

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜLAÇAR (GÜMÜŞHANE) VE CİVARINDAKİ PALEOZOYİK YAŞLI
PLUTONİK KAYAÇLARIN PETROGRAFİK, JEOKİMYASAL VE
PETROLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Hüseyin Enes ATAY

OCAK-2022
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜLAÇAR (GÜMÜŞHANE) VE CİVARINDAKİ PALEOZOYİK YAŞLI
PLUTONİK KAYAÇLARIN PETROGRAFİK, JEOKİMYASAL VE
PETROLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE PETROGRAPHIC, GEOCHEMICAL AND
PETROLOGICAL PROPERTIES OF THE PALEOZOIC AGED PLUTONIC
ROCKS IN GÜLAÇAR (GÜMÜŞHANE) AND SURROUNDING**

YÜKSEK LİSANS

Hüseyin Enes ATAY

**OCAK-2022
GÜMÜŞHANE**



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜLAÇAR (GÜMÜŞHANE) VE CİVARINDAKİ PALEOZOYİK YAŞLI
PLUTONİK KAYAÇLARIN PETROGRAFİK, JEOKİMYASAL VE
PETROLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE PETROGRAPHIC, GEOCHEMICAL AND
PETROLOGICAL PROPERTIES OF THE PALEOZOIC AGED PLUTONIC
ROCKS IN GÜLAÇAR (GÜMÜŞHANE) AND SURROUNDING

YÜKSEK LİSANS

Hüseyin Enes ATAY

Danışman: Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

OCAK-2022
GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans olarak hazırlamış olduğum “**Gülaçar (Gümüşhane) ve Civarındaki Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özelliklerinin İncelenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programını ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

11/01/2022

.....
Hüseyin Enes ATAY

TEŞEKKÜR

Doğu Pontidlerin Güney Zonu'nda yer alan Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin incelenmesini amaçlayan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma "Kelkit yöresi (Gümüşhane, KD Türkiye) Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlarının petrokimyası, izotop jeokimyası, jeokronolojisi ve jeodinamik gelişimi" adlı GÜBAP projesi tarafından 20.F5114.01.01 kod nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu çalışmamda yardımını ve desteğini esirgemeyen tez hocam Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a çok teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleşmesi aşamasında, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR ve Doç. Dr. Cem YÜCEL'e, arazi çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Kadir SÜNNETCİ, arkadaşlarım Muhammet Emin Ay ve Mertcan YILMAZ'a, Jeoloji Mühendisliği diplomamı almamda emeği geçen Jeoloji Bölümü'nün değerli hocaları ve ince kesitleri hazırlayan teknisyen Ferdi DAYANÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen tüm aileme şükranlarımı sunarım.

Hüseyin Enes ATAY
GÜMÜŞHANE-2022

ÖZET

Bu çalışmada, Gülaçar (Gümüşhane) ve civarında yer alan Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların mineralojik-petrografik ve tüm kayaç jeokimyasal özellikleri ortaya konularak, kayaçların oluşum mekanizmaları ve kökenleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

İnceleme alanının tabanında Erken Karbonifer yaşlı Kurtoğlu Metamorfitleleri yer alır. Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Plutonu Kurtoğlu Metamorfitleleri'ni kesmiştir. Bu birimler üzerine uyumsuz olarak Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu gelir. Bu formasyon Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir. Tüm bu birimler Eosen yaşlı Karadağ Granitoidi tarafından kesilmiştir. İnceleme alanındaki en genç birimler Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşur.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar inceleme alanında yaklaşık 50 km²'lik bir alanda yayılım gösterir. Başlıca granit ve kuvarslı monzonit bileşimli kayaçlardan oluşur. Bu kayaçlar orta-iri taneli olup, ortoklas, kuvars, plajiyoklas, biyotit, amfibol ve opak mineralleri içerirler.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar genel olarak I-tipi, peralümin ve orta-yüksek-K karakterli olup, yüksek SiO₂ içeriklerine (% 63-77) sahiptirler. Kayaçlar büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (LILEs) zenginleşmişlerdir. Kondrite göre normalleştirilmiş nadir toprak element desenleri konkav şekilli (La_N/Yb_N= 5.08-14.76) olup, negatif Eu anomalisi (Eu_N/Eu*=0.32-0.75) gösterirler. Ana ve iz element değişimleri dikkate alındığında, kayaçların gelişiminde plajiyoklas, hornblend ve Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasının etkili olduğunu görülür. Zirkon ve apatitlerde yapılan hesaplamalarda, kayaçların kristallenme sıcaklıkları 750-936 °C arasında değişmektedir.

Tüm bu özellikler, yüksek molar (CaO+FeO^T+MgO+TiO₂) ve düşük molar (Na₂O+K₂O) / (FeO^T+MgO+TiO₂), K₂O/Na₂O ve Mg# içerikleri, incelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların metabazalt / metagrovak türü kaynak kayaçların kısmı ergimesi ile oluşmuş olabileceğini gösterir.

Anahtar Kelimeler: Doğu Pontidler, Gülaçar (Gümüşhane), Jeokimya, Paleozoyik, Plütonik kayaçlar

SUMMARY

In this study, the mineralogical-petrographic and whole-rock geochemical characteristics of the Paleozoic plutonic rocks in the Gülaçar (Gümüşhane) and surrounding region were determined, and the evolution and the origin of the rocks were investigated.

Early Carboniferous Kurtoğlu Metamorphics are located at the base of the study area and are cut by the Late Carboniferous Gümüşhane Pluton. The Early-Middle Jurassic Şenköy Formation unconformably overlies this units and is conformably underlain by Late Jurassic to Lower Cretaceous Berdiga Formation. These units' cuts by the Eocene Karadağ Granitoid. Quaternary alluviums constitute the youngest unit of the study area.

Studied Paleozoic plutonic rocks crop out in an area of approximately 50 km². They consist of granite and quartz monzonite composition rocks. The rocks are medium to coarse grained and contain plagioclase, orthoclase, quartz, amphibole, biotite and opaque minerals. Studied rocks are generally I-type, medium to high-K characters, and has high SiO₂ (63 to 77 wt%) contents. They have peraluminous characters and enriched in large ion lithophile elements (LILEs). Chondrite normalized REE patterns are concave shaped ($La_N/Yb_N = 5.08-14.76$) and show negative Eu-anomalies ($Eu_N/Eu^* = 0.32-0.75$). Major and trace element variations indicate significant role of plagioclase, amphibole and Fe-Ti oxide fractionation. The calculated crystallization temperatures of the rocks vary between 750 °C and 936 °C.

All these properties, high molar ($CaO+FeO^T+MgO+TiO_2$) ratios and low molar (Na_2O+K_2O) / ($FeO^T+MgO+TiO_2$), K_2O/Na_2O and Mg# values indicate that the Paleozoic aged plutonic rocks have occurred via the partial melting of the metabasalt / metagraywacke source rocks.

Keywords: Eastern Pontides, Gülaçar (Gümüşhane), Geochemistry, Paleozoic, Plutonic rocks.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
TABLOLAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş ve Amaç	1
1.2. Coğrafik Bilgiler	1
1.2.1. Coğrafi Konum	1
1.2.2. Topoğrafya.....	2
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü	3
1.2.4. Ulaşım ve Yerleşim	4
1.3. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Genel Jeolojisi.....	4
1.4. Bölgede Yapılan Önceki Çalışmalar	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	9
2.1. Amaç ve Yöntemler	9
2.1.1. Arazi Çalışmaları	9
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	9
2.1.3. Büro Çalışmaları	12
3. BULGULAR.....	13
3.1. İnceleme Alanının Stratigrafi ve Petrografisi	13
3.1.1. Kurtoğlu Metamorfitleri.....	16
3.1.2. Gümüşhane Plutonu	16
3.1.3. Şenköy Formasyonu.....	17
3.1.4. Berdiga Formasyonu	19
3.1.5. Karadağ Granitoyidi.....	20
3.1.6. Alüvyon.....	21
3.2. İncelenen Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaçların Mineralojisi ve Petrografisi.....	21
3.2.1. Saha Gözlemleri	21

3.2.2. Mineralojik ve Petrografik İnceleme	24
3.3. İncelenen Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaçların Jeokimyası ve Petrolojisi.....	31
3.3.1. Tüm-kayaç Jeokimyası.....	31
3.4. Jeotermometre Hesaplamaları	39
3.4.1. Zirkon ve Apatit Jeotermometresi.....	39
3.5. Tektonik Yerleşim.....	39
4. TARTIŞMA	45
4.1. Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaçların Petrolojisi.....	45
4.1.1. Giriş.....	45
4.1.2. Fraksiyonel Kristallenme	45
4.1.3. Kirlenme.....	47
4.1.4. Ana Magmanın Kökeni	49
5. SONUÇLAR	53
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	71

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Doğu Pontidlerdeki Paleozoyik (Karbonifer) yaşı plütonik kayaların jeokronolojik yaşları	8
Tablo 2. İncelenen Paleozoyik yaşı plütonik kayaların modal analiz sonuçları.....	25
Tablo 3. İncelenen Paleozoyik yaşı plütonik kayaların ana (%) ve iz (ppm) element (ppm) analizleri	32
Tablo 4. İncelenen Paleozoyik yaşı plütonik kayaların nadir toprak element (ppm) analizleri.....	33
Tablo 5. İncelenen plütonik kayalara ait sıcaklık değerleri.....	39
Tablo6. Petrografik, petrokimyasal ve izotopik karakterlerine göre granitoidlerin tektonik yerleşimleri ve jenetik sınıflamaları.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 2. İnceleme alanı civarında Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar üzerine yapılmış çalışmalarını gösteren harita (Güven, 1993'den değiştirilerek) ve çalışma alanının konumu.....	3
Şekil 3. Doğu Pontid'lerdeki Paleozoyik, Jura – Kretase ve Eosen yaşlı plütonik kayaların dağılımını ve Paleozoyik yaşlı plütonik kayalardan yapılmış jeokronolojik yaşlar	7
Şekil 4. Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı'nda Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların yaş aralığını gösteren histogram.....	8
Şekil 5. Aşındırıcı tozlar ile kesitlerin hazırlanması ve kesit kalınlığının kontrolü.....	10
Şekil 6. İnce kesitlerin polarizan mikroskopta incelenmesi, modal analizlerinin yapılması ve fotoğraflarının çekilmesi.....	11
Şekil 7. İnceleme alanına ait stratigrafik kolon kesit	14
Şekil 8. Gülaçar ve yakın yöresinin jeolojik haritası	15
Şekil 9. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların çalışma alanındaki görünümü (Yer: Altıntaşlar Mahallesi)	17
Şekil 10. Şenköy Formasyonu'nun arazideki görünümü ve Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plütunu ile olan ilişkisi (Yer: Simera Mahallesi).....	18
Şekil 11. Berdiga Formasyonunun Mevziler Tepe civarındaki görünümü	20
Şekil 12. Karadağ Granitoidinin genel görünümü (Yer: Karanlıkmeşe Tepesi güneyi). 21	
Şekil 13. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalara ait kırık sistemleri (Yer: Elmalı Mahallesi batısı)	22
Şekil 14. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaları kesen aplit daykları (Yer: Elmalı Mahallesi güneyi).....	23
Şekil 15. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalarda gözlenen arenalaşma (Yer: SivriTepe kuzeyi).....	23
Şekil 16. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalarda gözlenen iri feldispat mineralleri (Yer: Ocaklı Mahallesi).....	24
Şekil 17. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların parlatılmış el örnekleri, (a-b) monzogranit, (c-d) kuvarslı monzonit / kuvarslı monzodiyorit	24
Şekil 18. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların modal analiz sonuçlarının KAP diyagramındaki dağılımları (Streckeisen, 1976).....	26

Şekil 19. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar içindeki monzogranitlere ait taneli doku (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Ort: Ortoklas, K: Kuvars).....	28
Şekil 20. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar içindeki monzogranitlere ait iri ortoklas mineralleri (Ç.N., Ort: Ortoklas, Pl: Plajiyoklas, K: Kuvars)	29
Şekil 21. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar içindeki kuvarslı monzonitlere ait poikilitik doku (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Ort: Ortoklas; K: Kuvars, Bi: Biyotit)30	
Şekil 22. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalara ait örneklerin (a) SiO ₂ 'ye karşı (Na ₂ O+K ₂ O) sınıflama (Middlemost, 1994) diyagramı, (b) AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971) (sy: Siyenit, kmnz: Kuvarslı monzonit, mnz: Monzonit, md: Monzodiyorit, mgb: Monzogabro, gbdi: Gabro diyorit).....	33
Şekil 23. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) K ₂ O'ye karşı SiO ₂ diyagramı (Le Maitre vd., 1989) (b) Co karşı Th diyagramı (Semboller Şekil 22a'daki gibidir).....	34
Şekil 24.İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) FeO ^t /(FeO ^t +MgO) ve SiO ₂ (wt%) diyagramı (Frost vd., 2001), (b) A/CNK'ya karşı molar A/NK değişimine bağlı olan alümino bazlı sınıflama (Mainar ve Piccoli, 1989) diyagramları (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)	34
Şekil 25. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinde gözlenen ana elementler ile SiO ₂ (%)'nin değişimi (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)	35
Şekil 26. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinde gözlenen iz elementler ile SiO ₂ (%)'nin değişimi (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)	36
Şekil 27. İncelenen plütonik kayaların ilksel mantoya göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları	37
Şekil 28. İncelenen plütonik kayaların kondirite göre (Taylor ve McLennan, 1985) normalleştirilmiş nadir toprak element diyagramları.....	38
Şekil 29. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların, (a) Y'a karşı Sr/Y diyagram (Defant, Drummond, 1990), (b) Th/Yb'ye karşı La/Yb diyagramı (Condie, 1989) (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)	41
Şekil 30. İncelenen plütonik kayalara ait, (a) SiO ₂ 'ye karşı ASI değişimleri (Chappel ve White, 1974), (b) Na ₂ O-K ₂ O (%) diyagramı (Semboller Şekil 3.28'deki gibidir).....	42
Şekil 31. İncelenen plütonik kayaç örneklerinin, (a-b) (Na ₂ O+K ₂ O-CaO) ve SiO ₂ (wt%) diyagramları (Frost vd., 2001) (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)	42

Şekil 32. İncelenen plütonik kayalara ait örneklerin, (a) Nb'ye karşı 10000 Ga/Al sınıflama diyagramına (Whalen vd., 1987), (b) R1-R2 sınıflama diyagramı (Bathcelor ve Bowden 1985). $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$ (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)	43
Şekil 33. İncelenen plütonik kayaç örneklerinin, (a) Rb'a karşı (Yb+Ta)diyagramı, (b) Rb'a karşı (Y+Nb) tektono-magmatik ayırım diyagramlarındaki (Pearce vd. 1984) dağılımları (semboller Şekil 8.2'deki gibidir)	43
Şekil 34. İncelenen plütonik kayaçların, (a) SiO ₂ 'ye karşılık Al ₂ O ₃ tektonik ortam ayırtlamadiyagramında(Maniarve Picolli1989), (b) Zr'a karşı(Nb/Zr) _N diyagramında dağılımları	44
Şekil 35. İncelenen plütonik kayaçların, (a) MgO - Sr kristal ayrımlaşması diyagramında dağılımları, (b) CaO'ya karşı Y diyagramında (Lambert ve Holland, 1974) dağılımları	47
Şekil 36. İncelenen plütonik kayaçların, (a) (Ba/Sr)'a karşı Sr ve (b) (Rb/Sr)'a karşı Sr değişim diyagramları (Semboller Şekil 22a'daki gibidir).....	47
Şekil 37. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) Th/Yb'ye karşı Ta/Yb diyagramı (Pearce vd., 1984), (b) Nb/La'a karşı Ba/Rb diyagramı.....	48
Şekil 38. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların, (a) Zr/Nb-Zr diyagramında, (b) K ₂ O/Th-La-Ta diyagramında (Menzies vd. 1991) dağılımları.....	49
Şekil 39. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) Th*100/Zr-Nb*100/Zr, (b) Th-Hf-Nb/2 orojenik – anorojenik köken ayırım diyagramlarında (Krmicek vd. 2011) dağılımları	49
Şekil 40. İncelenen plütonik kayaçların kökensel ayırım diyagramları. MB: Metabazalt, MA: Metaandezit, MGW: Metagrovak, MP: Metapelit, AMP: Amfibolit. Veri kaynak alanları Patiño Douce (1999)'den alınmıştır (semboller için Şekil 3.17'ye bakınız).	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A/CNK	: Molar olarak $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$
AMP	: Amfibolitler
AK	: Ateşte Kayıp (LOI, Loss On Ignition)
ANTE	: Ağır Nadir Toprak Elementleri (HREE, Heavy Rare Earth Elements)
LILE	: Büyük İyon Yarıçaplı Elementler (LILE, Large Ion Lithophile)
Bi	: Biyotit
cm	: Santimetre
COLG	: Çarpışma granitoidleri
Ç.N	: Çift Nikol
FK	: Fraksiyonel kristallenme (FC, Fractional Crystallization)
GÜBAP	: Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Hb	: Hornblend
HNTE	: Hafif nadir toprak elementleri (LREE, Light Rare Earth Elements)
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometri
K	: Kuvars
km	: Kilometre
MA	: Meta-andezit
MB	: Meta-bazalt
Mg#	: Magnezyum numarası=molar [$100*(MgO/MgO+SFe_2O_3)$]
MGW	: Metagrovak
mm	: Milimetre
MORB	: Okyanus ortası sırtı bazaltı
MP	: Metapelit
My	: Milyon yıl
NTE	: Nadir Toprak Elementleri (REE, Rare Earth Elements)
OAB	: Okyanus adası bazaltı (OIB, Ocean Island Basalt)
Op	: Opak mineral
ORG	: Okyanus ortası sırtı granitleri
Ort	: Ortoklas
ppm	: Milyonda bir
Pl	: Plajiyoklas
Syn-COLG	: Çarpışmayla eş yaşlı granitler

TAS : Toplam Alkali Silika
VAG : Volkanik yay granitleri
HFSE : Yüksek Çekim Alanlı Elementler (HFSE, High Field Strength Elements)
Z-OOSB : Zenginleşmiş Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (E-MORB, Enriched-Mid-Ocean Ridge Basalt)
 μ : Mikron
WPG : Levha içi granitler



1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş ve Amaç

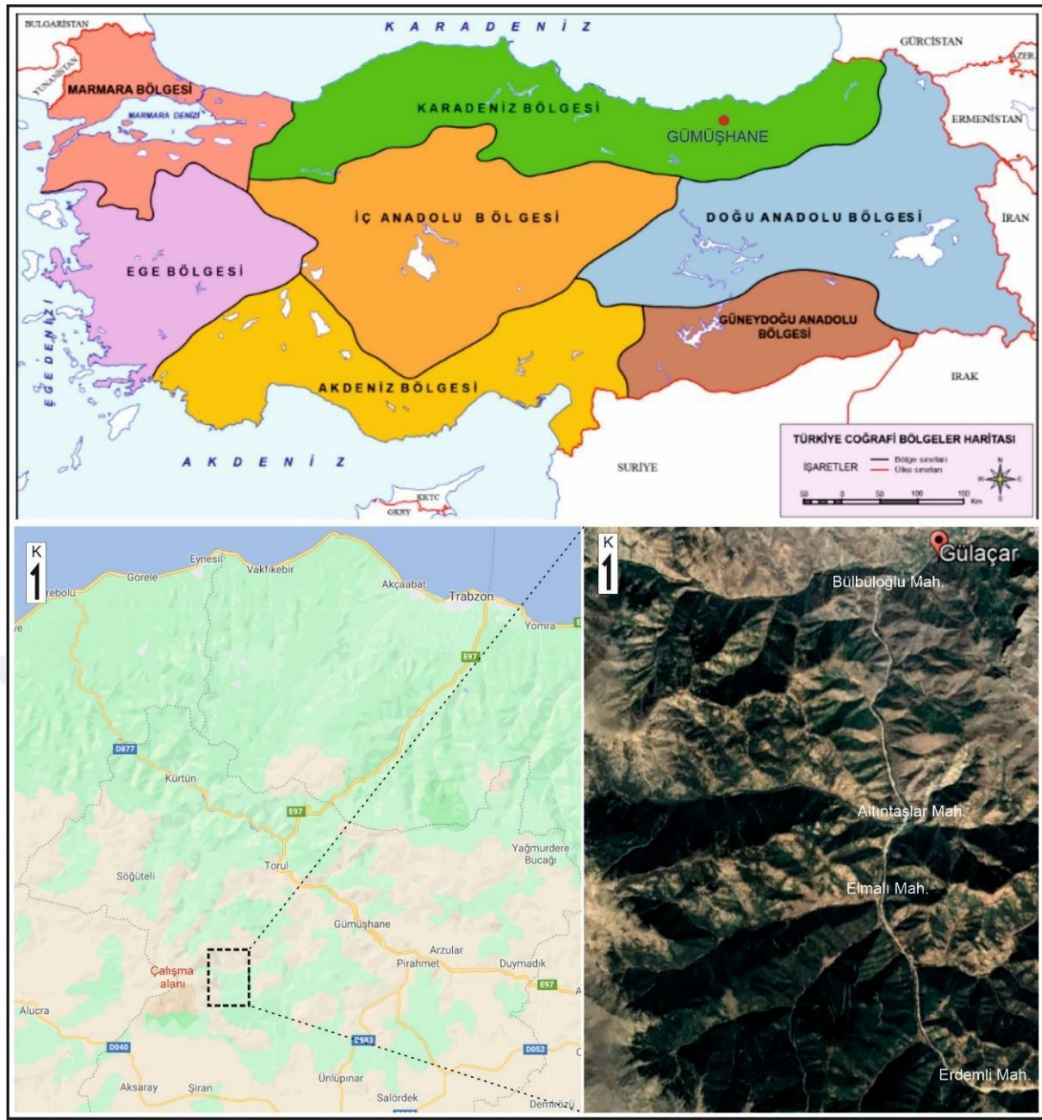
Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Alp-Himalaya Dağ kuşağı üzerinde, Doğu Karadeniz Dağları'nın güney kesiminde olup, Gümüşhane iline bağlı Gülaçar Köyü ve civarında yer almaktadır (Şekil 1).

İncelenen Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar Gümüşhane Batoliti'nin bir bölümünü oluşturmaktadır. Yaklaşık 400 km²'lik bir alanda yayılım gösteren Gümüşhane Batoliti (bazı yazarlara göre Gümüşhane Plutonu, Gümüşhane Granitoidi, Gümüşhane Graniti) bir bütün olarak değil de kısım kısım çalışılmıştır (Şekil 2). Gümüşhane Batoliti'nin değişik kısımlarında bazı detaylı çalışmalar (Yılmaz 1972; Topuz vd., 2010; Karlı vd., 2016; Vural ve Kaygusuz, 2019; Aydınçakır vd., 2020) olmasına rağmen, Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin konu alan herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Coğrafi Bilgiler

1.2.1. Coğrafi Konum

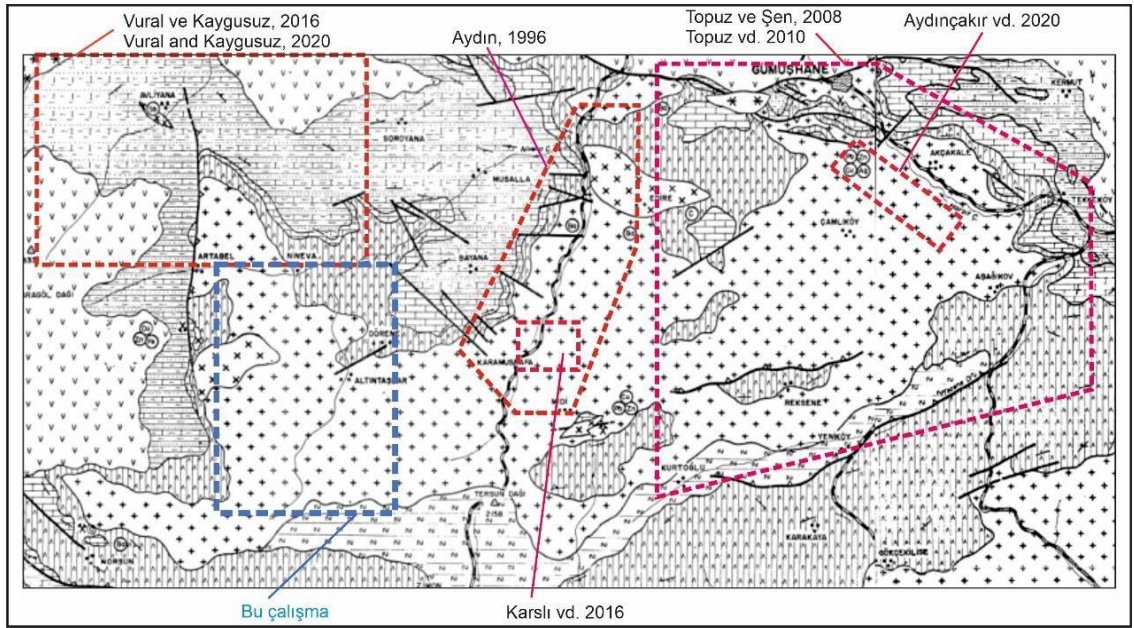
İnceleme sahası, Doğu Karadeniz Bölgesinin güneyinde ve Gümüşhane İl sınırları içinde yer alıp, Gümüşhane ilinin yaklaşık 30 km güneybatısında ve yaklaşık 88 km²'lik bir alandan oluşmaktadır (Şekil 1). 1/25000 ölçekli Trabzon H-42 a2 ve a3 topoğrafik paftaları içinde yer alan saha, kuzeyde Gülaçar Köyü ve Bülbüloğlu Mahallesi, güneyde Erdemli Mahallesi ile sınırlanmaktadır. Arazideki en büyük yerleşim yeri Gülaçar Köyü'dür. Ayana Mahallesi, Ocaklı Mahallesi, Kocadal Mahallesi, Altıntaşlar Mahallesi, Elmalı Mahallesi ve Güllü Mahallesi diğer yerleşim birimlerini oluştururlar.



Şekil 1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

1.2.2. Topoğrafya

Çalışma sahası, topoğrafya açısından oldukça engebeli bir yapıya sahip olup, derin vadiler ve yüksek tepelerden oluşmaktadır. İnceleme alanında batıya doğru yükseltiler artmaktadır. Vadi tabanından itibaren yükselen yamaçlar araziye oldukça sarp bir görünüm kazandırmıştır. Arazinin büyük bir bölümünü sarp, fakat birbiri ile bağlantılı dağlar oluşturur. Karataşlar Tepesi, Cılaz Tepesi, Çevirme Tepesi, Karanlıkmeşe Tepesi, Mevziler Tepesi, Kabak Tepesi, Killik Tepesi, Petekliyalak Tepesi, Sivri Tepesi, Güllübaşı Tepesi, Kurtkayası Tepesi, Ziyaret Tepesi, Kaşkar Tepesi, Büyükkargaban Tepesi, Küçükkaragaban Tepesi ve Sığıntaş Tepesi bölgedeki belli başlı yükseltilerdir.



