

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KERMUT (TEKKE-GÜMÜŞHANE) YÖRESİ HİDROTHERMAL
ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Basri DEMİR

**KASIM 2014
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KERMUT (TEKKE-GÜMÜŞHANE) YÖRESİ HİDROTHERMAL
ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Basri DEMİR

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.11.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 24.12.2014

KASIM 2014

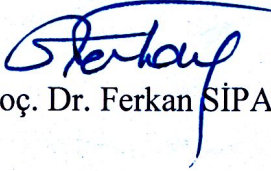


KABUL ve ONAY




Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI danışmanlığında **Hasan Basri DEMİR** tarafından hazırlanan “**KERMUT (TEKKE-GÜMÜŞHANE) YÖRESİ 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

: 
Doç. Dr. Ferkan ŞİPAHİ

Üye (Danışman)

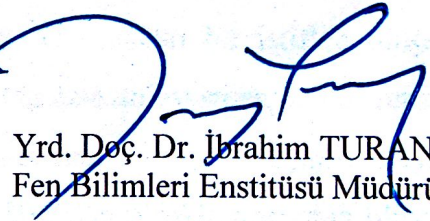
: 
Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI

Üye

: 
Doç. Dr. Nafiz MADEN

ONAY

Bu tez 21/1/2015 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

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KERMUT (TEKKE-GÜMÜŞHANE) YÖRESİ HİDROTHERMAL
ALTERASYONLARIN MODELLEMESİ

Hasan Basri DEMİR

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Enver AKARYALI

2014, 74 sayfa

Kermut (Gümüşhane, KD Türkiye) alterasyon sahası, Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin Güney Zon'u içinde yer almaktadır. Kermut sahasında yaşlıdan gence doğru Dogger-Malm Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu, Üst Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu ve Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu bulunmaktadır. Berdiga Formasyonu, tabanda kumlu kireçtaşı, üstte kristalize kireçtaşlarından oluşan yer yer masif yer yer tabakalı bir istiften oluşmaktadır. Kermutdere Formasyonu'nu oluşturan birimler ise alttan üste doğru sırasıyla sarı renkli kumlu kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı ve tüfit ara katmanlı kumtaşı, marn, kiltaşı ardışıklı türbiditik istif şeklindedir. Alibaba Formasyonu andezit, bazalt ve bunların piroklastlarından oluşmaktadır. Bazalt ve andezitler çoğunlukla yastık lav şeklinde olup yuvarlak ve akma şeklinde bulunmaktadır.

Eosen yaşlı volkanitlerin SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ve Nb/Y'ye karşı $\text{Zr}/\text{TiO}_2 \times 0.0001$ kimyasal adlandırma diyagramlarında andezit ve andezit/bazalt alanlarına düştüğü, kalk-alkali karakterde olduğu ve orta-yüksek-K alanlarında yer aldıkları belirlenmiştir. Volkanik

kayaçların plajiyoklas, klinopiroksen, hornblend ve magnetit mineral fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. Örneklerin, MORB'a göre normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİYLE; Sr, K, Rb ve Ba), Th ve Ce konsantrasyonları bakımından zenginleşme gözlenirken, yüksek çekim alanlı elementler (YÇAE; Zr, Ti ve Y), Nb ve Ta bakımından fakirleşme izlenmektedir. İncelenen volkanitlerin kondrite normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımları genel olarak birbirine benzerlik göstermektedir. Bu durum, Kermut yöresi volkanitlerini oluşturan kayaçların aynı veya benzer manto kaynağından türediklerini işaret etmektedir.

Çalışma konusu oluşturan alterasyonlar Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içinde yer alan andezitlere bağlı olarak gelişmiştir. Yörede gözlenen alterasyonlar genel olarak KD-GB doğrultulu ve yaklaşık D-B doğrultulu kırıkların çevresinde gözlenmektedir. Kırık zonlarının bulunduğu alanda cevherleşmeye ev sahipliği yapan andezitlerde gözlenen alterasyon türleri genel olarak limonitleşme, hematitleşme, killeşme ve silisleşme şeklindedir.

MINSQ yöntemine göre örnekleme yapılan profilde alterasyon mineralojisi olarak, potasik alterasyon zonunda kuvars, K'lu feldspat, serizit ± kaolen ±, propilitik zonunda ise baskın alterasyon minerali albite ilaveten epidot, Fe'li klorit, Mg'lu klorit tespit edilmiştir. İzokon yöntemine bağlı olarak hesaplanan eğim değerlerine göre; propilitik zonda kütle kaybı ($m=1.16$), potasik zonda kütle kazancı ($m=0.60$) belirlenmiştir. Tüm hat için yapılan nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişim hesaplamalarına göre; ana elementlerden K ve Si miktarlarında, cevher yapıcı elementlerden Cu, Pb, Au, As ve Ag miktarlarında artış gözlenirken, Na, Ca, Fe, Mg elementlerinde ise nispi azalma belirlenmiştir. Kırık hattına dik bir hat boyunca örnekleme yapılan kayaçların genel olarak kütlelerinde % 12.28'lik kaybın meydana geldiği hesaplanmıştır. Yapılan kütle değişim hesaplamalarından elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde; sıvıların taşıdığı cevher oluşturan elementlerin aralarındaki korelasyonların yüksek olması ve benzer zonlarda zenginleşmiş olmaları bölgedeki cevherleşmenin aynı fazda oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alterasyon, Kermut, Kütle kaybı, Kütle kazancı, MINSQ,

ABSTRACT

MS THESIS

MODELING OF HYDROTHERMAL ALTERATIONS IN THE KERMUT (TEKKE-GÜMÜŞHANE) AREA

Hasan Basri DEMİR

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Enver AKARYALI

2014, 74 pages

Kermut (Gümüşhane, NE Turkey) alteration field is located in southern zone of Eastern Pontide Tectonic Unit. In Kermut area, from older to younger, Dogger-Malm Lower Cretaceous age Berdiga Formation, Upper Cretaceous age Kermutdere Formation and Eocene age Alibaba Formation are found. Berdiga Formation is composed of, in places massive and in some layered, a stack consisting of sandy limestone at the base, and crystallized limestones at the top. The subunits of yellow coloured sandy limestone, red coloured limestone and turbidite like stack intermitted marl, clay stone and sandstone interlayered with tuffite compose Kermutdere Formation, from lower to the top orderly. Alibaba Formation is consisting of andesite, basalts and their pyroclastics. Basalts and andesites are mostly found as in forms of pillow lavas, round and lava flow shapes.

It is determined that the Eocene age volcanics have calc-alkaline character and are plotted in andesite and andesite/basalts areas and placed in medium-high K fields, based on

chemical naming diagrams of SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ and Nb/Y versus $\text{Zr}/\text{TiO}_2*0.0001$. It is defined that the volcanic rocks are composed of plagioclase, clinopyroxene, hornblende and magnetite mineral phases. In trace element changing diagrams normalized according to the MORB, the analyzed samples have showed an enrichment in terms of LILE (High Ion Radius Lileophile Elements (Sr, K, Rb ve Ba), Th and Ce concentrations, while an impoverishment of Nb and Ta in terms of HSFE (High Strength Field Elements like Zr, Ti and Y). The REE distributions values of examined volcanics, normalized according to the Kondrite, shows, in general, similarity to each other. This situation points out that the rocks composing of Kermutdere area volcanics are originated from same or similar mantle source.

The alterations subject to this study are developed and related to andesites found within Eocene age Alibaba Formation. The alterations seen in the study area are observed in general around the NE-SW and about E-W trending fractures. Within the area of fracture zones, the alteration types observed in the andesites hosting the mineralization are in general as follow: limonitization, hematitization, argillitization and silicification.

In the sampling profile based on the MINSQ method as alteration mineralogy quartz, K-feldspar, sericite \pm kaolin is determined in potassik alteration zone. In the propylitic zone, epidote, Fe-chlorite, Mg-chlorite are defined in addition to the dominant alteration mineral albite. According to the slope values calculated isocone method; mass loss in the propylitic zone ($m=1.16$) and mass gain in the potassic zone ($m=0.60$).

Based on the proportional (%) and net (g/100g) mass change calculations prepared for the whole, an increase in the amounts of K and Si (major elements) and Cu, Pb, Au, As and Ag (ore elements) were observed. On the other hand, a proportional decrease in the amounts of Na, Ca, Fe, Mg elements were determined.. It is calculated that a mass loss of % 12.28 have occurred in the mass of the rocks sampled along a profile perpendicular to the fracture line.

When the all data obtained from mass changes calculations made were evaluated; due to the high correlations between the elements carried by ore-forming fluids and to be enriched in similar zones, it is concluded that mineralizations in the region are occurred in the same phase.

Keywords: Hydrothermal alteration, Kermut, Mass loss, Mass gain, MINSQ,

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.

Gerek lisans gerekse lisansüstü eğitimim boyunca her türlü bilgi ve desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım; Doç. Dr. Yener EYÜBOĞLU, Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ ve Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi 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 Belirlenmesi 'ni 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 çalışmayı destekleyen TÜBİTAK projesinde araştırmacı olan sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Emre AYDINÇAKIR ve Arş. Gör. Dr. Mehmet Ali GÜCER'e TÜBİTAK projesi bursiyerleri Jeo. Müh. Kübra AKBULUT ve Jeo. Müh. Uğur ATAY'a ayrıca kıymetli meslektaşlarım Jeo. Müh. Mehmet FIRAT, Jeo. Müh. Enes TÜRK ve Jeo. Müh. Sinem BAĞ'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 Hakkı YOKUŞ'a teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta babam Mustafa DEMİR olmak üzere, annem Fatma DEMİR, kardeşlerim; Hamza DEMİR, Esra DEMİR ve Betül DEMİR, amcam Halis DEMİR, babaannem Gülbahar DEMİR ve hayat arkadaşım Yasemin DEMİR'e en derin saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Basri DEMİR
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım.....	2
1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü.....	2
1.4. Bölgesel Jeoloji.....	3
1.5. Önceki Çalışmalar.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	10
2.1. Giriş.....	10
2.1.1. Arazi Çalışması.....	10
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	11
2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması.....	11
2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması	11
2.1.3. Analitik Yöntemler	11
2.1.3.1. ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri	11
2.1.4. Büro Çalışması.....	12
3. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	13
3.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi.....	13
3.1.1. Berdiga Formasyonu	14
3.1.2. Kermutdere Formasyonu.....	16
3.1.3. Alibaba Formasyonu	19
3.2. Yapısal Jeoloji.....	21
3.2.1. Uyumsuzluklar	21
3.2.2. Tabakalı Yapılar.....	21
3.2.3. Kırıklı Yapılar	22

3.3.	Eosen Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası	23
3.3.1.	Giriş	23
3.3.2.	Volkanik Kayaçların Kimyasal Sınıflandırılması	23
3.3.3.	Ana, İz ve Nadir Toprak Element Kimyası.....	27
3.3.4.	Tektonik Ortam	31
3.4.	Kermut Alterasyon Sahası ve Yakın Çevresinin Jeolojisi	32
3.5.	Yan Kayaçlarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar	34
3.5.1.	Silisleşme	35
3.5.2.	Serizitleşme.....	35
3.5.3.	Kloritleşme ve Hematitleşme.....	38
3.5.4.	Kalsitleşme.....	38
3.6.	Yan Kayaçlarda Tespit Edilen Element ve Kütle Değişimleri	39
3.6.1.	Mineral Değişim Hesaplamaları	39
3.6.1.1.	MINSQ Yöntemi.....	39
3.6.1.2.	Damara Dik Bir Hat Boyunca Alterasyon Mineral Değişimi	40
3.7.	Kütle Değişim Hesaplamaları	42
3.7.1.	İzokon Yöntemi.....	42
3.7.2.	Yan Kayaçlarda Meydana Gelen Kütle ve Kimyasal Değişimler	43
4.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
5.	KAYNAKÇA.....	55
6.	EKLER.....	62
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2.	Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri.	5
Şekil 3.1.	İnceleme alanının genelleştirilmiş kolon kesiti	13
Şekil 3.2.	İnceleme alanının jeoloji haritası	14
Şekil 3.3.	Kermut Köyü çevresinde yüzeyleyen kalın masif ve ince tabakalı Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının görünümü (Gazioğlu Deresi batısı).	15
Şekil 3.4.	Berdiga Formasyonu'na ait kristalize dolomitik kireçtaşlarının mikroskobik görünümü.....	16
Şekil 3.5.	Kermutdere Formasyonu'nun tabanında bulunan kırmızı renkli kireçtaşlarının görünümü.....	17
Şekil 3.6.	Kermutdere Formasyonu'na ait türbiditik istiflerin görünümü (Kermut Köyü)	17
Şekil 3.7.	Kermutdere Formasyonu'na ait kumtaşı örneğinin mikroskobik görünümü	18
Şekil 3.8.	Eosen yaşlı andezitlerin çatlaklı yapısından görünüm	19
Şekil 3.9.	Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu'nda görülen andezitlerin (A) ve andezitik tüflerin (B) mikroskobik görünümü	20
Şekil 3.10.	Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu ile Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu arasındaki sınır ilişkisinin görünümü	20
Şekil 3.11.	Kermutdere Formasyonu'nda gözlenen tabakalı yapılar.....	22
Şekil 3.12.	Alibaba Formasyonu'na ait andezitlerde gözlenen kırık sistemleri	23
Şekil 3.13.	Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresindeki volkanik kayaçların SiO ₂ 'ye karşı Na ₂ O+K ₂ O (TAS) diyagramı	24
Şekil 3.14.	Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresindeki volkanik kayaçların Nb/Y'ye karşı Zr/TiO ₂ *0.0001 diyagramı	26
Şekil 3.15.	Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresindeki volkanik kayaçlarının AFM üçgen diyagramı.....	26
Şekil 3.16.	Kermutdere volkanik kayaçlarının magmatik afinite diyagramları. a) Th/Yb - Zr/Y ve b) La - Yb diyagramları.	27
Şekil 3.17.	Kermut volkanik kayaçlarının SiO ₂ (%)'ye karşı ana oksit (%) değişim diyagramları.....	29
Şekil 3.18.	Kermut volkanik kayaçlarının SiO ₂ (%)'ye karşı iz element değişim diyagramları.....	30
Şekil 3.19.	Kermut volkanik kayaçlarının iz element dağılım diyagramları, (a) MORB'a göre, (b) kondrite normalize edilmiş NTE dağılımları.....	31

Şekil 3.20. Kermut volkanik kayaların tektonik ayırtman diyagramları. (a) Nb (ppm)'ye karşı Nb/Th diyagramı. (b) Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramı. (c) Zr (ppm)'a karşı Ti (ppm) diyagramı.....	32
Şekil 3.21. Andezitlerde gözlenen kloritleşme (Kermut Köyü Kuzeyi).....	33
Şekil 3.22. Andezitlerde gözlenen limonitleşme, hematitleşme ve killeşmeler (Şonkalesi Deresi kuzeyi).....	33
Şekil 3.23. Alterasyon mineralojisini belirlemek amacıyla damara dik doğrultuda örnekleme yapılan kırık hattının görünümü (Şonkalesi Deresi kuzeyi).....	34
Şekil 3.24. Eosen yaşlı andezitlerde, ayrışmaların mikroskop altında çapraz nikeldeki görünümleri	36
Şekil 3.25. Andezitlerin serizitleşme indeksine ($SI = K_2O / (K_2O + Na_2O) (%)$) karşı; (a) $(K_2O + Na_2O) (%)$ ve (b) SI'ya karşı CaO (%) diyagramındaki dağılımları.....	37
Şekil 3.26. 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	37
Şekil 3.27. Eosen yaşlı volkanitlerin Alterasyon indeksine [$AI = 100 * (K_2O + MgO) / (K_2O + MgO + Na_2O + CaO)$] karşı (a) Na_2O ve (b) K_2O diyagramlarındaki dağılımları	38
Şekil 3.28. Kırık sistemlerine dik olacak şekilde sistematik olarak alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarının MINSQ yöntemiyle (Herrmann Berry 2002) minerallerin değişimlerinin gözlenmesi.	41
Şekil 3.29. Kermut alterasyon sahasında, örnekleme profilinde Zr-Hf arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.	44
Şekil 3.30. Kermut Alterasyon zonunda kırık hattına dik doğrultuda hesaplanan izokon diyagramları.....	45
Şekil 3.31. Kermut alterasyon zonunda kırık hattına dik bir hat boyunca hesaplanan nispi kütle değişim diyagramları a) propilitik alterasyon zonu, b) cevherli zon, c) tüm hat için hazırlanan % değişim diyagramları (Elementler azalandan artana doğru sıralanmıştır).	47
Şekil 3.32. Kermut alterasyon sahasında, en az altere kayaca göre ayrılmış kayaçta hesaplanan ve kayaçta nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayaçta oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar	48
Şekil 3.33. Kermut alterasyon zonunda kırık hattına dik bir hat boyunca hesaplanan net (g/100g) kütle değişim diyagramları a) propilitik alterasyon zonu, b) cevherli zon, c) tüm hat.	49
Şekil 3.34. Kermut alterasyon sahasında detay çalışılan kırık hattında gözlenen alterasyon mineralleri.	50

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Kermut yöresinde yüzeyleme veren volkanik kayaçların ana, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları.....	25
---	----

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AI	: Alterasyon indeksi
AK	: Ateşte kayıp
An	: Anortit
ANTE	: Ağır nadir toprak elementler
BİYLE	: Büyük iyon yarıçaplı litofil elementler
CCPI	: Klorit-karbonat-pirit indeksi
C_i^A	: Ayırılmış kayaçtaki bir bileşenin konsantrasyonu
C_i^O	: Taze kayaçtaki bir bileşenin konsantrasyonu
C_i^S	: Ölçeklendirilmiş ayırılmış örnek konsantrasyonu
cm	: Santimetre
D.L.	: Dedeksiyon Limiti
g	: Gram
HNTE	: 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
ONTE	: Orta nadir toprak elementler
Ppb	: Part per billion (milyarda bir)
Ppm	: Part per million (milyonda bir)
r	: Korelasyon katsayısı
SI	: Serizitleşme İndeksi
YÇAE	: Yüksek çekim alanlı elementler
Δ	: Nispi ve net kütle değişim katsayıları
μ	: Mikron

1. GİRİŞ

Gümüşhane ili ve çevresi, madencilik anlamında bulunduğu coğrafyada dikkat çeken bir bölgedir. Gümüşhane’de bulunan madenler özellikle Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Mn ve Ba bakımından önemli bir konuma sahiptir. Mastra Madeni başta olmak üzere, Midi Zn-Pb Madeni, Kaletaş, Olucak, Arzular Au cevherleşmesi, 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; Akaryalı, 2010; Akaryalı ve Tüysüz, 2013).

Bu önemli maden yataklarının yanı sıra Gümüşhane İli ve çevresinde potansiyel cevherleşme sahaları da mevcuttur. Bu sahalardan önemli olanları, Gümüşhane İli Torul İlçesinde yer alan Kalkanlı, Herek ve Beşkise alterasyon zonlarıdır. Çalışma konusunu oluşturan Kermut alterasyon sahası da bu potansiyel cevherleşme sahalarına iyi bir örnektir. Bu sahada Güner ve Yazıcı (2011) tarafından yapılan yüzeysel jeokimyasal prospeksiyon kapsamında Kermut sahasında 2003 yılında alınan 7 adet jeokimyasal kayaç örneğinin (JS 74–80) analizlerinden 4 adetinde Au (50 – 350 ppb), 4 adetinde Ag (2.3 - 6.5 ppm), 5 adetinde As (46 – 202 ppm) değeri elde edilmiştir. 2004 yılında Kermut alterasyon sahasından alınan 24 adet jeokimyasal örneğin analizinden ise 2 adetinde Au (40 ppb), 5 adetinde Ag (2.4- 6.4 ppm), 9 adetinde As (37- 230 ppm), 4 adetinde Cu (102–111 ppm), 1 adetinde Pb (130 ppm), 4 adetinde Zn (107- 265 ppm) ve 3 adetinde Mo (11- 18 ppm) değeri elde edilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kermut alterasyon sahasının bulunduğu alanda yapılan çalışmalar MTA tarafından yapılan çalışmalar ile sınırlıdır. MTA çalışma sahasında farklı yıllarda jeokimyasal kayaç örneklerine bağlı olarak prospeksiyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmada ise Kermut alterasyon sahasının jeolojisi, volkanik kayaçların petrografisi ve jeokimyası, kırık hatlarının detay jeolojisi, alterasyonun kırık sistemleri ile olan ilişkisi, alterasyon mineralojisi, yan kayaçlarda meydana gelen mineralojik ve kütleli değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım

İnceleme alanı, Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Gümüşhane il sınırları içerisinde bulunan Trabzon H43-a1 paftasında yer alan Kermut Köyü çevresinde yaklaşık 10 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).

İnceleme alanına ulaşım, Trabzon-Erzurum karayolundan sağlanmaktadır. Mahalleler arası ulaşım ise asfalt ve stabilize yollardan yapılmaktadır. Kermut sahası Gümüşhane'ye ulaşım yönünden yakın olmakla beraber Tekke Beldesi'nden stabilize yolla sağlanmaktadır.

1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü

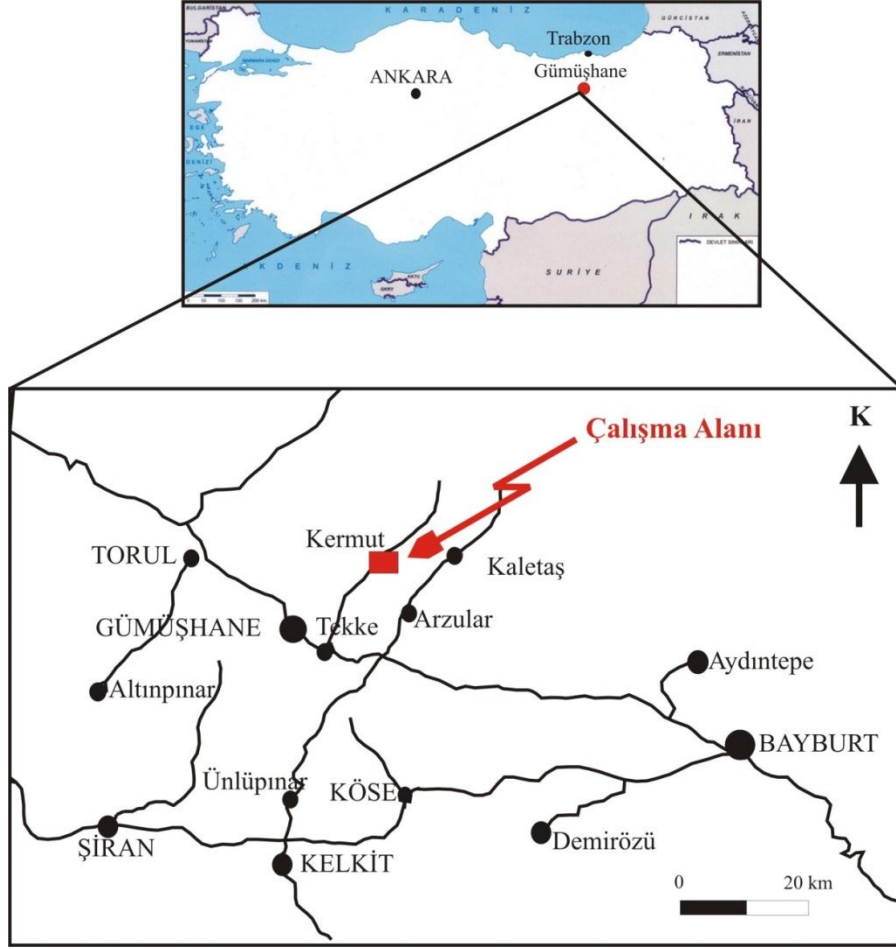
İnceleme alanına en yakın yerleşim yeri Kermut Köyü'dür. İnceleme alanının en önemli yükseltisi Mastrabol Sırtı (1919 m)'dir.

Çalışma alanının büyük bir kısmı bozkırlarla kaplıdır. Dere yatağı ve sulak arazilerde kavak ağaçları, yer yer çam ve meşe ağaçları görülmektedir.

