



**T.C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖLCÜK (KOYULHISAR-SIVAS) Cu (Ag)
CEVHERLEŞMESİNİN ANA-ESER ELEMENT, DURAYLI
İZOTOP (S, Cu) JEOKİMYASI ve SIVI KAPANIM
İNCELEMELERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İsmail Erdem KIZILGÖZ
(201292081135)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali UÇURUM

**SIVAS
Nisan, 2019**

İSMAİL ERDEM KIZILGÖZ'ün hazırladığı ve “**Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) Cevherleşmesinin Ana-Eser Element, Duraylı İzotop (S, Cu) Jeokimyası ve Sıvı Kapanım İncelemeleri**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Prof.Dr. Ali UÇURUM**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ŞAHİN DEMİR**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Dr. Öğr. Üyesi Oya CENGİZ**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-529 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© İsmail Erdem Kızılgöz, 2019

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

19 Nisan 2019

İsmail Erdem KIZILGÖZ

TEŞEKKÜR

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı kapsamında hazırlanmış olan bu tez, Prof. Dr. Ali UÇURUM danışmanlığında gerçekleştirilmiştir.

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali UÇURUM 'a ve Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ŞAHİN DEMİR'e teşekkür ederim.

Tezin çeşitli aşamalarında yardım ve rehberliklerinden dolayı Doç. Dr. Nazan Yalçın ERİK'e, Doç. Dr. Taner EKİCİ'ye, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet EFE'ye, Yüksek Mühendis Zeki HASPOLAT, Edebiyat Öğretmeni Derviş ERDAL'a, Araş. Gör. Deniz HOZATLIOĞLU'na, Araş. Gör Oktay CANBAZ'a, Teknisyen Ufuk KUŞ'a;

Lojistik ve veri desteklerinden dolayı inceleme sahasının işletme ruhsatına sahip Pasinex Madencilik şirketine teşekkür ederim.

Destek ve anlayışlarından dolayı annem, babam ve Özlem'e;

Sevgili eşim H. Rumeysa KIZILGÖZ'e teşekkür ederim.

ÖZET

GÖLCÜK (KOYULHISAR-SİVAS) Cu (Ag) CEVHERLEŞMESİNİN ANA- ESER ELEMENT, DURAYLI İZOTOP (S, Cu) JEOKİMYASI ve SIVI KAPANIM İNCELEMELERİ

İsmail Erdem KIZILGÖZ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali UÇURUM

2019, 56+xv sayfa

Jeolojik, jeokimyasal ve sıvı kapanım çalışmaları ile Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Eosen yaşlı volkanik-volkanosedimanter yan kayaçlı Cu (Ag) cevherleşmesi Manto-tipi Cu (Ag) cevherleşmesi olarak tanımlanmıştır. Cevherleşmenin kükürt izotop değerleri ($\delta^{34}\text{S}$ ‰) yüzey örneklerinde -20,0'dan +2,8'e, karot örneklerinde -6,3'den +0,6'ya değişim aralığındadır. Bakır izotop değerleri ($\delta^{65}\text{Cu}$ ‰) yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde -1,41'den +2,69'a değişim göstermektedir.

NaCl+H₂O tipi bir çözelti içeren sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklıkları (T_{L-V}) 110-145 °C arasında, ergime sıcaklığı ($T_{m_{buz}}$) ise -6 ile -17 °C arasında değişmektedir. Tuzluluk %'de ağırlık olarak NaCl eşdeğeri %9,21 ile %20,22 arasında belirlenmiştir.

Sondaj karot örneklerinin analiz sonuçlarına göre, yüzeyden ortalama 9,7 m derinlikte %2,97 Cu ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir. Rezerv çalışmaları halen devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gölcük Cu (Ag) Cevherleşmesi, S-Cu İzotobu, Sıvı Kapanım.

ABSTRACT

MAIN-TRACE ELEMENT, STABLE ISOTOPE (S, Cu) GEOCHEMISTRY and FLUID INCLUSION STUDY OF GÖLCÜK (KOYULHISAR-SİVAS) Cu (Ag) MINERALIZATION

İsmail Erdem KIZILGÖZ

Master of Science Thesis, Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali UÇURUM

2019, 56+xv pages

Eocene volcanoclastic volcano-sedimentary hosted Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) mineralization has been determined as Manto-type Cu (Ag) based on geological, geochemical and fluid inclusion studies. $\delta^{34}\text{S}$ ‰ data range between -20,0 and +2,8 in surface samples and between -6.3 and +0,6 in well log samples. $\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ data range between -0.86 and +1.38 in surface samples and between -1,41 and +2.69 in well log samples.

Homogenization temperature of NaCl+H₂O type fluid from inclusions ($T_{\text{H-L-V}}$) range between 110-145 °C. Melting temperature ($T_{\text{m,ice}}$) is ranging between -6 and -17 °C. Salinity wt. % eq. NaCl is ranging between %9.21 and %20.22.

Ore grade has been determined as 2.97 %Cu and 37 g/t Ag of 9.7 m deep from surface based on well log core sample geochemistry. Reserve estimation study is still ongoing.

