

I-tipi Çaltı Plütunu'na (Kemaliye, Erzincan) ait magmatik kayaçların petrografik ve jeokimyasal özellikleri

Petrographic and geochemical characteristics of magmatic rocks of the I-type Çaltı Pluton (Kemaliye, Erzincan)

Mustafa Eren RİZELİ 

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

• Geliş tarihi / Received: 27.11.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 18.03.2025

Öz

Bu araştırma, Torid-Anatolid platformunun doğu kısmında yer alan Çaltı Plütunu'nun jeokimyasal karakteristiğini ve magma kökenini ortaya çıkartmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla plütону temsil eden kayaçların tüm kayaç ana oksit ve iz element verileri kullanılarak magmanın kaynağı ve kökeni konusunda yeni yorumlar yapılmıştır. Stratigrafik olarak Paleozoyik-Alt Mezozoyik yaşlı düşük dereceli metamorfik kayaçlar, Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı allohton Munzur Kireçtaşları, Kretase yaşlı ofiyolitik birimler, Eosen yaşlı Çaltı Plütону, Oligosen-Orta Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik kayaçlar bulunmaktadır. İncelenen Çaltı Plütону ana kayaçları granodiyorit ve granodiyorit porfir, mafik mikrogranüler anklavları (MMA) monzodiyorit bileşimindedir. Granodiyorit ve MMA'lar holokristalen, granodiyorit porfirler ise mikrogranüler porfirik doku sergilemektedir. Erime ve çözünme dokuları yanı sıra poikilitik dokular bu kayaçlarda yaygın olarak görülmektedir. Çaltı Plütону'nu oluşturan kayaçlar I tipi, kalkalkalenden yüksek-K kalkalkalene değişen özelliklerde olup genellikle metalüminal bir karakter sergiler. İncelenen kayaçların ilksel mantoya normalize edilmiş iz element dağılımları incelendiğinde Rb, Ba, K, Sr gibi büyük iyon yarıçaplı elementlerde (BİYE) pozitif bir ilişki; Nb, Ti, Ta, P gibi yüksek çekim alanlı element (YÇAE) açısından ise negatif bir ilişki görülmektedir. Tüm veriler değerlendirildiğinde, Çaltı Plütону'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin ana magmasının, sıg derinlikleri temsil eden flogopit spinel-lerzolit bileşimli bir kaynaktan itibaren %1 ilâ %3 aralığında kısmi ergime ile oluştuğu ve incelenen kayaçların oluşumunda hem fraksiyonel kristalleşme hem de kabuksal kirlenmenin etkin rol oynadığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çaltı Plütону, Eosen, Fraksiyonel kristalleşme, I-tipi magmatizma, Kabuksal kirlenme, Kemaliye, Petrojenez

Abstract

This research aims to reveal the geochemical characteristics and magma origin of the Çaltı Pluton located in the eastern part of the Tauride-Anatolide platform. For this purpose, new interpretations were made regarding the magma source and origin, using whole-rock major oxide and trace element data of rocks representing the pluton. Stratigraphically, there are low-grade metamorphic rocks of Paleozoic-Lower Mesozoic, Upper Triassic-Upper Cretaceous allochthonous Munzur Limestones, Cretaceous ophiolitic units, Eocene Çaltı Pluton, Oligocene-Middle Miocene sedimentary rocks and Upper Miocene-Pliocene volcanic rocks. The studied Çaltı Pluton host rocks are granodiorite and granodiorite porphyry, and mafic microgranular enclaves (MME) are monzodiorite in composition. Granodiorites and MMEs exhibit holocrystalline, and granodiorite porphyries exhibit microgranular porphyritic texture. In addition to dissolution melting textures, poikilitic textures are commonly seen in these rocks. The rocks forming the Çaltı Pluton have I type, calc-alkaline to high-K calc-alkaline properties and generally have a metaluminous character. On the primitive mantle-normalised trace element patterns, a positive correlation is observed for large ion lithophile elements (LILE) such as Rb, Ba, K and Sr and a negative correlation is observed for high field strength elements (HFSE) such as Nb, Ti, Ta, P. When the all data were evaluated, it was determined that the parent magma of the granodiorite and granodiorite porphyries of the Çaltı Pluton was formed by partial melting in the range of 1% to 3% starting from a source with phlogopite spinel-lherzolite composition representing shallow depths and that both fractional crystallization and crustal contamination played an active role in the formation of the studied rocks.

Keywords: Çaltı Pluton, Eocene, Fractional crystallization, I-type magmatism, Crustal contamination, Kemaliye, Petrogenesis

*Mustafa Eren RİZELİ; m.erenrizeli@gmail.com

1. Giriş

1. Introduction

Granitoidlerin kökenlerini ve evrimini anlamak, dünyanın tarihsel süreci boyunca devam eden litosferik evrimi ve jeodinamik süreçleri kavrayabilmemiz açısından büyük bir öneme sahiptir. Granitik magmalar, akışkanların varlığı veya yokluğunda, çeşitli derinliklerdeki kabuk ürünlerinin ergimesi, mafik magmaların fraksiyonel kristalleşmesi ve kabuktan ve mantodan türeyen magmaların karışımı gibi çeşitli süreçlerle oluşmaktadır (Barbarin, 1999; Brown, 2013). Bu nedenle, granitoidlerin kökenlerini incelemek, ilksel ergiyik bileşimini aydınlatabilecek önemli bilgiler sunmaktadır. Çoğu granitik magma, yitim zonu ortamlarında ve orojenez süreçleri sırasında çeşitli boyutlarda plütonik ve hipabisal intrüzyonlar olarak yerleşim göstermiştir. Buna karşın, nispeten küçük hacimli granitoidler, aktif kıtasal riftleşmenin meydana geldiği kratonlar ve okyanusal kabuk içinde yer alabilmektedir (Barbarin, 1999). Bu nedenle granitik kayaların oluşumu, kıtasal kabuğun oluşmasını ve döngüsünü anlamak için oldukça önemlidir (Brown, 2013). Granitoidlerin kökensel sınıflandırması, petrojenezleri esnasında etkili olan “kabuk, manto veya bunların karışımı” gibi bileşenlerin miktarlarına göre değişiklik göstermektedir (Chen vd., 2002). Granitlerin sınıflandırılması, mineraloji, jeoloji ve jeokimya gibi çeşitli faktörlere dayanmaktadır ve genellikle kökensel sınıflama (örneğin, S-tipi, M-tipi, A-tipi ve I-tipi) kullanılmaktadır (Chappell & White, 1974; Loiselle & Wones, 1979; White, 1979). Genellikle iki mika içeren S-tipi granitoidler çoğunlukla bölgesel metamorfik sahalarda ve çarpışma ortamlarında sedimanter kökenden türemiştir. M-tipi granitoidlerin (White, 1979) ise manto kökenli magmaların okyanusal levha içi ortamlarda fraksiyonel kristalleşmesiyle oluştuğu bilinmektedir. Loiselle ve Wones (1979) tarafından tanımlanan A-tipi granitoidler, “anorojenik, alkali ve susuz” terimlerine atfen adlandırılmış olup zirkon, apatit, florit ve granat gibi özel mineral bileşimlerine sahiptir. Öte yandan, I-tipi granitoidler genellikle hornblend, biyotit, plajiyoklaz, K-feldispat ve kuvars içerir. Orta ila yüksek K içeriğine sahip olup Na/K oranları genellikle yüksektir. Çoğunlukla yaklaşan levha sınırlarında ve çarpışma ortamlarında gelişen I-tipi granitoidler, muhtemelen alt kabuktan türeyen mafik magmatik bir kaynaktan itibaren oluşmaktadır (Chappell & White, 1974).

Bu çalışmada Kemaliye (Batı Erzincan)’nin batısında yüzeyleme veren Çaltı Plütonu’na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin saha özellikleri yanı sıra mineralojik, petrografik, jeokimyasal özellikleri irdelenerek bölgedeki Eosen magmatizmasına ışık tutulması amaçlanmaktadır. Özellikle söz konusu kayaların ana magmasının oluşumunda etkili olan süreçlerin belirlenmesi ilgili plütonun oluştuğu tektonik ortam, kıtasal kabuğun evrimi, farklı magma tipleri ve dolayısıyla maden yataklarının oluşum mekanizması hakkında literatüre katkı sağlayacaktır.

