



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KALETAŞ-SÖĞÜTAĞIL-AKPINAR (GÜMÜŞHANE) YÖRELERİ
HİDROTHERMAL ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ATAY

**NİSAN 2016
GÜMÜŞHANE**

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

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KALETAŞ-SÖĞÜTAĞIL-AKPINAR (GÜMÜŞHANE) YÖRELERİ
HİDROTERMAL ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ATAY

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.03.2016

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 04.04.2016

NİSAN 2016

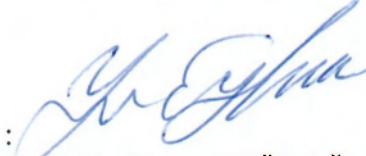


KABUL ve ONAY



Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI danışmanlığında **Uğur ATAY** tarafından hazırlanan **“KALETAŞ-SÖĞÜTAĞIL-AKPINAR (GÜMÜŞHANE) YÖRELERİ HİDROTERMAL ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: 
Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU

Üye (Danışman)

: 
Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI

Üye

: 
Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR

ONAY

Bu tez 20.04.2016 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

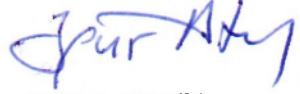
: 

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK 3501 kariyer projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 113Y186

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) Yörelere Hidrotermal Alterasyonların Modellemesi" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/03/2016


Uğur ATAY

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KALETAŞ-SÖĞÜTAĞIL-AKPINAR (GÜMÜŞHANE) YÖRELERİ HİDROTHERMAL
ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ**

Uğur ATAY

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI

2016, 78 sayfa

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) alterasyon sahaları Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin Güney Zon'u içinde yer almaktadır. Bu alanda taban kayaların andezitik-bazalt ve piroklastlarından oluşan Alibaba Formasyonu (Erken-Orta Eosen) oluşturmaktadır. Birim Orta Eosen yaşlı monzogranit, granodiyorit ve kuvars monzodiyorit bileşimindeki Kaletaş Granitoyidi tarafından kesilmektedir. Volkanitlerin, andezit ve bazaltik andezit bileşiminde kalk-alkali karakterde olduğu, aynı veya benzer manto kaynağından türedikleri tespit edilmiştir. Kaletaş Granitoyidi ise kalkalkalen özellik ve metalümin karaktere sahip, tektonik konuma göre I tipi volkanik yay graniti karakterinde olduğu belirlenmiştir.

Alibaba Formasyonu içinde gelişen alterasyonlar KB-GD ve yaklaşık D-B doğrultuya sahip kırık zonları ile ilişkilidir. Limonitleşme, hematitleşme, kloritleşme, killeşme ve silisleşme en karakteristik alterasyon türleridir

MINSQ yöntemine göre cevherli alterasyon zonunda kuvars, potasyumlu feldspat, serizit ± kaolen; propilitik zonunda ise baskın alterasyon minerali albite ilaveten epidot, demirli klorit, magnezyumlu klorit tespit edilmiştir. Nispi kütle değişim hesaplamalarına göre cevherli zonda K, Pb, Mo ve Au elementlerindeki artışa rağmen Ca, Na, Fe, Mg, Cu ve As elementlerinde azalma belirlenmiştir. Net kütle değişim hesaplamalarına göre ise cevherli zonda ise sadece K, Pb, Mo ve Au elementlerinde zenginleşmiştir.

Oksijen izotop analiz değerlerinin ‰ 5.6-10.0 aralığında, hidrojen izotop analiz değerlerinin ise ‰ -61 ile ‰ -71 aralığında değiştiği ve bu verilere göre alterasyonu oluşturan sıvıların magmatik su ve meteorik suyun karışımından oluştuğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Alterasyon, Altın, Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar, MINSQ, O-H izotopları

ABSTRACT
MS THESIS

**HYDROTHERMAL ALTERATION MODELLING OF KALETAŞ-SÖĞÜTAĞIL-
AKPINAR (GÜMÜŞHANE) REGIONS**

Uğur ATAY

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Enver AKARYALI

2016, 78 pages

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) alteration areas are situated in southern zone of Eastern Pontide Tectonic Unit. The Early-Mid Eocene age Alibaba Formation, which is comprised of andesitic-basalt and its pyroclastics, forms the basement rocks of the study area. This unit is cut by Mid-Eocene aged Kaletaş Granitoid body composed of monzogranite, granodiorite and quartz-monzodiorite. It is determined that the volcanics have andesitic and basaltic composition and own calc-alkaline character; and so they were derived from same or similar mantle source. It is also defined that Kaletaş Granitoid has calc-alkaline and metaluminous character; and hence according to tectonic setting they are of I-Type volcanic arc granites.

The alterations developed within Alibaba Formation are related to fractures having strikes of NW-SE and approximately E-W directions. Limonitization, hematitization, chloritization, argillitization and silicification are the most characteristic alteration types

According to the calculations of MINSQ method, quartz, K-feldspar, sericite \pm kaoline are the dominant alteration minerals in ore-carrying alteration zone; whereas albite is determined as the dominant alteration mineral in propylitic zone, along with epidote, Fe-chlorite and Mg-chlorite. Based on relative mass change calculations, it is determined that there is an increase in K, Pb, Mo and Au elements, but decreases observed in Ca, Na, Fe, Mg, Cu and As elements of mineralization zone. According to the results of net mass change calculations, enrichment is observed only in K, Pb, Mo and Au elements.

The calculated oxygen isotope values changes between 5.6 and 10.0 ‰, and that of hydrogen ranges in 61- 71 ‰; and according to these data it can be said that fluids formed the mineralization is made of mixing of magmatic and meteoric waters.

Keywords: Alteration, Gold, Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar, MINSQ, O-H isotopes

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu tez, TÜBİTAK 113Y186 nolu kariyer projesinin bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu bağlamda maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen çalışmayı yöneten ve destekleyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI' ya minnet ve şükranlarımı sunarım.

Özellikle arazi çalışmalarım sırasında her türlü olanaklardan yararlanmamı sağlayan MTA Trabzon Bölge Müdürlüğü Gümüşhane-Bayburt-Trabzon Kıymetli Metal (Au-Ag) ve Baz Metal (Cu-Pb-Zn) Sahalarının Belirlenmesini konu alan projenin sorumluları Jeo. Yük. Müh. Sebahattin GÜNER ve Jeo. Yük. Müh. Erdem N. YAZICI' ya teşekkür ederim.

Arazi ve büro çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen ve bu çalışmayı destekleyen TÜBİTAK projesinde araştırmacı olan sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR, Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER ile kıymetli meslektaşlarım Jeo. Müh. Mehmet FIRAT, Jeo. Müh. Enes TÜRK, Jeo. Müh. Halilİbrahim POLAT ve Jeo. Müh. Yasemin PULAT'a çok teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında laboratuvar imkânlarından faydalandığım Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve kesitlerimin hazırlanmasında emeği geçen değerli teknisyenimiz Kahraman Kaan DEDE' ye teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Uğur ATAY
Gümüşhane, 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım.....	1
1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü.....	2
1.4. Önceki Çalışmalar	3
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Arazi Çalışması	6
2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	7
2.3.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması.....	7
2.3.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması	7
2.3.3. Analitik Yöntemler	7
2.3.3.1. ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri	7
2.3.3.2. Kil Analizleri.....	8
2.3.3.3. Duraylı izotop analizleri.....	8
2.4. Büro Çalışması.....	9
3. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	10
3.1. Bölgesel Jeoloji.....	10
3.2. Çalışma Alanının Stratigrafisi.....	12
3.2.1. Alibaba Formasyonu	14
3.2.2. Kaletaş Granitoyidi	16
3.2.3. Traverten	21
3.3. Yapısal Jeoloji.....	21
3.3.1. Uyumsuzluklar	22
3.3.2. Çatlaklı Yapılar	22

3.3.3.	Faylar	22
3.4.	Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası	23
3.4.1.	Giriş.....	23
3.4.2.	Volkanik Kayaçların Kimyasal Sınıflandırılması	23
3.4.2.1.	Ana, İz ve Nadir Toprak Element Kimyası.....	27
3.4.2.2.	Tektonik Ortam	29
3.5.	Kaletaş Granitoyidi'nin Jeokimyasal Özellikleri	30
3.5.1.	Giriş.....	30
3.5.2.	Magmatik Kayaçların Kimyasal Sınıflandırılması	32
3.5.2.1.	Ana, İz ve Nadir Toprak Element Kimyası.....	34
3.5.2.2.	Tektonik Konum	35
3.6.	Yan Kayaçalarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar	37
3.6.1.	Silisleşme	40
3.6.2.	Serizitleşme.....	40
3.6.3.	Kloritleşme ve Hematitleşme.....	42
3.6.4.	Karbonatlaşma	43
3.6.5.	Killeşme	43
3.7.	Yan Kayaçalarda Tespit Edilen Element ve Kütle Değişimleri	45
3.7.1.	Mineral Değişim Hesaplamaları	45
3.7.1.1.	MINSQ Yöntemi.....	48
3.7.1.2.	Damara Dik Bir Hat Boyunca Alterasyon Mineral Değişimi	48
3.7.2.	Kütle Değişim Hesaplamaları	50
3.7.3.	Yan Kayaçalarda Meydana Gelen Kütle ve Kimyasal Değişimler	51
3.8.	Anomali Haritaları	61
3.9.	Duraylı İzotop Jeokimyası	62
3.9.1.	Oksijen ve Hidrojen İzotopları.....	62
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	66
5.	KAYNAKLAR	68
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 3.1.	Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri.	10
Şekil 3.2.	Gümüşhane ili ve çevresinin jeoloji haritası.	12
Şekil 3.3.	İnceleme alanının genelleştirilmiş kolon kesiti	13
Şekil 3.4.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar alterasyon sahasının jeoloji haritası.....	13
Şekil 3.5.	Çalışma sahasında genelde yeşilimsi griden açık beje kadar değişen renklerde gözlenen altere andezitlerin görünümü.	14
Şekil 3.6.	Andezit (A, B ve C) ve andezitik tüflerin (D) ince kesit görünümü.	15
Şekil 3.7.	Kaletaş Granitoyidi'nde gözlenen çatlaklı yapıların görünümü.....	16
Şekil 3.8.	Granitoyid içerisinde gözlenen mafik mikrogranüler anklav ile plajiyoklas, kuvars ve amfibol mineralleri.....	17
Şekil 3.9.	Kaletaş Granitoyidi'ne ait örneklerin modal analiz sonuçlarının QAP diyagramındaki dağılımları.	18
Şekil 3.10.	Kaletaş Granitoyidi'ne ait örneklerinin mikroskop altındaki görünümü	20
Şekil 3.11.	İnceleme alanında gözlenen traverten oluşumları	21
Şekil 3.12.	Granitoyid kütlelerinde gözlenen çatlak sistemleri.....	22
Şekil 3.13.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaların SiO ₂ 'ye karşı Na ₂ O+K ₂ O (TAS) diyagramı.	25
Şekil 3.14.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaların Nb/Y'ye karşı Zr/TiO ₂ *0.0001 diyagramı.....	26
Şekil 3.15.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayalarının AFM üçgen diyagramı.....	27
Şekil 3.16.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayalarının (a) SiO ₂ (%)'ye karşı K ₂ O (%) ve (b) Co karşı Th diyagramı.....	27
Şekil 3.17.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayalarının iz element dağılım diyagramları, (a) MORB'a göre, (b) kondirite normalize edilmiş NTE dağılımları	29
Şekil 3.18.	Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayalarının tektonik ortam diyagramları. (a) Nb (ppm)'ye karşı Nb/Th diyagramı. (b) Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramı. (c) Zr (ppm)'a karşı Ti (ppm) diyagramı.....	30
Şekil 3.19.	Kaletaş Granitoyidi örneklerinin P-Q diyagramındaki yerleri	33
Şekil 3.20.	Kaletaş Granitoyidi'ne ait kayaç örneklerinin a) AFM diyagramındaki yerleri, b) SiO ₂ 'e karşı K ₂ O diyagramı ve c) molar A/CNK' ya karşı A/NK değişimine bağlı olan alümino bazlı sınıflama diyagramları	33

Şekil 3.21. Kaletaş Granitoyidi kayacının; a) İksel manto, b) Kondirite göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılımları.....	34
Şekil 3.22. SiO ₂ 'ye karşı A/CNK (%) değişimleri	35
Şekil 3.23. a) SiO ₂ 'ye karşı Pb ve b) SiO ₂ 'ye karşı P ₂ O ₅ değişim diyagramları.....	35
Şekil 3.24. Kaletaş Granitoyidi kayaç örneklerinin Nb-Y (a) ve Rb-(Y+Nb) (b) diyagramlarındaki (Pearce vd., 1984) konumları	36
Şekil 3.25. Kaletaş Granitoyidi'ne ait kayaç örneklerinin Rb/10-Hf-Ta*3 ve Rb/30-Hf-Ta*3 (Haris vd., 1986) tektonik ortam ayırtman diyagramındaki konumları	36
Şekil 3.26. Söğütağıl-Kaletaş-Akpınar yöresindeki Eosen volkanikleri hidrotermal alterasyonlarının genel görünümü	38
Şekil 3.27. Alterasyon mineralojisini belirlemek için damara dik doğrultuda örnekleme yapılan kırık hattının görünümü	39
Şekil 3.28. Eosen yaşlı andezitlerde, ayrışmaların mikroskop altında çapraz nikeldeki görünümleri. (A) Kırık zonlarında kristalleşen kuvarslar, (B) Plajiyoklasların serizitleşmesi ve ikincil karbonatlaşma, (C) Kloritleşme ve opak mineral ilişkisi, (D) Silisleşme ve opak mineraller, (E) Plajiyoklasların serizitleşmesi ve opak minerallerin hematitleşmesi, (F) İkincil kuvarslar, opak minerallerin hematitleşmesi.....	41
Şekil 3.29. Andezitlerin serizitleşme indeksine (SI=K ₂ O/(K ₂ O+Na ₂ O)(%)) karşı; (a) (K ₂ O+Na ₂ O) (%) ve (b) SI'ya karşı CaO (%) diyagramındaki dağılımları	42
Şekil 3.30. Andezitlerin (a) Al ₂ O ₃ -MgO-(CaO+Na ₂ O+K ₂ O) üçgen diyagramındaki dağılımı, (b) K ₂ O'ya karşı CaO+Na ₂ O diyagramındaki konumları	42
Şekil 3.31. Eosen yaşlı volkanitlerin Alterasyon indeksine karşı (a) Na ₂ O ve (b) K ₂ O diyagramlarındaki dağılımları	43
Şekil 3.32. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahası kaolinit ve illitlerin difraktogramları.....	44
Şekil 3.33. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahalarında, örnekleme profilinde Hf-Zr arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram	52
Şekil 3.34. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon zonunda kırık hattına dik doğrultuda hesaplanan izokon diyagramları	54
Şekil 3.35. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar cevherleşmesine dik bir hat boyunca alınan örneklerin ortalamasına göre hesaplanan nispi (%) kütle değişim diyagramları.....	57
Şekil 3.36. En az altere kayaca göre ayrıışmış kayaçta hesaplama ve kayaçta nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayaçta oluşabilecek alterasyon minerallerini gösteren diyagramlar	58
Şekil 3.37. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar cevherleşmesine dik bir hat boyunca alınan örneklerin ortalamasına göre net (g/100g) kütle değişim diyagramları	60
Şekil 3.38. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahalarının anomali haritaları.....	62
Şekil 3.39. Jeoloji olarak bazı ortamların hidrojen izotop bileşimleri.....	63

- Şekil 3.40. Jeolojik bakımdan önemli çeşitli çözelti ve kayaçların SMOW'a oksijen izotop bileşimleri 64
- Şekil 3.41. Kaletaş-Söğütağ-İl-Akpınar yöresindeki alterasyon sahasından elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ (‰) ve δD (‰) izotop sonuçlarının, doğal çözeltilerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri (Taylor, 1974; Ohmoto, 1986) ve çalışma sahasındaki benzer maden yataklarının $\delta^{18}\text{O}$ (‰) ve δD (‰) izotop değerleri ile karşılaştırılması 64



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Kaletaş Granitoyidi'ne ait kayaçların modal analizleri	17
Tablo 3.2. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yörelerinde yüzeyleme veren volkanik kayaçların ana, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları	24
Tablo 3.3. Kaletaş yöresinde yüzeyleme veren granitoyidik kayaçların ana, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları	31
Tablo 3.4. Kırık hattına dik bir hat boyunca alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları	46
Tablo 3.5. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar cevherleşmesine dik bir hat boyunca alınan örneklerin tüm kayaç analizlerinden MINSQ yöntemiyle hesaplanan mineralojik bileşimler (%)	49
Tablo 3.6. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahası içerisinde kırık hatta dik bir hat boyunca alınan örneklerin ana ve iz elementler arasındaki korelasyon katsayıları (n=15, p <0.01).	51
Tablo 3.7. Huston (1993)'e göre nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri hesaplamalarına örnek veri dosyası	53
Tablo 3.8. Propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat için Huston (1993)'e göre hesaplanan C_i^S , nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri	55
Tablo 3.9. Temel istatistiksel parametreler	61

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AI	: Alterasyon indeksi
AK	: Ateşte kayıp
An	: Anortit
A.N.T.E.	: Ağır nadir toprak elementler
B.İ.Y.L.E.	: Büyük iyon yarıçaplı litofil elementler
CCPI	: Klorit-karbonat-pirit indeksi
C_i^A	: Ayrılmış kayaçtaki bir bileşenin konsantrasyonu
C_i^O	: Taze kayaçtaki bir bileşenin konsantrasyonu
C_i^S	: Ölçeklendirilmiş ayrılmış örnek konsantrasyonu
cm	: Santimetre
D.L.	: Dedeksiyon Limiti
g	: Gram
H.N.T.E.	: Hafif nadir toprak elementler
IAB	: Ada yayı bazaltı
ICP-AES	: İndüktif eşleşmiş plazma – atomik emisyon spektrometri
ICP-MS	: İndüktif eşleşmiş plazma – kütle spektrometri
K	: Potasyum
km	: Kilometre
LAI	: Lentz alterasyon indeksi
m	: Eğim
mm	: Milimetre
MORB	: Okyanus ortası sırtı bazalt
MTA	: Maden Tetkik Arama
Mu	: Muskovit
NTE	: Nadir toprak elementler
OIB	: Okyanus adası bazaltı
O.N.T.E.	: Orta nadir toprak elementler
Ppb	: Part per bilion (milyarda bir)
Ppm	: Part per million (milyonda bir)
r	: Korelasyon katsayısı
SI	: Serizitleşme İndeksi
Y.Ç.A.E.	: Yüksek çekim alanlı elementler
Δ	: Nispi ve net kütle değişim katsayıları
μ	: Mikron

1. GİRİŞ

Gümüşhane ili ve çevresi, metalik madenler ve endüstriyel hammaddeler bakımından önemli zenginliğe sahip bir bölgedir. Mastra Au Madeni (Aslan, 2011), Arzular Au Madeni (Akaryalı ve Tüysüz, 2013), Ünlüpinar Pb-Zn (Akaryalı ve Akbulut, 2016) Altınpinar (Akaryalı, 2016) başta olmak üzere, Midi Zn-Pb Madeni, Kaletaş, Olucak, Kırkpavli ve Hazine Mağara Cu (Au, Ag) cevherleşmeleri Gümüşhane ve civarında bilinen önemli yataklardır (Kahraman vd., 1984; Tüysüz vd., 1994; Tüysüz vd., 1995; Akçay ve Çavga, 1997; Çubukçu, 1998; Tüysüz ve Akçay 2000; Lermi 2003).

Bu tez çalışmasında araştırılan Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahası ile ilgili olarak ilksel çalışma MTA Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Söz konusu çalışma Güner vd., (1997) tarafından altın içeren zonun geometrisi oluşumu ve metal içeriğinin araştırılmasına yöneliktir. Bu amaçla yapılan detay jeolojik etüt (1/1000), tahkik ve detay jeokimya çalışmaları sonucunda Eosen yaşlı volkanotortul kayalar içinde silisifiye zonda 1-9 gr/t Au tespit edilmiştir. Altın potansiyelinin araştırılması için 1996 yılında başlatılan sondaj çalışmaları 1998 yılında tamamlanmış sahada 13 lokasyonda 15 adet toplam 1725.65 m. sondajlı çalışma gerçekleştirilmiştir (Güner vd., 1999).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasının bulunduğu alanda yapılan çalışmalar MTA tarafından yapılan yüzeysel jeokimyasal prospeksiyon çalışmaları ile sınırlıdır. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasının jeolojisi, volkanik ve magmatik kayaların petrografisi ve jeokimyası, alterasyonun kırık sistemleri ile olan ilişkisi, alterasyon mineralojisi, kil mineralojisi, yan kayalarda meydana gelen mineralojik ve kütleli değişimler ile sahanın altın potansiyelinin belirlenmesi ve hidrotermal çözeltilerin kökeninin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

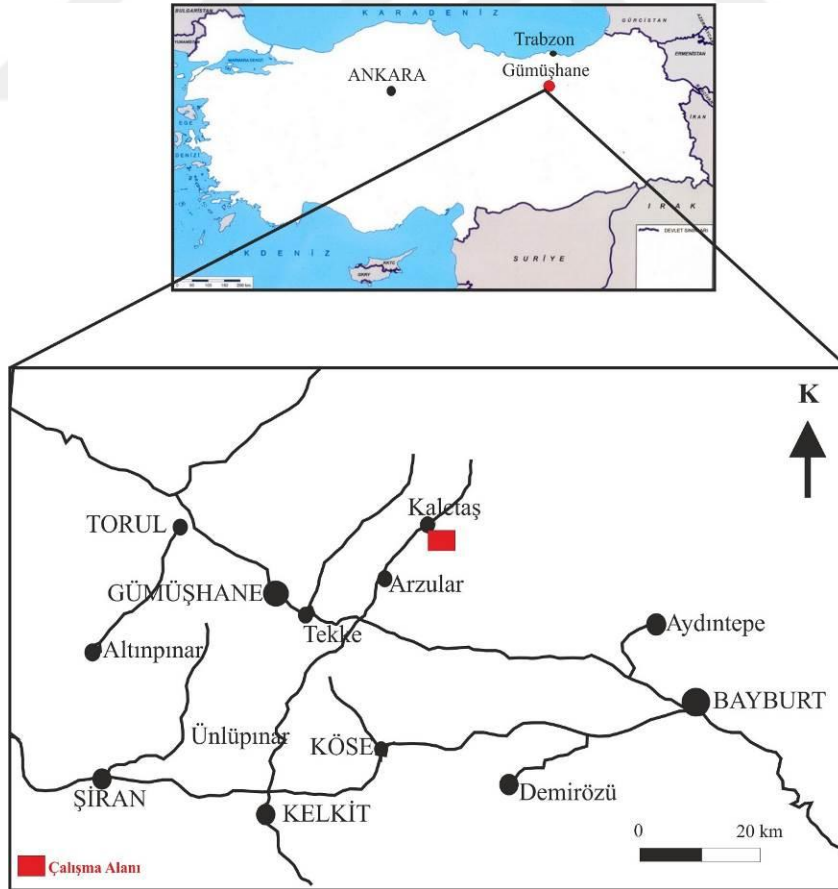
1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım

İnceleme alanı, Gümüşhane iline bağlı Kaletaş, Söğütağıl ve Akpınar Köyleri ve çevresinde yaklaşık 21 km²'lik bir alanı kapsamakta olup, Trabzon H43-a2 ve H43-b1

paftasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma sahasına ulaşım Trabzon-Erzurum karayoluna bağlı olarak Gümüşhane ili Arzular Beldesi üzerinden sağlanmaktadır. Köylere ulaşım ise asfalt ve stabilize yollar ile yapılmaktadır.

1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında en önemli yerleşim yerleri Kaletaş, Söğütağıl ve Akpınar Köyleridir. En önemli yüksekliklerini ise Kızıltaş Tepesi (1855m), Ayla Tepe (2454m), Peteklik Sırtı ve Furniya Sırtı oluşturmaktadır. Bitki örtüsü bakımından fakir olup, genellikle dere yatağı ve çevresinde kavak, meyve, çam ve meşe ağaçları görülmektedir. Çalışma alanının ve yörenin iklimi karasal iklimle denizel iklim arasında geçiş durumunda olup, bahar aylarında bol yağışlı, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır. Çalışma alanının en önemli akarsuları yaklaşık KB-GD uzanımlı olarak akan Büyük Dere'dir.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

1.4. Önceki Çalışmalar

Eren (1983); Kale (Gümüşhane) yöresindeki Liyas yaşlı birimlere ‘Zimonköy Formasyonu’ adını vermiş ve bu birimin Gümüşhane Graniti üzerine aşınma uyumsuzluğu ile geldiğini belirtmiştir.

Hacıoğlu (1983); “Kale-Vauk Dağı (Gümüşhane) arasında yaptığı çalışmada yörenin stratigrafisini ortaya koyarak, birimlerin alttan üste doğru Gümüşhane Graniti, Hamurkesen Formasyonu ve Berdiga Formasyonu’ndan oluştuğunu ve şiddetli tektonizmadan dolayı birimlerin genellikle kıvrımlı bir yapıda olduklarını belirtmiştir.

Kahraman vd., (1984); Gümüşhane yöresinin jeolojisine ve cevherleşmesine ait jeoloji raporu hazırlamıştır. Kahraman bu çalışmada bölgenin stratigrafisini belirlemiş ve aldığı dere sedimanlarından jeokimyasal değerlendirmeler yapmıştır.

Türk- Japon Ekibi (MTA, 1985); bölgede yapmış olduğu ‘Gümüşhane Yöresinde Ortak Mineral Arama Projesi’ adlı çalışmada, Köstere, Istala, Midi, Hazine Mağara, Mastra maden sahalarını da kapsayan 2800 km²’lik alanın 1/25000 ölçekli jeolojik harita alımı ile genel jeokimyasal prospeksiyon çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Yalçınalp (1992); Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Mo-Cu cevherleşmesinin yöredeki granit sokulumlarına bağlı olarak geliştiğini vurgulayarak Pontid Alt Bazik karmaşığı ve Zigana granitoidi içindeki kuvarslı mikrodioritler içinde gelişen maden yatağının stockwork ve saçınım şeklinde, Güzelyayla porfiri Cu-Mo yatağının mezotermal karakterde olduğunu ileri sürmüştür.

Güven (1993); İnceleme alanının da içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi’nin 1/25000 ölçekli haritasını hazırlamış, bölgede yapılan eski çalışmaları yeniden derleyerek Kuzey Anadolu Sıradağlarının doğu kesimi için ‘Kuzey Zon’ ve ‘Güney Zon’ diye iki farklı kolon kesit önermiştir.

Çubukçu (1998), Kaletaş’ta altın cevherleşmesinin KB-GD doğrultulu silisleşmiş, illitleşmiş ve organik maddece zengin bir zonda geliştiğini ve yapılan çalışmalarına göre cevherleşmenin sedimanter tip (Karlin tipi) bir epitermal altın yatağı olduğu ileri sürmüştür.

Aliyazıcıoğlu (1999); Kale yöresindeki ayrıntılı jeolojik ve jeokimyasal çalışmada, Alibaba Formasyonu’nu kendi içerisinde başlıca üç üyeye ayırmış ve ayrıca bölgede ilk kez Paleosen yaşlı birimlerin varlığından bahsetmiştir.

Kaygusuz (2000); Torul ve çevresinde yapmış olduğu doktora çalışmada, inceleme alanındaki Geç Kretase yaşlı volkanik ve plütonik kayaların kalk-alkalen özellikte olduklarını belirtmiştir.

Saydam (2002); doktora-tez çalışmasında bölgedeki Üst Kretase istiflerinin ayrıntılı, stratigrafik kesitlerini çıkartarak bu kayaçların oluşum koşullarını ve organik jeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur.

Kandemir (2004); Gümüşhane yöresinde çok sayıda lokasyonda Liyas yaşlı birimlerinden ölçülü stratigrafik kesitler alınmış, birimi en iyi yüzeyleme verdiği Şenköy yöresine izafeten “Şenköy Formasyonu” olarak isimlendirilmiştir.

Demir (2005); Istala Madeninde makroskobik olarak üç farklı barit türünün varlığını ortaya koymuştur ve bu baritlerden sıvı kapanım ölçümleri yaparak homojenleşme sıcaklıklarını bulmuştur. Yapılan sıvı kapanım çalışmaları sonucunda, siyah cevherin arasında bulunan barit bloklarının homojenleşme sıcaklıklarının 100-170⁰C aralığında, beyaz renkli iri kristali baritlerin homojenleşme sıcaklığının 150-220⁰C ve kırmızı baritlerin homojenleşme sıcaklıklarının 200-280⁰C olduğunu tespit ederek yatağın oluşum sıcaklığı bakımından epitermal-mezotermal aşamada oluştuğunu belirtmiştir.

Sipahi (2005); Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerin toleyitik-geçiş-kalkalkali özellikte ve volkanik yay ortamında geliştiğini ileri sürmüştür; dasitleri Dasit-I ve Dasit-II olarak adlandırmıştır. Ayrıca yapmış olduğu kütle değişim hesaplamalarında, genel olarak bazalt, andezit ve Dasit-I’ de kütle artması, Dasit-II ve andezit dayklarında kütle azalması meydana gelmiştir.

Karslı vd., (2007), Eosen yaşlı Dölek ve Sarıçiçek (Gümüşhane) plütonları üzerine yaptıkları jeokimya ve jeokronolojik çalışmalarına göre, plütonların hesaplanan hornblend jeobarometresine göre sığ derinliklerde (~5-9 km) yerleştiğini söylemişlerdir. İncelenen plütonların yaşlarının K-Ar yaşlandırmasıyla 42.7±2.21 ile 44.1±2.22 My arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Kaygusuz vd., (2008, 2010); Gümüşhane Torul İlçesinde yer alan Torul Granitoyidi üzerine yaptıkları jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalara bağlı olarak plütonun yaşını U-Pb zirkon yaşlandırması ile 78-80 my olduğunu belirtmişlerdir.

Kaygusuz vd., (2009); Gümüşhane Torul İlçesinde yer alan Sariosman Monzogranitinin yaşını U-Pb zirkon yaşlandırması ile 82 my olduğunu belirtmişlerdir.