Key Words: Gölcük Cu (Ag) Mineralization, S-Cu Isotopes, Fluid Inclusion.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | vii |
| ABSTRACT | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER DİZİNİ | xiv |
| KISALTMALAR DİZİNİ | xv |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Amaç ve Kapsam..... | 1 |
| 1.2 İnceleme Alanının Coğrafik Konumu..... | 1 |
| 1.3 Materyal ve Method..... | 2 |
| 1.3.1 Ofis çalışmaları..... | 2 |
| 1.3.2 Saha çalışmaları..... | 2 |
| 1.3.3. Laboratuvar analizleri..... | 2 |
| 1.3.3.1 Petrografi..... | 2 |
| 1.3.3.2 İzotop analizi..... | 3 |
| 1.3.3.3 Sıvı kapanım..... | 4 |
| 1.4 Önceki Çalışmalar..... | 4 |
| 2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ | 10 |
| 3. CEVHERLEŞME | 16 |
| 4. PETROGRAFIK İNCELEMELER | 28 |
| 4.1 Kayaç Petrografisi..... | 28 |
| 4.2 Cevher Petrografisi..... | 33 |
| 5. JEOKİMYA | 39 |
| 5.1 Cu Jeokimyası..... | 40 |
| 5.2 S İzotop Jeokimyası..... | 42 |
| 5.3 Cu İzotop Jeokimyası..... | 44 |
| 6. SIVI KAPANIM İNCELEMELERİ | 46 |
| 6.1. Sıvı Kapanım Petrografisi..... | 46 |
| 6.2. Sıvı Kapanım Termometrik Analizi..... | 49 |
| 6.3. Raman Spektrometre Analizi..... | 49 |
| 7. SONUÇLAR | 51 |
| KAYNAKLAR | 52 |
| ÖZGEÇMİŞ | |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | | |
|-------------------|---|----|
| Şekil 2.1 | Gölcük sahanın jeoloji haritası (Pasinex, 2013'ten değiştirilerek). | 11 |
| Şekil 2.2 | Doğu Pontidlerin, Orta Anadolu Granitoyitlerinin ve civarı ile Gölcük sahasının bölgesel jeolojik ve coğrafik konumu (Boztuğ, 2008'den değiştirilerek) ve üstteki şekilde Türkiye'nin ve civarının bölgesel tektonik konumunu (Bozkurt ve Mittwede, 2001'den). NAF=Kuzey Anadolu Fay Zonu, IAESZ=İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, EAFZ=Doğu Anadolu Fay Zonu, BSZ=Bitlis Kenet Kuşağı, CACC=Orta Anadolu Kristalin Kompleksi, DSFZ=Ölü Deniz Fay Zonu..... | 12 |
| Şekil 2.3 | İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Uysal ve diğ., 1995'ten değiştirilerek). | 13 |
| Şekil 2.4 | Gölcük ve yakın civarının yapısal ve manyetik haritası (King, 2003'den)..... | 15 |
| Şekil 2.5 | Gölcük South sahasının bulunduğu vadiye bakış..... | 15 |
| Şekil 3.1 | Şili Manto-tipi Cu yatağı için alternatif şematik model. Yaygın olarak andezitik karakterli volkano-sedimenter, tüflü kumtaşı ve kireçtaşı yan kayaçlı ortamda A) magmatik ve B) yüzey sularının gelişimi-geçışı ve cevherleşmeye olan katkısı (Kojima ve diğ., 2009'dan)..... | 16 |
| Şekil 3.2 | El Saldado-Şili Manto-tipi Cu yatağının enine kesiti, (Boric ve diğ., 2002'den değiştirilerek Wilson ve Zentilli, 2003'den). | 18 |
| Şekil 3.3 | Gölcük köyü GB'sında yer alan galeri girişi (B), maden ve döküm sahalarının (A) <i>Google Earth</i> görünümü. | 19 |
| Şekil 3.4 | İnceleme alanı fotoğrafları: A , Piroklastik bazaltik kayaç; malakit mineralizasyonu ve kalsit damarları. B , Piroklastik bazaltik kayaç; epidotlu malakit mineralizasyonu. C , Piroklastik bazaltik kayaç; malakit ve kalkosin mineralizasyonu. D , Piroklastik bazaltik kayaç; malakit, azurit mineralizasyonu ve kalsit damarları. E-F , Bazaltik lav-aglomeralar; malakit içeren aglomera çakılları. | 20 |
| Şekil 3.5 | Pasinex tarafından Gölcük'de yapılan sondaj çalışmalarından görünüm. | 21 |
| Şekil 3.6 | 2012 yılından önce MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Turmenka firmalarınca yapılan sondajların ve Pasinex tarafından yapılan PAS rumuzlu 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 no'lu karotlu sondajların plan görünümü ve Cu profilleri (A) <i>Google Earth</i> görünümü (B) ve 2012 yılı öncesi sondajlardan yararlanılarak çizilen saçınımlı Cu cevherleşmesinin görünümü (C). | 22 |
| Şekil 3.7 | PAS-1 sondajının jeokimyasal, manyetik duyarlılık ve mineralojik profili..... | 23 |
| Şekil 3.8 | PAS-2 sondajının jeokimyasal, manyetik duyarlılık ve mineralojik profili..... | 24 |
| Şekil 3.9 | Gölcük ve yakın civarının yapısal ve yüzey-manyetik haritası (King, 2013'den). | 25 |
| Şekil 3.10 | Gölcük South sahasında; aglomeralar içindeki iri çakıl bloklarında malakit cevherleşmesi (A), cevherli aglomeraların genel görünümü (B). | 25 |

- Şekil 3.11** Gölcük Funlu sahasında; kırık zonunda kırmızımsı yeşil renkli volkanoklastik kayalarda saçınımlı malakit cevherleşmesi (A), malakit ve azurit cevherleşmesinin çamurtaşı ve volkanoklastik kontağında gelişimi ve volkanoklastik kayalarda fay düzlemi (B). 26
- Şekil 3.12** Gölcük Bayram sahasında; bazaltik kayada epidotlaşma ile birlikte bornit yaması (A), kırmızımsı yeşil renkli konglomeralarda hematit, epidot ve malakit cevherleşmesi (B). 26
- Şekil 3.13** Gölcük Baykuş sahasında; epidot damarı boyunca malakit cevherleşmesi (A), bazalt kayacında bornit ve malakit cevherleşmesi (B). 26
- Şekil 3.14** Gölcük West sahasında; bazaltik kayada 7x6 m boyutlarında mostrada malakit, epidot, limonit ve hematit cevherleşmesi (A), bazaltik kayada yüzeyinde bornit, epidot ve malakit cevherleşmesi (B). 27
- Şekil 4.1** Kayada petrografi mikrofotografaları (i): **A-B**, piroklastik bazaltik kayada; epidotlaşma (Ep), plajiyoklaz (Pl) minerallerinde killeşme (Cly) ve serizitleşme (Ser). **C-D**, piroklastik bazaltik kayada; öz şeklini korumuş olivinin (Ol) kenarlarından itibaren iddingsitleşmesi (Idd), yoğun killeşme (Cly), pilotaksitik doku. **E-F**, piroklastik bazaltik kayada; klinopiroksen (Cpx) ve opak mineraller (Op). 29
- Şekil 4.2** Kayada petrografi mikrofotografaları (ii): **A-B**, mineral sınırlarından itibaren opasitleşme (Op), mineral mikroçatlaklarında iddingsitleşme (Idd) ve epidotlaşma. **C-D**, yoğun killeşme (Cly) ve epidotlaşma (Ep). **E-F**, yoğun karbonatlaşma (Cb), killeşme (Cly) ve epidotlaşma (Ep). 30
- Şekil 4.3** Kayada petrografi fotoğrafları (iii): **A-B-C-D**, bazalt; klinopiroksen (Cpx) mineralleri ve olivin? parçalarında iddingsitleşme (Idd), yoğun opak mineraller. **E**, yoğun karbonatlaşma (Cb). **F**, plajiyoklaz (Pl) minerallerinde serizitleşme (Ser). 31
- Şekil 4.4** Kayada petrografi mikrofotografaları (iv): **A**, kalsit damar; ikincil oluşumlardan kalsit (Cal) ve kuvars (Qtz) mineralleri. **B**, Serizitleşmiş (Ser) plajiyoklaz (Pl) ve kuvars mineralleri (Qtz) **C**, yoğun killeşme (Cly). **D**, yoğun epidotlaşma (Ep). **E-F**, piroklastik bazaltik kayada; olivinin (Ol) mikroçatlakları boyunca serpantinleşme (Srp). 32
- Şekil 4.5** Bazaltik kayalarda cevher mineralizasyonu makrofotografaları: **A**, Azurit ve kısmen bornit ve malakit mineralizasyonu. **B**, Azurit ve yoğun malakit mineralizasyonu. 33
- Şekil 4.6** Bazaltik breşlerde mineralizasyon. 33
- Şekil 4.7** Cevher mineral petrografi mikrofotografaları (i): **A-C** bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc), kovelit (Cv) oluşumu. **B**, kalkositin (Cc) bornitten (Bn) itibaren oluşumu ve kolloform yapıda kovelit (Cv). **D**, bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki. **E**, bornitin (Bn) mineralin sınırları ve dilinimleri boyunca kalkosit (Cc) tarafından ornatılması. **F**, kalkopiritin (Cp) bornit (Bn) dilinimleri ve mineralin sınırları boyunca eksolüsyonu (kuma yapısı). 35
- Şekil 4.8** Cevher mineral petrografi mikrofotografaları (ii): **A**, bornitten (Bn) itibaren kalkosit ve kovelit oluşumu, daha sonra manyetit tarafından ornatılması. **B**, Martitleşme ve/veya martit; hematitin (Hm) oksidasyon sonucu kristalografik olarak tercih edilen düzlemler boyunca manyetit (Mg) minerali içerisinde/itibaren oluşması. **C**, bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc) ve kovelitin (Cv) oluşumu. Daha sonra manyetitten (Mg) martit (manyetit mineralinin hematit mineraline dönüşümü ile) oluşumu. **D**, kırmızı iç yansımasıyla tipik demir oksit alterasyonu. Malakit (Mlc)