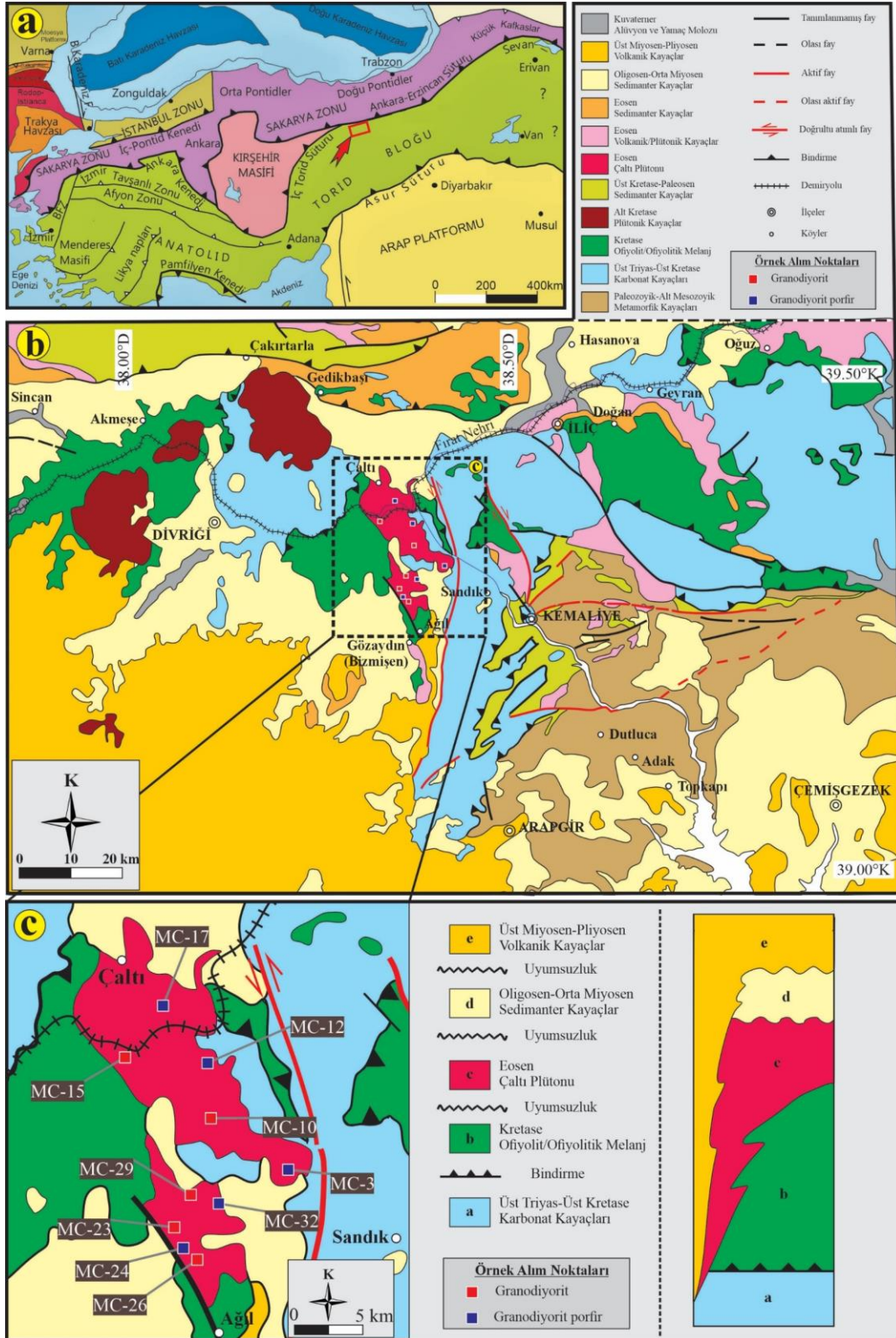
2. Jeolojik konum ve yersel jeoloji

2. Geological setting and local geology

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağının doğu-batı doğrultulu bir kesimi üzerinde yer almaktadır. Bu kuşak çeşitli yay, çarpışma ve çarpışma sonrası jeolojik ortamları kapsar. Bu kuşakta Türkiye, Avrasya ve Gondvana levhalarının etkileşim zonu olarak önemli bir jeodinamik konumda bulunur. Ketin (1966), dağ kuşaklarının orojenik gelişimleri temelinde Türkiye’yi kuzeyden güneye doğru; Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Bölgesi olarak dört tektonik birliğe ayırmıştır. Çalışma alanı Paleozoyik yaşlı Bitlis-Pütürge metamorfikleri, Paleozoyik yaşlı Toros otokton birimi, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Malatya-Keban metamorfikleri ve Karbonifer-Erken Kretase yaşlı Munzur kireçtaşları gibi çeşitli tektonostratigrafik birimlerden oluşan Torid-Anatolid platformunun (Ketin, 1966) doğu kısmında yer almaktadır (Şekil 1a).

Bölgenin en yaşlı birimleri Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı düşük dereceli metamorfik kayalardır. Bu kayalar inceleme alanı çevresinde metamorfize olmuş silisiklastik tortul kayalardan oluşan yaklaşık 800 m kalınlıkta bir istiftten oluşur (Özgül & Turşucu, 1984). Metamorfik temelin üzerinde Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı allohton Munzur Kireçtaşları yer almakta olup bu neritik kayalarda güneyden kuzeye doğru bir gençleşme görülmektedir (Özgül & Turşucu, 1984). Kretase’de bölgeye ofiyolit yerleşimi gerçekleşmiştir. Ofiyolitik birimler serpantinize olmuş ultramafik kayaların oluşturduğu ofiyolitler ve kıltaşı, şeyl ve kumtaşı matriksli ofiyolitik melanjlara temsil edilmektedir. Bölgede Üst Kretase’de başlayan magmatizmanın Üst Miyosen-Pliyosen’de sonlandığı düşünülmektedir (Boztuğ vd., 1997). Doğu Toros Orojenik Kuşağı’nın kuzey kenarında Çaltı (Kemaliye, Erzincan) ile Ağıl köyleri arasında yer alan ve Önal vd. (2005) tarafından Çaltı Plütonu olarak adlandırılan birim Kretase yaşlı ofiyolitik melanji keser şekilde yüzeyleme vermektedir. Bu birimler ile Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı karbonat kayaları arasında tektonik ilişki bulunmaktadır (Şekil 1b,

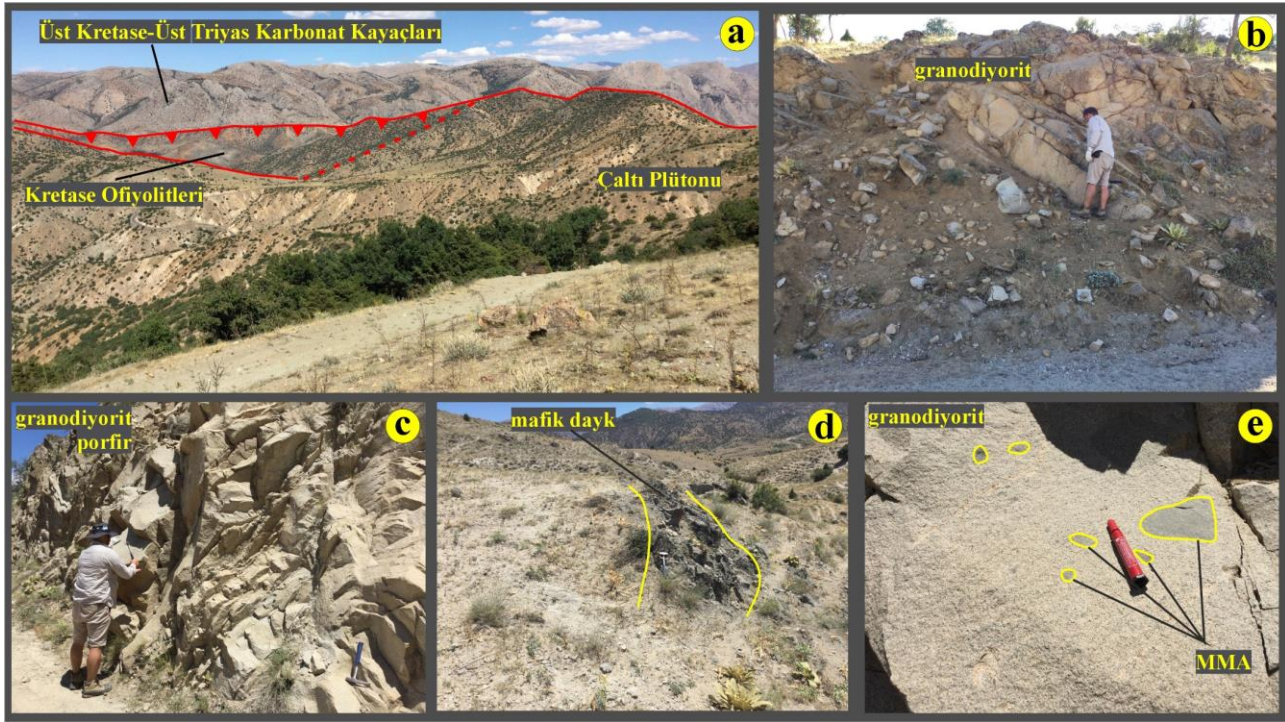
c). Çaltı Plütunu, İç-Doğu Orta Anadolu'da İliç ve Kemaliye bölgesinde (Güneybatı Erzincan) Oligosen-Orta Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şekil 1b, c).



Şekil 1. (a) Türkiye'nin tektonik birlikler haritası (Okay & Tüysüz, 1999). (b) Çalışma alanının jeoloji haritası (MTA 1:500.000 ölçekli Sivas paftasından (Bilgiç, 2002) alınarak hazırlanmıştır). (c) örnek alım noktaları ve genelleştirilmiş kolon kesit.

Figure 1. (a) Tectonic units map of Turkey (Okay & Tüysüz, 1999). (b) Geological map of the study area (Prepared from the MTA 1:500.000 scale Sivas map (Bilgiç, 2002)). (c) sampling points and the generalized columnar section.

Çaltı Plütünü inceleme alanında genel olarak granodiyorit ve granodiyorit porfirlerle temsil edilmektedir (Şekil 2a). Granodiyoritler makroskobik olarak ince-orta taneli ve grimsi-pembemsi renklerde görülüp genellikle orta-yüksek seviyede alterasyon göstermektedir (Şekil 2b) Plütunun belirli bölgelerinde arenalaşma görülmektedir. Granodiyorit porfirler Çaltı Plütunu'nun sadece kenar kısımlarında değil hemen hemen her alanında diğer intrüzif birimlerle geçişli olarak gözlenmektedir (Şekil 2c). Granodiyorit ve granodiyorit porfirler bazı alanlarda kalınlığı 2 m'ye varan ince taneli mafik dayklar tarafından kesilmektedir (Şekil 2d). Çaltı Plütunu ayrıca sıklıkla, çapı 20 cm'ye varan boyutlarda oval ve elipsoidal mafik mikrogranüler anklavlar (MMA) içermektedir (Şekil 2e). MMA'lar genel olarak ince-orta taneli diyorit ve monzodiyorit türündeki kayalarla temsil edilmektedir. Plütunun yaşı K-Ar yaş tayinlerine göre 40-49 My aralığında Orta Eosen'dir (Önal vd., 2005).



Şekil 2. Çaltı Plütunu'na ait kayaların arazi görünüşleri. (a) Kretase ofiyolitlerini kesen Çaltı Plütunu ve bu birimlerin Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı karbonat kayaçlarıyla olan tektonik ilişkisi. (b) Granodiyorit ve (c) granodiyorit porfirlerin arazi görünüşleri. (d) Granodiyoritleri kesen mafik dayk ve (e) plütון içerisinde yer alan farklı şekil ve boyutlardaki MMA'lar.

Figure 2. Field views of the rocks of the Çaltı Pluton. (a) Contact relationship between the Cretaceous ophiolites thrusting onto the Mesozoic carbonate rocks and the Çaltı pluton. (b) Field views of granodiorite and (c) granodiorite porphyries. (d) Mafic dyke cutting the granodiorites and (e) MMA's of different shapes and sizes within the pluton.

