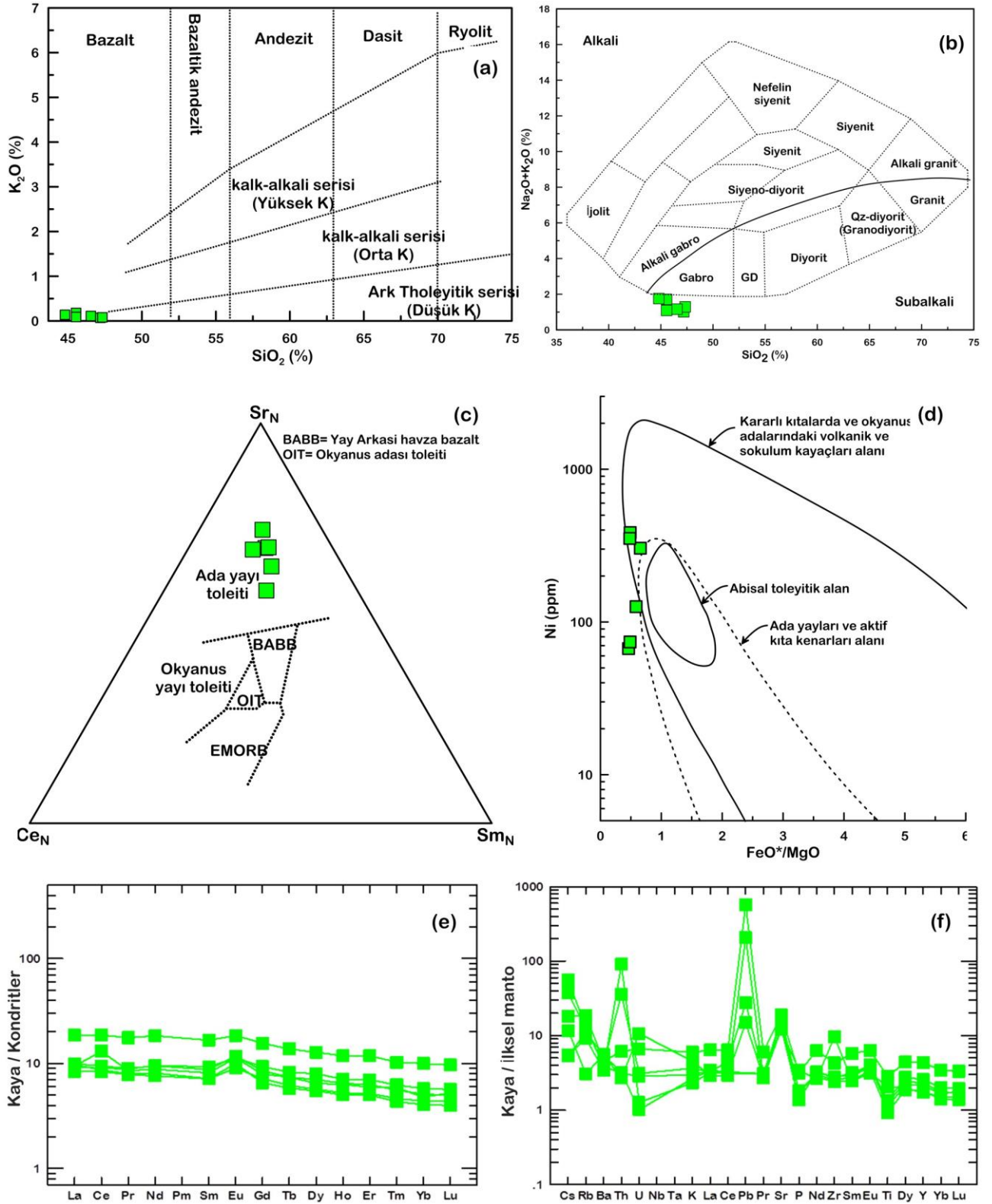


Şekil 8. Metagabro-diyorit diyagramlarının jeokimyasal diyagramları: a) Zr/Y - Zr ikili diyagramı, fraksiyonel kristalleşme vektörleri (Drury *et al.* 1983, Floyd 1993); b) Kondrit ile normalize edilmiş REE modelleri (Sun and McDonough 1989); c) N-tipi MORB ile normalize edilmiş modeller (Sun and McDonough 1989); d) İlksel manto-normalize iz element paternleri (Sun and McDonough 1989).