Yörenin iklim tipi, karasal iklimdir. İlkbahar mevsimi yağışlı geçerken yazlar sıcak ve kurak geçmektedir. Kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır. Buna bağlı olarak ortalama sıcaklık, yazın 20-35°C arasında, kışın ise 5° ile -15°C arasındadır.

Çalışma alanının en önemli akarsuyu Harşit Çayı'dır. Ayrıca çalışma alanında Gazioğlu ve Şonkalesi dereleri bulunmaktadır.

Tarıma elverişli alanlar çok fazla olmamakla beraber, akarsu kenarlarındaki düz alanlarda bahçe tarımı ve hayvancılık halkın geçim kaynağı olmuştur.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

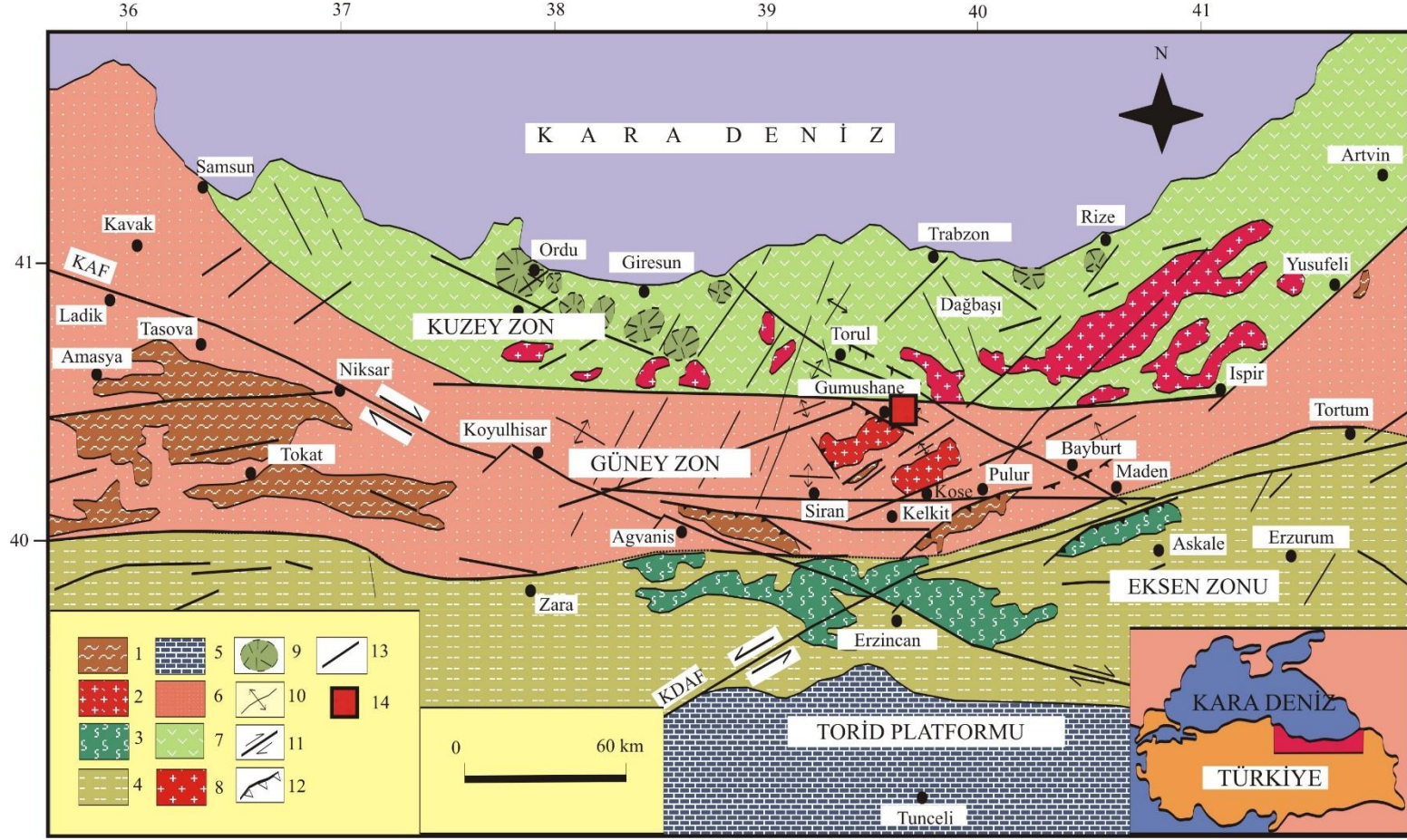
1.4. Bölgesel Jeoloji

Doğu Pontid Tektonik Birliği, bölgede gözlenen kayaçların sedimentolojik, tektonik ve magmatik özelliklerine bağlı olarak; “Kuzey Zon”, “Güney Zon” ve “Eksen Zonu” olmak üzere (Şekil 1.2) üç alt birliğe ayrılır (Bektaş vd., 1995). Çalışma alanının bulunduğu Kermut (Gümüşhane) yöresi bu tektonik birliğin Güney Zonu’nda yer almaktadır. Güney Zon, başlıca Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı sedimanter kayaçları, Pulur, Ağvanis ve Tokat metamorfik masiflerini, ultramafik intruzyonları, Geç Kretase yaşlı şösonitik ve ultrapotasik volkanikleri, Erken Eosen yaşlı adakitik intruzyonları ve Kermut alterasyon sahasının içinde yer aldığı Orta-Geç Eosen yaşlı bazaltik-andezitik volkanik kayaçları içine alır (Eyüboğlu vd., 2010). Bölgenin en yaşlı birimini mikaşist, gnays, fillat ve bunları kesen metagranitik dayklardan oluşan ve metamorfizma yaşı 320.3 ± 1.7 milyon yıl ile Karbonifer olan Kurtoğlu Metamorfikleri oluşturur (Topuz vd. 2007). Taban kayaçları, granodiyorit, granit, kuvarslı

mikrodiyorit ve dasitlerden oluşan ve Gümüşhane Graniti (Yılmaz, 1973) veya Gümüşhane Plütunu (Çoğulu, 1975) gibi değişik isimlerle adlandırılan Geç Karbonifer yaşlı asidik kayalar tarafında kesilir. Doğu Pontidler'in Hersinyen tabanını temsil eden bu iki birim, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-sedimanter istif içeren Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) ile uyumsuz olarak örtülür. Formasyon; Andezit, diyabaz, bazalt, aglomera, tuf ve tüfitlerden oluşan volkanik ara seviyeler, yersel çakıl taşı, dereceli kumtaşı, marn, kiltası ve kumlu kireçtaşı ile "Calcareo Ammonitico Rosso" fasiyesinde gelişmiş bol ammonit, belemnit, çift çenetli, sünger, krinoid ve gastropod içeren bu birimin başlıca litolojilerini kırmızı renkli ve yumru kireçtaşları oluşturur (Yılmaz, 2002; Kandemir, 2004). Aktif tektonik hareketlerin ve ekstansiyon rejiminin kontrolünde gelişen Erken-Orta Jura çökellerinin birikiminden sonra, inceleme alanında Malm'dan itibaren, Alt Kretase sonuna kadar süren dönem, magmatik ve tektonik açıdan oldukça duraylı olup, bu dönemde tüm Doğu Pontidler'de olduğu gibi inceleme alanında da karbonatlı kayaçların çökelişi egemendir (Berdiga Formasyonu; Pelin, 1977).

Üst Kretase 'de Güney Zon'da türbiditik karakterli çökeller egemendir. Gümüşhane yöresinde ve çalışma alanında gözlenen tabanda, ince orta tabakalanmalı, sarı renkli kumlu kireçtaşları ve yer yer konglomeralar ile başlayıp, üste doğru ince tabakalanmalı kırmızı-mor renkli mikritik kireçtaşlarına geçen ve gri-yeşil renkli tuf ara seviyeleri içeren ince-orta tabakalanmalı kumtaşı, kiltası ve marn ardalanmasından oluşan Kermutdere Formasyonu Tokel (1972) tarafından adlandırılmıştır.

Söz konusu bu tüm birimler, tabanda yersel olarak konglomeralar ve nummulitli kireçtaşları ile başlayıp üste doğru andezit-bazalt lav ve bunların piroklastiklerine geçen Alibaba Formasyonu (Tokel, 1972) tarafından uyumsuz olarak örtülür. Kuvaterner yaşlı traverten, taraça ve alüvyonlar ise en genç birimleri oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Doğu Pontidler'in başlıca tektonik ve litolojik birlikleri. (1) Paleozoyik metamorfik taban, (2) Paleozoyik granitleri, (3) Manto peridotitleri, (4) Mesozoyik ve Senozoyik kayalar, (5) Karbonatlar, (6) Mesozoyik ve Senozoyik sedimanter kayalar, (7) Geç Kretase ve Eosen yaşlı yay volkanikleri, (8) Eosen granitleri, (9) Kaldera veya dom, (10) Kıvrım eksenini, (11) Doğru atımlı fay, (12) Bindirme fayı, (13) Tanımlanmamış fay (14) Çalışma alanı (Eyüboğlu vd. 2006'dan alınmıştır).

1.5. Önceki Çalışmalar

Erguvanlı (1951); Trabzon-Gümüşhane arasının jeolojisine ait raporunda, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları, Geç Kretase yaşlı türbidit ve Eosen yaşlı nummulitli kireçtaşlarından bahsetmiştir. Aynı yazar bölgedeki volkanizmanın üç evrede oluştuğunu ve bunlardan ilkinin Kretase öncesi, ikincisinin Geç Kretase ve sonuncusunun da Lütesiyende oluştuğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1972); Gümüşhane ve Bayburt yöresinde Erken Jura paleocoğrafik öğelerini inceleyerek özellikle Ammonitico-Rosso fasiyesindeki çökellerin birikim koşullarını incelemiştir.

Tokel (1972); Gümüşhane yöresinin 1/25000 ölçekli jeolojik haritasını yapmış, bölgenin stratigrafisini ve tarihçesini incelemiştir.

Seymen (1975); “Kelkit Vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonu’nun Tektonik Özelliği” adlı doktora çalışmasında, Gümüşhane yöresinde gözlenen birimlere referans olabilecek adlandırmalar yapmıştır.

Pelin (1977); “Alucra (Giresun) GD’sunun Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi” adlı çalışmasında Jura, Kretase ve Tersiyer yaşlı birimlerin yüzeylendiğini ve sahanın Alpin Dağ oluşum hareketine bağlı olarak şekillendiğini belirtmiştir. Ayrıca Berdiga Formasyonu’nu tanımlamıştır.

Eren (1983); “Gümüşhane-Kale Arasında Mikrofasiyes İncelemesi” isimli çalışmasında, Kale yöresindeki Liyas yaşlı birimlere ‘Zimonköy Formasyonu’ adını vererek bu birimin Gümüşhane Graniti üzerine aşınma uyumsuzluğu ile geldiğini belirtmiştir. Bu çalışmada Zimonköy Formasyonu Volkanotortul üye ve Çörtlü Kireçtaşı üyesinden oluşmaktadır.

Hacıoğlu (1983); “Kale-Vauk Dağı Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi” konulu çalışmasında 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. Ayrıca mikrofasiyes hakkında bulgular elde etmiştir.

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 çalışmasında, 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. Dere sedimanı ve su jeokimyası çalışmaları sonucunda inceleme alanı ve civarının Pb, Zn, Cu anomali sahası olarak tespit etmiş ve ayrıntılı olarak çalışılmasını önermiştir.

Yalçınalp (1992); “Güzelyayla (Maçka- Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası’ adlı doktora tezinde Güzelyayla Mo-Cu cevherleşmesinin yöredeki granit sokulumlarına bağlı olarak geliştiğini vurgulayarak Pontid Alt Bazik karmaşığı ve Zigana granatoyidi içindeki kuvarslı mikrodioritler içinde gelişen maden yatağının storkwork ve saçınım şeklinde yerleştiğini söylemiştir. Buna ek olarak potasik, fillik ve propilitik ayrışma zonları izlenen yataкта arjillik kuşağın gelişmediğini, Güzelyayla porfiri Cu-Mo yatağının mezotermal karakterde olduğunu ve 280-460⁰C arasında oluştuğunu 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.

Güner vd., (1998); İspir – Yusufeli ile Gümüşhane – Bayburt arasında epitermal altın yataklarını konu alan çalışmalar yapmışlardır.

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

Saydam (2002); “Doğu Pontidler’deki Geç Kretase Yaşlı Kırıntılı Çökellerin Sedimenter, Petrografik ve Organik Jeokimyasal Özellikleri” isimli doktora-tez çalışmasında bölgedeki üst Kretase istiflerinin (çalışma alanındaki Kermutdere Formasyonu dahil) ayrıntılı, stratigrafik kesitlerini çıkartarak bu kayaçların oluşum koşullarını ve organik jeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur.

Kandemir (2004); “Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu’nun Çökel Özellikleri ve Birim Koşulları” isimli doktora çalışmasında, 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 ve Köstere (Torul-Gümüşhane) Madenlerinin Mineralojik ve Dokusal Özellikleri” adlı yüksek lisans tezinde, 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 100-170°C aralığında, beyaz renkli iri kristali baritlerin homojenleşme sıcaklığının 150-220°C ve kırmızı baritlerin homojenleşme sıcaklıklarının 200-280°C olduğunu tespit ederek yatağın oluşum sıcaklığı bakımından epitermal-mezotermal aşamada oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca Demir, cevherleşmenin bulunduğu alanın yan kayaç litolojisini göz önüne alarak Istala Pb, Zn, Cu maden yatağının volkanojenik masif sülfid tip Pb-Zn-Cu olduğunu ileri sürmüştür.

Sipahi (2005); “Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaları Mineralojisi ve Jeokimyası” adlı doktora tezinde, çalışılan 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. Porfirik dasitlerde ise hem kütle artması, hem de kütle azalması meydana gelmiştir. Volkanitlerde, genel olarak az ayrışmış kayaçtan çok ayrışmış kayaca doğru illitleşme-kloritleşme-kaolinitleşme arttığını, karbonatlaşmanın ise azaldığını ortaya koymuştur.

Sipahi ve Sadıklar (2010); “Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi” başlıklı çalışmalarında bazalt ve andezitlerde %2-61 kütle kazancı, Dasit-I’de %71 kütle kazancı ve %42 kütle kaybı ve Dasit II’de ise %44 kütle kazancı ve %32 kütle kaybı hesaplamıştır. Bu veriler ışığında alterasyon minerallerinin oluşumunda kırıklar boyunca hareket eden hidrotermal sıvıların önemli rol oynadığını ileri sürmektedir. Sonuç olarak, çalışma alanında bulunan kayaçlardaki alterasyon ürünleri muhtemelen mezo-epitermal evrede, asidik-hafif alkali ortam şartlarında bulunan kayaçlardaki minerallerin hidrotermal alterasyonu ile oluşmuşlardır. Buna bağlı olarak kayaçlarda farklı hidrotermal alterasyon koşulları geliştiği için farklı kütle değişimleri görülmektedir.

Akaryalı (2010); yaptığı Doktora Tezi çalışmasında Arzular yöresindeki altın cevherleşmesinin KD-GB ve yaklaşık D-B doğrultulu birbirlerini kesen kırık sistemlerine bağlı olduğunu, cevherleşmenin Eosen yaşlı andezitlerle ilişkili olduğunu, yapılan sıvı kapanım ve izotop çalışmalarında cevherleşmenin oluşum sıcaklığının 250°C olduğunu, mikroprob ve cevher mikroskobisi çalışmaları ile cevherleşmenin kökeninin magmatik kayaçlarla ilişkili olduğunu, cevher oluşturan hidrotermal çözeltilerin yüzeysel kökenli sular olduğunu

belirlemiştir. Elde ettiği tüm bu verilerden yararlanarak Arzular yöresindeki altın cevherleşmesinin hidrotermal damar tip, düşük sülfürlü epitermal sistemde oluştuğu sonucuna varmıştır.

Demir ve Akaryalı (2014); Kermut yöresinde “Kermut (Gümüşhane) Yöresi Eosen Volkaniklerindeki Hidrotermal Alterasyonların Kütle Değişimi” adlı çalışmalarında 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 belirlemişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışma kapsamında, inceleme sahasında yüzeyleme veren birimler stratigrafik adlama kuralları dikkate alınarak ayırt edilmiştir. Seçilen volkanik kayalar ile az altere ve altere kayalardan jeokimyasal analizler yapılmış ve elde edilen bulgular yardımıyla Kermut alterasyon sahasında gözlenen hidrotermal alterasyonların kütle değişim hesaplamalarına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Buna bağlı olarak tez kapsamında yapılan çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç ayrı safhada gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Arazi Çalışması

Arazi çalışmaları sırasında; Kermut alterasyon sahasının içinde bulunduğu H43-a1 paftasında bulunan ve takribi 10 km²'lik bir alan içinde gözlenen birimlerin belirlenmesi, stratigrafik dizilim sırasının ortaya konması ve yapısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar neticesinde formasyon sınırları haritaya işlenmiş ve Güner ve Yazıcı (2011) tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli jeoloji haritası yeniden düzenlenmiştir.

Çalışma kapsamında amaca yönelik olarak yapılan örnek alım işlemleri, birimleri temsil eden kayalardan petrografik ve kimyasal analiz amaçlı örneklerin alınması ile başlamıştır. Çalışmanın asıl konusunu oluşturan yan kayalarda 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 kaya örneklerinin alınmasını kapsamaktadır. Örnekleme sırasında makroskobik gözlemlere dayalı olarak örnek sayısı artırılmış veya azaltılmıştır.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması

Kermut 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.

2.1.2.2. 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.

2.1.3. Analitik Yöntemler

2.1.3.1. 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 LiBO₂'de eritilmiş ve %5'lik 100 mL HNO₃ 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 HClO₄-HNO₃-HCl-HF çözeltisinde köpürmeleri gidinceye kadar bekletilmiştir. Metalleri çözmek amacıyla 10 mL kral suyu (3HDNO₃-HDHCl) ile sulandırılarak bekletilen numuneler, seyreltilip, filtrelendikten sonra analiz edilmişlerdir.

2.1.4. Büro Çalışması

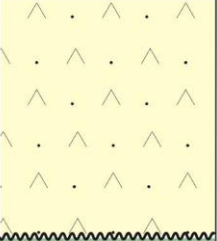
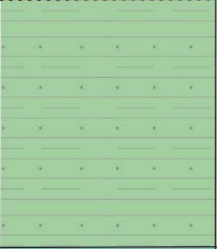
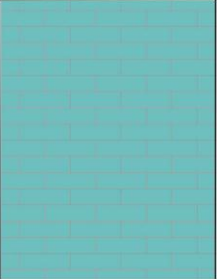
Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen veriler büro çalışmaları sırasında değerlendirilerek Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına göre tezin yazımı gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi

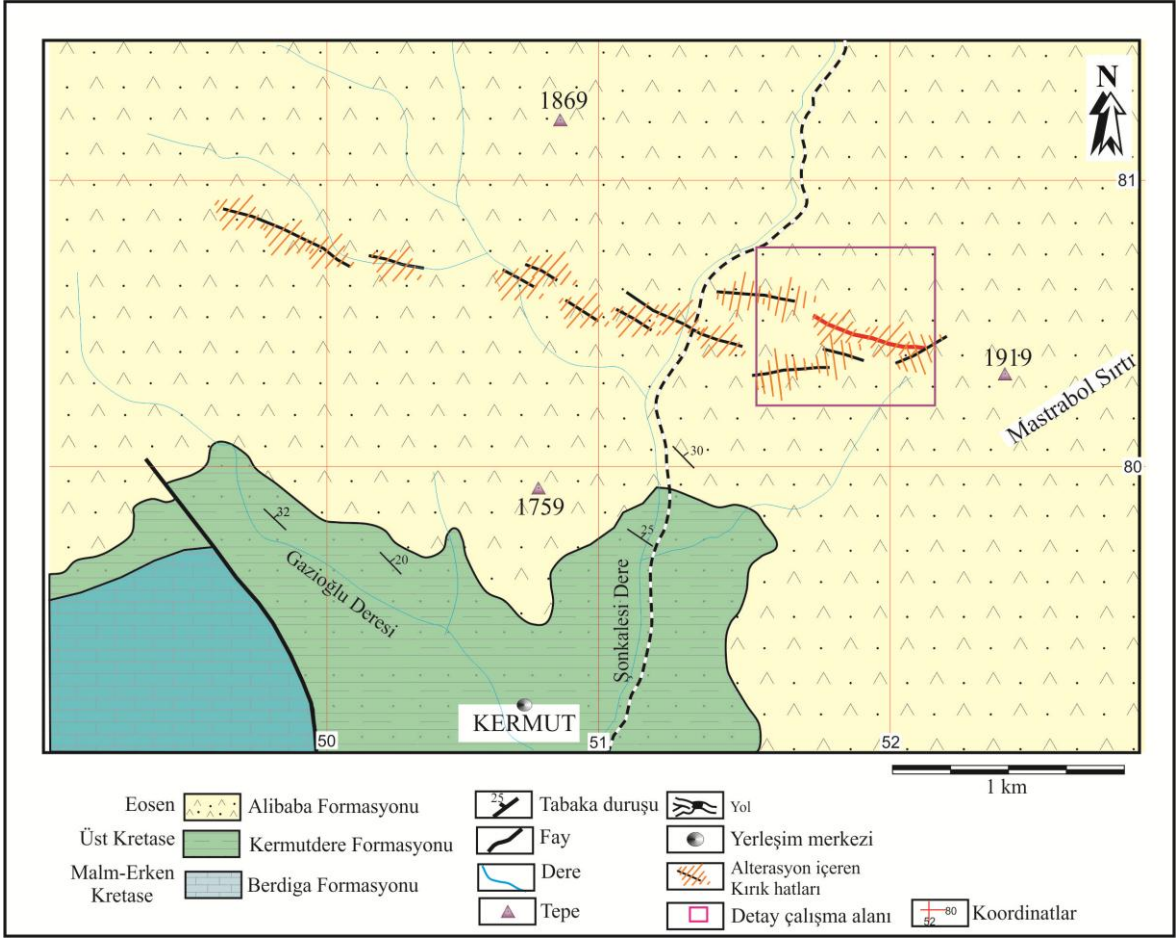
İnceleme alanı Anadolu'nun büyük tektonik kuşaklarından Karadeniz (Pontid) Tektonik Kuşağı (Ketin, 1966) içinde olup bu kuşağın Güney Zonunda yer almaktadır. Çalışma alanındaki haritalama işlemi litostratigrafik adlandırma kuralları göz önüne alınarak yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanındaki birimlere ait kolon kesit, jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.1 ve 3.2). İnceleme alanında yayılım gösteren litostratigrafik birimler yaşlıdan gence doğru sıralanmıştır.

1. Berdiga Formasyonu Dogger-Malm-Erken Kretase
2. Kermutdere Formasyonu Geç Kretase
3. Alibaba Formasyonu Eosen

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOİK	TERSİYER	EOSEN	ALİBABA		Andezit-bazalt ve piroklastları Nummulitli kireçtaşları Konglomera ve kumtaşları
MESOZOİK	KRETASE	ÜST KRETASE	KERMUTDERE		Gri-yeşil renkli, ince-orta katmanlı kumtaşı, kiltası, marn ve silttaşı ar dalanması Kırmızı-şarabi renkli, ince katmanlı mikritik kireçtaşları Sarı renkli, ince-orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve kumtaşları
		ALT KRETASE	BERDİGA		İnce katmanlı, çört yumrulu mikritik kireçtaşı
JURA	DOĞGER MALM	Dolomit ve dolomitik kireçtaşı Oolitik kireçtaşı			

Ölçeksiz

Şekil 3.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş kolon kesiti



Şekil 3.2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Güner ve Yazıcı, 2011'den değiştirilerek)

3.1.1. Berdiga Formasyonu

Sığ denizel kireçtaşlarından oluşan bu birim ilk defa Pelin (1977) tarafından tipik olarak yüzeylendiği Alucra (Giresun) yöresindeki Berdiga Dağları'ndan esinlenerek Berdiga Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Güven (1993) Gümüşhane yöresinde yaptığı çalışmalarda bu kireçtaşlarını Berdiga Formasyonu adı altında incelemiştir. Eski çalışmaların incelenmesi, saha gözlemleri ve birime ait kireçtaşlarının çok az fasiyes farklılıklarına rağmen benzer özellik göstermesine dayanılarak, bu kayaların Berdiga Formasyonu adı altında tanımlanması uygun görülmüştür. Birim Kermut Köyü civarında ve Gazioglu Deresi'nin batısında yaklaşık 1 km² lik alanda yüzeylenmektedir.