3. Gereç ve yöntem

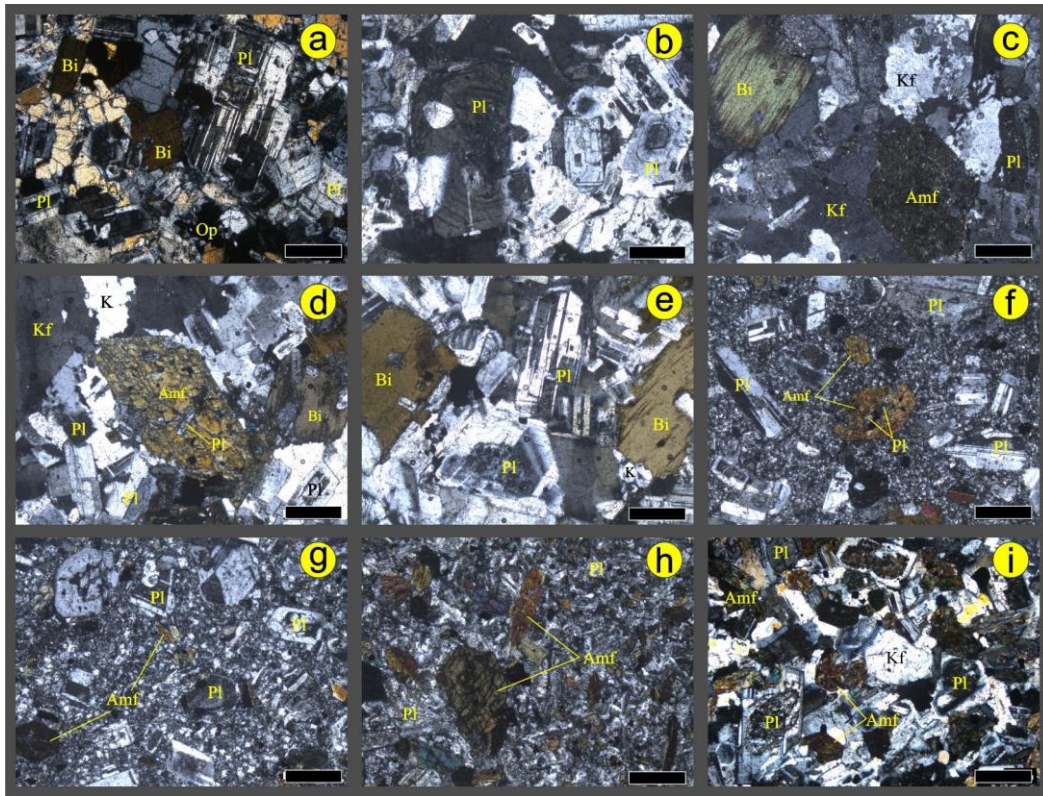
3. Equipment and method

Çalışma sahasında Çaltı Plütunu'nun yüzelediği alanlardan 30 adet kayaç örneği alınmış ve söz konusu örneklerin altere dış yüzeyleri, Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Petrografi Laboratuvarı'ndaki döner elmas bıçaklar yardımıyla temizlenmiştir. Tüm örneklerden biri ince kesit yapılması diğeri ise jeokimyasal analizlerde kullanılması amacıyla sırasıyla 1×3×5cm ve 5×5×5cm boyutlarında ikişer adet plakacık çıkartılmıştır. Kayaçların ince kesitleri aynı laboratuvarında hazırlanmış ve Leica DM2500P adlı polarizan mikroskopta incelenerek ince kesit fotoğrafları çekilmiştir. Petrografik incelemeler sonucu tüm kayaç jeokimya çalışmaları için bölgeyi en iyi temsil ettiği düşünülen ve alterasyondan en az etkilenen 10 adet örnek seçilmiştir. Söz konusu örneklerin jeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için Kanada'daki Bureau Veritas Minerals Laboratuvarı'nda tüm kayaç ana oksit ve iz element analizleri yaptırılmıştır. Örnekler ilgili laboratuvarında 200 mesh boyutuna kadar öğütülmüş ve lityum borat füzyon ile çözündürülmüştür. Ardından Endüktif olarak eşleştirilmiş plazma-optik emisyon spektrometrisi (ICP-OES) ve -kütle spektrometrisi (ICP-MS) yöntemleriyle tüm kayaç ana ve iz element içerikleri belirlenmiştir.

Tablo 1. Çaltı Plütünü'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin örneklerin modal analiz değerleri
Table 1. Modal analysis values of granodiorite and granodiorite porphyry samples from the Çaltı Pluton

Örnek No	Kayaç Türü	Plajiyoklas	Kuvars	K-feldispat	Amfibol	Biyotit	Opak Mineraller
MC10	granodiyorit	37	22	14	15	10	2
MC15	granodiyorit	38	24	12	17	7	2
MC23	granodiyorit	36	25	13	20	5	1
MC26	granodiyorit	39	22	13	18	6	2
MC29	granodiyorit	32	27	14	15	10	1
MC3	granodiyorit porfir	42	23	12	20	2	1
MC12	granodiyorit porfir	45	21	10	21	1	2
MC17	granodiyorit porfir	46	22	9	20	2	1
MC24	granodiyorit porfir	44	19	10	25	1	1
MC32	granodiyorit porfir	45	20	11	22	1	1

MMA'larda yapılan petrografik tayinlerde kayaç türünün genel olarak monzodiyorit olduğu belirlenmiştir (Şekil 4i). Esas olarak plajiyoklaz (%45-60) ve K-feldspattan (%15-25); mafik mineral olarak amfibol (%20-25) minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 4i). Dokusal olarak holokristalen doku göstermektedir. Alterasyon orta-yüksek oranlarda gözlenmekte olup serizitleşme ve karbonatlaşmalar görülmektedir. Plajiyoklazlar genel olarak öz şekilsiz/yarı öz şekilli kristaller halinde olup albit ikizlenmeleri ile karakteristiktir (Şekil 4i). K-feldispatlar öz şekilsiz kristaller halinde görülmektedir. Tek nikolde toprağımsı renklere sahiptir. Amfiboller genel olarak prizmatik kristaller halinde gözlenir (Şekil 4i). Yeşil tonlarında pleokroizmalarıyla karakteristiktir.



Şekil 4. Çaltı Plütünü'na ait granodiyorit, granodiyorit porfir ve MMA'larının ince kesit fotoğrafları (Çizgi ölçekler 500µm'dur). (a) Polisentetik ikizlenme ve (b) zonlanma gösteren plajiyoklazlar. Granodiyoritlerdeki (c) holokristalen ve (d, e) poikilitik doku. (e) Granodiyorit porfirlerdeki özşekilli amfiboller. (f) Granodiyorit porfirlerde poikilitik doku. (g, h) Mikrogranüler porfirik dokulu granodiyorit porfirler. (i) Monzodiyorit türündeki MMA'lar (Amf: amfibol, Bi: biyotit, Kf: K-feldspat, K: kuvars, Op: opak mineral, Pl: plajiyoklaz).

Figure 4. Thin section photographs of granodiorite, granodiorite porphyry and MMEs of the Çaltı Pluton. (a) Plagioclases showing polysynthetic twinning and (b) zoning. (c) Holocrystalline and (d, e) poikilitic texture in granodiorites. (e) Euhedral amphiboles in granodiorite porphyries. (f) Poikilitic texture in granodiorite porphyries. (g, h) Granodiorite porphyries with microgranular porphyritic texture. (i) MMEs of monzodiorite type (Amf: amphibole, Bi: biotite, Kf: K-feldspar, K: quartz, Op: opaque mineral, Pl: plagioclase).

3.2. Ana oksit ve iz element jeokimyası

3.2. Major oxide and trace element geochemistry

İnceleme konusunu oluşturan Çaltı Plütunu'na ait 10 adet kayaç örneğinin jeokimyasal analiz sonuçları ve bazı iz element oranları sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Genel olarak örneklerin ateşte kayıp değerleri dar bir aralıkta (AK=%1.0-3.3) değişmektedir. İnceleme konusunu oluşturan kayaçlar değişen oranlarda SiO₂ (%62.01-65.27), Al₂O₃ (%15.95-16.76), Fe₂O₃ (%2.36-5.04), MgO (%1.49-2.59), CaO (%4.45-5.94), Na₂O (%3.09-3.57), K₂O (%1.81-2.77), TiO₂ (%0.37-0.52), Th (6.10-7.90 ppm), Rb (28.9-52.2 ppm), Sr (284.3-402.1 ppm), Nb (6.5-7.8 ppm), Nd (11.2-16.8 ppm) değerlerine sahiptir (Tablo 2).

Tablo 2. Çaltı Plütunu'na ait kayaçların tüm kayaç ana oksit ve iz element değerleri (Grnd.: granodiyorit, Grnd. Por.: granodiyorit porfir)

Table 2. Whole rock major oxide and trace element values of rocks belonging to the Çaltı Pluton (Grnd.: granodiorite, Grnd. Por.: granodiorite porphyry)

Örnek adı	MC10	MC15	MC23	MC26	MC29	MC3	MC12	MC17	MC24	MC32
Litoloji	Grnd.	Grnd.	Grnd.	Grnd.	Grnd.	Grnd. Por.	Grnd. Por.	Grnd. Por.	Grnd. Por.	Grnd. Por.
Ana oksitler										
SiO ₂	64.51	65.23	64.20	65.27	63.96	62.01	63.52	62.43	63.06	62.54
TiO ₂	0.43	0.41	0.39	0.37	0.43	0.52	0.47	0.43	0.41	0.47
Al ₂ O ₃	16.55	16.13	16.32	15.95	16.68	16.52	16.43	16.24	16.14	16.76
Fe ₂ O ₃	4.53	4.38	4.45	2.36	4.62	4.91	4.64	4.62	4.47	5.04
MnO	0.09	0.10	0.08	0.07	0.09	0.10	0.08	0.10	0.09	0.08
MgO	1.97	1.98	1.90	1.49	2.10	2.59	2.08	2.18	1.91	2.35
CaO	4.90	4.56	5.27	5.94	4.79	4.83	5.29	4.78	4.77	4.45
Na ₂ O	3.36	3.46	3.48	3.57	3.39	3.29	3.39	3.35	3.10	3.09
K ₂ O	2.34	2.32	1.84	1.81	2.56	2.49	2.21	2.23	2.44	2.77
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13	0.16	0.14	0.15	0.13	0.13
Ateşte kayıp	1.00	1.10	1.80	2.90	1.10	2.40	1.50	3.30	3.30	2.10
Toplam	99.88	99.89	99.88	99.91	99.89	99.86	99.87	99.87	99.88	99.87
İz elementler										
Sc	9.00	9.00	11.00	9.00	10.00	11.00	10.00	9.00	9.00	12.00
Ti	2577.89	2457.99	2338.09	2218.19	2577.89	3117.45	2817.70	2577.89	2457.99	2817.70
V	77.00	90.00	85.00	65.00	89.00	97.00	89.00	82.00	88.00	107.00
Co	8.50	8.90	7.60	4.50	9.10	9.70	7.30	8.90	7.60	10.70
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Ga	14.30	14.10	13.60	12.10	13.20	15.10	14.30	14.10	13.10	13.70
Rb	52.20	50.40	33.30	28.90	48.40	50.00	42.30	42.80	48.20	40.80
Sr	349.00	311.10	305.40	305.40	284.30	343.70	402.10	343.30	322.20	301.50
Y	13.20	12.20	12.40	12.00	11.50	14.60	13.40	14.80	13.40	11.70
Zr	110.60	115.40	111.20	114.60	102.00	112.60	111.60	120.10	122.30	104.20
Nb	7.30	7.50	6.80	6.50	6.60	7.70	7.80	7.60	7.20	7.10
Cs	0.40	0.40	1.30	0.90	0.20	1.00	<0.1	0.40	1.10	<0.1
Ba	592.00	631.00	561.00	529.00	567.00	575.00	862.00	591.00	652.00	737.00
La	21.30	22.20	18.90	15.40	19.20	21.60	24.70	21.60	20.30	20.20
Ce	38.30	38.90	33.90	29.70	34.40	39.60	42.30	39.60	38.20	35.10
Pr	3.83	3.86	3.49	3.07	3.42	4.27	4.51	4.25	3.92	3.66
Nd	14.10	14.20	13.50	11.20	13.10	16.80	16.80	15.60	14.60	13.10
Sm	2.60	2.33	2.36	1.90	2.32	3.16	2.93	2.73	2.80	2.52
Eu	0.76	0.70	0.68	0.57	0.70	0.90	0.86	0.75	0.74	0.69
Gd	2.42	2.26	2.32	2.02	2.35	2.85	2.85	2.77	2.47	2.33
Tb	0.36	0.34	0.36	0.33	0.35	0.42	0.42	0.43	0.37	0.36