Çizelge 2'de görülen olivin gabronorit kayaçlarının jeokimyasal verilerine dayanarak, gabroik kayaçlar olarak sınıflandırılan (Şekil 9b) düşük K toleyitik magmatik afinitelere sahip oldukları kanıtlanmıştır ve Ikeda (1990)'nın ada-yayı toleyitlerine (IAT) karşılık gelmektedir.

Ayrıca, Miyashiro and Shido (1975)'nin durağan kıta ve okyanus adaları ortamlarında gelişen intruzif kayaçlara da benzerlik gösterdiği düşünülmektedir (Şekil 9d). Olivin gabronorit kayalarının kondrit

normalize edilmiş NTE paternleri, HNTE'nin zenginleştiği [ort.(La/Yb)N=1.8] ve pozitif Eu [ort. Eu/Eu*=1.3] anomalilerine sahip ANTE [ort. (Gd/Yb)N=1.6] 'nin düz bir trend sunduğu görülmektedir (Şekil 9e). Analiz edilen kayaçların ilksel manto-normalize uyumsuz element spider diyagramı, Th, Pb, Sr, Zr ve Eu'nun pozitif anomalilerini, negatif P- ve Ti-anomalileri ortaya koymaktadır ve plajiyoklaz ve olivin'in düşük basınçlı fraksiyonasyonuna işaret etmektedir (Hawkesworth *et al.* 1977, Şekil 9f).



Şekil 9. Olivin gabronoritin jeokimyasal diyagramları: a) $K_2O - SiO_2$ diyagramı (Le Maitre *et al.* 1989), b) alkali ve subalkali arasındaki ayırım çizgisi (Cox *et al.* 1979, Miyashiro 1978), c) $Ce_N - Sr_N - Sm_N$ diyagramı (Ikeda 1990), d) $FeO^t/MgO - Ni$ diyagramı (Miyashiro and Shido 1975), e) f) Kondrit ve ilksel manto ile normalize edilmiş REE pateni (Sun and McDonough 1989).

5. Tartışma ve Sonuç

Atud Bölgesi'nde, Mısır Doğu Çölü'nün Orta kısmındaki gabroik intrüzyonla ilişkili geniş bir

yayılım gösteren mezotermal orojenik damar tipi bir altın cevherleşmeleri de görülmektedir. Atud'un kuzeydoğu, doğu, güneydoğu yamacındaki KB-GD kırılğan-sünek kesme zonları boyunca kuvars damarı ve yoğun yeşilist fasiyesi hidrotermal alterasyon

toplulukları ile sınırlıdır (Abdelnasser 2016, Abdelnasser and Kumral 2016, 2017; Abdelnasser *et al.* 2018) Atud sahası, serpantinitle ve metatüfler içine sokulmuş ve daha sonra olivin gabronorit kayaları tarafından kesilmiş olan metagabro-diyorit kompleksini içermektedir. Bu kaya birimleri, majör, iz ve NTE jeokimyası için analiz edilmiştir. Bu bilgiler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

(1) serpantinit ve türevleri (talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları) çoğunlukla metamorfik peridotitler olarak temsil edilmektedir. Serpantinitle esas olarak antigorit-enstatit-talk-tremolit içerirken, talk-karbonat kayaçları talk, tremolit, diyopsit ve dolomit içerir. Kalk-silikat kayaçları, Bucher ve Frey (1994)'in CMS-HC sistemine uygun olarak tremolit-talk-kuvars içerir. Hafif NTE zenginleşmeleri ve yatay ANTE ve pozitif Eu-anomalisi bu kayaçlarda gözlemlenmektedir. Bu durumun okyanusal kayaçların serpantinleşmesi ile plajiyoklaz alterasyonu ve/veya hidrotermal akışkanların dolaşımı ile gerçekleştiğini düşündürür.