Şekil 2. İnceleme alanı civarında Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar üzerine yapılmış çalışmalarını gösteren harita ve çalışma alanının konumu (Güven, 1993'den değiştirilerek).

Bölgenin en önemli akarsuyu doğudan batıya doğru akan Nivona Deresi olup, inceleme alanının kuzeyinden kuzey-güney ve doğu-batı istikametlerine doğru akan iki dereye ayrılmıştır. Artabel Deresi, Dafene Deresi, Kocadal Deresi, Elma Deresi, Yayla Deresi, Han Deresi ve Geliş Deresi Nivona Deresine bağlanan diğer önemli akarsulardır. Bunun yanında kuru ve sulu birçok yan vadiler vardır. Çalışma alanında Nivona Deresi'nin içinden akan vadi tabanı (1350 m) ile en yüksek tepe olan Claz Tepesi (2647 m) arasındaki kot farkı yaklaşık 1300m'dir. Vadi yamaçları 20°-30°'lik eğimlerle yükselerek 1500-2500 m'nin üzerindeki tepeler ile son bulur.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında karasal özellikleri ağır basan bir geçiş iklimi hüküm sürmekte olup, Doğu Karadeniz iklimi ile Doğu Anadolu iklimi arasında geçiş gösterir. Genelde karasal iklimin hâkim olduğu bölgede yazlar sıcak ve kurak, nadiren yağışlı; kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır.

Çalışma alanının büyük bir bölümü ormanlarla örtülüdür. Bu alanlarda genellikle meşe ve çam baskın olup, vadilerde meyve ağaçları yer alır.

Topoğrafyanın sarp olmasından dolayı tarım oldukça az yapılmaktadır. Meyvecilik ve az da olsa hayvancılık yöredeki insanların geçim kaynağını oluşturmaktadır. Fazla miktarda göç veren yörede gençlerin bir kısmı bölgedeki madenlerde çalışmaktadır.

1.2.4. Ulaşım ve Yerleşim

Çalışma alanı Gümüşhane İli'ne yaklaşık 30 km uzaklıktadır. İnceleme alanına ulaşım Gümüşhane-Şiran Karayolu ile sağlanır. İnceleme alanını kateden ana yola dik birçok yan yol mevcuttur. Yörenin en büyük yerleşim birimi Gülaçar Köyüdür. Diğer yerleşim alanları stabilize yollarla birbirine bağlıdır.

1.3. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Genel Jeolojisi

Çalışma alanının da içinde yer aldığı Doğu Karadeniz Dağları'na tektonik birim olarak "Pontid" ismi ilk olarak Hamilton (1842) tarafından verilmiş olup, Ketin (1966) bu tektonik birlikleri kuzeyden güneye Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak dört farklı tektonik birliğe ayırmıştır. Ketin ve Canitez (1972) Pontidleri yeniden düzenleyerek, Pontidleri Doğu Pontidler ve Batı Pontidler olmak üzere iki kısma ayırmışlardır. Bazı araştırmacılar (Gedikoğlu vd., 1979; Akın,1978; Özsayar vd., 1981) Doğu Pontidlerde (Doğu Karadeniz Bölümü'nde) Geç Kretase yaşlı kayaçları, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için kuzey zon ve güney zon olarak iki alt birliğe ayırmıştır. Bektaş (1986) ise Doğu Pontidleri kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olarak üç alt birliğe bölmüştür.

Doğu Pontid'lerde en yaşlı temel kayaçlarını metamorfik kayaçlar (Alp, 1972; Özcan vd., 1980; Okay, 1984; Rojay, 1993; Yılmaz vd., 1997; Tüysüz 1996; Altinkaynak, 2000; Dokuz, 2000; Topuz ve Altherr, 2004; Eyüboğlu, 2006; Dokuz vd., 2006; Topuz vd., 2004, 2007, 2010; Ustaömer ve Robertson, 2010) ve plütonik kayaçlar (Çoğulu 1975; Yılmaz 1976; Özdoğan 1992; Topuz vd., 2010; Dokuz 2011; Kaygusuz vd. 2012, 2016; Ustaömer vd. 2013; Kaygusuz, 2020; Karşlı vd., 2016, Vural ve Kaygusuz, 2019; Gücer ve Sarı, 2021).

Doğu Pontidlerde Triyas dönemine ait kayaçların varlığı tartışmalıdır. Bayburt Demirözü yöresindeki Karakaya Formasyonu'nun (Yılmaz vd., 1997; Açar, 1977; Topuz vd., 2004a) ve Amasya yöresindeki Karasenir Formasyonu'nun (Alp, 1972) Triyas yaşlı olduğu bildirilmiştir. Eyüboğlu vd. (2010, 2011) Tokat ve Pulur metamorfik masiflerini kesen mafik ve ultramafik intrüzyonların Geç Triyas yaşlı olduklarını belirtmişlerdir.

Paleozoyik ve Triyas yaşlı birimler Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülüler ve Orta-Geç Jura yaşlı plütonik kütleler (Dokuz vd. 2010; Ustaömer vd. 2013) tarafından kesilirler. Kuzey Zon'da Jura yaşlı tortul oluşumlara seyrek olarak rastlanılmakta olup, bu birimler genel olarak volkanik

kayaçlar ile temsil edilirler (Boynukalın, 1990; Eyüboğlu, 2006; Şen, 2007; Aydınçakır vd. 2020).

Geç Jura-Erken Kretase döneminde tüm bölgede karbonat çökelimi egemen olup, bu magmatik ve tektonik açıdan duraylılık dönemine karşılık gelmektedir. Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) olarak adlandırılan bu birim, Kuzey Zon'da genellikle gri-bej renkli, masif tabakalanmalı ve yanal devamlılığı olmayan kireçtaşlarından oluşur (Taslı, 1984). Berdiga Formasyonu Güney zon'da ise genel olarak gri-bej renkli, kalın ve masif katmanlı, bentik foraminifer fosillerince zengin, taban seviyeleri kısmen dolomitlerden, üst seviyeleri ise yumru çört ve bantlı kireçtaşlarından oluşan sığ denizel bir istif özelliği sunarlar (Kırmacı 1992; Taslı 1990; Yılmaz 2002).

Geç Kretase döneminde güney zonda sedimanter kayaç ağırlıklı bir istif baskın litolojiyi oluştururken, Kuzey Zon'da magmatik kayaç ağırlıklı (plütonik ve volkanik) bir istife yerini bırakır (Bektaş 1984; Jica, 1985; Gedik vd. 1992; Yılmaz ve Boztuğ 1996; Güngör vd. 1997; Okay ve Şahintürk 1997; Kaygusuz 2000; Köprübaşı vd. 2000; Boztuğ vd. 2002, 2006; Şahin vd. 2004; Sipahi 2005; Karşlı vd. 2004, 2010; İlbeyli 2008; Kaygusuz vd., 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2020; Kaygusuz ve Şen 2011; Kaygusuz ve Aydınçakır 2009, 2011; Saydam Eker vd. 2012; Sipahi ve Sadıklar, 2014; Aydınçakır, 2016). Bazı yazarlara (Altherr vd., 2008; Gülmez vd., 2016) göre Alt Paleosen yaşlı plajiyolösititler yitimin son ürünlerini oluştururlar.

Doğu Pontidlerde Senozoyik dönemi genelde magmatik, daha az oranda da tortul ağırlıklı bir istif ile temsil edilir (Tokel 1977; Arslan vd. 1997, 2013; Arslan ve Aliyazıcıoğlu 2001; Topuz vd., 2005, 2011; Arslan ve Aslan 2006; Aslan 2010; Karşlı vd. 2007, 2010, 2011; Kaygusuz vd., 2011, 2018, 2019, 2020, 2021; Eyüboğlu vd., 2011, 2017; Temizel vd., 2012, 2014, 2018, 2019, 2020; Aslan vd., 2014; Aydınçakır ve Şen 2013; Aydınçakır 2014; Kaygusuz ve Şahin, 2016; Özdamar vd., 2017; Sipahi vd. 2018; Yücel vd. 2014, 2017; Yücel 2019).

Sahil boyunca yayılım gösteren Neojen yaşlı alkalin volkanizma ürünleri bölgedeki magmatik faaliyetlerin son ürünlerini oluştururlar (Aydın 2003; Aydın vd. 2008; Yücel 2013; Yücel vd. 2014). Güneyde Neojen tortullar jipsli, tuzlu sığ deniz, lagün ve gölsel fasiyesler oluşturur (Erentöz ve Ketin, 1974; Ketin, 1983). Bölgedeki en genç kayaçları Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar oluşturur.

1.4. Bölgede Yapılan Önceki Çalışmalar

Gümüşhane ili tektonik konumu, maden yatakları, magmatik petrolojisi ve genel jeolojisi yönünden pek çok araştırmacı (Baykal, 1952; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1972;

Eren, 1983; Taslı, 1984; Bektaş, 1986; Aliyazıcıoğlu, 1999; Tüdeş, 2001; Aydın vd., 1996; Kandemir, 2004; Topuz vd., 2010; Kaygusuz vd. 2008, 2011; Kaygusuz ve Şahin, 2016; Dokuz, 2011; Vural ve Şahin, 2012; Saydam Eker vd. 2012; Arslan vd. 2013; Aslan vd. 2014; Alemdağ 2015; Akaryalı 2016; Vural ve Kaygusuz, 2021; Sipahi vd., 2017, 2018; Gücer vd. 2017; Aydınçakır vd., 2020; Eyuboğlu vd., 2012) tarafından incelenmiştir.

Bölgede, bu yüksek lisans çalışmasının konusunu da oluşturan, Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar üzerinde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Gümüşhane Batoliti birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Örn: Yılmaz 1972; Çoğulu 1975; Bergougnan, 1987; Topuz vd., 2010; Karlı vd. 2016; Vural ve Kaygusuz, 2019; Aydınçakır vd. 2020; Gücer ve Sarı, 2021). Bu çalışmalarda yaklaşık 400 km²'lik bir alanda yayılım gösteren Gümüşhane Batoliti bir bütün halinde değil de küçük kütleler halinde çalışılmıştır (Şekil 2). Yılmaz (1972), birimin başlıca büyük bir granit kütlesi ve bu kütlede değişik fasiyelerindeki ürünlerinden (granodiyorit, kuvarslı mikrodiorit ve dasit) oluştuğunu belirtmiştir. Plütonun yaşı ile ilgili yapılan jeokronolojik çalışmalarda, değişik yaş aralıkları verilmiş olup; Delaloye vd. (1972) tarafından 108-188 My, Çoğulu (1975) tarafından 162-298 My, Moore vd. (1980) tarafından 107 My ve Jica (1986) tarafından 406-535 My olarak belirlenmiştir. Bunlardan 298-535 My yaşları ana kütlede, 108-188 My aralığındaki yaşlar ise plütону kesen daha genç kayaları temsil ederler. Topuz vd. (2010) tarafından yapılan detay çalışmalarda, Gümüşhane Plütону'nun, güney sınırında amfibolit fasiyeli Kurtoğlu metamorfiklerini kestiğini ve uyumsuz olarak Liyas yaşlı volkanoklastikler tarafından üstlendiğini, yaşlarının 324-320 My arasında değiştiğini, plütонуun I-tipi ve yüksek-K'lu karakterde olduğunu, plütонуun mafik-felsik kabuksal kayaların kısmı ergimesi ile oluşabileceğini belirtmişlerdir. Karlı vd. (2016), Gümüşhane Batoliti içindeki Çamlık Plütону'nun 302 My yaşında, I-tipinde ve metalümin karakterli olduğunu ve yitim ile ilişkili ortamda geliştiğini belirtmişlerdir. Vural ve Kaygusuz (2019) Gümüşhane Batoliti içindeki Paleozoyik yaşlı Artabel Plütонуunun yüksek-K'lu ve I-tipi karakterde olduğunu ve meta-magmatik kayaların kısmı ergimesi ile oluştuğunu belirtmişlerdir.

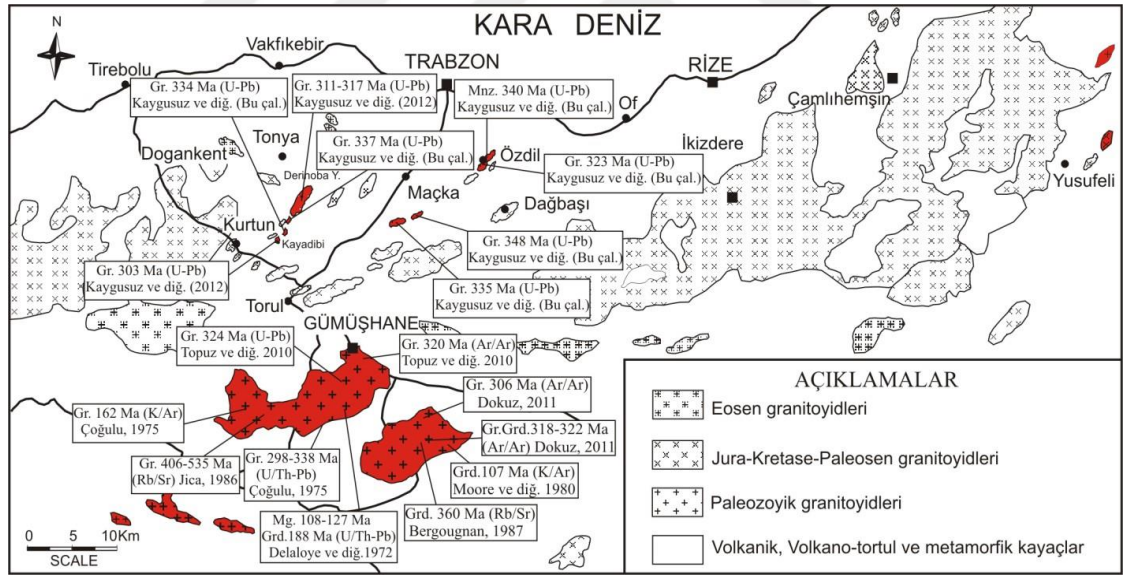
Köse Plütону'nda Jica (1985) tarafından 107 My yaşı bulunmuştur. Dokuz (2011) tarafından yapılan detay çalışmada, plütонуun yüksek-K lu, I-tipi kompozit bir plütону olduğunu, iç kütlede 322-318 My, dış kütlede ise 306 My yaşında olduğunu belirtmiştir. Aynı araştırmacı, Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı'nda Hersiniyen magmatizmasının gelişiminde yiten levha kopması (slab-break off) ve delemantasyonun etkili mekanizma olduğunu belirtmiştir.

Ustaömer vd. (2013) Yusufeli (Artvin) civarında Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların yaşlarının 325-330 My arasında değiştiğini ve kayaçların yiten levha kopması (slab-break off) ile geliştiklerini ifade etmişlerdir.

Kaygusuz vd. (2012, 2016), Trabzon-Tonya civarındaki Paleozoyik yaşlı Derinoba, Kayadibi, Özdil, Soğuksu, Seslikaya, Kızılağaç ve Şahmetlik Plütonlarının 303-348 My yaş aralığında ve genelde granit, az oranda da granodiyorit ve monzonit bileşiminde olduklarını, alt kıtasal kabuk kayaçlarından türediklerini ve manto katkısının nispeten az olduğunu belirtmişlerdir.

Gücer ve Sarı (2021), Bayburt'un Pamuktaş Köyü ve çevresinde yer alan Karbonifer yaşlı Pamuktaş Plütonunun esas olarak granit/granit porfir ve aplit (mikrogranit), daha az oranda ise granodiyorit ve kuvars mikrodiorit türü kayaçlardan meydana geldiğini, plütonunun ana magmasının orta-alt kıtasal kabuk ve zenginleşmiş litosferik manto ergiyiklerinden kısmi ergime sonucu türediğini belirtmişlerdir.

Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı'nda Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların yaşları Tablo 1 ve Şekil 3'de verilmiştir.

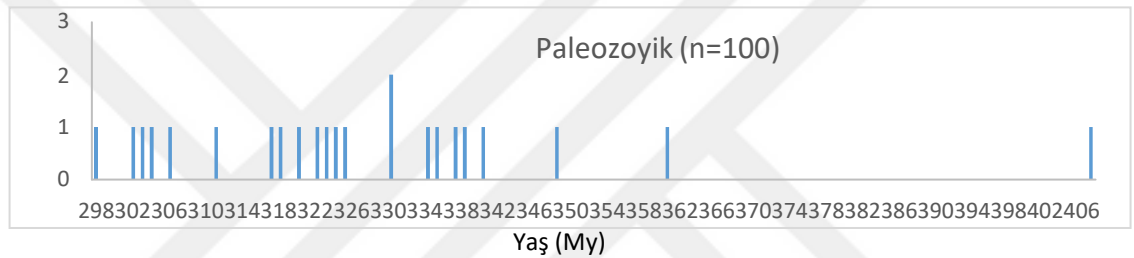


Şekil 3. Doğu Pontid'lerdeki Paleozoyik, Jura-Kretase ve Eosen yaşlı plütonik kayaçların dağılımı ve Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlardan yapılmış jeokronolojik yaşlar

Doğu Pontid'lerdeki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların yaşları (U-Pb, U/Th-Pb, Pb-Pb, Ar-Ar ve U-Pb gibi radyometrik yöntemlerle belirlenmiş olanlar) 348 ile 302 My arasında değişmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Doğu Pontidlerdeki Paleozoyik (Karbonifer) yaşlı plütonik kayaçların jeokronolojik yaşları (Kaygusuz vd., 2020'den değiştirilerek).

Plüton/Lokasyon	Kayaç türü	Yaş (My)	Yaşlandırma metodu	Referanslar
Çamlık (Gümüşhane)		302	U-Pb (zirkon)	Karlı vd. (2016)
Çamlıkaya (Yusufeli-Artvin)		330	U-Pb (zirkon)	Ustaömer vd. (2013)
Demirkent (Yusufeli-Artvin)		325	U-Pb (zirkon)	Ustaömer vd. (2013)
Derinoba (Tonya-Trabzon)	gr	317-311	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. (2012)
Gümüşhane	gr	304	U/(Th-Pb)	Çoğulu (1975)
Gümüşhane	gr	324-320	U-Pb (Zr), Ar-Ar	Topuz vd. (2010)
Gümüşhane	gr	338	U/(Th-Pb)	Çoğulu (1975)
Kayadibi (Kürtün/Gümüşh.)	gr	303	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. (2012)
Kızılağaç (Tonya-Trabzon)	gr	337	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. 2016
Köse	grd, gr	322-306	Ar-Ar (Bi/Hb)	Dokuz (2011)
Narlık (Yusufeli-Artvin)		330	U-Pb (zirkon)	Ustaömer vd. (2013)
Özdil (Trabzon)	mnz, gr	340-323	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. (2016)
Soğuksu (Maçka-Trabzon)	gr	348-335	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. (2016)
Seslikaya (Maçka-Trabzon)	gr	335.4	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. (2016)
Şahmetlik (Tonya-Trabzon)	gr	334.5	U-Pb (zirkon)	Kaygusuz vd. (2016)



Şekil 4. Doğu Pontidler Orojenik Kuşağı'nda Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların yaş aralığını gösteren histogram

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç ve Yöntemler

Bu çalışmanın amacını, Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin incelenmesi oluşturmaktadır. Bu tez çalışması kaynak taraması, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere başlıca dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları ile inceleme alanında yüzeyleyen birimlerin ayırt edilmesi, birbirleriyle olan dokanak ilişkilerinin saptanması ve yapısal unsurların belirlenmesi sağlanmıştır. İnceleme alanında yüzeyleyen birimler önceden yapılan çalışmalar da dikkate alınarak kontrol edilmiş, çalışılan plütonik kayaçlar ile diğer birimlerin sınırları ve stratigrafisi belirlenmiş, gerekli düzeltmeler yapılarak yaklaşık 88 km² lik bir alanın 1/25000'lik jeolojik haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanından farklı hatlar boyunca hem granitik kayaçlardan hemde yan kayaçlardan sistematik örnekler alınmıştır. Bu kapsamda Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlardan yaklaşık 40 örnek, volkanik kayaçlardan ise yaklaşık 15 örnek toplanmıştır.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması

İnceleme alanından toplanan kayaç örneklerinin mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesine yönelik, Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlara ait 20 ve diğer birimlere ait 10 olmak üzere toplam 30 adet örneğin ince kesitleri yapılmıştır. İnce kesitler hazırlanırken, kayaçlardan kesilen 0.5 x 2 x 4 cm boyutunda plakalar, bir yüzeylerinin pürüzlülükleri giderildikten sonra 1 mm kalınlığındaki 2.5 x 5 cm boyutundaki cam üzerine Kanada balzamu ile yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan bu kayaç, otomatik kesit inceltme makinasına yerleştirilmiş ve aşındırıcılar yardımıyla 0.025 mm kalınlığına kadar inceltilerek petrografik inceleme için hazır duruma getirilmiştir. İnce kesit örnekleri Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi (GMDF), Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Aşındırıcı tozlar ile kesitlerin hazırlanması ve kesit kalınlığının kontrolü

2.1.2.2. Petrografik İncelemeler ve İnce Kesit Fotoğrafların Çekimi

Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayalara ait 30 adet ince kesitin modal analizleri tamamlanmıştır. Bu analizler nokta sayıcı (Swift model F marka) ile yapılmıştır. Tane büyüklüğü dikkate alınarak, tane boyutu 0.5 - 0.8 mm arasında olan örneklerde 1000 - 1300 nokta; tane boyutu 1.0 - 1.5 mm olan örneklerde ise 1300 - 1700 nokta sayılmıştır (Şekil 6).

Volkanik kayalara ait yaklaşık 10 adet ince kesit örneği Leica marka Polarizan Mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

Seçilmiş örneklerin mikroskop fotoğrafları GMDF Jeoloji Mühendisliği Araştırma Mikroskobu Odası'nda, Leica marka Polarize Mikroskoba bağlanmış aynı marka düzenekte yer alan Fotoğraf Ünitesi ile çekilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. İnce kesitlerin polarizan mikroskopta incelenmesi, modal analizlerinin yapılması ve fotoğraflarının çekilmesi

2.1.2.3. Örneklerin Kimyasal Analiz İçin Hazırlanması

Mikroskop incelemeleri sonucunda ana, iz ve nadir toprak element analizleri için ayrılmamış veya az ayrılmış örnekler seçilmiş ve örnekler GMDF Jeoloji Mühendisliği Bölümü Örnek Hazırlama Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Kimyasal analizler için seçilen, her biri yaklaşık 250 - 300 gr'lık kayaç örnekleri önce çeneli kırıcıda 1 - 2 cm boyutuna indirilmiş, sonra halkalı öğütücülerde 200 mesh boyutuna kadar öğütülmüş ve ardından çeyrekleme yöntemi uygulanarak yaklaşık 30 gr'lık toz örnekleri kimyasal analizlerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

2.1.2.4. Kimyasal Analizler

Gülaçar (Gümüşhane) ve civarındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayalara ait 12 örneğin ana, iz ve nadir toprak element analizleri Kanada'da ACME Analiz Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Ana ve iz elementler ICP, nadir toprak elementler ise ICP-MS yöntemiyle analiz edilmiştir. Ana ve iz element analizleri, 0.2 gr toz örneğin 1.5 gr LiBO_2 ile karıştırılarak ve %5 HNO_3 içeren bir sıvı içinde çözündürülerek yapılmıştır. Nadir toprak element analizleri için 0.250 gr toz örnek dört farklı asit içinde çözündürülerek analiz edilmiştir. Ana elementler % ağırlık olarak, iz ve nadir toprak elementler ise ppm olarak hesaplanmıştır. Toplam Fe içeriği, Fe_2O_3 cinsinden ifade edilmiştir. Dedeksiyon (ölçüm) limitleri ana oksitler için 0.002 ile 0.04 (% ağırlık olarak), iz elementler için 0.1 ile 8 ppm ve nadir toprak elementler için 0.01 ilâ 0.3 ppm arasındadır.

2.1.3. Büro Çalışmaları

Ofis çalışmalarında öncelikli olarak, tez çalışması konusu ile ilgili kaynak taraması yapılmış, elde edilen kaynaklar ayrıntılı bir şekilde gözden geçirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, bilgisayar programları yardımıyla değerlendirilmiş, çeşitli diyagramlara aktarılarak yorumlanmıştır. Çizim programları (Corel Draw) ile jeolojik harita ve dikme kesitler hazırlanmıştır. Ana, iz ve REE verileri Grapher programı kullanılarak ikili, üçlü ve örümcek diyağramları oluşturulmuş ve yorumlanmaları sağlanmıştır. Tez yazım kurallarına uygun bir şekilde tüm veriler ve dokümanlar bir araya getirilerek bu Yüksek Lisans Tezi oluşturulmuştur.