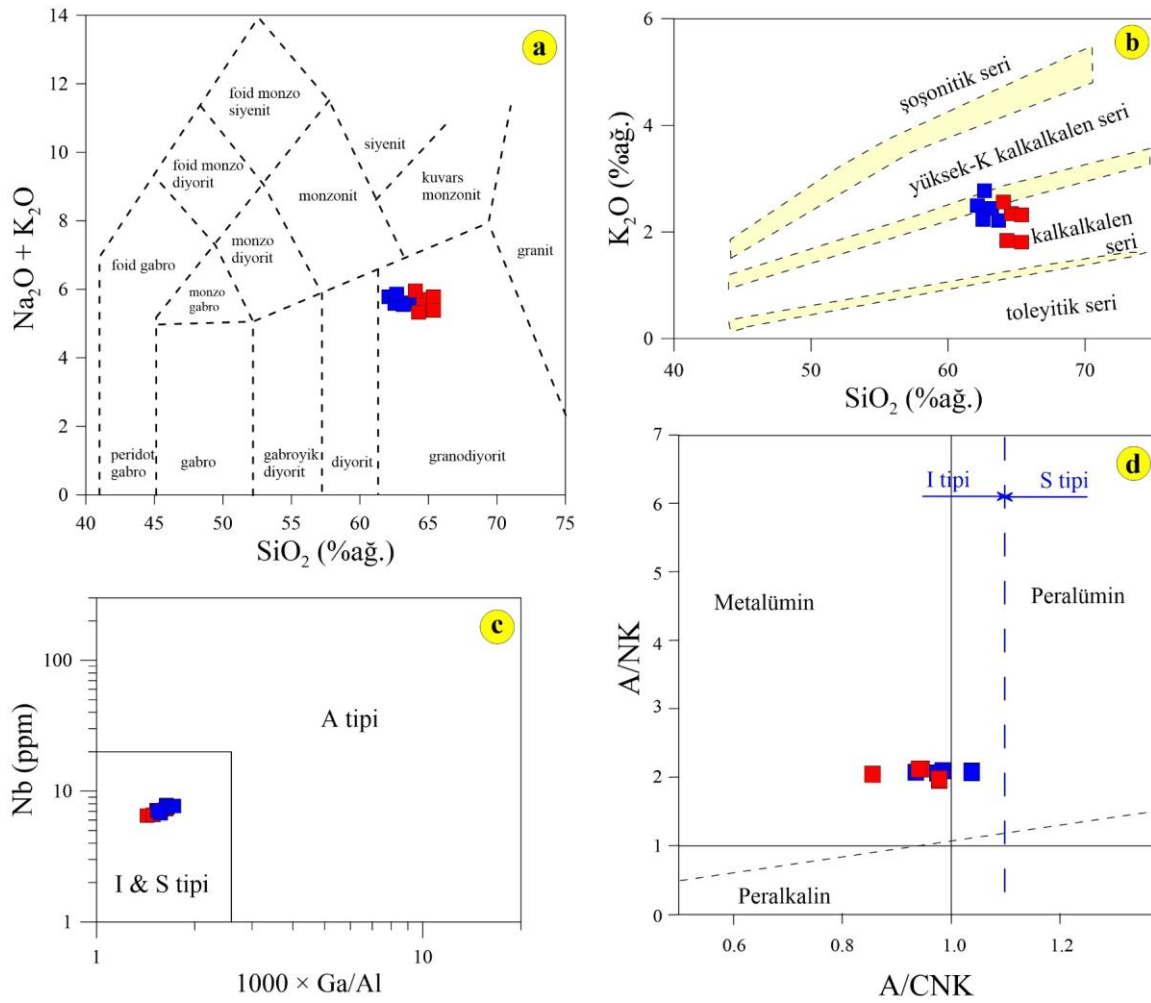
Tablo 2. Devamı

Dy	2.26	2.05	2.21	1.98	2.28	2.45	2.52	2.57	2.12	2.26
Ho	0.47	0.46	0.49	0.41	0.42	0.55	0.50	0.55	0.51	0.43
Er	1.47	1.34	1.47	1.28	1.34	1.65	1.71	1.72	1.53	1.41
Tm	0.22	0.19	0.23	0.20	0.21	0.23	0.23	0.24	0.21	0.19
Yb	1.45	1.37	1.53	1.34	1.53	1.62	1.58	1.84	1.49	1.37
Lu	0.24	0.22	0.23	0.22	0.21	0.25	0.26	0.26	0.25	0.20
Hf	3.10	3.20	3.10	3.20	2.90	2.80	3.20	3.40	3.30	2.80
Ta	0.40	0.70	0.50	0.60	0.40	0.60	0.60	0.60	0.50	0.60
W	1.20	0.90	1.20	1.50	1.50	1.30	1.40	0.90	1.30	1.90
Th	6.30	7.90	6.50	7.50	6.40	6.10	6.80	6.30	6.40	6.10
U	1.40	1.60	2.30	2.20	1.50	1.70	2.00	1.60	1.80	1.30
Eu/Eu*	0.93	0.93	0.89	0.89	0.92	0.92	0.91	0.83	0.86	0.87
Mg#	40.80	41.74	40.36	50.02	41.87	45.53	41.54	42.79	40.38	42.50

Tablo 3. Çaltı Plütunu'na ait kayaçların bazı iz element oranları. (Grnd.: granodiyorit)**Table 3. Some trace element ratios of rocks belonging to the Çaltı Pluton. (Grnd.: granodiorite)**

	MC10	MC15	MC23	MC26	MC29	MC3	MC12	MC17	MC24	MC32
Litoloji	Grnd.	Grnd.	Grnd.	Grnd.	Grnd.	Grnd. Porfir	Grnd. Porfir	Grnd. Porfir	Grnd. Porfir	Grnd. Porfir
<u>İz element oranları</u>										
Ba/Nb	81.10	84.13	82.50	81.38	85.91	74.68	110.51	77.76	90.56	103.80
Dy/Yb	1.56	1.50	1.44	1.48	1.49	1.51	1.59	1.40	1.42	1.65
La/Nb	2.92	2.96	2.78	2.37	2.91	2.81	3.17	2.84	2.82	2.85
La/Ta	53.25	31.71	37.80	25.67	48.00	36.00	41.17	36.00	40.60	33.67
La/Yb	14.69	16.20	12.35	11.49	12.55	13.33	15.63	11.74	13.62	14.74
Nb/La	0.34	0.34	0.36	0.42	0.34	0.36	0.32	0.35	0.35	0.35
Nb/Ta	18.25	10.71	13.60	10.83	16.50	12.83	13.00	12.67	14.40	11.83
Nb/Th	1.16	0.95	1.05	0.87	1.03	1.26	1.15	1.21	1.13	1.16
Rb/Nb	7.15	6.72	4.90	4.45	7.33	6.49	5.42	5.63	6.69	5.75
Ta/Yb	0.28	0.51	0.33	0.45	0.26	0.37	0.38	0.33	0.34	0.44
Th/La	0.30	0.36	0.34	0.49	0.33	0.28	0.28	0.29	0.32	0.30
Th/Ta	15.75	11.29	13.00	12.50	16.00	10.17	11.33	10.50	12.80	10.17
Th/U	4.50	4.94	2.83	3.41	4.27	3.59	3.40	3.94	3.56	4.69
Th/Yb	4.34	5.77	4.25	5.60	4.18	3.77	4.30	3.42	4.30	4.45
Ti/Zr	23.31	21.30	21.03	19.36	25.27	27.69	25.25	21.46	20.10	27.04
Y/Nb	1.81	1.63	1.82	1.85	1.74	1.90	1.72	1.95	1.86	1.65
Zr/Hf	35.68	36.06	35.87	35.81	35.17	40.21	34.88	35.32	37.06	37.21
Zr/Nb	15.15	15.39	16.35	17.63	15.45	14.62	14.31	15.80	16.99	14.68
Zr/Sm	42.54	49.53	47.12	60.32	43.97	35.63	38.09	43.99	43.68	41.35

Çaltı Plütunu'na ait örnekler TAS (Toplam Alkali-Silis) sınıflama diyagramına (Le Maitre vd., 1989) aktarıldığında tüm örnekler granodiyorit alanına düşmektedir (Şekil 5a). Söz konusu kayaçlar, Peccerillo & Taylor (1976)'ın SiO₂ (%)'ye karşı K₂O (%) diyagramında (Şekil 5b), kalkalkalenden yüksek-K kalkalkalene değişen bileşimlerde olup, 1000×Ga/Al'a karşı Nb diyagramında örnekler I ve S tipi alanına düşmektedir (Whalen vd., 1987). Maniar ve Piccoli (1989)'nin A/NK'ya karşı A/CNK diyagramında (Şekil 5d) örnekler genellikle metalumin karakteri göstermekte olup bir adet granodiyorit porfir örneği peralümin alanına düşmekte ve örneklerin tamamı I tipi bir bileşim sergilemektedir.



