

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**BOLU MASİFİNDE YERALAN METAGRANİTİK KAYAÇLARIN
PETROLOJİSİ VE PETROJENEZİ**

Sabir RASİMGİL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BOLU MASİFİNDE YERALAN METAGRANİTİK KAYAÇLARIN
PETROLOJİSİ VE PETROJENEZİ**

Sabir RASİMGİL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOLU MASİFİNDE YERALAN METAGRANİTİK KAYAÇLARIN
PETROLOJİSİ VE PETROJENEZİ**

Sabir RASİMGİL

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**Bu tez Bilimsel Araştırma Projeleri Kordinatörlüğü tarafından FYL-2022-5911
nolu proje ile desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOLU MASİFİNDE YERALAN METAGRANİTİK KAYAÇLARIN
PETROLOJİSİ VE PETROJENEZİ

Sabir RASİMGİL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 13 / 06 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nurdane İLBAYLI (Danışman)

Prof. Dr. M. Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Prof. Dr. Gürsel Yanık

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİRBİLEK

ÖZET

BOLU MASİFİNDE YERALAN METAGRANİTİK KAYAÇLARIN PETROLOJİSİ VE PETROJENEZİ

Sabir RASİMGİL

Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurdane İLBEYLİ

Haziran 2023; 85 Sayfa

Bolu Masifi'nde yer alan Kapıkaya plütonik kayaçları çalışma konusu olarak belirlenmiş olup, bu kayaçların arazi, petrografik özellikleri, mineral, tümkayaç ve radyojenik izotop jeokimyası, verileri kullanılarak bu kayaçları oluşturan magmanın özellikleri, kökeni ve oluştuğu jeodinamik ortam hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Kapıkaya Plüton'unu oluşturan kayaçlar orta ve iri taneli granodiyorit ve granit bileşimine sahiptir. Kapıkaya Plüton'unda kuvars, plajiyoklas, K-feldispat, biyotit ve amfibol mineralleri bulunmaktadır. Aksesuar mineraller olarak apatit, zirkon, titanit ve opak mineraller bulunmaktadır. Serisitleşme, kloritleşme, killeşme, epidotlaşma kayaçlarda görülen alterasyon türleridir.

Arazi ve petrografik incelemeler sonucunda metamorfik özelliklerinden dolayı bu kayaçlar, genel itibarıyla, metagranitler olarak adlandırılmıştır.

Kapıkaya Plütonu'nda yer alan kayaçların toplam alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) değerleri % ağırlık 3.3 - 6.6; SiO_2 değeri % ağırlık 66.60 - 72.80 arasında yer almakta olup; TAS diyagramında örnekler granodiyorit ve granit alanında yer almaktadır. Örneklerin A/CNK değerleri 0.97-1.11 oranlarına sahiptir ve I-tipi özelliği işaret etmektedir. Harker varyasyon diyagramlarında kayaç örnekleri TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO ve CaO, silikanın artışı ile negatif ve K_2O ile pozitif korelasyon göstermektedir.

İlksel mantoya göre normalize edilen çoklu element diyagramlarında, Kapıkaya örneklerinde LIL elementlerinde zenginleşme ve HFS elementlerinde tüketilme gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar genellikle dalma batma kökenli magmatizmaları betimlemektedir. Bu kayaçlarda $(\text{La}/\text{Yb})_N=1.38-57.03$ aralığında değişen oranları ile LREE açısından orta-yüksek zenginleşme gösterirken, negatif Eu anomalileri ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.82-2.72$) ve $(\text{Gd}/\text{Yb})_N=0.64-1.34$ oranları orta HREE ayırtışmasını göstermektedir. Bunun yanında kondrite göre normalize REE bileşimleri, Kapıkaya örneklerinin LREE açısından zenginleşme ve HREE açısından ise tüketilmeye işaret etmektedir.

Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçların U-Pb titanit yaşları 235 ± 0.85 My olup, Paleozoyik dönemine karşılık gelmektedir.

Kapıkaya Plütönu'na ait örneklende Sr izotopik analiz $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ (0.703332-0.704861) ve Nd izotopik analiz değerleri $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ (0.512104- 0.512193)) aralığında değerler vermektedir. $\text{Sr}_{(i)}$ - $\text{Nd}_{(i)}$ diyagramında örnekler düşük Sr ve yüksek Nd alanında yer alırken, bazı metagranodiyorit bileşimli örnekler ise yüksek Sr ve yüksek Nd alanında yer almaktadır. $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ değerleri ise -0.28 ile -3.94 aralığındadır. Tektonik ayırım diyagramlarında, metagranodiyorit ve metagranitler genellikle volkanik yay alanında bulunmaktadır.

İncelenen kayaçların kristallenmeleri esnasındaki basınç değerleri 3.4-17.3 kbar arasında ve sıcaklık değerleri 948-961⁰C arasında değişmektedir. Tüm bu verilere göre, Kapıkaya plütönu kıtasal kabuk içerisinde, sulu magma(lar)dan itibaren sığ derinliklere (7.5-8.5 km) yerleştiği ileri sürülebilir.

ANAHTAR KELİMELEER: Bolu, Kapıkaya Plütönu, Mineral Kimyası, Jeokimya, Radyojenik İzotop, Petrojenez, Franksiyonel kristallenme

JÜRİ: Prof. Dr. Nurdane İLBAYLI

Prof. Dr. M. Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Prof. Dr. Gürsel YANIK

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİRBİLEK

ABSTRACT

PETROLOGY AND PETROGENESIS OF METAGRANITIC ROCKS IN THE BOLU MASSIF

Sabir RASIMGIL

PhD Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Nurdane İLBEYLİ

June 2023; 85 pages

Kapıkaya plutonic rocks located in Bolu Massif have been determined as the subject of the study. By using the field, petrographic properties, mineral, whole rock and radiogenic isotope geochemistry data of these rocks, it has been tried to give information about the properties, origin and geodynamic environment of the magma forming these rocks.

The rocks forming the Kapıkaya Pluton have medium and coarse grained granodiorite and granite composition. Kapıkaya Pluto contains quartz, plagioclase, K-feldspar, biotite and amphibole minerals. Accessory minerals include apatite, zircon, titanite and opaque minerals. Sericitization, chloritization, argillization, epidotization are the alteration types seen in rocks.

As a result of field and petrographic investigations, these rocks are generally named as metagranites due to their metamorphic properties.

The total alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) values of the rocks in the Kapıkaya Pluton are 3.3 - 6.6 wt %; The SiO_2 value is between 66.60 - 72.80 wt. %, and samples are located in the granodiorite and granite field in the TAS diagram. The A/CNK values of the samples have ratios of 0.97-1.11 and indicate I-type characteristics. In the Harker variation diagrams, the rock samples TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO and CaO show a negative correlation with the increase of silica and a positive correlation with K_2O .

In the multi-element diagrams normalized to the primitive mantle, enrichment in LIL elements and depletion in HFS elements were observed in Kapıkaya samples. These results generally describe magmatism of subduction origin. These rocks show moderate-high enrichment in terms of LREE with their ratios ranging from $(\text{La}/\text{Yb})_N=1.38-57.03$, while negative Eu anomalies $(\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.82-2.72)$ and $(\text{Gd}/\text{Yb})_N=0.64-1.34$ ratios indicate moderate the HREE differentiation. According to normalized by chondrite in REE diagrams, enrichment of Kapıkaya samples in terms of LREE and depletion in terms of HREE.

The U-Pb titanite ages of the rocks of the Kapıkaya Pluton are 235 ± 0.85 Ma, corresponding to the Paleozoic period.

The Sr isotopic analysis values in the range of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ (0.703332-0.704861) and Nd isotopic analysis values $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ (0.512104- 0.512193)) in the Kapıkaya Pluton. In the $\text{Sr}_{(i)} - \text{Nd}_{(i)}$ diagram, samples are located in low Sr and high Nd areas,

while some metagranodiorite composition samples are located in high Sr and high Nd areas. $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ values range from -0.28 to -3.94. In tectonic separation diagrams, metagranodiorites and metagranites are generally found in the volcanic arc area.

The pressure values during the crystallization of the investigated rocks vary between 3.4-17.3 kbar and their temperature values vary between 948-961°C. According to all these data, it can be argued that the Kapıkaya pluton emplaced at shallow depths (7.5-8.5 km) from the hydrated magma(s) in the continental crust.

KEYWORDS: Bolu Maasif, Kapıkaya Pluton, Mineral Chemistry, Geochemistry, Radiogenic Isotope, Petrogenesis, Fractional crystallization

COMMITTEE: Prof. Dr. Nurdane İLBEYLİ

Prof. Dr. M. Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Prof. Dr. Gürsel YANIK

Asst. Prof. Dr. Mehmet DEMİRBİLEK

ÖNSÖZ

Bolu Masifi'nde yeralan metagranitik kayaçların petrolojisi ve petrojenezi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (AÜBAP) birimi tarafından desteklenmiş olup, FYL-2022-5911 kodlu projemize maddi manevi desteklerinden dolayı birime teşekkür ederiz.

Bu çalışmada tüm kayaç ana ve iz element (nadir toprak elementler dahil) analizleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) laboratuvarında, mineral kimyası Ankara Üniversitesi YEBİM laboratuvarında, kayaçların kristallenme yaşları İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) laboratuvarında parlatılmış ince kesitler yaptırılmış olup ve parlak ince kesitlerden İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeokronoloji laboratuvarında yaşlandırma analizleri gerçekleştirilmiş ve hedeflenen amaca ulaşılmıştır.

Bu projeyi destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi ve personeline, mineral kimyası analizlerinde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Kıymet DENİZ'e teşekkür ederiz. Tüm kayaç ana ve iz element analizleri, Sr-Nd-Pb izotop analizleri Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) merkez laboratuvarı analizlerinde yardımcı olan Doç. Dr. Serhat KÖKSAL, yaşlandırma analizleri için iş birliği yaptığımız İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa laboratuvarına ve laboratuvar sorumlusu Prof. Dr. Namık AYSAI'a teşekkür ederiz. Ayrıca analizleri gerçekleştiren teknikerlere de teşekkür ederiz.

Bu çalışmanın her aşamasında sonsuz destek ve yardımları için Danışman hocam Prof. Dr. Nurdane İLBAYLI'ya minnet ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Doktora Tez İzleme Komitesi'nin sayın üyeleri Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ, Prof. Dr. Gürsel YANIK, Prof. Dr. M. Gürhan YALÇIN, , Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİRBİLEK ve Arş. Gör. Alper GÜNEŞ ile Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nün değerli hocalarına teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi ve manevi her türlü destekleri ile yanımda olan tüm RASİMGİL ailesine ve özellikle annem Menekşe RASİMGİL'e, merhum babam Ensar RASİMGİL'e, ayrıca değerli görüş ve katkılarıyla destek olan abim Server Rasimgil, eniştem Doç. Dr. M. Kenan GEÇER ve ablam Dilara GEÇER'e şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Kapsam ve Amacı.....	3
1.2. İnceleme Alanı.....	4
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Petrografik Çalışmalar	9
3.2. Mineral Kimyası.....	9
3.3. Jeokimya Analizi.....	10
3.3.1. Major oksitlerin jeokimyasal analizi	10
3.3.2. İz ve nadir toprak elementlerinin jeokimyasal analizleri	10
3.4. Radyojenik İzotop Analizleri	10
3.5. Jeokronolojik Çalışmalar.....	11
4. BULGULAR	12
4.1. Bölgesel ve Yerel Jeoloji.....	12
4.1.1. Demirci Formasyonu	13
4.1.2. Çele Metaofiyoliti.....	14
4.1.3. Yellice Formasyonu	14
4.1.4. Kapıkaya plutonu	15

4.2. Arazi Çalışmaları.....	16
4.3. Mineralojik ve Petrografik Özellikler.....	18
4.3.1. Granodiyorit.....	19
4.3.2. Granit.....	20
4.4. Mineral Kimyası	21
4.4.1. Mineral Bileşimleri.....	23
4.4.1.1. Feldispat	23
4.4.1.2. Biyotit.....	23
4.4.1.3. Amfibol	24
4.5. Tüm Kayaç Jeokimya	25
4.5.1. Kayaçların sınıflandırılması	25
4.5.1.1. Harker diyagramları.....	30
4.5.1.2. Örümcek (çoklu iz element) diyagramları	32
4.5.1.3. Nadir toprak elementleri (REE) diyagramları	32
4.5.2. Tektonik ayırım diyagramları.....	33
4.6. Jeokronoloji.....	38
4.7. Radyojenik İzotop (Sr, Nd, Pb) Jeokimyası.....	39
4.7.1. Sr ve Nd izotop jeokimyası	39
4.7.2. Pb izotop jeokimyası	40
4.8. Jeotermobarometre Hesaplamaları.....	42
4.8.1. Jeotermometre hesaplamaları	42
4.8.1.1. Amfibol-Plajiyoklas termometresi.....	42
4.8.1.2. Amfibol termometresi	42
4.8.1.3. Biyotit termometresi	43
4.8.2. Jeobarometre hesaplamaları	43
4.8.2.1. Amfibol-Plajiyoklas barometresi	43

4.8.2.2. Amfibol barometresi.....	44
4.8.2.3. Biyotit barometresi	44
4.8.3.4. Amfibol Oksijen fugasitesi	45
4.8.3.5. Biyotit oksijen fugasitesi.....	45
4.8.3.6. Amfibol hidrometresi	45
4.8.3.7. Fe-Ti oksit.....	45
5. TARTIŞMA	46
5.1. Fraksiyonel Kristallenme.....	46
5.2. Asimilasyon-Fraksiyonel Kristallenme (AFC).....	48
5.3. Ana Magmanın Kökeni.....	50
5.4. Yerleşim Derinliği	55
6. SONUÇLAR	57
7. KAYNAKÇA.....	59
8.EKLER.....	72

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘Bolu Masifinde Yeralan Metagranitik Kayaçların Petrolojisi ve Petrojenezi’ adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

13/06/2023

Sabir RASİMGİL



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3 :Alüminyum Oksit

Ba :Baryum

CaO :Kalsiyum Oksit

Ce :Seryum

Co :Kobalt

CO_2 :Karbon Dioksit

Cr_2O_3 :Krom (III) Oksit

Cu :Bakır

Dy :Disporsiyum

Eu :Evropiyum

Er :Erbiyum

Fe_2O_3 :Demir (III) Oksit

FeO_T : Demir (II) Oksit

Ga :Galyum

Gd :Gadolinyum

Hf :Hafniyum

Ho :Holmiyum

Km :Kilometre

K_2O :Potasyum Oksit

La :Lantan

Lu :Lutesyum

M :Metre

MgO :Magnezyum Oksit

Mm :Milimetre

MnO :Mangan Oksit
My :Milyon yıl
Na₂O :Sodyum Oksit
Nb :Niobyum
Nd :Neodiyum
Ni :Nikel
P₂O₃ :Difosfor Pentaoksit
Pb :Kurşun
Pr :Praseodim
Rb :Rubidyum
SiO₂ :Silisyum Dioksit
Sm :Samaryum
Sr :Stronsiyum
Tb :Terbiyum
Th :Toryum
TiO₂ :Titanyum Dioksit
Tm :Tulyum
U :Uranyum
V :Vanadyum
Y :İtriyum
Yb :İterbiyum
Zn :Çinko
Zr :Zirkon

Kısaltmalar

HFSE :Yüksek Çekim Alanlı Elementler

HREE :Ağır Nadir Toprak Elementleri

LILE :Büyük İyon Yarıçaplı Elementler

LREE :Hafif Nadir Toprak Elementleri

MTA :Maden Tetkik ve Arama

ppm :milyonda bir birim

REE :Nadir Toprak Elementleri

Bu tezin yazımında ondalık ayırıcı olarak "." kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye ve yakın çevresinin kenet kuşaklarını ve tektonik birlikleri ile birlikte İstanbul-Zonguldak Zonu'nun konumunu gösterir jeolojik haritası (Moix vd. 2008'den değiştirilerek alınmıştır)	1
Şekil 1.2. a) Türkiye haritası, b) çalışma alanını gösterir yakınlaştırılmış uydu görüntüsü (Anonim 1)	4
Şekil 4.1. Çalışma alanına ait stratigrafik kolon kesit (MTA 2002'den değiştirilerek alınmıştır)	12
Şekil 4.2. a) Bolu Masifi'nin literatür çalışmasıyla oluşturulan jeolojik haritası, b) Kapıkaya Plütону'na ait jeolojik harita (MTA 2002'den değiştirilerek alınmıştır)	13
Şekil 4.3. a)-h) Kapıkaya Plütону'na ait kayaçların genel arazi görünümü	17
Şekil 4.4. Kapıkaya Plütону'na ait örneklerin modal analiz değerlerinin Kuvars-Alkali Feldispat-Plajiyoklas üçgen (Streckeisen 1976) diyagramındaki sınıflaması	18
Şekil 4.5. Kapıkaya Plütону'na ait modal analizleri yapılan kayaç örneklerinin plütondaki konumları ve çizilen zonlanma haritası (MTA 2002'den değiştirilerek alınmıştır)(ölçeksiz)	19
Şekil 4.6. Kapıkaya Plütону granodiyorite ait ince-orta taneli doku	20
Şekil 4.7. Kapıkaya Plütону granite ait ince-orta taneli doku	21
Şekil 4.8. Kapıkaya Plütону'na ait 6 adet örnekler üzerinde çalışılan alanları gösteren geri-saçılmış elektron (BSE) görüntüleri (Alkali Feldispat: K-felds, Plajiyoklas: Pl, Biotit: Bit, Amfibol: Amf)	22
Şekil 4.9. Kapıkaya Plütону'nu oluşturan metagranodiyorite ait feldispat bileşimleri Ab(albit)-An(anortit)-Or(ortoklas) (Smith ve Brown, 1988) üçgen diyagramı	23
Şekil 4.10. Kapıkaya Plütону'nu oluşturan metagranodiyorite ait biyotitlerin Si^{IV} - $Fe^{+2}/(Fe^{+2}+Mg)$ değerlerine göre bileşimi (Parsons vd. 1991)	24
Şekil 4.11. Kapıkaya Plütону'nu oluşturan metagranodiyorite ait amfibollerin bileşimi (Leake vd. 1997)	24
Şekil 4.12. Kapıkaya Plütону'nu oluşturan metagranodiyorite ait amfibollerin sınıflandırılması ($(Na+K)^A > 0.5$; Leake vd. 1997)	25
Şekil 4.13. Kapıkaya Plütону'nu oluşturan metagranodiyorite ait amfibollerin K (apfu)- $Al^{(IV)}$ (apfu) diyagramı (sınır çizgileri; Ridolfi ve Renzulli 2012'den değiştirilerek alınmıştır)	25
Şekil 4.14. Kapıkaya Plütону'na ait örneklerinin SiO_2 'ye karşı Na_2O+K_2O (TAS) diyagramı (Middlemost, 1994) (Alkalen/Subalkalen çizgi sınırı: Irvine ve Baragar	

1971) (bgdi; gabrodiyorit, grd; granodiyorit, mgb; monzogabro, md; monzodiyorit, mnz; monzodiyorit, sy; siyenit, kuvarsmonzonit.....	28
Şekil 4.15. Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerin a) K ₂ O (%) ve SiO ₂ (%) diyagramı, b) Th'a karşı Co (Hastie vd. 2007) diyagramı (ayrım çizgileri Rickwood 1989'dan alınmıştır)	29
Şekil 4.16. Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerinin FeO _T /(FeO _T +MgO) ve SiO ₂ (%) ağırlık) diyagramı (Frost vd. 2001)	29
Şekil 4.17. Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerinin SiO ₂ (%) ağırlık) göre ana element Harker diyagramları	30
Şekil 4.18. Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerinin SiO ₂ (%) göre iz element (ppm) Harker diyagramları	31
Şekil 4.19. Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerinin ilksel mantoya göre normalize edilmiş örümcek diyagramları (Sun ve McDonough 1989'den değiştirilerek alınmıştır)	32
Şekil 4.20. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramları (Boynton, 1984'den değiştirilerek alınmıştır)	33
Şekil 4.21. Hf-Th-Nb/2 diyagramı (Krmicek vd. 2011)	33
Şekil 4.22. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların Sr/Y'a karşı Y diyagramı (Dsefant ve Durmmond, 1990'dan değiştirilerek alınmıştır)	34
Şekil 4.23. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaç örneklerinin (A/NK)-(A/CNK) oranlarının diyagramı (Maniar ve Piccoli 1989'dan değiştirilerek alınmıştır)	34
Şekil 4.24. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların Nb'ye karşı 10000Ga/Al diyagramı (Whalen vd. 1987'den değiştirilerek alınmıştır)	35
Şekil 4.25. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaç örneklerinin a) Ta-Yb, b) Rb-(Y+Nb) diyagramı (Pearce vd. 1984'ten değiştirilerek alınmıştır) WPG: Levha içi granitler, ORG: Orojenik granitler, VAG+Syn-COLG: Volkanik yay granitleri+Çarpışma eş yaşlı granitleri).....	35
Şekil 4.26. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaç örneklerinin a) FeO*/(FeO*+MgO)-SiO ₂ karşı diyagramı, b) Al ₂ O ₃ -SiO ₂ karşı diyagramı (Frost vd. 2001)	36
Şekil 4.27. Kazıkbeli Plütönu'na ait kayaçların R2'ye karşı R1 (Bathcelor ve Bowden, 1985) diyagramı (R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti); R2=6Ca+2Mg+Al)	36
Şekil 4.28. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaç örneklerinin a) ve b) (Na ₂ O+K ₂ O-CaO) ve SiO ₂ (%) ağırlık) diyagramı (Frost vd. 2001'den değiştirilerek alınmıştır)	37
Şekil 4.29. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların a) ASI'ye karşı SiO ₂ (%) ağırlık) (Chappel ve White 1974), b) Na ₂ O-K ₂ O (%) ağırlık) diyagramı (Beckinsale 1979).....	37

Şekil 4.30. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçların a) SiO ₂ 'ye karşı K/Rb, b) Sr karşı Rb diyagramı	38
Şekil 4.31. Kapıkaya Plütonu'na ait Y08 örneğindeki titanit ve apatit kristallerine ait ölçülen U-Pb izotopik oranlarına göre konkordiya diyagramı.....	39
Şekil 4.32. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(i) - εNd _(T) diyagramındaki izdüşümleri (manto dizisi Faure 1986'dan değiştirilerek alınmıştır). DM: Tüketilmiş Manto; HIMU: Yüksek μ Değerine Sahip Manto; BSE: Toplam Yerküre Bileşimi; Okyanus Adası Bazalt; EMI: Zenginleştirilmiş Manto I; EMII: Zenginleştirilmiş Manto II	40
Şekil 4.33. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb karşı ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb b) ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb _(i) karşı ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb _(i) diyagramı. NHRL, Hart (1984)'e; Üst Kabuk (ÜK) alanı, Mason vd. (1996)'ne, Alt Kabuk (AK) alanı, Kempton vd. (1997)'den değiştirilerek alınmıştır.....	41
Şekil 4.34. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _(i) karşı ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb _(i) diyagramı (MORB: Okyanus Ortası Sırt Bazaltları, BSE: Toplam Yerküre, DM: Tüketilmiş Manto, EMI- EMII: Zenginleşmiş Manto, HIMU: yüksek U /Pb oranına (yüksek μ değerine) sahip manto, PREMA: Yaygın Manto bileşimi (Zindler ve Hart 1986)'den değiştirilerek alınmıştır	41
Şekil 5.1. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) Rb/Sr, b) Ba/Sr, c) (Ba/Sr)/Sr, d) (Rb/Sr)/Sr diyagramı.....	46
Şekil 5.2. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) CaO-Y, b) Y-Rb diyagramı.....	47
Şekil 5.3. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(i) -SiO ₂ (% ağırlık), b) ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(i) -Rb/Sr, c) ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _(i) -SiO ₂ , d) ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _(i) -Sm/Nd diyagramlarındaki izdüşümleri	47
Şekil 5.4. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçların a) ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb karşı SiO ₂ , b) ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb karşı SiO ₂ , c) ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb karşı SiO ₂ diyagramı	48
Şekil 5.5. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) Th/Yb'ye karşı Ta/Yb, b) Ba/Nb karşı SiO ₂ diyagramı	49
Şekil 5.6. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) MgO'ya karşı ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(i) diyagramı, b) MgO'ya karşı ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _(i) diyagramı, c) Sr'a karşı ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(i) diyagramı, d) Nd'ye karşı ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _(i) diyagramı.....	49
Şekil 5.7. İncelenen kayaçların AFC modellemesini gösteren (¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) _i 'ye karşı (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i diyagramı. İlk sel magma bileşimi (IC ⁰) olarak üst manto (ÜM) (Klein, 2004) değeri kabul edilmiştir (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.7029, Sr=188ppm, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd=0.51319, Nd=9.62ppm). Üst kıtasal kabuk (ÜKK) bileşimine ait iz elementler (Sr=350ppm, Nd=26ppm) Taylor ve McLennan (1985)'den, izotopik bileşimler (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.71463, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd=0.511843) ise Davies vd. (1985)'den değiştirilerek alınmıştır	50

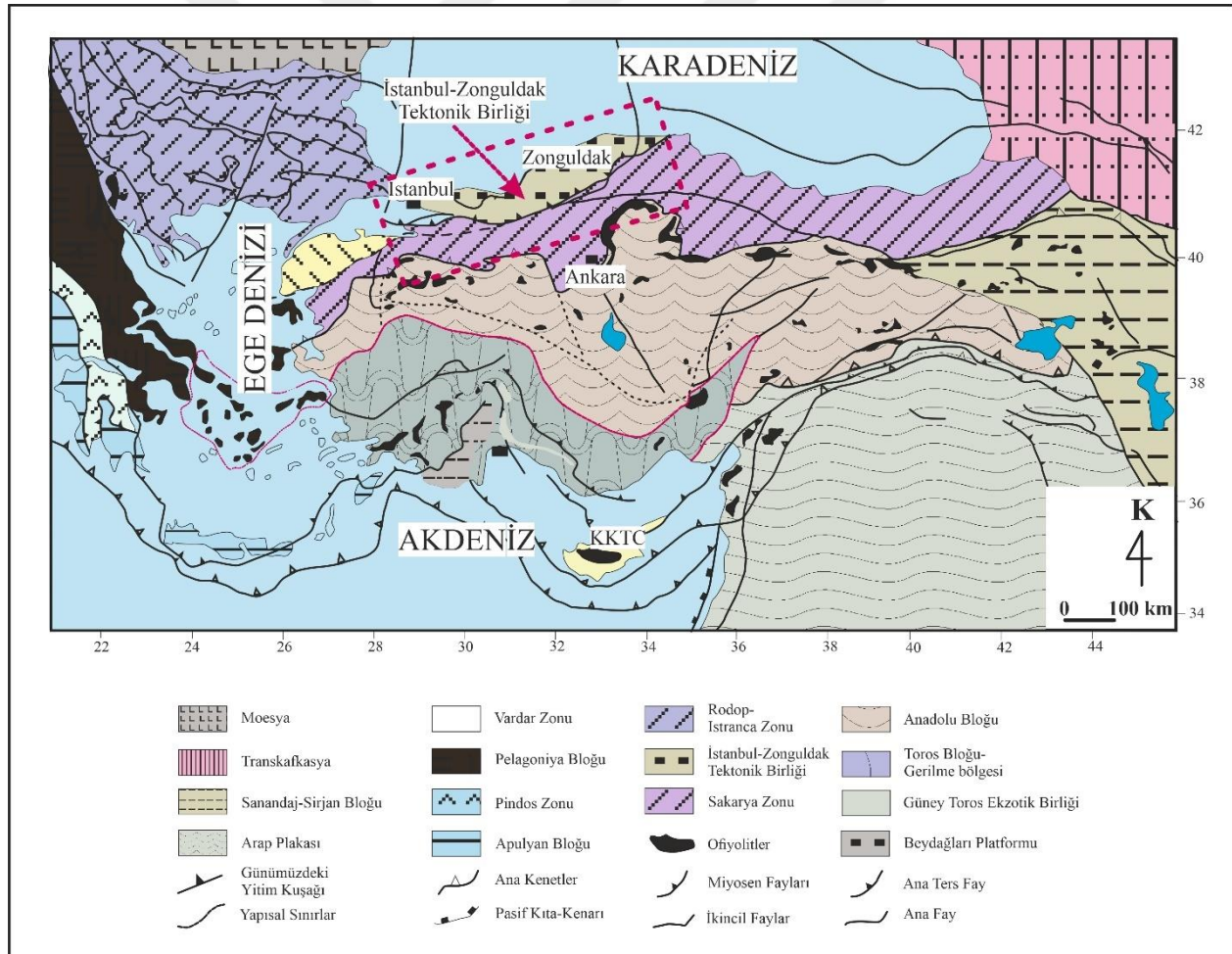
Şekil 5.8. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) Sm/Yb'ye karşı Ce/Sm, b) Zr/Yb'ye karşı Nb/Yb diyagramı. DM: Tüketilmiş manto, N-MORB: Tüketilmiş üst manto kaynaklı, E-MORB: Zenginleşmiş üst manto kaynaklı ve OIB: Okyanus Ortası Bazaltları, bileşimleri Sun ve McDonough (1989)'dan; MORB ve OIB bileşimleri Harms vd. (1997)'den değiştirilerek alınmıştır	51
Şekil 5.9. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçların, a) Nb/La'ya karşı La/Yb, b) Th/Y'ye karşı Nb/Y, c) Ba/Nb'ye karşı La/Nb, d) Nb/Th karşı Nb diyagramı (ilksel manto değerleri Hofmann (1988)'den; UCC: Üst kıtasal kabuk, AFC: Asimilasyon fraksiyonel kristalleşme, N-MORB: Tüketilmiş üst manto kaynaklı, E-MORB: Zenginleşmiş üst manto kaynaklı ve OIB: Okyanus Ortası Bazaltları, PM: ilksel manto, HIMU: Yüksek U/Pb oranına sahip, ve yay volkanikleri değerleri Schmidberg ve Hegner (1999) 'dan değiştirilerek alınmıştır)	52
Şekil 5.10. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçların Th/U karşı U diyagramı MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı, LCC-MCC Alt-Orta Kıtasal Kabuk (Kaygusuz vd. 2013'den değiştirilerek alınmıştır)	53
Şekil 5.11. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin a) Mg/SiO ₂ , b) Molar K ₂ O/Na ₂ O karşı ASI, c) Molar CaO/(FeO ^T +MgO+TiO ₂) karşı Molar CaO+FeO ^T +MgO+TiO ₂ , d) Molar K ₂ O/Na ₂ O karşı CaO/(MgO+FeO ^T), e) Molar (Na ₂ O+K ₂ O)/(FeO ^T +MgO+TiO ₂) karşı (Na ₂ O+K ₂ O+FeO ^T +MgO+TiO ₂), f) (Na ₂ O+K ₂ O)/(FeO ^T +MgO+TiO ₂) karşı Na ₂ O+K ₂ O+FeO ^T +MgO+TiO ₂ diyagramı. MB: Metabazaltlar, MA: Metaandezitler, MGW: Metagrovaklar, MP: Metapelitler, AMP: Amfibolitler (Patino Douce 1998'den değiştirilerek alınmıştır)	54
Şekil 5.12. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin amfibollerinin bileşimi ve basınç aralığı	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerin modal analiz sonuçları.....	19
Çizelge 4.2. I- ve S-tipi granitlerin genel özellikleri (Chappel ve White 1974'den değiştirilerek alınmıştır) Bolu Masifi metagranit ile plütönik kayaçların karşılaştırılması	27
Çizelge 4.3. Bolu Masifi'ne ait ana (%) ve iz (ppm) element analizleri.....	27
Çizelge 4.4. Kapıkaya Plütönu'na ait metagranitik kayaçların nadir toprak (ppm) element analizleri.....	29
Çizelge 4.5. İncelenen kayaçlarda amfibol-plajiyoklas parametrelerine göre hesaplanan sıcaklık ve basınç değerleri	43
Çizelge 4.4. Amfibollerden elde edilen sıcaklık, hidrometre ve oksijen fugasitesi değerleri.....	44
Çizelge 4.5. Biyotitlerden hesaplanan sıcaklık, basınç ve oksijen fugasitesi değerleri.....	435

1. GİRİŞ

Batı Karadeniz Bölgesi, Türkiye'nin kuzaybatısında yer alan ana tektonik birliklerinden birini oluşturmaktadır (Şekil 1.1). Bu birlik Ketin (1966) tarafından Karadeniz Dağ Kuşağı'nı kapsayacak şekilde "Pontidler" olarak tanımlanmış olup daha sonra yapılan çalışmalarda da Batı Karadeniz Bölgesi için, jeolojik özelliklerine göre Batı Pontid (Şengör ve Yılmaz 1981; Tüysüz 1990), İstanbul Napı (Şengör vd. 1984), İstanbul Zonu (Okay 1989), İstanbul-Zonguldak Zonu gibi adlandırmalar kullanılmıştır (M.T.A. 2004; Rasimgil 2018; Rasimgil vd. 2023). Bu tez kapsamında çalışma alanı (Şekil 1.1) İstanbul-Zonguldak Zonu olarak kullanılacaktır. İstanbul-Zonguldak Zonu batıda İstanbul birliği, doğuda Zonguldak birliği olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.1) (Şengör vd 1984; Okay 1989). Bu tanım, Paleozoyik yaşlı olan istiflerin Geç Silüriyen-Erken Devoniyen geçişinde gösterdikleri stratigrafik ve sedimantolojik farklılığa dayandırılır (Göncüoğlu, 1997, 2004; 2008b). İki birlik arasındaki tektonik dokanak ise, Çamdağ'daki Güney Çamdağ Fayı olduğu ifade edilmiştir (Göncüoğlu, 1997, 2010; Gedik ve Önalın, 2001) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Türkiye ve yakın çevresinin kenet kuşaklarını ve tektonik birlikleri ile birlikte İstanbul-Zonguldak Zonu'nun konumunu gösterir jeolojik haritası (Moix vd. 2008'den değiştirilerek alınmıştır)

Batı Karadeniz Bölgesi (Şekil 1.1); çalışma alanının kuzeybatısında Çatalca yöresi, kuzeydoğusunda Azdavay beldesinin doğusuna kadar uzanan, güneyinde ise, İç Pontid Süturu (Şengör vd. 1981) ya da farklı adlandırma ile Armutlu-Eskipazar Zonu (Yiğitbaş vd. 1999), Kuzey Anadolu Fayı ile sınırlanmaktadır ve çalışma alanının temelinde Paleozoyik yaşlı çökel topluluk bulunmaktadır. Güney Çamdağ-Gebze-İstanbul'un İstanbul birliğini; Kuzey Çamdağ-Düzce-Bolu-Karadere'nin Zonguldak birliğini temsil ettiği belirtilir (Göncüoğlu 1997, 2000a, b; Bozkaya vd. 2008; 2009).

İstanbul Zonu (Şekil 1.1); batıdaki Istranca Zonu ile dokanağı, Orta Eosen çökelleri ile örtülü olması nedeniyle takibi sınırlı kalmış olup bu zonun Orta Pontidler ile olan doğu sınırı ise, Araç-Daday Makaslama Zonu olarak adlandırılmaktadır (Yılmaz vd. 1997). Tüysüz vd. (1999) tarafından yapılan bu çalışmada, makaslama zonu, Paleozik İç Pontid Süturunu temsil ettiğini ileri sürmüşlerdir. İstanbul Zonu'ndaki Paleozik yaşlı istifinin üzerinde geliştiği Bolu Masifi'nde, Düzce ilinin kuzeydoğusunda (Aydın vd. 1987), ve Araç ilçesinin batısında yer alan Karadere'de (Arpat vd. 1978; Dean vd. 1997) yüzey vermektedir.

İstanbul Zonu (Şekil 1.1); yeşilimsi gri renkli şeyl-çamurtaşı ve kumtaşı-kiltaşı araldanmasından oluşan türbiditik istif-Kocatöngel Formasyonu (Gedik vd. 2005), derin göl ortamında (Özgül 2012) ya da kapanan bir deniz havzası ortamında (Gedik vd. 2005) Erken Ordovisiyen döneminde çökelmiştir (Bozkaya vd. 2012a) ve İstanbul Birliğinin görünen en yaşlı istifidir. Türbiditik karakterli istifin üstüne uyumlu olarak yeşilimsi gri renkli kumtaşı-silttaşı ve kırmızı şeyl-çamurtaşı araldanması ile kumtaşı-çamurtaşı ve konglomera araldanmasından oluşan kalınlığı (K) > 3000 m, Alt Ordovisiyen yaşlı karasal kırıntılılar-Kurtköy Formasyonu gelmektedir (Gedik vd. 2005; Bozkaya vd. 2012b). Karasal kırıntılılar uyumlu olarak kuvarsit ve kuvars-arenitlerden yapıları Alt-Orta Ordovisiyen yaşlı olan plaj çökellerine-Aydos Formasyonuna geçmektedir (Önalın 1981; Gedik vd. 2005; Bozkaya vd. 2012b). Plaj çökelleri ile uyumlu olarak kumtaşı ara-katkılı olan yeşilimsi gri renkli kumtaşı-şeyl araldanmasından yapıları lagünel istif-Gözdağ Formasyonuna geçmektedir, ve bu istif ise Geç Orta Ordovisiyen-Erken Silüriyen döneminde çökelmiştir (Önalın 1981; Gedik vd. 2005; Özgül 2012). Ayrıca, lagün ortamında çökelen bu kayaçların Ordovisiyen-Silüriyen geçişini temsil eden tabakalarında felsik lavlar yer almaktadır (Bozkaya vd. 2012b). Resifal kireçtaşları ile dolomitlerden oluşan Üst Silüriyen yaşlı Dolayoba Formasyonu lagünel istifi uyumlu olarak üzerlemektedir (Önalın 1981; Gedik vd. 2005; Özgül 2012). Laminallı kireçtaşı-şeyl araldanması ile başlayan üste doğru yumrulu kireçtaşlarına geçen Üst Silüriyen-Alt Devoniyen yaşlı İstinye Formasyonu resifal istifi uyumlu olarak örtmektedir (Önalın 1981; Gedik vd. 2005; Özgül, 2012; Bozkaya vd. 2012b; Lom vd. 2016) ve İstanbul Birliği içinde Silüriyen-Devoniyen geçişinin uyumlu olduğu kayıtlarda (Ustaömer vd. 2011; Lom vd. 2016) olmasına karşın; Geç Silüriyen dönemine ait olan Pridoli katının eksik olduğu bilinmektedir (Yalçın ve Yılmaz, 2010). İstinye Formasyonu üzerinde ise uyumlu olarak kireçtaşı ve şeyl araldanmalı Alt Devoniyen yaşlı Kartal Formasyonu bulunmaktadır (Önalın 1981; Gedik vd. 2005). Büyükada Formasyonu ise, uyumlu olarak fosfat nodüllü radyolaryalı çört ve şeyl araldanmasından Alt Karbonifer yaşlı Baltalimanı Formasyonuna geçmektedir (Önalın 1981; Gedik vd. 2005; Bozkaya vd. 2012b). Baltalimanı Formasyonu uyumlu olarak Vizeyen yaşlı kireçtaşı olan ara-katkılı kumtaşı ve şeyl araldanmasından yapıları türbiditik istife-Trakya Formasyonuna geçmektedir (Gedik vd. 2005; Okay vd. 2011; Bozkaya vd. 2012a,b). İstanbul Birliğinde Aydos Formasyonu ile Büyükada Formasyonunun Bostancı üyesine kadar olan kaya gruplarının kıta sahanlığında ve Büyükada-

Baltalimanı Formasyonunun kıta yamacında çökeldiği belirtilmektedir. (Yalçın ve Yılmaz 2010).