3. BULGULAR

3.1. İnceleme Alanının Stratigrafi ve Petrografisi

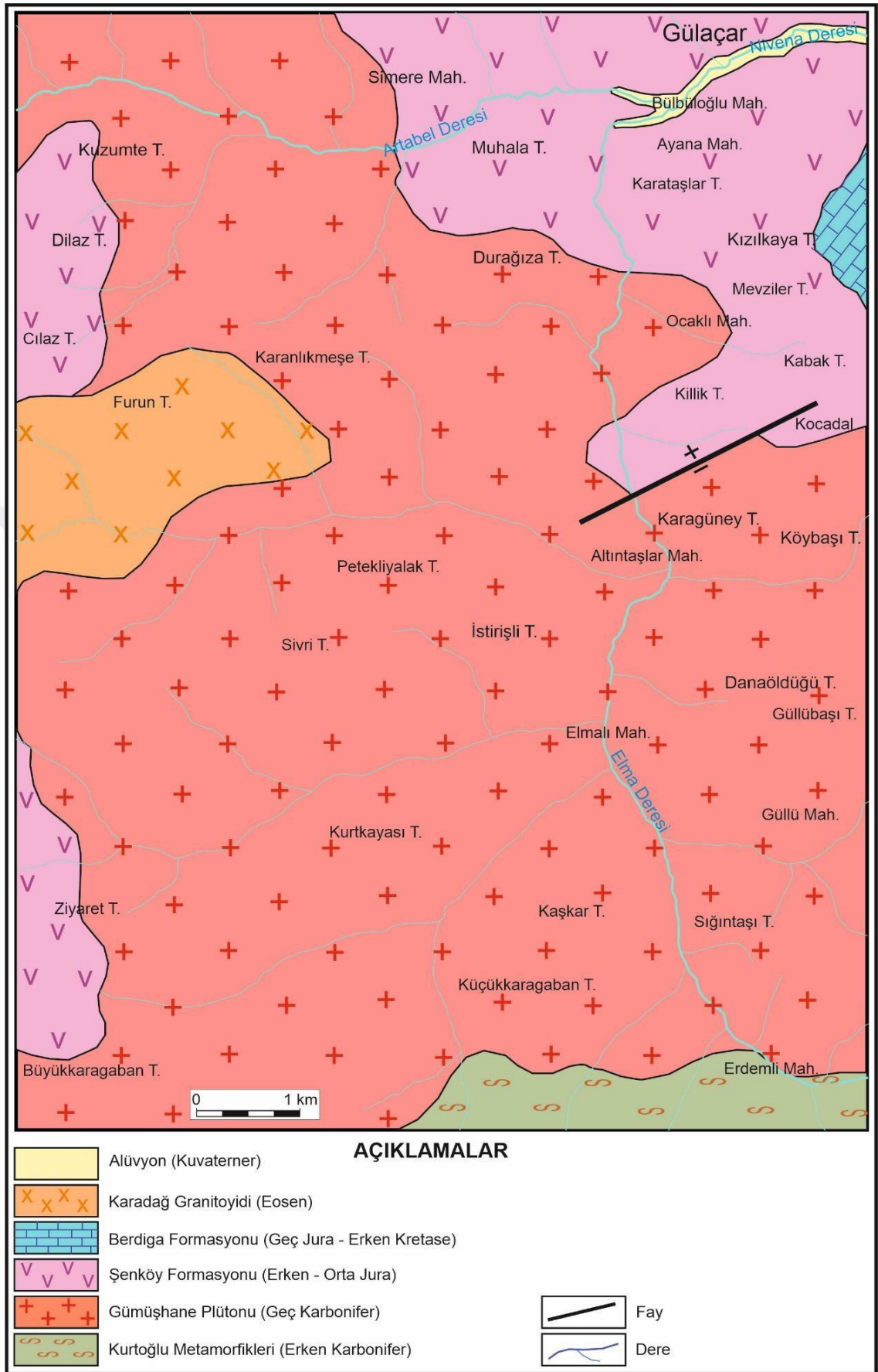
İnceleme alanı, plütonik, volkanik, tortul ve metamorfik kayaçların yer aldığı, yaklaşık 88 km² lik bir alandan oluşur.

İnceleme alanında yer alan kayaçlar tabandan tavana doğru şu birimlerden oluşmaktadır (Şekil 7 ve 8);

6. Alüvyon (Kuvaterner)
5. Karadağ Granitoyidi (Eosen)
4. Berdiga Formasyonu (Geç Jura-Erken Kretase)
3. Şenköy Formasyonu (Erken-Orta Jura)
2. Gümüşhane Plutonu (Geç Karbonifer)
1. Kurtoğlu Metamorfikleri (Erken Karbonifer)

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner					Alüvyon Uyumsuzluk
MESOZOYİK	EOSEN	JURA-E KRET	BERDİGA		Gri renkli orta-kalın tabakalı ve yer yer dolomitleşmiş kireçtaşı
					Andezit, bazalt ve piroklastları
					KARADAĞ GRANİTOYİDİ
					Uyumsuzluk
PALEOZOYİK	KARBONİFER	ERKEN-GEÇ KARBONİFER	ŞENKÖY		GÜMÜŞHANE PLUTONU (Monzogranit, kuvarslı monzonit)
					KURTOĞLU METAMORFİTLERİ (Mikaşist, gnays ve meta-granitler)

Şekil 7. İnceleme alanına ait stratigrafik kolon kesit



Şekil 8. Gülaçar ve yakın yöresinin jeolojik haritası

3.1.1. Kurtoğlu Metamorfitleri

Kurtoğlu Metamorfitleri adını en iyi gözleendiği yer olan alan Kurtoğlu Köyünden almaktadır (Topuz vd., 2007). Meta-granitler Kurtoğlu Metamorfitleri içindeki en yaygın litolojiyi oluşturmaktadır. Şist ve fillatlardan oluşan metasedimantler daha az oranlarda bulunmaktadır. Metabazitler ise çok az oranlarda bulunmaktadır (Topuz et al., 2004; Dokuz vd., 2011).

Arazide daha çok açık renkli, sarımsı ve gri renklerde, içerisinde bulunan mikalar parlak bir özellik göstermesiyle diğer birimlerden kolayca ayrılır. Mikaların boyutları yer yer iri taneli olup, yapraklanma gösterirler. Yerel olarak hem Kurtoğlu Metamorfiti hem de Gümüşhane Batoliti, bazaltik konglomeralar da içeren Liyas yaşlı volkano-sedimanter Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür.

3.1.1.1. Yaş

Kurtoğlu Metamorfitlerinin yaşı, yörede yüzeylenen Gümüşhane Batoliti gibi Paleozoyik sistem içerisinde değerlendirilmiştir. Kurtoğlu metamorfitleri üzerinde daha önce yapılmış radyometrik çalışmalar neticesinde bu birimin yaşı 333 my olarak bulunmuştur (Topuz vd., 2004a ve b). Bu duruma göre Kurtoğlu metamorfitlerinin Erken Karboniferde oluştuğu söylenebilir.

3.1.2. Gümüşhane Plutonu

Gümüşhane ve yakın yöresi ile Köse dağları ve Kelkit kuzeyindeki geniş alanlarda yüzeyleme veren granitik kayaçlar Ketin (1950) tarafından “Gümüşhane Graniti” olarak adlandırılmış, daha sonraki araştırmacılar (Çoğulu, 1970; Yılmaz, 1972; Eren, 1983; Topuz vd., 2010) tarafından da Gümüşhane Granitoyidi, Gümüşhane Plütönu veya Gümüşhane Batoliti şeklinde adlamalarla kullanılmıştır. İnceleme alanındaki granitik kayaçlar, Gümüşhane Batolitinin bir parçasını oluştururlar.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütönik kayaçlar, kuzeyde Gülaçar Köyü ve güneyde Erdemli Mahallesi olmak üzere genel olarak çalışma alanının büyük bir kesiminde yayılım göstermektedir. Ocaklı, Altıntaşlar, Elmalı ve Erdemli Mahallelerinde yayılım gösterir. Çalışma alanında diğer birimlere nazaran en fazla yüzeyleme alanına sahip olup, yaklaşık 50 km²'lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların çalışma alanındaki görünümü (Yer: Altıntaşlar Mahallesi)

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar inceleme alanında metamorfik kayaçları kesmiş olup, üzerine Jura yaşlı Şenköy Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir.

3.1.2.1. Yaş

İnceleme alanında Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu, incelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçları uyumsuz olarak örtmüştür. Bu nedenle de birim stratigrafik olarak Jura öncesi yaşlıdır. Çoğulu (1975), Gümüşhane Batoliti üzerinde yapmış olduğu jeolojik yaş tayinlerinde plütonun yaşını 298-338 My aralığında; Topuz vd. (2010) ise birimin yaşının 320-324 My aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da formasyonun yaşı Geç Karbonifer olarak kabul edilmiştir.

3.1.3. Şenköy Formasyonu

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar üzerine uyumsuz olarak gelen birim farklı araştırmacılar tarafından değişik adlarla tanıtılmıştır. Örneğin; Hacıören Formasyonu (Pelin, 1977), Kartepe Formasyonu (Seymen, 1975), Hamurkesen Formasyonu (Ağar 1977) ve Zimonköy Formasyonu (Eren 1983). Son olarak Kandemir (2004) birim ile ilgili olarak Bayburt ve Gümüşhane yörelerinde detaylı

bir çalışma gerçekleştirmiş ve bu birime “Şenköy Formasyonu” adını vermiştir. Çalışma alanında değişik alanlarda yüzeyleme veren birim litolojik olarak Şenköy Formasyonu ile aynı özellikler taşımakta olup, bu çalışma kapsamında da Şenköy Formasyonu ismi kullanılması uygun görülmüştür.

İnceleme alanında özellikle Bülbüloğlu ve Çiçekli Mahalleleri ile Cılaz Tepe ve Ziyaret Tepe civarında yüzeylemektedir. Farklı litolojik özellikteki kayalardan oluşan birimin arazide görünümü de farklıdır. Genellikle koyu rengi ve yumuşak rölyefi ile dokanak olduğu birimlerden kolayca ayır edilebilir. Ayrıca ayrışma nedeniyle üzerinde kalın toprak örtüsü gelişmiştir. Yer yer içerdiği bazalt ve doleritler sert çıkıntılar oluşturur.

Bu birim incelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 10). Üstten ise masif kireçtaşları tarafından uyumlu olarak örtülmektedir.



Şekil 10. Şenköy Formasyonu'nun arazideki görünümü ve Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plutonu ile olan ilişkisi (Yer: Simera Mahallesi)

Şenköy Formasyonu genellikle koyu renklerde, mor, yeşilimsi gri renkli bazaltik lav ve piroklastlarından oluşmaktadır. Birim tabanda yer yer izlenebilen kırmızı renkli, bol kırıklı bir kireçtaşıyla başlamaktadır. Bu seviye üzerine gri renkli orta tabakalı kireçtaşları gelmektedir. Bu kireçtaşı katmanı üzerine yaklaşık 3-5 m kalınlık sunan yeşil renkli ve çoğunlukla ayrışmış volkanik kayalar bulunmaktadır. Bazı seviyelerde bol plajiyoklas içerikli ve yer yer ayrışmış piroksenlerin gözlemlendiği bazalt türü volkanik kayaç seviyeleri gözlenmektedir. Çalışma alanında pek yayılım göstermemekle birlikte, mevcut gözlenenler çoğunlukla volkanik kayaç bileşimindedir.

3.1.3.1. Yaş

İnceleme alanında bu birim içerisinde fosil gözlenmemiştir. Daha önceki çalışmalarda Eren (1983) bu birime Liyas yaşını vermiştir. Kandemir (2004) ise Gümüşhane-Bayburt civarında yapmış olduğu çalışmalarda, birim içindeki makro ve mikro fosillere dayanarak Erken-Orta Jura yaşını vermiştir. Bu çalışmada da Şenköy Formasyonunun yaşı Erken - Orta Jura olarak kabul edilmiştir.

3.1.4. Berdiga Formasyonu

Alucra'nın (Giresun) güneydoğusunda, Berdiga Dağları boyunca en iyi şekilde gözlenen bu formasyon, ilk olarak Pelin (1977) tarafından "Berdiga Formasyonu" olarak isimlendirilmiştir. Bu formasyon Açar (1977) tarafından Demirözü (Bayburt) dolayında Hozbirikyayla Kireçtaşı olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında benzer litolojik özellik gösteren ve aynı stratigrafik konumda bulunan birim için "Berdiga Formasyonu" isminin kullanılması uygun görülmüştür.

Çalışma alanında genellikle sert topografyası, kalın tabakalı ve masif yapısı ile dikkat çekmektedir. İnceleme alanının kuzeydoğu kesiminde Mevziler Tepesi civarında küçük bir alanda yüzeyleme gösterir (Şekil 11).

Çalışma alanında Berdiga Formasyonu uyumlu olarak Liyas yaşlı Şenköy Formasyonu üzerine gelir. Berdiga Formasyonu genel olarak gri, beyazımsı gri, açık gri renklerde, orta ve kalın tabakalı yer yer ise masif görünümlü kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı birimlerinden oluşur. Çalışma alanında gri, gri-bej rengiyle kolaylıkla tanınabilmektedir. Topoğrafyada yükselimlerin zirvelerini oluştururlar. Taze yüzeyi açık gri renklerde olan kristalize kireçtaşları şeker dokusu göstermesiyle tipiktir. Dış yüzeyleri kirli gri ve kahverengi tonlarda gözlenir. Ayırışma yüzeyleri ise kahverengimsi renkte olup, bol erime boşluklu bir yapı sunarlar. Birim içerisinde yer yer çört yumrularına da rastlanır.

3.1.4.1. Yaş

Berdiga Formasyonu uyumlu olarak Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu üzerine gelmektedir. Formasyon inceleme alanında gözlenmeyen, ancak Gümüşhane yöresinde yaygın yüzeyleme vermiş olan Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenmiştir. Bu nedenle de yaşı Geç Jura-Erken Kretase olarak tanımlanmıştır. Önceki çalışmalarda bu birime değişik yaşlar verilmiştir. Baykal (1952) kireçtaşının yaşını Jura-Erken Kretase olarak, Yılmaz (1972) ise Geç Kretase olarak belirtmiştir. Kireçtaşlarının yaşı Pelin (1977) tarafından Geç Jura-Erken

Kretase olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise birimin yaşı Geç Jura-Erken Kretase olarak kabul edilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil 11. Berdiga Formasyonunun Mevziler Tepe civarındaki görünümü

3.1.5. Karadağ Granitoyidi

Bu birim ilk olarak en iyi gözleendiği yere atfen tarafımızdan Karadağ Granitoyidi olarak adlandırılmıştır. Karadağ Granitoyidi'nin bir kısmı inceleme alanında yer almaktadır. İnceleme alanında Furun Tepe ve Karanlıkmeşe Tepe civarında gözlenir.

Karadağ Granitoyidi inceleme alanında yaklaşık 1.5 km² lik bir alanda yüzeylenmiş olup, Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plotonu ve Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonunu kesmiştir. Karadağ Granitoyidi'nde soğuma çatlakları mevcut olup, genelde çatlaklı ve kırıklı yapılar gelişmiştir ve iyi blok vermezler (Şekil 12). Diyorit ve granodiyorit bileşimli kayalardan oluşur. Koyu renkli minerallerin bol olarak bulunması ile genellikle gri ve koyu gri renklerde görülürler. Makroskobik olarak plajiyoklas, amfibol, biyotit ve piroksen mineralleri tanınabilmektedir.



Şekil 12. Karadağ Granitoidinin genel görünümü (Yer: Karanlıkmeşe Tepesi güneyi)

3.1.5.1. Yaş

İnceleme alanında Karadağ Granitoidi, Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plutonu ve Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonunu kesmiştir. Bölgedeki benzer bileşimli kayaların yaşları dikkate alındığında, yaşının Eosen olabileceği sonucuna varılmıştır.

3.1.6. Alüvyon

Nivena deresi boyunca küçük bir alanda gözlenen Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, Lias yaşlı Şenköy Formasyonunu uyumsuz olarak örtmüştür. Alüvyonlar içerisinde çevre kayaların kil boyutundan blok boyutuna kadar değişen malzemeleri gözlenmektedir. Alüvyonların yayılım gösterdiği alanlar hem meyve ve sebze, hem de yerleşim alanı olarak kullanılmaktadır.

3.2. İncelenen Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaların Mineralojisi ve Petrografisi

Bu bölümde, çalışmanın ana konusunu oluşturan ve inceleme alanının büyük bir kısmında yüzeyleme veren Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların arazi gözlemleri ile mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiştir.

3.2.1. Saha Gözlemleri

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar inceleme alanının büyük bir bölümünde (~ 60 km²) yüzeyleme gösterir. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar, Trabzon H-43 a1 ve a2 paftalarında, başlıca Ocaklı Mahallesi, Altıntaşlar Mahallesi, Elmalı Mahallesi, Erdemli Mahallesi, Sivri Tepesi, Güllübaşı Tepesi,

Kurtkayası Tepesi, Ziyaret Tepesi, Kaşkar Tepesi, Büyükkargaban Tepesi, Küçükkaragaban Tepesi ve Evrime Tepesi civarında yer alır.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar bazı kısımlarda çok çatlaklı ve kırıklı yapılar gelişmiştir (Şekil 13). Ayrıca 10-30 cm kalınlığında apolit daykları tarafından kesilmiştir (Şekil 14).

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar bazı kısımlarda ayrılmış bir görünüme sahiptir. Arenalaşma daha ziyade Sivri Tepe ve Kurtkayası Tepe civarında görülür. Arenalaşmış bölgelerde kolayca parçalanan kayalar, toprağımsı bir yapı kazanmıştır (Şekil 15).



Şekil 13. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalara ait kırık sistemleri (Yer: Elmalı Mahallesi batısı)



Şekil 14. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçları kesen aplit daykları (Yer: Elmalı Mahallesi güneyi)



Şekil 15. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlarda gözlenen arenalaşma (Yer: Sivri Tepe kuzeyi)

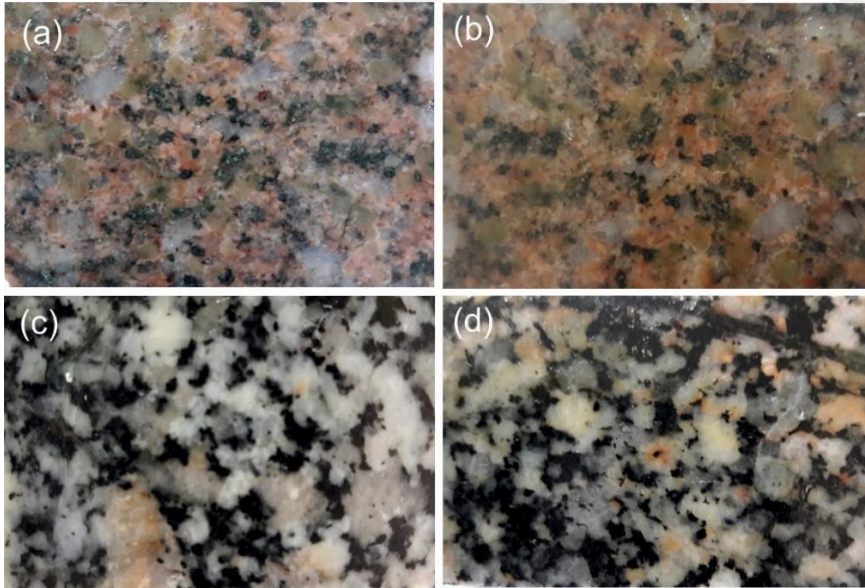
İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar, çevre kayaçlardan renk tonu ve litolojik farklılıklar nedeniyle kolayca ayrılır. Genellikle pembe renklidir. Çatlaklar boyunca belirgin yüzeysel ayrışma ve killeşme izlenir. Ayrıca makroskobik olarak iri taneli dokudadır. Taze yüzeyinin rengi, pembe ve kırmızımsı kahverengidir. Ayrışma yüzeyinin rengi ise killeşmeden dolayı daha açık renklidir. El örneklerinde boyutları 0.5-2 cm arasında değişen iri feldispat (pembe renkli ortoz) kristalleri (Şekil 16) yanında bol miktarda kuvars, plajiyoklas ve opak mineraller içerir.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçları oluşturan monzogranit ve kuvarşlı monzonit / kuvarşlı monzodiyorit bileşimli kayaçlar, makroskobik olarak ayrışma dereceleri, dokuları, renk farklılıkları, açık renkli mineral oranları, mafik mineral

içerikleri ve birbirleri ile olan kontak ilişkileri gibi özelliklerine göre birbirlerinden ayrılabilmişlerdir (Şekil 17). Makroskobik olarak ayırt edilemeyen kayaç türleri ise mikroskop yardımıyla ayrılmışlardır.



Şekil 16. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlarda gözlenen iri feldispat mineralleri (Yer: Ocaklı Mahallesi)



Şekil 17. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların parlatılmış el örnekleri, (a-b) monzogranit, (c-d) kuvarslı monzonit / kuvarslı monzodiyorit

3.2.2. Mineralojik ve Petrografik İnceleme

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlardan sistematik olarak alınan örneklerden, 20 adet örneğin modal analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların modal analiz sonuçları

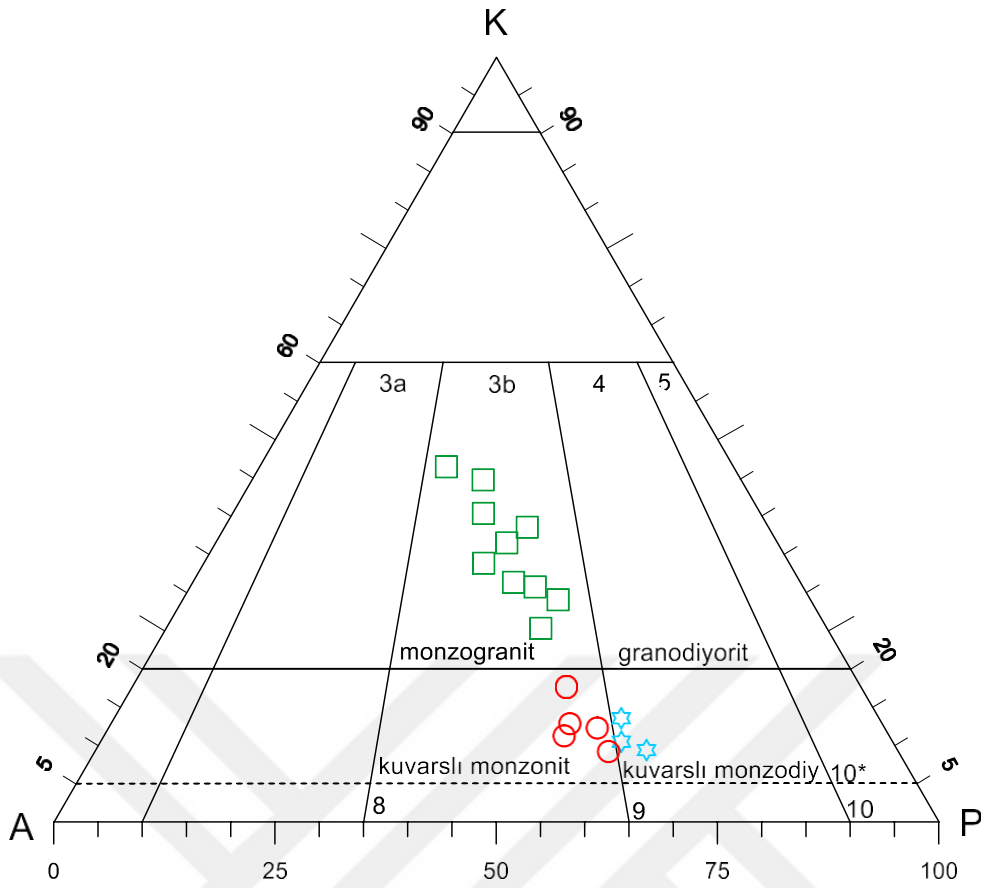
Örnek no	Kayaç adı	Plajiyoklas	Kuvars	Ortoklas	Amfibol	Biyotit	Opak Min.
E3	Monzogranit	37.91	22.65	28.91	2.45	6.35	1.00
E7	Monzogranit	20.04	44.00	30.70	1.26	3.26	0.50
E12	Monzogranit	24.01	41.00	26.70	1.15	4.03	2.80
E14	Monzogranit	26.04	37.00	28.70		5.81	2.20
E16	Monzogranit	30.94	34.81	24.60	1.30	7.39	0.65
E28	Monzogranit	32.14	35.57	29.80		0.77	1.24
E33	Monzogranit	39.18	26.81	26.27	1.40	4.52	1.48
E34	Monzogranit	37.72	29.70	29.24		1.80	1.20
E36	Monzogranit	34.63	29.87	30.88		3.00	1.10
E38	Monzogranit	30.49	32.54	33.23		2.30	1.35
E01	Kuvarslı mnz	48.64	17.45	32.84		0.59	0.46
E6	Kuvarslı mnz	48.82	10.58	34.44	1.26	3.62	1.21
E40	Kuvarslı mnz	50.13	11.14	29.45	4.46	3.60	1.10
E41	Kuvarslı mnz	50.79	12.59	34.53		0.30	1.70
E42	Kuvarslı mnz	55.82	8.87	31.48		1.90	1.50
E43	Kuvarslı mnz	45.75	13.32	28.92	2.81	7.12	1.80
E44	Kuvarslı mnz	48.46	10.25	27.12	3.45	8.89	1.60
E45	Kuvarslı mnzdi	54.73	8.29	24.92	2.81	7.46	1.70
E47	Kuvarslı mnzdi	51.71	9.25	26.92	3.12	7.54	1.40
E48	Kuvarslı mnzdi	50.15	11.87	25.48	3.67	7.14	1.50

mnz: monzonit, mnzdi: monzodiyorit

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlara ait modal analiz sonuçları KAP diyagramına (Streichisen, 1976) düşürüldüğünde (Şekil 18), plütonik kayaçların monzogranit, kuvarslı monzonit ve kuvarslı monzodiyoritten oluştuğu görülür.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların modal mineralojilerinin özeti şu şekildedir:

Monzogranitlerin modal plajiyoklas içerikleri 20-39, kuvars içerikleri 23-44 ve ortoklas içerikleri de 25-33 arasında değişmektedir (Tablo 2). Kuvarslı monzonitlerin modal plajiyoklas içerikleri 46-56, kuvars 9-18 ve ortoklas 27-35 arasında değişmektedir (Tablo 2). Kuvarslı monzodiyoritlerin modal plajiyoklas içerikleri 50-55, kuvars 8-12 ve ortoklas içerikleri de 25-27 arasında değişmektedir (Tablo 2).



Şekil 18. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların modal analiz sonuçlarının KAP diyagramındaki dağılımları (Streckeisen, 1976).

3.2.2.1 Monzogranit

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların büyük bir kısmını oluşturan bu birim Ocaklı Mahallesi, Altıntaşlar Mahallesi, Elmalı Mahallesi, Erdemli Mahallesi, Sivri Tepesi, Güllübaşı Tepesi, Kurtkayası Tepesi, Ziyaret Tepesi, Kaşkar Tepesi, Büyükkargaban Tepesi, Küçükkaragaban Tepesi ve Evrime Tepesi civarında gözlenir (Şekil 3.14). Makroskobik olarak incelendiğinde arazinin genelinde yaygın olan monzogranit, açık renkli minerallerin fazla olması, mafik mineral olarak genelde biyotit ve amfibol içermesi ile kolayca tanınır. Monzogranitler içindeki mineraller orta ve iri tanelidir. Genişliği 1-2cm, uzunluğu 2 cm'ye kadar olabilen pembe renkli iri K-feldspat kristalleri bulunmaktadır.

Bu birime ait örneklerin mikroskobik incelenmesinde aşağıdaki özellikler gözlenmiştir:

Doku: Tüm kristalli ince-orta taneli, monzonitik, poikilitik, yer yer de mikrografik (Şekil 19 ve 20).

Mineraller:

Kuvars: Öz şekilsiz kristaller halinde daha önce oluşmuş kristallerin aralarındaki boşlukları doldurur. Bazı kesitlerde kuvars, basınç etkisiyle kırıklı bir yapı kazanmıştır ve dalgalı sönme özelliği gösterir. K-feldspatlar ile plajiyoklazların sınırında yer yer mirmekitik kuvars oluşumu gözlenmektedir. Bazı örneklerde kuvarsın bir alkali feldspat (ortoklas) ile iç içe büyümesi ile oluşan yazı strüktürü belirgindir. Kayaçta % 22.7-44 oranında bulunur (Tablo 2).

