

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇAYELİ (RİZE) MASİF SÜLFİD YATAĞININ JEOLojİK VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Efide KABAOĞLU

**ARALIK 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇAYELİ (RİZE) MASİF SÜLFİD YATAĞININ JEOLojİK VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ**

Jeoloji Müh. Efide KABAOĞLU

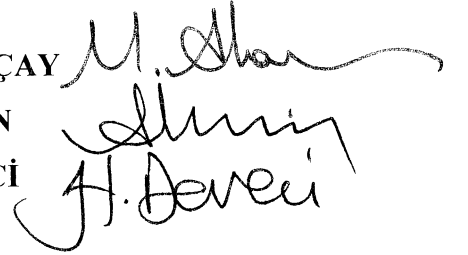
**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeoloji Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.12.2010
Tezin Savunma Tarihi : 30.12.2010**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Miğraç AKÇAY

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ali VAN

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hacı DEVECİ



Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında, Madenköy (Çayeli-Rize) masif sülfid yatağı çevresindeki hidrotermal alterasyonu ile masif sülfid yatağının oluşumu mineralojik, petrografik ve jeokimyasal olarak incelenmiştir.

Çalışmamın başlangıcından sonuna kadar bilgi, destek ve önerilerinden yararlandığım saygıdeğer hocam sayın Prof. Dr. Miğraç AKÇAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. personeline ve M.T.A. Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü personeline teşekkürü borç bilirim. Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Jeo. Yük. Müh. Neslihan ASLAN' a, ince kesitlerin incelenmesinde Jeo. Yük. Müh. Osman TÜRK'e ve Jeo. Yük. Müh. Aykan ARMUTÇU' ya, parlak kesitlerin incelenmesinde Jeo. Yük. Müh. Hülya KÖSE'ye, kil analizleri değerlendirilmesinde Yrd. Doç. Dr. Emel Abdioğlu'na çizimler konusunda Jeo. Müh. Sema Akyürek'e, Dr. Saliha TOPÇUOĞLU'na, Jeo. Yük. Müh. Özgür BİLİCİ'ye, Jeo. Yük. Müh. Mustafa KANIK'a, ve Jeo. Müh. Oğuzhan GÜMRÜK' e yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tez süresi boyunca manevi desteklerini esirgemeyen eşim Dursun Ali KABAOĞLU'na, sevgili kızım Zeynep'e ve mesai arkadaşlarım Jeo. Müh. Aysun BEBEK ve Mimar Ayşe BOZKURT' a teşekkürü borç bilirim.

Efide KABAOĞLU

Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Önceki Çalışmalar.....	3
1.2. Genel Jeolojik Yapı.....	6
1.3. Çalışmanın Amacı.....	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	8
2.1. Materyal ve Yöntemler	8
2.1.1. Arazi Çalışmaları	8
2.1.2. Laboratuar Çalışmaları.....	8
2.1.2.1. İnce Kesit, Parlak Kesit ve Sıvı Kapanım Kesitlerinin Hazırlanması, İncelenmesi	8
2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlama.....	9
2.1.2.3. X – Işınları Difraksiyonu (XRD) İçin Örnek Hazırlanması.....	9
2.1.2.4. O-H ve S İzotop Analizleri İçin Örnek Hazırlanması.....	10
2.1.3. Büro Çalışması.....	11
3. BULGULAR.....	12
3.1. Stratigrafi ve Petrografi.....	12
3.1.1. Giriş.....	12
3.1.2. Taban Kayaçları	15
3.1.3. Tavan Kayaçları	16
3.1.4. Sedimanter Seri.....	17
3.1.5. Dayklar.....	18
3.1.5.1. Bazaltlar	19
3.1.5.2. Andezitler.....	19
3.1.6. Alüvyonlar	20

3.2.	Yapısal Jeoloji.....	20
3.2.1.	Kıvrımlar.....	20
3.2.2.	Kırıklar.....	20
3.3.	Maden Jeolojisi.....	21
3.3.1.	Giriş.....	21
3.3.2.	Madenin Duruşu ve Kaynak Özellikleri.....	22
3.3.2.1.	Cevherin Kimyasal Özellikleri.....	22
3.3.2.2.	Cevher Merceğinin Genel Özellikleri.....	22
3.3.2.2.1.	Cevher Tipleri.....	24
3.3.2.2.1.1.	Masif Cevher.....	24
3.3.2.2.1.2.	Klastik Cevher.....	25
3.3.2.2.1.3.	Ağsal Cevher.....	28
3.3.2.2.1.4.	Saçımlı Cevher.....	28
3.3.2.2.2.	Cevherde Görülen Zonlanmalar.....	30
3.4.	Yan Kayaçlarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar.....	34
3.4.1.	Silisleşme.....	34
3.4.2.	Kloritleşme.....	34
3.4.3.	Karbonatlaşma.....	35
3.4.4.	Hematitleşme.....	36
3.4.5.	Serizitleşme.....	37
3.4.6.	Killeşme.....	38
3.5.	Kil Mineralojisi.....	38
3.5.1.	X-Işınları İncelemeleri.....	38
3.5.1.1.	Tüm Kayaç İncelemeleri.....	39
3.5.1.2.	X- Işınları Kil Fraksiyonu İncelemeleri.....	44
4.	JEOKİMYA.....	51
4.1.	Kütle Değişim Hesapları.....	51
4.1.1.	Kütle Değişim Hesabının Yapılması.....	53
4.1.1.1.	Asidik Bileşimli Kayaçların Kütle Değişim Hesapları.....	53
4.1.1.1.1.	Dasit-Riyodasit.....	55
4.1.1.1.2.	Yeşil Tuf.....	58
4.1.1.1.3.	Mor tuf.....	58
4.1.1.1.4.	Hematitleşme.....	59
4.1.1.1.6.	Killeşme Kloritleşme.....	60

4.1.1.2.	Bazalt ve Çört Örnekleri İçin Kütle Değişim Hesapları	64
4.1.1.3.	Cevherli Örneklerin Kütle Değişim Hesapları.....	67
4.1.1.3.1.	Saçımlı Cevher.....	67
4.1.1.3.2.	Masif Cevher.....	67
4.1.1.3.3.	Ağsal Cevher.....	68
4.1.2.	Hidrotermal Alterasyonun Kimyasal Analiz Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi.....	71
4.2.	Sıvı Kapanım Çalışmaları	77
4.3.	Duraylı İzotop Çalışmaları.....	78
4.3.1.	Kükürt İzotop Jeokimyası	78
4.3.2.	O ve H İzotopları	81
5.	TARTIŞMA	83
5.1.	Çayeli Masif Sülfid Yatağının Jeolojik Özellikleri	83
5.2.	Hidrotermal Alterasyonun Mineralojik ve Petrografik Özellikleri.....	84
5.3.	Hidrotermal Sıvıların Oluşum Koşulları.....	89
5.4.	Hidrotermal Sıvıların Bileşimi ve Kökeni	90
6.	SONUÇLAR.....	93
7.	KAYNAKÇA.....	95
8.	EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Çayeli Masif Sülfid Cevherleşmesi Doğu Pontidlerin kuzey zonunda Üst Kretase yaşlı dasitik kayalar içerisinde yer alır ve Üst Kretase yaşlı bazaltik volkanitler içerisinde bulunan mor tüfler tarafından üzerlenir. Cevher saçınımlı, masif ve ağsal olarak bulunmaktadır. Pirit, kalkopirit, sfalerit, fahlerz, galen ve daha az oranda markazit, bornit, kalkozin- kovellin cevher minerallerini oluşturmaktadır. Gang mineralleri ise barit, karbonat mineralleri, kuvars, kil mineralleri, serizit ve jipstir. Yapı ve doku özellikleri bakımından cevher dörde ayrılmıştır; masif cevher, ağsal cevher, saçınımlı cevher, klastik cevher.

Çalışma sahasında gözlenen alterasyon türleri silisleşme, killeşme, kloritleşme, karbonatlaşma, hematitleşme ve az oranda da serizitleşmedir. Kil mineralleri ise simektit, kaolen ve az oranda illit grubudur. Çayeli masif sülfid yatağında yan kayada gözlenen hidrotermal alterasyonun asidik bileşimli kayalarda daha etkili olduğu, buna karşın bazik bileşimli ve tortul kayaların hidrotermal alterasyondan pek fazla etkilenmediği gözlenmektedir. Kütle değişim hesaplamalarında cevhere doğru Si, Al, Fe, Mg'da artış Ca, Na ve K'da azalma meydana gelmiştir.

Madenköy masif sülfid cevherleşmesinde hesaplanan izotopik bileşim, günümüz deniz suyu bileşimine yakın bir aralıktadır ve magmatik suyunda etkisi vardır.

Anahtar Kelimeler: Çayeli Masif Sülfid Yatağı, Hidrotermal Alterasyon, Kütle Değişimleri, S İzotopu, O-H İzotopları

SUMMARY

Geological and Geochemical Properties of Çayeli (Rize) Massive Sulfide Deposit

Çayeli massive sulfide ore placed in the Upper Cretaceous aged andesitic rocks at the North zone of the East Pontids and overlain by the purple tuffs placed in Upper Cretaceous aged basaltic volcanites.

The ore is in form of disseminated, stockwork and massive. The ore minerals are pyrite, chalcopyrite, sphalerite, fahlers, galena and less markazite, bornite, calkazine- covelline. Gang minerals are barite, carbonate minerals, quartz, clay minerals, sericite and gypsum. With regards to texture and structure ore is divided to four types, massive ore, stockwork ore, disseminated ore, clastic ore.

Alteration types observed in the studied area are silicification, clay alteration, chloritisation, carbonatisation, hematization and less sericitisation. Clay minerals are smectite, kaolinite and less the group of illite. In the Çayeli Massive sulfide ore bed Hydrothermal alteration at the country rock is more effective on the acidic compositioned rock, on the other hand basic compositioned rocks and sedimentary rocks are not much affected by the hydrothermal alteration.

Key Words: Çayeli Massive Sulfide Ore Bed, Hydrothermal Alteration, Mass Transfer.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.	Rize-Çayeli Madenli masif sülfid yatağının yer bulduru haritası..... 2
Şekil 1.2.	Çayeli Madenköy Bakır İşletmesi'nin genel görünümü 3
Şekil 3.1.	Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti 12
Şekil 3.2.	Çalışma alanının genel jeoloji haritası..... 13
Şekil 3.3.	Çayeli masif sülfid yatağının A-A' jeolojik kesiti..... 14
Şekil 3.4.	Çayeli masif sülfid yatağının B-B' jeolojik kesiti 14
Şekil 3.5.	a) Dasitlerin mikroskobik görünümü. b) Dasitik breşin ince kesitteki görünümü. c) Dasitik tüf içerisindeki korrode kuvars. d) Dasitik tüfün mikroskobik görünümü..... 16
Şekil 3.6.	a) Maden sahasının doğusunda Topkaya Mahallesi mevkiinde yer alan mor tüflerin arazideki görünümü. b) Tavan kayalarında gözlenen kolonlu yapı (Çayeli Bakır İşletmesi atık alanı yanı). c) Litik tüflerin tek nikol mikroskobik görünümü d) Litik tüfle rin çift nikol mikroskobik görünümü..... 18
Şekil 3.7.	a) Mikrolitik porfirik dokulu bazaltın mikroskobik görünümü. b) Bazaltlar içerisindeki mafik mineraller..... 19
Şekil 3.8.	a ve b) Masif sarı cevherin makroskobik görünümü. c ve d) Masif siyah cevherin makroskobik görünümü. e) Masif sarı cevherin parlak kesitteki görünümü..... 26
Şekil 3.9.	a) Cevherleşmenin yoğunlaştığı yerlerde görülen baritler. b) Masif sarı cevherde markazite dönüşmüş piritlerin parlak kesitteki görünümü. c) Masif sarı cevherde kataklastik piritin aralarını dolduran kalkopiritin mikroskobik görünümü. d) Kalkopiritle birlikte kolloform doku gösteren piritlerin mikroskobik görünümü. e) Kalkopiritlerin bornite dönüşümü. f) Kalkozin – kovellin tarafından ornatılan kalkopiritin parlak kesitteki görünümü..... 27
Şekil 3.10.	a) Klastik siyah cevherin makroskobik görünümü. b) Klastik sarı cevherin makroskobik görünümü. c ve d) Klastik sarı cevherin mikroskobik görünümü..... 29
Şekil 3.11.	a) Pirit damarcıklı cevherin makroskobik görünümü. b) Kalkopirit damarcıklı cevherin makroskobik görünümü. c) Saçınımlı cevherin parlak kesitteki görünümü..... 30
Şekil 3.12.	Çayeli masif sülfid merceğinin K1840 enine kesiti..... 31
Şekil 3.13.	Çayeli masif sülfid yatağının 1000 m. (deniz seviyesindeki) kesiti 32
Şekil 3.14.	Çayeli masif sülfid merceğinin tabanındaki silisleşmenin kuvars damarı ve matrikstekki görünümü 35

Şekil 3.15.	a) Bazaltik tuf örneğinde kloritleşme tek nikol, b) Bazaltik tuf örneğinde kloritleşme çapraz nikol görüntüsü. c) Dasitlerdeki plajiyoklazda gözlenen karbonatlaşma. d) Opak mineralleri çevreleyen karbonatlaşma	36
Şekil 3.16.	a) Mor tüflerde gözlenen hematitleşme. b) Hematitleşmenin mikroskobik görünümü.....	37
Şekil 3.17.	Serizitleşmenin ince kesitteki görünümü.....	37
Şekil 3.18.	Tüflerde gözlenen killeşme. a) Tek nikol, b) Çapraz nikol.	38
Şekil 3.19.	a) Kuvars ve feldispatça zengin örneğe ait X-ışınları difraktogramı b) Simektit içeren örneğe ait XRD grafiği	41
Şekil 3.20.	a) Dolomit içeren örneğe ait XRD grafiği b) Kalsit içeren örneğin X-ışınları grafiği.....	42
Şekil 3.21.	a) İllit içeren örneğe ait X- ışınları difraktogramı b) Kaolenitçe zengin örneğin XRD grafiği	43
Şekil 3.22.	a) Klorit içeren örneğin X-ışınları grafiği b) Kalkopirit ve piritçe zengin örneğe ait XRD difraktogramı.....	44
Şekil 3.23.	Kaolence zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi	46
Şekil 3.24.	Simektitçe zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi	47
Şekil 3.25.	İllitçe zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi	48
Şekil 3.26.	Kloritçe zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi	49
Şekil 3.27.	Kaolenle simektitin birlikte görüldüğü örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi.....	50
Şekil 4. 1.	Al_2O_3 , TiO_2 , Zr, Y'un birbirlerine göre korelasyon grafikleri.....	52
Şekil 4.2.	Dasit ve Mor tuf gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar	61
Şekil 4.3.	Hematitleşme ve Yeşil tuf gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar	62
Şekil 4.4.	Kloritleşme ± Karbonatlaşma ve Killeşme ± Kloritleşme gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar	63
Şekil 4.5.	Bazalt ve çört gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar	66

Şekil 4.6.	Saçınımlı ve masif cevher gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar	70
Şekil 4.7.	Ağsal cevhere ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar	71
Şekil 4.8.	Hidrotermal alterasyona bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan kesin değişim miktarlarının birbirine göre dağılımları	73
Şekil 4.9.	Hidrotermal alterasyona bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan kesin değişim miktarlarının birbirine göre dağılımları	75
Şekil 4.10.	Cevherli örneklerde hidrotermal alterasyona bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan kesin değişim miktarlarının birbirine göre dağılımları	76
Şekil 4.11.	Kuvarslarda gözlenen birincil sıvı kapanımlar	77
Şekil 4.12.	a) Çeşitli kayaç, jeolojik ortam ve Cevherleşme tiplerinin ^{34}S (‰) izotop değişimleri, b) madenköy cevherleşmesinden alınan pirit ve sfaleritten elde edilen ^{34}S (‰) izotop değişimleri	80
Şekil 5.1.	Petrografik, XRD ve kimyasal analiz sonuçlarına göre belirlenmiş olan farklı kayaç gruplarındaki alterasyon türlerinin sondaj kesitindeki görünümü	86
Şekil 5.2.	Kloritin tüm kayaç XRD difraktogramı	87
Şekil 5.3.	Doğal çözeltilerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri. Çayeli masif sülfid cevherleşmesindeki kuvars ve kil minerallerinin oluşumuna neden olan çözeltilerin ^{18}O ve D izotop farklılaşma grafiği	92
Ek Şekil 1.	Sondaj kuyuların cevher kütlelerine göre duruşları	102

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Çayeli Madenköy masif sülfid yatağındaki farklı cevher tiplerinin bileşimi.....	23
Tablo 3.2. Tüm kayaç XRD difraktogramlarına göre hazırlanmış % mineralojik bileşimler.....	39
Tablo 4.1. Çayeli masif sülfid yatağının çevresinde, farklı hidrotermal etkileşime maruz kalmış asidik bileşimli kayaçların 100 g'a göre yeniden hesaplanmış ortalama bileşimleri.....	54
Tablo 4.2. Zr'un hareketsiz olduğu kabul edilerek MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre yeniden hesaplanan altere kayaç bileşimleri (RC: Yeniden hesaplanan bileşim).	56
Tablo 4.3. Zr'un hareketsiz kaldığı kabul edilerek MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre farklı hidrotermal alterasyona maruz kalmış örnekler için hesaplanan kesin kütle değişim miktarları (ΔC_i)	57
Tablo 4.4. Çayeli masif sülfid yatağında sondajlarda kesilen bazalt ve çörtlerin ortalama kimyasal bileşimlerinden MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre hesaplanan düzeltilmiş kütle değişim miktarı (RC) ve kesin kütle değişim miktarlarını (ΔC_i) gösteren tablo	65
Tablo 4.5. Çayeli masif sülfid yatağında sondajlarda kesilen cevher örneklerinin ortalama kimyasal bileşimlerinden McLean and Kranidiotis (1987)'e göre hesaplanan düzeltilmiş kütle değişim miktarı (RC) ve kesin kütle değişim miktarlarını (ΔC_i) gösteren tablo.....	69
Tablo 4.6. Sıvı kapanım çalışmalarında yapılan mikrometrik ölçümler sonucunda elde edilen veriler.....	78
Tablo 4.7. Çayeli Madenköy cevherleşmesinde, cevherli zonlardan ayrılan pirit ve sfaleritlerin S(‰) izotopik bileşimleri	79
Tablo 4.8. Kuvars ve alterasyon zonundan alınan kil örneklerinden, elde edilen ^{18}O mineral (‰) ve D (‰) izotop analiz sonuçları	81
Tablo 5.1. İki sülfürlü mineralin kükürt izotop değerlerine bağlı olarak belirlenen kükürt izotop jeotermometreleri	90
Tablo 5.2. 300°C oluşum sıcaklığı için hesaplanan çözeltinin ^{18}O sıvı izotop bileşimi.....	92
Ek Tablo 1. Kimyasal analizi yapılan örneklerin analiz sonuçları	103

SEMBOLLER DİZİNİ

A.K.	: Ateşte kayıp
B	: Bornit
Ç.N.	: Çapraz nikol
EG	: Etilen Glikol
F	: Fahlerz
FeO	: Demir oksit bayamaları
RC	: Yeniden hesaplanan bileşim
G	: Galen
He	: Hematitleşme
K	: Kuvars
Ka	: Karbonat
Kl	: Kloritleşme
Kp	: Kalkopirit
Kv-Kz	: Kovellin- kalkozin
Kyç	: Kayaç parçası
M	: Markazit
O	: Olivin
Op	: Opak mineral
Örnek No	: Örnek numarası
Pr	: Pirit
Prx	: Piroksen
r	: Korelasyon katsayısı
S	: Kükürt
Se	: Serizitleşme
Sf	: Sfalerit
Si	: Silisleşme
T.N.	: Tek nikol
XRD	: X-ışınları difraksiyonu
VMS	: Volkanojenik masif sülfid
ΔCi	: Kesin kütle değişim miktarı

Σ : Toplam
 Θ : Yüzeyden yansıma açısı

1. GENEL BİLGİLER

Volkanojenik masif sülfid (VMS) yatakları sığ denizel riftler ile ilişkili ortamlarda (okyanusal, yay önü ve yay arkası, yay, kıta kenarı veya kıtasal) oluşurlar ve bimodal (mafik- feslik) volkanik ürünler içerisinde bulunurlar (Hart vd., 2004). Doğu Pontidler, Orta Asya- Pasifik'ten Doğu Avrupa'ya kadar uzanan Tetis- Avrasya metalojenik kuşağının bir parçasıdır. Karadeniz Bölgesi'nde doğu-batı yönünde 350 km, kuzey-güney yönünde 60 km boyunca uzanan zon Pontid metalojenik kuşağı olarak bilinmektedir (Pejatoviç, 1979; Akıncı, 1980).

Rize ili Çayeli ilçesinin güneyinde Madenli mevkiinde F45 c4 paftası içerisinde yer alan (Şekil 1.1), Çayeli masif sülfid yatağı çok eskiden beri bilinen önemli bir yataktır. Cevherli zonların yüzeyde mostra veren kısımlarında eski dönemlerde maden işletmeciliği yapılmış olup, daha sonraları kuyu ve galeri açmak suretiyle maden üretimine devam edilmiştir. Geoffrey (1960) bu sahada ilk detaylı çalışmaları yapmıştır. Altun (1977), sahada % 2,24 Cu içeren 4 167 902 ton ağsal - saçılmış tip cevher, % 4,20 Cu ve % 6,23 Zn içeren 20 482 316 ton masif tip cevher rezervi saptamıştır.

1993 yılında Türk – Yabancı ortaklı bir Türk şirketi olarak kurulan Çayeli Bakır İşletmelerinin şu anda % 100 hissesi İnmet Madencilik'e aittir (Şekil 1.2.).

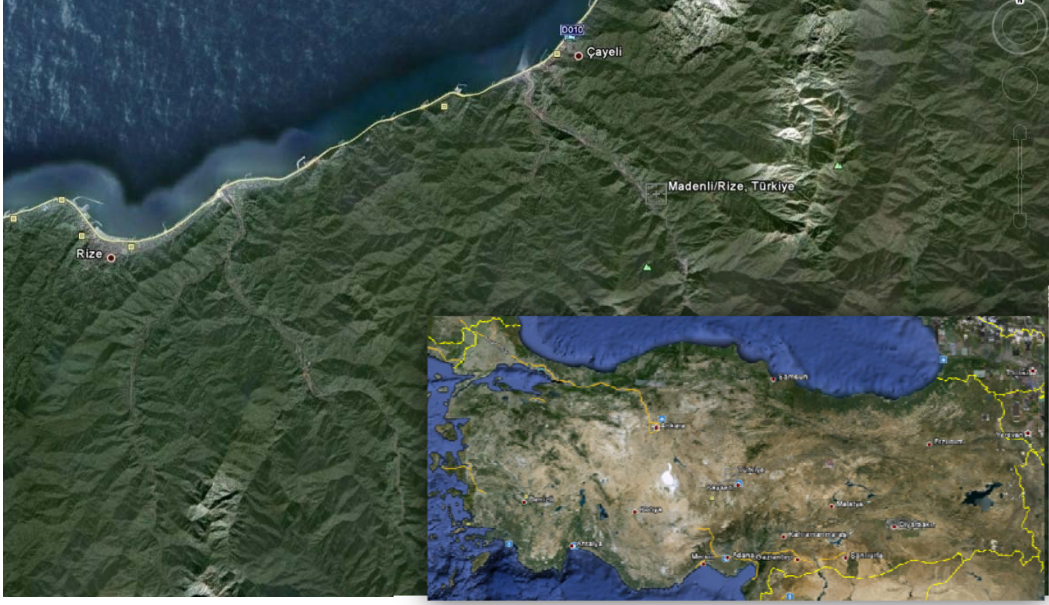
Çayeli Bakır İşletmeleri şu an Türkiye'nin en büyük bakır ve çinko üreticisidir ve 1,000,000 ton/yıl tüvenan cevher isleyerek 150000 ton/yıl % 22-24 tenörlü bakır konsantresi, 70000 ton/yılda çinko konsantresi üretmekte ve serbest piyasa şartlarında pazarlamaktadır.

Arazi genel olarak Doğu Karadeniz yöresinin topoğrafyasını yansıtmaktadır. Çok engebelidir ve derin vadilerle kesilmiş olan çalışma sahasının en düşük rakımlı yeri Büyük Dere olup, deniz seviyesinden 90 m. yüksektedir. Kuzey batıya doğru kısa mesafede 300 m. rakımına ulaşılmaktadır.

Bölgenin en önemli akarsuları Büyük Dere, Topkaya Dere, Sedemer Dere, Körük Dere ve Sarısu Dere'dir. Bu derelerin çok sayıda yan kolları vardır. Çalışma alanında genel olarak iyi gelişmiş bir akarsu ağı görülmektedir.

Karadeniz ikliminin görüldüğü bölge ılıman ve yağışlıdır. İnceleme alanında, yıllık sıcaklık ortalaması 14° olup, m²'ye düşen yağış miktarı 2,5 m³/yıl'dır. Çalışma sahasında

her mevsim yağış gözlenmekle birlikte, yağış miktarı ilkbahar ve sonbahar aylarında en üst düzeye ulaşır.



Şekil 1.1. Rize-Çayeli Madenli masif sülfid yatağının yer bulduru haritası

Bölgede gözlenen fazla yağış miktarına bağlı olarak arazi tümüyle bitki örtüsü ile kaplıdır. Çalışma sahasında hâkim olan bitki örtüsü çaydır. Ayrıca orman gülü, fundalık,

kızılağaç ve az miktarda fındık bulunmaktadır. Elma, armut, erik vb. meyve ağaçları da inceleme alanında görülen diğer bitki türleridir.

Bölgede en verimli arazi çalışmaları bitki örtüsünün ve yağış miktarının en uygun olduğu Kasım ve Mart ayları arasında yapılabilir.



Şekil 1.2. Çayeli Madenköy Bakır İşletmesi'nin genel görünümü

Doğu Karadeniz Bölgesinin karakteristik özelliği olan dağınık yerleşme, inceleme alanında da görülmektedir.

Çalışma sahası Çayeli'ne 8 km. mesafede Madenli Beldesindedir. Madenli Beldesi 4000 nüfusu ve 8 mahallesi bulunan bir beldedir. Bölgeye ulaşım Çayeli-Madenli asfalt yolundan sağlanmaktadır. Çayeli-Madenli arasında karşılıklı olarak 15 dakikada bir otobüs seferi yapılmaktadır.

Bölgede çay tarımı egemendir. Ayrıca bunun yanında mısır, sebze ve meyve üretimi de görülür. Yüksek kesimlerde hayvancılıkla uğraşmaktadır.

1.1. Önceki Çalışmalar

Çayeli masif sülfid yatağı ve çevresinde bir çok etüt ve madencilik çalışmaları yapılmıştır.

Geoffrey (1960), Madenköy sahasında ilk detaylı çalışmaları yaparak 1/2000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasını hazırlamıştır. Çayeli cevherleşmesinin Doğu Karadeniz

Bölgesi'nde başlıca iki evrede meydana geldiğini; birincisi Kretase'de dasit akıntılarının yerleşmesinden sonra meydana gelen subvolkanik evre, ikincisi ise Oligosende Tatos Batolitinin yerleşmesi sonucunda meydana gelen hidrotermal evre olduğunu açıklamıştır.

Turhan (1969), yapılan sondajlı çalışmalarla Geoffrey (1960)'in 1/2000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasında gerekli düzenlemeleri yapmıştır. Ayrıca Madenköy sahasında, dasitler içerisinde ve tüfler altında KD doğrultulu ve KB' ya dalımlı pirit, kalkopirit, çinko ve kurşun yerleşmesi olduğunu belirtmiştir.

Yazgan (1969), Madenli bölgesindeki madenin rezervinin 10 milyon ton olabileceğini açıklamıştır.

Sawa-Hamamcıoğlu (1970), Madenli bölgesindeki cevherleşmenin masif tip olduğunu, %1-2 Cu tenörlü 10 milyon tonun üzerinde bir rezervin olabileceğini; bakır ve piritte bağlı Zn-Pb, bunlara bağlı olarakda Sn-Cd içerdiğini belirtmiştir.

Ovalıoğlu (1971), yapılan sondajlardan yola çıkarak 1/2000 ölçekli jeolojik haritada gerekli düzenlemeleri yapmıştır. Ayrıca sahadaki mor tüflerin masif cevher merceklerinin üzerinde yer aldıklarını, mor tüfler arasında görülen bazaltların sil olduklarını, horst ve grabenlerin varlığından dolayı, yörede yüzeyde görülmeyen başka cevher merceklerinin de bulunabileceğini belirtmiştir. Yapılmış olan 18 sondaj, jeolojik ve jeofizik etütlere dayanarak % 1-2 Cu tenörlü 5 milyon ton rezerv hesaplamıştır.

Altun (1972) çalışma sahasında elde edilen yeni verileri değerlendirerek 1/1000 ölçekli yeni bir jeolojik harita yapmış, mineralleşmenin yapıyla ilgili olduğunu ve belli bir istiflenme içinde bulunduğunu savunmuştur.

Aslaner (1972), Madenli cevher sahasının muhtemel uzantılarını veya başka zuhurları olup olmadığının araştırılması amacıyla yatağın yakın çevresindeki, İncesirt, Sırtköy, Sarısu ve Buzlupınar mevkielelerinde jeolojik ve kısmen de jeofizik incelemeler yapmıştır. O günkü koşullarda sadece Madenli cevher sahasının ekonomik olduğunu, 1971 yılına kadar yapılan çalışmalarda bu yatağın % 2.073 Cu tenörlü 20.800.000 ton görünür + muhtemel rezerv tespit edildiğini belirtmiştir.

Kawada ve Ergin (1972) 1/25 000 ölçekli haritasını yaptıkları sahada alterasyon zonunu merkezden dışa doğru silisleşme zonu, klorit zonu, kaolen ve serizit zonu olarak ayırmışlardır.

Kawada ve Şarman (1973) maden sahasının 1/10 000 ölçekli jeolojik haritasını yapmış, alt dasitik serinin en üst kısımlarının ve özellikle antiklinal eksenleri, fay zonları ve onunla ilgili makaslanma zonlarının prospeksiyon yönünden önemli olduğunu

belirtmişlerdir. Jeofizik ve jeokimyasal prospeksiyonların yapılmasından sonra sahanın daha ayrıntılı 1/1000 ve 1/2000 ölçekli jeolojik haritalarının tamamlanmasını ve daha sonraki sondajlarla cevherleşmelerin devamının araştırılmasının gerekli olduğunu ifade etmişlerdir.

Mado (1973), sahanın 1/10.000 ölçekli jeolojik haritasını yapmıştır. Tavantaşı olan mor tüflerin bazalt sileri ve andezit breşleriyle ara tabakalı olduğunu belirtmiştir. Cevheri masif pirit (sarı cevher) ve Cu-Pb-Zn cevheri (siyah cevher) olarak gruplandırmıştır.

Nebioğlu (1975), Madenli cevher sahası ve yakın çevresinin bütün eski ve yeni verilerini yeniden değerlendirerek sahanın 1/1000 ölçekli jeolojik haritasını yenilemiştir. Daha önceki çalışmalarla mor tuf olarak adlandırılan birimlerin pümis tuf ve bunlar arasındaki bazaltların ise sokulum olduklarını belirtmiştir. Ayrıca cevheri; masif cevher, ağsal saçılmış cevher ve piritik cevher olarak incelemiştir.

Altun (1977), Madenli cevher sahasında rezerv hesabı yapmış, yatağın %2.24 Cu tenörlü 4.167.902 ton saçınımlı ağsal cevher ile %4.2 Cu ve %6.23 Zn içeren 20.482.316 ton masif cevher içerdiğini hesaplamıştır. Bu bölgedeki örtülü yatakların aranmasında, kıvrımlı yapılar, tabakalı jips ve mangan oluşukları ile, tavan taşının mor kahverenge sahip oluşu ve yan kayalardaki hidrotermal ayrışma türlerinin birer veri olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Çağatay (1993), masif merceği içeren birimlerde hidrotermal alterasyonun gelişimini incelemiş ve killeşmenin karakteristik olduğunu ortaya koymuştur. Tavan bloğu içerisinde killeşmenin 200 m. kalınlığında ve 300 m. ila 2 km. genişliğinde bir zonda geliştiğini, taban bloğunda ise serizitleşme, silisleşme ve karbonatlaşmanın egemen olduğunu belirtmiştir.

Akçay ve Arar (1999), sondaj ve galeri çalışmaları ışığında; jeolojik, jeokimyasal ve jenetik (kökensel) incelemeler yapmış ve cevheri mineralojik olarak üç ana zona ayırmıştır. Bu zonlar K 1900 - K 1740 arası Kuzey Zon, K 1740 - K 1700 arası Orta Zon ve K 1700 – 1540 arası Güney Zon olarak adlandırılmıştır.

Öztürk (2002), Çayeli masif sülfid yatağındaki tüm cevher türlerinde tane boyu küçüldükçe % tenör içeriğinde bir artış olduğunu belirtmiştir.

1.2. Genel Jeolojik Yapı

Ketin (1966), tektonik üniteleri Türkiye'nin orojenik gelişimi esasına dayanarak kuzeyden güneye doğru Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak dört ana tektonik birliğe ayırmıştır. Bu tektonik birlikleri Ketin ve Canitez (1972) yeniden düzenleyerek, Pontidleri "Doğu Pontidler" ve "Batı Pontidler" olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Doğu Pontidlerde ki Geç Kretase yaşlı kayalar, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için güney (iç) ve kuzey (dış) bölümlere ayrılmıştır (Akın,1978; Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981). Bektaş (1986), Doğu Karadeniz magmatik yayını farklı magmatik, tektonik ve sedimentolojik evrim aşamalarına göre kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt zona ayırmıştır.

Pontid'ler Kaledoniyen, Hersinyen ve Alpin orojenezinin etkisinde kalmış, dolayısıyla da dalma, bindirme, yay ve yay gerisi oluşumu gibi bir çok olay sonucunda şekillenmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bunun sonucu olarak Pontid'ler birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Pontid magmatik arkının güneyindeki ofiyolitik kayaları Paleotetis'e ait kalıntılar olarak düşünmüş ve Pontid'lerin kapanmış, kuzeye dalımlı bir yitim zonu yönünde geliştiğini belirtmişlerdir (Tokel, 1977). Bektaş (1984)'a göre ise Pontid kuşağı güneye doğru dalımlı bir yitim zonudur.

Doğu Pontid'lerde temel teşkil ettikleri kabul edilen Paleozoyik yaşlı kayalar kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır. Doğu Pontidler Güney Zonu'nda egemen olan bu kayalar (Zankl, 1961, 1962; Açar, 1977; Gedikoğlu, 1978), Doğu Pontidler Kuzey Zonu'nda seyrek olarak görülürler (Türk-Japon Ekibi, 1985; Boynukalın, 1990). Temeli oluşturan metamorfik kayalar, Liyas öncesinde Paleozoyik yaşlı granitoidik kayalar tarafından kesilmişlerdir (Çoğulu, 1975). Granitoidik kayalar büyük plütonik kütleler halinde Gümüşhane yöresinde ve Gümüşhane-Köse arasında (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Özdoğan, 1992), küçük mostralarda halinde Giresun güneyinde metamorfik kayalarla birlikte görülmektedir (Schultz-Wetsrum, 1961).

Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda Liyas'ta başlayan bazik bir volkanizma hakimdir. Alt Kretase sonuna kadar devam eden ve bazalt, andezit ve onların piroklastitlerinden oluşan bu seri 'Alt Bazik Volkanik Seri' olarak adlandırılmıştır (Gedikoğlu, 1978; Van, 1990; Yılmaz, 1977). Kuzey Zonu'nun hemen her kesiminde çoğunlukla mercerler şeklinde görülen ve Berdiga Formasyonu olarak adlandırılan gri renkli kireçtaşları ise Dogger-

Malm Alt Kretase yaşlarını vermektedir (Gedikoğlu, 1978; Bulut, 1989). Alt Kretase yaşlı kayaçlar üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Kretase yaşlı oluşuklar tabandan itibaren içerdikleri ekonomik cevherleşmeler nedeniyle Cevherli dasit olarak adlandırılan dasitik lav ve tüflerle başlar. Alt Asitik Seri olarak bilinen bu seri üzerine uyumlu olarak kırmızı biyomikritler gelir. Bu biyomikritler, mercekler şeklinde Üst Asitik Seri olarak bilinen ve hiçbir ekonomik cevherleşme içermeyen mor dasitler üzerinde uyumlu olarak izlenir. Hematitli dasit olarak da adlandırılan seri, piroklastik kayaçlarla devam eder ve kireçtaşı, marn, kumtaşı, tuf ve aglomeralardan oluşan volkano- tortul seri ile son bulur. Pontidler'de yaygın olarak görülen üçüncü volkanitler ise Üst Bazik Seri olarak adlandırılan bazalt, andezit ve volkanotortul birimlerden oluşur (Leitch, 1975).

Üst Kretase-Paleosen geçişi Doğu Pontid'lerde yer yer gözlenmektedir. Şarman (1975), Tirebolu'nun güneydoğusunda Üst Kretase kireçtaşlarının devamı olarak Paleosen yaşlı birimleri tesbit etmiştir. Hopa-Cankurtaran yöresinde volkano-tortul seri, Üst Kretase'den Eosen'e kesintisiz geçmektedir (Özsayar vd., 1981). Kale (Gümüşhane) yöresinde Üst Kretase yaşlı filişle başlayan istif, uyumsuz olarak konglomera ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Paleosen yaşlı Kale Formasyonu'na geçmekte ve Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile örtülmektedir (Aliyazıcıoğlu, 1999).

Eosen, genellikle Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile gelmekte ve bunları andezit ve piroklastitleri ile filiş çökellerinden oluşan seriler üstlemektedir. Gedikoğlu (1970), Çambaşı ve Gököy yörelerinde Eosen'in taban konglomerası ile başladığını belirtmiştir.

Oligosen, Trabzon, Ünye ve Fatsa yörelerindeki sahil kesimlerinde görülmektedir (Schultz-Westrum, 1961; Özsayar, 1971). Neojene ait tortullar Trabzon-Akçaabat ve Rize-Pazar sahillerine yakın yerlerde mevcuttur (Yalçınlar, 1952; Özsayar, 1971). Kuvaterner yaşlı oluşuklar traverten ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Çayeli maden sahasındaki masif sülfid yatağının cevher ve alterasyon özellikleri sondaj verilerine bağlı olarak araştırılarak, yanal ve düşey yöndeki değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Buna bağlı olarak maden sahasındaki birimler, cevherin mineralojisi ve yan kayaçların alterasyonu detaylı olarak çalışılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal ve Yöntemler

Bu çalışma Çayeli maden sahasındaki masif sülfid yatağının genel jeolojini, mineralojisini, alterasyon özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yürütülen çalışmalar, arazi, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere 3 grupta toplanabilir.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında Çayeli Bakır İşletmeleri tesislerinde 19 sondaj kuyusundan 636 adet karot örneği alınmıştır. Bunlardan başka arazide gerekli görülen jeolojik birimlerin fotoğrafları çekilmiştir. Çalışma sahasının jeolojisini ortaya koymak amacıyla jeolojik harita hazırlanmamış, daha önce M.T.A tarafından hazırlanmış olan jeolojik harita baz alınarak birimlerin sınırları gözden geçirilmiştir.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesit, Parlak Kesit ve Sıvı Kapanım Kesitlerinin Hazırlanması, İncelenmesi

Arazi çalışmaları boyunca çalışma alanından alınan sondaj örneklerinden mineralojik ve petrografik tayinlerin yapılabilmesi için 120 adet ince kesit, cevherleşmenin mineralojisini ve parajenezini belirlemek amacıyla 11 adet parlak kesit, sıvı kapanım analizlerinin yapılabilmesi için de 2 adet sıvı kapanım kesiti hazırlanmıştır.

Mineralojik ve petrografik tayinler için ince kesitler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmıştır. Karot örneklerinden 0.5x2x4 boyutlarında plakalar kesilip pürüzsüzleştirildikten sonra, 0.1x2.5x5 cm boyutundaki cam üzerine kanada balzamu ile yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapıştırılmış örnek, aşındırıcı tozlar kullanılarak 0.3 mm. kalınlığa kadar inceltilmiştir. Örneklerin üzeri

cam lamelle kapatılmamıştır. İnce kesit örnekleri, araştırma mikroskopisi laboratuvarında polarizan mikroskopta incelenerek, dokusal, mineralojik ve alterasyon mineralojisi açısından irdelenmiş ve kayaç adlaması yapılmıştır. Ayrıca gerekli görülenlerden mikro fotoğraflar çekilmiştir.

Parlatma işlemleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği ve Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Parlak kesit için seçilen örnekler amaca uygun olarak belirlenen boyutlarda kesilerek silindirik kalıplara dökülmüştür. Daha sonra çeşitli boyutlardaki tozlar ile aşındırılarak 1 mikron alüminyum oksit tozu ile yüzeyleri parlatılmıştır. Parlak kesitler üstten aydınlatmalı cevher mikroskopisi ile yağlı ortamda incelenerek, mineral parajenezi ve süksesyonu belirlenmiş; gözlenen mineraller ve özellikleri fotoğraflanmıştır.

Sıvı kapanım kesitleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmış ve kesit parlatma laboratuvarında kesitlerin her iki yüzeyi de parlatılarak camdan ayrılmıştır. Hazırlanan örnekler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü sıvı kapanım laboratuvarında incelenerek fotoğraflanmış ve analizleri yapılmıştır.

2.1.2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlama

Ana, iz ve nadir toprak element analizleri için karot örnekleri arasından seçilen örnekler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü örnek hazırlama laboratuvarında, 300- 400 gr sondaj örnekleri çeneli kırıcıdan geçirilmiştir. Örnek kırıntıları Maden Mühendisliği Bölümündeki halkalı öğütücüde toz haline getirilmiştir. Yaklaşık 10 gr toz örnek poşetlenerek kimyasal analiz için Kanada'daki ACME laboratuvarına gönderilmiştir.

2.1.2.3. X – Işınları Difraksiyonu (XRD) İçin Örnek Hazırlanması

Tüm kayaç XRD analizleri toz haline getirilmiş örneklerin doğrudan ölçümüyle yapılmaktadır. Detay kil ve kil fraksiyonu ölçümlerinin yapılabilmesi için toz halindeki örneğe değişik işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Kayaç içerisinde diğer minerallerle birlikte bulunan kil minerallerin ayrılmasını sağlamak amacıyla kil fraksiyonu yapılır.

Bu çalışma için çeşitli ayırılma yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada Jackson (1956), Kunze (1965), Gündoğdu ve Yılmaz (1983) tarafından önerilen kimyasal çözme, santrifüjleme-dekantasyon-yıkama ve sedimentasyon-sifonlama-santrifüjleme işlemleri uygulanmıştır. Toz halindeki ortalama 30 gr örnek 1 litrelik behere alınmış ve üzerine 100 ml saf su eklenerek sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

1) Kimyasal çözme: Kil dışındaki minerallerin kimyasal çözme yoluyla atılması işlemidir. Kayacın içerdiği mineral çeşitlerine göre uygulanan kimyasal çözme işlemleri adım adım aşağıda verilmiştir.

1. Adım: Jips, anhidrit gibi sülfatlı minerallerin NaCl çözeltisi ile atılması
2. Adım: Karbonat minerallerinin asetik asit ile atılması
3. Adım: Organik maddenin H₂O₂ (hidrojen peroksit) ile atılması
4. Adım: Amorf silika ve alüminanın HF ile atılması
5. Adım: Demir oksitlerin Na- Sitrata çözeltisi ile atılması

2) Kararlı süspansiyon elde edilmesi: Yıkama- Dekantasyon- Santrifüjleme işlemlerinden oluşur. Kimyasal çözme işleminin ardından örnek saf su ile birlikte behere alınır ve karıştırılır. Daha sonra dinlenmeye bırakılır. Bu işleme dekantasyon denilir. Bu işlem sonucunda kil ve kil olmayan malzeme beherin dibine çöker ve üstteki berrak kısım atılır. Santrifüjlemeden yararlanılarak bu işlemin daha hızlı yapılabilmesi sağlanır. Bu işleme 2500 devir/dakika hızla santrifüjlendiğinde çökmeyen kararlı bir süspansiyon elde edilinceye kadar devam edilir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983).

3) Kil fraksiyonunun kazanılması: Elde edilen kararlı süspansiyon 3 saat 40 dakika süre ile dinlenmeye bırakılır. Sedimentasyon olarak tanımlanan bu işlem sonunda kum ve silt boyutundaki malzeme kilden daha hızlı çökecektir. Üstte kalan killi kısım alınır altta kalan kısım atılır. Bu işlem birkaç kez tekrarlanır. Sonuçta killi malzeme elde edilmiş olur. Elde edilen kil tane boyutundaki partiküllerden oluşan çözelti 3600 devir/ dakika hızla 30-40 dakika santrifüjlenerek kil çamuru elde edilir (Gündoğdu ve Yılmaz, 1983). XRD kil fraksiyonu çözümlenmeleri için her örneğe yukarıdaki işlemler uygulanmış, kil çamurundan cam lam üzerine sıvama ile örnekler hazırlanmıştır.