Zonguldak Zonu (Şekil 1.1); Karadere-Zirze ve Araç kesitinde Proterozoyik yaşlı paragnaysların üstünde İnebolu-Kastamonu $K > 3000$ m olan karasal kırıntılıların son 340 m'lik seviyesini temsil eden yeşilimsi gri kumtaşı ve silttaşı ile kumtaşı ar dalanmasından yapı lı olan karasal kırıntılılar-Kurtköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Dean vd. 2000). 340 m kalınlığı olan bu karasal kırıntılıların yaşı ise Alt Ordovisiyen olarak belirlenmiştir (Dean vd. 2000; Göncüoğlu vd. 2014). Karasal kırıntılıların stratigrafik olarak altında, kuzey Çamdağ'da ve Düzce'de silttaşı şeyl ar dalanmasından oluşan türbiditik istif- Kocatöngel formasyonu olarak tanımlanmıştır (Gedik ve Önal an 2001). Karasal kırıntılılar, Alt Orta Ordovisiyen yaşı lı olan plaj çökellerine-Ay dos Formasyonuna geçmektedir (Dean vd. 2000; Bozkaya vd. 2012a). Plaj çökelleri üstünde, lagün ortamlarında çökelen kumtaşı ara katkı lı şeyl kireçtaşı, kumtaş larından oluşan Üst Ordovisiyen-Üst Silüriyen yaşı lı Fındıklı Formasyonu uyumlu olarak yer alır (Dean vd. 2000; Bozkaya vd. 2012a). Fındıklı Formasyonu üzerine de uyumsuzluk (Hamdi 1975) ile, konglomera ve kumtaşı-silttaşı ar dalanmasından oluşan Alt Devoniyen yaşı lı olan karasal kırıntılılar-Bıçk ı Formasyonu ile sığ denizel karbonatlı lar Ferizli Formasyonu gelir (Bozkaya vd. 2012a). Bu karbonat platformunu uyumlu olarak karasal istifi temsil eden birimlerden yapı lı Karbonifer yaşı lı Madendere Formasyonu üzerler (Bozkaya vd. 2012a). Sünnice Dağı, Dirgine Devrek Mengen Yellice arası olası Prekambriyen yaşı lıdır. Paleozoyik yaşı lı birimlerin görüldüğü alanlar ise İstanbul, , Bolu, Zonguldak, Çamdağ ve Karadere civarındadır (Ustaömer vd. 2005).

1.1. Çalışmanın Kapsam ve Amacı

Türkiye'nin kuzeybatısında magmatik yay kuşağında yer alan ve çalışma sahasının yoğun magmatizmaya lı ilişkili olması bu çalışma adına en uygun yerlerden biridir. Çünkü bu bölgedeki granitik kayaç ların yaşı lı oluş ları, yer yer de iyi mostra vermeleri, örtüsüz ve az ayrılmış olmaları, topografyanın uygun olması, sahada yol ağının iyi kurulmuş olması ve gerek jeokimyasal amaç lı gerekse diğ er incelemeler için alınan örneklerin kolayca taşınabilir olması sahanın tercih edilmesinde etken olmuştur.

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında Bat ı Karadeniz Bölgesinde Bolu ilinin kuzey kuzeybatısında yer alan plütonik kayaç ların kökeni, oluş um ortam ı ve koş ulları ve jeodinamik evrimi hakkında bilgi verilmesi amaç lanmıştır. Bu çalış mada, mineral, tüm kayaç (ana, iz, nadir toprak element), radyojenik (Sr-Nd-Pb) jeokimyas ı ve radyojenik veriler ile (kökeni, magma oluş umu ve katıl aş ma süreçlerini) literatüre katkı sağ lanması amaç lanmıştır. Ayrıca İstanbul-Zonguldak Zonu iç erisindeki Bolu Masifi hakkında analiz verileri değ erlendirilerek ortam ın jeodinamiği hakkında bilgi elde edilmeye çalış ılacaktır. Çalış ma kapsamında, Bolu Masifi ve civarında yer alan metagranitik kayaç ların petrografisi, mineralojisi, tüm kayaç ve mineral kimyas ı ve izotop jeokimyas ı çalış maları yapı larak kayaç ların petrolojik, kökensel ve petrojenetik özellikleri değ erlendirilmiştir.

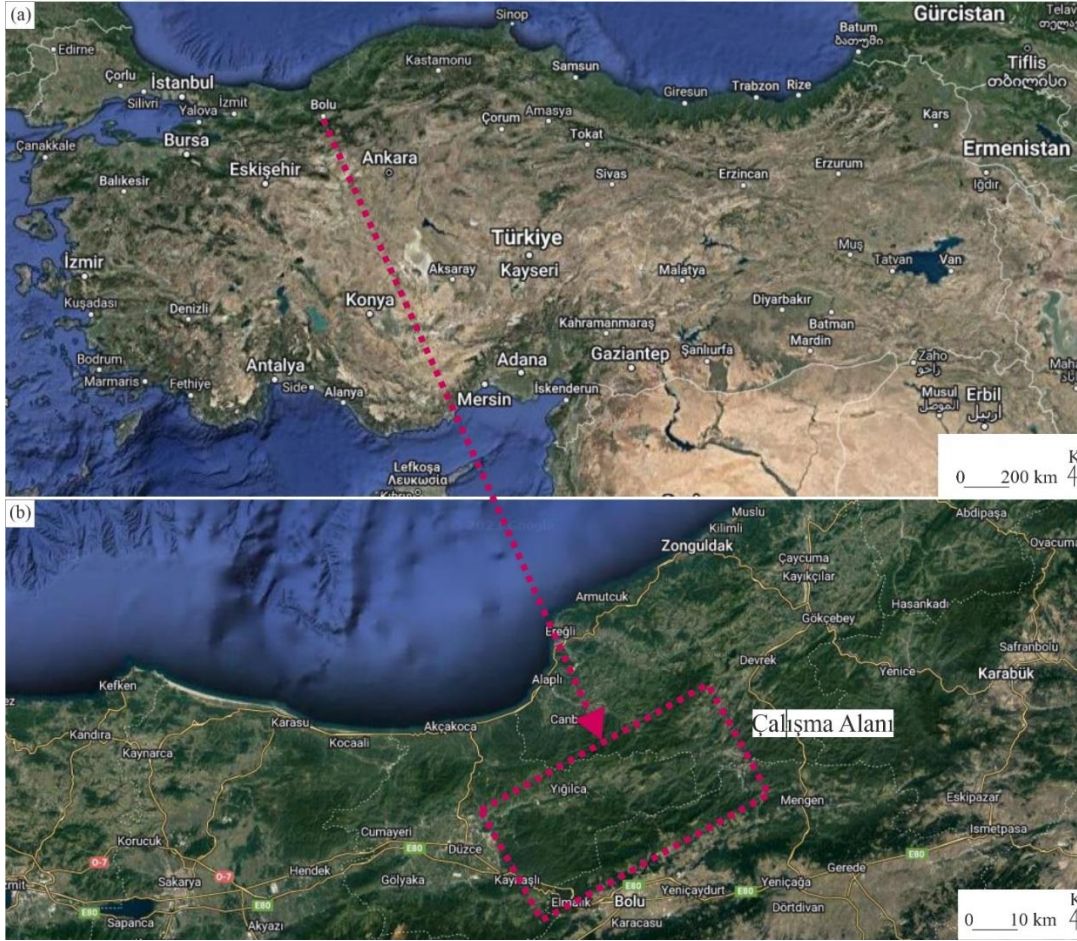
Bu çalış mada:

- ✓ Plütonik kayaç ların jeolojik evrimini etkileyen faktörler,

- ✓ Bu kayaçlara oluşumuna etki eden magmatik süreçlerin (kısmi ergime, kabuksal asimilasyon, magma mixing/mingling) etkileri,
- ✓ Kayaçları oluşturan kaynak kayaç(lar)ın kökenleri,
- ✓ Kayaçları oluşturan kaynak kayaç(lar)ın oluşum ortamları,
- ✓ Kayaçları oluşturan kaynak kayaç(lar)ın oluşum mekanizmaları.

1.2. İnceleme Alanı

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Bolu-G27-a1,a2,a3,a4,b1, F27-a2,b1,c3,c4, F28-d1,d2,d3,d4 paftaları içerisinde yer almaktadır. Yedigöller inceleme alanı 600 km²'lik geniş bir bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 1.2 a, b).



Şekil 1.2. a) Türkiye haritası, b) çalışma alanını gösterir yakınlaştırılmış uydu görüntüsü (Anonim 1)

2. KAYNAK TARAMASI

İstanbul-Zonguldak Zonu içinde yer alan Bolu Masifi'nin jeolojik süreçlerini konu alan ilk çalışma Blumenthal (1948) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu tez kapsamında incelenmiş çalışmaların geniş özeti aşağıda verilmiştir;

Aydın vd. (1987), tarafından 'Çamdağ (Sakarya) Sünnicedağ (Bolu Masifi) yöresinin jeolojisi' isimli çalışmada, Kaplancededağ ve Sünnicedağı'nda yüzeyleyen kayaçları metabazikler iki farklı çökme döneminde gerçekleştiği belirmişlerdir. Bu dönemin ilk çökelimlerin; Kambriyede başladığı ve Silüriyede regresyonla sona erdiği, tekrar Silüriyen'de transgresyonla başlayan ikinci dönem çökelmelerinin; Karbonifer sonunda regresyonla bitmiş olduğunu ifade etmişlerdir. Çamdağ alanında Devoniyen, transgresif olarak Ordovisiyen Alt Silüriyen birimlerini uyumsuzlukla örtmekte ve Prekambriyen yaşlı kayaçların, Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı birimlerin üzerine birincil stratigrafik dokanakla açısız uyumsuz olarak geldiğini söylemişlerdir. Zonguldak sahasında Devoniyen Karbonifer dokanağının geçişli olduğu belirmiş olup, karasal ve sığ denizel ortamlarda çökelmiş olan Permo-Triyas birimlerinin ise, kendinden yaşlı birimler üzerine açısız uyumsuz olarak geldikleri belirmişlerdir. Bolu Masifi'nde yüzeylenen metagranitik ve diyabazik kayaçların ise, Üst Jura'dan daha yaşlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ustaömer (1996), granodiyoritler ve bununla ilişkili yüksek dereceli metamorfik, metavolkanik ve sedimanter kayaçların yer aldığı 1/25.000 ölçekli Bolu G27 a1-a2-a3-a4 paftalarını kapsamaktadır. Çalışma alanının batısında yer alan Kaynaşlı Bölgesi için Tüllükiriş ve doğusunda yer alan Yedigöller Bölgesi için ise Kapıkaya Plütunu olmak üzere iki farklı plütun ile temsil ettiğini belirtmiştir.

Ustaömer ve Kipman (1998), Bolu Masifi'nde yer alan Paleozoyik yaşlı kayaçlar için üç farklı birim olarak yüzeylendiğini ifade etmişlerdir. Bunlar:

- 1) yüksek dereceli metamorfik kayaçlar (Sünnice grubu),
- 2) metagranitik kayaçlar ve
- 3) Çaşurtepe Formasyonunda granitoidlerin sıcak dokanaklar ile kestikleri bir volkanikler bulunmaktadır. Metagranitiklerin, Bolu Masifi'nde yer alan intrüzyonunun dar uzantıları ve Çaşurtepe Formasyonu ile birlikte KD-GB yönlü, KB'ya eğimli bir tektonikle yüzeylendiği ve metagranitikleri kesen bol oranda lamprofir daykların varlığından bahsetmektedir.

Ustaömer ve Rogers (1999), tarafından yapılan 'Batı Pontidler Tektonik Kuşağının Paleozoyik Kayaçları; Kuzey Türkiye' adlı çalışmada; Bolu Masifi'nde en alt birim olan, Alt Ordovisiyen yaşlı konglomera ve kumtaşlarından oluşan Işığandere Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu kıtasal kırıntılıların altında uyumsuzlukla üç farklı birim yüzeylendiği ve Bolu Masifi'ni oluşturduğundan söz edilmektedir. Bu üç farklı birim aşağıda verilmektedir (Ustaömer ve Rogers, 1999):

- (1) Sünnice Grubu olarak bilinen yüksek dereceli bir metamorfik birim,
- (2) Bolu Masifi (Bolu Granitoid Kompleksi olarak bilinen granitoid) sokulumları,
- (3) Çaşurtepe Formasyonu (yeşilşist metavolkanik istifi) şeklinde ifade etmişlerdir.

Yiğitbaş vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada; Türkiye'nin kuzeyindeki İstanbul-Zonguldak Zonu, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kayaçların, kıtasal ve okyanusal iç içe hareketleri sonucu oluşan tektonik bir parça olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar çalışma alanını da içeren bölgeyi, yaklaşık olarak doğu-batı yönelimli üç parçaya ayırt etmişlerdir: Batı Karadeniz Bölgesini temsil eden İstanbul-Zonguldak Tektonik Birliği; güney kıtasal parçası olarak kabul edilen Sakarya Zonu; ve iki zonun tektonik karışımı olarak görülen Armutlu ± Ovacık Zonu olarak ifade edilmiştir.

Gand vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul-Zonguldak Zonu 'nin Proterozoyik yaşlı temel kayaları ve Paleozoyik yaşlı sedimanter örtü istiflerinin üstünde diskordansla gelen karasal birimlerin kırıntılıların çökelme döneminin Triyas olmadığını; aksine Erken Permien dönemine kadar indiğini tespit etmişlerdir.

Elmas ve Yiğitbaş (2001; 2005), İstanbul-Zonguldak Zonu ile Sakarya Zonu'nun arasında olduğu ifade edilen İç Pontid Okyanusunun jeolojik süreç boyunca hiçbir zaman var olmadığını, İç Pontid Kenedi olarak yorumlanan Armutlu-Ovacık Zonu'nun Paleotetis okyanusuna ait ofiyolitler ya da İstanbul-Zonguldak Zonu ' nin temelinde bulunan Proterozoik yaşlı ofiyolitler olduğunu ifade etmişlerdir.

Chen vd. (2002), Karadere-Zirze-Araç kesitinde Proterozoyik yaşlı temel kayaçları kesen 568-590 My yaşlı (U-Pb zirkon) metagranitlerin varlığından bahsetmiştir.

Robertson ve Ustaömer (2004), Ustaömer ve Robertson (2005), Sakarya kıtasının Triyas'da Avrasya'dan riftleşmesi sonucunda, İç Pontid Okyanusunun Erken Jura'da açıldığını ve Geç Kretase döneminde oblik çarpışma sonucunda kapandığını söylemişlerdir.

Ustaömer vd. (2005), Bolu Masifi'nde, 576 My (U-Pb yaşı-Tüllükiriş graniti), 565 My yaşlı (U-Pb yaşı-Kapıkaya graniti) olan birbirinden farklı iki metagranitin olduğunu ifade edilerek bu metagranitlerin Kadomiyen yayı ile ilişkili olduğunu; ayrıca Çele Kompleksi ya da metaofiyolitini kesen 262 My yaşlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Yiğitbaş vd. (2004), İstanbul-Zonguldak Zonu'nda yer alan Bolu Masifi'nin; Prekambriyen yaşlı, dört farklı metamorfik topluluktan oluştuğunu belirtmişlerdir. Metamorfik topluluklar;

- Çele metaofiyoliti,
- Yellice metavolkanitleri,
- Demirci metamorfikleri ve
- Metagranit şeklindedir.

Bu birimlerin alan ilişkileri ve yapısal özellikleri Bolu Masifi, Almacık ve Armutlu bölgelerinden Çele metaofiyoliti ve ilgili volkaniklerin temsili jeokimyasal analizlerini değerlendirmişleridir (Yiğitbaş vd. 2004). Yellice metavolkanitlerin, hem karasal hem de okyanusal ada yayı ve ofiyolit üzerine kurulmuş bir yay gerisi havza olduğunu belirtmişlerdir (Yiğitbaş vd. 2004). Demirci metamorfikleri, metamorfik masiflerin tabanını oluşturan kıtasal parçaları temsil ettiğini ifade etmişlerdir (Yiğitbaş vd. 2004). Bu üç farklı metamorfik birim, birleşmelerinden sonra 570-590 My yaşındaki plütunu tarafından kesilmiş olup metamorfik birimler ve metagranit birimlerin tamamı kalın bir alt tabaka ile örtüldüğünü söylemişlerdir (Yiğitbaş vd. 2004).

Bozkurt vd. (2008), İstanbul-Zonguldak Zonu içerisinde yer alan Bolu Masifi düşük yapısal özelliklerle yüzeylenmektedir. Bolu Masifi ve çevresinde yer alan Çele Metaofiyoliti mafik ve yeşilist fasiyesli ultramafik kayaların, Yellice metavolkanitlerinin altında yer aldığını belirtmektedir.

Yiğitbaş vd. (2008), Bolu kuzeyinde İstanbul-Zonguldak Zonu'nda yüzeylenen Bolu Masifi'nin Demirci metamorfiklerinin amfibolitlerle ilişkili paragnays olduklarını gösteren bileşimlere sahip ve kıtasal bir yay kaynağından türetildiğini ifade etmişlerdir. Bu metamorfikler, Geç Neoproterozoyik metavolkanik kayaların yerleşmesinden önce bir nap yığınının amfibolit fasiyesi metamorfizmasına maruz kalmış kayaları temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Bozkaya vd. (2012a, b), tarafından yapılan çalışmada; İstanbul-Zonguldak Zonu, İstanbul ve Zonguldak Birliği olarak bölünen Paleozoyik istiflerine ait mineral indeks ayrımını yapmışlardır.

Bozkurt vd. (2013a, b) yaptığı çalışmalarda, Bolu Masifi'nin temel kayaları olarak bilinen Yellice metavolkaniklerinin Rodinya kökenli ve İstanbul-Zonguldak Zonu 'nun Avalonya mikrokıta kökenli olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca Proterozoyik yaşlı Çele Metaofiyolitinin Geç Permiyen döneminde Sakarya Zonu'nun alt kabuğunda oluştuğunu, Almacık ve Çele Komplekslerinin eşlenik olduğunu ifade etmişlerdir.

Bozkaya vd. (2014) yaptığı çalışmada, İstanbul birliğinin düşük metamorfizma izleri taşıdığını; ancak Zonguldak birliğinin bu dönemde tektonotermal izlerinden yoksun olduğunu ifade etmişlerdir.

Okay ve Nikishin (2015), Karadeniz bölgesi üzerinde yaptığı çalışmalarında, Gondvana'dan türetilen kıta blokları ve Lavrasya'ya eklenmiş okyanusal yitim komplekslerinden oluştuğunu belirtmektedir. Lavrasya 'nın kıta kabuğu, Arkean-Paleoproterozoik bir kalkandan oluşurken, Gondvana'dan türetilen bloklar Neoproterozoik bir temel ile karakterize edilmiş olup Erken Paleozoyik'te, Karadeniz bölgesi ve Avaloniya- Lavrasya çarpışmasının bir parçası olarak Lavrasya'nın karıştı Silüriyen'den Karbonifer'e kadar, Lavrasya'nın güney kenarı pasif bir sınır olduğunu ifade etmişlerdir (Okay ve Nikishin 2015).

Ustaömer vd. (2016) yaptığı çalışmasında, U-Pb yaş ile Lu-Hf izotop verileriyle, Permiyen-Triyas Karakaya Kompleksi'ni temsil eden arkoz bileşimli kumtaşlarından analiz değerleri elde etmiştir. Ağırlıklı olarak Karbonifer, Triyas ve Devoniyen zirkon yaş grupları ve bunların çoğu Geç Triyas (Karniyen-Noriyen) maksimum çökme yaşına sahip olduğunu,

Karbonifer ve Devoniyen yaşlı zirkon yaşları, genç mantodan türetilmiş magmanın Paleoproterozoyik Hf model yaşının eski kabuğuyla karışmasıyla bir kıta kenarı yayı ortamındaki oluşumla tutarlı olarak ara $\epsilon\text{Hf}(t)$ değerleri (-11 ila +2) sergilemiştir (Ustaömer vd. 2016). Buna karşılık, Triyas yaşlı zirkon analiz sonuçları, genç mantodan türetilmiş eriyiklerin eski Neoproterozoik Hf model yaşı ile karışmasıyla tutarlı olarak daha yüksek $\epsilon\text{Hf}(t)$ değerleri (-5 ila +4), Karakaya Kompleksi'nin kumtaşları için potansiyel magmatik kaynak kayaçlar, kuzeyde Sakarya kıta temelinin Devoniyen ve Karbonifer granitik kayaçlarında bulunmaktadır (Ustaömer vd. 2016).

Akdoğan vd. (2017) yaptığı çalışmalarında, Karadeniz'in Erken Kretase döneminde riftleşmeye başlaması sonucunda Zonguldak havzasının yay ardı ortamında oluştuğu ve Ulus havzasının yayönü ortamında açıldığını ifade etmiştir. Ayrıca, Ulus havzasındaki türbiditik istiflerinin kaynak alanının Ukrayna kalkanı-Sarmatya olduğunu belirtmiştir. Ulus havzasının kaynak alanının Ukrayna kalkanı olması nedeni ile, Erken Kretase öncesi Karadeniz'in açık olamayacağını, ve bu dönem öncesinde ise İstanbul-Zonguldak Zonu ile Ukrayna kalkanının bitişik olduğu ifade edilmiştir (Akdoğan vd. 2016).

Şen (2019), İstanbul-Zonguldak Birliğe kesen dayklar ve silleri jeokimyasal ve U-Pb (zirkon) yaş sonuçlarına göre 4 sisteme ayırmıştır. Bu dayk ve sillerin, tek bir evrede oluşmadığını, Ediyakaran'dan İpresiyen'e kadar çok aşamalı tektonomagmatik olaylar ile İstanbul-Zonguldak Zonu içerisindeki varlığı ortaya koymuştur.

Özbey vd. (2021), çalışma alanınıda kapsayan İstanbul-Zonguldak Zonu'nda yer alan Armutlu Yarımadası'ndaki Kadomiyen temelini eşdeğeri olan metagabro ve metagranitler için yeni tüm kayaç ve mineral kimyası ve zirkon U-Pb yaş verilerini sunmuşlardır. İstanbul Bölgesi jeokimyasal olarak, metagabrolar Nb, Zr, Th ve Hf'de aşırı bir azalma gösterir; düşük TiO_2 içeriği; ve genellikle yay önü ayarlarıyla ilişkilendirilen, yüksek Mg# değerleri, metagranitler kalkalkalen ve yüksek K-kalkalkalen karakterlidir (Özbey vd. 2021). Elde edilen zirkon U-Pb kristalleşme yaşları metagabrolar için 564 ± 4.4 My ve metagranitler için 561 ± 9.5 My'dir. Jeokimyasal olarak zıt fakat hemen hemen aynı magmatik ürünler için tektonik ortamı yorumlamışlardır (Özbey vd. 2021).

Şentürk (2022), Bolu-Mengen havzası, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan en önemli kömür içeren Eosen havzalarından biri olduğunu ve bölgede doğu-batı doğrultusunda uzanan Kuzey Anadolu Fay Zonu'na ait bileşenler bu havzanın güneyinden geçtiğini ifade etmiştir. Çalışma alanınıda kapsayan bölge, temeli oluşturan ana kaya birimleri Erken Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve Bolu Masifi'ne ait granitler, karbonat kayaçları ve Jura'dan Geç Kretase'ye kadar değişen türbiditler olduğunu ifade etmiştir.

Şen (2023) yaptığı çalışmasında, İstanbul-Zonguldak Zonu'nda (KB Türkiye) Ordovisiyen magmatik kristalleşme yaşlarına ait biyotitli dasit ve piroksenli bazaltik andezit ve dasit dayklarını çalışmıştır. Dayklar 484.1 ± 2.5 ve 444.4 ± 3.7 ile 443.0 ± 2.1 My olarak hesaplanmış ve Ordovisiyen yaşlı olduğunu ifade etmiştir. Kalkalkalen sergiler ve belirgin negatif Nb anomalilerinin varlığı yitimle ilişkilidir. Biyotitli dayklar bir yay ortamında sokulurken, piroksenli dayklar ise senkronlu bir ortamda yerleşmişlerdir. Daha önceki çalışmalarda rift ilişkili sokulumlar olarak bilinen yüksek dereceli metamorfik kayaçları kesen Orta-Geç Ordovisiyen granitleri (yaklaşık 464-446 My), kalk-alkali ve yitim bileşenleri içerir ve volkanik bir yay içinde oluştuğunu ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

İstanbul-Zonguldak Zonu içerisinde yer alan inceleme alanı üzerinde yapılacak olan çalışmalar derlenip planlanmıştır. Bu çalışmalar özellikle, arazinin keşif amaçlı önceden gidip araştırılması, belirlenen sistemde örneklerin alınması, jeolojik harita ile kolon kesitin arazi ortamında incelenmesi ve gerekli notların alınması, arazi yapısının incelenmesi ve ön değerlendirilmesi şeklinde planlanmıştır.

Jeolojik haritaları temin edilmiş ve bu haritalar üzerinde arazide yapılacak olan çalışmalar ve sistematik örnek alımları harita üzerine işaretlenerek arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazide yapılacak olan ön değerlendirme için gerekli çalışmalar tamamlanmıştır ve arazi çalışmaları başlamıştır. Bu doğrultuda, arazide jeolojik harita yardımı ile sistematik bir şekilde arazi yapılarının tüm özellikleri not edilmiş ve örnek alımları gerçekleştirilmiştir. Gerekli görülen yerde düzeltme ve düzenleme yoluna gidilmiştir. Bununla birlikte arazide hem makro hem de mikro ölçekte ön izleme ve notlar alınmıştır.

Yapılan tüm bu çalışmalar sonrasında, eldeki veriler toplanarak ve değerlendirilerek bir sonraki aşama için hazır hale getirilmiştir.

3.1. Petrografik Çalışmalar

Önerilen proje kapsamında alınan örneğin petrografik amaçlı ince kesitleri yaptırılmıştır. İnce kesit petrografik incelemeleri bölüm laboratuvarındaki polarizan mikroskoplarda gerçekleştirilmiştir. İnce kesitler MTA Genel Müdürlüğü (Ankara) laboratuvarında ücret karşılığında hizmet alımı şeklinde yaptırılmıştır.

Mineralojik-petrografik çalışmalar, Ankara'da bulunan MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi Mineraloji-Petrografi Laboratuvarlarında yürütülmüş ve örneklerin ince kesitleri hazırlanmıştır. İnce kesitin hazırlanması aşamasında, numuneler kayaç kesme makinesi ile kesilmiş, aşındırma diski ve kurutma fırını (etüv) kullanılarak hazır hale getirilmiş ve polarizan mikroskop altında incelemelerde bulunulmuştur.

3.2. Mineral Kimyası

Mineral kimyası analizi ile metagranitik kayaçları oluşturan minerallerin kimyasal içerikleri, bu veriler ile minerallerin adlandırılması, minerallerin kimyasal bileşimlerindeki farklılıklar ve bunlara bağlı olarak oluşumları süresince meydana gelmiş süreçler, oluşum ortamı ve koşulları yorumlanmıştır. Mineral kimyası analizleri Ankara Üniversitesi laboratuvarlarında elektron mikrop (EPMA) cihazları ile yaptırılmıştır.

Elektron mikrop (EPMA) analizleri Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (YEBİM) bulunan ve 5 farklı dalga boyuna sahip JEOL JXA-8230 cihazında parlatılmış ince kesitler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama 20 kV hızlanma voltajı, 10 nA ışın akımı ve 2 µm nokta büyüklükte yapılmıştır. Na, Mg, Al, Si, Fe, Mn, K, Ca ve Ti için ölçüm limitleri % ağırlık 0.04 oksitin altındadır. Ölçüm ve kalibrasyon için doğal oksit ve mineral referans malzemeleri kullanılmıştır. Matrix etkisi JEOL tarafından sağlanan ZAF yazılımı kullanılmak suretiyle düzeltilmiştir. YEBİM bünyesindeki Quorum Q150T ES

cihazından karbon kaplamasında yararlanılmıştır.

Ayrıca İstanbul-Zonguldak Zonu'nda içerisindeki plütonlar hakkında analiz verileri değerlendirilerek ortamın jeodinamiği hakkında bilgi elde edilmeye çalışılmıştır.

3.3. Jeokimya Analizi

3.3.1. Major oksitlerin jeokimyasal analizi

Major oksitlerin kimyasal analizleri, projenin yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında gerekli olan bir çalışmadır. Elde edilecek veriler ile çalışma alanında bulunan metagranitlerin, major oksitlerin jeokimyasal özellikleri tespit edilerek kayaçların kimyasal özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışma Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) bulunan XRF cihazı kullanılarak yaptırılmıştır.

3.3.2. İz ve nadir toprak elementlerinin jeokimyasal analizleri

İz element ve REE (nadir toprak elementleri) kimyasal analizleri sonucunda elde edilecek veriler ile çalışma alanında bulunan intruzif kayaçların oluşumunda etkin olabilecek petrolojik süreçlerin tespit edilmesi amacıyla yaptırılmıştır. Bu çalışma, MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi Başkanlığı laboratuvarlarında (Ankara) bulunan ICP-MS cihazı kullanılarak yaptırılmıştır.

Yapılacak jeokimyasal analizler yardımı ile kayaç türleri, Bu kayaçların jeokimyasal genel karakterleri, oluşumunu etkileyen genel faktörler, petrolojik süreçler ve kökenine açıklık getirilmiştir.

Numunelerin hazırlanması aşamalarında,

- a) Örneklerin Kurutulması,
- b) Örneklerin kırılması,
- c) Örneklerin öğütülmesi

3.4. Radyojenik İzotop Analizleri

Kayaçları oluşturan magmanın kökenine ait ilksel izotop oranları ve magmanın gelişiminde etkin olabilecek faktörlerin belirlenmesi amacıyla, Sr, Nd ve Pb (tüm kayaç) izotop jeokimyası çalışmaları Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Ankara laboratuvarında yaptırılmıştır.

Stronsiyum ve Neodmiyum izotop jeokimyası deneyleri; ODTÜ Merkezi Laboratuvar (Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi, Radyojenik İzotop Laboratuvarı)'nda Köksal (2019)'da detayları ve koşulları verilen metodları baz alan laboratuvar içi deney talimatları uygulanarak yapılmıştır. Tartım, kimyasal çözme ve kromatografi işlemleri 100 temizlik standardında temiz laboratuvar koşullarında, ultrasaf su ve kimyasallar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Stronsiyum ve Neodmiyum analizleri için örneklerden yaklaşık 80'er miligram tartılarak PFA şişelere aktarılmış olup, 4 mL % 52 HF içinde 4 gün süreyle $>100^{\circ}\text{C}$ 'lik ısıtıcı tabla üzerinde bekletilerek tamamen çözöltölme yoluna gidilmiştir. Isıtıcı tabla üzerinde buharlaşmaya yakın kurutulan örnekler 4 mL 6 N HCl içinde yine bir gün süreyle ısıtıcı tabla üzerinde ayrıştırılmıştır. Çözölen örnekler tekrar ısıtıcı table üzerinde buharlaştırmaya yakın kurutulularak 1 mL 2.5 N HCl içine alınmış ve kromatografiye hazırlanmıştır. Stronsiyum elementi, 2.5 N HCl asitle 2 mL hacimde Bio Rad AG50 W-X8, 100-200 mesh reçine kullanılarak hazırlanmıştır. Stronsiyumun toplanmasından sonra 6 N HCl ile nadir toprak elementleri fraksiyonu toplanmış olup, Stronsiyum, tek Re-filamenti üzerine Ta-aktivatör ve 0.005 N H_3PO_4 kullanılarak yüklenmiş ve statik modda ölçümleri gerçekleştirilmiştir. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ verileri $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 'e normalize edilmiş olup, ölçümler sırasında Sr NBS 987 standardı 0.710265 ± 10 (n=5) olarak yapılmıştır. Neodmiyum elementi, diğer nadir toprak elementlerinden 0.22 N HCl asit kullanılarak, teflon kolonlarda, 2 ml hacimde HDEHP (bis-ethyexyl fosfat) kaplı biobeads -Bio Rad- reçineden geçirilerek ayrılmış ve ayrılan Neodmiyum, 0.005 N H_3PO_4 ile birlikte Re-filamente yüklenmiş, çift filament tekniği kullanılarak statik modda yapılmıştır. Analizler sırasında, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ verileri $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ ile normalize edilmiştir. Nd LaJolla standardı 0.511849 ± 5 (n=2) olarak ölçülmüştür. Stronsiyum ve neodmiyum izotop oranı ölçüm sonuçları üzerinde herhangi bir bias düzeltmesi yapılmamıştır. İzotop oranı ölçümleri, Triton Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi (Thermo-Fisher) kullanılarak çoklu-toplama ile yapılmıştır. Analitik belirsizlikler 2 sigma düzeyindedir. Kurşun izotop jeokimyası deneyleri; ODTÜ Merkezi Laboratuvar (Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi, Radyojenik İzotop Laboratuvarı)'nda Köksal vd. (2017)'nde detayları ve koşulları verilen metodları baz alan laboratuvar içi deney talimatları uygulanarak yapılmıştır. Tartım, kimyasal çözme ve kromatografi işlemleri 100 temizlik standardında temiz laboratuvar koşullarında, ultrasaf su ve kimyasallar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kurşun izotop oranı analizleri için herbir numuneden 80 mg tartılıp sırasıyla 7 M HNO_3 ve 6 N HCl asitleri kullanılarak ısıtıcı tabla üzerinde çözölmüş ve numuneler 1 mL 2 N HCl eklenerek kromatografiye hazır hale getirilmiştir. Kurşun elementi, teflon kolonlarda Bio-Rad AG1-X8 anyon değişim reçinesi ile HCl ve HBr asitleri kullanılarak ayrılmış, tek filamente silika jel ve 0.005 N H_3PO_4 eklenerek yüklenmiştir. Ölçümler $1150 - 1350^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında statik modda yapılmıştır. Ölçüm sonuçları üzerinde NIST SRM981 standardında yapılan ölçümler (n=3) ve referans değerler dikkate alınarak gerekli bias düzeltmesi yapılmıştır. İzotop oranı ölçümleri, Triton Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi (Thermo-Fisher) kullanılarak çoklu-toplama ile yapılmıştır. Analitik belirsizlikler 2 sigma düzeyindedir.

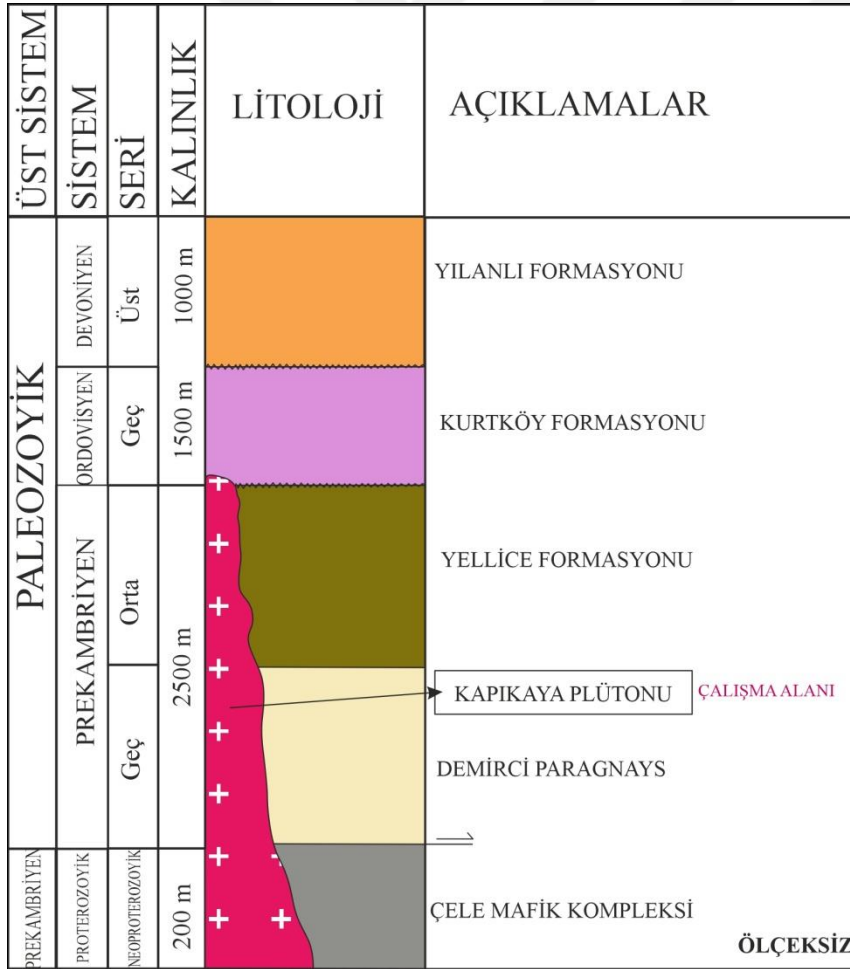
3.5. Jeokronolojik Çalışmalar

Bu çalışma ile metagranitik kayaçların kristallen yaşları tespit edilmiştir. Çalışma alanından alınan kayaçlar İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) laboratuvarında parlatılmış ince kesitler hazırlanmış ve hazırlanan parlak ince kesitlerden İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Jeokronoloji laboratuvarında yaşlandırma analizleri gerçekleştirilmiştir.