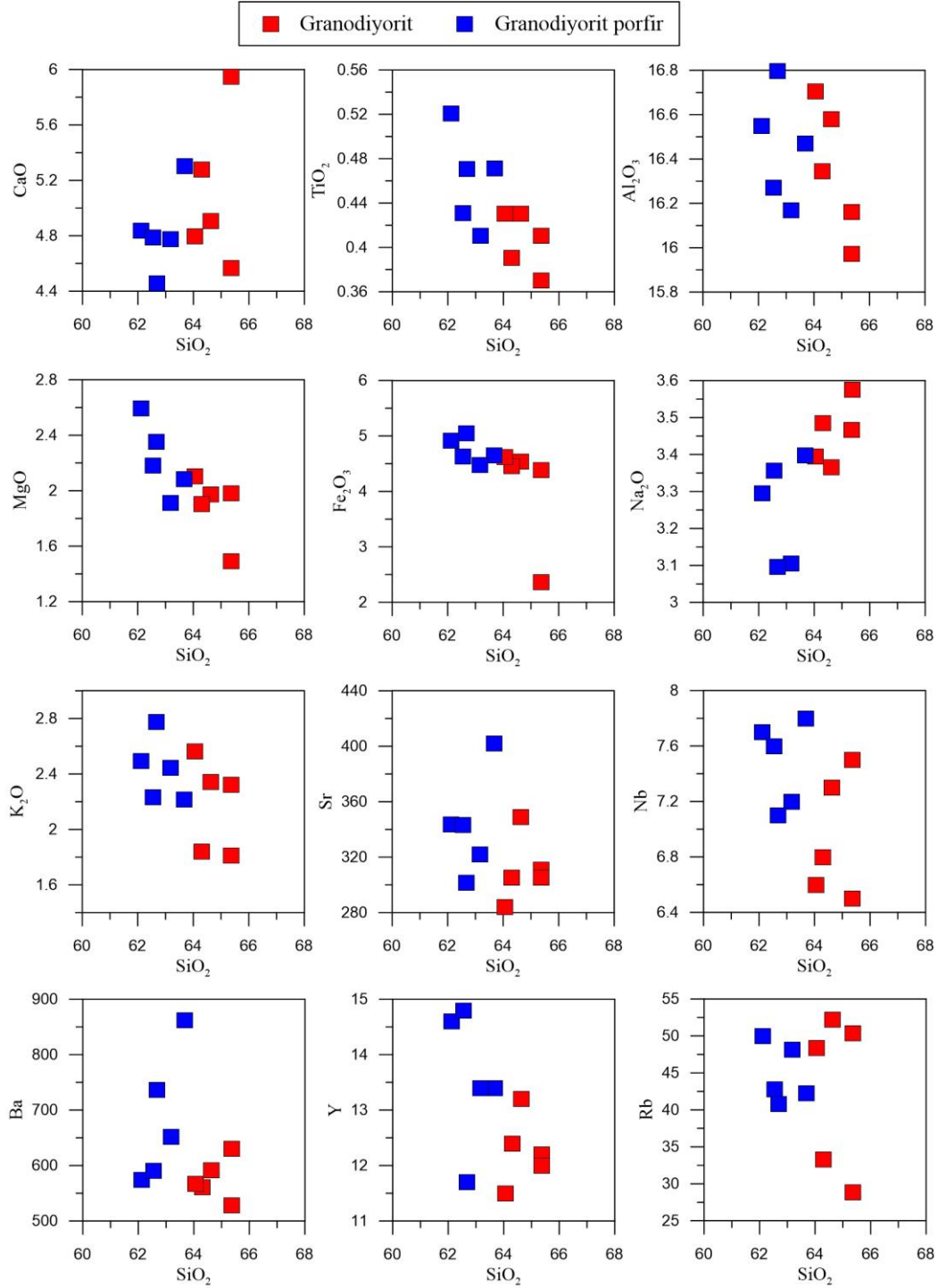
Şekil 5. Çaltı Plütunu'na ait kayaçların çeşitli diyagramlardaki konumları. (a) Örneklerin TAS diyagramına göre sınıflandırılması ve adlandırılması (Le Maitre vd., 1989). (b) SiO_2 'ye karşı K_2O diyagramı (Peccerillo & Taylor, 1976). (c) $1000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 'ye karşı Nb değişim diyagramı (Whalen vd., 1987). (d) molar A/NK'ya karşı molar A/CNK diyagramı (Maniar & Piccoli, 1989).

Figure 5. Positions of rocks belonging to the Çaltı Pluton on various diagrams. (a) Classification and nomenclature of samples according to the TAS scheme (Le Maitre et al., 1989). (b) SiO_2 vs. K_2O diagram (Peccerillo and Taylor, 1976). (c) $1000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ vs. Nb variation diagram (Whalen et al., 1987). (d) molar A/NK vs. molar A/CNK diagram (Maniar & Piccoli, 1989).

İncelenen kayaçlar SiO_2 'ye karşı bazı ana oksit ve iz elementlere karşı değişim grafikleri incelenmiştir (Şekil 6). Artan SiO_2 değerleriyle TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , Nb ve Y değerlerinde diyagramlarda negatif korelasyon, Na_2O değerlerinde pozitif korelasyon gözlenirken; CaO, Ba, Rb ve Sr'de ise belirgin bir korelasyon gözlenmemektedir.

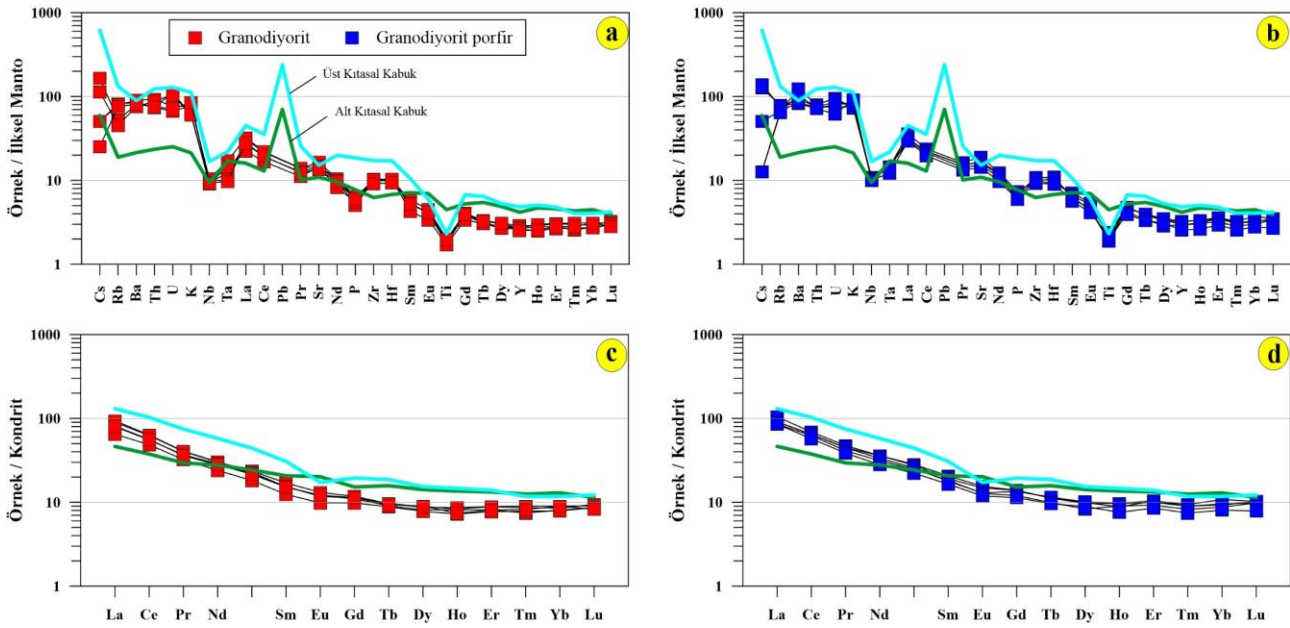
MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 ve Nb değerlerindeki negatif yönsemeler amfibol, manyetit, biyotit ve Fe-Ti oksitlerin; Na_2O değerlerindeki pozitif, Al_2O_3 değerindeki negatif korelasyonlar ise feldispatların fraksiyonlaşması ile açıklanabilmektedir. Ana oksit ve iz elementlerdeki pozitif veya negatif korelasyonlar magmanın evrimi sürecinde fraksiyonel kristalleşmenin rolünün olduğunu göstermektedir (Şekil 6).

İncelenen kayaçların ilksel mantoya (Sun & McDonough, 1989) normalize edilmiş iz element dağılımları incelendiğinde Rb, Ba, K, Sr gibi büyük iyon yarıçaplı element (BİYE) konsantrasyonlarında pozitif anomali; Nb, Ti, Ta, P gibi yüksek çekim alanlı element (YÇAE) açısından ise negatif anomali görülmektedir (Şekil 6a, b). Nb ve Ta değerlerindeki negatif anomaliler yitimle ilişkiye ya da kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir. Nb değerlerinde ve yüksek alan enerjili elementlerde, büyük iyon yarıçaplı elementlere oranla negatif anomaliler görülmesi kabuksal kirlenmeye işaret etmesine rağmen, bu anomaliler yiten levha tarafından büyük iyon yarıçaplı elementlerince zenginleşmiş yitimle ilişkili magmaların karakteristiğini yansıtmaktadır (McCulloch & Gamble, 1991).



Şekil 6. Çaltı Plütunu kayaçları için SiO_2 'ye karşı bazı ana oksitler ve iz element değişim grafikleri
Figure 6. SiO_2 vs. some major oxides and trace element variation plots for rocks of the Çaltı Pluton

Çaltı Plütunu'na ait kayaçların kondrite (Sun & McDonough, 1989) normalize edilmiş iz element dağılımları incelendiğinde hafif nadir toprak elementlerinin (NTE) ağır NTE'lere kıyasla daha fazla zenginleşme gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 7). Eu/Eu* değerlerine bakıldığında granodioritlerde 0.89-0.93 ve granodiorit porfirlerde 0.83-0.92 aralığında değişmektedir.



Şekil 7. Çaltı Plütönu kayaçlarının (a, b) ilksel mantoya ve (c, d) kondrite normalize edilmiş çoklu element diyagramları. Normalleştirme değerleri ile üst ve alt kabuk bileşimleri [Sun ve McDonough \(1989\)](#)'dan alınmıştır.

Figure 7. Multi-element diagrams of the Çaltı Pluton rocks normalized to (a, b) the primitive mantle and (c, d) chondrite. Normalization values and upper and lower crust compositions are taken from [Sun and McDonough \(1989\)](#).