Eyüboğlu vd., 2011a, Doğu Pontidlerin güney zonundaki adakitik sokulumların cevherleşme ile ilişkisi olmadığını, özellikle epitermal altın yatakları ile Gümüşhane-Bayburt-İspir hattının kuzeyindeki adakitik olmayan granitik sokulumlarla ilişkili olduğunu vurgulamışlardır.

Eyüboğlu vd., 2011b ve 2013, Doğu Pontidler’in Güney zonunda Eosen yaşlı granitik magmaların farklı iki seride oluştuğunu, birinci serinin adakitik sokulumlar olduğunu ve

Torul-Bayburt-İspir hattının güneyinde, ikinci serinin ise adakitik olmayan sokulumlar olduğunu ve Torul-Bayburt-İspir hattının kuzeyinde yüzeyleme verdiğini öne sürmüşlerdir.

Akaryalı ve Tüysüz (2013); Arzular yöresindeki altın cevherleşmesinin Eosen yaşlı andezitlerle ilişkili olduğunu, yapılan sıvı kapanım ve izotop çalışmalarında cevherleşmenin oluşum sıcaklığının 250°C olduğunu, cevherleşmenin kökeninin magmatik kayalarla ilişkili olduğunu, cevher oluşturan hidrotermal çözeltilerin yüzeysel kökenli sular olduğunu belirlemiştir.

Demir (2014); Kermut (Gümüşhane) yöresindeki alterasyon sahasında MINSQ hesaplamalarına göre; silisleşmelerden yan kayaca doğru kuvars, serizit, K'lu Feldspat, kaolinit, Fe klorit, albit, Mg klorit ve epidotu en yaygın gözlenen alterasyonun mineralleri olarak belirlemiştir.

Akaryalı (2016); Altınpınar (Torul-Gümüşhane) yöresinde Liyas yaşlı volkanikler içinde gelişen Pb-Zn cevherleşmesine yönelik yaptığı, sıvı kapanım, mineral kimyası ve duraylı izotop çalışmaları neticesinde cevherleşmenin magmatik kökenli epitermal damar tipi olduğunu belirtmiştir.

Akaryalı ve Akbulut (2016); Ünlüpınar yöresinde Eylence Yayla ve Emirkomu mevkiğinde gelişen Pb-Zn cevherleşmesi üzerinde yaptığı karbon, oksijen ve kükürt duraylı izotop çalışmalarına göre cevherleşmenin oluşumunu adakitik olmayan granitik kayalarla ilişkilendirmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışma kapsamında, inceleme sahasında yüzeyleme veren birimler stratigrafik adlama kuralları dikkate alınarak ayırt edilmiştir. Kaletaş Granitoyidi'nden alınan örneklerden jeokimyasal analizler yapılmış olup granitoyidi oluşturan kayaç türlerinin jeokimyasal özellikleri ve jeotektonik ortamları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Seçilen volkanik kayaçlar ile az altere ve altere kayaçlardan jeokimyasal analizler yapılmış ve elde edilen bulgular yardımıyla Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasında gözlenen hidrotermal alterasyonların kütle değişim hesaplamalarına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca alterasyon mineralojisini belirlemeye yönelik kil analizleri ile cevher oluşturan çözeltilerinin kökenini belirlemeye yönelik oksijen ve hidrojen izotop analizi çalışmaları yapılmıştır. Buna bağlı olarak tez kapsamında yapılan çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç ayrı safhada gerçekleştirilmiştir.

2.2. Arazi Çalışması

Arazi çalışmaları sırasında; Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasının içinde bulunduğu H43-a2 ve H43-b1 paftasında bulunan ve takribi 21 km²'lik bir alan içinde gözlenen litolojik birimlerin belirlenmesi, stratigrafik dizilim sırasının ortaya konması ve yapısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar neticesinde formasyon sınırları haritaya işlenmiş ve Güven (1993) tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli jeoloji haritası kısmen modifiye edilmiştir.

Çalışma kapsamında amaca yönelik olarak yapılan örnek alım işlemleri, birimleri temsil eden kayaçlardan petrografik ve kimyasal analiz amaçlı örneklerin alınması ile başlamıştır. Çalışmanın asıl konusunu oluşturan yan kayaçlarda meydana gelen kütleli ve kimyasal değişimleri belirlemeye yönelik örnek alım işlemi ise makroskobik olarak gözlenen dokusal özelliklerin not edilmesi ile başlamıştır. Detay olarak yapılan örnekleme çalışmaları ise, yüzeyde kırık hattına dik doğrultuda belli bir hat boyunca sistematik olarak altere ve az altere kayaç örneklerinin alınmasını kapsamaktadır. Örnekleme sırasında makroskobik gözlemlere dayalı olarak örnek sayısı artırılmış veya azaltılmıştır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

2.3.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasından derlenen kayaçların, petrografik, mineralojik ve alterasyon mineralojisi özelliklerini belirlemeye yönelik ince kesitler, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. İnce kesit hazırlama esnasında kayaçlardan alınan 0.5x2x4 cm boyutundaki plakacıklar, bir yüzeylerinin pürüzlülükleri giderildikten sonra 1 mm kalınlığında 2.5x5 cm boyutundaki cam üzerine Kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan kayaç, dereceli aşındırıcılar yardımıyla 0.025 mm kalınlığa kadar inceltilerek petrografik tayin için hazır hale getirilmiştir.

2.3.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması

İnceleme alanından sistematik olarak alınan örneklerin, petrografik incelemeleri tamamlandıktan sonra, seçilen örneklerden ana, iz ve nadir toprak element analizi, değerli metal analizi yapılmıştır. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde, 250-300 g kayaç örnekleri çeneli kırıcıda parçalandıktan sonra, Tungsten-karbitten yapılmış halkalı öğütücülerde 200 mesh boyutuna kadar öğütülmüş ve çeyrekleme yöntemi ile yaklaşık 40-50 g toz örnek kimyasal analiz için ayrılmıştır.

2.3.3. Analitik Yöntemler

2.3.3.1. ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri

Tez çalışmasına yönelik taze ve altere kayaç örneklerinin kimyasal analizleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (KANADA)'da gerçekleştirilmiştir. İnceleme sahasında yüzeyleyen Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu'na ait volkanik kayaçların sınıflandırılması, kökeni ve jeodinamik ortamının saptanması amacıyla yönelik olarak 9 adet kayaç örneği ile alterasyon zonuna dik doğrultuda sistematik olarak alınan 15 adet az altere ve altere kayaç örneklerinin ana element analizleri; ICP-AES (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometri) yöntemi ile aynı örneklerin iz ve nadir toprak element analizleri ise İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile analiz edilmiştir.

ICP-AES analiz yönteminde, bir örnekte bulunan elementler atomlaştırma denilen bir işlemle buhar haline getirilerek atomlarına dönüştürülür. Akabinde ise buhar içindeki atomik türlerin emisyonunun ölçümleri yapılır (Thompson ve Walh, 1983). Ana element analizleri için 0.2 g örnek 1.5 g LiBO_2 'de eritilmiş ve %5'lik 100 mL HNO_3 içinde çözündürülmüştür. ICP-MS yöntemi ise 0.25 g toz örnek üzerinde gerçekleştirilir. Analiz edilecek örnekler ICP hamlacı ile atomlaştırılır, iyonlaştırılır ve kütle /yük oranına göre ayrılan iyonların sayımı ile sayısal sonuçlar elde edilir (Jenner vd., 1990). Örnekler, karbon içeriklerinin uçurulması için 200 °C de 100 mL HClO_4 - HNO_3 - HCl - HF çözeltisinde köpürmeleri gidinceye kadar bekletilmiştir. Metalleri çözmek amacıyla 10 mL kral suyu (3HNO_3 - HDHCl) ile sulandırılarak bekletilen numuneler, seyreltililip, filtrelendikten sonra analiz edilmişlerdir.

2.3.3.2. Kil Analizleri

Kil analizlerinin hazırlanması, Gündoğdu ve Yılmaz (1984) tarafından verilen yöntem vasıtasıyla yapılmıştır. Kırma, öğütme, kimyasal çözme ve kil fonksiyonunun kazanılması işlemleri söz konusu yöntemin başlıca iş akım şemasını oluşturmaktadır.

Örnekler 2-3 cm boyutlarında kırıldıktan sonra örneklerin boyutlarının 0.5–1 cm büyüklüğüne kadar gelmesi sağlanır. Daha sonra, örnekler, halkalı öğütücüde boyutları 5 – 10 μm 'nin altına düşmeyecek şekilde öğütülür ve kimyasal çözme işlemi ile kil olmayan minerallerin atılması sağlanır. HF ilavesi ile numunede bulunması muhtemel amorf silis ortamdan atılmış olur. Kimyasal işlemlerin sonunda örnekler saf su ile yıkanır. Stokes Kanununa göre kil boyutundaki malzemenin elde edilmesinden sonra süspansiyondan pipet yardımıyla bir miktar örnek cam plaka üzerine damlatılarak havada kurumaya bırakılması ile yönlü örnek hazırlanmış olur.

2.3.3.3. Duraylı izotop analizleri

Oksijen ve Hidrojen izotop analizleri serizit minerali üzerinde ACTLAB (Kanada)'da yaptırılmıştır.

Hidrojen izotop analiz yönteminde ilk olarak, 0.02-1 g arası molibden folyo ile sarılarak platinden yapılmış düzeneğe yerleştirilerek örneğin ilk olarak nemi alınır. Bu işlem 120 °C'de 4 saat bekletilerek gerçekleştirilir. Daha sonra 400 °C'de 20 dakika bekletilen örnekten çıkan gazlar toplanarak -196 °C'de saklanır. Bu işlemlerin neticesinde açığa çıkan moleküler

hidrokarbon veya hidrojen 550 °C'de bakır oksit kullanılarak H₂O ve CO₂'ya dönüştürülür. Elde edilen su var olan dondurma tekniklerinin kullanılması ile içerisindeki diğer gazlardan arındırılır ve 900 °C'de uranyumla reaksiyona sokularak H₂ gazı elde edilir ve izotop oran kütle spektrometresi kullanılarak ± 0.2 ağ. % hassasiyetle yapılan ölçümler V-SMOW standardına göre hesaplanır. Bu yöntemle tekrarlanan analizlerin doğruluğu ± 3 ‰'tür.

Oksijen izotop analizlerin yapılmasında numuneler ilk önce BrF₅ ile birlikte 650 °C'de nikel tüpler içerisinde reaksiyona sokulur ve oluşan tepkime neticesinde mineraldeki oksijen O₂ gazına dönüşür. Oksijen gazı sıcak karbon çubuklar ile karbondioksit gazı olarak toplanır. Çift girişli Finnigan MAT Delta izotop oran kütle spektrometresi kullanılarak izotop analizi gerçekleştirilir. Standart Mean Ocean Water (SMOW) standardına göre hesaplanan izotop ölçümlerinin ölçüm hassasiyet sınırı tekrarlanan analizlere göre 0.19 ‰'dir.

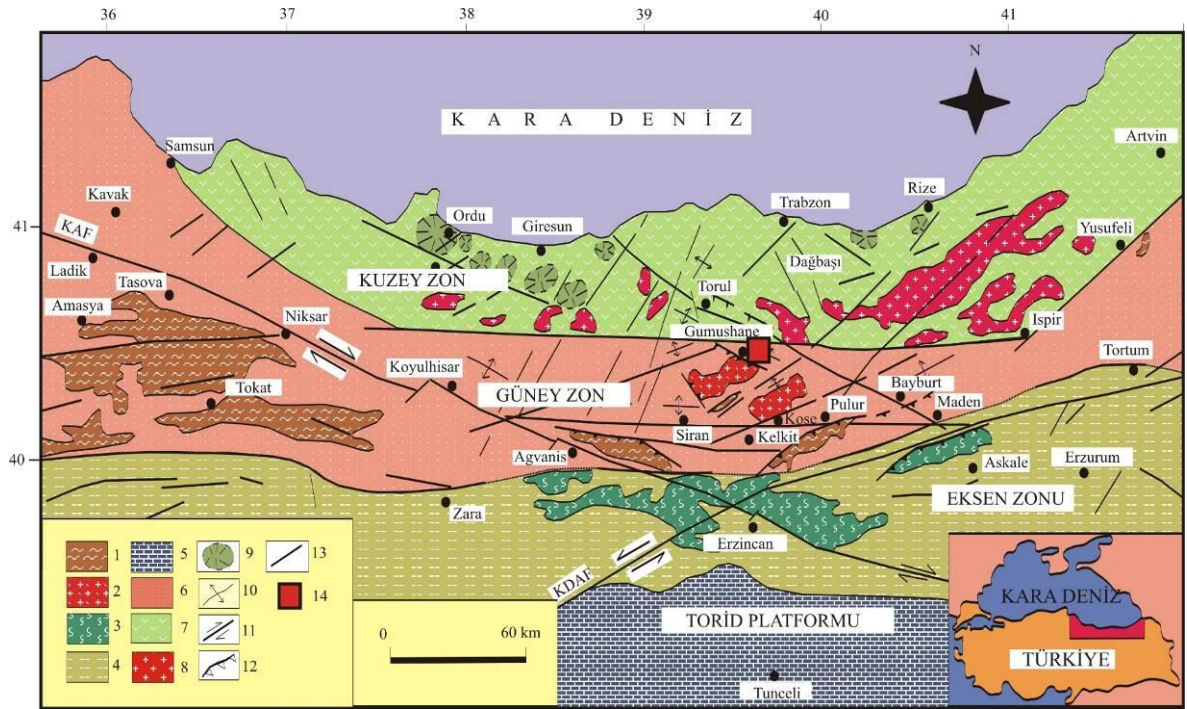
2.4. Büro Çalışması

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen veriler büro çalışmaları sırasında değerlendirilerek Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına göre tezin yazımı gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Bölgesel Jeoloji

Doğu Pontid Tektonik Birliği, bölgede gözlenen kayaçların sedimentolojik, tektonik ve magmatik özelliklerine bağlı olarak; Kuzey, Güney ve Eksen Zon olmak üzere üç alt birliğe ayrılır (Bektaş vd., 1995; Eyuboglu vd., 2006; Eyuboglu vd., 2015a, Şekil 3.1).



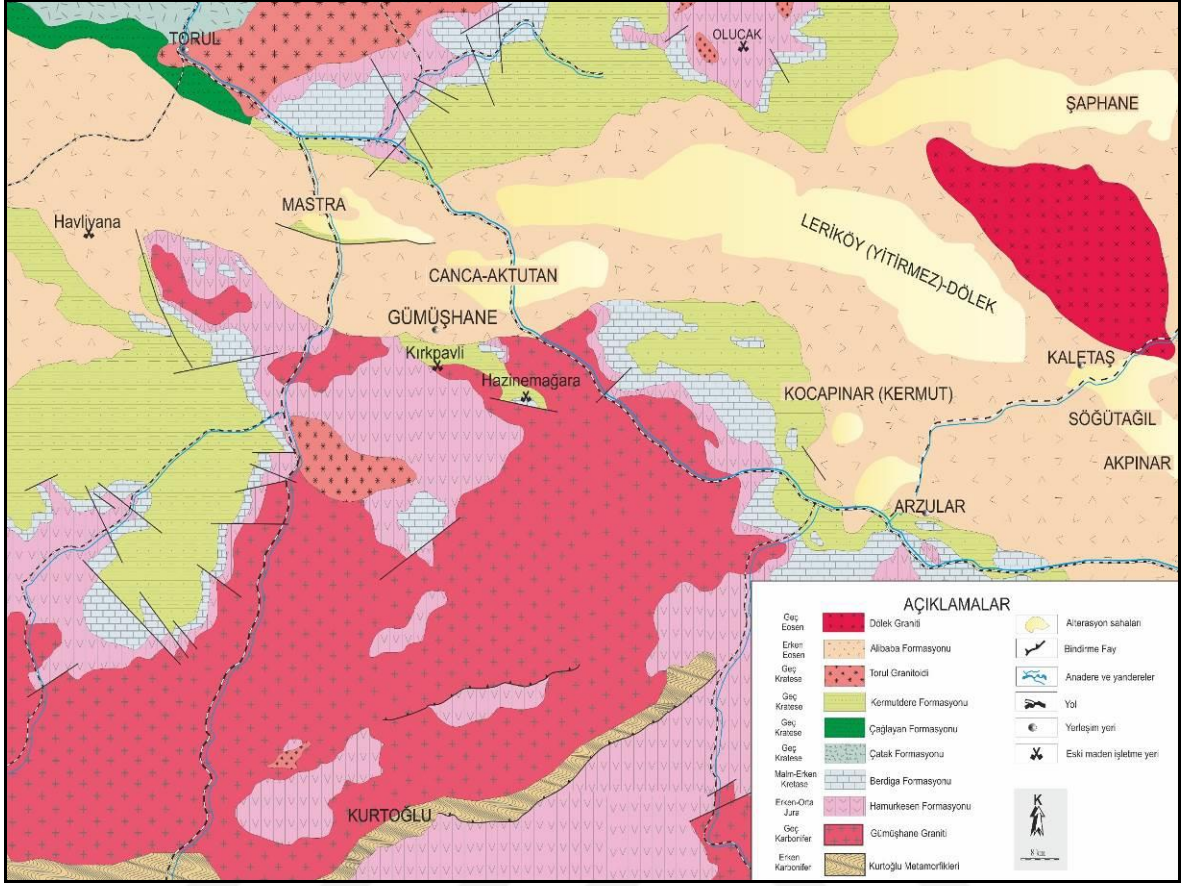
Şekil 3.1. Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri. (1) Paleozoyik metamorfik taban, (2) Paleozoyik granitleri, (3) Manto peridotitleri, (4) Mesozoyik ve Senozoyik kayaçları, (5) Karbonatlar, (6) Mesozoyik ve Senozoyik sedimanter kayaçları, (7) Geç Kretase ve Eosen yaşlı yay volkanikleri, (8) Eosen granitleri, (9) Kaldera veya dom, (10) Kıvrım eksenini, (11) Doğrultu atımlı fay, (12) Bindirme fayı, (13) Tanımlanmamış fay (14) Çalışma alanı (Eyüboğlu vd. 2006'dan alınmıştır).

Kuzey zon genel olarak Geç Kretase volkanikleri, Tersiyer volkanikleri ve granitik kayaçları ile Gabroyik kayaçlar ile temsil edilmektedir (Kaygusuz ve Aydınçakır, 2011; Aydınçakır ve Şen, 2013; Aydınçakır, 2014; Kaygusuz vd., 2014; Eyuboglu vd., 2015a). Güney Zon, başlıca Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı sedimanter kayaçları, Pulur, Ağvanis ve Tokat metamorfik masiflerini, Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane ve Köse Granitoidlerini

(Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011), ultramafik intrüzyonları (Eyüboğlu vd., 2010), Geç Kretase yaşlı Şoşonitik ve ultrapotasik volkanikleri, Erken Eosen yaşlı adakitik intrüzyonları (Topuz vd., 2005; Karşlı vd., 2010; Eyuboglu vd., 2011a) Orta-Geç Eosen yaşlı bazaltik-andezitik volkanik kayaçları içine alır (Eyüboğlu vd., 2010). Eksen zon ise geniş ultramafik küteller ile Orta-Geç Kretase yaşlı ofiyolitik sedimanter melanaj ile karakteristiktir (Eyuboglu vd., 2007 ve 2015b).

Çalışma alanının bulunduğu Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) yöresi bu tektonik birliğin Güney Zonu'nda yer almaktadır (Şekil 3.2). Bölgenin en yaşlı birimini mikaşist, gnays, fillat ve bunları kesen metagranitik dayklardan oluşan Kurtoğlu Metamorfikleri oluşturur (Topuz vd. 2007). Taban kayaçları başlıca granodiyorit, granit, kuvarşlı mikrodiyorit ve dasitlerden oluşan ve Gümüşhane Graniti (Yılmaz, 1973), Gümüşhane Plütunu (oğulu, 1975) ve Köse Granitoyidi (Dokuz, 2011) gibi değişik isimlerle adlandırılan Geç Karbonifer yaşlı felsik küteller tarafında kesilir. Doğu Pontidler'in Hersinyen tabanını temsil eden bu felsik küteller, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter istifden oluşan Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) tarafından uyumsuz olarak örtülür. Yapılan son çalışmalar göstermiştir ki, Şenköy Formasyonun taban birimleri Aaleniyen-Bajosiyen yaşlı granitik ve kuvars diyoritik intrüzyonlar tarafından kesilmiştir (Eyüboğlu vd., 2015b). Geç Jura'dan itibaren Alt Kretase sonuna kadar süren dönem, magmatik ve tektonik açıdan oldukça duraylı olup, bu dönemde tüm bölgede olduğu gibi inceleme alanında da karbonatlı kayaçların çökeli mi egemendir (Berdiga Formasyonu; Pelin, 1977).

Geç Kretase dönemi ince tabakalı ve felsik tüfler içeren Kermutdere Formasyonu (Tokel, 1972) ile temsil edilir. Felsik tüfler üzerinde yapılan U-Pb zirkon çalışması göstermiştir ki, tüfler Kampaniyen döneminde karbonat platformu üzerinde ökelmiiştir (Eyüboğlu, 2015). Senozoyik öncesi bu birimler Erken Eosen yaşlı Adakitik porfirler tarafından kesilir (Karşlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2011a ve 2013b) ve uyumsuz olarak andezit-bazalt lav ve bunların piroklastiklerini içeren geçen Alibaba Formasyonu (Tokel, 1972) tarafından örtülür. Tüm birimler yaşları henüz belirlenememiş bazaltik dayklar tarafından kesilir.



Şekil 3.2. Gümüşhane ili ve çevresinin jeoloji haritası (Güven, 1993'den değiştirilerek).

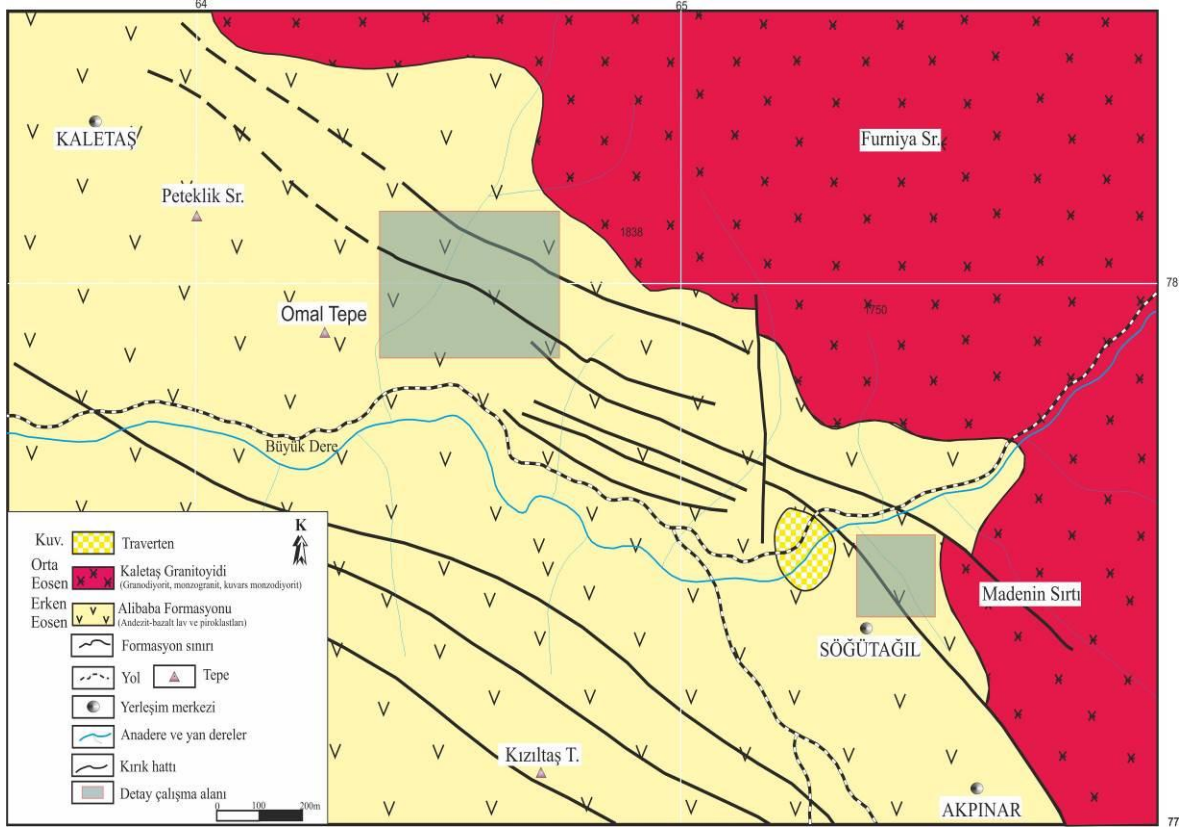
3.2. Çalışma Alanının Stratigrafisi

İnceleme alanı Anadolu'nun büyük tektonik kuşaklarından Karadeniz (Pontid) Tektonik Kuşağı (Ketin, 1966) içinde olup bu kuşağın Güney Zonu'nda yer almaktadır. Çalışma alanındaki haritalama işlemi litostratigrafik adlandırma kuralları göz önüne alınarak yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanındaki birimlere ait kolon kesit ve jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). İnceleme alanında yayılım gösteren litostratigrafik birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibidir.

1. Alibaba Formasyonu (Erken Eosen)
2. Kaletaş Granitoyidi (Orta Eosen)
3. Traverten (Kuvaterner)

ÜST SİSTEM		SİSTEM		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUV.	NEOJEN	ORTA EOSEN	KALETAŞ GRANİTOYIDI		
SENEZOYİK		TERSİYER		ALİBABA	Andezit-bazalt ve piroklastları
ERKEN EOSEN	ORTA EOSEN	KALETAŞ GRANİTOYIDI	FORMASYON		
				Traverten	
				Monzogranit, granodiyorit ve kuvars monzodiyorit	
				Andezit-bazalt ve piroklastları	
Ölçeksizdir					

Şekil 3.3. İnceleme alanının genelleştirilmiş kolon kesiti

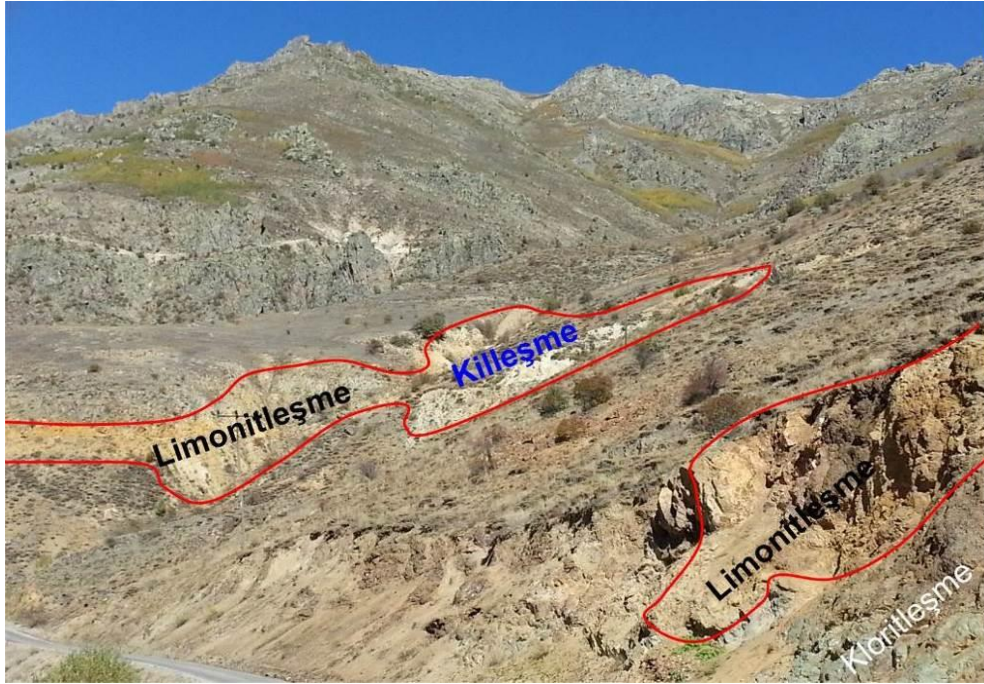


Şekil 3.4. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasının jeoloji haritası (Çubukçu, 1998 ve Güner ve Yazıcı, 2011'den değiştirilerek).

3.2.1. Alibaba Formasyonu

Gümüşhane yöresinde ilk kez Tokel (1972) tarafından adlandırılmış olan Alibaba Formasyonu, çalışma alanında en yaygın yüzeyleme alanına sahip olan birimdir. Alibaba Formasyonu Kaletaş Köyü, Söğütağıl Köyü, Akpınar Köyü ve Peteklik Sırtı bölgelerinde yaklaşık olarak 16 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.

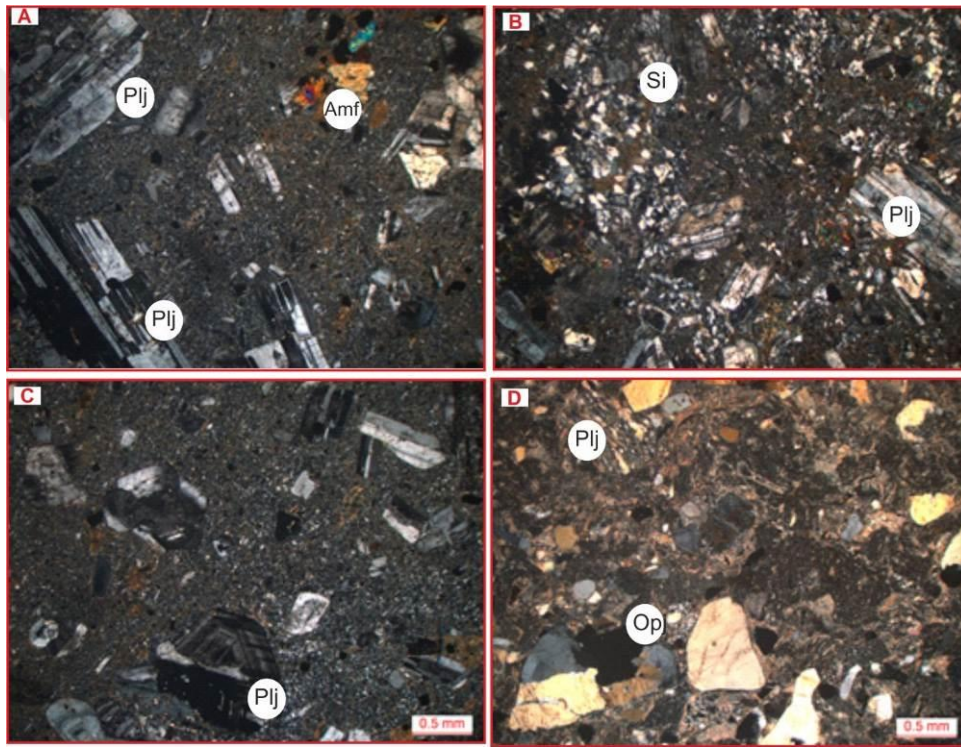
Alibaba Formasyonunda gözlenen andezitler bu birim içinde gözlenen volkanik ürünlerin en yaygın türüdür. Birim, çalışma sahasında genelde yeşilimsi griden açık beje kadar değişen renklerde olup, farklı derecelerde alterasyona maruz kalmışlardır (Şekil 3.5). Sahada kırık zonları ve çevresinde hidrotermal alterasyon ürünü olarak; silisleşme, killeşme, limonitleşme, kalsitleşme ve kloritleşme tespit edilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışma sahasında genelde yeşilimsi griden açık beje kadar değişen renklerde gözlenen altere andezitlerin görünümü (Kaletaş-Söğütağıl yol ayrımı).