| | |
|-------------------|---|
| | mikroçatlak boyunca oluşumu. E , bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc) ve kovelit (Cv) oluşumu. Ufak miktarlarda kalkopirit (Cp) mineralleri gözlemleniyor. F , bornitin (Bn) sınırları ve mikroçatlakları boyunca kalkopirit (Cp) tarafından ornatılması..... 36 |
| Şekil 4.9 | Cevher mineral petrografi mikrofotoğrafları (iii): A , kalkopirit (cp) bornit (Bn) ile iç içe/beraber oluşması ve kalkosit (Cc) ile kovelit (Cv) tarafından ornatılması. Sonrasında demir oksit alterasyonundan manyetit (Mg) ve hematit (Hm) oluşması. B , bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki. Manyetit (Mg) ornatması ve itibaren hematit (Hm) oluşumu (Porfiri bakır yataklarında tipik demir oksit ornatması). C-F , bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki. D , manyetit (Mg) ve hematitin (Hm) borniti (Bn), kalkosit (Cc). E , bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc) ve kovelitin (Cv) oluşumu. Sonrasında demir oksit ornatması. 37 |
| Şekil 4.10 | Cevher mineral petrografi mikrofotoğrafları (iv): A , kırık doku; bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki (Çatlaklardan itibaren kalsit ve epidot ile dolmuştur). B , Lamellar eksolüsyon yapısı; bornitten (Bn) itibaren kalkopirit (Cp) oluşumu; kalkopiritin (Cp) bornitten (Bn) kenarları itibari ile oluşumu. C , kalkopiritin (Cp) borniti (Bn) mineralin sınırları ve çatlakları boyunca ornatması. D , kalkopiritin (Cp) manyetit (Mn) - hematit (Hm) tarafından (martitleşme) ornatılması. E , bornit (Bn) içinde kalkosit (Cc) gelişimi. F , kalsit (Cal) ve epidotun (Ep) keskin kontaklar boyunca oluşumu. 38 |
| Şekil 5.1 | Gölcük South sahasında sondaj lokasyonları (ortası kırmızı beyaz nokta) ve açılan yarmalarının <i>Google Earth</i> görünümü planı (sarı nokta=yüzeyden alınan örnek, kırmızı nokta=yarmadan alınan örnek).. 39 |
| Şekil 5.2 | Gölcük South sahasında A- yüzey örneklerinin %Cu oranaları, B- kanal uzunluk ve ortalama %Cu oranaları, Pasinex, (2013)'den..... 40 |
| Şekil 5.3 | Gölcük Cu cevherleşmesinde Etibank, Rio Tinto, ve Türmenka tarafından yapılan karotlu sondajların ortalama %Cu değerleri (King, 2013'den değiştirilerek). 41 |
| Şekil 5.4 | Gölcük Cu cevherleşmesinin $\delta^{34}\text{S}$ VCDT (‰) oranlarının yaygın kayaç grupları (Hoefs, 2018), Şili Manto tipi (Kojima ve diğ., 2009) Cu yatakları ve Sivas havzası evaporitleri (Uçurum ve diğ., 2017) ile karşılaştırılması. 42 |
| Şekil 5.5 | Tipik bir porfiri sistemde $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) dağılımı (Mathur ve diğ., 2009b'den değiştirilerek). 45 |
| Şekil 6.1 | Leoben Üniversitesi, <i>Resource Mineralogy</i> Bölümünün, sıvı kapanım ve raman spektrometre laboratuvarlarının genel görünümü. 46 |
| Şekil 6.2 | Kuars içinde gözlenen L (sıvı)+V (gaz) dan oluşan birincil sıvı kapanım mikrofotoğrafı; L/V oranı %60, GLC-17-2. Fotoğraf uzun eksen: 100 μm 47 |
| Şekil 6.3 | Epidot içinde iki farklı faz sıvı kapanım mikrofotoğrafı; L (sıvı hakim), L (sıvı)+V (gaz), GLC-8-2, @ 142 °C. 47 |
| Şekil 6.4 | Kuars içinde L (sıvı) hakim ve V (gaz) hakim sıvı kapanım mikrofotoğrafı; GLC-17-1, @ -71 °C..... 48 |
| Şekil 6.5 | Kuars içinde L (sıvı)+V (gaz) sıvı kapanım mikrofotoğrafı; GLC-17-1, @-60 °C..... 48 |
| Şekil 6.6 | Kuars içinde birincil sıvı kapanım L fazı (sıvı suyun raman paterni), GLC-17-2 50 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 3.1 Pasinex tarafından yapılan bazı karotlu sondajlarda Cu (%) ve Ag (ppm) | 21 |
| Çizelge 5.1 Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{34}\text{S}$ [‰] değerleri..... | 43 |
| Çizelge 5.2 Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{65}\text{Cu}$ [‰] değerleri | 44 |

SİMGELER DİZİNİ

| | | |
|----------------------------|---|------------------------|
| N+ | : | Çift nikol |
| N// | : | Tek nikol |
| δ | : | İzotop |
| L | : | Sıvı |
| V | : | Gaz |
| Th | : | Homojenleşme sıcaklığı |
| Tm | : | Ergime sıcaklığı |

KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|--|---|--|
| Bn | : | Bornit |
| Cp | : | Kalkopirit |
| Cv | : | Kovelit |
| Cc | : | Kalkosit |
| Mlc | : | Malakit |
| Hm | : | Hematit |
| Mg | : | Manyetit |
| Ol | : | Olivin |
| Cpx | : | Klinopiroksen |
| Pl | : | Plajiyoklaz |
| Cal | : | Kalsit |
| Qtz | : | Kuvars |
| Ep | : | Epidotlaşma |
| Cly | : | Killeşme |
| Cb | : | Karbonatlaşma |
| Idd | : | Iddingsitleşme |
| Ser | : | Serizitleşme |
| Srp | : | Serpantinleşme |
| Op | : | Opasitleşme |
| Ppm | : | 'Parts per million' (Milyonda bir birim) |
| Ppb | : | 'Parts per billion' (Milyarda bir birim) |
| $\delta^{65}\text{Cu}$ | : | Bakır izotopu |
| $\delta^{34}\text{S}$ | : | Kükürt izotopu |
| PPL | : | 'Plane Polarized Light' (Düzlem Polarize Işık) |
| XPL | : | 'Cross Polarized Light' (Çapraz Polarize Işık) |
| VCDT | : | 'Vienna Canyon Diablo Troilite' |
| NAF | : | 'North Anatolian Fault' (Kuzey Anadolu Fayı) |
| IAESZ | : | 'Izmir-Ankara-Erzincan Suture Zone' (İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı) |
| EAFZ | : | 'East Anatolian Fault Zone' (Doğu Anadolu Fay Zonu) |
| BSZ | : | 'Bitlis Suture Zone' (Bitlis Kenet Kuşağı) |
| DSFZ | : | 'Dead Sea Fault Zone' (Ölü Deniz Fay Zonu) |
| CACC | : | 'Central Anatolian Crystalline Complex' (Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK)) |
| DPOK | : | Doğu Pontid Orojenik Kuşağı |
| YAS | : | Yeraltı Su Seviyesi |
| CÜ | : | Cumhuriyet Üniversitesi |

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Gölcük (Koyulhisar-Sivas) sahasında yapılan inceleme, CÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında (Maden Yatakları-Jeokimya Bilim Dalı) yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez projesi kapsamında sırasıyla;

(a) Veri depolama: Saha ilişkileri; lokal ve bölgesel jeolojisi, cevherleşmenin doğası ve yayılımı, çalışmanın amacına uygun örnekleme (50 yüzey örneği ve 9 sondaj lokasyonundan 48 adet karot örneği.) - Laboratuvar analizleri; petrografi (mineroloji ve dokular), izotop oranları [$\delta^{65}\text{Cu}$ [‰] ve $\delta^{34}\text{S}$ [‰] (bakırlı cevher minerallerinden)], sıvı kapanımlar [Cu cevherleşmesi ile eş zamanlı oluşan gang minerallerinden homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk (% ağırlık NaCl eş değeri) değerlerinin belirlenmesi],