(2) Metatüflerin en yüksek K/Rb oranı, bu kayaların çoğunlukla bazik, orta ve nadiren asidik afinitelere sahip magmatik süitlerden türediğini ortaya koymaktadır. Çoğunlukla kalk-alkalin ve toleyitik kayaçlardan okyanus ada yayınının metasedimanlar ile karşılaştırılabilir. NTE paternleri, McLennan *et al.* (1990) kıtasal yay havzası (CAB) özelliklerini göstermektedir. HNTE açısından zenginleşmiş, ANTE açısından ise tüketilmiştir ve bunun yanı sıra negatif Eu anomalilerine sahiptir. Ek olarak, negatif Eu-, Sr- ve Zr- anomalileri, manto kaynağına yitim zonu ile eklenen bileşenler tarafından kirlenmiş bir magmadan kaynak kayaçlarının oluştuğunu ifade eder.

(3) Olivin gabronorit kayaçları, Ikeda'nın (1990) ada yayı toleyitleri (IAT) ile uyumlu, düşük K toleyitik magmatik afinitelere sahip gabroik kayaçlar olarak sınıflandırılır. NTE paternleri, HNTE açısından zenginleşmeyi ve pozitif Eu-, Th-, Pb-, Sr- ve Zr-anomalileri ise yatay ANTE'yi ve plajiyoklaz ve olivin düşük basınçlı

fraksiyonasyonunu işaret eden negatif P- ve Ti-anomalilerini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Mısır-Türk kültür ve misyon işbirliği ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) BAP Projesi tarafından desteklenmiştir (Proje No. 39183). Analizlerin yapılması sırasında emeği geçen İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarı (ITU-JAL) ekibine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Abdelnasser A., 2016. Genesis of the gold mineralization at Atud area, Central Eastern Desert of Egypt: Geological, ore mineralogical and geochemical approaches. ITU Academic Archive: Istanbul Technical University, 157.
- Abdelnasser A., Kumral M., 2016. Mineral chemistry and geochemical behavior of hydrothermal alterations associated with mafic intrusive-related Au deposits at the Atud area, Central Eastern Desert, Egypt. *Ore Geology Reviews*, **77**, 1-24.
- Abdelnasser A., Kumral M., 2017. The nature of gold-bearing fluids in Atud gold deposit, Central Eastern Desert, Egypt. *International Geology Review*, **59**, 1845-1860.
- Abdelnasser A., Kumral M., Zoheir B., Karaman M., Weihed P., 2018. REE geochemical characteristics and satellite-based mapping of hydrothermal alteration in Atud gold deposit, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, **145**, 317-330.
- Abdelrahman A.M., Doig R., 1987. The Rb-Sr geochronological evolution of the Ras Gharib segment of the northern Nubian Shield. *Journal of the Geological Society*, **144**, 577-586.
- Bhatia M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 611-627.
- Brown L.D., Reilinger R.E., Holdahl S.R., Balazs E.I., 1977. Postseismic crustal uplift near Anchorage, Alaska. *Journal of Geophysical Research*, **82**, 3369-3378.
- Bucher K., Frey M., 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. 6. baskı ve Winkler'in revizyon edilmiş Springer-Verlag, New York, 318.
- Caby R., Dostal J., Dupuy C., 1977. Upper Proterozoic volcanic graywackes from northwestern Hoggar (Algeria)—geology and geochemistry. *Precambrian Research*, **5**, 283-297.