İnce kesit incelemeleri sonucu Eosen yaşlı andezitlerin ve andezitik tüflerin mikrolitik ve mikrolitik porfirik dokuda olduğu, plajiyoklaslar; %65-70 oranında iri kristal ve mikrolitler halinde öz şekilli ve yarı öz şekilli olarak bulunurlar. Bazı plajiyoklaslar çatlaklı, kenarları kırıklı yapıda olup serizitleşmişlerdir (Şekil 3.6A ve C). Bazı

plajiyoklaslarda zonlanma (Şekil 3.6C), bazılarında da albit ikizlenmesi görülmektedir. Albit ikizlenmesi belirgin olan plajiyoklasların sönme açılarına göre yapılan cins tayininde andezin (An_{32-34}) oldukları belirlenmiştir. Amfibol, %3-5 oranında da, bazen plajiyoklas lataları arasında kısmen iri, çoğunlukla hamur içerisinde mikro kristal kalıntıları şeklinde öz şekilsiz olarak %10-15 oranında gözlenmektedir (Şekil 3.6A). Opak mineraller, kayaç içinde düzensiz olarak, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz taneler halinde %10 oranında bulunmaktadır (Şekil 3.6D). Hamur ise plajiyoklas, amfibol ve alterasyon minerallerinin mikro kristallerinden oluşmaktadır yer yer ikincil silisleşmeler gözlenmektedir.



Şekil 3.6. Andezit (A, B ve C) ve andezitik tüflerin (D) ince kesit görünümü (Plj: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Op: Opak mineral, Si: Silisleşme).

Çalışma sahasında Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu, Geç Kretase yaşlı Kermtudere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 3.2). Birimi Kaletaş Granitoyidi uyumsuz olarak kesmektedir. Üst sınırı ise travertenler tarafından uyumsuz olarak örtülür. İnceleme alanındaki çalışmalarda Alibaba Formasyonu'na ait hiçbir fosil bulgusuna rastlanmamıştır. Alibaba Formasyonu'nun üyesi olan volkanik birimlerinde yapılan U-Pb yaşlandırma analizleri sonucunda (44.68 ± 0.84 my) Eosen yaşı elde edilmiştir (Eyüboğlu vd., 2013). Alibaba Formasyonu Gümüşhane yöresinde Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu

(Tokel, 1972) ve Eosen yaşı Venkyayla Formasyonu (Türk-Japon Ekibi, 1985) ile hem litolojik hem de stratigrafik olarak deneştirilebilir.

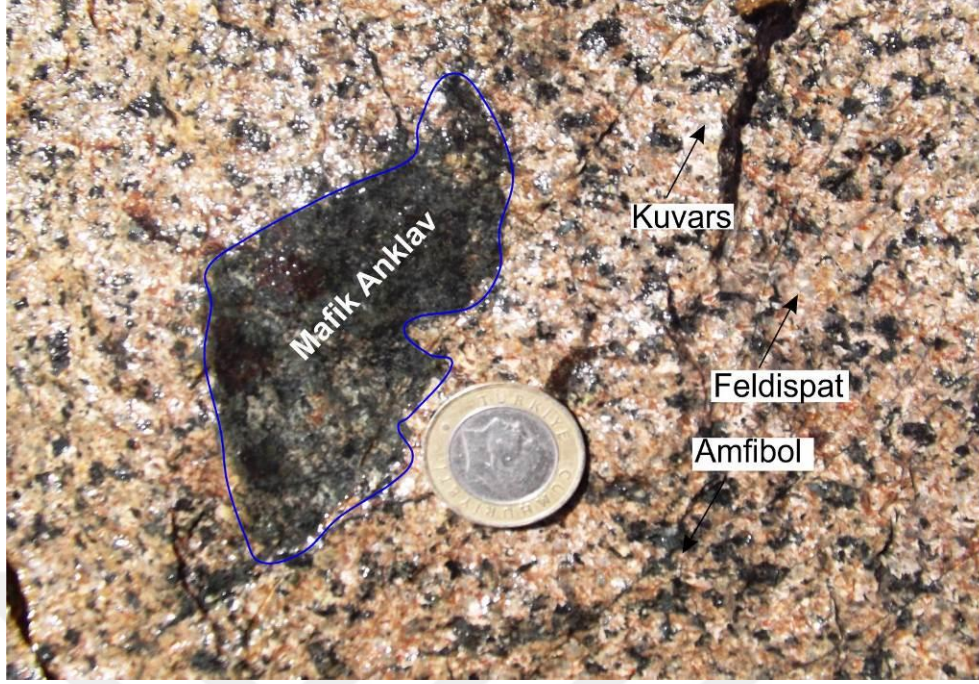
3.2.2. Kaletaş Granitoyidi

Çalışılan sahada yüzeyleme veren granitoyid kütlesi literatürde Dölek Plütunu (Karslı vd., 2007) olarak bilinmektedir. Granitoyidin en iyi yüzeyleme verdiği alan inceleme sahasında Kaletaş Köyü ve çevresinde olduğundan bu birim tarafımızdan Kaletaş Granitoyidi olarak adlandırılmıştır. Birim Kaletaş Köyü, Büyük Dere, Kızıldaş Tepesi ve çevresinde yaklaşık 5 km² lik bir alanda yüzeyleme vermektedir.

Çalışma alanında, dik bir topoğrafyada gözlenen granitoyid oldukça çatlaklı (Şekil 3.7) ve gri pembemsi renklidir. Makroskobik olarak plajiyoklas, kuvars ve amfibol mineralleri (Şekil 3.8) rahatlıkla görülebilmektedir. Birimde gözlenen granitoyid genel olarak KD-GB ve yaklaşık DB doğrultulu çatlak sistemine sahip olup çatlak araları kil dolguludur. Bunun yanı sıra sahada, granitoyidi kesen andezit daykları ile granitoyid içerisinde mafik mikrogranüler anklavların (Şekil 3.8) varlığı gözlenmiştir.



Şekil 3.7. Kaletaş Granitoyidi'nde gözlenen çatlaklı yapıların görünümü (Söğütağıl Köyü KD'su).

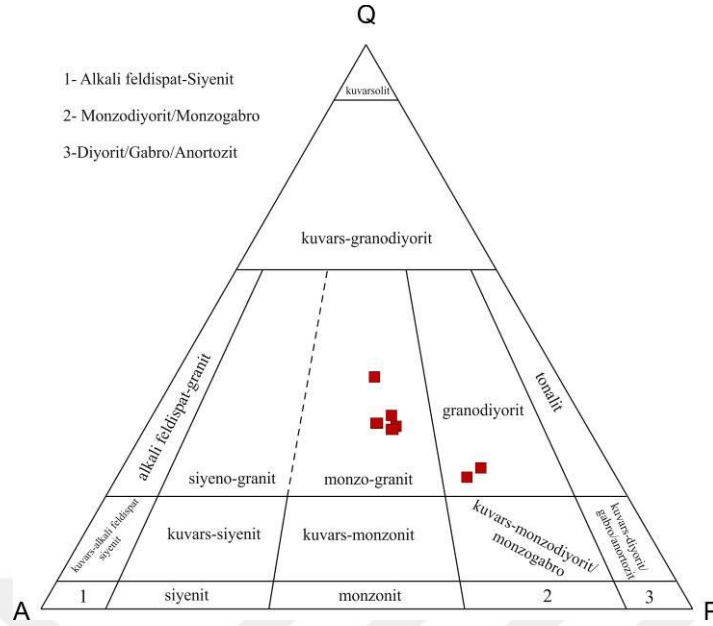


Şekil 3.8. Granitoyid içerisinde gözlenen mafik mikrogranüler anklav ile plajiyoklas, kuvars ve amfibol mineralleri

Kaletaş Granitoyidi'nden alınan örneklerden ince kesitlerin üzerinde modal analiz yapılmıştır. Yapılan modal analiz sonucunda QAP diyagramına (Streckeisen, 1976) aktarıldığında granitoyidin, granodiyorit ve monzogranit bileşimli kayalardan oluştuğu görülmektedir (Tablo 3.1; Şekil 3.9).

Tablo 3.1. Kaletaş Granitoyidi'ne ait kayaların modal analizleri

Örnek No	Kuars	Ortoklas	Plajiyoklas	Opak	Biyotit	Amfibol
KG-1	24.20	21.42	28.45	14.00	12.40	1.00
KG-2	17.40	17.75	38.93	9.33	16.83	1.00
KG-3	31.33	21.50	23.50	11.17	12.50	0.00
KG-4	28.67	24.33	30.67	6.50	9.83	0.67
KG-5	24.67	24.33	27.17	13.33	8.50	2.00
KG-6	25.17	23.83	30.17	12.83	7.33	0.67
KG-7	19.25	15.12	41.43	17.33	6.67	1.00

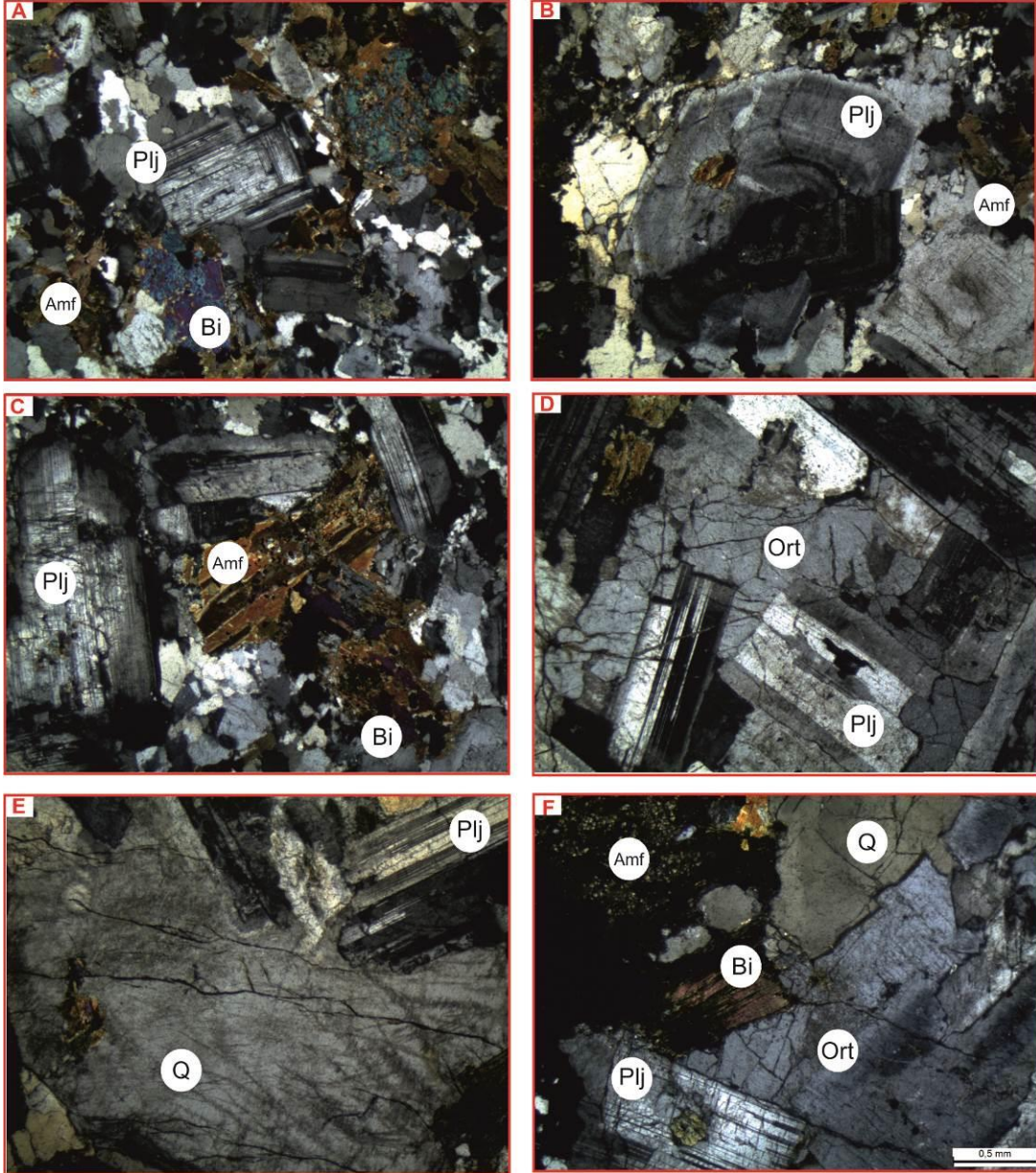


Şekil 3.9. Kaletaş Granitoidi'ne ait örneklerin modal analiz sonuçlarının QAP diyagramındaki dağılımları (Streckeisen, 1976).

Orta-iri taneli olan granodiyoritlerin ana bileşenlerini plajiyoklas (%52), alkali feldispat (%20), kuvars (%18), biyotit (%4), amfibol (%3), ile az miktarda opak ve piroksen mineralleri oluşturmaktadır. Kayaç genel olarak granüler doku göstermekle beraber yer yer intergranüler ve özellikle kuvars ile feldispat mineralleri arasında gelişmiş reaksiyon dokuları da (mirmekitik veya grafik dokusu) görülmektedir. Alkali feldispat miktarı yüksek olan örneklerde kayaç tamamen grafik doku göstermektedir (Şekil 3.10 A, B ve C). Plajiyoklaslar genellikle yarı öz şekilli prizmatik yer yer ise yarı öz ve öz şekilli kristaller şeklinde gözlenir. Prizmatik plajiyoklaslarda ikizlenmeler oldukça belirgin olarak izlenebilmektedir. Bazı plajiyoklaslar mineral kapanımları (biyotit, amfibol gibi mineraller) ve serizitleşme gibi ikincil oluşumlar gözlenmesine karşın genel olarak taze bir görünüm sergilemektedirler. Çoğunlukla enine gelişmiş çatlak ve kırıklar ile bazı plajiyoklaslarda deformasyon izine işaret eden eğilmeler ve bükülmeler gözlenmektedir. 001 yüzeyine paralel olan plajiyoklas kristallerinde ise zonlu dokular gelişmiştir. Çift nikelde tablanın çevrilmesiyle birlikte merkezden kenara doğru dereceli sönme gösterirler. Bazı plajiyoklas kristallerinde kuvars sınırlarında reaksiyon dokular izlenebilmektedir. Kuvars, genellikle ince-orta taneli öz şekilsiz olarak gelişmişlerdir. Feldispat minerallerine benzemelerine karşın tek optik eksenli pozitif olmalarından kolaylıkla ayırt edilmektedir. Yer yer feldspatlarla reaksiyona girip grafik ve mirmekitik dokuları oluştururlar, bazı

kuvarslar çatlaklı olup deformasyon işaretleri gözlenen hafif dalgalı sönme gösterirler. Alkali feldspatlar, kayalarda genellikle öz şekilsiz gelişmiş olup çoğunlukla serizitlemişlerdir. Bazı örneklerde tamamen reaksiyona girdiklerinden sınırları belirgin değildir. Biotit, genellikle yarı öz şekilli yer yer ise öz şekilsiz gelişmişlerdir. Kahverengi tonları ve açık sarıdan kahveye değişen pleokroizma ile tanınırlar. Tek yönlü dilinimleri belirgin olup dilinim izlerine göre paralel sönme göstermektedir. Bazı biyotit kristalleri aksesuar zirkon kapanımları içermekte olup etrafında reaksiyon haleleri gelişmiştir. Çoğunlukla amfibol ve opak mineralleri ile birlikte bulunmaktadır. Amfibol, kayalarda çok yaygın olmamakla birlikte yarı öz şekilli prizmatik kristaller halinde gözlenmektedir. Açık yeşil renk tonu, açık sarıdan yeşile dönüşen pleokroizması ile ayırt edilir. Biotit ve opak mineralleri ile birlikte bulunurlar ve birçok amfibol kristallerinde opak mineral kapanımları izlenmektedir. Ayrışmadan dolayı dilinim izleri pek belirgin olmayıp 15-17° civarında sönme açısı gösterirler. Çift kırıcılıkları yüksek olup kırmızı ve yeşilin parlak tonlarında gözlenirler. Opak mineraller, kayada %3 civarında bulunur. Öz şekilsiz ve dağınık halde gözlenirler. Genellikle amfibol ve biyotit gibi mineraller etrafında ve üzerinde yoğunlaşmışlardır. Piroksen, kayalarda genellikle az miktarda olup çoğunlukla ayrılmışlardır. Birçok kristalleri ayrılarak amfibol ve opak minerallere dönüşmüştür. Öz şekilsiz ayrışmadan dolayı dilinim izleri gözlenmeyip ikizlenmeler gözlenmektedirler.

Monzogranitler orta-iri taneli olup, kuvars (%34), plajiyoklas (%30), alkali feldspat (%26), amfibol (%5), biyotit (%3) ana bileşenlerine ilaveten az miktarda opak minerallerden oluşturmaktadır. İncelenen ince kesitlerde kayaç granüler doku göstermektedir (Şekil 3.10 D, E ve F). Kuvars, incelenen ince kesitlerde iri kristalli olarak gözlenmiştir. Kuvarslar çatlaklı olup deformasyon işaretleri gözlenen hafif dalgalı sönme gösterirler. Plajiyoklas; genel olarak öz ve yarı öz şekilli iri kristaller, uzun-ince prizmatik olarak gözlenirler. Prizmatik plajiyoklaslarda ikizlenmeler oldukça belirgin olarak izlenebilmektedir. Bazı plajiyoklaslarda gelişmiş olan çatlak ve kırıklar deformasyonlara bağlı olarak eğilmeler ve bükülmeler gözlenmiştir. Alkali feldspat, öz şekilsiz bazen de yarı öz şekilli kristaller halinde gözlenmekte olup, tek nikolde kirli görünüme sahiptirler. Amfibol, genellikle öz şekilsiz kristaller halinde bulunmaktadır. Ayrışmadan dolayı dilinim izleri pek belirgin değildir. Biotit, genellikle yarı öz şekilli yer yer ise öz şekilsiz gelişmişlerdir. Tek yönlü dilinimleri belirgin olup dilinim izlerine göre paralel sönme göstermektedir. Opak mineraller, kayada %2 civarında bulunur. Öz şekilsiz ve dağınık halde gözlenirler.



Şekil 3.10. Kaletaş Granitoyidi'ne ait örneklerinin mikroskop altındaki görünümü (Bi: Biyotit, Plj: Plajiyoklas, Q: Kuvars, Amf: Amfibol, Ort: Ortaklas).

Alibaba Formasyonunu keserek yerleşen Kaletaş Granitoyidi'nin üst sınırını uyumsuz olarak travertenler örtmektedir.

Kaletaş Granitoyidi, Dölek Graniti Arslan ve Aslan, 2005; Karlı, vd., 2007 tarafından çalışılan Dölek Plütonunun bir parçasıdır. Karlı vd. (2007), Eosen yaşlı Dölek ve Sarıççek (Gümüşhane) plütonlarının jeokimyası ve Sr-Nd-Pb izotopik bileşimleri; çarpışma sonrası ekstansiyonel ortamdaki yüksek-K'lı kalkalkalen granitoidin oluşumundaki magma etkileşimi adlı çalışmalarında, bu plütonların hesaplanan hornblend

jeobarometresine göre sığ derinliklerde (~5-9 km) yerleştiğini ve plütonların yaşlarının K-Ar yaşlandırmasıyla 42.7 ± 2.21 ile 44.1 ± 2.22 My arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

3.2.3. Traverten

Kaletaş Granitoyidi ve Alibaba Formasyonuna ait andezitlerin dokanakları boyunca kırıklarla ilişkili olarak gelişen travertenler (Şekil 3.11) masif kütleler halinde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.11. İnceleme alanında gözlenen traverten oluşumları

3.3. Yapısal Jeoloji

Doğu Pontid Tektonik Kuşağı'nın Güney Zonunda yer alan inceleme alanında yüzeyleyen birimler Alpin dağ oluşum hareketi etkisi altında kalmış ve bu orojenik hareketlere bağlı olarak çatlaklı ve kırıklı yapılar ile uyumsuzluklar gelişmiştir.

3.3.1. Uyumsuzluklar

Çalışma sahasında alanında iki adet uyumsuzluk tespit edilmiştir. Bu uyumsuzluklardan ilki Alibaba Formasyonu ile bu birimi keserek yerleşen Kaletaş Granitoyidi arasında bulunmaktadır. İkinci uyumsuzluk ise çalışma sahasındaki birimler ile travertenler arasında bulunmaktadır.

3.3.2. Çatlaklı Yapılar

İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerde çatlaklı yapılar yaygın olarak gelişmişlerdir. Özellikle Kaletaş Granitoyidi'nde yaygın olarak görünen çatlaklar KD-GB ve KB-GD olmak üzere iki doğrultuda gelişmişlerdir. Ölçülen çatlak açıklıkları 2mm'den birkaç cm boyutuna kadar değişmektedir. Birimde çatlak açıklıkları genellikle kil ile dolguludur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Granitoyid kütlelerinde gözlenen çatlak sistemleri

3.3.3. Faylar

Bölgesel ve yersel kırık sistemlerin, magmaların sığ derinliklerden yüzeye kadar ilerlemesinde, hidrotermal sıvıların yerleşiminde, ekonomik maden yataklarının oluşumunda dikkate değer önemleri vardır. Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Kuzey,

Güney ve Eksen Zonu olmak üzere üç farklı tektonik birlikten oluştuğu (Bektaş vd. 1995) ve yaklaşık D-B uzanımlı bölgesel ölçekli kırık sistemleri ile birbirinden ayrıldıkları bilinmektedir (Maden 2005). Bu birlik içinde yer alan kalderaların, maden yataklarının ve plütonik kütlelerin dağılımları KD ve KB doğrultulu iki ana kırık sistemi tarafından kontrol edilir (Eyüboğlu vd. 2006; Şekil 3.1).

Çalışma sahasında Alibaba Formasyonu içinde KB-GD doğrultulu birbirine paralel olarak gelişmiş normal faylar bulunmaktadır. Sahada ayrıca düşey yönde gelişmiş kırık sistemi de bulunmaktadır (Şekil 3.4). Yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilen bu faylar sahadaki alterasyonlar ile yakından ilişkilidir. Çubukçu (1998) sahadaki gelişen fayları mineralleşme öncesi gelişen faylar ve mineralleşme sonrası gelişen faylar olmak üzere ikiye ayırmıştır.

3.4. Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası

3.4.1. Giriş

Kaletaş-Söğütağ-İl-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki alterasyonların geliştiği Eosen yaşlı volkanik kayaçların tüm kayaç analiz sonuçlarından yararlanılarak kayaçların jeokimyasal özellikleri ile tektonik ortam yorumu bu bölümde gerçekleştirilmiştir. Kaletaş-Söğütağ-İl-Akpınar yörelerinde yüzeyleme veren volkanik kayaçların analiz sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

3.4.2. Volkanik Kayaçların Kimyasal Sınıflandırılması

Çalışılan sahadan örneklenen volkanik kayaçların ana ve iz element sonuçlarından yararlanılarak kimyasal sınıflandırma ve adlandırma yapılmıştır. Örneklere Le Maitre vd. (1989)’nin önerdiği SiO_2 ’ye karşı Na_2O+K_2O (TAS) diyagramı kullanıldığında örneklerin andezit, bazaltik trakiandezit ve trakiandezit alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 3.13).

Tablo 3.2. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yörelerinde yüzeyleme veren volkanik kayaların ana, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları

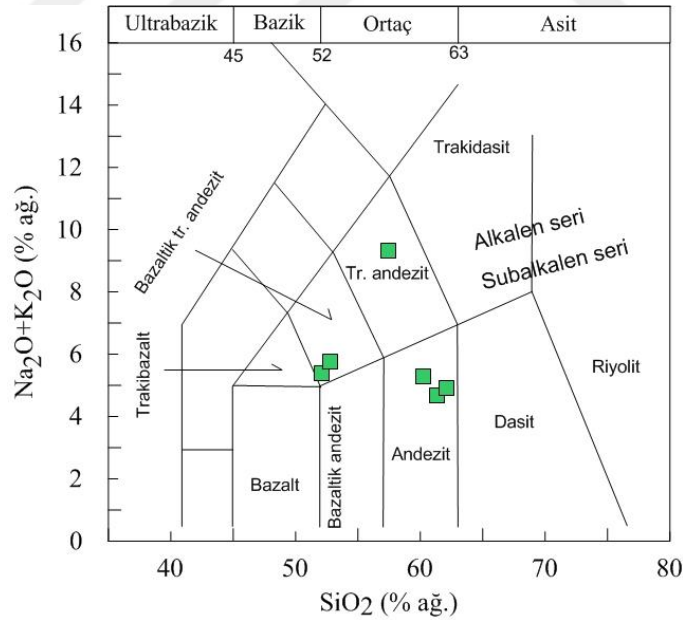
Örnek No	K45	K46	K47	K48	K49	K50
Ana Oksitler (%)						
SiO ₂	52.11	52.74	57.5	61.4	62.1	60.25
Al ₂ O ₃	18.96	18.44	16.8	17	16.5	17.19
Fe ₂ O ₃	6.67	8.63	7.62	6.06	6.1	6.39
MgO	4.55	4.06	3.89	3.26	2.86	3.17
CaO	4.51	7.28	2.2	5.32	5.41	5.53
Na ₂ O	3.87	3.23	1.55	3.41	3.37	3.58
K ₂ O	1.53	2.53	7.78	1.26	1.53	1.7
TiO ₂	0.73	0.71	0.67	0.62	0.6	0.62
P ₂ O ₅	0.23	0.25	0.14	0.15	0.14	0.16
MnO	0.09	0.14	0.15	0.09	0.09	0.11
Cr ₂ O ₃	<0.002	<0.002	0	0	0	<0.002
A.K.	6.5	1.7	1.4	1.2	1	1.1
Toplam	99.77	99.72	99.6	99.8	99.7	99.77
İz Elementler (ppm)						
Ni	6.4	4.2	10.5	5.4	5.8	4
Sc	20	20	21	17	17	18
Ba	455	956	2321	672	969	675
Co	19.3	18.3	21.2	12.4	12.9	13.7
Cs	5.6	2.2	1.1	0.5	0.3	0.4
Ga	15.5	15.1	14.8	14.5	14.3	15
Hf	2.7	2.5	3.7	3.8	3.6	3.5
Nb	6.8	13.2	5.2	6.2	5.5	6
Rb	26.6	75.3	175	21.2	24.4	28.6
Sr	390.1	427.8	201	468	442	452.9
Ta	0.4	0.2	0.4	0.4	0.3	0.4
Th	3.6	1.3	7.4	4.4	3.9	4.2
U	1	0.4	2.2	1.2	0.9	1
V	185	206	194	139	138	145
Zr	103.4	90.6	132	143	133	141.6
Y	14.6	18.6	19.3	19.6	18	20.6
Cu	51.8	17.8	4.2	15.9	77.3	41.5
Pb	10.3	5.6	5.7	1.6	2.4	1.8
Zn	72	38	60	46	39	54
Mg*	40.55	31.99	33.80	34.98	31.92	33.16

Not: Fe₂O₃*. Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = 100 x MgO / (MgO + Fe₂O₃*). Eu* = (Sm+Gd)_N/2, Kondirit normalize değerleri Boynton (1984)'dan alınmıştır.

Tablo 3.2 (devamı)

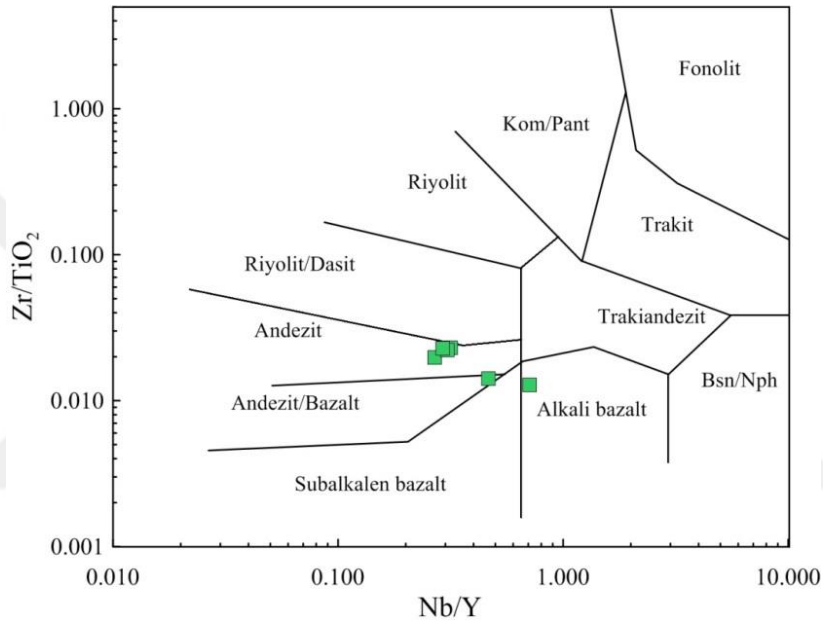
Örnek No	K45	K46	K47	K48	K49	K50
Nadir Toprak Elementler (ppm)						
La	19.1	15.2	17.5	20.6	19.6	21.3
Ce	35	32.2	34.6	39.8	38.8	41.6
Pr	4.03	3.86	4.3	4.76	4.51	4.9
Nd	15.7	16.7	17.1	18.1	16.9	18.2
Sm	2.98	3.65	3.58	3.61	3.33	3.64
Eu	0.81	1.13	0.94	1.02	0.93	1
Gd	2.91	3.68	3.6	3.66	3.39	3.41
Tb	0.47	0.56	0.6	0.59	0.56	0.59
Dy	2.58	3.46	3.42	3.51	3.38	3.65
Ho	0.59	0.72	0.72	0.7	0.68	0.71
Er	1.59	2.18	1.99	2	1.98	2.14
Tm	0.26	0.33	0.32	0.3	0.31	0.32
Yb	1.58	2.18	2.09	2.14	2.02	2.05
Lu	0.24	0.33	0.32	0.34	0.32	0.34
(La/Lu) _N	8.27	4.78	5.68	6.29	6.36	6.51
Eu _N	11.02	15.37	12.79	13.88	12.65	13.61
Eu/Eu*	0.84	0.94	0.80	0.86	0.85	0.87

Not: Fe₂O₃*. Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = 100 x MgO / (MgO + Fe₂O₃*). Eu* = (Sm+Gd)_N/2, Kondirit normalize değerleri Boynton (1984)'dan alınmıştır.