Plajiyoklaz: Öz ve yarı öz şekilli kristaller halinde bulunurlar. Plajiyoklaz cinsinin %40 An içeriği ile oligoklaz ve nadiren %30 An içeriği ile andezin olduğu tespit edilmiştir, Tek nikolde daha berrak olmaları ile alkali feldspatlardan ayırt edilirler. Ayrıca serisitlemeye ve ikincil olarak oluşmuş epidot minerallerine rastlanılmıştır. Alkali feldspatlara göre daha öz şekilli olan plajiyoklazlar, genelde albit ve karlsbad ikizi gösterirler. Halkalı zonlanma yaygın olarak görülür. Bazı kesitlerde iri plajiyoklas kristalleri küçük hornblend, biyotit ve opak mineral enklüzyonları içerirler. Kayaçta % 20-39.2 oranında bulunur (Tablo 2).

Alkali Feldspat: Genelde ortoklaz yer yer de mikroklin bileşiminde olduğu saptanmıştır. Kısmen pertit oluşumlarına rastlanmıştır. Pertitler genellikle potasyumlu feldspat (ortoz ve mikroklin) içinde ara ürün olarak oluşmuş sodyumlu feldspat (albit) olarak bilinir. K-feldspatlar kısmen ayrışmaya uğrayarak kaolenleşmişler ve kirli sarı bir görünüm kazanmışlardır. Bazı kesitlerde karlsbad ikizi belirgindir. Tek nikolde kirli görünümüyle plajiyoklaslardan kolaylıkla ayrılır. Yer yer plajiyoklasların etrafını çevreleyerek monzonitik doku oluşturur. Bazı kesitlerde küçük plajiyoklas, biyotit ve hornblend kristallerinin iri ortoklas mineralleri tarafından içlerine alındıkları görülür (poikilitik doku). Genellikle ortoklas ile plajiyoklas arasında mirmekitik oluşumlar gözlenmiştir. Kayaçta % 33.2-24.6 oranında bulunur (Tablo 2).

Biyotit: İncelenen kayaçlarda en bol bulunan koyu renkli mineraldir. Öz-yarı öz şekilli olup, çubuğumsu prizmatik kristaller halinde bulunurlar. Hem büyük hem de küçük kristalleri mevcut olup, dilinimleri nettir ve bu dilinime göre paralel sönmelidir. Kristallerin uç kısımları tırtıklı ve koyu renklidir. Çok açık kahveden koyu kahveye değişen pleokroizma gösterir. Bazı biyotit kristallerinde renk daha koyudur ve rölyef yüksektir. Bu muhtemelen demir içeriğinin artmasıyla ilgilidir. Biyotitler sık olarak muskovit, klorit, kalsit ve Fe-Ti hidroksitlere dönüşmüştür. Kayaçta % 0.8-7.4 oranında bulunur (Tablo 2).

Amfibol: Kayaç içerisinde biyotite nazaran daha az miktarda bulunur. Kuvvetli polarizasyon renkleri gösterir, Açık yeşilden koyu yeşile değişen net pleokroizma ve baklava dilinim özelliği ile amfibol cinsinin yeşil hornblend olduğu belirlenmiştir. (100)

ikizi belirgindir. C eksenine dik kesitlerde, birbirleriyle yaklaşık 56°'lik açılar yapan dilinimler, bazı örneklerde de tek yönde dilinimler belirgin olarak görülür. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 12-16'dır. Kayaçta % 1.2-2.5 oranında bulunur (Tablo 2).

Apatit: Bazı kesitlerde az oranda görülür. İnce çubuğumsu kristaller halinde, plajiyoklas ve kuvars içinde kapanımlar şeklinde gözlenir. Apatitin çift kırıcılığı düşük olup, renksizdir ve rölyefi yüksektir.

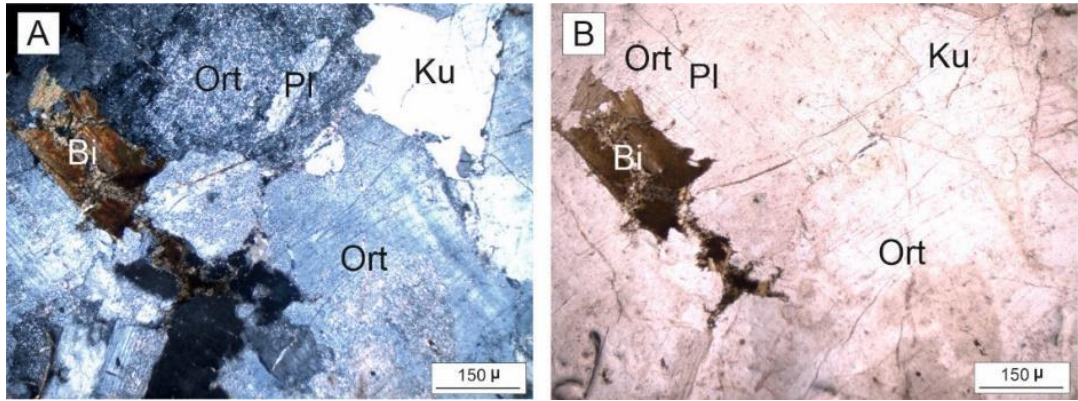
Zirkon: Genelde küçük prizmatik kristaller şeklinde ve çok yüksek rölyefli olup, uzantıya paralel kesitlerde dik sönme gösterir. Bazı kesitlerde ve az oranda gözlenir. Zirkon mineralinin çevresinde pleokroik haleler görülmesi kısmen radyoaktif parçalanmaya uğradığının kanıtı olabilir. Kuvvetli polarizasyon renkleri gösterir ve dik sönmelidir.

Turmalin: İnce ve uzun kristaller seklindedir. Dik sönmelidir. Çift kırıcılığı orta-kuvvetli olup, rölyefi yüksektir. Bazı kesitlerde ve çok az oranda bulunur.

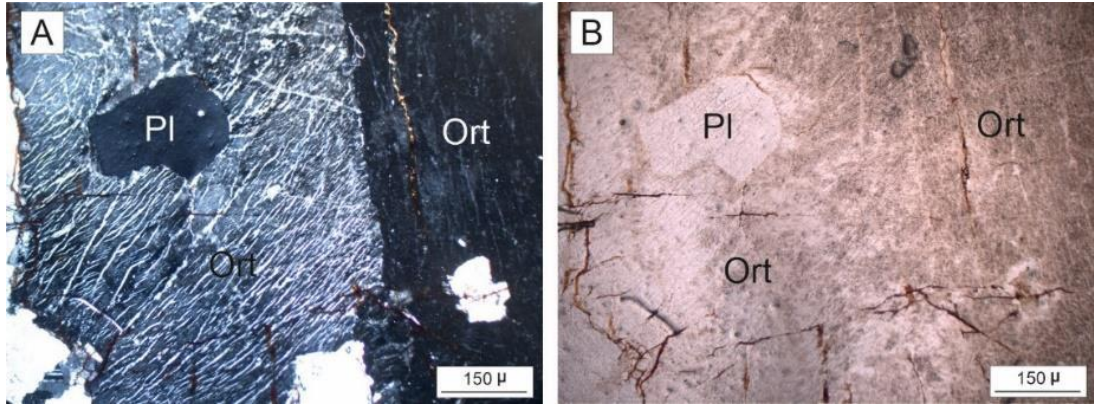
İkincil olarak oluşmuş muskovit, kuvars ve opak mineraller mevcuttur. İkincil kuvars ve opak mineraller kayacı yersel olarak kesen 2 mm kalınlığa varan damarcıklar oluşturmaktadır.

Opak Mineraller: Az miktarda mevcut olup, genellikle küçük taneler halinde ve düzensiz şekillerdedir. Kayaçta % 0.5-2.8 oranında bulunur (Tablo 2).

Kayaç adı: Monzogranit (Şekil 19 ve 20).



Şekil 19. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar içindeki monzogranitlere ait taneli doku (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Ort: Ortaklas, K: Kuvars)



Şekil 20. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar içindeki monzogranitlere ait iri ortoklas mineralleri (Ç.N., Ort: Ortoklas, Pl: Plajiyoklas, K: Kuvars)

3.2.2.2. Kuvarşlı monzonit / kuvarlı monzodiyorit

Ocaklı Mahallesi ve Büyükkaragaban Tepesinde görülen bu birim, yaklaşık 2 km²'lik bir küçük bir alanda yayılım göstermektedir. Yapılan makroskobik ve mikroskobik incelemeler bu birimin monzogranitten farklı yapıda olduğunu göstermiştir. El numuneleri incelendiğinde, ilk göze çarpan şey, kuvars minerallerinin az oranda olmasıdır.

Bu birime ait minerallerin mikroskobik özellikleri şöyledir:

Doku: Tüm kristalli ince-orta taneli (Şekil 21).

Mineraller:

Plajiyoklaz: Öz ve yarı öz şekilli kristaller halinde olup, bazıları zonlu yapı gösterir. Sönme açıları tayininde cinsinin andezin (An₃₃₋₃₆) olduğu belirlenmiştir. Plajiyoklazlar genellikle alkali feldspatlar tarafından çevrelenmiştir. Nadiren zonlu yapı gösterirler ve albit ikizi ile karakteristiktirler. Ayrışarak serizite dönüşmüşlerdir ve ayrıca plajiyoklaz kristalleri içerisinde ikincil epidot oluşumları tespit edilmiştir. Kayaçta % 45.8-55.8 oranında bulunurlar (Tablo 2).

Alkali feldspat: Feldspatlar genellikle ortoklaz nadiren mikroklin ve pertitler oluştururlar. Orta-iri boyutlu ve yan öz şekilli kristaller halinde olup, genelde mikropertitik yapıdadır. Bazı iri kristallerde karlsbad ikizi belirgindir. Ayrışarak kaoline dönüşmüşlerdir. En yaygın ayrışma türü killeşmedir. Kayaçta % 24.9-34.5 oranında bulunur (Tablo 2).

Kuvars: Öz şekilsiz irili ufaklı kristaller şeklinde diğer minerallerin arasını doldurmuş olarak gözlenirler. Hem küçük, hem de iri kristaller halinde olup, gelişi güzel yönlere sahip çatlak ve kırıklar içerirler. Bazı kesitlerde dalgalı sönme gösterirler. Kayaçta % 8.3-17.5 oranında bulunur (Tablo 2).

Amfibol: En bol bulunan mafik mineral olup, öz ve yarı öz şekilli olup, levhamsı prizmatik kristaller halinde bulunurlar. Uzunım istikametine paralel tek yönde dilinimler belirgin olup, birbirleriyle yaklaşık 56 derecelik açılar yapan dilinimler seyrek olarak görülürler. Pleokroizma renkleri, x: açık sarı, y: yeşil, z: mavimsi yeşildir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 12-17 derece arasındadır. Kayaçta % 1.3-4.5 oranında bulunur (Tablo 2).

Biyotit: Genellikle öz şekilsiz ve yarı öz şekilli kristaller halinde olup, kısmen kloritleşmiştir. Yer yer iri kristalleri aşınmaya uğramış ve kırıklı bir yapı kazanmıştır. Açık sarımsı kahveden koyu kahveye değişen pleokroizma ile karakteristiktir. Opak mineral kapanımları içerirler. Ayrışarak klorite, muskovite ve demiroksite dönüşmüşlerdir. (001) yüzeyine paralel dilinime göre dik sönme gösterir. Kayaçta % 0.3-8.9 oranında bulunur (Tablo 2).

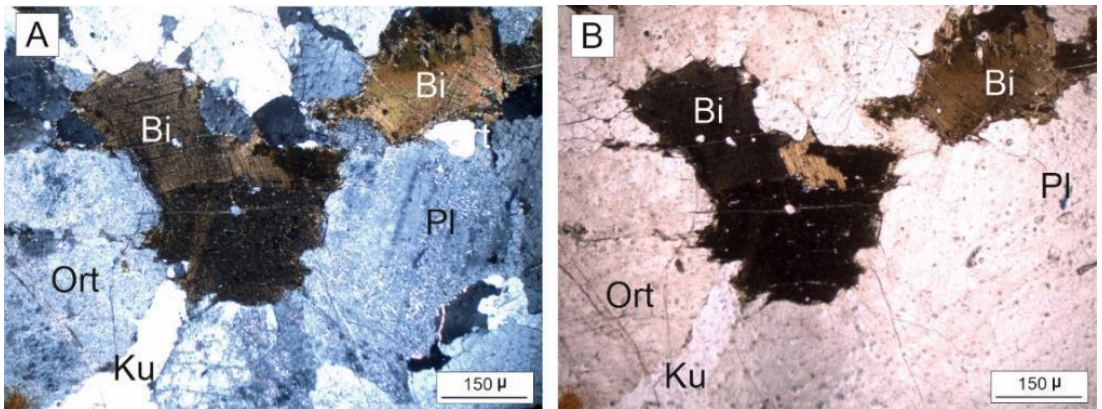
Apatit: Öz şekilli ince çubuğumsu kristaller halinde olup, az olarak bulunur. Genellikle kuvarsların içinde kapanımlar halindedir.

Zirkon: Küçük öz şekilli prizmatik kristaller halinde görülür. Çok yüksek rölyeflidir ve uzantıya paralel kesitlerde dik sönmelidir.

Opak Mineral: İrili ufaklı öz şekilsiz taneler şeklinde, % 0.5-1.8 arasında bulunur (Tablo 2). Genellikle amfibol ve biyotit mineralleri içinde kapanımlar şeklinde bulunur.

İkincil Mineralleri: Örnekler bol miktarda ikincil muskovit, klorit ve kil mineralleri içermektedir.

Kayaç adı: Kuvarslı monzonit / kuvarslı monzodiyorit (Şekil 21).



Şekil 21. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütönik kayaçlar içindeki kuvarslı monzonitlere ait poikilitik doku (Ç.N., Pl: Plajiyoklas, Ort: Ortoklas; K: Kuvars, Bi: Biyotit)

3.3. İncelenen Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaçların Jeokimyası ve Petrolojisi

3.3.1. Tüm-kayaç Jeokimyası

3.3.1.1. Giriş

İnceleme alanından derlenen kaya örneklerinin ayrıntılı olarak mineralojik-petrografik incelemeleri sonunda çalışmanın esasını oluşturan Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar jeokimyasal açıdan irdeleyerek, magma tipini ve pluton jenezi saptamak amacıyla söz konusu kütleden alınan örneklerden ana element, iz element ve nadir toprak element analizleri yaptırılmıştır. Jeokimyasal çalışmaya ait örnekler, ayrıntılı petrografik incelemeler yapıldıktan sonra plutonu oluşturan kayaçların en ayrışmamış olanlarından seçilmiştir. Analiz için örnek seçiminde olanakların elverdiği ölçüde, ayrılaşmanın her evresinden örnek alınımına özen gösterilmiştir. Jeokimyasal analizi yapılan bu örnekler ilgili diyagramlara aktarılarak kayaçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.3.1.2. Ana ve İz Elementler

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların ana ve iz element analizleri Tablo 3'de, nadir toprak elementleri ise Tablo 4'de verilmiştir.

Ana elementlerin kimyası göz önüne alındığında (Tablo 3), plütonu oluşturan kayaçların şu genel özellikleri ortaya konulabilir:

Granitlerin SiO₂ değeri % 70-77, Na₂O değeri % 2.1-3.8 ve CaO değeri % 0.4-1.5 dir. K₂O/Na₂O oranı 0.7-2, A/CNK (molar Al₂O₃/CaO+Na₂O+K₂O) değerleri 1-1.5 arasındadır. Magnezyum numarası [molar 100*(MgO/MgO+ΣFe₂O₃)] ise 32.7-53.4 arasındadır (Tablo 3).

Kuvarslı monzonitlerin SiO₂ değerleri granitlerden daha düşük olup % 63-65 arasında değişirken, Na₂O % 2.9-3.3 ve CaO % 4.2-4.3 arasında değişmektedir. K₂O/Na₂O oranı 0.7-0.8 arasındadır. A/CNK değerleri 1-1.1 arasında olup, magnezyum numaraları 42.02-44.64 arasındadır (Tablo 3).

Ana element içeriklerine göre SiO₂, Al₂O₃, CaO, K₂O ve Na₂O arasındaki ilişkiler, plütonik kayaçların sınıflamalarında önemli rol oynarlar. Özellikle alkali-silis ilgisi dikkate alınarak Middlemost (1994) tarafından yapılan sınıflandırma günümüz literatürün de halen önemle kullanılmaktadır. Bu sınıflamada magmatik serilerde toplam alkali (Na₂O+K₂O) miktarı SiO₂ içeriğine göre sınıflandırılmaktadır.

(Na₂O+K₂O)'e karşı SiO₂ diyagramında, incelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlara ait örnekler granit ve kuvarslı monzonit alanında yer alırlar (Şekil 22a). Irvine

ve Baragar (1971)'in, farklı magma ürünlerinin ayrımı için öne sürdükleri, (Na₂O+K₂O)'e karşı SiO₂ diyagramında (Irvine ve Baragar, 1971), tamamı subalkali alanda yer almaktadır (Şekil 22a).

Tablo 3. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların ana (%) ve iz (ppm) element (ppm) analizleri

Kayaç T. Örnek no	Kmnz		Granit									
	E01	E6	E28	E14	E12	E3	E7	E16	E33	E34	E36	E38
SiO ₂	63.15	65.05	70.10	71.20	72.35	73.33	74.50	75.06	75.64	76.37	76.61	77.07
TiO ₂	0.83	0.56	0.33	0.34	0.15	0.18	0.14	0.15	0.07	0.05	0.06	0.04
Al ₂ O ₃	15.54	15.99	14.74	13.46	12.85	12.52	12.43	11.72	13.11	13.55	12.90	13.28
Fe ₂ O ₃	5.98	4.04	3.56	3.66	2.65	2.85	2.21	2.40	1.25	1.08	1.23	1.15
MnO	0.09	0.06	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02
MgO	2.19	1.33	1.10	1.24	0.90	0.66	0.54	0.53	0.65	0.45	0.32	0.33
CaO	2.94	2.50	0.85	1.51	1.18	0.91	0.77	0.83	0.47	0.39	0.45	0.36
Na ₂ O	4.24	4.20	3.77	3.80	3.51	3.40	3.39	3.25	3.44	3.04	3.74	2.13
K ₂ O	2.89	3.33	3.75	2.53	3.34	3.36	3.46	3.44	3.54	3.62	3.43	4.27
P ₂ O ₅	0.26	0.18	0.10	0.11	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
AK	1.70	2.60	1.40	1.90	2.80	2.50	2.30	2.40	1.50	1.10	0.80	0.90
Toplam	99.81	99.84	99.74	99.79	99.82	99.79	99.81	99.86	99.73	99.69	99.59	99.57
Co	12.80	8.00	4.30	4.80	2.00	2.30	1.70	1.70	0.40	0.50	0.80	0.40
Ni	18.40	13.40	5.40	7.10	8.70	15.30	11.60	10.50	2.90	2.80	2.80	2.90
V	73.00	49.00	37.00	35.00	12.00	8.00	11.00	9.00	9.00	12.00	8.00	12.00
Cu	21.10	31.90	13.00	11.20	14.30	127.70	29.80	15.90	2.80	3.40	6.60	5.60
Pb	12.50	12.20	4.30	11.20	2.60	3.50	3.20	3.40	4.70	7.00	5.90	8.30
Zn	120.0	61.00	33.00	34.00	23.00	31.00	25.00	31.00	9.00	11.00	8.00	12.00
W	1.20	1.60	0.5	0.50	1.10	4.30	0.90	0.50	0.90	1.10	1.20	0.90
Rb	65.2	75.3	110.8	83.7	103.7	103.7	106.8	109.6	76.5	84.1	95.4	112.1
Ba	777.0	949.0	1015	528.0	536.0	563.0	676.0	793.0	441.0	550.0	489.0	595.0
Sr	309.4	303.5	232.9	180.3	53.8	45.0	53.1	49.7	83.3	90.5	65.3	67.0
Ta	1.20	1.30	0.80	0.70	0.80	0.90	0.70	0.90	0.70	0.90	0.90	0.80
Nb	15.80	14.30	8.20	8.40	9.60	11.10	9.00	10.50	7.80	8.70	8.40	8.00
Hf	9.10	6.00	4.70	5.20	5.20	5.30	4.80	5.20	2.60	2.90	2.90	2.40
Zr	329.3	217.1	165.8	177.5	156.0	174.9	150.9	149.1	76.60	83.40	88.70	71.60
Y	37.80	25.70	21.80	22.80	37.40	39.90	34.10	38.40	22.60	20.50	17.40	16.70
Th	30.30	25.60	10.20	16.80	18.50	20.40	16.30	18.40	11.20	12.30	12.70	14.80
U	5.90	6.00	2.00	2.70	2.10	2.40	2.30	3.10	2.10	1.70	2.40	2.50
Ga	20.30	18.00	16.00	15.10	15.60	16.00	15.00	14.30	12.10	12.90	14.50	15.10
Mg #	44.64	42.02	40.48	42.72	42.78	33.77	34.98	32.71	53.38	47.84	36.42	38.72
K ₂ O/Na ₂ O	0.68	0.79	0.99	0.67	0.95	0.99	1.02	1.06	1.03	1.19	0.92	2.00
A/CNK	1.01	1.06	1.25	1.15	1.11	1.15	1.16	1.11	1.27	1.41	1.21	1.51
Sr/Y	8.19	11.81	10.68	7.91	1.44	1.13	1.56	1.29	3.69	4.41	3.75	4.01
Ce/Pb	8.42	8.40	11.93	3.53	28.38	22.51	17.53	17.41	9.68	6.83	7.83	6.33
Rb/Sr	0.21	0.25	0.48	0.46	1.93	2.30	2.01	2.21	0.92	0.93	1.46	1.67
Th/U	5.14	4.27	5.10	6.22	8.81	8.50	7.09	5.94	5.33	7.24	5.29	5.92
Nb/Ta	13.17	11.00	10.25	12.00	12.00	12.33	12.86	11.67	11.14	9.67	9.33	10.00
Zr/Sm	43.67	32.35	40.94	45.87	26.67	27.16	31.84	27.87	20.93	24.10	20.53	15.84
Y/Nb	2.39	1.80	2.66	2.71	3.90	3.59	3.79	3.66	2.90	2.36	2.07	2.09
Nb/La	0.28	0.27	0.29	0.39	0.24	0.26	0.30	0.33	0.30	0.32	0.31	0.25

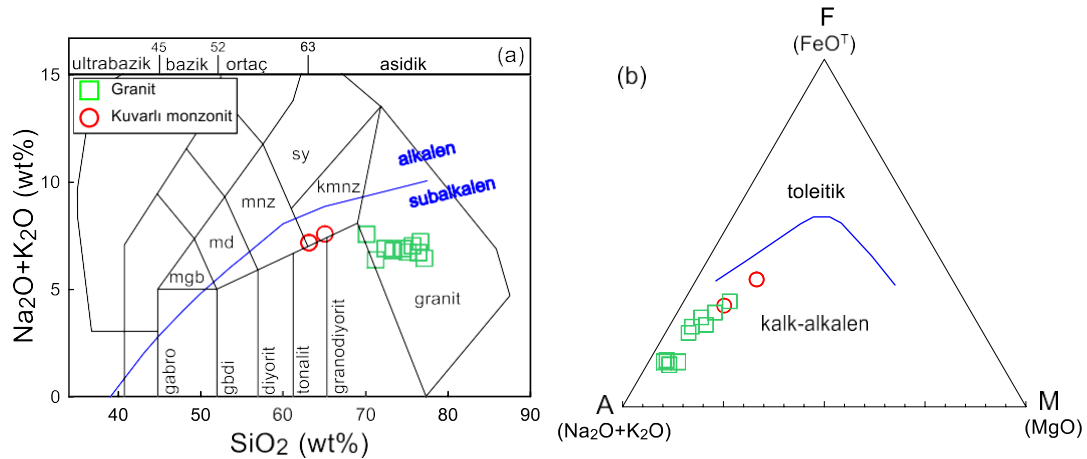
AK (ateşte kayıp): Toplam uçucu içeriği, Mg# = Mol100xMgO/(MgO+Fe₂O₃), Fe₂O₃: Toplam demir
A/CNK= Mol Al₂O₃/(CaO+NaO+K₂O), mnz: monzonit

Tablo 4. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların nadir toprak element (ppm) analizleri

Kayaç T.	Kmnz		Granit									
Örnek no	E01	E6	E28	E14	E12	E3	E7	E16	E33	E34	E36	E38
La	57.20	53.50	28.70	21.40	39.70	42.70	30.30	32.10	26.20	27.00	27.50	31.70
Ce	105.2	102.5	51.30	39.50	73.80	78.80	56.10	59.20	45.50	47.80	46.20	52.50
Pr	12.71	11.57	5.85	4.81	8.26	8.82	6.26	6.95	4.69	4.94	4.86	5.04
Nd	41.00	39.10	21.30	18.40	29.30	31.10	23.60	25.50	15.90	17.40	17.30	19.70
Sm	7.54	6.71	4.05	3.87	5.85	6.44	4.74	5.35	3.66	3.46	4.32	4.52
Eu	1.24	1.23	0.99	0.91	0.71	0.68	0.61	0.63	0.46	0.43	0.44	0.48
Gd	7.95	5.46	3.95	4.09	6.23	6.51	5.15	5.61	3.59	3.83	3.80	3.79
Tb	1.30	0.84	0.64	0.67	1.02	1.06	0.91	0.98	0.64	0.52	0.54	0.66
Dy	6.85	4.46	3.97	3.95	6.18	6.73	5.55	6.11	3.98	4.29	4.27	4.53
Ho	1.34	0.89	0.83	0.90	1.33	1.38	1.22	1.35	0.80	0.87	0.86	0.83
Er	3.86	2.49	2.43	2.62	4.06	4.26	3.58	4.09	2.49	2.66	2.74	2.77
Tm	0.57	0.37	0.38	0.41	0.64	0.63	0.57	0.63	0.36	0.38	0.39	0.38
Yb	3.62	2.45	2.54	2.54	4.07	4.18	3.53	4.27	2.52	2.64	2.86	2.81
Lu	0.54	0.36	0.39	0.41	0.65	0.65	0.56	0.66	0.38	0.42	0.39	0.41
(La/Lu) _n	10.97	15.39	7.62	5.40	6.32	6.80	5.60	5.04	7.14	6.66	7.30	8.01
(La/Sm) _n	4.77	5.02	4.46	3.48	4.27	4.17	4.02	3.78	4.51	4.91	4.01	4.41
(Gd/Lu) _n	1.83	1.88	1.26	1.24	1.19	1.24	1.14	1.06	1.17	1.13	1.21	1.15
(La/Yb) _n	10.68	14.76	7.64	5.69	6.59	6.90	5.80	5.08	7.03	6.91	6.50	7.62
(Tb/Yb) _n	35.79	44.68	17.17	28.28	19.44	20.87	19.74	18.43	19.00	19.92	18.99	22.52
(Eu/Eu*) _n	0.49	0.60	0.75	0.69	0.36	0.32	0.38	0.35	0.38	0.36	0.33	0.35

Eu*=(Sm+Gd)_n/2. Kmnz: Kuvarslı monzonit

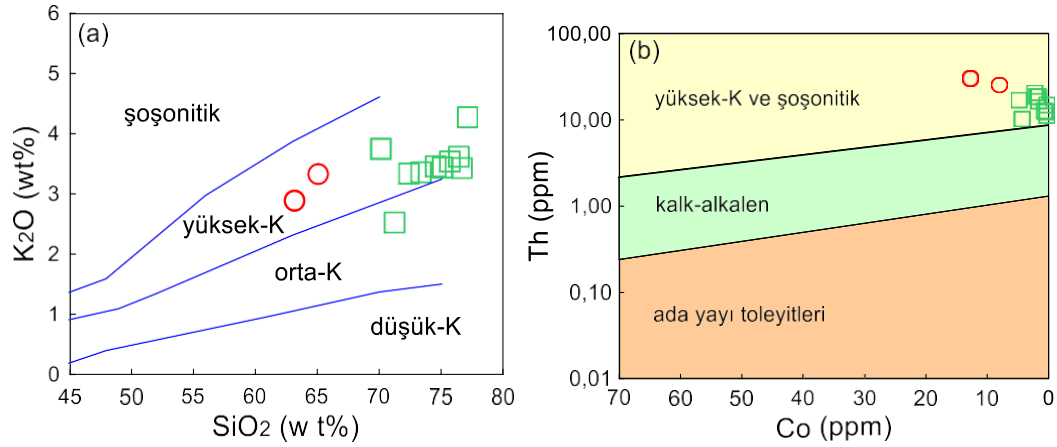
İncelenen Subalkali kayalar, AFM diyagramında tipik kalk-alkalen yönseme gösterirler (Şekil 3.16b). Bu yönseme, magmanın diğer magma türlerine göre kısmi farklılaşması neticesinde alkalilerce zenginleştiğini gösterir.