2.1.2.4. O-H ve S İzotop Analizleri İçin Örnek Hazırlanması

O ve H izotop analizleri kuvars, simektit- kaolenit, klorit- simektit, klorit ve kaolenit- illitlerde yapılmıştır. Makroskobik gözlemler sonucunda kil içerdiği belirlenen örnekler

arasından seçilen temsili örnekler öncelikle tüm bileşim açısından XRD analizine tabi tutuldu. Bu analizler sonucunda kil mineralleri açısından zengin olduğu belirlenen örnekler 2.1.2.3’de verilen yöntemle saflaştırıldı ve kil fraksiyonu ayrıldı. Bu tür örnekler XRD çekimleriyle analiz edildikten sonra, özellikle tek bir kil türü içeren örnekler O ve H izotop analizleri için poşetlenerek Kanada’daki Queen’s Üniversitesine gönderilmiştir.

S izotop analizleri için cevher minerallerinden pirit ve sfalerit kullanılmıştır. Bu mineraller genellikle aynı tür örneklerde bir arada bulduklarından, makroskobik olarak seçilen örneklerde pirit, sfalerit ve/veya her ikisi bakımından zengin olan zonlar mikro sondaj cihazı yardımıyla parçalanmış ve küçük kıymıklar elde edilmiştir. Bu kıymıklar kırılıp tozlardan arındırılmak üzere elenmiştir. Elenen cevher örnekleri binoküler mikroskop altında incelenerek pirit ve sfalerit ayrı ayrı seçilmiştir. Bu minerallerin saflığı XRD ile test edildikten sonra analiz için Kanada’daki Act Lab’a gönderilmiştir.

2.1.3. Büro Çalışması

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler büro çalışmalarıyla değerlendirilmiştir.

Arazide belirlenen sondajlardan karot örnekleri alınmış ve bazı birimlerin fotoğrafları çekilmiştir. Petrografik, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları da yine çeşitli paket programlar kullanılarak değerlendirilmiş, grafik ve tablolar hazırlanmıştır. Arazi, laboratuvar ve büro çalışmalar sonucu elde edilen veriler birleştirilerek yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Stratigrafi ve Petrografi

3.1.1. Giriş

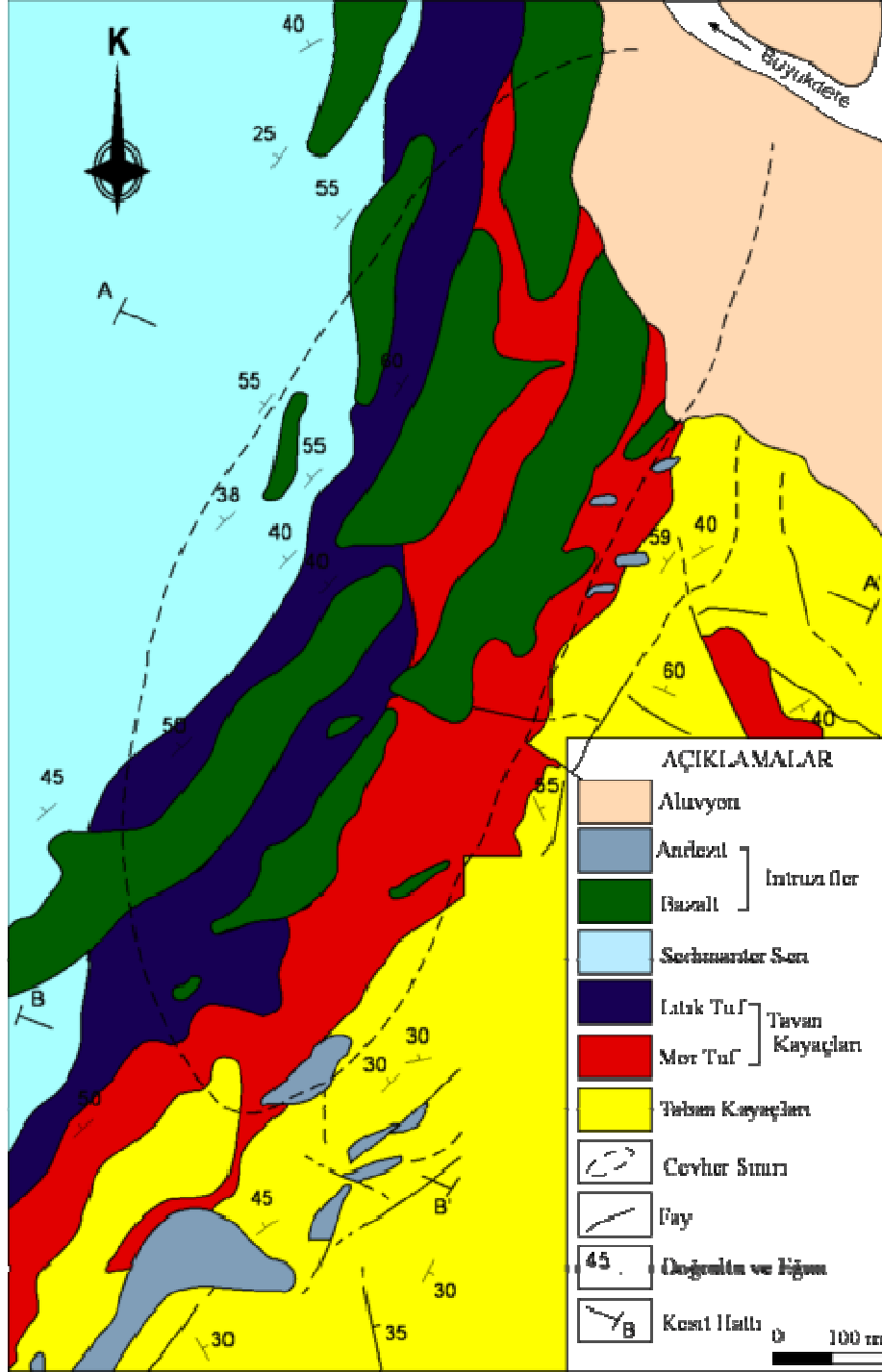
Doğu Pontid'lerin kuzey zonunda yer alan çalışma sahasında Üst Kretase yaşlı birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer almaktadır (Şekil 3.1, 3.2.).

Çayeli Masif Sülfid yatağında yapılan çalışmalar sonucunda stratigrafinin alttan üste doğru Üst Kretase yaşlı dasitik kayaçlar, mor tüfler, bazaltik kayaçlar, piroklastik kayaçlar, sedimanter birimler ve sokulum kayaçlarından oluşur.

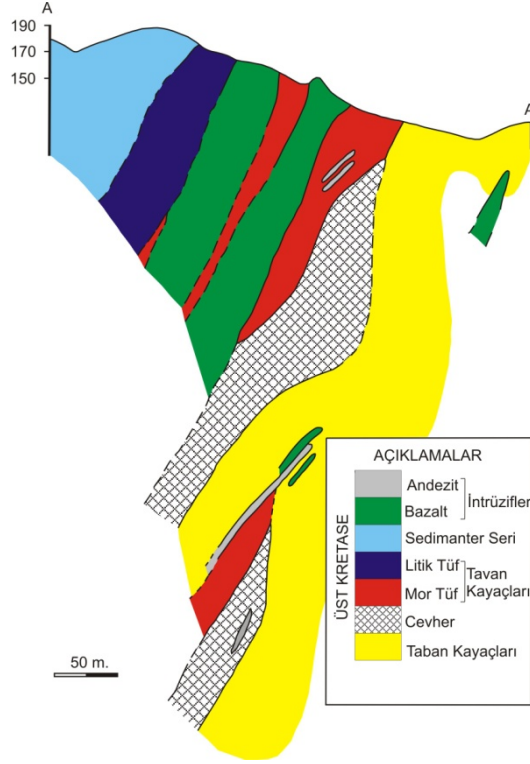
Çalışma alanındaki en genç birimi Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır.

SEN. ZAMAN	KUV. DEVİR	HOL. DEVRE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
				Alüvyon
				Andezit, Bazalt ve Piroklastitleri
				Sedimanter Seri: Marn, tuf, breş, tüfitik kumtaşı kireçli çamurtaşı ve kireçtaşı
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE		Tavan Kayaçları: Mor tüfler, kırmızı renkli çamurtaşları, litik tüfler
				Taban Kayaçları: Dasitik lavlar, dasitik breşler ve dasitik tüfler

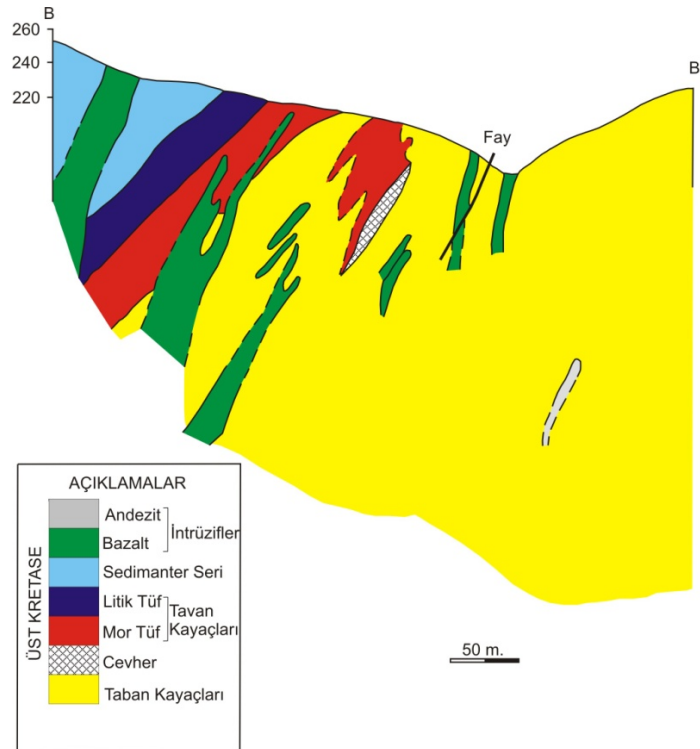
Şekil 3.1. Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti (ölçeksiz).



Şekil 3.2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (Nebioğlu, 1975'den değiştirilerek).



Şekil 3.3. Çayeli masif sülfid yatağının A-A' jeolojik kesiti (Nebioğlu 1975'ten uyarlanmıştır).



Şekil 3.4. Çayeli masif sülfid yatağının B-B' jeolojik kesiti (Nebioğlu 1975'ten uyarlanmıştır).

3.1.2. Taban Kayaçları

Bu birim çalışma alanının en alt seviyesini oluşturur. Bu piroklastik seviye başlıca dasitik akıntılar, dasitik breşler ve dasitik tüfler şeklinde bir seri halinde devam eder. Bu birim yoğun yüzeysel ayrışma ve hidrotermal alterasyona maruz kalmıştır.

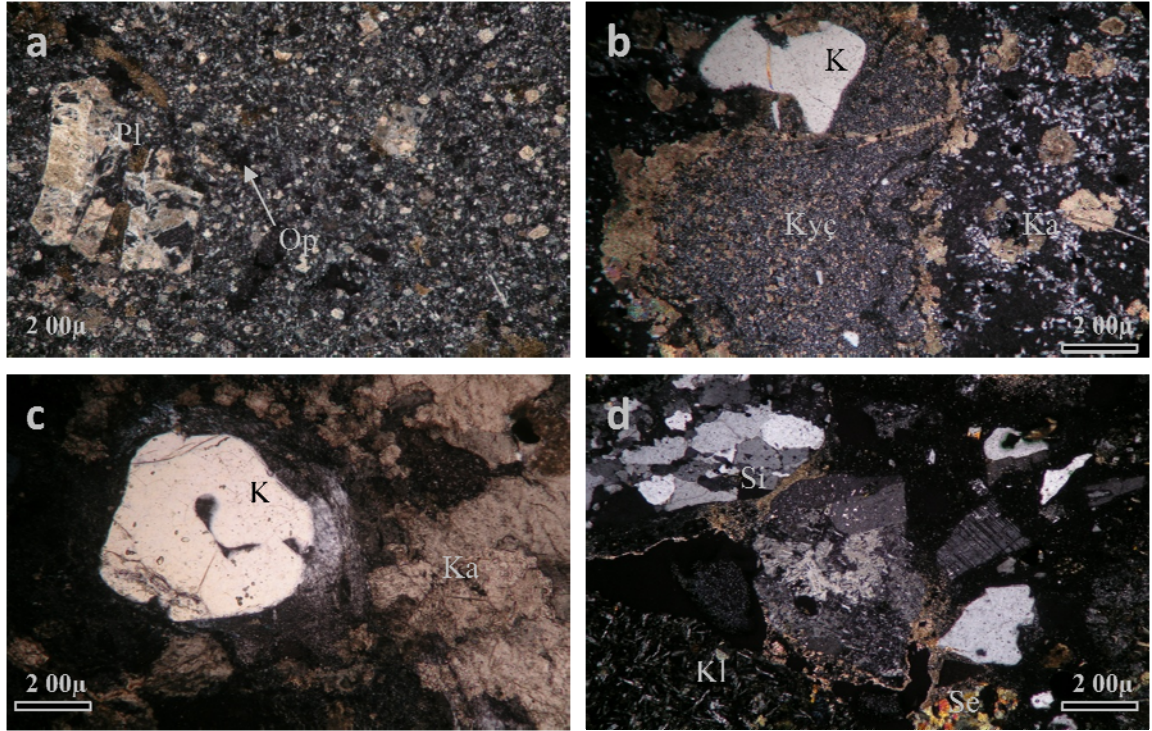
El örneklerinde beyaz, krem beyaz, kahvemsî sarı ve bej renktedir. Değişik boyutlarda gözle görülebilen feldispat ve kuvars mineralleri içerir. Hidrotermal alterasyonun ve yüzeysel ayrışmanın yoğun etkisi bu birimde makroskobik olarak gözlenir. Bu yoğun alterasyon ve ayrışma kayacın rengini beyaza doğru değiştirir.

Mikroskobik incelemelerde bu birim içerisinde kısmen kemirilmiş, kısmen de öz şekilli kristal ve kristal parçaları halinde kuvars, feldispat ve plajiyoklazlar bulunmaktadır. Feldispatlar ve plajiyoklazlar kuvvetli ayrışmanın etkisiyle bazen tanınamayacak bir durumdadırlar.

Bu birim içerisinde yer alan dasitik lavlarda akma yapıları iyi gelişmiştir. Kayaçların ana bileşeni plajiyoklazdır. Alterasyon derecesine bağlı olarak serizit, kuvars, illit ve karbonat mineralleri görülür. Kuvars genellikle mikrotaneler şeklindedir; nadiren fenokristaller halinde görülür. Bütün mineraller kriptokristalen bir hamur içerisinde ve yer yer silisleşme ve serizitleşme görülür (Şekil 3.5a.).

Dasitik breşler; karakteristik olarak ince taneli bir matriks içerisinde pümis parçaları, kuvars kristalleri ve felsik litik parçalardan oluşmuştur (Şekil 3.5b.).

Dasitik tüfler ise altere pümis, feldispat ve korrode kuvarslardan oluşmuşlardır (Şekil 3.5c.). Kuvars haricindeki kristaller ve pümis parçacıkları ayrışma sonucunda başlıca kil minerallerine, daha az oranda da serizit ve klorite dönüşmüşlerdir (Şekil 3.5d). Silisleşme ve piritleşme bu birimdeki yaygın olan alterasyon türleridir. Silisleşme daha çok silis damarcıkları halinde gözlenir. Silisleşme ve piritleşmenin yanı sıra serizitleşme, killeşme ile daha az miktarda da kloritleşme ve karbonatlaşma ikinci derecede önemli ayrışma tiplerini oluştururlar. Özellikle killeşmenin fazla olduğu yerlerde kayaçlar tamamen değişerek kayacı tanıma olanağını ortadan kaldırır. Bu ayrışma cinslerinden başka hematitleşmiş kısımlara da rastlanmıştır.



Şekil 3.5. a) Dasitlerin mikroskobik görünümü (Ç.N.; Örnek no:1780/16 300 m.). b) Dasitik breşin ince kesitteki görünümü (Ç.N.; Örnek no:1760/17 118 m.). c) Dasitik tüf içerisindeki korrode kuvars (Ç.N.; Örnek no: 1840/16 229 m.). d) Dasitik tüfün mikroskobik görünümü (Örnek no: 1760/17 190 m.). (Pl: Plajiyoklas, Op: Opak mineral, K: Kuvars, Ka: Karbonat, Kyc: Kayaç parçası, Si: Silisleşme, Kl: Kloritleşme, Se: Serizitleşme).

3.1.3. Tavan Kayaçları

Dasitik birim üzerinde cevherin tavan kayacını oluşturan ve bazaltik volkanitler içerisinde bulunan mor tüfler yer alır (Şekil 3.6a). İyi gelişmiş kolon yapıları, cevherin tavan kayacının ayırtman özelliğidir (Şekil 3.6b.). Genel uzanımları KD- GB doğrultulu ve KB'ya eğimlidirler (Nebioğlu,1975).

Mor tüfler çok şiddetli ayrışma geçirmiş olmalarına rağmen, dasitik ve / veya riyolitik karakterde oldukları kimyasal analiz sonuçları ile tespit edilmiştir.

Mor tüfler killeşmiş bir matriks içerisindeki kuvars ve feldispat kristalleriyle, pümis parçalarından oluşmaktadır. Feldispatlar mikroskobik olarak çeşitli kil minerallerine, serizite, klorite ve kısmen de karbonata dönüşmüşlerdir.

Mor tüflerin içerisinde, tüflerin eğim, doğrultu ve katmanlı yapısı ile uyumluluk gösteren, boyutları mm. ile 1.50 cm. arasında değişen ve çeşitli seviyelerde oldukça küçük merccekler, bantlar ve parçalar şeklinde bulunan kırmızı renkli kireçli çamurtaşlarına

rastlanmıştır. Yer yer az miktarda silisleşmiş olan bu çamurtaşları *Globotruncana sp.* cinsi fosiller içerirler. Bu fosiller yardımı ile pümis tüflerin Üst Senoniyen yaşta oldukları tespit edilmiştir (Nebioğlu, 1975).

Killeşme, hematitleşme, kloritleşme, silisleşme, serizitleşme ve karbonatlaşma bu birimdeki ayrışma türlerini oluşturur. En yaygın alterasyon türü killeşmedir.

Killeşme, mor tüfleri meydana getiren kuvars dışındaki mineraller ve kayaç parçaları ile matriksi etkilemiştir. Bu kil mineralleri XRD ile tespit edilmişlerdir. Hematitleşme çok yaygın olup morumsu- kırmızımsı renk ile karakteristiktir. Bu birimdeki yeşilimsi renk kloritleşme sonucu meydana gelmiştir. Silisleşme, serizitleşme ve karbonatlaşma daha az görülen alterasyon türleridir.

Mor tüfler üzerinde uyumlu olarak litik tüfler bulunmaktadır. Bu birim yeşilimsi-sarımsı renktedirler. Makroskobik gözlemlerde, kuvars miktarının mor tüflere nazaran çok az oluşu, litik tüflerin asidik veya bazik karakterde olduğuna dair kesin bir karar vermeyi oldukça güçleştirmektedir. Fakat bu tüflerin genel olarak nötr karakterde oldukları kabul edilebilir (Nebioğlu, 1975). Litik tüfler mikroskobik gözlemler sonucunda yuvarlak, yarı yuvarlak, yarı köşeli yabancı kayaç parçaları içermektedir (Şekil 3.6c ve d). Bu kayaç parçaları genellikle bazaltik bileşimlidir. Bu birimdeki yaygın alterasyon killeşme ve kloritleşmedir. Serizitleşme, silisleşme ve karbonatlaşma ikinci derecedeki ayrışmadır. Hematitleşme litik tüflerin tabanına doğru artmaktadır. Ayrışmanın şiddeti, alttaki mor tüflerin ayrışmasından daha zayıf görülmektedir.

3.1.4. Sedimanter Seri

Sedimanter birim, litik tüflerin üzerinde uyumlu olarak bulunurlar. Genel uzanımları KD- GB doğrultulu olup KB' ya eğimlidirler.

Çoğunlukla gri, beyazımsı ve sarımsı renkte olan bu seviye, çok kısa mesafelerde yanal ve düşey olarak birbirlerine geçiş gösteren çeşitli özelliklerdeki marn, tuf, tuf-breş, tufitik kumtaşı ve kireçli çamurtaşından meydana gelmiştir.

Bu seviyede yer alan çamurtaşlarının *Globotruncana sp.* cinsi fosiller içermesi, bu serinin Üst Senoniyen yaşlı olduğunu göstermektedir (Çağatay, 1993).



Şekil 3.6. a) Maden sahasının doğusunda Topkaya Mahallesi mevkiinde yer alan mor tüflerin arazideki görünümü. b) Tavan kayalarında gözlenen kolonlu yapı (Çayeli Bakır İşletmesi atık alanı yanı). c) Litik tüflerin tek nikol mikroskobik görünümü d) Litik tüflerin çift nikol mikroskobik görünümü (Örnek no:1720/9 1 m., Kyc: Kayaç parçası, Si: Silisleşme).

Marnlar ve tüfitik kumtaşlarında genel olarak kloritleşme, az miktarda killeşme ve serizitleşme görülür. Killeşmenin alt seviyelere doğru arttığı, kloritleşmenin ise azaldığı görülmüştür. Tüfler ve tuf breşler genellikle sedimenter serinin üst kısımlarında, marn ve tüfitik kumtaşları ile yanal ve düşey geçişli olarak bulunurlar.

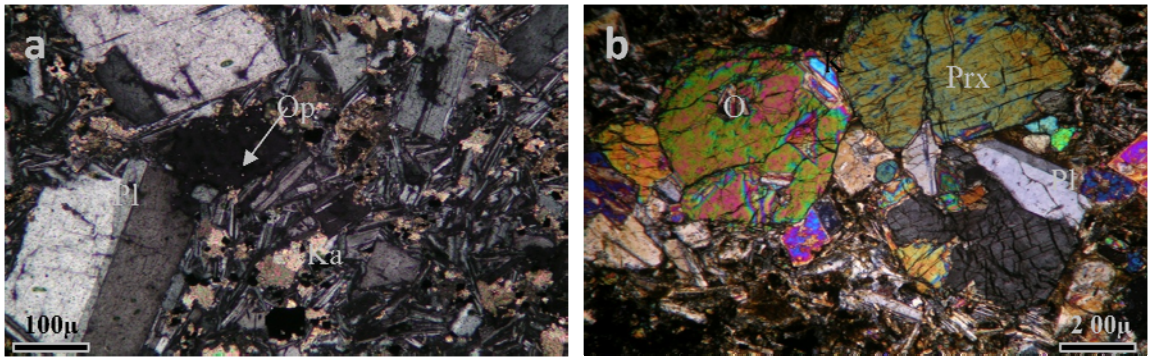
3.1.5. Dayklar

Çalışma sahasında oldukça geniş yer kaplayan bazalt ve andezitler intrüzif halde bulunurlar. Bazalt ve andezitlerin genel olarak volkanik, kısmen de subvolkanik durumdaki sil, dayk, ve stoklar şeklinde bulunduğu çeşitli sondajlarla tesbit edilmiştir.

3.1.5.1. Bazaltlar

Bu seviye el örneklerinde siyahımsı ve koyu yeşil renktedirler. Ayrışmış kısımları koyu gri renkte görülürler.

Mikroskobik incelemelerde bazaltlar porfiritik doku gösterirler. İnce taneli bir hamur içerisinde yer alan plajiyoklaz lataları ile piroksen ve olivinlerden oluşmaktadır (Şekil 3.7.). Ojitler ve olivinler yer yer kloritleşmişlerdir. Boşluklar ise zeolit, ikincil kuvars ve kalsitle doldurulmuştur.



Şekil 3.7. a) Mikrolitik porfirik dokulu bazaltın mikroskobik görünümü (Ç.N.; Örnek no: 1520/7 66 m.). b) Bazaltlar içerisindeki mafik mineraller (Ç.N.; Örnek no: 1780/4 71 m.). (Pl: Plajiyoklaz, Ka: Karbonatlaşma, Op: Opak mineral, O: Olivin, Prx: Piroksen).

3.1.5.2. Andezitler

Andezitler çalışma sahasında bazaltlara nazaran hem daha az yer kaplarlar ve hem de daha küçük ebatta gözüktürler. Bunlar da volkanik ve subvolkanik dayklar, siller, stoklar şeklinde bulunurlar (Nebioğlu, 1975).

Renkleri açık gridir. Bazaltlara nazaran daha fazla altere olmuşlardır. Hakim alterasyon genellikle arjilikleşme ve silisleşmedir. Bazen az miktarda kalsitleşme, limonitleşme ve kloritleşmeye de rastlanır. Ayrışma andezitlerin hem fenokristallerinde hem de matriksinde meydana gelmiştir.

3.1.6. Alüvyonlar

Kuvaterner yaşlı alüvyonlar Büyük Dere boyunca görülürler. Bu alüvyonlar çeşitli cinsten ve farklı büyüklükteki kayaçların blok, çakıl ve kumlarından meydana gelmiştir.

3.2. Yapısal Jeoloji

3.2.1. Kıvrımlar

Çalışma sahası Alp Orojenezinin etkisi sonucu kıvrımlı ve kırıklı bir yapıya sahiptir. Taban dasitleri eksenini genel olarak KD-GB uzanımlı büyük bir antiklinal meydana getirmişlerdir. Ayrıca eksenleri kısmen KB-GD, kısmen de KD-GB yönünde uzanan yerel küçük antiklinal ve senklinallere de rastlanmaktadır. Bu yerel kıvrımlar genellikle büyük antiklinal eksenine yakın yerlerde bulunup büyük antiklinal ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır.

Kıvrımlanmanın etkisiyle formasyonların yer yer şist bir karakter kazandığı, özellikle pümis parçalarının çok fazla yassılaştığı ve uzamış bir hal aldığı tespit edilmiştir (Nebioğlu, 1975).

3.2.2. Kırıklar

Çalışma alanında kıvrım tektoniğine paralel olarak farklı iki yönde kırılma tektoniği meydana gelmiştir. Bunlardan KD-GB doğrultulu olanlar daha büyük ve ilk oluşan kırıklardır. Genel bir kural olarak bunların büyük antiklinal eksenine paralel bir şekilde oluştukları söylenebilir. KB-GD doğrultulu olanlar ise diğerlerine göre hem daha küçüktürler hem de daha sonra oluşmuşlardır. Çünkü bunlar diğerlerini ve büyük antiklinal eksenini yer yer dik ve verev bir şekilde keserler (Nebioğlu, 1975). Her iki yöndeki faylar daha çok antiklinal ekseninin yakın civarında yoğunlaşmıştır. Fayların eğimleri ise genellikle 50°- 90° arasında değişmektedir (Nebioğlu, 1975).

3.3. Maden Jeolojisi

3.3.1. Giriş

Çayeli masif sülfid yatağı Türkiye'nin en önemli masif sülfid yataklarından biri olup Rize İlinin Çayeli İlçesine bağlı Madenköy Beldesinde yer almaktadır.

Eski ve çökmüş galerilerin bulunması burada çok eskiden beri madencilik çalışmalarının yapıldığını göstermektedir. İlk çalışmaların Cenevizliler tarafından yapıldığı düşünülmektedir. Bu yatağın Ruslar tarafından da işletildiği bilinmektedir. Modern madencilik çalışmaları 1930'lu yıllarda başlamıştır. Kuyu ve galeriler açılarak 1955 yılına kadar işletme yapılmıştır. 1967 yılında Maden Tetkik Arama tarafından detay jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucunda sondajlar yapılmış ve cevher merceğinin üst kesimine bir galeri açarak fizibilite çalışmalarına başlanmıştır. 1982 yılında Etibank ve Gama ile bir ortaklık kuran Phelps Dodge şirketi tarafından cevheri test etmek için galeriler açılıp galeri içi sondajlar yapılarak cevherin mineralojisi ve metalurjisi incelenmiştir. 1987 yılında şu anda Inmet olarak bilinen Metal Mining Phelps Dodge'un hisselerini satın alarak fizibilite çalışmalarını devam ettirmiş ve bu çalışmaları 1994 yılında tamamlamıştır. Çayeli Bakır İşletmesinin %100 hissesi günümüzde İnmet Madencilğe aittir (www.inmetmining.com).

40mx40m lik grid üzerinde gerçekleştirilen sandaj çalışmalarına göre cevher merceği 450 m uzunluğunda, 400 m genişliğinde ve maksimum 120 m kalınlığında olan cevher merceği ortalama %3.7 Cu, % 5.9 Zn, % 0.3 Pb içeren 10.6 milyon tonluk bir rezerve sahiptir. Ancak yapılmakta olan galeri içi sondajlarla asıl merceğin her iki tarafında iki ayrı küçük merceğin varlığı tesbit edilmiştir. Bunlar rezervin önemli bir ölçüde artabileceğine ait işaretlerdir (Akçay ve Arar, 2010).

Bu çalışmada Çayeli Masif Sülfid cevherinin genel özelliklerini ve parajenezini ortaya koymak amacıyla alınan sondaj örneklerinin 11 tanesinden parlak kesit hazırlanmıştır.

3.3.2. Madenin Duruşu ve Kaynak Özellikleri

3.3.2.1. Cevherin Kimyasal Özellikleri

Çayeli masif sülfid yatağındaki farklı cevher tipleri farklı Cu, Pb, Zn, Au ve Ag oranlarına sahiptir. Günümüze kadar yapılan sondaj verilerinin ve kimyasal sonuçların incelenmesi sonucunda Au, Ag, Cd, As ve Sb gibi iz elementlerin kırıntılı siyah cevherde yoğunlaştığı ve cevherin alt zonlarına doğru gittikçe azalma eğilimi gösterdikleri belirlenmiştir (Tablo 3.1.). Kırıntılı cevherde ortalama 2.1 ppm olan Au içeriği, siyah cevherde 1.28 ppm' e, sarı cevherde 0.51 ppm' e, ağsal cevherde ise 0.45 ppm' e iner.

3.3.2.2. Cevher Merceğinin Genel Özellikleri

Çayeli masif sülfid yatağı Üst Kretase yaşlı dasitik kayaçlar içerisinde yer alır. Çayeli masif sülfid cevheri başlıca pirit, kalkopirit, sfalerit, galen ve az oranda fahlerz, bornit, kalkozin ve kovellinden oluşmaktadır. Barit, karbonat mineralleri, kuvars, kil mineralleri, serizit ve jips gang minerallerini oluşturur.

Cevher genel olarak kırıntılı bir yapı gösterir ki bu özellik sülfürlü minerallerin çökeliminden sonra ya da onunla eş zamanlı olarak deniz tabanında oluşan faylanma veya kayma hareketleri ile ilişkilidir (Akçay ve Arar, 1999).

Cevher merceğinin düşey kesitlerinde bir mineralojik birlikteliğin varlığı göze çarpar. Bu zonlanma merceğın tavanından tabanına doğru şöyle sıralanabilir (Akçay ve Arar, 1999).

1. Sfalerit- galen- barit ve az miktarda kalkopirit ve pirit
2. Pirit - kalkopirit
3. Pirit- kalkopirit- kil
4. Pirit- kalkopirit- kuvars.

Bu mineralojik birliktelik Kuroko tip masif sülfid yatakları için yapılan model çalışmalara uymaktadır (Franklin ve diğ., 1981; Lydon, 1988). Birinci ve ikinci zonlar yer yer geçiş zonları da içerir. Mineralojik bileşimdeki değişim dışında, merceğın tavanından tabanına doğru mineral tane boyutlarının göreceli olarak artması şeklinde bir morfolojik değişim görülür. Bu değişim özellikle pirit için geçerlidir. Pirit, dördüncü mineral zonunda

genellikle 2 mm. taneler halinde iken, üst kesimlerde daha ince tanelidir (Akçay ve Arar, 2010).

Tablo 3.1. Çayeli Madenköy masif sülfid yatağındaki farklı cevher tiplerinin bileşimi (Akçay ve Arar, 2010).

SARI CEVHER						
Element	Örnek No	Minimum	Maksimum	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Yatıklık
Cu (%)	6026	0.00	28.20	5.74	3.32	1.47
Pb (%)	5808	0.00	2.57	0.09	0.14	6.44
Zn (%)	5996	0.00	24.30	2.33	2.40	2.65
Au (g/ton)	1622	0.00	7.30	0.51	0.45	3.97
Ag (g/ton)	5575	0.00	253.00	24.38	19.65	2.53
SİYAH CEVHER						
Cu (%)	5286	0.00	19.66	2.60	2.16	1.59
Pb (%)	5121	0.00	10.21	0.44	0.63	4.97
Zn (%)	5286	0.00	49.10	10.75	6.96	0.89
Au (g/ton)	1684	0.00	15.54	1.28	0.95	3.94
Ag (g/ton)	5009	0.00	783.00	58.73	43.37	3.17
KLASTİK CEVHER						
Cu (%)	2680	0.02	34.00	4.88	3.38	2.23
Pb (%)	2646	0.01	20.00	0.91	1.03	4.64
Zn (%)	2680	0.00	47.60	13.89	8.20	0.47
Au (g/ton)	1133	0.00	18.00	2.10	1.54	3.04
Ag (g/ton)	2606	0.00	1688.00	141.51	82.74	4.52
DAMAR TİPİ CEVHER						
Cu (%)	1186	0.02	27.20	3.77	3.41	2.61
Pb (%)	1027	0.00	2.12	0.06	0.13	10.33
Zn (%)	1155	0.00	18.30	1.03	1.71	3.93
Au (g/ton)	355	0.00	2.00	0.25	0.25	2.13
Ag (g/ton)	939	0.00	175.00	11.25	16.81	3.97
AĞSAL CEVHER						
Cu (%)	1114	0.01	27.50	2.30	2.86	2.67
Pb (%)	899	0.00	0.22	0.02	0.02	4.48
Zn (%)	995	0.00	14.50	0.42	1.21	6.11
Au (g/ton)	32	0.10	1.20	0.45	0.36	1.22
Ag (g/ton)	843	0.00	80.00	3.02	6.24	5.63
TÜM CEVHER ZONLARI (SONDAJ VERİLERİ 1 m LİK ZONLARA BÖLÜNEREK)						
Cu (%)	18171	0.00	32.58	3.72	10.18	1.62
Pb (%)	17130	0.00	9.91	0.30	0.57	4.60
Zn (%)	17903	0.00	44.84	5.92	7.11	1.50
Au (g/ton)	4937	0.00	13.01	1.02	1.05	2.86
Ag (g/ton)	15831	0.00	780.15	49.69	58.72	2.60
TÜM CEVHER ZONLARI (SONDAJ VERİLERİ 5 m LİK ZONLARA BÖLÜNEREK)						
Cu (%)	4468	0.00	29.25	3.67	2.95	1.38
Pb (%)	4284	0.00	5.33	0.31	0.51	3.43
Zn (%)	4417	0.00	44.84	5.90	6.77	1.38
Au (g/ton)	1248	0.00	12.27	1.05	1.12	24.06
Ag (g/ton)	3942	0.00	519.97	51.03	58.10	2.21

3.3.2.2.1. Cevher Tipleri

Çayeli masif sülfid yatağında cevher homojen olmayıp, değişken litolojik ve mineralojik bir dağılım sunar. Cevher merceğinin genel özelliklerini yansıtabilecek tarzda seçilmiş olan sondajlardan alınan örneklerin makroskobik ve mikroskobik incelemeleri sonucunda cevherin dört farklı tipte olduğu gözlenmiştir: Masif cevher, klastik cevher, ağsal cevher ve saçınımlı cevher. Ancak her bir cevher türü kendi içinde alt sınıflara ayrılabilir. Buna bağlı olarak oluşturulan cevher tiplerini gösteren bir sınıflama şöyle verilebilir:

- a) Masif cevher
 - 1) Masif siyah cevher
 - 2) Masif sarı cevher
- b) Klastik cevher
 - 1) Klastik siyah cevher
 - 2) Klastik sarı cevher
 - 3) Kumlu/ ufalanabilir cevher
- c) Ağsal cevher
 - 1) Pirit damarcıklı cevher
 - 2) Kalkopirit damarcıklı cevher
 - 3) Taban ağsal cevheri
- d) Saçınımlı cevher

3.3.2.2.1.1. Masif Cevher

Masif cevher, masif sarı cevher ve masif siyah cevher olarak iki gruba ayrılabilir (Şekil 3.8a, b, c ve d). Masif siyah cevher ile masif sarı cevher arasındaki ayırım cevherin matriksini oluşturan sfalerit miktarına bağlıdır. Cevher matriksi içindeki sfalerit oranı % 10 'dan az ise sarı cevher (Şekil 3.8e), % 10'dan fazla ise siyah cevher olarak adlandırılır (Şekil 3.8f). Masif cevherde esas cevher minerali pirit ve sfalerittir. Bunun yanında markazit, kalkopirit ve galenit her zaman rastlanılabilen ikinci derecedeki önemli minerallerdir. Bu minerallerden başka fahlerz, bornit, kalkozin ve kovellin bulunmaktadır. Masif cevherde en çok rastlanılan gang minerali barittir (Şekil 3.9a). Kuvars, barite göre daha az rastlanılan gang mineralidir.

Masif siyah cevher siyah renklidir. Cevher, sert ve çapları 5-200 mm arasında değişen pirit taneleri ve bolluk derecesi %10 ile %50 arasında değişen iri taneli sfaleritik matriksten oluşur. Matrikste az oranda kalkopirit de bulunur. Kalkopirit genellikle ince taneler halinde ve bazen de pirit tanelerinin etrafını saran zarlar halindedir. Cevher içindeki kırıntılar barit ve karbonatlarca bağlanmıştır. Matriks pirit ve sfaleriti öz ve yarı öz şekillidir.

Masif sarı cevher başlıca yuvarlak şekilli pirit kristallerinden oluşur. 5 -300 mm arasında değişen pirit taneleri öz-yarı öz şekilli pirit, <math><10\%</math> sfalerit ve $\sim 2\%$ kil den oluşan bir matriks içerisinde bulunur. Kalkopirit ya küçük taneler halinde matriks içinde, ya damarcıklar halinde matriksi oluşturan mineraller içinde, ya da pirit ve sfalerit kristallerinin etrafını saran zarlar halinde bulunur. Masif sarı cevherde kalkopirit matriks içindeki kristaller arasında bağlayıcı malzeme olarak da görülür. Markazitler piritlerin bozuşmasıyla oluşurlar. Mavimsi beyazımsı rengiyle, refleksiyon pleokroizması ve anizotropi özelliği göstermesiyle karakteristiktir (Şekil 3.9b). Masif sarı cevherde piritten sonra en çok bulunan mineral kalkopirittir. Çoğunlukla, ince taneli, jel yapılı ve kataklastik piritin aralarını ve çatlaklarını doldurmuş şekilsiz oluşumlar şeklindedirler (Şekil 3.9c). Piritlerle birlikte kolloform doku da göstermektedirler (Şekil 3.9d). Kalkopiritlerin kenar kısımlarından itibaren bornite dönüşümler yaygındır (Şekil 3.9e). Kalkopiritler yer yer de kalkozin - kovellin tarafından ornatılmıştır (Şekil 3.9f).

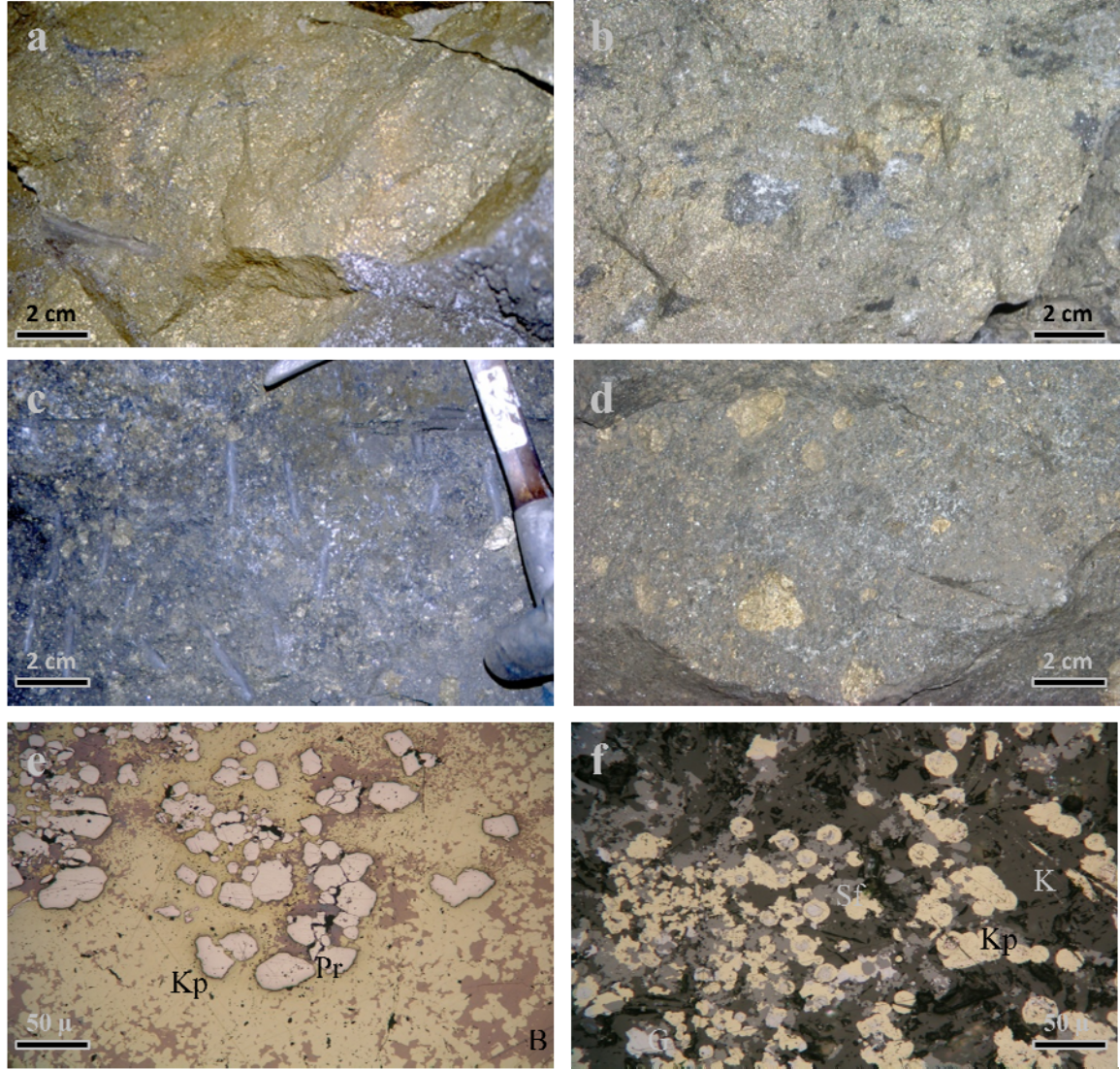
3.3.2.2.1.2. Klastik Cevher

Klastik cevher kendi içerisinde klastik siyah cevher, klastik sarı cevher ve kumlu/ ufalanabilir cevher olarak 3 alt gruba ayrılabilir.

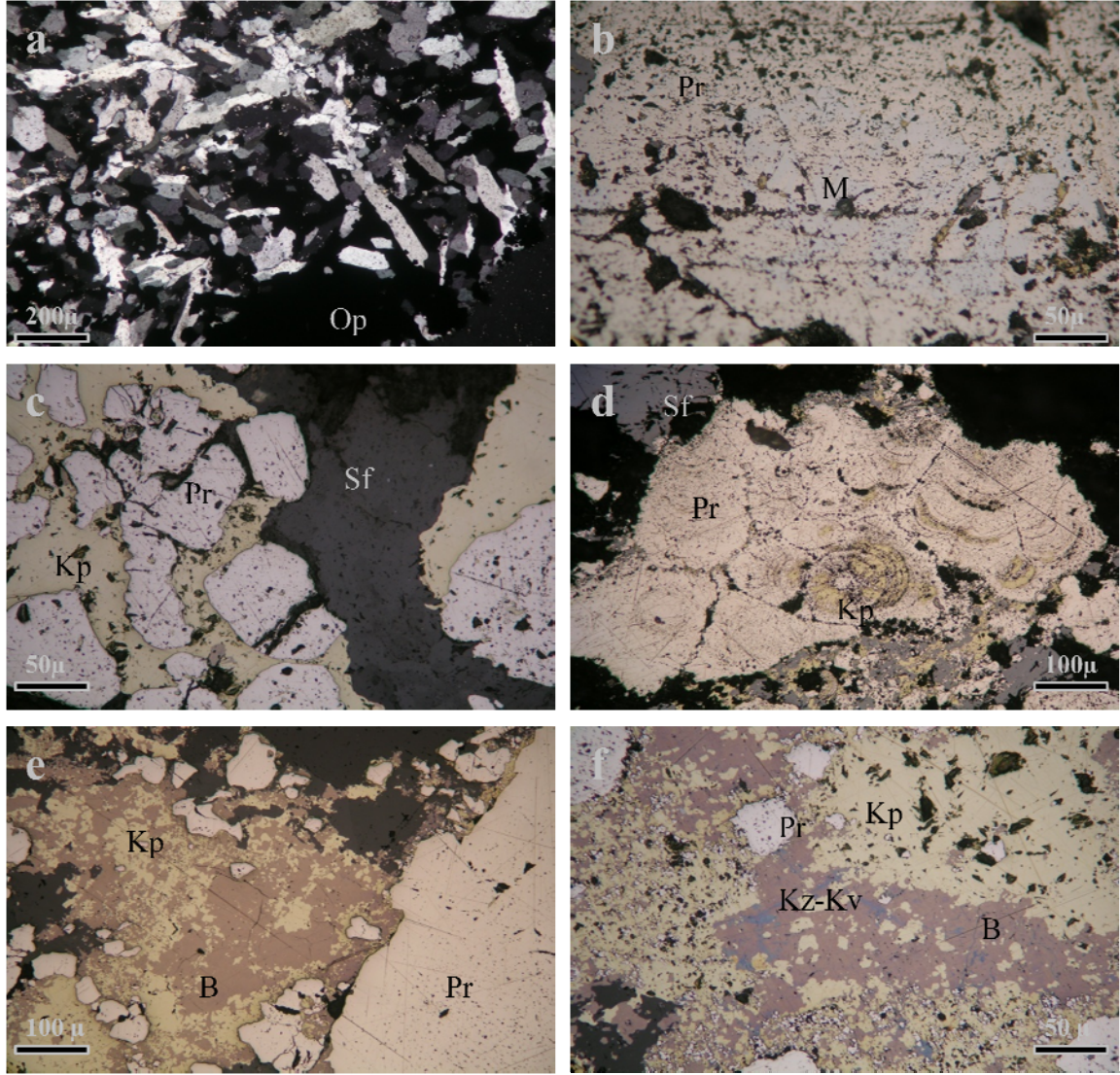
Klastik siyah cevher çoğunlukla baritik bir gang içinde, birlikte oluşum yapıları gösteren ince taneli pirit, kalkopirit ve sfalerit tanelerinden oluşur (Şekil 3.10a). Pirit ve kalkopirit taneleri 5-100 mm arasında değişen büyüklükte dirler. Sfalerit taneleri daha büyüktür ve yer yer 2 mm ye varan büyüklükte galen kristalleri içerir. Pirit genellikle fromboidal ve kolloform yapılar gösterir. Klastik siyah cevheri masif siyah cevherden ayıran en önemli özellik sfalerit tanelerinin köşeli veya yarı köşeli yapılı olması ve kırıntılı cevherin düzenli bir katmanlı yapı göstermesidir (Akçay ve Arar, 2010).