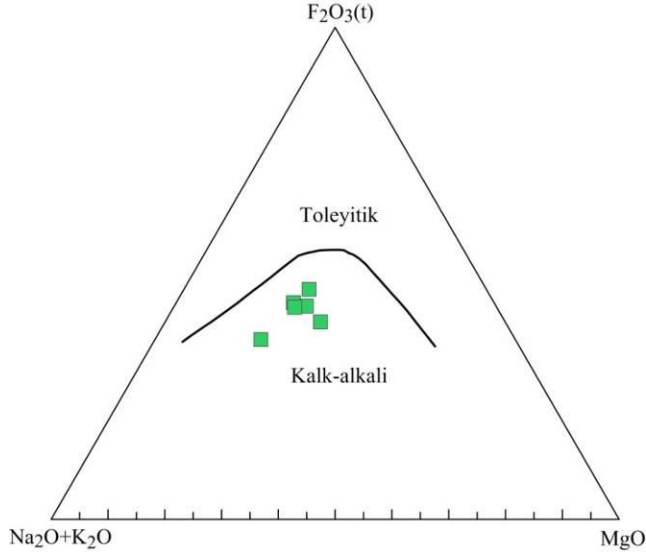
Şekil 3.13. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaların SiO₂'ye karşı Na₂O+K₂O (TAS) diyagramı (Le Maitre vd., 1989).

Alterasyonlu sahalarda yapılan kayaç adlandırma ve sınıflandırma çalışmalarında çoğunlukla hareketsiz veya daha az hareketli elementlerden (Ti, Zr ve Y gibi) yararlanılmaktadır (Barrett ve MacLean, 1991). Bu bağlamda, söz konusu çalışma için Winchester ve Floyd (1976) tarafından önerilen Nb/Y'ye karşı $Zr/TiO_2 * 0.0001$ kimyasal adlandırma diyagramı tercih edilmiştir. İlgili diyagrama göre Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar sahasındaki volkanik kayaçlar andezit, bazaltik andezit ve alkali bazalt alanında yer almaktadır (Şekil 3.14).

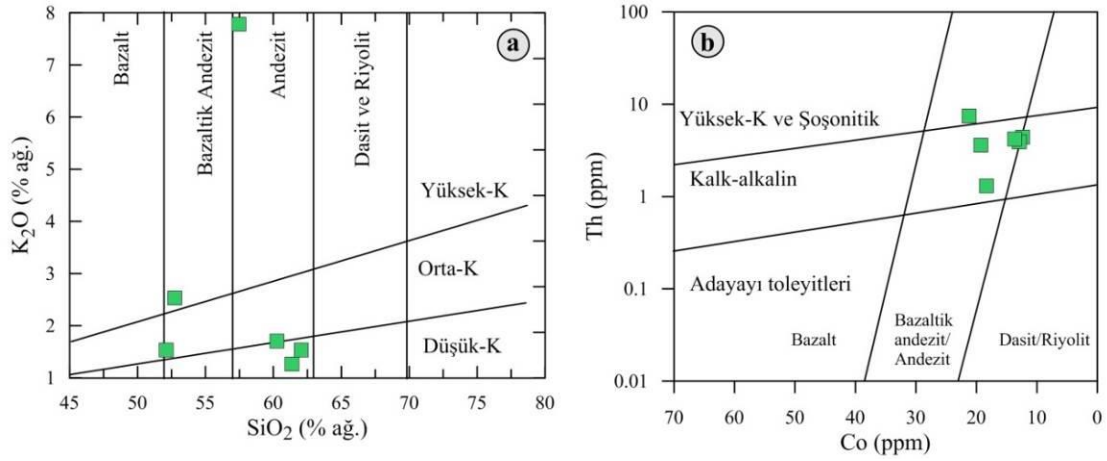


Şekil 3.14. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaçların Nb/Y'ye karşı $Zr/TiO_2 * 0.0001$ diyagramı (Winchester ve Floyd, 1976).

Volkanik kayaçların afinitelerini belirlemeye yönelik hazırlanan AFM üçgen diyagramında göre (Irvine ve Baragar, 1971) volkanitlerin kalk-alkali karaktere sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.15). SiO_2 'ye karşı K_2O ayırım diyagramında (Le Maitre vd., 1989); Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar volkanitlerine ait örnekler düşük-orta-yüksek K alanlarına düşmektedirler (Şekil 3.16a). Yine tropikal bölgelerde yüzeyleyen ve aşırı derecede altere olmuş volkanik kayaçlar için kullanılan Th-Co diyagramında (Hastie vd., 2007), incelenen volkanitlere ait örnekler çoğunlukla kalk-alkali özellik ve bazaltik andezit/andezit bileşimi göstermektedirler (Şekil 3.16b).



Şekil 3.15. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaların AFM üçgen diyagramı (Toleyitik-kalk-alkali ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)' göre dir).



Şekil 3.16. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaların (a) SiO₂ (%)'ye karşı K₂O (%) ve (b) Co karşı Th diyagramı (Le Maitre vd., 2002; Hastie vd., 2007).

3.4.2.1. Ana, İz ve Nadir Toprak Element Kimyası

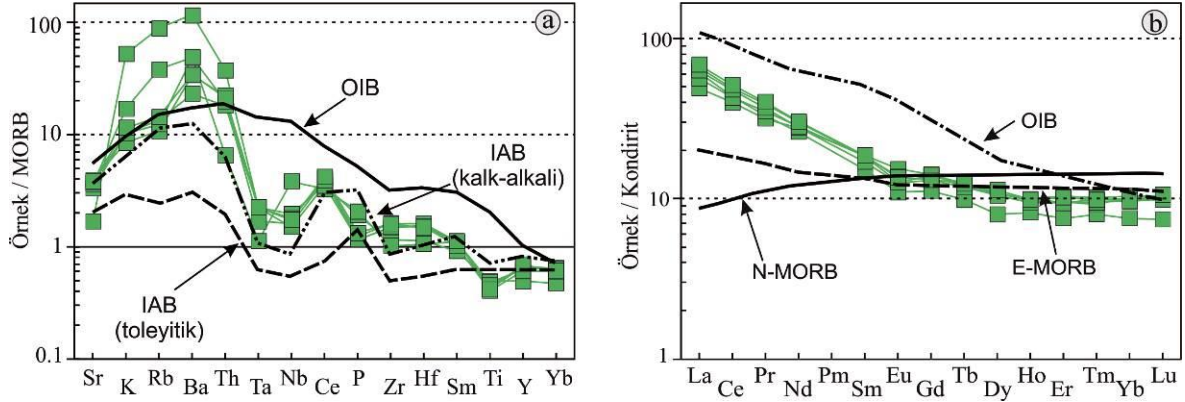
Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yörelerinde yüzeylenen volkanik kayaların ana ve iz element kimyasal sonuçlarına göre; SiO₂ % 52.11-62.1, Na₂O % 1.55-3.87, Al₂O₃ % 16.5-18.96, Fe₂O₃ % 6.06-8.63, MgO % 2.86-4.55, CaO % 2.2-7.28, K₂O % 1.26-7.78, TiO₂ % 0.14-0.25, Ba % 455-2321, Rb % 21.2-175, Sr % 201-468, Th % 1.3-4.4, U % 0.4-2.2, Zr % 90.6-142 değerleri arasında değişmektedir.

Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar yörelerindeki volkanitleri oluşturan örneklerin MORB'a göre (Sun ve McDonough, 1989) normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil element (B.İ.Y.L.E) konsantrasyonları bakımından zenginleşme yüksek çekim alanlı elementler (Y.Ç.A.E) bakımından fakirleşme izlenmektedir (Şekil 3.17a). Grafikte gözlenen değişimlerinin birbirine paralellik sunması, kayaçların benzer kökenden türediklerini göstermektedir.

Çalışılan volkanitlerin kondirite göre (Boynton, 1984) normalize edilmiş nadir toprak element dağılımları ise Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar volkanitlerini oluşturan kayaçların aynı manto kaynağından türedikleri şeklinde yorumlanabilmektedir (Şekil 3.17b). Söz konusu diyagram incelendiğinde hemen hemen tüm nadir toprak elementlerce bir zenginleşmeyle görülmesine rağmen özellikle hafif nadir toprak elementlerin (H.N.T.E.), ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleştiği belirlenmiştir.

NTE dağılımlarında kayaçalarda gözlenen negatif Eu anomalisi söz konusu volkanitlerin gelişiminde plajiyoklas ayrımlaşması ile ilişkilendirilmektedir. Fujimaki vd., (1984)' e göre hafif nadir toprak elementlerin (H.N.T.E.), diğer nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleşmesi ve dağılım diyagramında gözlenen konkav yapı volkanik kayaçların gelişiminde klinopiroksen ve hornblend ayrımlaşması ile açıklanmaktadır.

Büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerin yüksek çekim alanlı elementlere göre zenginleşme göstermesi ve hafif nadir toprak elementlerin ağır nadir toprak elementlere göre zenginleşme göstermesi ile NTE diyagramlarında tespit edilen negatif Nb, Ta, Ti ve Zr anomalilerinin görülmesi çalışılan sahalardaki volkanitlerin yitim ilişkili kıtasal yay magması özelliğinde olduğunun göstergesidir (Pearce 1983; Ringwood 1990; Stolz vd., 1990; Kelemen vd., 1990). B.İ.Y.L.E. ve H.N.T.E.'ce tespit edilen zenginleşme ise dalan okyanusal litosferden ve/veya dalan litosfer üzerindeki sedimentlerden açığa çıkan akışkanların manto kaması içine girişi ile ilişkilidir (Ringwood, 1990; Hawkesworth vd., 1991).



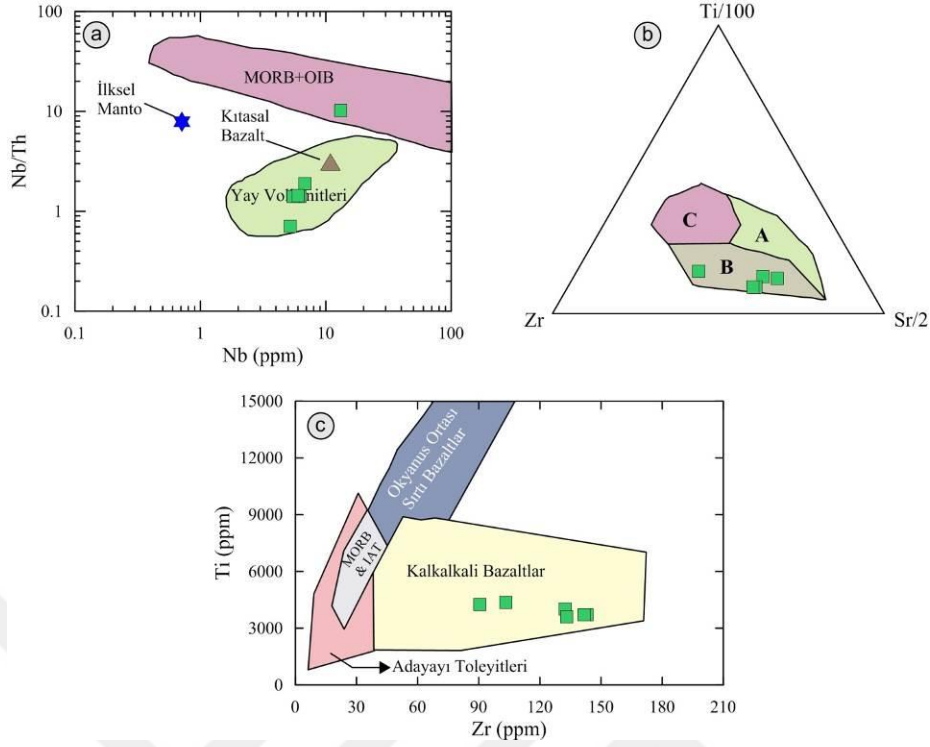
Şekil 3.17. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaçlarının iz element dağılım diyagramları, (a) MORB'a göre, (b) kondirite normalize edilmiş NTE dağılımları (MORB: Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları, Z OOSB; Zenginleşmiş Okyanus Ortası Bazaltları, OIB: Okyanus Adası Bazaltları, IAB: Ada Yayı Bazaltları. Normalleştirme değerleri, N-MORB ve E-MORB; Sun ve McDonough, 1989'dan, Boynton (1984); IAB: Pearce, 1982'den alınmıştır).

3.4.2.2. Tektonik Ortam

Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar yörelerindeki volkanitlerinin jeokimyasal diyagramlarındaki değişimlerine bakıldığında iz element değişimlerinde Nb, Ta, Zr ve Ti bakımından tüketilme, Sr, K, Ba, Rb ve H.N.T.E. bakımından bir zenginleşme görülmekte olup, bu değerler volkanitlerin magmasının bir yitim zonu ortamında geliştiğini göstermektedir (Pearce ve Peate, 1995; Turner, 2005).

İncelenen volkanitlerin, alterasyondan fazla etkilenmediği bilinen Ti, Zr ve Nb gibi elementlerin birbirleriyle ilişkilerine göre tektonik ortamları belirlenmeye çalışılmıştır. Nb'ye karşı Nb/Th tektonik ayırtman diyagramına göre, örnekler yay volkanitleri alanına düşmektedir (Şekil 3.18a).

Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramında (Şekil 3.18b) ise örnekler ada yayı serilerinin kalkalkali bazalt alanlarına düşmektedirler. Volkanik kayaçlar için bir başka tektonik ortam ayırtman diyagramı olan Ti-Zr diyagramında örnekler kalkalkali bazalt alanına düşmektedirler. (Şekil 3.18c).



Şekil 3.18. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar (Gümüşhane) yörelerindeki volkanik kayaların tektonik ortam diyagramları (Pearce ve Cann, 1973). (a) Nb (ppm)'ye karşı Nb/Th diyagramı (ilksel manto (Hoffmann, 1988), kıtasal bazalt-OOSB+OAB ve Yay volkanitleri alanları (Schmidberger ve Hegner, 1999)'dan alınmıştır. (b) Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramı (A: Ada yayı toleyitleri, B: Kalkalkali bazalt, C: Okyanus ortası sırtı bazaltları). (c) Zr (ppm)'a karşı Ti (ppm) diyagramı (Ada Yayı Toleyitleri (AYT), Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı (MORB), Kalkalkali Bazaltlar, ve Okyanus Adası Toleyitleri alanları; Pearce ve Cann (1973) ve Floyd ve Winchester (1975)'dan alınmıştır).

3.5. Kaletaş Granitoyidi'nin Jeokimyasal Özellikleri

3.5.1. Giriş

Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar alterasyon sahasında gözlenen Kaletaş Granitoyidi'nden alınan kayaç örneklerinden yapılan tüm kayaç analizlerine (ana, iz ve nadir toprak element) göre, granitoyidi oluşturan kayaç türlerinin, jeokimyasal özellikleri ve tektonik ortamları belirlenmiştir. Kaletaş Granitoyidi'nden alınan örneklerin ana, iz ve nadir toprak element analizleri Tablo 3.3 verilmiştir.

Tablo 3.3. Kaletaş yöresinde yüzeyleme veren granitoyidik kayaların ana, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları

Örnek No	KG1	KG2	KG3	KG4	KG5	KG6	KG7
Ana oksitler (%)							
SiO ₂	60.57	63.16	65.88	61.02	61.05	60.56	64.24
Al ₂ O ₃	16.07	15.2	13.04	17.22	17.02	17.26	14.11
Fe ₂ O ₃	6.31	5.65	3.25	5.55	5.49	5.48	3.61
MgO	3.07	2.48	2.23	2.2	2.13	2.1	0.99
CaO	6.16	4.89	4.21	5.68	5.15	5.59	5.63
Na ₂ O	3.2	3.02	2.81	3.5	3.38	3.55	3.58
K ₂ O	2.73	3.34	4.1	2.86	3.29	3.18	3.21
TiO ₂	0.66	0.65	0.38	0.6	0.62	0.58	0.53
P ₂ O ₅	0.17	0.15	0.09	0.16	0.16	0.16	0.10
MnO	0.12	0.11	0.07	0.09	0.09	0.1	0.06
Cr ₂ O ₃	0.004	0.002	0.007	0.002	0.003	0.004	<0.002
A.K.	0.7	1.1	3.8	0.8	1.4	1.1	3.7
Toplam	99.78	99.77	99.82	99.73	99.76	99.69	99.74
İz elementler (ppm)							
Ni	7.7	8.9	7.4	4.9	5.7	6.2	3.8
Sc	20	16	8	15	15	15	15
Ba	724	797	762	941	973	1448	1377
Co	15	11.7	5	12.2	10.4	10.5	5.0
Cs	1.9	3.1	3.2	0.6	1.5	0.7	1.3
Ga	14.8	13.2	11.1	13.2	13.5	14.1	13.9
Hf	3.8	5.4	4.9	6.2	3.8	4.2	6.6
Nb	6.1	8.9	8.7	6	5.8	7.2	12.9
Rb	72	96.4	131.6	67.5	82.9	81.9	64.5
Sr	355.6	281.6	168.6	450.8	395.8	414.3	305.8
Ta	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.9
Th	6.5	10.8	13.2	8.1	8.9	9.5	14.7
U	1.6	2.1	2.3	2	1.8	2.1	2.7
V	149	126	54	126	134	127	38
Zr	129.2	196.8	160.5	265.8	146	152.8	229.3
Y	23.1	23.2	22.8	19	18.6	19.7	35.5
Cu	36.4	44.5	18.8	74.9	39.2	153.2	9.0
Pb	5.4	9.3	11.2	5	6.5	8.7	18.1
Zn	32	38	34	18	26	27	50
Mg*	32.73	30.50	40.69	28.39	27.95	27.70	21.52

Not: Fe₂O₃*. Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = 100 x MgO / (MgO + Fe₂O₃*). Eu*=(Sm+Gd)_N/2

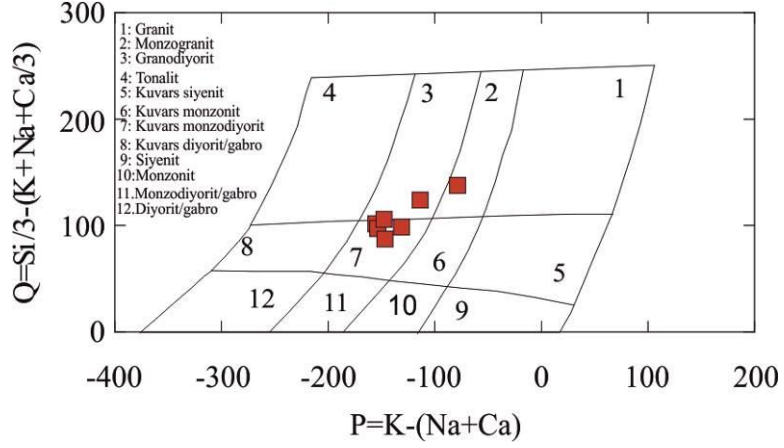
Tablo 3.3 (devamı)

Örnek No	KG1	KG2	KG3	KG4	KG5	KG6	KG7
Nadir Toprak elementler (ppm)							
La	23.1	26.5	26.8	33	20	17.7	42.0
Ce	44.8	52.7	52.7	56.1	35.7	35.1	88.8
Pr	5.31	5.75	5.48	5.44	4.19	4.23	10.18
Nd	20.5	21.2	20.8	19.5	16.3	17	38.4
Sm	4.27	4.4	4	3.48	3.6	3.71	7.31
Eu	1	0.81	0.58	0.87	0.87	0.92	1.29
Gd	3.91	4.25	3.92	3.51	3.42	3.77	6.73
Tb	0.65	0.69	0.64	0.55	0.51	0.58	1.10
Dy	3.77	4.04	3.68	3.18	3.26	3.44	6.39
Ho	0.8	0.9	0.8	0.72	0.68	0.75	1.20
Er	2.28	2.68	2.49	1.98	2.05	2.26	3.68
Tm	0.34	0.39	0.38	0.33	0.32	0.33	0.53
Yb	2.24	2.54	2.27	2.1	2.02	2.29	3.70
Lu	0.36	0.4	0.37	0.35	0.32	0.34	0.56
(La/Lu) _N	6.67	6.88	7.52	9.79	6.49	5.41	7.79
(La/Yb) _N	6.95	7.03	7.96	10.59	6.68	5.21	7.65
(Eu/Eu*) _N	0.75	0.57	0.45	0.76	0.76	0.75	0.56

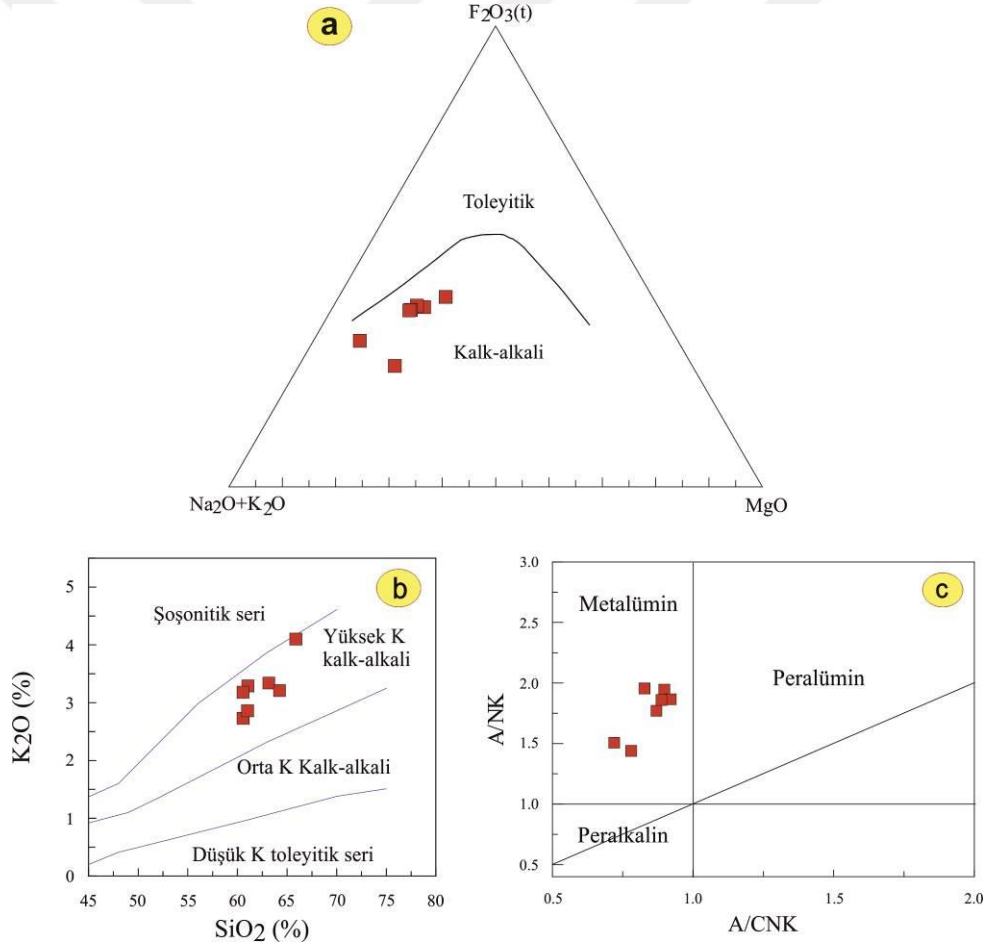
Not: Fe₂O₃*. Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = 100 x MgO / (MgO + Fe₂O₃*). Eu*=(Sm+Gd)_N/2.

3.5.2. Magmatik Kayaçların Kimyasal Sınıflandırılması

Kimyasal analiz sonuçları, Debon ve Le Fort (1983)'un granitik kayaçları sınıflama diyagramına aktarıldığında örnekler monzogranit, granodiyorit ve kuvars monzodiyorit bileşimindedir (Şekil 3.19). Kaletaş Granitoyidi'nden alınan subalkalen karakterli örneklerin tümü AFM diyagramında (Irvine ve Barager, 1971) kal-alkalen özelliktedir (Şekil 3.20a) ve tüm örnekler yüksek potasyumlu kalk alkali içeriklerine sahiptirler (Şekil 3.20b). Alüminyum doygunluklarını dikkate alan Maniar ve Piccoli (1989) diyagramında örneklerin tamamı metalümin karakterlidir (Şekil 3.20c).



Şekil 3.19. Kaletaş Granitoyidi örneklerinin P-Q diyagramındaki, (Debon ve Le Fort, 1983) yerleri



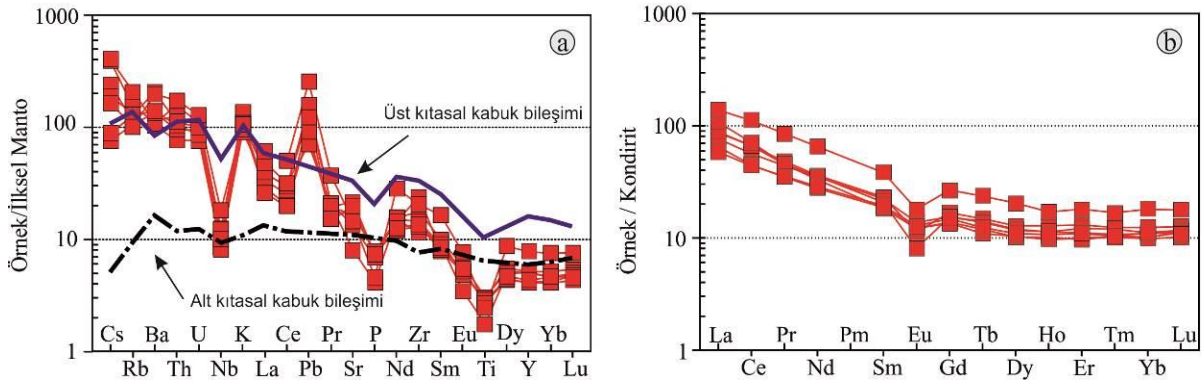
Şekil 3.20. Kaletaş Granitoyidi'ne ait kayaç örneklerinin a) AFM diyagramındaki yerleri Toleyitik-kalk alkali ayırım eğrisi Irvine ve Baragar, (1971)'den alınmıştır, b) SiO₂'e karşı K₂O diyagramı (Le Maitre vd.,1989) ve c) molar A/CNK' ya karşı A/NK değişimine bağlı olan alümino bazlı sınıflama (Maniar ve Piccoli, 1989) diyagramları

3.5.2.1. Ana, İz ve Nadir Toprak Element Kimyası

Granitoidin SiO_2 değerleri % 60.56-65.88 arasında değişirken, Na_2O % 2.81-3.58, CaO % 4.21-6.16, Al_2O_3 % 13.04-17.26, Fe_2O_3 % 3.25-6.31, MgO % 0.99-3.07, K_2O % 2.73-4.1, TiO_2 % 0.38-0.66, Ba % 724-1448, Rb % 64.5-131.6, Sr % 168.6-450.8, Th % 6.5-14.7, U % 1.6-14.7, Zr % 129.2-265.8 arasında değişmektedir. A/CNK (molar $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) değerleri 1 den küçük olup 0.72-0.92 arasındadır.

Kaletaş Granitoidi'nin ilksel mantoya göre normalize edilmiş iz element dağılım diyagramlarına (Şekil 3.21a) göre genel olarak büyük iyon yarıçaplı elementlerde (B.İ.Y.E.) özellikle de Rb, Ba, Th'da oldukça fazla zenginleşme tespit edilmiştir. Fosfor elementinde ise belirgin bir negatif anomali belirlenmiştir. Toryum, K, Rb gibi elementlerdeki zenginleşme kabuk etkisini, Nb ve Ti elementindeki negatif anomali ise granitik kayalarda ana magma gelişiminde, yitim ilişkisini ifade etmektedir. İz element özellikleri genel olarak değerlendirildiğinde; çalışılan magmatik kayaların kıtasal yay granitlerine benzerlik gösterdiği sonucuna varılabilir.

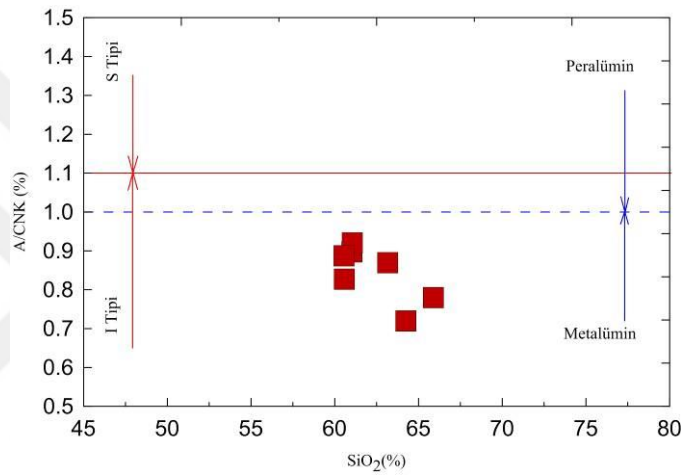
Kaletaş Granitoidi'nden alınan örneklerin kondirite göre normalleştirilmiş nadir toprak element (NTE) diyagramına (Şekil 3.21b) göre tüm örneklerin birbirine paralellik sunması granitoidi oluşturan kayaların benzer kökenden türediklerini göstermektedir. Diyagramda gözlenen hafif nadir toprak element zenginleşmelerinin, orta ve ağır nadir toprak elementlere göre fazla olması, dağılımların orta kısmının çukur olması ve H.N.T.E.'e doğru konkav bir yapı gözlenmesi, hornblend fraksiyonlaşması ile, negatif Eu anomali ise plajiyoklas ayrışması ile açıklanmaktadır.