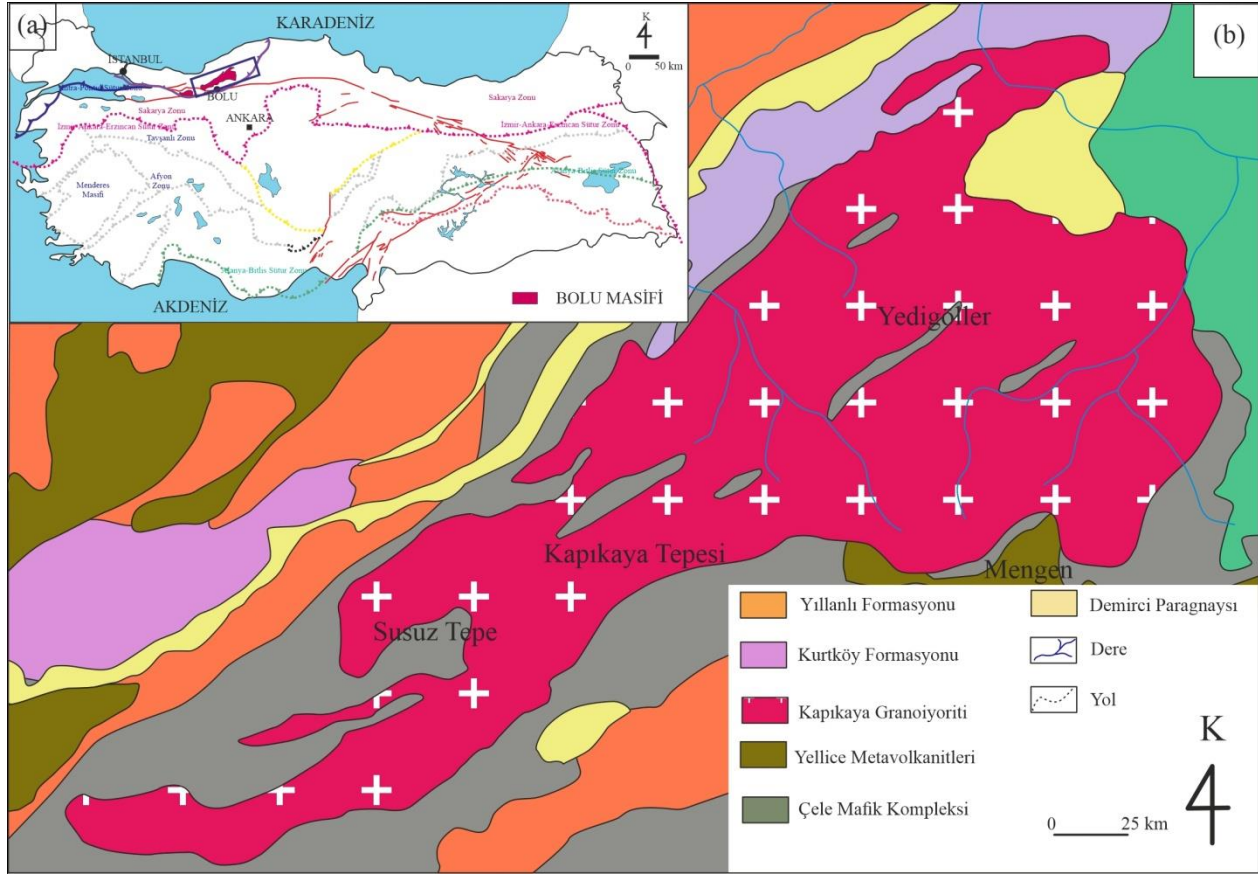
4. BULGULAR

4.1. Bölgesel ve Yerel Jeoloji

Yiğitbaş ve Elmas (1997) tarafından yapılan çalışmada, Bolu Masifi İstanbul istifinin temelini oluşturan metamorfik kayalar içinde birbirinden farklı 6 birim ayırt edilerek isimlendirilmiş ve 1/25.000 ölçekte haritalama yapmışlardır. Daha sonra bu birimler çalışma alanı dışındaki Almacıkdağı ve Armutlu yarımadasındaki metamorfik birimlerle denştirilerek devamlılığı ve korelasyonu sağlanmıştır (Yiğitbaş vd. 1999). Bu birimlerin isimlendirilmesinde çeşitli değişiklikler ve düzeltmelere gidilerek geliştirmişlerdir. Araçkaradere ve Bolu Masifi'nde yer alan metamorfik temel kayalarını kesen metagranitlerden elde edilen çok önemli radyometrik yaşları (Chen vd. 2000; Ustaömer vd. 2005) İstanbul Paleozoyik'inin temelini oluşturan bu metamorfik kayaların Prekambriyen yaşını kesinleştirmiştir. Böylece Batı Karadeniz bölgesinde İstanbul Paleozoyik istifi altında 1-Demirci Formasyonu, 2-Çele Metaofiyoliti, 3-Yellice Formasyonu, 4-Metagranodiyorit, 5-Kurköy Formasyonu, 6-Yılanlı Formasyonu olmak üzere 6 litostratigrafi birimi ayırt edilmiştir (Yiğitbaş vd. 1999) (Şekil 4.1; 4.2).



Şekil 4.1. Çalışma alanına ait stratigrafik kolon kesit (MTA 2002'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 4.2. a) Bolu Masifi'nin literatür çalışmasıyla oluşturulan jeolojik haritası, **b)** Kapıkaya Plütünü'ne ait jeolojik harita (MTA 2002'den değiştirilerek alınmıştır)

4.1.1. Demirci Formasyonu

İlk kez Yiğitbaş ve Elmas (1997) tarafından Demirci Formasyonu olarak tanımlanan birim, İstanbul-Zonguldak Paleozoyik istifinin altında yüzeylenen metamorfik temel içerisinde ayrı bir litostratigrafi birimi olarak tanımlanmıştır. Birimin yüzeylendiği yer, Bolu'nun kuzeyindeki Sünnice Dağı'nın güney kesimlerinde, metamorfik temel kayalarının derin aşındırıldığı bölgelerde yüzeyleme verdiğini ifade etmişlerdir. Demirci Formasyonu, başlıca kuvars, plajiyoklas, biyotit ve amfibol içeren bantlı gnays, migmatitik gnayslarla temsil edilmiş olup, ofiyolitik litolojiler içermemesi, tersine kuvarsa zengin, daha açık renkli, muhtemelen tümüyle granitik kayalardan oluşması nedeniyle üzerinde yer alan Çele Metaofiyoliti'nden ayrıldığını belirtmişlerdir. Birim genellikle sarımsı, kahverenkli, dağınık, çoğu zaman aşırı altere gnayslardan oluştuğu, çoğu zaman santimetreden-metreye kadar değişen kalınlığında kuvars-feldispatik bantlar içermiş olduğunu gözlemlemişlerdir. Plajiyoklas, biyotit, kuvars, amfibol, K-feldispat, klorit, zirkon mineral parajenezini gösteren birim amfibolit fasiyesinde metamorfizma ve deformasyona uğramış olduğunu ifade etmişlerdir. Bolu Masifi'nde yer alan Demirci Formasyonu'nunda içerisinde yer aldığı metamorfik temel kayaları topluca Kurtköy Formasyonu (Erken Ordovisiyen) tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmüş olup, birimin Erken

Ordovisiyen öncesi yaşta olduğu düşünüldüğünü belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, doğuda Araç-Karadere bölgesinde metamorfik kayalar kesen metagranitlerden elde edilen 570-590 My yaşları (Chen vd. 2002) dikkate alınırsa Demirci Formasyonu'nun bundan daha yaşlı, yani Prekambriyen yaşta olduğu anlaşılmaktadır. Batı Karadeniz Bölgesinde Paleozoyik istif altında yüzeylenen metamorfik temeli konu alan çalışmalarda farklı isimlendirilen birimler Demirci Formasyonu'nun tanımlanmasında benzerlik gösterdiğini ancak bu kayaların neredeyse tamamına yakın bir kısmının, Bolu Masifi, Almacık ve Armutlu alanlarında metamorfik bir ofiyolit topluluğuna ait olduğunun anlaşılmasından sonra Demirci Formasyonu eş değeri olabilecek mostra alanı oldukça sınırlıdır (Yiğitbaş ve Elmas 1997; Yiğitbaş vd. 1999, 2004). Burada tanımlanan nitelikleriyle Demirci Formasyonu, Sünnice Dağı'ndaki metamorfik istifinin temelinde yüzeylenmiş, Paleozoyik istif altında yüzeylenen Çele Metaofiyoliti ve Demirci Formasyonu Yiğitbaş ve Elmas (1997)'ye kadar birlikte haritalanarak değişik adlarla tanımlanmıştır. Bunlardan Sünnice grubu (Biberoğlu 1984; Özaltın 1984, Ustaömer 1996) ve Karadere metamorfikleri (Cerit 1990) Demirci Formasyonu ve Çele Metaofiyoliti birbirinden ayırt edilmeden tanımlanmış isimlerdir.

4.1.2. Çele Metaofiyoliti

Yiğitbaş ve Elmas (1997) tarafından ilk kez İstanbul-Paleozoyik istifinin altından yüzeylenen metamorfik temel içerisinde ayrı bir litostratigrafi birim olarak tanımlanmıştır. Çele Metaofiyoliti, Sünnice Dağı'ndaki Çele zirvesi ve Çelegölcük civarında yüzeylenmesiyle adlandırılmıştır (Yiğitbaş ve Elmas 1997; Yiğitbaş vd. 1999). Bu birimin tipik kesiti Bolu-Yedigöller-Yığılca ve Almacık Dağı güney kesiminde yer almaktadır (Yiğitbaş ve Elmas, 1997); Bu birim, Demirci Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Yiğitbaş ve Elmas 1997). Armutlu ve Almacık alanlarında ise tabanı görülmemektedir (Yiğitbaş ve Elmas 1997). Çele Metaofiyoliti üzerinde Yellice Formasyonu bulunmaktadır (Yiğitbaş vd. 2002). Bu iki birim arasındaki metamorfizma ve yapı farkı dokanağın bir diskordans olabileceğini işaret etmektedir (Yiğitbaş ve Elmas 1997). Birincil dokanağa ait özellikler çoğunlukla daha sonraki tektonizmanın etkisi ile silinmiştir (Yiğitbaş ve Elmas 1997). Çele Metaofiyolitinin Sünnice, Almacık ve Armutlu masiflerinde kalın yüzleklere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Birimin tabanda ultramafik kayalardan, tavanda epiofiyolitik lav-çökel dizilerine kadar hemen hemen eksiksiz ofiyolit dizisinin tüm litolojilerini içermektedir (Yiğitbaş ve Elmas 1999). Bu litolojiler her ne kadar oluşumundan sonraki tektonizma ve metamorfizma nedeniyle birincil niteliklerini kaybetmiş olsada, her bir dilimin kendi iç yapısı ve bu dilimler arasındaki ilişkiler dikkate alınarak, eksiksiz ve düzenli bir ofiyolit parçalarını oluşturduğu ifade edilmektedir (Yiğitbaş ve Elmas 1997; Yiğitbaş vd. 1999).

Çele Metaofiyoliti, İstanbul-Zonguldak Paleozoyik istifinin tabanında yer alan metamorfik temel kayaların önemli bir kısmını oluşturduğunu ifade etmişlerdir (Yiğitbaş ve Elmas 1999). Batıda Armutlu yarımadasından başlayarak doğuya doğru Almacık Dağı ve Sünnice Dağı boyunca oldukça geniş mostralara verir (Yiğitbaş vd. 1999; 2004).

4.1.3. Yellice Formasyonu

Cerit (1990) tarafından ilk kez Bolu kuzeyinde, Sünnice dağındaki Yellice sırtı ve dolayındaki yüzleklere Yellice Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Cerit (1990), Yellice Formasyonu, yüzeyletiği alanlarda Metagranit, Çele Metaofiyoliti ve Paleozoyik yaşlı birimlerle dokanak olduğunu ifade etmiştir. Sünnice, Almacık ve Armutlu alanlarında birim, tabanın görüldüğü hemen her yerde Çele Metaofiyoliti üzerinde yer aldığını belirtmiştir. Yazar, iki birim arasında metamorfizma ve yapı farkı dokanağın bir uyumsuzluk olabileceğini işaret etmiştir. Birincil dokanak nitelikleri çoğunlukla daha sonraki tektonizmanın etkisiyle silinmiş olduğunu belirtmiştir (Cerit 1990). Yellice Formasyonu, Sünnice masifinde pek çok yerlerde metagranitleri kestiğini, metagranit ile olan birincil dokanak ilişkisinin en iyi görüldüğü yer Bolu-Yedigöller civarında gözlemlendiğini ifade etmiştir. İstifin daha çok alt kesimlerinde yastık yapılı altere bazaltik lavlar, çört-radyolarit ara katmanları görülürken, üst kesimlerde ise, dasit, riyolit ve bunlara ait piroklastikler yüzeylemiş olup, albit, epidot, klorit, aktinolit mineralleri içeren yeşilist fasiyes mineral parajenezine sahip olduğunu belirtmiştir. (Yiğitbaş vd. 1999). Sünnice, Almacık ve Armutlu bölgelerinde Yellice Formasyonu Kurtköy Formasyonu (Erken Ordovisiyen) tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmekte olduğundan dolayı birimin Erken Ordovisiyen öncesi yaşta olduğu görülmektedir (Yiğitbaş vd. 1999). Bunun yanı sıra, Sünnice Dağı'nda ve daha doğuda Araç-Karadere alanında birimi kesen metagranitlerden elde edilen 570-590 My yaşları (Chen vd. 2000; Ustaömer vd. 2005) dikkate alınarak Yellice Formasyonu'nun metagranitlerden daha yaşlı, yani Prekambriyen yaşlı olduğu anlaşılmaktadır (Chen vd. 2000; Ustaömer vd. 2005). Yellice Formasyonu, Batı Karadeniz Bölgesinde oldukça yağın görülen birimdir. Armutlu yarımadasından başlayarak Almacık Dağı, Çamdağ ve Sünnice Dağı boyunca Paleozoyik örtünün altında yüzeylemektedir (Yiğitbaş ve Elmas 1997).

4.1.4. Kapıkaya plutonu

Birimi ilk kez Aydın vd. (1987) tarafından Sünnice Dağı'ndaki mostralarda, Dirgine Granitoid'i olarak adlandırmışlardır. Bu birimin Araç-Karadere ve Sünnice Dağı'ndaki çalışmalarda Prekambriyen yaşlı olduğu ifade edilmektedir (Chen vd. 2000; Ustaömer vd. 2005).

Sünnice Dağı'ndaki (Bolu Masifi) metagranitler Kurtköy Formasyonu (Erken Ordovisiyen) tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmesinden dolayı bu birimin Erken Ordovisiyen öncesi yaşta olduğu ifade edilmektedir (Ustaömer vd. 2005). Birim Aydın vd. (1987) tarafından Sünnice Dağı'ndaki (Bolu Masifi) Dirgine Köyü'nden adlanmış ancak Batı Karadeniz'deki daha genç birim granitler benzeştirerek Karbonifer sonu ile Geç Jura arası bir yaş verilmiştir. Cerit (1990) tarafından birime aynı adı verilerek Erken Paleozoyik (Ordovisiyen yaşlı önerilmiştir.

Erendil vd. (1991) ise, Bolu Masifi'nde Çele Metaofiyoliti, Yellice Formasyonu ve metagranitleri topluca Bolu metagraniti olarak adlandırmışlardır. Ustaömer (1996) ise birimi Bolu Metagranit Kompleksi olarak tanımlamış ve Erken Ordovisiyen'den daha yaşlı olduğunu belirtmiştir. Son olarak Ustaömer vd. (2005) Bolu Masifi ve Chen vd. (2000) Araç-Karadere biriminden 570-590 My arasında radyometrik yaşlar elde etmişlerdir. Bolu Masifi'nde tipik mostra veren bu birimin yaşı araştırmacıların farklı yaş tayini verileri ile değişkenlik gösterebilir bu çalışmada güncel veriler kullanılarak yeniden değerlendirilecektir.

4.1.5. Kurtköy Formasyon

Önal (1981) tanınlanan Kurtköy Formasyonu, genellikle mor ve gri renkli çeşitli çakıllı konglomera, pembe renkli arkozik arenit ve feldispatik litarenit ve şeyller, gri renk subarkozlardan oluştuğunu ifade etmiştir. Bu formasyonun alt bölümünde çakıllı ve iri taneli

kumtaşları içerisinde çamurtaşları görülmüş olup, tabakalanma yanal yönde devamlı olmadığını belirtmiştir. Bolu kuzey alanında birimin yayılımının faylarla sınırlı olduğu gözlenmiştir.

Birimde kalın tabakalı ve masif kesimler Çamdağ ve Yılıca dolaylarında İstanbul'daki tip kesite göre daha belirgindir (Önalın 1981). Aydın vd. (1987) ve Gedik ve Önalın (2001) Çamdağ alanında Aydos Formasyonu olarak tanımlanan 1000-1500 m kalınlığındaki akarsu çökellerinin Kurtköy Formasyonu'nun üst bölümü olduğunu belirtmekte ve o alanda söz konusu çökellerinin Kurtköy Formasyonu içinde haritalamıştır. Kurtköy ve Aydos Formasyonlarının ikisinde karasal oldukarı belirtmişlerdir (Aydın vd. 1987; Gedik ve Önalın 2001).

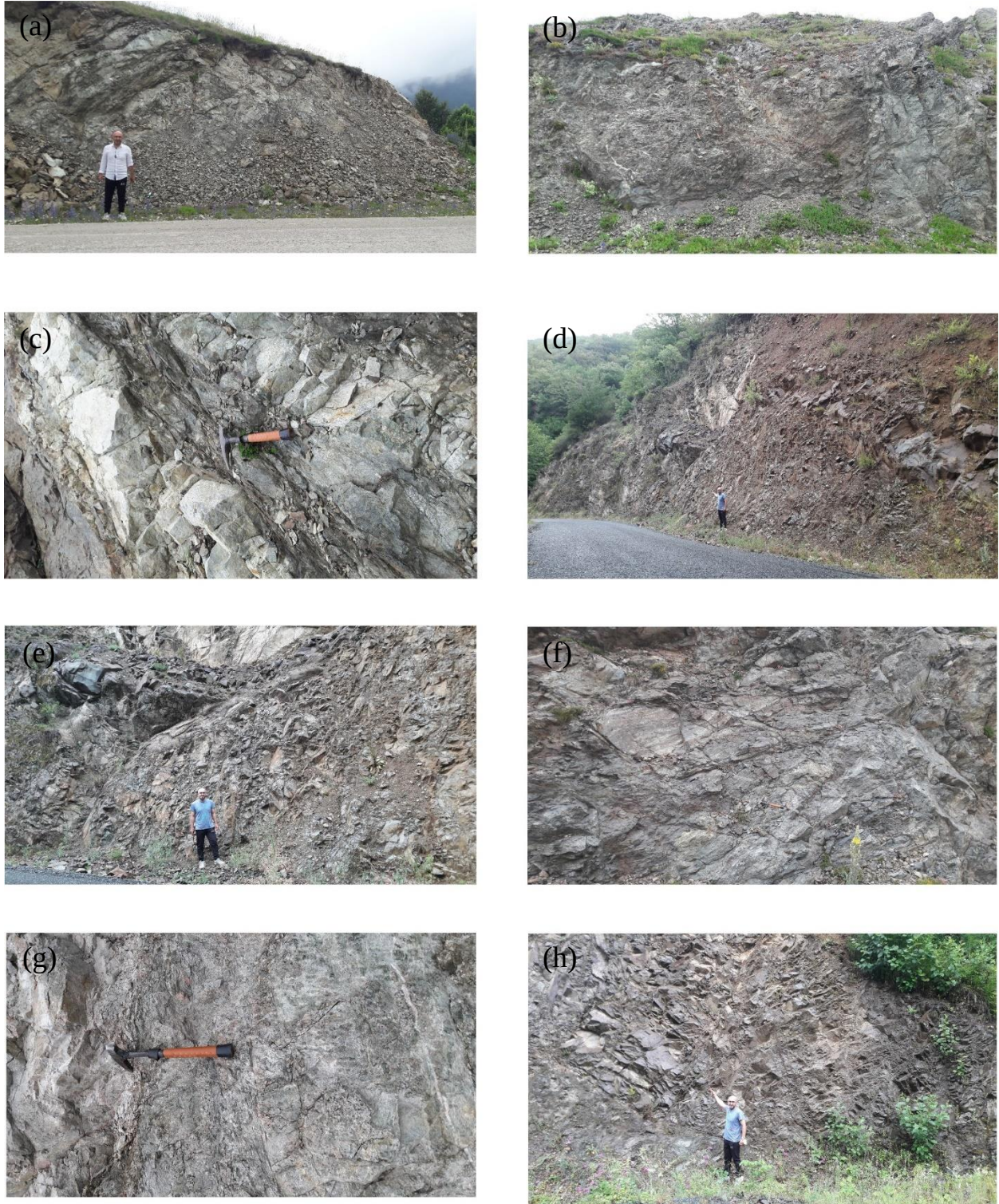
4.1.6. Yılanlı Formasyonu

Gedik ve Önalın (2001), Yılanlı Formasyonu'nun Çamdağ'daki Paleozoyik yaşlı bir birim ve alttaki Ferizli Formasyonu ile geçişli olduğunu belirtmektedirler.

Aydın vd. (2001)'ne göre, Yılanlı Formasyonu, Bolu'nun kuzeyinde yer Kartal Formasyonu (Fındıklı Formasyonu eş değeri) ile geçişli olduğunu söylemiştir. Yılanlı Formasyonu, alttaki karbonat birim ile üstteki Alacaağzı Formasyonu ile geçişlidir (Aydın vd. 2001). Altındaki birim, yer yer şeyl ve şeyl yumrulu kireçtaşı ile ardalanmalı geçiş oluşturmaktadır (Aydın vd. 2001). Formasyondan üstlere doğru ilerledikçe düzenli, açık gri renklerde, ince orta taneli ve kalın tabakalı karbonatlarla temsil ettiğini ifade etmiştir (Aydın vd. 2001).

4.2. Arazi Çalışmaları

Bolu Masifi'nde yer alan Kapıkaya Plütonu'nu oluşturan kayaçlar kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı, birbirinden farklı doku ve yapı sunan ve birbirlerini keserek farklı sokulumlar gösteren kütlelerden oluşmaktadır. Bu tez kapsamında, çalışma alanı içerisinde yer alan metamorfik temel kayaçları içerisinde, onlar ile birlikte gözlenen ayrı sokulum kayaçları olarak değerlendirilip incelenmiştir. İnceleme alanı yoğun ormanlıklı bir arazi olup; bu nedenle kayaçlarda günlenmeye (weathering) rastlanılmıştır. Kayaçlar genel olarak orta-iri taneli olup, grimsi, pembemsi ve yer yer de kahverenkli. Altere yüzeylerde ise, alterasyona bağlı olarak sarımsı kahverengi ve bazı yerlerde de gri renkler gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kayaçlar içerisinde yer alan koyu renkli minerallerde (biyotit), metamorfizmaya maruz kaldığını gösteren, yönlenmelere rastgelinmiştir. Dolayısıyla kayaçlar bu bölümden sonra meta- özelliklerinden dolayı adlandırılmaları buna göre yapılacaktır.



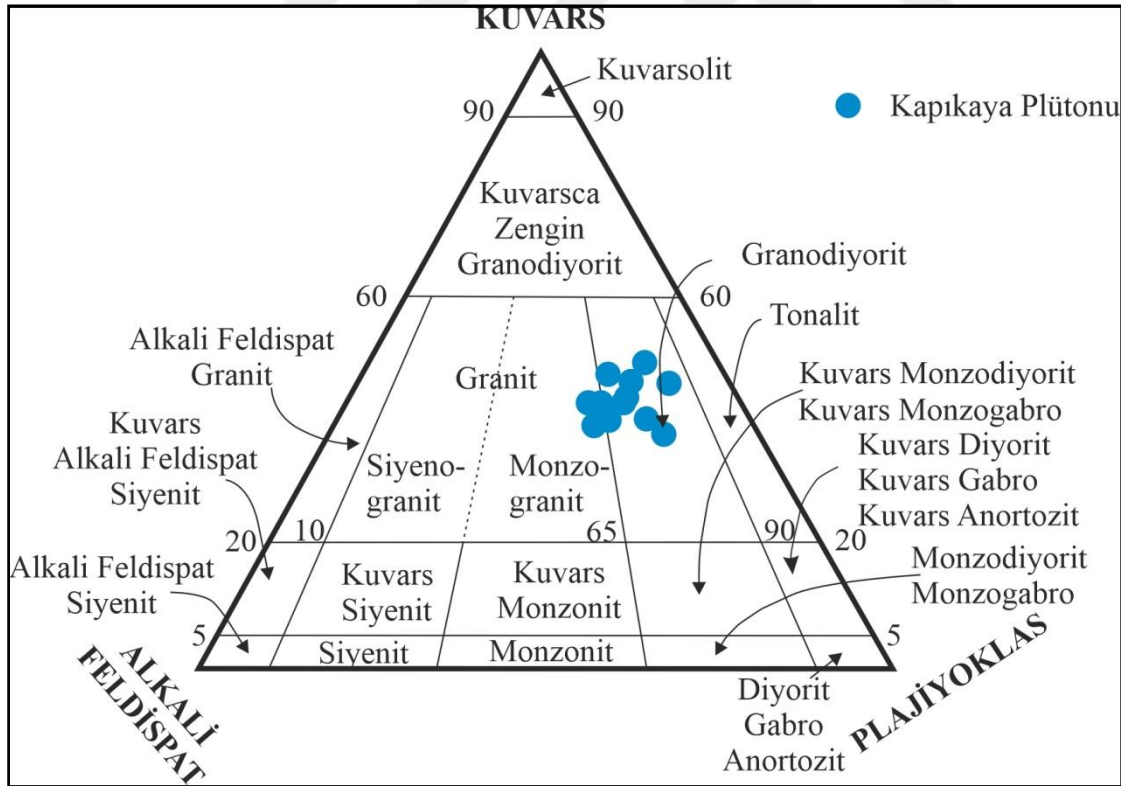
Şekil 4.3. a)-h) Kapıkaya Plütünü'ne ait kayaçların genel arazi görünümü

4.3. Mineralojik ve Petrografik Özellikler

Bolu Masifi'nde yer alan Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçlar, mikroskop altında, orta iri taneli kuvars, K-feldispat, plajiyoklas, daha az oranda amfibol, biyotit ve opak mineraller içermektedir. Bu kayaçlar alınan 15 (on beş) adet örneğin modal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerin modal analiz sonuçları

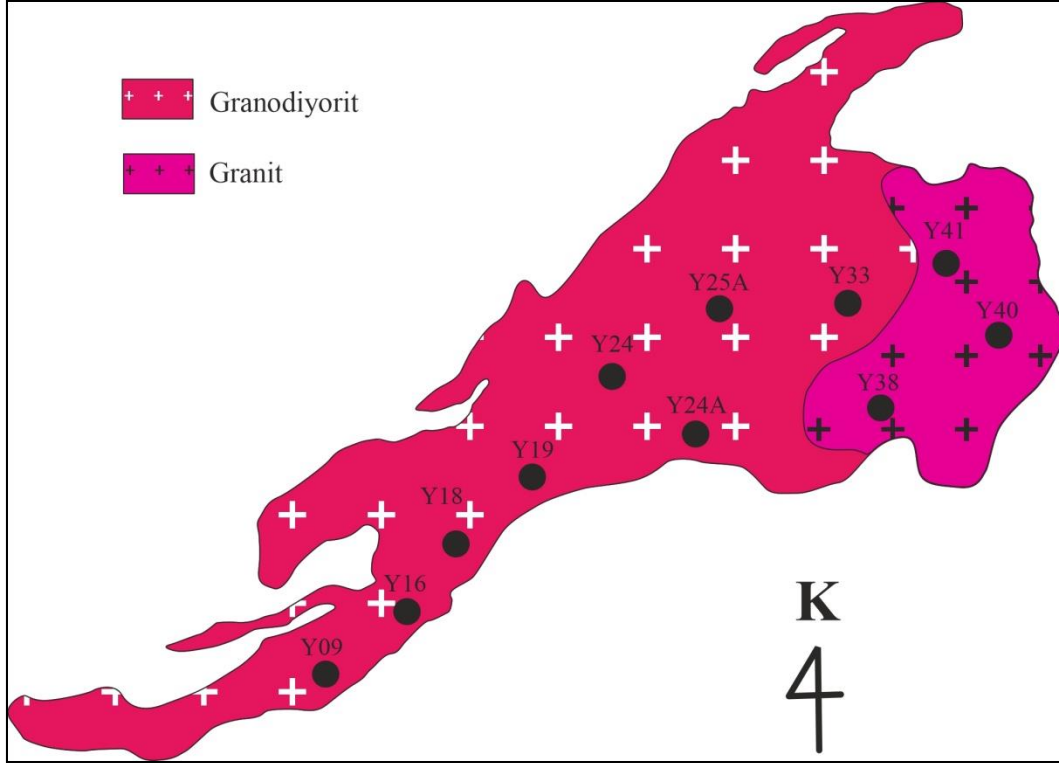
Kayaç türü	Plajiyoklas	Kuvars	K-Feldispat	Amfibol	Biyotit	Opak mineraller
Granodiyorit						
minimum	60.50	20.20	3.30	5.50	1.60	2.90
maksimum	65.90	25.90	5.20	15.30	2.30	3.20
ortalama	63.20	23.05	4.25	10.40	1.95	3.05
Granit						
minimum	25.40	29.70	23.60	2.35	3.10	1.10
maksimum	40.10	38.90	33.20	8.70	7.40	3.20
ortalama	32.75	34.30	28.40	5.53	5.25	2.15



Şekil 4.4. Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerin modal analiz değerlerinin Kuvars- Alkali Feldispat-Plajiyoklas üçgen (Streckeisen 1976) diyagramındaki sınıflaması

Kapıkaya plütonik kayaç örnekleri KAP diyagramında (Streckeisen 1976) (Şekil 4.4)

granodiyoritik ve granitik alanlarda yer almakta olup; bu örneklerle ait mineralojik bileşim dağılımı Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere granodiyoritik kayalar plütonun büyük bir bölümünü oluşturmakta ve granitik kayalar ise plütonun kuzeydoğu bölümünde yer almaktadır.



Şekil 4.5. Kapıkaya Plütonu'na ait modal analizleri yapılan kayaç örneklerinin plütondaki konumları ve çizilen zonlanma haritası (MTA 2002'den değiştirilerek alınmıştır)(ölçeksiz)

4.3.1. Granodiyorit

Granodiyoritler genellikle grimsi, sarımsı-kahverengimsi ve yer yer yeşilimsi renklerdedirler.

Doku: Kayaçlar makroskobik olarak incelendiğinde feldispat, kuvars ve koyu renkli ve ince-orta taneli ve porfirik dokuludur. Biyotit minerallerinde yönelmeler gözlenmiştir.

Plajiyoklas: %60-65 arasında ve genellikle zonlu bir dokuya sahiptir. Polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklaslar genellikle özşekilli-yarı özşekilli ve iri kristaller halinde bulunmaktadır.

Kuvars: Yaklaşık olarak %20-25 arasında yer almaktadır. Bununla birlikte kristaller özşekilsiz taneler şeklindedir. Genellikle küçük kristaller şeklinde de bulunabilmektedirler.

K-feldispat: Diğer minerallerin arasını dolduran K-feldispatlar, özşekilsiz olarak gözlemlenmektedir. Kayaçta %3-6 arasında değişen orandadır.

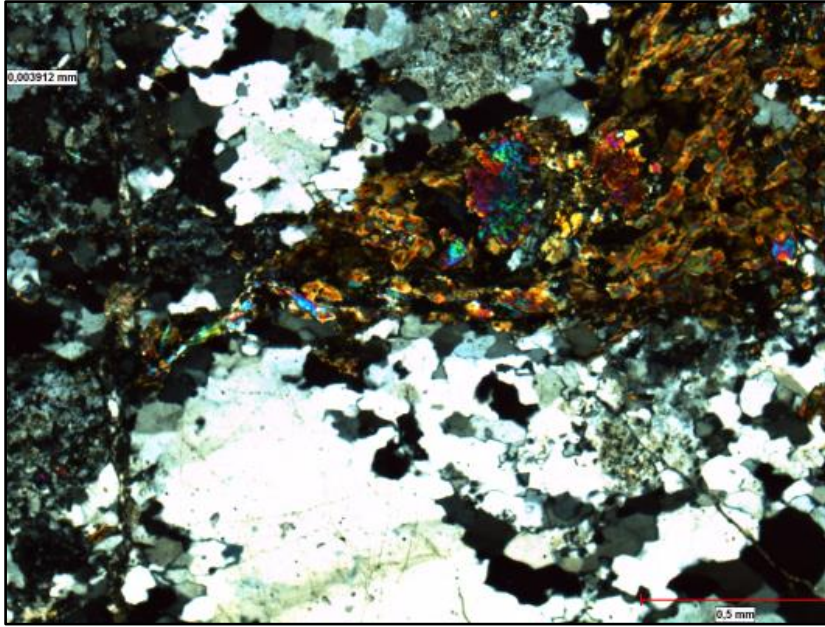
Amfibol: Yaklaşık %5-15 arasında değişen oranlara sahip amfiboller, biyotite göre daha fazla bulunmaktadır.

Biyotit: Modal analizlere göre, yaklaşık % 2-3 arasında değişen oranlarda bulunmaktadır. Granodiyoritler içerisinde bulunan biyotitler genellikle prizmatik bir şekle ve tek yönde bir dilinime sahiptir. göstermektedir.

Tali mineral: Opak, zirkon, apatit ve titanit mineralleri bulunmaktadır. Opak mineraller, ~ % 3 civarında; özşekilsiz ve irili-ufaklı taneler halindedir. Zirkon, apatit ve titanit özşekilli-yarı özşekilli olarak ve yer yer diğer minerallerin içerisinde kapanımlar halinde gözlemlenmektedirler.

Ayrışma Mineralleri: Yaygın olarak görülen ayrışma mineralleri kalsit, klorit ve serizittir.

Kayaç adı: Granodiyorit



Şekil 4.6. Kapıkaya Plütönu granodiyorite ait ince-orta taneli doku

4.3.2. Granit

Bu kayaçlar sarımsı-kahverengimsi, grimsi ve yer yer yeşilimsi renklindedirler.

Doku: Kayaçlar makroskobik olarak incelendiğinde feldispat, kuvars ve koyu renkli minerellere sahip ve kayaçlarda ince-orta taneli ve porfirik dokuludur. Koyu renkli minerallerde yönlenmelere rastgelinmiştir.

Plajiyoklas: Yer yer zonlu doku gösteren plajiyoklaslar , garnitler içerisinde %20-40 arasında bulunmaktadır. Bu minerallerde polisentetik ikizlenme ve özşekilli-yarı özşekilli bir görünüm göstermektedirler.

Kuvars: Granitler içerisinde yaklaşık %30-40 arasında değişen oranlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte kuvarslar özşekilsiz bir görünüme sahiptir.

K-feldispat: Kuvars minerali ile diğer minerallerin oluşturduğu boşlukları doldururlar. Granit içerisinde özşekilsiz olarak gözlemlenen bu mineraller yaklaşık %25-40 oranında bulunurlar.

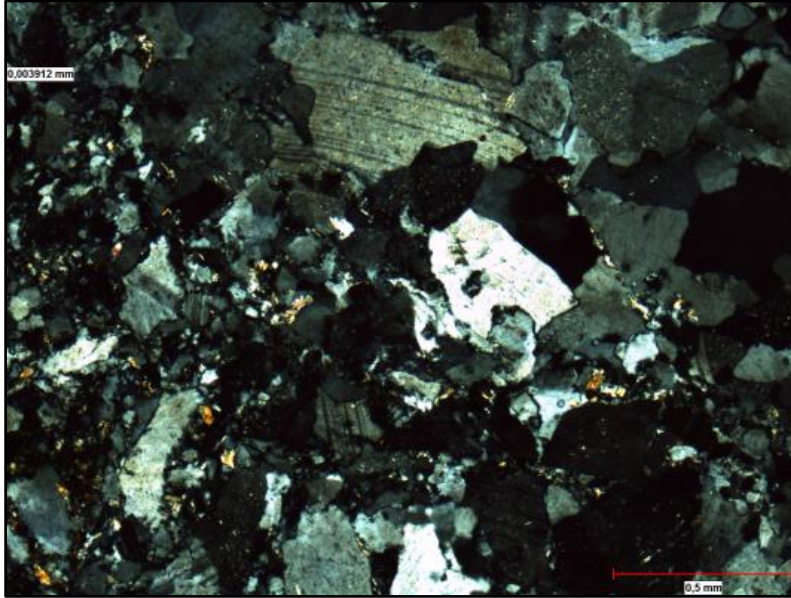
Biyotit: Yaklaşık %5 civarında yer almakta olup; levhamsı, tek yönde dilinimlidir.

Amfibol: Granitler içinde biyotite oranla daha fazla oranda bulunduğu gözlemlenmiştir. Granitler içerisinde yaklaşık % 2-9 oranında bulunana amfiboller genellikle özşekilsiz ve dilinimsizdirler.

Aksesorik mineraller: Zirkon, titanit, apatit ve opak minerallerdir. Opak mineraller %1-3 arasında, genellikle özşekilsizdir. Zirkon, apatit ve titanit genellikle özşekli kristaller halindedir.

Alterasyon Mineralleri: İkincil mineraller genellikle serizit, kalsit ve klorittir.