Berdiga Formasyonu, tabanda kumlu kireçtaşı, üstte kristalize kireçtaşlarından oluşan yer yer kalın masif, yer yer ince tabakalı bir istifdir (Şekil 3.3). Birimin taze yüzeylerinin rengi krem, açık gri ve koyu renkleri arasında değişmektedir. Ayrışma

yüzeyleri ise kahverengi tonlardadır. Formasyon kırılma yüzeyleri boyunca şeker dokusu göstermesi ile karakteristiktir.



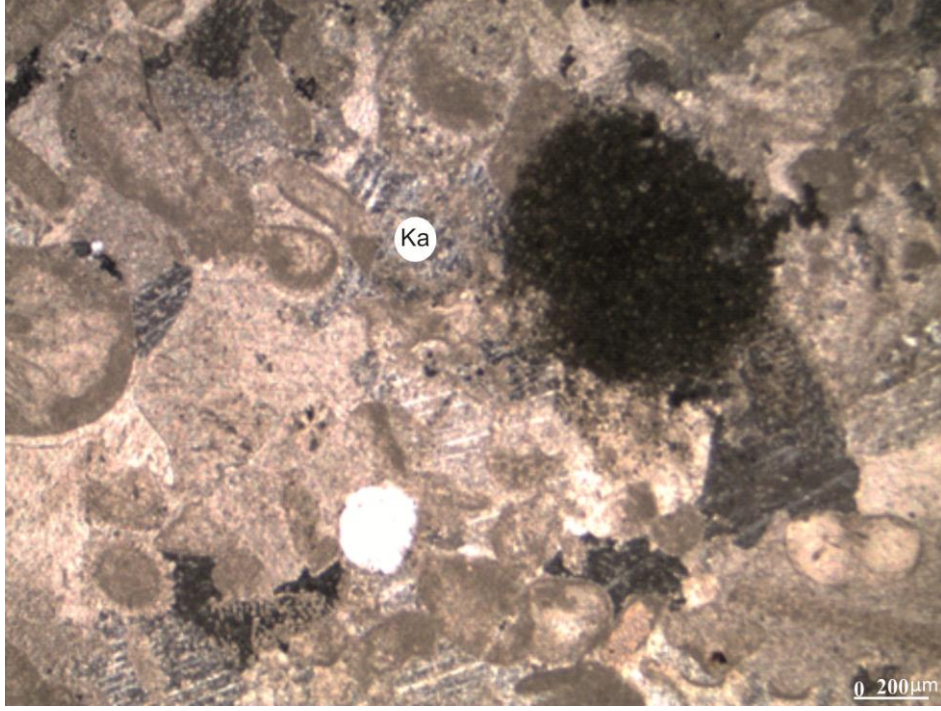
Şekil 3.3. Kermut Köyü çevresinde yüzeylenen kalın masif ve ince tabakalı Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının görünümü (Gazioğlu Deresi batısı).

Birimden alınan örneklerden hazırlanan ince kesitlerde yapılan incelemeler sonucu; kireçtaşlarının, başlıca bentik foraminer ve intraklastlardan oluşan, sparit çimentolu biyointraspartit (Folk, 1962) oldukları tespit edilmiştir (Şekil 3.4).

Berdiga Formasyonu inceleme alanının en yaşlı birimini oluşturur. Bu nedenle de alt sınırını görmek mümkün olmamıştır. Üstten ise Kermutdere Formasyonu ile uyumlu olarak sınırlanmaktadır.

Çalışma alanında bu birimde herhangi bir karakteristik fosile rastlanmamıştır. Daha önceki çalışmalarda birime farklı yaşlar verilmiştir. Erguvanlı (1951), ile Kahraman vd. (1984), kireçtaşlarına Jura-Erken Kretase, Pelin (1972) ve Eren (1983) Dogger-Malm ve Güven (1993) tarafından ise birime Malm-Erken Kretase yaşı verilmiştir.

Berdiga Formasyonu, Gümüşhane yöresinde Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Harşit Formasyonu (Tokel, 1972) ve Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Kuşakkaya Formasyonu (Türk-Japon ekibi, 1985), Köse yöresinde Geç Jura- Erken Kretase yaşlı Hozbirikyayla Kireçtaşı (Ağar, 1977) ile litolojik ve stratigrafik olarak benzer özellikler göstermektedir.



Şekil 3.4. Berdiga Formasyonu'na ait kristalize dolomitik kireçtaşlarının mikroskobik görünümü (Ka: Kalsit).

3.1.2. Kermutdere Formasyonu

Bu formasyon ilk kez litostratigrafi kurallarına uygun olarak Tokel (1972) tarafından tanımlanmış ve tipik yüzeylemesinin görüldüğü Kermutdere'ye izafeten, “Kermutdere Formasyonu” olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında ince tabakalı bir yapı gösteren bu birim için, önceki çalışmalardan yararlanılarak Kermutdere Formasyonu adlaması kullanılmıştır. Birim Gazioğlu Deresi ve Şonkalesi Deresi civarında ve Kermut Köyü civarında yaklaşık 2 km² lik bir alanda görülmektedir.

Kermutdere Formasyonu'nu oluşturan birimler alttan üste doğru sırasıyla sarı renkli kumlu kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı (Şekil 3.5) ve tüfit ara katmanlı kumtaşı, marn, kiltası ardışıklı türbiditik istif şeklindedir (Şekil 3.6). Kermutdere Formasyonu'nun tabanında görülen sarı renkli kumlu kireçtaşı belirgin tabakalı yapısının yanı sıra tipik sarı rengi ile tanınabilmektedir. Bu birimin üzerine gelen kırmızı renkli kireçtaşı da homojen bir yapı göstermekte olup kırmızı rengi ile karakteristiktir. Türbiditler ise arazide yeşilimsi gri ve ince kalınlıkta tabakalı görünümü ile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

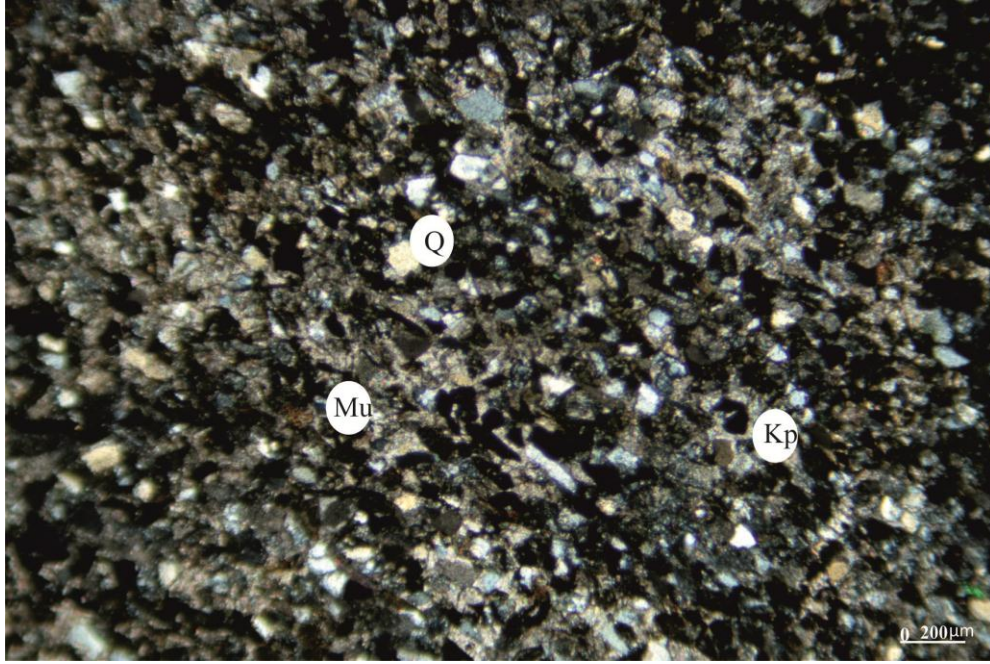


Şekil 3.5. Kermutdere Formasyonu'nun tabanında bulunan kırmızı renkli kireçtaşlarının görünümü (Gaziöglü Deresi içi)



Şekil 3.6. Kermutdere Formasyonu'na ait türbiditik istiflerin görünümü (Kermut Köyü)

Birim içinden alınan bir kumtaşı örneğinin mikroskobik incelenmesinde ise bileşenlerinin; yarı yuvarlaklaşmış ve köşeli taneler olarak kireçtaşı ve volkanik kayaç parçaları ile kuvars, epidot, feldspat, muskovit ve opak minerallerden oluştuğu gözlenmiştir. Kumtaşının bağlayıcı malzemesi kalsit çimento olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre kayaç Dunham (1962)'ye göre arkoz (Şekil 3.7) olarak isimlendirilmiştir..



Şekil 3.7. Kermutdere Formasyonu'na ait kumtaşı örneğinin mikroskobik görünümü (Q:Kuvars, Mu, Muskovit, Kp:Kayaç parçası, Kesit No: K4).

Tabanda Berdiga Formasyonu ile uyumlu, üstten Alibaba Formasyonu ile uyumsuz sınırlandırılmıştır.

Arazide yapılan çalışmalarda ve alınan örneklerin ince kesit sonuçlarında herhangi bir fosile rastlanmamıştır. Bu nedenle formasyonun yaşı daha önceki çalışmalarda (Eren 1983) verilen ve alt sınırı olan Geç Kretase olarak benimsenmiştir.

Kermutdere Formasyonu, Mescitli yöresindeki Geç Kretase yaşlı Mescitli Formasyonu'nun üst seviyelerini oluşturan türbidit serileri (Güven, 1993), Reşadiye dolaylarında Geç Kampaniyen-Maastrichtian yaşlı Kabaklı Formasyonu (Pelin, 1977) ile hem litolojik hem de stratigrafik olarak denestirilebilir niteliktedir.

3.1.3. Alibaba Formasyonu

Alibaba Formasyonu ilk kez Gümüşhane yöresinde Tokel (1972) tarafından tanımlanmıştır. Çalışma alanında benzer litolojik özellik gösteren ve aynı stratigrafik konumda bulunan birim içinde aynı ad kullanılmıştır. Birim sert bir yapıya sahip olup, akma yapıları şeklinde yastık lavlar içermektedir. Birim Kermut Köyü kuzeyi ve Mastrabol Sırtı civarında yaklaşık olarak 7-8 km² lik bir alanda yüzeyleme vermektedir.

Alibaba Formasyonu andezit-bazalt ve bunların piroklastlarından oluşmaktadır. Bazalt ve andezitler çoğunlukla yastık lav şeklinde olup yuvarlak ve akma şeklinde bulunmaktadır. Bu özellikleri itibari ile Alibaba Formasyonu diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

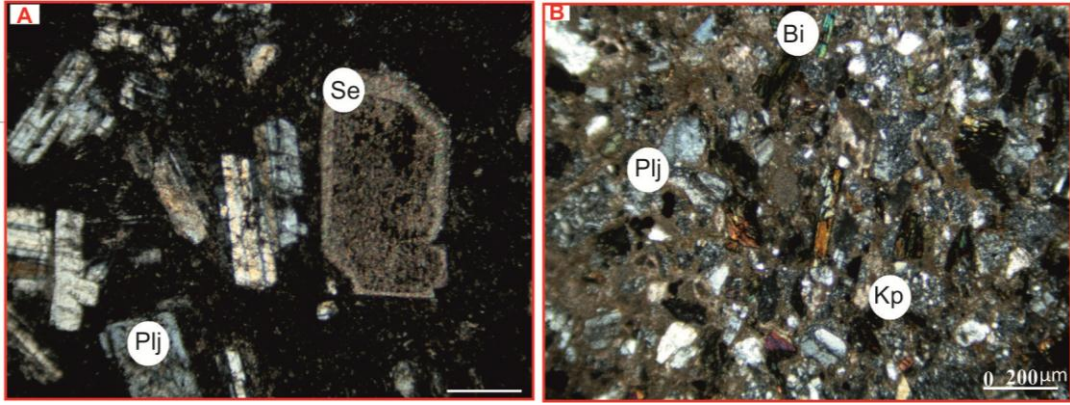
Birimin içerisinde yastık lavların bulunuşu, birimin oluşumu sırasında ortamın denizel olduğunu göstermektedir. Alterasyon sahasındaki andezitlerde ise kırıklı ve çatlaklı yapılar (Şekil 3.8.) gözlenmekte olup çatlak aralıkları kalsit ve kil ile dolguludur.



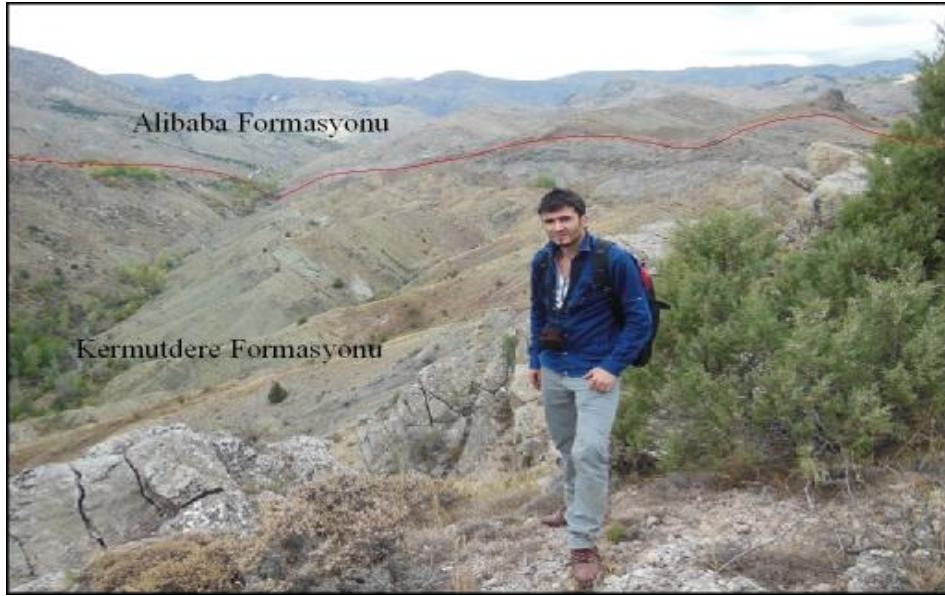
Şekil 3.8. Eosen yaşlı andezitlerin çatlaklı yapısından görünüm (Şonkalesi Deresi kuzeyi)

Alınan örneklerden hazırlanan ince kesitlerin incelenmesi neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir. Eosen yaşlı andezitlerin porfirik, camsı porfirik, andezitik tüflerin ise mikrolitik porfirik dokuda olduğu, plajiyoklasların, iri ve küçük kristaller halinde yarı öz şekilli ve öz şekilli olarak bulunduğu, plajiyoklaslarda yapılan sönme açısı tayinine göre,

plajiyoklasların sönme açısının 24° - 26° arasında değiştiği ve bileşimlerinin ise andezin (An_{42-44}) olduğu belirlenmiştir. Albit ikizi tipik olup bazen zonlu yapıda gösteren plajiyoklaslar tek nikolde renksiz, çift nikolde gri, beyaz renklerde gözlenirler ve çatlaklı yapıya sahiptirler. Ayrışma ürünü olarak serizit ve klorit gözlenmektedir. Opak mineraller ise öz şekilli ve yarı öz şekilli olmak üzere dağınık olarak hamur içinde yer almaktadır. Hamur ise plajiyoklas mikrolitlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.9). Birim, Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu'nda görülen andezitlerin (A) ve andezitik tüflerin (B) mikroskobik görünümü (Plj: plajiyoklas, Se: Serizitleşme, Bi: Biotit, Kp: Kayaç Parçası, Kesit No: HB7, HB11).



Şekil 3.10. Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu ile Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu arasındaki sınır ilişkisinin görünümü (Kermut Köyü kuzeyi)

İnceleme alanındaki çalışmalarda Alibaba Formasyonu'na ait hiçbir fosil bulgusuna rastlanmamıştır. Alibaba Formasyonu'nun üyesi olan volkanik birimlerinde yapılan $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaşlandırma analizleri sonucunda Eosen yaşı elde edilmiştir (Aslan, 2010).

Alibaba Formasyonu Gümüşhane yöresinde Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu (Tokel, 1972) ve Eosen yaşlı Venkyayla Formasyonu (Türk-Japon Ekibi, 1985) ile hem litolojik hem de stratigrafik olarak denestirilebilir niteliktedir.

3.2. Yapısal Jeoloji

Doğu Pontid Orojenik Kuşağı, Kambriyen öncesinden günümüze kadar etkin olan jeodinamik olaylar sonucunda şekillenerek bugünkü yapısını kazanmıştır (Dewey, 1973; Adamia, 1977; Aslaner, 1977; Pejatoviç, 1979; Bektaş, 1981; Bektaş, 1984; Bektaş vd., 1995; Eyüboğlu vd., 2006 ve 2010). Doğu Pontid Orojenik Kuşağın Güney Zonu'nda yer alan çalışma alanında Alpin orojenik hareketlerine bağlı olarak uyumsuzluklar, tabakalı ve kırıklı yapılar gelişmiştir.

3.2.1. Uyumsuzluklar

İnceleme alanında tek uyumsuzluğun varlığından söz edilebilir. Bu uyumsuzluk Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu ile Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu arasında gelişen uyumsuzluktur.

3.2.2. Tabakalı Yapılar

İnceleme alanının güney batı kesiminde yüzeyleme veren Berdiga Formasyonu, güneyinde yüzeyleme veren Kermutdere Formasyonu ve ayrıca çalışmanın amacını oluşturan alterasyonları içeren Alibaba Formasyonu'nun piroklastik üyelerinde tabakalı yapılar gözlenir. Çalışılan sahada Berdiga Formasyonu'nun alt kesimi kalın-orta tabakalanmalı yer yer dolomitleşmiş kireçtaşları ile temsil edilir. Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu'na yakın kesimlerde ise tabaka kalınlığı azalır ve birim orta tabakalanmalı kireçtaşları ile son bulur. Formasyondan alınan ölçüler tabakalı birimlerin, yersel faylanmalardan etkilenen alanların dışında, KB-GD doğrultulu olup 30^0 - 55^0 arasında

değişen eğim değerleri ile KD ya doğru eğimli olduğunu göstermiştir Kermutdere Formasyonu ise tabanda orta tabakalanmalı kumlu kireçtaşları ile başlar. Bu seri tabaka kalınlıkları 5-20 cm arasında değişen kırmızı biyomikritler tarafından örtülür. Üste doğru ise kalın bir seviye oluşturan ve başlıca ince yer yer orta tabakalanmalı kumtaşı-silttaşı-marn ve kireçtaşlarını içeren istif ile son bulur (Şekil 3.11). Bu formasyonun tabakalı birimleri de Berdiga Formasyonu'nda olduğu gibi KB-GD doğrultulu olup, 15° - 25° arasında değişen eğim değerleri ile KD ya doğru eğimlidir. Alibaba Formasyonu'nun tabanındaki tabakalı yapılar genellikle KB-GD ve bazen de D-B doğrultulu, 5° - 25° arasında değişen eğim değerleri ile KD' ya veya kuzeye doğru eğimlidirler.



Şekil 3.11. Kermutdere Formasyonu'nda gözlenen tabakalı yapılar (Kermut Köyü)

3.2.3. Kırıklı Yapılar

Çalışma sahası kırık tektoniğinden etkilenmiş olup Kermutdere Formasyonu ile Berdiga Formasyonu arasında KB-GD doğrultulu bir ters fay bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Alibaba Formasyonu içinde gözlenen andezitlerde birbirini kesen KD-GB doğrultulu yaklaşık K-G doğrultulu mikro kırıklar gözlenmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Alibaba Formasyonu'na ait andezitlerde gözlenen kırık sistemleri (Şonkalesi Deresi kuzeyi)

3.3. Eosen Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası

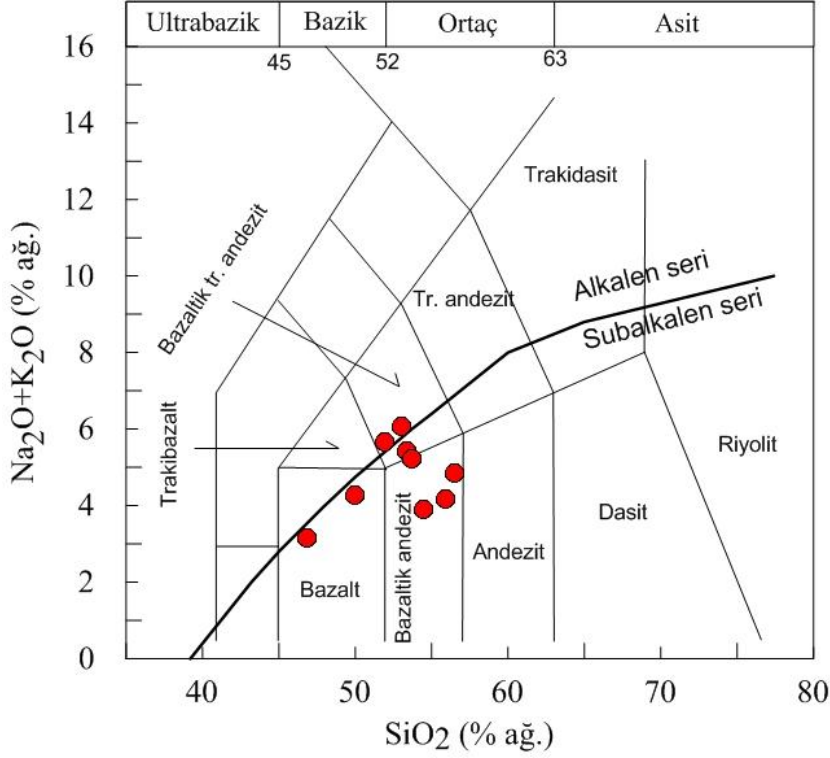
3.3.1. Giriş

Bu başlık altında, Kermut yöresindeki Eosen yaşlı volkanik kayaçların ana, iz ve nadir toprak elementlerinin jeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile volkanik kayaçların jeokimyasal özellikleri, bu kayaçları oluşturan magmanın doğası, kökensel ve jeotektonik ortamları yorumlanmaya çalışılmıştır. Ana element analizlerinde, toplam demir $Fe_2O_3^*$ cinsinden verilmiştir. Fe^{+2} ve Fe^{+3} ayrımı Middlemost (1989)'a göre yapılmıştır. Bu ayrım sonucunda Le Maitre vd. (1989)'nin toplam alkali-silika diyagramı kullanılmıştır. Örneklerin uçucu içeriği ateşte kayıp (AK) olarak tespit edilmiştir. Kermut yöresinde yüzeyleme veren volkanik kayaçlardan toplam 9 tane taze örnek seçilmiş ve bu analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

3.3.2. Volkanik Kayaçların Kimyasal Sınıflandırılması

Volkanik kayaçların kimyasal adlandırılması için birçok araştırmacı tarafından değişik sınıflama diyagramları önerilmiştir. Bunlardan yararlanılarak çalışma alanlarında yüzeyleme veren Eosen yaşlı volkanitlerin kimyasal sınıflandırılması ve adlandırılması yapılmıştır. Le Maitre vd. (1989)'nin SiO_2 'ye karşı Na_2O+K_2O (TAS) diyagramına göre;

Kermut yöresine ait örnekler bazalt, bazaltik andezit ve bazaltik trakiandezit bileşiminde olduğu görülmektedir (Şekil 3.13). Ayrıca, yine bu diyagram (Şekil 3.13) üzerinde Irvine ve Baragar (1971)'in alkali-yarı alkali ayrımına göre incelenen volkanitlerin tamamına yakını yarı alkali özelliğe sahiptir.