Klastik sarı cevher klastik siyah cevhere benzer, fakat ondan bağlayıcı malzeme olarak bir miktar kalkopirit içermesiyle ayrılır (Şekil 3.10b). Piritler çoğunlukla kırıklı,

parçalanmış yapı kazanmış şekilde görülür (Şekil 3.10c ve d). Kalkopirit tarafından ornatılmış ve kenarları kemirilmiş piritler mevcuttur. Pirit içerisindeki boşluklar ve kırıklar kalkopirit ve sfalerit tarafından doldurulmuştur. Klastik sarı cevher genellikle masif sülfür merceğinin tavan dokanağına yakın zonlarda bulunur.



Şekil 3.8. a ve b) Masif sarı cevherin makroskobik görünümü. c ve d) Masif siyah cevherin makroskobik görünümü. e) Masif sarı cevherin parlak kesitteki görünümü (Örnek no: 1840/16 301 m.). f) Masif siyah cevherin mikroskobik görüntüsü (Örnek no: 1620/13 123 m.). (Pr: Pirit, Kp: Kalkopirit, B: Bornit, Sf: Sfalerit, G: Galen, K: Kuvars).



Şekil 3.9. a) Cevherleşmenin yoğunlaştığı yerlerde görülen baritler (Örnek no: 1840/16 197 m.) b) Masif sarı cevherde markazite dönüşmüş piritlerin parlak kesitteki görünümü (Örnek no: 1720/5 146 m.), c) Masif sarı cevherde kataklastik piritin aralarını dolduran kalkopiritin mikroskopik görünümü (Örnek no: 1760/17 152 m.). d) Kalkopiritle birlikte kolloform doku gösteren piritlerin mikroskopik görünümü (Örnek no:1660/26 164 m.). e) Kalkopiritlerin bornite dönüşümü (Örnek no: 1840/16 67 m.). f) Kalkozin – kovellin tarafından ornatılan kalkopiritin parlak kesitteki görünümü (Örnek no:1840/16 301 m.). (Ba: Barit, Op: Opak mineral, Pr: Pirit, M: Markazit Kp: Kalkopirit, Sf: Sfalerit B: Bornit, Kz-Kv: Kalkozin- Kovellin).

Ufalanabilir cevher de kendi içerisinde ufalanabilir siyah ve ufalanabilir sarı cevher olarak iki gruba ayrılabilir. Ufalanabilir siyah cevher çok az bağlayıcı malzeme içerir ve bol gözeneklidir. Ufalanabilir sarı cevherde matriks boşluklu bir yapı gösterir ve gözenek oranı % 20 ye kadar ulaşabilir. Kalkopirit ya küçük taneler halinde matriks içinde, ya

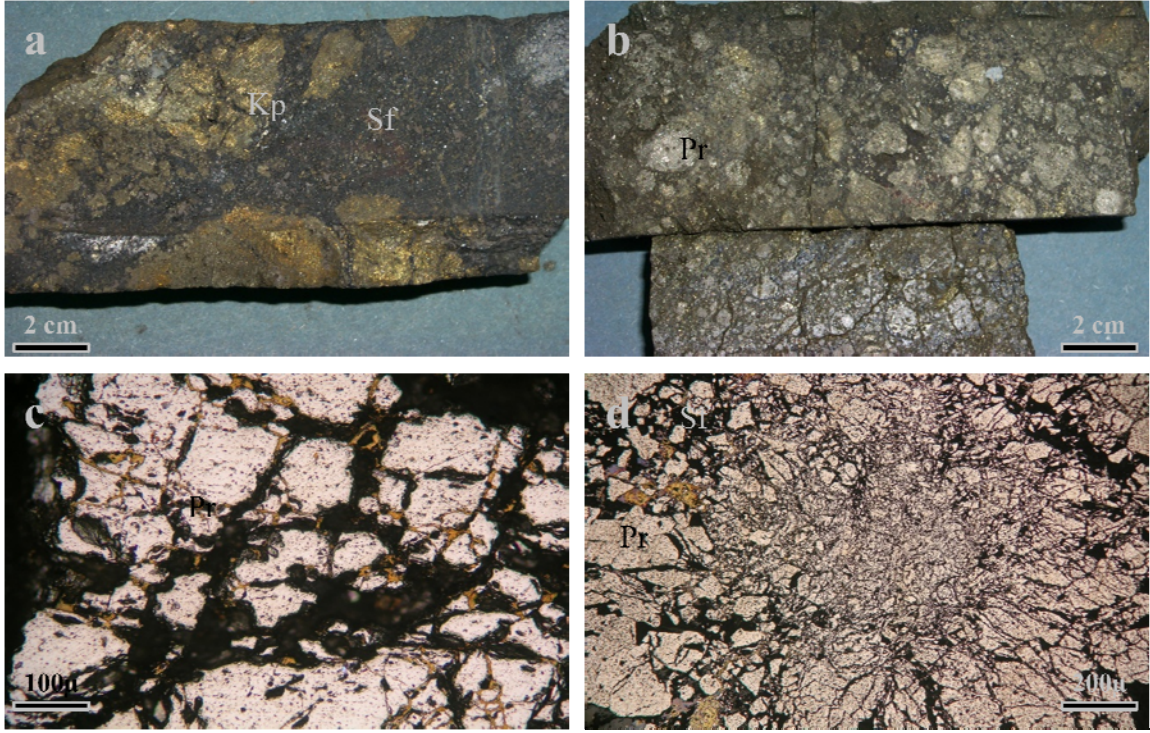
damarcıklar halinde matriksi oluşturan mineraller içinde, ya da pirit ve sfalerit kristallerinin etrafını saran zarlar halinde bulunur.

3.3.2.2.1.3. Ağsal Cevher

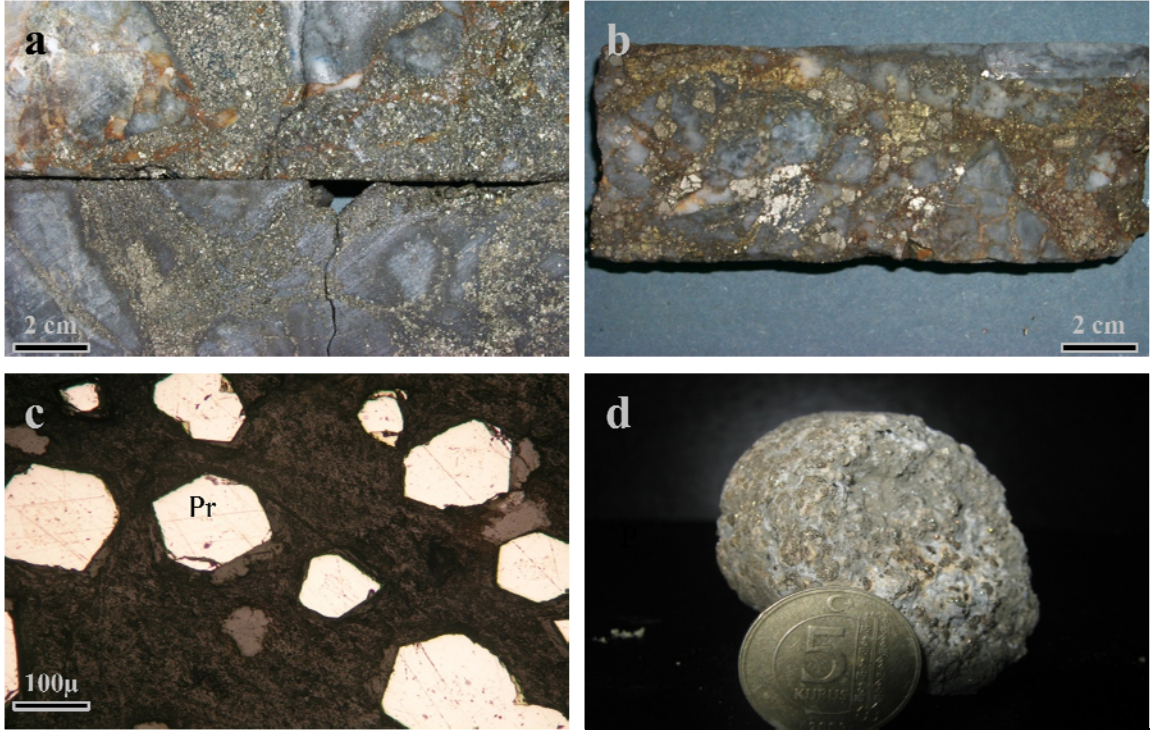
Ağsal cevher masif merceğin tabanında yer alır ve üç ayrı alt grup olarak sınıflandırılabilir: piritli damarcıklar (Şekil 3.11a), kalkopiritli damarcıklar (Şekil 3.11b) ve taban ağsal cevheri. Piritli damar tipi cevher çoğunlukla kilden oluşan bir matriks içinde >%40 öz şekilli pirit kristallerinden oluşur. Kalkopirit ve sfalerit miktarı önemsizdir. Pirit kristallerinin boyutları 0.5 ile 2 mm arasında değişir. Sarı cevherin tabanında yer alır ve şu anda ekonomik değildir. Kalkopirit oranının artmasına bağlı olarak pirit damarcıklı cevher kalkopirit damarcıklı cevhere geçiş yapar. Bu cevher türünde kil matriks içindeki öz ve yarı öz şekilli pirit kristalleri pirit, kalkopirit ve az oranda sfalerit tarafından kesilir. Daha alt zonlara, taban kayacına doğru gidildiğinde bu iki cevher türü taban ağsal cevherine geçiş yapar. Pirit-kalkopirit ve kuvarsdan oluşan bu zon cevher merceğinin tabanında silisleşmiş ve breşik dasitik taban kayacı içinde baca şekilli bir zon halindedir (Akçay ve Arar, 2010).

3.3.2.2.1.4. Saçınımlı Cevher

Bu tip cevherin esas minerali pirittir. Piritler öz ve yarı öz şekilli olup 5- 600 arasında değişen boyutlardadır (Şekil 3.11c). Piritten başka markazit, kalkopirit, sfalerit ve galen zaman zaman rastlanan diğer minerallerdir. Çoğunlukla silisleşmiş, bazı durumlarda silisleşmiş- kloritleşmiş- killeşmiş, nadiren de killeşmiş bir yan kayaç içinde dağılmışlardır (Şekil3.11d). Killeşmenin aşırı yaygın olduğu durumlarda iri pirit kristallerini el ile toplayabilmek mümkündür.



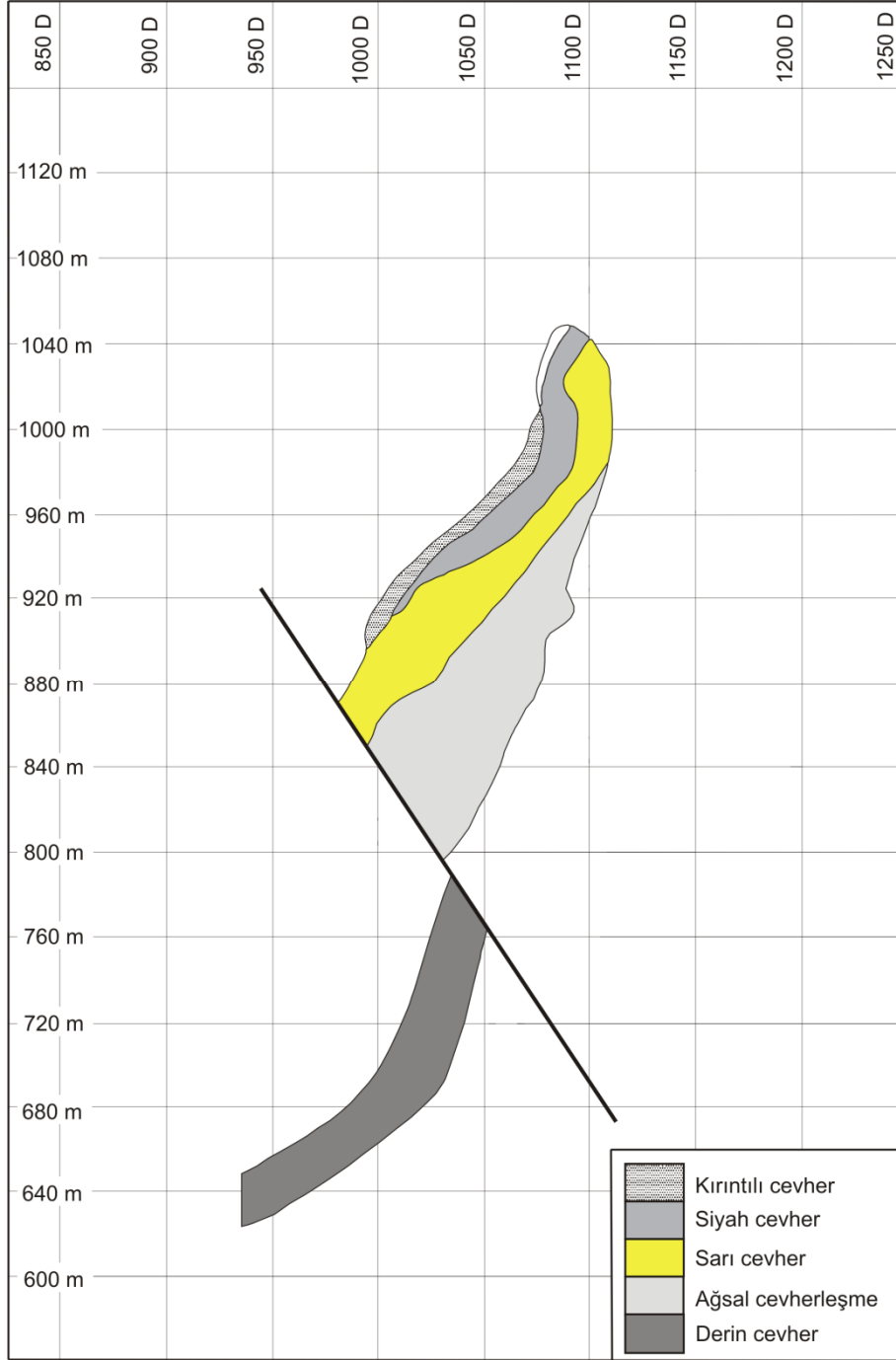
Şekil 3.10. a) Klastik siyah cevherin makroskobik görünümü. b) Klastik sarı cevherin makroskobik görünümü. c ve d) Klastik sarı cevherin mikroskobik görünümü (Örnek no: 1840/16 301 m. ve 1760/17 136 m.) (Kp: Kalkopirit, Sf: Sfalerit, Pr: Pirit).



Şekil 3.11. a) Pirit damarcıklı cevherin makroskobik görünümü. b) Kalkopirit damarcıklı cevherin makroskobik görünümü. c) Saçınımlı cevherin parlak kesitteki görünümü (Örnek no: 1760/17 152 m.). d) Saçınımlı cevherin makroskobik görünümü (Örnek no: 1740/16 213 m.) (Pr: Pirit).

3.3.2.2.2. Cevherde Görülen Zonlanmalar

Sondaj verilerinden hazırlanan enine kesitlere göre masif cevher konveks yapılı bir mercek halindedir (Şekil 3.12). Mercek K 30° D doğrultulu ve 60°- 80° KB'ya eğimli olup, 15°- 20° ile KD'ya doğru yatımlıdır (Akçay ve Arar,1999). 1520-1720 kesitleri arasında merceğin güney kesiminde mercek- taban kayacı dokanağı son derece düzgün, fakat mercek-tavan kayacı dokanağı konveks yapılıdır. Bu zonda dasitik mineralojik bileşim gösteren taban kayacı 70⁰'lik bir eğimle KB'ya doğru eğimlidir. 1760- 1880 kesitleri arasında cevher yan kayaç dokanaklarında değişimler göze çarpar. Bu zonda mercek tavan kayacı dokanağı düzgün bir yapı sergilerken, taban kayacı dokanağı ise konveks bir morfolojiye sahiptir (Akçay ve Arar, 2010). Çayeli masif sülfür cevherinin kuzey ve güney bölgelerinde yan kayaç ile farklı litolojik ilişki cevherin yapısında da kendisini göstermektedir. Cevher merceği bazı kesitlerde devamlılık gösterse de genel olarak yanal değişimler söz konusudur. Hatta bazı cevher tipleri tamamen kesilmiştir ki bu durum muhtemelen bir faylanma veya kayma ile açıklanabilir (Akçay ve Arar,1999).



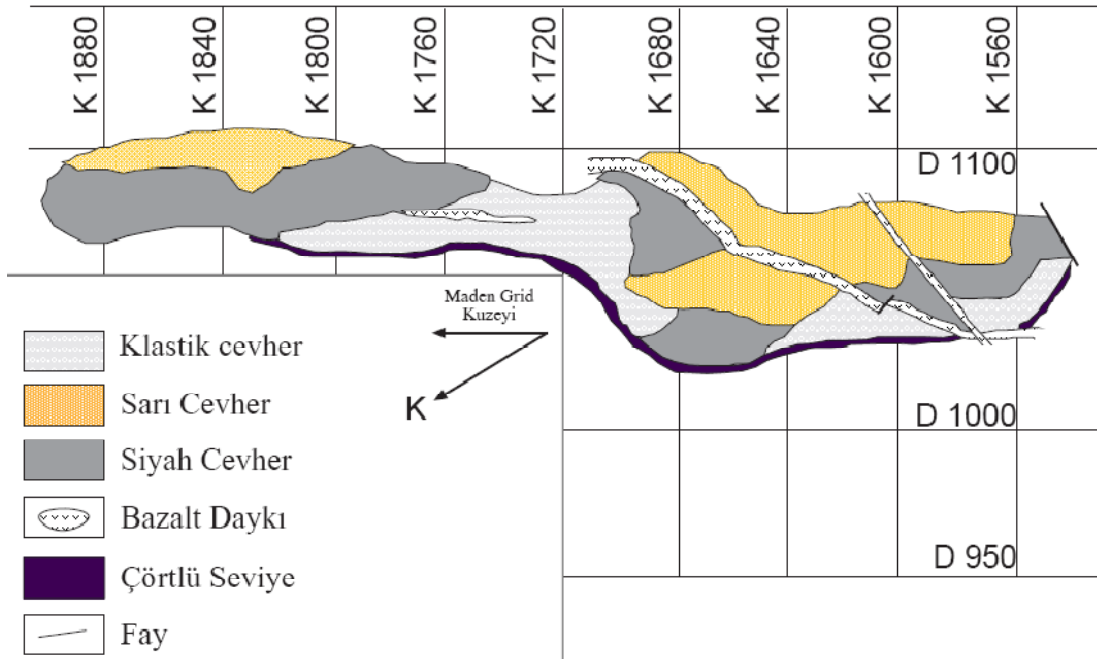
Şekil 3.12. Çayeli masif sülfid merceğinin K1840 enine kesiti (Akçay ve Arar,2010).

Cevher merceği kendi içerisinde homojen olmayıp, kuzeyden güneye doğru yanal olarak farklılık göstermektedir (Şekil 3.13.). Buna göre mercek üç alt bölgeye ayrılabilir:

K 1740- K 1900 arası kuzey zon,

K 1700- K 1740 arası orta zon,

K 1540- K 1700 arası ise güney zon olarak adlandırılır.



Şekil 3.13. Çayeli masif sülfid yatağının 1000 m. (deniz seviyesindeki) kesiti (Akçay ve Arar, 1999'dan değiştirilerek).

Bu zonlar, tamamen cevherin mineralojik bileşimi ve dokusal özelliklerine göre ayrılmıştır. Kuzey zonda Kuroko tip masif sülfid yataklarına uygun normal bir stratigrafik dizinim mevcuttur. Merceğin üst kesiminde siyah cevher, alt kesiminde ise sarı cevher yer almaktadır. Orta zona doğru siyah cevherin üzerinde kırıntılı cevher bulunur. Merceğin tavanında kırmızı renkli çörtlü bir seviye yer alır (Şekil 3.13). 1000 m seviyesinde Kuzey zonun en uç noktasında 16 m olan olan görünür yüzlek genişliği K 1800 kesitinde 19 m'ye ulaşır, fakat tekrar azalmaya başlayarak, orta zonda 10 m'nin altına düşer. Ağsal cevherleşme ve yoğun piritli arjilik alterasyon en yaygın olarak kuzey zonun tabanındaki taban kayaçlarında gelişmiştir (Akçay ve Arar, 2010).

K 1680 ve K 1720 kesitleri arasındaki bölgeden elde edilen veriler gerek Kuzey gerekse Güney zondan elde edilen verilerle uyuşmamaktadır. Bu durum özellikle 960 m. seviyesinin üzerinde daha belirgindir. Bu nedenle bu bölge Orta zon olarak ayrılmıştır. Sadece kırıntılı cevher tipinin yer aldığı bu zonda kuzey ve güney zonda var olan cevher tipleri devamlılık göstermezler (Akçay ve Arar, 2010). Buna göre cevher muhtemelen tek çıkışlı olmayıp, birden fazla noktadan havzaya yayılmıştır. Oluşan masif özellikli cevherin ilksel ortamından kayarak hareketi ilk orta zonda gözlenen kırıntılı (konglomeratik/ breşik) dokusal özelliği olan cevher oluşmuştur.

Güney zon cevher merceğinin en geniş olduğu kesime karşılık gelir. Orta zondan itibaren kalınlaşmaya başlayan mercek K 1680 kesitinde 36,75 m yüzey genişliğine erişir. Genişlik güneye doğru azalarak K 1640 ve K 1560 kesitleri arasında ortalama 23m olarak devam eder ve son bulur (Akçay ve Arar, 1999). Güney zon diğer zonlara göre daha karışık bir istiflenme gösterir. Tavanda genellikle 1 m' den az kalınlığı olan kırıntılı cevher yer alır. Kalınlığı güneye doğru artan kırıntılı cevher, ince fakat devamlı, karbonatça zengin çörtlü bir seviye ile örtülüdür. Bazı lokasyonlarda bu seviyenin yerini kırmızı renkli bir tuf tabakası alır (Akçay ve Arar, 1999). Merceğin tabanında normal istiflenmeye uygun sarı cevher yer alır. Sarı cevher kuzey zona göre bu zonda daha geniştir ve dışa doğru, merceğin dış kesimlerinde daha iyi gelişmiş olan siyah cevhere geçiş gösterir. Güney zonun tabanındaki yan kayaç killeşmiş piritik bir özelliktedir fakat kuzey zondaki gibi zengin ağsal cevherleşme içermez. Kalkopiritçe zengin ağsal cevherleşme bu bölgede merceğin üst kesiminde ve taban dokanağı boyunca görülür. Güney zona ait karakteristik özelliklerden biri de porfiritik dokulu bazaltik daykların varlığıdır. Cevheri keserek yerleşen ve değişen doğrultu ve eğimler gösteren bu dayklar taban ve tavan kayaçları içinde bir devamlılık gösterirler. Pembeden kahverengiye kadar değişen bu renkler gösterirler ki bu renk değişimi hidrotermal olaylara bağlı olarak gelişen yıkanma ile yakından ilgilidir. Zira renk değişimi kısa bir aralıkta gelişmekte fakat buna karşın mineralojik bir değişim gözlenmemektedir (Akçay ve Arar, 1999).

Farklı seviyelerden hazırlanan plan kesitlerin incelenmesinde mercek boyunca dikey yönde de homojen yapılı olmadığını ve dört ayrı zona ayrılabilceğini ortaya koymaktadır (Akçay ve Arar, 2010): 1) 980 m seviyesinin üzeri, 2) 900 - 980m seviyeleri arası, 3) 820 - 900 m seviyeleri arası ve 4) 820 m seviyesinin altı. 1. zonda, özellikle tavan kayacına yakın kesimlerde cevher merceği kalınlığı yaklaşık 2 m olan kırmızı tuf seviyeleriyle ara katkılıdır. Bu sedimanter katmanlar 2. Zonda görülmez. 2. zonda cevher K1760 kesitinden itibaren kalınlaşarak 940-920 m seviyeleri arasında 120 m lik bir kalınlığa erişir. Mercek daha basit bir görünüme sahiptir. Farklı cevher tipleri birbiriyle karışmaz ve düzenlilik arz eder. Siyah ve sarı cevher arasındaki dokanak keskin ve dike yakındır. 3. Zonda (900 -820 m arası) merceğin güney zonunun kalınlığında bir azalma görülür ve kalınlık farklı kesitlerde 20-30 m arasında değişir. Cevherin kuzey kesiminde ise masif merceğin kalınlığında bir azalma görülürken ağsal cevherin kalınlığında bir artış görülür. Bu durum derine doğru masif cevher kütesinin oluşumuna yol açan besleme kanallarına geçildiğinin göstergesidir. 820 m seviyesi altında yer alan 4. Zon için yeterli veri bulunmamaktadır. Bu

zonda cevher sadece K1760 ve K1840 kesitleri arasında kesilmiş olup, maksimum kalınlık (65 m) K1800 kesitinde elde edilmiştir. Cevher çoğunlukla kırıntılı ve siyah cevher özelliğindedir.

3.4. Yan Kayaçlarda Görülen Hidrotermal Alterasyonlar

Kayaçlarda meydana gelen alterasyon mineralojisini ve mineral parajenezini belirlemek amacıyla yapılan petrografik incelemelerde, tüm kayaçların alterasyondan az veya çok etkilendiği görülmektedir. Masif Sülfid merceğinin tabanında bulunan ve cevheri içeren dasitik birim hidrotermal alterasyondan çok yoğun olarak etkilenmiştir. Cevherin tavanını oluşturan mor tüflerde ise dasitik birime göre daha zayıf bir hidrotermal alterasyon görülmektedir. Silisleşme, killeşme, kloritleşme, karbonatlaşma, hematitleşme ve az oranda da serizitleşme maden sahasında gözlenen alterasyon türlerini oluşturur.

3.4.1. Silisleşme

Silisleşme, en yaygın olarak cevheri içeren taban dasitlerinde görülür. Hem kayacın matriksinin bünyesinde bulunan minerallerin silisleşmesi hem de damarcıklar halinde gözlenmektedir (Şekil 3.14.).Cevherin tavanında bulunan mor tüflerde ise çok az oranda görülür. El örneklerinde beyaz, sarımsı beyaz renklere ve sert bir yapıdadır. Plajiyoklaz silisleşmeden en çok etkilenen mineraldir. Taban dasitlerinde cevherin tabanındaki ağsal cevherleşmede gözlenen yoğun kuvars dolgulu damarcıklar da silisleşmenin yaygın etkisini göstermektedir. Bu ortamlarda kuvars damarcıkları değişken kalınlığa sahiptirler. Cevher merceğinin tabanında ağsal damarcıkların mevcut olmadığı ortamlarda da yer yer gözlenen damarcıklar genellikle mm. ölçeğinde bir kalınlığa sahiptir.

3.4.2. Kloritleşme

Tabandaki dasitik birim içerisindeki tüflerde yaygın olarak görülen bir alterasyondur. Diğer birimlerde de yer yer izlenen kloritleşmeye mor tüflerde killeşme ve az miktarda da serizitleşme eşlik eder. Sedimanter birimde alttaki tuf seviyelerine doğru kloritleşmede bir

azalma izlenmektedir. Kloritleşme cevheri ve cevheri içeren birimleri keserek yerleşen bazik dayklarla da gözlenmektedir.

Kloritleşmenin yoğun olduğu örnekler yeşilimsi renklindedir. Mikroskobik incelemelerde tek nikolde (Şekil 3.15a) belirgin bir yeşil renk gösterirken çift nikolde ise lacivert egemendir (Şekil 3.15b).



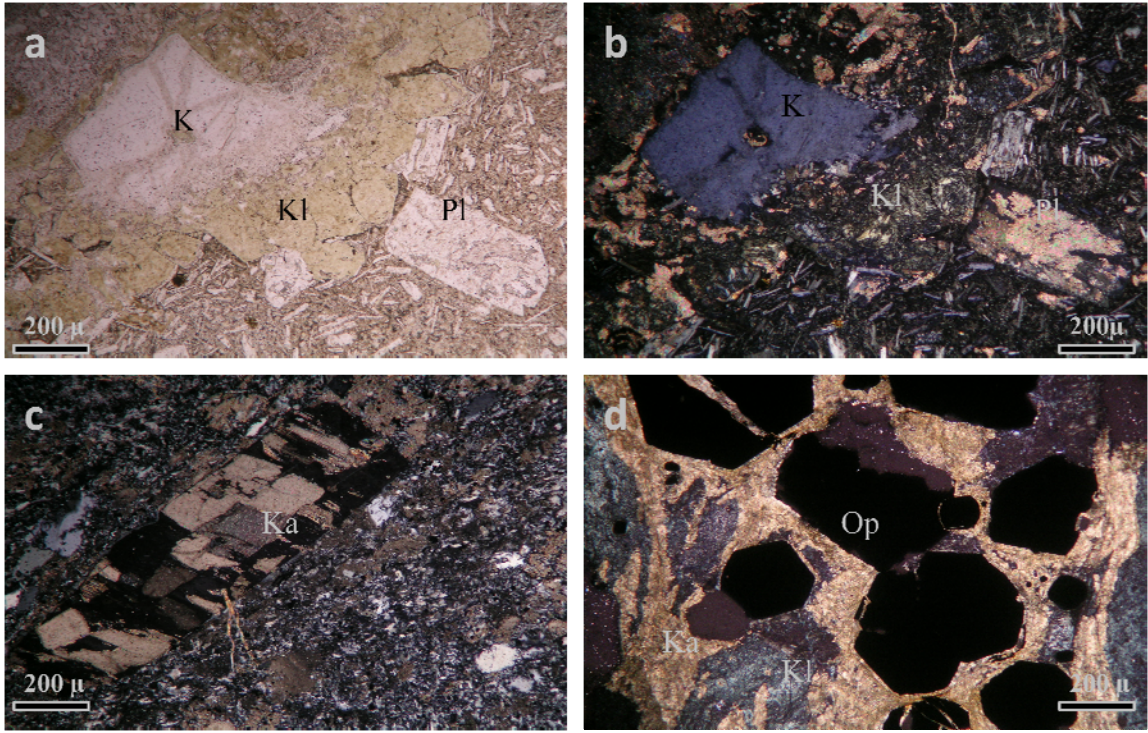
Şekil 3.14. Çayeli masif sülfid merceğinin tabanındaki silisleşmenin kuvars damarı ve matriksteki görünümü (Ç.N. Örnek no: 1740/6 147 m.). (K: Kuvars, Op: Opak mineral).

3.4.3. Karbonatlaşma

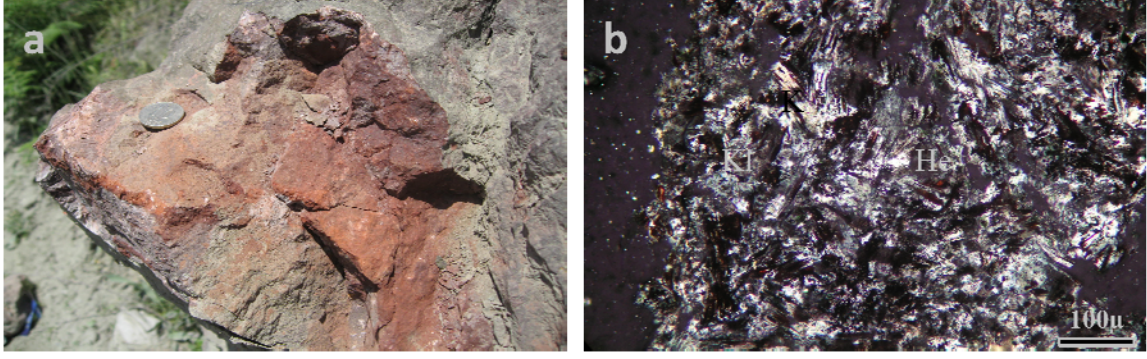
Karbonatlaşma dasitlerde ve mor tüflerde görülen alterasyondur. Hem plajiyoklaz fenokristallerinde hem de matrikste görülmektedir (Şekil 3.15c). Genellikle damar, benek ve topaklar olarak bulunmaktadır. Bazı örneklerde opak minerallerin etrafını sarmış olarak görülmektedir. İnce kesitlerde belirlenen karbonatlaşmanın kalsit ve dolomit olduğu yapılan XRD analizleri sonucunda tespit edilmiştir (Şekil 3.20a ve b) Karbonatlaşma çoğunlukla kloritleşme ile birlikte görülür ve propilitik alterasyon ürünü olarak ortaya çıkar (Şekil 3.15d).

3.4.4. Hematitleşme

Mor tüfler için en karakteristik alterasyon hematitleşmedir. Mor tüflerdeki morumsu-kırmızı renk bu hematitleşmeden meydana gelmiştir. Hatta tavan dasitleri için hematitli dasit adlandırılmasının bazı araştırmacılar tarafından kullanılması hematitleşme yüzündendir. Yer yer tabandaki dasitik birimde de görülmektedir (Şekil 3.16a). Hematitler gerek kuvars dışındaki parçacıklarda gerekse hamur kısmında görülmektedir. Hematitler çoğunlukla taneler, benekler, bantlar, çubuklar halinde mor tüflerin bünyesinde yer alırlar (Şekil 3.16b).



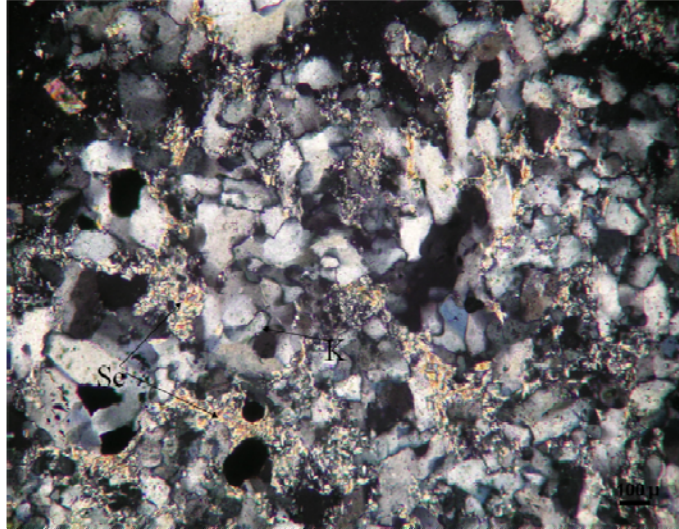
Şekil 3.15. a) Bazaltik tuf örneğinde kloritleşme tek nikol, b) Bazaltik tuf örneğinde kloritleşme çapraz nikol görüntüsü (Örnek no: 1840/16 39 m.). c) Dasitlerdeki plajiyoklazda gözlenen karbonatlaşma (Ç.N. Örnek no: 1660/26 40 m.). d) Opak mineralleri çevreleyen karbonatlaşma (Ç.N. Örnek no: 1660/26 183 m.). (Kl: Klorit, Pl: Plajiyoklaz, K: Kuvars Ka: Karbonatlaşma, Op: Opak mineral).



Şekil 3.16. a) Mor tüflerde gözlenen hematitleşme. b) Hematitleşmenin mikroskobik görünümü (Ç.N. Örnek no: 1800/1 47 m.). (He: Hematitleşme, Kl: Kloritleşme).

3.4.5. Serizitleşme

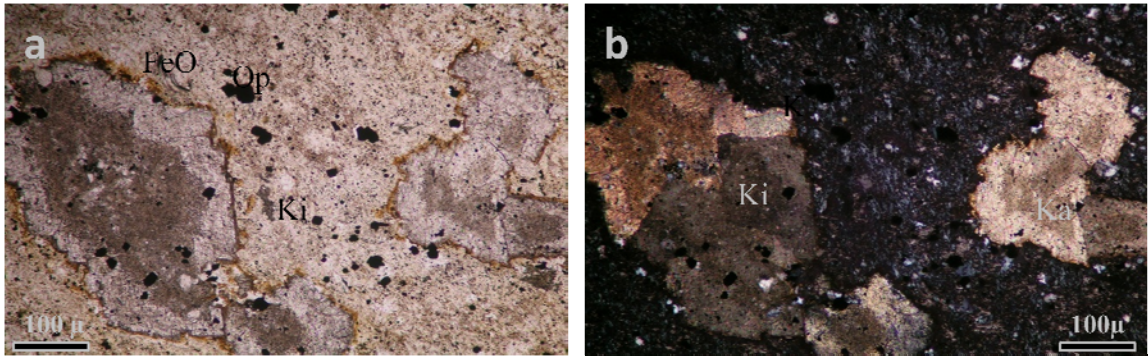
Serizitleşme diğer alterasyon türlerine göre yaygın ve kuvvetli bir alterasyon değildir (Şekil 3.17). Genellikle killeşme ve kloritleşmeyle birlikte, özellikle tabandaki dasitlerde görülür.



Şekil 3.17. Serizitleşmenin ince kesitteki görünümü (Ç.N., Örnek no: 1840/16 197 m.). (Se: Serizitleşme, K: Kuvars).

3.4.6. Killeşme

Killeşme hem taban kayaçları ve hem de tavan kayaçlarında görülen bir alterasyon türüdür.. Bu alterasyon tavandaki mor tüflerde kuvars dışındaki mineraller ve kuvars parçaları ile matriksteki minerallerin kil minerallerine dönüşmesiyle meydana gelmiştir (Şekil 3.18 a ve b). Sedimanter birimde az miktarda da olsa görülen killeşme bu seviyede alttaki tüf seviyelerine doğru artış göstermektedir. Cevherin tavanında yer alan tüflerde killeşme bazı durumlarda o kadar yoğun gelişmiştir ki, bu gibi bölgelerde galeride özel tahkimat ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir. Su alıp şişme özelliği gösterdiklerinden ötürü yoğun killeşme olan zonlarda tavanda parça düşmeleri söz konusudur. El örneklerinde beyaz, sarımsı beyaz renklerde ve dağılgan bir yapıdadır. Kil mineralleri XRD analizleri ile tespit edilmiş olup, başlıca simektit, kaolen ve az oranda da illit grubu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Tüflerde gözlenen killeşme (Örnek no: 1800/1 167 m.). a) Tek nikol, b) Çapraz nikol. (Ki: Killeşme, Ka: Karbonat, Op: Opak mineral, FeO: Fe Oksit boyamaları).

3.5. Kil Mineralojisi

3.5.1. X-Işımları İncelemeleri

X-ışınları difraktogramları kullanılarak kayaçların yarı nicel bileşimlerinin hesaplanması pek çok araştırmacının dikkatini çekmiş ve bunun için farklı eşitlikler öne sürülmüştür (Müller, 1967; Smith vd., 1987; Moore ve Reynolds, 1997; Środoń vd., 2001). Tüm kayaç nicel mineralojik bileşim yüzdelerinin hesaplanmasında minerallerin

(001) yansımalarının şiddeti kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formül aşağıdaki gibidir.

$$\%a = \frac{Xa * \mu a}{Xa * \mu a + Xb * \mu b + Xc * \mu c \dots}$$

Formülde a, kayaçtaki “a” mineralinin yüzdesini; X, mineralin difraktogramdaki yansımalarının cm cinsinden yüksekliğini; μ , mineralin adsorbsiyon katsayısını (J.C.P.D.S., 1990) ifade etmektedir. Burada dikkati çeken en önemli nokta, elde edilecek sayısal değerlerin minerallerin kayaç içerisindeki % miktarlarını vermekten ziyade birbirlerine görece oranını ifade etmesidir. Çünkü, kayaç içerisinde bulunan minerallerin hepsini X-ışınları difraktogramlarında tespit etmek oldukça güçtür. Bu nedenle hesaplanan sayısal değerlerde hata payı bazı durumlarda $\pm \% 10$ 'a kadar ulaşabilir.

3.5.1.1. Tüm Kayaç İncelemeleri

Çayeli Masif Sülfid Yatağından alınan örneklerden 37 adet tüm kayaç XRD hesaplaması yapılmıştır. Bu örneklerin analiz sonuçları Tablo 3.1.'de verilmiştir. Tüm kayaçtan yapılan XRD incelemeleri sonucu kayaçların tüm kayaç mineralojik bileşimleri saptanmıştır. İnceleme sonuçlarına göre tespit edilen mineraller kuvars, feldispat, simektit (montmorillonit), klorit (pennin), illit, kaolen, dolomit, kalsit, kalkopirit, hematit ve pirittir.