Kayaç adı: Granit

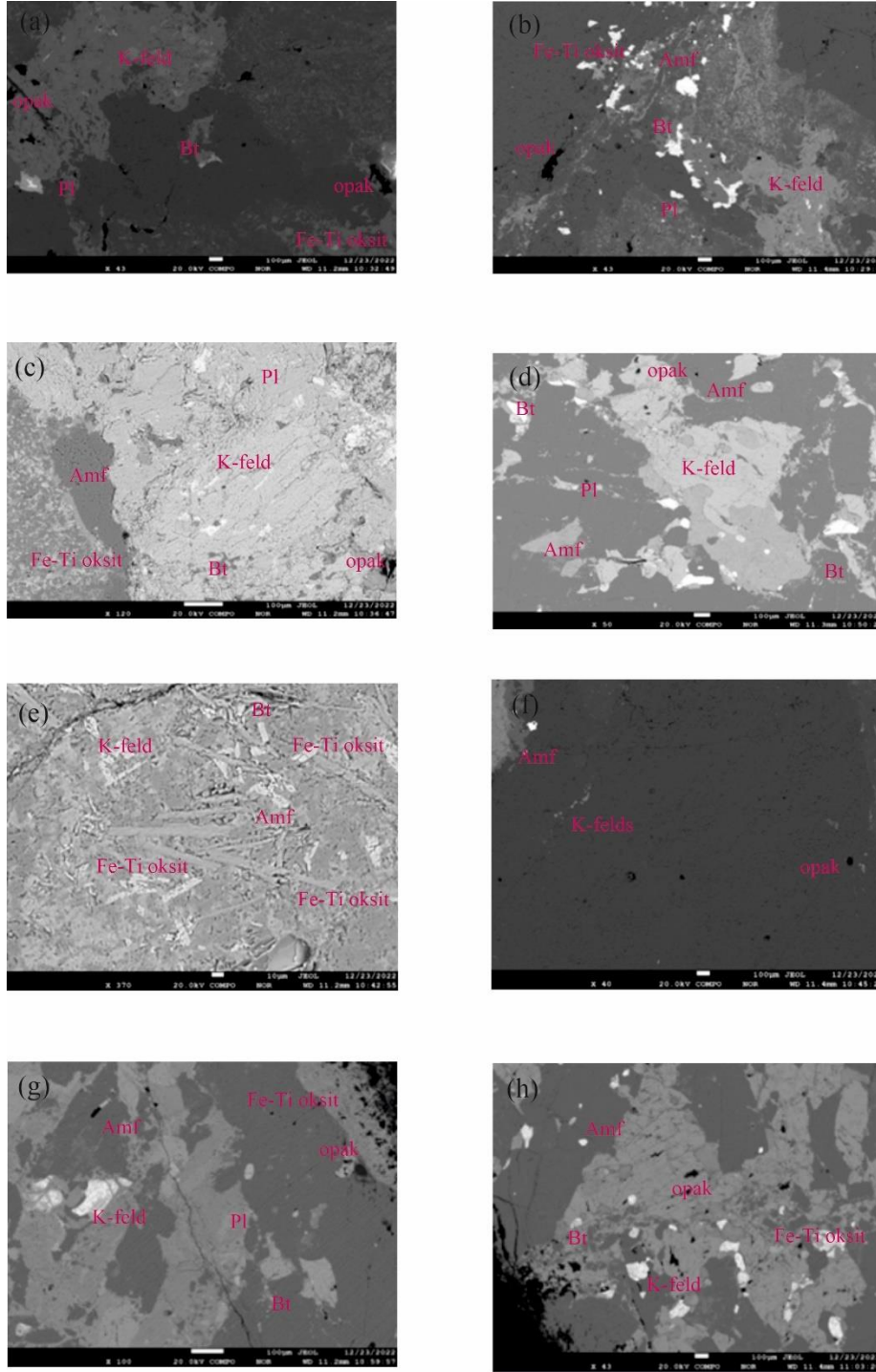


Şekil 4.7. Kapıkaya Plütönu granite ait ince-orta taneli doku

Bu bölümden sonra, arazi ve mikroskop çalışmaları sonucunda bu plutonda yer alan kayalardan granodiyorit metagranodiyorit olarak; granit ise metagranit olarak adlandırılacaktır.

4.4. Mineral Kimyası

Bolu Masifi'nde yer alan metagranodiyorit kayalardan 2 adet temsili örnek üzerinden 25 nokta analizi yapılmıştır (Şekil 4.8). Bu analizlerin tüm elektron mikroprob sonuçları EK-8.2, 8.3, 8.4'de verilmiştir.



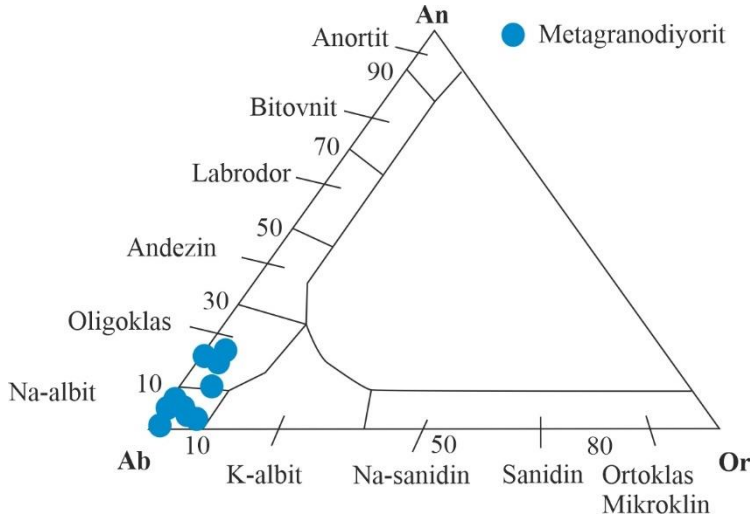
Şekil 4.8. Kapıkaya Plütunu'na ait 6 adet örnekler üzerinde çalışılan alanları gösteren geri-saçılmış elektron (BSE) görüntüleri (Alkali Feldispat: K-felds, Plajiyoklas: Pl, Biyotit: Bit, Amfibol: Amf)

4.4.1. Mineral Bileşimleri

4.4.1.1. Feldispat

Kapıkaya Plütunu'nda yer alan metagranodiyorit kayaçlarda yapılan mineral kimyası analizlerinde feldispat üzerinde 10 adet prob analizi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre (Şekil 4.9), Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçlarda 10 adet prob analizi sonuçları, K-feldispat albit-oligoklas (An_{18-25}) bileşimine sahiptirler. Feldispat minerallerine ait mineral kimyası analizleri Ek 8.2'de sunulmuştur.

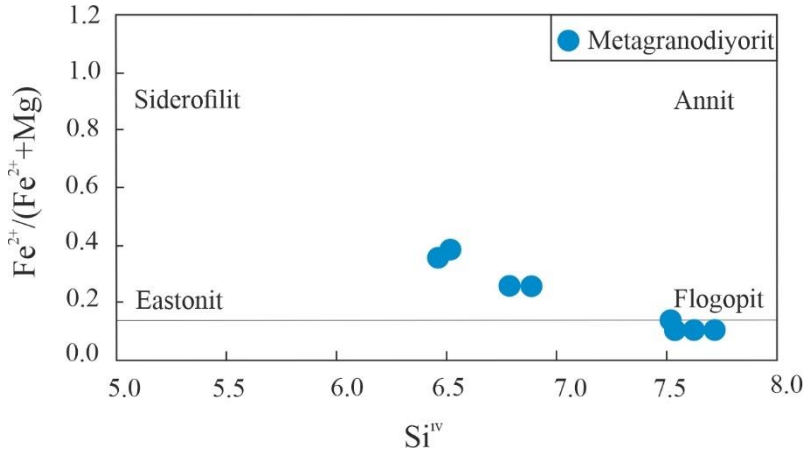


Şekil 4.9. Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranodiyorite ait feldispat bileşimleri Ab(albit)-An(anortit)-Or(ortoklas) (Smith ve Brown, 1988) üçgen diyagramı

4.4.1.2. Biyotit

Çalışma alanından alınan örneklerden, mineral bileşimi biyotit kristali üzerinde 10 adet elektron mikro prob analizi yapılmıştır.

Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçlarda bulunan biyotitlere ait mineral kimyası analiz sonuçları Ek 8.3'de sunulmuştur. Biyotitler, flogopit uç üyeleri arasında yer alan katı ergiyeğin ürünleri olup, demirce zengin flogopit ucuna yakın olarak yer alırlar (Şekil 4.10). Biyotitlerin kimyası içinde bulunduğu kayacın jeokimyasal eğilimini yansıtabilmektedir.

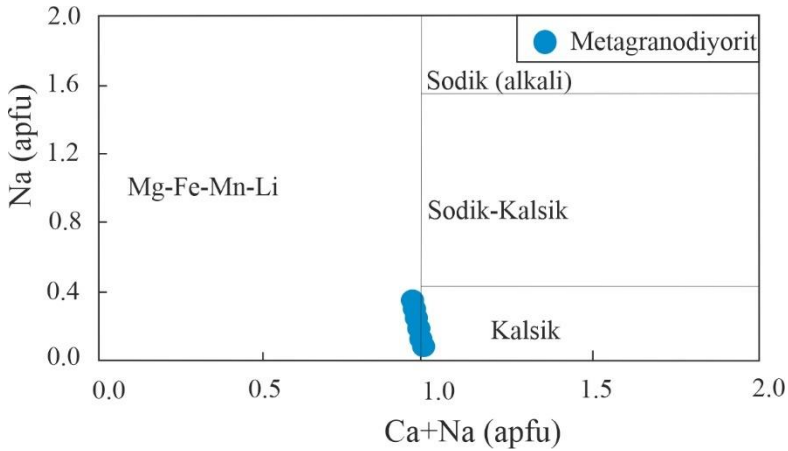


Şekil 4.10. Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranodiyorite ait biyotitlerin Si^{IV} - $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ değerlerine göre bileşimi (Parsons vd. 1991)

4.4.1.3. Amfibol

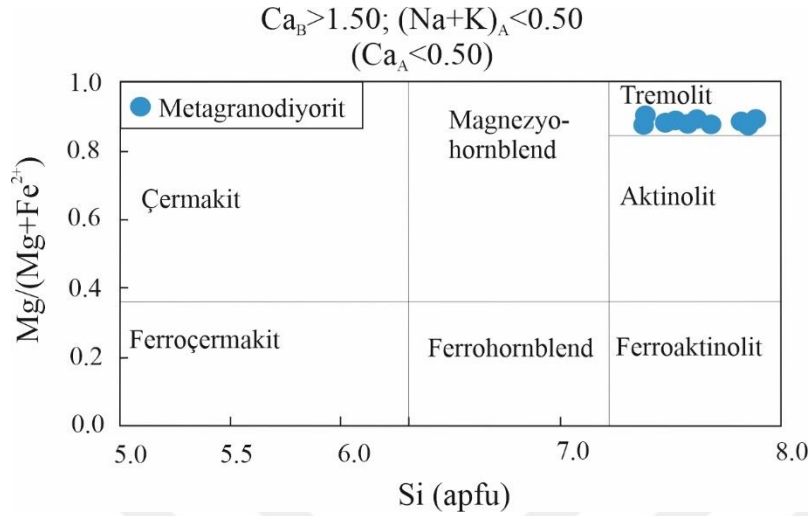
Bolu Masifi'nde yeralan metagranitik kayalarda bulunan amfibol minerallerinde toplam 15 noktada elektron mikroprob analizi gerçekleştirilmiştir.

İncelenen kayalardaki amfibollere ait mikroprob sonuçları Ek 8.4.'de verilmiştir. İncelenen amfibollerin Al_2O_3 içerikleri % ağırlık 0.34-4.45, SiO_2 içerikleri % ağırlık 51.09-55.29 ve $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ oranları 0.70-0.88 arasındadır (Ek 8.4). Mikroprob analiz sonuçlarına göre Na'a karşı (Ca+Na) diyagramında amfibollerin tümü Mg-Fe-Mn-Li amfibollerden oluşmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranodiyorite ait amfibollerin bileşimi (Leake vd. 1997)

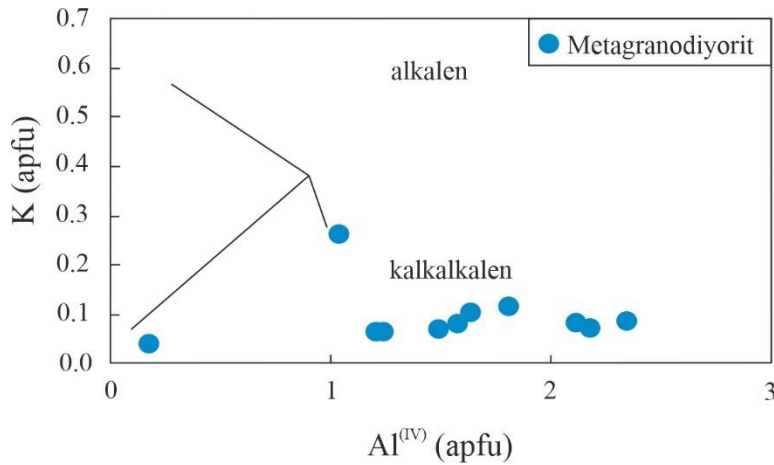
Amfibollerin mikroprob analizi sonuçları (Ek 8.4) dikkate alındığında, Kapıkaya Plütunu'na ait kayalardaki amfiboller tromolit bileşimindedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranodiyorite ait amfibollerin sınıflandırılması ($(Na+K)_A > 0.5$; Leake vd. 1997)

Al (apfu) - K (apfu) diyagramında (Şekil 4.13) ise, Kapıkaya Plütunu'na ait metagranodiyorit kayalarındaki amfiboller, kalkalkalende yer almaktadır. Bu sonuçlar, kayaların dalma batma zonunda oluştuğunu göstermektedir.

Ayrıca, Bolu Masifi metagranitik kayaların içerisinde bulunan amfibol minerallerinde $Al^{(IV)}$ artışı ile K artışı gözlenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranodiyorite ait amfibollerin K (apfu)- $Al^{(IV)}$ (apfu) diyagramı (sınır çizgileri; Ridolfi ve Renzulli 2012'den değiştirilerek alınmıştır)

4.5. Tüm Kayaç Jeokimya

4.5.1. Kayaçların sınıflandırılması

Granitik kayaların kökensel sınıflandırılması konusunda kayaların kimyasal ve

mineralojik özellikleri kullanılmaktadır (Chappel ve White 1974) (Çizelge 4.2) Chappel ve White (1974) tarafından iki farklı kökensel sınıflama önerilmiştir: manto kökenli I-tipi, kıtasal kabuk kökenli S-tipi.

Çizelge 4.2. I- ve S-tipi granitlerin genel özellikleri (Chappel ve White 1974'den değiştirilerek alınmıştır) Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranit-metagranodiyorit kayalar ile plütonik kayaların karşılaştırılması

I-Tipi	S-Tipi	Kapıkaya Plütunu
Metaluminus	Peraluminus	Peraluminus
Amfibol Kordiyerit (-) Aksesorik mineral olarak titanit yaygın	Biyotit ve/veya muskovit Kordiyerit (+) Aksesorik mineral olarak monazit bulunabilir	Biyotit yaygın Kordiyerit (-)
Normatif diyopsit veya < %1 normatif korund	> %1 normatif korund	> %1 normatif korund
Opak mineral olarak manyetit yaygın	Opak mineral olarak ilmenit yaygın	Opak mineral olarak manyetit yaygın
Ca ve Sr yüksek	Ca ve Sr düşük	Ca ve Sr düşük
Mafik-Felsik	Genellikle Felsik	Genellikle Felsik

Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan metagranit-metagranodiyorit kayaların jeokimyasal özellikleri belirlemek amacıyla tüm kayaç jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.

Ana element içerikleri dikkate alındığında (Çizelge 4.3), Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan kayalarda SiO_2 değerleri 66.60–72.70 (% ağırlık), Mg numaraları (Mg#) (molar $100 \cdot (\text{MgO}/\text{MgO} + \Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3)$) 28.22-36.37, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranları 0.14-0.50 ve A/CNK (ASI) ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) değerleri 0.97-1.11 arasındadır.

Kapıkaya Plütunu'nu oluşturan kayaların iz element içerikleri dikkate alındığında (Çizelge 4.3 ve 4.4), Ni değerleri 6.80-21.50 (ppm), Pb değerleri 3.80-33.20 (ppm), Rb değerleri 13.80-44.60 (ppm), Sr değerleri 81.0-318.3 (ppm) ve Ba değerleri 136.3-643.3(ppm) arasındadır.

Çizelge 4.3. Bolu Masifi'ne ait kayaçların ana (% ağırlık) ve iz (ppm) element analizleri

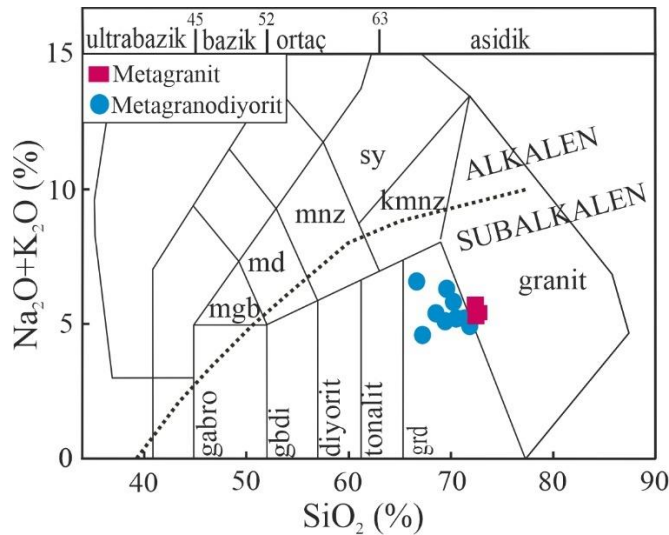
Örnek No	Y18	Y33	Y24	Y16	Y08	Y24A	Y25A	Y19	Y09	Y40	Y38	Y41
Kayaç Türü	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Gr	Gr	Gr
Ana elementler (%)												
SiO ₂	66.60	67.20	68.50	69.40	69.60	70.20	70.50	71.50	71.90	72.40	72.40	72.70
TiO ₂	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Al ₂ O ₃	15.70	15.10	14.30	14.40	15.90	14.50	13.80	13.80	13.00	13.20	14.40	13.60
Fe ₂ O ₃ ^T	3.60	4.50	4.30	3.70	1.40	3.50	3.40	3.10	3.70	3.20	2.80	2.60
MnO	<0.10	0.10	0.10	0.10	<0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
MgO	1.50	1.40	1.50	1.30	1.10	1.40	1.40	1.20	1.10	1.00	0.50	1.00
CaO	3.20	4.50	3.40	3.80	3.50	2.30	3.40	3.00	2.60	2.90	2.80	2.30
Na ₂ O	5.80	4.00	3.50	4.40	5.00	5.10	4.50	3.80	3.40	4.50	4.70	3.90
K ₂ O	0.80	0.60	1.90	0.70	1.30	0.70	0.70	1.40	1.70	0.80	1.00	1.50
P ₂ O ₅	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ASK	1.90	1.75	1.70	1.40	1.70	1.50	1.55	1.65	1.60	1.40	1.20	1.80
Toplam	99.60	99.65	99.60	99.60	99.80	99.80	99.75	99.85	99.40	99.80	100.20	99.80
İz elementler (ppm)												
Cr	23.50	21.20	20.50	21.80	22.80	19.80	23.80	20.30	19.60	24.70	20.70	21.30
Co	9.10	9.70	11.00	6.90	4.20	7.40	8.50	6.00	12.60	5.30	4.00	5.10
Ni	14.80	7.90	14.90	17.30	22.20	10.40	10.80	6.80	8.60	18.80	12.50	21.50
V	36.30	67.30	33.00	21.60	43.40	47.80	43.90	16.60	30.00	15.50	44.10	23.30
Cu	79.1	742.7	23.5	8.0	5.6	5.2	1038.3	6.1	50.0	6.0	25.3	3.5
Pb	15.20	26.80	17.00	15.20	10.80	24.00	9.70	33.20	43.40	6.30	3.80	20.00
Rb	23.60	17.30	57.00	13.80	49.70	21.20	15.30	35.80	35.80	20.80	27.60	44.60
Ba	260.9	244.2	753.6	487.9	211.0	301.0	418.3	584.4	643.3	136.3	178.8	540.9
Sr	133.4	155.8	161.9	134.8	318.3	116.5	122.	149.4	122.8	77.3	81.0	106.6
Ta	0.10	0.30	0.60	0.50	0.20	0.30	0.30	0.50	0.40	0.20	0.20	0.60
Nb	3.60	4.80	7.70	5.90	3.10	5.80	6.00	7.90	7.00	2.30	2.10	8.30
Hf	0.20	1.80	2.50	2.90	0.40	3.60	2.10	2.20	2.20	1.30	1.60	2.80
Zr	2.4	14.7	13.0	16.3	4.2	21.5	17.2	155.6	15.0	8.0	9.1	14.6
Y	5.20	16.00	29.50	26.10	3.70	27.00	20.30	15.30	13.70	18.70	16.20	12.90
Th	2.80	1.20	3.50	2.00	1.00	2.10	1.50	3.00	3.20	1.00	0.90	4.00
U	0.10	0.20	0.80	0.50	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.20	0.20	0.70
Ga	20.00	16.00	16.40	18.50	21.90	15.60	16.80	15.80	13.20	14.30	15.70	15.70
K ₂ O/Na ₂ O	0.14	0.15	0.54	0.16	0.26	0.14	0.16	0.37	0.50	0.18	0.21	0.38
Mg#	47.84	40.65	43.44	43.61	63.37	46.83	47.55	46.01	39.56	40.76	28.22	45.85
A/CNK	0.97	0.98	1.02	0.97	0.99	1.09	0.96	1.04	1.07	0.97	1.04	1.11
Sr/Y	25.65	9.74	5.49	5.16	86.03	4.31	6.04	9.76	8.96	4.13	5.00	8.26
Mg# = molar 100xMgO/(MgO+Fe ₂ O ₃). Fe ₂ O ₃ ^T : Toplam demir. A/CNK= Mol Al ₂ O ₃ /(CaO+NaO+K ₂ O), ASK (Ateşte Su Kaybı) Grd: Granodiyorit, Gr:Granit												

Çizelge 4.4. Kapıkaya Plütönu'na ait metagranitik kayaçların nadir toprak (ppm) element analizleri

Örnek No	Y18	Y33	Y24	Y16	Y08	Y24A	Y25A	Y19	Y09	Y40	Y38	Y41
Kayaç T.	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Grd	Gr	Gr	Gr
La	42.20	6.40	15.50	12.40	2.20	8.20	10.30	7.50	8.50	4.90	5.10	5.50
Ce	54.50	12.40	28.60	21.00	4.00	16.60	19.60	13.50	15.10	10.50	10.60	10.00
Pr	6.90	1.70	3.70	3.20	0.60	2.50	2.50	1.80	2.10	1.50	1.40	1.30
Nd	20.40	7.00	14.30	12.10	2.40	10.70	10.10	6.20	7.70	6.00	5.80	4.90
Sm	2.60	1.80	3.70	2.90	0.60	2.70	2.40	1.60	1.80	1.60	1.60	1.20
Eu	0.80	0.60	1.00	0.80	0.50	0.80	0.70	0.60	0.70	0.50	0.60	0.70
Gd	2.60	1.90	3.40	3.00	0.50	3.10	2.40	1.50	1.70	2.00	1.60	1.30
Tb	0.30	0.40	0.70	0.60	0.10	0.70	0.50	0.30	0.40	0.40	0.40	0.30
Dy	1.00	2.40	4.40	3.80	0.60	4.20	3.00	2.00	2.00	2.60	2.30	1.60
Ho	0.20	0.60	1.10	1.00	0.10	1.00	0.80	0.60	0.50	0.70	0.60	0.50
Er	0.60	1.80	3.20	3.20	0.40	3.10	2.50	1.80	1.50	1.90	1.70	1.40
Tm	0.10	0.30	0.50	0.50	<0.10	0.50	0.40	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20
Yb	0.50	2.20	3.80	3.70	0.40	3.50	2.40	2.10	1.80	2.40	2.10	1.80
Lu	0.10	0.30	0.60	0.50	<0.10	0.50	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30
(La/Lu) _N	43.69	2.21	2.67	2.57	<0.10	1.70	2.67	2.59	2.93	1.27	1.76	1.90
(La/Sm) _N	10.22	2.24	2.64	2.69	2.31	1.91	2.70	2.95	2.97	1.93	2.01	2.88
(Gd/Lu) _N	3.23	0.79	0.70	0.75	<0.10	0.77	0.75	0.62	0.70	0.62	0.66	0.54
(La/Yb) _N	57.03	1.97	2.76	2.26	3.72	1.58	2.90	2.41	3.19	1.38	1.64	2.06
(Tb/Yb) _N	23.94	2.33	3.94	2.31	10.69	2.57	2.67	6.11	7.60	1.78	1.83	9.50
(Th/Yb) _N	2.57	0.78	0.79	0.69	1.07	0.86	0.89	0.61	0.95	0.71	0.81	0.71
(Dy/Yb) _N	1.34	0.73	0.77	0.69	1.00	0.80	0.84	0.64	0.74	0.72	0.73	0.59
(Eu/Eu*) _N	0.93	0.99	0.85	0.82	2.72	0.84	0.88	1.17	1.21	0.85	1.13	1.70

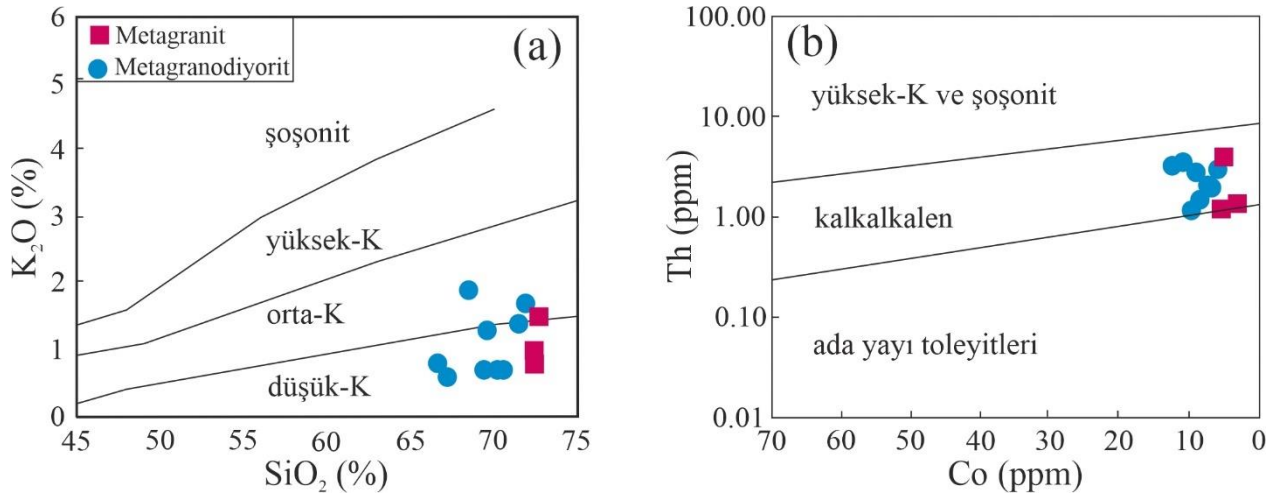
Eu* = (Sm + Gd)_N/2. Grd: Granodiyorit, Gr:Granit

Bolu Masifi'nde yer alan kayaçların jeokimyasal adlandırılmasının yapılması amacıyla toplam Na₂O+K₂O'ye karşı-SiO₂ diyagramı kullanılmıştır. Metagranit ve metagranodiyorit kayaç örneklerinin subalkalen alanında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.14).

**Şekil 4.14.** Kapıkaya Plütönu'na ait örneklerinin SiO₂'ye karşı Na₂O+K₂O (TAS) diyagramı

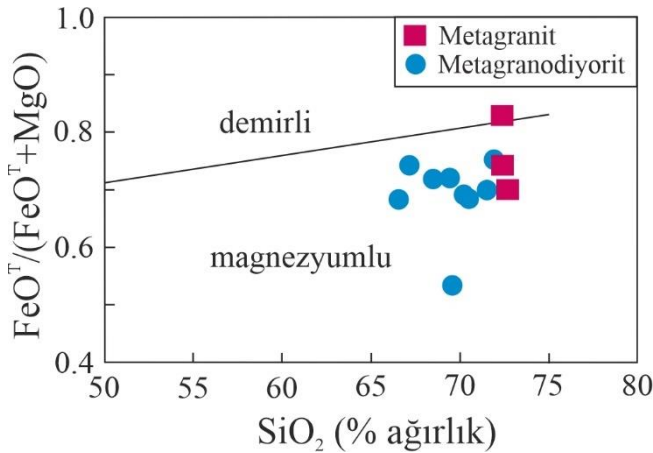
(Middlemost, 1994) (Alkalen/Subalkalen çizgi sınırı: Irvine ve Baragar 1971) (bgdi; gabrodiyorit, grd; granodiyorit, mgb; monzogabro, md; monzodiyorit, mnz; monzodiyorit, sy; siyenit, kuvarsmonzonit

Ana element içeriklerine göre SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , K_2O ve Na_2O arasındaki ilişkiler, plütonik kayaların sınıflandırmasında önemli rol oynarlar. İncelenen örnekler ait jeokimyasal analiz sonuçları toplam alkaliler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)'e karşı SiO_2 diyagramına (Middlemost 1994) yerleştirilmiş olup, bu diyagramda kayalar metagranodiyorit ve metagranit bileşimlidirler (Şekil 4.14). Ayrıca K_2O - SiO_2 diyagramında (Şekil 4.15a) Kapıkaya Plütunu'ndan alınan örnekler çoğu düşük-K kalkalkalen seri alanında yer alırken bir kısım örnekler orta-K alanında yer alırlar. Th'a karşı Co diyagramında ise, kalkalkalen bölgesinde yer alırlar. (Şekil 4.15b).



Şekil 4.15. Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerin a) K_2O (%) ve SiO_2 (%) diyagramı, b) Th'a karşı Co (Hastie vd. 2007) diyagramı (ayrım çizgileri Rickwood 1989'dan alınmıştır)

İncelenen kayalar $\text{FeO}^T/(\text{FeO}^T+\text{MgO})$ 'ye karşı SiO_2 (%) diyagramında (Frost vd. 2001) magnezyumlu bölgede toplanmışlardır (Şekil 4.16).



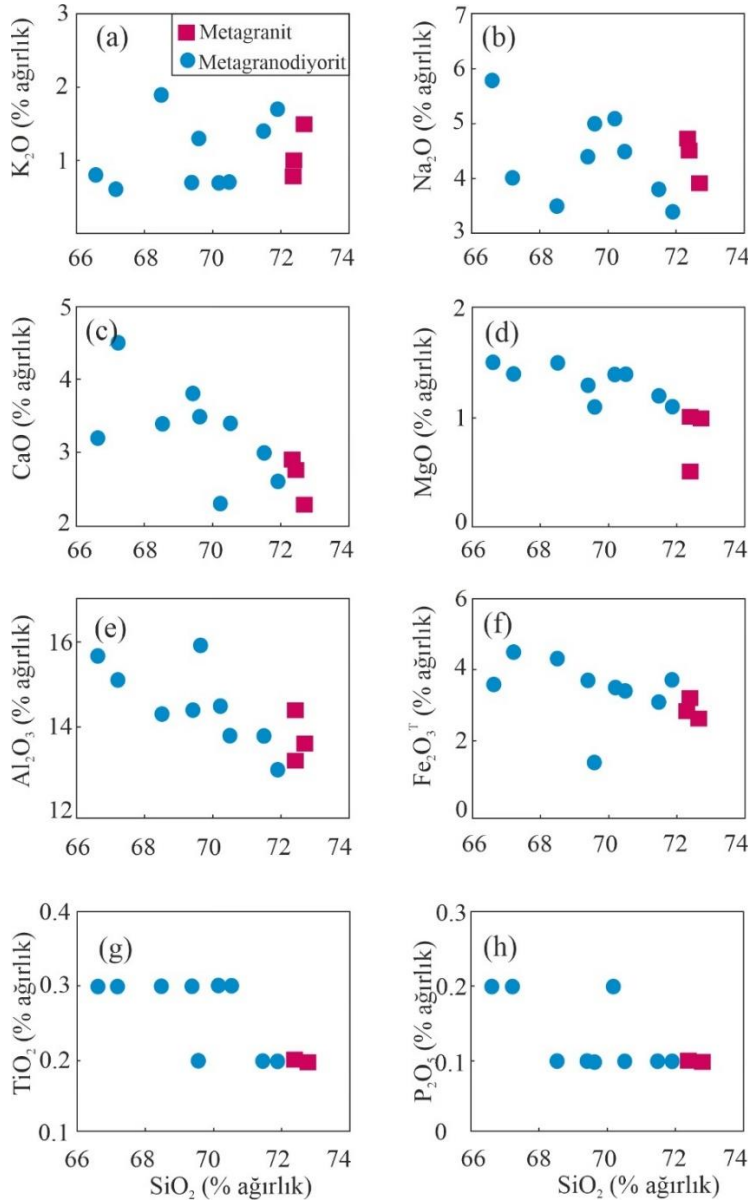
Şekil 4.16. Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerinin $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T+\text{MgO})$ ve SiO_2 (% ağırlık) diyagramı (Frost vd. 2001)

4.5.1.1. Harker diyagramları

Ana elementler

TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O ve P₂O₅, değerlerinin SiO₂ karşı değişimleri Harker diyagramlarında gösterilmiştir (Şekil 4.17).

TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, Na₂O ve P₂O₅ değerlerinde SiO₂ artışıyla birlikte azalma eğilimi göstermektedir (Şekil 4.17a-k). MgO değerinde sabitlik (Şekil 4.17d) ve sadece K₂O değerinde SiO₂ artışıyla birlikte artma eğilimi göstermektedir (Şekil 4.17h).

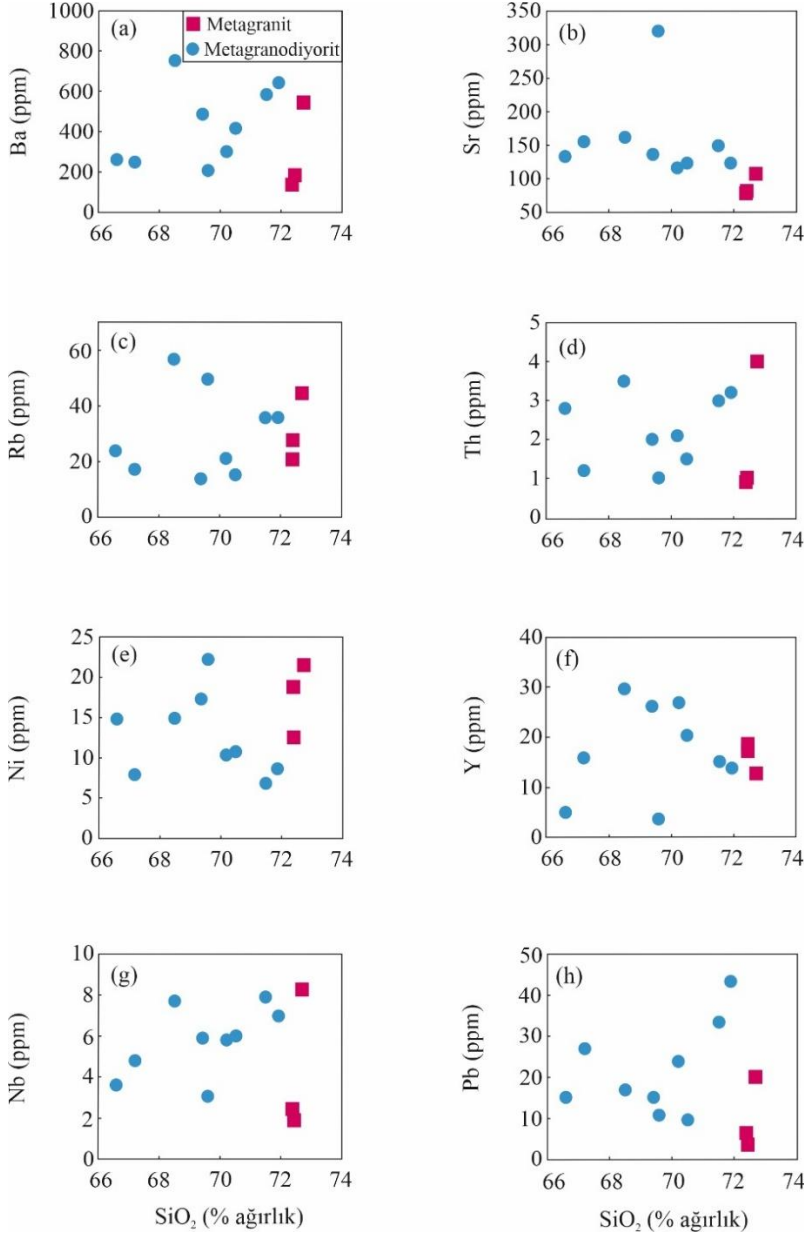


Şekil 4.17. Kapıkaya Plütону'na ait örneklerinin SiO₂ (% ağırlık) göre ana element Harker diyagramları

İz elementler

İz elementlerin Harker diyagramlarında SiO_2 'ye göre değişimleri Şekil 4.18'de verilmiştir.

Sr ve Y değerlerinde SiO_2 artışı ile birlikte azalma trendi göstermektedir (Şekil 4.18b-f). Ba ve Rb değerlerinde silika artışı ile birlikte artma trendi göstermektedir (Şekil 4.18a-c). Genel olarak Ni, Nb, Sr, Y, Pb ve Th gibi iz elementlerde genellikle düzensiz bir dağılımdan söz edilebilmektedir (Şekil 4.18a-h).