- Coleman R., 1977. Ophiolites Springer-Verlag. New York, NY, 229.
- Condi K.C., Macke J.E., Reimer T.O., 1970. Petrology and geochemistry of early Precambrian graywackes from the Fig Tree Group, South Africa. *Geological Society of America Bulletin*, **81**, 2759-2776.
- Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks: George Allen & Unwin, 450.
- Debret B., Andreani M., Godard M., Nicollet C., Schwartz S., Lafay R., 2013. Trace element behavior during serpentinization/de-serpentinization of an eclogitized oceanic lithosphere: A LA-ICPMS study of the Lanzo ultramafic massif (Western Alps). *Chemical Geology*, **357**, 117-133.
- Deschamps F., Guillot S., Godard M., Chauvel C., Andreani M., Hattori K., 2010. In situ characterization of serpentinites from forearc mantle wedges: timing of serpentinization and behavior of fluid-mobile elements in subduction zones. *Chemical Geology*. 269, 262-277.
- Douville E., Charlou J., Oelkers E., Bienvenu P., Colon C.J., Donval J., Fouquet Y., Prieur D., Appriou P., 2002. The rainbow vent fluids (36 14' N, MAR): the influence of ultramafic rocks and phase separation on trace metal content in Mid-Atlantic Ridge hydrothermal fluids. *Chemical Geology*, **184**, 37-48.
- Drury S., Holt R., Van Clasteren P., Beckinsale R., 1983. Sm-Nd and Rb-Sr ages for Archaean rocks in western Karnataka, South India.
- Floyd P., 1993. Geochemical discrimination and petrogenesis of alkalic basalt sequences in part of the Ankara melange, central Turkey. *Journal of the Geological Society*, **150**, 541-550.
- Floyd P., Leveridge B., 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society*, **144**, 531-542.
- Gabra S., 1986. Gold in Egypt: A commodity package, minerals, petroleum and groundwater assessment program: USAID project 363-0105. Geological Survey of Egypt.
- Ghoneim M., 1989. Mineral chemistry of some gabbroic rocks of the central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)*, **9**, 289-295.
- Harraz H.Z., 1999. Wall rock alteration, Atud gold mine, Eastern Desert, Egypt: processes and P T X_{CO2} conditions of metasomatism. *Journal of African Earth Sciences*, **28**, 527-551.
- Harraz H.Z., Ashmawy M., 1994. Structural and lithogeochemical constraints on the localization of gold deposits at the El Sid-Fawakhir gold mine area, Eastern Desert, Egypt. *Egyptian Journal Geology*, **38**, 629-648.
- Hashad A., 2015. Present status of geochronological data on the Egyptian basement complex. Evolution and mineralization of the Arabian-Nubian shield. 1, 31-46.
- Hassanipak A., Ghazi A.M., Wampler J., 1996. Rare earth element characteristics and K-Ar ages of the Band Ziarat ophiolite complex, southeastern Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **33**, 1534-1542.
- Hawkesworth C., O'nions R., Pankhurst R., Hamilton P., Evensen N., 1977. A geochemical study of island-arc and back-arc tholeiites from the Scotia Sea. *Earth and Planetary Science Letters*, **36**, 253-262.
- Ikeda Y., 1990. Ce_N/Sr_N/Sm_N- A trace-element discriminant for basaltic rocks from different tectonomagmatic environments. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Monatshefte*. 145-158.
- Irvine T., Baragar W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, **8**, 523-548.
- Le Maitre R.W.B., Dudek P., Keller A., Lameyre J., Le Bas J., Sabine M., Schmid P., Sorensen R., Streckeisen H., Woolley A., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks: International Union of Geological Sciences.
- McLennan S., Taylor S., McCulloch M., Maynard J., 1990. Geochemical and Nd Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**, 2015-2050.
- Miyashiro A., 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**, 91-104.
- Miyashiro A., Shido F., 1975. Tholeiitic and calc-alkalic series in relation to the behaviors of titanium, vanadium, chromium, and nickel. *American Journal of Science*, **275**, 265-277.
- Paulick H., Bach W., Godard M., De Hoog J., Suhr G., Harvey J., 2006. Geochemistry of abyssal peridotites

(Mid-Atlantic Ridge, 15 20' N, ODP Leg 209): implications for fluid/rock interaction in slow spreading environments. *Chemical Geology*, **234**, 179-210.

Pearce J.A., Cann J., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*. **19**, 290-300.

Pearce J.A., Norry M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to mineralogy and petrology*, **69**, 33-47.

Roser B., Korsch R., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using content and ratio. *The Journal of Geology*. 635-650.

Streckeisen A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-science reviews*, **12**, 1-33.

Sun S.-S., McDonough W., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**, 313-345.

Van de Kamp P.C., 1968. Geochemistry and origin of metasediments in the Haliburton-Madoc area, southeastern Ontario. *Canadian journal of earth sciences*, **5**, 1337-1372.

Van de Kamp P.C., Leake B.E., Senior A., 1976. The petrography and geochemistry of some Californian arkoses with application to identifying gneisses of metasedimentary origin. *The Journal of Geology*. 195-212.

Wilson M., 2007. Igneous petrogenesis a global tectonic approach: Springer Science & Business Media, 466.