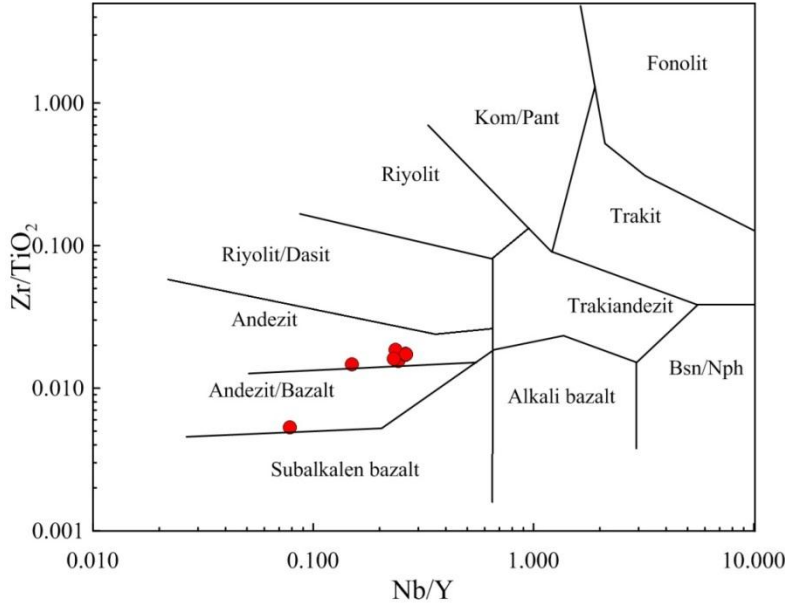


Şekil 3.13. Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresindeki volkanik kayaçların SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (TAS) diyagramı (Le Maitre vd., 1989). Alkali- yarı alkali eğrisi (Irvine ve Baragar, 1971)

TAS diyagramında kullanılan Na_2O ve K_2O gibi elementler alterasyondan dolayı kayaç içinde zenginleşme veya fakirleşme gösterebilmektedir. Bu nedenle volkanik kayaçların sınıflandırmasında ayrışma esnasında hareketsiz veya daha az hareketli olarak kabul edilen Ti, Zr ve Y gibi (Barrett ve MacLean, 1991) elementlerin kullanıldığı diyagramlar tercih edilmiştir. Winchester ve Floyd (1977)'un Nb/Y'ye karşı $\text{Zr}/\text{TiO}_2 \cdot 0.0001$ kimyasal adlandırma diyagramında Kermut yöresine ait örnekler andezit ve andezit/bazalt alanlarına düşmektedir (Şekil 3.14).

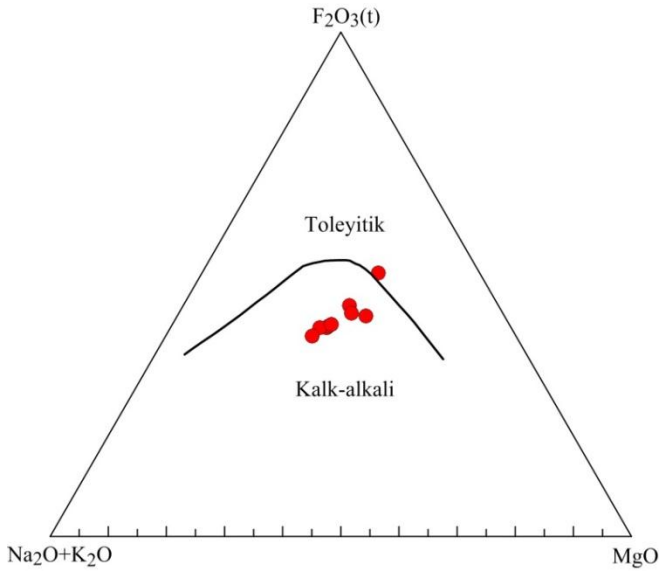
Tablo 3.1. Kermut yöresinde yüzeyleme veren volkanik kayaların ana, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları (A.K. ateşte kayıp; D.L. : Dedeksiyon limitleri)

Ör. No	5	6	8	9	10	11	12	13	14	D.L.
Ana oksitler (%)										
SiO ₂	46.81	49.96	51.94	56.48	54.47	55.95	53.35	53.71	52.99	0.01
Al ₂ O ₃	17.39	14.58	17.7	16.26	16.57	16.95	17.08	17.33	15.45	0.01
Fe ₂ O ₃ *	9.44	7.84	7.36	6.49	6.96	7.08	6.83	7.15	6.9	0.04
MgO	5.48	5.83	4.77	4.21	4.35	4.74	4.23	4.66	4.38	0.01
CaO	8.48	6.97	5.4	4.81	7.04	5.74	6.06	4.97	5.7	0.01
Na ₂ O	1.69	2.7	4.21	2.48	2.79	2.82	3.72	4.3	1.86	0.01
K ₂ O	1.46	1.57	1.44	2.38	1.1	1.34	1.71	0.91	4.22	0.01
TiO ₂	0.78	0.57	0.7	0.65	0.65	0.68	0.67	0.69	0.63	0.01
P ₂ O ₅	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.21	0.01
MnO	0.19	0.21	0.13	0.11	0.14	0.12	0.13	0.11	0.26	0.01
Cr ₂ O ₃	0.005	0.003	0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.007	0.002
A.K.	7.9	9.4	6	5.7	5.5	4.1	5.8	5.8	7.1	
Toplam	99.78	99.74	99.75	99.73	99.7	99.7	99.74	99.78	99.74	
İz elementler (ppm)										
Ni	8.9	12.4	6.9	7	7.9	6.8	6.8	7.7	12.2	20
Sc	28	19	24	21	21	22	21	22	25	1.0
Ba	317	511	528	773	579	630	619	324	835	1.0
Co	23.5	24.7	18.8	17.9	18.9	18.5	18.5	19.6	21.6	0.2
Cs	0.7	0.8	1.1	1.1	0.7	0.6	0.7	1	1.4	0.1
Ga	14.5	13.4	14.3	14.6	15.2	14.8	15.3	14.9	14.1	0.5
Hf	1.2	2.3	3	3.1	3.1	3.4	3	3.2	2.9	0.1
Nb	1.3	2.9	4.3	4.4	4.4	4.9	4.5	4.7	3.8	0.1
Rb	33.6	41.2	38.4	64.3	18.3	22	35.9	20.3	127.9	0.1
Sr	354.6	412.8	526.1	444.3	916.4	849.3	571.1	472.9	324.5	0.5
Ta	<0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1
Th	0.6	5.4	6.5	6.5	6.7	7.4	7.1	7.3	7	0.2
U	0.2	1.5	1.6	1.4	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	0.1
V	249	209	203	177	194	202	202	194	207	8.0
Zr	41.4	83.8	108.9	113	113.9	115.9	123.9	119	101.2	0.1
Y	16.6	19.4	17.7	16.8	18.2	18.7	19	17.8	16.4	0.1
Cu	75.8	8.9	13.6	94	20.7	38	18.4	11.2	36.3	0.1
Pb	4	6	3.7	4.1	8.2	6.4	8.1	3.9	6.3	0.1
Zn	55	67	54	52	61	53	60	58	68	1.0
Mg#	36.73	42.65	39.32	39.35	38.462	40.102	38.246	39.458	38.83	
Nadir toprak elementler (ppm)										
La	6.4	20.1	18.2	18	20.1	20.3	20.1	18.5	17.3	0.10
Ce	16.1	38.5	35.8	34.7	38.3	40.1	40	35.3	35.5	0.10
Pr	2.13	4.4	4.44	4.43	4.71	4.8	4.9	4.37	4.32	0.02
Nd	10.8	16	17.6	18	19.1	18.8	20.4	17.3	17.4	0.30
Sm	2.45	3.62	3.71	3.67	3.99	4.07	4.03	3.78	3.76	0.05
Eu	0.89	0.94	0.98	0.97	1.08	1.04	1.03	0.95	0.92	0.02
Gd	2.99	3.59	3.47	3.09	3.41	3.45	3.56	3.27	3.36	0.05
Tb	0.47	0.5	0.52	0.53	0.55	0.55	0.55	0.54	0.53	0.01
Dy	3.28	3.02	3.18	3.02	3.19	3.27	3.13	3.27	2.96	0.05
Ho	0.65	0.61	0.61	0.54	0.65	0.64	0.63	0.63	0.57	0.02
Er	1.8	2.06	1.82	1.7	1.75	1.79	1.9	1.87	1.65	0.03
Tm	0.3	0.28	0.26	0.25	0.27	0.28	0.3	0.29	0.26	0.01
Yb	1.77	2.04	1.76	1.63	1.81	1.83	1.85	1.9	1.66	0.05
Lu	0.29	0.33	0.28	0.27	0.29	0.29	0.31	0.3	0.26	0.01
La _N /Lu _N	2.29	6.33	6.76	6.93	7.20	7.27	6.74	6.41	6.91	
Eu _N	12.11	12.80	13.33	13.20	14.70	14.15	14.01	12.93	12.52	
Eu/Eu*	1.01	0.80	0.84	0.88	0.90	0.85	0.83	0.83	0.79	



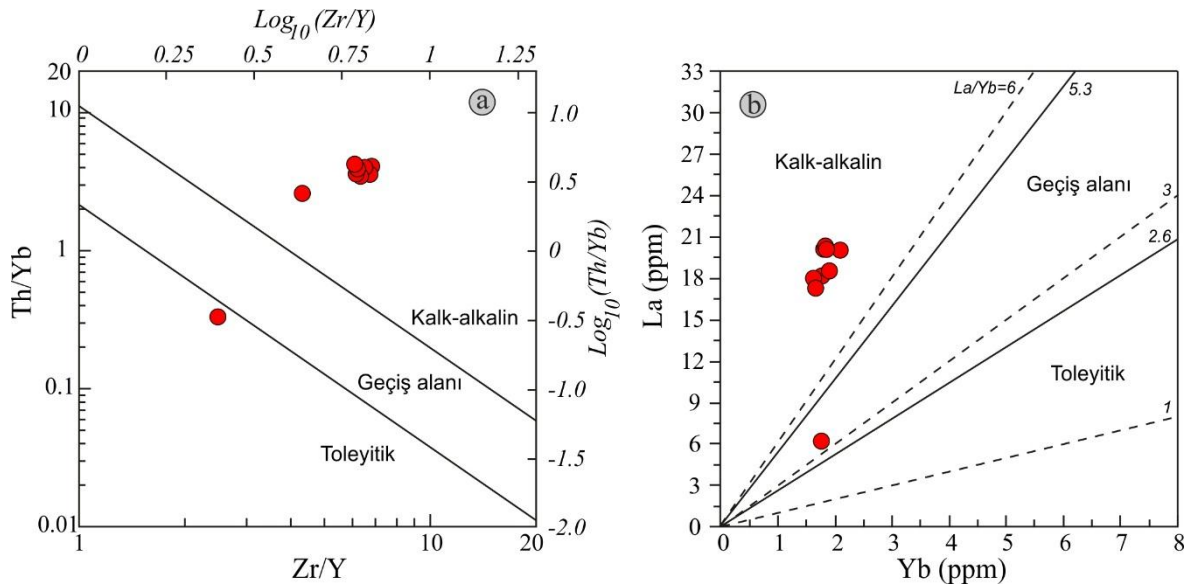
Şekil 3.14. Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresindeki volkanik kayaların Nb/Y'ye karşı $Zr/TiO_2 \cdot 0.0001$ diyagramı (Winchester ve Floyd, 1977)

SiO_2 'ye karşı toplam alkali (TAS) diyagramında da görüldüğü gibi yarı alkali karaktere sahip volkanik kayaların afinitelerini belirlemek için Irvine ve Baragar (1971)'in AFM üçgen diyagramı kullanılmıştır. Genel olarak; incelenen volkanitler kalk-alkali karaktere sahiptirler (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresindeki volkanik kayalarının AFM üçgen diyagramı (Toleyitik-kalk-alkali ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)' a göre)

Alterasyon koşulları altında daha duraylı davranan elementlerin dikkate alınarak oluşturulduğu ve toleyitik-alkali ayırımının yapıldığı magmatik afinite diyagramlarında (Ross ve Bédard, 2009), bir örnek dışında tüm örneklerin kalk-alkalin bölgeye düştüğü görülmektedir (Şekil 3.16a ve b). Ana magmanın türü hakkında bilgi veren bu diyagramlara göre, Kermutdere volkanik kayaların kalk-alkalin bir magmadan itibaren oluşmuş olabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.16. Kermutdere volkanik kayaların magmatik afinite diyagramları (Ross ve Bédard, 2009). a) Th/Yb - Zr/Y ve b) La - Yb diyagramları.

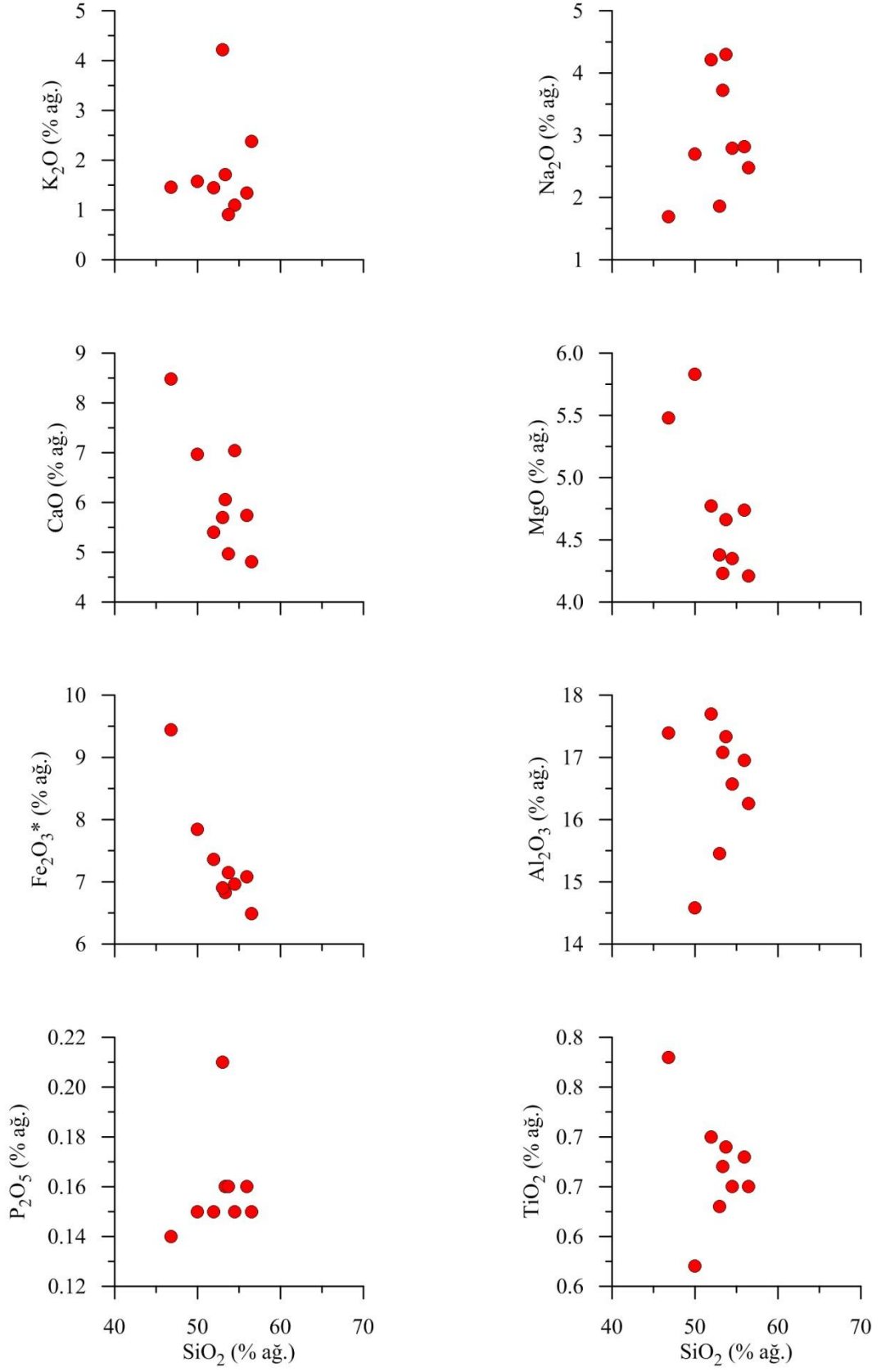
3.3.3. Ana, İz ve Nadir Toprak Element Kimyası

Kermut (Gümüşhane) yöresinde yüzeylenen volkanik kayaların ana ve iz element diyagramları Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir. SiO₂'e karşı ana ve iz element değişim diyagramlarının bazılarında düzensiz dağılımlar olmakla birlikte genellikle iyi korelasyonlar vermeleri, volkanitlerin gelişiminde ayrılaşmanın oldukça önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir.

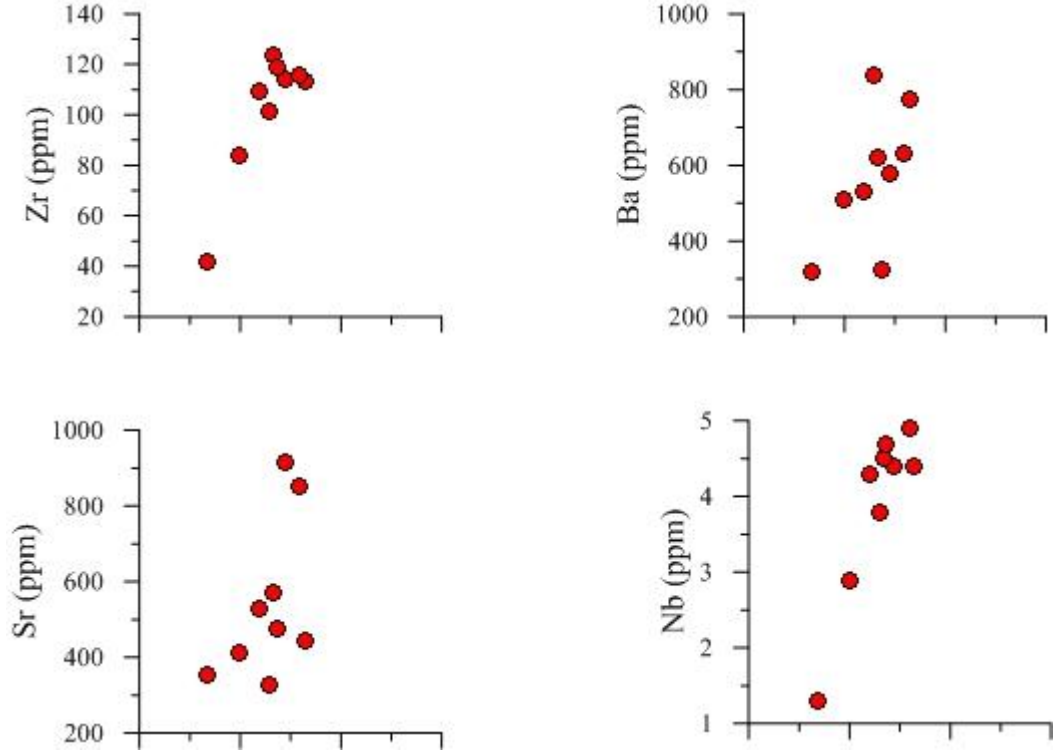
Kermut volkanitlerini oluşturan kayaların bileşiminin andezit, andezit/bazalta kadar değişen kayaç türleri olmasından dolayı SiO₂ içerikleri yaklaşık olarak % 46-56 gibi dar bir aralıkta değişim göstermektedir. SiO₂'ye karşı ana ve iz element değişim diyagramlarında; TiO₂, Fe₂O₃*, CaO ve MgO, negatif bir ilişki gösterirken, K₂O, Na₂O, Ba, Zr, Nb ve Sr pozitif bir ilişki görülmektedir. Bu yönsemelerin dışında bazı ana oksit ve iz element

içeriklerinde SiO_2 artışıyla düzensiz bir ilişki durumu söz konusudur. Volkanik kayalarda artan SiO_2 içeriğine karşılık TiO_2 ve Fe_2O_3^* içeriklerinin giderek azalması Fe-Ti oksitlerin ayrılaşmasına işaret etmektedir. SiO_2 'e karşı CaO, Fe_2O_3^* ve MgO' deki negatif ilişkiler plajiyoklas ($\text{An}>50$) ve klinopiroksen fazların ana magmadan ayrılaşmasına işaret etmektedir. SiO_2 'e karşı K_2O ve Na_2O diyagramlarında dağınık ilişkiler söz konusudur. Bu dağınıklık alterasyon olaylarının etkili olduğunu ifade etmektedir (Şekil 3.17). SiO_2 ile Zr arasındaki pozitif ilişki manyetit ve hornblend ayrılaşmasını göstermektedir. Ba ve Nb elementleri genellikle feldspatlar ve hornblendlerin bünyesine girdikleri ve ayrılaşma sırasında geç evrelerde kristallendikleri için pozitif bir ilişki göstermektedirler (Şekil 3.18). Ana ve iz element değişim diyagramları kayaçların gelişiminde klinopiroksen, hornblend, Fe-Ti oksit ve plajiyoklas mineral ayrılaşmasının önemli rol oynadığını göstermektedir.

Kermut yöresi volkanitlerini oluşturan örnekler MORB'a göre normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramlarında (Sun ve McDonough, 1989) incelenmiştir. Örneklerin, MORB'a göre normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİYLE; Sr, K, Rb ve Ba) ve Th konsantrasyonları bakımından zenginleşme gözlenirken, yüksek çekim alanlı elementler (YÇAE; Zr, Ti ve Y), Nb ve Ta bakımından fakirleşme izlenmektedir (Şekil 3.19a). Aynı diyagramda volkanitler okyanus adası bazaltlardan (OIB) daha çok kalk-alkali ve toleyitik özellikteki volkanik yay bazaltlarına (IAB) benzer dağılımlar sunmakla birlikte kalk-alkali volkanik yay bazaltları ile uyumludur. İncelenen volkanitlerin kondrite (Boynton, 1984) normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımları genel olarak birbirine benzerlik göstermektedir. Bu durum, Kermut yöresi volkanitlerini oluşturan kayaçların aynı veya benzer manto kaynağından türediklerini işaret etmektedir. Kermut yöresi volkanik kayaç örneklerinin kondrite göre normalleştirilmiş nadir toprak element dağılım diyagramında (Tablo 3.1, Şekil 3.19b) bütün elementlerce bir zenginleşmeyle birlikte, hafif nadir toprak elementler (HNTE), ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleşmiştir. Kermut volkanitlerine ait örneklerin $(\text{La}/\text{Lu})_N$ oranı 2.29-7.27 arasında değişmektedir (Şekil 3.19b).

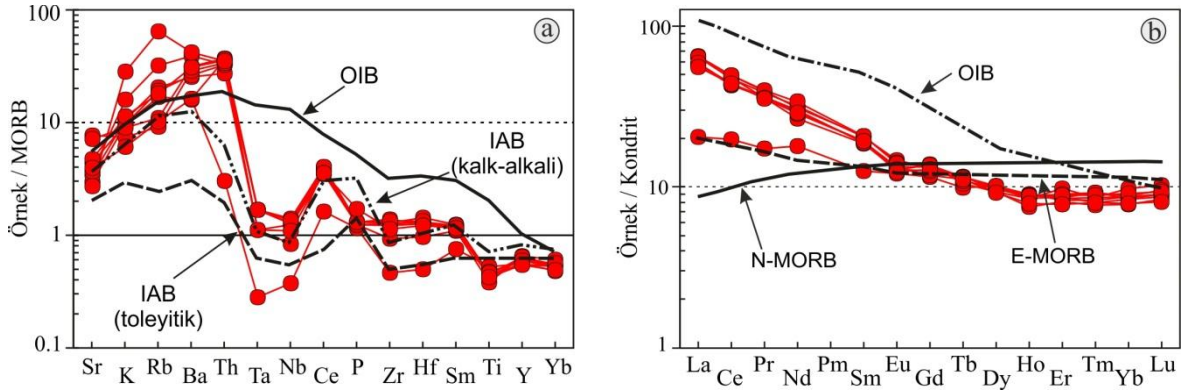


Şekil 3.17. Kermut volkanik kayaçlarının SiO₂ (%)’ye karşı ana oksit (%) değişim diyagramları



Şekil 3.18. Kermut volkanik kayaçlarının SiO₂ (%)’ye karşı iz element değişim diyagramları

İncelenen volkanik kayaçların kondrite normalize edilmiş NTE dağılımlarında kayaçların Eu değerlerinde bir örnek hariç belirgin negatif anomalinin olması kayaçların gelişiminde plajiyoklas ayrılaşmasının fazla etkili olmadığını işaret etmektedir. Kermut volkanitlerine ait örneklerin $(Eu/Eu^*)_N$ oranı 0.79-1.01 arasında değişim göstermektedir. Genel olarak, kayaçların kondrite normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımlarında hafif nadir toprak elementlerin (HNTE), orta nadir toprak elementlere (ONTE) ve ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre daha fazla zenginleşmesi, nadir toprak element dağılım diyagramında konkav bir yapı sunması, volkanik kayaçların gelişiminde klinopiroksen ve hornblend ayrılaşmasının etkili olduğunu göstermektedir (Fujimaki vd., 1984). İncelenen volkanitlerin nadir toprak element diyagramında örneklerin N-MORB (tüketilmiş okyanus ortası bazaltı)’a göre hafif nadir toprak elementlerce zenginleştiği buna karşın ağır nadir toprak elementlerce tüketilmiş olduğu görülmektedir (Şekil 3.19b).