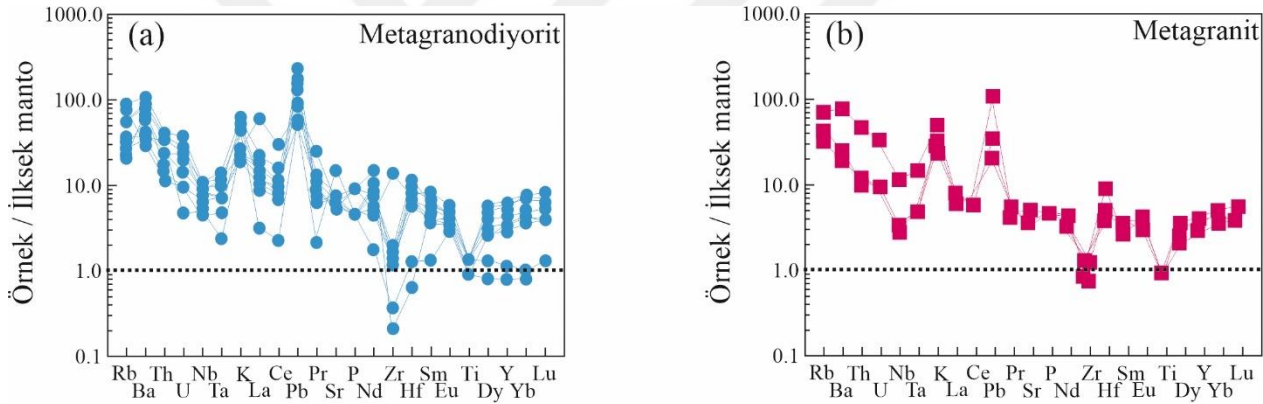
Şekil 4.18. Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerinin SiO_2 (%) göre iz element (ppm) Harker diyagramları

4.5.1.2. Örümcek (çoklu iz element) diyagramları

Çalışma konusu olan kayaçların ilksel mantoya göre normalize edilmiş (Sun ve McDonough 1989) örümcek diyagramlarında, tüm örneklerde büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) (Rb, Ba, Th, U, K) zenginleşme ve yüksek çekim alanlı elementler (HFSE) (Ta, Nb, Nd, Hf, P, Zr, Ti, Y, Yb) ise tüketilme olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.19a). Rb, K ve Pb elementlerinde pozitif, Zr ve Ti elementlerinde ise negatif anomali gözlenmektedir.

Rb, K ve Pb gibi elementlerde gözlemlenen zenginleşme Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçları oluşturan köken magmanın kıtasal kabukdan etkilendiğini; Zr ve Ti elementlerinde gözlemlenen tüketilme ise köken magmanın oluşum ve gelişim süreçlerinde dalma-batma zonu bileşenlerinin etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 4.19b).

Kapıkaya Plütunu'ndan alınan kayaçların LIL elementlerinde görülen zenginleşme ve HFS elementlerinde görülen tüketilme (Şekil 4.19a-b) bu kayaçların kökensel olarak dalma-batma zonu ile ilgili olabileceğini belirtmektedir.

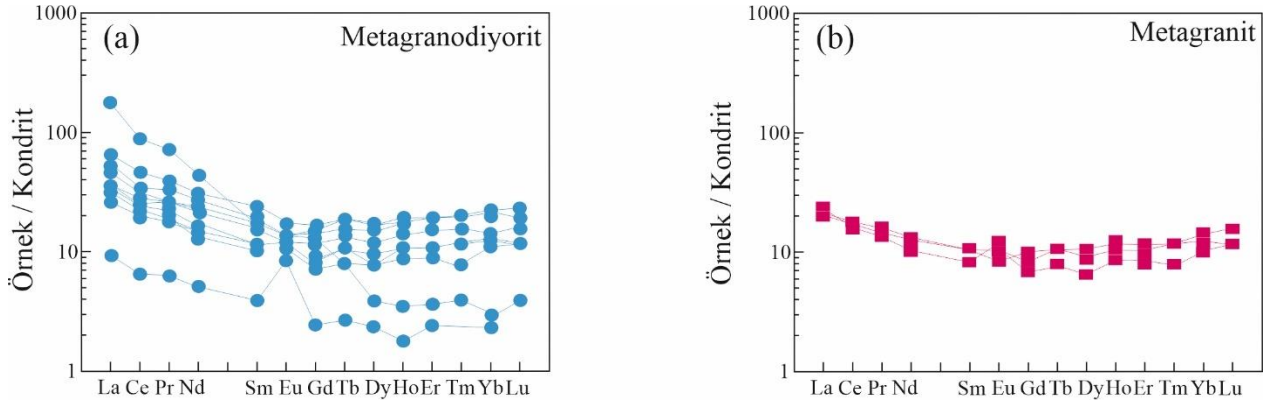


Şekil 4.19. Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerinin ilksel mantoya göre normalize edilmiş örümcek diyagramları (Sun ve McDonough 1989'den değiştirilerek alınmıştır)

4.5.1.3. Nadir toprak elementleri (REE) diyagramları

Kapıkaya Plütunu'nda yer alan kayaç örneklerinin kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılımları genellikle birbirine benzer özellik göstermektedir (Şekil 4.20a,b).

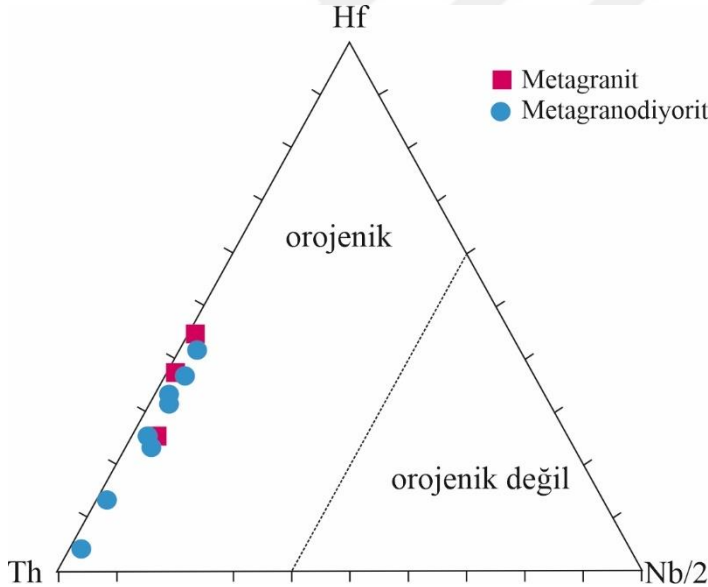
Şekil 4.23'de görüldüğü gibi örneklerin hafif nadir toprak elementleri (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu), ağır nadir toprak elementlerine (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) göre daha fazla zenginleştiği görülmektedir. Kayaç örneklerinde $(La/Lu)_N$ değerleri 1.27-43.69 oranları arasında değişmektedir. Ayrıca, kayaç örneklerinde genellikle pozitif Eu anomalisi $((Eu/Eu^*)_N = 0.82-2.72)$ gözlenmektedir.



Şekil 4.20. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların kondrite göre normalize edilmiş nadir toprak element diyagramları (Boynton, 1984'den değiştirilerek alınmıştır)

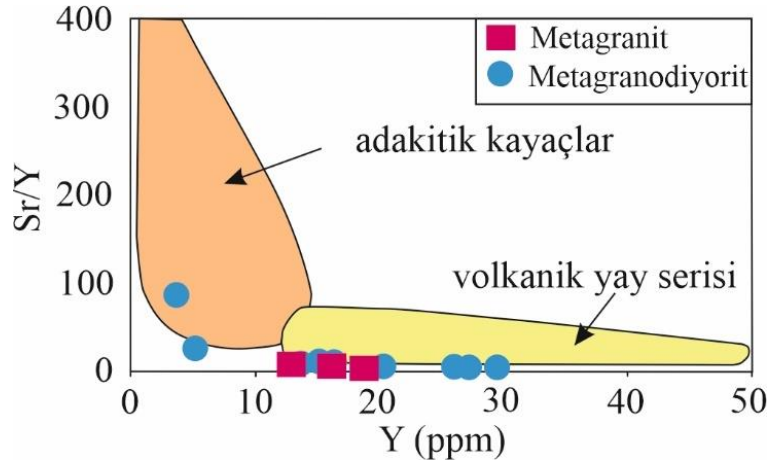
4.5.2. Tektonik ayırım diyagramları

Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçlar Hf-Th-Nb/2 diyagramında örnekler orojenik bölgede yer almaktadır (Şekil 4.21).



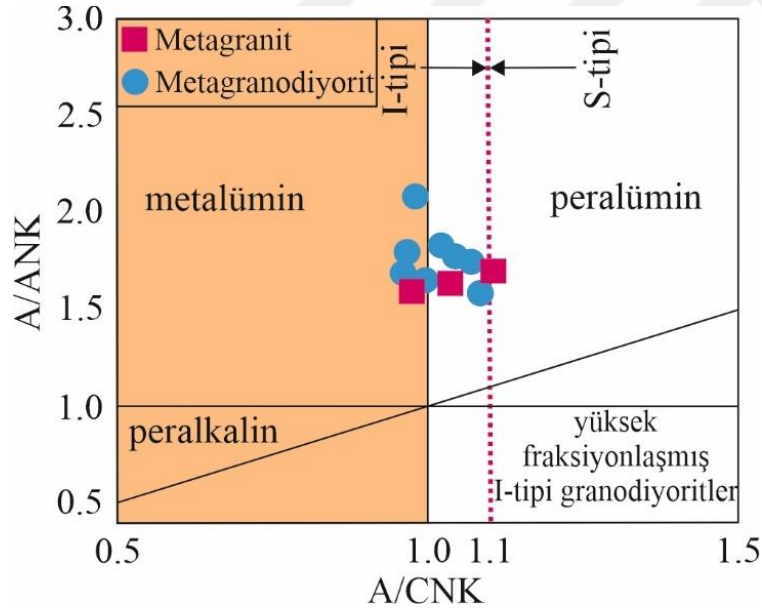
Şekil 4. 21. Hf-Th-Nb/2 diyagramı (Krmícek vd. 2011)

Sr/Y'a karşı Y (Drummond ve Defant 1990) diyagramında incelenen örnekler volkanik yay serisi bölgesinde yer alırlar (Şekil 4.22).



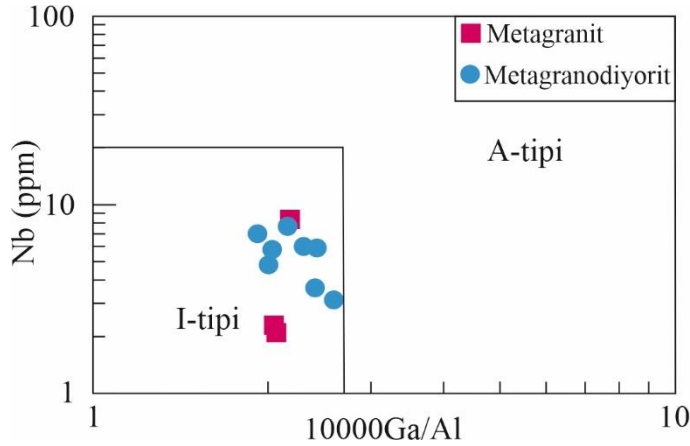
Şekil 4.22. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların Sr/Y'a karşı Y diyagramı (Dsefant ve Durmmond, 1990'dan değiştirilerek alınmıştır)

A/NK-A/CNK diyagramında (Maniar ve Piccoli 1989) (Şekil 4.23) örneklerin büyük çoğunluğu peralüminus alanında yer alırken, bir kısım örnekler metalümin alanında yer alırlar.



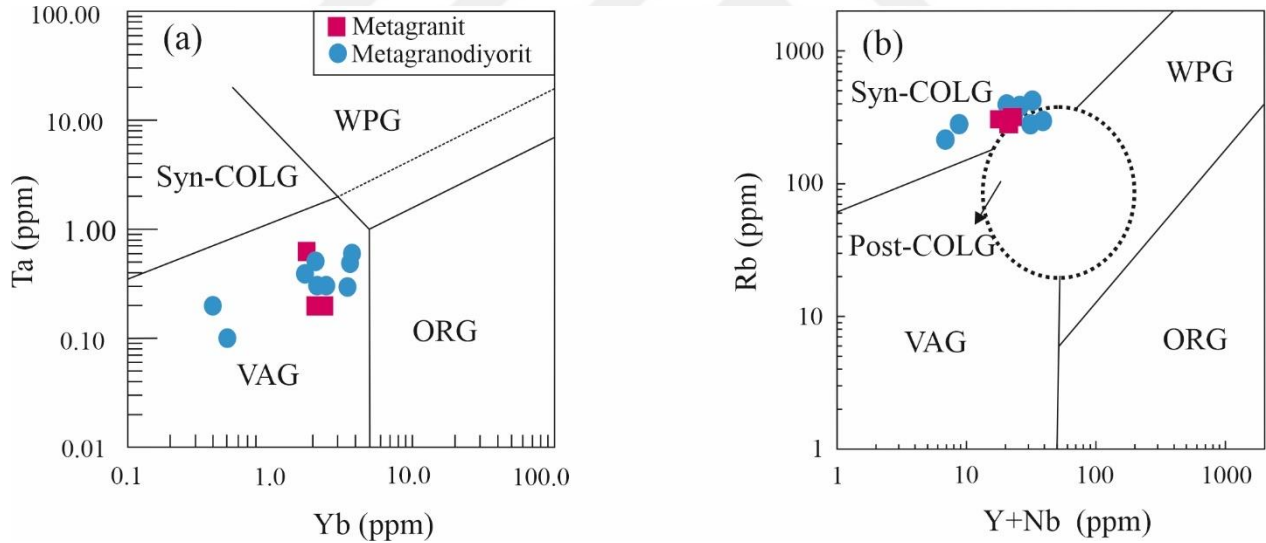
Şekil 4.23. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin (A/NK)-(A/CNK) oranlarının diyagramı (Maniar ve Piccoli 1989'dan değiştirilerek alınmıştır)

Nb'a karşı 10000Ga/Al diyagramında (Şekil 4.24) örneklerin tümü I-tipi granit alanında bulunurlar (Whalen vd. 1987).



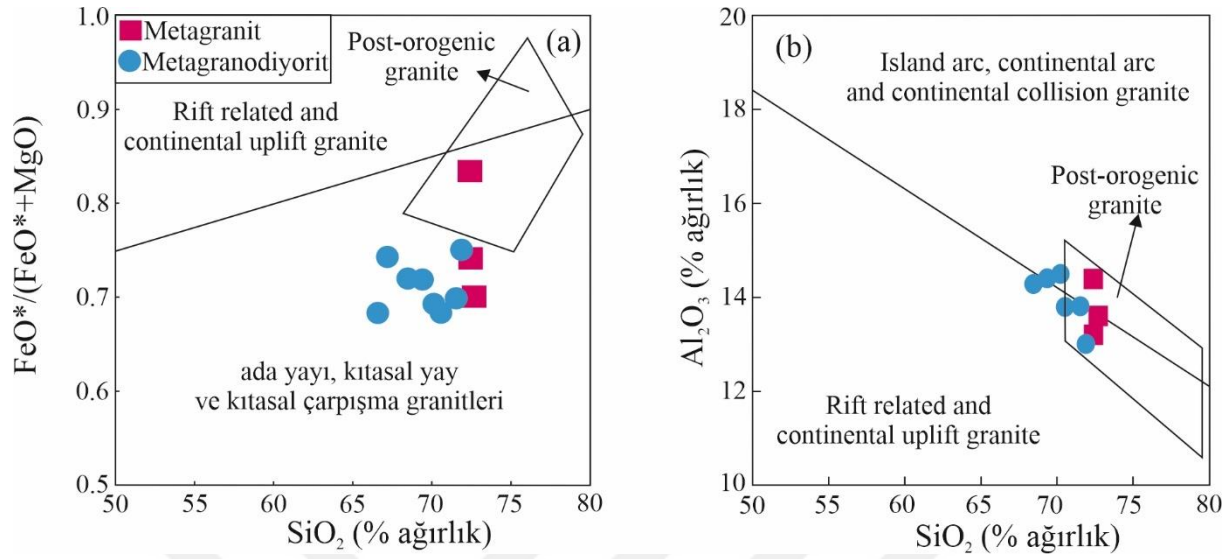
Şekil 4.24. Kapıkaya Plütünü'na ait kayaçların Nb'ye karşı 10000Ga/Al diyagramı (Whalen vd. 1987'den değiştirilerek alınmıştır)

Kapıkaya Plütünü'na ait kayaç örneklerinin, Ta-Y diyagramında (Şekil 4.25a), VAG (volkanik yay)+Syn-COLG (çarpışma eş yaşı) alanında; Rb-(Y+Nb) (Şekil 4.25b) diyagramında da Syn-COLG alanında yer almaktadır (Şekil 4.25).



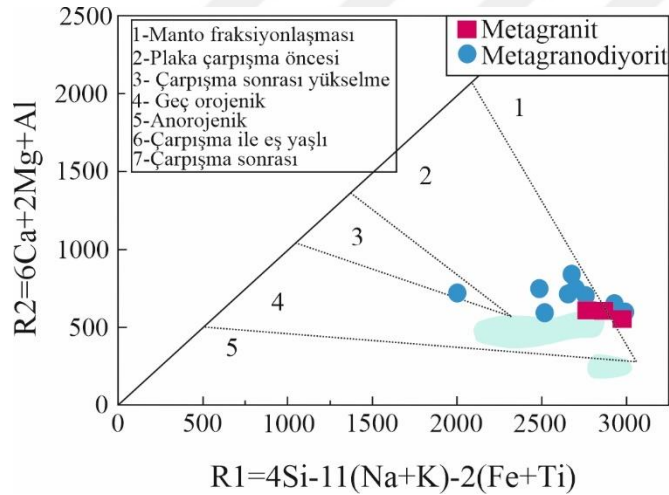
Şekil 4.25. Kapıkaya Plütünü'na ait kayaç örneklerinin **a)** Ta-Yb, **b)** Rb-(Y+Nb) diyagramı (Pearce vd. 1984'ten değiştirilerek alınmıştır) WPG: Levha içi granitler, ORG: Orojenik granitler, VAG+Syn-COLG: Volkanik yay granitleri+Çarpışma eş yaşı granitleri)

Kapıkaya Plütünü'na ait örnekler $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^*+\text{MgO})$ 'ye karşı SiO_2 diyagramında adayayı, kıtasal yay ve kıtasal çarpışma granitleri alanına düşerken (Şekil 4.26a), Al_2O_3 'ye karşı SiO_2 diyagramında ise çoğunlukla ada yayı, kıtasal yay ve kıtasal çarpışma granitleri ile post orojenik granit alanında yer almaktadır (Şekil 4.26b).



Şekil 4.26. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin **a)** FeO*/(FeO*+MgO)-SiO₂ karşı diyagramı, **b)** Al₂O₃-SiO₂ karşı diyagramı (Frost vd. 2001)

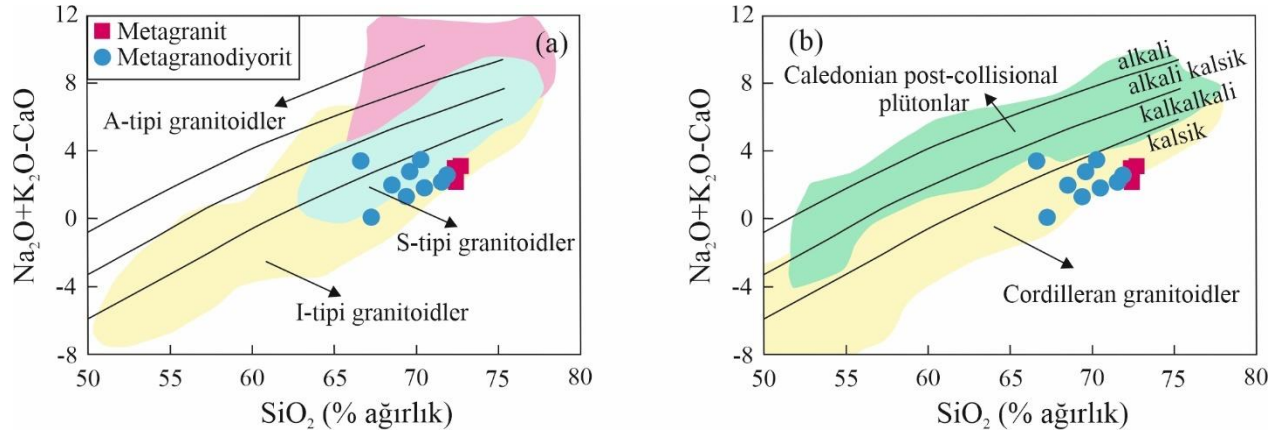
Batchelor ve Bowden (1985)'in R2'ye karşı R1 multikatyon diyagramında, Kapıkaya Plütonu'na ait örneklerin büyük bir bölümü plaka çarpışma öncesini temsil eden 2 nolu alana düşerken, granitler çarpışma ile eşyaşı 6 nolu alanda yer alırlar (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Kazıkbeli Plütonu'na ait kayaçların R2'ye karşı R1 (Batchelor ve Bowden, 1985) diyagramı (R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti); R2=6Ca+2Mg+Al)

SiO₂'ye karşı (Na₂O+K₂O-CaO) diyagramında (Frost vd. 2001) örnekler I-tipi granitlere benzer özellik gösterirler (Şekil 4.28a).

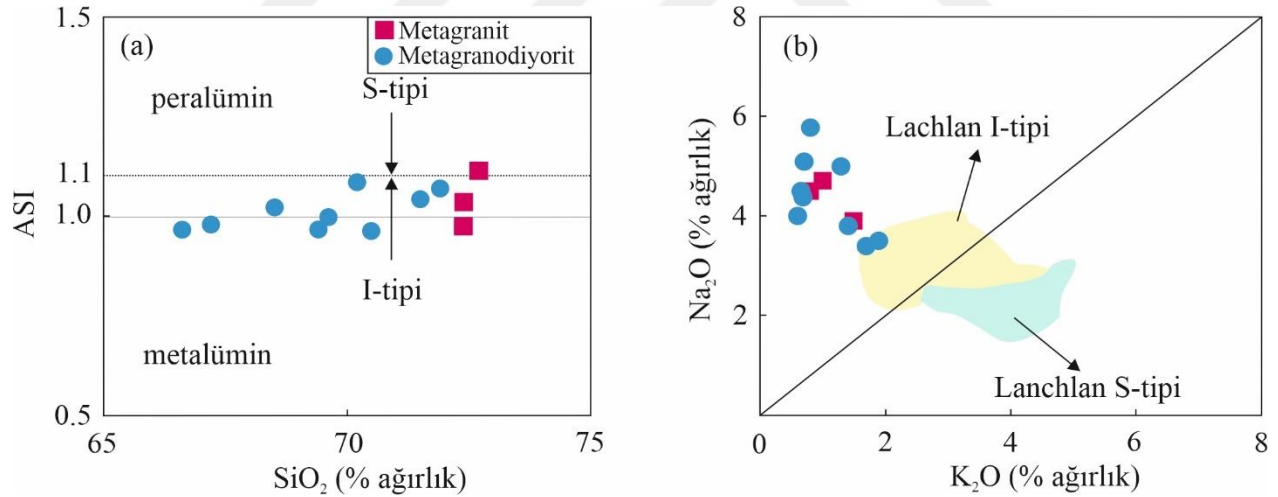
SiO₂'ye karşı (Na₂O+K₂O-CaO) diyagramında (Frost vd. 2001) incelenen örnekler kalsik alanında yer almış olup, Kaledonian çarpışma sonrası plütonlarına benzer özellik gösterirler (Şekil 4.28b).



Şekil 4.28. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin **a)** ve **b)** ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$) ve SiO_2 (% ağırlık) diyagramı (Frost vd. 2001'den değiştirilerek alınmıştır)

Molar ASI (A/CNK)'ye karşı SiO_2 (Chappel ve White 1974) diyagramında da örneklerin büyük çoğunluğu I-tipi alanında yer alırlar. (Şekil 4.29a).

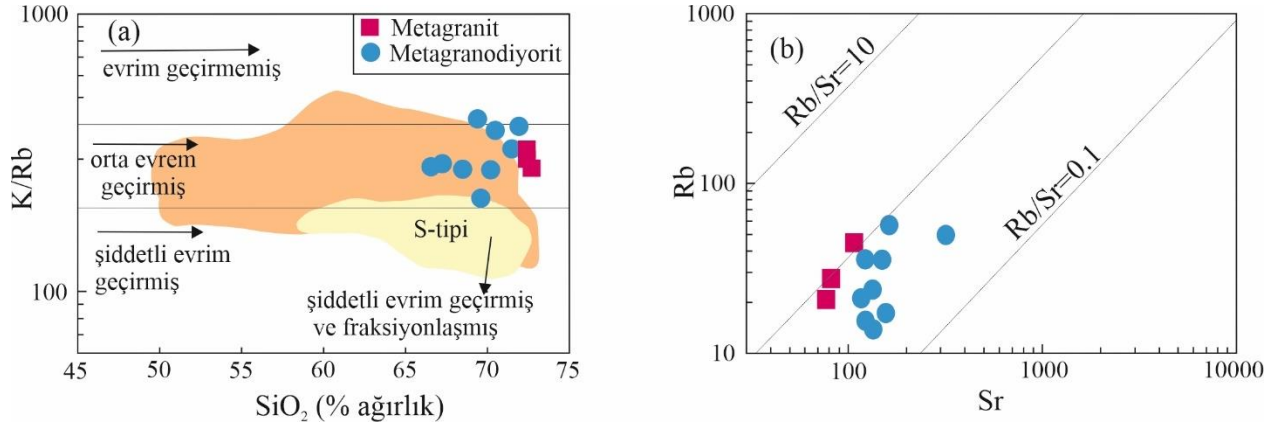
İncelenen örnekler Lachlan Kuşağı'nın I-tipi ve S-tipi granitleri (Chappel ve White 1974) ile kıyaslandığında, örneklerin tümünün I- tipi alana düştükleri gözlenmiştir (Şekil 4.29b).



Şekil 4.29. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçların **a)** ASI'ye karşı SiO_2 (% ağırlık) (Chappel ve White 1974), **b)** $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ (% ağırlık) diyagramı (Beckinsale 1979)

Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçlar SiO_2 'ye karşı K/Rb diyagramında orta evrim geçirmiş I-tipi plüton alanında yer alırlar (Şekil 4.30a).

İncelenen örnekler Rb/Sr diyagramında Rb/Sr oranı 0.1 ile 10 arasında yer almaktadır (Şekil 4.30b).



Şekil 4.30. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların **a)** SiO₂'ye karşı K/Rb, **b)** Sr karşı Rb diyagramı

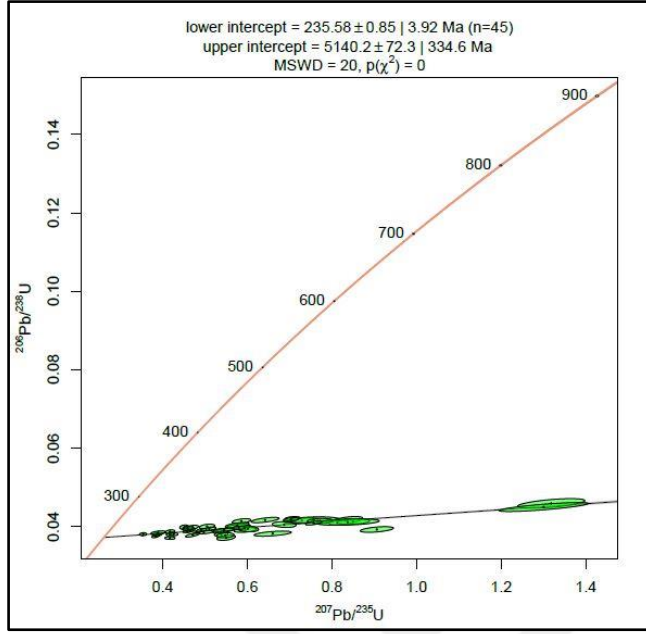
4.6. Jeokronoloji

Bolu Maisifi'nde yer alan Kapıkaya Plütunu'nun jeolojik geçmişinin irdelenmesinde radyometrik yaş tayinleri çok önemli rol oynarlar. Radyometrik yaş tayini için kullanılan en yaygın yöntemlerden başlıcaları, K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, U-Th-Pb ve Sm-Nd yöntemleri; ⁴⁰K, ⁸⁷Rb, ²³⁵U, ²³²Th, ¹⁴⁷Sm izotoplarının radyoaktif bozunmasına dayanır. Bu çalışmada, titanit mineralinin çok daha duraylı olması ve jeolojik faktörlere karşı direçli olması nedeniyle, U-Pb titanit yaşlandırma yöntemi kullanılmıştır.

Titanit mineralinin izotop oranları "konkordiya diyagramı" olarak bilinen grafiklerde değerlendirmektedir. X ve Y eksenlerinde sırasıyla ²⁰⁷Pb/²³⁵U ve ²⁰⁶Pb/²³⁸U izotopik oranlarının yer aldığı bu diyagramda, konkordiya eğrisi ²⁰⁷Pb/²³⁵U ve ²⁰⁶Pb/²³⁸U yaşlarının eşit olduğu bir eğriyi tanımlanmaktadır. Bu eğri üzerine düşen ²⁰⁶Pb/²³⁸U ve ²⁰⁷Pb/²³⁵U yaşları aynı olduğuna göre, bu yaşları veren titanit minerali, sistemin oluştuğundan ölçüldüğü zamana kadar hep kapalı kalmıştır. Dolayısı ile bir örnekten sağlanan titanit ve ²⁰⁶Pb/²³⁸U ve ²⁰⁷Pb/²³⁵U değerleri diskordiya üzerinde aynı noktaya düşmüşse bu titanit ve minerallerinin aynı magmatik olaya bağlı olarak kristallendikleri, dolayısı ile bulunan yaşın magmatik kayanın kristallenme yaşını verdiği kabul edilir.

Kapıkaya Plütun'larından alınan örneklerinin, parlak kesitler üzerinde titanit minerallerinde yerinde (in-situ) U-Pb ölçümleri esnasında Arkoroola ve BLR1 standartları kullanılmıştır. Ölçümler esnasında Arkoroola titanit standardı 444.4±2.4 My (Elburg vd. 2003) ve BLR1 standardı 1047.7±3.8 My olarak ölçülmüştür.

Kapıkaya Plütonu'ndaki örneklerinde izlenen titanit örneğinde U-Pb jeokronolojik analizler yapılmıştır. Y08 örneğinde, 45 noktada titanit minerallerinin U, Th ve Pb içerikleri, 2.3 ile 20 ppm, 0.49 ile 11 ppm ve 0.38 ile 2 ppm arasında değişmektedir. İncelenen örneğin yaşı 235 ± 0.85 My olarak elde edilmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Kapıkaya Plütunu'na ait Y08 örneğindeki titanit ve apatit kristallerine ait ölçülen U-Pb izotopik oranlarına göre konkordiya diyagramı

4.7. Radyojenik İzotop (Sr, Nd, Pb) Jeokimyası

Kapıkaya Plütunu'ndaki örneklerin izotop jeokimyası analizi yapılarak magma kaynağının özelliklerini saptamaya çalışılmıştır. Bu analizde, magmanın izotop oranı, magmanın oluştuğu kaynak alanın özelliklerini taşımaktadır.

İzotopik oranlar, sonraki farklılaşma olayları sırasında değişmeden (her kaynağın kendi izotopik bileşimi ve farklı kaynakların saptanması) veya farklı kaynaklar arasındaki karışım ya da kirlenme gibi süreçleri belirlemede önemli rol oynamaktadır (Faure 2001; Faure ve Mensing 2005).

4.7.1. Sr ve Nd izotop jeokimyası

Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların Sr, Nd ve Pb izotop oranları için hesaplanan ilksel değerleri ve Rb, Sr, Sm ve Nd elementleri değerleri EK-8.6'da verilmiştir. Ayrıca, Rb-Sr ve Sm-Nd izotopik değerleri ile oluşturulan diyagramlar Şekil 4.26, 4.27'de verilmiştir.

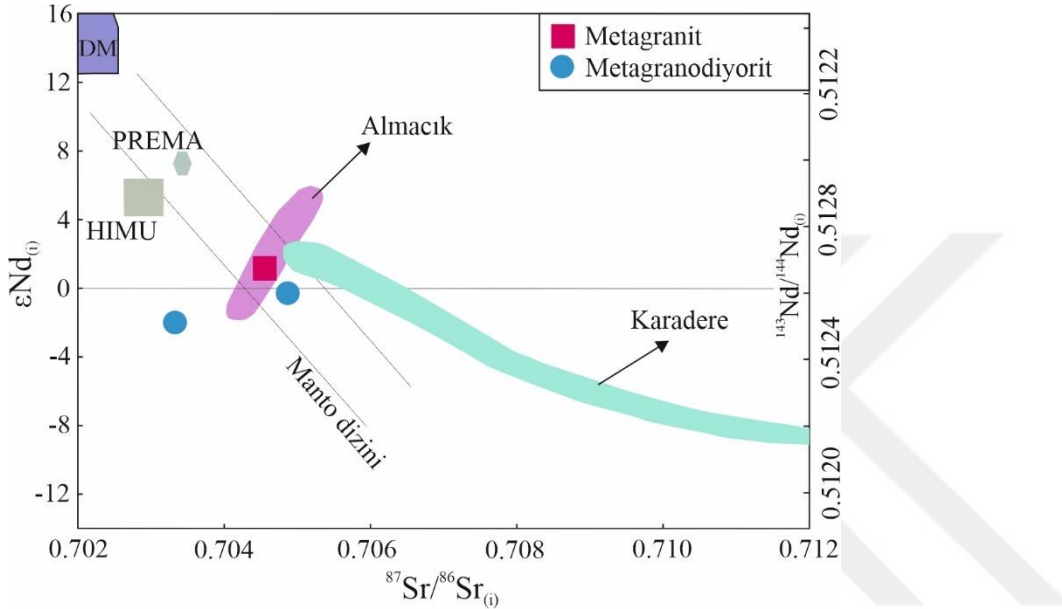
Örneklerin ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ oranları ve $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerleri U-Pb titanit yaşları baz alınarak hesaplanmış olup, bu değer incelenen kayaçlar için 334 My'dır.

Kapıkaya Plütunu'na ait örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ değerleri 0.703332-0.704861, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ değerleri ise 0.512104-0.512268 arasında değişir (EK-8.6). Örneklerin $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerleri -0.99 ile -3.94 arasında olup, TDM model yaşları 1.17-1.62 arasında değişim gösterir (EK-8.6).

Kapıkaya Plütunu'na ait örnek analizleri, düşük orta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ ve düşük orta ilksel $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ alanında yer almaktadır. Bu veriler, kayaçların kıtasal kabuk veya zenginleşmiş manto

kaynağından etkilenmiş olduğunu göstermektedir (Şekil 4.32).

İstanbul-Zonguldak Zonu'nda yer alan Palezoik yaşlı plütonlar ile karşılaştırıldıklarında, incelenen Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçlar Almacık nazaran daha düşük ilksel $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ değerlerine sahipken, Karadere Plütonu'ndan daha yüksek $\epsilon\text{Nd}_{(i)}$ ve daha düşük ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarına sahiptirler (Şekil 4.32).

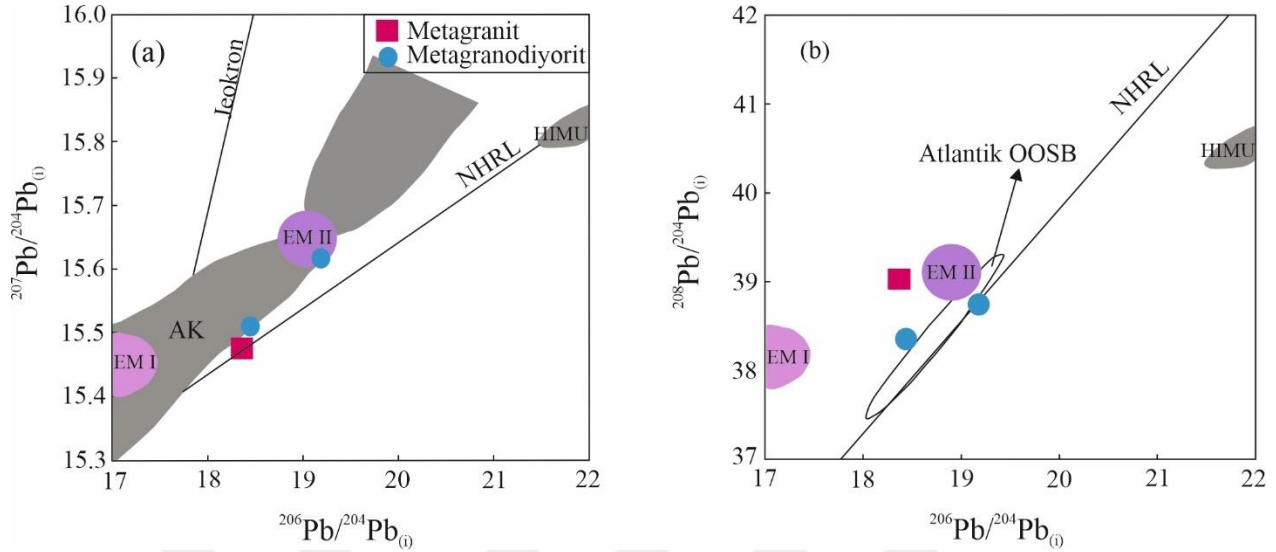


Şekil 4.32. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ - $\epsilon\text{Nd}_{(T)}$ diyagramındaki izdüşümleri (manto dizisi Faure 1986'dan değiştirilerek alınmıştır). DM: Tüketilmiş Manto; HIMU: Yüksek μ Değerine Sahip Manto; BSE: Toplam Yerküre Bileşimi; Okyanus Adası Bazalt; EMI: Zenginleştirilmiş Manto I; EMII: Zenginleştirilmiş Manto II

4.7.2. Pb izotop jeokimyası

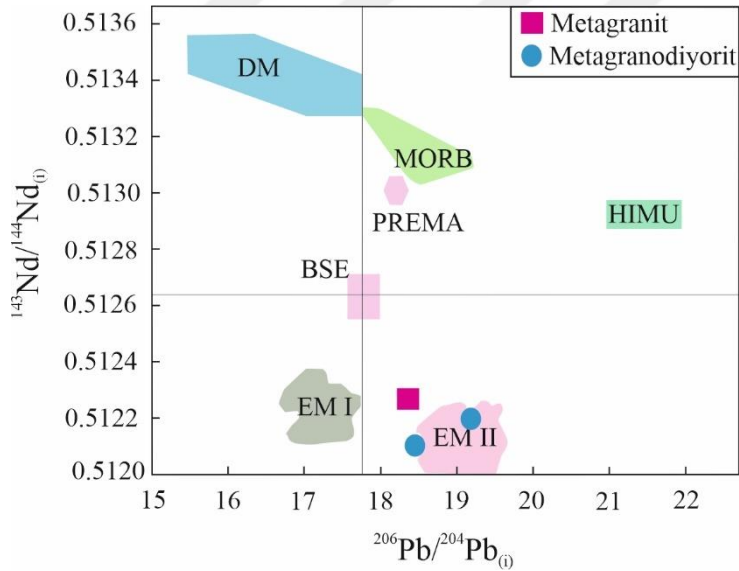
Kapıkaya Plütonu'na ait kayaçlardan 3 adet örneğin Pb izotop analizleri yaptırılmış ve Ek 8.6'da verilmiştir. Örneklerin ilksel $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ve $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop oranları LA-ICP-MS U-Pb titanit yaşları baz alınarak hesaplanmış olup, bu değerler önceki bölümde verilen yaşlar ile aynıdır. İnceleme alanındaki kayaçlara ait $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{(i)}$ oranları 18.37-19.18, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{(i)}$ oranı 15.48-15.62 ve $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{(i)}$ oranları 38.36-39.03 arasındadır (Ek 8.7).