Şekil 22. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalara ait örneklerin (a) SiO₂'ye karşı (Na₂O+K₂O) sınıflama (Middlemost, 1994) diyagramı, (b) AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971) (sy: Siyenit, kmnz: Kuvarslı monzonit, mnz: Monzonit, md: Monzodiyorit, mgb: Monzogabro, gbdi: Gabro diyorit).

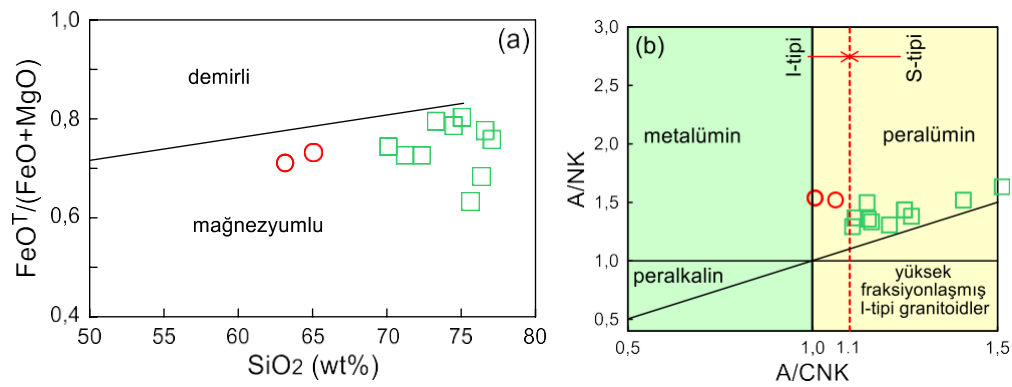
K₂O-SiO₂ diyagramında (Şekil 23a), incelenen plütonik kayaları oluşturan kalk-alkalen karakterli kayalar büyük bir çoğunlukla yüksek-K alanında ve bir örnek de

orta-K alanında yer almıştır. İncelenen plütonik kayalar Th-Co diyagramında (Hastie vd. 2007), yüksek potasyumlu ve şoşonitik kısımda yer alırlar (Şekil 23b).



Şekil 23. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) K₂O'ye karşı SiO₂ diyagramı (Le Maitre vd. 1989) (b) Co karşı Th diyagramı.

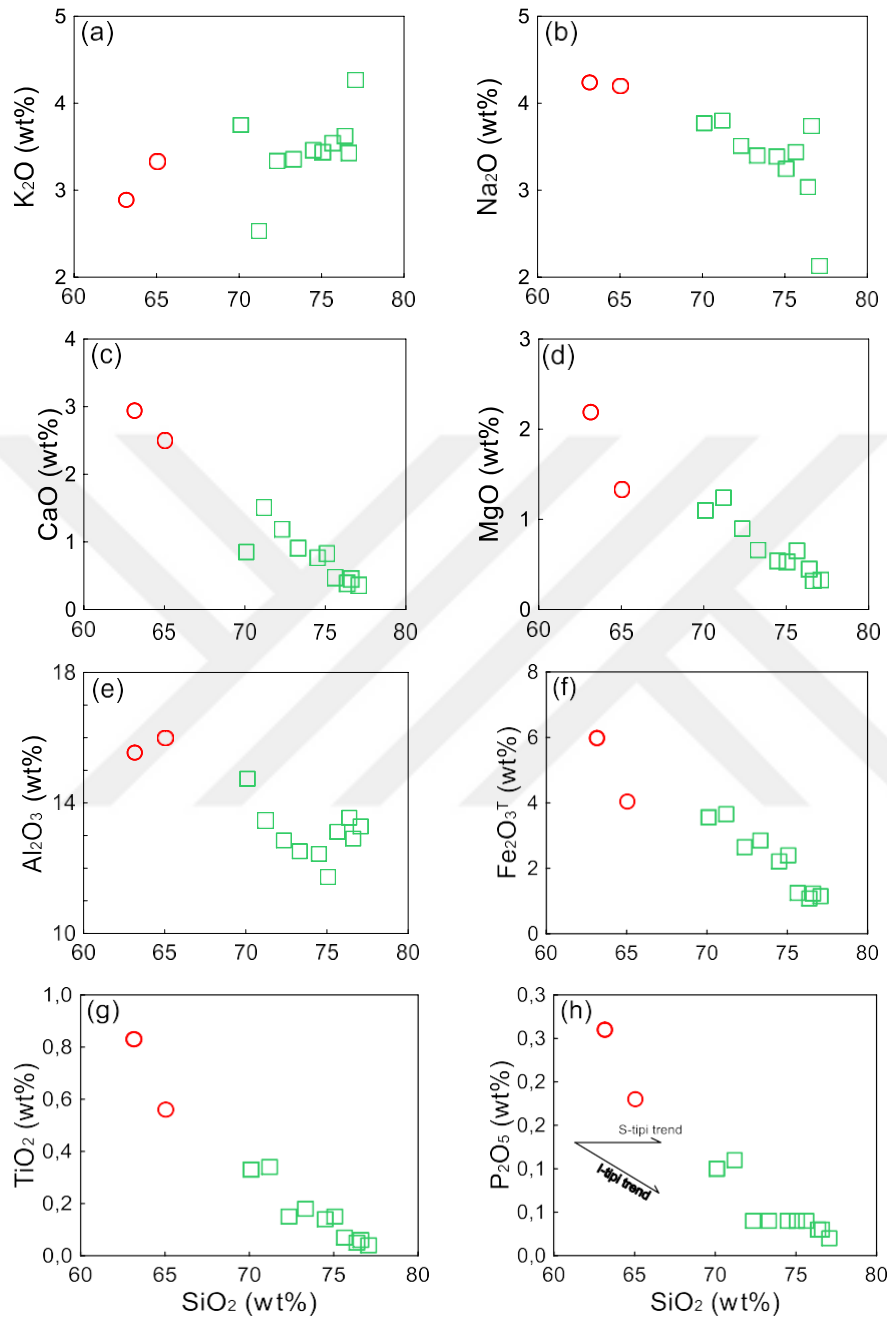
SiO₂'ye karşı FeO^t/(FeO^t+MgO) diyagramında (Frost vd., 2001) örneklerin tümü magnezyumlu alanda toplanmıştır (Şekil 24a). İncelenen plütonik kayaların alüminyum doygunluğu açısından karakterini bulmak için Al₂O₃, Na₂O, K₂O ve CaO değerleri moleküler olarak hesaplanmış ve Maniar ve Picolli (1989) diyagramında yerine konmuştur. A/CNK'ya karşı A/NK diyagramında kayaç örnekleri peralümin karakter sergilerler (Şekil 24b).



Şekil 24. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) FeO^t/(FeO^t+MgO) ve SiO₂ (wt%) diyagramı (Frost vd., 2001), (b) A/CNK'ya karşı molar A/NK değişimine bağlı olan alümino bazlı sınıflama (Mainar ve Piccolli, 1989) diyagramları (Semboller Şekil 22a'daki gibidir).

SiO₂'ye karşı ana element değişim diyagramları (Harker diyagramları) Şekil 25'de verilmiştir. İncelenen plütonik kayaların ana elementlerindeki değişimler, kayaların içerisinde gözlenen mineral fazlarının fraksiyonlaşması ile ilişkilidir. SiO₂'ye

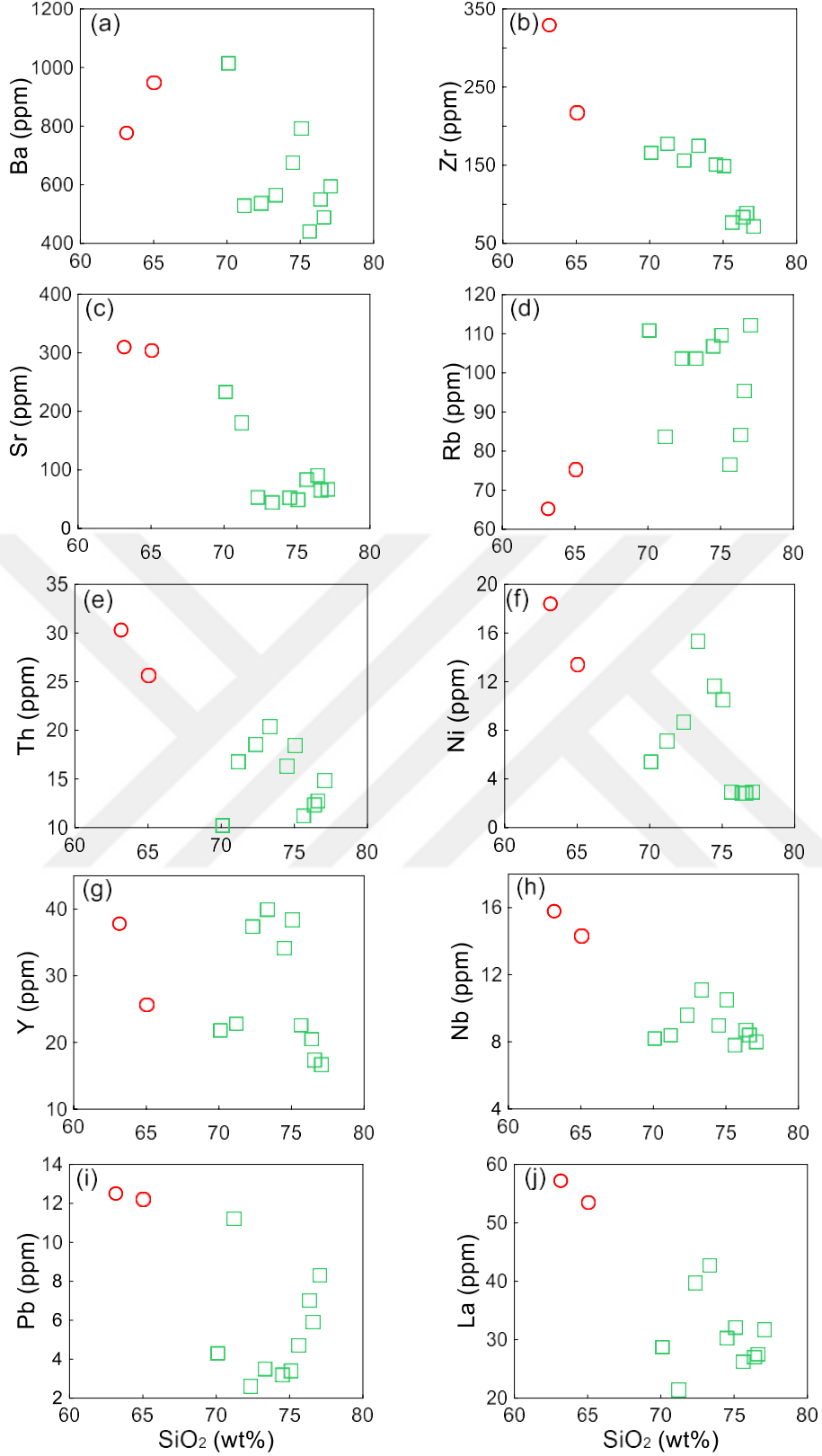
karşı ana element değişim diyagramlarında; Na₂O, MgO, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃^T, TiO₂ ve P₂O₅ azalarak negatif bir ilişki gösterirken, K₂O artarak pozitif bir ilişki göstermiştir (Şekil 25).



Şekil 25. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinde gözlenen ana elementler ile SiO₂ (%)’nin değişimi (Semboller Şekil 22a’daki gibidir)

3.3.1.3. İz element jeokimyası

İncelenen kayaçların iz element içerikleri değerlendirildiğinde, granitlerin Ni içerikleri 2.8-15.3 (ppm), Ba içerikleri 441-1015, Rb içerikleri 77-112 ve Sr içerikleri de 45-233 ppm arasında değişmektedir (Tablo 3).



Şekil 26. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinde gözlenen iz elementler ile SiO₂ (%)’nin değişimi (Semboller Şekil 22a’da gibidir)

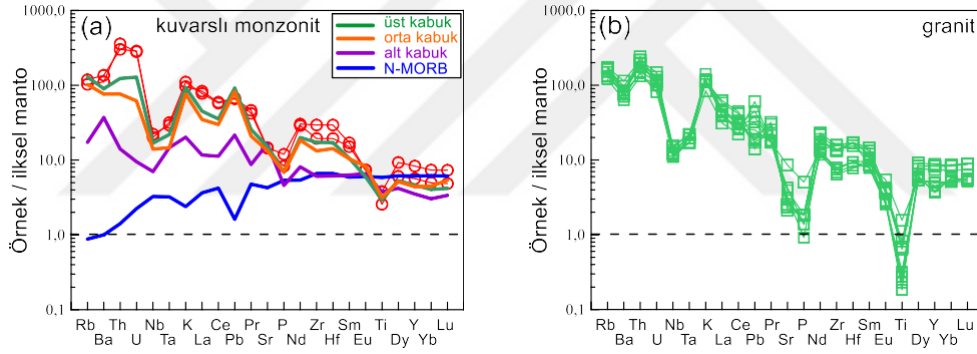
Kuvarslı monzonitlerin Ni içeriği 13.4-18.4 (ppm) arasında değişirken, Ba içerikleri 777-949, Rb içerikleri 65-75 ve Sr içerikleri de 304-309 ppm arasında

değişmektedir (Tablo 3). İncelenen plütonik kayaçların SiO₂'ye karşı iz element değişim diyagramlarında (Şekil 26) Ba, Zr, Th, Nb, Sr, Ni ve Y azalarak negatif bir ilişki gösterirken, Rb artarak pozitif bir ilişki göstermiştir.

Ba ve Sr benzer iyon yarıçaplarına sahip elementler olmalarına rağmen magmatik kristallenme sürecinde Ba K-feldispatların, Sr ise Ca plajiyoklazların bünyelerine girme eğilimindedirler. Bu durumda Sr ilk kristallenmede Ca'ca zengin plajiyoklazların bünyesine girerek ortamdan uzaklaşırken, Ba artık magmada zenginleşme eğiliminde olacaktır. Yani esasında Ba kayaçlarda daha yüksek gözlenecektir, ancak yukarıda da belirtildiği gibi özellikle feldispatlarda yoğun olarak gözlenen albitleşmeler, Ba'un ortamdan uzaklaşmasına neden olmuştur.

3.3.1.4. Uyumsuz Elementler

İncelenen plütonik kayaçların ilksel mantoya (Sun ve McDonough, 1989) göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. İncelenen plütonik kayaçların ilksel mantoya göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş iz element dağılım diyagramları.

İlksel mantoya göre normalleştirilmiş (Sun ve McDonough 1989) iz element dağılım diyagramında (Şekil 27) genel olarak bir zenginleşme gözlenmektedir. Zenginleşme özellikle büyük iyon yarıçaplı elementlerde (LIL) (Ba, K, Rb, U, Th, Pb) oldukça fazladır. Nb, Ta, P ve Ti gibi elementlerde oldukça belirgin negatif bir anomali gözlenir. Özellikle Rb ve Th gibi elementlerinde gözlenen zenginleşme kabuk etkisini yansıtır. Negatif Nb anomalisi, kayaçların ana magmasının gelişiminde yitim bileşeninin ya da kabuksal kirlenmenin etken bir rol oynadığını ifade eder.

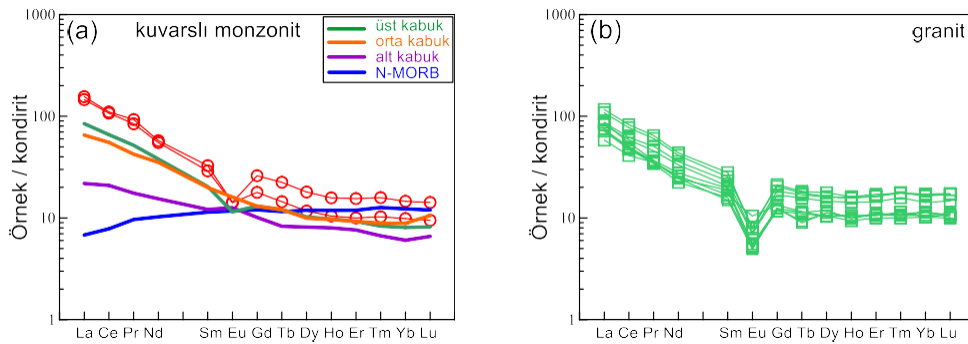
3.3.1.5. Nadir Toprak Elementler

Magmatik kayaçların NTE dağılımları, kısmi ergime ve fraksiyonel kristalleşme süreçleri hakkında önemli bilgiler verirler. NTE, hafif nadir toprak elementler-HNTE

(La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm) ve ağır nadir toprak elementler-ANTE (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Granitik kayaların oluşum evrelerinde ilk önce oluşan ürünler HNTE bakımından fakir ANTE bakımından zengin, buna karşılık son ürünlerde ise tam tersi bir bileşim sergilerler. Bunun nedeni ise, ANTE karakterinde olanlar, tıpkı Y elementinde olduğu gibi granat ve amfibol minerallerinin bünyelerine diğer taraftan Eu elementinde de olduğu gibi, başlıca Ca ve Sr elementleri ile birlik oluşturacak şekilde plajyoklasların bünyesine girebilmelerinden kaynaklanmaktadır (Boztuğ, 2001).

İncelenen plütonik kayalara ait örneklerin kondirite göre normalleştirilmiş nadir toprak element (NTE) diyagramları Şekil 27b’de verilmiştir. Bu NTE analiz sonuçları değerlendirildiğinde, örneklerin REE desenlerinin genelde birbirine benzer oldukları görülür. Kondrit değerlerine göre normalize edilerek hazırlanan diyagramda (Şekil 28) hafif nadir toprak elementlerde (HNTE-LREE) bir zenginleşme, ağır nadir toprak elementlerde (ANTE-HREE) ise bir fakirleşme görülür. Grafiğin LREE’den HREE’ye doğru devamlı olarak azalarak gitmesi, incelenen kayaları oluşturan magmanın yoğun olarak kabuk kirlenmesine maruz kaldığının bir göstergesidir.

Kondirit diyagramlarında (Şekil 28) örneklerin tümünün birbirlerine benzerlik göstermeleri, incelenen kayaların aynı kökenden türemiş olduklarının işareti olduğu gibi aynı zamanda aynı magmanın farklılaşması (FC) ürünleri olduklarını da belirtir (Şekil 28). İncelenen kayalarda hafif nadir toprak elementler (HNTE), orta ve ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre daha fazla zenginleşmişlerdir.



Şekil 28. İncelenen plütonik kayaların kondirite göre (Taylor ve McLennan, 1985) normalleştirilmiş nadir toprak element diyagramları.

Granit örneklerinin $(La/Lu)_N$ değerleri 5.04-8.01 arasında olup, bu değerler kuvarslı monzonitlerde 10.9-15.4 arasındadır (Tablo 4). Tüm örneklerde negatif Eu anomalisi vardır ve örneklerin $(Eu/Eu^*)_N$ değerleri 0.32-0.75 arasında değişmektedir (Şekil 28, Tablo 4). Negatif Eu anomalisi, feldspat fraksiyonlaşmasını ya da kısmı

ergime sırasında feldspatin kaynak kayacta tutulmasnı gösterir. İncelenen örneklerde gözlenen negatif Eu anomalisi, kayacların gelişiminde plajiyoklas ayrımlaşmasının önemli bir rol oynadığına işaret eder.

3.4. Jeotermometre Hesaplamaları

3.4.1. Zirkon ve Apatit Jeotermometresi

Apatit ve zirkon doygunluk sıcaklığını (Watson ve Harrison, 1983; Miller vd. 2003; Hanchar ve Watson 2003) hesaplamak için, tüm kayac jeokimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Bilindiği gibi sokulum yapan magmanın minimum ya da maksimum sıcaklığına ve ergiyiğin bu bileşenlerce doymuş ya da doymamış olmasına bağlı olarak sıcaklık değerleri değişim gösterir.

Sıcaklıklar Hanchar ve Watson (2003)'e göre hesaplanmıştır. İncelenen plütonik kayaclara ait zirkonlardan yapılan hesaplamalarda sıcaklıklar 750-836 °C arasındadır (Tablo 5). Apatitlerden yapılan hesaplamalarda sıcaklıklar 829-936 °C arasında değişmektedir (Tablo 5).

Tablo 5. İncelenen plütonik kayaclara ait sıcaklık değerleri

rnek no	Kayac adı	T °C (Zirkon)	T (AP) HW (Apatit)
E28	Granit	808	905
E14	Granit	808	926
E12	Granit	796	842
E3	Granit	811	851
E7	Granit	800	862
E16	Granit	795	868
E33	Granit	750	873
E34	Granit	765	855
E36	Granit	758	857
E38	Granit	758	829
E01	Kuvarslı monzonit	836	936
E6	Kuvarslı monzonit	808	914

3.5. Tektonik Yerleşim

Granitoyid kayaclar kimyasal ve mineralojik kriterler göz önüne alınarak, Chappel ve White (1974) tarafından magmatik manto kökenli I-tipi granitler ile metamorfik ve sedimanter kayaclardan türemiş (kabuk) S-tipi granitler olarak sınıflandırılmıştır. Ishihara (1977), bu sınıflamaya ek olarak I-tipi granitleri 'Magnetit-serileri' ve S-tipi granitleri de 'İlmenit-serileri' olarak ayırmıştır. Bu sınıflamaya Pitcher (1983) tarafından 'M' ve 'A' tipleri eklemiştir. Brown vd., (1984) söz konusu tüm bu

çalışmaları dikkate alarak, ana petrolojik ve jeokimyasal karakterlerine göre granitoid sınıflamalarını Tablo 6’da özetlenmiştir.

M ve I tipi granitoidler daha çok manto kökenlidir ve yitim süresince oluşmaktadır. S-tipi granitoidlerde ise kabuk kökeni kendini göstermekte ve genellikle bunların oluşumları yitimin son evresine veya çarpışma başlangıcına karşılık gelmektedir. Az da olsa bir kısım granitoidler yay gerisi veya plaka içi ortamlarda oluşmakta ve belirgin kimyasal karakterleriyle diğer tip granitlerden ayrılabilir.

Magmatik kayaların tektonik yerleşimleri genel olarak eser element ve nadir toprak elementlerin davranışlarına göre belirlenmektedir, ancak bölgenin jeolojisi, kayaların mineralojik-petrografik özellikleri ve taze örneklerden alınmış ana oksit elementlerinde içerikleri göz önüne alınmalıdır. Çalışma alanındaki magmatik topluluğun tektonik ortamını belirlemek ve gelişim yerleşimlerine yaklaşımda bulunabilmek amacı ile tektonik ortam ayırtlama diyagramları kullanılmıştır.

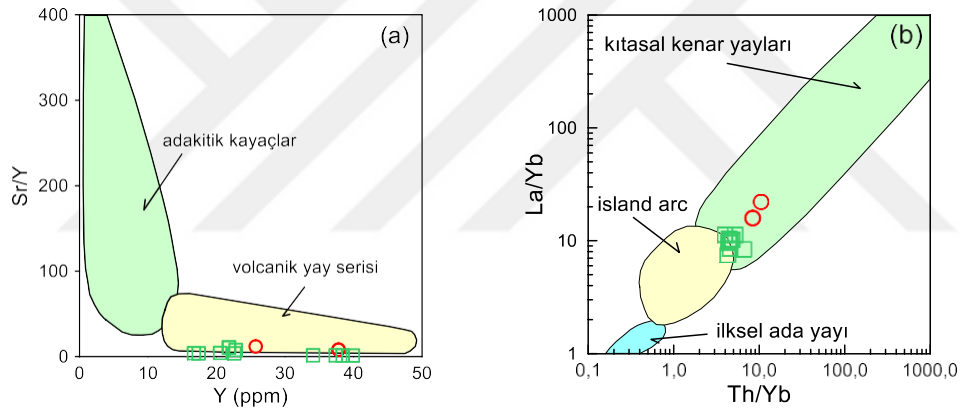
Tablo 6. Petrografik, petrokimyasal ve izotopik karakterlerine göre granitoidlerin tektonik yerleşimleri ve jenetik sınıflamaları (Chapple ve White,1974; Pitcher, 1983; Brown vd., 1984'den sadeleştirilerek alınmıştır).