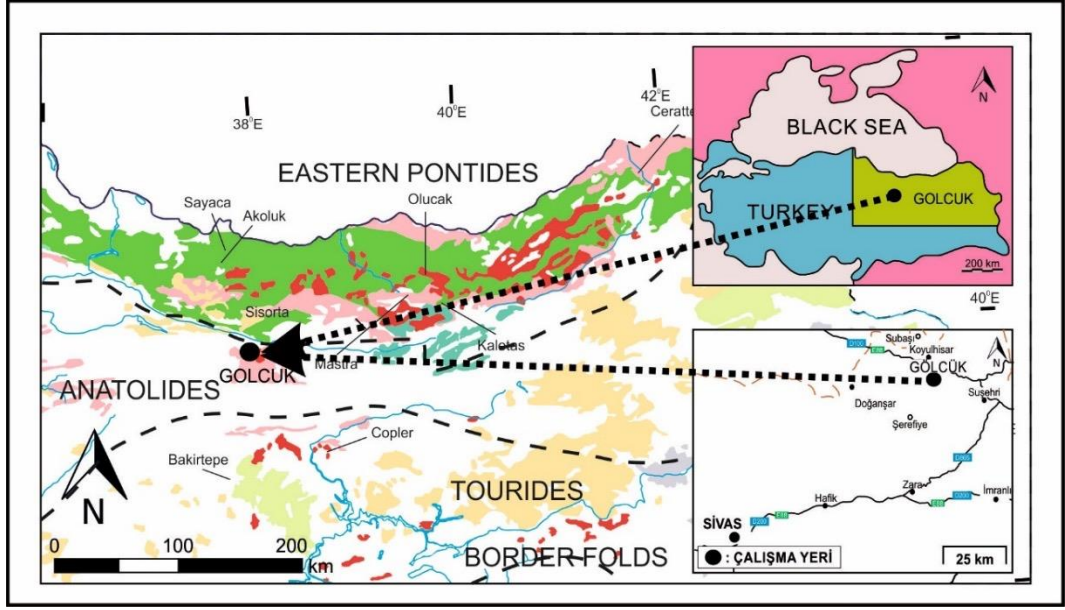
(b) Veri değerlendirme ve sunum: Haritalar (yerel jeoloji haritası) ve kesitler (inceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti), laboratuvar verilerinin grafiksel gösterimi, istatistiksel analizi,

(c) Yorumlama: Cevherleşmeyi kontrol eden faktörler, oluşum şekli, oluşum koşulları, yerleşme sonrası süreçler, benzer yataklarla mekansal ve uzansal ilişkisi, kabuk evrimi ile ilişkisi incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2 İnceleme Alanının Coğrafik Konumu

Gölcük sahası, Giresun-H39.c1 paftası içerisinde 40 km² alan içerisinde yer almaktadır. Gölcük sahası Sivas ilinin yaklaşık 120 km doğu-kuzeydoğusunda, Koyulhisar ilçesinin (Sivas) 14 km güneyindeki Gölcük Yayla civarındadır (Şekil 1.1).

Gölcük saha; Orta Anadolunun karasal iklimi etkisindedir ve yazları sıcak ve kurak kışları soğuk ve yağışlıdır. Sürekli akarsu bulunmamaktadır. Yoğunlukla step yer almakta, kısmen orman örtüsü ile kaplıdır ve toprak örtüsü incedir (genellikle <10 cm). 50 yıllık süreçlerde magnitüdü >7 olan deprem olasılığı yüksektir ve heyelan tehlikesi düşüktür. Yeraltı su kaynağı madencilik için yeterlidir. Sahada elektrik yoktur fakat 154 Kva'lık ulusal elektrik hattı sahanın üzerinden geçmektedir.



Şekil 1.1 İnceleme alanının yerbulduru haritası.

1.3 Materyal ve Method

Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmalarda veri toplamak amacıyla; ofis çalışmaları, saha çalışmaları ve laboratuvar analizleri yapılmıştır.

1.3.1 Ofis çalışmaları

İnceleme alanı ve ilgili yakın bölgelerle ilgili literatür çalışmaları yapılmıştır. Proje süresince ofis çalışmaları devam etmiştir.

1.3.2 Saha çalışmaları

İncelenen sahadan yüzeylemiş birimlerden cevherleşmenin doğası ve yayılımı gözlemlenmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak 40 adet yüzey örneği alınmıştır. 9 adet sondaj lokasyonundan 48 adet karot örneği alınmıştır. Sahanın işletmesini yapan Pasinex Madencilik şirketinden lokal jeoloji harita verileri alınarak jeoloji haritası modellenmiştir.

1.3.3. Laboratuvar analizleri

Laboratuvar çalışmaları petrografi, izotop oranları ve sıvı kapanım incelemeleri ile gerçekleştirilmiştir.

1.3.3.1 Petrografi

Mineraloji ve dokusal bileşimlerin incelenmesi için ince kesitler ve parlak bloklar hazırlanmıştır. Optik mikroskopi için ince kesitler, Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı'nda, cevher mikroskopisi için parlak

bloklar, Cumhuriyet Üniversitesi Parlak Blok Hazırlama Laboratuvarı'nda 'Vector LC Power başlıklı Buehler Beta' aşındırma-parlatma ve 'Buehler Vibromet 2' titreşimli parlatma cihazında hazırlanmıştır. Kayaç petrografisi ve cevher mineralojisi işlemleri CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Cevher Mikroskopisi Araştırma Laboratuvarı'nda 'Nikon Coolpix 4500' digital fotoğraf makine atışmanlı 'Nikon Eclipse E 600 Pol' mikroskobunda gerçekleştirilmiştir.

1.3.3.2 İzotop analizi

S izotop ve Cu izotop analizleri için örnekler CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Parlak Kesit Laboratuvarı'nda mikroskop ile bornit (Bn), kalkopirit (Cp), kovelit (Cv), kalkosit (Cc) ve malakit (Mlc) cevher mineralleri ayıklanarak hazırlanmıştır. $\delta^{34}\text{S}$ izotop analizleri Nevada Reno Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda, $\delta^{65}\text{Cu}$ izotop analizleri Pensilvanya Eyalet Üniversitesi'nde yaptırılmıştır.

S izotopları Eurovector 3000 model element analiz cihazında 1000 °C'de doğrudan yakma (*combustion*) ile analiz edilmiştir. S gazı oksijen fugasitesinin Cu-CuO karışımı ile tamponlandığı fırınlarda SO₂ gazına dönüştürülür. Oluşan SO₂ gaz kromatograflarında saflaştırılmış ve devamlı akış hatlı 'Micromass Isoprime İzotop Oran Kütle Spektrometresi' ile analiz edilmiştir. S izotop analizleri Giesemann ve diğ. (1994)'de belirtilene benzer yöntemle yürütülmüştür. Analizler GSL (Green Sphalerite), UGLI (Galena), BSL (Brown Sphalerite) ve MIC (Chalcopyrite) standartları kullanılarak kalibre edilmiştir. Hata oranı \pm [%0,2]'dir. Değerler VCDT'e (Vienna Canyon Diablo Troilite) göre rapor edilmiştir.

Cu izotop analizi, mikroskop altında seçilen Cu-içeren mineraller üzerinde XRD yöntemiyle mineral tanımlaması yapılmış ardından 0,05 gr Cu-sülfid ve Cu-oksit 'aqua regia' yöntemiyle çözeltilmeye alınıp bir gece 200 °C' de bekletilmiştir. Sonrasında Mathur ve diğ. (2009a) tarafından belirtilen yöntem ile alınıp analiz 200 ppb'ye kadar saflaştırılmıştır. Örnekler Arizona Üniversitesi Micromass Isoprobe laboratuvarında MC-ICP-MS (çoklu kollektörlü iyon kütle spektrometresi)'ne enjekte edilip analiz edilmiştir. Kütle spektrometresinde indiyum iç standardı ve NIST 976 Cu standardı kullanılarak ^{65}Cu şeklinde %0,01'den daha az hata oranı ile rapor edilmiştir.