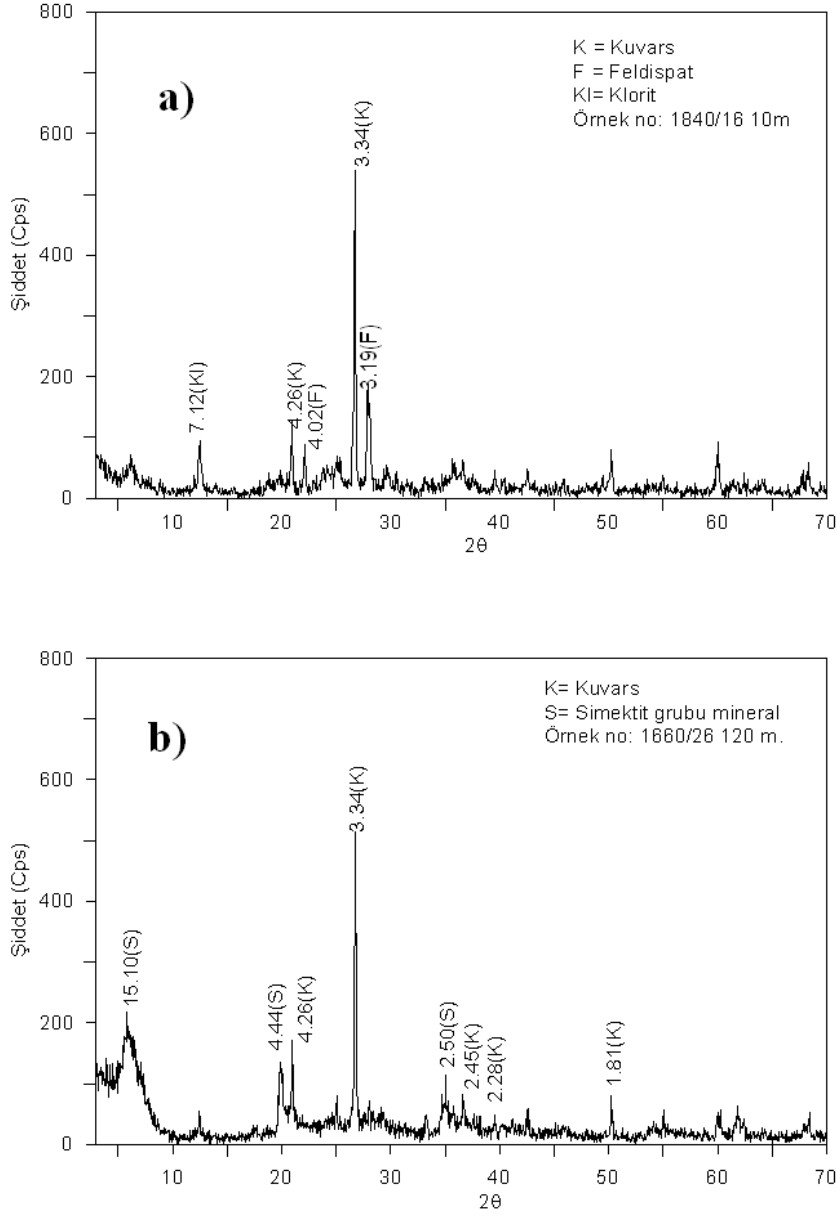
Tablo 3.2. Tüm kayaç XRD difraktogramlarına göre hazırlanmış % mineralojik bileşimler (K: Kuvars, F: Feldispat, S: Simektit, Kl: Klorit, I: İllit, Kao: Kaolen, D: Dolomit, Ka: Kalsit, H: Hematit, Kp: Kalkopirit, P: Pirit)

Örnek No	K	F	S	Kl	I	Kao	D	Ka	H	Kp	P
1520/7 42 m.	37	0	12	0	0	40	11	0	0	0	0
1520/7 62 m.	50	0	20	0	0	30	0	0	0	0	0
1520/7 90 m.	17	0	8	0	0	34	36	0	0	0	5
1660/26 50 m.	77	8	9	0	3	2	0	1	0	0	0
1660/26 89 m.	32	10	39	0	0	9	10	0	0	0	0
1660/26 98 m.	36	0	11	0	0	51	2	0	0	0	0
1660/26 122 m.	45	0	47	0	0	8	0	0	0	0	0
1660/26 151 m.	35	0	27	0	0	28	10	0	0	0	0
1660/26 184 m.	0	0	0	63	0	0	37	0	0	0	0
1660/29 174 m.	82	5	10	0	0	3	0	0	0	0	0
1660/29 256 m.	0	0	30	70	0	0	0	0	0	0	0
1660/29 263 m.	0	0	0	82	0	0	18	0	0	0	0

Tablo 3.2'nin devamı

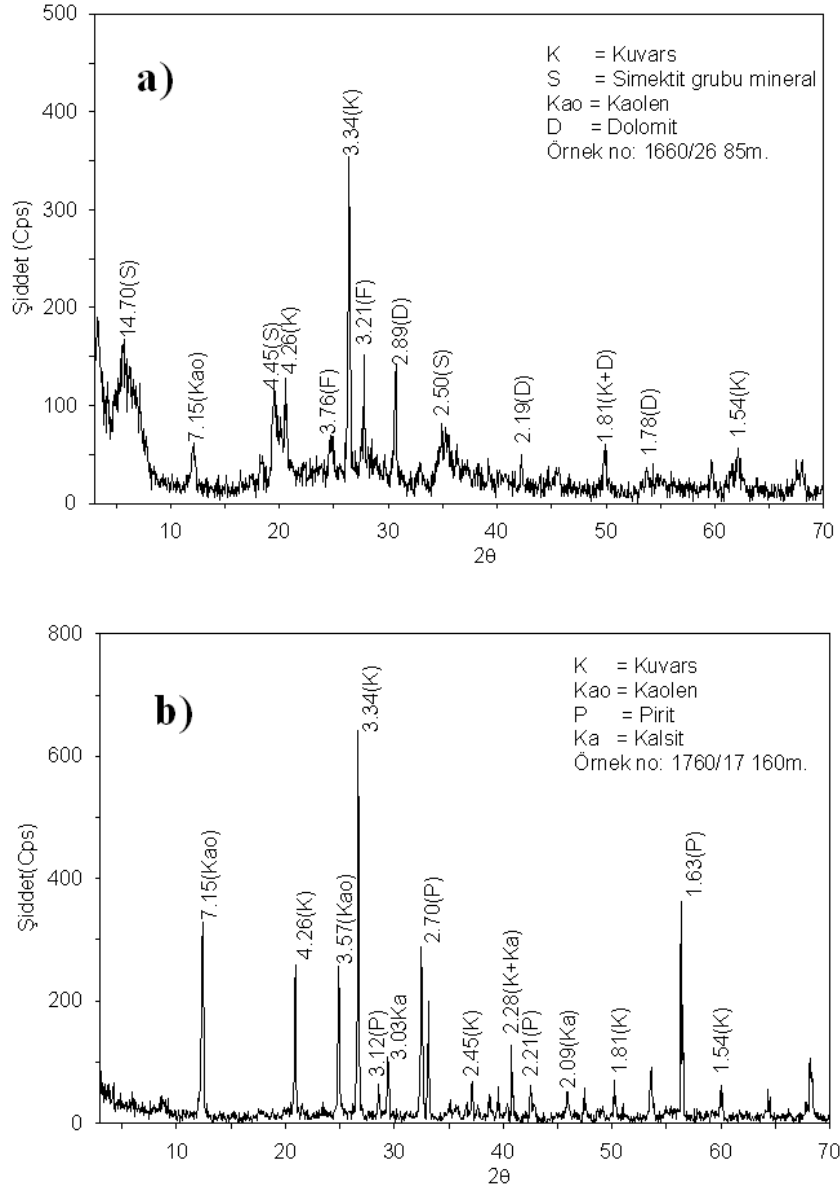
1720/9 162 m.	37	0	9	0	45	0	0	0	0	0	9
1740/16 194 m.	51	0	29	0	2	12	6	0	0	0	0
1740/16 194 m.	0	0	20	0	0	70	4	0	3	0	3
1740/16 205 m.	0	0	6	0	0	15	79	0	0	0	0
1760/17 104 m.	79	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0
1760/17 148 m.	0	0	0	0	0	33	8	0	0	31	28
1760/17 158 m.	40	0	0	0	0	45	0	5	0	0	10
1760/17 200 m.	53	0	9	0	7	7	0	0	0	15	9
1760/17 242 m.	3	0	0	0	24	67	0	0	0	0	6
1780/16 155 m.	48	0	0	0	2	20	27	0	1	0	2
1780/16 170 m.	63	0	0	0	8	29	0	0	0	0	0
1780/16 205 m.	68	0	0	0	14	18	0	0	0	0	0
1780/16 225 m.	74	0	0	0	10	7	9	0	0	0	0
1830/2 98 m.	16	0	0	0	28	28	20	0	0	0	8
1830/2 125 m.	63	0	0	0	7	21	0	5	0	0	4
1840/16 12 m	57	17	9	17	0	0	0	0	0	0	0
1840/16 55 m.	38	4	47	0	0	7	0	4	0	0	0
1840/16 203 m.	72	0	0	0	0	0	0	5	0	0	23
1840/16 322 m.	0	0	0	0	8	48	12	10	0	10	12
1920/2 230 m.	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	5
715 N09 başlangıç	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	40
715 N09 sağ tavan	0	0	0	0	0	65	5	0	0	0	30
715 N09	0	0	25	0	0	55	0	0	9	0	11
715 FWC	0	0	26	0	0	64	4	0	2	0	4
730 FWC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	80

Tüm kayaç XRD analizleri yapılan 37 adet örneğin 24'ünde kuvars tespit edilmiş olup, % 3- 82 arasında değişen miktarlarda gözlenmiştir (Şekil 3.19a). Feldispat % 4-17 arasında değişen miktarlarda 4 örnekte görülmüştür (Şekil 3.19a). Simektit grubu mineraller (montmorillonit) 19 örnekte % 5'den % 47'ye kadar değişen miktarlar göstermektedir (Şekil 3.19b).



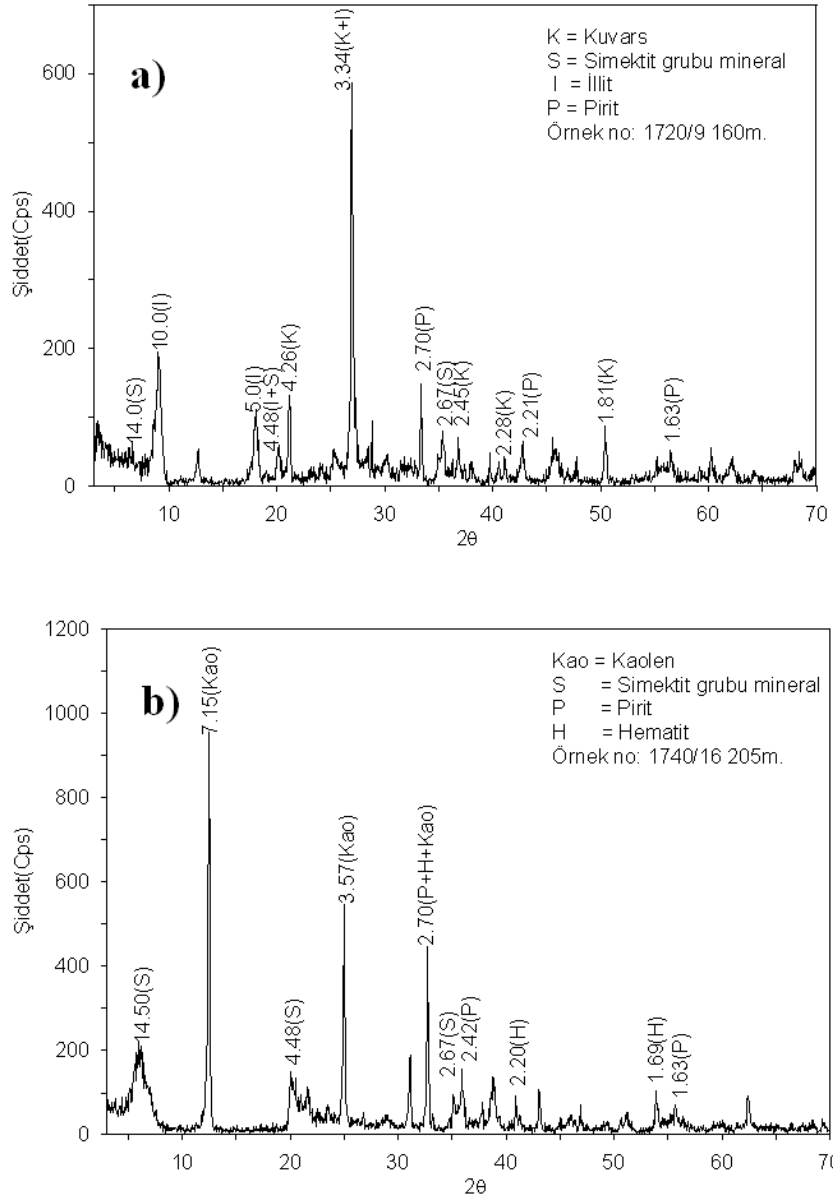
Şekil 3.19. a) Kuvars ve feldispatça zengin örneğe ait X-ışınları difraktogramı
b) Simektit içeren örneğe ait XRD grafiği (K: Kuvars, F: Feldispat, Kl:Klorit, S: Simektit grubu mineral).

Dolomit, analiz edilen örnekler in 17'sinde gözlenmiştir. Bolluk oranı % 2- 79 arasında değişmektedir.(Şekil 3.20a). Kalsit, 6 örnekte gözlenmiş olup genellikle % 1- 10 arasındadır (Şekil 3.20b).



Şekil 3.20. a) Dolomit içeren örneğe ait XRD grafiği b) Kalsit içeren örneğin X-ışınları grafiği (K: Kuvars, S: Simektit grubu mineral, Kao: Kaolen, D: Dolomit, P: Pirit, Ka: Kalsit).

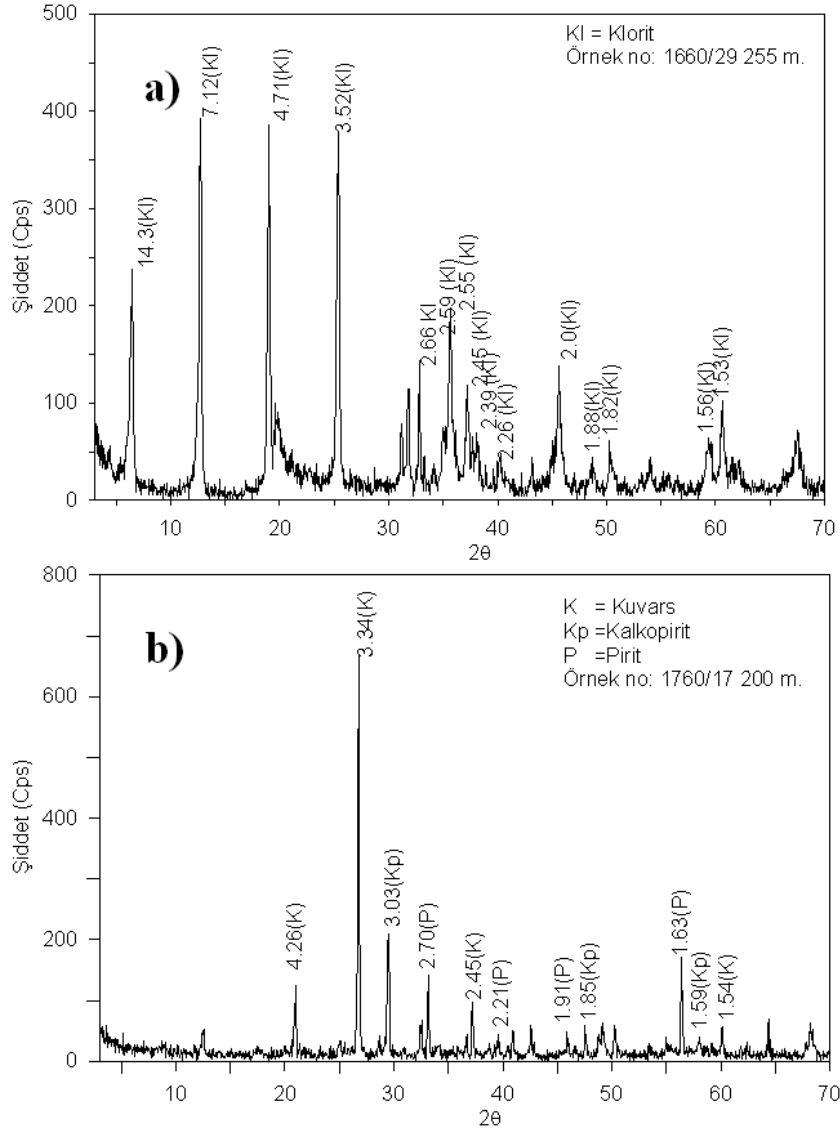
İllit minerali 37 örneğin 12'sinde görülmüş olup % 2-45 arasında değişmektedir (Şekil 3.21a). Kaolen, 30 örnekte % 2- 95 arasında değişen geniş bir aralığa sahiptir (Şekil 3.21b).



Şekil 3.21. a) İllit içeren örneğe ait X- ışınları difraktogramı b) Kaolenitçe zengin örneğin XRD grafiği (K: Kuvars, S: Simektit, I: İllit, P: Pirit, Kao: Kaolen, H: Hematit).

Klorit minerali (pennin) sadece 4 örnekte tespit edilmiş olup % miktarlarına bakılacak olursa 17- 82 arasında değişen değerlerdedir(Şekil 3.22a).

Hematit ve kalkopirit 4'er örnekte görülmekte olup hematitin % aralığı 1- 9 arasında (Şekil3.21b) iken kalkopiritin % aralığı ise 10-31'dir (Şekil 3.22b). Pirit 18 örnekte % 2- 80 arasında değişen miktarlarda tespit edilmiştir(Şekil 3.22b).



Şekil 3.22. a) Klorit içeren örneğin X-ışınları grafiği b) Kalkopirit ve piritçe zengin örneğe ait XRD difraktogramı (K: Kuvars, Kp: Kalkopirit, P: Pirit).

3.5.1.2. X- Işınları Kil Fraksiyonu İncelemeleri

Çalışma alanından alınan örneklerin tüm kayaç XRD analizleri sonucunda kil mineralleri açısından zengin olan 6 örnekten yapılan kil fraksiyonu çalışmaları sonucunda tespit edilen kil mineralleri kaolen, simektit grubu, illit ve klorittir. Bu 6 örneğin 4'ünde yapılan detay XRD analizleri sonucunda tek bir çeşit kil minerali gözlenmiştir. Diğer 2 örnekte ise simektit grubu kil mineralleri kaolene eşlik etmektedir.

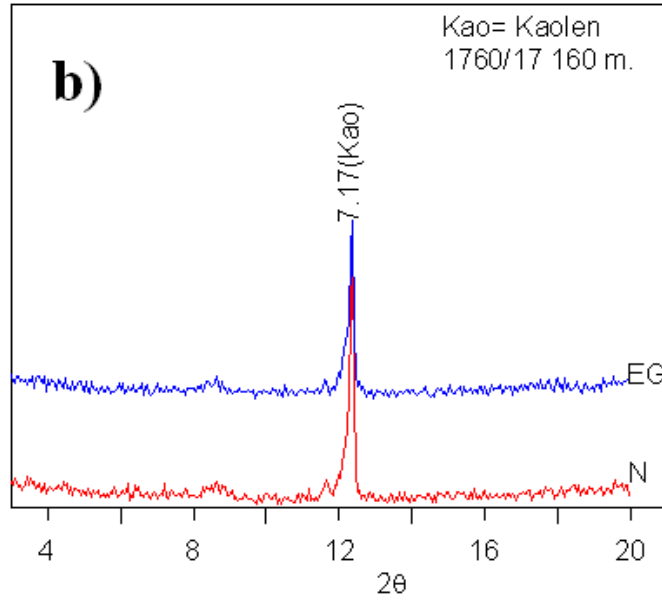
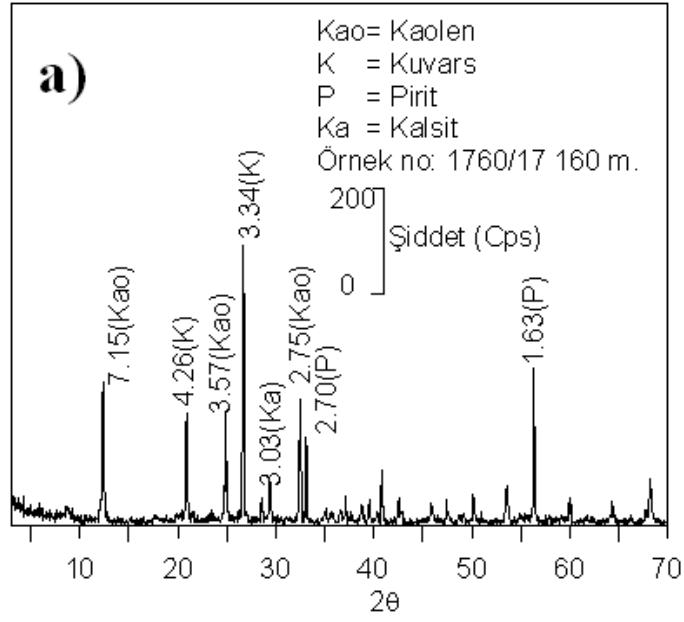
Kil fraksiyonu çalışması için zenginleştirilen kaolen mineralinin tüm kayaç XRD çekiminde kuvars, pirit ve kalsit eşlikçi mineraller olarak yer almaktadırlar (Şekil 3.23a). Tüm kayaçta % 45 bolluk miktarına sahip kaolenin detay analizi sonucu elde edilen XRD grafiği Şekil 3.23b'de gösterilmektedir. Difraktogramlarda 7.15 ve 3.57 Å piklerindeki yansımalar kaolene ait temel yansımalarıdır. 7.15 Å piki etilen glikolle doyurma işleminden sonra da değişikliğe uğramamıştır.

Simektitler üzerinde yapılan XRD tanımlamalarına bakıldığında, tüm kayaç çekiminde kuvarsla birliktelik göstermektedir (Şekil 3.24a). Simektit için tüm kayaç çekiminde 14.93 Å piki, yönlendirilmiş örneğin normal çekiminde 15.3 Å, etilen glikolle doyurulduktan sonra ise 17.0 Å olarak yansımıştır (Şekil 3.24b). Bu sonuca göre simektitin, montmorillonit olduğu tespit edilmiştir.

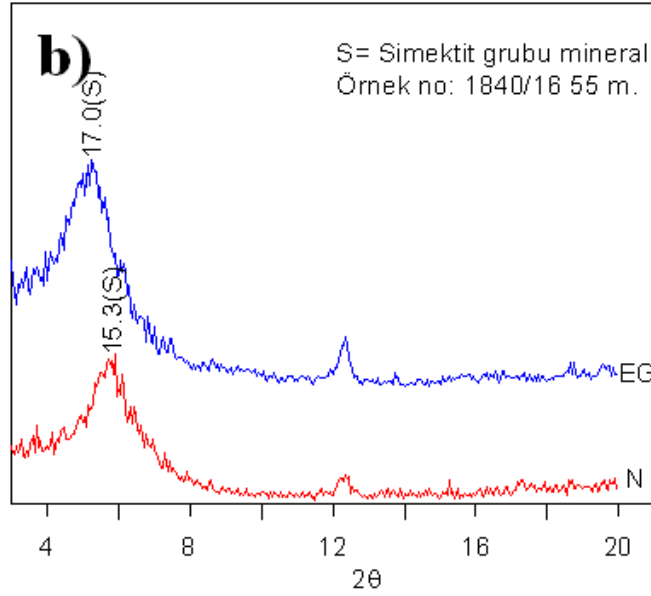
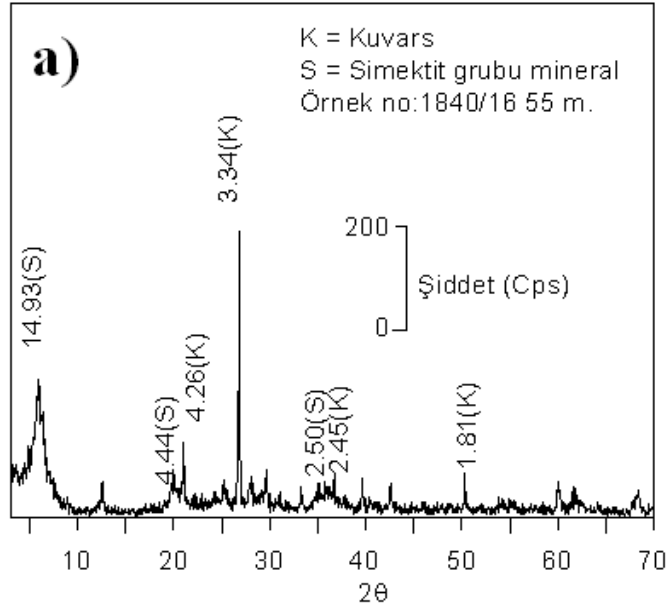
İllit minerali 10 Å, 5.0 Å ve 3.3 Å pikleri ile tanımlanmakta olup detay kil analizi yapılan örnekte kuvars ve hematit ile birliktelik göstermektedir (Şekil 3.25a). Yönlendirilmiş örnekte ve etilen glikolle doyurulmuş örnekte yapılan XRD çekimlerinde ise bu piklerde herhangi bir değişim saptanmamıştır (Şekil 3.25b).

Tüm kayaç XRD grafiğinde yer yer % 82 bollukdeğerine sahip klorite dolomit eşlik etmektedir (Şekil 3.26a). Difraktogramlara bakıldığında 14.3 Å, 7.12 Å, 4.71 Å ve 3.52 Å pikleri ile karakteristik olan klorit mineralinin yönlü örneğine ait normal çekim ve etilen glikolle doyurulma işleminden sonra çekilen XRD grafiğinde de bu piklerinde herhangi bir değişim göstermemektedir (Şekil 3.26b).

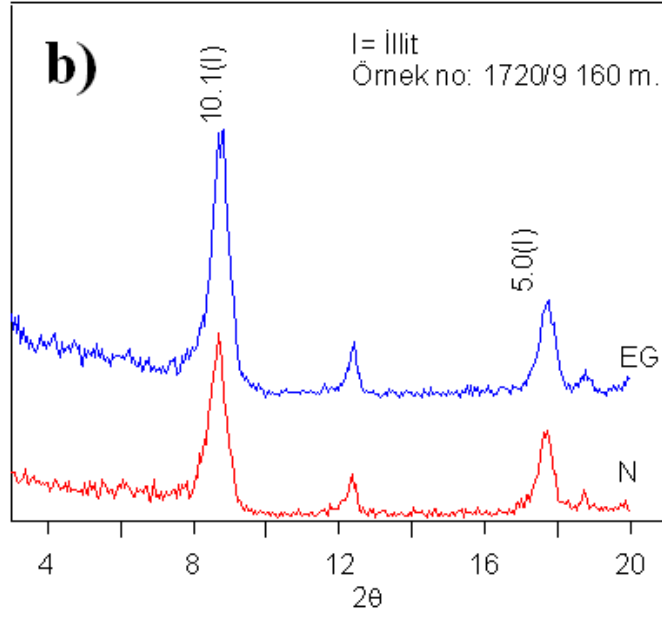
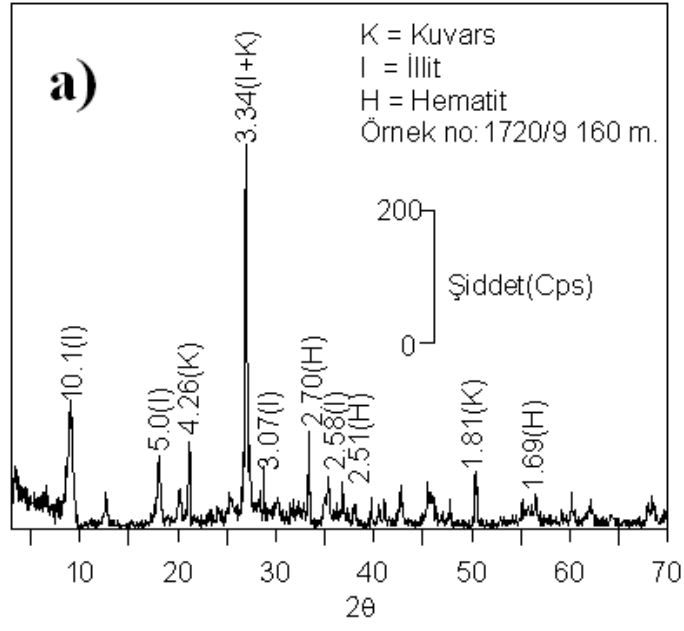
Kaolene simektitin eşlik ettiği örneklerde yapılan XRD çekimlerinde, tüm kayaçta 7.15 Å ve 3.57 Å pikleri kaolene ait, 15.1 Å piki ise simektite ait piklerdir (Şekil 3.27a). Yönlendirilmiş örneğin difraktogramlarında kaolene ait piklerde değişim gözlenmezken, simektite ait pik etilen glikolle doyurulduktan sonra 17.03 Å'a yükselmiştir (Şekil 3.27b).



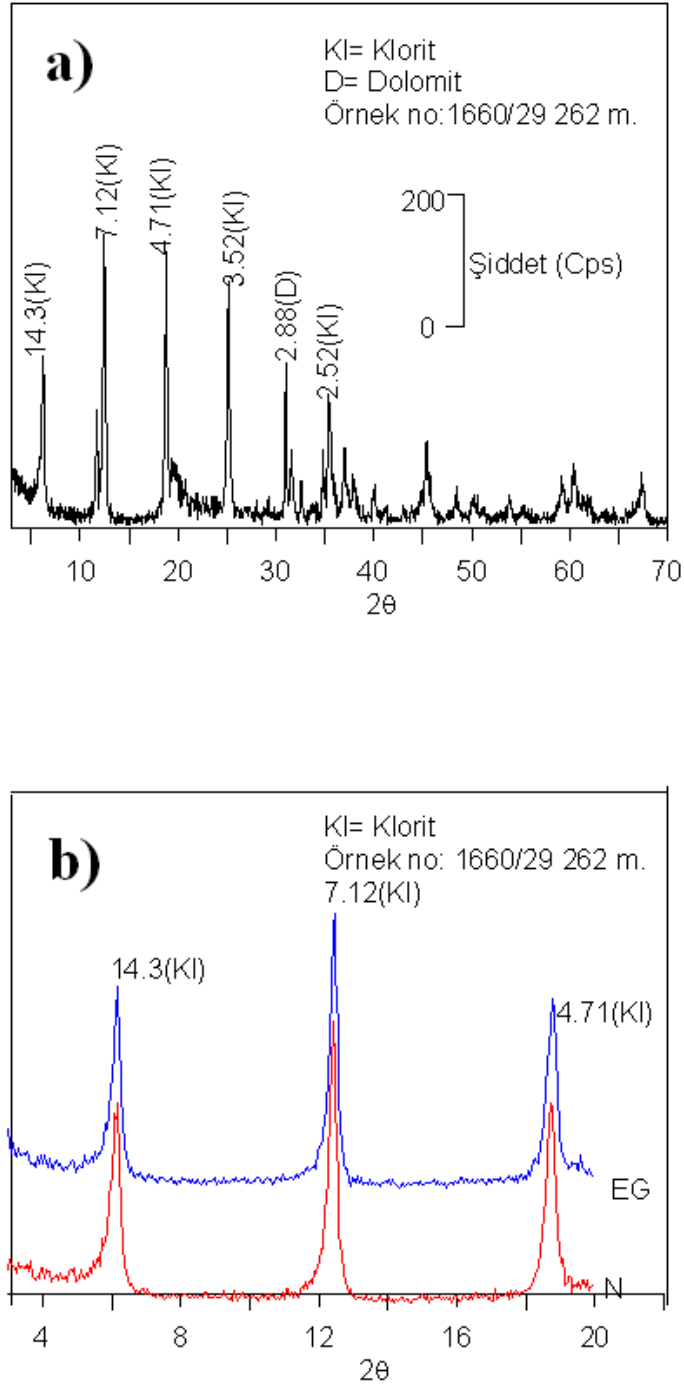
Şekil 3.23. Kaolence zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi (EG: Yönlendirilmiş örneğin etilen glikolle doyurulduktan sonraki çekimi, N: Yönlendirilmiş örneğe ait normal çekim).



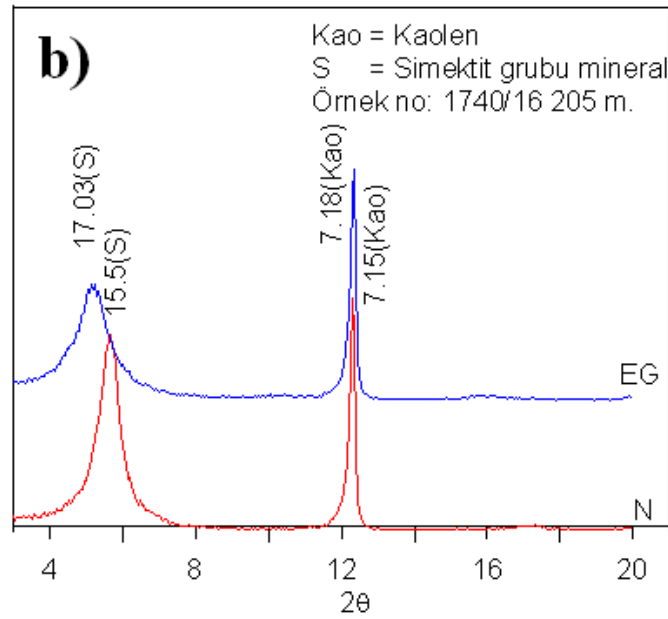
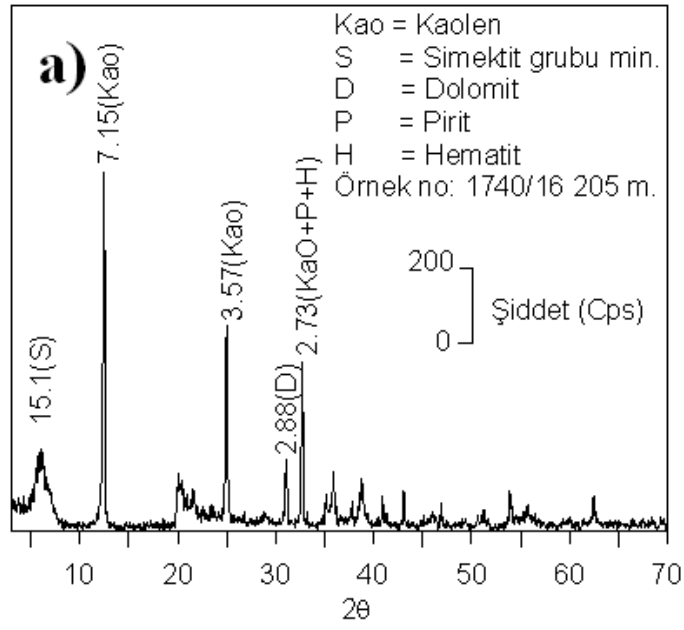
Şekil 3.24. Simektitçe zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi (EG: Yönlendirilmiş örneğin etilen glükolle doyurulduktan sonraki çekimi, N: Yönlendirilmiş örneğe ait normal çekim).



Şekil 3.25. İllitce zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi (EG: Yönlendirilmiş örneğin etilen glükolle doyurulduktan sonraki çekimi, N: Yönlendirilmiş örneğe ait normal çekim).



Şekil 3.26. Kloritçe zengin örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi (EG: Yönlendirilmiş örneğin etilen glikolle doyurulduktan sonraki çekimi, N: Yönlendirilmiş örneğe ait normal çekim).



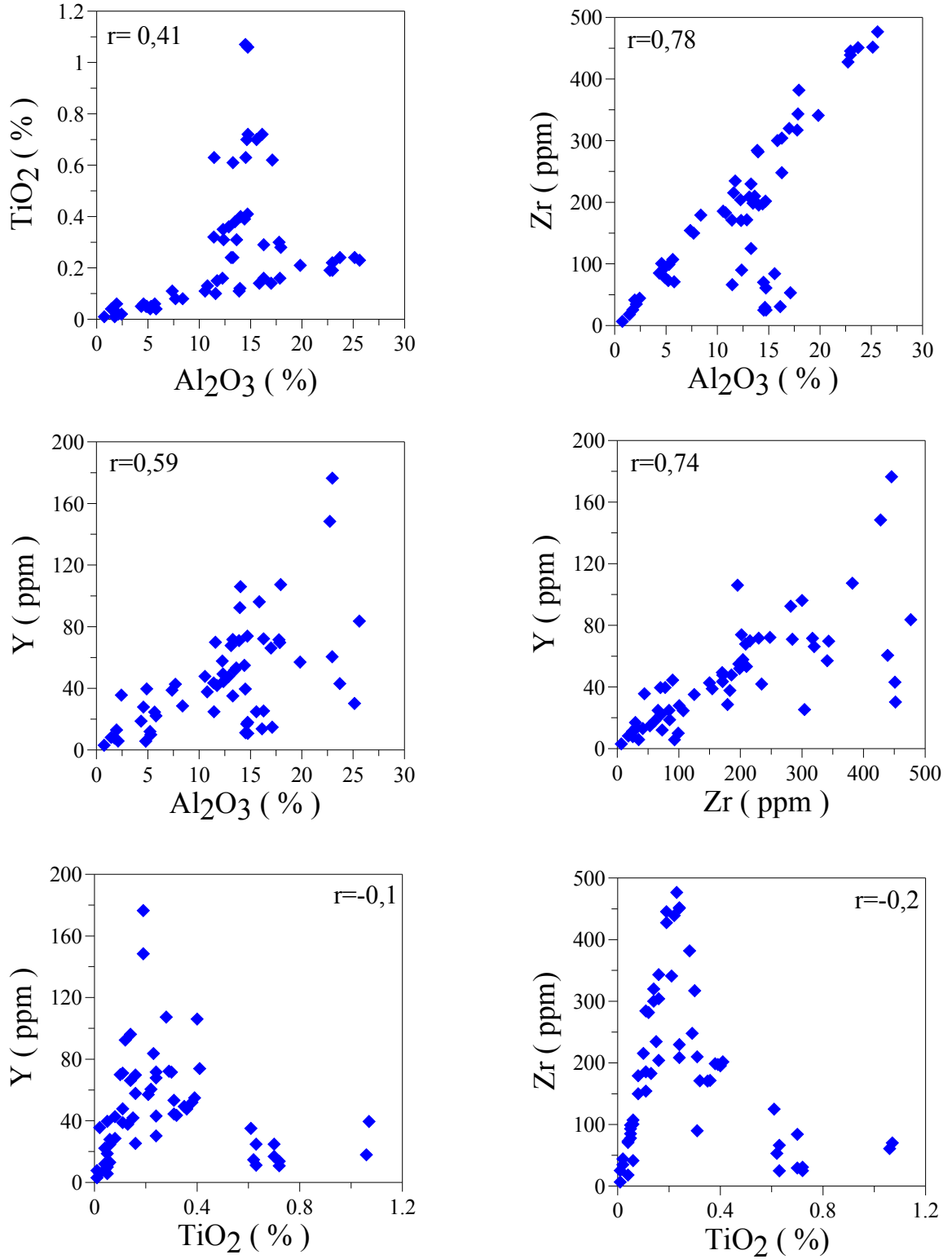
Şekil 3.27. Kaolenle simektitin birlikte görüldüğü örneğe ait a) Tüm kayaç XRD çekimi. b) Kil fraksiyonu XRD çekimi (EG: Yönlendirilmiş örneğin etilen glikolle doydurulduktan sonraki çekimi, N: Yönlendirilmiş örneğe ait normal çekim).

4. JEOKİMYA

4.1. Kütle Değişim Hesapları

Hidrotermal alterasyona bağlı olarak yan kayaçta bulunan elementlerin oranında değişik miktarlarda artma ya da azalmalar meydana gelir. Bu nedenle hidrotermal alterasyonun etkilerinin tam olarak ortaya konulabilmesi için yan kayaçta ne gibi değişikliklerin olduğu ve ona hangi bileşenin hangi oranda ilave edildiği veya uzaklaştırıldığına bilinmesi gerekir. Yan kayaçta meydana gelen kütle ve kimyasal değişimleri belirlemek için çeşitli araştırmacılar değişik yöntemler geliştirmişlerdir. Hareketsiz element yöntemi (MacLean and Kranidiotis, 1987), izokron yöntemi Grant (1986) çok kökenli örneklerde hareketsiz element yöntemi (Maclean 1990) bunların başlıcalarıdır. Bu çalışmada ise kütle değişimlerini hesaplamak için hareketsiz element yöntemi ve izokron yönteminin Huston (1993) tarafından değiştirilmiş versiyonu kullanılmıştır. Hareketsiz element yöntemindeki amaç alterasyon esnasında hareketsiz kalan herhangi bir elementten yola çıkarak diğer elementlerde meydana gelen değişim miktarlarını belirlemektir. Daha önce yapılmış olan çalışmalar, Ti, Al, Zr, Nb ve Y nin hareketsiz element olabileceğini ortaya koymuştur (MacLean and Kranidiotis, 1987; MacLean, 1990; Barret and MacLean, 1991; Barret ve diğ., 1993).

Bu çalışmada Çayeli masif sülfid yatağı ve onu oluşturan mağmatik-hidrotermal sistemin gelişimi sürecinde bu elementlerden hangisinin diğerlerine göre daha hareketsiz olduğunu belirlemek için ikili diyagramlar hazırlanmıştır. Elementlerin bu kayaçlardaki korelasyonlarına bakıldığında Al-Zr arasında 0.78, Al-Ti arasında 0.41, Al-Y arasında 0.59, Zr-Ti arasında -0.2, Zr-Y arasında 0.74, Ti-Y arasında -0.1' lik bir korelasyon bulunmaktadır (Şekil 4.1.). Buna göre en yüksek korelasyonlar Zr-Y ve Al-Zr arasında olduğundan Zr hareketsiz element olarak seçilmiştir.



Şekil 4. 1. Al₂O₃, TiO₂, Zr, Y'un birbirlerine göre korelasyon grafikleri

4.1.1. Kütle Değişim Hesabının Yapılması

Bu çalışmada Çayeli masif sülfid yatağında yapılan sondajlardan derlenen örnekler kullanılmıştır. Alınan bütün örneklerden ince kesitler hazırlanarak petrografik olarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve bunun sonucunda bazaltik bileşimli kayalar (bazalt ve piroklastları), tortul kayalar (çört), asidik bileşimli kayalar (dasit, riyodasit ve piroklastları) ve cevher örnekleri ayrı ayrı gruplanarak bir alterasyon sınıflaması yapılmıştır. Her grubun kütle değişim hesaplamaları kendi kayaç türünün en az altere kayacı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca asidik bileşimli kayalar kendi içerisinde alterasyon değişimine göre 6 alt gruba ayrılmıştır. Asidik bileşimli kayaların petrografik incelemeleri sonucu çoğunlukla dasit, riyodasit ve bunların piroklastitleri olduğu belirlenmiştir. Bu grup için kütle değişim hesaplarının yapılmasında en büyük sıkıntı en az altere kayacın belirlenmesinde yaşanmıştır. Çayeli masif sülfid yatağında altere olmamış veya çok az altere olmuş asidik bileşimli örnek bulmak neredeyse imkânsız olduğundan literatürden faydalanarak ortalama bir dasit örneğinin kimyasal bileşimi kullanılmıştır. Bu kimyasal bileşimde eksik olan elementler daha önce Çayeli bölgesinden örnekleme yapan Akçay ve Moon (2010)'un analizini yaptırdığı dasitik lavların kimyasal bileşiminden faydalanılarak tamamlanmıştır. Cevherleşme asidik kayalar içerisinde olduğu için cevher örneklerinin en az altere kayacı asidik kayalar için kullanılan örnekle aynıdır.

4.1.1.1. Asidik Bileşimli Kayaların Kütle Değişim Hesapları

Çayeli masif sülfid yatağından alınan asidik bileşimli kayaç örnekleri kayaç cinsi ve alterasyon türleri dikkate alınarak gruplandırılmış ve bu grupların ortalama kimyasal bileşimleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Hesaplamalar 100 g'lık kütle üzerinden yapıldığından, bu ortalama bileşimler 100 g'a yeniden hesaplanmıştır (Tablo 4.1.). Hareketsiz element yöntemi (MacLean and Kranidiotis, 1987) kullanılarak hesaplanan düzeltilmiş yeni kayaç bileşimleri Tablo 4.2.'de, kesin değişim miktarları Tablo 4.3.'de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan örneklerden oluşturulan alterasyon gruplarına ait izokronlar Huston (1993) tarafından önerilen yöntemle çizilmiş ve Şekil 4.2., 4.3. ve 4.4' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çayeli masif sülfid yatağının çevresinde, farklı hidrotermal etkileşime maruz kalmış asidik bileşimli kayaçların 100 g'a göre yeniden hesaplanmış ortalama bileşimleri (Das.: Dasit, Riyd: Riyodasit, Hem.: Hematitleşme, Klor.: Kloritleşme, Kar.: Karbonatlaşma Kil.: Killeşme, n= örnek sayısı. Kayaçlara ait tüm analizler Ek Tablo 1'de verilmiştir).

Örnek	En az alt.dasit (n=1)	Das.-riyd. (n=6)	Mor tuf (n=3)	Yeşil tuf (n=3)	Hem. (n=2)	Klor. Kar. (n=7)	Kil. Klor. (n= 4)
SiO ₂	65,41	60,02	60,70	55,55	52,35	61,04	37,33
Al ₂ O ₃	13,28	12,84	14,44	12,96	21,74	13,02	20,33
Fe ₂ O ₃	4,63	5,28	3,75	6,63	7,24	5,78	4,68
MgO	0,99	2,45	2,50	4,08	1,68	3,38	14,44
CaO	4,12	3,00	3,74	3,73	1,80	3,37	2,54
Na ₂ O	4,20	1,54	0,73	0,42	0,31	1,20	0,27
K ₂ O	1,64	1,23	0,49	0,93	1,29	1,24	0,75
TiO ₂	0,66	0,33	0,25	0,30	0,26	0,45	0,25
P ₂ O ₅	0,23	0,10	0,07	0,05	0,40	0,09	0,05
MnO	0,17	0,57	0,32	0,74	0,08	0,30	0,13
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
C	0,13	1,30	1,57	1,58	0,56	1,14	1,62
S	0,01	1,50	0,98	0,56	0,17	0,29	1,72
A.K	4,54	9,85	10,45	12,46	12,10	8,70	15,89
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

İz elementler (ppm)ve nadir toprak elementler (ppm)

Ba	332,00	419,17	8717,67	870,00	95,50	385,71	5098,25
Hf	2,80	5,63	8,20	5,60	10,90	4,87	11,68
Nb	2,50	4,30	6,43	5,23	8,65	4,21	9,03
Rb	39,00	17,92	4,40	16,83	28,05	21,54	12,20
Sr	122,00	190,58	612,07	155,30	2906,65	103,54	1009,55
Zr	178,00	177,00	264,93	196,63	396,85	166,67	380,65
Y	50,00	58,77	77,37	56,27	77,55	55,10	104,95
Cu	10,00	164,15	103,90	103,83	944,40	169,53	974,03
Pb	2,90	59,53	19,37	34,90	52,50	20,64	377,13
Zn	52,00	195,83	126,00	165,33	907,50	221,00	2563,75
La	14,20	13,52	19,10	13,87	20,05	12,34	22,63
Ce	25,30	36,12	52,27	36,63	54,15	29,00	59,45
Pr	3,88	5,01	7,22	4,91	8,70	4,70	8,43
Nd	21,30	23,50	32,73	23,00	44,70	23,09	40,08
Sm	6,30	6,56	8,73	6,26	13,22	6,39	10,84
Eu	1,83	1,77	2,04	1,68	2,98	1,77	2,21
Gd	7,86	8,19	10,07	7,51	15,08	7,98	13,71
Dy	7,43	9,33	12,42	8,87	14,02	9,36	16,81
Er	4,51	6,12	8,57	5,90	8,58	5,91	11,27
Yb	4,44	5,94	8,95	5,94	9,11	5,75	11,28
Lu	0,74	0,90	1,36	0,89	1,41	0,88	1,71

4.1.1.1.1. Dasit-Riyodasit

Zirkonun göreceli olarak davrandığı bu örneklere ait izokronun eğimi (M^O/M^A) oranı 0.99 olarak hesaplanmıştır. Bu, alterasyon sonunda kayada bir kütle artışı olduğunu gösterir. Diğer bir deyişle ilksel kayacın kütlesi 100 g/ 100g olarak alındığında (Tablo 4.1.), alterasyon sonunda kayacın kütlesinin 131.52 g/ 100g' a (Tablo 4. 2.) çıktığı yani 31.52 g/ 100g (Tablo 4.3.) arttığı söylenebilir.

İzokrona göre elementlerin davranışları incelendiğinde, ana oksitlerden Si, Al, Fe, Mg, C, S ve A.K' da yüksek miktarda artış olduğu, buna karşın Ca, Na ve K' da ise belirgin miktarda azalmanın olduğu belirlenmiştir. Bu artış ve azalışlar izokronun altında gösterilen histogramla daha da belirginleşmiştir (Şekil 4.2.). Bu histogram Tablo 3' de verilen kesin değişim miktarlarına göre çizilmiştir. Ana bileşenlerden, Si için 14.25 g/100g, Al için 3.25 g/100g, Fe için 2.80 g/100g, Mg için 1.56 g/100g, C için 1.36 g/100g, S için 2.76 g/100g ve A.K için 7.29 g/100g' lık artış görülürken, Ca için 0.64 g/100g, Na için 1.06 g/100g ve K için 0.36 g/100g' lık azalma meydana gelmiştir (Tablo 4.3.).