Granitoid Tipi	S-Tipi	I-Tipi	A-Tipi	M-Tipi
Kayaç tipleri	Granodiyorit, granit, kuvarslı monzonit	Diyorit, tonalit, monzogranit, granit batolitleri	Egirin-ribekit-nefelinli siyenit, alkali granit	Gabro, kuvarslı diyorit stokları
Kayaç türleri	Lökogranit - granodiyorit	Granit - gabro	Alkali granit - anortozit	Kuvarslı diyorit - gabro
Modal mineraller	Muskovit, biyotit, sillimanit, ilmenit, garnet	Hornblend, biyotit, sphen, magnetit	Biyotit, alkali piroksen, alkali amfibol, magnetit, fluorit	Hornblend, klinopiroksen, biyotit, magnetit
SiO ₂ içerikleri	65-79%	53-76%	60-80%	54-73%
A/CNK	> 1.1	< 1.1	< 1	< 1.2
Na ₂ O içerikleri	Değişken	> 3.2%	> 2.8%	> 3.2%
K ₂ O/Na ₂ O oranları	Yüksek	Düşük	Çok düşük	Çok düşük
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ +Fe ³⁺ oranları	Düşük	Orta-yüksek	Orta	Yüksek
Eu değerleri	Düşük	Düşük-yüksek	Düşük	?
Cr ve Ni	Yüksek	Düşük	Düşük	?
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _(i) oranları	> 0.708	< 0.708	0.703-0.712	< 0.704
eNd değerleri	-4 ila -17	-4 ila -9	?	?
İlişkili volkanik kayaçlar	Silisli kül akıntıları	Riyolitik kül akıntıları, dasit, andezit	Alkali riyolitler	Kalk-alkali ila toleyitik. Dasit, andezit, riyolit
Oluşum ortamları	Olgun kıta yayları	Normal kıta yayları	Yay gerisi havza	Ada-kıta yayları ilk evreleri

Tablo 6. (Devamı)

Alkali-kalsik indeksi	Alkali-kalsik	Kalk-alkalen ila alkali- kalsik	Alkalinden alkali-kalsike	Kalsik
Alüminyum doygunluğu	Peralümin-peralkalen	Metalümin-peralümin	Peralkalen	Metalümin
Kökene belirten iz element karakteristikleri	Kabuk özümlemesi ile yüksek Rb, Th ve U içeriği; yüksek Nb, Hf, Ta ve Y içeriği manto kökenini de işaret edebilir	Yitim zenginleşmesi ile orta miktarda Rb, Th, U zenginleşmesi; normal mantoya göre hafif Nb, Hf, Ta ve Y zenginleşmesi	Plaka içi manto kökeni ile karakteristiktir. Nb, Hf, Ta ve Y içerikleri diğer tiplere göre çok daha fazladır	Düşük LILE (Rb, K, U, Th), hafif nadir toprak element (La, Ce, Nb) içeriği; manto kökenli, ancak az miktarda yitim zenginleşmesi

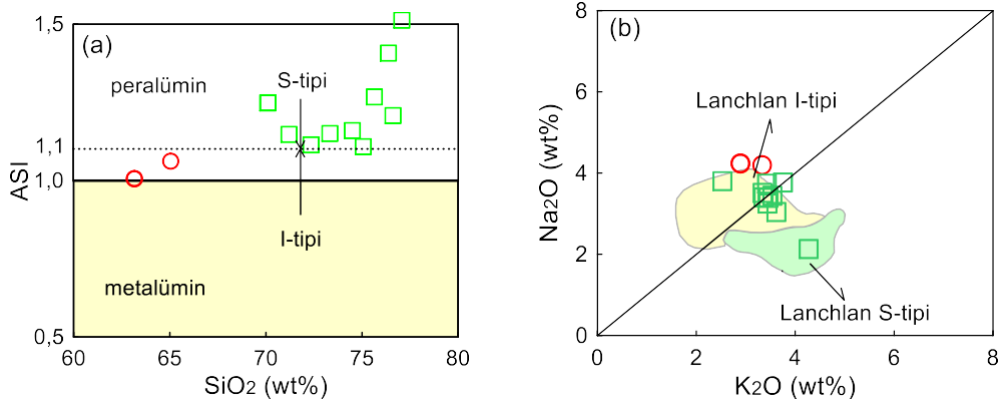
Sr/Y-Y diyagramında (Drummond ve Defant, 1990) incelenen plütonik kayalara ait tüm örnekler normal volkanik yay serisi alanında toplanırlar (Şekil 29a). La/Yb - Th/Yb diyagramında (Condie, 1989) örnekler kıtasal kenar yayı alanına düşerler (Şekil 29b).



Şekil 29. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların, (a) Y'a karşı Sr/Y diyagramı (Defant, Drummond, 1990), (b) Th/Yb'ye karşı La/Yb diyagramı (Condie 1989) (Semboller Şekil 22a'daki gibidir).

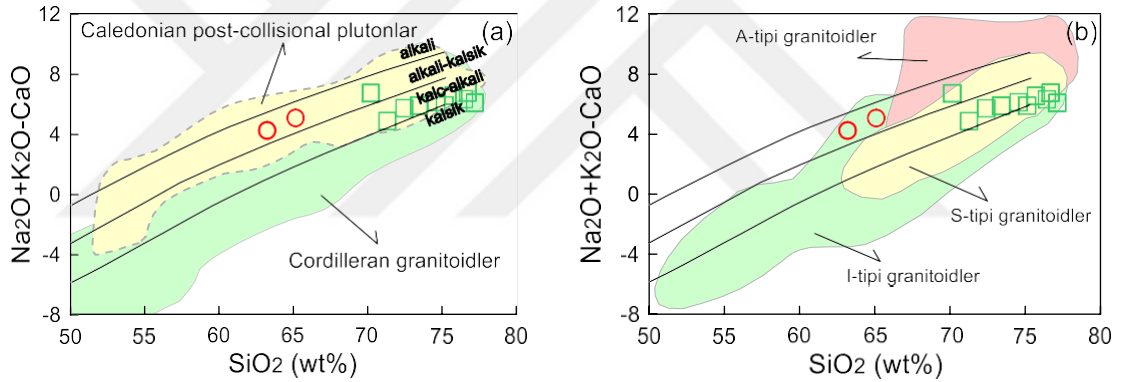
SiO₂'ye karşı molar A/CNK diyagramında (Chappel ve White, 1974) örneklerin tümü I-tipi granitoidler alanında yer alırlar ve peralümin karakter sunarlar (Şekil 30a).

Granit jenezinde alkalilerden Na₂O ve K₂O miktarı önemli bir göstergedir. I-tipi granitlerde Na₂O içeriği K₂O'ye göre genellikle daha yüksek, S-tipi granitlerde ise Na₂O miktarı K₂O miktarından daha düşüktür (Beckinsale,1979). İncelenen plütonik kayalara ait örnekler Lachlan Kuşağı'nın I ve S-tipi granitleri (Chappel ve White 1974) ile karşılaştırıldığında, örneklerin tümünün Lachlan Kıvrım Kuşağındaki I-tipi granitler ile aynı alana düştükleri görülür (Şekil 30b).



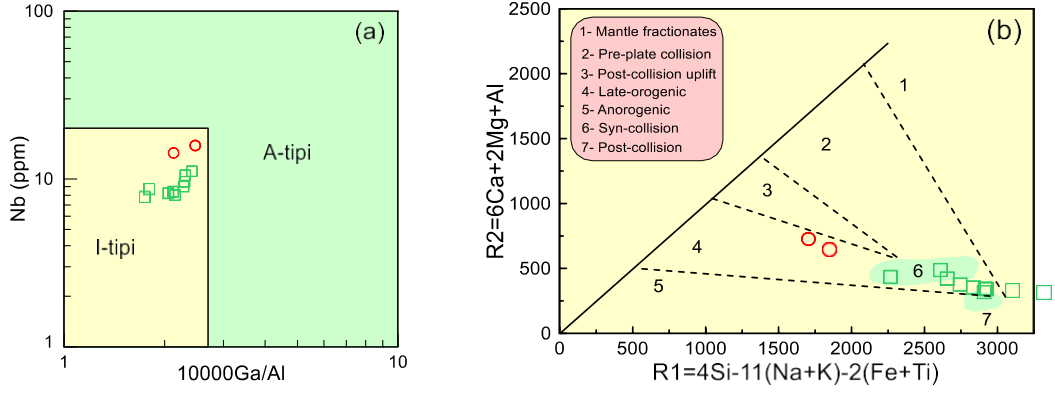
Şekil 30. İncelenen plütonik kayalara ait, (a) SiO₂'ye karşı ASI değişimleri (Chappel ve White 1974), (b) Na₂O-K₂O (%) diyagramı (Semboller Şekil 3.28'deki gibidir).

SiO₂'ye karşı (Na₂O+K₂O-CaO) diyagramında (Frost vd., 2001) örnekler kalk-alkali ile alkali-kalsik alanında toplanmış olup, Caledonian çarpışma sonrası plütonlara ve I tipi granitlere benzer özellik gösterirler (Şekil 31a ve b).



Şekil 31. İncelenen plütonik kayaç örneklerinin, (a-b) (Na₂O+K₂O-CaO) ve SiO₂ (wt%) diyagramları (Frost vd., 2001) (Semboller Şekil 22a'daki gibidir).

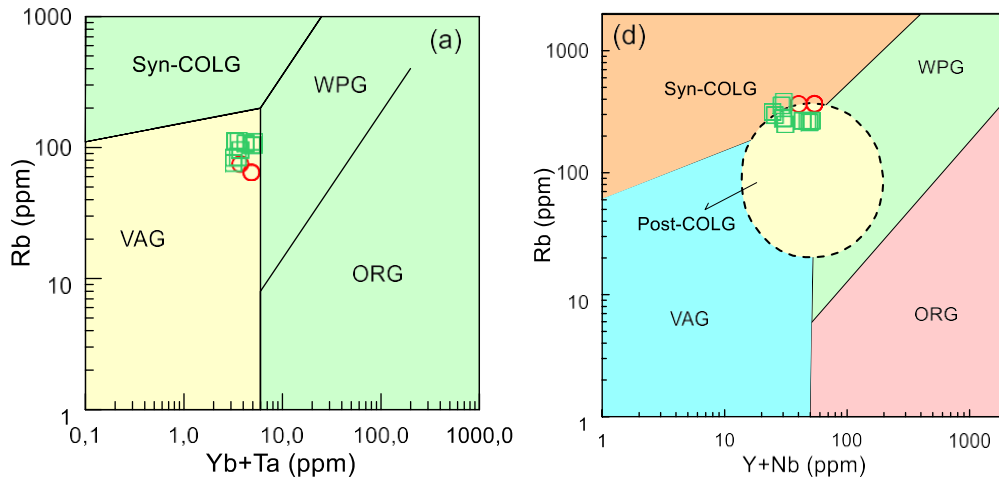
Whalen vd., (1987)'nin geliştirdiği ayırım diyagramında örneklerin tümü I-tipi granit alanında yer alırlar (Şekil 32a). Batchelor ve Bowden (1985)'in multikatyonik diyagramında, incelenen plütonik kayalara ait örneklerin büyük ölçüde çarpışma ile eş yaşlı alana düştüğü görülür (Şekil 32b).



Şekil 32. İncelenen plütönik kayalara ait örneklerin, (a) Nb'ye karşı 10000 Ga/Al sınıflama diyagramına (Whalen vd., 1987), (b) R1-R2 sınıflama diyagramı (Bathcelor ve Bowden, 1985). $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$ (Semboller Şekil 22a'daki gibidir).

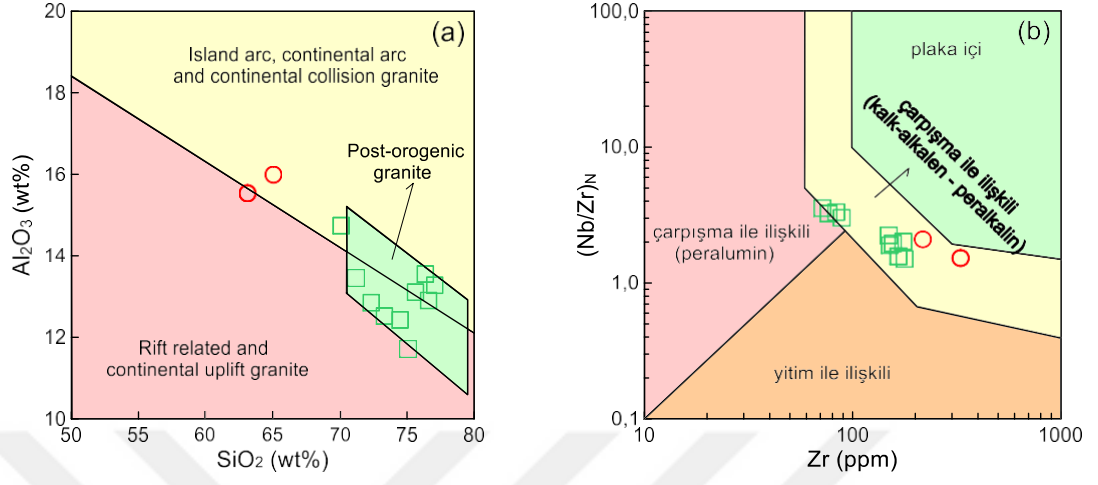
Pearce vd. (1984) kayaların iz element içeriklerinden yararlanarak granitoidleri tektonik yerleşim açısından volkanik yay granitleri (VAG), okyanus ortası granitleri (ORG), levha içi granitleri (WPG) ve çarpışma granitleri (COLG) olarak dört grup altında toplamışlardır. İncelenen plütönik kayaç örnekleri Rb'a karşı (Yb+Ta) diyagramında yay granitleri (VAG) alanında yer alırlar (Şekil 33a).

İncelenen örnekler Rb'a karşı (Y+Nb) diyagramında (Pearce vd., 1984) plaka içi granitoidleri (WPG), volkanik yay granitoidleri (VAG) ve eş zamanlı çarpışma granitoidler (Syn+COLG) alanlarının üçlü kesişme noktasına yakın bir yerde yer alırlar (Şekil 33b). Bu diyagramda kümelenmenin bir miktar daha çarpışma granitleri (syn-COLG) bölgesine kaydığı görülmektedir. Üçlü kesişme noktasında yer alan örnekler çarpışma sonrası granitoidleri (Post-COLG) karakterize etmektedir (Pitcher, 1983; Pearce vd., 1984).



Şekil 33. İncelenen plütönik kayaç örneklerinin, (a) Rb'a karşı (Yb+Ta) diyagramı, (b) Rb'a karşı (Y+Nb) tektono-magmatik ayırım diyagramlarındaki (Pearce vd. 1984) dağılımları (semboller Şekil 8.2'deki gibidir).

SiO_2 'ye karşı Al_2O_3 diyagramında örneklerin büyük çoğunluğu post-orojenik granitler alanına düşmektedir (Şekil 34a). Yine Zr'a karşı $(\text{Nb}/\text{Zr})_N$ diyagramında tüm örnekler çarpışma ile ilişkili alanda yer alırlar (Şekil 34b).



Şekil 34. İncelenen plütonik kayaların, (a) SiO_2 'ye karşılık Al_2O_3 tektonik ortam ayırtlama diyagramında (Maniar ve Piccolli 1989), (b) Zr'a karşı $(\text{Nb}/\text{Zr})_N$ diyagramında dağılımları.

4. TARTIŞMA

Bu bölümde, çalışma alanındaki Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların ana magmasının gelişim süreçleri üzerindeki etkileri olan fraksiyonel kristallenme (FK), asimilasyon-fraksiyonel kristallenme (AFK) ve kaynak karakteristikleri gibi özellikleri incelenmiştir.

4.1. Paleozoyik Yaşlı Plütonik Kayaçların Petrolojisi

4.1.1. Giriş

İncelenen plütonik kayaçlarının petrografik ve jeokimyasal özellikleri, bu kayaçların bileşimlerinin ilksel magmaya göre oldukça farklılaşmış olduğunu, kayaçların gelişimi sırasında fraksiyonel kristallenme \pm özümleme gibi magmatik olaylarla geliştiklerini ve muhtemelen aynı köken magmadan türediklerini göstermektedir. Bu yaklaşımlar göz önüne alınarak, incelenen plütonik kayaçların petrojenezinde magmatik süreçlerin önemi ve rolü araştırılmış ve bu kayaçların gelişimindeki süreçler yorumlanmaya çalışılmıştır.

4.1.2. Fraksiyonel Kristallenme

Fraksiyonel kristalleşme “magmanın belirli ve tek bir sıcaklık derecesinde kristalleşmediği/katılaşmadığı, kristalleşmenin bir sıcaklık aralığı içinde meydana geldiği ve oluşan minerallerin kimyasal bileşimlerinin sıcaklığın azalmasıyla ve oluşan kristallerin geride kalan eriyiklerle reaksiyonu sonucu sürekli olarak değiştiği” görüşüne dayanmaktadır. Bu görüşe göre mineraller ile magma arasındaki reaksiyon herhangi bir nedenle kısmen veya tamamen kesilirse o zaman fraksiyonel kristallenmeden söz edilebilir. Kristalleşen/katılaşan minerallerin magmadan sürekli olarak ayrılması ile magmanın bileşimi de sürekli olarak değişmekte ve sonuç olarak magmanın başlangıçtaki bileşiminden çok farklı bileşimde kayaç türleri oluşabilmektedir.

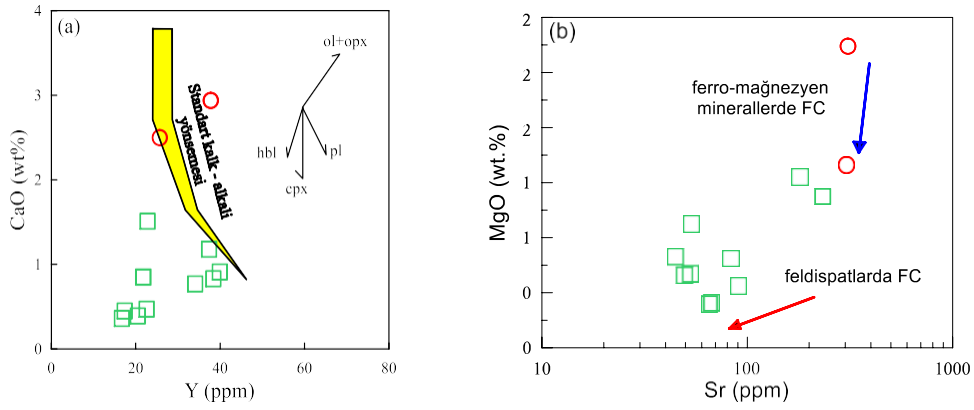
Magmaların kristallenmesi esnasında bazı iz elementlerle ana oksit elementler, magmanın soğuması ile oluşan minerallerin bünyelerine girerek ortamdan uzaklaşırlar. Magma kristallenme sürecinin değişik evrelerinde oluşan farklı minerallerin bünyelerine girerek, ortamı terkeden ve/veya ortamda göreceli olarak zenginleşen elementlerin değişimleri bize magmanın kristallenme süreci hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

Daha önceki bölümlerde Harker diyagramlarında vurgulandığı üzere, incelenen plütonik kayalara ait örneklerde SiO_2 artışına paralel olarak K_2O ve Rb'un artması, TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO ve P_2O_5 içeriklerinin azalması (Şekil 25 ve 26) fraksiyonel kristalleşmeyi en iyi şekilde açıklamaktadır. İncelenen kayalarda gözlenen yüksek CaO ve Sr içerikleri ile hafif negatif Sr, Ba ve Eu anomalileri, plajiyoklas fraksiyonlaşması gösterir. SiO_2 'ye karşı Al_2O_3 , MgO , CaO , $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ oranlarında gözlenen azalış; K_2O ile ASI oranlarında ve Ba içeriklerinde gözlenen artış, incelenen kayalarda amfibol ve kalsik plajiyoklas fraksiyonlaşmasının etkili olduğunu gösterir. SiO_2 artışı ile K_2O ve Rb'da gözlenen artış, K-feldispat ve biyotitin erken fraksiyonlaşma ürünleri olmadığına işaret eder. SiO_2 artışı ile TiO_2 ve P_2O_5 içeriklerinde gözlenen azalma, titanit ve apatit fraksiyonlaşması ile ilgilidir. Y ve Zr'da gözlenen tüketilme zirkon, allanit ve titanit gibi aksesuar fazların fraksiyonlaşmasını gösterir. İncelenen örneklerin orta ve ağır nadir toprak elementlerinde belirgin bir fraksiyonlaşmanın gözlenmemesi ve Sr/Y oranlarının nisbeten düşük olması (1-12), granatın ana magma kökeninde olmadığını gösterir.

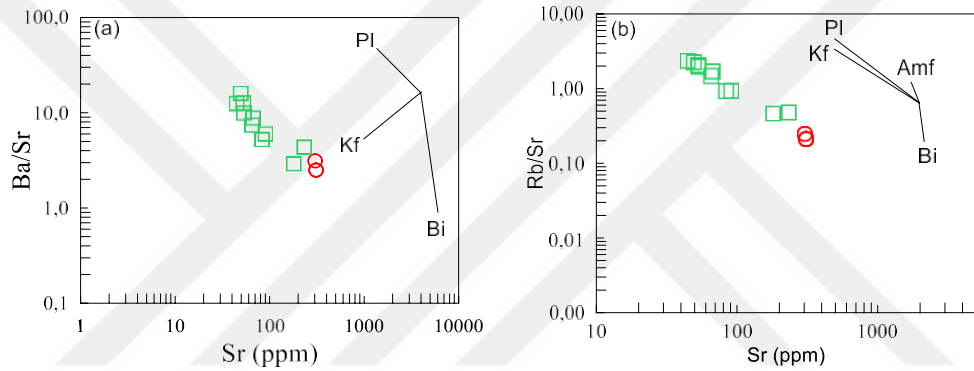
Düşük ve orta oranda CaO içeriğine sahip kayaları oluşturan magmaların kristallenmesinde etkili olan mineral ayrımlarını belirlemek amacı ile Lambert ve Holland (1974), Y elementinin zenginleşme ya da fakirleşmesine bağlı olarak J ve L tipi yönsemeler tanımlamışlardır. İncelenen magmatik kaya gruplarını oluşturan ve kökensel olarak birbirinden farklı her iki magma kaynağı bu diyagramda Y'ca tüketilmiş olarak gözlenmektedir. Bu durumda standart kalkalkalen yönsemesine göre J tipi bir yönseme sunan çalışma alanı plütonik kayaları, kristallenme süreçlerinde hornblend denetimli bir fraksiyonlaşmanın varlığını ortaya koymaktadır (Şekil 35a).

MgO 'e karşı Sr diyagramında (Şekil 35b), ferro-magnezyen ve feldispat fraksiyonlaşması görülür.

Ba/Sr'a karşı Sr ve Rb/Sr'a karşı Sr diyagramlarında gözlenen trendler (Şekil 36a ve b), incelenen kayaların katılaşmasında plajiyoklas fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynamış olabileceğini gösterir.



Şekil 35. İncelenen plütönik kayaların, (a) MgO-Sr kristal ayrışması diyagramında dağılımları, (b) CaO'ya karşı Y diyagramında (Lambert ve Holland, 1974) dağılımları. Ba/Sr'a karşı Sr ve Rb/Sr'a karşı Sr diyagramlarında gözlenen trendler (Şekil 36), incelenen kayaların katılaşmasında plajiyoklas fraksiyonlaşmasının önemli bir rol oynamış olabileceğini gösterir.



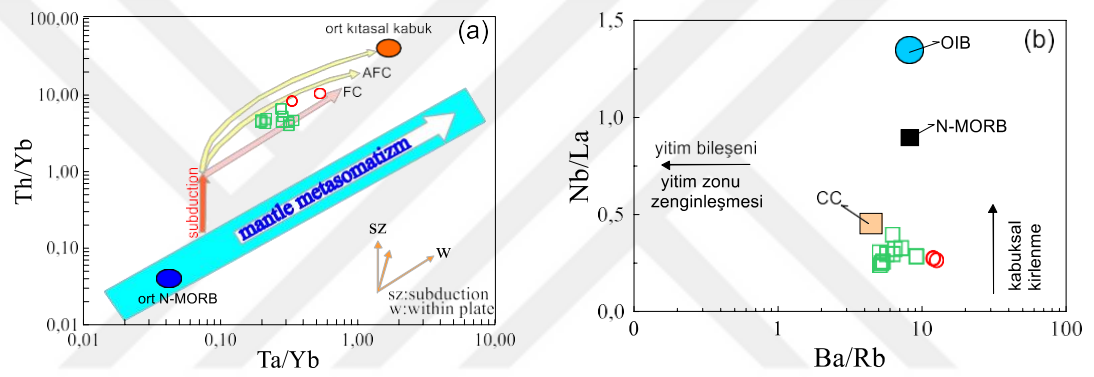
Şekil 36. İncelenen plütönik kayaların, (a) (Ba/Sr)'a karşı Sr ve (b) (Rb/Sr)'a karşı Sr değişim diyagramları (Semboller Şekil 22a'daki gibidir)

4.1.3. Kirlenme

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütönik kayaların belirgin bir negatif Nb-Ta anomalileri göstermeleri, yitim ve/veya kabuksal kirlenmeye işaret eder. Büyük iyon çaplı elementlere (LILE) nazaran Nb ve diğer HFSE elementlerde gözlenen negatif anomaliler, kabuksal kirlenmeyi ifade debileceği gibi yitim ile ilişkili magmaların karakteristik özelliğini de gösterirler ve yiten dilimdeki LILE elementlerin mantoya ilavesi ile manto kaynağının zenginleşmesine neden olurlar (McCulloch ve Gamble, 1991; Borg ve diğ., 1997). Kabuksal bileşenler Pb (8 ppm) ve Th (3.5 ppm)'ca zengin olup (Taylor ve McLennan 1985), incelenen plütönik kayalarda gözlenen yüksek Th (10-30 ppm) ve Pb (3-13 ppm) değerleri (Tablo 3), kayalarda kabuksal kirlenmenin etkisini gösterir.