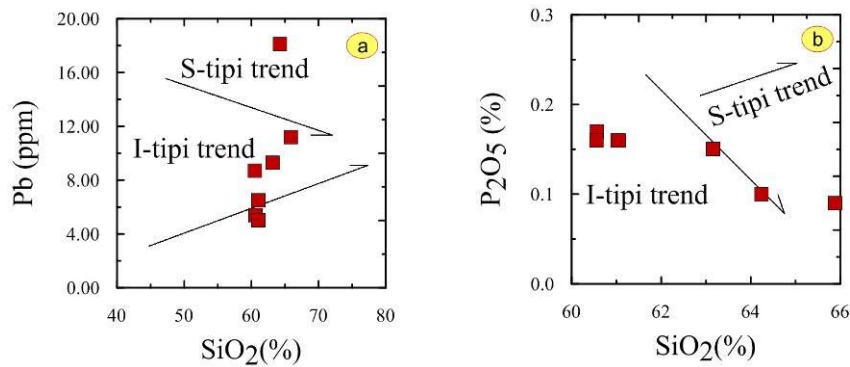
Şekil 3.21. Kaletaş Granitoidi kayacının; a) İlksel manto (Sun ve McDonough, 1989), b) Kondirite (Boynton, 1984) göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılımları

3.5.2.2. Tektonik Konum

Chappel ve White (1974) tarafından magmatik kayaçların tektonik ortamlarını belirlemeye yönelik olarak hazırlanan SiO_2 'ye karşılık molar A/CNK diyagramına göre çalışılan kayaçların büyük çoğunluğunun volkanik yayların tipik granitoyidi olan I tipi granitoyid alanında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 3.22). Chappel ve White (1992) tarafından geliştirilen SiO_2 'ye karşı Pb ve P_2O_5 değişim diyagramlarına göre elde edilen negatif korelasyon, granitoyidin I tipinde olduğunu göstermektedir (Şekil 3.23a ve 3.23b).



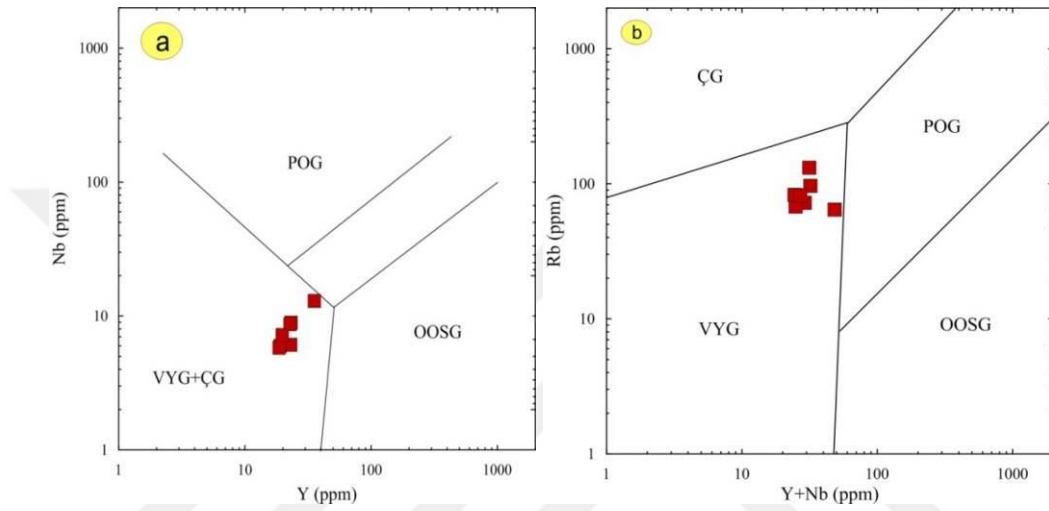
Şekil 3.22. SiO_2 'ye karşı A/CNK (%) değişimleri (Chappel ve White, 1974).



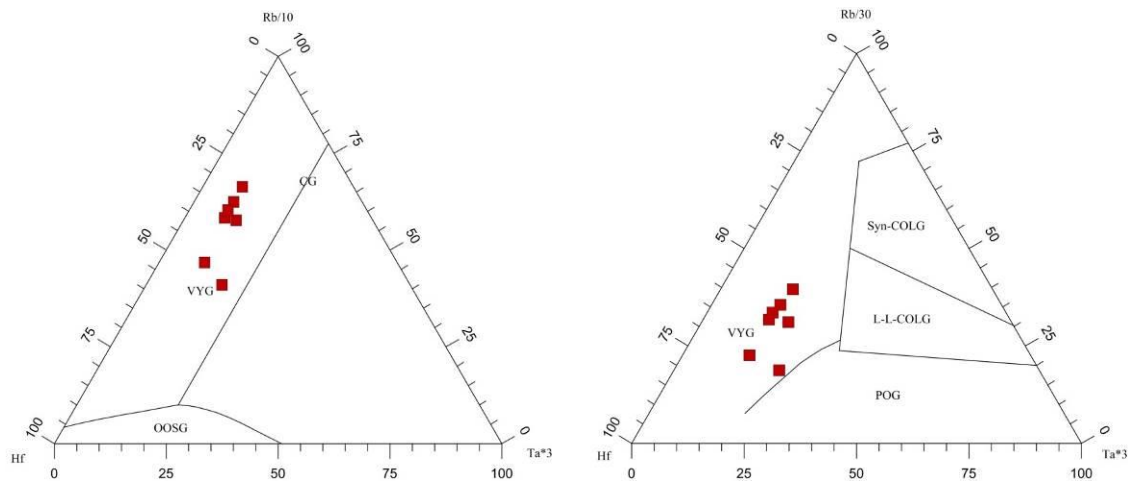
Şekil 3.23. a) SiO_2 'ye karşı Pb ve b) SiO_2 'ye karşı P_2O_5 değişim diyagramları (Chappel ve White, 1992).

Kaletaş Granitoyidi' ne ait örnekler Pearce, vd., (1984) tarafından önerilen Nb-Y diyagramına aktarıldığında, çalışılan magmatik kayaçların volkanik yay granitleri (VYG)

ve eş zamanlı çarpışma granitleri (ÇG) alanına düştükleri belirlenmiştir. (Şekil 3.24a). Volkanik yay granitlerini, çarpışmayla eş yaşlı granitlerden ayırt eden Rb-(Nb+Y) diyagramında (Pearce, vd., 1984), örnekler volkanik yay granitleri alanına düşmektedir (Şekil 3.24b). Benzer şekilde, Harris vd., (1986) tarafından önerilen Rb/10-Hf-Ta*3 ve Rb/30-Hf-Ta*3 diyagramlarında da örnekler volkanik yay granitoyidi alanında yer almaktadır (Şekil 3.25a ve b).



Şekil 3.24. Kaletaş Granitoyidi kayaç örneklerinin Nb-Y (a) ve Rb-(Y+Nb) (b) diyagramlarındaki (Pearce vd., 1984) konumları. POG: Plaka ortası granitleri, OOSG: okyanus ortası sırt granitleri, VYG: Volkanik yay granitleri, ÇG: Çarpışma granitleri



Şekil 3.25. Kaletaş Granitoyidi'ne ait kayaç örneklerinin Rb/10-Hf-Ta*3 ve Rb/30-Hf-Ta*3 (Harris vd., 1986) tektonik ortam ayırtman diyagramındaki konumları. POG: Plaka ortası granitleri, OOSG: okyanus ortası sırt granitleri, VYG: Volkanik yay granitleri, ÇG: Çarpışma granitleri

3.6. Yan Kayaçlarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar

Bu çalışmada Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar alterasyon sahasının ve yakın çevresinin jeolojisini ve bu bölgede yaygın olan kayaç grupları arasındaki kayaçların petrografisini ve bununla birlikte cevherleşme ve yakın çevresinin alterasyon haritasını hazırlamak için sistematik örnek alınmış ve kimyasal analiz yaptırılmıştır.

Alterasyon sahasında genellikle KB-GD yönlü faylardan yoğun bir şekilde etkilenen Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içerisinde yer alan andezitlerde yoğun hidrotermal alterasyonlar gözlenmektedir (bkz. Şekil 3.4).

Kaletaş sahasında yer alan ve alterasyonların içinde bulunduğu Eosen yaşlı andezitler kırık zonları boyunca limonitleşmeye, kloritleşmeye (Şekil 3.26A), silisleşmeye (Şekil 3.26D), limonitleşmeye ve hematitleşmeye (Şekil 3.26G ve J) uğramışlardır. İnce çatlaklarda çoğunlukla kalsit daha az oranda da silis dolgusu bulunur. Özellikle cevherleşmenin olduğu bölgelerde yoğun bir alterasyon zonunun varlığı dikkat çekmektedir. Ayrıca hematit, limonit ve yüzeysel demir oksitlerin yoğun olarak bulunduğu demir şapka oluşumu gözlenmiştir. Andezitlerin, Kaletaş Granitoyidi ile olan dokanaklarında piritleşme ve kükürtleşme de gözlenmektedir.

Söğütağlı sahasında ise genel olarak alterasyon ürünleri vadi içlerinde bağlı olarak (Şekil 3.26B), özellikle piritleşme (Şekil 3.26E), silisleşme (Şekil 3.26H), kloritleşme-limonitleşme (Şekil 3.26K) türü alterasyonlar gözlenmektedir.

Akpınar sahasında da Söğütağlı sahasına benzer şekilde vadi içlerinde gözlenen alterasyon (Şekil 3.26C ve F) ürünleri genel olarak limonitleşme ve killeşme (Şekil 3.26I ve L) olarak izlenmektedir.



Şekil 3.26. Söğütağıl-Kaletaş-Akpınar yöresindeki Eosen volkanikleri hidrotermal alterasyonlarının genel görünümü

Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar yörelerinde, alterasyon zonlarının içinde yer aldığı Eosen yaşlı andezitlerde meydana gelen alterasyon mineralojisini ve mineral parajenezini ortaya çıkarmak için, harita alımı sırasında, belirli hatlar boyunca (Şekil 3.27) yoğun altere kısımlardan alınan sistematik örnekler mikroskopla incelenmiştir.

Kayaçlarda meydana gelen alterasyonun gelişiminde; farklı zaman aralıklarında bölgeye yerleşen kayaçların oluşum ortamı, tektonik geçişleri, volkanik aktiviteler ve çalışılan kayaçları farklı zamanlarda kesen derinlik veya yarı derinlik kayaçları gibi etkenler önemli rol oynamaktadır (Akaryalı, 2010).

Yapılan detaylı petrografik incelemeler neticesinde, Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar alterasyon zonlarını içeren andezitik kayaçlarda yaygın olarak gözlenen alterasyon türlerinin, plajiyoklaslarda serizitleşme, ikincil oluşumlara bağlı olarak gelişen silişleşme ve karbonatlaşma, opak minerallerin kenar zonlarında ve koyu renkli minerallerde ise kloritleşme-hematitleşme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.27. Alterasyon mineralojisini belirlemek için damara dik doğrultuda örnekleme yapılan kırık hattının görünümü (Kaletaş Köyü kuzeyi).

3.6.1. Silisleşme

Silisleşme alterasyon türlerinden en önemlisini olup, çoğunlukla KB-GD doğrultulu kırık zonları boyunca, ince silis damarları ve kümelenmiş kuvars taneleri şeklinde serizitleşme ve kalsitleşme ile birlikte bulunmaktadır (Şekil 3.28A, D, E ve F). Kırık ve çatlak zonlarından yükselen silisçe zengin çözeltiler silisleşmeyi oluşturmaktadır.

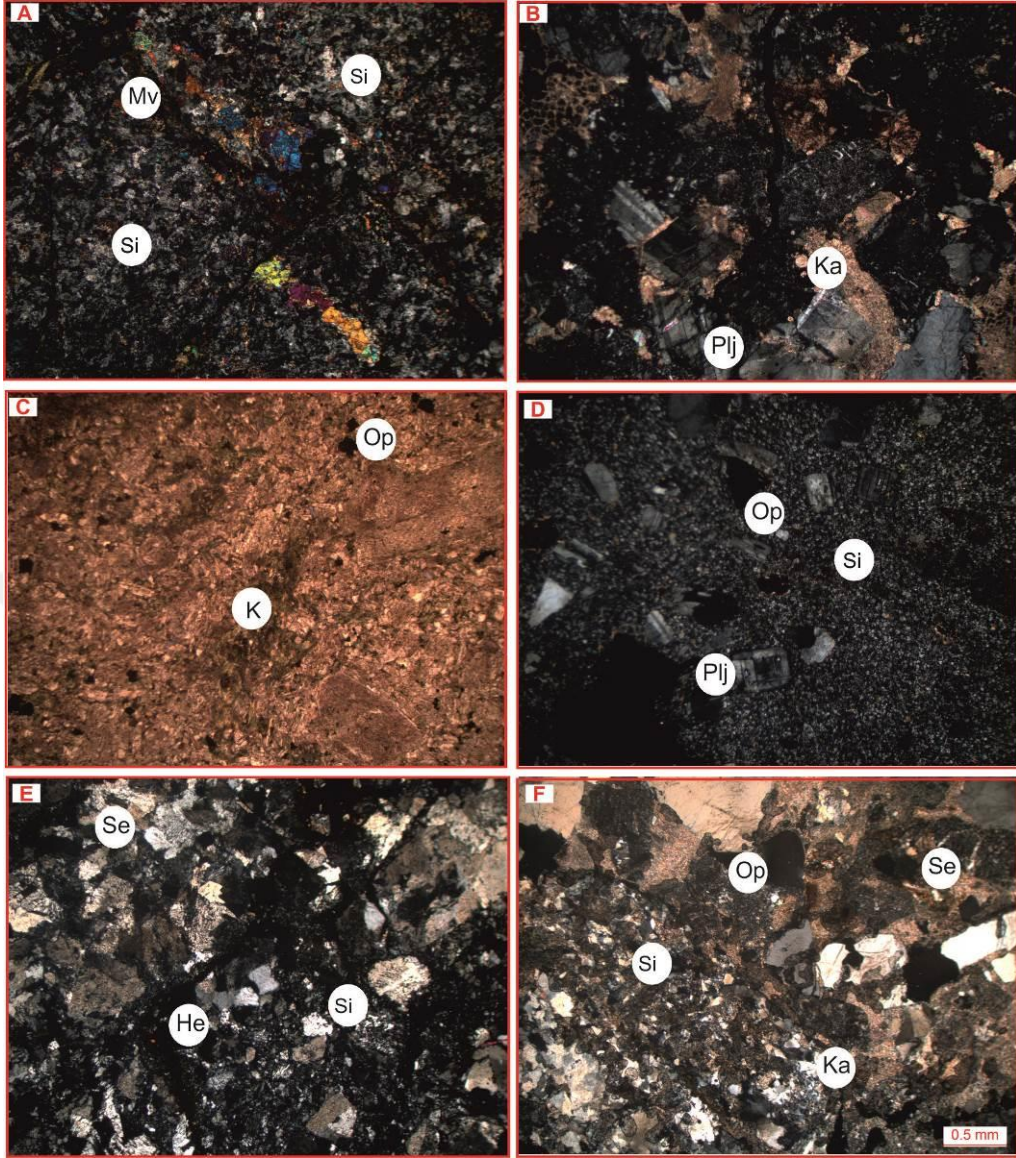
3.6.2. Serizitleşme

Serizitleşme, plajiyoklasların en yaygın ayrışma türü olup, serizitleşmeye, silisleşme ve karbonatlaşma eşlik etmektedir (Şekil 3.28E ve F). Genellikle zonlu yapı gösteren plajiyoklaslarda kalsiyumca zengin iç kısımlar, sodyumca zengin ve albitleşme eğilimi gösteren dış kesimlere oranla serizitleşme sürecinden daha fazla etkilenmiştir. İncelenen volkanik kayalarda özellikle plajiyoklaslarda yaygın olarak görülen serizitleşmenin gelişimi sırasında, potasyumun kaynağı biyotit veya potasyumlu feldspatlar olabilir (Sipahi, 2005) ve benzer şekilde Gümüşhane Arzular yöresinde Eosen volkaniklerini detaylı inceleyen Akaryalı (2010) biyotit ve potasyumlu feldspatın potasyum kaynağı olduğunu belirtmiştir.

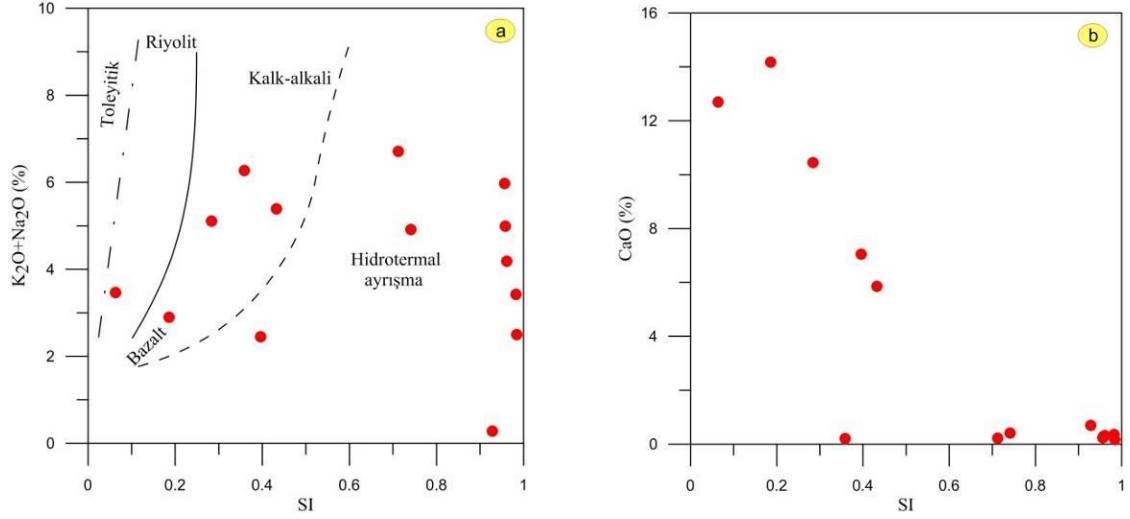
Çalışılan alterasyon sahalarında altere kayalarda hesaplanan serizitleşme indeksine (SI) karşı K_2O+Na_2O değerlerine göre hazırlanan grafikte (Şekil 3.29a) örnekler kalk-alkali ve hidrotermal alterasyon alanında yer almaktadır.

Serizitleşme indeksine karşı çizilen CaO diyagramında ise (Şekil 3.29b), SI'nın düşük CaO değeri yüksek olan örneklerde karbonatlaşma baskın alterasyon ürünü olarak belirlenmiştir.

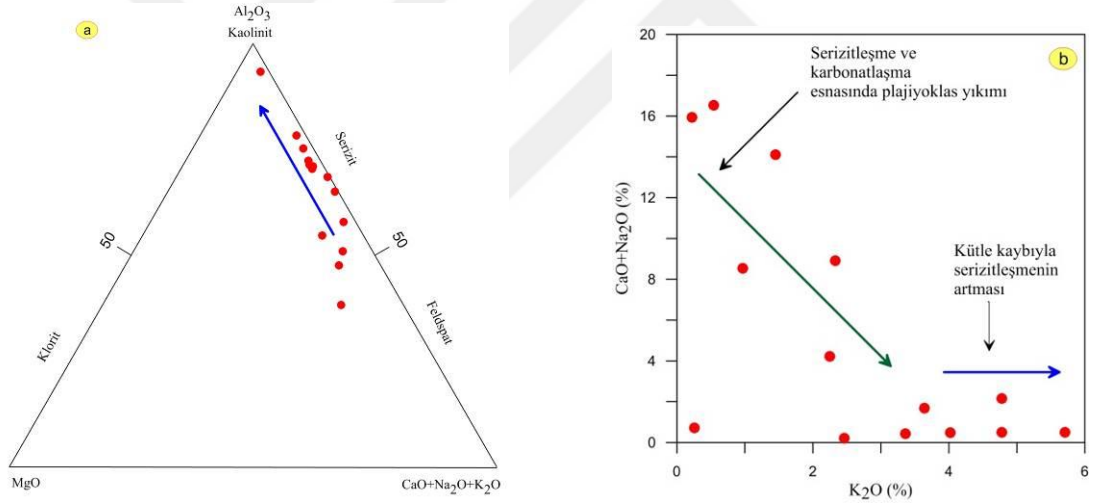
Plajiyoklaslarda serizit oluşumunun etkisini belirlemek için hazırlanan $Al_2O_3-MgO(CaO+Na_2O+K_2O)$ grafiğine göre ise (Şekil 3.30a). örneklerin tamamının serizitleşme alanında yoğunlaştığı, K_2O 'ya karşı $CaO+Na_2O$ grafiğinde ise (Şekil 3.30b) plajiyoklasların ayrışması ile serizit oluşumunun başladığı şeklinde yorum yapılabilir. Serizitleşme alkali değişimi ve hidrotermal sıvılardan K^+ ilavesi ile ilgili olup (Barrett vd., 1993) bu çalışmada potasyumun kaynağı biyotit, amfibol veya potasyumlu feldspat mineralleri olabilir (Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2010, Akaryalı, 2010).



Şekil 3.28. Eosen yaşlı andezitlerde, ayrışmaların mikroskop altında çapraz nikoldeki görünüşleri. (A) Kırık zonlarında kristalleşen kuvarslar, (B) Plajiyoklasların serizitleşmesi ve ikincil karbonatlaşma, (C) Kloritleşme ve opak mineral ilişkisi, (D) Silisleşme ve opak mineraller, (E) Plajiyoklasların serizitleşmesi ve opak minerallerin hematitleşmesi, (F) İkincil kuvarslar, opak minerallerin hematitleşmesi, (Si: Silis, Mv: Muskovit, Se: Serizit, Plj: Plajiyoklas, Op: Opak mineral, K: Klorit, Ka: Karbonatlaşma, He: Hematit).



Şekil 3.29. Andezitlerin serizitleşme indeksine ($SI=K_2O/(K_2O+Na_2O)(\%)$) karşı; (a) (K_2O+Na_2O) (%) ve (b) SI'ya karşı CaO (%) diyagramındaki dağılımları (MacLean ve Hoy, 1991'den değiştirilerek).

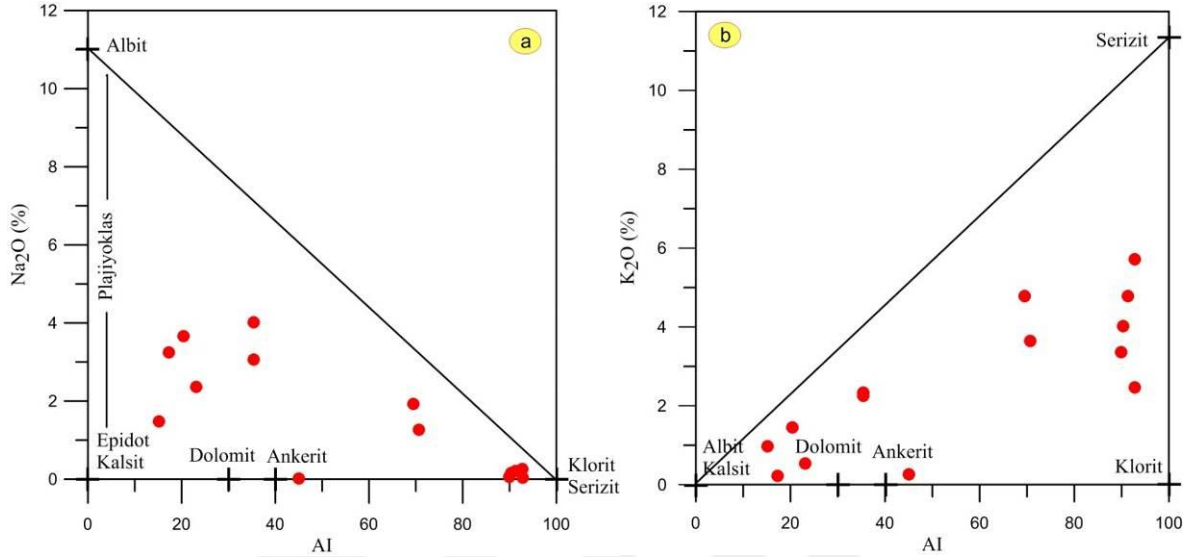


Şekil 3.30. Andezitlerin (a) Al_2O_3 -MgO- $(CaO+Na_2O+K_2O)$ üçgen diyagramındaki dağılımı (Van Gerven, 1995'ten değiştirilerek), (b) K_2O 'ya karşı $CaO+Na_2O$ diyagramındaki konumları (Barrett 1993'ten değiştirilerek).

3.6.3. Kloritleşme ve Hematitleşme

Opak minerallerin etrafında gözlenen hematitleşmenin oluşumunda genel olarak oksijen içeren meteorik sular etkili olmuştur (Şekil 3.28B, D, E ve F). Kloritleşme ise soluk yeşil renklere gözlenmektedir (Şekil 3.28B). Plajiyoklasların bozuluşu neticesinde serizit ve klorit oluşumunu açıklayan en geçerli parametre Large vd., (2001) tarafından önerilen ayrışma indeksidir (AI). AI'ya Na_2O ve K_2O diyagramlarında çalışılan

sahalardeki altere kayalarda serizit-klorit oluşumu Na_2O azalması ve K_2O artışı ile açıklanmaktadır (Şekil 3.31a, b).



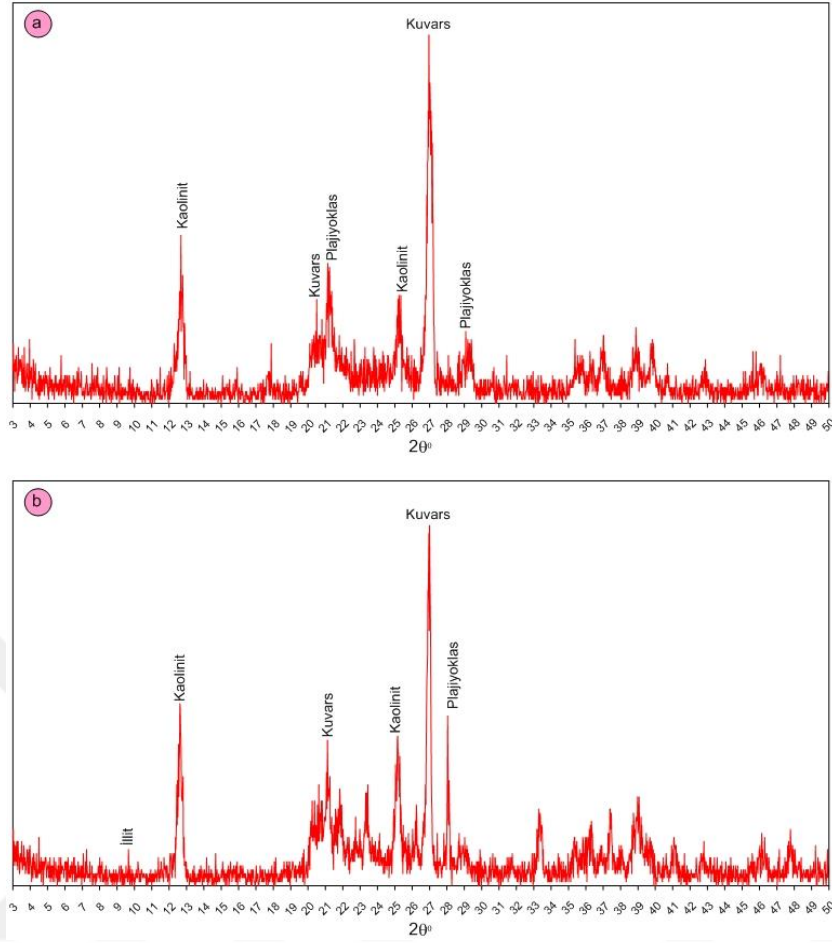
Şekil 3.31. Eosen yaşlı volkanitlerin Alterasyon indeksine $[\text{AI}=100 \cdot (\text{K}_2\text{O} + \text{MgO}) / (\text{K} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})]$ karşı (a) Na_2O ve (b) K_2O diyagramlarındaki dağılımları (Large vd., 2001'den değiştirilerek).

3.6.4. Karbonatlaşma

Plajiyoklasların ayrışmasına bağlı olarak oluşan karbonatlaşma ince kesit incelemeleri neticesinde pembemsi ve beyaz renklere gözlenmiştir. Özellikle alterasyon sahalarının dış zonlarından alınan örneklerde karbonatlaşmaya daha sık rastlanılmaktadır (Şekil 3.28B, F)

3.6.5. Killeşme

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yörelerinde gözlenen hidrotermal alterasyonların kil mineral parajenezini belirlemek üzere 2 adet örnek hazırlanmıştır. Örneklerin XRD analizleri sonucu neticesinde kil mineralleri olarak illit ve kaolinit tespit edilmiştir. Kil dışı bileşen olarak ise kuvars ve plajiyoklas belirlenmiştir. İllit ve kaolen miktarı alterasyon merkezine doğru yaklaştıkça artmaktadır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahası kaolinit ve illitlerin difraktogramları (a: KSK1 nolu örnek, b: KSK2 nolu örnek).