Örneklerin $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ 'ye karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ ve $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ 'ye karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diyagramlarındaki konumlarına bakıldığında, bir örnek hariç tüm örneklerin Jeokron'un sağ tarafında ve Kuzey Yarımküre Referans Çizgisinin üzerinde (NHRL) (Hart, 1984) yer aldığı görülür (Şekil 4.39a). $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ 'a karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diagramında (Şekil 4.33a), tüm örnekler Alt Kıtasal Kabuk ve EM II alanı içinde yer alırlar. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ 'a karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diagramında (Şekil 4.33b), örnekler EM II ve Atlantik MORB'u alanında; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ 'a karşı $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diyagramında ise EM II ile HIMU arasında yer alırlar.



Şekil 4.33. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin **a)** $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ karşı $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ **b)** $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diyagramı. NHRL, Hart (1984)'e; Üst Kabuk (ÜK) alanı, Mason vd. (1996)'ne, Alt Kabuk (AK) alanı, Kempton vd. (1997)'den değiştirilerek alınmıştır

Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diyagramında örnekler (EMI) zenginleşmiş manto alanında yer almaktadır (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ karşı $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_{(i)}$ diyagramı (MORB: Okyanus Ortası Sırt Bazaltları, BSE: Toplam Yerküre, DM: Tüketilmiş Manto, EMI- EMII: Zenginleşmiş Manto, HIMU: yüksek U /Pb oranına (yüksek μ değerine) sahip manto, PREMA: Yaygın Manto bileşimi (Zindler ve Hart 1986)'den değiştirilerek alınmıştır

4.8. Jeotermobarometre Hesaplamaları

4.8.1. Jeotermometre hesaplamaları

4.8.1.1. Amfibol-Plajiyoklas termometresi

Kapıkaya Plütönu'nda yer alan kayaçların, kristallenme sıcaklıkları için Molina vd. (2015) tarafından önerdiği amfibol-plajiyoklas termometresi kullanılmıştır.

Kapıkaya Plütönu'na ait bölgelerinden alınan örneklerin, sıcaklık değerleri $T=0.667P-48.98+Y/-0.0429-0.008314 \ln K$ formülüyle ve basınç (P) değerleri, denge kristalizasyonunda dokanak halinde birlikte geliştiği varsayılan amfibollerden hesaplanmıştır. Formül hesaplamalarında $X_{ab} > 0.5$ için Y değeri sıfır (0), X_{ab} değeri < 0.5 ise, $Y=-8.06+25.5 (1- X_{ab})^2$ ve K değeri $(Si-4/8- Si)X_{ab}$ olarak hesaplanmıştır. Bu termometre de yer alan mineraller için, amfibol-plajiyoklas denge kristallenmesine kuvars, K-feldispat, biyotit, piroksen, Fe-Ti oksit $\pm$ titanit mineralleri eşlik etmelidir.

Termometredeki tepkimelerin ise edenit + 4kuvars = tremolit + albit' ve pargasit + 4kuvars = amfibol + albit şeklinde, plajiyoklasların An_{92} 'den daha az kalsik olması ve dokanak haldeki amfibolün katyonik Si içeriğinin 7.8'den daha küçük olmalıdır. Bu termometreler 500-1100 °C arasındaki sıcaklıklara duyarlıdır.

Çizelge 4.5. İncelenen kayaçlarda amfibol-plajiyoklas parametrelerine göre hesaplanan sıcaklık ve basınç değerleri

Örnek No	Mutch vd. (2016)	Hammerstrom ve Zen (1986)	Hollister vd. (1987)	Johnson ve Rutherford (1989)	Anderson ve Smith (1995)	Blundy vd. (1990)	Schmidt (1990)	Molina vd. (2015)
Metagranodiyorit	P (kbar)	P (kbar)	P (kbar)	P (kbar)	P (kbar)	P (kbar)	P (kbar)	T (°C)
Y24	0.9	0.3	--	--	--	-	--	955
Y19	15.1	17.3	15.9	12.1	3.4	14.9	14.5	958

Kapıkaya Plütönu'da yer alan metagranodiyorit kayaçlarda, Molina vd. (2015) tarafından önerilen formüller kullanılarak hesaplanan sıcaklık değerleri, 955-958°C arasında yer almaktadır (Çizelge 4.5).

4.8.1.2. Amfibol termometresi

İncelenen kayaçlardaki amfiboller kullanılarak, Ridolfi vd. (2010) ve Ridolfi ve Renzulli (2012)'nin önerdikleri formüller yardımıyla termometre hesaplamaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Amfibollerden elde edilen sıcaklık, hidrometre ve oksijen fugasitesi değerleri

Örnek No	Ridolfi vd. (2010)	Ridolfi ve Renzulli (2012)	Ridolfi ve Renzulli (2012)	Ridolfi ve Renzulli (2012)
Metagranodiyorit	P (kbar)	DNNO	fO_2	H ₂ O
Y24	0.4	0.5	-16.6	0.9
Y19	1.2	1.2	-15.7	2.2

Kapıkaya Plütunu'nda yer alan metagranodiyorit kayaçlarda, Ridolfi vd. (2010) tarafından önerilen förmüller kullanılarak hesaplanan basınç değerleri 0.4-1.2 kbr, DNNO (Ridolfi ve Renzulli, 2012) değerleri 0.5-1.2, fO_2 (Ridolfi ve Renzulli, 2012) -16.6-15.7 ve H₂O (Ridolfi ve Renzulli, 2012) 0.9-2.2 değerleri arasında yer almaktadır (Çizelge 4.6).

4.8.1.3. Biyotit termometresi

İncelenen plütonik kayaçlardaki biyotitlerin mineral kimyası analiz sonuçları kullanılarak, Luhr vd. (1984) tarafından önerilen formüller yardımıyla termometre hesaplamaları yapılmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7. Biyotitlerden hesaplanan sıcaklık, basınç ve oksijen fugasitesi değerleri

Örnek No	Luhr vd. (1984)	Uchida vd. (2007)	Uchida vd. (2007)
Metagranodiyorit	P (kbar)	T (°C)	fO_2
Y24	0.16	948	-15.6
Y19	0.58	961	-14.3

Kapıkaya Plütunu'nda yer alan metagranodiyorit kayaçlarda, Luhr vd. (1984) tarafından önerilen förmüller kullanılarak hesaplanan basınç değerleri 0.16-0.58 kbr, T^o(C) (Uchida vd. 1984) değerleri 948-961 ve fO_2 (Uchida vd. 2007) -15.6-14.3 ve H₂O değerleri arasında yer almaktadır (Çizelge 4.7).

4.8.2. Jeobarometre hesaplamaları

4.8.2.1. Amfibol-Plajiyoklas barometresi

Amfibol-plajiyoklas barometresini hesaplamak için yapılan analizlerde (Hollister vd. 1987; Johnson ve Rutherford 1989; Hammarstrom ve Zen, 1986; Schmidt, 1992), amfibollerin içeriğindeki ki toplam alüminyum içeriği ve basınç-sıcaklık değeri hesaplanmıştır.

Kayaçları oluşturan magma içerisinde bulunan amfiboller içindeki $Al^{(T)}$ değerleri basınç hesaplamalarında kullanılırlar. Kapıkaya Plütonu'nda yer alan metagranodiyorit kayaçlarda, amfibollerdeki $Al^{(T)}$ içeriğinden yararlanılarak aşağıdaki hesaplamalar kullanılmıştır:

$$P \text{ (kbar)} = 4.76 Al^{(T)} - 3.01 \text{ (Schmidt 1992)}$$

$$P \text{ (kbar)} = 5.03 Al^{(T)} - 3.92 \text{ (Hammarstrom ve Zen 1986)}$$

$$P \text{ (kbar)} = 5.64 Al^{(T)} - 4.76 \text{ (Hollister vd. 1987)}$$

$$P \text{ (kbar)} = 4.28 Al^{(T)} - 3.54 \text{ (Johnson ve Rutherford 1989)}$$

Basınç tahminleri için, $Al^{(T)}$ değişiminden yararlanılan amfibol kristallerinin, plajiyoklas, amfibol, biyotit, piroksen, K-feldispat, magnetit, ilmenit $\pm$ titanit denge kristalizasyonunda olması gerekmektedir.

Kapıkaya Plütonu'nda yer alan metagranodiyorit kayaçlardaki amfibollerde alüminyum-horblend barometresi esasına göre hesaplanan basınç değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Hammarstrom ve Zen (1986)'ya göre hesaplanan kristallenme basınçları 0.3–17.3 kbar arasındadır (Çizelge 4.5).

Hollister vd. (1987)'ye göre incelenen kayaçlara ait kristallenme basınçları 15.9 kbar'dır. (Çizelge 4.5).

Schmidt (1992)'ye göre incelenen kayaçlara ait kristallenme basınçları 14.5 kbar'dır (Çizelge 4.5).

4.8.2.2. Amfibol barometresi

Kapıkaya Plütonu'nda yer alan metagranodiyorit kayaçlarda, amfibollerin mineral kimyası analiz değerleri kullanılarak, Ridolfi vd. (2010) ile Ridolfi ve Renzulli (2012) tarafından önerilen formüller yardımı ile barometre hesaplamaları yapılmış ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Ridolfi vd. (2010)'a göre hesaplanan kristallenme basınçları 0.4-2.0 kbar arasındadır (Çizelge 4.5).

Ridolfi ve Renzulli (2012)'ye göre hesaplanan kristallenme basınçları 0.5-1.9 kbar arasındadır (Çizelge 4.3).

4.8.2.3. Biyotit barometresi

Biyotitlerin kristallenme basınçlarını belirleyebilmek için Uchida vd. (2007) tarafından önerilen ampirik eşitlik kullanılmıştır. Bu formül, mineral kimyası analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan $Al^{(T)}$ miktarına göre elde edilmiştir.

İncelenen kayaçlarda, Uchida vd. (2007) önerdiği formüle göre hesaplanan basınçlar 0.16-0.58 kbar arasında değişmektedir (Çizelge 4.7).

4.8.3.4. Amfibol Oksijen fugasitesi

İncelenen plütonik kayalarındaki amfiboller kullanılarak, Ridolfi vd. (2010) ve Ridolfi ve Renzulli (2012) tarafından önerilen formüller kullanılarak oksijen fugasitesi hesaplamaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo Çizelge 4.6'da verilmiştir.

İncelenen kayalarda, Ridolfi vd. (2010)'a göre hesaplanan amfibol oksijen fugasitesi (ΔNNO) değerleri 0.5-1.9 arasında değişmektedir (Çizelge 4.6).

İncelenen kayalarda, Ridolfi ve Renzulli (2012)'nin önerdiği eşitlikler kullanılarak hesaplanan oksijen fugasitesi (ΔNNO) değerleri -16.6-15.7 arasındadır (Çizelge 4.6).

4.8.3.5. Biyotit oksijen fugasitesi

Uchida (2007) tarafından hesaplanan sıcaklık değerleri kullanarak hesaplanan oksijen fugasitesi ($f\text{O}_2$) -14.3 ile -15.6 değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 4.7).

4.8.3.6. Amfibol hidrometresi

İncelenen plütonik kayalarındaki amfiboller kullanılarak, Ridolfi vd. (2010) ve Ridolfi ve Renzulli (2012) tarafından önerilen formüller yardımıyla hidrometre hesaplamaları yapılmış ve sonuçlar Tablo Çizelge 4.5'te verilmiştir.

İncelenen kayalarda, Ridolfi vd. (2012)'a göre hesaplanan ortalama su içerikleri % 0.9-2.2 arasında değişmektedir (Çizelge 4.5).

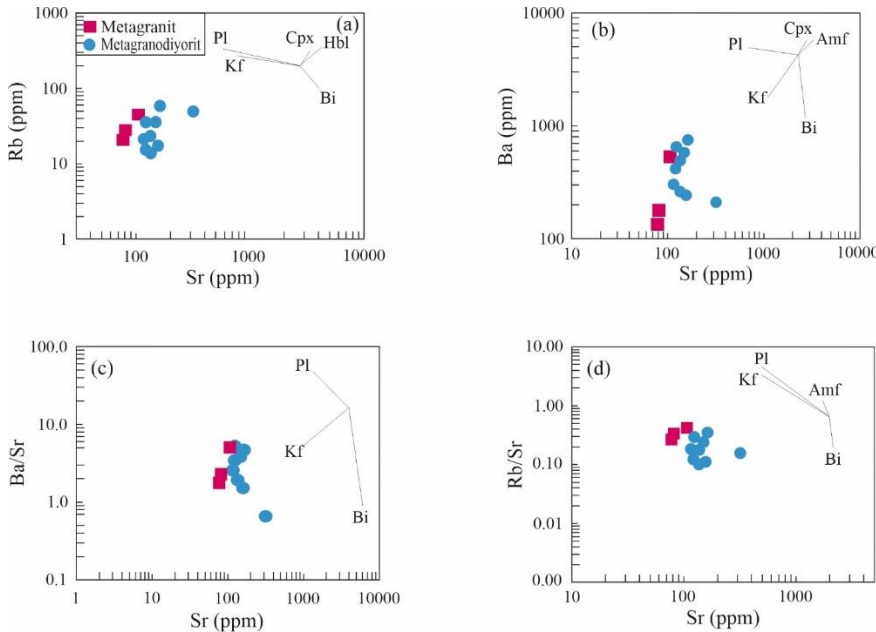
4.8.3.7. Fe-Ti oksit

Kapıkaya Plütonu'nda yer alan metagranodiyoritik kayalar içerisinde yer alan Fe-Ti oksitler ile ilgili toplam 15 noktada elektron mikroprob analizi yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre, opak minerallerin manyetit ve ilmenit bileşiminde olduğu belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA

5.1. Fraksiyonel Kristallenme

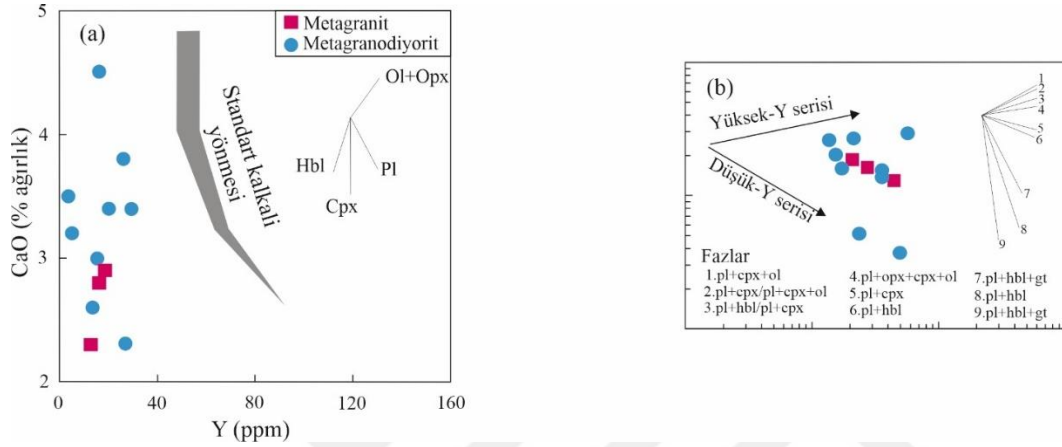
Kapıkaya plütonik kayaçları, jeokimyasal analiz verilerine göre subalkalen, düşük-K toleyitik (Şekil 4.15a) ve yüksek-K kalk-alkalen karakterdedir (Şekil 4.15b). Ayrıca, kayaçlar genellikle peralüminus karaktere (Şekil 4.23) sahip olup I-tipi (Şekil 4.23, 4.24) granit olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının örnekleri incelendiğinde, Harker diyagramlarında silika artması ile beraber bazikten asidiğe doğru sistematik değişimler gözlemlenmektedir (Şekil 4.20, 4.21). Bu değişim fraksiyonel kristallenmenin (FC), fraksiyonel kristallenme+asimilasyonun (AFC) ve kısmi ergimenin (PM) etkili olduğunu göstermektedir. Kapıkaya Plütunu tüm kayaç iz element diyagramlarında, Nb, Ti gibi HFS elementlerinde tüketilme, Rb, Ba, Th, Pb gibi LIL elementlerinde zenginleşme sunması (Şekil 4.22), tipik olarak dalma-batma zonunu işaret etmektedir (Ewart 1982; Pearce 1982, 1983; Thompson vd. 1984; Hawkesworth vd. 2000; Elburg vd. 2002). Bazı araştırmacılara göre LIL elementlerinde gözlemlenen zenginleşme; kaynak alanın dalan okyanusal litosferin ve/veya dalan litosfer üzerinde yer alan sedimanlarca zenginleştirilmiş olabileceği ve ana magmanın bu kaynak alandan türeyebileceğini ifade etmişlerdir (Gill 1981; Hawkesworth vd. 1991; McDermott vd. 1993). Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçlarda SiO_2 arttıkça K_2O ve Rb'un artması, TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO ve P_2O_5 içeriklerinin azalması fraksiyonel kristalleşmeye işaret eder. İncelenen kayaçlardaki yüksek Sr ve CaO değerleri ve hafif negatif Sr, Eu ve Ba anomalileri, plajiyoklas fraksiyonlaşmasını gösterir (Şekil 5.1a-d) Bu süreçleri tespit etmek amacıyla Rb-Sr, Ba-Sr, Ba/Sr, ve Rb/Sr-Sr diyagramları kullanılmıştır (Şekil 5.1a-d). Ba/Sr'a karşı Sr ve Rb/Sr'a karşı Sr diyagramlarında gözlenen yönelimler, plajiyoklas fraksiyonlaşmasının incelenen plütonik kayaçların oluşumunda önemli bir rol oynamış olabileceğine işaret eder.



Şekil 5.1. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin **a)** Rb/Sr, **b)** Ba/Sr, **c)** (Ba/Sr)/Sr, **d)** (Rb/Sr)/Sr diyagramı

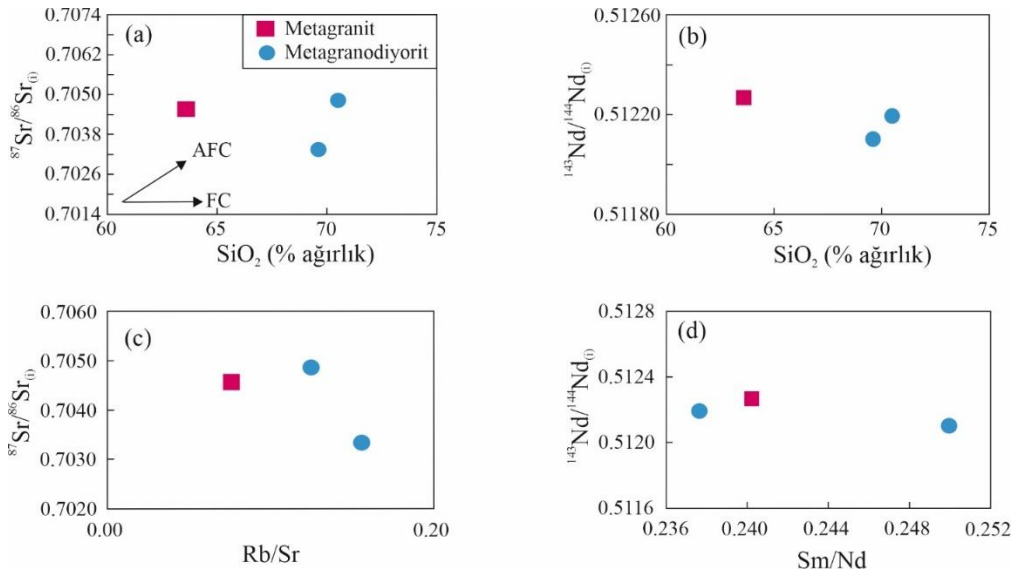
Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların CaO/Y diyagramında plajiyoklas fraksiyonel kristallenmenin olduğunu işaret eder (Şekil 5.2a).

İncelenen kayaçlardaki Y-Rb diyagramında (Şekil 5.2b), klinopiroksen, amfibol, biyotit, plajiyoklas, K-feldispat, Fe-Ti oksitler ve apatit gibi mineral fazlarının fraksiyonel kristallenmesini (ayırışmasına) işaret etmektedir.



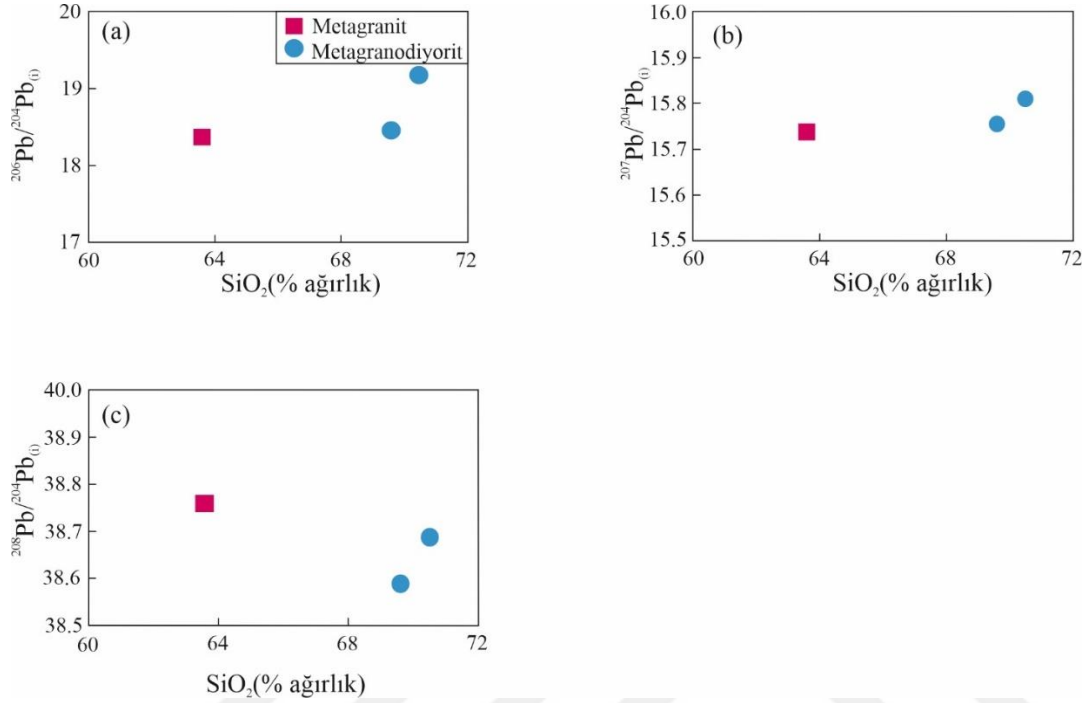
Şekil 5.2. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin a) CaO-Y, b) Y-Rb diyagramı

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}\text{-SiO}_2$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}\text{-SiO}_2$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}\text{-Rb/Sr}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}\text{-Sm/Nd}$ diyagramlarında (Şekil 5.3a-d), çalışma konusu olan kayaçların türediği magmanın fraksiyonel kristallenmeden etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 5.3. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin a) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}\text{-SiO}_2$ (% ağırlık), b) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}\text{-Rb/Sr}$, c) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}\text{-SiO}_2$, d) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}\text{-Sm/Nd}$ diyagramlarındaki izdüşümleri

Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})/\text{SiO}_2$, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})/\text{SiO}_2$, $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})/\text{SiO}_2$ diyagramları fraksiyonel kristallenmeye işaret eder (Şekil 5.4a-c).



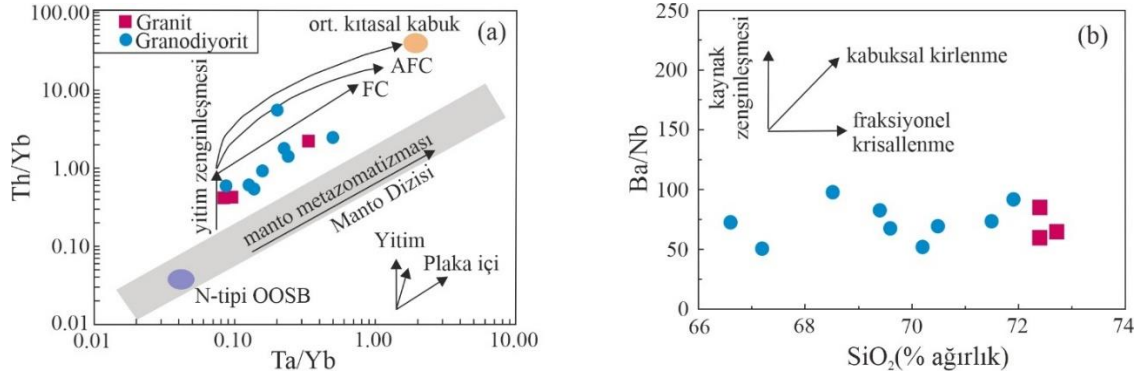
Şekil 5.4. Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların **a)** $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ karşı SiO_2 , **b)** $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ karşı SiO_2 , **c)** $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ karşı SiO_2 diyagramı

5.2. Asimilasyon-Fraksiyonel Kristallenme (AFC)

Asimilasyon-fraksiyonel kristallenme (AFC), magmanın soğuması sırasında hem ayrılaşma hem de asimilasyon aynı anda etkin olmuştur. Bu etkileşim ile oluşan zenginleşme, magmanın kıtasal kabuk içinde yukarıya doğru hareket etmesi ile kıtasal kabuğun asimilasyonu ve ayrılaşma ile birlikte gelişen AFC süreçleri (Depaolo 1981; Powel 1984) ile açıklanabilir.

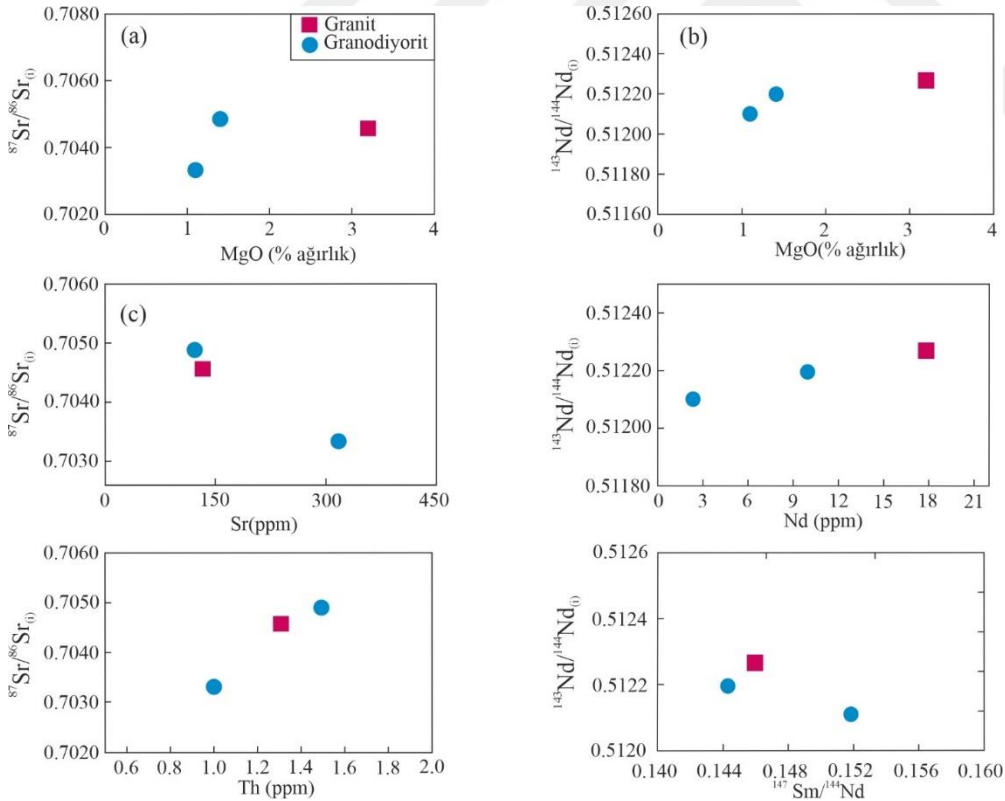
Tüm kayaçlarda gözlenen pozitif Pb ve belirgin negatif Nb-Ta anomalileri, yitim ve/veya kabuksal kirlenmeyi belirtir (Şekil 4.18). Yüksek çekim alanlı elementlerde gözlenen negatif anomaliler (Şekil 4.19), kabuksal kirlenmeyle ilişkilendirilmesine rağmen, yitim ile ilgili magma özelliğinde olduğu ve yiten dilimdeki büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerin mantoya ilavesiyle manto kaynağını zenginleştirdiğini göstermektedir (McCulloch ve Gamble 1991; Borg vd. 1997).

İncelenen Kapıkaya Plütönu'na ait kayaçların Th/Yb'e karşı Ta/Yb diyagramındaki dağılımları dikkate alındığında (Şekil 5.5a), tüm örneklerin manto çizgisinden uzaklaştığı görülmektedir. Buna göre, kaynak alanın yitimle ilişkili bir metasomatizma ile açıklanabileceği, manto kaynaklı ergiyiklerin büyük ölçüde kabuksal ergiyik katılımını da göstermektedir. SiO_2 'ye karşı Ba/Nb diyagramında (Şekil 5.5b) gözlenen negatif yönelim, kabuksal asimilasyon ile ilgili olabilir. Yatay trendler fraksiyonel kristallenmenin önemli bir rol oynamadığına işaret eder.



Şekil 5.5. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin **a)** Th/Yb'ye karşı Ta/Yb, **b)** Ba/Nb karşı SiO₂ diyagramı

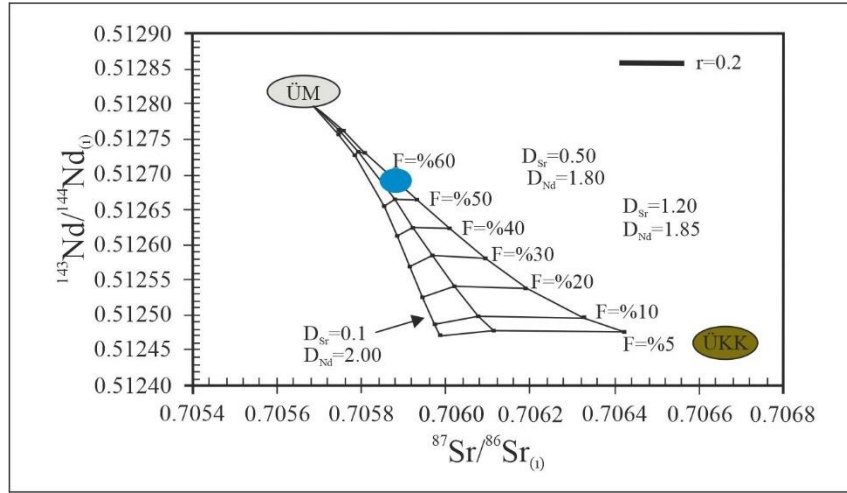
AFC süreçlerinin modellenmesi, çeşitli araştırmacılar (Depaolo, 1981; Powel, 1984; Taylor ve Sheppard 1986; Albarede, 1996; Hagen ve Neumann 1990) tarafından hem iz element verileri hem de izotop verileri dikkate alınarak yapılmıştır. İncelenen kayaçlarda artan MgO, Sr, Th ve Nd değerlerine karşı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ diyagramlarında (Şekil 5.6a-f), gözlenen değişimler, kayaçların gelişiminde kirlenmenin de etkili olduğunu gösterir.



Şekil 5.6. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin **a)** MgO'ya karşı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ diyagramı, **b)** MgO'ya karşı $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ diyagramı, **c)** Sr'a karşı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(i)}$ diyagramı, **d)** Nd'ye karşı $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(i)}$ diyagramı

Kapıkaya Plütunu'na ait Sr-Nd izotopik AFC modellemesinde kullanılan ilksel magma bileşimi (ICo) olarak üst manto (ÜM) değeri (Klein, 2004, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7029$, $\text{Sr}=188\text{ppm}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51319$, $\text{Nd} = 9.62\text{ppm}$), asimilant ürünü olarak da üst kıtasal kabuk (ÜKK) bileşimi (Davies vd. 1985, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71463$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511843$; Taylor ve McLennan, 1985, $\text{Sr} = 350\text{ppm}$, $\text{Nd} = 26\text{ppm}$) dikkate alınmıştır (Şekil 5.7).

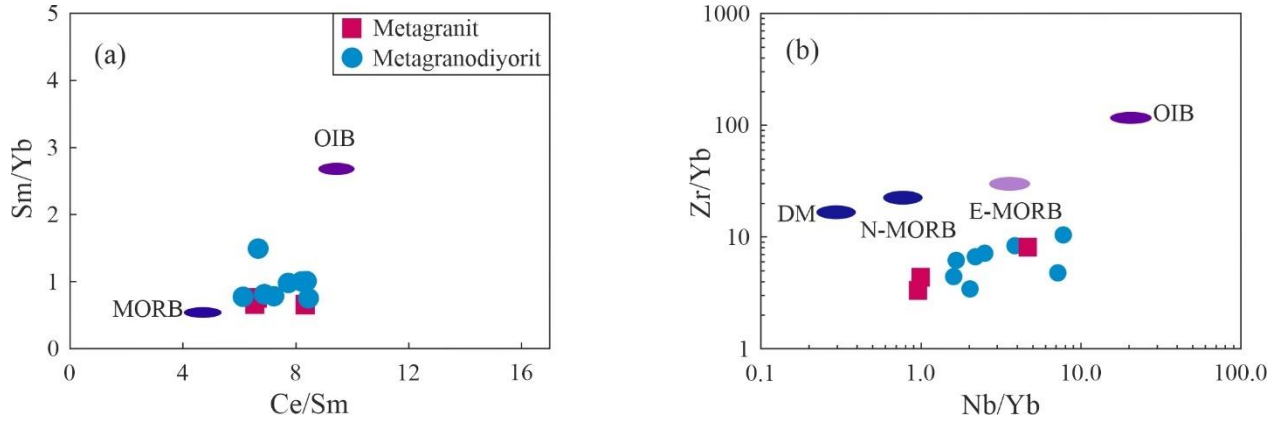
Ayrıca, ilksel magmanın üst kıtasal kabuğu özümlediği varsayımı dikkate alınarak; $r=0.2$ değeri için farklı ayrımlanma katsayıları (D_1 , D_2 ve D_3) ve F değerleri kullanılmış ve farklı AFC eğrileri çizilmiştir (Şekil 5.6). 'r' değerinin incelenen kayalar için ≤ 0.2 ve "kritik değer" olan $r=0.25$ 'den daha düşük (Albarède 1996) değerde olması; incelenen kayaların AFC sürecinden ve kabuksal kirlenmeden çok fazla etkilenmediğini göstermektedir.