İncelenen plütönik kayalara ait örneklerin Ta/Yb'ye karşı Th/Yb diyagramındaki dağılımları (Şekil 37) dikkate alındığında, örneklerin manto çizgisinden saptığı görülür. Pearce (1983) tarafından önerilen bu diyagram, esas olarak okyanus ada bazaltı (OIB)

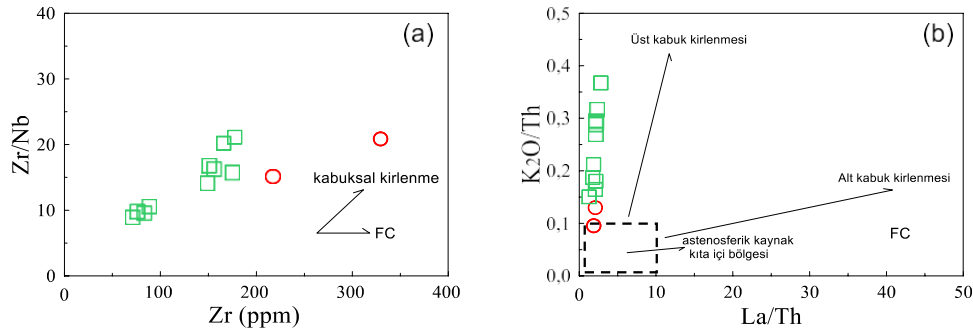
veya okyanus ortası sırtı bazaltı (MORB) gibi olağan mantodan türemiş kayaçları, yitim etkisiyle zenginleşmiş mantodan türemiş veya yükselimi sırasında kabuk tarafından kirlenmiş magmalardan oluşan kayaçlardan ayırır. Söz konusu bu ayırım, gerek yitim metasomatizmasının gerekse kabuksal kirlenmenin Th konsantrasyonunu ve dolayısı ile Th/Yb oranının Ta/Yb oranına göre arttırması temeline dayanır. Örneklerde gözlenen bu sapma, kaynak bölgesinde yitimle ilgili bir metasomatizma ile açıklanabileceği gibi, manto türevli ergiyiklere önemli ölçüde kabuksal ergiyik katılımını da gösterebilir. Ortalama kıtasal kabuk (Taylor ve McLennan 1985) ve N-MORB (Sun ve McDonough, 1989) değerleri Şekil 37'deki diyagram üzerine iz düşülmüştür. İncelenen plütonik kayaçlar, yitim bileşenince zenginleşmiş dalma-batma ve/veya kıtasal kabuk etkileşimli ürünler olabileceği görülmektedir (Şekil 37a ve b).



Şekil 37. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) Th/Yb'ye karşı Ta/Yb diyagramı (Pearce vd., 1984), (b) Nb/La'a karşı Ba/Rb diyagramı.

Çalışma alanındaki plütonik kayaçları oluşturan ana magma kaynağının yerleşimi esnasında kabuksal kirlenmenin etkilerinin ortaya konulması amacı ile Zr/Nb-Zr diyagramı çizilmiştir (Şekil 38a). Bu diyagramda incelenen kaya gruplarını oluşturan magmaların kristalizasyon-diferansiyasyon sürecinde kısmen de olsa kabuksal kirlenmeye maruz kaldıkları görülmektedir (Şekil 38a).

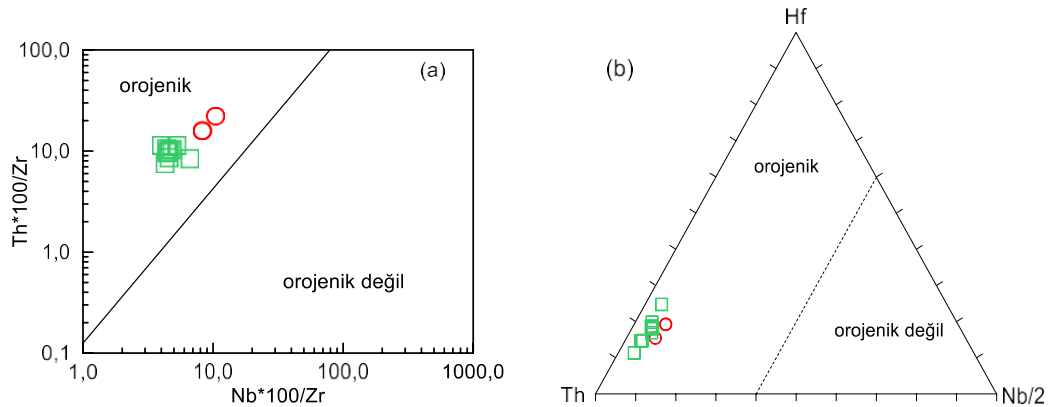
Magma odasındaki ürünlerin yükselimi esnasında yan kaya etkileşimini belirlemek amacı ile Menzies vd. (1991)'in K_2O/Th 'a karşı La/Ta diyagramı kullanılmıştır (Şekil 38b). Bu diyagram, kabuksal kirlenmeye maruz kalan astenosfer ve/veya kıta içi kaynaklı kayalarla, kabuksal kirlilik gösteren litosferik kökenli kayaların ayırımı için kullanılmaktadır. Buraya kadar açıklanmaya çalışılan magma kökeni ve kristallenme süreçlerinde bahsedilen kıtasal kabuk etkisi bu diyagramda yoğun olarak üst kabuk kirlenmesi şeklinde olabileceği görülmektedir (Şekil 38b).



Şekil 38. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaların, (a) Zr/Nb-Zr diyagramında, (b) K₂O/Th-La/Ta diyagramında (Menzies vd., 1991) dağılımları.

4.1.4. Ana Magmanın Kökeni

Bilindiği üzere farklı bileşime ve tektonik kökene sahip plutonlar kıtasal kabuğa sokulum yapan magmatik kütlelerdir. Plutonlar kökensel olarak farklı oluşum şekillerine sahip olmalarından dolayı farklı mineraloji, jeokimya ve yapısal özellikler sergilerler. Plutonların petrolojik ve petrojenetik açıdan göstermiş oldukları bu farklılıklar bulunduğu bölgenin jeotektonik konumunun yorumlanmasında oldukça önemlidir. Bir bölgenin jeotektonik evriminin tam olarak ortaya konulabilmesi, şüphesiz ki o bölgenin, temel kayalarının jeodinamik evriminin doğru olarak ortaya konulmasıyla doğru orantılıdır. Plutonlar bu özelliklerinden dolayı pek çok mineralog ve jeokimyacının ilgisini uzun yıllardan beri çekmiştir. Çalışma alanındaki plütonik kayaları oluşturan magmanın en temel kökensel ayırımında bunların tamamının orojenik kökeni yansıttığı yapılan jeokimyasal sınıflandırmada görülmektedir (Şekil 39).



Şekil 39. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örneklerinin, (a) Th*100/Zr-Nb*100/Zr, (b) Th-Hf-Nb/2 orojenik-anorojenik köken ayırım diyagramlarında (Krmicek vd., 2011) dağılımları.

İncelenen plütonik kayalar orta-yüksek K'lu, I-tipi özelliğe sahip olup, düşük Ni içeriği (2.8-18.4 ppm) ve nisbeten düşük Mg# (33 ila 53) değerleri sunarlar. Tüm bu

özellikler, plutonu oluşturan kayaların ana magmasının birincil manto ergimesi ile dengede olmadığını gösterir.

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayalar kalk-alkalen karakterli olup, jeokimyasal verilerinin hiçbirinde bazik bileşim içermezler (örneklerin SiO₂ içerikleri % 63-77 arasında, MgO içerikleri % 0.3-2.2. arasında ve Ni içerikleri 3-18 ppm arasındadır). İlksel mantoya normalize diyagramlarında negatif Ba, Sr, Ti ve Nb anomalilerine sahip olup, Rb ve K'ca zenginleşmişlerdir. Orta-yüksek Rb/Sr oranları (0.2-2.3), yüksek SiO₂ (% 63 ilâ 77) ve K₂O (% 2.5 ilâ 4.3) içerikleri, bu kayaların, metamagmatik, metasedimanter yada felsik mikamsı kabuksal kaynak kayalardan türeyebileceğini göstermektedir (Jung vd. 2009). Ayrıca, bu kayaların Nb/Ta oranları 9.3-13.2 arasında ve Th/U oranları da 4.3-8.8 arasındadır (Tablo 3).

Ortalama Nb/Ta oranları mantodan türeyen magmalar için 17.5, kabuktan türeyen magmalar için de 11-12 arasındadır (Green, 1995). İncelenen plütonik kayalara ait örneklerin Nb/Ta oranları 9-13 arasında olup, bu değerler kabuktan türeyen magmalara işaret eder. Eby (1992)'ye göre, Y/Nb oranları ile manto kökenli (Y/Nb < 1.2) ve kabuk kökenli (Y/Nb > 1.2) granitoidler birbirlerinden ayırd edebilirler. İncelenen plütonik kayalara ait örneklerin Y/Nb oranları 1.8 ila 3.9 arasında olup, kabuk kökenine işaret eder.

Nb/La oranları dikkate alındığında, düşük Nb/La oranları (Nb/La < 0.5) litosferik manto kaynağına, Yüksek Nb/La oranları (Nb/La > 1) OIB benzeri astenosferik manto kaynağına, 0.5-1 arasındaki Nb/La değerler ise litosferik-astenosferik manto karışımını gösterir. Smith vd. (1999)'a göre litosferik manto LREE'lere nazaran HFSE elementlerce (örn. Ta ve Nb) daha fazla tüketilmişlerdir. İncelenen plütonik kayaç örnekleri düşük Nb/La değerlerine (0.2-0.4) sahip olup, bu durum litosferik manto kaynağını gösterir.

İncelenen plütonik kayaların Ce/Pb oranlarının 4-28 (ppm) arasında olması ve okyanusal bazaltlardan (Hofmann, 1988) belirgin farklılıklar sunması, kayaları oluşturan magmaların normal astenosferik manto ergimesi ile türemediğine işaret eder. Ayrıca, Zr/Sm oranları kondiritler için ~ 25, N-MORB, E-MORB ve OIB için ~ 28, alt kabuk için ~ 24, orta kabuk için ~ 32 ve üst kabuk için de ~ 41'dir. İncelenen plütonik kayaların Zr/Sm oranları 16-46 arasında olup, kabuksal kökenli magmaları gösterir.

Tüm bu jeokimyasal veriler, bu kayaları oluşturan magmaların kabuksal kayaların kısmı ergimesi ile oluşmuş olabileceğini göstermektedir. Kayaların A/CNK değerlerinin kuvvetli peralümin bileşimi yansıtması ve bu bileşimin kıtasal kabuk

kayaçlarının kısmı ergimesi yoluyla türemiş ergiyiklerde bulunması, kabuksal kaynak kayaçlardan türemeyi işaret etmektedir.

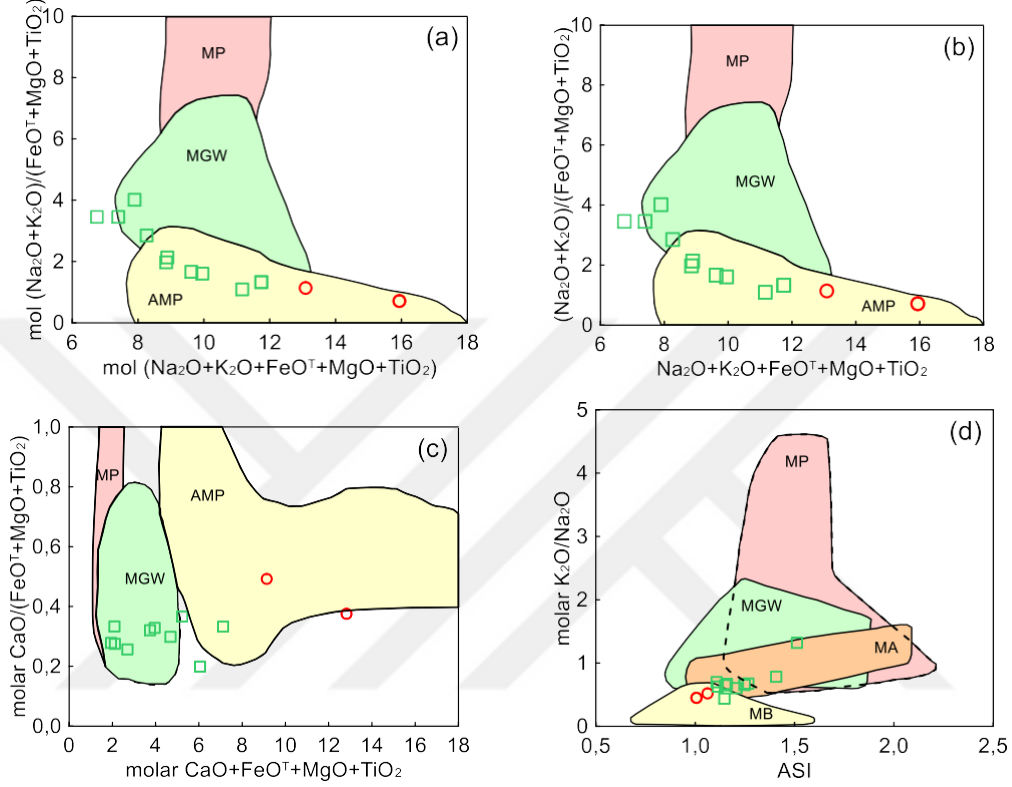
Kondirit ve ilksel mantoya göre normalleştirilmiş örümcek diyagramlarında, incelenen plütonik kayaçlara ait örnekler negatif Ta, Ti, Nb ve pozitif Rb, Th, K, Pb anomalileri göstermekte olup, LILE ve HNTE elementlerce zenginleşme gösterirler. Bu özellikler genelde kabuksal kayaçlara özgüdür. Roberts ve Clemens (1993) yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, yüksek-K'lu ve I-tipi granitoidlerin kabukta kalk-alkalen mafik-ortaç bileşimli meta-magmatik kayaçlardan sulu ortamlarda kısmı ergime ile türeyebileceğini göstermiştir. Wyllie (1984)'e göre bazaltın sulu ergimesi ile tonalitik ve trondjemitik magmalar oluşturabilir. Bu magmalar fraksiyonel kristallenme (FC) ve/veya kabuksal kirlenme yoluyla granitik bileşimde kayaçlar üretebilir.

Granitik kayaçları oluşturan magmalar, genellikle alt kıta kabuğunda metasedimanter ve/veya metaintrüzif kayaların dehidrasyonu sonucu kısmı ergimesi ile meydana gelmektedirler (Patino Douce ve Johnston, 1991; Rapp, 1995; Patino Douce ve Stevens vd., 1997; Beard, 1996). Kıtasal magmalar arasında bileşimsel farklılıklar, basınç, sıcaklık, H₂O içerikleri ve oksijen fugasitesi gibi ergime şartlarındaki fiziko-kimyasal koşullardan kaynaklanabildiği gibi doğrudan ergiyen malzemenin bileşimsel karakterinden de kaynaklanabilmektedir (Patino Douce ve Beard 1996, Patino Douce 1999). Patino Douce (1999) yapmış olduğu çalışmada, kıtasal kabuk bileşiminde yer alan farklı kayaların değişik ergime koşulları altındaki kısmı ergime ile meydana gelen magmaların bileşimsel farklılıklarını ana element oksit içerikleriyle ifade etmiştir. Çalışma alanındaki plütonik kayaçları oluşturan magmaların kökenlerine yönelik bir yaklaşımda bulunabilmek amacıyla örneklerin ana element oksitleri Patino Douce (1999) tarafından önerilen bu diyagramlara aktarılmıştır (Şekil 40).

İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaç örnekleri yüksek molar ($\text{CaO}+\text{FeO}^{\text{T}}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$) ve düşük molar ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) / ($\text{FeO}^{\text{T}}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ve Mg# içeriğine sahip olup, metabazalt (amfibolit) / metagrowak türü kaynak kayaçların kısmı ergimesini işaret eder (Şekil 40).

Topuz ve diğ (2010), Doğu Pontid Güney zonunda 320-324 My yaşlı Gümüşhane plütonun I-tipi, yüksek-K'lu karakterde olduğunu, plütonu oluşturan granit/granodiyorit bileşimli kayaçların mafik kabuksal kayaçların kısmı ergimesinden, granofirlerin ise feslik mikamsı kabuksal kayaçların kısmı ergimesinden oluştuğunu belirtmişlerdir. Kaygusuz ve diğ. (2012), Doğu Pontid Kuzey zonunda 311-317 My yaşlı Derinoba ve 303 My yaşlı Kayadibi Plütonlarının yüksek SiO₂ içeriklerine (74-77) sahip olduklarını ve granit bileşiminde olan bu kayaçların metagrowak türü kabuksal kayaçların kısmı

ergimesiyle oluştuklarını belirtmişlerdir. Kaygusuz ve diğ. (2016), Doğu Pontid Kuzey zonunda 321-348 My yaşlı Özdil, Soğuksu, Seslikaya, Kızılkaya ve Şahmetlik Plutonlarının SiO₂ içeriklerinin 59-63 arasında değiştiği, kayaçların metabazalt, metagrovak ve metapelit türü kaynak kayaçların kısmı ergimesi ile oluştuklarını belirtmişlerdir.



Şekil 40. İncelenen plütonik kayaçların kökensel ayırım diyagramları. MA: metaandezit, MB: metabazalt, MGW: metagrovak, MP: metapelit, AMP: amfibolit. Veri kaynak alanları Patiño Douce (1999)'den alınmıştır (semboller için Şekil 3.17'ye bakınız).

5. SONUÇLAR

Bu çalışma ile Gülaçar (Gümüşhane) ve civarında yer alan Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların mineralojik-petrografik ve tüm kayaç jeokimyasal özellikleri ortaya konularak, kayaçların kökenleri ve oluşum mekanizmaları belirlenmeye çalışılmış ve aşağıdaki şekilde sonuçlar özetlenmiştir:

1. İnceleme alanında Kurtoğlu Metamorfitleri (Erken Karbonifer), Gümüşhane Plutonu (Geç Karbonifer), Şenköy Formasyonu (Erken-Orta Jura), Berdiga Formasyonu (Dogger-Malm-Alt Kretase), Karadağ Granitoidi (Eosen) ve alüvyon (Kuvaterner) olmak üzere altı birim ayırt edilmiştir.

2. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar, Erken Karbonifer yaşlı metamorfik kayaçları kesmiş olup, Lias yaşlı Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenir.

3. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar, monzogranit (granit) ve kuvarslı monzonit bileşimli kayaçlardan oluşurlar. Ana mineraller plajiyoklas, kuvars, ortoklas, biyotit ve hornblend'den; tali mineraller ise apatit ve zirkon'dan oluşur.

4. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçlar genel olarak I-tipi, orta-yüksek K'lu kalk-alkalen ve peralümin özellik gösterir.

5. Tektonik yerleşim diyagramlarına göre, incelenen plütonik kayaçlar çarpışma / çarpışma sonrası granitoid özelliği gösterirler.

6. İncelenen plütonik kayaçlarda apatit ve zirkon jeotermometresi göre hesaplanan kristalizasyon sıcaklıkları 750-936 °C arasında değişim gösterir.

7. Ana ve iz element değişimleri, incelenen plütonik kayaçların gelişiminde plajiyoklas, amfibol ve Fe-Ti oksit fraksiyonlaşmasının etkin bir rol oynadığını belirtir.

8. İncelenen Paleozoyik yaşlı plütonik kayaçların jeokimyasal ve petrolojik özellikleri dikkate alındığında, kayaçların ana magmasının metabazalt / metagrovak türü kaynak kayaçların kısmı ergimesi ile oluşmuş olabileceği sonucuna varılmıştır.

9. Bu çalışmanın bir sonraki ayağında özellikle kökensele izotop analizleri ile jeokronolojik yaş analizlerin yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi*. Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Akaryalı, E. (2016). Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn ± Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey), *Ore Geology Reviews*, 74, 1-14.
- Akın, H. (1978). Geologie, magmatismus und lager-staettenbildung im ostpontischen gebirge-Turkei aus der sicht der plattentektonik. *Geologische Rundschau*, 68, 253–283.
- Alemdağ, S. (2015). Assessment of bearing capacity and permeability of foundation rocks at the Gümüştaş waste dam site, (NE Turkey). Using empirical and numerical analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1099–1110.
- Aliyazıcıoğlu, İ. (1999). *Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Alp, D. (1972). Amasya yöresinin jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, 22, İstanbul, 135.
- Altherr, R., Topuz, G., Siebel, W., Şen, C., Meyer, H.P ve Satır, M. (2008). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of paleocene plagioclitites From the Eastern Pontides (NE Turkey), *Lithos*, 105, 149-161.
- Altınkaynak, L. (2000). *Ağvanis Masifi doğu kesimi ve çevre kayaçlarının jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S., ve Kurt, H. (1997). Geochemistry and petrogenesis of the Eastern Pontide volcanic rocks, Northeast Turkey, *Chemi der Erde*, 57, 157–187.
- Arslan, M ve Aliyazıcıoğlu, İ. (2001). Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene Evolution of Eastern Pontide arc volcanism, Northeast Turkey, *International Geology Review*, 43, 595-610s.
- Arslan, M ve Aslan, Z. (2006). Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal Asian Earth Sciencs*, 27, 177–193s.

- Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztuğ, D.,... Şen, C. (2013). ^{40}Ar - ^{39}Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): Implications for magma evolution in extension-induced origin, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 113–142.
- Aslan, Z. (2010). U-Pb Zircon SHRIMP Age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 187, 3, 329–346.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, İ. ve Kaygusuz, A. (2014). K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc-alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, *Mineralogy and Petrology*, 108, 254–267.
- Aydın, F. (1996). *Karamustafa ve Hasköy (Gümüşhane) yöresindeki barit yataklarının mineralojik ve jenetik açıdan incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Aydın, F. (2003). *Değirmendere Vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Mineral Kimyası, Petrolojisi ve Petrojenezi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Aydın, F., Karanlı, O. ve Chen, B. (2008). Petrogenesis of the Neogene Alkaline Volcanics with Implications for Post Collisional Lithospheric Thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey, *Lithos*, 104, 249–266.
- Aydınçakır, E. ve Kaygusuz, A. (2012). Geç Kretase Yaşlı Dağbaşı (Araklı, Trabzon) Volkanitlerinin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, KD Türkiye, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (2), 123–142.
- Aydınçakır, E ve Şen, C. (2013). Petrogenesis of the Post-collisional Volcanic Rocks from the Borçka (Artvin) Area: Implications for the Evolution of the Eocene Magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey), *Lithos*, 172-173, 98–117.
- Aydınçakır, E. (2014). The Petrogenesis of Early-Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on geodynamic implications. *Lithos*, 208, 361–377.
- Aydınçakır, E. (2016). Subduction-related Late Cretaceous high-K volcanism in the Central Pontides orogenic belt: Constraints on geodynamic implications. *Geodinamica Acta* 28(4), 379–411.

- Aydınçakır, E., Gündüz, R. ve Yücel, C. (2020). Emplacement conditions of magma(s) forming Jurassic plutonic rocks in Gümüşhane (Eastern Pontides, Turkey). *Bull. Min. Res. Exp.*, 162, 175–196.
- Batchelor, R. A ve Bowden, P. (1985). Petrogenetic İnterpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters, *Chemical Geology*, 48, 43–55.
- Baykal, F. (1952). Kelkit-Şiran bölgesinde jeolojik araştırmalar, MTA Rapor No: 2205, Ankara.
- Beckinsale, R.D. (1979). *Granite magmatism in the belt of sout-east Asia: Origin of granite batholits*, Atherton, M.P. and Tarney, J. (Ed.) Shiva Publishing Ltd., England.
- Bektaş, O. (1984). Doğu Pontidler’de Geç Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, *Karadeniz Üniversitesi Dergisi*, 3(1-2), 53-62.
- Bektaş, O. (1986). Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc-Back Arc of Eastern Pontides, *Maden Tetkik Arama Bülteni*, 15(1), 103, 104.
- Bergougnan, H. (1987). *Etudes Geologiques dans L’est Anatolien: Mem. des Sci. De la Terre, universite Pierre, et Marie Curie*. These de Doctorat D’etat, 86–33, Paris.
- Borg, L.E., Nyquist, L.E., Wiesmann, H. ve Shih, C.Y. (1997). Constraints on Martian differentiation processes from Rb-Sr and Sm-Nd isotopic analyses of the basaltic shergottite QUE94201. *Geochim. Cosmochim. Ac.* 61, 4915–4931.
- Boynukalın, S. (1990). *Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri*. Yayımlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Boztuğ, D. (2001). Petrology and geodynamics of the alkaline and transalkaline igneous rocks outcropping in the northern and southern parts of the North Anatolian Fault Zone, Eastern ontides, Turkey. Fourth International Turkish geology Symposium, (ITGS-IV), 24–28 September 2001, Abstracts, 208.
- Boztuğ, D., Wagner, G. A., Erçin, A. İ., Göç, D., Yeğingil, Z., İskenderoğlu, A., Kuruçelik, M. K., Kömür, İ. ve Güngör, Y. (2002). Sphene and Zircon Fission-Track Geochronology Unravelling Subduction- and Collision-Related Magma Surges in the Composite Kaçkar Batholith, Eastern Black Sea Region, Turkey. International Symposium of the Faculty of Mines (İstanbul Teknik Üniversitesi) on Earth Sciences and Engineering, İstanbul, Turkey, Abstracts, P. 121.
- Boztuğ, D., Erçin, A. I., Kuruçelik, M., Göç, D., Kömür, I. ve İskenderoğlu, A. (2006). Geochemical Characteristics of the Composite Kaçkar Batholith Generated in A

- Neo-Tethyan Convergence System, Eastern Pontides, Turkey. *Journal Asian Earth Sciences*, 27, 286–302.
- Brown, G. C., Thorpe, R.S. ve Webb, P.C. (1984). The Geochemical Characteristics of Granitoids in Contrasting Arcs and Comments on Magma Sources. *Journal Geology Societ*, 141, 413–426.
- Chappell, B.W. ve White, A.J.R. (1974). Two Contrasting Granite Types, *Pasific Geology*, 8, 173–204s.
- Condie, K.C. (1989). Plate Tectonics and Crustal Evolution: Pergamon Press, Oxford, 3th Edi, 476.
- Çakmak, G. ve Kaygusuz, A. (2014). *Pelitli (Bayburt) Granitoyidi'nin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri*, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4 (1), 46–63.
- Çoğulu, E. (1970). *Gümüşhane ve Rize Granitik Pülütönlörünün Mukayeseli Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü*, Yayınlanmamış doçentlik tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çoğulu, E. (1975). Gümüşhane ve Rize bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayım, 1034, İstanbul, 112 s.
- Delaloye, M., Çoğulu, E. ve Chessex, R. (1972). Etude Geochronometrique des Massifs Cristallins de Rize et de Gümüşhane, Pontides Orientales (Turguie): C.R. des Seances, SPHN, Ceneve, NS, 7/2-3, 43–52.
- Dokuz, A. (2000). *Yusufeli Yöresinin Jeolojisi, Jeotektoniği, Magmatik-Metamorfik Kayaçların Jeokimyası ve Petrojenezi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Dokuz, A. (2011). A Slab Detachment and Delamination Model for the Generation of carboniferous High-Potassium I-Type Magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse Composite Pluton. *Gondwana Research*, 19, 926–944.
- Dokuz, A., Karşlı, O., Chen, B. ve Uysal, İ. (2010), Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusufeli area, Northeastern Turkey: implications for pre- and post-collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides: *Tectonophysics*, 480, 259–279.
- Dokuz, A., Tanyolu, E. ve Genç, S. (2006). A Mantle- and A Lower Crust-Derived Bimodal Suite in the Yusufeli (Artvin) Area, NE Turkey: Trace Element and REE Evidence For Subduction-Related Rift Origin of Early Jurassic Demirkent Intrusive Complex. *International Journal of Earth Sciences*, 95, 370–394.