4. Tartışma

4. Discussion

4.1. Petrojenez ve kaynak özellikleri

4.1. Petrogenesis and source characteristics

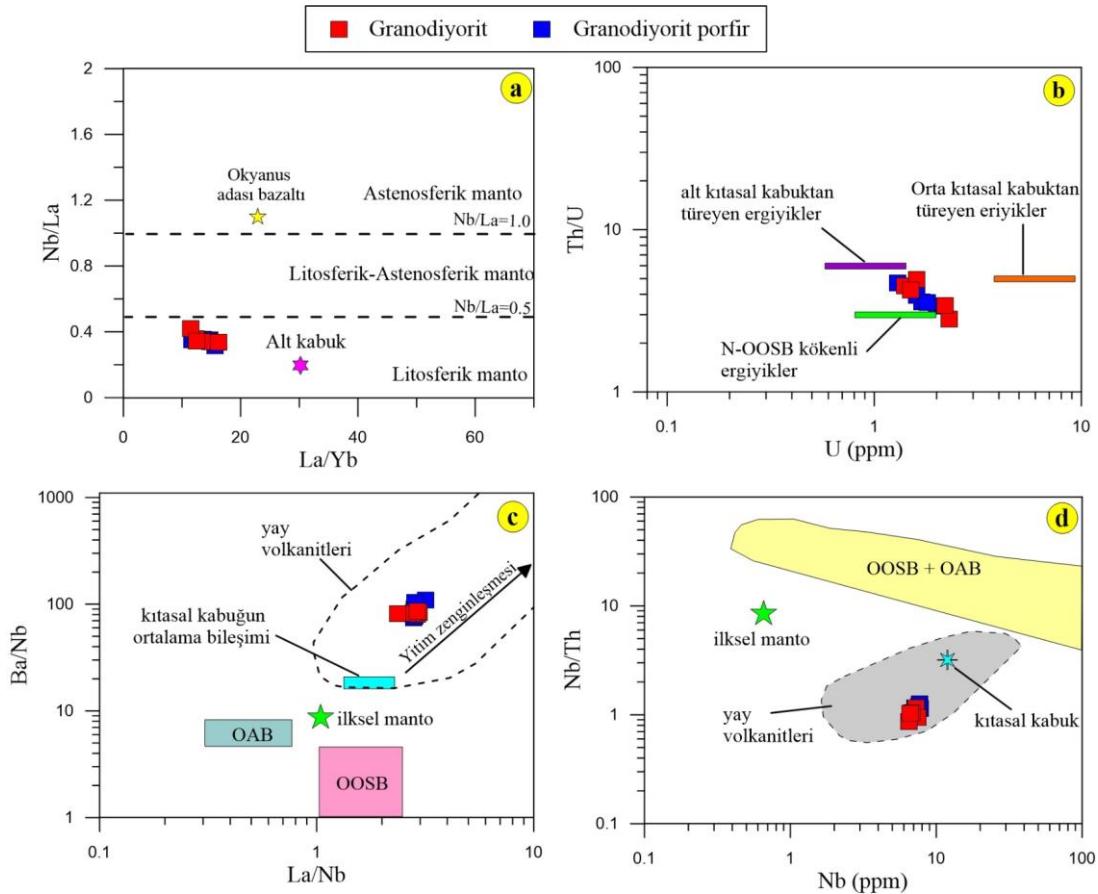
İnceleme konusunu oluşturan Çaltı Plütönu'na ait kayaçlar petrografik olarak granodiyorit ve granodiyorit porfirlerle temsil edilmektedir. Söz konusu kayaçlar I tipi, genel olarak kalkalkalenden yüksek kalkalene değişen özelliklerde metalümin karakterde bir bileşim sergilemektedir. Çarpışma ortamlarının I tipi kalkalkalen granitik magmaları genellikle (1) mantodan türeyen bazaltik magmanın fraksiyonel kristallenmesi ve/veya asimilasyon fraksiyonel kristallenmesiyle ([Aghazadeh vd., 2011](#)), (2) mafikten ortaça değişen kimyasal bileşime sahip meta-magmatik veya metasedimanter kayaçların kısmi ergimesiyle (örn: [Patiño Douce & Beard, 1995](#)) veya (3) mantodan türeyen mafik magma ile kabuk kökenli felsik magmanın karışımıyla üretilmektedir.

İncelenen plütöna ait örnekler ilksel mantoya normalize edilmiş iz element dağılım diyagramlarında negatif Nb, Ta ve Ti; pozitif Ba, Sr, Rb, K anomalileri gösterirken ağır NTE'lerde ve BİYE'lerde zenginleşme sunmaktadır. Bu özellikler kabuksal kayaçlarda yaygın olarak görülmektedir. Negatif Ta-Nb anomalileri, BİÇE'lerde zenginleşme ve BİYE'lerde tükenme yitimi ile ilişkili magmaların karakteristiğidir ([Pearce & Peate, 1995](#); Şekil 7a, b). Kondrite göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramlarında Eu/Eu* değerlerine bakıldığında granodiyoritlerde (0.89-0.93) veya granodiyorit porfirlerde (0.83-0.92) (Tablo 2) 1 değerine yakın olmakla beraber hafif oranda negatif anomali görülmektedir.

Nb/Ta, Rb/Nb, Zr/Hf, Th/Ta ve Th/La gibi bazı iz element oranları, magma kaynak alanlarının yorumlanmasında önemli bir belirteçtir. Mantodan türeyen magmaların ortalama Nb/Ta değeri 17.5 iken kabuksal kökene sahip kayaçlarda bu değer 11-12 civarındadır ([Green, 1995](#)). İncelenen plütönda granodiyoritler ve granodiyorit porfirlerin Nb/Ta oranları sırasıyla 10.71-18.25 ile 11.83-14.40 arasında değişmektedir (Tablo 3). Alt kıtasal kabuğun ortalama Rb/Nb oranı 2.2'dir ([Rudnick & Gao, 2003](#)). Buna karşın ilksel manto için ortalama Rb/Nb değeri 0.89'dur ([Sun & McDonough, 1989](#)). Çaltı Plütönu'na ait granodiyoritlerde Rb/Nb oranı 4.45-7.33 aralığında iken, granodiyorit porfirlerde bu oran 5.42-6.69'dur (Tablo 3). Manto kayaçlarının ortalama Zr/Hf ve Th/Ta oranları sırasıyla 36.2 ve 2.1 ([Sun & McDonough, 1989](#)) iken

bu oranlar kıtasal kabuk için 35.7 ve 8'dir (Rudnick & Gao, 2003). İncelenen kayaçların Zr/Hf ve Th/Ta oranları sırasıyla granodiyoritlerde 35.17-36.06 ile 11.29-16 aralıklarında, granodiyorit porfirlerde ise 34.88-40.21 ile 10.17-12.8 aralıklarında değişmektedir (Tablo 3). Yüksek Nb/Ta, Rb/Nb, Zr/Hf ve Th/Ta değerleri söz konusu kayaçların oluşumunda litosferik manto kökeninden ziyade alt kıtasal kabuk etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Plank (2005), üst kabuğun yüksek Th/La oranlarının granitik materyalden kaynaklandığını ileri sürmüştür ($Th/La > 0.5$). Felsik magmatik kayaçlar (granodiyoritler ve granitler) yüksek Th/La oranlarına sahipken, alt kabuk kayaçları düşük Th/La oranlarına sahiptir. İncelenen kayaçların 0.5'ten küçük Th/La oranları (granodiyoritler: 0.30-0.49, granodiyorit porfirler: 0.28-0.32; Tablo 3) bu kayaçların oluşumunda alt kıtasal kabuk etkisini desteklemektedir.

Nb/La gibi iz element oranları, magma kaynak bölgesinin yorumlanmasında kullanılan diğer temel göstergelerden birisidir. İlksel bir manto kaynağı, 0.96'lık ortalama Nb/La oranıyla karakterize edilirken (Sun and McDonough, 1989), kıtasal kabuk 0.46'lık bir Nb/La oranına sahiptir (Weaver & Tarney, 1984). Çaltı Plütunu'na ait granodiyoritlerin ve granodiyorit porfirlerin Nb/La oranlarının ortalaması sırasıyla 0.36 ve 0.35'tir (Tablo 3). Bu değerler söz konusu kayaçların önemli miktarda kabuk malzemesi içerdiğini göstermektedir. Plütuna ait örnekler La/Yb'ye karşı Nb/La diyagramı üzerine düşürüldüğünde düşük Nb/La oranları nedeniyle litosferik manto alanına düşmektedir (Şekil 8a). İncelenen örnekler Th/U'a karşı Th diyagramı üzerine aktarıldığında alt kıtasal kabuk ergiyikleri ile N-OOSB ergiyikleri arasındaki bir alanda temsil edilmektedir (Şekil 8b). Çaltı plütouna ait incelenen örneklerin La/Nb ve Ba/Nb oranları sırasıyla granodiyoritlerde (2.37-2.96) ve (81.10-85.91), granodiyorit porfirlerde ise (2.81-3.17) ve (74.68-110.51) olup (Tablo 3) bu yüksek değerler OOSB ve OAB'larından ziyade yay volkanitlerine benzediklerini göstermektedir (Sun and McDonough, 1989; Şekil 8c). Benzer şekilde Nb'ye karşı Nb/Th diyagramında da hem granodiyorit hem de granodiyorit porfir örnekleri yay volkanitleri alanına düşmektedir (Şekil 8d).

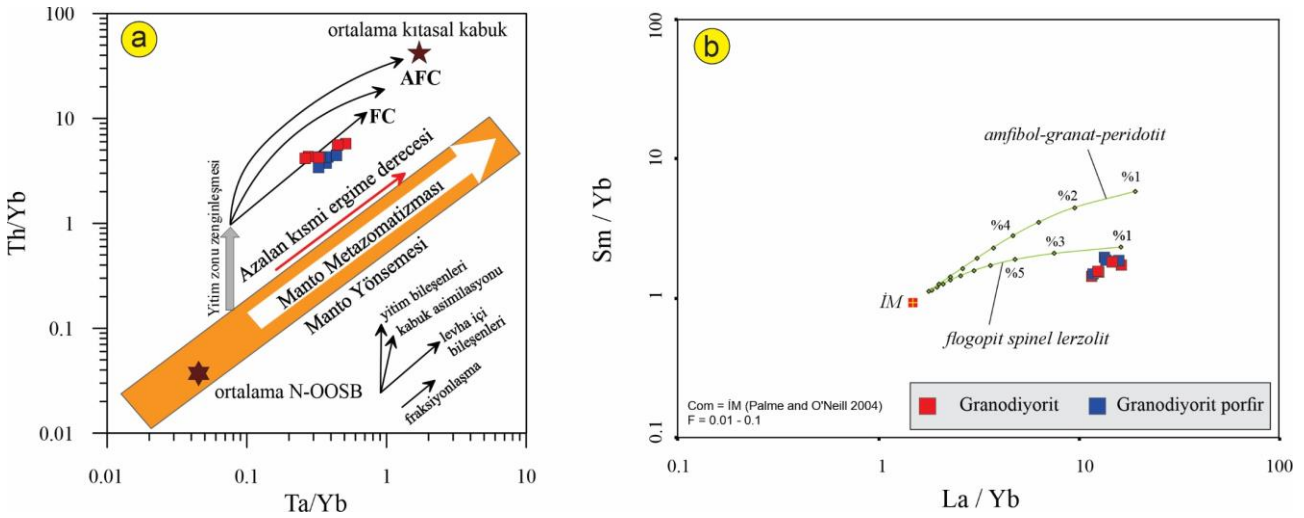


Şekil 8. Çaltı Plütunu kayaçları için (a) La/Yb'a karşı Nb/La diyagramı Smith vd. (1999), (b) U (ppm)'a karşı Th/U. Alt ve orta kıtasal kabuğa ait alan Rudnick & Gao (2003), normal Orta Okyanus Sırtı Bazalt (NOOSB) alanı Sun vd. (2008). (c) La/Yb'a karşı Nb/La. Yay volkanitleri alanı Jahn ve Zhang (1984), ilksel manto değeri Sun ve McDonough (1989), kıtasal kabuğun ortalama değeri Taylor ve McLennan (1985), OAB ve OOSB alanları Le Roex (1987). (d) La/Nb'a karşı Ba/Nb grafikleri. İlksel manto değeri Hofmann (1988), kıtasal kabuk değeri ve OOSB, OAB ile yay volkanitleri alanı Schmidberger ve Hegner (1999)'dan alınmıştır.