Gümüşhane İlinde Eosen yaşlı volkanikler içinde gelişen altın cevherleşme sahalarında Akaryalı (2010) ve Aslan (2011) yaptıkları çalışmalarda; Akaryalı (2010) Arzular yöresinde yer alan altın cevherleşme sahasında yaygın olarak görülen kil türlerinin illit, simektit, klorit ve kaolenden meydana geldiğini, cevherli zona doğru illit ve simektit miktarında artma, yan kayaca doğru ise klorit miktarında artma gözlemlendiğini ifade etmektedir. Aslan (2011) Mastra altın yatağında yaptığı çalışmada ise kil minerali olarak illit, simektit, kaolen ve kloritin varlığından söz etmektedir. Her iki araştırmacıda kuvars damarları çevresindeki kaolen miktarındaki artışı arjilik alterasyon zonuna geçiş ile ilişkilendirmektedir. Arjilik alterasyon 100-300°C arasında değişen sıcaklığa sahip hidrotermal çözeltiler tarafından H⁺ metasomatizmasına maruz kalan kayalarda bol miktarda kaolen ve montmorillonit türü kil minerallerinin oluşumuyla gerçekleşir. Epitermal maden yataklarında H⁺ metasomatizması karakteristiktir ve bu nedenle bu tür

yataklarda arjilik alterasyon cevherin bulunmasına yönelik bir kılavuz olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak, Kaletaş-Söğütağ-İkpınar yörelerinde gözlenen hidrotermal alterasyonların kil mineral parajenezi de gerek Arzular gerekse Mastra altın sahalarındaki kil mineral parajenezi ile benzerlik gösterdiğinden, söz konusu alterasyon sahalarında da potansiyel bir epitermal altın cevherleşme alanı olabileceği düşünülmektedir.

3.7. Yan Kayaçlarda Tespit Edilen Element ve Kütle Değişimleri

Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içindeki andezitlerde KB-GD doğrultulu kırık sistemine dik bir hat boyunca sistematik olarak alınan örneklerin (14 adet) analiz sonuçlarından yararlanarak mineralojik, elementsel ve kütsel değişimler bu bölümde irdelenecektir.

En az altere kayaçtan altere kayaca doğru yapılan sistematik örnekleme sırasında makroskobik gözlemlere bağılı olarak, örnek arası mesafelerde arttırılma azaltılma yoluna gidilmiştir. Örnekler arası mesafe özellikle yoğun alterasyonun gözlendiği zonlarda mineralojik, element ve kütsel değişimleri daha net inceleyebilmek için örnek alımı daha sık yapılmıştır. Söz konusu örneklerin analiz sonuçları Tablo 3.4' te verilmiştir.

3.7.1. Mineral Değişim Hesaplamaları

Altere kayaçlar üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki (Böhle, 1989; Mountain vd., 1996 ve Hermann ve Berry, 2002), altere örneklerin kimyasal analiz sonuçlarından (ana, iz ve NTE analizleri) yararlanılarak, alterasyon oluşumu sırasında ve sonrasında yan kayaçlarda oluşan ayrışma minerallerinde meydana gelen değişimler belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, Kaletaş-Söğütağ-İkpınar alterasyon sahalarında, KB-GD doğrultulu kırık hattı boyunca yapılan sistematik örnekleme neticesinde elde edilen kimyasal analiz sonuçları, Hermann ve Berry (2002) tarafından geliştirilen MINSQ yönteminin kullanılmasıyla, yan kayaçta oluşan gelişen alterasyon mineralojisi ve mineral değişimleri yüzde olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Kırık hattına dik bir hat boyunca alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları (ana oksitler %, iz elementler ppm Au ppb, K12 en az altere örnek).

Örnek No	K12	K13	K14	K15	K16	K17A	K18
SiO ₂	50.08	81.22	86.38	75.1	63.39	70.69	77.2
Al ₂ O ₃	13.5	10.54	7.75	13.93	24.86	13.98	15.02
Fe ₂ O ₃	5.37	1.45	1.18	2.1	2.1	2.62	1.2
MgO	4.43	0.38	0.25	0.49	0.56	0.56	0.38
CaO	14.17	0.36	0.17	0.29	0.23	7.05	0.31
Na ₂ O	2.36	0.06	0.04	0.21	0.26	1.48	0.16
K ₂ O	0.54	3.36	2.46	4.78	5.71	0.97	4.02
TiO ₂	1.17	0.16	0.11	0.25	0.3	0.31	0.19
P ₂ O ₅	0.19	0.01	0.01	0.02	0.07	0.05	0.02
MnO	0.2	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.04
Cr ₂ O ₃	0.01	0.004	0.004	<0.002	0.006	0.007	<0.002
A.K.	7.97	2.4	1.6	2.7	2.3	2.1	1.3
Toplam	99.99	99.95	99.97	99.88	99.75	99.89	99.86
Ba	593	253	201	704	1155	271	632
Co	11.4	0.7	0.8	2.1	2	1.8	1.5
Cs	8	1.5	0.7	1.9	2.4	1.2	2.3
Ga	13.4	10.9	8.3	15	25.1	17	19.3
Hf	1.9	3.8	2.8	5.3	8.4	4	7.7
Nb	4.2	7.5	6.6	10.6	23	11.8	11.7
Rb	25.5	115.3	81.2	141.3	153.2	18.8	120
Sr	580.2	13.6	7.9	37.8	29.7	278.3	13.4
Ta	0.2	0.6	0.5	0.8	1.6	0.9	0.9
Th	4.1	9.7	6.9	13.8	33.7	12.3	17.2
U	0.8	1.6	2.5	1.6	8.5	3.6	7.3
V	120	15	17	32	19	40	20
Zr	72.1	127.3	99.9	171.5	238.3	135.5	250.1
Y	14.6	17.9	10.1	26.6	71.3	30.1	49
Mo	0.3	3	3.8	0.1	7.7	2.9	0.8
Cu	10	5.6	7.1	4.8	19.6	6.3	4.3
Pb	4.9	19.7	11.2	3.9	15.7	4.1	35
Zn	51	23	14	27	14	8	18
Ni	6.8	2.6	6.9	3.5	7.3	5.4	1.6
As	6.5	1.1	11.6	1.3	7	1.7	9.1
Au	1.9	2.7	63.2	1.5	3.1	0.5	0.5
La	17.7	20.6	10.7	32.3	110.9	47	39.3
Ce	33.1	34.2	20.4	63.9	221.2	87.2	77.9
Pr	4.07	4.48	2.26	7.88	25.02	9.17	9.52
Nd	15.3	17.4	8.5	27.9	96.8	32	35.6
Sm	3.1	3.12	1.63	5.25	19.58	5.7	8.74
Eu	0.95	0.51	0.23	0.73	2.04	0.95	1.24
Gd	2.93	3.05	1.86	4.72	16.21	5.62	9.62
Tb	0.44	0.54	0.29	0.77	2.31	0.93	1.58
Dy	2.74	3.32	1.89	4.79	13.08	5.37	9.12
Ho	0.5	0.67	0.39	0.91	2.64	1.1	1.77
Er	1.43	1.99	1.17	2.74	7.22	3.2	5.04
Tm	0.21	0.29	0.2	0.45	1.11	0.48	0.79
Yb	1.36	1.9	1.53	3.03	7.03	3.07	4.94
Lu	0.23	0.31	0.2	0.46	1.08	0.49	0.75

Tablo 3.4 (devamı)

Örnek No	K19	K20	K21	K22	K23	K27	K44
SiO ₂	77.74	76.11	61.39	47.98	74.81	52.69	54.8
Al ₂ O ₃	13.28	14.22	16.84	17.69	14.39	18.59	19.45
Fe ₂ O ₃	0.91	2.11	5.46	11.55	0.78	3.48	5.82
MgO	0.11	0.41	2.55	3.1	0.06	2.16	0.33
CaO	0.22	0.41	5.85	12.69	0.2	10.44	0.7
Na ₂ O	1.93	1.27	3.06	3.24	4.02	3.66	0.02
K ₂ O	4.78	3.64	2.33	0.22	2.25	1.45	0.26
TiO ₂	0.14	0.15	0.48	1	0.22	0.27	1.48
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.17	0.16	0.05	0.07	0.09
MnO	0.01	0.01	0.08	0.14	0.01	0.06	0.01
Cr ₂ O ₃	<0.002	0.009	0.004	0.006	0.005	0.004	0.031
A.K.	0.7	1.5	1.5	2.1	3.1	6.9	16.9
Toplam	99.84	99.82	99.77	99.85	99.87	99.8	99.93
Ba	951	1090	757	46	548	448	174
Co	0.5	0.9	12.2	8.8	<0.2	5.8	3.8
Cs	1	1.2	0.6	0.7	1.5	3.9	3.7
Ga	18.1	18.7	15.3	18.9	10.3	12.4	20.9
Hf	7	5.5	4.1	2.1	4.6	1.3	2.7
Nb	11.4	11.2	7	3.3	12.5	7.9	3.4
Rb	145.3	123.6	70.2	5	37.3	23.7	10
Sr	41.8	34.6	514.1	230.3	251.8	810.4	31.3
Ta	1	0.7	0.4	0.1	1	0.2	0.2
Th	14.9	13.2	4.5	2.5	19.2	2.2	1.2
U	2.5	4.5	1.1	2	6.1	0.3	1.5
V	11	10	101	334	50	64	232
Zr	224.7	207.7	160.1	79.5	153.1	46.6	121.1
Y	41.6	30.9	17.5	21.2	14.4	8.6	5.6
Mo	0.3	9.4	0.2	1.1	1.5	0.7	1
Cu	2.5	15.5	4	2.9	8.1	5.5	5
Pb	2.5	21.6	7.2	3.4	32.8	3.5	5.6
Zn	10	45	46	17	2	25	17
Ni	1.2	7.4	9.1	12.1	2.5	11.3	4.8
As	1.4	3.5	1.6	1.9	39.8	17.2	4.4
Au	2.5	3.2	1.9	2.9	3.5	0.5	0.5
La	54.6	34.5	25	14.8	42.6	14.8	5.3
Ce	112.1	64	47.3	37.6	72.2	25.5	8.4
Pr	12.55	7	5.36	4.89	7.01	2.64	0.8
Nd	46.3	26.3	19.7	19.1	24.3	10.7	2.9
Sm	8.98	5.33	3.64	4.19	3.64	2.03	0.56
Eu	1.33	0.78	0.92	1.96	0.52	0.79	0.17
Gd	8.19	5	3.41	3.99	2.8	1.87	0.59
Tb	1.35	0.84	0.52	0.65	0.42	0.28	0.12
Dy	7.52	5.39	3.23	3.96	2.41	1.56	0.79
Ho	1.41	1.11	0.61	0.77	0.56	0.28	0.21
Er	4.29	3.41	1.81	2.13	1.69	0.93	0.78
Tm	0.64	0.51	0.3	0.32	0.27	0.14	0.14
Yb	4.19	3.48	1.94	2.03	1.94	0.85	1.07
Lu	0.62	0.55	0.31	0.32	0.32	0.13	0.18

3.7.1.1. MINSQ Yöntemi

Herrmann ve Berry, (2002) tarafından geliştirilen MINSQ yöntemi, bir veri çözümleme programı olup, hesaplamalarda en küçük kareler yöntemini esas almaktadır. Program Microsoft Excel TM çözümleyicisi kullanılarak kolaylıkla çalıştırılabilmektedir. Bu veri çözümleme programı sayesinde, herhangi bir kayacın mineralojik olarak içeriğini, aynı kayacın kimyasal analizleri ile sayısal olarak hesaplamak mümkündür. Ancak, programı kullanmadan önce kayaçların mineralojik bileşimleri belirlenmeli ve o kayaç içindeki minerallerin kimyasal analizleri yapılarak bileşimleri ortaya konulmalıdır (Böhlke, 1989). Bu çalışmada yan kayaçta belirlenen minerallerin mikrokimyasal analizleri yapılamadığından, minerallerin bileşimleri (Deer vd., 1992 ve Dana, 1993)'den alınmıştır.

3.7.1.2. Damara Dik Bir Hat Boyunca Alterasyon Mineral Değişimi

MINSQ (Herrmann ve Berry, 2002) programı ile sistematik olarak alınan altere örneklere ait kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde; örnekleme yapılan profilde en az altere kayaçlardan alterasyon zonlarının merkezine doğru mineral yüzdelерinde dikkate değer bir zonlanma belirlenmiştir. Bu zonlanmaya göre potasik alterasyon zonunda kuvars, K'lu feldspat, \pm serizit, \pm kaolen, propilitik zonda albite ilaveten epidot, demirli klorit ve magnezyumlu klorit alterasyon mineral türleri olarak belirlenmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar cevherleşmesine dik bir hat boyunca alınan örneklerin tüm kayaç analizlerinden MINSQ yöntemiyle (Herrmann ve Berry, 2002) hesaplanan mineralojik bileşimler (%).

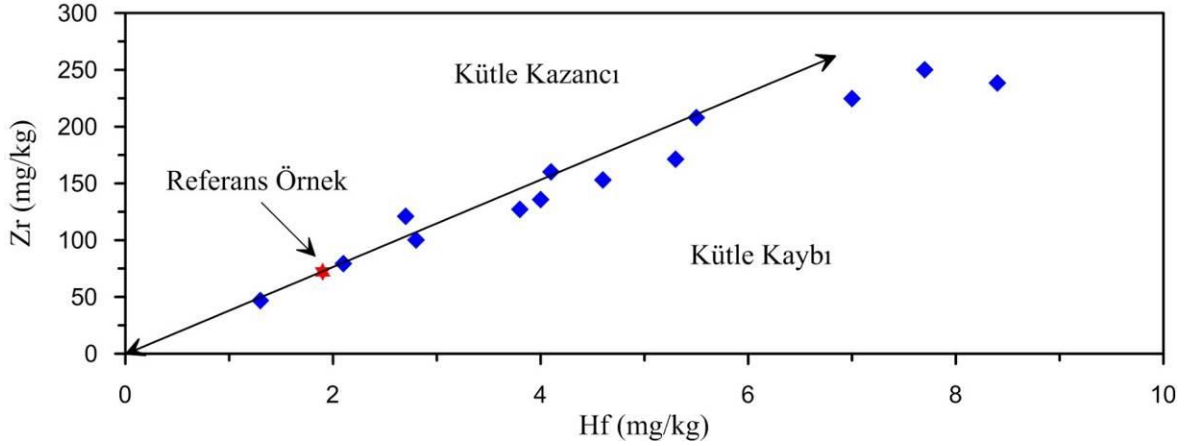
Örnek no	K12	K13	K14	K15	K16	K17A	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K27	K44
Kuvars	24.96	64.00	73.57	53.44	33.55	44.20	58.95	48.10	53.33	22.05	13.74	37.16	10.49	31.61
K'lu feldspat	0.00	10.06	8.20	9.85	0.00	4.21	0.00	15.35	2.39	12.03	0.00	11.63	7.29	0.00
Albit	9.35	0.00	0.00	1.87	1.41	12.56	1.06	15.92	10.65	25.84	17.43	34.13	31.07	0.04
Serizit	0.00	12.57	9.15	26.27	47.81	2.18	33.83	17.92	27.21	2.33	0.00	2.38	1.83	2.20
Fe Klorit	0.00	0.03	1.27	3.54	3.72	0.00	1.77	1.73	3.77	0.94	6.87	1.46	0.00	11.31
Mg Klorit	11.24	3.44	1.10	1.73	0.53	0.26	0.96	0.04	1.07	11.56	10.72	0.02	5.73	0.00
Kalsit	4.93	0.00	0.02	0.03	0.00	1.10	0.00	0.09	0.22	0.00	1.83	0.25	4.81	0.16
Epidot	41.35	2.59	0.74	1.20	0.24	25.83	1.04	0.59	1.12	24.75	46.98	0.25	30.09	2.56
Kaolen	0.00	6.36	5.36	0.81	12.67	9.21	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00	11.03	5.04	39.97
Barit	0.06	0.06	0.00	0.11	0.00	0.05	0.00	0.12	0.13	0.06	0.00	0.09	0.00	0.00
Pirit	0.00	0.05	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.63	0.09	0.00	0.27
Kalkopirit	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Galen	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rutil	1.15	0.25	0.10	0.27	0.05	0.31	0.10	0.16	0.12	0.44	0.97	0.22	0.26	1.46
Toplam	93.06	99.40	99.85	99.13	100.00	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00	99.17	98.72	96.61	89.58
Rezidüel	16.66	0.53	0.04	0.00	0.43	1.06	0.06	0.01	0.01	0.04	3.42	0.00	3.56	0.03

3.7.2. Kütle Değişim Hesaplamaları

Hidrotermal ayrışma, kayaçların yapısında bulunan elementlerin miktarlarında artma ya da azalma görülmesinde önemli bir etkidir. Kütle değişim hesaplamalarına göre, kayaçlarda meydana gelen kütle ve kimyasal değişimleri belirlemek için farklı çalışmacılar (Gresens, 1967; Grant, 1986; MacLean ve Kranidiotis, 1987; MacLean, 1990; Huston, 1993; Huston ve Cozens, 1994; Barret ve MacLean, 1994) tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Kütle değişim hesapları, altere olmuş kayaçların kimyasal bileşimi, altere olmamış ya da nispeten çok az altere olmuş kayaçların bileşimleriyle kıyaslanarak yapılmaktadır. Bu hesaplamalarda, kayaçlarda hidrotermal alterasyon sonucu ortaya çıkan metazomatik olayları inceleyen Gresens (1967) yöntemi, pek çok araştırmacının başvurduğu ilk kaynaktır. Bu yöntemi Grant (1986) analitik verilerin elle kullanımını gerektirmeyecek kadar basitleştirmiş ve hem grafiksel hem de bilgisayar yardımıyla kullanılabilir hale getirmiştir. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasında, kırık sistemine dik bir hat boyunca alınan örneklerde yapılan kütle değişim hesaplamalarında, Grant (1986)'ın izokon yönteminin Huston (1993) tarafından değiştirilmiş sürümü kullanılmıştır.

Bir önceki bölümde MINSQ yöntemiyle yan kayaçta belirlenen alterasyon mineralojisine ve mineral değişim yüzdelerine göre, Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasında örnekleme yapılan profilde epidot, magnezyumlu klorit, albit minerallerinin yüzdelerinin cevherden uzak ve yan kayaca yakın bölgelerde zenginleşme gösterdiği, kuvars, kaolinit ve serizit minerallerinin yüzdelerinin ise cevherli zonda zenginleşme gösterdiği belirlenmişti. Bu bağlamda, bu çalışmada yan kayaçlarda meydana gelen kütle ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla yapılan hesaplamalar neticesinde alterasyon zonları; albite ilaveten, magnezyumlu klorit \pm serizitin baskın olduğu alterasyon zonu (propilitik zon), kuvars, \pm kaolen \pm demirli klorit, baskın olduğu cevherin yerleştiği fay zonu (cevherli zon) olmak üzere iki alt zona ayrılarak irdelenmiştir. Tüm bunlara ilaveten, örnekleme profilinde yapılan kütle ve kimyasal değişim hesaplamaları, tüm hat boyunca da uygulanmıştır.



Şekil 3.33. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahalarında, örnekleme profilinde Hf-Zr arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram

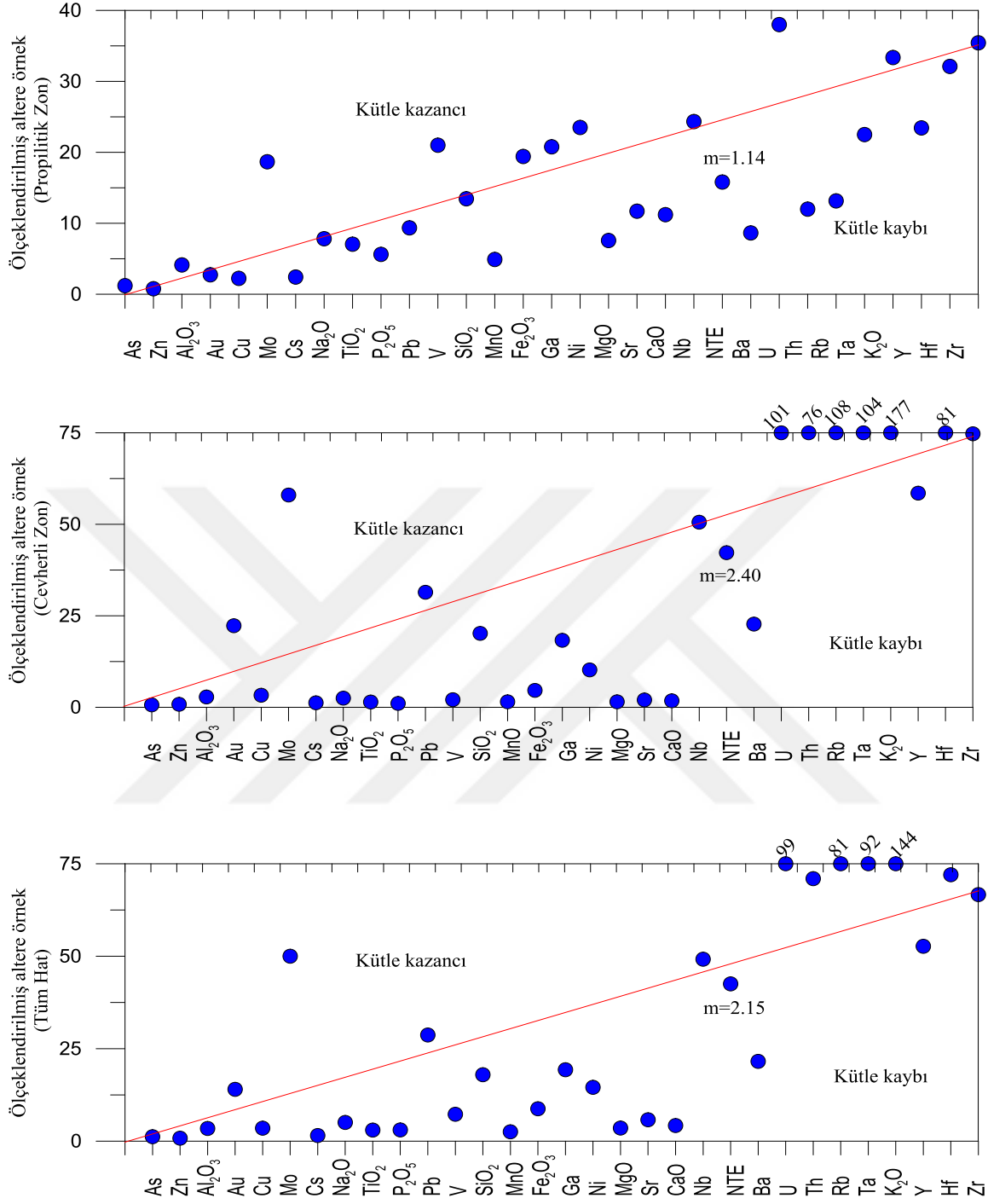
Yapılan korelasyon tablosuna göre bu çalışmada kütle değişim hesaplamalarında Zr-Hf hareketsiz element çifti olarak tespit edilmiştir. Alterasyon süreçlerinde genellikle Al, Ti, Zr, Y ve Nb'nin hareketsiz davrandıkları birçok çalışmada ispatlanmıştır (Winchester ve Floyd, 1977; Fiinlow-Bates ve Stumpel, 1981; MacLean ve Kranidiotis, 1987; Elliortt-Meadows ve Appleyard, 1991; Huston, 1993; Kaur, vd., 2012; Yaylalı-Abanoz ve Tüysüz, 2010; Akaryalı, 2010; Sipahi ve Sadıklar, 2010; Akaryalı ve Tüysüz 2013; Demir, 2014).

MINSQ yöntemiyle yan kayaçta belirlenen alterasyon mineralojisine ve mineral değişim yüzdelere göre, yan kayaçlarda meydana gelen kütle ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla yapılan hesaplamalarda kullanılmak üzere alterasyon zonları, propilitik ve cevherli zon olarak iki alt zona ayrılmıştır. İzokon yöntemine bağlı olarak elde edilen eğim değerleri ile nispi ve net kütle değişim hesaplamalarının sonuçları propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat için Tablo 3.8'de verilmiştir. İzokon yöntemine bağlı olarak elde edilen eğim değerleri propilitik alterasyon zonunda, cevherli zonda ve tüm hatta 1'den büyük ($m > 1$) olarak hesaplanmıştır. Eğim değerlerine göre tüm alterasyon zonlarında kütle kaybı ($m > 1$) tespit edilmiştir (Şekil 3.34).

Tablo 3.7. Huston (1993)'e göre nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri hesaplamalarına örnek veri dosyası

Element	ni	C _i ^O	C _i ^A	C _i ^S	ΔC-nispi	ΔC-net
As	1	6.5	1.1	0.17	-90.38	-0.99
Zn	2	51	23	0.90	-74.38	-17.11
Al ₂ O ₃	3	13.5	10.54	2.34	-55.64	-5.86
Au	4	1.9	2.7	5.68	-19.26	-0.52
Cu	5	10	5.6	2.80	-68.18	-3.82
Mo	6	0.3	3	60.00	468.18	14.05
Cs	7	8.0	1.5	1.31	-89.35	-1.34
N ₂ O	8	2.36	0.06	0.20	-98.56	-0.06
TiO ₂	9	1.17	0.16	1.23	-92.23	-0.15
P ₂ O ₅	10	0.19	0.01	0.53	-97.01	-0.01
Pb	11	4.9	19.7	44.22	128.43	25.30
V	12	120	15	1.50	-92.90	-13.93
SiO ₂	13	50.08	81.22	21.08	-7.85	-6.38
MnO	14	0.2	0.01	0.70	-97.16	-0.01
Fe ₂ O ₃	15	5.37	1.45	4.05	-84.66	-1.23
Ga	16	13.4	10.9	13.01	-53.78	-5.86
Ni	17	6.8	2.6	6.50	-78.28	-2.04
MgO	18	4.43	0.38	1.54	-95.13	-0.36
Sr	19	580.2	13.6	0.45	-98.67	-13.42
CaO	20	14.17	0.36	0.51	-98.56	-0.35
Nb	21	4.2	7.5	37.50	1.46	0.11
NTE	22	6.00	6.60	24.18	-37.56	-2.48
Ba	23	593	253	9.81	-75.76	-191.67
U	24	0.8	1.6	48.00	13.64	0.22
Th	25	4.1	9.7	59.15	34.42	3.34
Rb	26	25.5	115.3	117.56	156.91	180.91
Ta	27	0.2	0.6	81.00	70.45	0.42
K ₂ O	28	0.54	3.36	174.22	253.54	8.52
Y	29	14.6	17.9	35.55	-30.34	-5.43
Hf	30	1.9	3.8	60.00	13.64	0.52
Zr	31	72.1	127.3	54.73	0.32	0.41
Eğim (m)				1.77		

ni; elementlere verilen değerler, C_i^O; az altere kayaçtaki element miktarı, C_i^A; altere kayaçtaki i elementinin ortalama konsantrasyonu, C_i^S; hesaplanmış ölçeklendirme değerleri, ΔC-nispi (%) net (g/100g); elementlerin az altere kayaca göre net kütle değişimi, NTE; toplam nadir toprak elementler olarak ele alınmıştır.