Şekil 5.7. İncelenen kayaların AFC modellemesini gösteren $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ 'ye karşı $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ diyagramı. İlksel magma bileşimi (IC⁰) olarak üst manto (ÜM) (Klein, 2004) değeri kabul edilmiştir ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7029$, $\text{Sr}=188\text{ppm}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51319$, $\text{Nd}=9.62\text{ppm}$). Üst kıtasal kabuk (ÜKK) bileşimine ait iz elementler ($\text{Sr}=350\text{ppm}$, $\text{Nd}=26\text{ppm}$) Taylor ve McLennan (1985)'den, izotopik bileşimler ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71463$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511843$) ise Davies vd. (1985)'den değiştirilerek alınmıştır

5.3. Ana Magmanın Kökeni

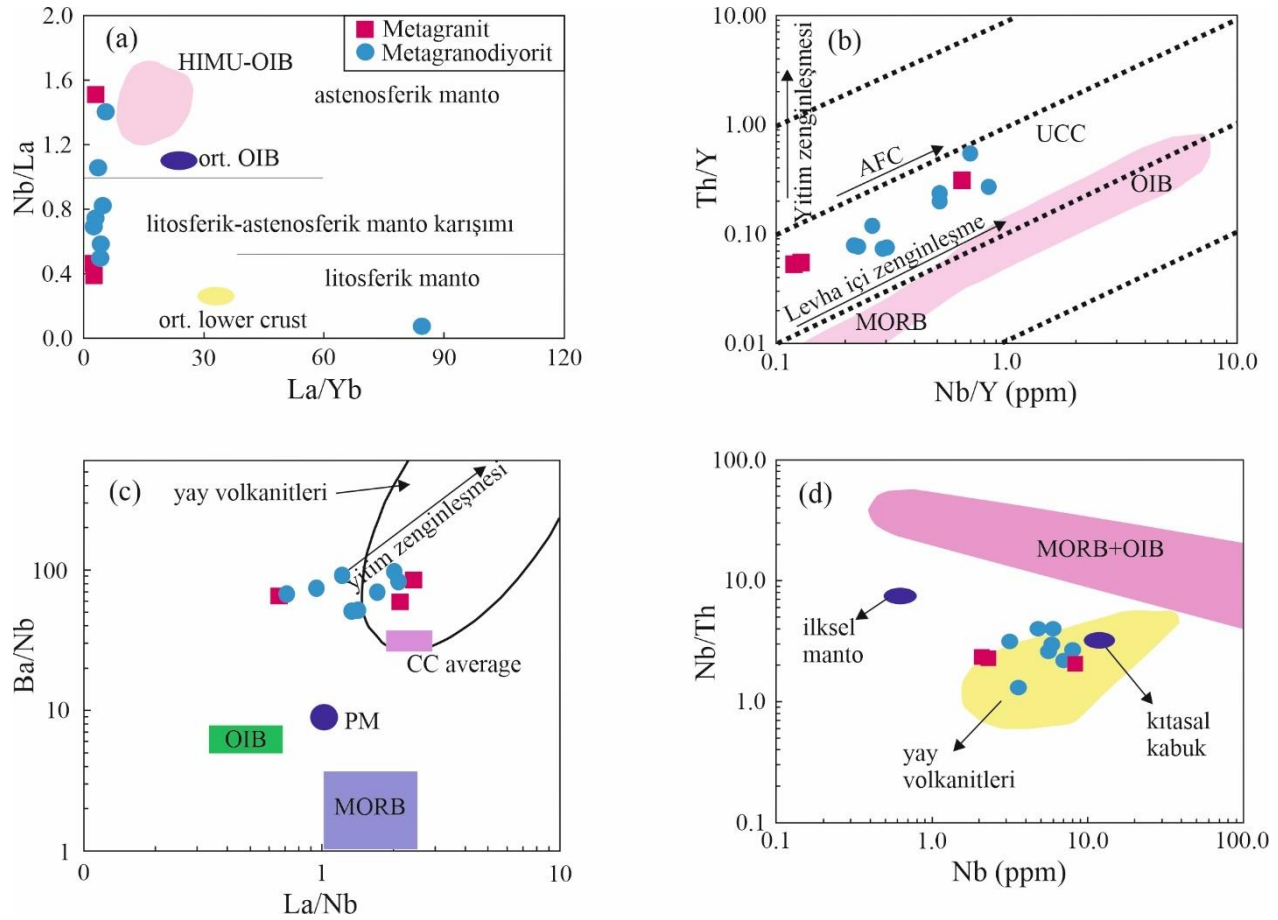
İncelenen plütonlara ait kayalar düşük-K kalkalkalen ve I-tipi karaktere sahip olup, düşük Ni içeriği (6.8-22.20 ppm), nispeten düşük Mg# (40.65-63.37 ppm) ve geniş bir aralıkta değişim gösteren silis içeriğine (% 66.30-72.70) sahiptir. Tüm bu özellikler, Kapıkaya Plütunu'na ait ana magmasının birincil manto ergimesi ile dengede olmadığına işaret eder. Sm/Yb'ye karşı Nb/Yb (Şekil 5.8a) ve Zr/Yb'ye karşı Ce/Sm diyagramlarında (Şekil 5.8b) incelenen örnekler zenginleşmiş alanda yer alırlar.



Şekil 5.8. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin **a)** Sm/Yb'ye karşı Ce/Sm, **b)** Zr/Yb'ye karşı Nb/Yb diyagramı. DM: Tüketilmiş manto, N-MORB: Tüketilmiş üst manto kaynaklı, E-MORB: Zenginleşmiş üst manto kaynaklı ve OIB: Okyanus Ortası Bazaltları, bileşimleri Sun ve McDonough (1989)'dan; MORB ve OIB bileşimleri Harms vd. (1997)'den değiştirilerek alınmıştır

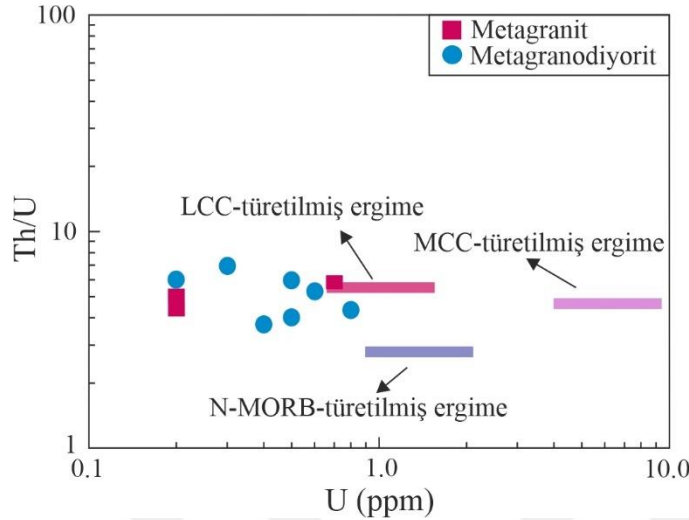
İncelenen kayaçlara ait örnekler Nb/La'ya karşı La/Yb diyagramında (Şekil 5.9a) çoğunlukla litosferik manto alanında yer alırlar. Th/Y'ye karşı Nb/Y levha içi zenginleşme (Şekil 5.9b), Ba/Nb'ye karşı La/Nb (Şekil 5.9c) ve Nb/Th'a karşı Nb (Şekil 5.9d) diyagramlarında ise yay volkanikleri alanına yakın bölgelerde yer alırlar.

İncelenen kayaçların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i)$ ve $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(i)$ değerleri ile üst manto (ÜM) ve üst kabuk (ÜK) bileşenlerinden yararlanılarak, üst manto kaynağından alt ve üst kıtasal kabuğa farklı karışım oranları (f) ve farklı parametreler dikkate alınarak karışım modellemesi yapılmıştır (Şekil 5.9a-d). Bu modellemeye göre, kayaçların oluşumuna kaynaklık eden magmaya üst kabuğun katkısının yaklaşık olarak %10-12 (Şekil 5.9a-d) oranları arasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.9. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların, a) Nb/La'ya karşı La/Yb, b) Th/Y'ye karşı Nb/Y, c) Ba/Nb'ye karşı La/Nb, d) Nb/Th karşı Nb diyagramı (ilksel manto değerleri Hofmann (1988)'den; UCC: Üst kıtasal kabuk, AFC: Asimilasyon fraksiyonel kristalleşme, N-MORB: Tüketilmiş üst manto kaynaklı, E-MORB: Zenginleşmiş üst manto kaynaklı ve OIB: Okyanus Ortası Bazaltları, PM: ilksel manto, HIMU: Yüksek U/Pb oranına sahip, ve yay volkanikleri değerleri Schmidberg ve Hegner (1999) 'dan değiştirilerek alınmıştır)

Th/U'a karşı U diyagramında (Şekil 5.10), incelenen kayaçların magma kökenli kaynağının zenginleşmesini etkileyen faktörler belirlenmiştir. Örneklerin genellikle N-MORB kaynaklı ve alt kıtasal kabuğun ergiyikleri alanına yakın alanda bulunması, N-MORB kaynaklı magmanın alt kıtasal kabuk bileşenlerince zenginleşmeye başladığını işaret etmektedir (Şekil 5.10).

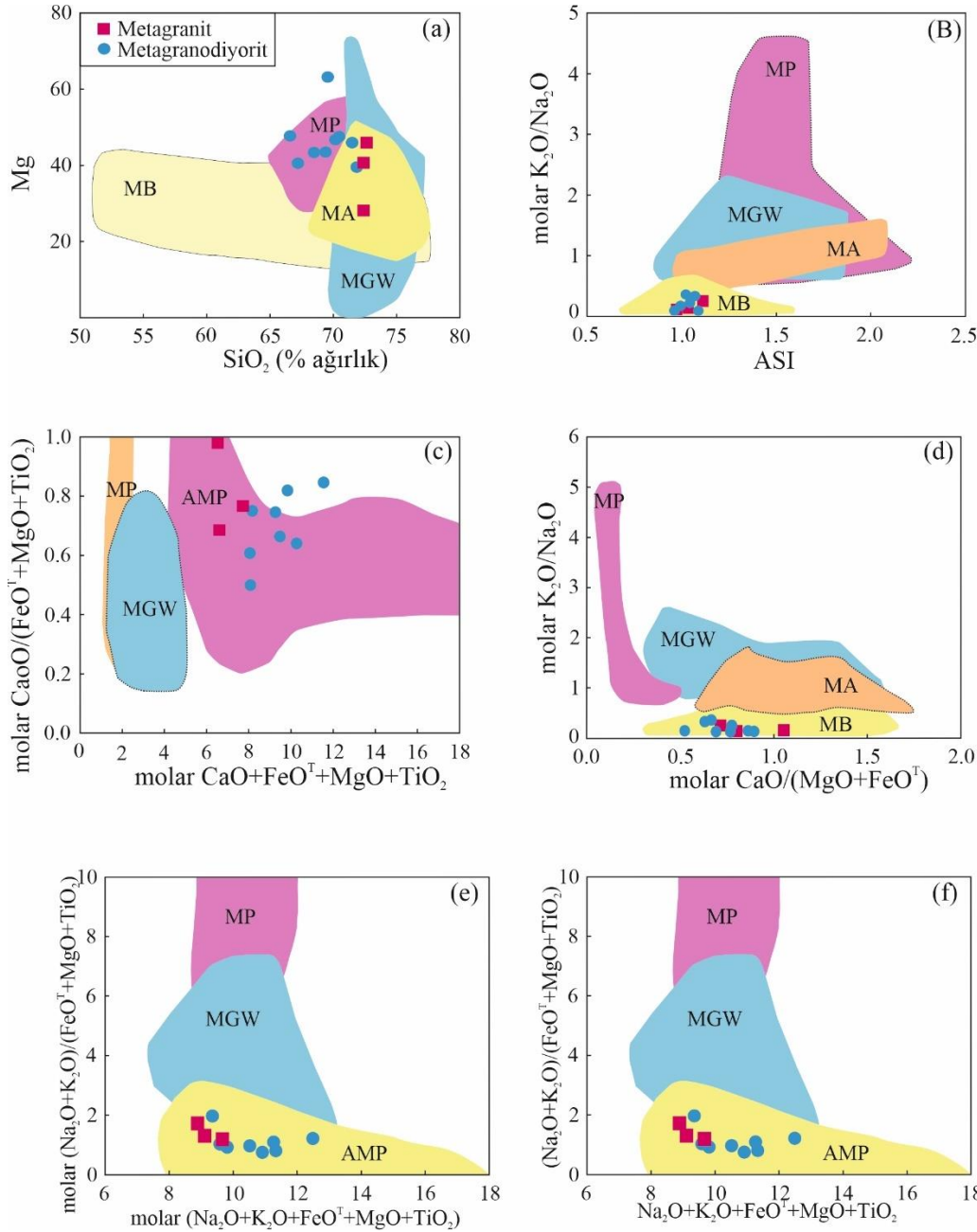


Şekil 5.10. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaçların Th/U karşı U diyagramı MORB: Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı, LCC-MCC Alt-Orta Kıtasal Kabuk (Kaygusuz vd. 2013'den değiştirilerek alınmıştır)

Kondrit ve ilksel mantoya göre normalleştirilmiş örümcek diyagramlarında (Şekil 4.19), incelenen plütonik kayaçlara ait örnekler negatif Ta, Ti, Nb ve pozitif Rb, Th, K, Pb anomalileri göstermekte olup, LIL ve HNT elementlerce zenginleşme gösterirler. Bu anomaliler genellikle kabuksal kayaçlara özgü bir özellik taşımaktadır (Şekil 4.19).

Granitik kayaçları oluşturan magmalar, genellikle alt kıta kabuğunda bulunan metasedimanter ve/veya metagranit/metagranodiyorit kayaçların dehidrasyonu sonucunda gelişen kısmi ergimesiyle ilişkilidir (Patino Douce ve Johnston, 1991; Rapp, 1995; Patino Douce ve Stevens vd. 1997; Beard, 1996). Kıtasal magmalar arasında bulunan bileşimsel farklılıklar, ergime şartlarındaki fiziko-kimyasal koşullardan (basınç, sıcaklık, H₂O içerikleri ve oksijen fugasitesi) doğrudan etkileneceği gibi ergiyen malzemenin bileşimsel karakterinden de etkilenebilmektedir (Patino Douce ve Beard 1996, Patino Douce 1999). Çalışma alanındaki plütonik kayaçların kökenlerinin belirlenmesi amacıyla örneklerin ana element oksitleri diyagramları Şekil 5.11'de verilmiştir (Patino Douce 1999).

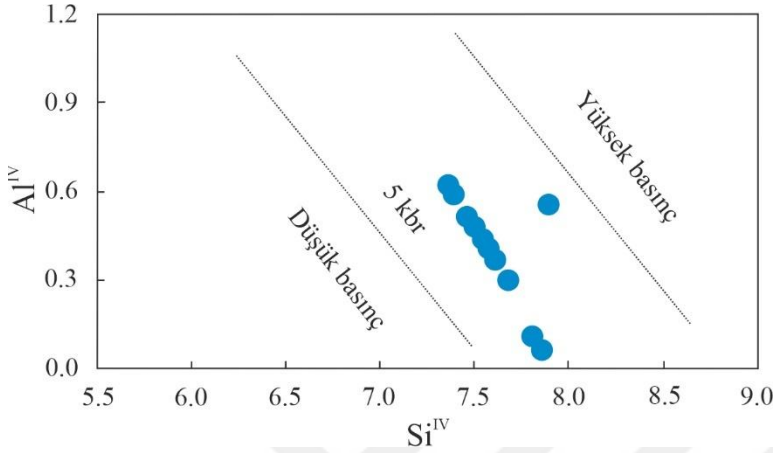
Kapıkaya Plütunu'nuna ait kayaçlardaki, Mg#'ye karşı SiO₂, Molar K₂O/Na₂O karşı ASI, Molar CaO/(FeO^T+MgO+TiO₂) karşı Molar CaO+FeO^T+MgO+TiO₂, Molar K₂O/Na₂O karşı CaO/(MgO+FeO^T), Molar(Na₂O+K₂O)/(FeO^T+MgO+TiO₂) karşı Na₂O+K₂O+FeO^T+MgO+TiO₂, f) (Na₂O+K₂O)/(FeO^T+MgO+TiO₂) karşı Na₂O+K₂O+FeO^T+MgO+TiO₂ diyagramlar incelendiğinde, kayaçların farklı ergime koşullarından ve kısmi ergimelerden etkilenmesine rağmen, kökeninin metabazaltik bileşimli olduğunu işaret etmektedir (Şekil 5.11a-f).



Şekil 5.11. Kapıkaya Plütunu'na ait kayaç örneklerinin a) Mg/SiO₂, b) Molar K₂O/Na₂O karşı ASI, c) Molar CaO/(FeO^T+MgO+TiO₂) karşı Molar CaO+FeO^T+MgO+TiO₂, d) Molar K₂O/Na₂O karşı CaO/(MgO+FeO^T), e) Molar (Na₂O+K₂O)/(FeO^T+MgO+TiO₂) karşı (Na₂O+K₂O+FeO^T+MgO+TiO₂), f) (Na₂O+K₂O)/(FeO^T+MgO+TiO₂) karşı Na₂O+K₂O+FeO^T+MgO+TiO₂ diyagramı. MB: Metabazaltlar, MA: Metaandezitler, MGW: Metagrovaklar, MP: Metapelitler, AMP: Amfibolitler (Patino Douce 1998'den değiştirilerek alınmıştır)

5.4. Yerleşim Derinliği

İncelenen kayalardaki amfibollerin mikroprob analizi sonuçlarına göre (Çizelge 8.4), Kapıkaya Plüton'unu ait kayalardaki amfiboller 7.5-8.5 kbr basınç arasında yer alırlar (Şekil 5.9).



Şekil 5.12. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaç örneklerinin amfibollerinin bileşimi ve basınç aralığı

İncelenen kayalardaki minerallerde hesaplanan amfibol-plajiyoklas, amfibol ve biyotit barometreleri 1.6-4.8 kbar arasında basınç değerler vermiştir.

İncelenen kayalarda yer alan amfiboller kalsik amfibol olup, $Al_{(T)}$ değerleri 2.0'dan daha düşüktür. Hammarstrom ve Zen (1986)'e göre amfibollerin $Al_{(T)} \leq 2.0$ değerleri genellikle sığ derinlik sokulumlarına özgüdür.

İncelenen plütonik kayalarda yer alan mineraller üzerine yapılan hesaplamalar sonucu, amfibol-plajiyoklas, amfibol ve biyotit termometresine göre hesaplanan sıcaklık değerleri 955-958°C arasında değişmektedir.

Bazı araştırmacılara (Wones, 1989; Anderson ve Smith, 1995; Kemp, 2004) göre, granitik magmaların oksijen fugasitesi yavaş soğuma nedeniyle belirlenememesinden dolayı göreceli hesaplamalar kullanabilmektedir. İncelenen örneklerde oksijen fugasitesi ($\log_{10} fO_2$) değerleri -15.7 ile -16.6 arasındadır.

Kayaalarda bulunan amifbol, biyotit gibi sulu mineraller ile titanit ve apatit minerallerinin bulunması, kayaları oluşturan magmanın yüksek su ve uçucu içeriğine sahip olduğu göstermektedir. Bu içeriğe sahip yüksek sıcaklıklı magmalar kristallenme süreçleri tamamlanmadan kıtasal kabuğun sığ derinliklerine doğru ilerleyebilirler (Helmy vd. 2004). Amfibol minerallerini içeren magmaların su içerikleri genellikle Luhr vd. (1982)'ye göre %2-3, Eggler (1972), Helz (1973) ve Naney (1983)'e göre ortalama %5, Merzbacher ve Eggler (1984)'e göre ise ortalama % 6 dır. Kapıkaya Plütonu'na ait örneklerdeki amfibollerden hesaplanan su içerikleri 3.2 ile 5.9- arasındadır.

Mineral kimyası verileri ile hesaplanan termobarometrik sonuçlara göre, örneklerin basınç

değerleri 3.4-17.3 kbar arasında değişmekte olup; sıcaklık değerleri ise 948-961⁰C'dir. Tüm bu özellikler dikkate alındığında, incelenen plütonun kıtasal kabuk içerisinde, sulu magmalardan itibaren sığ derinliklere (7.5-8.5 km) yerleştiği ileri sürülebilir.



6. SONUÇLAR

Tez kapsamında;

İstanbul-Zonguldak Zonu Bolu Masifi'nde yer alan Kapıkaya Plütonu genel olarak KD-GB uzanımlı ve yaklaşık 600 km²'lik geniş bir bölgeyi kapsamaktadır.

Kapıkaya Plütonu'ndaki kayalar orta-iri taneli yapıya sahipken, başlıca mineralleri kuvars, plajiyoklas, K-feldispat, biyotit ve amfiboldür. Aksesuar mineralleri ise apatit, zirkon, titanit ve opak mineralleridir. Serisitleşme, killeşme, kloritleşme, epidotlaşma görülen alterasyon türleridir.

Kapıkaya Plütonu'nda yer alan kayaların plajiyoklas içerikleri An₍₁₈₋₂₅₎ ile K-feldispat içerikleri Or₍₈₀₋₉₉₎ aralığında değişmektedir. Biyotitleri flogobit, amfibollerde ise tremolit bileşimlidir.

Kapıkaya Plütonu'na ait kayalar, metagranit/metagranodiyorit bileşimlerine sahiptirler.

İncelenen kayaların toplam alkali % (Na₂O+K₂O) değerleri %3.3 - 6.6 arasında değişim gösterirken, SiO₂ değerleri %66.60 – 72.70 arasında değişmektedir. A/CNK değerleri 0.97-1.11 arasında olup, I-tipi kaynağa işaret etmektedir.

Kapıkaya Plütonu'na ait kayaların harker diyagramları incelendiğinde, K₂O ile Rb, silika karşısında pozitif korelasyon gösterirken, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO ve CaO gibi major oksitlerin silikan artışı ile negatif trend göstermektedir. K₂O ve SiO₂ arasında görülen pozitif trend, K-feldispat ve biyotit gibi mineraller içerisinde bulunan K₂O içeriğini göstermektedir. İz elementlere göre yapılan harker diyagramlarında ise artan SiO₂'ye karşı V, Ni, Co, Cu, Zn, Ga, Y değerlerinde azalma trendi; Rb, Ba, Th değerlerinde artış trendi görülmektedir.

Kapıkaya Plütonu'na ait kayaların ilksel mantoya göre normalize edilen çoklu element diyagramlarında, LIL elementlerinde zenginleşme, HFS elementlerinde ise tüketilme gözlenmektedir. Bu sonuçlar kayaların dalma batma kökenli magmalardan türediğini göstermektedir. Kapıkaya Plütonu'na ait kayaların LRE elementleri açısından orta-yüksek zenginleşme, HRE elementleri açısından tüketilme göstermektedir.

Kapıkaya Plütonu'na ait kayaların ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_(i) değerleri 0.703332 ile 0.704861 arasında değişirken, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_(i) değerleri 0.512104-0.512268 arasındadır. Örneklerin εNd_(i) değerleri -0.99 ile -3.94 arasında olup, TDM model yaşları 1.17-1.62 arasında değişim gösterir. İncelenen kayaların ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb_(i), ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb_(i) ve ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb_(i) içerikleri sırasıyla 18.37-19.18, 15.48-15.62 ve 38.36-39.03 arasında değişmektedir.

Tektonik ayrım diyagramlarında, Kapıkaya Plütonu'na ait kayaların genellikle volkanik yay alanında yer aldığı gözlenmiştir.

Kapıkaya Plütonu'na ait Y08 örneğinde, U-Pb titanit yaşları 235 ± 0.85 My olup, Paleozoyik dönemine karşılık gelmektedir.

Tüm izotopik veriler ve düşük molar K_2O/Na_2O , ASI, molar $(Na_2O+K_2O)/(FeO^T+MgO+TiO_2)$ ve yüksek molar $CaO+FeO^T+MgO+TiO_2$ içerikleri, Kapıkaya Plütonu'nu oluşturan kayaçların türediği magmanın muhtemel alt kıtasal kabuktan türediğini göstermektedir.

İncelenen kayaçların kristallenmeleri esnasındaki katılaşma sıcaklıkları, basınçları, oksijen fugasitesi değerleri ve su içerikleri dikkate alındığında, Kapıkaya Plütonu'nu oluşturan kayaçların nispeten sığ derinliklere yerleşmiş oldukları görülür.



7. KAYNAKÇA

- Anonim 1: www.earth.google.com [Son erişim tarihi: 12.06.2023]
- Akdoğan, R. Okay, A.I. Sunal, G. Tari, G. Meinhold, G. and Kylander-Clark, A.R.C. 2017. Provenance of a large Lower Cretaceous turbidite submarine fan complex on the active Laurasian margin: Central Pontides, northern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 134: 309–329 p.
- Albarède, F. 1996. Introduction to geochemical modeling: 563 p.
- Anderson J. L. and Smith D. R. 1995. The effects of temperature and fO₂ on the Al-in-hornblende barometer, *Am Mineral*, 80: 549–559 p.
- Arpat E. Tütüncü, K. Uysal S. and Göğer, E. 1978. Cambrian–Devonian sequence in the Safranbolu area. TJK 32. *Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri* 30:1–14 p.
- Aydın, M. Serdar, H. S. Şahintürk, Ö. Yazman, M. Çokuğraş, R. Demir, O. ve Özçelik, Y. 1987. Çamdağ (Sakarya)-Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 30 (1): 1-14 s.
- Biberoğlu, S. 1984. Yığılca (Bolu) güneydoğusunun jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul (yayınlanmamış).
- Blumenthal, M. 1948. Un aperçu de la Geologie des Chaines nordanatoliennes entre l'ova de Bolu et le Kızılırmak inferieur, *Publications de l' Institut d' Etudes et de Recherches Minieres en Turquie* 265 p.
- Blundy, J. D. and Holland, T. J. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contributions to mineralogy and petrology*, 104 (2). 208-224 p.
- Borg, G. and Shackleton, R. M. 1997. The Tanzania and NE-Zaire Cratons. *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, 35: 608-619 p.
- Bozkaya, G. Gökçe, A. and Grassineau, N.V. 2008. Fluid inclusion and stable isotope characteristics of the Arapuçandere Pb-Zn-Cu deposits, northwest Turkey. *International Geology Review*, 50 (9): 848-862 p.
- Bozkaya, G. and Gökçe, A. 2009. Lead and sulfur isotope studies of the Koru (Çanakkale, Turkey) lead-zinc deposits. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18: 127-137 p.
- Bozkaya, Ö. Yalçın, H. Göncüoğlu, M.C. 2012a, Mineralogic evidences of a mid Paleozoic tectonothermal event in the Zonguldak terrane, NW Turkey: implications for the dynamics of some Gondwana-derived terranes during the closure of the Rheic Ocean. *Can. J. Earth Science*, 49: 559–575 p.
- Bozkaya, Ö. Yalçın, H. and Göncüoğlu, M.C. 2012b. Diagenetic and very low-grade metamorphic characteristics of the Paleozoic series of the İstanbul Terrane (NW Turkey). *Swiss*

Journal of Geosciences 105 (2): 183-201 p.

Bozkurt, E. Winchester, J. A. Yiğitbaş, E. and Ottley, C. J. 2008. Proterozoic ophiolites and mafic-ultramafic complexes marginal to the İstanbul Block: an exotic zone of Avalonian affinity in NW Turkey. *Tectonophysics* 461: 240–251 p.

Bozkurt, E. Winchester, J.A. and Satir, M. 2013a. The Çele mafic complex: Evidence for Triassic collision between the Sakarya and İstanbul Zones, NW Turkey: *Tectonophysics*, v. 595–596 p. 198–214, doi:10.1016/j.tecto.2012.11.005.

Bozkurt, E. Winchester, J.A. Satir, M. Crowley, Q.G. and Ottley, C.J. 2013b. The Almacık maficultramafic complex: exhumed Sakarya subcrustal mantle adjacent to the İstanbul Zone, NW Turkey. *Geological Magazine* 150: 254–282 p.

Cerit, O. 1990. Bolu Masifinin Jeolojik ve Tektonik İncelemesi (Geologic and Tectonic Investigation of Bolu Massif). PhD Thesis, Hacettepe University (in Turkish with English abstract, unpublished).

Chappel, B. W. ve White, A.J.R. 1974. “Two contrasting granite types”: *Pac. Geol.* 8 173-174 p.

Chen, F. Siebel, W. Satir, M. Terzioğlu, N. and Saka, K. 2002. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the İstanbul Zone: *International Journal of Earth Sciences*, 91 p. 469–481, doi:10.1007/s00531 -001- 0239-6.

Clarke, D. B. 1992. *Granitoid rocks* (Vol. 7). Springer Science & Business Media.

Boynton, W.V. 1984 Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P. Ed. *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, 63-114 p.

Brown, R. James (1984) Blast Vibration Analysis. *Engineering Geology*, 20 (3): 267-268 p.

Chen, Y. Hu, A. Zhang, G. and Zhang, Q. 2000. Zircon U-Pb age of granitic gneiss on Duku highway in western Tianshan of China and its geological implications. *Chinese Science Bulletin*, 45: 649-653 p.

Chen, F. Siebel, W. Satir, M. Terzioğlu, N. and Saka, K. 2002. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the İstanbul Zone: *International Journal of Earth Sciences*, v. 91 p. 469–481, doi:10.1007/s00531 -001- 0239-6.

Davies, G. and Tredoux, M. 1985. The platinum-group element and gold contents of the marginal rocks and sills of the Bushveld Complex. *Economic Geology*, 80(4): 838-848 p.

Dean, W.T. Martin, F. Monod, O. Rickards, R.B. Bultynck, P. and Bozdoğan, N. 1997. Lower Palaeozoic stratigraphy, Karadere-Zirze area, central Pontides, northern Turkey. In Early Paleozoic evolution in N W Gondwana (eds M. C. Göncüoğlu and A. S. Derman), *Turkish*

Association of Petroleum Geologists, Special Publication no. 3: 32-6p.

Dean, W.T. Monod, O. Rickards, R.B. Demir, O. and Bultynck, P. 2000. Lower Palaeozoic stratigraphy and palaeontology, Karadere-Zirze area, Pontus Mountains, northern Turkey: *Geological Magazine*, 137: 555–582 p. doi:10.1017/S0016756800004635.

Defant, M. J. and Drummond, M. S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347(6294): 662-665 p.

DePaolo, D. J. 1981. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust–mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, 291(5812): 193-196 p.

D.J. 1988. Neodymium Isotope Geochemistry: An Introduction. Minerals and Rocks 20, Springer-Verlag, New York: 187 p.

Drummond, M. S. and Defant, M. J. 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 95(B13), 21503-21521 p.

Düzgören-Aydin, N. S. Malpas, J. Goncuoglu, M. C. and Erler, A. 2001. A review of the nature of magmatism in central Anatolia during the Mesozoic post-collisional period. *International Geology Review*, 43(8): 695-710 p.

Eggler, D. H. (1976). Does CO₂ cause partial melting in the low-velocity layer of the mantle?. *Geology*, 4(2): 69-72 p.

Elmas, A. and Yiğitbaş, E. 2001. Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in northwestern Anatolia, Turkey: *International Journal of Earth Sciences*, 90: 257–269 p. doi:10.1007/s005310000129.

Elmas, A. and Yiğitbaş, E. 2005. Comment on Tectonic evolution of the IntraPontide suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey, by Robertson and Ustaömer: *Tectonophysics*, 405: 213–221p. doi:10.1016/j.tecto.2005.05.007.

Erendil, M. Aksay, A. Kuşcu, İ. Oral, A. Tunay, G. Temren, A. 1991. Bolu Masifi ve Çevresinin Jeolojisi (Geology of Bolu Massif and its Surroundings). Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey Report no. 9425 (in Turkish).

Ewart, A. 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. In R.S. Thorpe, (eds.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. John Wiley, New York.

Elburg, M. A. Van Bergen, M. Hoogewerff, J. Foden, J. Vroon, P. Zulkarnain, I. & Nasution, A. 2002. Geochemical trends across an arc-continent collision zone: magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(15): 2771-2789 p.

Faure, G. Strobel, M. L. and Hagen, E. H. 1987. Glacial geology of the Reckling Moraine on the east antarctic ice. *Antarctic Journal of the United States*, 22(5): 61 p.

Faure, G. 2001. Origin of igneous rocks: The isotopic evidence, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 496 p.

Faure, G. and Mensing, T.M. 2005. Isotopes: Principles and applications, 3rd ed. John Wiley and Sons, USA: 897 p.

Frost, B.R. Barnes, C.G. Collins, W.J. Arculus, R.J. Ellis, D.J. and Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048 p.

Gand, G. and Tüysüz, O. 2011. New Permian tetrapod footprints and macroflora from Turkey (Çakraz Formation, northwestern Anatolia): biostratigraphic and palaeoenvironmental implications. *Comptes Rendus Palevol*, 10: 617–625 p.

Gedik, İ. and Önal, M. 2001, New observations on the Paleozoic stratigraphy of Camdağ (Sakarya Province). *Istanbul University Yerbilimleri*, 14, 61–76.

Gedik, İ. Duru, M. Pehlivan, Ş. ve Timur, E. 2005. 1:50.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları (İstanbul F22 c, d; F23 c, d; Bursa G22 a, b; G23 a, b). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No: 10-17 Ankara.

Gedik, İ. and Önal, M. 2012. Çamdağ (Sakarya İli) paleozoyik stratigrafisine ait yeni gözlemler. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*. 14 (1-2).

Gill, J.B. 1981. Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Springer, Berlin. 390 p.

Göncüoğlu, M.C. Dirik, K. and Kozlu, H. 1997. General Characteristics of Pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: Explanatory Notes to the Terrane Map of Turkey, *Annales Geology* 37: 515–536 p.

Göncüoğlu, M. C. Turhan, N. Sentür K. Özcan, A. Uysal, S. 2000a. A geotraverse across NW Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution. In: Bozkurt, E. Winchester, J. A. & Piper, J. D. (eds) *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*. Geological Society of London Special Publications, 173: 139–162 p.

Göncüoğlu, M.C. Yalınz, M.K. Floyd, P.A. 2000b. Petrology of the Carboniferous volcanic rocks in the Lycian Nappes, SW Turkey: implications for the Late Paleozoic evolution of the Tauride-Anatolide Platform. *International Earth Science Congress Aegean Regions*, Izmir, Sept.25-29, 2000, Abstracts, 213.

Göncüoğlu M. C. Boncheva I, Göncüoğlu Y. 2004. First Finding Of Middle Tournasian Conodonts in the Griotte-Type Limestones of the Palaeozoic of Istanbul: Implications for the Variscan Evolution, *Revista Italiana Paleont. Strat.* 110: 431-439 p.

Göncüoğlu, M. C. Boncheva, I. Okuyucu, C. Saydam, G. Sachanski, V. Eroğlu, G. Gedik, I. 2008b. Correlation of the Palaeozoic Platform Carbonates in Istanbul, Camdağ Inkumu and Karadere Areas Devonian Colloquium, Ankara-Turkey.

Göncüoğlu, M. C. 2010. 'Introduction to the Geology of Turkey: Geodynamic Evolution of the Pre-Alpine and Alpine Terranes', General Directorate and Mineral Research and Exploration, M.T.A. 66 p.

Göncüoğlu, M. C. Sachanski, V. Gutierrez-Marco, J. C. and Okuyucu, C. 2014. Ordovician graptolites from the basal part of the Palaeozoic transgressive sequence in the Karadere area, Zonguldak Terrane, NW Turkey. *Estonian Journal of Earth Sciences* 63: 227– 32 p.

Hagen, H. and Neumann, E. R. 1990. Modeling of trace-element distribution in magma chambers using open-system models. *Computers & Geosciences*, 16(4): 549-586 p.

Hamdi, B. 1975. Lower Devonian conodonts from the Karadere section, Turkey. *Geological Survey of Iran*, 32:, 19-33 p.

Hammarstrom, J. M. and E.-A. Zen, 1986, Aluminium in hornblende: An empirical igneous geobarometer, *Am. Mineral.* 71: 1297-1986 p.

Harms, U. Cameron, K. L. Simon, K. and Brätz, H. 1997. Geochemistry and petrogenesis of metabasites from the KTB ultradeep borehole, Germany. *Geologische Rundschau*, 86: 155-166 p.

Hart, S. R. 1984. A Large scale isotope anomaly in the southern hemisphere mantle, *Science*, 309: 753-757 p.

Hastie, A.R. Kerr, A.C. Pearce, J.A. and Mitchell, S.F. 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the the co discrimination diagram, *Journal of Petrology*, 48(12): 2341-2357 p.

Hawkesworth, C.J. Hergt, J.M. McDermott, F. Ellam, R.M. 1991. Destructive margin magmatism and the contributions from the mantle wedge and subducted crust. *Australian Journal of Earth Sciences*, 38: 577-594 p.

Hawkesworth, C. J. Blake, S. Evans, P. Hughes, R. Macdonald, R. Thomas, L. E. and Zellmer, G. 2000. Time scales of crystal fractionation in magma chambers—integrating physical, isotopic and geochemical perspectives. *Journal of Petrology*, 41(7): 991-1006 p.

Helmy, H. M. Ahmed, A. F. El Mahallawi, M. M. and Ali, S. M. 2004. Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implications. *Journal of African Earth Sciences*, 38(3): 255-268 p.

Helz, R. T. 1973. Phase relations of basalts in their melting range at $P_{H_2O} = 5$ kb as a function of oxygen fugacity: part I. Mafic phases. *Journal of Petrology*, 14(2): 249-302 p.

Hofmann, B. A. 1988. Geochemical analogue study in the Krunkelbach mine, Menzenschwand, Southern Germany: Geology and water-rock interaction. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*: 127 p.

Hollister, L. S. Grissom, G. C. Peters, E. K. Stowell, H. H. and Sisson, V. B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American mineralogist*, 72(3-4): 231-239 p.

Irvine, T.N. ve Baragar, W.R.A. 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks: Can, Jour, Earth, Scien, 8: 523-548 p.

Ishihara, S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mineralogy Geology* 27: 293-305 p.

Johnson, M. C. and Rutherford, M. J. 1989. Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17(9): 837-841 p.

Kempton, P.D. Downes, H. and Embey-Istzin, A. 1997. Mafic granulite xenoliths in Neogene alkali basalts from the western Pannonian basin: Insights into the lower crust of a collapsed orogen. *Journal of Petrology*, 38: 941-970 p.

Kemp, A.I.S. 2001. Petrogenesis of granitic rocks: A source based perspective. PhD Thesis, Australian National University, Canberra, Australia (yayımlanmamış).

Kemp, A.I.S. 2004. Petrology of high-Mg, low-Ti igneous rocks of the Glenelg River Complex (SE Australia) and the nature of their interaction with crustal melts, *Lithos*: 119-156 p.

Ketin, İ. 1966. Anadolu' nun Tektonik Birlikleri (Tectonic Units of Anatolian Asia Minor): Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, Ankara, 66: 20-34s.

Krmíček L. Cempírek J. Havlín A. Přichystal A. Houzar S. Krmíčková M. Gadas P. 2011. Mineralogy and petrogenesis of a Ba–Ti–Zr-rich peralkaline dyke from Šebkovice (Czech Republic): Recognition of the most lamproitic Variscan intrusion. *Lithos*, 121(1-4):74-86 p. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.10.005>

Lom N. Ülgen S. C. Sakınç M. and Şengör A. M. C. 2016. Geology and stratigraphy of Istanbul region, in Sen S. (ed.), Late Miocene mammal locality of Küçükçekmece, European Turkey. *Geodiversitas* 38 (2): 175-195 p. <http://dx.doi.org/10.5252/g2016n2a3>

Luhr, J. F. Carmichael, I. S. and Varekamp, J. C. 1984. The 1982 eruptions of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico: mineralogy and petrology of the anhydritebearing pumices. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23(1-2): 69-108 p.

McCulloch, M. T. and Gamble, J. A. 1991. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 102(3-4): 358-374 p.

Middlemost, E.A.K. 1994. Naming minerals in the Magma/Igneous rock system. *Earth*

Science Review, 37: 215-224 p.

Molina I, Burgisser A, Oppenheimer C 2015. A model of the geochemical and physical fluctuations of the lava lake at Erebus volcano, Antarctica. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 308:142–157 p.

Mutch, E. J. F. Blundy, J. D. Tattitch, B. C. Cooper, F. J. and Brooker, R. A. 2016. An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 171: 1-27 p.

Okay, A.I. and Nikishin, A.M. 2015. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. *International Geology Review*, 57: 1051–1076 p.