Bu bileşenlerde meydana gelen artış ve azalışlar, ilksel kayacın bünyesindeki alkali feldspat ve plajiyoklasların bozuşmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ca, Na ve K meydana gelen bu kayıplar muhtemelen Al, Fe, Mg' da meydana gelen artışla karşılanmaktadır.

Alterasyon sonunda iz elementlerdeki değişime bakıldığında en yüksek artış Ba (69.99 ppm), Sr (108.93 ppm), Cu (128.19 ppm), Pb (53.64 ppm) ve Zn (154.60 ppm)' da gözlenirken, Rb' da (21.08 ppm) azalma meydana gelmiştir (Tablo 4.3.).

Nadir toprak elementlerde La hariç diğerlerinde az da olsa kütle artışı gözlenirken, La' da 0.68 ppm lik bir azalma olmuştur. Hafif nadir toprak elementlerde yalnızca Ce' de 11.29 ppm'e varan bir kütle artışı gerçekleşmiştir (Tablo 4.3.).

Tablo 4.2. Zr'un hareketsiz olduğu kabul edilerek MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre yeniden hesaplanan altere kayaç bileşimleri (RC: Yeniden hesaplanan bileşim).

Örnek	En az alt.dasit	Das.-riyd. (RC)	Mor tuf (RC)	Yeşil tuf (RC)	Hem. (RC)	Klor. Kar. (RC)	Kil. Klor. (RC)
SiO ₂	65,41	79,66	46,35	50,98	24,61	77,16	22,88
Al ₂ O ₃	13,28	16,53	10,16	11,81	9,78	16,97	9,85
Fe ₂ O ₃	4,63	7,43	2,61	6,13	3,34	7,76	2,54
MgO	0,99	2,54	1,63	3,66	0,88	4,14	6,22
CaO	4,12	3,49	2,41	3,25	0,97	4,30	1,28
Na ₂ O	4,20	3,14	0,60	0,39	0,16	2,31	0,18
K ₂ O	1,64	1,28	0,41	0,91	0,58	1,31	0,59
TiO ₂	0,66	0,62	0,19	0,28	0,13	0,75	0,15
P ₂ O ₅	0,23	0,20	0,04	0,05	0,15	0,15	0,03
MnO	0,17	0,54	0,20	0,64	0,05	0,34	0,07
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,13	1,49	1,00	1,40	0,30	1,27	0,70
S	0,01	2,77	0,60	0,58	0,06	0,58	0,69
A.K	4,54	11,83	6,93	11,25	5,73	10,41	7,46
Toplam	100,00	131,52	73,12	91,32	46,74	127,44	52,65

İz elementler (ppm)ve nadir toprak elemetler (ppm)

Ba	332,00	401,99	4089,44	743,45	40,46	612,05	2021,18
Hf	2,80	5,76	5,65	5,08	4,88	5,21	5,45
Nb	2,50	4,44	4,40	4,75	3,96	4,65	4,28
Rb	39,00	17,92	3,75	16,66	13,27	22,59	9,45
Sr	122,00	230,93	345,76	137,58	1111,88	127,67	409,32
Zr	178,00	178,00	178,00	178,00	178,00	178,00	178,00
Y	50,00	66,35	52,42	50,86	35,68	57,34	48,94
Cu	10,00	6,82	5,82	5,35	3,96	6,13	5,26
Pb	2,90	6,47	6,02	5,38	4,18	5,96	5,29
Zn	52,00	0,97	0,92	0,80	0,65	0,91	0,80
La	14,20	138,19	79,22	91,30	357,80	183,64	385,98
Ce	25,30	56,54	13,17	30,33	25,71	19,22	149,13
Pr	3,88	206,60	78,57	151,25	350,95	239,20	1022,37
Nd	21,30	13,52	12,87	12,66	9,18	13,39	10,82
Sm	6,30	36,59	34,72	33,31	25,07	32,22	28,51
Eu	1,83	5,20	4,80	4,50	3,91	5,13	4,06
Gd	7,86	25,01	22,11	21,14	19,93	25,23	19,35
Dy	7,43	7,15	5,86	5,72	5,78	6,98	5,17
Er	4,51	2,15	1,39	1,53	1,32	1,98	1,10
Yb	4,44	9,35	6,91	6,82	6,58	8,54	6,45
Lu	0,74	10,63	8,56	8,03	6,36	9,81	7,87

Tablo 4.3. Zr'un hareketsiz kaldığı kabul edilerek MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre farklı hidrotermal alterasyona maruz kalmış örnekler için hesaplanan kesin kütle değişim miktarları (ΔC_i)

Örnek	En az alt.dasit	Das.-riyd. (C_i)	Mor tuf (C_i)	Yeşil tuf (C_i)	Hem. (C_i)	Klor. Kar. (C_i)	Kil. Klor. (C_i)
SiO ₂	65,41	14,25	-19,06	-14,42	-40,80	11,75	-42,52
Al ₂ O ₃	13,28	3,25	-3,12	-1,47	-3,50	3,69	-3,43
Fe ₂ O ₃	4,63	2,80	-2,01	1,50	-1,29	3,13	-2,09
MgO	0,99	1,56	0,64	2,67	-0,10	3,15	5,23
CaO	4,12	-0,64	-1,72	-0,88	-3,16	0,17	-2,85
Na ₂ O	4,20	-1,06	-3,60	-3,82	-4,05	-1,90	-4,02
K ₂ O	1,64	-0,36	-1,23	-0,73	-1,05	-0,33	-1,05
TiO ₂	0,66	-0,04	-0,48	-0,39	-0,53	0,09	-0,52
P ₂ O ₅	0,23	-0,03	-0,18	-0,18	-0,07	-0,08	-0,20
MnO	0,17	0,37	0,03	0,47	-0,12	0,17	-0,09
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,13	1,36	0,87	1,27	0,17	1,14	0,58
S	0,01	2,76	0,59	0,57	0,05	0,57	0,68
A.K	4,54	7,29	2,39	6,71	1,19	5,87	2,92
Toplam	100,00	31,51	-26,88	-8,68	-53,26	27,44	-47,35

İz elementler (ppm)ve nadir toprak elemetler (ppm).

Ba	332,00	69,99	3757,44	411,45	-291,54	280,05	1689,18
Hf	2,80	2,96	2,85	2,28	2,08	2,41	2,65
Nb	2,50	1,94	1,90	2,25	1,46	2,15	1,78
Rb	39,00	-21,08	-35,25	-22,34	-25,73	-16,41	-29,55
Sr	122,00	108,93	223,76	15,58	989,88	5,67	287,32
Zr	178,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y	50,00	16,35	2,42	0,86	-14,32	7,34	-1,06
Cu	10,00	128,19	69,22	81,30	347,80	173,64	375,98
Pb	2,90	53,64	10,27	27,43	22,81	16,32	146,23
Zn	52,00	154,60	26,57	99,25	298,95	187,20	970,37
La	14,20	-0,68	-1,33	-1,54	-5,02	-0,81	-3,38
Ce	25,30	11,29	9,42	8,01	-0,23	6,92	3,21
Pr	3,88	1,32	0,92	0,62	0,03	1,25	0,18
Nd	21,30	3,71	0,81	-0,16	-1,37	3,93	-1,95
Sm	6,30	0,85	-0,44	-0,58	-0,52	0,68	-1,13
Eu	1,83	0,32	-0,44	-0,30	-0,51	0,15	-0,73
Gd	7,86	1,49	-0,95	-1,04	-1,28	0,68	-1,41
Dy	7,43	3,20	1,13	0,60	-1,07	2,38	0,44
Er	4,51	2,31	1,31	0,84	-0,55	1,62	0,75
Yb	4,44	2,03	1,58	0,94	-0,26	1,52	0,85
Lu	0,74	0,23	0,18	0,06	-0,09	0,17	0,06

4.1.1.1.2. Yeşil Tüf

Hidrotermal alterasyon sonucunda kütle değişimine uğrayan yeşil tüflere ait izokronun eğimi bir önceki gruba göre bir miktar artmıştır. M^O/M^A oranı 1.49 olarak belirlenen izokronun eğimi, kayacın kütesinde bir azalma olduğunu göstermektedir (Şekil 4.3.). Diğer bir deyişle hidrotermal alterasyon sonunda kayaç kütesinin 73.12 g/100g'a düştüğü (Tablo 4.2.) yani 26.88 g/100g azaldığı söylenebilir (Tablo 4.3.).

İzokronun eğimine göre elementlerin davranışları incelendiğinde en yüksek artışların ana bileşenlerden Mg, C, S ve A.K olmuştur. Buna karşın ana bileşenlerden Si, Al, Fe, Ca Na ve K' da önemli miktarlarda azalmalar meydana gelmiştir. Mg için 0.64 g/100g, C için 0.87 g/100g, S için 0.59g/100g ve A.K için 2.39 g/100g'lık artış olurken, Si için 19.06 g/100g, Al için 3.12 g/100g, Fe için 2.01 g/100g, Ca için 1.72 g/100g, Na için 3.60 g/100g ve K için 1.23 g/100g'lık kütle kayıpları söz konusudur (Tablo 4.3.).

Yeşil tüflerde iz elementlerden Ba'da 3757.44 ppm, Sr'da 223.76 ppm, Cu'da 69.22 ppm, Pb'da 10.27 ppm ve Zn'de 26.57 ppm'lik artış, Rb'da ise 35.25 ppm'lik azalma meydana gelmiştir (Tablo 4.3.). Hafif nadir toprak elementlerden de yalnızca Ce'de 9.42 ppm'e varan bir artış görülmektedir (Tablo 4.3.). Diğer hafif nadir toprak elementlerin çoğunda az miktarlarda kütle kaybı mevcuttur. Ağır nadir toprak elementlerde ise az oranlarda kütle artışı vardır (Tablo 4.3.).

4.1.1.1.3. Mor tüf

Çayeli masif sülfid yatağında cevherin tavan kayacını oluşturan mor renkli dasidik tüflerden alınan örneklerin kütle değişim hesaplamaları sonucunda çizilen izokronun eğimi M^O/M^A oranı 1.10 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2.). Bu oran hidrotermal alterasyon sonunda kayacın kütesinde bir azalma olduğunu göstermektedir. Bu kütle kaybı yapılan kesin kütle değişim hesabıyla da 8.68 g olarak belirlenmiştir (Tablo 4.2.). Bu kütle kaybı analiz edilen ana bileşenlerden Si, Al, Ca, Na ve K' da meydana gelmiştir. En yüksek artışlar Mg, C, S ve A.K' da görülmektedir (Tablo 4.3.). Si miktarı 14.42 g/100g, Al miktarı 1.47 g/100g, Ca miktarında 0.88 g/100 g, Na miktarı 3.82 g/100g ve K miktarı 0.73 g/100g oranlarında azalma göstermişlerdir. Buna karşın Mg miktarında 2.67 g/100g, C

miktarında 1.27 g/100g, S miktarında 0.57 g/100g ve A.K miktarında 6.71 g/100g oranında bir artış söz konusudur (Tablo 4.3.).

İz elementler bakımından mor renkli dasidik tüflerde Ba miktarında 411.45 ppm, Sr miktarında 15.58 ppm, Cu miktarında 81.30 ppm, Pb miktarında 27.43 ppm ve Zn miktarında 99.25 ppm lik artış olurken, Rb miktarında 22.34 ppm lik azalma meydana gelmiştir (Tablo 4.3.). Nadir toprak elementlerin tümünde az da olsa kütle kayıp ve kazançları meydana gelmiştir. Hafif nadir toprak elementlerde farklı olarak yalnızca Ce de 8.01 ppm e varan bir artış gözlenirken diğerlerinde kütle kaybı meydana gelmiştir. Ağır nadir toprak elementlerinde ise kütle artışı mevcuttur (Tablo 4.3.).

4.1.1.1.4. Hematitleşme

Hematitleşmiş örnekler için izokronun eğimi M^A/M^O oranı 2.23 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.3.). Hidrotermal alterasyon sonunda kayacın kütlesi 46.74 g a düşmüş (Tablo 4.2.) yani 53.26 g azalmıştır (Tablo 4.3.). Bu örneklerde en yüksek artış A.K (1.19 g/100g)' da ve çok cüzi miktarda S (0.17 g/100g) ile C (0.05 g/100g)' da olurken, diğer ana oksitlerin tümünde kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 4.3.). Si için 40.80g/100g, Al için 3.50 g/100g, Fe için 1.29 g/100g, Mg için 0.10 g/100g, Ca için 3.26 g/100g, Na için 4.05 g/100g ve K için 1.05 g/100g' lık azalma mevcuttur (Tablo 4.3.).

Hematitleşmiş örneklerde iz elementlerde Sr' da 989.88 ppm, Cu' da 347.80 ppm, Pb' da 22.81 ppm, Zn' da 298.95 ppm lik artışlar mevcuttur. Diğer gruplardan farklı olarak bu grupta Ba' da 291.54 ppm' lik bir azalma olmuştur (Tablo 4.3.).

Nadir toprak elementlerinde önemli değişimler olmamıştır. Nadir toprak elementlerinin tümünde çok cüzi değerlerde kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 4.3.).

4.1.1.1.5. Kloritleşme Karbonatlaşma

Bu gruba ait örneklerin M^A/M^O oranı 0.94 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4.). Alterasyon sonucunda ilksel kayaç kütlesi 127.44 g/100g' a çıkmış (Tablo 4.2.), yani 27.44 g/100g artmıştır (Tablo 4.3.). Alterasyon boyunca Zr' nun hareketsiz element olarak davranış sergilediği bu grupta izokronun eğimine göre elementlerin davranışları incelendiğinde en yüksek artışların ana bileşenlerden Si, Al, Fe, Mg, Ca, C, S ve A.K'

da, buna karşın en yüksek kayıpların ise, Na ve K' da olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.3.). Buna göre Si için 11.75 g/100g, Al için 3.69 g/100g, Fe için 3.13 g/100g, Mg için 3.15 g/100g, Ca için 0.17 g/100g, C için 1.14 g/100g, S için 0.57 g/100g ve A.K için 5.87 g/100g' lık artış söz konusu iken, Na için 1.90 g/100g ve K için 0.33 g/100g' lık kayıplar görülmektedir (Tablo 4.3.).

Na ve K daki bu kayıplar, kayacın bünyesinde bulunan alkali feldspat ve plajiyoklasların bozuşması sonucu gerçekleşmiştir. Fe ve Mg daki artış kloritleşmenin göstergesi olup yüksek Ca miktarı ise karbonatlaşmaya işaretir.

İz elementler bakımından alterasyon sonunda kloritleşmiş örneklerde Ba (280.05 ppm) , Sr (5.67 ppm) , Y(7.34 ppm), Cu (173.64 ppm) , Pb (16.32 ppm) ve Zn (187.20 ppm)' da bir miktar artış olurken, Rb (16.41 ppm)' da bir miktar azalma olmuştur (Tablo 4.3.).

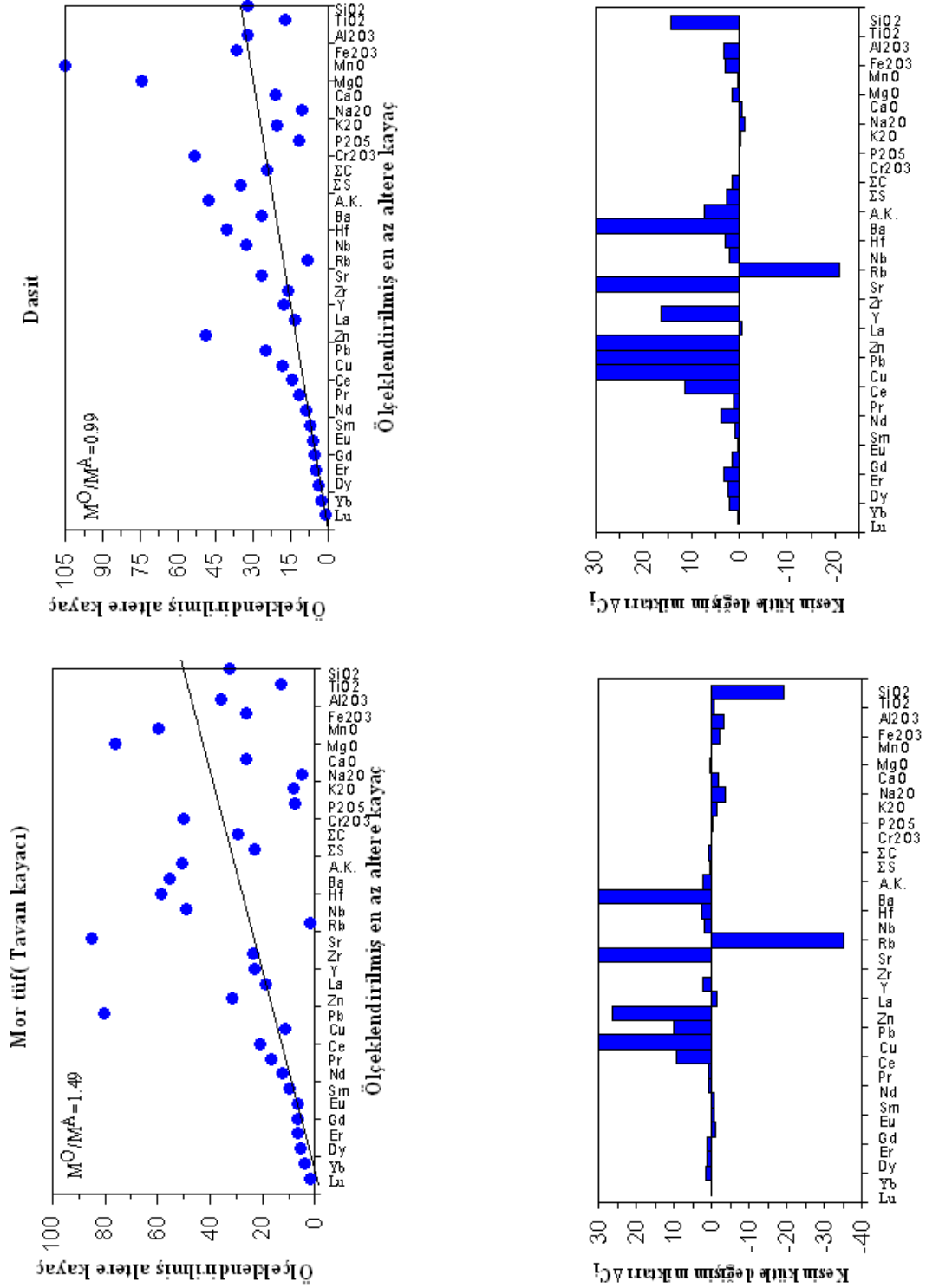
Nadir toprak elementlerden yalnızca Ce' de 6.92 ppm'e varan bir artış görülürken diğer elementlerde de alterasyon sonunda az da olsa kütle artışları mevcuttur. Diğer elementlerden farklı olarak La'da 0.81 ppm'lik az bir azalma göze çarpmaktadır (Tablo 4.3.).

4.1.1.1.6. Killeşme Kloritleşme

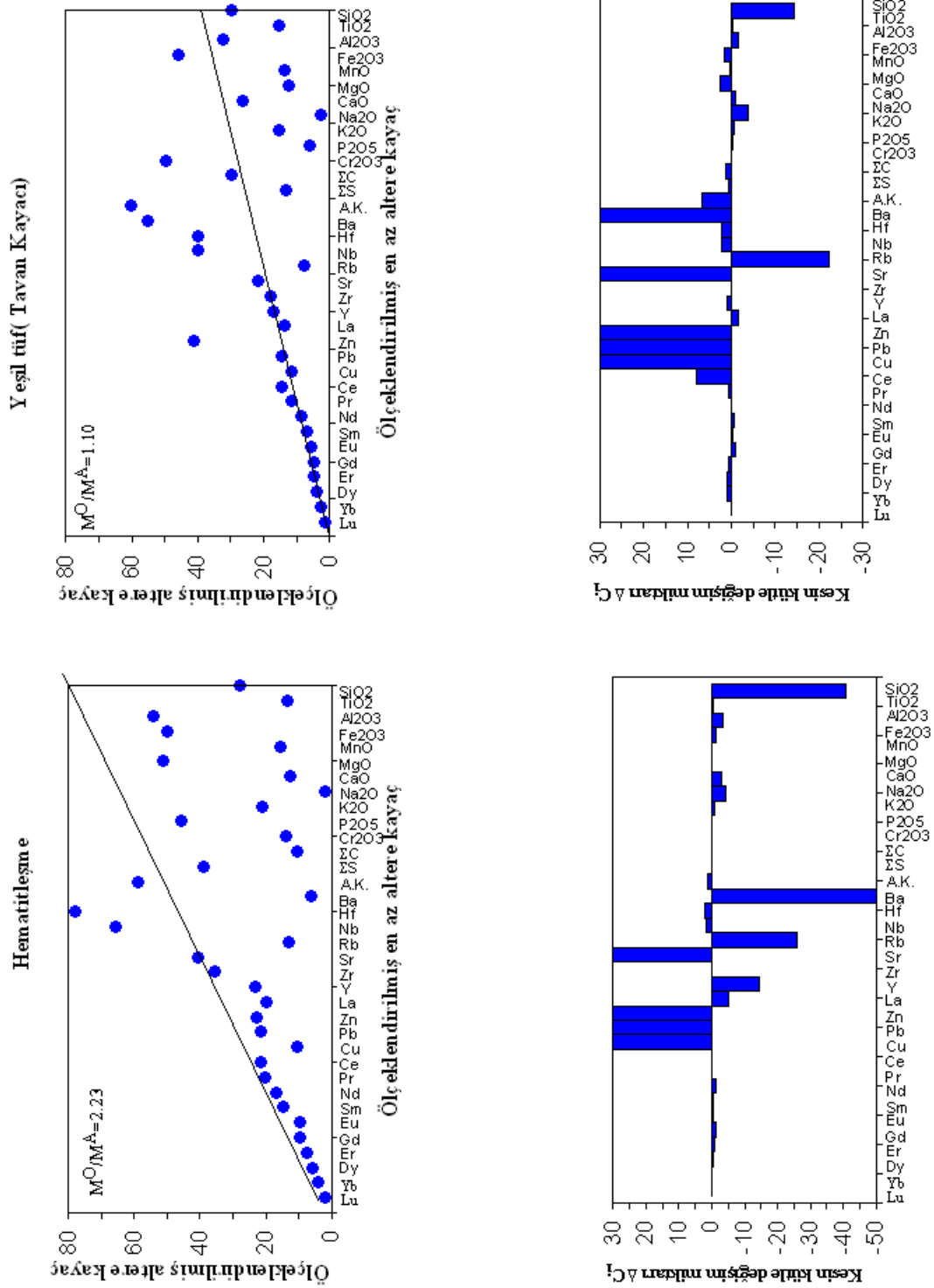
İzokron eğiminin (M^A/M^O) 2.14 (Şekil 3.36) olarak belirlendiği bu grupta alterasyon sonucunda kayaç kütlesi 52.65 g/100g' a düşmüş (Tablo 4.2.) yani 47.35 g/100g azalmıştır (Tablo 4.3.). Daha çok asidik bileşimli kayaçların hidrotermal bozuşmaya uğraması sonucu killeşen ve kloritleşen örneklerde Mg, C, S ve A.K' da artış olurken Si, Al, Fe, Ca, Na ve K da azalma meydana gelmiştir. Mg için 5.23 g/100g, C için 0.58 g/100g, S için 0.68 g/100g ve A.K. için 2.92 g/100g'lık kütle artışı olurken, Si için 42.52 g/100g, Al için 3.43 g/100g, Fe için 2.09 g/100g, Ca için 2.85 g/100g, Na için 4.02 g/100g ve K için 1.05 g/100g' lık kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 4.3.).

İz elementlerden Ba'da 1689.18 ppm, Sr'de 287.32 ppm, Cu'da 375.98 ppm, Pb'de 146.23 ppm ve Zn'de 970.37 ppm lik artışlar gözlenirken, Rb' de 29.35 ppm'lik kayıp söz konusudur (Tablo 4.3.).

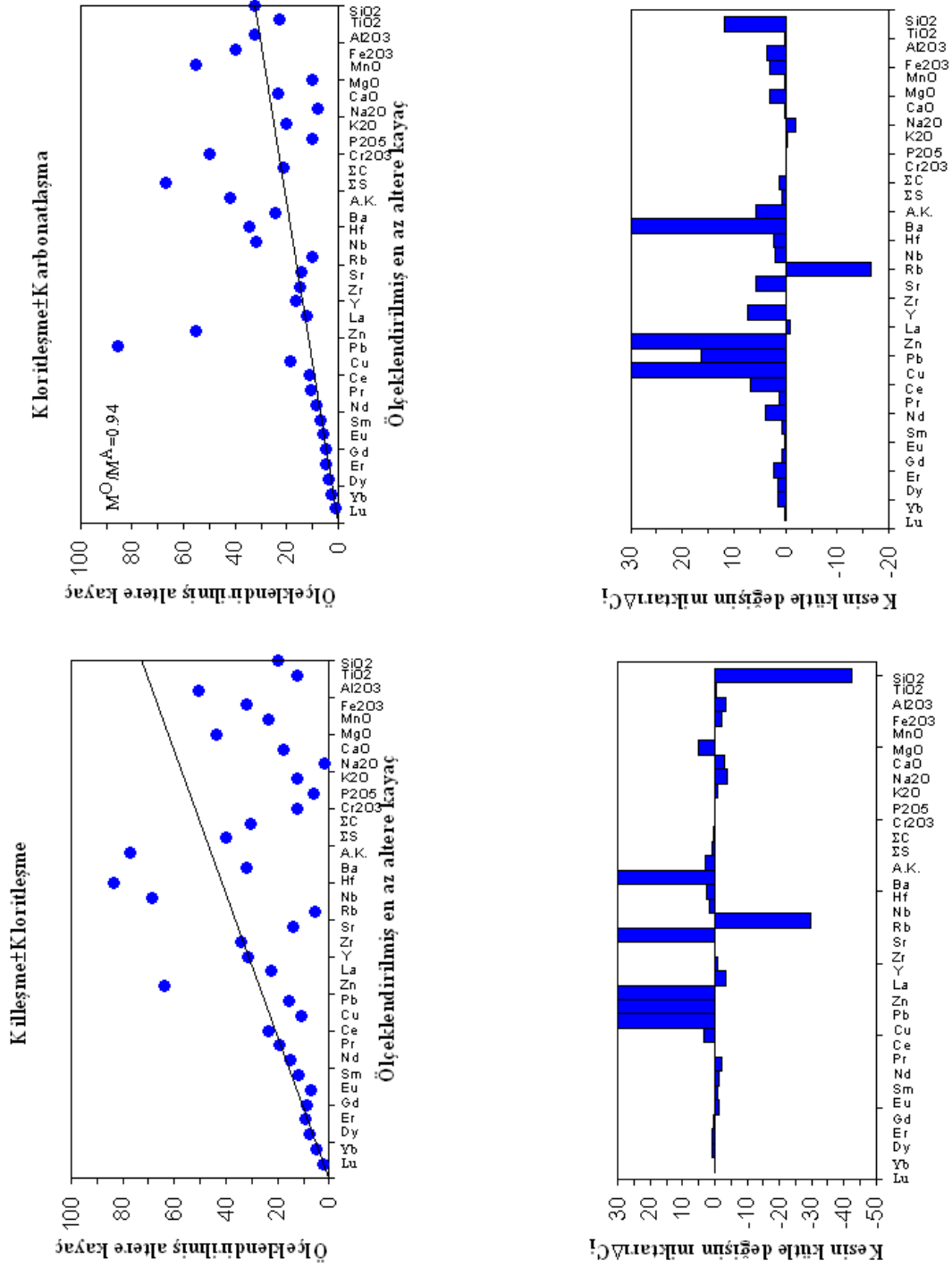
Nadir toprak elementlerde fazla bir değişim olmamakla birlikte hafif nadir elementlerde kütle kaybı, diğerlerinde ise kütle artışı mevcuttur (Tablo 4.3.).



Şekil 4.2. Dasit ve Mor tuff gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar



Şekil 4.3. Hematitleşme ve Yeşil tüf gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar



Şekil 4.4. Kloritleşme ± Karbonatlaşma ve Killeşme ± Kloritleşme gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar

4.1.1.2. Bazalt ve Çört Örnekleri İçin Kütle Değişim Hesapları

Çayeli masif sülfid yatağında sondajlardan alınan ve bazalt daykı olduğu tahmin edilen az altere olmuş kayaç örneklerinin ve çört örnekleri için asidik bileşimli kayaçlar için uygulanan hesaplamalar yapılmıştır (3.5.1.1). Bu örnek gruplarına ait hesaplamalar tablo 4.4. de, çizilen izokron ve histogramlar ise Şekil 4.5' de verilmiştir.

Buna göre hidrotermal alterasyon boyunca hareketsiz olarak kabul edilen Zr elementine göre çizilen izokronun eğimi (M^O/M^A) 2.76 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.5.). Bu değer kayaçta hidrotermal alterasyon sonucunda bir kütle kaybı olduğunu ifade eder. Başlangıçta kayaç kütlesi 100 g olarak kabul edildiğinde, alterasyon sonunda kayaç kütlesinin 56.68 g'a düştüğü (Tablo 4.4.) yani 43.32 g azaldığı söylenebilir (Tablo 4.4.). Alterasyon sonunda ana bileşenlerden Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K ve A.K. da azalma görülürken, C ve S' de artış meydana gelmiştir. C için 0.48 g/ 100g ve S için 0.21 g/ 100g'lık artış söz konusuysen, Si için 17.86 g/100g, Al için 6.38 g/100g, Fe için 6.08 g/100g, Mg için 6.15 g/100g, Ca için 4.80 g/100g, Na için 0.47 g/100g, K için 0.02 g/100g ve A.K için 1.98 g/100g'lık kütle kaybı gerçekleşmiştir (Tablo 4.4.).

İzokrona göre iz elementlerin davranışları incelendiğinde, Ba'da 201.01 ppm, Cu'da 304.97 ppm, Pb'de 1.76 ppm ve Zn'de 5.39 ppm'lik artışlar görülürken, Sr'de 71.93 ppm'lik azalma mevcuttur. Nadir toprak elementlerde alterasyon sonucunda önemli değişiklikler olmamıştır. Bütün nadir toprak elementlerde az miktarda kütle kaybı gerçekleşmiştir (Tablo 4.4.).

Çört örneklerine göre çizilen izokronun eğimi (M^O/M^A) 2.95 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.5.). Bu değer kayaçta kütle kaybı olduğunu göstermektedir. Kayaç kütlesinin alterasyon sonunda 39.56 g'a düştüğü yani 60.44 g azaldığı söylenebilir (Tablo 4.4.). Çört örneklerinde alterasyona bağlı olarak ana bileşenlerde sadece Na ve K da kütle artışı gerçekleşirken, diğer bileşenlerde kütle kaybı meydana gelmiştir. Na için 0.04 g/100g ve K için 0.30 g/100g'lık çok cüzi artışlar gerçekleşmiştir. Si için 30.17 g/100g, Al için 11.00 g/100g, Mg için 12.58 g/100g, Ca için 0.49 g/100g, S için 0.56 g/100g, C için 0.04 g/100g ve A.K. için 4.55 g/100g'lık kayıplar söz konusudur (Tablo 4.4.).

İz elementler bakımından alterasyon sonucunda Ba (1045.06 ppm), Sr (1484.76 ppm), Y (7.21 ppm) ve Zn (156.75 ppm)'de azalma görülürken, Cu (19.38 ppm) ve Pb (32.48 ppm)'de artış gerçekleşmiştir (Tablo 4.4.).

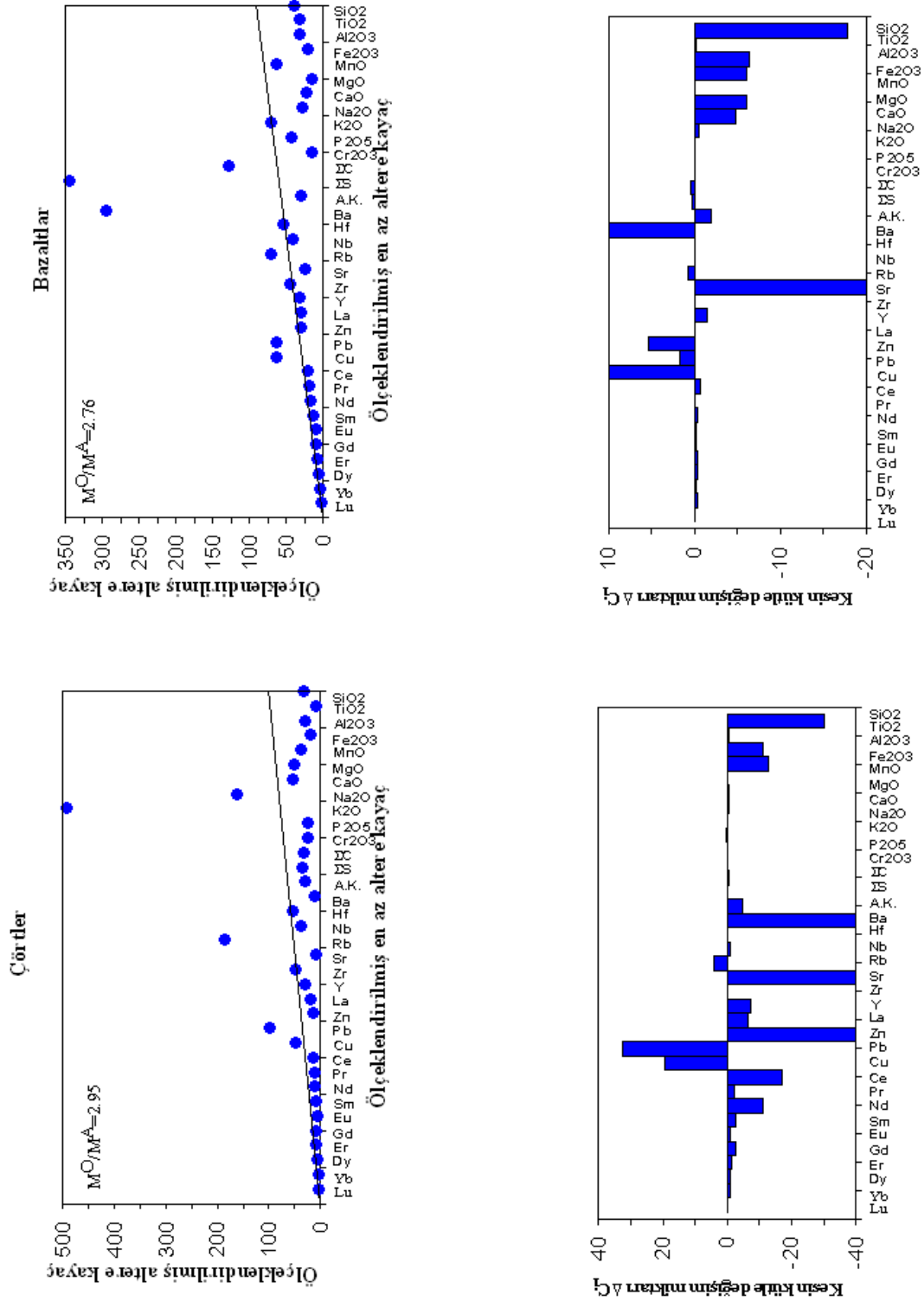
Nadir toprak elementlerin tümünde kütle kaybı gerçekleşmiştir. Genel olarak nadir toprak elementlerde fazla bir değişim olmamasına karşın hafif nadir toprak elementler diğerlerine göre daha fazla bir kayıp gösterirler (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. Çayeli masif sülfid yatağında sondajlarda kesilen bazalt ve çörtlere ait kesilen bazalt ve çörtlere ait kimyasal bileşimlerinden MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre hesaplanan düzeltilmiş kütle değişim miktarı (RC) ve kesin kütle değişim miktarlarını (ΔC_i) gösteren tablo (n= Örnek sayısı).

Örnek	En az altere Kayaç % (g/100g)		% (g/100g)		Yeniden Düzeltilmiş Bileşim(RC)		Kesin Değişim Oranı (C_i)	
	Bazalt	Çört	Bazalt(n=5)	Çört(n=2)	Bazalt	Çört	Bazalt	Çört
SiO ₂	45,44	48,31	51,89	44,91	27,58	18,14	-17,86	-30,17
Al ₂ O ₃	14,51	15,35	13,83	13,41	8,13	4,36	-6,38	-11,00
Fe ₂ O ₃	10,77	15,71	7,11	10,01	4,69	3,13	-6,08	-12,58
MgO	9,26	2,51	4,62	4,35	3,12	2,02	-6,15	-0,49
CaO	9,79	3,67	7,72	6,85	4,99	3,36	-4,80	-0,31
Na ₂ O	1,91	0,07	1,97	0,40	1,44	0,11	-0,47	0,04
K ₂ O	0,20	0,07	0,53	1,26	0,18	0,37	-0,02	0,30
TiO ₂	0,63	0,69	0,59	0,16	0,37	0,05	-0,26	-0,64
P ₂ O ₅	0,10	0,30	0,16	0,27	0,09	0,08	-0,01	-0,22
MnO	0,14	0,40	0,28	0,47	0,14	0,18	0,00	-0,22
Cr ₂ O ₃	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,00
C	0,29	1,91	1,56	2,67	0,77	1,35	0,48	-0,56
S	0,03	0,07	0,45	0,10	0,24	0,03	0,21	-0,04
A.K	6,90	10,94	9,27	15,12	4,91	6,39	-1,98	-4,55
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	56,68	39,56	-43,32	-60,44

İz ve nadir toprak elementler (ppm)

Ba	45,00	1243,00	632,60	669,50	246,01	197,94	201,01	-1045,06
Hf	0,80	2,80	2,18	7,65	0,80	2,57	0,00	-0,23
Nb	1,00	3,10	2,18	6,10	0,90	2,03	-0,10	-1,07
Rb	2,00	1,90	7,90	19,50	2,72	5,85	0,72	3,95
Sr	247,10	1747,60	350,16	802,20	175,17	262,84	-71,93	-1484,76
Zr	25,00	84,00	68,90	247,55	25,00	84,00	0,00	0,00
Y	11,20	24,80	23,30	47,90	9,71	17,59	-1,49	-7,21
Cu	88,50	50,50	507,48	222,45	393,47	69,88	304,97	19,38
Pb	1,30	21,90	6,84	182,05	3,06	54,38	1,76	32,48
Zn	34,00	294,00	80,40	341,50	39,39	137,25	5,39	-156,75
La	3,80	12,30	8,22	15,80	3,79	5,80	-0,01	-6,50
Ce	9,70	30,00	19,44	39,35	9,01	13,10	-0,69	-16,90
Pr	1,25	4,15	2,73	5,07	1,24	1,75	-0,01	-2,40
Nd	6,10	19,10	12,40	23,40	5,71	7,94	-0,39	-11,16
Sm	1,69	4,63	3,11	6,17	1,42	2,07	-0,27	-2,56
Eu	0,61	1,49	0,93	1,47	0,45	0,49	-0,16	-1,00
Gd	1,88	4,97	3,53	7,40	1,57	2,50	-0,31	-2,47
Dy	2,04	4,31	3,91	8,59	1,68	2,96	-0,36	-1,35
Er	1,29	2,76	2,51	5,45	1,03	1,94	-0,26	-0,82
Yb	1,29	2,85	2,46	5,83	0,99	2,04	-0,30	-0,81
Lu	0,19	0,43	0,38	0,88	0,15	0,31	-0,04	-0,12



Şekil 4.5. Bazalt ve çört gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar

4.1.1.3. Cevherli Örneklerin Kütle Değişim Hesapları

Çayeli masif sülfid yatağında yapılmış olan sondajlardan alınan cevherli örnekler kendi içinde, saçınımlı cevher, masif cevher ve ağsal cevher olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Her grubun kütle değişim hesaplamaları ayrı ayrı yapılmış olup, her bir grup için ortalama değerler hesaplanarak, bu gruplara ait izokronlar ve histogramlar çizilmiştir.

4.1.1.3.1. Saçınımlı Cevher

Bu gruba ait izokronun eğimi 0.93 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.6.). Bu durum cevherleşme sonunda kayacın kütle artışına uğradığına işaret eder. Kütle değişim hesaplamaları ile kayaç kütlelerinin cevherleşme sonunda 147.37 g'a çıktığı yani 47.37 g arttığı belirlenmiştir (Tablo 4.5.). Cevherleşme ile kayaç kütlelerindeki asıl artışlar ana bileşenlerden Fe, Mg, C, S ve A.K.'da meydana gelirken, Si, Al, Ca, Na ve K' da azalma gerçekleşmiştir. Si için 45.67 g/ 100g, Al için 5.24 g/ 100g, Ca için 2.56 g/ 100g, Na için 4.13 g/ 100g ve K için 0.98 g/ 100g'lık kayıplar söz konusu iken, Fe için 40.19 g/ 100g, Mg için 4.27 g/ 100g, C için 2.43 g/ 100g, S için 45.02 g/ 100g ve A.K.için 26.56 g/ 100g'lık kütle artışları mevcuttur (Tablo 4.5.).

İz elementlerden Cu (7972.07 ppm) ve Zn (865.94 ppm) çok yüksek artışlar gösterirken Pb (46.51 ppm)'deki artış nispeten daha azdır. Ba (190.87 ppm), Rb (8.08 ppm) ve Sr (73.31 ppm)' da ise azalma gerçekleşmiştir (Tablo 4.5.).

Nadir toprak elementlerde ise genel olarak bir kütle kaybı söz konusudur. Ancak hafif nadir toprak elementlerde diğerlerine göre daha yüksek kayıplar gerçekleşmiştir (Tablo 4.5.).

4.1.1.3.2. Masif Cevher

Masif cevhere ait izokronun eğimi son derece düşüktür. Bu örnekler için M^O/M^A 0.21 dir (Şekil 3.38). Bu durum alterasyon sonunda kayacın aşırı bir kütle artışına uğradığına işaret eder. Alterasyon sonunda kayaç kütleleri 1013.58 g'a çıkmış yani 913.58 g artmıştır (Tablo 4.5.). Masif cevherde özellikle Fe, Mg, Ca, C, S ve A.K.'da yüksek miktarlarda kütle artışı gerçekleşmiştir. Buna karşın Si, Al, Na, K'da ise kütle kaybı meydana

gelmiştir. Fe, Mg, Ca, C, S ve A.K için sırasıyla 381.02 g/100g, 16.64 g/100g, 14.41 g/100g, 15.05 g/100g, 411.50 g/100g, 221.83 g/100g'lık artış mevcuttur. Buna karşın Si, Al, Na, K için sırasıyla 25.93 g/100g, 3.06 g/100g, 4.06 g/100g, 0.43 g/100g'lık azalma olmuştur (Tablo 4.5.).

İz elementlerden Ba (34653.13 ppm), Sr (1384.17 ppm), Cu (91427.61 ppm), Pb (5275.65 ppm) ve Zn (24940.48 ppm) da çok yüksek artışlar görülmektedir. Rb ise 15.88 ppm'lik bir azalma gerçekleşmiştir (Tablo 4.5.).

Nadir toprak elementlerde genel olarak bir kütle artışı olmakla birlikte hafif nadir toprak elementlerde ağır nadir toprak elementlere nazaran daha fazla kütle artışı görülmektedir (Tablo 4.5.).

4.1.1.3.3. Ağsal Cevher

Ağsal özellikteki kısımlardan alınan örneklerle ait izokronun eğimi (M^O/M^A) 0.54'dür (Şekil 4.7.). Dolayısıyla hidrotermal alterasyon sonucunda kayada bir kütle artışı meydana gelmiştir. İksel kayaç kütlesi 100 g olarak düşünüldüğünde, alterasyon sonunda kayaç kütlesinin 187.48 g'a çıktığı yani 87.48 g arttığı söylenebilir (Tablo 4.5.). Ağsal cevherde diğerlerinden farklı olarak Si miktarında önemli bir artış olmuştur. Bunun dışında Fe, K, S ve A.K. miktarında artış gerçekleşmiştir. En yüksek kayıplar ise Al, Mg, Ca, Na değerlerinde izlenmiştir. Si için 53.64 g/100g, Fe için 18.85 g/100g, K için 0.35 g/100g,

S için 20.19 g/100g ve A.K. için 10.65 g/100g'lık kütle artışı görülürken, Al için 4.76 g/100g, Mg için 0.76 g/100g, Ca için 3.96 g/100g, Na için 4.05 g/100g'lık kayıplar izlenmiştir. C miktarında ise çok cüzi miktarda (0.04 g/100g) bir kayıp mevcuttur (Tablo 4.5.).

Ağsal cevher örnekleri için iz elementlerden Ba (683.39 ppm), Cu (18738.25 ppm), Pb (9.89 ppm) ve Zn (96.68 ppm)'de bir miktar artış olmuştur. Rb (18.13 ppm) ve Sr (89.70 ppm)'da ise azalma meydana gelmiştir (Tablo 4.5.).