1.3.3.3 Sıvı kapanım

Sıvı kapanım analizleri için örnek hazırlama CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Parlak Kesit Hazırlama Laboratuvarı'nda, Sıvı kapanım petrografisi CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskopu Laboratuvarı'nda 'Nicon Eclipse Pol 600' mikroskobu kullanılarak tamamlanmıştır. Termometrik ve raman spektrometre analizleri 'Leoben Üniversitesi Resource Mineralogy' (Avusturya) bölümünde yapılmıştır. Raman spektroskopisi incelemeleri 50x objektifli 'Olympus BXFM' mikroskop ataçmanlı 'Jobin Yvon Confocal Andor iDUS CCD' dedektörlü 'Horiba LabRam HR800 UV-VIS-NIR, 532-nm Nd: YAG' lazerli 20 mW lazer enerjili raman spektroskopisi ile yapılmıştır.

1.4 Önceki Çalışmalar

Tokel (1977); Doğu Karadeniz Bölgesi Eosen volkaniklerinin kimyasal bileşimleri ile günümüzdeki litosfer yitme alanları boyunca oluşan volkaniklerin bileşimleri arasında büyük bir benzerlik olduğunu belirtmiştir. Bir olasılıkla Kuzey Anadolu Kıtasının güney kenarında bir litosfer yitme zonu oluşmuş ve Lütesiyende Kuzey Anadolu Tetisinin tabanı ve içerdiği sular kıtanın altına kayarak kalk-alkalen mağmatizmanın kökenini oluşturduğunu belirtmiştir. Karadeniz Bölgesinde çok geniş yüzlekler biçiminde görülen Oligosen yaşlı granit batolitlerinin varlığı, Oligosende litosfer yitme hızının daha fazlaştığını, dolayısı ile yüksek dağ kütlelerinin oluşup denizin çekildiğini ileri sürmüştür.

Terlemez ve Yılmaz (1980); Ünye–Ordu–Koyulhisar–Reşadiye arasında kalan bölgede, Orta Jürasik–Pliyosen yaş aralığında ve çeşitli fasiyeslerde kayaçlar yüzeylendiğini, bunlardan Orta–üst Jürasik–Alt Kretase yaştaki kireçtaşlarının temeli oluşturduğunu, bunun üzerine açısız uyumsuzlukla Senomaniyen–Kampaniyen yaşta tüfit, andezit akıntısı, aglomera, kireçtaşı ve kumtaşı araldanmasının oturduğunu belirtmiştir.

Ercan ve Gedik (1983); Pontidlerdeki çalışmada, Permo–Karbonifer, Triyas, Liyas, Dogger, Malm–Alt Kretase, Üst Kretase, Paleosen–Eosen, Miyosen ve Pliyo–Kuvaterner yaşlı volkanik kayaçların dağılımını ve oluşum koşullarını toplu halde sunarak, bunların birbirinden farklı köken ve gelişme gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Ulakoğlu (1985); Suşehri dolayının jeolojisini incelediği çalışmada, bölgede en altta Suşehri Serpantiniti olarak adlandırdığı Üst Jura–Alt Kretase yaşlı ultrabazik kayaçların yer aldığını, bu birimler üzerine Lütesiyen yaşlı filiş karakterli birimlerin

geldiğini ve Köseadağ Siyeniti'nin Eosen sonlarına doğru oluşmuş önemli bir plütonik (batolit) olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1985); Pontidler ve Toridler'in birbirine en çok yaklaştığı alanda yapılan çalışmada; farklı ortam koşullarını yansıtan, birbirleri ile tektonik ilişkili ve Eosen öncesi yaşta olan dört temel birime (Kelkit Otoktonu-Çimen Dağı Napı-Erzincan Napı-Munzur Kireçtaşı) ayırmıştır.

Terzioğlu (1986); Pontidler'in orta kesiminde yer alan Erdembaba volkanitlerini petrolojik açıdan incelemiş, volkanizmanın oluşum koşullarını ve kökenini açıklamıştır. Pliyosen yaşlı volkaniklerin hiyalodasit türde ve ortaç asidik kalkalkalen nitelikte olduğunu belirtmiştir. Volkanizmanın petrokimyasal özelliklerinin volkanizmanın kıtasal kabuk kökenli olduğunu ve anateksi sonucu oluştuğunu belirginleştirdiğini belirtmiştir.

Bektaş ve diğ. (1987); Doğu Pontidler'de Liyas çekme gerilmesi tektonik rejimi ve buna eşlik eden bimodal (bazaltik-dasitik) volkanizmayla temsil edildiğini ve geniş bir magmatik zona sahip olan ark, güneyden kuzeye doğru yaklaşık D-B doğrultulu rift sistemleri ile parçalandığını belirtmişler. KD-GB ve KB-GD doğrultulu eşlenik doğrultu atımlı fay zonlarına bağlı olarak gelişmiş *pull-apart* havzaları kuzeyde ensialik (ark içi havzalar), güneyde ise ensimatik (yay gerisi havzalar) özellikte olduğunu belirtmişlerdir.

Gökçe (1990a); Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yatakları Doğu Karadeniz Bölgesinin güney ve batı kesimlerinde yaygın olarak gözlenen damar tipi yatakların tipik örneklerinden olduğunu belirtmiştir. Bu yataklardan alınan cevher örneklerinden yapılan sıvı kapanım incelemelerini kuvars ve sfalerit kristallerinde saptanan birincil ve ikincil kapanımlarda gerçekleştirmiştir. Kapanımların genellikle küçük boyutlu, düzgün olamayan şekilli, sıvı ve gaz fazları olmak üzere iki fazlı kapanımlar şeklinde olduğunu belirtmiştir.

Gökçe (1990b); Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarının Doğu Karadeniz Bölgesinde Pontidler tektonik birliğinin kuzey bölümü olarak bilinen kuşağın güney batı kesimlerinde yaygın olarak gözlenen damar tipi yatakların tipik örneklerinden olduğunu belirtmiş, yöredeki kayaç türlerinin petrografik özellikleri, litostratigrafik dizilimleri, cevher damarlarının konumları, iç yapıları ve içerikleri

yazarın da aktif olarak katıldığı bazı detaylı çalışmalarla incelenmiş, yatakların oluşum ve kökenleri konusunda yaklaşımlarda bulunulmuştur.

Gökçe ve diğ. (1993); Kuşunlu Yöresindeki damar tipi Pb-Zn-Cu yataklarının Üst Kretase yaşlı volkanik ve volkanosedimenter kayalar içinde bulunmakta olduğunu, K50-80 B/75-85 KD konumlu olduğunu belirtmişlerdir. Cevher mineralleri olarak galenit, sfalerit, pirit, kalkopirit, kalkosin ve hematit; gang mineralleri olarak ise kuvars, kalsit ve az miktarda barit içerdiğini belirtmiştir. Daha önce yapılan kükürt izotop incelemelerinden sülfürlü minerallerin bileşimindeki kükürtün magmatik kökenli olduğunu ve volkanik yan kayalardan yıkanmış olabileceğini, sıvı kapanım incelemelerinden ise sıvı kapanımlardaki sıvıların tuzluluğunun genellikle düşük olduğu ve hakim tuz olarak NaCl (\pm KCl) içerdikleri dolayısıyla hidrotermal çözeltilerdeki suyun büyük olasılıkla meteorik kökenli olabileceği sonucunu çıkarmışlardır. Oksijen ve hidrojen izotopları sonuçlarının ($\delta^{18}\text{O} = -5,4$ ile $-1,4$ ‰ arasında, $\delta\text{D} = -31,4$ ile $-70,4$ ‰ arasında) yöredeki yatakları oluşturan hidrotermal çözeltilerdeki suların derinlere indikçe ısınmış ve yöredeki magmatik kayalarla (olasılıkla volkanik) izotopsal etkileşime uğramış yüzeysel kökenli meteorik sular olduklarını belirtmişler. Sıvı kapanımlar içindeki CO_2 'nin karbon izotopları bileşiminin ise bu çözeltilerin özellikle karasal veya denizel ortamda oluşmuş karbonatlı seviyelerden geçmiş olabileceğine işaret etmişlerdir. Yöredeki damar tipi Pb-Zn-Cu yataklarının volkanik yan kayalardaki malzemenin (kükürt ve olasılıkla metal iyonları) derinlere inerek ısınmış meteorik kökenli sularca çözülüp, faylar boyunca yeniden çökeltmeleri şeklinde oluştuklarını ileri sürmüşlerdir.