Şekil 3.19. Kermut volkanik kayaların iz element dağılım diyagramları, (a) MORB'a göre, (b) kondrite 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)

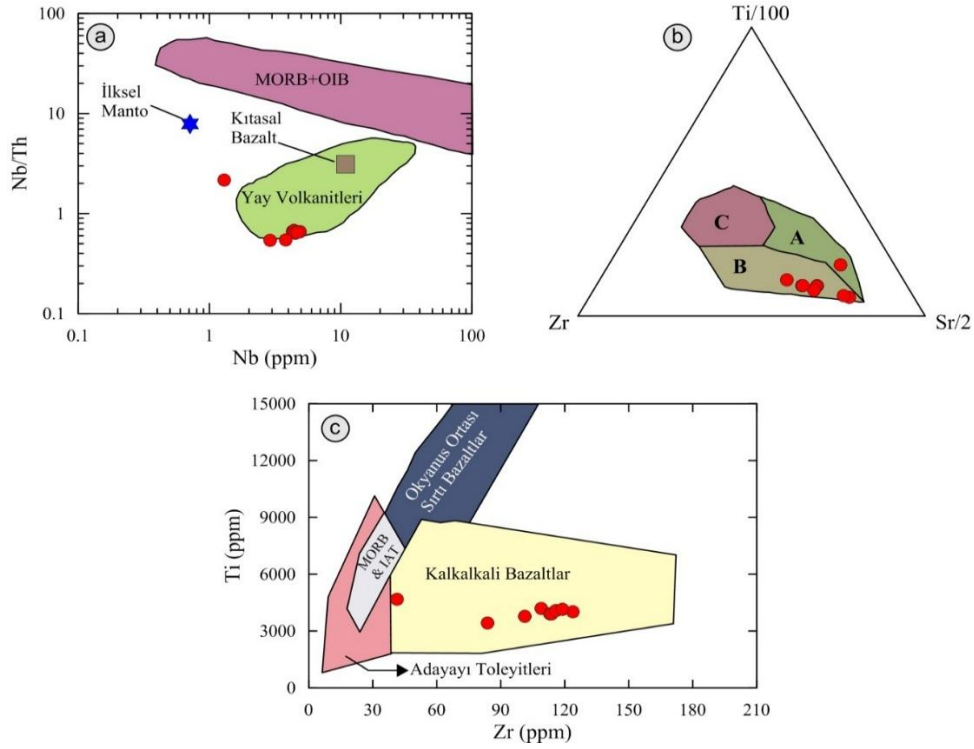
İncelenen volkanitlerde yüksek çekim alanlı elementlere (YÇAE) göre büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (BİYLE) zenginleşme, ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre hafif nadir toprak elementlerce zenginleşme (HNTE) ve negatif Nb, Ta, Ti ve Zr anomalilerinin görülmesi bu volkanitlerin magmasının yitim ilişkili kıtasal yay magması özelliğinde olduğunu göstermektedir (Pearce 1983; Ringwood 1990; Stolz vd., 1990; Kelemen vd., 1990). Ayrıca iz element değişimlerinin birbirine paralellik sunması, bunların benzer kökenden türediklerini göstermektedir. BİYLE ve HNTE'ce zenginleşme dalan okyanusal litosferden ve/veya dalan litosfer üzerindeki sedimentlerden açığa çıkan akışkanların manto kaması içine girişi ile ilişkilidir (Ringwood, 1990; Hawkesworth vd., 1991).

3.3.4. Tektonik Ortam

Kermut yöresi volkanitlerinin jeokimyasal diyagramlarındaki değişimlerine bakıldığında iz element değişimlerinde Nb, Ta, Zr ve Ti bakımından tüketilme, Sr, K, Ba, Rb ve HNTE bakımından bir zenginleşme görülmekte olup, bu değerler volkanitlerin magmasının bir yitim zonu ortamında geliştiğini göstermektedir (Pearce ve Peate, 1995; Turner, 2005; Şekil 3.20).

İncelenen volkanitlerin, alterasyondan fazla etkilenmediği bilinen Ti, Zr, Sr 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 3.20a). Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramında (Şekil 3.20b) ise örnekler ada yayı serilerinin kalkalkali bazalt alanlarına düşmektedirler. Volkanik kayalar için bir başka tektonik ortam ayırtman diyagramı olan Ti-Zr diyagramında örnekler kalkalkali bazalt alanına düşmektedirler. (Şekil 3.20c).

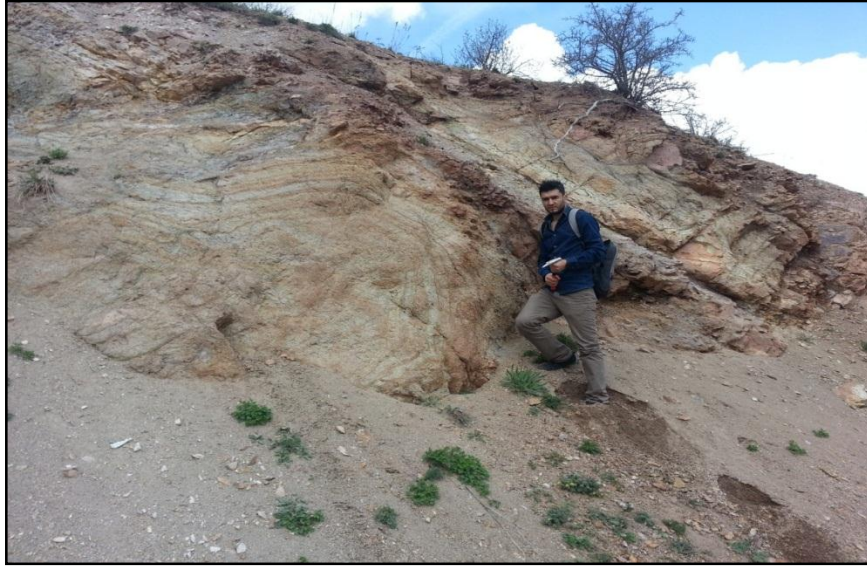


Şekil 3.20. Kermut volkanik kayalarının tektonik ayırtman diyagramları (Pearce ve Cann, 1973). (a) Nb (ppm)'ye karşı Nb/Th diyagramı (ilksel manto Hoffmann, 1988), kıtasal bazalt-OOSB+OAB ve yay volkanitleri alanları (Schmidberger ve Hegner, 1999)'dan alınmıştır. (b) Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramı (A: Ada 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.

3.4. Kermut Alterasyon Sahası ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Bu çalışmada Kermut alterasyon sahasının ve yakın civarının jeolojisini ve bu bölgede yaygın olan kayaç grupları arasındaki stratigrafik ilişkileri ve tektonik özelliklerini daha ayrıntılı bir şekilde belirlemek, kayaların petrografisini ve bununla birlikte

cevherleşme ve yakın çevresinin alterasyon haritasını hazırlamak için sistematik örnek alınmış ve kimyasal analiz yaptırılmıştır. Alterasyon sahasında Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu içerisinde yer alan andezitlere bağlı olarak gelişmiş yoğun hidrotermal alterasyonlar gözlenmektedir. Sahada bulunan andezitler genellikle KB-GD yönlü faylardan yoğun olarak etkilenmişlerdir. Kırık zonlarının bulunduğu alanda cevherleşmeye ev sahipliği yapan andezitlerde gözlenen alterasyon türleri genel olarak kloritleşme, limonitleşme, hematitleşme, killeşme ve silisleşme şeklindedir (Şekil 3.21, 3.22)



Şekil 3.21. Andezitlerde gözlenen kloritleşme (Kermut Köyü Kuzeyi)



Şekil 3.22. Andezitlerde gözlenen limonitleşme, hematitleşme ve killeşmeler (Şonkalesi Deresi kuzeyi)

3.5. Yan Kayaçlarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar

Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresinde, alterasyon zonlarının içinde yer aldığı Eosen yaşlı andezitlerde meydana gelen alterasyon mineralojisini ve mineral parajenezi ortaya çıkarmak için, harita alımı sırasında, belirli hatlar boyunca (Şekil 3.23) yoğun altere kısımlardan alınan sistematik örnekler mikroskopta incelenmiştir. Kayaçlarda meydana gelen alterasyonun gelişiminde; farklı zaman aralıklarında bölgeye yerleşen kayaçların oluşum ortamı, tektonik geçmişleri, 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, Kermut alterasyon zonlarını içeren andezitik kayaçlarda yaygın olarak gözlenen alterasyon türlerinin, plajiyoklaslarda serizitleşme, ikincil oluşumlara bağlı olarak gelişen silisleşme ve karbonatlaşma, opak minerallerin kenar zonlarında ve koyu renkli minerallerde ise kloritleşme-hematitleşme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.23. Alterasyon mineralojisini belirlemek amacıyla damara dik doğrultuda örnekleme yapılan kırık hattının görünümü (Şonkalesi Deresi kuzeyi)

3.5.1. Silisleşme

İnceleme alanında yüzeylenen volkanik kayalarındaki alterasyon türlerinden en önemlisini oluşturan silisleşme, yaygın olarak kırık zonları boyunca gelişmiştir. Cevherli zona yakın bölgelerde, ince silis damarları ve kümelenmiş kuvars taneleri şeklinde gözlenen bu alterasyon, kırık zonlarından uzaklaştıkça azalma eğilimi gösterir ve silisleşme ile serisitleşme ve kalsitleşme bir arada bulunmaktadır (Şekil 3.24, B ve C).

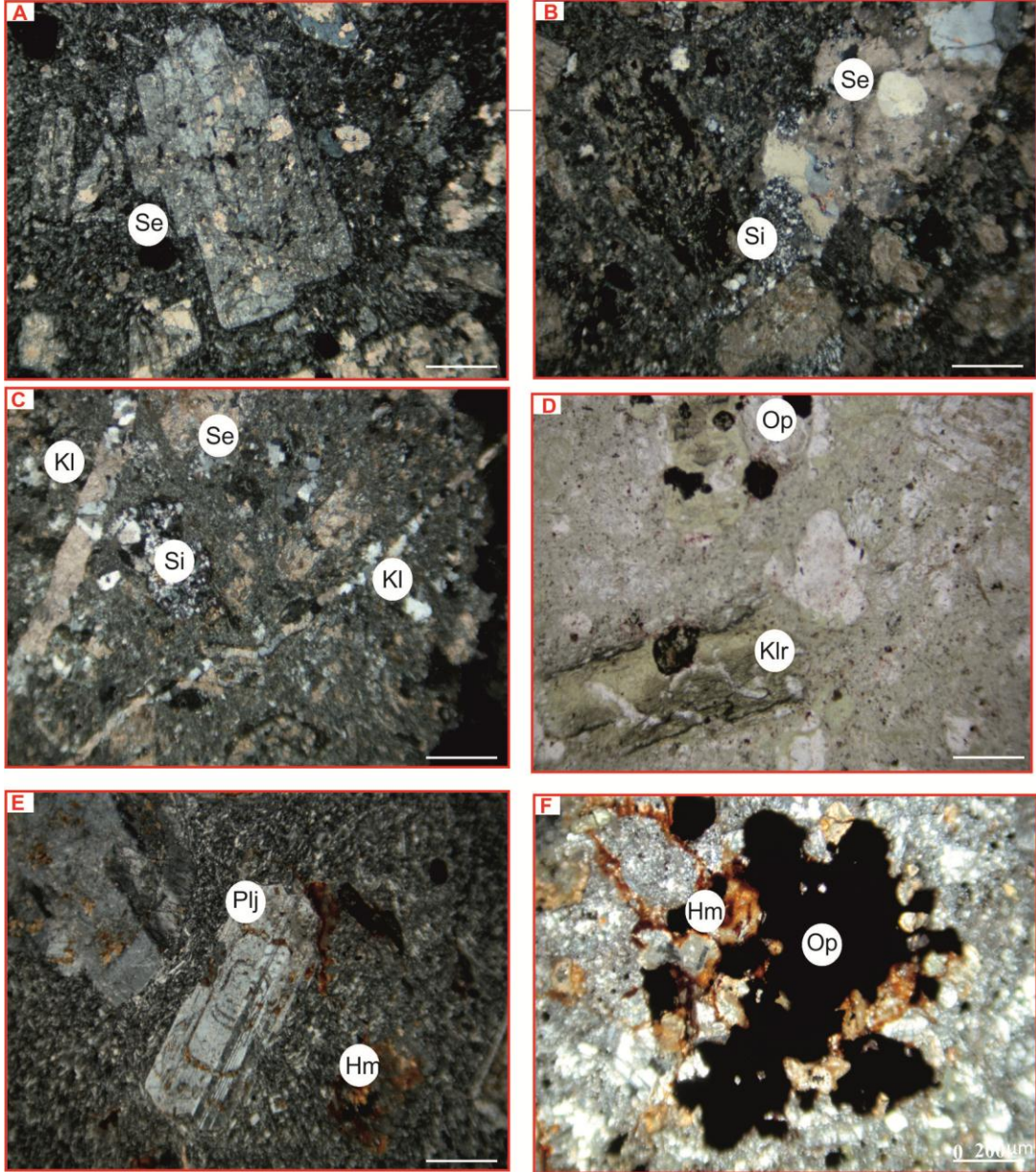
3.5.2. Serizitleşme

Serizitleşme, inceleme alanında yüzeyleme veren ve Kermut alterasyon oluşumunun gerçekleştiği andezitlerde hem iri latalar ve hem de hamurda mikrolitler halinde yaygın olarak bulunan plajiyoklasların en yaygın ayrışma türüdür (Şekil 3.24 A, B, ve C). İncelenen kesitlerin çoğunda hamurdaki şiddetli serizitleşmeye, silisleşme ve karbonatlaşmanın eşlik etmiş olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.24 C).

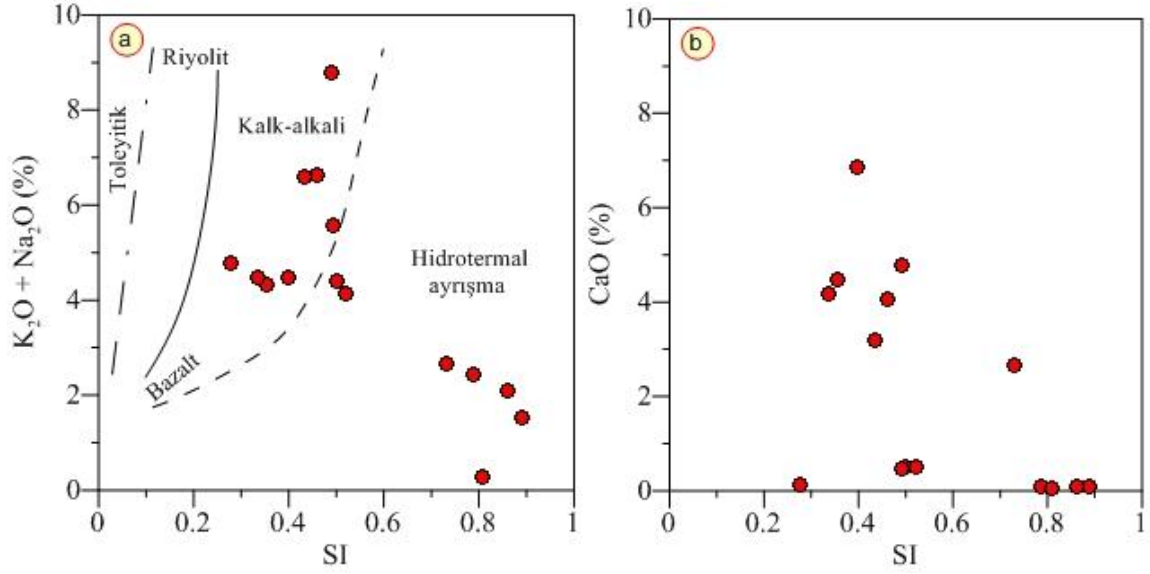
Kermut yöresi Eosen yaşlı andezitlere bağlı olarak gelişen hidrotermal alterasyona uğramış kayalarda serizitleşmenin etkinliğini belirlemek amacıyla serizitleşme indeksi (SI) hesaplanmıştır. Altere kayalarda hesaplanan SI değerine karşılık K_2O+Na_2O değerlerine bağlı olarak çizilen grafikte (Şekil 3.25 A) örneklerin kalk-alkali ve hidrotermal alterasyon alanında yer aldığı görülmektedir.

Ayrıca serizitleşme indeksine karşı çizilen CaO diyagramında ise (Şekil 3.25 B), SI değerinin arttıkça CaO değerinin azaldığı dikkat çekmektedir. SI'nin düşük CaO değeri yüksek olan örneklerde karbonatlaşma baskın alterasyon türünü oluşturmaktadır.

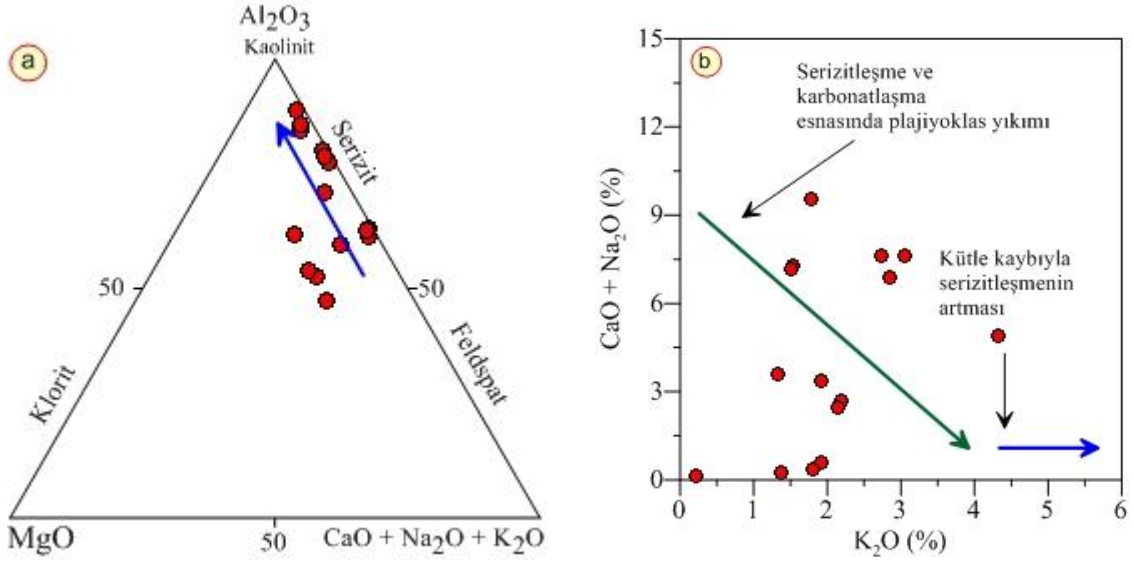
Altere andezitlerden elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre plajiyoklaslarda serizit oluşumunun etkisini belirlemek için ise $Al_2O_3- MgO-(CaO+Na_2O+K_2O)$ üçgen diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 3.26a). Çizilen grafikte ise örneklerin hepsinin serizitleşme alanında yoğunlaştığı gözlenmiştir. K_2O 'ya karşı $CaO+Na_2O$ grafiğinde ise (Şekil 3.26b) $CaO+Na_2O$ değerlerinin azalmasına karşın K_2O değerlerinin artması plajiyoklasların ayrışması ile serizit oluşumu başladığını açıklanabilmektedir. Serizitleşme alkali değişimi ve hidrotermal sıvılardan K^+ ilavesi ile ilgilidir (Barrett vd., 1993). İncelenen volkanik kayalarda özellikle plajiyoklaslarda yaygın olarak görülen serizitleşmenin gelişimi sırasında, potasyumun kaynağı biyotit veya potasyumlu feldspatlar olabilir (Sipahi, 2005; Sipahi ve Sadıklar, 2010, Akaryalı, 2010).



Şekil 3.24. Eosen yaşlı andezitlerde, ayrışmaların mikroskop altında çapraz nikeldeki görünümleri. (A) Plajiyoklasların serizitleşmesi, Örnek no: H4, (B) Plajiyoklasların serizitleşmesi ve ikincil kuvars, Örnek no: H2, (C) Kalsit, serizit ve ikincil kuvars, Örnek no: H3, (D) Kloritleşme ve opak mineral ilişkisi, Örnek no: H1, (E) Plajiyoklasların serizitleşmesi, hematit, Örnek no: H14 (F) Opak minerallerin hematitleşmesi, Örnek no: H9, (Si: Silis, Kl: Kalsit, Se: Serizit, Plj: Plajiyoklas, Op: Opak mineral, Klr: Klorit, Hm: Hematit).



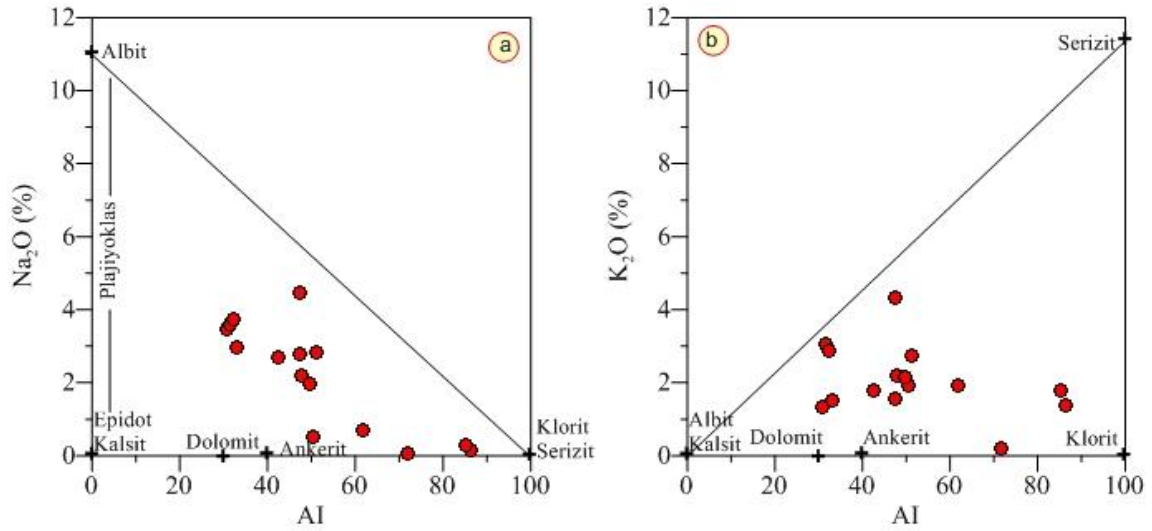
Şekil 3.25. Andezitlerin serizitleşme indeksine ($SI = K_2O / (K_2O + Na_2O) (\%)$) karşı; (a) $(K_2O + Na_2O) (\%)$ ve (b) SI'ya karşı CaO (%) diyagramındaki dağılımların (MacLean ve Hoy, 1991'den değiştirilecek).



Şekil 3.26. 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).