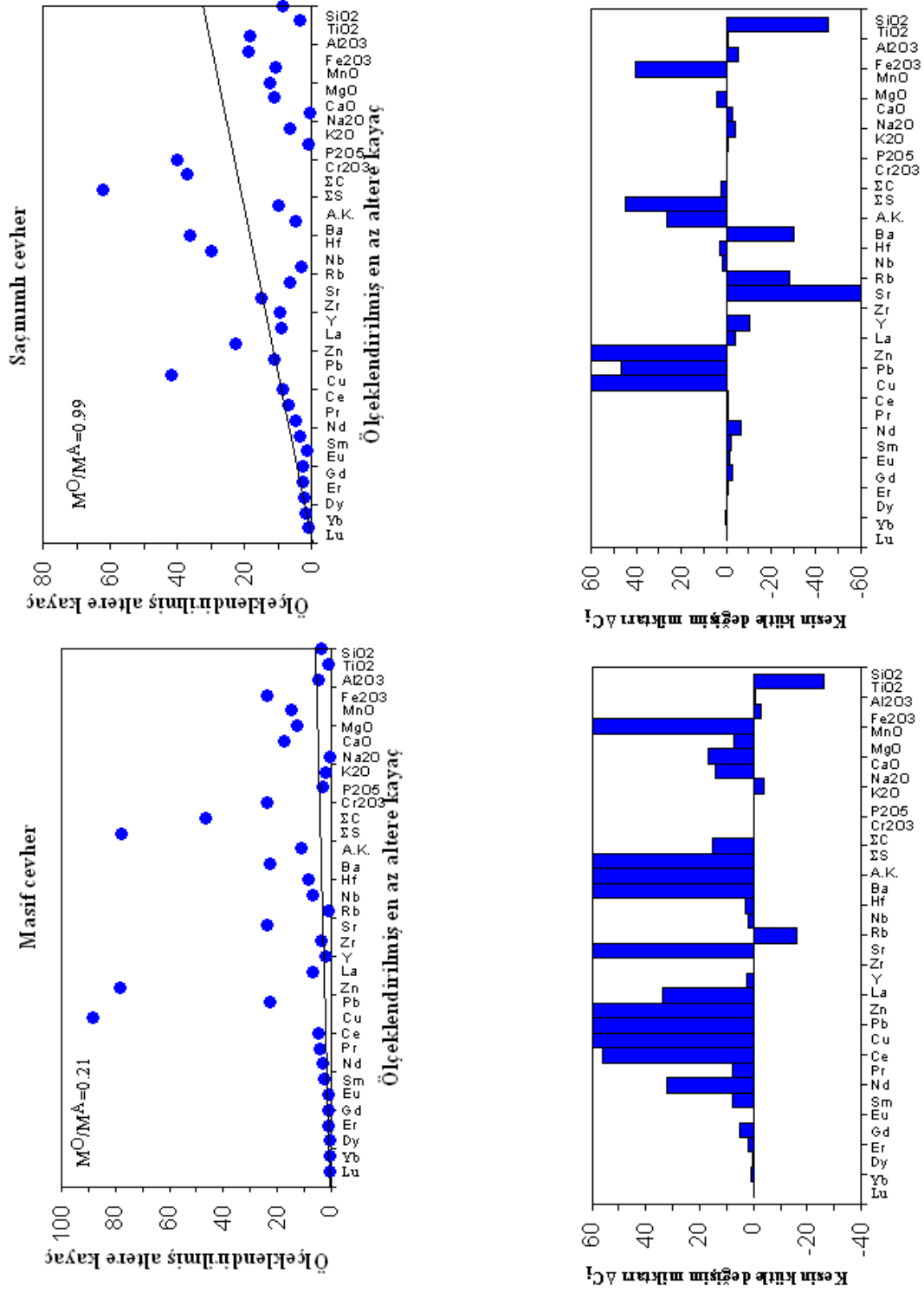
Nadir toprak elementlerde ise bu grup için önemli değişiklikler olmamakla birlikte az miktarlarda artış ve azalışlar görülmektedir. Hafif nadir toprak elementlerden Ce da 8.37 ppm'e varan bir artış gerçekleşmiştir (Tablo 4.5.).

Tablo 4.5. Çayeli masif sülfid yatağında sondajlarda kesilen cevher örneklerinin ortalama kimyasal bileşimlerinden McLean and Kranidiotis (1987)'e göre hesaplanan düzeltilmiş kütle değişim miktarı (RC) ve kesin kütle değişim miktarlarını (ΔC_i) gösteren tablo

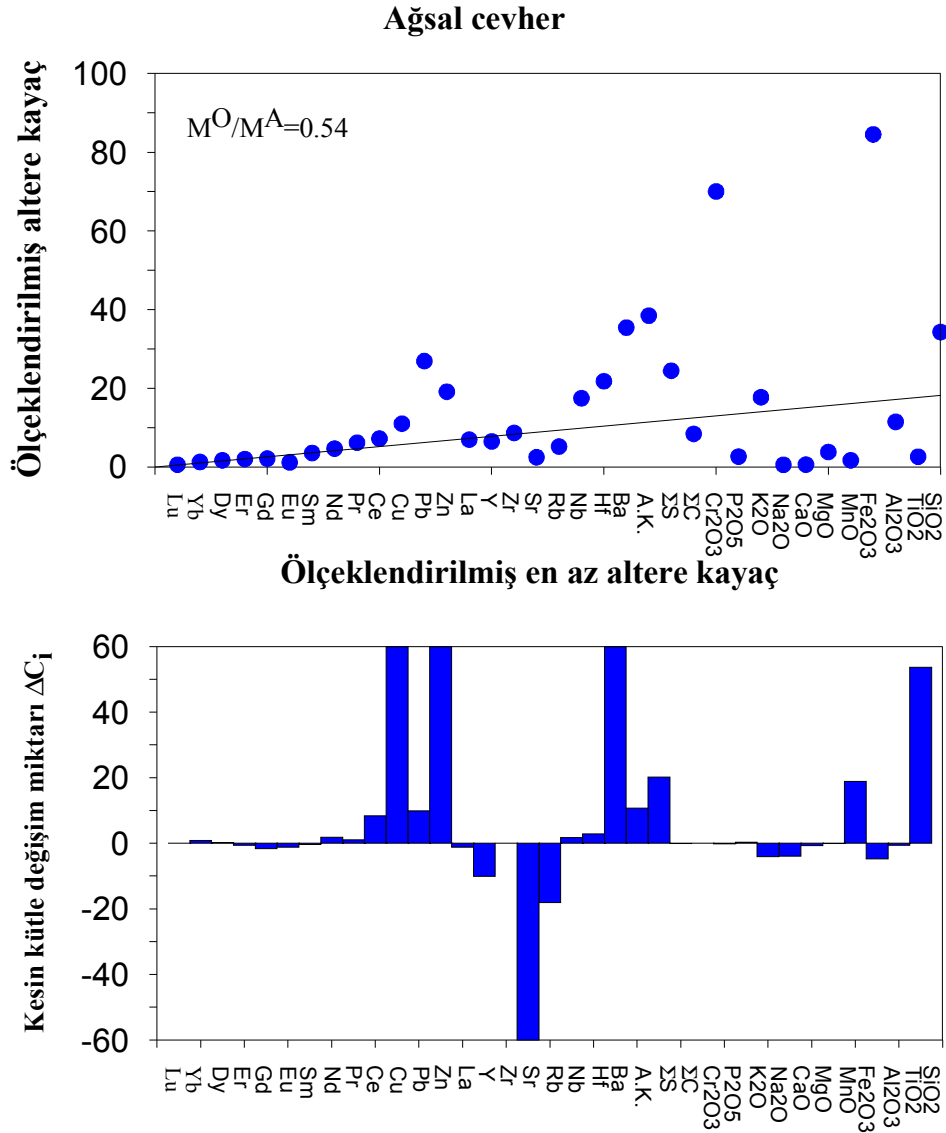
Örnek	En az alrere Kayaç (g/100g)	% (g/100g)			Yeniden Düzeltilmiş Bileşim (RC)			Kesin Değişim Oranı (ΔC_i)		
	% dasit	saçınımlı cevher(n=10)	masif cevher(n=5)	ağsal cevher(n=2)	saçınımlı cevher	masif cevher	ağsal cevher	saçınımlı cevher	masif cevher	ağsal cevher
SiO ₂	65,41	16,02	7,34	64,10	19,74	39,48	119,04	-45,67	-25,93	53,64
Al ₂ O ₃	13,28	7,34	1,81	4,62	8,04	10,22	8,52	-5,24	-3,06	-4,76
Fe ₂ O ₃	4,63	27,54	33,98	12,22	44,81	385,65	23,48	40,19	381,02	18,85
MgO	0,99	4,13	4,14	0,12	5,26	17,63	0,23	4,27	16,64	-0,76
CaO	4,12	1,62	2,47	0,09	1,56	18,54	0,17	-2,56	14,41	-3,96
Na ₂ O	4,20	0,06	0,02	0,08	0,07	0,15	0,15	-4,13	-4,06	-4,05
K ₂ O	1,64	0,40	0,10	1,08	0,66	1,21	1,99	-0,98	-0,43	0,35
TiO ₂	0,66	0,07	0,02	0,05	0,08	0,15	0,09	-0,58	-0,51	-0,57
P ₂ O ₅	0,23	0,01	0,03	0,02	0,01	0,26	0,04	-0,21	0,03	-0,18
MnO	0,17	0,06	0,80	0,01	0,07	7,67	0,02	-0,10	7,50	-0,15
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,09	0,01	0,00	0,09	0,00
C	0,13	1,97	2,48	0,05	2,56	15,17	0,09	2,43	15,05	-0,04
S	0,01	26,63	33,45	10,50	45,03	411,51	20,20	45,02	411,50	20,19
A.K	4,54	20,75	22,46	7,94	31,10	226,37	15,19	26,56	221,83	10,65
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	147,37	1013,58	187,48	47,37	913,58	87,48

İz ve nadir toprak elementler (ppm)

Ba	332,00	73,90	3556,60	560,00	141,13	34985,13	1015,39	-190,87	34653,13	683,39
Hf	2,80	5,10	1,14	3,05	5,41	5,95	5,64	2,61	3,15	2,84
Nb	2,50	3,94	0,88	2,30	4,25	4,59	4,27	1,75	2,09	1,77
Rb	39,00	6,78	2,18	11,25	10,92	23,12	20,87	-28,08	-15,88	-18,13
Sr	122,00	45,88	170,36	17,80	48,69	1506,17	32,30	-73,31	1384,17	-89,70
Zr	178,00	166,17	36,86	96,20	178,00	178,00	178,00	0,00	0,00	0,00
Y	50,00	32,06	6,92	21,65	39,27	52,37	39,96	-10,73	2,37	-10,04
Cu	10,00	3817,63	8054,94	10000,00	7982,07	91437,61	18748,25	7972,07	91427,61	18738,25
Pb	2,90	27,43	542,48	6,50	49,41	5278,55	12,79	46,51	5275,65	9,89
Zn	52,00	907,60	3136,80	76,50	917,94	24992,48	148,68	865,94	24940,48	96,68
La	14,20	9,17	6,86	7,05	9,83	47,91	13,01	-4,37	33,71	-1,19
Ce	25,30	22,04	12,24	18,25	24,09	81,59	33,67	-1,21	56,29	8,37
Pr	3,88	2,97	1,75	2,66	3,29	11,66	4,93	-0,59	7,78	1,05
Nd	21,30	12,72	8,06	12,45	14,43	53,30	23,18	-6,87	32,00	1,88
Sm	6,30	3,40	2,10	3,19	4,07	13,86	5,94	-2,23	7,56	-0,36
Eu	1,83	0,44	0,29	0,36	0,45	1,81	0,67	-1,38	-0,02	-1,16
Gd	7,86	4,25	1,77	3,34	5,32	12,84	6,22	-2,54	4,98	-1,64
Dy	7,43	5,28	1,25	3,73	6,55	9,50	6,88	-0,88	2,07	-0,55
Er	4,51	3,70	0,64	2,56	4,42	4,86	4,73	-0,09	0,35	0,22
Yb	4,44	4,06	0,70	2,83	4,69	5,42	5,24	0,25	0,98	0,80
Lu	0,74	0,62	0,10	0,43	0,71	0,77	0,80	-0,03	0,03	0,06



Şekil 4.6. Saçımlı ve masif cevher gruplarına ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar



Şekil 4.7. Ağsal cevhere ait örneklerin ortalama bileşimlerinden sabit Zr'a göre hesaplanan kütle değişim izokronları ve kesin kütle değişim miktarlarını gösteren histogramlar

4.1.2. Hidrotermal Alterasyonun Kimyasal Analiz Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

Çayeli masif sülfür yatağında sondajlardan alınan altere kayaç örneklerinin kimyasal analizleri sonucunda MacLean and Kranidiotis (1987)'e göre yapılan kütle değişim hesaplamaları sonucunda bazı elementlerde meydana gelen değişimler ile bu elementlerin birbirleri ile olan ilişkileri, oluşturulan değişim diyagramlarından faydalanılarak yorumlanmıştır (Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10). Cevher örneklerinde, Cu+Pb+Zn+Ba miktarının

yüksek değerler vermesi nedeniyle logaritmik eksene ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle bazı diyagramlarda logaritmik eksenler kullanılmıştır.

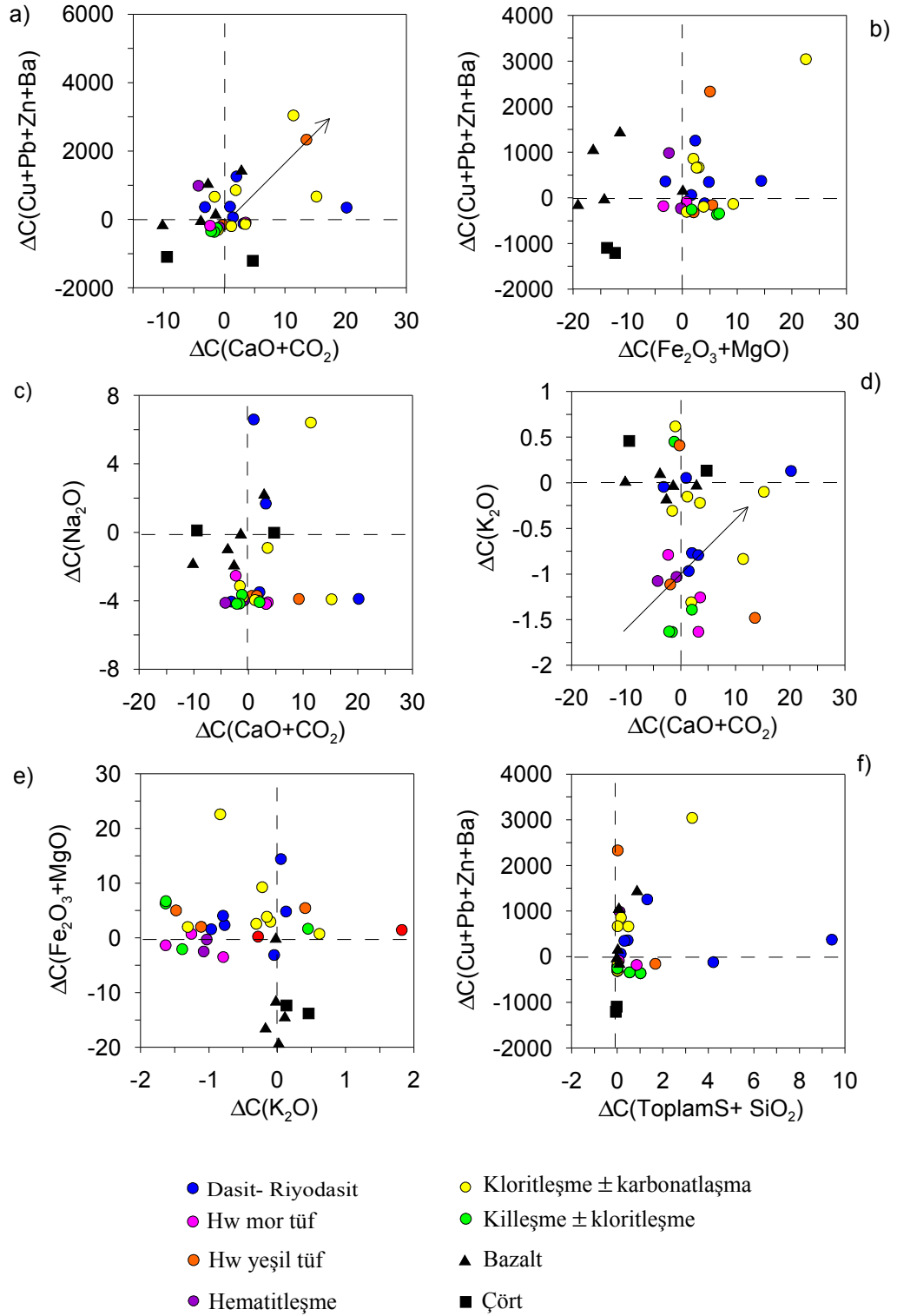
Fe_2O_3+MgO , $CaO+CO_2$, K_2O+Na_2O , Na_2O+CaO , $MgO+CaO$, Na_2O , Na_2O+MgO , K_2O ve CaO değişim diyagramları kütle değişimlerine neden olan karbonatlaşma, kloritleşme ve killeşme olaylarını göstermektedir.

Asidik kayalardaki, $\Delta C(CaO+CO_2)$ ve $\Delta C(Fe_2O_3+MgO)$ değerlerinin $\Delta C(Cu+Pb+Zn+Ba)$ 'a karşı değişim grafikleri incelendiği zaman kloritleşme \pm karbonatlaşma grubu örneklerde Şekil 4.8 a ve b de görüldüğü üzere cevher çökelimiyle birlikte $\Delta C(Fe_2O_3+MgO)$ ve $\Delta C(CaO+CO_2)$ miktarı arasında pozitif ilişki vardır. Bu durum cevherleşmeye karbonatlaşma ve kloritleşmenin eşlik ettiğini gösterir. Killeşme \pm kloritleşme grubu örneklerde $\Delta C(Fe_2O_3+MgO)$ değerlerinin pozitif, $\Delta C(CaO+CO_2)$ değerlerinin ise negatif olduğu görülmektedir. Bu da killeşme \pm kloritleşme grubu örneklerin alterasyon sonunda kloritleştiği sonucunu verir. Bazik kayaların ve tortul kayaların asidik kayalardan net bir şekilde ayrıldığı ve bu örneklerde kloritleşme ve karbonatlaşmanın etkili olmadığı bu grafiklerden anlaşılmaktadır (Şekil 4.8 a ve b).

$\Delta C(Na_2O)$ ve $\Delta C(K_2O)$ 'a karşılık çizilen $\Delta C(CaO+CO_2)$ grafikleri irdelendiğinde asidik kayalarda $\Delta C(Na_2O)$ ve $\Delta C(K_2O)$ 'un eksi değerlerde olduğu, $\Delta C(CaO+CO_2)$ değerlerinin ise pozitif yönde arttığı görülmektedir (Şekil 4.8. c ve d). $\Delta C(Na_2O)$ ve $\Delta C(K_2O)$ değerlerindeki yıkanma feldispatların karbonatlaşması olarak açıklanmaktadır. Bazik ve tortul kayaların bu grafikteki davranışı incelendiği zaman $\Delta C(Na_2O)$ ve $\Delta C(K_2O)$ 'da çok az miktarda yıkanma olduğunu görülmektedir. Bu durum bu kayaların alterasyondan pek etkilenmediğinin göstergesidir (Şekil 4.8. c ve d).

$\Delta C(Fe_2O_3+MgO)$ 'a karşı $\Delta C(K_2O)$ grafiğini incelenildiğinde asidik kayalarda $\Delta C(K_2O)$ yıkanması olduğu buna karşılık $\Delta C(Fe_2O_3+MgO)$ değerlerinde artış olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.8. e). Bu durum kloritleşme olayı ile gerçekleşmektedir. Bazik kayalar ve tortul kayalarda ise $\Delta C(K_2O)$ yıkanması meydana gelmemiştir dolayısıyla bu kayalar alterasyondan fazla etkilenmemiştir (Şekil 4.8. e).

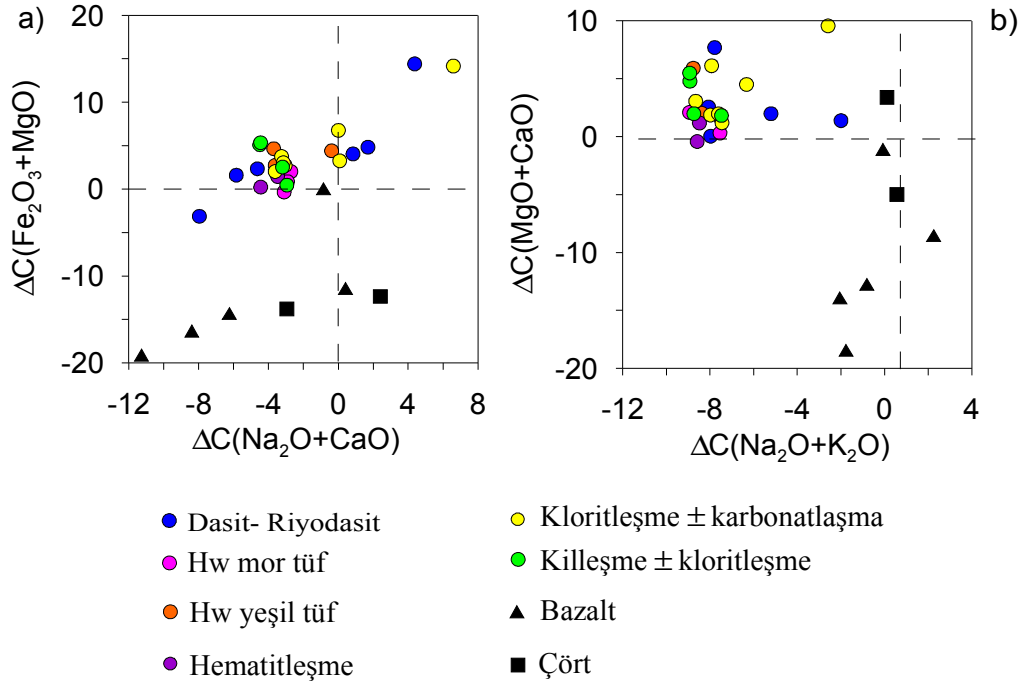
Silisleşme ve cevher çökelimi arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek amacıyla $\Delta C(Cu+Pb+Zn+Ba)$ 'a karşı çizilen $\Delta C(\sum S+SiO_2)$ grafiğini irdelendiğinde, bazik kayalar ile tortulların, cevherleşme ile ilişkisi görülmemektedir. Asidik kayalarda ise cevherleşmeye silisleşme eşlik etmiştir (Şekil 4.8. f).



Şekil 4.8. Hidrotermal alterasyona bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan kesin değişim miktarlarının birbirine göre dağılımları

$\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ 'a karşı çizilen $\Delta C(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ grafiğine göre asidik kayalarda $\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ yıkanmasına karşılık $\Delta C(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ miktarında bir artış olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.9.a). Bu grup içinde özellikle, dasit - riyodasit örnekleri ile kloritleşme \pm karbonatlaşma grubu örneklerinde daha yüksek miktarlarda Fe_2O_3 ve MgO artışı vardır. Buradan dasit- riyodasit grubu ile kloritleşme \pm karbonatlaşma grubunda kloritleşmenin daha fazla miktarda olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca bu iki grup örnekte kloritleşmeye karbonatlaşma ve killeşmenin de eşlik ettiği söylenebilir (Şekil 4.9.a). Bazik kayalarda ve tortul kayalarda ise $\Delta C(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ ile $\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ değerleri arasında pozitif yönde negatif ilişki vardır (Şekil 4.9.a). Bu durum bazik ve tortul kayalarda alterasyon sonucunda bir miktar yıkanma olduğunu gösterir.

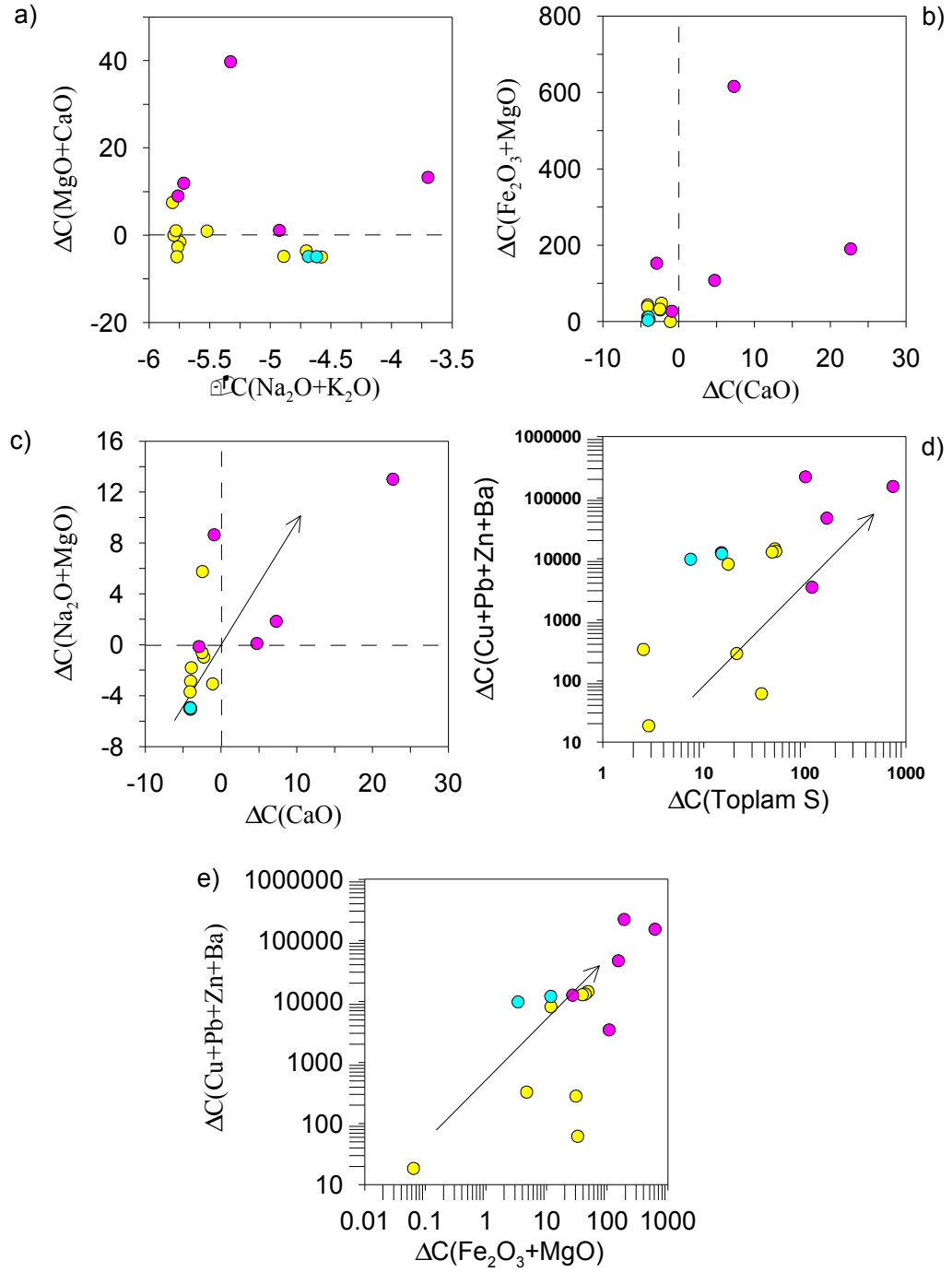
$\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ve $\Delta C(\text{MgO}+\text{CaO})$ ilişkisine bakıldığında ise asidik kayalarda $\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ yıkanması olduğu, buna karşılık $\Delta C(\text{MgO}+\text{CaO})$ değerinin bir miktar arttığı görülmektedir (Şekil 4.9.b). Bu durum asidik örneklerde dolomitleşmeye işaret etmektedir. Bazik ve tortul kayalarda $\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ yıkanması yok denecek kadar az olup, $\Delta C(\text{MgO}+\text{CaO})$ miktarları ise negatif değerlerdedir (Şekil 4.9.b). Asidik bileşimli kayalar ile bazik ve tortul kayaların, hidrotermal alterasyonun etkileri bakımından birbirlerinden net bir şekilde ayrıldıkları grafiklerde açıkça görülmektedir (Şekil 4.9.a ve b).



Şekil 4.9. Hidrotermal alterasyona bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan kesin değişim miktarlarının birbirine göre dağılımları

Cevherli örneklere ait grafikler incelendiğinde, $\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 'a karşı $\Delta C(\text{MgO}+\text{CaO})$ grafiğine bakıldığında $\Delta C(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ değerlerinin negatifte olduğunu, $\Delta C(\text{MgO}+\text{CaO})$ değerlerinin ise saçımlı ve ağsal cevher örneklerinde negatif, masif cevher örneklerinde ise pozitif yönde arttığı görülmektedir (Şekil 4.10.a). Buna göre masif cevherde kloritleşme ve karbonatlaşmanın olduğu söylenebilir. Şekil 4.10. b grafiği ise bu durumu desteklemektedir.

Cevher örneklerine genel olarak bakıldığında ise; kloritleşme, karbonatlaşma ve killeşmenin cevherleşmeye eşlik ettiği görülmektedir (Şekil 4.10 c). $\Delta C(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn}+\text{Ba})$ 'a karşı çizilen $\Delta C(\Sigma\text{S})$ ve $\Delta C(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ grafikleri ele alındığında, $\Delta C(\Sigma\text{S})$ miktarı ile cevherleşmenin arttığı, aynı zamanda $\Delta C(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ miktarlarının da $\Delta C(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn}+\text{Ba})$ değerleri ile pozitif bir ilişkide olduğu net bir şekilde görülmektedir. Dolayısıyla cevher çökelişi ile birlikte kloritleşmenin de geliştiği söylenebilir (Şekil 4.10 d ve e).



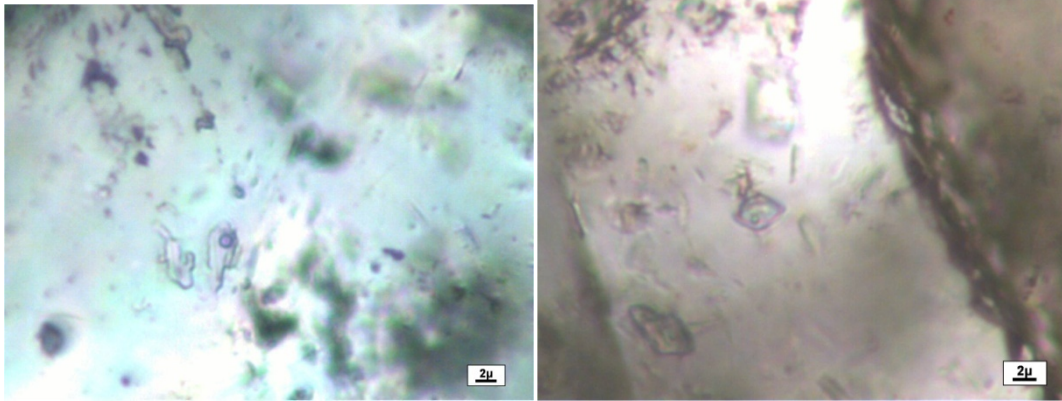
● Saçınımlı cevher ● Masif cevher ● Ağsal cevher

Şekil 4.10. Cevherli örneklerde hidrotermal alterasyona bağlı olarak değişen bileşenlerin hesaplanan kesin değişim miktarlarının birbirine göre dağılımları

4.2. Sıvı Kapanım Çalışmaları

Sıvı kapanımlar, maden yataklarının oluşumunda rol oynayan fizikokimyasal olayların, yataklanma evrelerinin ve yatağın jenezinin anlaşılmasında önemli veriler sağlamaları nedeniyle maden yatakları çalışmalarında oldukça önem taşırlar (Roedder, 1984; Shepherd vd., 1985; Samson ve Russel, 1987; Kiliyas vd., 1996). Sıvı kapanımlardan elde edilen cevher oluşum sıcaklığı, basıncı, sıvının kimyasal bileşimi termodinamik hesaplamalarda kullanılabilirler (Ohmoto ve Rye, 1970; Bowers ve Helgeson, 1983; Roedder, 1984; Samson ve Russel, 1987; Wilkinson, 2001).

Madenköy masif sülfid yatağından alınan örneklerden yapılan sıvı kapanım çalışmalarında yeterli veri elde edilememiştir. Kuvarlardan yapılan 2 kesitten 3 adet birincil kapanım ölçümü (Şekil 4.11) ve 3 adet ikincil kapanım ölçümü yapılabilmektedir.



Şekil 4.11. Kuvarlarda gözlenen birincil sıvı kapanımlar

Birincil kapanımlardaki ölçümler sonucunda; 283°C, 286°C, 310°C homojenleşme sıcaklıkları tespit edilmiştir. Bu kapanımlara ait ilk ergime değerleri sırasıyla -31°C, -32,3°C, 30°C'dir. Son ergime sıcaklık değerleri ise -2,1°C, -1,2°C, -1,7°C olarak ölçülmüştür.

İkincil kapanımlardaki ölçümler sonucunda homojenleşme sıcaklıkları 150°C, 147°C, 126°C, ilk ergime sıcaklıkları -20°C, -22°C, -23°C, son ergime sıcaklıkları ise -0,5°C, -0,6°C, -1,3°C olarak belirlenmiştir.

Birincil sıvı kapanımların ilk ergime sıcaklıkları yaklaşık -30°C olduğunda tuz cinsi olarak NaCl dışında MgCl₂ bileşiminin varlığını düşündürmektedir. Buna karşın ikincil

kapanımları oluşturan çözeltilerde baskın tuz bileşeni olarak NaCl olduğu söylenebilir (Shepherd vd., 1985.).

Son ergime sıcaklıklarına göre ise H₂O- NaCl sisteminde olan çözeltinin tuzluluğunun birincil kapanımlar için % 2.07 ile % 3.55 arasında, ikincil kapanımlar için ise % 0.88 ile % 2.24 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 4.6. Sıvı kapanım çalışmalarında yapılan mikrometrik ölçümler sonucunda elde edilen veriler

Örnek no	Kapanım Türü	İlk Ergime °C	Son Ergime °C	Homojenleşme °C	Tuzluluk %
1760/17-82	Birincil	-31	-2.1	283	3.55
	Birincil	-32.3	-1.2	286	2.07
	Birincil	-30	-1.7	310	2.90
1760/17-82	İkincil	-20	-0.5	150	0.88
	İkincil	-22	-0.6	147	1.05
	İkincil	-23	-1.3	126	2.24

4.3. Duraylı İzotop Çalışmaları

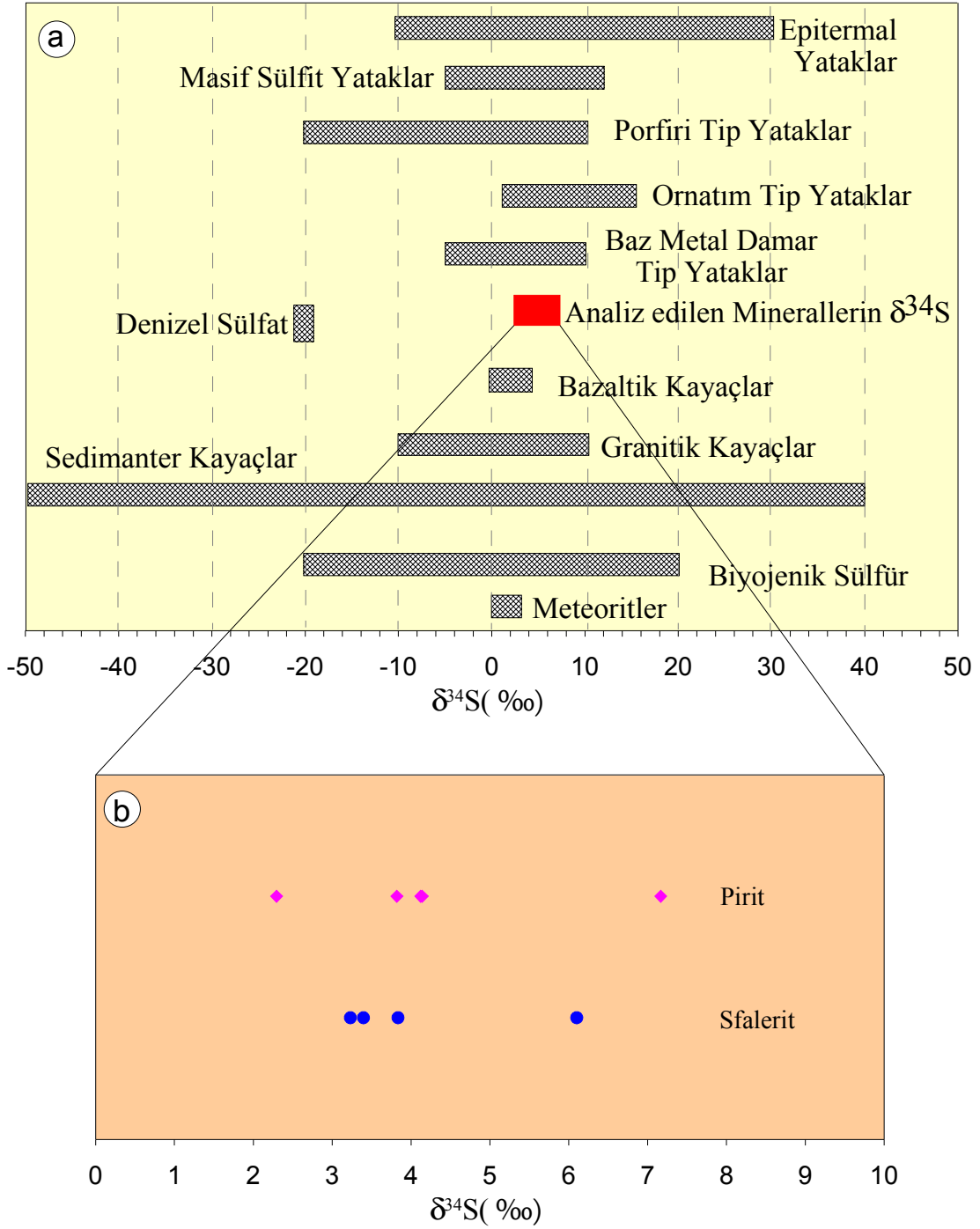
4.3.1. Kükürt İzotop Jeokimyası

Çayeli Madenköy cevherleşmesinde, cevher minerallerini oluşturan kükürtün kaynağını belirleyebilmek için kükürt izotop analizi yapılmıştır. İzotop analizleri, 9 adet örnekten % 100 veya buna çok yakın saflıkta seçilen pirit ve sfalerit mineralleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu mineraller sarı ve siyah cevher zonlarından alınan örneklerde, parçaçıklar halinde bulunan pirit ve sfaleritler ile bu cevher zonlarının matriksini oluşturan pirit ve sfaleritlerden seçilmiştir. Ayrıca, cevher merceğinin tabanında bulunan ve merceği besleyen kanallar boyunca gelişmiş olan silisleşmiş ve kaolenleşmiş kayaçlardan da saçınımlar halindeki pirit ve sfaleritler analiz edilmiştir. Örnek tanımlamaları ve analiz sonuçları Tablo 4.7 ve Şekil 4.12. de verilmiştir.

Tablo 4.7. Çayeli Madenköy cevherleşmesinde, cevherli zonlardan ayrılan pirit ve sfaleritlerin S(‰) izotopik bileşimleri

Örnek No	Örnek Tanımı	Mineral	³⁴ S
ÇAY-1.1	Masif sarı cevherden arılan sfalerit parçaları.	sfalerit	3,2
ÇAY-1.2	Masif sarı cevherin matriksini oluşturan pirit.	Pirit	3,8
ÇAY-2.1	Sfalerit matriksinden oluşan siyah cevher içindeki pirit parçaları.	Pirit	2,3
ÇAY-2.2	Siyah cevherin matriksinden ayrılan sfalerit. Matriksde çok az pirit olabilir. Ancak safaya yakın.	Sfalerit	3,4
ÇAY-3.1	ÇAY-2 örneğinin matriksi içinden ayrılan pirit parçaları. Piritler, sfalerit ile dengede olabilir.	Pirit	4,1
ÇAY-3.2	Sarı cevher içinden ayrılan saf sfalerit parçaları.	Sfalerit	3,8
ÇAY-4	sarı cevherin matriksini oluşturan pirit, oldukça saf biraz kalkopirit içerebilir.	Pirit	4,1
ÇAY-5.1	Çayeli 1720-24 sondajı. Cevher merceğinin tabanında bulunan besleme kanallarındaki, silisleşmiş ve kaolenleşmiş örneklerden ayrılan sfalerit saçınımları.	Sfalerit	6,1
ÇAY-5.2	Çayeli 1720-24 sondajı. Cevher merceğinin tabanında bulunan besleme kanallarındaki, silisleşmiş ve kaolenleşmiş örneklerden ayrılan pirit saçınımları.	Pirit	7,2

Tablo 4.7 den de görüldüğü üzere parçaçıklar halindeki pirit ve sfaleritin ³⁴S izotop bileşimi sırasıyla +2,3 ile +4,1 (‰) ve +3,2 ile +3,8 (‰) arasında değerlere sahiptir. Matriks halindeki pirit minerallerinin ³⁴S izotop bileşimi, +3,8 ile +4,1 (‰) arasında değişmektedir. Parçalar halindeki sfalerit mineralinin ³⁴S izotop bileşimi ise +3,4(‰)'dür. Silisleşmiş ve kaolenleşmiş örneklerden ayrılan saçınımlar halindeki pirit ve sfalerit minerallerinin ³⁴S izotop bileşimleri diğer örneklere nazaran biraz daha yüksektir (pirit +7,2(‰) ve sfalerit +6,1(‰)). Pirit ve sfaleritten elde edilen ³⁴S değerleri genel olarak +2,3 ile +7,2 (‰) gibi dar bir aralıkta değişmektedir (Şekil 4.12b). Bu değişim aralığındaki değerler ile çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiş jeolojik ortam, kayaç ve cevherleşme tiplerine ait izotop verileri karşılaştırılmıştır (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fife, 1985; Hoefs, 1987; Solomon vd., 2004). Bazaltik kayaçlar ile meteoritlerin ³⁴S değerleri 0‰ değerine çok yakındır ve magmatik kükürt bileşenlerini temsil ederler (Hoefs, 1987) (Şekil 4.12a). Madenköy cevherleşmesinden elde edilen izotop değerleri daha çok granitik kayaçlar (³⁴S= ‰-10 ile +10), porfiri tip cevherleşmeler (³⁴S= ‰-20 ile +10), baz metal damar tip yataklar (³⁴S=‰-5 ile +10), ornatım tip yataklar (³⁴S= ‰+2 ile +15) ve masif sülfid yatakları (³⁴S=‰-5 ile +12) için elde edilmiş değerlerin genel dağılım aralığı ile uyumluluk göstermektedir (Şekil 4.12a).



Şekil 4.12. a) Çeşitli kayaç, jeolojik ortam ve Cevherleşme tiplerinin ^{34}S (‰) izotop değişimleri, (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987). b) madenköy cevherleşmesinden alınan pirit ve sfaleritten elde edilen ^{34}S (‰) izotop değişimleri

4.3.2. O ve H İzotopları

Kil mineralleri farklı sıcaklıklarda ve farklı ortamlarda sıvı- kayaç etkileşimi sonucunda oluşurlar. Bu nedenle O ve H izotop çalışmaları oluşum ortamının fizikokimyasal şartlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sheppard vd., 1969).

Çayeli masif sülfid yatağında cevherleşmeyi ve hidrotermal alterasyonu sağlayan çözeltilerin kökenini belirleyebilmek amacıyla ^{18}O ve D oksijen izotop çalışması yapılmıştır. Bu amaçla cevher kütlesi etrafındaki alterasyon zonundan kil örnekleri ve cevher kütlesinin tabanında bulunan ağsal cevher zonundan da kuvars örnekleri alınmıştır. 5 adet kuvars örneği ve 5 adet kil örneği ^{18}O ve D izotop bileşimleri için analiz edilmiştir. Kuvars örneklerinin D izotop bileşimleri, kuvarslar içerisindeki sıvı kapanımlarından yaptırılmıştır. Kil analizleri ise altere kayaçlardan kil fraksiyonu ile ayrılan (Bkz. Bölüm 2); 2 adet simektit- kaolen, 1 adet klorit- simektit, 1 adet klorit ve 1 adet kaolen- illit örneği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ^{18}O ve D analizleri Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Kuvars ve alterasyon zonundan alınan kil örneklerinden, elde edilen $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ (‰) ve D (‰) izotop analiz sonuçları

Örnek no	Mineral	$^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$	D
1740/6 147 m.	Kuvars	9,2	-85,9
2004/22 m.	Kuvars	5,3	-79,6
1680/267 m.	Kuvars	8,9	-67,1
1680/2 75 m.	Kuvars	5,9	-66,9
1840/16 52 m.	Kuvars	10,1	-69,9
1660/26 115 m.	Simektit- kaolen	10,1	-75,1
1520/7 62 m.	Simektit- kaolen	15,9	-67,2
1660/29 255 m.	Klorit-simektit	4,4	-43,5
1660/26 184 m.	Klorit	8,6	-61,4
1780/16 170 m.	Kaolen- illit	10,1	-60,9

Tablo 4.8’de görüldüğü üzere, $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ ve D izotop sonuçları incelendiğinde, kuvars ve kil örneklerinin izotop değerlerinin oldukça dar bir alanda değişim gösterdikleri görülmektedir. Kuvarsların $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değerleri +5,3 ile +10,1 ‰ arasında, D değerleri ise -66,9 ile -85,9 ‰ arasında değişmektedir. Simektit ve kaolenin birlikte bulunduğu kil

örneklerinin $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değerleri +10,1 ile +15,9 ‰ olup D değerleri ise -67,2 ile -75,1 ‰ arasındadır. Klorit ve simektitin birlikte bulunduğu kil örneğinin $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değeri +4,4 ‰, D değeri ise -43,5 ‰'dur. Sadece kloritin bulunduğu kil örneğinin $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değerleri de +8,6 ‰ olup ‰, D değeri -61,4 ‰'dür. Kaolen ve illitin birlikte bulunduğu örnekte $^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değeri +10,1 ‰, D içeriği ise -60,9 ‰'dur.