Genç ve Güven (1994); Doğu Pontidler'de Devoniyen, Permo-Karbonifer, Jura, Kretase ve Tersiyer kayalarının yüzeylendiği inceleme alanında, özellikle polifaz volkanizma ürünü volkanitlerin varlığına dikkat çekmişlerdir. Bölge volkanitlerinin büyük bölümünün "orojenik bölge volkanitleri" niteliğinde, bazılarının ise değişik dönemlerde meydana gelen riftleşmenin ürünleri olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Şaşmaz ve Sağıroğlu (1994); Tutak dağı güneybatısındaki Pb-Zn yataklarında yapılan çalışmada cevherleşmelerin damar tipi cevherleşmeler olduğunu, Doğu Karadeniz metalojenik provensinin bir parçası niteliğinde olduğunu belirtmişlerdir. Yörede Üst Kretaseden Pliyo-Kuvaternere kadar değişen zaman aralıklarında oluşmuş volkanik, plütonik ve sedimanter kayalar bulunduğunu belirtmişlerdir.

Uysal, ve diğ. (1995); Koyulhisar (Sivas) dolayında yaptıkları çalışmada Orta Eosen yaşlı volkaniklerin çarpışma sonrası geliştiğini ve yer yer kalkalkalen, yer yer de alkalen özellik gösterdiğini belirtmiş ve bu volkanitlerin Üst Eosen yaşlı Köseadağ plütönu tarafından ve daha sonraki dönemde de yine Üst Eosen sonlarında andezit ve tüflerden oluşan dayklarla kesildiğini ve çarpışma sonrası olarak yorumlanan bu daykların genellikle kalkalkalen ve seyrek olarakta alkalen özellik gösterdiğini açıklamışlardır.

Karakaya ve Karakaya (2001); Doğu Pontidlerin kuzey bölümünde yer alan inceleme alanında, Üst Kretase-Paleosen yaşlı granitoidlerin Üst Kretase yaşlı Şaplıca volkanitlerine intrüzyonu sonucu bölgede yaygın ve yoğun bir hidrotermal alterasyon zonu geliştiğini, geniş pH ve Eh şartlarında kuvvetli asidik, asidik-nötr ve nötr alkalin koşullarda propillitik fillik, arjilik (killeşme ve alunitleşme) türü alterasyonlar yanında hematitleşme ve iki tür turmalin mineralizasyonu oluştuğunu belirtmişlerdir. İncelenen alterasyon zonlarının özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde yaygın olan benzer alterasyon zonlarındaki mineral oluşumlarının araştırılması, dönüşümlerinin yorumlanmasında kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir.

Boztuğ ve diğ. (2004); Doğu Pontidler'de Dereli-Şebinkarahisar bölgesindeki granitoidlerde apatit *fission-track* yöntemi ile çalışmalar yapmışlardır. Senoniyen'deki ($80.7 \pm 3.2 - 62 \pm 2.5$ My) yavaş yükselmeyi Avrasya kıtası altına Neo-Tetis dalma zonu üzerinde, çarpışma zonunun üst kesimlerine çarpışma ile ilişkili diyapirik yükselmeler olarak yorumlamışlardır. Paleosen-Erken Eosen ($57.4 \pm 2.4 - 47.8 \pm 2.4$ My) süresince hızlı yükselişi, farklı yaşlı granitoidlerin sıralanması, bileşimleri ve kabuk içerisine yerleşme seviyelerinin, Pontid (Avrasya) ve Anadolu (Gondwana) arasındaki çarpışma ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Arslan ve Arslan (2006); Doğu Pontidler'in kuzey ve güney zonlarında Eosen ve Eosen sonrası volkanik kayalarda granitik intrüzyonlar ortaya çıktığını ileri sürmüşlerdir. Güney zon intrüzyonlarının, ayrımı diyorit bileşimli bol angular mafik mikrogranüler anklavlar içerdiğini ve bölgenin kuzeyindeki kayalar monzonit, kuvars monzonit, monzodiyorit ve kuvars monzodiyorit iken güneydekiler monzogranit ve granodiyorit olduğunu belirtmişlerdir.

Boztuğ (2008); Köseadağ plütönu, orta Pontidlerin doğu kesiminde Suşehri-KD Sivas yöresinde incelemeler yapmışlardır. Eosen yaşlı volkano-sedimanter kayalar içerisinde sığ sokulumlu siyenitik bir plütönu olarak yüzeylendiğini ve Erken Miyosen

(Akitaniyen) yaşlı lagünel kireçtaşları tarafından uyumsuzlukla örtüldüğünü, Kösedag siyenitinin başlıca siyenit ve kuvars siyenit bileşimli kayaçlardan oluştuğunu belirtmişlerdir.

Yılmaz Şahin, S. (2008); Doğu Pontid plütonizmasının bir parçasından meydana gelen, Geç Kretase Tamdere Kuvars Monzonit kayaçları, küreselden elipsoidal şekil aralığında birkaç santimetreden desimetre boyutunda mafik mikrogranüler enklavlar içerdiğini belirtmişlerdir. Ana, iz ve REE elementlerinin dağılımı açıkça MME_s ve felsik ana kayaçlar açıkca termal, mekanik ve kimyasal etkileşimler arasında aynı yaşta felsik ana magma ve mafik magmanın değiştiğini ifade etmiştir. Küçük MME_s ilk hızlı soğumadan dolayı kapalı bir sistem gibi davranırken daha büyük MME_s yavaş soğumadan dolayı Newtonun felsik ana magmasından daha büyük difüzyondan kaynaklı olduğunu açıklamıştır.

Kandemir ve diğ. (2014); Doğu Pontid magmatik yayının kuzeydoğu kesiminde yeni stratigrafik ve paleontolojik veriler sunmuşlardır. Doğu Pontid yayı Neo-Tetis'in kuzey kolunun Sakarya Kıtası altına kuzey yönlü dalma-batması sırasında oluştuğunu, Yay, Erken-Orta Turoniyen'de gelişimine başladığını ve Erken Maastrichtiyen'e kadar varlığını sürdürmüş olduğunu belirtmişlerdir. Doğu Pontid yayı Sakarya Kıtası'nın güneye bakan yamacı boyunca deniz altında oluşmuş bir yay olduğunu, yayın oluşumu süresince volkanizmanın karakterinde dönem dönem değişiklikler olduğunu ve volkanizmanın etkin olmadığı dönemlerde çökel istifler geliştiğini belirtmişlerdir.