3.5.3. Kloritleşme ve Hematitleşme

Özellikle fay ve kırık zonları boyunca, cevher içeren bölgeye gelen oksijen içeren suların, piritli bölgelerde ve opak minerallerin etrafında oluşturduğu hematitleşme (Şekil 3.24 E ve F) kırmızımsı renklerde, kloritleşme ise soluk yeşil renklerde gözlenmektedir (Şekil 3.24 D). Ayırışma indeksi volkanik kayalardaki plajiyoklasların bozulması ile serizit ve klorit oluşumunu açıklamaktadır. AI'ya Na₂O ve K₂O diyagramlarında (Large vd., 2001), Kermut yöresi altere andezitlerinde AI artışına bağlı olarak Na₂O azalması ile albit-plajiyoklas kenarından serizit-klorit köşesine doğru bir yönseme, AI azalmasına bağlı olarak K₂O artışı ile serizit ve klorit oluşumuna yönelik bir yönsemenin varlığı gözlenmektedir (Şekil 3.27a ve b).



Şekil 3.27. Eosen yaşlı volkanitlerin Alterasyon indeksine [$AI=100*(K_2O+MgO)/(K_2O+MgO+Na_2O+CaO)$] karşı (a) Na₂O ve (b) K₂O diyagramlarındaki dağılımları (Large vd., 2001'den değiştirilerek).

3.5.4. Kalsitleşme

Çoğunlukla cevherleşmeden uzak kesimlerden alınan örneklerde, hidrotermal ayırışma sonucunda plajiyoklas minerallerinde ve özellikle de onların kırık zonları boyunca yaygın olarak gözlenen karbonatlaşma pembemsi ve beyazımsı renkleri ile karakteristiktir (Şekil 3.24 C).

3.6. Yan Kayaçlarda Tespit Edilen Element ve Kütle Değişimleri

Kermut (Tekke-Gümüşhane) yöresinde gözlenen hidrotermal alterasyonlar Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu'na ait andezitler içinde genel olarak KB-GD doğrultulu kırık hatlarına bağlı olarak gelişmiştir. Bu bölümde alterasyonların geliştiği bu kırık sistemine dik bir hat boyunca yüzeyden sistematik olarak alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre alterasyon sahasında meydana gelen, mineralojik, elementsel ve kütleli değişimler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında alterasyonun gözlemlendiği kırık hattına dik bir hat boyunca örnekleme yapılmıştır (bkz. Şekil 3.23) Örnek alımı sırasında, örnekler arası mesafe makroskobik gözlemlere bağlı olarak, arttırılmış veya azaltılmıştır. Altere zona doğru yaklaştıkça kayaçlarda meydana gelebilecek, mineralojik, element ve kütleli değişimleri daha net inceleyebilmek için örnekler arası mesafe daha sık tutulurken, altere zondan az altere kayaca doğru ise daha seyrek bir örnekleme yapılmıştır. Örnekleme sırasında toplam 15 adet örnek alınmış ve bunların tamamı ana, iz ve nadir toprak elementler bakımından analiz edilmiş ve sonuçlar Ek Tablo 1'de verilmiştir.

3.6.1. Mineral Değişim Hesaplamaları

Alterasyon zonundan sistematik olarak alınan örneklerin, ana ve iz element analizlerine bağlı olarak alterasyon oluşumu sırasında ve sonrasında yan kayaçlarda oluşan ayrışma minerallerinde meydana gelen değişimi hesaplamak mümkündür (Böhlke, 1989; Mountain vd., 1996 ve Herrmann ve Berry, 2002). Çalışma kapsamında, Kermut yöresinde, kırık hattına dik bir hat boyunca yapılan örnekleme sonucunda elde edilen kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, Herrmann Berry (2002) tarafından geliştirilen MINSQ yöntemiyle, yan kayaçta oluşan alterasyon mineralojisi ve mineral değişim yüzdeleri hesaplanmıştır.

3.6.1.1. MINSQ Yöntemi

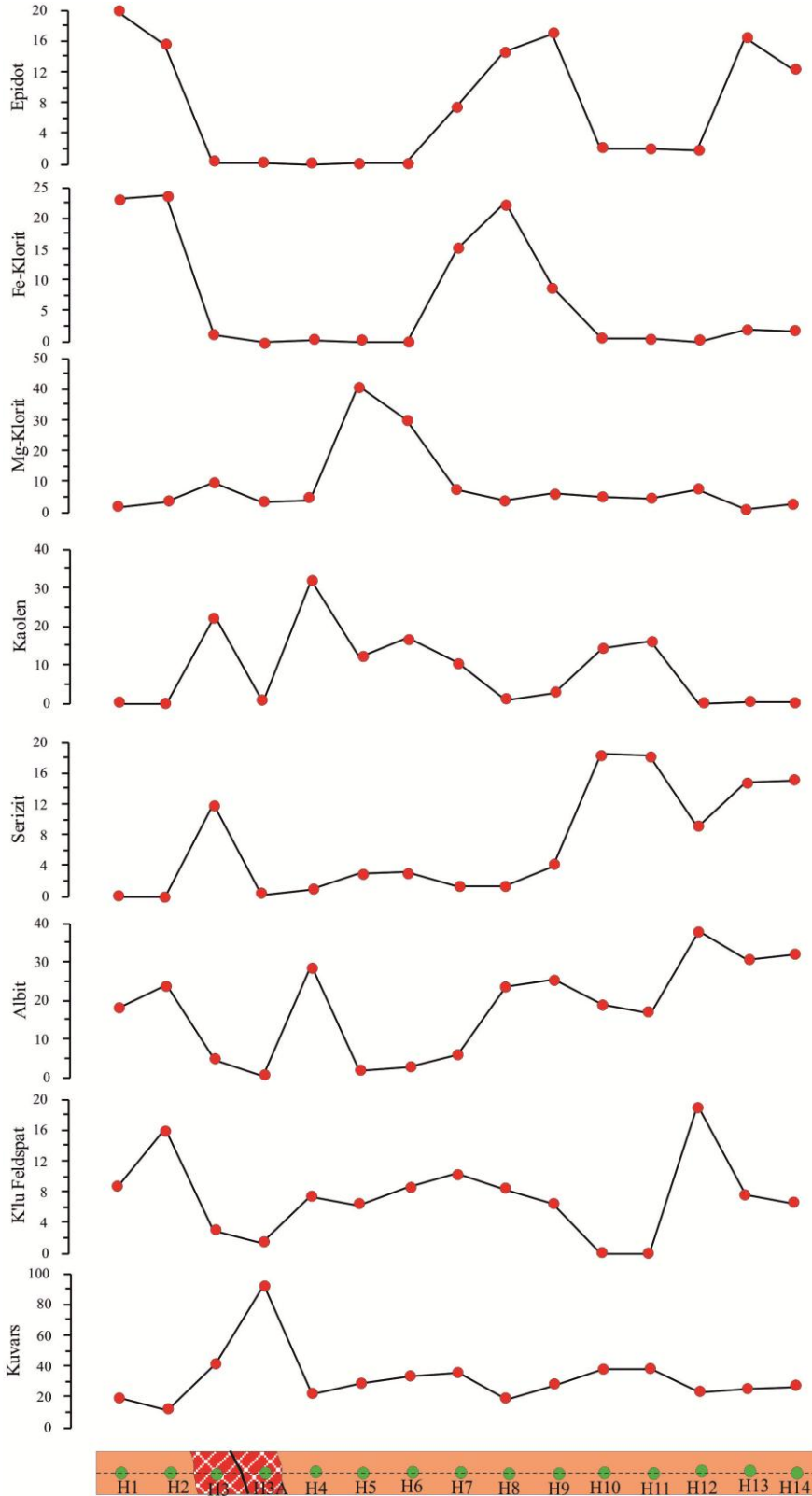
Bu yöntem en küçük kareler yöntemini esas alan ve Microsoft Excel TM çözümlenmesi ile kolaylıkla çalışabilen Herrmann ve Berry, (2002) tarafından geliştirilen, bir veri çözümleme programıdır. Program sayesinde, herhangi bir kayacın hangi mineralleri içerdiğini, söz konusu kayacın kimyasal analizleri ile yüzde olarak hesaplanabilmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, programı kullanmadan önce kayaçların mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi ve o kayaç içindeki minerallerin kimyasal analizleri yapılarak bileşimlerinin ortaya konulması gerektiğidir (Böhlke, 1989). Bu çalışmada yan kayaçta belirlenen minerallerin mikrokimyasal analizleri yapılamadığından, minerallerin bileşimleri Deer vd., (1992) ve Dana, (1993)'den alınmıştır.

MINSQ'nun çalıştırılmasında kayaçların normatif mineralojisi ve cinsleri ile tespit edilen kil mineralleri daima dikkate alınmalıdır. MINSQ programına, kayaçta bolluğu tespit edilmek istenen minerallerin (1mol) kimyasal bileşenleri (ağırlıkça %) ile aynı kimyasal bileşenler için analiz edilen kayaca ait analiz sonuçları aktarılır. Veri çözümü işlemi, programın birkaç kez çalıştırılması ile artık değer (rezidüel, r^2) 1 veya 1'den küçük değer elde edilmesine kadar yapılır. Artık değer 0.5 veya daha küçük olması yapılan hesaplamaların tatmin edici sonuç verdiğini ifade eder. Programın çalıştırılması sırasında iki husus önemlidir. Birinci husus; programa aktarılan mineral sayısı, kimyasal bileşen sayısından her zaman az olmalıdır. İkinci durum ise rezidüel değer ile ilgili olup, Herrmann ve Berry, (2002)'ye göre, hesaplamalar neticesinde, eğer rezidüel değer 1'den daha büyük elde edilmiş ise, kayaçta hesaplamaya dahil edilmeyen başka alterasyon minerallerinin olduğu kaçınılmazdır.

3.6.1.2. Damara Dik Bir Hat Boyunca Alterasyon Mineral Değişimi

Yan kayaçlarda meydana gelen alterasyon mineral değişimlerini belirlemeye yönelik altere zonu içeren kırık hattına dik bir hat üzerinde sistematik örnek alımı neticesinde elde edilen kimyasal analiz sonuçları, MINSQ yöntemiyle (Herrmann ve Berry, 2002), değerlendirilmiştir (Ek Tablo 2). Elde edilen sonuçlara göre, örnekleme yapılan profilde yan kayaçtan altere zonun merkezine doğru mineral yüzde değerlerinde belirgin bir zonlanma göze çarpmaktadır. Örnekleme yapılan profilde alterasyon mineralojisi olarak, merkezde yani potasik alterasyon zonunda kuvars, K'lu feldspat, \pm serizit, \pm kaolen, alterasyonun dış zonlarına doğru ise yani propilitik zonda baskın alterasyon minerali albite ilaveten epidot, Fe'li klorit, Mg'lu klorit tespit edilmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Kırık sistemlerine dik olacak şekilde sistematik olarak alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarının MINSQ yöntemiyle (Herrmann Berry 2002) minerallerin değişimlerinin gözlenmesi (Sonuçlar için Ek Tablo 2'ye bakınız).

3.7. Kütle Değişim Hesaplamaları

Kayaç yapısında bulunan elementlerin miktarlarında artma ya da azalma görülmesinde hidrotermal ayrışma önemli bir rol oynamaktadır. Kayaç yapılarında meydana gelen gerek kütleli gerekse kimyasal değişimleri belirlemek için bazı araştırmacılar (Gresens, 1967; Grant, 1986; MacLean ve Kranidiotis, 1987; MacLean, 1990; Huston, 1993; Huston ve Cozens, 1994; Barret ve MacLean, 1994) tarafından değişik yöntemler bulunmuş ve geliştirilmiştir.

Altere olmuş kayaçların kimyasal bileşimi, altere olmamış ya da çok az altere olmuş kayaçların bileşimini karşılaştırmak suretiyle kütle değişim hesaplamalarını yapmak mümkündür. Pek çok araştırmacı tarafından tercih edilen, kayaçlarda hidrotermal alterasyon sonucu ortaya çıkan metazomatik olayları inceleyen Gresens (1967) yöntemini, Grant (1986) basitleştirerek hem grafiksel hem de bilgisayarla kullanılabilir hale getirmiştir. Gresens (1967); altere olmuş kayaçtaki bileşenlerin konsantrasyonları ile altere olmamış ya da çok az altere olmuş kayaçlardaki bileşenlerin konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi inceler. Bu çalışma kapsamında yapılan kütle değişim hesaplamalarında Grant (1986)'ın izokon yönteminin Huston (1993) tarafından değiştirilmiş hali kullanılmıştır.

3.7.1. İzokon Yöntemi

Huston (1993) tarafından geliştirilen izokon yönteminde, ilk olarak altere ve en az altere olmuş kayaçlarda hareketsiz elementler (Al, Ti, Y, Zr ve Nb gibi) arası korelasyon katsayısından yararlanarak belirlenir. Akabinde ise bu hareketsiz elementler arasında en yüksek pozitif korelasyonu veren elementler tespit edilir. İzokon yönteminde hazırlanan x-y grafiğinde, ayrışmadan çok etkilenebilecek elementleri merkeze yakın, ayrışmadan az etkilenen elementleri merkezden uzak, hareketsiz elementleri ise bunların arasına dağıtarak ve her bir elemente ayrı bir tam sayı (n_i) verilerek ölçeklendirme işlemi tamamlanır ve sıralama yapılır. Bu sıralamada en az hareketli olan element merkezden en uzakta, en sona yerleştirilir. Az ayrılmış örnekteki her bir element konsantrasyonunu C_i^O , ayrılmış örnekteki her bir element konsantrasyonunu C_i^A , ölçeklendirilmiş ayrılmış örneğin konsantrasyonu ise C_i^S ile ifade edilmekte olup,

$$C_i^S = n_i \times C_i^A / C_i^O \quad (3.1)$$

formülünden hesaplanır. Bu yöntemde grafik çizilirken, ölçeklendirilmiş az ayrıışmış veya ayrıışmamış örneklerin bileşenleri x – eksenine ve ayrıışmış örneklerin bileşenleri ise y – eksenine yerleştirilir. Grafiğin merkezi (orijin) ile en hareketsiz elementi birleştiren doğru, *izokon doğrusu* olarak adlandırılır. Çizilen bu doğrunun, üst tarafındaki bölgede kalan elementlerin içeriklerinde artma, alt bölgede kalan elementlerin içeriklerinde ise azalma olduğu kabul edilir. Hidrotermal ayrıışma esnasında herhangi bir artış veya azalma göstermeyen elementler ise, izokon doğrusu üzerinde yer alır. Kütle değişim hesaplamaları, elde edilen bu doğrunun eğimi (m) belirlenerek yapılır. Eğer ayrıışmamış kayaca göre ayrıışmış kayacın kütle değişimi söz konusu değil ise m = 1, kütle artışı var ise m < 1 ve kütle kaybı belirlenmişse m > 1 olacaktır. Bu bilgiler ışığı altında, ayrıışmadan en az etkilenen kayaca göre her ayrıışmış kayacın göreceli (nispi) kütle değişimi yüzde olarak;

$$\Delta C_i^A (\%) = 100 \times [C_i^A / (m \times C_i^O) - 1] \quad (3.2)$$

formülü ile 100 g'a göre net kütle değişimi,

$$\Delta C_i^A (g / 100 g) = [\Delta C_i^A (\%) / 100] \times [C_i^A (g / 100 g)] \quad (3.3)$$

bağıntısı ile ayrıışmamış kayaca göre meydana gelen net kütle değişimi ise,

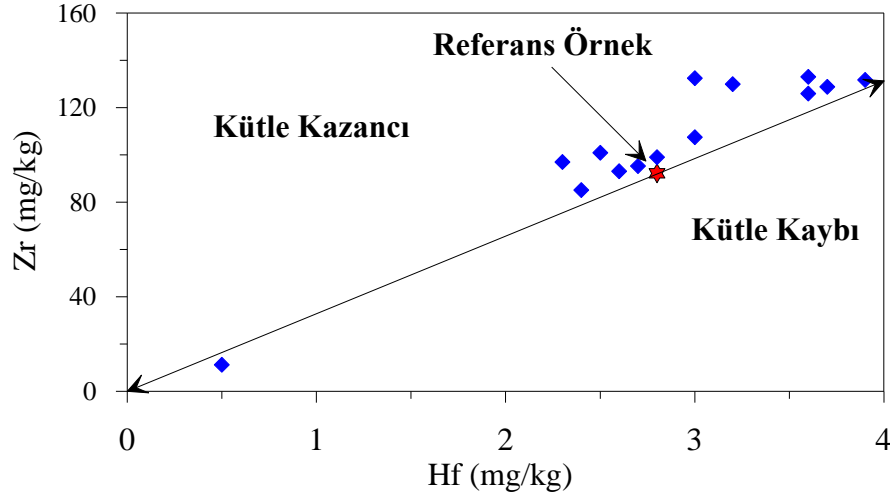
$$\Delta M^A (\%) = 100 (1 / m - 1) \quad (3.4)$$

formülü ile hesaplanır (Huston 1993).

3.7.2. Yan Kayaçlarda Meydana Gelen Kütlesel ve Kimyasal Değişimler

Yan kayaçlarda meydana gelen kütlesel ve kimyasal değişim hesaplamalarında Al, Zr, Ti, Y ve Nb gibi alterasyondan en az etkilenen veya hareketsiz oldukları belirlenen elementlerden yararlanılır (MacLean ve Kranidiotis, 1987, MacLean 1990). Çalışma kapsamında; Kermut yöresinde Eosen yaşlı volkaniklerde meydana gelen kütlesel ve kimyasal değişimleri tespit etmek için, altere zonda yer alan kırık hattına dik doğrultuda sistematik örnekleme yapılmıştır.

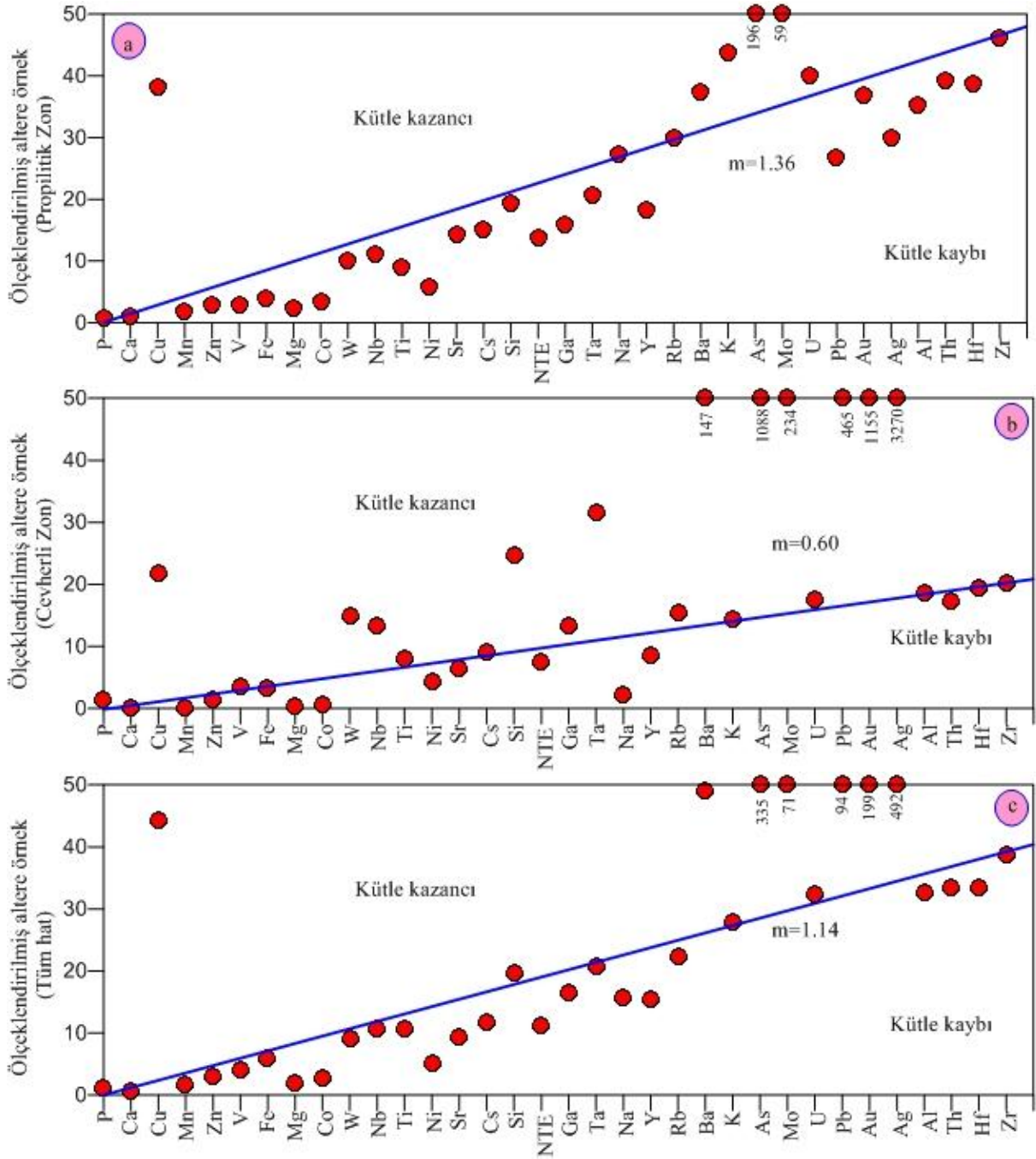
Örneklerden elde edilen analiz sonuçlarına göre elementler ve en yüksek pozitif korelasyona sahip elementler tespit edilmiştir (Ek Tablo 3). Alterasyon hattına dik doğrultuda alınan 15 adet örneğin kimyasal analiz sonuçlarına göre, en yüksek korelasyona sahip element çifti olarak Zr-Hf ($r = 0.95$) belirlenmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Kermut alterasyon sahasında, örnekleme profilinde Zr-Hf arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.

Dolayısıyla örnekleme profili için yapılacak olan kütle değişim hesaplamalarında Zr-Hf hareketsiz element olarak belirlenmiştir. Cevher oluşum süreci boyunca genel olarak; Al, T, Zr, Y ve Nb'nin hareketsiz olarak davrandıkları benzer çalışmalarla kanıtlanmıştır (Winchester ve Floyd, 1977; Finlow-Bates ve Stumppel, 1981; Maclean ve Kranidiotis, 1987; Elliott-Meadows ve Appleyard, 1991; Huston, 1993; Kaur, vd., 2012; Yaylalı-Abanoz ve Tüysüz, 2010; Akaryalı, 2010; Sipahi ve Sadıklar, 2010; Akaryalı ve Tüysüz, 2013). MINSQ yöntemiyle yan kayaçta belirlenen alterasyon mineralojisine ve mineral değişim yüzdelere göre, yan kayaçlarda meydana gelen kütsel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla yapılan hesaplamalarda kullanılmak üzere alterasyon zonları, epidot, Mg'lu klorit ve albitin baskın olduğu propilitik alterasyon zonu, kuvars, serizit ve kaolenin baskın olduğu cevherli zon olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Ayrıca örnekleme profilinde yapılan kütsel ve kimyasal değişim hesaplamaları, tüm hat içinde gerçekleştirilmiştir. İzokon yöntemine bağlı olarak elde edilen eğim değerleri (Ek Tablo 4, 5 ve 6) propilitik alterasyon zonunda $m > 1$ (1.36), cevherli zonda $m < 1$ (0.60) ve tüm hat için ise $m > 1$ (1.14) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.30). Eğim değerlerine göre propilitik alterasyon zonunda ve tüm hatta kütle kaybı ($m > 1$), cevherli zonda ise kütle kazancı tespit edilmiştir ($m < 1$).

Nispi (göreceli) kütle değişimleri Huston (1993) tarafından geliştirilen 3.2 nolu formül kullanılarak, propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat için ayrı ayrı ortalama değerleri alınarak hesaplanmıştır (Şekil 3.31, Ek Tablo 4, 5 ve 6).