5. TARTIŞMA

5.1. Çayeli Masif Sülfid Yatağının Jeolojik Özellikleri

Çayeli masif sülfid yatağı çevresinde Üst Kretase yaşlı birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır. Cevherin taban kayacını oluşturan birim dasitik akıntılar, dasitik breşler ve dasitik tüflerden oluşan bir seridir. Bu birim cevherin tavan kayacını oluşturan mor tüfler tarafından üzerlenirler. Mor tüflerin üzerinde litik tüfler yer almaktadır. Sedimanter seri ise litik tüfler üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Bütün bu birimler ve cevher andezit ve bazalt bileşimli intrüziyonlar tarafından kesilmektedir. En genç birimi ise kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır.

Yapı ve doku özellikleri bakımından cevher dörde ayrılmıştır. Masif cevher, ağsal cevher, saçınımlı cevher, klastik cevher. Masif cevher, masif sarı cevher ve masif siyah cevher olarak iki gruba ayrılabilir. Masif siyah cevher ile masif sarı cevher arasındaki ayırım cevherin matriksini oluşturan sfalerit miktarına bağlıdır, cevher, matriksi içindeki sfalerit oranı %10 'dan az ise sarı cevher %10'dan fazla ise siyah cevher olarak adlandırılır. Saçınımlı cevherin esas minerali pirittir. Mikroskop incelemelerinde genellikle gri- beyazımsı renkte gang minerali (kuvars) içerisinde dağınık halde görülmektedir. Ağsal Cevher, masif merceğin tabanında yer alır. Üç ayrı alt grup olarak sınıflandırılabilir. Piritik ağsal cevher, kalkopiritik ağsal cevher ve taban ağsal cevheri. Klastik cevher de kendi içerisinde klastik sarı ve klastik siyah cevher olarak ayrılmaktadır.

Masif sülfid merceği başlıca pirit, kalkopirit, sfalerit, galen minerallerinden, az oranda da, fahlerz, bornit, kalkozin- kovellinden oluşmaktadır. Gang minerallerini ise kuvars, barit, karbonat mineralleri, kil mineralleri, serizit ve jips oluşturmaktadır.

Cevher genel olarak kırıntılı bir yapı gösterir ki bu özellik sülfürlü minerallerin çökeliminden sonra ya da onunla eş zamanlı olarak deniz tabanında oluşan faylanma veya kayma hareketleri ile ilişkilidir (Akçay ve Arar, 1999).

Cevher merceğinin enine kesitlerinde bir mineralojik birlikteliğin varlığı göze çarpar. Bu zonlanma merceğin tavanından tabanına doğru: Sfalerit- galen- barit ve az miktarda kalkopirit ve pirit, pirit – kalkopirit, pirit- kalkopirit- kil, pirit- kalkopirit- kuvars şeklinde sıralanabilir (Akçay ve Arar, 1999).

Cevher merceği kendi içerisinde homojen olmayıp, kuzeyden güneye doğru yanal olarak farklılık göstermektedir Buna göre mercek üç alt bölgeye ayrılabilir. K 1740- K 1900 arası kuzey zon, K 1700- K 1740 arası orta zon, K 1540- K 1700 arası ise güney zon olarak adlandırılır. Bu zonlar farklı litolojik özellikler gösterir. Kuzey zon siyah ve sarı cevher içerir, orta zon ise kırıntılı cevherden oluşur. Güney zon diğer zonlara göre daha karışık bir stratigrafik dizilim göstermektedir.

Bütün bu özellikler Çayeli masif sülfid cevherleşmesinin çok iyi tanımlanmış Kuroko tipi yataklara (Franklin vd.,1981) uyduğunu göstermektedir. Cevherin kırıntılı yapısı ve kolloform yapıları pirit, sfalerit ve galenin varlığı, cevherin oluşumu anında veya sonrasında mekanik olarak taşınmaya maruz kaldığının göstergesidir (Eldridge vd., 1983). Benzer özellikler Lahanos (Espiye- Giresun) masif sülfid yatağında da gözlenmiştir (Tüysüz ve Er, 1995). Çayeli sahasında cevher merceğinin güney, orta ve kuzey zonları arasında stratigrafik farklılık yörede tekrarlanan bir hidrotermal faaliyet olması gerektiğini düşündürmektedir. Ağsal cevherleşme bu tür yatakların beslenme kanallarının üst kesimini oluşturur (Eldridge vd., 1983). Bu tür cevherleşme Çayeli masif sülfid merceğinde kuzey zonda daha yaygındır. Bu durum asıl hidrotermal faaliyetin kuzey kesimde olduğunu, güney zonda da tali kanalların gelişmiş olabileceğini göstermektedir (Akçay ve Arar, 1999). Orta zonda daha çok klastik cevherin olması ise gerek kuzey ve gerekse güney zondan itibaren bir hareketlenmenin olduğunu ve buna bağlı olarak konglomeratik yapıları cevherin oluşmuş olabileceğinin göstergesidir. Zira klastik cevherde zaman zaman da dm boyutlu parçalar bulunmaktadır ve bu parçalar çok farklı cevher tiplerinden kaynaklanmaktadır. Bazı parçalar yeknesak bileşimli (tamamen masif siyah ya da masif sarı) olmalarına karşın, bazı parçalar ise kendi içinde dıştan içe doğru zonlu yapıları gösterebilmektedir. Bu tür parçaların varlığı muhtemelen cevher oluşum havzasındaki (siyah duman) bacalarının duraylılıklarını kaybetmeleri sonucunda yıkılıp parçalandığını ve orta zona taşındığını göstermektedir.

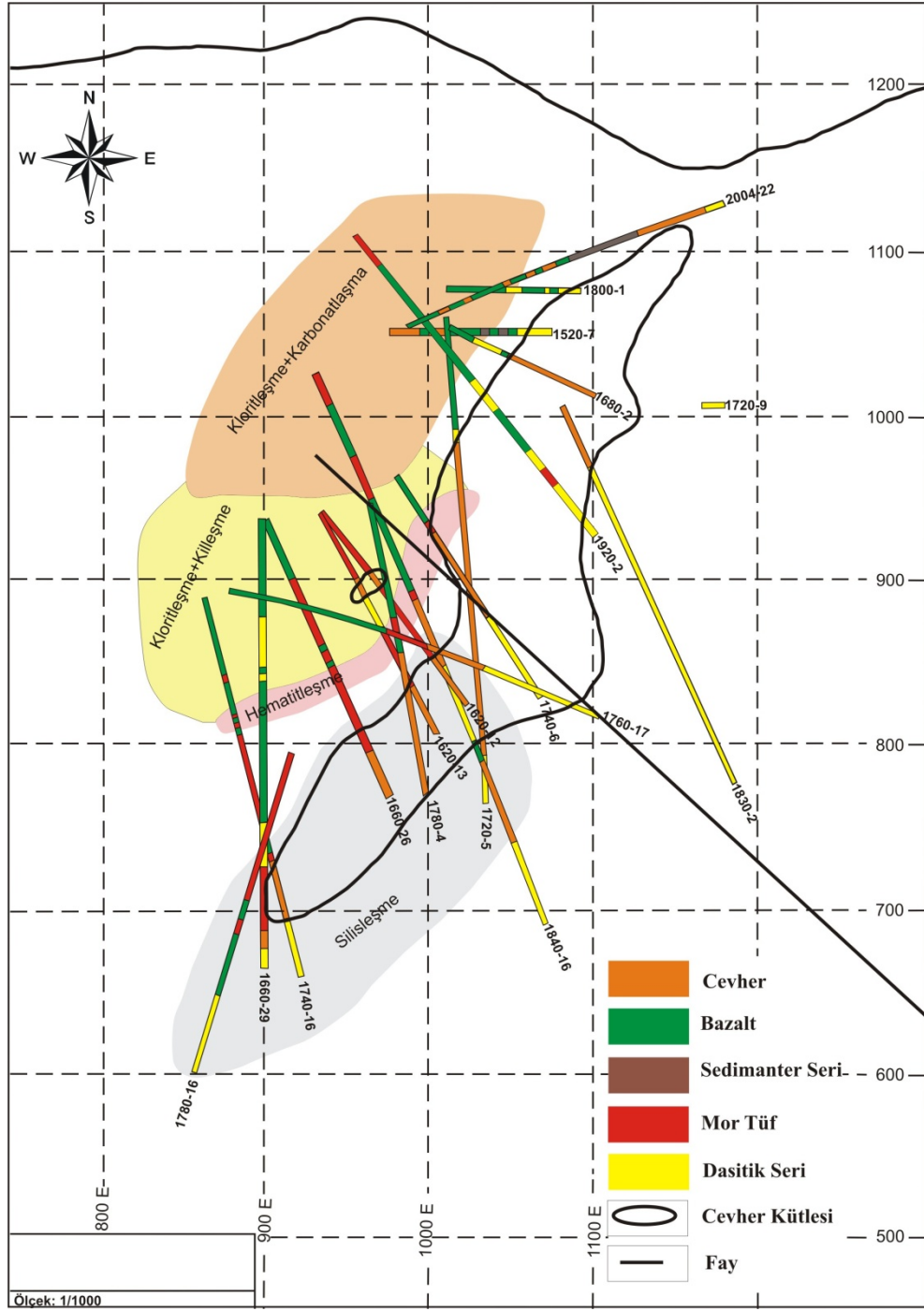
5.2. Hidrotermal Alterasyonun Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Masif Sülfid merceğinin tabanında bulunan ve cevheri içeren dasitik birim hidrotermal alterasyondan yoğun olarak etkilenmiştir. Cevherin tavanını oluşturan mor tülferde ise dasitik birime göre daha zayıf bir hidrotermal alterasyon görülmektedir. Silisleşme, killeşme, kloritleşme, karbonatlaşma, hematitleşme ve az oranda da

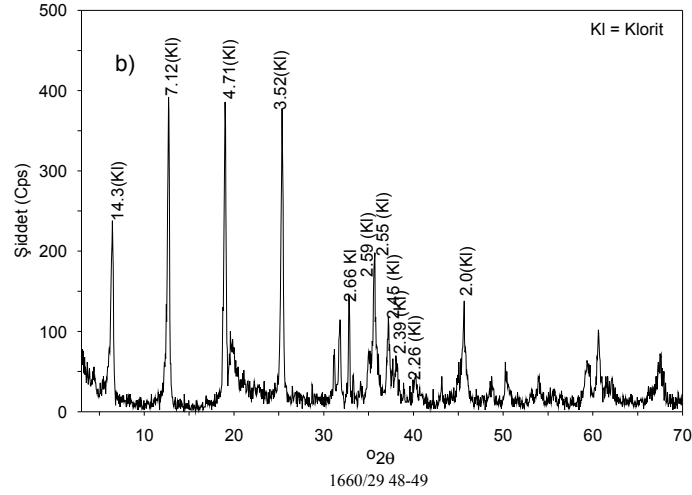
serizitleşme maden sahasında gözlenen alterasyon türlerini oluşturur. Kil minerallerinin simektit, kaolen ve az oranda illit grubu olduğu XRD analizleri ile tespit edilmiştir.

Masif sülfid yataklarında hidrotermal alterasyon tabandan tavana doğru dört ayrı zondan oluşmaktadır (Shirozu, 1974). Bu zonlar sırasıyla, besleme kanallarının çevresinde oluşan bir alterasyon bacası, cevher merceğinin altında yer alan zon, cevherli zonun çevresindeki alterasyon zonu ve tavan kayacındaki alterasyondur.

Çayeli masif sülfid yatağında da benzer bir alterasyon modelini görmek mümkündür. Hidrotermal alterasyon zonu içerisinde simektit ve kaolen cevherleşmeden uzak kesimlerde bulunmaktadır. Kaolen mineralleri düşük sıcaklıklarda (<150- 200 °C) oluşan minerallerdir ve 3-4 civarındaki pH'ı işaret ederler (Henley vd., 1980; Sillitoe, 1993; Arribas, 1995). Cevherleşmenin merkezinde illit ve kuvars bakımından zengin bir zon bunun hemen dışında demir ve magnezyum bakımından zengin kloritler bulunmaktadır (Şekil 5.1.). Madenköy masif sülfid yatağından alınan kloritleşmiş örneklerin petrografik incelemelerinde bu durum desteklenmektedir. Ayrıca yapılan tüm kayaç kimyasal analizlerinde magnezyum değerlerinin yüksek gelmesi ve bu örneklerin yönsüz XRD çekimlerinde kloritlerin sırasıyla 2.66, 2.59, 2.55, 2.45, 2.39 ve 2.26 Å piklerinin tanımlanması bu görüşü desteklemektedir (Şekil 5.2.). Bu pikler kloritlerin Fe-Mg- klorit ve Mg- klorit bileşiminde olduğunu göstermektedir (Bailey, 1980; Moore ve Reynolds, 1997; Nagasawa vd., 1976). Kloritin bileşimi masif sülfid cevherleşmesi yakınında demirce zenginleşirken, daha uzakta magnezyumca zenginleşir. Mg- klorit soğuk deniz suyu ile sıcak hidrotermal çözeltilerin etkileşiminden oluşur (Franklin vd., 1981; Allen, 1988; Santaguida vd., 1992).



Şekil 5.1. Petrografik, XRD ve kimyasal analiz sonuçlarına göre belirlenmiş olan farklı kayaç gruplarındaki alterasyon türlerinin sondaj kesitindeki görünümü



Şekil 5.2. Kloritin tüm kayaç XRD difraktogramı (Kl: Klorit).

Bu çalışmada bazaltik bileşimli kayaçlar (bazalt ve piroklastları), tortul kayaçlar (çört), asidik bileşimli kayaçlar (dasit, riyodasit ve piroklastitleri) ve cevher örnekleri ayrı ayrı gruplanarak bir alterasyon sınıflaması yapılmıştır. Her grubun kütle değişim hesaplamaları kendi kayaç türünün en az altere kayacı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca asidik bileşimli kayaçlar kendi içerisinde alterasyon değişimine göre 6 alt gruba ayrılmıştır.

Dasit ve riyodasit örneklerinin alterasyonu sonunda kayaçta bir kütle artışı olduğu görülmektedir (Tablo 4.3, Şekil 4.2.). İzokrona göre elementlerin davranışları incelendiğinde, ana oksitlerden Si, Al, Fe, Mg, C, S ve A.K' da yüksek miktarda artış olduğu; buna karşın Ca, Na ve K' da ise belirgin miktarda azalmanın olduğu belirlenmiştir. Hidrotermal alterasyon sonucunda kütle değişimine uğrayan tavan kayacı olan yeşil tüflerin kütlelerinde bir azalma olduğu görülmektedir (Tablo 4.3, Şekil 4.3.). İzokronun eğimine göre elementlerin davranışları incelendiğinde en yüksek artışların ana bileşenlerden Mg, C, S ve A.K olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın ana bileşenlerden Si, Al, Fe, Ca Na ve K' da önemli miktarlarda azalmalar meydana gelmiştir. Cevherin tavan kayacını oluşturan mor renkli dasidik tüflerden alınan örneklerin kütle değişim hesaplamaları sonucunda kayacın kütlelerinde bir azalma olduğu görülmektedir (Tablo 4.3., Şekil 4.2.). Kütle kaybı; analiz edilen ana bileşenlerden Si, Al, Ca, Na ve K' da meydana gelmiştir. En yüksek artışlar Fe, Mg, C, S ve A.K' da görülmektedir. Hematitleşmiş örneklerde kütle azalmıştır. Bu örneklerde en yüksek artış A.K' da ve çok cüzi miktarda S ile C'da olurken, diğer ana oksitlerin tümünde kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 4.3, Şekil 4.3). Kloritleşme Karbonatlaşma grubuna ait örneklerin alterasyonu sonucunda

ilkkel kayaa ktlesl artmıştır (Tablo 4.3., Şekil 4.4.). Bu grupta en yüksek artışların ana bileşenlerden Si, Al, Fe, Mg, Ca, C, S ve A.K' da, buna karşın en yüksek kayıpların ise, Na ve K' da olduğu teŐit edilmiştir. Killeşme Kloritleşme grubunda kayaa ktlesl azalmıştır (Tablo 4.3., Şekil 4.4.). Bu rneklerde Mg, C, S ve A.K' da artış olurken Si, Al, Fe, Ca, Na ve K da azalma meydana gelmiştir.

Bazık bileşimli kayaaalara bakıldığında hidrotermal alterasyon sonucunda bir kütle kaybı olduğu görülmektedir (Tablo 4.4, Şekil 4.5.). Alterasyon sonunda ana bileşenlerden Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K ve A.K. da azalma görülürken, C ve S' de artış meydana gelmiştir.

rt rneklerinin kayaa kütlesinin alterasyon sonunda azaldığı söylenebilir (Tablo 4.4, Şekil 4.5.). Alterasyona bağlı olarak ana bileşenlerde sadece Na ve K da kütle artışı gerçekleşirken, diğer bileşenlerde kütle kaybı meydana gelmiştir.

Çayeli masif sülfid yatağında yapılmış olan sondajlardan alınan cevherli örnekler kendi içinde, saçınımlı cevher, masif cevher ve ağsal cevher olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Her grubun kütle değişim hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır (Tablo 4.5, Şekil 4.6.). Buna göre saçınımlı cevherde, cevherleşme sonunda kayacın kütle artışına uğradığı görülmektedir. Cevherleşme ile kayaa kütlesindeki asıl artışlar ana bileşenlerden Fe, Mg, C, S ve A.K.'da meydana gelirken, Si, Al, Ca, Na ve K' da azalma gerçekleşmiştir. Masif cevherde alterasyon sonunda kayacın aşırı bir kütle artışına uğradığı görülmektedir. Özellikle Fe, Mg, Ca, C, S ve A.K.'da yüksek miktarlarda kütle artışı gerçekleşirken, Si, Al, Na, K'da ise kütle kaybı meydana gelmiştir. Ağsal özellikteki kısımlardan alınan örneklerde hidrotermal alterasyon sonucunda kayaata bir kütle artışı meydana gelmiştir. Ağsal cevherde diğerlerinden farklı olarak Si miktarında önemli bir artış olmuştur. Bunun dışında Fe, K, S ve A.K. miktarında artış gerçekleşmiştir. En yüksek kayıplar ise Al, Mg, Ca, Na değerlerinde izlenmiştir.

Tüm bu kütle kayıp ve kazanç hesaplamalarında bazık kayaaaların alterasyondan daha az etkilendiği asidik kayaaaların ise alterasyondan daha fazla etkilendiği görülmektedir. Na_2O+CaO 'ya karşı Fe_2O_3+MgO grafiğinin davranışı oldukça dikkat çekicidir (Şekil4.9a). Asidik kayaaalarda Na_2O+CaO azalmasına karşın Fe_2O_3+MgO artışı izlenmektedir. Bu da kloritleşmeyi göstermektedir. Bu durum dasidik piroklastitlerde deniz suyu ile hidrotermal çözeltilerin etkileşimini ifade eder. Cevherli örneklerdeki kütle kayıp-kazanç hesaplamalarında Fe_2O_3+MgO artışıyla birlikte cevherleşmede de artışın olduğu

görülmektedir (Şekil 4.10) ki bu da cevherleşmenin artışı ile kloritleşmenin arttığı sonucunu gösterir.

5.3. Hidrotermal Sıvıların Oluşum Koşulları

Sülfid mineralleri arasındaki izotopsal denge ayrımlanma faktörleri kullanılarak bu minerallerin oluşum sıcaklıkları belirlenebilmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979). Bu amaçla değişik mineraller arasında mineral çiftleri oluşturulmakta ve izotopsal oran farkları hesaplanarak, önerilen formüller yardımıyla oluşum sıcaklıkları belirlenmektedir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için, belirlenen mineral çiftlerinin, oluşum sırasında dengede olmaları, mineraller oluşuktan sonra birbirleriyle veya çözeltiyle aralarında izotopik etkileşme ve değişimler gelişmemelidir. Ayrıca; gerek elle ayırma yöntemi ve gerekse farklı ayırma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen mineral ayırma işlemi sırasında, farklı mineral türlerinin birbirlerinden çok iyi ayrılmış olmaları gerekmektedir.

Bu çalışmada Madenköy cevherleşmesinden alınan pirit ve sfaleritler arasında, Ohmoto ve Rye (1979) tarafından belirlenen denge denklemleri ile kükürt izotop jeotermometreleri uygulanmıştır. Kullanılan mineral çiftleri ve elde edilen sıcaklık değerleri ile denge durumları Tablo 5.1' de verilmiştir.

Cevher mikroskobisi çalışmalarında hangi mineralin hangi mineralle dengede olduğu gözlenebiliyor olsa da, mineral ayırımı sırasında bu denge durumuna göre ayırım yapmak mümkün olmamaktadır. Elde edilen sıcaklık değerlerine göre sülfid minerallerinin bazılarının dengede bazılarının ise dengede olmadığı görülmektedir. İzotop ölçümleri yapılan pirit ve sfalerit minerallerinden aynı örneklerde elde edilen çiftler üzerinde T_1 : $251 \pm 38^\circ\text{C}$, T_2 : $306 \pm 42^\circ\text{C}$ ve T_3 : $384 \pm 48^\circ\text{C}$ izotopik denge sıcaklıkları elde edilmiştir (Tablo 5.1.). Bu sıcaklık değerlerinden özellikle ilk ikisi sıvı kapanımlardan elde edilen sıcaklık değerleri ile oldukça uyumludur. Zira çok az sayıda da olsa ölçülmüş olan sıvı kapanımlarında birincil kapanımlar 283°C , 286°C , 310°C , ikincil kapanımlar ise sıcaklıkları 150°C , 147°C , 126°C değerlerini vermiştir. Buna göre Madenköy cevherinin oluşumu için 300°C sıcaklığı uygun düşmektedir.

Çağatay ve Eastoe (1995), Doğu Karadeniz metalojenik provensinde $\delta^{34}\text{S}$ izotopları üzerinde yaptığı çalışmada Madenköy cevherleşmesinde pirit ve sfaleritten oluşan masif cevherde ‰ 4.3-6.1 arasında olduğunu belirtmiştir. Gökçe (1992), yine bu bölgede Kuroko tip masif sülfid yataklarında yaptığı $\delta^{34}\text{S}$ izotop çalışmalarında Madenköy yöresine ait $\delta^{34}\text{S}$

izotop değerlerini % 3.8- 5.14 olarak ifade etmiştir. Bu durum $\delta^{34}\text{S}$ izotop aralığının asidik kayalarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu verilere dayanarak Bölüm 4 'de ifade edildiği gibi cevher minerallerini oluşturan kükürdün kaynağının magmatik olduğunu söylemek mümkündür (Hoefs, 1987). Burada kükürdün kaynağı magmatik kayaların yıkanmasından açığa çıkan kükürt olabileceği gibi doğrudan magmatik zeltiller de olabilir (Huston, 1999).

Tablo 5.1. İki sülfürlü mineralin kükürt izotop değerlerine bağlı olarak belirlenen kükürt izotop jeotermometreleri (Ohmoto ve Rye, 1979).

rnek No	Mineral ifti	Δ	T(°C)	Denge Durumu
ay-5,2-ay-5,1	Pirit-Sfalerit	1,1	251 ± 38	dengede
ay-1,1-ay-3,1	Pirit-Sfalerit	0,9	306± 42	dengede
ay-1,1-ay-4	Pirit-Sfalerit	0,9	306± 42	dengede
ay-3,1-ay-2,2	Pirit-Sfalerit	0,7	384± 48	dengede
ay-4-ay-2,2	Pirit-Sfalerit	0,7	384± 48	dengede

5.4. Hidrotermal Sıvıların Bileşimi ve Kökeni

Masif sülfid yatakları denizel kaynaklı sulardan itibaren oluşmuşlardır. Yapılan izotop çalışmaları bu tür yatakların oluşumunda etkin olan zeltillerin çoğunlukla deniz suyu kökenli olduğunu göstermiştir.

Çayeli masif sülfid yatağında cevherleşmeye ve alterasyona neden olan zeltillerin izotop bileşimlerinin hesaplanmasında kil minerallerinden elde edilen O izotop değerleri kullanılmıştır. Bu minerallerden elde edilen O izotop bileşimleri doğrudan alterasyonu oluşturan zeltillerin izotop bileşimini vermemektedir. Sıvı kapanımlardan ve S izotop jeotermometresinden elde edilen mineral oluşum sıcaklıklarının çözeltinin sıcaklığıyla aynı olduğu kabul edilerek mineral- su izotop farklılaşma denklemleri yardımıyla hidrotermal çözeltinin izotop bileşimi hesaplanmıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesinde masif sülfid yataklarında yapılan çalışmalarda bu yatakların oluşum sıcaklığının sıvı kapanım verilerine göre 250-350°C arasında olduğu belirlenmiştir (Gökçe, 1992). Madenköy'de yapılan sıvı kapanım çalışmalarında 280-310°C, S izotop jeotermometresinde ise 250, 306, 384°C arasında oluşum sıcaklıkları belirlenmiştir. 384°C lik değer beklenenden yüksektir. Bu durumda 250°C ve 306°C lik sıcaklıklar masif sülfid yataklarının oluşum sıcaklıkları ile benzerdir. Özellikle 306°C

izotopik denge sıcaklığı sıvı kapanım sıcaklıkları aralığına düşmesi nedeniyle hidrotermal çözeltilerin O izotop bileşimlerinin hesaplanmasında sıcaklık değeri 300°C kabul edilmiştir. Bu değere göre hesaplanan hidrotermal çözeltinin $^{18}\text{O}_{\text{sıvı}}$ izotop bileşimleri Tablo 5.2.' de verilmiştir.

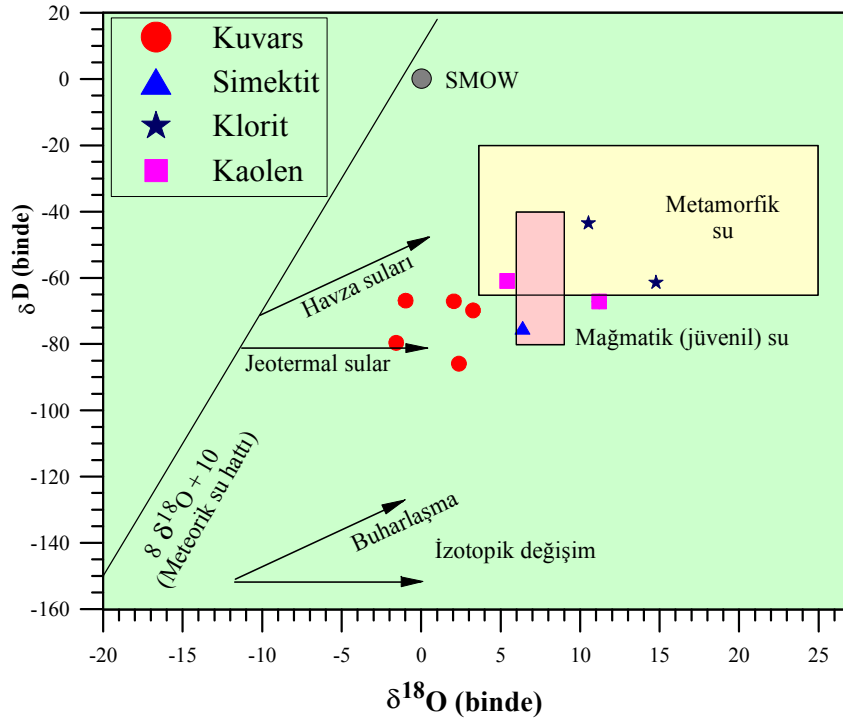
Tablo 5.2' ye göre, kuvarslar ile dengede olan çözeltilerin $^{18}\text{O}_{\text{sıvı}}$ izotop bileşimleri - 0,9 ila +3,3 (‰) arasında, kloritler ile dengede olan çözeltinin $^{18}\text{O}_{\text{sıvı}}$ izotop bileşimi +10,5 ve +14,8 (‰), kaolenler ile dengede olan çözeltinin $^{18}\text{O}_{\text{sıvı}}$ izotop bileşimleri +5.4 ve +11.2 (‰) ve simektit ile dengede olan çözeltinin $^{18}\text{O}_{\text{sıvı}}$ izotop bileşimi ise +6.4 (‰) olarak hesaplanmıştır.

Kuvars ve kil minerallerini oluşturan sıvıların oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri, cevherleşmeye ve buna bağlı olarak da alterasyona neden olan sıvı veya sıvıların kökenini belirlemek için, $^{18}\text{O}_{\text{sıvı}}$ 'e karşı D değişim diyagramına aktarılmış ve değişik kökenli sıvıların karşılaştırılması sağlanmıştır (Taylor, 1974; Ohmoto, 1986), (Şekil 5.3.).

Kuvars örnekleri, hidrojen ve oksijen açısından dar bir aralıkta değişmektedir. Kuvarsların oluşumunu sağlayan çözeltilerin daha çok havza sularından (denizel kökenli) itibaren oluşmuş olup bir miktar da magmatik çözeltiden etkilenmiştir. Kil minerallerinin magmatik alanın içerisinde ve bir miktar dışında oluşu, killeşmeye yol açan çözeltinin magmatik kökenden etkilenmiş olduğunu, ancak içerisinde bulunduğu kayalardan da etkilendiğini göstermektedir. Sıvı kapanımlardan elde edilen tuzluluk değerlerinin % 0,88-3,55 olması da bu yorumu desteklemektedir. Zira magmatik sıvının artması tuzluluk değerini arttırır. Halbuki burada nisbeten seyreltik bir çözelti söz konusudur. Çözelti içindeki tuz cinsinin Mg içermeye ihtimalinin belirlenmiş olması (ilk ergime sıcaklıklarına bağlı olarak) denizel kökenli sıvıları desteklemektedir.

Tablo 5.2. 300°C oluşum sıcaklığı için hesaplanan çözeltinin $^{18}\text{O}_{\text{SIVI}}$ izotop bileşimi

Örnek No	Mineral	D	$^{18}\text{O}_{\text{SIVI}}$
1740/6 147 m.	Kuvars	-85,9	2,371601
2004/22 45 m.	Kuvars	-79,6	-1,5724
1680/2 67 m.	Kuvars	-67,1	2,056601
1680/2 74 m.	Kuvars	-66,9	-0,9804
1840/16 52 m.	Kuvars	-69,9	3,259601
1660/29 257 m.	Klorit	-43,5	10,51314
1660/26 184 m.	Klorit	-61,4	14,76714
1520/7 62 m.	Kaolen	-67,2	11,18967
1780/16 170 m.	Kaolen	-60,9	5,402671
1660/26 118 m.	Simektit	-75,1	6,374465



Şekil 5.3. Doğal çözeltilerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri. Çayeli masif sülfid cevherleşmesindeki kuvars ve kil minerallerinin oluşumuna neden olan çözeltilerin ^{18}O ve D izotop farklılaşma grafiği.

6. SONUÇLAR

1. Çayeli Masif Sülfid Cevherleşmesi, Üst Kretase yaşlı dasitik kayaçlar içerisinde yer alır ve yine Üst Kretase yaşlı bazaltik volkanitler içerisinde bulunan mor tüfler tarafından üzerlenir.
2. Masif cevher konveks yapılı bir mercek halindedir. Mercek K 30° D doğrultulu ve 60°- 80° KB' ya eğimli olup, 15°- 20° ile KD' ya doğru yatımlıdır.
3. Başlıca cevher mineralleri, pirit, kalkopirit, sfalerit, fahlerz ve galenden oluşmakta, süperjen birliktelikler ise markazit, bornit, kalkozin- kovellin, gang minerallerini ise barit, karbonat mineralleri, kuvars, kil mineralleri, serizit ve jips oluşturur.
4. Yapı ve doku özellikleri bakımından cevher dörde ayrılmıştır. a) Masif cevher: 1) Masif siyah cevher, 2) Masif sarı cevher. b) Klastik cevher: 1) Klastik siyah cevher, 2) Klastik sarı cevher, 3) Kumlu/ ufalanabilir cevher. c) Ağsal cevher: 1) Pirit damarcıklı cevher, 2) Kalkopirit damarcıklı cevher, 3) Taban ağsal cevheri. d) Saçınımlı cevher.
5. Cevher merceği kendi içerisinde homojen olmayıp, kuzeyden güneye doğru yanal olarak farklılıklar göstermektedir. Buna göre mercek üç alt bölgeye ayrılabilir: K 1740- K 1900 arası kuzey zon, K 1700- K 1740 arası orta zon, K 1540- K 1700 arası ise güney zon olarak adlandırılır.
6. Silisleşme, killeşme, kloritleşme, karbonatlaşma, hematitleşme ve az oranda da serizitleşme maden sahasında gözlenen alterasyon türlerini oluşturur. Kil minerallerinin simektit, kaolen, klorit ve az oranda illit grubu olduğu XRD analizleri ile tespit edilmiştir. Hidrotermal alterasyon zonu içerisinde simektit ve kaolen cevherleşmeden uzak kesimlerde bulunmaktadır. Cevherleşmenin merkezinde ise illit ve kuvars bakımından zengin bir zon yer almaktadır.
7. Çayeli masif sülfid yatağında yan kayaçta gözlenen hidrotermal alterasyonun asidik bileşimli kayaçlarda daha etkili olduğu, buna karşın bazik bileşimli ve tortul kayaçların hidrotermal alterasyondan daha az etkilendiği görülmektedir. Dasitik piroklastitlerde cevhere doğru Si, Al, Fe, Mg'da artış olduğu, buna karşın Ca, Na ve K' da ise belirgin miktarda azalmanın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca cevher zonuna doğru Cu, Pb, Zn gibi elementlerde artış görülmektedir.

8. Birincil sıvı kapanımlarda homojenleşme sıcaklıkları 283°C ile 310°C arasında, ikincil sıvı kapanımlarda ise 126°C- 150°C arasında değişmektedir. Bu kapanımlara ait ilk ergime değerleri birincil kapanımlarda -30°C ile 32,3°C, ikincil kapanımlarda ise -20°C ile -23°C arasındadır. Son ergime sıcaklık değerleri ise birincil kapanımlar için -1,2°C ile -2,1 °C arasında, ikincil kapanımlar için ise -0,5°C ile -1,3°C arasında ölçülmüştür. Tuzluluk değerleri birincil kapanımlar için % 2.07 ile % 3.55 arasında, ikincil kapanımlar için ise % 0.88 ile % 2.24 arasında değiştiği tespit edilmiştir.
9. Madenköy masif sülfid cevherleşmesinden sfalerit ve piritlerde ³⁴S bileşimleri ‰ 2.3 ile ‰ 7.2 arasında değişmektedir. Bu değerler cevher minerallerini oluşturan kükürdün kaynağının magmatik olduğunu belirtmektedir. Kükürt izotop jeotermometre çalışmalarında dengede olduğu düşünülen sfalerit ve pirit mineral çiftlerinden hesaplanan en uygun sıcaklık değeri 306 ± 42°C'dir.
10. O ve H izotop çalışmaları sonucunda ¹⁸O_{mineral} değerleri +4.4 ile +15.9 ‰ arasında, D değerleri ise -43.5 ile -85,9 ‰ arasında değişmektedir. ¹⁸O_{sıvı} izotop bileşimleri ise - 0.9 ile +14.8 değerleri arasındadır. Hesaplanan izotopik bileşimin günümüz deniz suyu bileşimine yakın bir aralıkta bulunması deniz suyunun hidrotermal döngü içerisinde alterasyonda etkin olduğunu ve farklı derecelerde magmatik su katkısının varlığına işaret eder.
11. Madenköy masif sülfid yatağı mineralojik ve jeokimyasal özellikleri bakımından Kuroko Tipi Masif Sülfid Yatakları ile benzer özelliklere sahiptir.

7. KAYNAKÇA

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İÜ, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Akçay, M., ve Arar, M., 1999. Geology. Mineralogy and geochemistry of the Çayeli massive sulphide ore deposit, Rize, NE Turkey. Mineral Deposits: Processes to Processing, Stanley et al. (eds), Balkema, Rotterdam, 459-462.
- Akçay, M., ve Arar, M., 2010. Çayeli Masif Sülfür Yatağının Jeolojik Yapısı, Mineralojisi, Jeokimyası ve Cevher Tipleri Üzerine Yeni Bulgular (Baskıda)
- Akçay, M., Moon, C.J., 2010. Geochemistry of the footwall- and the hanging- wall dacites of the volcanogenic massive sulphide deposits in northeastern Turkey: a potential tool for exploration campaigns (Baskıda).
- Akın, H., 1978. Geologie, Magmatismus Und Lager-Staettenbildung Im Ostpontischen Gebirge-Turkei Aus Der Sicht Der Plattentektonik, Geologische Rundschau, 68, 253-283.
- Akıncı, Ö. T., 1980. Major Copper Metallogenetic Units and Genetic Igneous Complexes of Turkey, European Copper Deposits, S. Jankoviç, R. Sillitoe, Eds., Belgrade, Belgrade Univ. Faculty Geology and Mining, 199-208.
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1999. Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96, Trabzon.
- Allen, R., 1988. False Pyroclastic Textures in altered Silicic Lavas, with Implications for Volcanic- Associated Mineralization, Economic Geology, 83, 7, 1424-1446.
- Altun, Y., 1972. Rize-Çayeli Madenköy 1 sahasının jeoloji etüdü raporu, M.T.A. Rapor No:4787, Ankara
- Altun, Y., 1977. Rize-Çayeli Mandenköy Cu-Zn yatağının jeolojisi cevherleşmeye ilişkin sorunlar, M.T.A. Rapor No: 6440, Ankara.
- Arribas, A. Jr., 1995. Characteristics of High- Sulfidation Epithermal Deposits, and Their Relation to Magmatic Fluid, J. F. H. Thompson, Ed., Magmas, Fluids, and Ore Deposits, Mineralogical Association of Canada, Short Course, 23, 419-454.
- Aslaner, M., 1972. Geological report of Madenköy field, M.T.A (yayımlanmamış)

- Bailey, S.W., 1980. Structures of Layer Silicates, Crystal Structure of Clay Minerals and Their X- Ray Identification, G. W. Brindley, G. Brown, Eds., Mineralogical Society Monograph 5, London, 1-123.
- Barret, T.J. and MacLean, W.H., 1991. Chemical, mass, and oxygen isotopic changes during extreme hydrothermal alteration of an Archean rhyolite, Noranda, Econ. Geology, 86, 406-414.
- Barret, T.J., Cattalani, S. and MacLean, W.H., 1993. Volcanic lithogeochemistry and alteration at the Delbridge massive sulfide deposit, Noranda Quebec, Jour. Of Geochem. Expoloration, 48, 135-173.
- Bektaş, O., 1984. Pontidlerde Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KTÜ, Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji, 3, 1, 2, 53-62.
- Bektaş, O., 1986. Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc-Back of Eastern Pontides, MTA Bulletin, 103,104, 1-15.
- Bowers, T.S. ve Helgeson, H.C., 1983. Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of non ideal mixing in the system H₂O- CO₂-NaCl on phase relation in geologic system: Metamorphic equilibria at high pressures and temperatures, Amer. Mineralogist, 68, 1059-1075.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bulut, F. 1989. Çambaşı (Çaykara- Trabzon) Barajı ve Hidroelektrik Santral Yerlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, İstanbul (Yayınlanmamış).
- Çağatay, M.N., 1993. Hydrothermal alteration associated with volcanogenic massive sulfide deposits: examples from Turkey: Economic Geology, 88, 606-621
- Çağatay, M.N ve Eastoe, C.J., 1995. A sulfur Isotope Study of Volcanogenic Massive Sulfide Deposits of the Eastern Black Sea Province, Turkey, Mineralium Deposita, 30,55-66.
- Eldridge, C.S., Barton, P.B.Jr. ve Ohmoto, H.,1983, Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko ore bodies. Economic Geology, monograph, 5, 570-594.

- Field, C.W. ve Fifarek, R.H., 1985. Light Isotope Systematics in the Epitermal Environment, in Berger, B. R., Bekte, P. M., Eds., *Geology and Geochemistry of Geothermal Systems, Reviews in Econ. Geology*, 2, 99-128.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W. and Sangster, D.F., 1981. Volcanic- associated massive sulfide deposits, *Economic Geology*, 75 th Anniversay, 485-627.
- Geoffrey, M., 1960. Geology of the Madenköy volcanogenic massive sulphide deposit, Eastern Black Sea metallogenic province Turkey: Internal help Dolge Report.
- Gedikoğlu, A., 1970. Etude Geologique De La Region De Gököy (Province D'Ordu-Turquie), Phd Thesis, Faculte Des Sciences DE l'Universite De Grenoble.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, Doçentlik Tezi, KTÜ, Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. The Main Lines of Geotectonic Development in The East Pontids in The Mesozoic Era, *Geocome-I*, 555-580.
- Gökçe, A., 1992. Doğu Karadeniz Bölgesinde Kuroko Tipi (Masif ve Stockwork) Cu- Pb- Zn Sülfid Yataklarının Kükürt İzotopları İncelemesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Ankara.
- Grant, J. A., 1986. The Isocon Diagram- A Simple Solution to Greenses' Equation for metasomatic alteration, *Econ. Geol.*, 81, 1976-1982.
- Gündoğdu, M.N. ve Yılmaz, O., 1983. Kil Mineralojisi Yöntemleri, I, Ulusal Kil Sempozyumu, Bildiriler, Çukurova Üniversitesi, Adana,319-330.
- Hart, T., Gibson, H.L. ve Leshner. C.M., 2004. Trace Element Geochemistry and Petrogenesis of Felsic Volcanic Rocks Associated with Volcanogenic Cu-Zn-Pb Massive Sulfide Deposits, *Economic Geology*, 99, 1003-1013.
- Henley, J.J., Montoya, J.W., Marinenko, J.W. ve Luce, R.W., 1980. Equilibria in the System Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O and Some General Implications for Alteration/ Mineralization Processes, *Economic Geology*, 75, 210-228.
- Hoefs, J., 1987. Stable Isotope Geochemistry, 3rd edn. Springer, Berlin- Heidelberg- New York, 241 p.
- Huston, D.L., 1993. The effect of alteration and metamorphism on wall rocks to the Balcooma and Dry River South volcanics- hosted massive sulfide deposits, Queensland, Australia, *Jour. Of Geoch. Expl.*, 48, 227-307.
- Huston, D.L., 1999. Stable Isotopes and Their Significance for Understanding the Genesis of Volcanic- Hosted Massive Sulfide Deposits: A Review, Reviews in *Economic Geology*, 8, 157-179.