► **Figure 8.** For the Çaltı Pluton rocks (a) La/Yb versus Nb/La diagram (Smith et al., 1999). (b) U (ppm) versus Th/U diagram. The lower and middle continental crust fields are from Rudnick and Gao (2003), the normal Mid-Ocean Ridge Basalt (N-MORB) field is from Sun et al. (2008). (c) La/Yb versus Nb/La. Arc volcanic field from Jahn and Zhang (1984), the primitive mantle value from Sun and McDonough (1989), the mean continental crust value from Taylor and McLennan (1985), OIB and MORB fields from Le Roex (1987). (d) La/Nb versus Ba/Nb plots. The primitive mantle value from Hofmann (1988), continental crust value and MORB, OIB and arc volcanics field from Schmidberger and Hegner (1999).

Manto kaynak bölgesini ve yitim ve/veya kabuk kirlenmesinin etkilerini belirlemek için kullanılan Ta/Yb-Th/Yb diyagramına (Pearce, 1983) aktarılan örneklerin manto dizisinin üzerinde yer alması yitim bileşenlerince zenginleşmiş bir kaynağı işaret ederken, bu kaynaktan türeyen magmanın daha sonra da fraksiyonel kristalleşme ile son halini aldığını göstermektedir. Ayrıca incelenen plütone ait örnekler bu diyagramda yüksek Th/Yb ve Ta/Yb oranları ile ortalama kıtasal kabuk değerine doğru bir yönseme göstermektedir (Şekil 9a).

La, Yb ve Dy gibi iz elementler spinel ve granat gibi kaynak bileşimini göstermede rehber olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Aldanmaz vd., 2000). Çaltı Plütunu'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirler, Ersoy (2013)'un Petromodeller programı aracılığıyla değerlendirilerek söz konusu kayaların kısmi ergime dereceleri ve kaynak karakteristiği gibi parametreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda La/Yb'ye karşı Dy/Yb oranlarına diyagramı oluşturulmuştur. Yb elementi özellikle granatların kristal yapısını tercih etmektedir (Aldanmaz vd., 2000). Dy/Yb oranının 2.5'tan yüksek olduğu kayaların derin kökenli bir kaynaktan (granatlı manto mineralojisi) itibaren oluşan ergiyikler tarafından üretilebileceği bilinmektedir (Yang vd., 2012). Çaltı Plütunu'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin Dy/Yb oranları sırasıyla 1.44-1.56 ve 1.40-1.65 olduğu görülmektedir (Tablo 3). La/Yb'ye karşı Sm/Yb diyagramında söz konusu kayaların flogopit spinel lerzolit bileşimindeki bir kaynaktan %1 ilâ %3 aralığında değişen kısmi ergimesi sonucu türedikleri görülmektedir (Şekil 9b).



Şekil 9. Ta/Yb'ye karşı Th/Yb grafiği (Pearce, 1983) (b) La/Yb'ye karşı Dy/Yb diyagramı (Kapalı sistem modal olmayan fraksiyonel ergime (kritik ergime porozitesi %1) İlksel manto kökeni (İM; Palme & O'Neil, 2004), amfibol-granat peridotit için (Grt 0.01/0.15 + Kpr 0.03/0.22 + Opx 0.12/0.15 + Ol 0.79/0.15; Ionov vd., 2002), Spinel lerzolit için (Spl 0.02/0.02 + Bio 0.02/0.06 + Cpx 0.18/0.47 + Opx 0.30/0.35 + Ol 0.48/0.10; Thirlwall vd., 1994; Ionov vd., 2002). Ersoy (2013)'un (Petromodeler) programı yardımıyla modal olmayan fraksiyonel ergime eğrileri oluşturulmuştur.

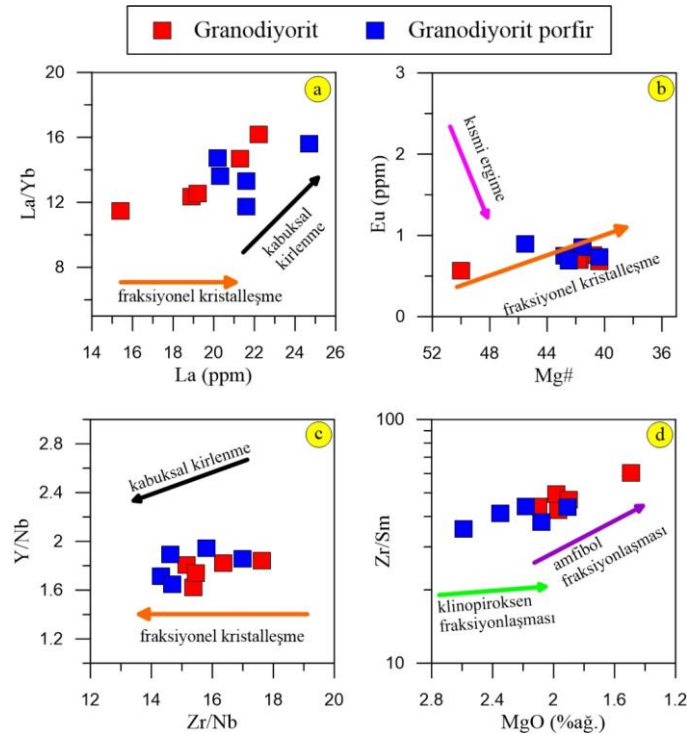
Figure 9. Plot of Ta/Yb versus Th/Yb (Pearce, 1983) (b) La/Yb vs. Dy/Yb diagram (Closed-system non-modal fractional melting model (with critical melt porosity of 1%) from Primitive Mantle source (PM; Palme & O'Neil, 2004) for amphibole-garnet peridotite (Grt 0.01/0.15 + Kpr 0.03/0.22 + Opx 0.12/0.15 + Ol 0.79/0.15; Ionov et al., 2002), for spinel lherzolite (Spl 0.02/0.02 + Bio 0.02/0.06 + Cpx 0.18/0.47 + Opx 0.30/0.35 + Ol 0.48/0.10; Thirlwall et al., 1994; Ionov et al., 2002). Non-modal fractional melting curves were created with the help of the software (Petromodeler) by Ersoy (2013).

4.2. Fraksiyonel kristalleşme

4.2. Fractional crystallization

İncelenen plütönu oluşturan magmanın evrimini ortaya çıkarabilmek için çizilen Harker diyagramları bazı ana oksit ve iz elementler ile SiO_2 arasında doğrusal korelasyonun varlığını işaret etmektedir. Bu korelasyonlar magmanın evrimi sırasında bazı ana fazların fraksiyonlaştığını göstermektedir. İncelenen kayaların artan SiO_2 'ye karşı TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , Sr, Nb, Ba, Y ve Rb değerlerinde negatif korelasyon; Na_2O değerlerinde pozitif korelasyon gözlenirken; CaO 'da ise belirgin bir korelasyon gözlenmemektedir (Şekil 6). Bu durum magma evrimi sürecinde fraksiyonel kristalleşmenin rolünün olduğunu göstermektedir. SiO_2 arttıkça MgO , Fe_2O_3 ve Rb değerlerinin azalması biyotit ve amfibol gibi mafik fazların fraksiyonlaştığını göstermektedir. Ayrıca artan SiO_2 'ye karşı TiO_2 değerlerinin azalması sırasıyla Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasına işaret etmektedir. Artan SiO_2 oranıyla Na_2O değerlerinde görülen pozitif korelasyonlar feldispatların fraksiyonel kristalleşmesiyle ilişkilidir. İlksel mantoya normalize edilmiş iz element dağılım diyagramında gözlenen negatif P anomalisi apatit fraksiyonlaşmasının varlığına işaret etmektedir (Şekil 7a, b). Çaltı Plütönu'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfir örneklerinin kondrite normalize edilmiş NTE dağılımları hafif NTE'den ağır NTE'ye doğru konkav şekilli iç bükey bir desen sunmaktadır (Şekil 7c, d). Bu durum plütönün oluşumunda amfibol fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Thirlwall vd., 1994).

La'ya karşı La/Yb (Şekil 10a), Mg#'a karşı Eu (Şekil 10b) ve Zr/Nb'ye karşı Y/Nb (Şekil 10c) diyagramları, Çaltı Plütönu'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin evriminde hem fraksiyonel kristalleşmenin hem de kabuksal kirlenmenin etkin rol oynadığını göstermektedir. MgO'ya karşı Zr/Sm diyagramında (Şekil 10d) söz konusu kayalarda amfibol fraksiyonlaşmasının varlığı desteklenmektedir. La/Nb'nin 1.5'tan ve La/Ta'nın 22'den büyük olması magmatik kayaların oluşumunda kabuksal kirlenmenin etkin rol oynadığını göstermektedir (Abdelfadil vd., 2022). Çaltı Plütönu'na ait granodiyoritlerin La/Nb oranları 2.37-2.96 iken La/Ta oranları 25.67-53.25'tir (Tablo 3). Benzer şekilde granodiyorit porfirlerde bu oranlar sırasıyla 2.81-3.17 ve 33.67-41.17 aralıklarında değişmektedir (Tablo 3). Bu oranlar Çaltı Plütönu kayalarının oluşumunda kabuksal kirlenmenin varlığına işaret etmektedir. Bununla birlikte 30'dan düşük (Wagner vd., 1995) Ti/Zr oranları (granodiyoritler: 19.36-25.27; granodiyorit porfirler: 20.1-27.69; Tablo 3) kabuksal etkinin varlığını desteklemektedir.