Şahin Demir ve Uçurum (2016); Evliya Tepe yakınında Güzelyurt köyü Sisorta bölgesindeki altın yatağının jeolojik ve jeokimyasal özellikleri üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Kükürt izotop değerleri; ‰-0,4 ile ‰22,0 arasında değiştiğini, S'ün kaynağının ilk evrelerde hafif S izotopunun etkin olduğu daha sonraki evrelerde ise ağır S izotopunun etkin olduğunu gözlemlemişlerdir. Gang ve alterasyon minerallerinde yapılan oksijen ve döteryum analizlerine göre; $\delta^{18}\text{O}$ değeri ‰7,1 ile ‰15,6 arasında değişirken, δD değeri ise ‰-77,0 ile ‰-25,3 arasında olduğunu belirtmişlerdir. $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop değerlerini birlikte değerlendirerek meteorik suların, silikat alterasyon mineralinde önemli rol oynadığını vurgulamışlardır. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ yaş analizleri sonucunda K-alünit mineralinde; plato yaşını $78,85\pm 0,94$ My ve $76,59\pm 2,19$ My, izokron yaşını $78,25\pm 0,42$ My ve $75,30\pm 0,90$ My olarak, bozunmamış andezitik volkanik kayaçlardan ayrılan hornblend mineralinde ise plato

yaşını $80,44 \pm 0,84$ My olarak elde etmişlerdir. Bakır minerallerinden elde edilen $\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ izotop değerlerinin $-5,502$ ile $+3,032$ arasında değişim gösterdiğini belirtmişler. Sistemin derin kısmına yakın yerlerdeki bakır izotop değerlerinin önemli bir izotopsal değişim göstermediğini ($\text{‰} < 1$), sistemin üst kısmında bakır izotop değerlerinin geniş bir değişim göstermekte olduğu incelenmiş ve bununda ikincil süreçlerde bakır zenginleşmesini işaret ettiğini belirtmişlerdir.

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Gölcük Bakır cevherleşmesi H39 (1:100,000) jeoloji haritasında Eosen yaşlı volkanik kayalar içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Bu da Türkiye'nin bu bölgesinde Pontidlerde ve OAKK'da gerilme rejimi ve onu takip eden sıkışma rejimleri (Boztuğ, 2008; Şekil 2.2) sonucu gelişmiştir. Gölcük ve civarında da gözlenen volkano-sedimanter birlik, Torid-Anatolid ve Kuzey Avrasya plakalarının Geç Paleosen-Erken Eosen de çarpışması sonucu oluşmuştur. Volkano-sedimanter birim genellikle D-B ve KD-GB yönlerinde dağılım göstermektedir (Şekil 2.2).

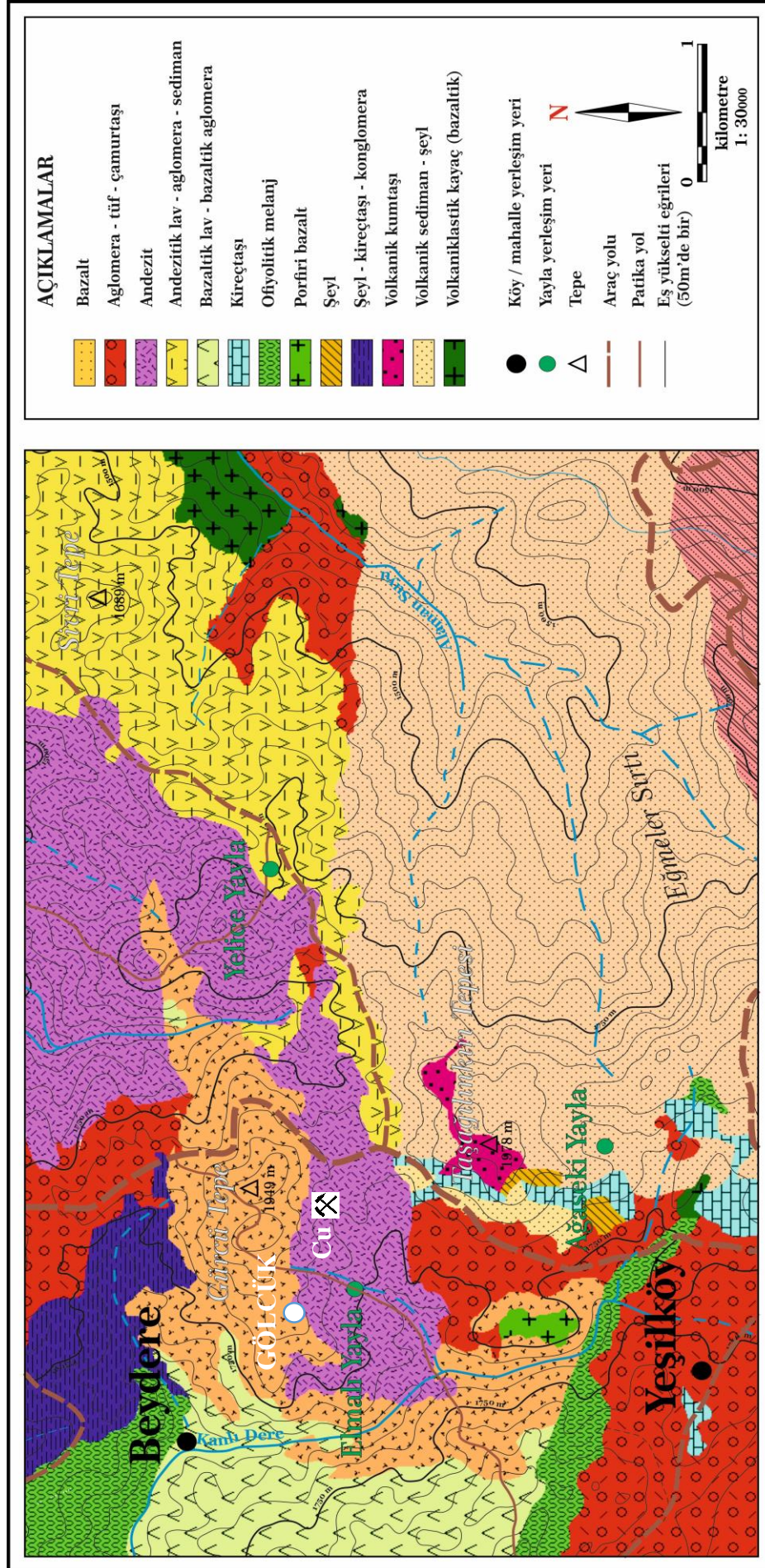
Gölcük Cu cevherleşmesi ve civarında yapılan sondajlarda bazalt, andezit, volkanoklastik ve sedimanter birimler kesilmiştir (Şekil 2.1). Gölcük cevherleşmesi KAFZ'nun 2-3 km güneyinde, Köseadağ plütünü ise Gölcük Cu cevherleşmesinin 2,5 km GD'da yer almaktadır. Bölgede 225 km² alan kaplayan Eosen yaşlı siyenit, kuvars-siyenit bileşimli Köseadağ plütünü (Boztuğ, 2008) OAKK'yı üzerleyen Volkano-sedimanter birimi kesmiş ve bu da Gölcük cevherleşmesinin oluşumuna katkı sağlamış olabilir. Bu plütünü MTA'nın 1:100,000 Giresun H39 jeolojik haritasında gabro olarak tanımlanmıştır.