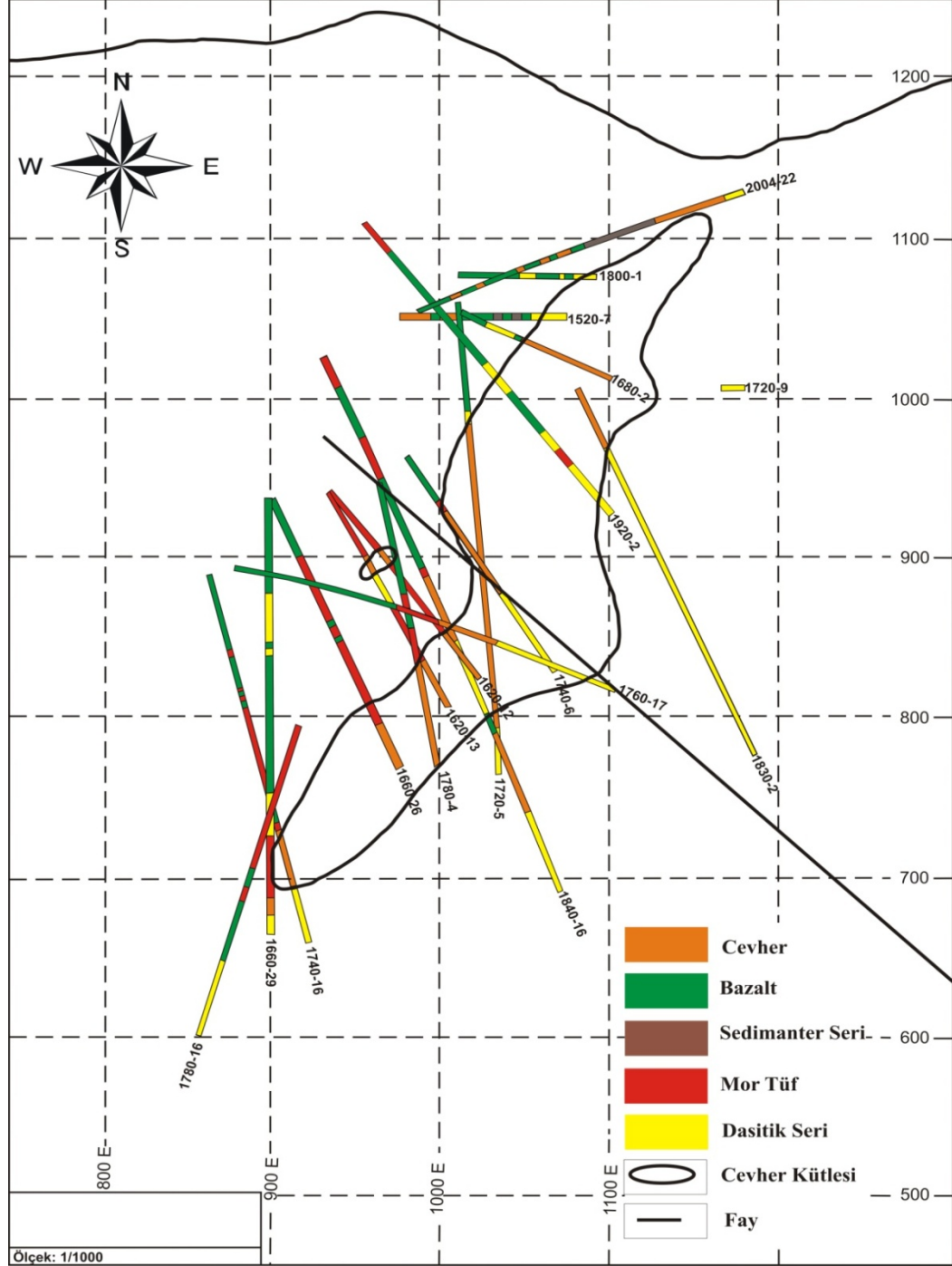
- Jackson, M.L., 1956. Soil Chemical Analysis- Advanced Course, Department of Soil Science, University of Wisconsin, Madison.
- J.C.P.D.S., 1990. Powder Diffraction File, Alphabetical Indexes Inorganic Phases, Swarthmore, USA., 871 s.
- Kawada, K. ve Ergin, A., 1972. Çayeli Bölgesinin, Rize, Türkiye, Jeolojisi ve Jeolojik Yapısı, MTA Rapor No: 4991, Ankara.
- Kawada, K. ve Şarman, E., 1973. Türkiye Rize Çayeli Bölgesinin Jeolojisi ve Jeolojik Yapısı, MTA Rapor No: 5103, Ankara.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-34.
- Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, 520.
- Kilias, S.P., Kalogeropoulos, S.I. ve Madsen, J.K., 1996. Fluid inclusion evidence fort he physical conditions of süflide din the Olympias carbonate- hosted Pb- Zn (Au, Ag) sulfide ore deposit, E. Chalkidiki Peninsula, N. Grece, Min. Deposita, 31, 394-406.
- Kunze, G.W., 1965. Methods of Soil Analysis, Agronomy Society of America Inc., C.A. Black, Ed.,44, 568-577.
- Leitch C.H.B., 1975.Lateral Distribution of Trace Metals in Two Turkish Volcanogenic Sulphide Deposits. M. Sc. Thesis, Univ. London.
- Lydon, J.W., 1988. Volcanogenic Massive Sulfide Deposits, Part 2:Genetic Models; Geoscience Canada, 15, 43-65.
- MacLean, W.H. ve Kranidiotis, P., 1987. İmmobile 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.
- Mado, H., 1973. Çayeli Tipi Bakır- Kurşun- Çinko Yatağı MTA (yayımlanmamış).
- Moore, D.M. ve Reynolds, Jr. R.C, 1997. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, New York, 378 s.
- Müller, G., 1967. Beziehungen zwischen Wasserkörper, Bodensediment und Organismen im Bodensee, Naturwissenschaften, 54, 454-466.
- Nagasawa, K., Shirozu, H. ve Nakamura, T., 1976. Clay Minerals as Constituents of Hydrothermal Metallic Vein- Type Deposits, Mining Geology of Japan, 7, 75-84.

- Nebioğlu, T.Y., 1975. Rize-Çayeli Madenköy I sahasındaki bakır yatağına ait sonuç raporu, M.T.A. rapor no: 4173, Ankara
- Ohmoto , H. ve Rye , R.O., 1970. The Bluebell mine , British Columbia. I. Mineralogy, Paragenesis, Fluid Inclusions And The İsotops Of Hydrogen Oxygen And Carbon, Econ. Geology, 65, 417-437.
- Ohmoto , H. ve Rye , R.O., 1979. Isotopes of Sulfur and Carbon: in Barnes, H. L. (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 2nd, ed., 509-567. John Wiley & Sons, New York.
- Ohmoto, H., 1986. Stable Isotope Geochemistry of Ore Deposits: İn Valley, J.W., Taylor, H.P. and O'Nein, J.R., eds., Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. Reviews in Mineralogy, 16, 491-560.
- Ovalıoğlu, İ., 1971. Madenköy 1 sahasının Jeolojik Raporu. MTA Rapor: 4519 Ankara
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi-Mineralojisi-Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv., Fen Bil. Enstitüsü, Konya.
- Özsayar, T., 1971. Paläontologie Und Geologie Des Gebietes Östlich Trabzon (Anatolien), Gieben, Geol. Schrift., 165-183, Gieben.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoglu, A., 1981. Doğu Pontidler'de Kretase, KTÜ, Yerbilimleri Dergisi, 1, 65-114.
- Öztürk, H., 2002. Çayeli Masif Sülfid Yatağından Kimyasal Analizler İçin Alınması Gereken Örnek Miktarının Belirlenmesi: Gy Formülünün Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pejatoviç, S., 1979. Metallogeny of the Pontid- Type Massive Sulphide Deposits, Mineral Geochemistry of Massive Sulphide- Associated Hydrothermal Sediments of the Brunswick Horizon, Bathurst Mining Camp, New Brunswick, Canadian Journal of Earth Sciences, 33, 252-283.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions: Reviews in Mineralogy, 12.
- Samson, I.M. ve Russel, M.J., 1987. Genesis of the silvermines zinc-lead- barite deposit Ireland: fluid inclusion and stable isotope evidence, Econ.Geology, 82,371-394.
- Santaguida, F., Hannington, M.D. ve Jowett, E.C., 1992. An Alteration and Sulphur Isotope Study of the Pilley's Island Massive Sulphides, Central Newfoundland, Current Research, Part A, Geological Survey of Canada Paper 92-1D, 265-274.
- Sawa, T., Hamamcıoğlu, A., 1970. Giles'in yeni görüşleri altında Karadeniz Bölgesi bakır-kurşun yatakları, Türkiye Maden Bilimleri Teknik 2. Kongresi 64-72, Ankara.

- Schultz-Westrum, H.H., 1961. Kuzeydoğu Anadolu'da Doğu Pontus Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları ile İlgili Mütaalalar, *MTA Dergisi*, 57, 63-71.
- Sheppard, S.M.F., Nielsen, R.L. ve Taylor, H.P., 1969. Oxygen and Hydrogen Isotope Ratios of Clay Minerals from Porphyry Copper Deposits, *Economic Geology*, 64, 755-777.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.N. and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical guide to Fluid Inclusion Studies, Blacic & Son Press., London, 238.
- Sillitoe, R.H., 1993. Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features, Mineral Deposit Modeling, R. V. Kirkham, W. D. Sinclair, R. I Thorpe, J. M. Duke, Eds., *Geological Association of Canada*, 40, 403-417.
- Shirozu, H., 1974. Clay Minerals in Altered Wall Rocks of the Kuroko-Type Deposits, Geology Of Kuroko-Type Deposits, S.Ishihara, K. Kanehira, A. Sasaki, T.Sato, Y. Shimazaki, Eds., *The Society of Mining Geologists of Japan*, 6, 303-310.
- Smith, D.K., Johnson, G.G. Jr., Scheible, A., Wims, A.M., Johnson, J.L. ve Ullmann, G., 1987. Quantitative X-ray Powder Diffraction Method Using the Full Diffraction Pattern, *Powder Diff.*, 2, 73-77.
- Solomon, M., Tornos, F., Large, R.R., Badham, J.N.P., Both, R.A. ve Zaw, K., 2004. Zn-Pb-Cu Volcanic- Hosted Massive Sulphide Deposits: Criteria For Distinguishing Brine Pool- Type From Black Smoker- Type Sulphide Deposition, *Ore Geology Reviews*, 25, 3-4, 259-283.
- Środoń, J., Drits, V.A., McCarty, K.K., Hesieh, J.C.C. ve Eberl, D.D., 2001. Quantitative X-Ray Diffraction Analysis of Clay- Bearing Rocks from Random Preparations, *Clay and Clay minerals*, 49, 514-528.
- Şarman, E., 1975. İsrail ve Eseli Güneyindeki G41-b1, b2, b3, b4, G42-a1, a4 Paftalarına Ait Sahanın 1/10000 Ölçekli Jeolojik Etüd Raporu, MTA Maden Etüd Rap., No:1259, Ankara.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Taylor, H.P.Jr., 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic Geology*, 69, 843-883.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of The Gümüşhane Region, Doktora Tezi, University College, London.

- Tokel, S., 1977. Eocene Calc- Alkaline Andesites and Geotectonism in the Eastern Black Sea Region. Bull. Geol. Soc. Of Turkey, 20, 49-54.
- Turhan, K., 1969. Madenköy Sahasının Jeolojik Raporu, MTA, Rapor No:4591, Ankara
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, 72.
- Tüysüz, N. ve Er, M., 1995. Lahanos (Espiyeye) ve İsraildere (Tirebolu) Masif Sülfid Cevherleşmeleri Çevresinde Görülen Hidrotermal Alterasyon Zonlarındaki Kimyasal ve Mineralojik Değişimler, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 10, 104-113
- Van, A., 1990, Pontid kuşağında Artvin Bölgesinin Jeokimyası, Petrojenezi ve Masif Sülfid mineralizasyonları, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos*, 55, 229-272.
- Yalçınlar, İ., 1952. İspir-Pazar-Arhavi ve Yusufeli Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, MTA, Rap. No: 2022, Ankara.
- Yazgan, E., 1969. Preliminary Field Report, Çayeli, Turkey, Internal Çayeli Bakır Report.
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical Study of The Gümüşhane Granite, İst. Üniv., Fen. Fak., Mec. Seri B, 39, 3-4, 173-203.
- Zankl, H., 1961. Magmatismus Und Bauplan Des Ostpontischen Gebirges Im Querprofil Des Harsit-Tales, NE Anatolien, *Geol. Rdsch.*, 51, 218-239.
- Zankl, H., 1962. Magmatismus Und Bauplan Des Ostpontischen Gebirges Im Querprofil Des Harsit-Tales, Bayerische, Akademie Der Wissenschaften, Abhandlungen, Neue Folge, München, Heft 109, 61-91.

8. EKLER



Ek Şekil 1. Sondaj kuyuların cevher kütlesine göre duruşları

Ek Tablo 1. Kimyasal analizi yapılan örneklerin analiz sonuçları (Ana oksitler %, iz elementler ppm).

Örnek no	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Σ C	Σ S	A.K	Toplam
1780/4 200 m.	52,82	16,28	6,89	3,63	3,27	0,35	0,98	0,29	0,05	0,27	<0,002	1,51	0,24	14,9	101,48
1780/16 86 m.	57,63	12,26	6,30	3,41	3,64	0,86	1,06	0,16	0,03	2,81	<0,002	1,21	1,62	11,4	102,39
1780/16 183 m.	68,63	15,85	2,51	1,77	0,36	0,27	2,75	0,14	0,04	0,09	0,002	0,58	0,81	7,3	101,10
1780/16 240 m.	59,33	7,69	4,60	4,73	8,68	0,28	1,58	0,08	0,04	0,12	<0,002	3,67	0,29	12,6	103,69
1780/16 256 m.	60,56	14,50	7,88	0,76	0,82	4,66	0,73	1,07	0,38	0,10	<0,002	0,43	4,07	8,4	104,36
1780/16 278 m.	70,54	12,37	4,37	0,77	1,75	3,13	0,45	0,31	0,08	0,10	0,003	0,65	2,25	6,0	102,77
1760/17 112 m.	63,49	14,40	4,65	2,48	3,65	0,13	0,43	0,39	0,06	0,33	<0,002	1,50	0,09	9,8	101,40
1760/17 119 m.	45,40	17,94	5,09	4,20	6,52	0,03	0,01	0,28	0,12	0,63	<0,002	2,85	1,84	16,5	101,41
1800/1 144 m.	75,74	11,59	1,68	0,91	1,21	2,05	1,04	0,10	0,03	0,02	<0,002	0,43	1,06	5,5	101,36
1660/26 71 m.	64,75	13,63	4,86	4,18	1,49	0,58	0,62	0,31	0,05	0,15	<0,002	0,45	<0,02	9,2	100,29
1660/26 138 m.	43,32	13,11	7,52	5,31	8,92	0,20	0,19	0,24	0,03	2,07	<0,002	3,54	0,04	18,5	102,99
1780/4 149 m.	61,45	12,87	7,93	2,99	1,07	0,50	2,02	0,36	0,08	0,07	<0,002	0,88	1,66	10,5	102,38
1660/26 99 m.	50,37	25,61	7,65	0,65	0,45	0,22	1,49	0,23	0,73	0,02	0,009	0,13	0,31	11,2	99,07
1720/5 92 m.	54,30	17,78	6,82	2,73	3,17	0,41	1,09	0,30	0,06	0,15	<0,002	1,00	<0,02	13,0	100,83
1620/12 70 m.	62,37	13,28	4,60	5,34	3,37	0,25	0,43	0,24	0,04	0,38	<0,002	1,40	0,23	9,3	101,23
1620/12 118 m.	52,71	10,79	4,76	4,32	8,57	0,31	1,63	0,13	0,04	0,64	<0,002	3,38	0,03	15,8	103,11
1760/17 100 m.	67,09	14,02	4,81	2,21	1,45	0,47	2,49	0,40	0,10	0,21	<0,002	0,68	<0,02	6,6	100,55
1760/17 101 m.	67,33	11,42	6,87	2,30	2,08	0,24	1,44	0,32	0,06	0,31	<0,002	0,96	<0,02	7,5	100,85
1840/16 12 m.	60,98	13,27	7,45	3,04	3,50	2,32	1,00	0,61	0,09	0,30	<0,002	0,60	<0,02	7,3	100,48
1840/16 67 m.	59,79	14,72	6,72	3,10	3,30	3,70	0,28	1,06	0,22	0,14	<0,002	0,62	1,15	6,7	101,50
2004/22 28 m.	61,93	14,70	5,69	3,66	1,73	1,22	1,52	0,41	0,08	0,15	<0,002	0,47	0,57	8,6	100,73
1620/12 65 m.	33,62	23,70	4,19	4,83	7,18	0,31	0,63	0,24	0,11	0,22	0,006	2,63	2,96	19,7	100,33
1660/26 61 m.	63,88	13,47	5,36	2,80	2,18	0,62	2,34	0,38	0,06	0,18	<0,002	0,44	<0,02	8,6	100,33
1660/29 265 m.	25,64	22,98	5,85	25,16	0,32	0,10	0,01	0,19	0,03	0,07	0,007	2,03	2,69	19,1	104,18
1660/29 268 m.	28,16	22,73	3,65	26,61	0,53	0,05	0,02	0,19	0,02	0,05	0,005	1,50	1,37	17,4	102,29
1620/13 120 m.	49,59	7,37	4,62	6,64	11,72	0,09	0,39	0,11	0,07	0,44	<0,002	4,86	<0,02	18,7	104,62
1760/17 120 m.	49,02	15,58	15,94	2,55	3,72	0,07	0,07	0,70	0,30	0,41	<0,002	1,94	0,07	11,1	101,47
2004/22 109 m.	42,52	19,83	15,65	2,36	2,51	0,71	2,15	0,21	0,47	0,53	<0,002	0,70	0,19	12,4	100,23

Ek Tablo 1'in devamı

Örnek no	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Σ C	Σ S	A.K	Toplam
Bazalt	1620/12 41 m.	47,71	17,12	8,37	3,97	9,63	2,12	0,67	0,26	0,22	0,005	1,51	0,02	9,1	101,33
	1760/17 44 m.	46,33	14,74	11,19	9,02	9,05	1,87	0,18	0,10	0,13	0,035	0,13	0,06	6,3	99,86
	1760/17 60 m.	45,47	14,52	10,78	9,27	9,80	1,91	0,20	0,10	0,14	0,032	0,29	0,03	6,9	100,07
	1800/1 48 m.	68,87	12,32	4,17	2,19	2,03	0,87	1,53	0,05	0,05	<0,002	0,75	0,84	7,4	101,42
	1840/16 39 m.	49,69	14,63	7,27	3,15	9,60	5,06	0,22	0,19	0,22	0,059	1,91	1,09	8,8	102,59
	2004/22 87 m.	51,31	11,45	5,05	5,08	8,98	0,09	0,08	0,24	0,83	<0,002	3,68	0,29	15,7	103,41
	1660/26 183 m.	17,89	16,28	27,52	12,03	0,74	0,12	0,22	0,16	0,16	<0,002	2,88	14,05	24,5	116,57
	1680/2 104 m.	7,97	5,79	48,15	4,09	1,80	0,02	0,29	<0,01	0,08	<0,002	1,86	36,26	29,3	135,66
	1720/5 274 m.	21,96	4,80	29,35	12,70	1,95	0,03	0,01	0,05	0,08	<0,002	4,50	19,85	28,7	123,99
	1740/6 136 m.	55,27	8,38	15,51	4,44	0,23	0,07	0,08	0,02	0,14	0,002	2,77	4,58	15,5	107,07
	1740/16 203 m.	22,83	17,85	14,26	8,25	11,95	0,16	0,02	<0,01	0,13	<0,002	4,79	9,91	24,0	114,32
	1740/16 213 m.	6,13	4,58	47,84	6,44	2,30	0,06	0,03	<0,01	0,07	<0,002	2,40	37,77	32,3	139,99
	1760/17 157 m.	14,19	5,22	48,11	1,47	0,04	0,04	1,11	<0,01	0,02	<0,002	0,42	38,00	28,4	137,07
	1840/16 239 m.	13,45	4,89	45,35	0,12	0,01	0,07	1,22	<0,01	<0,01	<0,002	0,02	37,28	27,5	129,98
	1920/2 230 m.	14,78	11,74	38,38	0,27	0,32	0,12	0,10	0,15	0,02	<0,002	0,05	35,94	29,4	131,28
	2004/22 61 m.	17,44	10,56	42,20	0,53	0,09	0,11	2,22	0,11	<0,01	0,002	0,03	32,64	24,7	130,65
	1620/12 116 m.	10,93	1,43	34,67	3,52	5,23	0,03	0,07	0,11	4,05	0,044	4,73	18,53	23,3	106,68
	1760/17 191 m.	5,52	1,75	55,24	1,80	0,44	0,02	0,31	<0,01	0,04	<0,002	0,77	42,49	31,5	139,90
	1780/4 293 m.	3,00	2,11	54,34	2,63	4,45	0,03	0,01	<0,01	0,06	<0,002	1,23	41,57	33,0	142,46
	1780/4 315 m.	23,03	5,29	22,18	16,29	3,81	0,04	0,11	<0,01	0,15	<0,002	5,36	14,97	26,5	117,79
	1840/16 323 m.	1,27	0,74	60,25	0,68	1,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,002	0,30	49,68	32,8	147,09
Ağsal	1840/16 197 m.	65,10	4,35	16,43	0,12	0,11	0,07	1,03	0,05	<0,01	0,003	0,05	12,96	10,4	110,70
Cevher	1840/16 216 m.	73,93	5,66	10,23	0,15	0,08	0,11	1,30	0,06	<0,01	0,003	0,04	8,03	6,9	106,53

Ek Tablo 1'in devamı

Örnek no	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	
Dastı-Riyodastı	1780/4 200 m.	257	2	1,0	1,7	22,5	7,4	6,5	19,2	3	209,0	0,5	2,7	0,8	1,4	248,00	72,2	18,3	47,5	
	1780/16 86 m.	1613	2	1,8	0,5	19,5	6,5	5,2	18,4	2	338,6	0,3	2,2	1,3	<0,5	204,00	57,7	15,6	51,5	
	1780/16 183 m.	146	1	1,2	0,3	22,6	9,7	6,8	34,4	5	39,7	0,5	3,8	1,3	<0,5	300,00	96,1	24,2	57,2	
	1780/16 240 m.	389	1	3,2	0,9	13,8	4,6	2,7	22,4	6	269,6	0,2	1,5	1,5	63	<0,5	150,00	42,7	10,1	25,8
	1780/16 256 m.	96	<1	10,1	0,1	16,0	2,3	1,9	8,5	2	52,8	0,2	0,4	0,6	18	<0,5	70,00	39,5	4,5	13,0
Mor Tüf	1780/16 278 m.	14	<1	2,7	0,1	13,1	3,3	2,7	4,6	1	233,8	0,2	1,5	0,7	<0,5	90,00	44,4	8,4	21,7	
	1760/17 112 m.	69	<1	1,5	0,2	19,3	6,5	5,3	6,2	2	349,7	0,3	1,7	0,5	<0,5	197,5	54,9	11,9	34,6	
	1760/17 119 m.	25949	<1	3,3	<0,1	34,7	10,7	8,7	0,3	5	1405,3	0,6	3,9	2,0	61	2,4	381,9	107,3	26,7	77,7
	1800/1 144 m.	135	<1	0,3	0,1	13,3	7,4	5,3	6,7	1	81,2	0,4	2,6	1,7	<0,5	215,4	69,9	18,7	44,5	
	1660/26 71 m.	11	<1	0,9	0,2	20,2	5,6	5,5	9,3	2	82,3	0,3	2,3	0,5	<0,5	209,9	53,3	12,7	36,1	
Yeşil Tüf	1660/26 138 m.	2587	<1	1,4	0,2	19,7	6,1	5,4	3,6	2	299,6	0,3	1,9	0,6	28,2	208,5	67,8	15,2	39,6	
	1780/4 149 m.	12	<1	2,5	1,1	17,9	5,1	4,8	37,6	2	84,0	0,3	1,9	0,8	9	<0,5	171,5	47,7	13,7	34,2
Hem	1660/26 99 m.	140	3	1,0	1,3	53,0	13,2	9,5	26,4	29	5533,2	0,7	6,0	7,1	365	42,8	476,6	83,6	22,1	56,7
	1720/5 92 m.	51	2	0,3	6,2	23,2	8,6	7,8	29,7	3	280,1	0,5	3,1	0,8	<0,5	317,1	71,5	18,0	51,6	
Kloritleşme-Karbonatlaşma	1620/12 70 m.	586	<1	1,0	0,2	19,0	6,1	5,4	7,0	2	72,2	0,4	2,4	0,8	<0,5	229,7	71,6	16,3	40,6	
	1620/12 118 m.	396	2	1,8	0,8	14,1	5,7	4,5	26,5	2	162,9	0,3	2,6	0,8	<0,5	182,8	37,7	14,0	29,0	
	1760/17 100 m.	35	1	1,5	1,2	19,2	5,7	5,0	40,9	2	58,5	0,3	2,1	0,6	<0,5	195,4	106,0	20,9	35,4	
	1760/17 101 m.	129	2	1,4	0,8	16,6	4,8	4,1	25,2	2	73,6	0,3	1,7	0,4	<0,5	171,0	43,5	7,6	21,5	
	1840/16 12 m.	57	<1	7,0	0,3	16,2	3,9	3,0	17,1	1	138,8	0,2	1,3	0,3	16	<0,5	124,9	35,1	8,4	24,0
	1840/16 67 m.	924	<1	16,9	<0,1	16,5	1,7	2,1	4,4	<1	78,0	0,2	1,8	0,5	129	<0,5	61,1	17,9	5,7	15,1
	2004/22 28 m.	573	1	2,0	0,9	18,9	6,2	5,4	29,7	3	140,8	0,4	2,5	0,8	<0,5	201,8	73,9	13,5	37,4	
Kilitleşme-Kloritleş.	1620/12 65 m.	20312	<1	1,8	0,9	31,8	13,8	9,5	10,8	6	3933,6	0,6	6,0	19,4	237	5,3	450,9	43,1	15,5	39,3
	1660/26 61 m.	68	1	2,2	0,9	20,4	6,0	5,2	37,0	2	85,7	0,4	2,0	0,5	<0,5	198,8	51,9	13,7	36,6	
	1660/29 265 m.	4	<1	0,7	0,2	25,6	13,0	11,1	0,4	5	9,5	0,5	6,0	4,2	11	<0,5	445,3	176,4	38,6	100,2
1660/29 268 m.	9	<1	0,3	0,3	31,4	13,9	10,3	0,6	3	9,4	0,6	5,7	2,4	9	<0,5	427,6	148,4	22,7	61,7	

Ek Tablo 1'in devamı

	Örnek no	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce
Çört	1620/13 120 m.	221	<1	1,1	0,2	10,8	4,6	3,5	7,0	2	436,9	0,2	2,0	1,0	37	2,0	154,2	38,8	12,8	22,8
	1760/17 120 m.	1243	<1	3,4	0,1	23,3	2,8	3,1	1,9	1	1747,6	0,2	3,0	6,2	163	8,1	84,0	24,8	12,3	30,0
	2004/22 109 m.	1118	2	3,8	2,1	24,0	10,7	8,7	32,0	7	1167,5	0,5	5,3	1,0	168	1,9	340,9	57,0	18,8	55,9
Bazalt	1620/12 41 m.	141	<1	23,7	0,6	16,1	1,5	2,2	12,9	<1	411,2	0,1	2,1	0,7	212	0,5	53,2	14,7	10,8	22,9
	1760/17 44 m.	50	<1	40,7	0,1	12,9	1,0	1,0	1,8	<1	223,4	<0,1	0,6	0,3	283	<0,5	25,2	10,8	3,4	9,5
	1760/17 60 m.	45	<1	45,5	0,1	12,9	0,8	1,0	2,0	<1	247,1	<0,1	0,6	0,2	244	<0,5	25,0	11,2	3,8	9,7
	1800/1 48 m.	76	1	3,0	0,8	17,2	5,3	4,1	21,0	2	92,0	0,3	1,8	0,6	39	<0,5	170,4	49,3	11,4	27,9
	1840/16 39 m.	20	<1	25,3	<0,1	9,9	0,8	1,1	2,6	<1	129,2	0,1	1,0	0,3	192	<0,5	29,5	16,9	6,3	14,5
	2004/22 87 m.	2876	<1	4,0	<0,1	13,2	2,3	2,5	1,2	<1	895,0	0,2	1,9	0,5	35	<0,5	66,2	24,8	9,2	22,4
	1660/26 183 m.	7	<1	13,4	0,5	23,0	9,6	7,5	4,2	9	58,7	0,5	4,2	9,0	17	1,1	304,2	25,3	9,3	23,8
Sagımlı Cevher	1680/2 104 m.	275	<1	98,3	<0,1	13,6	1,9	1,8	4,1	16	24,8	0,1	1,1	1,4	<8	<0,5	71,0	22,2	8,4	21,8
	1720/5 274 m.	7	<1	1,9	<0,1	10,2	3,1	1,7	0,2	2	66,8	<0,1	1,7	6,5	9	<0,5	92,9	5,7	0,7	1,8
	1740/6 136 m.	16	<1	50,7	<0,1	16,1	5,5	4,1	0,9	5	7,4	0,2	1,9	1,4	<8	<0,5	179,0	28,6	10,5	29,9
	1740/16 203 m.	29	<1	0,9	0,1	24,8	10,6	7,8	0,4	15	190,8	0,3	4,5	9,8	79	2,1	343,3	69,7	16,2	41,5
	1740/16 213 m.	32	<1	10,6	<0,1	6,2	3,0	2,7	0,4	17	29,8	0,1	1,4	0,9	<8	1,0	100,5	27,8	2,3	6,7
	1760/17 157 m.	64	<1	53,5	0,2	13,0	2,3	1,5	14,7	12	8,8	<0,1	0,8	0,6	<8	0,9	73,0	12,0	4,1	10,5
	1840/16 239 m.	125	<1	53,8	0,4	10,6	2,2	2,3	13,2	31	12,5	0,2	0,8	1,8	<8	0,6	77,8	39,6	3,0	6,4
	1920/2 230 m.	10	<1	6,5	<0,1	16,4	7,1	5,2	1,6	12	17,6	0,4	3,3	6,3	<8	1,9	234,6	41,9	25,0	46,8
	2004/22 61 m.	174	<1	8,3	0,9	19,0	5,7	4,8	28,1	21	41,6	0,2	2,8	6,7	34	1,9	185,4	47,8	12,2	31,2
	Masif Cevher	1620/12 116 m.	17691	<1	6,2	<0,1	25,0	0,6	0,8	1,2	3	664,5	0,3	0,4	2,5	103	3,3	18,1	8,1	9,2
1760/17 191 m.		31	<1	96,0	<0,1	3,9	0,8	0,6	4,4	7	14,5	<0,1	0,3	0,4	<8	<0,5	25,5	7,7	3,6	8,9
1780/4 293 m.		13	<1	9,4	<0,1	3,3	0,9	0,9	0,2	6	112,9	<0,1	0,6	5,3	29	<0,5	34,9	5,8	18,2	34,9
1780/4 315 m.		25	<1	22,3	0,3	14,1	3,1	2,0	2,6	207	51,5	0,3	1,3	9,3	24	1,8	99,2	10,0	2,3	5,1
1840/16 323 m.		23	<1	111,9	<0,1	2,1	0,3	<0,1	2,5	11	8,4	<0,1	<0,2	<0,1	<8	<0,5	6,6	3,0	1,0	2,2
Ağs. Cev.	1840/16 197 m.	399	<1	43,5	0,2	10,5	2,7	2,1	10,2	12	12,8	0,1	1,2	3,2	<8	<0,5	85,2	18,7	6,1	15,7
	1840/16 216 m.	721	<1	19,2	0,3	11,3	3,4	2,5	12,3	13	22,8	0,2	1,2	1,4	<8	0,6	107,2	24,6	8,0	20,8

Ek Tablo 1 'in devamı

Örnek no	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As
1780/4 200 m.	7,05	32,2	8,79	2,30	10,12	1,89	11,43	2,55	7,91	1,19	7,74	1,19	1,1	98,4	67,3	240	2,3	25,5
1780/16 86 m.	5,71	26,7	7,21	1,66	8,17	1,44	8,65	1,93	5,65	0,87	5,66	0,83	8,3	105,1	60,7	192	2,1	13,2
1780/16 183 m.	8,15	37,1	10,50	2,47	13,39	2,49	15,57	3,39	10,16	1,56	10,09	1,55	2,4	633,5	160,8	354	2,0	5,3
1780/16 240 m.	3,77	17,4	4,54	1,03	5,64	1,06	6,64	1,47	4,53	0,70	4,41	0,66	2,0	45,2	15,3	192	2,4	4,5
1780/16 256 m.	2,12	11,3	3,89	1,58	6,46	1,20	6,89	1,37	3,78	0,53	3,15	0,45	2,8	60,5	34,3	128	1,5	22,5
1780/16 278 m.	3,25	16,3	4,45	1,58	5,38	1,10	6,77	1,58	4,70	0,72	4,59	0,69	3,7	42,2	18,8	69	5,4	5,2
1760/17 112 m.	4,68	22,9	6,07	1,69	7,55	1,56	10,02	2,16	6,63	1,06	6,68	1,07	1,2	188,3	1,6	83	3,1	3,1
1760/17 119 m.	10,68	45,9	12,51	2,76	13,37	2,60	16,24	3,72	11,86	1,87	12,82	1,92	0,6	94,4	23,9	230	14,7	7,5
1800/1 144 m.	6,31	29,4	7,60	1,66	9,30	1,75	11,00	2,39	7,22	1,13	7,34	1,09	3,0	29,0	32,6	65	1,6	14,0
1660/26 71 m.	5,05	23,4	6,42	1,75	7,50	1,44	8,89	1,87	5,82	0,91	6,19	0,90	1,1	5,5	1,8	77	3,3	<0,5
1660/26 138 m.	4,49	20,4	6,03	1,64	8,22	1,52	9,94	2,21	6,61	1,03	6,44	0,97	6,1	262,6	94,1	252	3,3	26,2
1780/4 149 m.	5,18	25,2	6,32	1,64	6,81	1,25	7,77	1,70	5,27	0,80	5,20	0,79	1,4	43,4	8,8	167	2,0	1,9
1660/26 99 m.	10,34	55,0	17,49	3,79	20,06	3,05	16,07	3,02	9,10	1,48	9,95	1,52	1,6	1834,6	40,0	1687	5,2	6,5
1720/5 92 m.	7,05	34,4	8,94	2,17	10,10	1,94	11,96	2,54	8,05	1,28	8,27	1,29	0,6	54,2	65,0	128	1,1	25,9
1620/12 70 m.	6,32	30,3	8,08	2,04	9,78	1,87	11,79	2,49	7,46	1,17	7,62	1,12	1,7	603,2	51,2	379	2,7	15,9
1620/12 118 m.	4,33	19,9	4,91	1,13	5,32	1,02	6,50	1,38	4,33	0,71	4,72	0,72	0,7	139,7	54,1	504	9,0	4,7
1760/17 100 m.	8,13	40,4	11,98	3,34	15,79	2,98	18,37	3,85	11,52	1,69	10,47	1,58	0,7	23,5	1,6	42	1,7	0,6
1760/17 101 m.	2,91	15,2	4,40	1,28	6,09	1,22	7,28	1,64	4,92	0,74	4,69	0,72	2,0	9,3	4,6	52	1,6	3,0
1840/16 12 m.	3,50	17,6	4,85	1,57	5,67	1,06	6,30	1,29	3,59	0,58	3,46	0,54	0,5	31,3	2,8	94	2,8	<0,5
1840/16 67 m.	2,24	11,0	3,02	0,92	3,25	0,54	3,18	0,65	1,83	0,29	1,80	0,29	1,0	133,6	2,6	120	3,4	2,4
2004/22 28 m.	5,49	27,2	7,52	2,11	9,95	1,93	12,09	2,67	7,73	1,21	7,52	1,17	2,2	246,1	27,6	356	3,1	3,4
1620/12 65 m.	6,10	26,7	7,42	2,15	7,65	1,46	8,69	1,78	5,44	0,88	5,95	0,86	8,2	3860,2	1504,8	>10000	26,4	150,4
1660/26 61 m.	5,35	25,8	6,39	1,68	7,32	1,38	8,59	1,83	5,60	0,90	5,84	0,87	0,8	10,9	2,0	77	2,0	<0,5
1660/29 265 m.	13,69	67,1	17,61	2,99	22,77	4,29	26,58	5,80	18,06	2,87	18,08	2,79	0,6	8,5	0,7	75	3,8	1,6
1660/29 268 m.	8,59	40,7	11,95	2,01	17,08	3,57	23,39	5,24	15,97	2,39	15,26	2,33	1,3	16,5	1,0	103	2,7	1,1

Ek Tablo 1'in devamı

Örnek no	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	
Çört	1620/13 120 m.	3,36	3,66	0,86	4,56	0,88	5,68	1,28	4,02	0,64	4,07	0,60	1,0	101,0	63,8	356	7,0	3,0	
	1760/17 120 m.	4,15	4,63	1,49	4,97	0,78	4,31	0,89	2,76	0,42	2,85	0,43	0,6	50,5	21,9	294	3,7	7,5	
	2004/22 109 m.	6,78	8,67	2,08	10,23	1,90	11,49	2,34	6,88	1,11	7,59	1,16	2,3	343,9	300,3	327	36,6	64,5	
Bazalt	1620/12 41 m.	3,05	2,89	0,91	2,82	0,44	2,57	0,53	1,60	0,23	1,57	0,22	0,7	66,8	8,7	123	19,8	5,7	
	1760/17 44 m.	1,21	1,62	0,57	1,86	0,33	2,18	0,42	1,21	0,20	1,22	0,18	0,4	256,0	2,4	42	55,7	1,2	
	1760/17 60 m.	1,25	1,69	0,61	1,88	0,34	2,04	0,44	1,29	0,20	1,29	0,19	0,2	88,5	1,3	34	61,5	1,0	
	1800/1 48 m.	4,18	5,07	1,30	6,26	1,22	8,00	1,79	5,42	0,85	5,53	0,85	0,8	105,4	2,9	61	1,3	1,9	
	1840/16 39 m.	2,15	2,40	0,74	2,66	0,44	2,72	0,57	1,67	0,25	1,49	0,23	1,3	1851,8	1,7	47	67,1	6,6	
	2004/22 87 m.	3,04	3,56	1,13	4,03	0,69	4,10	0,94	2,65	0,41	2,51	0,41	1,5	257,4	18,5	129	1,5	2,7	
Sağımlı Cevher	1660/26 183 m.	3,21	3,69	0,53	3,85	0,74	4,53	0,98	3,10	0,50	3,38	0,53	11,4	98,0	4,2	148	4,0	16,5	
	1680/2 104 m.	3,06	3,89	0,19	4,17	0,75	4,23	0,82	2,40	0,36	2,42	0,35	5,9	>10000,0	43,7	187	4,4	31,5	
	1720/5 274 m.	0,28	1,4	0,57	0,08	0,73	0,15	1,07	0,25	0,77	0,16	1,08	0,18	12,3	146,0	148	3,3	8,1	
	1740/6 136 m.	4,30	5,41	0,52	4,72	0,86	5,12	1,14	3,83	0,66	4,66	0,76	5,7	443,6	2,1	317	2,4	5,8	
	1740/16 203 m.	6,11	7,32	1,13	8,88	1,72	10,62	2,48	7,69	1,26	8,59	1,27	39,4	165,4	7,4	216	5,8	56,5	
	1740/16 213 m.	0,94	4,9	2,26	3,84	0,81	4,96	1,05	3,14	0,48	3,07	0,45	2,3	66,7	4,8	63	0,9	13,5	
	1760/17 157 m.	1,54	6,3	1,59	0,08	1,58	0,30	1,87	0,45	1,63	0,27	1,84	0,29	5,9	9758,2	7,9	23	1,3	48,2
	1840/16 239 m.	0,83	3,5	1,68	0,32	4,29	1,00	5,99	1,26	3,64	0,52	3,21	0,46	17,7	>10000,0	12,0	81	1,6	113,8
	1920/2 230 m.	4,98	17,2	2,24	0,56	3,59	0,88	6,44	1,64	5,54	0,96	6,76	1,05	13,3	105,7	15,9	88	2,5	76,7
	2004/22 61 m.	4,44	19,1	5,31	0,68	6,87	1,31	7,98	1,77	5,24	0,82	5,55	0,83	60,5	7479,3	30,3	7805	15,0	51,9
Masif Cevher	1620/12 116 m.	1,47	7,2	1,62	0,38	2,34	0,29	1,63	0,78	0,13	0,99	0,12	42,7	>10000,0	2570,2	>10000	21,7	1139,6	
	1760/17 191 m.	1,32	6,2	1,47	0,17	1,42	0,25	1,28	0,81	0,13	0,73	0,11	26,6	>10000,0	17,9	1933	3,5	141,0	
	1780/4 293 m.	4,82	21,6	5,51	0,30	2,73	0,27	1,04	0,17	0,54	0,11	0,77	13,5	274,7	94,7	861	1,2	17,6	
	1780/4 315 m.	0,80	4,0	1,44	0,54	1,85	0,32	1,78	0,30	0,82	0,11	0,73	19,9	>10000,0	11,5	2749	14,5	12,9	
	1840/16 323 m.	0,32	1,3	0,46	0,06	0,52	0,09	0,52	0,10	0,25	0,04	0,26	0,04	14,0	>10000,0	18,1	141	0,8	31,1
Ağs. Cev.	1840/16 197 m.	2,39	11,7	3,06	0,38	3,15	0,52	3,23	0,71	2,23	2,55	0,38	6,8	>10000,0	9,3	101	3,3	123,7	
	1840/16 216 m.	2,93	13,2	3,31	0,33	3,53	0,69	4,22	0,95	2,89	3,10	0,48	5,6	>10000,0	3,7	52	2,0	98,3	

Ek Tablo 1'in devamı

Örnek no	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se	Ni	Sc
Dasit- Riyodasit	1780/4 200 m.	0,6	1,4	0,7	<0,1	0,6	<0,01	0,7	<0,5	<20
	1780/16 86 m.	0,3	<0,1	0,1	<0,1	<0,5	0,01	1,4	4,2	<20
	1780/16 183 m.	1,1	<0,1	0,6	0,2	0,9	<0,01	<0,1	2,3	<20
	1780/16 240 m.	1,3	<0,1	1,4	0,3	1,4	<0,01	<0,1	<0,5	<20
	1780/16 256 m.	0,2	0,2	<0,1	0,7	5,7	0,15	0,2	<0,5	<20
Mor Tuf	1780/16 278 m.	0,1	<0,1	0,1	0,3	2,5	0,03	0,2	<0,5	<20
	1760/17 112 m.	<0,1	<0,1	0,2	0,2	1,4	<0,01	0,3	<0,5	<20
	1760/17 119 m.	0,2	0,6	<0,1	0,2	<0,5	0,17	0,4	<0,5	<20
	1800/1 144 m.	<0,1	0,1	<0,1	0,7	36,1	0,09	0,2	<0,5	<20
Yeşil Tuf	1660/26 71 m.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,4	<0,01	0,1	<0,5	<20
	1660/26 138 m.	<0,1	6,3	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	0,2	<0,5	<20
	1780/4 149 m.	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	1,3	<0,01	0,9	7,1	<20
	1660/26 99 m.	2,2	1,1	151,7	0,5	205,5	0,81	0,3	2,4	<20
Kloritleşme- Karbonatlaşma	1720/5 92 m.	<0,1	2,1	0,2	<0,1	<0,5	<0,01	0,5	<0,5	<20
	1620/12 70 m.	1,6	0,2	0,4	0,7	6,1	0,03	0,5	<0,5	<20
	1620/12 118 m.	1,8	0,3	0,5	0,2	8,9	0,44	1,1	0,7	<20
	1760/17 100 m.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	0,9	<0,5	<20
	1760/17 101 m.	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	7,7	<0,01	0,8	<0,5	<20
	1840/16 12 m.	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	0,1	<0,5	<20
	1840/16 67 m.	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	0,01	0,1	1,9	<20
	2004/22 28 m.	1,6	<0,1	0,8	0,2	4,1	0,03	0,2	0,9	<20
	1620/12 65 m.	34,9	1,0	10,7	15,0	373,8	12,52	10,2	34,4	32
	1660/26 61 m.	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,5	<0,01	0,2	<0,5	<20
Kloritleşme- Kilitleşme	1660/29 265 m.	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	7,2	<20
	1660/29 268 m.	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5	<20

Ek Tablo 1' in devamı

Örnek no	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se	Ni	Sc
Çört	1620/13 120 m.	0,7	0,8	1,5	<0,1	10,9	0,04	<0,5	<20	6
	1760/17 120 m.	0,6	1,7	0,2	0,3	<0,5	<0,1	<0,5	<20	23
	2004/22 109 m.	0,3	0,7	16,6	<0,1	1,5	<0,01	0,4	0,6	90
Bazalt	1620/12 41 m.	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	3,1	<0,01	0,1	<0,5	<20
	1760/17 44 m.	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5	77
	1760/17 60 m.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,01	<0,1	<0,5	85
	1800/1 48 m.	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	1,4	<0,01	0,8	<0,5	<20
	1840/16 39 m.	0,1	<0,1	0,6	<0,1	0,8	0,02	0,3	3,7	86
	2004/22 87 m.	0,2	0,3	<0,1	<0,1	0,8	<0,01	<0,1	<0,5	<20
Sagımmlı Cevher	1660/26 183 m.	<0,1	<0,1	8,1	0,2	26,0	0,01	0,2	15,9	<20
	1680/2 104 m.	0,7	0,5	9,1	4,3	147,3	0,03	0,2	>100,0	5
	1720/5 274 m.	0,2	<0,1	0,8	0,2	38,7	<0,01	<0,1	88,6	<20
	1740/6 136 m.	0,4	<0,1	2,7	<0,1	3,5	<0,01	<0,1	11,2	<20
	1740/16 203 m.	0,1	<0,1	2,9	0,3	16,2	0,01	0,2	10,8	<20
	1740/16 213 m.	0,1	<0,1	4,2	0,1	0,9	<0,01	<0,1	92,1	<20
	1760/17 157 m.	<0,1	<0,1	19,0	0,7	18,0	0,03	0,4	>100,0	<20
	1840/16 239 m.	0,4	0,3	50,5	4,7	25,9	0,03	2,9	>100,0	<20
	1920/2 230 m.	0,4	0,2	7,5	0,4	55,2	0,04	0,7	13,9	<20
	2004/22 61 m.	41,8	0,2	38,1	2,0	114,9	0,21	0,5	43,0	<20
Masif Cevher	1620/12 116 m.	95,9	62,5	24,1	50,7	937,6	1,50	24,3	9,9	<20
	1760/17 191 m.	2,8	0,4	31,1	0,8	13,9	0,08	1,2	>100,0	<20
	1780/4 293 m.	2,5	1,8	<0,1	1,7	4,5	0,03	0,2	>100,0	<20
	1780/4 315 m.	17,5	0,5	3,4	0,7	14,8	0,02	0,4	69,7	<20
Ağs. Cev.	1840/16 323 m.	0,5	0,5	45,9	3,3	2,7	0,02	0,2	>100,0	<20
	1840/16 197 m.	0,5	<0,1	9,5	2,3	17,8	0,06	0,9	31,8	<20
	1840/16 216 m.	0,3	0,2	6,5	1,2	10,8	0,03	0,3	29,9	<20

ÖZGEÇMİŞ

Efide KABAOĞLU, 1975 yılında Trabzon ili Akçaabat ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Akçaabat'ta tamamladı. 1992 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik–Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 1997 yılında mezun oldu. 2000 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nde Jeoloji Mühendisi olarak göreve başladı. 2004 yılında Maden Tetkik Arama Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğüne atandı. 2002 yılında Ankara Üniversitesinde başladığı yüksek lisans eğitimine 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde devam ederken ara verdi. 2009 yılında yüksek lisans eğitimine yeniden başladı. Halen Maden Tetkik Arama Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü'nde görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk annesi olup, orta derecede İngilizce bilmektedir.