Şekil 10. (a) La'a karşı La/Yb diyagramı. (b) Mg#'a karşı Eu diyagramı. (c) Zr/Nb'ye karşı Y/Nb diyagramı. (d) MgO'ya karşı Zr/Sm diyagramı. Fraksiyonlaşma yönsemeleri [Temizel vd. \(2022\)](#)'nden alınmıştır.

Figure 10. (a) La versus La/Yb diagram. (b) Mg# versus Eu diagram. (c) Zr/Nb versus Y/Nb diagram. (d) MgO versus Zr/Sm diagram. Fractionation trends taken from [Temizel et al. \(2022\)](#).

5. Sonuç

5. Conclusion

İnceleme konusunu oluşturan Çaltı Plüton'u kayaçları granodiyorit ve granodiyorit porfirlerle temsil edilmektedir. Özellikle Çaltı plütonunda bulunan MMA oluşumlarının yanı sıra, plajiyoklaz ve amfibollerde görülen poikilitik ve erime/çözünme dokuları, bu plütonun oluşumu sırasında eş-zamanlı mafik ve felsik magmalar arasındaki karışımın güçlü bir kanıtı olarak yorumlanmaktadır. Tüm kayaç ana oksit ve iz element verileri bu kayaçların I tipi bir karakterde kalkalkalenden yüksek-K kalkalkalene kadar değişen, ağırlıklı olarak metalümin bileşimli olduğunu göstermektedir. İncelenen plütone ait örnekler ilksel mantoya normalize edilmiş iz element dağılım diyagramlarında negatif Ta, Nb ve Ti anomalileri, BİÇE'lerde zenginleşme ve BİYE'lerde tüketilme görülmesi, bu kayaçların oluşumunda yitimin etkisinin varlığını göstermektedir. İkili değişim diyagramlarında Çaltı Plütunu'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin oluşumunda hem fraksiyonel kristalleşme hem de kabuksal kirlenme etkin rol oynamıştır. Yüksek Nb/Ta, Rb/Nb, Zr/Hf ve Th/Ta ile düşük Nb/La ve Th/La oranları Çaltı Plütunu'na ait granodiyorit ve granodiyorit porfirlerin oluşumunda alt kıtasal kabuk etkisini desteklemektedir. İncelenen kayaçların Dy/Yb oranları, kayaçların sığ derinlikleri temsil eden spinel lerzolit bileşimindeki bir kaynağın %1 ilâ %3 aralığında kısmi ergimeyle oluştuğunu göstermektedir.

Teşekkür

Acknowledgement

Saha çalışmalarındaki katkılarından ötürü Abdullah SAR'a, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları öneri ve eleştirilerden dolayı hakemler ve editörlere teşekkür ederim.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazar saha çalışması, örnek hazırlama aşamaları, verilerin temini, analizlerin değerlendirilmesi ve yayın haline getirilmesi 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., Gharib, M. E., Uher, P., & Putiš, M. (2022). Petrogenesis of post-orogenic Pan-African rare-element granitic pegmatites in the western Arabian-Nubian Shield, Aswan area, southern Egypt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 224, 105003. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2021.105003>
- Aghazadeh, M., Castro, A., Badrzadeh, Z., & Vogt, K. (2011). Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland: the Shaivar Dagħ plutonic complex, Alborz belt, Iran. *Geological Magazine*, 148(5–6), 980–1008. <https://doi.org/10.1017/S0016756811000380>
- Aldanmaz, E., Pearce, J., Thirlwall, M., & Mitchell, J. (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1–2), 67–95. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00182-7)
- Barbarin, B. (1999). A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46(3), 605–626. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(98\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00085-1)
- Bilgiç, T. 2002. Geological Map of Turkey (1: 500.000 Scale Sivas sheet). General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara.

- Boztuğ, D., Debon, F., İnan, S., Tutkun, S.Z., Avcı, N., Kesgin, Ö. (1997). Comparative geochemistry of four plutons from the Cretaceous-Palaeogene Central Eastern Anatolian alkaline province, (Divriği region, Sivas, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 95–115.
- Brown, M. (2013). Granite: From genesis to emplacement. *Geological Society of America Bulletin*, 125(7–8), 1079–1113. <https://doi.org/10.1130/B30877.1>
- Chappell, B.W., & White, A.J.R. (1974). Two contrasting granite types. *Pac. Geol.* 8, 173–174.
- Chen, B., Jahn, B., & Wei, C. (2002). Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China: trace element and Nd–Sr isotope evidence. *Lithos*, 60(1-2), 67–88. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(01\)00077-9](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(01)00077-9)
- Douce, A.E.P. & Beard, J.S. (1995). Dehydration-melting of Biotite Gneiss and Quartz Amphibolite from 3 to 15 kbar. *Journal of Petrology*, 36(3), 707–738. <https://doi.org/10.1093/petrology/36.3.707>
- Ersoy, E.Y. (2013). PETROMODELER (Petrological Modeler): a Microsoft® Excel© spreadsheet program for modelling melting, mixing, crystallization and assimilation processes in magmatic systems. *Turkish Journal of Earth Science*, 22, 115-125. <https://doi.org/10.3906/yer-1104-6>
- Green, T.H. (1995). Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system. *Chemical Geology*, 120(3–4), 347–359. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00145-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00145-X)
- Hofmann, A.W. (1988). Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90(3), 297–314. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(88\)90132-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90132-X)
- Ionov, D.A. (2002). Mechanisms and Sources of Mantle Metasomatism: Major and Trace Element Compositions of Peridotite Xenoliths from Spitsbergen in the Context of Numerical Modelling. *Journal of Petrology*, 43(12), 2219–2259. <https://doi.org/10.1093/petrology/43.12.2219>
- Ionov, D. A., Bodinier, J.-L., Mukasa, S. B. & Zanetti, A. (2002). Mechanisms and sources of mantle metasomatism: major and trace element compositions of peridotite xenoliths from Spitsbergen in the context of numerical modelling. *Journal of Petrology* 43, 2219–2259.
- Jahn, B., & Zhang, Z. (1984). Archean granulite gneisses from eastern Hebei Province, China: rare earth geochemistry and tectonic implications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 85(3), 224–243. <https://doi.org/10.1007/BF00378102>
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 66(66), 20-37.
- Le Maitre, R.W. (Ed) (1989) *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwall, Oxford.
- Le Roex, A.P. (1987). Source regions of mid-ocean ridge basalts; evidence for enrichment processes. In A.M. Menzies, & C.J. Hawkesworth, (Eds.), *Mantle Metasomatism*(pp.389- 422). Academic Press.
- Loiselle, M.C., & Wones, D.R. (1979). Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 11, 468.
- Maniar, P.D., & Picolli, P.M. (1989). Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5), 635–643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<0635:TDOG>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<0635:TDOG>2.3.CO;2)
- McCulloch, M.T., & Gamble, J.A. (1991). Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 102(3–4), 358–374. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90029-H](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90029-H)
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475–515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Önal, A., Boztuğ, D., Kürüm, S., Harlavan, Y., Arehart, G. B., & Arslan, M. (2005). K-Ar age determination, whole-rock and oxygen isotope geochemistry of the post-collisional Bizmişen and Çaltı plutons, SW Erzincan, eastern Central Anatolia, Turkey. *Geological Journal*, 40(4), 457–476. <https://doi.org/10.1002/gj.1023>

- Özgül, N., & Turşucu, A. (1984). Stratigraphy of the Mesozoic carbonate sequence of the Munzur Mountain. In O. Tekeli & M.C. Göncüoğlu (Eds.), *Geology of the Taurus Belt*. International Symposium Proceedings, 173-180, MTA, Ankara.
- Palme, H. and O'Neill, H. St. C. (2004). Cosmochemical estimates of Mantle Composition. In: *Treatise on Geochemistry*. Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Editors), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 2: 1-38.
- Pearce, J.A., (1983). Role of the Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins. In C.J. Hawkesworth, & M.J. Norry, (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths* (pp. 230-249). Shiva Cheshire.
- Pearce, J.A., & Peate, D.W. (1995). Tectonic Implications of the Composition of Volcanic ARC Magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23(1), 251–285. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.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(1), 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Plank, T. (2005). Constraints from Thorium/Lanthanum on Sediment Recycling at Subduction Zones and the Evolution of the Continents. *Journal of Petrology*, 46(5), 921–944. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi005>
- Rudnick, R.L., & Gao, S. (2003). Composition of the continental crust. In H.D., Holland, & K.K., Turekian, (Eds), *Treatise on Geochemistry*(pp 203). Elsevier.
- Schmidberger, S.S., & Hegner, E. (1999). Geochemistry and isotope systematics of calc-alkaline volcanic rocks from the Saar-Nahe basin (SW Germany) – implications for Late-Variscan orogenic development. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135(4), 373–385. <https://doi.org/10.1007/s004100050518>
- Smith, E. I., Sánchez, A., Walker, J. D., & Wang, K. (1999). Geochemistry of Mafic Magmas in the Hurricane Volcanic Field, Utah: Implications for Small- and Large-Scale Chemical Variability of the Lithospheric Mantle. *The Journal of Geology*, 107(4), 433–448. <https://doi.org/10.1086/314355>
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, 12, 1–33. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(76\)90052-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(76)90052-0)
- Sun, C.G., Zhao, Z.D., Mo, X.X., Zhu, D.C., Dong, G.C., Zhou, S., Chen, H.H., Xie, L.W., Yang, Y.H., Sun, J.F., & Yu, F. (2008). Enriched mantle source and petrogenesis of Sailipu ultrapotassic rocks in southwestern Tibet Plateau: constraints from zircon U–Pb geochronology and Hf isotopic compositions. *Acta Petrologica Sinica*, 24, 249– 264.
- Sun, S.-s., & McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (Ed) (1985). *The Continental Crust, Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, pp. 312.
- Temizel, İ., Arslan, M., Abdioğlu 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>
- Thirlwall, M. F., Upton, B. G. J. & Jenkins, C. (1994). Interaction between continental lithosphere and the Iceland plume–Sr–Nd–Pb isotope geochemistry of Tertiary basalts, NE Greenland. *Journal of Petrology* 35, 839–879.
- Weaver, B. L., & Tarney, J. (1984). Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, 310(5978), 575–577. <https://doi.org/10.1038/310575a0>
- Whalen, J.B., Currie, K.L., & Chappell, B.W. (1987). A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4), 407–419. <https://doi.org/10.1007/BF00402202>
- White, A.J.R. (1979). Sources of granitic magma. *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 11, 539.
- Yang, W., Niu, H., Shan, Q., Luo, Y., Sun, W., Li, C., Li, N., & Yu, X. (2012). Late Paleozoic calc-alkaline to shoshonitic magmatism and its geodynamic implications, Yuximolegai area, western Tianshan, Xinjiang. *Gondwana Research*, 22(1), 325–340. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.10.008>