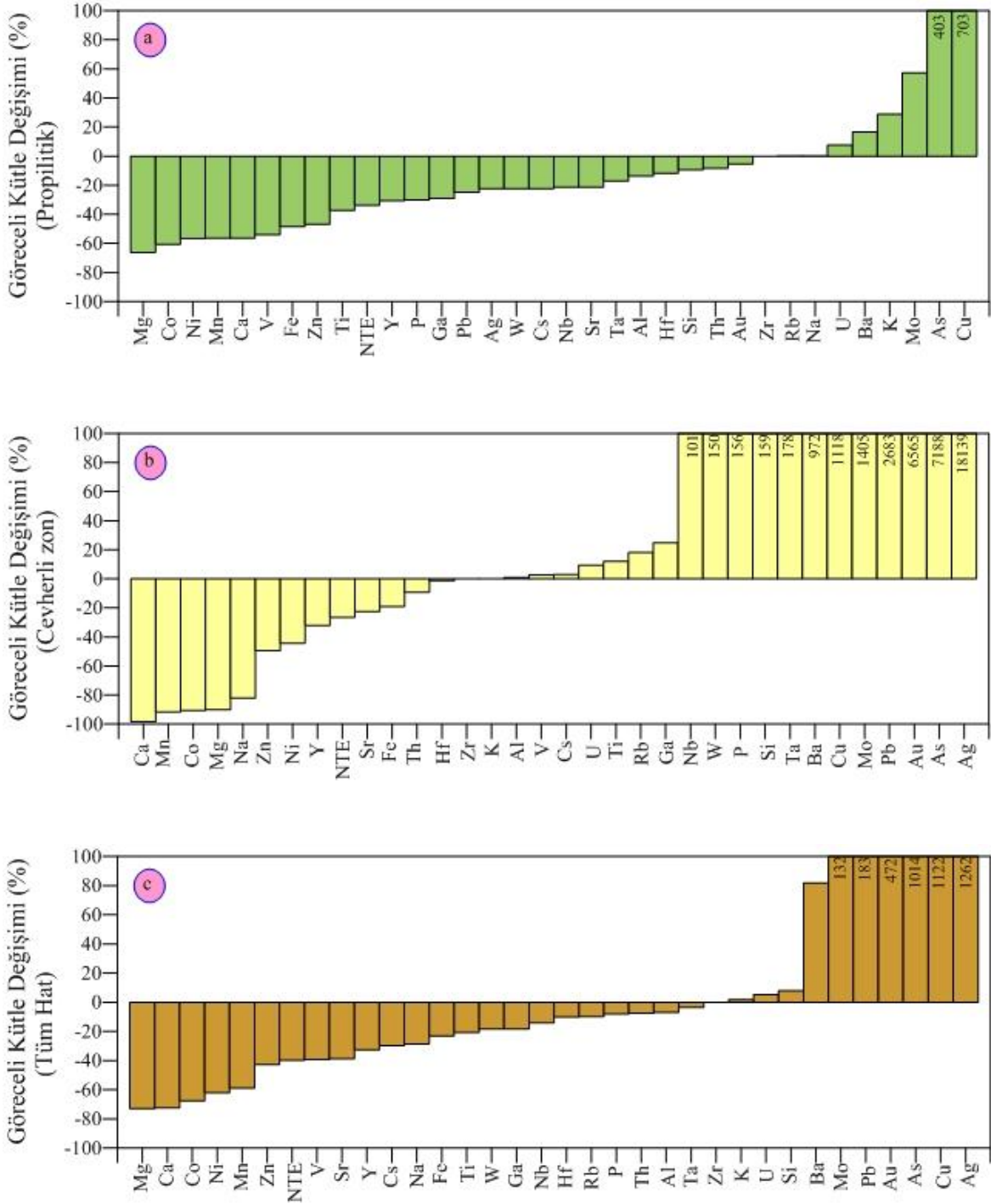
Şekil 3.30. Kermut Alterasyon zonunda kırık hattına dik doğrultuda hesaplanan izokon diyagramları

Yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; alterasyon zonundan uzak alanlarda yani propilitik alterasyon zonunda, ana elementlerden Mg %66.18, Ca % 56.37 ve Fe %48.43, civarında nispi azalma gösterirken, serizitleşmeye bağlı olarak ise K % 28,69 oranında artış göstermektedir. Si ise propilitik zonda % 9.32 oranında azalma gösterir (Şekil 3.31a). Propilitik zonda ayrıca, cevher oluşturan elementlerden Cu, As, Mo ve Ba'da sırasıyla % 703.82, % 403.85, % 57.34 ve % 16.47, nispi artış göstermektedir.

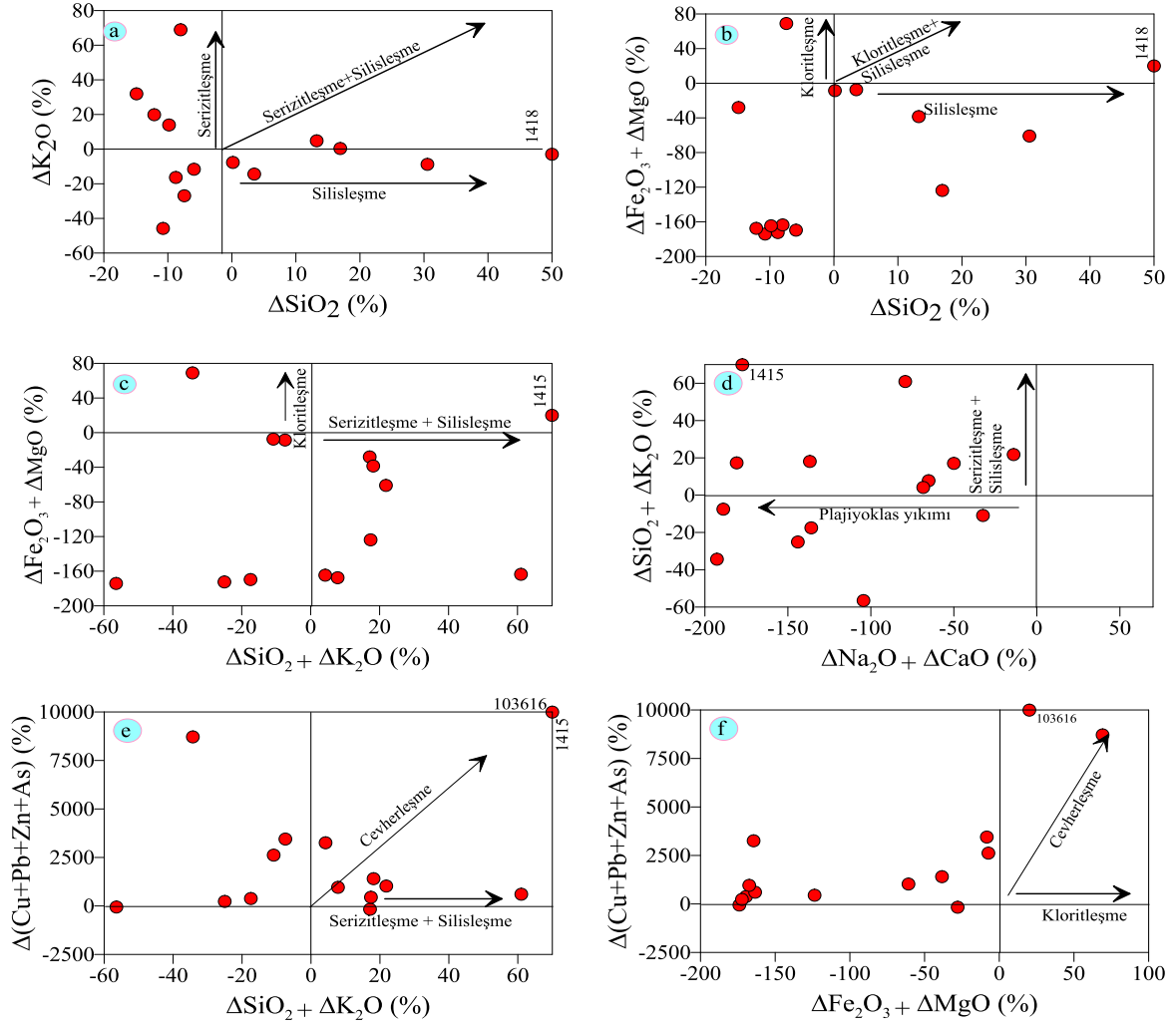
Cevherli zonda ise, Si % 159.38 oranında artarken K % 0.12 oranında nispi artma göstermektedir. Bunun dışında Ca, Mg, Na ve Fe, sırasıyla % 98.30, % 90.02, %82.21 ve %19.01 oranında nispi azalma gösterdiği belirlenmiştir. Ag, As, Au, Pb, Mo, ve Cu elementlerinde ise cevherli zonda sırasıyla % 18139.20, %7188.24, %6565.39, %2683.80, % 1405.99 ve % 1118.18 oranlarında nispi artma gözlenmiştir. (Şekil 3.31b).

Tüm hat için yapılan hesaplamalar neticesinde, K ve Si, miktarlarında cevher yapıcı elementlerden ise yine diğer zonlarda olduğu gibi Cu, Pb, Au, As ve Ag miktarlarında artış gözlenmiştir. Na, Ca, Fe, Mg elementlerinde ise nispi azalma belirlenmiştir (Şekil 3.31c).

Nispi (göreceli) kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelendiğinde silisleşmiş örneklerin serizitleştiği (Şekil 3.32a), buna karşın cevherleşme ile serizitleşme arasında pozitif bir ilişkiye bağlı olarak cevherleşme süresince kayaçların serizitleştiği (Şekil 3.32e), Na ve Ca azalmasının plajiyoklas yıkanması ile ilişkili olduğu, (Şekil 3.32d), kloritleşme ile silisleşme ve serizitleşmenin ilişkili olmadığı (Şekil 32b ve c), cevher oluşumu sırasında klorit bozuşmasının gerçekleştiği (Şekil 3.32f) belirlenmiştir.



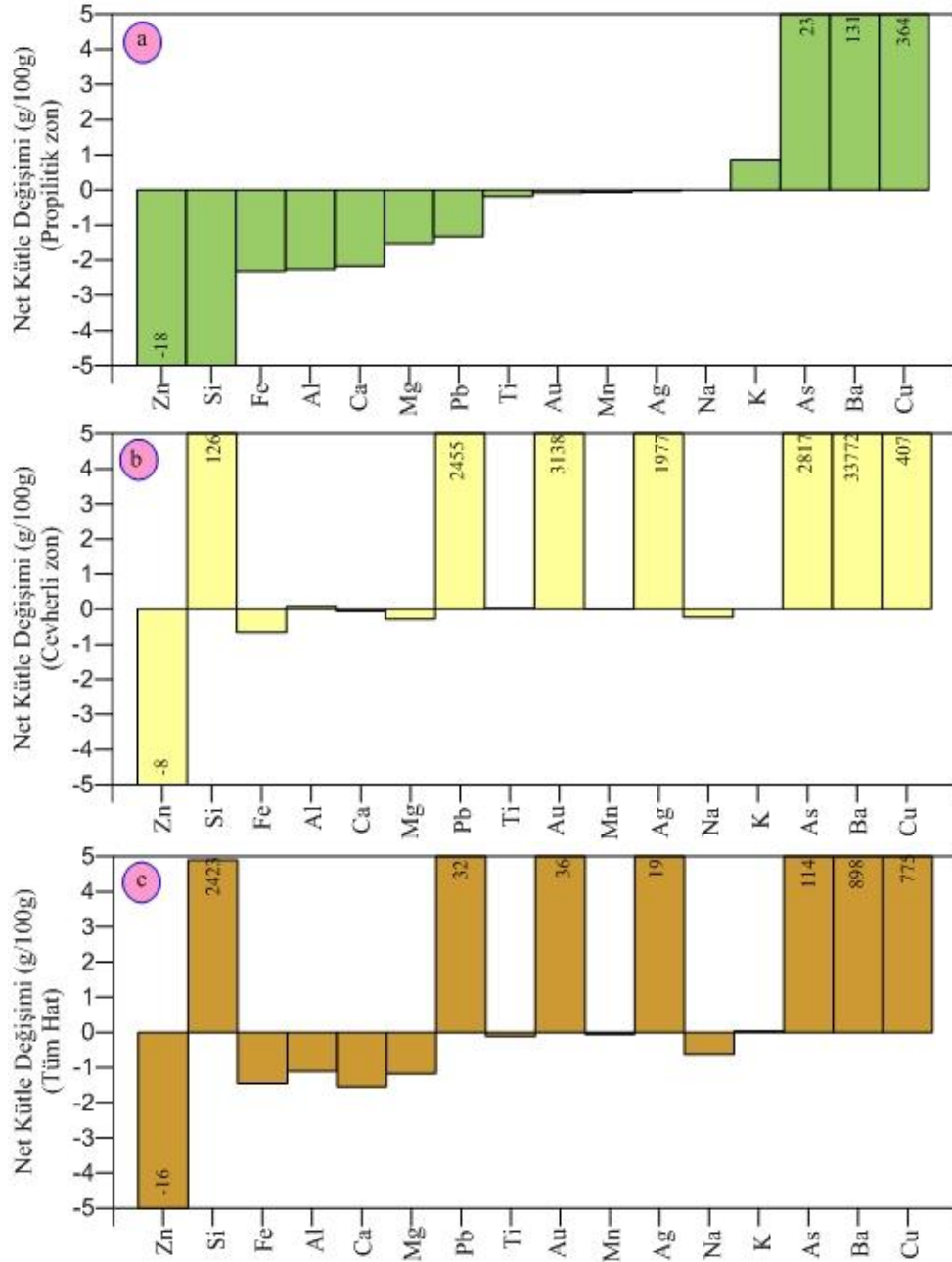
Şekil 3.31. Kermut alterasyon zonunda kırık hattına dik bir hat boyunca hesaplanan nispi kütle değişim diyagramları a) propilitik alterasyon zonu, b) cevherli zon, c) tüm hat için hazırlanan % değişim diyagramları (Elementler azalandan artana doğru sıralanmıştır).



Şekil 3.32. Kermut alterasyon sahasında, en az altere kayaca göre ayrılmış kayacın hesaplanan ve kayacın nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkiler ile bu değişimler sonucu yan kayacın oluşabilecek alterasyon minerallerini gösterir diyagramlar

Kermut alterasyon sahasında damara dik bir hat boyunca alınan örneklerden net kütle değişim hesaplamaları $\Delta C_i^A \text{ (g / 100 g)} = [\Delta C_i^A \text{ (\%)} / 100] \times [C_i^A \text{ (g / 100 g)}]$ formülü kullanılarak yapılmıştır. Bunun sonucunda propilitik zonda ana elementlerden K (0.85 g/100g), miktarında artma gözlenirken Si, Ca, Mg ve Fe miktarlarındaki azalma ise sırasıyla g/100g olarak 5.58, 2.32, 2.18 ve 1.52, oranındadır (Şekil 3.33a). Cevherli zonda ise sadece Si 126.74 g/100g olarak artmıştır. Diğer ana elementlerde ise azalma gözlenmektedir. Ayrıca cevherli zonda g/100g olarak Au (3138.26), As (2817.79), Pb (2455.67), Ag (1977.17), ve Cu (407.02) elementlerinde zenginleşme tespit edilmiştir (Şekil 3.33b). Tüm hat için yapılan net kütle değişim hesaplamalarında ise, cevherli zonda olduğu gibi Si (4.89 g/100g) artışı ve cevher minerali oluşturan elementlerce net kütle artışı belirlenmiştir (Şekil 3.33c). İzokon

doğrusundan yararlanarak hesaplanan eğim (m) değerlerinden (Şekil 3.30) örnek alımı yapılan propilitik zon, cevherli zon ve tüm hat boyunca 3.4 nolu formül kullanılarak yapılan hesaplamalarda kırık hattına dik bir hat boyunca örnekleme yapılan kayaların kütlelerinde genel olarak tüm hat (%12.28) ve propilitik zonda (% 26.47) kütle kaybının, cevherli zonda ise (%66.66) kütle kazancı meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.33a, b ve c).



Şekil 3.33. Kermut alterasyon zonunda kırık hattına dik bir hat boyunca hesaplanan net (g/100g) kütle değişim diyagramları a) propilitik alterasyon zonu, b) cevherli zon, c) tüm hat.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin Güney Zon'unda yer alan Kermut (Gümüşhane) alterasyon sahasının jeolojisi, volkanik kayaların petrografisi ve jeokimyası, kırık hatlarının detay jeolojisi, alterasyonun kırık sistemleri ile olan ilişkisi, alterasyon mineralojisi, yan kayalarda meydana gelen mineralojik ve kütleli değişimlerin belirlenmesini konu alan bu çalışmanın önemli sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Arazi çalışmalarına göre, Kermut yöresinin taban kayalarını kireçtaşlarından oluşan Berdiga Formasyonu (Malm-Erken Kretase) oluşturmaktadır. Bu birimin üzerine uyumlu olarak sarı renkli kumtaşları ile başlayıp türbiditik istif ile son bulan Kermutdere Formasyonu (Geç Kretase) gelmektedir. Bu birimin üzerine ise konglomera ve nummunitli kireçtaşı ile başlayıp andezit-bazalt ve bunların piroklastiklerinden oluşan volkanik istif uyumsuz olarak gelmektedir.

2. Kermut alterasyon sahasında tabakalı birimler Kermutdere ve Alibaba Formasyonu'nda gözlenmekte olup, tabakaların genel doğrultuları KB-GD, eğimleri ise KD'ya doğrudur.

3. Eosen yaşlı volkanitlerin SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ve Nb/Y'ye karşı $\text{Zr}/\text{TiO}_2 \cdot 0.0001$ kimyasal adlandırma diyagramına göre andezit ve andezit/bazalt alanlarına düştüğü, kalk-alkali karakterde olduğu ve orta-yüksek-K alanlarında yer aldıkları belirlenmiştir.

4. Eosen yaşlı volkanitlerin, MORB'a göre normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil element (BİYLE; Sr, K, Rb ve Ba), Th ve Ce konsantrasyonları bakımından zenginleşme gözlenirken, yüksek çekim alanlı elementler (YÇAE; Zr, Ti ve Y), Nb ve Ta bakımından fakirleşme izlenmektedir.

5. İncelenen volkanitlerin kondrite normalize edilmiş nadir toprak element (NTE) dağılımları genel olarak birbirine benzerlik göstermektedir. Bu durum, Kermut yöresi

volkanitlerini oluşturan kayaların aynı veya benzer manto kaynağından türediklerini işaret etmektedir.

6. Tektonik ayırtman diyagramlarından Nb'ye karşı Nb/Th'ye göre, örnekler yay volkanitleri alanına, Ti/100-Zr-Sr/2 diyagramında göre ada yayı serilerinin kalkalkali bazalt alanlarına ve Ti-Zr diyagramına göre ise örneklerin kalkalkali bazalt alanına düştükleri tespit edilmiştir.

7. Alibaba Formasyonu içinde gelişen alterasyonlar, bu birim içinde yer alan andezitlerde gelişen kırıklarla ilişkili olup, genel olarak KB-GD doğrultu ve yaklaşık D-B doğrultuludurlar. Kırık zonlarının bulunduğu alanda cevherleşmeye ev sahipliği yapan andezitlerde gözlenen alterasyon türleri genel olarak limonitleşme, hematitleşme, killeşme ve silisleşme şeklindedir.

8. Kermut yöresi Eosen yaşlı andezitlere bağlı olarak gelişen hidrotermal alterasyona uğramış kayalarda serizitleşmenin etkinliğini belirlemek amacıyla serizitleşme indeksi (SI) karşılık $K_2O + Na_2O$ grafiğine göre örneklerin kalk-alkali ve hidrotermal alterasyon alanında yer aldığı görülmektedir.

9. Serizitleşme indeksine karşı çizilen CaO diyagramında ise SI değerinin arttıkça CaO değerinin azaldığı ve buna bağlı olarak, SI'nin düşük CaO'su yüksek olan örneklerde karbonatlaşmanın baskın alterasyon türünü oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca $Al_2O_3 - MgO - (CaO + Na_2O + K_2O)$ üçgen diyagramına göre örneklerin hepsinin serizitleşme alanında yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

10. Çalışılan sahada alterasyon mineralojisini ve yan kayalarda meydana gelen kütle değişimlerini belirlemek için damara dik bir hat boyunca 1 adet profil üzerinde alınan sistematik örneklerin kimyasal analiz sonuçları MINSQ programı ile değerlendirildiğinde, cevherli alterasyon zonunda kuvars, K'lu feldspat, serizit ± kaolen ±, propilitik zonunda ise baskın alterasyon minerali albite ilaveten epidot, Fe'li klorit, Mg'lu klorit tespit edilmiştir.

11. İzokon yöntemine bağlı olarak hesaplanan eğim değerlerine göre; propilitik zonda kütle kaybı ($m=1.16$), potasik zonda kütle kazancı ($m=0.60$) belirlenmiştir. Kütle

değişim hesaplamalarında kullanılmak üzere yapılan korelasyon hesaplamalarına göre en hareketsiz element çifti olarak Zr-Hf belirlenmiştir.

12. Nispi kütle değişim hesaplamalarına göre propilitik zonda Mg, Fe, Ca ve Si elementlerinde göreceli azalma gözlenirken K, Cu, As ve Mo elementlerinde göreceli artma, Cevherli zonda Si ve K elementlerinin yanı sıra cevher minerallerinin bünyesinde bulunan As, Pb, Cu, Ag ve Au elementlerindeki artışa bağlı olarak Ca, Na, Fe, Mg elementlerinde azalma, tüm hat için yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre ise, K ve Si, miktarlarında cevher yapıcı elementlerden ise yine diğer zonlarda olduğu gibi Cu, Pb, Au, As ve Ag miktarlarında artışa karşın Na, Ca, Fe ve Mg elementlerinde ise nispi azalma belirlenmiştir

13. Nispi kütle artışı veya azalmasına (%) neden olan elementler arasındaki ilişkileri betimleyen grafikler yorumlandığında; silisleşmiş örneklerin serizitleştiği, buna karşın cevherleşme ile serizitleşme arasında pozitif bir ilişkiye bağlı olarak cevherleşme süresince kayaçların serizitleştiği, Na ve Ca azalmasının plajiyoklas yıkanması ile ilişkili olduğu, kloritleşme ile silisleşme ve serizitleşmenin ilişkili olmadığı, cevher oluşumu sırasında klorit bozuşmasının gerçekleştiği belirlenmiştir.

14. Net kütle değişim hesaplamalarına göre, propilitik zonda ana elementlerden K miktarında artma gözlenirken Si, Ca, Mg ve Fe miktarlarındaki azalma, cevherli zonda ise sadece Si, Cu, Zn, Pb, Au, As ve Ag elementlerinde zenginleşme, tüm hat için yapılan net kütle değişim hesaplamalarında ise, cevherli zonda olduğu gibi Si artışı ve cevher minerali oluşturan elementlerce net kütle artışı belirlenmiştir. Kırık hattına dik bir hat boyunca örnekleme yapılan kayaçlarda; tüm hat (%12.28) ve propilitik zonda (% 26.47) kütle kaybının, cevherli zonda ise (%66.66) kütle kazancının meydana geldiği belirlenmiştir.

15. Yapılan kütle değişim hesaplamalarından elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde; sıvıların taşıdığı cevher oluşturan elementlerin aralarındaki korelasyonların yüksek olması ve benzer zonlarda zenginleşmiş olmaları bölgedeki cevherleşmenin aynı fazda olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

16. Yapılan tüm çalışmalara ilave olarak duraylı izotop ve sıvı kapanım çalışmalarının yapılması, cevherleşmenin ve alterasyonun kökenini belirmeye yönelik önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora tezi, İ.Ü., Fen Fakültesi, İstanbul, 56.
- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal Ve Kökensel 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.
- Akçay, M. ve 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.
- Aslan, Z., 2010. U-Pb zircon SHRIMP age, geochemical and Petrographical Characteristics of Tuffs within Calc-alkaline Eocene Volcanics around Gümüşhane (NE Turkey), Eastern Pontides, Neues Jahrbuch für Mineralogie, 187, 3, 329-346.
- Aslaner, M., 1977. Türkiye Bakır-kurşun-çinko Yataklarının Jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmesi, KTÜ Yerbilimleri Fakültesi, Yayın No: 12, Trabzon.
- Barret, T.J. ve 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. and Maclean W.H., 1993. Volcanic Lithochemistry and Alteration at the Delbridge Massive Sulfide Deposit, Noranda Quebec, Jour. Of Geochem. Expoloration, 48, 135-173.
- Barret, T. J. ve 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 s.
- Bektaş, O., 1984. Pontid'lerde Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KÜ Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji, 3/1-2, 53-62.