Kaygusuz, A. Sipahi, F. İlbeyli, N. Arslan, M. Chen, B. Aydınçakır, E. 2013. Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4: 423–438 p.

Köksal S. Toksoy-Köksal F. Göncüoğlu, M.C. 2017. Petrogenesis and geodynamics of plagiogranites from Central Turkey (Ekecikdag/Aksaray): new geochemical and isotopic data for generation in an arc basin system within the northern branch of Neotethys. *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*, 106: 1181–1203 p.

Köksal S. 2019. The Upper Cretaceous intrusive rocks with extensive crustal contribution in Hacımahmutuşağı Area (Aksaray/Turkey), *Geologica Carpathica*, 70: 261-276 p.

Leake, B.E. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. *Mineralogical Magazine*, 61: 295-321 p.

Leake, E.B. Wooley, A.R. Arps, C. E. S. Birch, W.D. Gilbert, M.C. Grice, J.D. Hawthorne, F.C. Kato, A. Kisch, H.J. Krivovichev, V.G. Linthout, K. Laird, J. Mandarino, J. Maresch, W.V. Nickhel, E.H. Rock, N.M.S. Schumacher, J.C. Smith, D.C. Stephenson, N.C.N. Ungaretti, L. Whittaker, E. J.W. and Youzhi, G. 1997. Nomenclature of amphiboles report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names. *European Journal Mineralogy*, 9: 623-651 p.

Naney, M.T. 1983. Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *American Journal of Science*, 283: 993-1033 p.

Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Soc. Of Am. Bull.* 101: 635- 643 p.

McDermott, F. Defant, M.J. Hawkesworth, C.J. Maury, R.C. and Joron, J.L. 1993. Isotopic and trace element evidence for three component mixing in the genesis of the North Luzon, arc lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113: 9-23 p.

Merzbacher, C. and Eggler, D. H. 1984. A magmatic geohygrometer: application to Mount St. Helens and other dacitic magmas. *Geology*, 12 (10): 587-590 p.

MTA. 2002. Geological map series of Turkey, 1: 500 000 scale, 18 sheets: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

M.T.A. 2004. 'Batı Karadeniz bölgesi litostratigrafi birimleri, Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-1'. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 92 s.

Okay, A. I. 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. A. M. C. Şengör (Ed), Tectonic evolution of the Tethyan region: *Nato Advanced Science Institute (ASI) Series*, 259: 109-116 p.

Okay, A.İ. Satır, M. Maluski, H. Siyako, M. Monie, P. Metzger, R. and Akyüz S. 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: geological and geochronological constraints. Tectonics of Asia. A. Yin, M. Harrison (Eds.). *Cambridge University Press*, 420-441 p.

Okay, A.I. Şengör, A.M.C. and Görür, N. 1994, Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions: *Geology*, 22: 267–270 p. doi:10.1130/0091-7613

Okay, A.İ. and Şahintürk, Ö. 1997. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 68: 291-311 p.

Okay, N. Zack, T. Okay, A.I. and Barth, M. 2011. Sinistral transport along the Trans-European Suture Zone: Detrital zircon-rutile geochronology and sandstone petrography from the Carboniferous flysch of the Pontides: *Geological Magazine*, 148: 380–403 p. doi:10.1017/S0016756810000804.

Othman, D. B. Polvé, M. and Allègre, C. J. 1984. Nd—Sr isotopic composition of granulites and constraints on the evolution of the lower continental crust. *Nature*, 307(5951): 510-515 p.

Önalan, M. 1981. İstanbul Ordoviyen çökellerinin sedimanter özellikleri. İstanbul Üniversitesi Mühendislik FakültesiYerbilimleri Derg. 6: 93-108 s.

Özaltın, M. 1984, Yığılca (Bolu) güneydoğusunun jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Fen Bilimleri Enstitüsü, 75s.

Özbey, V. Özeren, M. S. Henry, P. Klein, E. Galgana, G. Karabulut, H. and McCaffrey, R. 2021. Kinematics of the Marmara Region: a fusion of continuum and block models. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3(1): 57-78 p.

Özgül, N. 2012, Stratigraphy and some structural features of the İstanbul Paleozoic. *Turkish Journal of Earth Sciences* 21: 817-866.

Parsons, I. Mason, R.A. Becker, S.M. ve Finch, A.A. (1991). Biotite equilibria and fluid circulation in the Klokken Intrusion. *Journal of Petrology*, 32, 1299-1333.

Patino Douce, A.E. Beard, J.S. 1996. Effects of P, f (O₂) and Mg/Fe Ratio on Dehydration Melting of Model Metagreywackes, *Journal of Petrology*, 37: 999–1024 p.

Patiño Douce, A.E. McCarthy, T.C. 1998. Melting of crustal rocks during continental collision and subduction. In: When continents collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultra-high pressure Rocks, edited by Hacker, B. R. Liou, J. G. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 27-55 p.

Patiño Douce, A. E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas?. *Geological Society, London, Special Publications*, 168 (1): 55-75 p.

Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites*, Unwin Hyman, London, 525–548 p.

Pearce, J.A. 1983. Role of the Sub-Continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins. In: Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. Eds. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva Cheshire, UK, 230-249 p.

Pearce, J.A. Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956- 983 p.

Powell, R. D. 1984. Glacimarine processes and inductive lithofacies modelling of ice shelf and tidewater glacier sediments based on Quaternary examples. *Marine Geology*, 57(1-4): 1-52 p.

Rasimgil, S. 2018. Düzköy (Trabzon) plütonik kayaçların petrolojisi, jeokimyası ve petrojenezi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 92 s.

Rasimgil, S. Ilbeyli, N. Gunes, A. and Demirbilek, M. 2023. Petrogenesis of strongly peraluminous plutonic rocks of the Eastern Sakarya Zone (Trabzon, Turkey): implications for crustal melting and evolution. *Mineralogy and Petrology*, 117(1): 79-97 p.

Robertson, A.H.F. and Ustaömer, T. 2004, Tectonic evolution of the IntraPontide suture zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey: *Tectonophysics*, 381: 175–209 p. doi:10.1016/j.tecto.2002.06.002.

Rickwood, P.C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams, which use oxides of major and minor elements. *Lithos*. 22: 247-263 p.

Ridolfi, F. Renzulli, A. and Puerini, M. (2010). Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contributions to mineralogy and petrology*, 160: 45-66 p.

Ridolfi, F. Renzulli, A. 2012. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130 °C and 2.2 GPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 163: 877–895 p.

Pitcher, W. S. 1983. Granite Type and Tektonic Environment, in: HSU, K. (ed.), Noutain Bulding Process, Akademik Press, London, 19 – 40 p.

Rollinson, H. R. 1993. A terrane interpretation of the Archaean Limpopo Belt. *Geological Magazine*, 130 (6): 755-765 p.

Rudnick, R.L. and Gao, S. 2003 The Composition of the Continental Crust. In: Holland, H.D. and Turekian, K.K. Eds. Treatise on Geochemistry, Vol. 3, The Crust, Elsevier-Pergamon, Oxford, 1-64 p. <http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>

Rudnick, R. L. and Fountain, D. M. 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews of geophysics*, 33 (3): 267-309 p.

Rollinson, H.R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Prentice Hall: 1–352p.

Schultze-Westrum, H.H. 1961. Giresun Civarındaki Aksu Deresinin Jeolojik Profili, Kuzeydoğu Anadolu’da Doğu Pontus Cevher ve Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları ile İlgili Mütalalar. MTA Dergisi, 57: 63-71 s.

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 p.

Schmidt, J. C. 1990. Recirculating flow and sedimentation in the Colorado River in Grand Canyon, Arizona. *The Journal of Geology*, 98(5): 709-724 p.

Smith, J.V. ve Brown, W.L. 1988. *Feldspar minerals I: Crystal structures, physical, chemical, and microtextural properties*, Springer Verlage, New York.

Sun, S.S ve McDonough, W.F. 1989. Chemical and Isotope Systematics of Oceanic Basalts; Implication for Mantle Compositions and Processes. In: Saunders, A. D. and Nory, M. J, (Eds.): Magmatism in the Ocean Basins. *Geological Societ of London, Special Publication*, 42: 313-345 p.

Streckeisen, A. T. 1976. Classification * the common igneous rocks by. means of their chemical com. position, A provisional attempt N. Jb. W, Miner. Monats, 1976, 1-İ5 p.

Şen, F. 2022. Age and implication of Late Ediacaran dykes in the İstanbul-Zonguldak Tectonic Unit (NW Turkey): Implications for the rifting of the Rheic Ocean. *International Geology Review*, 64 (17): 2416-2435 p.

Şen, F. 2023. Ordovician arc and syncollisional magmatism in the İstanbul-Zonguldak Tectonic Unit (NW Turkey): Implications for the consumption of the Teisseyre-Tornquist Ocean

in Far East Avalonia. *Mineralogy and Petrology*, 1-23 p.

Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: Tectonophysics, 75: 181 – 241 p.

Şengör, A. M. C. Satır, M. and Akkök, R. 1984. Timing of tectonic events in the Menderes massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3: 693-707 p.

Şentürk, M. 2022. Geological setting and facies distribution of Mengen Eocene coal deposits, Bolu, NW-Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9): 851 p.

Takahashi, M. Aramaki, S. and Ishihara, S. 1980. Magnetite series/ilmenite series vs. I-type/ S-type granitoids. In: Ishihara, S. and Takenouchi, S. (eds). Granitic Magmatism and Related Mineralization. Mining Mineralogy Special Issue No. 8. The Society of Mining Mineralogists of Japan, Tokyo, 13-38 p.

Taylor, B. E. 1987. Stable isotope geochemistry of ore-forming fluids. Short course in stable isotope geochemistry of low temperature fluids, 337-445 p.

Thompson, R.N. Morrison, M.A. Hendry, G.L. and Parry, S.J. 1984. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: An elemental approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, 310: 549-590 p.

Tüysüz, O. 1990. Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: The Kargı massif, Northern Turkey. *Tectonics* 9(1): 141-160 p.

Tüysüz, O. 1999. Geology of the Cretaceous sedimentary basins of the Western Pontides. *Geological Journal* 34: 75–93 p.

Tüysüz, O. Aksay, A. and Yiğitbaş, E. 2004. Stratigraphic Nomenclature of the Western Black Sea Region. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Committee of Stratigraphy, Lithostratigraphy Units Series I, Ankara.

Uchida, E. Endo, S. And Makino, M. 2007. Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits. *Resource Geology*, 57(1): 47-56 p.

Ustaömer, P.A.M. 1996. Petrogenesis and Metallogenesis of Bolu-Yedigöller Granitoids. Unpublished PhD Thesis (in Turkish), İ. U. Science Institute, 196 p.

Ustaömer, P.A. and Kipman, E. 1998. An example for a Pre-Ordovician Arc magmatism from northern Turkey: geochemical investigation of Çarşı, Urtepe Formation (Bolu, W Pontides). *Bull. Mineral Res. Explor. Inst.* 120: 61–77 p.

Ustaömer, P.A. 1999. Pre-Early Ordovician Cadomian arc-type granitoids, the Bolu Massif, West Pontides, northern Turkey: geochemical evidence. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rund.)*, 88: 2–12 p.

Ustaömer, P.A. and Rogers, G. 1999. The Bolu Massif: remnant of a pre-Early Ordovician active margin in the west Pontides, northern Turkey. *Geology Magazine*. 136: 579–592p.

Ustaömer, P.A. Mundil, R. and Renne, P.R. 2005. U/Pb and Pb/Pb zircon ages for arc-related intrusions of the Bolu Massif (W Pontides, NW Turkey): Evidence for Late Precambrian (Cadomian) age: *Terra Nova*, 17: 215–223 p. doi:10.1111/j.1365-3121.2005.00594.x.

Ustaömer, T. Robertson, A.H.F. 2005. Reply to discussion contribution by A. Elmas and E. Yiğitbaş, on “Tectonic evolution of the Intra-Pontide suture zone in the Armutlu Peninsula” by A.H.F. Robertson and T. Ustaömer [*Tectonophysics* 381 (2004), 175–209]. *Tectonophysics* 405: 223–231 p.

Ustaömer, P. A. Ustaömer T. Gerdes A. and Zulauf, G. 2011. Detrital zircon ages from a Lower Ordovician quartzite of the Istanbul exotic terrane (NW Turkey): evidence for Amazonian affinity. *International Journal of Earth Sciences* 100: 23–41 p.

Ustaömer, T. Ustaömer, P. A. Robertson, A. H. F. ve Gerdes, A. 2016. Implications of U-Pb and Lu-Hf isotopic analysis of detrital zircons for the depositional age, provenance and tectonic setting of the Permian-Triassic Palaeotethyan Karakaya Complex, NW Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 105 (1): 7–38 p.

Yalçın, M. N. ve Yılmaz, İ. 2010. Devonian in Turkey—a review. *Geologica Carpathica*, 61: 235–253p.

Yiğitbaş, E. ve Elmas, A. 1997. Bolu-Eskipazar-Devrek-Çaycuma dolayının jeolojisi, TPAO Raporu.

Yiğitbaş, E. Elmas, A. Yılmaz, Y. 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. *Geological Journal* 34: 55–74 p.

Yiğitbaş, E. Kerrich, R. Yılmaz, Y. Elmas, A. Xie, Q. 2004. Characteristics and geochemistry of Precambrian ophiolites and related volcanics from the Istanbul —Zonguldak Unit, northwestern Anatolia, Turkey: following the missing chain of the Precambrian south European Suture Zone to the east. *Precambrian Research* 132: 179–206 p.

Yiğitbaş, E. Winchester, J.A. Ottley, C.J. 2008. The geochemistry and setting of the Demirci granulites of the Sünnice (Bolu) Massif, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 17: 419–429 p.

Yılmaz, Y. Tüysüz, O. Yiğitbaş, E. Genç, Ş.C. Şengör, A.M.C. 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In: Robinson, A.G.(Ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region AAPG Memoir* 68: 183–226 p.

Zindler, A. and Hart, S. 1986. Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14: 493–571 p.

Wones, D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite-i-magnetite-i-quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74: 744-749 p.

Whalen, J.B. Currie, K.L. and Chappell, B.W. 1987. A-Type granites, chemical characteristics, discrimination and petrogenesis, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95: 407-419 p.



8.EKLER**EK 8.1.** Çalışma bölgesinden elde edilen örneklerin özellikleri

ÖRNEK NO	ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	RENK	TANE BOYU	KOORDİNAT
Y-24A	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	40°56'47" K 31°45'02"D
Y-24	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	40°57'07" K 31°44'52"D
Y16	Yedigöller Yöresi	Sarımsı-kahverengi	Orta taneli	40°53'28" K 31°40'30"D
Y46	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40°53'01" K 31°14'59"D
Y41	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40°53'01" K 31°15'02"D
Y09	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40°48'43" K 31°39'01"D
Y40	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40°53'01" K 31°14'59"D
Y38	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	İri taneli	41°01'06" K 31°49'22"D
Y-23A	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	40°55'43" K 31°44'40"D
Y-33	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	41°00'04" K 31°47'34"D
Y-24A	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	40°56'47" K 31°45'02"D
Y-24	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	40°57'07" K 31°44'52"D
Y16	Yedigöller Yöresi	Sarımsı-kahverengi	Orta taneli	40°53'28" K 31°40'30"D

EK 8.1.'in devamı

ÖRNEK NO	ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER	RENK	TANE BOYU	KOORDİNAT
Y41	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40 ⁰ 53'01" K 31 ⁰ 15'02"D
Y09	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40 ⁰ 48'43" K 31 ⁰ 39'01"D
Y40	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu pembemsi	Orta taneli	40 ⁰ 53'01" K 31 ⁰ 14'59"D
Y38	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	İri taneli	41 ⁰ 01'06" K 31 ⁰ 49'22"D
Y-23A	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	40 ⁰ 55'43" K 31 ⁰ 44'40"D
Y-33	Yedigöller Yöresi	Açık-koyu Kahverengi	Orta taneli	41 ⁰ 00'04" K 31 ⁰ 47'34"D

EK 8.2. İncelenen kayalara ait K-feldispatların mikroprob analiz sonuçları

No.	Y24A-1	Y24A-2	Y24A-3	Y24A-4	Y24A5	Y24A-6	Y24-1	Y24-2	Y24-3	Y24-4
SiO ₂	25.54	25.76	63.98	67.42	65.89	66.24	99.22	97.93	98.31	97.79
TiO ₂	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.34	20.70	22.22	20.22	19.26	19.12	0.05	0.04	0.05	0.05
FeO	15.26	15.25	0.27	0.42	0.37	0.25	0.02	0.03	0.09	0.02
CaO	0.06	0.07	1.61	0.76	0.72	0.47	0.02	0.02	0.02	0.03
Na ₂ O	0.00	0.03	10.90	12.15	12.09	12.70	0.04	0.07	0.05	0.06
K ₂ O	0.01	0.01	0.30	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOPLAM	61.23	61.84	99.27	101.06	98.36	98.83	99.37	98.12	98.56	97.97
Formüller 8 oksijen üzerinden hesaplanmıştır										
Si	8.18	8.16	11.37	11.75	11.80	11.81	15.98	15.98	15.97	15.98
Ti	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	7.67	7.72	4.65	4.15	4.06	4.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe(ii)	4.08	4.03	0.04	0.06	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.02	0.02	0.03	0.14	0.13	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	0.01	0.01	3.75	4.10	4.13	4.35	0.01	0.02	0.02	0.02
K	0.01	0.01	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
An	82.91	54.30	7.40	3.31	3.16	2.01	17.98	9.94	16.16	19.40
Ab	7.38	40.38	90.95	69.32	96.65	97.77	60.62	43.40	64.59	65.69
Or	9.71	5.31	1.65	0.37	0.19	0.22	21.40	46.60	19.24	14.90
FeO ^T toplam Fe olarak ölçülmüştür.										

EK 8.3. İncelenen kayalara ait biyotitlerin mikroprob analiz sonuçları

No.	Y19-1	Y19-2	Y19-3	Y24-1	Y24-2	Y24-3	Y24-4	Y24-5	Y24-6	Y24-7
SiO ₂	37.34	37.63	57.85	54.08	51.54	53.85	50.14	45.35	48.63	45.69
TiO ₂	0.06	0.25	0.10	0.14	0.18	0.13	0.03	0.04	0.04	0.04
Al ₂ O ₃	24.05	25.65	5.00	1.69	3.05	2.43	30.35	32.31	30.39	31.62
FeO ^T	13.05	11.73	9.38	11.33	11.66	11.11	2.83	4.08	3.28	5.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.21	0.04	16.24	18.67	17.51	18.97	1.58	1.47	1.86	1.61
CaO	22.20	22.57	7.41	11.25	11.08	11.17	0.55	0.11	0.13	0.10
Na ₂ O	0.02	0.02	0.23	0.32	0.71	0.58	2.39	0.65	1.35	0.44
K ₂ O	0.01	0.00	0.03	0.05	0.05	0.05	8.95	10.57	9.98	10.38
TOPLAM	96.97	97.91	96.26	97.53	95.78	98.30	96.81	94.59	95.67	94.88
Formül 22 oksijen üzerinden hesaplanmıştır										
Si	5.63	5.58	7.55	7.72	7.54	7.62	6.89	6.47	6.80	6.50
Ti	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00
Al	12.72	13.57	2.64	0.89	1.61	1.29	16.06	17.09	16.08	16.73
Fe ⁺²	1.64	1.45	1.22	1.35	1.42	1.31	0.32	0.48	0.38	0.59
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.12	0.02	9.74	11.20	10.50	11.38	0.95	0.88	1.11	0.97
Ca	0.99	1.01	0.33	0.50	0.50	0.50	0.02	0.01	0.01	0.00
Na	0.01	0.01	0.08	0.11	0.25	0.21	0.84	0.23	0.47	0.15
K	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	1.72	2.03	1.92	1.99
Fe#	10.14	9.12	7.29	8.80	9.06	8.63	2.20	3.17	2.55	3.88
Mg#	0.01	0.00	0.52	0.59	0.56	0.60	0.05	0.05	0.06	0.05
FeO ^T toplam Fe olarak ölçülmüştür.										

EK 8.4. İncelenen kayalara ait amfibollerin mikroprob analiz sonuçları

No.	Y19-1	Y19-2	Y19-3	Y19-4	Y19-5	Y19-6	Y19-7	Y19-8	Y19-9	Y19-10
SiO ₂	52.48	52.65	52.19	53.33	52.81	51.35	51.08	52.72	51.09	51.75
TiO ₂	0.40	0.13	0.63	0.20	0.21	0.37	0.51	0.40	0.45	0.45
Al ₂ O ₃	3.09	2.36	3.44	2.31	2.86	4.45	4.14	3.01	4.08	4.15
FeO	10.88	12.14	11.41	11.17	13.25	13.79	13.23	12.28	13.05	11.28
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	18.50	18.19	17.78	18.51	17.34	16.67	16.90	17.68	16.86	18.16
CaO	11.50	10.79	11.41	11.36	11.08	11.05	10.96	11.24	11.01	11.27
Na ₂ O	0.57	0.62	0.64	0.45	0.58	0.85	0.81	0.50	0.80	0.88
K ₂ O	0.12	0.08	0.13	0.07	0.08	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08
Total	97.54	96.97	97.68	97.42	98.20	98.63	97.72	97.93	97.42	98.01
Formül 23 oksijen üzerinden hesaplanmıştır										
Si	24.53	24.61	24.40	24.93	24.68	24.00	23.87	24.64	23.88	24.19
Ti	0.24	0.07	0.38	0.12	0.13	0.22	0.30	0.24	0.27	0.27
Al	0.82	0.62	0.91	0.61	0.76	1.18	1.09	0.80	1.08	1.10
Fe ⁺²	8.45	9.43	8.87	8.69	10.30	10.72	10.28	9.55	10.14	8.76
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	11.16	10.97	10.72	11.16	10.46	10.05	10.19	10.67	10.17	10.95
Ca	8.22	7.71	8.15	8.12	7.92	7.90	7.83	8.03	7.87	8.05
Na	0.22	0.25	0.25	0.18	0.23	0.33	0.32	0.20	0.32	0.35
K	0.05	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
Fe#	1.62	1.80	1.70	1.66	1.97	2.05	1.97	1.83	1.94	1.68
FeO ^T toplam Fe olarak ölçülmüştür.										

EK 8.4.'ün devamı

No.	Y19-11	Y19-12	Y19-13	Y19-14	Y19-15
SiO ₂	51.73	55.67	53.37	55.29	55.11
TiO ₂	0.53	0.04	0.14	0.05	0.19
Al ₂ O ₃	4.03	0.34	1.96	0.41	0.65
FeO	10.87	11.77	13.29	13.99	13.25
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	18.58	18.17	16.85	17.13	18.18
CaO	11.27	12.13	11.73	12.08	11.00
Na ₂ O	0.80	0.07	0.37	0.11	0.22
K ₂ O	0.10	0.01	0.04	0.01	0.01
Total	97.91	98.20	97.75	99.07	98.64
Formül 23 oksijen üzerinden hesaplanmıştır					
Si	24.18	26.02	24.94	25.84	25.76
Ti	0.32	0.02	0.08	0.03	0.12
Al	1.07	0.09	0.52	0.11	0.17
Fe ⁺²	8.45	9.15	10.33	10.87	10.30
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	11.20	10.96	10.16	10.33	10.97
Ca	8.06	8.66	8.38	8.63	7.86
Na	0.31	0.03	0.14	0.04	0.09
K	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00
Fe#	1.62	1.75	1.97	2.08	1.97
FeO ^T toplam Fe olarak ölçülmüştür.					

EK 8.6. İncelenen kayalara ait Sr ve Nd izotop analizleri

Kayaç No	Kayaç Türü	Yaş	Rb/Sr	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ / ⁸⁶ Sr	(2σ)	⁸⁷ / ⁸⁶ Sr _(i)
Y-08	grd	334	0.16	49.70	318.30	0.60	2.40	0.451661	0.705479	0.000009	0.703332
Y-25A	grd	334	0.12	15.30	122.60	2.40	10.10	0.361028	0.706577	0.000007	0.704861

Kayaç No	Kayaç Türü	Yaş	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ / ¹⁴⁴ Nd _(i)	(2σ)	¹⁴³ / ¹⁴⁴ Nd _(i)	εNd _(T)	εNd ₍₀₎	TDM*	TDM**
Y-08	grd	334	0.151800	0.512436	0.000002	0.512104	-2.03	-3.94	1.62	1.15
Y-25A	grd	334	0.144288	0.512509	0.000003	0.512193	-0.28	-2.52	1.31	1.03

εNd_(i) ve εNd₍₀₎ değerleri günümüz ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd=0.1967 ve ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.512638 değerlerine göre hesaplanmıştır.
 Tek safhalı model yaşları (TDM*) günümüz tüketilmiş manto değerleri (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.513151 ve ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd=0.219)'ne göre hesaplanmıştır.

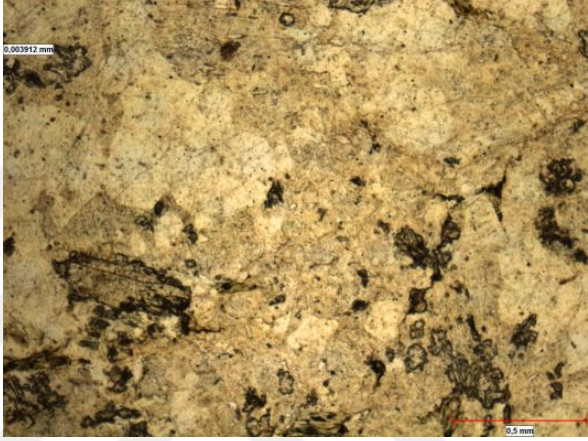
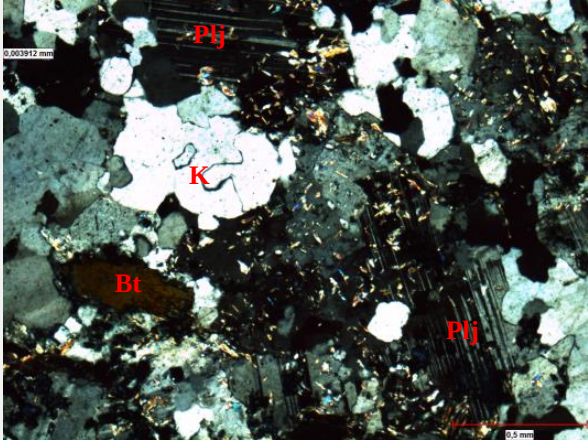
Çift safhalı model yaşları (TDM**) Liew ve Hofman (1988)'e göre hesaplanmıştır.

EK 8.7. İncelenen kayalara ait Pb izotop analizleri

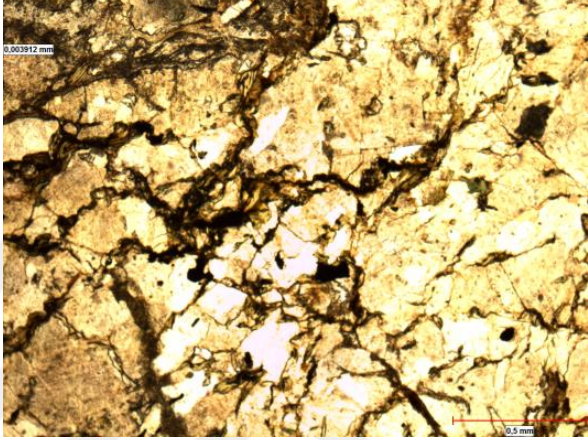
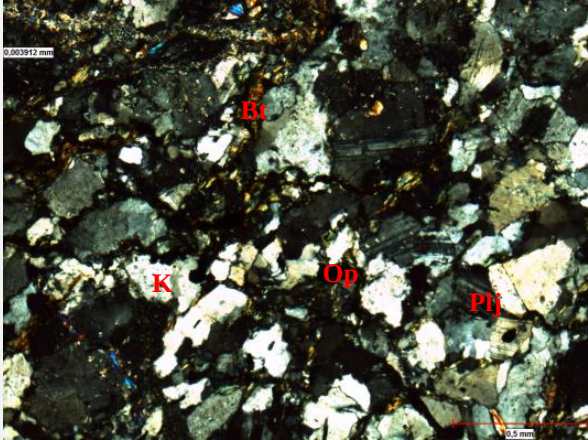
Kayaç No	Tür	Yaş	Pb (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	$^{206/204}\text{Pb}$	(2 σ)	($^{206/204}\text{Pb}$) _(i)
Y-08	grd	334	10,80	0,20	1,00	18,51	0,003282	18,45
Y-25A	grd	334	9,70	0,40	1,50	19,32	0,002688	19,18

Kayaç No	Tür	Yaş	$^{207/204}\text{Pb}$	(2 σ)	($^{207/204}\text{Pb}$) _(i)	$^{208/204}\text{Pb}$	(2 σ)	($^{208/204}\text{Pb}$) _(i)
Y-08	grd	334	15,51	0,002706	15,51	38,46	0,006748	38,36
Y-25A	grd	334	15,63	0,002211	15,62	38,93	0,005374	38,76

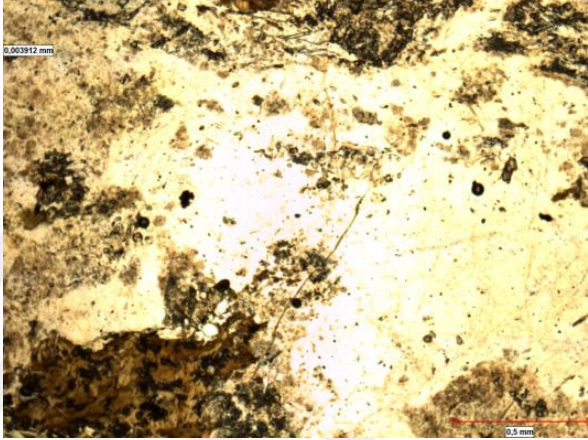
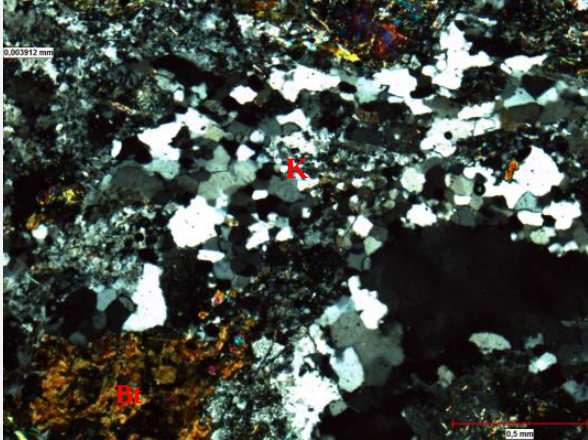
EK 8.9. Kapıkaya Plütunu'nda yer alan metagranodiyorit/metagranit örneklerine ait bazı petrografik inceleme sonuçları (Mineralojik bileşim %'lik değerlerine göre sıralanmıştır) (K: Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Bio: Biyotit, Kps: Klinopiroksen)

Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Tek Nikol)
Meta-granodi-yorit Örnek No:Y08	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	
Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Çift Nikol)
Meta-granodi-yorit Örnek No:Y08	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	

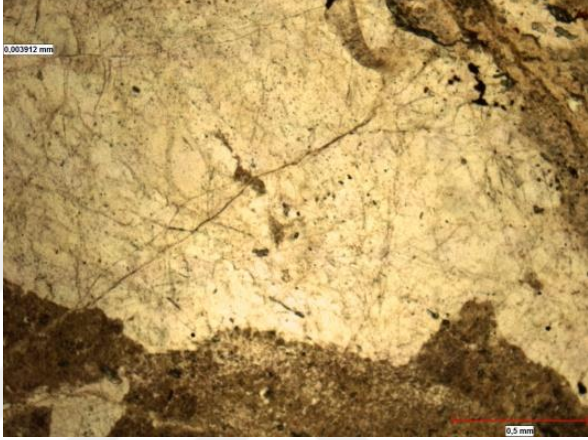
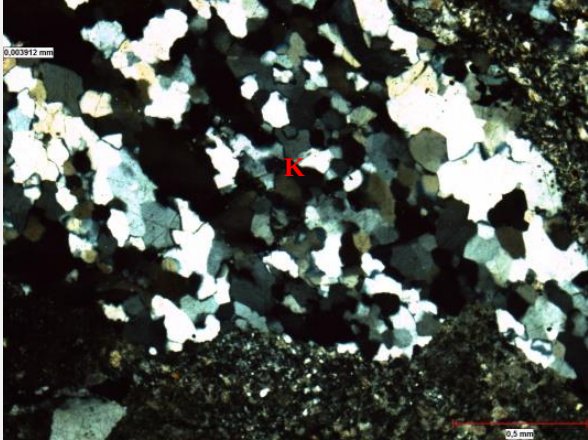
EK 8.9'in devamı

Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Tek Nikol)
Meta-granodi-yorit Örnek No:Y16	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	
Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Çift Nikol)
Meta-granodi-yorit Örnek No:Y16	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	

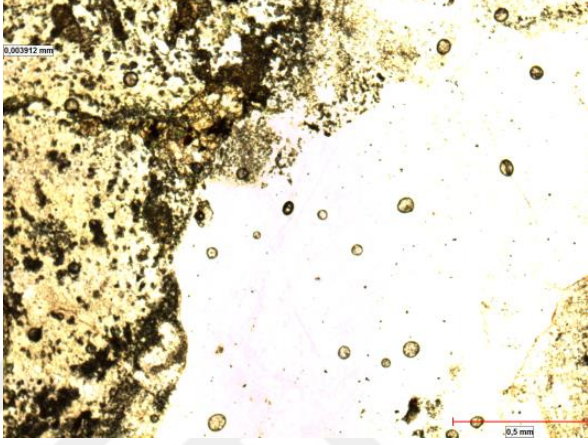
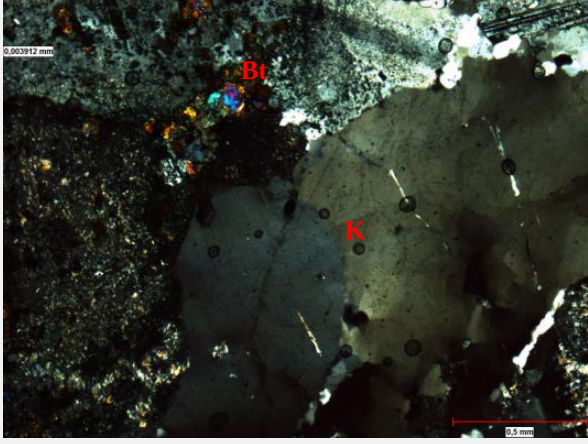
EK 8.9'in devamı

Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Tek Nikol)
Meta-granodi-yorit Örnek No:Y19	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	
Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Çift Nikol)
Meta-granodi-yorit Örnek No:Y19	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	

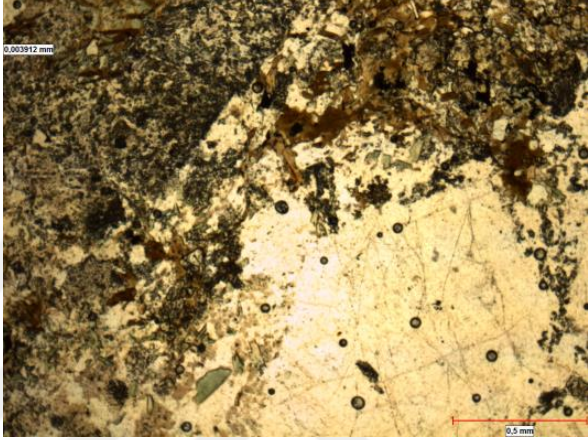
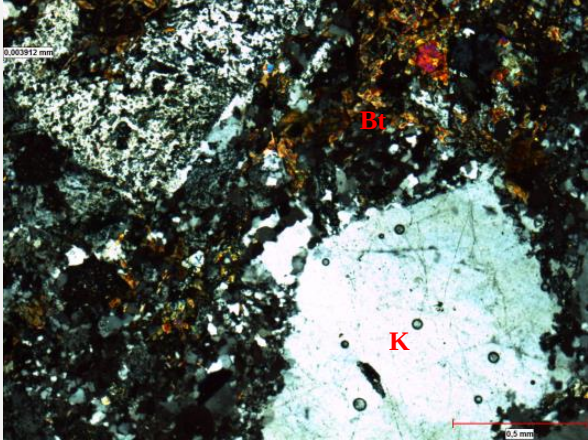
EK 8.9'in devamı

Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Tek Nikol)
Meta-granit Örnek No:Y24	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	
Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafı (Çift Nikol)
Meta-granit Örnek No:Y24	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	

EK 8.9'in devamı

Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafi (Tek Nikol)
Meta-granit Örnek No:Y40	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	
Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafi (Çift Nikol)
Meta-granit Örnek No:Y40	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	

EK 8.9'in devamı

Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafi (Tek Nikol)
Meta-granit Örnek No:Y33 A	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	
Kayaç Adı	Doku	Mineralojik Bileşim	İnce Kesit Fotoğrafi (Çift Nikol)
Meta-granit Örnek No:Y33	Porfirik doku	<u>Ana Mineraller</u> Kuvars Plajiyoklas K- feldispat Biyotit <u>Tali Mineraller</u> Opak mineral Zirkon Apatit <u>İkincil Mineraller</u> Epidot Klorit Serizit	

ÖZGEÇMİŞ

Sabir RASİMGİL

sabirrasimgil@gmail.com

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2018-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2016-2018	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2009-2015	Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon
Mesleki Deneyim 2021- 2018-2020	CW ENERJİ A.Ş. ADOPEN PLASTİK A.Ş.

ESERLER

- 1- Güneş, A. İlbeli, N. Rasimgil, S. and Demirbilek, M. 2021. Petrological and geochemical characteristics of the diabase and metasomatised dikes from the Tekirova ophiolite (SW Anatolia, Turkey): Tectonomagmatic evolution of the southern Neotethys. *Geochemistry*,81(3): 125-767 p.
- 2- Rasimgil, S. İlbeli, N. Güneş, A. and Demirbilek, M. 2023. Petrogenesis of strongly peraluminous plutonic rocks of the Eastern Sakarya Zone (Trabzon, Turkey): implications for crustal melting and evolution. *Mineralogy and Petrology*, 117(1): 79-97 p.