Şekil 3.34. Kaletaş-Sögütağıl-Akpınar alterasyon zonunda kırık hattına dik doğrultuda hesaplanan izokon diyagramları

Tablo 3.8. Propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat için Huston (1993)'e göre hesaplanan C_i^S , nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri

Element	ni	C_i^S			Nispi (%) kütle değişimi			Net (g/100g) kütle değişimi		
		Propilitik zon	Cevherli zon	Tüm hat	Propilitik zon	Cevherli zon	Tüm hat	Propilitik zon	Cevherli zon	Tüm hat
As	1	1.21	0.65	1.20	60.19	-67.51	-23.2	16.63	-1.40	8.39
Zn	2	0.77	0.81	0.80	-57.71	-82.37	-75.0	-10.44	-16.20	-14.37
Al ₂ O ₃	3	4.13	2.82	3.43	40.19	-59.25	-35.1	7.37	-7.54	-4.32
Au	4	2.74	22.29	14.01	-34.79	278.13	-150.8	0.14	207.85	111.72
Cu	5	2.23	3.29	3.51	-52.59	-69.79	-66.8	-2.14	-4.07	-3.93
Mo	6	18.67	58.00	50.00	199.17	359.18	240.8	1.80	21.37	16.09
Cs	7	2.42	1.23	1.52	-62.73	-92.49	-84.0	-1.42	-1.29	-1.34
Na ₂ O	8	7.82	2.49	5.06	22.54	-87.59	-52.0	2.00	-0.56	-0.02
TiO ₂	9	7.05	1.44	2.99	-36.83	-92.75	-77.1	-0.25	-0.17	-0.22
P ₂ O ₅	10	5.61	1.05	3.04	-45.84	-95.18	-78.5	-0.04	-0.02	-0.04
Pb	11	9.35	31.43	28.70	-18.96	21.19	14.5	-0.87	10.63	10.74
V	12	21.00	2.07	7.27	50.71	-91.84	-54.1	179.01	-18.55	22.01
SiO ₂	13	13.45	20.19	17.96	5.67	-28.12	-34.7	2.95	-21.06	-17.48
MnO	14	4.90	1.50	2.53	-62.16	-95.26	-84.8	-0.03	-0.02	-0.03
Fe ₂ O ₃	15	19.41	4.62	8.76	20.56	-85.80	-58.2	3.01	-1.39	-0.48
Ga	16	20.78	18.30	19.31	22.07	-51.47	-36.6	3.16	-7.85	-5.41
Ni	17	23.50	10.21	14.56	54.56	-70.04	-41.4	7.58	-2.42	-0.37
MgO	18	7.57	1.50	3.54	-51.91	-96.16	-82.4	-0.65	-0.35	-0.53
Sr	19	11.70	2.00	5.78	-14.15	-94.89	-70.5	260.25	-50.42	-8.51
CaO	20	11.21	1.78	4.23	-33.50	-95.44	-78.4	-0.49	-0.99	-1.04
Nb	21	24.33	50.57	49.19	37.93	4.64	26.9	4.21	0.44	2.63
NTE	22	15.81	42.25	42.52	-21.19	-21.33	-24.4	-0.10	-1.55	1.41
Ba	23	8.64	22.73	21.57	-52.44	-61.50	-58.2	-35.12	-313.10	-261.63
U	24	38.00	101.14	99.46	32.71	74.95	78.9	0.87	3.49	4.72
Th	25	11.99	76.66	70.97	-47.73	29.82	4.2	-0.82	3.69	7.27
Rb	26	13.15	108.59	81.95	-37.82	78.34	27.2	-0.35	101.90	64.87
Ta	27	22.50	104.14	92.42	-12.81	67.63	38.1	-0.01	0.52	0.56
K ₂ O	28	33.36	177.85	144.51	61.81	169.58	114.7	1.44	6.51	5.14
Y	29	23.44	58.51	52.68	-17.66	-18.71	-25.7	0.60	-3.81	-0.50
Hf	30	32.11	81.43	72.02	-2.51	12.40	0.4	-0.10	0.68	0.61
Zr	31	35.43	74.73	66.66	0.60	0.30	-4.4	0.45	0.47	0.41
Eğim		1.14	2.41	2.15						

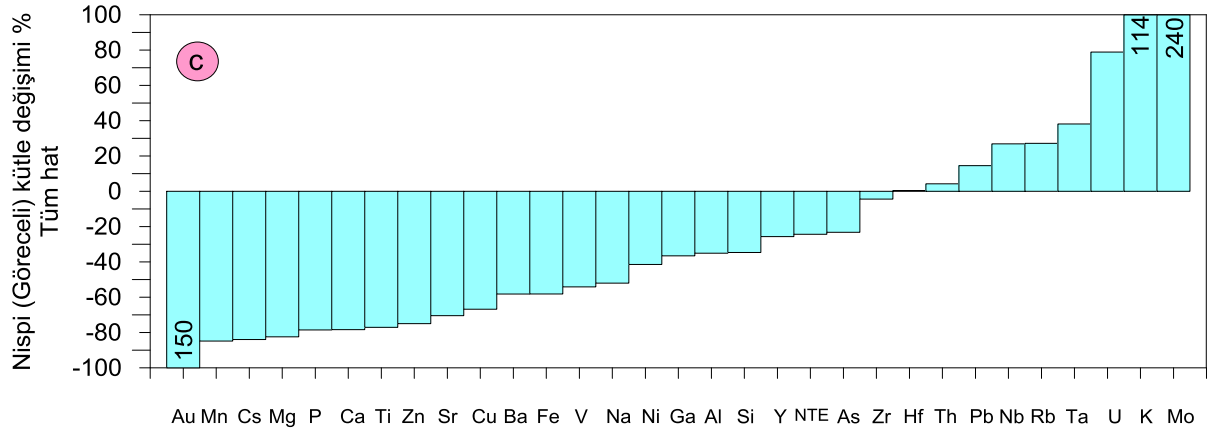
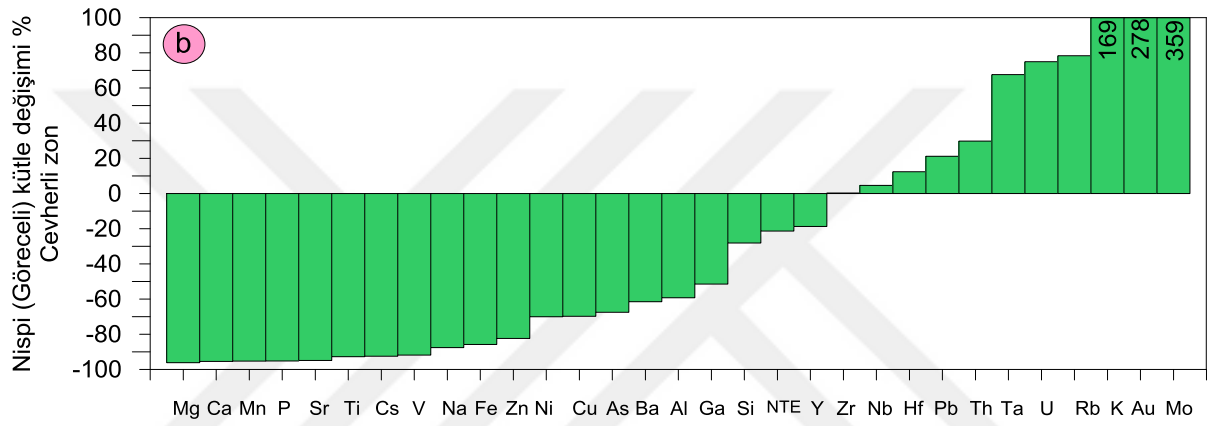
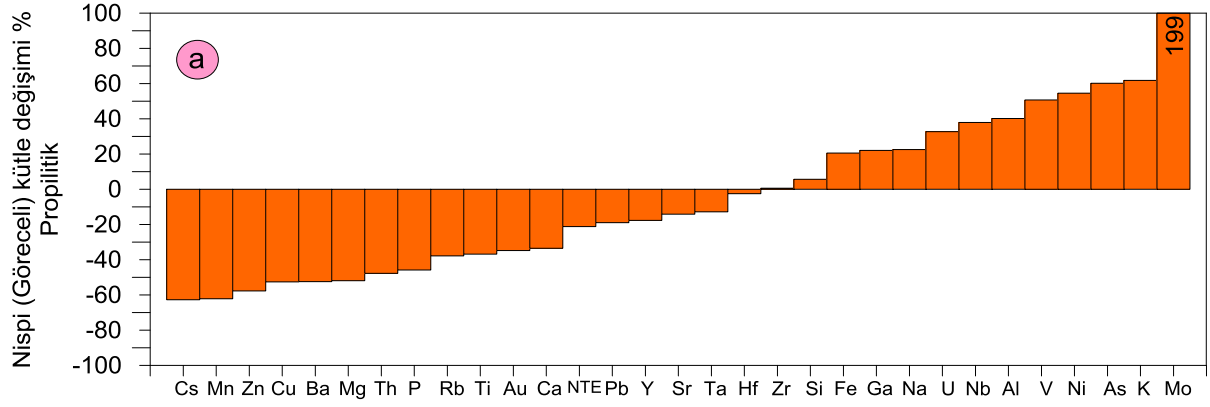
Nispi kütle değişimleri Huston (1993) tarafından geliştirilen $\Delta CiA (\%) = 100 \times [CiA / (m \times CiO) - 1]$ formül kullanılarak, propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat için ayrı ayrı ortalama değerleri alınarak hesaplanmıştır (Şekil 3.35).

Nispi hesaplamalara göre; propilitik alterasyon zonunda Mg ve Ca'da sırasıyla % 51.92 ve Ca % 33.50 nispi azalma, K'da % 61.81 ve Fe'de % 20.56 oranında nispi artış belirlenmiştir. Potasyumdaki bu nispi artış serizitleşme ile ilişkilidir. Si ise propilitik zonda % 9.32 oranında nispi artma gösterir (Şekil 3.35a). Propilitik zonda ayrıca, cevher oluşturan elementlerden As ve Mo sırasıyla % 60.19, % 199.17 nispi artış göstermektedir. Cu, Pb, Zn ve Au elementlerinde ise nispi azalma tespit edilmiştir.

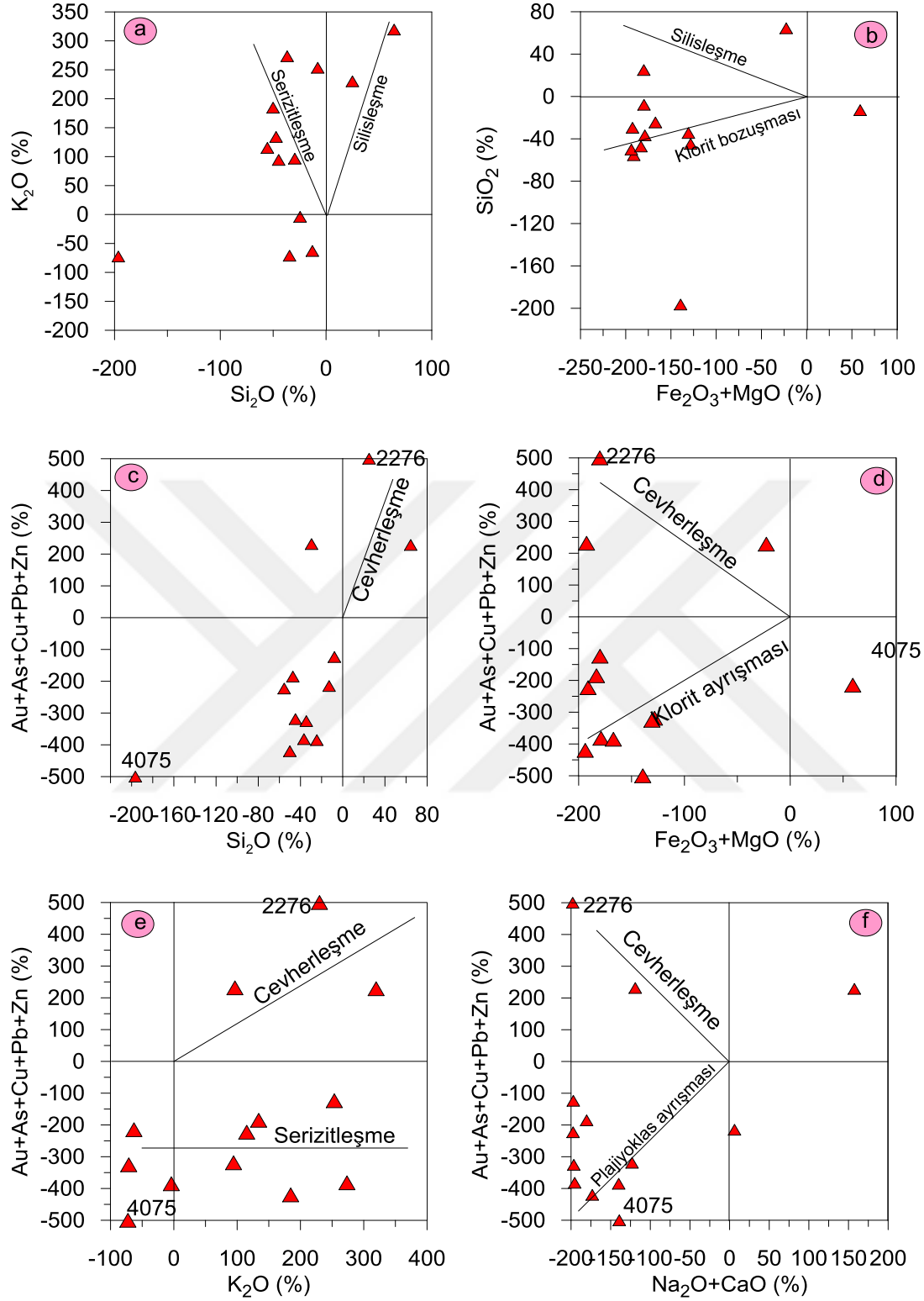
Cevherli zonda, Si % 28.12 oranında nispi azalma ve serizitleşmeye bağlı olarak K ise % 169.58 oranında nispi artma göstermektedir. Bunun dışında Ca ve Na'nın plajiyoklas ayrışması, Mg ve Fe'nin ise klorit bozuşması ile ilişkili olarak sırasıyla % 95.44, % 96.16, % 87.59 ve % 85.80 oranında nispi azalma gösterdiği belirlenmiştir. Au, Pb ve Mo elementlerinde cevherli zonda sırasıyla % 278.13, % 21.19 ve % 359.18 oranında nispi artma gözlenirken, Cu ve As elementlerinde ise sırasıyla % 69.79, % 60.51 oranında nispi azalma gözlenmiştir (Şekil 3.35b).

Tüm hat için yapılan hesaplamalar neticesinde K'da artma (% 114.68) ve Si'da azalma (% 34.66), Mo (% 240.81) ve Pb (% 14.53) miktarlarında artma, Au (% 150.84), Cu (% 66.80) ve Zn (% 74.97) miktarlarında azalma gözlenmiştir. Na, Ca, Fe, Mg elementlerinde ise nispi azalma belirlenmiştir (Şekil 3.35c).

Nispi (göreceli) kütle artışı veya azalması (%) gösteren elementler arasında tespit edilen bağlantılar ikili grafiklerde ele alındığında; silisleşmiş örneklerin serizitleştiği (Şekil 3.36a), kloritleşmenin, silisleşme ve cevherleşme ile ilişkili olmadığı (Şekil 3.36b ve d), cevher oluşumunun da silisleşme ile ilişkili olmadığı (Şekil 3.36c) belirlenmiştir. Ancak cevherleşme ile serizitleşme arasında gözlenen pozitif yakın bir ilişkiye bağlı olarak cevher oluşumu süresince kayaçların serizitleştiği (Şekil 3.36e) görülmektedir. Tüm bunlara ilaveten Na ve Ca elementlerinde elde edilen nispi azalma ise plajiyoklas yıkanması ile açıklanmaktadır (Şekil 3.36f).



Şekil 3.35. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar cevherleşmesine dik bir hat boyunca alınan örneklerin ortalamasına göre hesaplanan nispi (%) kütle değişim diyagramları (a: Propilitik zon, b: Cevherli zon, c: Tüm hat).



Şekil 3.36. En az altere kayaca göre ayrılmış kayaçta hesaplama ve kayaçta nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayaçta oluşabilecek alterasyon minerallerini gösteren diyagramlar

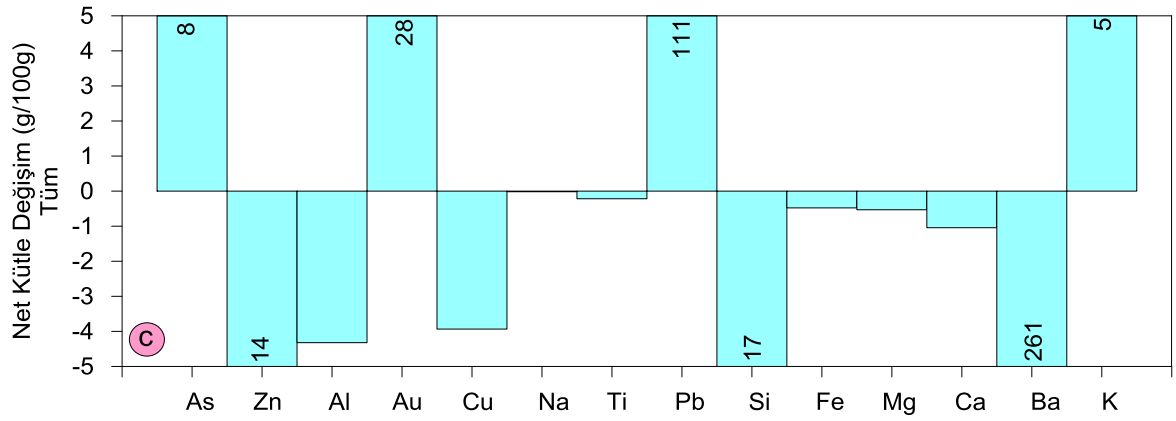
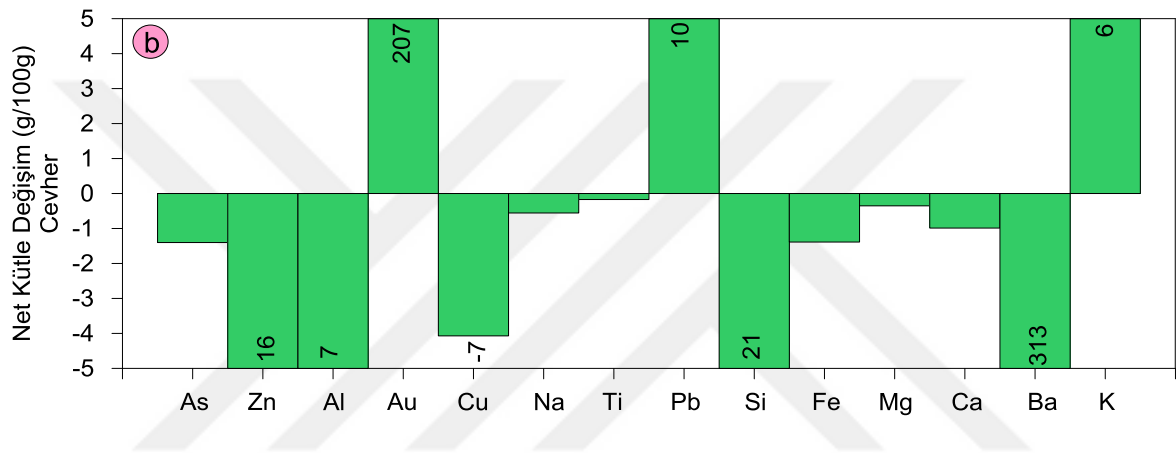
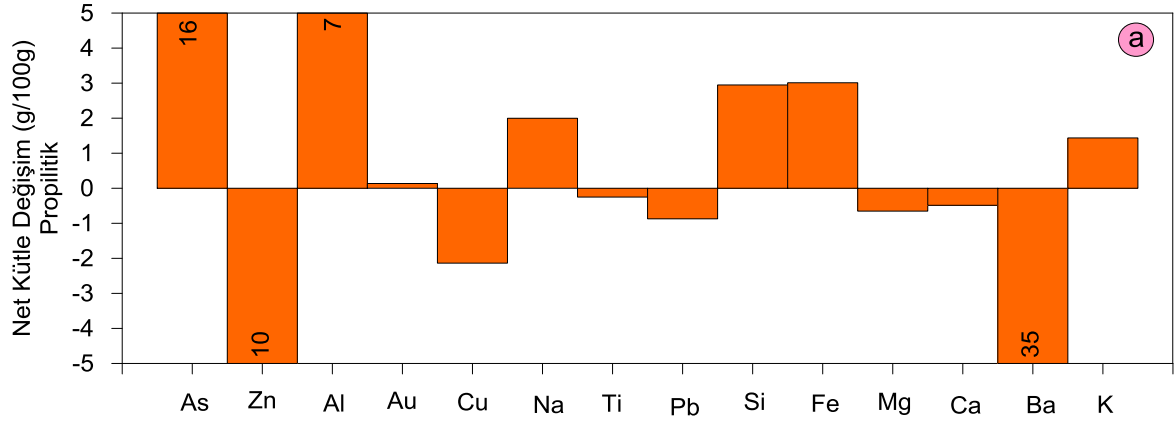
Net kütle değişim hesaplamaları g/100g olarak $\Delta Ci^A (g / 100 g) = [\Delta Ci^A (\%) / 100] \times [Ci^A (g / 100 g)]$ formülüne bağlı kalınarak belirlenmiştir. Elde edilen net kütle değişimleri neticesinde propilitik zonda K (1.43 g/100g), Si (2.95 g/100g) ve Fe (3.01 g/100g) miktarda artma gözlenirken Ca (0.49 g/100g) ve Mg (0.65 g/100g) elementlerinde ise azalma gözlenmiştir (Şekil 3.37a).

Cevherli zonda sadece potasyum elementinde g/100 g olarak 6.51 oranında artma belirlenmiştir. Au, Mo ve Pb elementlerine ait cevherli zonda tespit edilen net kütle artışları g/100g olarak sırasıyla 207.85, Mo 21.37 ve 10.63'tür (Şekil 3.37b).

Cevherli zonda gözlenen net kütle değişim zenginleşmelerine benzer şekilde tüm hatta da K, As, Au, Mo ve Pb elementlerinde g/100g olarak sırasıyla 5.14, 8.39, 111.72, 16.09 ve 10.74 net kütle artışı belirlenmiştir (Şekil 3.37c).

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasında kırık hattına dik doğrultuda sistematik olarak alınan örneklerin analiz sonuçlarından yararlanılarak Huston (1993)'e göre hesaplanan mineral, kütle ve kimyasal değişimler çalışmanın yapıldığı Gümüşhane İli ve çevresinde yer alan diğer alterasyon (Zigana alterasyon sahası; Sipahi, 2005, Kermut alterasyon sahası; Demir, 2014) ve cevherleşme sahalarında (Mastra Au madeni; Aslan, 2011, Arzular Au cevherleşmesi, Akaryalı, 2010) elde edilen verilerle karşılaştırıldığında, benzer alterasyon mineral birlikteliğinin varlığı göze çarpmaktadır.

Buna bağlı olarak Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahasındaki gözlenen alterasyonları oluşturan sıvıların silisyumca zengin bileşimde olduğu, alterasyon zonlarının merkezinde silisleşme ve serizitleşmenin yoğun olduğu, altere alandan uzak zonlarda ise demirli ve magnezyumlu kloritlerin alterasyon mineralleri olduğu sonuçlarına varılmıştır.



Şekil 3.37. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar cevherleşmesine dik bir hat boyunca alınan örneklerin ortalamasına göre net (g/100g) kütle değişim diyagramları (a: propilitik zon, b: cevherli zon, c: tüm hat).

3.8. Anomali Haritaları

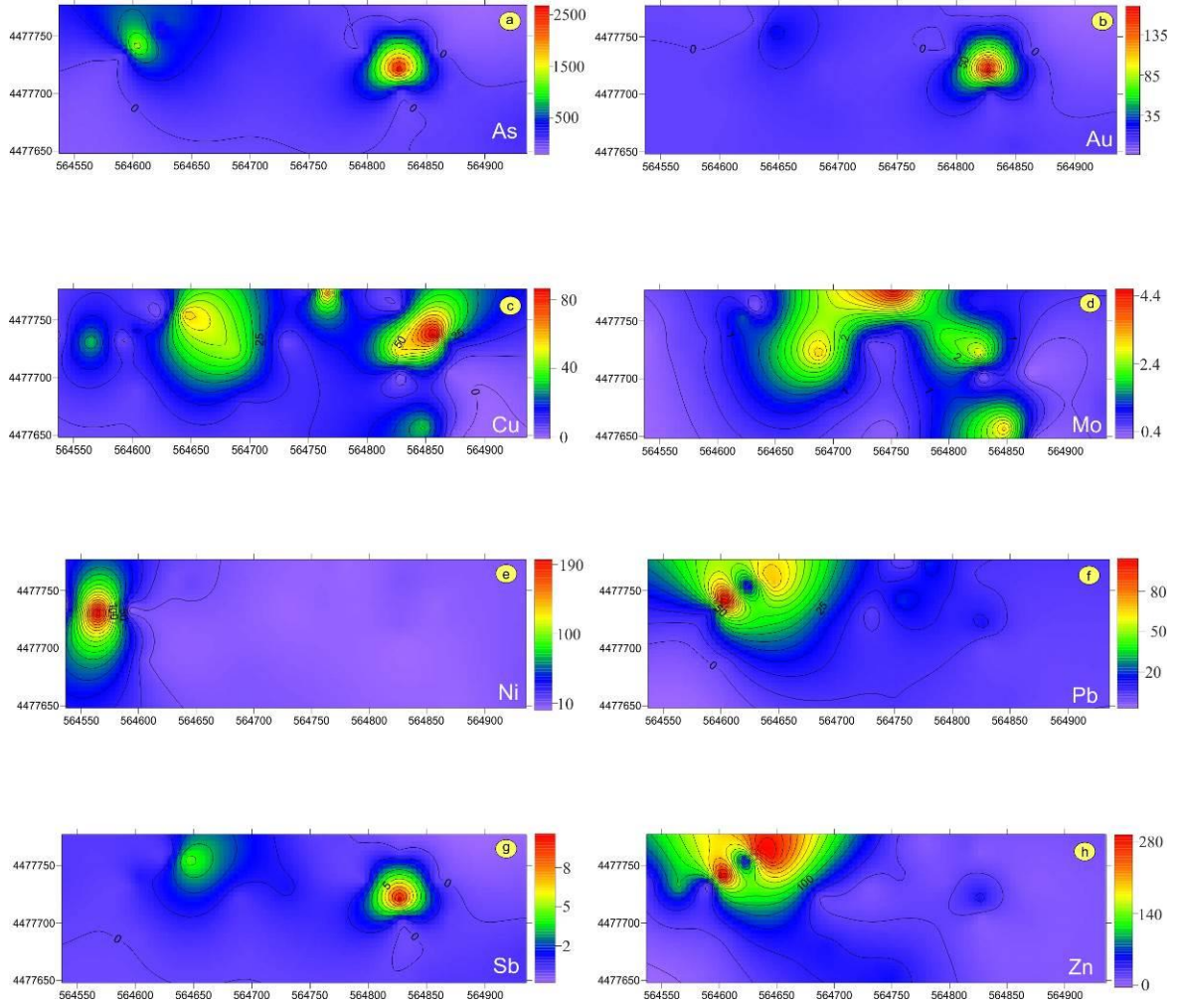
Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar alterasyon sahalarını temsil edecek şekilde yapılan örnekleme sonucu elde edilen altere örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre şu bulgular elde edilmiştir. Anomali haritalarının hazırlanmasında Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Sb ve Au elementleri kullanılmıştır. Söz konusu elementlere ait temel istatistik parametreleri incelendiğinde; Au değerlerinin 0.50-175.60, As değerlerinin 4.40-2746.80, Zn değerlerinin 5.00-2563.00 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. Temel istatistiksel parametreler

Element	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
Mo	30	0.20	6.30	1.56	1.66	2.76	1.55	1.60
Cu	30	0.80	92.30	20.09	23.18	537.48	1.62	2.25
Pb	30	0.60	116.00	14.00	25.04	627.10	3.10	9.96
Zn	30	5.00	2563.00	132.13	467.41	218476.19	5.19	27.70
Ni	30	0.20	266.60	21.61	60.00	3599.70	3.71	12.93
As	30	4.40	2746.80	251.90	580.75	337265.19	3.37	12.17
Sb	30	0.10	10.90	0.83	2.10	4.41	4.26	19.47
Au	30	0.50	175.60	8.59	31.85	1014.70	5.32	28.72

Bu elementlere ait anomali haritalarına bakıldığında ise Au-As-Sb, Pb-Zn ve Cu-Mo-Ni element çiftlerine ait anomalilerin aynı bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 3.38).

Elementlere ait anomalilerin yoğunluk kazandı alanlar dikkate alındığında, anomalilerin kırık sistemleri ile ilişki olduğu ve genel olarak doğrultularının KD-GB ile yaklaşık D-B olduğu belirlenmiştir. Anomali doğrultularının Doğu Pontidler'de cevherleşme ilişkili kırık sistemleri ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra inceleme alanının güneyinde Arzular yöresinde volkanik kayalarla ilişkili altın cevherleşme sahasında Akaryalı, (2010) yaptığı doktora tezi çalışmasında benzer kırık sistemleri belirlemiş ve cevherleşmeyi bu kırık sistemleri ile ilişkilendirmiştir.



Şekil 3.38. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar alterasyon sahalarının anomali haritaları

3.9. Duraylı İzotop Jeokimyası

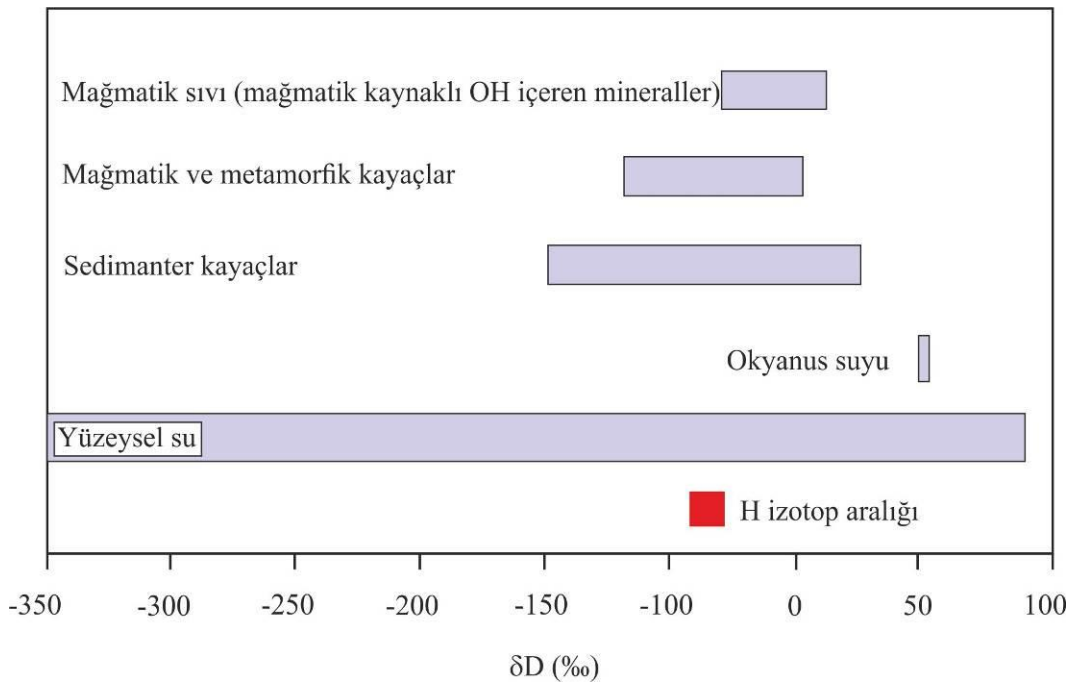
3.9.1. Oksijen ve Hidrojen İzotopları

Duraylı izotop çalışması kapsamında Hidrojen ve Oksijen duraylı izotoplarından yararlanılmıştır. Hidrojen atom numarası bir olan ve atom numarası 1-3 arasında değişen ve üç izotopu (^1H , ^2H , ve ^3H) bulunan bir elementtir. Duraylı izotop çalışmalarında ^1H (hidrojen) ve ^2H (^2D , döteryum) kullanılmaktadır (Hoefs, 1987). Oksijen, atom numarası 8 ve atom ağırlıkları 16 ile 18 arasında değişen ve 3 adet izotopu (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) bulunan bir elementtir. (Hoefs, 1987; Weast, vd., 1986).