- Bektaş, O. ve 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.
- Dana, J. D., 1993. *Manuel of Mineralogy*, John Wiley and Sons, Inc. 21st. Eds., New York -Chichester - Brisbane - Toronto - Singapore, 681 s.
- 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.
- Deer, W. A., Howie, R. A. ve Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock – Forming Minerals*, John Wiley and Sons, Inc. 21st. Eds., New York, 696 s.
- 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., ve Akaryalı, E., 2014. Kermut (Gümüşhane) Yöresi Eosen Volkaniklerindeki Hidrotermal Alterasyonların Kütle Değişimi, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara, 528-529.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C., Ryan, W.B.F. ve Bonnin, J., 1973. Plate Tectonics and Evolution of Alpine System, *Geological Society of America Bulletin*, 84, 3137-3180.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, In Ham, W.E. (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, AAPG Memoir,1, 21-108.
- Elliott-Meadows, S. ve 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.
- Erguvanlı, K., 1952. Trabzon-Gümüşhane Arasının Jeolojisi, MTA, Ankara.

- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafız, M., Jacoby, W.R. ve 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, 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.
- Finlow-Bates, T. ve Stumpff, 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. ve 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. ve 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.
- Folk, R.L., 1962. Spectral Subdivision of Limestone Types in W.E. Ham. (Ed.), Classification of Carbonate Rocks, AAPG Bull., 1, 62-82.
- Güner, S., Er, M. ve Yazıcı, E., 1998. Gümüşhane İli Maden Potansiyeli, MTA Raporu, (yayımlanmamış), Trabzon.
- Güner, S., ve Yazıcı, E.N., 2011. Gümüşhane- Bayburt-Trabzon Kıymetli Metal (Au-Ag) ve Baz Metal (Cu-Pb-Zn) Sahaları Envanter Raporları, (yayımlanmamış), Trabzon.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidler'in 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Genel Müdürlüğü (yayımlanmamış), Ankara.
- Grant, J.A., 1986. The Isocon 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.
- Hacıoğlu, T., 1983. Kale-Vauk Dağı (Gümüşhane) Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelenmesi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Hawkesworth, C.J., Hergt, J.M., McDermott, F. ve 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. ve Berry, R.F., 2002. MNSQ-A Least Squares Spreadsheet Method for Calculating Mineral Proportions from Whole Rock Major Element Analyses (yayımlanmamış)

- 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, Queensland, Australia, *Jour. Of Geoch. Expl.*, 48, 277-307.
- Huston, D. L. ve 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. ve 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. ve 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. ve 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. ve 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.
- Kelemen, P.B., Johnson, K.T.M., Kinzler, R.J. ve 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., Germel, J. B. ve Paulick, H., 2001. The Alteration Box Plot: A Simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Litho-geochemistry 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., Schimid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. ve 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, I., Lamere, J., Sabine, P.A., Sclunid, R., Sorensen, H. ve 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 Press, 236.
- MacLean, W.H. ve 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. ve Hoy, L. D., 1991. Geochemistry of Hydrothermal Altered Rocks at the Home Mine, Noranda, Quebec. *Econ. Geology*, 86, 3, 506 - 528.
- Middlemost, E.A.K., 1989. Iron Oxidation Ratios, Norms and the Classification of Volcanic Rocks, *Chemie der Erde*, 77, 19-26.
- Mountain, B.W. ve 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. ve Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of composition of volcanic arc magmas, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285.
- Pejatoviç, S., 1979. Pontid Tipi Masif Yataklarının Metalojenisi, MTA Yayın No: 177. Ankara.
- Pelin, S., Özsayar, T., Gedikoğlu, A. ve Tülümen, E., 1982. Doğu Pontid'lerde Üst Kretase Yaşlı Biyomikritlerin Oluşumu, *KTÜ Jeoloji Dergisi*, 2, 69-81.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi, *KTÜ yayını*, 87, 103.

- Ross, P.S., ve Bédard, J.H., 2009. Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Can. J. Earth Sci.*, 46, 823-839.
- 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 çökellerin sedimanter petrografik ve organik jeokimyasal özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Schmidberger, S.S. ve 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.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., Trabzon.
- Sipahi, F. ve 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. and 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.
- Sun, S. ve 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.
- Thompson, M. ve 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., Dokuz, A. ve 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.
- 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. ve Ağanoğlu, A., 1994. Pontid Adayayında Carlin Tipi Kaletaş (Gümüşhane) Altın Zuhuru, Türkiye Jeol. Bült., 37, 41-46.
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z. ve 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. ve 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.
- Winchester, J.A. ve 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., 1972. Petrology and Structure Of The Gümüşhane Granite and Surrounding Rock, N.E. Andolin, Ph.D Thesis, Uni. Of London, 266 s.(Yayınlanmamış).
- 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. ve Tüysüz, 2010. Chemical, Mineralogical, and Mass-Change Examinations Across a Gold Bearing Vein Zone in the Akoluk Area, Ordu, NE, Turkey, N.Jb.Mineralog., 187/1, 11-22.

EKLER

Ek Tablo 1. Kermut alterasyon sahasında kırıklara dik bir hat boyunca alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları (ana oksitler %, iz elementler ppm Au ppb, H1 en az altere örnek).

Örnek no	H-1	H-2	H-3	H-3A	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	H-11	H-12	H-13	H-14
SiO ₂	51,3	50,9	64,4	94,6	62,5	50,0	56,2	60,1	53,6	61,8	67,4	67,5	67,8	64,4	65,2
Al ₂ O ₃	14,9	17,1	17,0	1,0	20,7	15,2	15,7	14,2	16,1	15,7	17,9	18,1	16,1	17,6	17,0
Fe ₂ O ₃	7,2	7,4	5,1	1,8	2,2	20,0	14,6	7,2	7,2	6,5	2,7	2,5	3,6	2,7	3,0
MgO	5,3	5,2	0,6	0,1	0,3	0,3	0,4	3,5	5,0	2,0	0,3	0,3	0,1	0,5	0,4
CaO	6,9	4,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,7	4,5	4,2	0,5	0,5	0,5	4,1	3,2
Na ₂ O	2,7	2,8	0,5	0,1	3,5	0,2	0,3	0,7	2,8	3,0	2,2	2,0	4,5	3,6	3,7
K ₂ O	1,8	2,7	1,9	0,2	1,3	1,4	1,8	1,9	1,5	1,5	2,2	2,2	4,3	3,1	2,9
TiO ₂	0,6	0,7	0,7	0,1	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
P ₂ O ₅	0,1	0,2	0,4	0,1	0,0	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MnO	0,2	0,1	<0,01	0,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	0,4	0,1	<0,01	<0,01	0,0	0,1	0,1
Cr ₂ O ₃	0,0	<0,002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0	0,0	<0,002
AK	8,9	7,9	9,1	1,3	8,2	11,9	9,9	8,5	8,0	4,2	6,1	6,3	2,3	3,3	3,8
Toplam	99,8	99,8	99,8	99,2	99,7	99,8	99,9	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,7	99,8	99,8
Ba	534,0	586,0	909,0	5935,0	1816,0	193,0	253,0	865,0	455,0	575,0	734,0	721,0	1212,0	870,0	803,0
Be	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Co	21,1	20,3	0,9	1,5	0,4	0,4	0,4	20,5	20,5	14,6	1,5	1,6	1,3	6,6	4,2
Cs	1,3	1,7	0,9	0,7	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,5	1,8	1,5	0,5	1,6	1,4
Ga	15,7	17,3	20,4	3,0	18,7	16,4	16,6	13,3	15,4	14,4	13,5	14,0	10,6	14,0	14,0
Hf	2,8	3,0	2,8	0,5	3,6	2,3	2,5	2,7	2,6	2,4	3,7	3,6	3,0	3,9	3,2
Nb	4,7	5,9	5,2	6,1	5,9	3,8	4,0	3,7	3,4	3,3	4,4	4,7	4,5	4,4	4,3
Rb	55,0	82,9	69,5	8,1	49,7	50,4	68,9	68,3	49,0	26,0	48,2	47,2	76,7	73,0	67,2
Sn	2,0	1,0	1,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Sr	399,3	309,6	104,7	264,5	206,1	86,6	97,4	70,0	297,4	335,3	342,9	316,7	434,7	475,0	403,8
Ta	0,3	0,3	0,3	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
Th	5,8	6,4	5,7	0,6	5,9	6,4	5,4	6,8	5,6	4,5	8,1	7,7	7,3	7,5	7,2
U	1,3	1,9	1,4	0,3	1,9	1,5	1,4	2,2	1,3	1,1	1,5	1,6	1,7	2,0	2,1
V	216,0	219,0	224,0	41,0	155,0	266,0	199,0	183,0	218,0	161,0	68,0	64,0	70,0	63,0	71,0
W	1,1	0,8	1,8	1,5	1,4	0,6	0,6	0,9	1,0	0,5	0,7	0,7	1,2	1,1	1,3
Zr	92,2	107,5	99,0	11,2	125,9	97,0	100,9	95,3	93,1	85,1	128,8	133,0	132,4	131,7	129,9
Y	19,7	18,6	13,1	2,9	14,2	13,9	11,8	19,7	16,4	15,7	14,3	14,5	15,9	17,3	16,4
Mo	0,8	0,2	2,2	12,2	0,9	2,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	0,9	2,7	2,4	2,0
Cu	5,0	3,4	16,4	56,4	6,7	267,9	156,7	41,0	141,2	50,5	23,4	17,2	11,7	25,1	213,6
Pb	5,5	2,1	2,8	180,2	8,1	18,5	7,1	5,1	1,5	2,3	7,0	4,9	8,2	5,2	5,6
Zn	58,0	67,0	17,0	18,0	6,0	2,0	1,0	152,0	87,0	35,0	25,0	21,0	15,0	32,0	26,0
Ni	10,2	8,6	1,7	5,1	0,8	1,1	1,5	10,3	9,0	2,7	3,0	1,9	3,3	2,7	3,6
As	0,9	0,5	4,6	73,8	1,7	35,1	8,6	6,3	0,5	1,9	4,2	4,1	9,4	11,7	6,7
Cd	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sb	0,1	0,1	0,1	2,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
Bi	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ag	0,1	0,1	0,1	21,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Au	1,2	1,0	2,2	93,4	1,2	3,4	4,0	0,9	0,7	0,5	1,8	1,1	1,0	1,8	2,3
Hg	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tl	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Se	0,5	0,5	5,4	2,4	0,5	12,4	3,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
La	22,3	18,9	14,1	4,5	6,1	7,5	7,9	18,3	17,7	11,6	17,9	19,7	16,1	17,3	16,8
Ce	41,6	40,3	29,0	8,8	10,9	14,6	14,9	36,7	32,4	24,8	35,4	36,7	31,2	33,1	31,3
Pr	4,8	4,7	3,3	0,9	1,2	1,5	1,6	4,5	4,1	3,0	3,8	4,1	3,6	3,7	3,6
Nd	18,3	18,1	14,5	2,3	4,3	4,9	5,2	17,2	16,6	11,9	14,5	13,9	14,1	15,9	13,2
Sm	3,8	4,1	2,3	0,6	1,0	1,0	1,1	3,8	3,3	2,7	2,8	2,9	2,6	2,8	2,5
Eu	1,0	1,0	0,9	0,1	0,3	0,3	0,3	1,4	0,9	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7
Gd	3,7	3,5	2,1	0,5	1,3	1,1	1,3	3,9	3,2	2,8	2,5	2,7	2,6	2,6	2,4
Tb	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Dy	3,2	3,3	2,1	0,6	2,1	1,9	1,9	3,3	2,6	2,7	2,3	2,4	2,6	2,7	2,4
Ho	0,7	0,7	0,5	0,1	0,5	0,5	0,4	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
Er	1,9	1,9	1,4	0,3	1,7	1,6	1,4	1,7	1,6	1,7	1,6	1,4	1,6	1,8	1,8
Tm	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Yb	1,8	2,0	1,5	0,2	1,9	1,5	1,6	1,7	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	2,1	1,8
Lu	0,3	0,3	0,3	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
SI	0,40	0,49	0,79	0,81	0,28	0,89	0,86	0,73	0,36	0,34	0,50	0,52	0,49	0,46	0,43
CCPI	73,67	69,28	70,02	87,96	34,02	92,95	87,74	80,28	73,81	65,66	40,30	40,29	29,79	32,50	32,40
AI	42,50	51,13	50,52	71,79	30,81	86,32	85,21	61,72	47,31	33,12	47,68	49,59	47,55	31,45	32,29
LAI	2,80	2,25	2,34	7,31	0,52	13,12	7,16	4,07	2,82	1,90	0,68	0,67	0,42	0,48	0,52

Ek Tablo 2. Kırık sistemlerine dik olacak şekilde sistematik olarak alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarının MINSQ yöntemiyle (Herrmann Berry 2002) hesaplama yapılarak elde edilen mineralojik bileşim (%) ve sonuçlara ait istatistik parametreler. (Not: Mineral yüzdeleri Excel’de 0.000001 kesinlik, 0.1 % tolerans ve 1000 döngü şartlarında hesaplanmıştır, H1 en az altere örnek).

Mineral / Örnek	En Az altere	Pro. zon	Cevherli zon	Cevherli zon	İç zon	İç zon	İç zon	İç zon	İç zon	İç zon	İç zon	İç zon	Pro. zon	Pro. zon	Pro. zon
	H-1	H-2	H-3	H-3A	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	H-11	H-12	H-13	H-14
Kuvars	19,31	11,10	41,04	92,82	21,60	28,75	32,89	35,13	18,61	27,15	37,60	38,30	22,84	24,90	26,66
K’lu Feldspat	8,39	16,11	2,98	1,17	7,24	6,14	8,42	10,44	8,24	6,43	0,00	0,00	19,31	7,60	6,45
Albit	18,09	23,84	4,42	0,31	29,29	1,44	2,46	6,03	23,68	25,49	18,67	16,72	37,97	30,33	31,66
Serizit	0,00	0,00	11,97	0,00	0,81	2,80	3,18	1,38	1,25	3,79	18,61	18,18	8,91	14,87	14,96
Fe-Klorit	1,30	3,35	9,64	3,40	3,64	40,76	29,92	7,51	3,69	6,33	5,06	4,61	7,17	0,75	2,58
Mg-Klorit	23,21	23,58	0,91	0,00	0,02	0,00	0,00	15,10	22,59	8,49	0,38	0,49	0,00	2,02	1,57
Kalsit	3,35	1,96	0,06	0,05	0,15	0,10	0,09	1,66	1,85	0,34	0,06	0,04	0,09	0,37	0,50
Epidot	19,95	15,43	0,15	0,12	0,00	0,00	0,00	7,31	14,51	16,91	2,02	2,00	1,68	16,34	12,26
Kaolinit	0,00	0,00	22,49	0,01	31,97	12,07	16,94	10,35	0,79	2,39	14,03	16,21	0,00	0,16	0,31
Barit	0,03	0,09	0,15	1,01	0,31	0,00	0,01	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12	0,25	0,16	0,13
Pirit	0,30	0,03	0,68	0,31	0,73	1,13	0,67	0,51	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Kalkopirit	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
Galen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rutil	0,76	0,76	5,44	0,78	0,29	0,86	0,96	3,66	3,66	1,62	1,57	1,59	1,78	2,49	2,52
Toplam	94,71	96,26	99,93	100,00	96,08	94,13	95,59	99,24	99,02	99,07	98,13	98,28	100,00	100,00	99,64
Reziduel	0,88	0,07	0,16	0,01	0,02	1,93	0,69	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02

Ek Tablo 4. Propilitik zonda yer alan altere ve az altere kayaların (H2,H12,H13,H14 numaralı örnekler) içerisinde bulunan elementlere ait analiz sonuçları, nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri (H1 en az altere örnek)

Element	ni	C _i ^O	C _i ^A	C _i ^S	ΔC-nispi	ΔC-net
P2O5	1	0,14	0,13	0,90	-30,12	-0,04
CaO	2	6,87	3,86	1,12	-56,37	-2,18
Cu	3	5,00	51,76	31,06	703,82	364,30
MnO	4	0,20	0,11	2,24	-56,52	-0,06
Zn	5	58,00	39,60	3,41	-46,98	-18,61
V	6	216,00	127,80	3,55	-54,06	-69,09
Fe2O3	7	7,20	4,78	4,65	-48,43	-2,32
MgO	8	5,28	2,30	3,48	-66,18	-1,52
Co	9	21,10	10,70	4,56	-60,62	-6,49
W	10	1,10	1,10	10,00	-22,35	-0,25
Nb	11	4,70	4,76	11,14	-21,36	-1,02
TiO2	12	0,59	0,48	9,68	-37,35	-0,18
Ni	13	10,20	5,68	7,24	-56,76	-3,22
Sr	14	399,30	404,48	14,18	-21,34	-86,33
Cs	15	1,30	1,30	15,00	-22,35	-0,29
SiO2	16	51,30	59,91	18,68	-9,32	-5,58
NTE	17	7,44	6,34	14,49	-33,81	-2,14
Ga	18	15,70	14,32	16,42	-29,18	-4,18
Ta	19	0,30	0,32	20,27	-17,17	-0,05
Na2O	20	2,68	3,46	25,81	0,19	0,01
Y	21	19,70	17,58	18,74	-30,71	-5,40
Rb	22	55,00	70,96	28,38	0,18	0,13
Ba	23	534,00	801,00	34,50	16,47	131,95
K2O	24	1,78	2,95	39,78	28,69	0,85
As	25	0,90	5,84	162,22	403,85	23,59
Mo	26	0,80	1,62	52,65	57,24	0,93
U	27	1,30	1,80	37,38	7,51	0,14
Pb	28	5,50	5,32	27,08	-24,89	-1,32
Au	29	1,20	1,46	35,28	-5,53	-0,08
Ag	30	0,10	0,10	30,00	-22,35	-0,02
Al2O3	31	14,88	16,55	34,48	-13,65	-2,26
Th	32	5,80	6,84	37,74	-8,43	-0,58
Hf	33	2,80	3,18	37,48	-11,81	-0,38
Zr	34	92,20	118,74	43,79	0,00	0,00
Eğim (m)				1,29		

ni; elementlere verilen değerler, C_i^O; az altere kayadaki element miktarı, C_i^A; altere kayadaki 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.

Ek Tablo 5. Cevherleşmenin gözlemlendiği zonda yer alan altere ve az altere kayaların (H3 ve H3A numaralı örnekler) içerisinde bulunan elementlere ait analiz sonuçları, nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri (H1 en az altere örnek)

Element	ni	C _i ^O	C _i ^A	C _i ^S	ΔC-nispi	ΔC-net
P2O5	1	0,14	0,22	1,54	156,97	0,34
CaO	2	6,87	0,07	0,02	-98,30	-0,07
Cu	3	5,00	36,40	21,84	1118,18	407,02
MnO	4	0,20	0,01	0,20	-91,63	-0,01
Zn	5	58,00	17,50	1,51	-49,51	-8,66
V	6	216,00	132,50	3,68	2,65	3,51
Fe2O3	7	7,20	3,49	3,39	-19,01	-0,66
MgO	8	5,28	0,32	0,48	-90,02	-0,28
Co	9	21,10	1,20	0,51	-90,48	-1,09
W	10	1,10	1,65	15,00	151,00	2,49
Nb	11	4,70	5,65	13,22	101,15	5,72
TiO2	12	0,59	0,40	8,03	12,03	0,05
Ni	13	10,20	3,40	4,33	-44,22	-1,50
Sr	14	399,30	184,60	6,47	-22,64	-41,80
Cs	15	1,30	0,80	9,23	2,97	0,02
SiO2	16	51,30	79,52	24,80	159,38	126,74
NTE	17	7,44	3,27	7,46	-26,53	-0,87
Ga	18	15,70	11,70	13,41	24,70	2,89
Ta	19	0,30	0,50	31,67	178,89	0,89
Na2O	20	2,68	0,29	2,13	-82,21	-0,23
Y	21	19,70	8,00	8,53	-32,05	-2,56
Rb	22	55,00	38,80	15,52	18,05	7,00
Ba	23	534,00	3422,00	147,39	972,30	33272,25
K2O	24	1,78	1,07	14,36	0,12	0,00
As	25	0,90	39,20	1088,89	7188,24	2817,79
Mo	26	0,80	7,20	234,00	1405,99	101,23
U	27	1,30	0,85	17,65	9,41	0,08
Pb	28	5,50	91,50	465,82	2683,80	2455,67
Au	29	1,20	47,80	1155,17	6565,39	3138,26
Ag	30	0,10	10,90	3270,00	18139,20	1977,17
Al2O3	31	14,88	8,98	18,70	0,93	0,08
Th	32	5,80	3,15	17,38	-9,12	-0,29
Hf	33	2,80	1,65	19,45	-1,39	-0,02
Zr	34	92,20	55,10	20,32	0,00	0,00
Eğim (m)				0,60		

ni; elementlere verilen değerler, C_i^O; az altere kayadaki element miktarı, C_i^A; altere kayadaki 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.

Ek Tablo 6. Tüm örnekleme hattında yer alan altere ve az altere kayalar içerisinde bulunan elementlere ait analiz sonuçları, nispi (%) ve net (g/100g) kütle değişimleri (H1 en az altere örnek).

Element	ni	C _i ^O	C _i ^A	C _i ^S	ΔC-nispi	ΔC-net
P2O5	1	0,14	0,15	1,04	-8,15	-0,01
CaO	2	6,87	2,14	0,62	-72,46	-1,55
Cu	3	5,00	69,08	41,45	1122,49	775,42
MnO	4	0,20	0,09	1,85	-59,00	-0,05
Zn	5	58,00	37,47	3,23	-42,84	-16,05
V	6	216,00	147,87	4,11	-39,43	-58,30
Fe2O3	7	7,20	6,25	6,08	-23,17	-1,45
MgO	8	5,28	1,61	2,44	-73,02	-1,18
Co	9	21,10	7,72	3,29	-67,63	-5,22
W	10	1,10	1,01	9,21	-18,49	-0,19
Nb	11	4,70	4,55	10,66	-14,28	-0,65
TiO2	12	0,59	0,53	10,74	-20,81	-0,11
Ni	13	10,20	4,37	5,57	-62,12	-2,71
Sr	14	399,30	276,27	9,69	-38,78	-107,14
Cs	15	1,30	1,03	11,92	-29,67	-0,31
SiO2	16	51,30	62,51	19,50	7,82	4,89
NTE	17	7,44	5,05	11,54	-39,96	-2,02
Ga	18	15,70	14,49	16,61	-18,35	-2,66
Ta	19	0,30	0,33	20,69	-3,65	-0,01
Na2O	20	2,68	2,16	16,12	-28,66	-0,62
Y	21	19,70	14,96	15,95	-32,81	-4,91
Rb	22	55,00	56,01	22,40	-9,90	-5,54
Ba	23	534,00	1097,40	47,27	81,84	898,10
K2O	24	1,78	2,05	27,59	1,71	0,03
As	25	0,90	11,33	314,81	1014,24	114,95
Mo	26	0,80	2,10	68,25	132,27	2,78
U	27	1,30	1,55	32,12	5,27	0,08
Pb	28	5,50	17,61	89,63	183,26	32,27
Au	29	1,20	7,77	187,69	472,69	36,71
Ag	30	0,10	1,54	462,00	1262,65	19,44
Al2O3	31	14,88	15,62	32,54	-7,12	-1,11
Th	32	5,80	6,06	33,43	-7,55	-0,46
Hf	33	2,80	2,84	33,47	-10,25	-0,29
Zr	34	92,20	104,20	38,43	0,00	0,00
Eğim (m)				1,13		

ni; elementlere verilen değerler, C_i^O; az altere kayadaki element miktarı, C_i^A; altere kayadaki 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.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Basri DEMİR 1 Nisan 1987' de Gümüşhane'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gümüşhane'de tamamladıktan sonra 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında lisans öğrenimini bölüm ikinciliği ile tamamladıktan sonra 2011 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. 2010-2012 yılları arasında özel sektörde farklı firmalarda tünel mühendisi ve arama jeoloğu olarak görev aldı. 2012 yılından itibaren de maden firmalarında iş güvenliği mühendisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.