- Drummond, M.S. ve Defant, M.J. (1990). A Model for Trondhjemite-Tonalite-Dacite Genesis and Crustal Growth Via Slabmelting: Archean to Modern Comparisons. *Journal Geophys. Res.* 95, 21503–21521.
- Eby, G.N. (1992). Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20, 641–644.
- Eren, M. (1983). *Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasises incelemesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Karadeniz Üniversitesi, Trabzon.
- Erentöz, C ve Ketin İ. (1974). Explanatory Text of the Geological Map of Turkey at 1/500.000 G scale (Kars). *Special Publication of Mineral Research and Exploration*, 57.
- Eyüboğlu, Y. (2006). *Doğu Pontid Magmatik Yayı'nda (KD Türkiye) Alaska-Tip Mafik-Ultramafiklerin Tanımı ve Jeotektonik Önemi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Eyüboğlu, Y., Dilek, Y., Bozkurt, E., Bektaş, O., Rojay, B. ve Şen, C. (2010). Structure and Geochemistry of an Alaskan-Type Ultramafic–Mafic Complex in the Eastern Pontides, NE Turkey. In: Santosh, M., Maruyama, S. (Eds.), A Tribute to Akiho Miyashiro. *Gondwana Research*, 18, 230–252.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Chung, S.L. ve Akaryalı, E. (2011). Migrating Magmatism in A Continental Arc: Geodynamics of the Eastern Mediterranean Revisited. *Journal of Geodynamics*, 52, 2–15,
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Bektaş, O. ve Kwon, S. (2012). Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt and revised geodynamic model for the late Cenozoic Evolution of eastern Mediterranean region. *Lithos* 146–147, 218–232.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Thorkelson, D., Zhu, D.C., Liu, Z., Chatterjee, N., ... Yi, K. ve Santosh, M. (2017), Eocene granitoids of northern Turkey: Polybaric magmatism in an evolving arc–slab window system. *Gondwana Research*, 50, 311–345.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. ve Frost, C.D. (2001). A geochemical classification for granitic rocks. *Journal Petrology*, 42, 2033–2048.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S. (1992). Rize-Fındıklı Çamlıhemşin Arasında (Doğu Karadeniz) Yer Alan Magmatik Kayaçların Petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki Bölgesel Yayılımları, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 35, 15–38.

- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T. (1979). The Main Lines of Geotectonic Development in the East Pontids in the Mesozoic era, *Geocomp-I*, 555–580.
- Green, T.H. (1995). Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust–mantle system. *Chemical Geology*, 120, 347–359.
- Gücer M.A. ve Sarı, E. (2021). Karbonifer Pamuktaş Plütonu'nun petrografisi, jeokimyası ve petrolojik özellikleri, Bayburt (KD Türkiye). *Yerbilimleri*, 41 (2), 85-120,
- Gücer, M.A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Akaryalı, E. (2017). Tersiyer yaşlı Altınpınar hornblendli andezitlerinin (Torul-Gümüşhane) petrografisi, mineral kimyası ve P-T kristalleşme koşulları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 7 (2), 236-267.
- Gülmez, F., Genç, Ş.C., Prelević, D., Tüysüz, O., Karacık, Z., Roden, M.F.,... Billor, Z. (2016). Ultrapotassic volcanism from the waning stage of the Neotethyan subduction: a key study from the İzmir–Ankara–Erzincan suture belt, Central Northern Turkey. *J. Petrol.* 57, 561–593.
- Güngör, Y., Boztuğ, D. ve Yılmaz, O. (1997). Kaçkar Batoliti Altıparmak Dağı-Soğanlı Dağı Arası (GD Çamlıhemşin-Rize) Kesiminin Petrografik, Jeokimyasal ve Petrojenetik İncelenmesi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, 30 Nisan - 3 Mayıs 1997, Adana, Bildiri Özetleri.
- Güven, İ. H. (1993). Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA, Ankara.
- Hamilton, W. J. (1842). *Recearches in Asia Minör, Pontus and Armenia*, Londra.
- Hanchar, J.M ve Watson, E.B. (2003). Zircon Saturation Thermometry. In: Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. (Eds.), *Zircon. Rev in Mineralogy and Geochemistry*, 53, *Mineralogical Society of America, Geochemical Society of America*,112s.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. ve Mitchell, S.F. (2007). Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks Using Immobile Trace Elements: Development of The Th-Co Discrimination Diagram, *Journal of Petrology*, 48, 12, 2341-2357.
- Hofmann, A.W. (1988). Chemical Differentiation of the Earth: The Relationship between Mantle, Continental crust, and Oceanic Crust, *Earth Planet, Scient Letters* 90, 297–314.
- Irvine, T.N. ve Baragar, WRA. (1971). A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Can Journal Earth Scient*, 8, 523–548s.

- Ishihara, S. (1977). The Magnetite-Series and Ilmenite-Series Granitic Rocks, *Minerology Geology*, 27, 293–305.
- İlbeyli, N. (2008). Geochemical characteristics of the Şebinkarahisar granitoids in the eastern Pontides, northeast Turkey: petrogenesis and tectonic implications. *International Geology Review*, 50, 563–582.
- Jica. (1985). The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1. *Japan International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan*.
- Jung, S., Masberg, P., Mihm, D. ve Hoernes, S. (2009). Partial melting of diverse crustal sources - constraints from Sr-Nd-O isotope compositions of quartz diorite-granodiorite-leucogranite associations (Kaoko Belt, Namibia). *Lithos* 111, 236–251.
- Kandemir, R. (2004). *Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları*. Yayımlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Karlı, O., Dokuz, A. ve Kandemir R. (2016). Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Çamlık and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology. *Lithos* 266, 98–114.
- Karlı, O., Aydın, F. ve Sadıklar, M. B. (2004). The morphology and chemistry of K feldspar megacrysts from İkizdere Pluton: Evidence for acid and basic magma interactions in granitoid rocks, NE Turkey. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 64, 155–170.
- Karlı, O., Chen, B., Aydın, F. ve Şen, C. (2007). Geochemical and Sr-Nd-Pb Isotopic Compositions of the Eocene Dölek and Sarıçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for Magma Interaction in the Genesis of High-K Calc-Alkaline Granitoids in a Postcollision Extensional Setting. *Lithos*, 98, 67–96.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J.R. (2010). Generation of the Early Cenozoic Adakitic Volcanism by Partial Melting of Mafic Lower Crust, Eastern Turkey: Implication for Crustal Thickening to Delamination, *Lithos*, 114, 109–120.
- Karlı, O., Uysal, İ., Ketenci, M., Dokuz, A., Aydın, F., Chen, B.,...Kandemir, R. ve Wijbrans, J. (2011). Adakite-like Granitoid Porphyries in Eastern Pontides, NE Turkey: Potential Parental Melts and Geodynamic Implications, *Lithos*, 127, 354–372.

- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B. ve 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.
- Kaygusuz, A. (2009). K/Ar ages and geochemistry of the post-collisional volcanic rocks in the Ilica (Erzurum) area, eastern Turkey. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 186/1, 21–36.
- Kaygusuz, A. (2019). Geothermal energy for clean and sustainable development in Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8 (1), 1041–1050.
- Kaygusuz, A. (2020). Geochronological age relationships of Carboniferous Plutons in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 9 (1), 1299–1307.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeyli, N. (2012). Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. *International Geology Rew*, 54 (15), 1776–1800.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N. ve Temizel, İ. (2014). LA-ICP MS zircon dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb-O isotope geochemistry of the Camiboğazı pluton, Eastern Pontides, NE Turkey: Implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in arc-related I-type magmatism, *Lithos* 192-195, 271–290.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W. ve Şen, C. (2011). Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of post-collisional calc-alkaline volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 137–159.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ. (2016). U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327–346.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Temizel, İ., Yücel, C. ve Aydınçakır, E. (2021). U–Pb zircon ages and petrogenesis of the Late Cretaceous I-type granitoids in arc setting, Eastern Pontides, NE Turkey, *Journal of African Earth Sciences* 174, 1040.
- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E. (2009). Mineralogy, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of mafic microgranular enclaves in Cretaceous Dağbaşı granitoids, Eastern Pontides, NE Turkey: evidence of magma mixing, mingling, and chemical equilibration. *Chemie der Erde Geochemistry*, 69, 247–277.

- Kaygusuz, A. ve Aydınçakır, E. (2011). Petrogenesis of a Late Cretaceous composite pluton from the eastern Pontides: the Dağbaşı pluton, NE Turkey. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 188(3), 211–233.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Aslan, Z., Siebel, W. ve Şen, C. (2009). U-Pb SHRIMP zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of the Late Cretaceous I-type Sariosman pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 549–581.
- Kaygusuz, A., Gücer, M.A., Yücel, C., Aydınçakır, E. ve Sipahi, F. (2019). Petrography and crystallization conditions of Middle Eocene volcanic rocks in the Aydıntepe-Yazyurdu (Bayburt) area, Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8 (2), 1205-1215.
- Kaygusuz, A., Merdan Tutar, Z. ve Yücel, C. (2017). Mineral chemistry, crystallization conditions and petrography of Cenozoic volcanic rocks in the Bahçecik (Torul/Gümüşhane) area, Eastern Pontides (NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 6 (2), 641-651.
- Kaygusuz, A. ve Öztürk, M. (2015). Geochronology, geochemistry, and petrogenesis of the Eocene Bayburt intrusions, Eastern Pontide, NE Turkey: implications for lithospheric mantle and lower crustal sources in the high-K calc-alkaline magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 108, 97–116.
- Kaygusuz, A. ve Selvi, D. (2020). Crystallization conditions and petrography of eocene volcanic rocks in the Gümüşdamla-Erikdibi area (Bayburt, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 9 (2), 1529–1537.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satır, M. ve Şen, C. (2010). Insight into magma genesis at convergent plate margins. A case study from the eastern Pontides (NE Turkey). *Neues Jahrbuch Für Mineralogie*, 187/3, 265–287.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C. ve Satır, M. (2008). Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 97, 739–764.
- Kaygusuz, A. ve Şahin, K. (2016). Petrographical, geochemical and petrological characteristics of Eocene volcanic rocks in the Mescitli area, Eastern Pontides (NE Turkey), *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 5 (2), 473–486.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C. (2011). Calc-alkaline I-type plutons in the eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions. *Chemie der Erde*, 71, 59–75.

- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z. (2006). Torul (Gümüşhane) Volkaniklerinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri (KD Türkiye); Fraksiyonel Kristallenme ve Magma Karışımına İlişkin Bulgular, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 49(1), 49–82.
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Arslan, M., Sipahi, F., Temizel, İ., Çakmak, G.,... Güloğlu, Z.S. (2018). Petrography, mineral chemistry and crystallization conditions of Cenozoic plutonic rocks located to the north of Bayburt (Eastern Pontides, Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 157, 75–102.
- Kaygusuz, A., Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Yi, K., Jeong, Y-J.,...Siebel, W. ve Sipahi, F. (2020). Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Insights into magma genesis and magma-tectonic evolution from whole-rock geochemistry, geochronology and isotope systematics. *International Geology Review*, 62 (11), 1406–1432.
- Kaygusuz, A., Aslan, Z., Aydınçakır, E., Yücel, C., Gücer, M.A.,...Şen, C. (2018). Geochemical and Sr-Nd-Pb isotope characteristics of the Miocene to Pliocene volcanic rocks from the Kandilli (Erzurum) area, Eastern Anatolia (Turkey): Implications for magma evolution in extension-related origin. *Lithos* 296/299, 332–351.
- Ketin, İ. ve Canitez, N. (1972). Yapısal Jeoloji, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 520, İstanbul.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, Maden Tetkik Arama Dergisi, Ankara, No: 66, 20–34.
- Ketin, İ. (1983). Türkiye Jeolojisine Genel bir bakış, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 1259, 536.
- Kırmacı, Z. (1992). *Alucra-Gümüşhane-Bayburt Yörelerindeki (Doğu Pontid Güney Zonu) Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Berdiga Kireçtaşı'nın Sedimentolojik İncelemesi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Köprübaşı, N., Şen, C. ve Kaygusuz, A. (2000). Doğu Pontid Ada Yayılı Granitoidlerin Karşılaştırmalı Petrografik ve Kimyasal Özellikleri, *Uygulamalı Yerbilimleri*, 111–120.
- Lambert R.J. ve Holland J.G. (1974). Yttrium geochemistry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationships in minerals and rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 1393–1414.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M. J., Sabine, P. A.,...Schimid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. ve Zanettin, B.

- (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford.
- Mainar P.D. ve Piccoli P.M. (1989). Tectonic Discrimination of Granitoids, Geological Society of America bullent, 101, 635–643.
- McCulloch, M.T. ve Gamble, J.A. (1991). Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 102, 358–374.
- Menzies, M.A., Kyle, P.R., Jones, M. ve Ingram, G. (1991). Enriched and depleted source components for tholeiitic and alkaline lavas from Zuni-Bandera New Mexico: inferences about intraplate processes and stratified lithosphere. *Journal of Geophysical Research* 96, 13645–13671.
- Middlemost, E.A.K. (1994). Naming Minerals in the Magma/Igneous Rock System. *Earth Scient Review*, 37, 215–224.
- Miller, C.F., Meschter McDowell, S. ve Mapes, R.W. (2003). Hot and Cold Granites? Implications of Zircon Saturation Temperatures and Preservation of Inheritance, *Geology*, 31, 529–532.
- Moore, M.J., Me Kee, E.H. ve Akıncı, Ö. (1980). Chemistry and Chronology of Plutonic Rocks, in the Pontid Mountains, Northern Turkey: *European Cooper Deposits*, 209–216.
- Okay, A. ve 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 (AAPG) Memoir*, 68, 291–311.
- Okay, A.I. (1984). Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (ed. J.E. Dixon ve A.H.F. Robertson), *Geological Society Special Publication*, 17, 455–466
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S.,...Sümege, M. ve Tekeli, O. (1980). Amasya-Turhal Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, Maden Tetkik Arama Raporu No: 6722.
- Özdamar, Ş., Roden, M.F., Billor, M.Z. (2017). Petrology of the shoshonitic Çambaşı pluton in NE Turkey and implications for the closure of the Neo-Tethys Ocean: insights from geochemistry, geochronology and Sr–Nd isotopes. *Lithos* 284-285, 477–492.
- Özdoğan, K. (1992). *Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi-Mineralojisi-Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi*, Yayınlanmamış doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A. (1981). Doğu Pontidler`de Kretase, K.T.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 1, 2, 65–114, Trabzon.
- Patino Douce AE, Beard JS. (1996). Effects of P, f (O₂) and Mg/Fe ratio on dehydration melting of model metagreywackes. *J Petrol* 37, 999–1024.
- Patino Douce AE, Johnston AD. (1991). Phase equilibria and melt productivity in the pelite system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contrib Mineral Petrol*, 107, 202–218.
- Patino Douce AE. (1999). What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro A, Fernandez C, Vigneresse JL (eds) Understanding granites: intergrating new and classical techniques, 168. *Geological Society London Special Publication*, 55–75s.
- Pearce, J. A. Harris, N. B. W. ve Tindle, A. G. (1984). Trace Elements Discrimination Diagram for the Tectonic Interpretation of Granitic Rock, *Journal of Petrology*, 25(4), 43–63.
- Pelin, S. (1977). Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, 87-103s.
- Pitcher, W.S. (1983). Granite: typology, geological environment and melting relationships. *Migmatites, Melting and Metamorphism* (ed.: M.P. Atherton and C.D. Gribble) Shiva Pub. Ltd., Cheshire, 277–285.
- Rapp, R.P.ve Watson, E.B. (1995). Dehydration Melting of Metabasalt at 8–32 kbar: Implications for Continental Growth and Crust-Mantle Recycling, *Journal Petrology*, 36, 891–931.
- Roberts, M.P. ve Clemens, J.D. (1993). Origin of High-Potassium, Calcalkaline, I-Type Granitoids, *Geology*, 21, 825–828.
- Rojay, B. (1993). *Tectonostratigraphy and Neotectonic Characteristics of the Southern Margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya)*, Phd Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Saydam Eker, Ç., Sipahi, F. ve Kaygusuz, A. (2012). Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias cherts in Gumushane, NE Turkey. *Chemie der Erde Geochemistry*, 72, 167–177.
- Seymen, İ. (1975). *Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği*. Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Sipahi, F. (2005). *Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

- Sipahi, F., Akpınar, İ., Saydam Eker, Ç., Kaygusuz, A., Vural, A. ve Yılmaz, M. (2017). Formation of the Eğrikar (Gümüşhane) Fe–Cu skarn type mineralization in NE Turkey: U–Pb zircon age, lithogeochemistry, mineral chemistry, fluid inclusion, and O–H–C–S isotopic compositions. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 32–52.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A. ve Akpınar, İ. (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: The Eğrikar Monzogranite example, *International Geology Review*, 60(3), 382–400.
- Sipahi, F ve Sadıklar M.B. (2014). Geochemistry of Dacitic Volcanics in the Eastern Pontide (NE Turkey), *Geochemistry International*, 52, 4, 296–315.
- Sipahi, F., Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ., Gücer, M.A., Vural, A., Kaygusuz, A.,... Aydurmuş, T. (2022). Eocene magmatism and associated Fe-Cu mineralization in northeastern Turkey: a case study of the Karadağ skarn, *International Geology Review*, doi.org/10.1080/00206814.2021.1941323.
- Smith, E.I., Sanchez, A., Walker, J.D. ve Wang, K. (1999). Geochemistry of Mafic Magmas in the Hurricane Volcanic Field, Utah: Implications for Small and Large Scale Chemical Variability of the Lithospheric Mantle, *Journal of Geology*, 107, 433–448.
- Stevens, G., Clemens, J.D., Droop, G.T.R. (1997). Melt production during granulite facies anatexis: experimental data from ‘primitive’ metasedimentary protoliths. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 128, 352–370.
- Streckeisen, A. (1976). To Each Plutonic Rock its Proper Name, *Earth Scientist Review*, 12, 1–33.
- 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 Society of London, Special Publication* 42, 313–345.
- Şahin, K. ve Kaygusuz, A. (2016). Mescitli (Torul/Gümüşhane) ve çevresindeki Eosen yaşlı volkanik kayaların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (2), 89–116.
- Şahin, S. Y., Güngör, Y. ve Boztuğ, D. (2004). Comparative Petrogenetic Investigation of Composite Kaçar Batholith granitoids in Eastern Pontide magmatic arc, Northern Turkey. *Earth Planets Space*, 56, 429–446.
- Şen, C. (2007). Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is It Rift Related or Subduction Related? *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523–539.

- Taşlı, K. (1984). Hamsiköy (Trabzon) Yöresinin jeolojisi, Karadeniz Üniversitesi Dergisi, 3, 69-76.
- Taşlı, K. (1990). *Gümüşhane-Bayburt Yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Karbonat İstiflerinin Stratigrafisi ve Mikropaleontolojik İncelemesi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Taylor, S. R. ve McLennan, S.M. (1985). The Continental Crust; Its Composition and Evolution. Geoscience Text, Blackwell Scientific Publication.
- Temizel, İ., Abdioğlu Yazar, E., Arslan, M., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z. (2018). Mineral chemistry, whole-rock geochemistry and petrology of Eocene I-type Shoshonitic plutons in the Gököy area (Ordu, NE Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 157, 121–152.
- Temizel, İ., Arslan, M., Abdioğlu, E. ve Yücel, C. (2014). Mineral Chemistry and Thermobarometry of Eocene Monzogabbroic Stocks from the Bafra (Samsun) Area in Turkey: Implications for Disequilibrium Crystallization and Emplacement Conditions, *International Geology Review*, 56, 10, 1226–1245.
- Temizel, İ., Arslan, M., Ruffet, G. ve Peucat, J.J. (2012). Petrochemistry, Geochronology and Sr-Nd Isotopic Systematic of the Tertiary Collisional and Post-collisional Volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) Area, eastern Pontide, NE Turkey: Implications for Extension-Related Origin and Mantle Source Characteristics, *Lithos*, 128, 126–147.
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A., Aslan, Z. (2019). U-Pb geochronology, bulk-rock geochemistry and petrology of Late Cretaceous syenitic plutons in the Gököy (Ordu) area (NE Turkey): Implications for magma generation in a continental arc extension triggered by slab roll-back. *Journal of Asian Earth Sciences* 171, 305–320.
- Temizel, İ., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu Yazar, E., Kaygusuz, A. ve Aslan, Z. (2020). Eocene tonalite–granodiorite from the Havza (Samsun) area, northern Turkey: adakite-like melts of lithospheric mantle and crust generated in a post-collisional setting. *International Geology Review*. 62 (9), 1131–1158.
- Tokel, S. (1977). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Eosen Yaşlı Kalk-alkalen Andezitler ve Jeotektonizma, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 20(1), 49–54.
- Topuz, G ve Altherr, R. (2004). Pervasive Rehydration of Granulites During Exhumation-an Example from the Pulur Complex, Eastern Pontides, Turkey, *Mineralogy and Petrology*, 81, 165–185.

- Topuz, G., Alther, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satır, M. ve Dokuz, A. (2005). Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycık granodiorite (eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 441–455.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Wemer, O. ve Schwarz, W.H. (2004a). Aluminous Granulites from the Pulur complex, NE Turkey: A Case of Partial Melting, Efficient Melt Extraction and Crystallization, *Lithos*, 72, 183–207.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, W.H. (2004b). Low-Grade Metamorphic Rocks from the Pulur Complex, NE Turkey: Implications for pre-Liassic Evolution of the Eastern Pontides, *International Journal of Earth Science (Geol Rundsch)*, 93, 72–91.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A. ve Meyer, H.P. (2007). Variscan Amphibolite-facies Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex, Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey, *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861–873.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeğ, A., Barth, M.,... Satır, M., Şen, C. (2010). Carboniferous High-Potassium I-Type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane Pluton (NE Turkey), *Lithos*, 116, 92–110.
- Topuz, G., Okay, A. I., Altherr, R., Schwarz, W. H., Siebel, W., Zack, T.,... Satır, M. ve Şen, C. (2011). Post-Collisional Adakite-Like Magmatism in the Ağvanis Massif and Implications for the Evolution of the Eocene Magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*, 125, 131–150.
- Tüdeş, Ş. (2001). *Gümüşhane kenti ve yakın çevresinin yerleşime uygunluk açısından araştırılması*. Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Tüysüz, O. (1996). Amasya ve Çevresinin Jeolojisi, Türkiye 11. Petrol Kongresi Bildirileri, 32-48.
- Ustaömer, T ve Robertson, H.F.A. (2010). Late Paleozoic-Early Cenozoic Development of the Eastern Pontides (Artvin Area), Turkey: Stages of Closure of Tethys Along the Southern Margin of Eurasia, *Geological Society London, Special Publications*, 340, 281–327.
- Ustaömer, T., Robertson, A.H.F., Ustaömer, P.A., Gerdes, A., Peytcheva, I. (2013). Constraints on Variscan and Cimmerian magmatism and metamorphism in the Pontides (Yusufeli–Artvin area), NE Turkey from U–Pb dating and granite

- geochemistry: In: Robertson, A.H.F., Parlak, O., Ünlügenç, U.C., (eds.), Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 372, 49–74.
- Vural A, ve Şahin E. (2012). Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolunda ağır metal kirliliğine ait ilk bulgular. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2, 21–35.
- Vural, A. ve Kaygusuz, A. (2019). Petrology of the paleozoic plutons in Eastern pontides: artabel pluton (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science* 8 (2), 1216–1228.
- Vural, A. ve Kaygusuz, A. (2021). Geochronology, petrogenesis and tectonic importance of Eocene I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* 14, 467. doi.org/10.1007/s12517-021-06884-z.
- Watson, E.B. ve Harrison, T.M. (1983). Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types, *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295–304.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. ve Chappell, B.W. (1987). A-Type granites, Chemical characteristics, discrimination and petrogenesis, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, 407–419.
- Wyllie, P.J. (1984). Constraints imposed by experimental petrology on possible and impossible magma sources and products. *Transition Royal of the Society London*, A310, 439–456.
- Yalçın, F., İlbeyli, N., Demirbilek, M., Yalçın, M.G., Güneş, A., Kaygusuz, A.,... Özmen, S.F. (2020). Estimation of Natural Radionuclides' Concentration of the Plutonic Rocks in the Sakarya Zone, Turkey Using Multivariate Statistical Methods. *Symmetry-Basel* 12, 1048. doi:10.3390/sym12061048.
- Yılmaz, A., Engin, T., Adamia S. ve Lazarashvili T. (1997). Geoscientific Studies of the Area Along Turkish-Georgian Border, Maden Tetkik Arama, Ankara.
- Yılmaz, C. (2002). Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimantolojik Kayıtları ve Kontrol Etmenleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 45, Sayı 1.
- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D. (1996). Space and time relations of three plutonic phases in the Eastern Pontides, Turkey, *International Geology Review*, 38, 935–956.
- Yılmaz, Y. (1972). *Petrology and structure of the Gümüşhane Granite and surrounding rocks, north-eastern Anatolia*. Unpublished PhD Thesis, University of London.

- Yılmaz, Y. (1976). Geochemical Study of The Gümüşhane Granite, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Mecmua Seri B, 39, 3-4 173–203.
- Yücel, C. (2013). *Trabzon-Giresun Arasındaki Tersiyer Volkanitlerinin Petroğrafisi, ⁴⁰Ar-³⁹Ar Jeokronolojisi, Petrokimyası, Sr-Nd-Pb İzotop Jeokimyası ve Petrolojisi*, Yayınlanmamış doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Yücel, C. (2019). Geochronology, geochemistry, and petrology of adakitic Pliocene–Quaternary volcanism in the Şebinkarahisar (Giresun) area, NE Turkey. *International Geology Rev* 61, 754–777.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu, E. (2014). Volcanic Facies and Mineral Chemistry of Tertiary Volcanics in the Northern Part of the Eastern Pontides, Northeast Turkey: Implications for Pre-eruptive Crystallization Conditions and Magma Chamber Processes. *Mineralogy and Petrology*, 108, 439–467.
- Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E. ve Giles, R. (2017). Evolution of K-rich magmas derived from a net veined lithospheric mantle in an ongoing extensional setting: Geochronology and geochemistry of Eocene and Miocene volcanic rocks from Eastern Pontides (Turkey). *Gondwana Research*, 45, 65–86.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Enes Atay, 2009 yılında Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Lisans öğrenimine başladı. 2018 yılında lisans öğrenimini tamamladıktan sonra, aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