Hidrojen izotopları, kolay ayrımlanan izotoplar olması nedeniyle, bünyesinde H elementi bulunduran minerallerden farklı olarak, oluşan alterasyon minerallerinden (klorit,

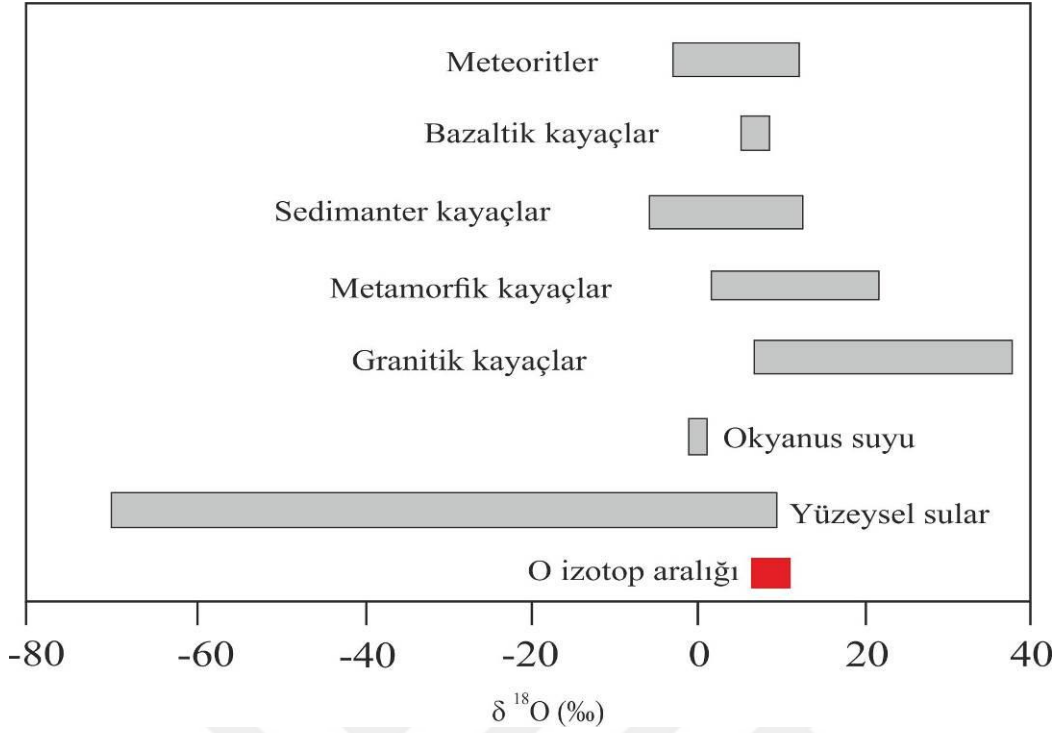
serizit, muskovit, serpantin ve talk) ve sıvı kapanımlardan hidrojen izotop analizi yapılabilmektedir (Akçay, 2002; Gökçe, 1993). Oksijen izotop analizleri ise; silikatlar, oksitler, karbonatlar, sülfürler ve sıvı kapanımlar içindeki sıvılardan yararlanarak yapılır.

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yöresinde yer alan alterasyonların oluşumuna sebep veren çözeltilerin kökenini belirlemeye yönelik, toplam 3 adet serizit mineralden H ve O izotop analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre oksijen izotop değerleri ‰ 5.6-10.0 aralığında, (Şekil 3.39) hidrojen izotop analiz değerleri ise ‰ -61 ile ‰ -71 aralığında (Şekil 3.40) değişmektedir.

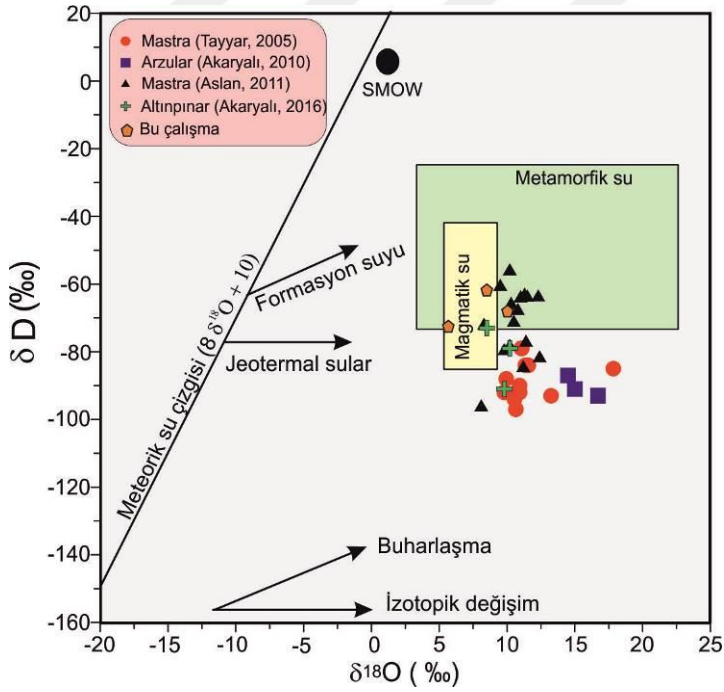


Şekil 3.39. Jeoloji olarak bazı ortamların hidrojen izotop bileşimleri (Hoefs 1987).

H ve O izotop analiz sonuçları; Taylor, (1974) ve Ohmoto, (1986) tarafından önerilen grafiğe aktarılarak, cevherleşme sürecinde aktif rol oynayan çözeltilerin kökeni belirlenmeye çalışılmış ve çalışılan alterasyon sahalarının da içinde yer aldığı Gümüşhane ilinde bulunan önemli cevherleşme sahalarında yapılmış H ve O izotop analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.41).



Şekil 3.40. Jeolojik bakımdan önemli çeşitli çözelti ve kayaçların SMOW'a oksijen izotop bileşimleri (Hoefs, 1987).



Şekil 3.41. Kaletaş-Söğütağlı-Akpınar yöresindeki alterasyon sahasından elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ (‰) ve δD (‰) izotop sonuçlarının, doğal çözeltilerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri (Taylor, 1974; Ohmoto, 1986) ve çalışma sahasındaki benzer maden yataklarının $\delta^{18}\text{O}$ (‰) ve δD (‰) izotop değerleri ile karşılaştırılması

Aslan (2011), Mastra Au Madeninde oksijen ve hidrojen izotop değerlerinin yanal ve dūşey yōndeki dağılımının Őekil olarak magmatik su alanıyla uyum gōsterdięini ve hidrotermal etkileşimi sağlayan çōzeltinin baskın olarak magmatik kōkenli olduğunu ve muhtemelen daha sonra yūzeysel sularla etkileşime uğradığını ifade etmektedir. Tayyar (2005) ise yine Mastra altın madeninde oksijen ve hidrojen izotop analiz sonuçlarına gōre çōzeltinin magmatik kōkenle ilişkilili olduğunu tespit etmiştir. Akaryalı (2010) ve Akaryalı (2016) sırasıyla Arzular altın ve Altınpınar Pb-Zn cevherleşmelerinde yaptığı duraylı izotop çalışmalarına gōre, O ve H izotop analiz verilerinin magmatik su alanına yakın bir alanda yer aldığını ve cevherleşmeyi oluşturan sıvıların magmatik su meteorik su karışımından oluştuğunu vurgulamaktadır.

Sōz konusu bu ilişkilendirmelere bağlı Kaletāř-Sōęūtaęıl-Akpınar alterasyon sahasında elde edilen oksijen ve hidrojen izotop değerleri de tıpkı Arzular, Mastra ve Altınpınar sahalarında olduğu gibi magmatik su alanına yakın bir alanda toplanmaktadır. Bu bağlamda cevherleşmeyi oluşturan sıvıların magmatik su ve meteorik suyun karışımından oluştuğu sōylenbilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar (Gümüşhane) alterasyon sahasında tezin amacına yönelik olarak yapılan çalışmalar neticesinde çalışmaya ait elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yörelerinde, andezitik-bazalt ve piroklastlarından oluşan Alibaba Formasyonu (Erken Eosen) ile bu birimi keserek yerleşen monzogranit, granodiyorit ve kuvars monzodiyorit bileşimindeki Kaletaş Granitoyidi (Orta Eosen) bulunmaktadır. Traverten (Kuvaterner) ise uyumsuz olarak bu birimlerin üzerine gelmektedir.

2. Eosen yaşlı volkanitlerin; kimyasal adlandırma diyagramına göre andezit ve andezit/bazalt alanlarına düştüğü, kalk-alkali karakterde olduğu, nadir toprak element dağılımlarına göre volkaniklerin aynı veya benzer manto kaynağından türedikleri, tektonik ortam diyagramına göre ise volkaniklerin, kıtasal yay volkaniti olduğu tespit edilmiştir.

3. Kaletaş Granitoyidi'nin kimyasal analiz sonuçlarına göre örneklerin monzogranit, granodiyorit ve kuvars monzodiyorit bileşiminde kalkalkalen özellikte metalümin karakterde olduğu, tektonik konuma göre ise I tipi volkanik yay graniti karakterinde olduğu belirlenmiştir.

4. Alibaba Formasyonu içinde gelişen alterasyonlar KB-GD ve yaklaşık D-B doğrultuya sahip kırık zonları ile ilişkilidir. Limonitleşme, hematitleşme, kloritleşme, killeşme ve silileşme en karakteristik alterasyon türleridir.

5. Serizitleşme indeksine (SI) karşılık $K_2O + Na_2O$ grafiğine göre örneklerin kalk-alkali ve hidrotermal alterasyon alanında yer aldığı, serizitleşme indeksine karşı çizilen CaO diyagramında ise örneklerde karbonatlaşmanın varlığı, Al_2O_3 - MgO - $(CaO+Na_2O+K_2O)$ üçgen diyagramına göre örneklerin tümünün serizitleşme alanında yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

7. Kaletaş-Söğütağıl-Akpınar yörelerinde gözlenen hidrotermal alterasyonların kil mineral parajenezini belirlemek için yapılan XRD analizleri sonucunda kil mineralleri olarak illit ve kaolinit tespit edilmiştir. Kil dışı bileşen olarak ise kuvars, plajiyoklas ve klorit belirlenmiştir. İllit ve kaolen miktarı alterasyon merkezine doğru yaklaştıkça artmaktadır.

8. Sistematik olarak alınan altere örneklerin kimyasal analiz sonuçları MINSQ programı ile değerlendirildiğinde, cevherli alterasyon zonunda kuvars, K'lu feldspat, serizit \pm kaolen \pm , propilitik zonunda ise baskın alterasyon minerali albite ilaveten epidot, Fe'li klorit, Mg'lu klorit tespit edilmiştir.

9. İzokon yöntemine bağlı olarak hesaplanan eğim değerlerine göre; propilitik zonda ($m=1.14$) ve potasik zonda ($m=2.40$) kütle kaybı belirlenmiştir. Kütle değişim hesaplamalarında kullanılmak üzere yapılan korelasyon hesaplamalarına göre en hareketsiz element çifti olarak Zr-Hf ($r = 0.98$) belirlenmiştir.

10. Nispi kütle değişim hesaplamalarına göre propilitik zonda Mg, Ca, Si, Cu, Pb, Zn ve Au elementlerinde göreceli azalma gözlenirken K, Fe, As ve Mo elementlerinde göreceli artma, Cevherli zonda K, Pb, Mo ve Au elementlerindeki artışa rağmen Ca, Na, Fe, Mg, Cu ve As elementlerinde azalma, tüm hat için yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre ise, K'da artma ve Si'da azalma gözlenirken, cevher yapıcı elementlerden ise Mo'de ve Pb'da artma Cu, Au ve Zn miktarlarında artışa karşın Na, Ca, Fe ve Mg elementlerinde ise nispi azalma belirlenmiştir.

12. Net kütle değişim hesaplamalarına göre, propilitik zonda ana elementlerden K, Si, Fe miktarında artma gözlenirken Ca ve Mg miktarlarındaki azalma, cevherli zonda ise sadece K, Pb, Mo ve Au elementlerinde zenginleşme, tüm hat için yapılan net kütle değişim hesaplamalarında ise, cevherli zonda olduğu gibi K artışı ve cevher minerali oluşturan As, Au, Mo, As ve Pb elementlerinde net kütle artışı belirlenmiştir.

13. Anomali haritalarının hazırlanmasında Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Sb ve Au elementleri kullanılmıştır. Bu elementlere ait anomali haritalarında Au-As-Sb, Pb-Zn ve Cu-Mo-Ni element çiftlerine ait anomalilerin aynı bölgede yoğunlaştığı belirlenmiştir. Anomali haritalarında genel olarak doğrultularının KD-GB ile yaklaşık D-B olduğu belirlenmiş olup anomali doğrultularının Doğu Pontidler'de cevherleşme ilişkili kırık sistemleri ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

14. Duraylı izotop çalışması kapsamında Hidrojen ve Oksijen duraylı izotoplarından yararlanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre oksijen izotop değerleri ‰ 5.6-10.0 aralığında, hidrojen izotop analiz değerleri ise ‰ -61 ile ‰ -71 aralığında değişmektedir. $\delta^{18}\text{O}$ (‰) ve δD (‰) diyagramında cevherleşmeyi oluşturan sıvıların magmatik su ve meteorik suyun karışımından oluştuğu söylenebilir.

5. KAYNAKLAR

- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelenmesi, doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akaryalı, E., Tüysüz, N., 2013. The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). Geoscience Frontiers, 4-4,409-421.
- 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.
- Akaryalı, E., Akbulut, K., 2016. Constraints of C–O–S isotope compositions and the origin of the Ünlüpınar volcanic-hosted epithermal Pb–Zn ± Au deposit, Gümüşhane, NE Turkey Journal of Asian Earth Science, 117, 119-134.
- Akçay, M., Çavga, H., 1997. Geology, Mineralogy and Genesis of the Auriferous Quartz Veins in the Olucak (Gümüşhane) Area, Selçuk University 20th Anniversary Geology Symposium, Ekim, Konya, Bildiriler Kitabı: 189-202 (in Turkish with Engl. Abstr.).
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1999. Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 96s.
- Arslan, M., Aslan, Z., 2005. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of Tertiary granitic intrusion in the eastern Pontides, turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Aslan, N., 2011. Mastra (Gümüşhane) Yatağı'nın Jeolojik, mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydıncakır, E., 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.
- Aydıncakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early-Eocene non-adakitic volcanism in NE Turkey: Constraints on geodynamic implications. Lithos, 208, 361-377.
- Barret, T.J., MacLean, W.H., 1991. Chemical, Mass, and Oxygen Isotopic Changes during Extreme Hydrothermal Alteration of an Archean Rhyolite, Noranda, Econ. Geology, 86, 406-441.
- Barret, T.J. Cattalani, S., Maclean W.H., 1993. Volcanic Lithochemie and Alteration at the Delbridge Massive Sulfide Deposit, Noranda Quebec, Jour. Of Geochem. Expoloration, 48, 135-173.

- Barret, T. J., MacLean, W. H., 1994. Mass Changes in Hydrothermal Alteration Zones Associated with VMS Deposits of the Noranda Area, Exploration and Mining Geology, 3, 131-160.
- Bektaş, O., 1981. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan-Tanyeri Bucağı Yöresindeki Özellikleri ve Yersel Ofiyolit Sorunları. Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 196.
- Bektaş, O., 1984. Pontid'lerde Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KÜ Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji, 3/1-2, 53-62.
- Bektaş, O., Güven, İ.H., 1995. Alaskan Aphinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey), *Geology of the Black Sea Region*, 189-196. Ankara.
- Boynton, W. V., 1984. Cosmochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P. (Ed), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, 63-114.
- Böhlke, J.K., 1989. Comparison of Metasomatic Reactions between a Common CO₂-rich Vein Fluid and Diverse Wall Rocks: Intensive Variables, Mass Transfers, and Au Mineralization at Alleghany, California, *Econ. Geology*, 84, 291-327.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar, İTÜ Yayını, No: 1034 İstanbul.
- Çubukçu, A., 1998. Kaletaş (Gümüşhane) Epitermal Altın Cevherleşmesinin Jeolojisi, Jeokimyası ve Mineralojisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dana, J. D., 1993. *Manuel of Mineralogy*, John Wiley and Sons, Inc. 21st. Eds., New York -Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore, 681.
- Debon, F., Le Fort, P., 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations, *Trans, Roy. Soc., Edinburgh, Earth Sci.*, 73, 135-149.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock – Forming Minerals*, John Wiley and Sons, Inc. 21st. Eds., New York, 696.
- Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn Madenleri ve Yan Kayaçlarının Mineralojisi ve Dokusal Özelliklerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Demir, H.B., 2014. Kermut (Tekke-Gümüşhane) Yöresi Hidrotermal Alterasyonların Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

- Dokuz, A, 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high potassium I-type Magmatism in the Eastern Pontides: The Köse composite Pluton. *Gondwana Research* 19, 926-944.
- Elliott-Meadows, S., Appleyard, E., 1991. The Alteration Geochemistry and Petrology of the Lar Lake Cu-Zn Deposit, Lynn Lake Area, Manitoba, Canada, *Econ. Geol.*, 86, 486-505.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafız, M., Jacoby, W.R., Özer, R., 2006. Three-directional Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geol. Carp.* 57, 5, 337-346.
- Eyüboğlu, O. Bektaş, D. Pul., 2007. Mid-Cretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey), *International Geology Review* 49. 1103–1126.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous High-K Volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt: Implications for the Geodynamic Evolution of NE Turkey, *International Geology Review*, 52, 142-186.
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryalı, E., 2011a. Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: implications for slab window melting. *Gondwana Res.* 19, 413–429.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Chung, S.L., 2011b. Petrochemistry and U–Pb ages of adakitic intrusions from the Pular massif (Eastern Pontides, NE Turkey): implications for slab roll-back and ridge subduction associated with Cenozoic convergent tectonics in eastern Mediterranean. *J. Geol.* 119, 394–417.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryalı, E., Chung, S.L., Akdag, K., Bektaş, O., 2013a. The nature of transition from adakitic to non-adakitic magmatism in a slab-window setting: a synthesis from the eastern Pontides, NE Turkey. *Geosciences Frontiers* 4, 353–375.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Yi, K., Kwon, S., Akaryalı, E., 2013b. Petrogenesis and U–Pb zircon chronology of adakitic porphyries within the Kop ultramafic massif (Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey). *Gondwana Res.* 24, 742–766.
- Eyüboğlu, Y., 2015. Petrogenesis and U-Pb Zircon Chronology of Felsic Tuffs Interbedded With Turbidities (Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey): Implications for Mesozoic Geodynamic Evolution of the Eastern Mediterranean Region and Accumulation Rates of Turbidite Sequences. *Lithos* 212-215, 74-92.

- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Zhu, D.C., Yi, K., Chatterjee, N., Jeong, Y.J., Akaryalı, E., Liu, Z., 2015a. Cenozoic forearc gabbros from the northern zone of the Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey: Implications for slab window magmatism and convergent margin tectonics. Gondwana Research, doi.org/10.1016/j.gr.2015.07.006.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, F.O., Santosh, M., Xiao, Y., Yi, K., Chatterjee, N., Wu, F.Y., Bektaş, O., 2015b. Where are the remnants of a Jurassic Ocean in the Eastern Mediterranean Region? Gondwana Research, doi:10.1016/j.gr.2015.08.017.
- Finlow-Bates, T., Stumppfl, E., 1981. The Behavior of the So-Called Immobile Elements in Hydrothermally Altered Rocks Associated with Volcanogenic Submarine-Exhalative Ore Deposits, Miner. Deposit, 16, 319-328.
- Floyd, P.A., Winchester, J.A., 1975. Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements, Earth and Planetary Science Letters, 27, 211-218.
- Fujimaki, H., Tatsumoto, M., Aoki, K., 1984. Partition coefficients of Hf, Zr and REE between phenocrysts and groundmasses, Proc. 4th Lunar Planet Sci Conf. 2., Journal of Geophysical Research, 89, B662-672.
- Gökçe, A., 1993. Hidrotermal Maden Yataklarının Köken ve Oluşum Koşullarının Araştırılmasında Kararlı İzotoplar Jeokimyası İncelemeleri ve Türkiye'den Örnekler, Jeoloji Mühendisliği, 42, 89-101.
- Gündoğdu, M. N., Yılmaz, O., 1984. Kil Mineralojisi Yöntemleri, I. Ulusal Kil Konferansı, Bildiriler Kitabı: 319-330.
- Güner S., Yılmaz, Z., Dursun, A., 1997. Gümüşhane - Kaletaş Altın Sahası Ara Raporu, MTA, Ankara.
- Güner, S., Er, M., Yazıcı, E., 1998. Gümüşhane İli Maden Potansiyeli, MTA Raporu, (yayımlanmamış), Trabzon.
- Güner, S., Yazıcı, E.N., 2011. Gümüşhane- Bayburt-Trabzon Kıymetli Metal (Au-Ag) ve Baz Metal (Cu-Pb-Zn) Sahaları Envanter Raporları, (yayımlanmamış), Trabzon.
- Güner, S., Dursun, A., Yılmaz, Z., Demirci, M., Yakıcı, M., 1999. Gümüşhane – Kaletaş Altın Cevherleşme Sahası Maden Jeolojisi, Rezerv Hesapları ve Ekonomik Değerlendirme Raporu, MTA, Ankara.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidler'in 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Genel Müdürlüğü (yayımlanmamış), Ankara.
- Grant, J.A., 1986. The İsocon Diagram a Simple Solution to Gresens Equations for Metasomatic Alteration, Econ. Geol., 81, 1976 - 1982.
- Greesens, R.L., 1967. Composition-volume Relationships of Metasomatism, Chemical Geology, 2, 47-65.,

- Hacialioğlu, T., 1983. Kale-Vauk Dağı (Gümüşhane) Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiiyes İncelenmesi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Harris, N. B. W., A. Pearce, A. G. Tindle 1986, Geochemical charesteristics of collision zone magmatism, In collision tectonic, M. P., Coward - A.C., Ries (eds), 67-81. Geol. Soc. Sp. Publ. 19.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A., 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.
- Hawkesworth, C.J., Hergt, J.M., McDermott, F., Ellam, R.M., 1991. Destructive Margin Magmatism and the Contributions from the Mantle Wedge and Subducted Crust. Australian Journal of Earth Sciences 38, 577-594.
- Hermann, W., Berry, R.F., 2002. MNSQ-A Least Squares Spreadshheet Method for Calculating Mineral Proportions from Whole Rock Major Element Analyses (yayınlanmamış).
- Hoefs, J., 1987. Stable Isotope Geochemistry, 3rd edn. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 241.
- Hofmann, A.W., 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust, Earth and Planetary Science Letters, 90, 297-314.
- Huston, D. L., 1993. The Effect of Alteration and Metamorphism on Wall Rocks to the Balcooma and Dry River South Volcanic-Hosted Massive Sulphide Deposits, Quessnsland, Australia, Jour. Of Geoch. Expl., 48, 277-307.
- Huston, D. L., Cozens, G. J., 1994. The Geochemistry and Alteration of the White Devil Porphyry Implications to Intrusion Timing. Mineral Deposita, 29, 275 - 287.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, Can J. Earth. Sci., 8, 523-548.
- Jenner, G.J., Longerich, H.P., Jackson, S.E., Fryer, B.J., 1990. ICP-MS a Powerful Tool for High Precision Trace-element Analysis in Earth Sciences; Evidence from Analysis of Selected U.S.G.S. Reference Samples, Chem. Geology, 83, 133-148.
- Kaur, P., Chaudhri, N., Hofmann, A. W., Raczek, I., Okrusch, M., Skora, S., Baumgartner, L. M., 2012. Two Stage, Extreme Albitisation of A-type Granite from NE Rajasthan, India, J. of Petrol., 53, 5, 919-948.
- Kahraman, İ., Kansız, H., Dursun, A., Yılmaz, H., Erçin, A.İ., 1984. Gümüşhane Yöresinin Jeolojisine ve Cevherleşmesine Ait Jeoloji Raporu, MTA Raporu, No:1951.

- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karşlı, O., Chen, B., Aydın, F., Şen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb Isotopic Compositions of The Eocene Dölek and Sarıççek Plutons, Eastern Turkey: Implications for Magma Interaction in The Genesis of High-K Calc-Alkaline Granitoids In A Post-Collision Extensional Setting. *Lithos* 98, 67-96.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, R.J., 2010. Generation of the early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination. *Lithos* 114, 109–120.
- Kaygusuz, A., 2000., Torul ve çevresinde yüzeylenen kayaçların petrografik ve jeokimyasal İncelenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 255s. (Yayınlanmamış).
- Kaygusuz, A., Wolfgang, S. Şen, C., 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., Chen, B., Arslan, Z., Siebel, W., Şen, C., 2009. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of the Early Cretaceous I-type Sarıosman pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 18, 549-581.
- Kaygusuz, A., Siebel, W., İlbeyli, N., Arslan, M., Satır, M., 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., Aydınçakır, E., 2011. Petrogenesis of a Late Cretaceous composite pluton from the eastern Pontides: the Dagbasi pluton, NE Turkey. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen* 188, 211-233.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., İlbeyli, N., Temizel, I., 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.
- Kelemen, P.B., Johnson, K.T.M., Kinzler, R.J., Irving, A.J., 1990. High-Field-Strength Element Depletion in Arc Basalts Due to mantle-Magma Interaction, *Nature*, 345, 521-524.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, *MTA Dergisi*, 66, 20-34.

- Large, R. R., Gernmel, J. B., Paulick, H., 2001. The Alteration Box Plot: A Simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Lithogeochemistry Associated with Volcanic - Hosted Massive Sulfide Deposits, *Economic Geology*, 96, 957 - 971.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R., Zanettin, B., 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms* Blackwell, Oxford.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A, Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A, Efremova, S., Keller, 1., Lamere, J., Sabine, P.A, Sclunid, R., Sorensen, H., Woolley, AR, 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks*, Cambridge University Pres, 236.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- MacLean, W.H., Kranidiotis, P., 1987. Immobile Elements as Monitors of Mass Transfer in Hydrothermal Alteration: Phelps Dogge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec, *Econ. Geology*, 82, 951-962.
- MacLean, W.H., 1990. Mass Change Calculations in Altered Rock Series, *Mineral Deposita*, 25, 44-49.
- MacLean, W.H., Hoy, L. D., 1991. Geochemistry of Hydrothermal Altered Rocks at the Home Mine, Noranda, Quebec. *Econ. Geology*, 86, 3, 506 - 528.
- Maden, N., 2005. Doğu Pontid Orojenik Kuşağının Yapı Stillerinin ve Kabuk Yapısının Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Maniar P. D., Piccoli P. M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids, *Geological society of America bull.*, 101, 635-643.
- Middlemost, E.A.K., 1989. Iron Oxidation Ratios, Norms and the Classification of Volcanic Rocks, *Chemie der Erde*, 77, 19-26.
- Mountain, B.W., Anthony, E.W.J., 1996. Mass Transfer and the Path of Metasomatic reactions in Mesothermal Gold Deposits: An Example from Flambeau Lake, Ontario, *Econ. Geology*, 91, 302-321.
- Pearce, J.A., Cann, J. R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, *Earth Planett. Sci. Lett.*, 19, 290-300.

- Pearce, J.A., 1982. Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Margins in: Thorpe R. S (Eds) *Andesites: Orogenic Andesites ve Related Rocks*, John Wiley, New York, 525-548.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub-continental Litosphere in Magma Genesis at Active Continental Margin, In; Hawkesworth, C.J. ve Norry, M.J. (Eds) *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva, Chenshire, 230-249.
- Pearce, J.A., N. B. W., Tindle, A. G., 1984. Trace Element Discrimination Diagram for the Tectonic Interpretation of Granitic Rock, *Journal of Petrology*, 25/4, 43-63.
- Pearce, J.A., Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of composition of volcanic arc magmas, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi, KTÜ yayını, 87, 103.
- Ringwood, A.E., 1990. Slab-mantle Interactions: 3. Petrogenesis of Intraplate Magmas and Structure of the Upper Mantle: *Chemical Geology*, 82, 187-207.
- Saydam, Ç., 2002. ‘Doğu Pontidler’de Geç Kretase yaşlı kırıntılı çökeltilerin sedimanter petrografik ve organik jeokimyasal özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Schmidberger, S.S., Hegner, E., 1999. Geochemistry and isotope systematics of calcalkaline volcanic rocks from the Saar-Nahe basin (SW German)-implications for Late Variscan Orogenic development, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, 373-385.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., Trabzon.
- Sipahi, F., Sadıklar, B., 2010. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53, 2-3.
- Stolz, A., Varne, R., Davies, G.R., Wheller, G.E., Foden, J.D., 1990. Magma source components in an arc-continent collision zone: the Flores-Lembata sector, Sunda arc, Indonesia, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 105, 585-601.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name, *Earth Sci. Rev.*, 12, 1-33.
- Sun, S., McDonough, Q.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts; Implications for Mantle Compositions and Processes. In Saunders, A.D., & Norry, M. J. (Eds) *Magmatism in the Ocean Basins*, Geol. Soc. London Spec. Publ., 42, 312-345.

- Tayyar, H., 2005. Mastra (Gümüşhane) Epitermal Altın Yatağının Jeolojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Thompson, M., Walsh, J.N., 1983. A Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry; Blackie, Glasgow, 380.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey), Doktora Tezi, University of College, London.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satir, M., Dokuz, A., 2005. Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150, 441–455.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.-H., Dokuz, A., Meyer, H.-P., 2007. Variscan Amphibolite-Facies Metamorphic Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex (Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey) *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Satir, M., Şen C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type Granitoid Magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos* 116, 92-110.
- Turner, S.P., 2005. Some remarks on magmatic processes beneath island arc volcanoes. *Advances in Science, Earth Sciences*, Imperial College Press, 131-155.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, 72.
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z., Ağanoğlu, A., 1994. Pontid Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru, *Türkiye Jeol. Bült.*, 37, 41-46.
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z., Akıncı, A., 1995. Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastra Epitermal Gold-silver Deposits, Gümüşhane NE-Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 11-21.
- Tüysüz, N., Akçay, M., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırmalı İncelemesi, Cumhuriyetin 75. Yılı Yer Bilimleri ve Madencilik Kongresi, Ekim, MTA, Ankara, Bildiriler Kitabı: 625-645.
- Van Gerven, M., 1995. Geochemische Nebengesteinsalterationen und Erfassung Signifikanter Zonierungen im Bereich des Jade - Erzfeldes, Okinawa - Trog, Japan, Dipl. - Geol., Freie Universitate, Rohstoff - und Umweltgeologie, Berlin, 186 s.
- Weast, R.C., Astle, M.J., Beyer, W.H., 1986. CRD Handbook of Chemistry and Physics. CRC Pres, Boc Raton, FL.

- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1976. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Diferantation Products Using Immobile Elements, Chem. Geol., 20, 97-127.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A., 1977. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Diferantation Products Using Immobile Elements, Chem. Geol., 20, 97-127.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, Y., 1973. Gümüşhane Granitinin Yerleşmesi, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Bildiriler Kitabı: 485-490.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimentolojik Kayıtları ve Kontrol Etkenleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 1, 141-165.
- Yaylalı-Abanuz, G., Tüysüz, 2010. Chemical, Mineralogical, and Mass-Change Examinations Across a Gold Bearing Vein Zone in the Akoluk Area, Ordu, NE, Turkey, N.Jb.Miner.Abh., 187/1, 11-22.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur ATAY 25 Mayıs 1990’ da Adapazarı’nda doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya’da tamamladıktan sonra 2009 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2013 yılında lisans öğrenimini bölüm birinciliği ile tamamladıktan sonra 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