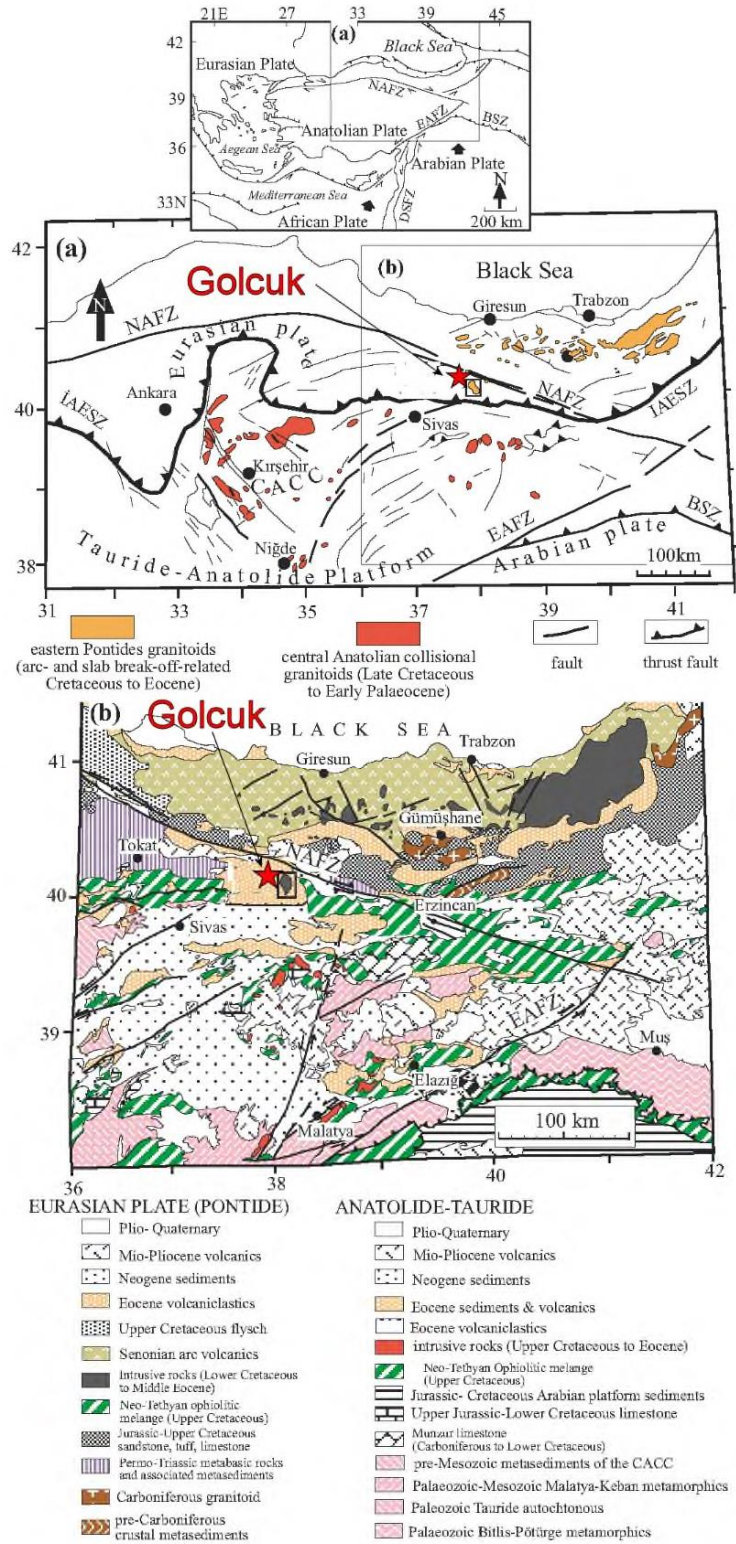
Gölcük sahası H-39.c1 paftası içerisinde, Sivas İli Koyulhisar ilçesinin yaklaşık 14 km güneyinde Yeşilköy, Beydere Mahallesi ve Elmalı, Ağaseki, Yelice Yaylaları civarlarında bulunur (Şekil 2.1). Gölcük sahası Eosen yaşlı volkanik-volcano klastik birimler içerisinde intrüzyonlarla ilişkili Cu cevherleşmesi ile tipik bir özellik sunmaktadır.

Gölcük sahasında epidotlar ve Cu cevherleşmesi, genellikle saçınımlı damar ve stokvork şeklinde tabakalı andezit ve bazaltlar içerisinde oluşmuştur.

Sahanın ortalama yüksekliği 1700 m'dir; güneydeki 1978 m'den (Taşağınkırı Tepesinden), kuzeybatıya doğru (Alamansuyu Vadisi civarı) 1400 m'nin altına kadar değişir. Çok sayıda küçük, dik vadi yamaçlarından oluşur (Şekil 2.1).

İnceleme sahasının daha çok kuzey batısında mostra veren andezitik lav-aglomera birimleri tabakalı yapı gösterir, breşik ve genelde killeştirilmiştir.





Şekil 2.2 Doğu Pontidlerin, Orta Anadolu Granitoyitlerinin ve civarı ile Gölçük sahasının bölgesel jeolojik ve coğrafik konumu (Boztuğ, 2008'den değiştirilerek) ve üstteki şekilde Türkiye'nin ve civarının bölgesel tektonik konumunu (Bozkurt ve Mittweide, 2001'den). NAF=Kuzey Anadolu Fay Zonu, IAESZ=İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı, EAFZ=Doğu Anadolu Fay Zonu, BSZ=Bitlis Kenet Kuşağı, CACC=Orta Anadolu Kristalin Kompleksi, DSFZ=Ölü Deniz Fay Zonu.

| SİSTEM | SERİ | KAT | FORMASYON | ÜYE | KALINLIK (m) | KAYA TÜRÜ | AÇIKLAMALAR |
|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------|------------|--------------|-----------|---|
| | | | | | | | |
| KUVATERNER | ÜST MİYOSEN | BURDIGALİYEN | ONARI | KADIKÖY | 25 | | <p>Kum, kil, çakıl.</p> <p>Açısal uyumsuzluk.</p> <p>Kadıköy form.:Çakıltaşı, kumtaşı, kiltası. (Tka)</p> <p>Şerefiye bazaltı. (Tka)</p> <p>Açısal uyumsuzluk.</p> |
| | | | | ŞEREFİYE | 150 | | |
| NEOJEN | ÜST OLIĞ.-ALT MİYOSEN | BURDIGALİYEN | ONARI | İBİKKAŞI | 250 | | <p>Toi: Çakıltaşı, kumtaşı, kiltası</p> <p>Açısal uyumsuzluk.</p> <p>Sarköy volkanitleri. (Tşa)</p> <p>Tşt: Tüylüderetepe andezit üyesi.</p> <p>Tşn: Naldökentepe tuf üyesi.</p> <p>Tk: Köseadağ magmatitleri, siyenit, granit.</p> <p>Tcu:Uzungöze bazalt üyesi.</p> |
| | | | | ANDEZİT | 1500 | | |
| PALEOSEN | E O S E N | L Ü T E S İ Y E N | DOĞANŞAR | HAYDAROĞLU | 1000 | | <p>Tabanda çakıltaşı, sonra kiltası-kumtaşı araldanması, kireçtaşı düzeyleri kapsar. (Td)</p> <p>Aglomera; tüfit ve andezitik lav akıntısı içerikli. (Th)</p> |
| | | | | | | | |
| ÜST SENONİYEN ÖNCESİ | TEKELİDAĞ KARIŞIĞI | | | | | | <p>Açısal uyumsuzluk.</p> <p>Serpantin ve kırıntılı hamur içerisinde çeşitli bloklar. (Kt)</p> |

Şekil 2.3 İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Uysal ve diğ., 1995'ten değiştirilerek).

Kireçtaşları Yeşilköy civarının doğusunda bantlar halinde bulunur ve içinde kalsit damar ve toplulukları vardır. Sahanın batısında mostra veren bazaltik lav ve bazaltik aglomera tabakalı ve yer yer şistoziteli yapı gösterir. Volkanik sedimanlar ve şeyl sahanın güneydoğusuna doğru geniş yayılım gösterir, tuf ve killeşmiş kayalar parçalarından oluşur. Andezitler sahanın kuzey ve orta kesiminde mostra verir, bazalt ve andezitik lavlar ile kontak halindedir. Sahanın batısındaki bazalt birimler bazaltik lav–bazaltik aglomera ile kontak halindedirler ve yer yer breşik yapı gösterirler.

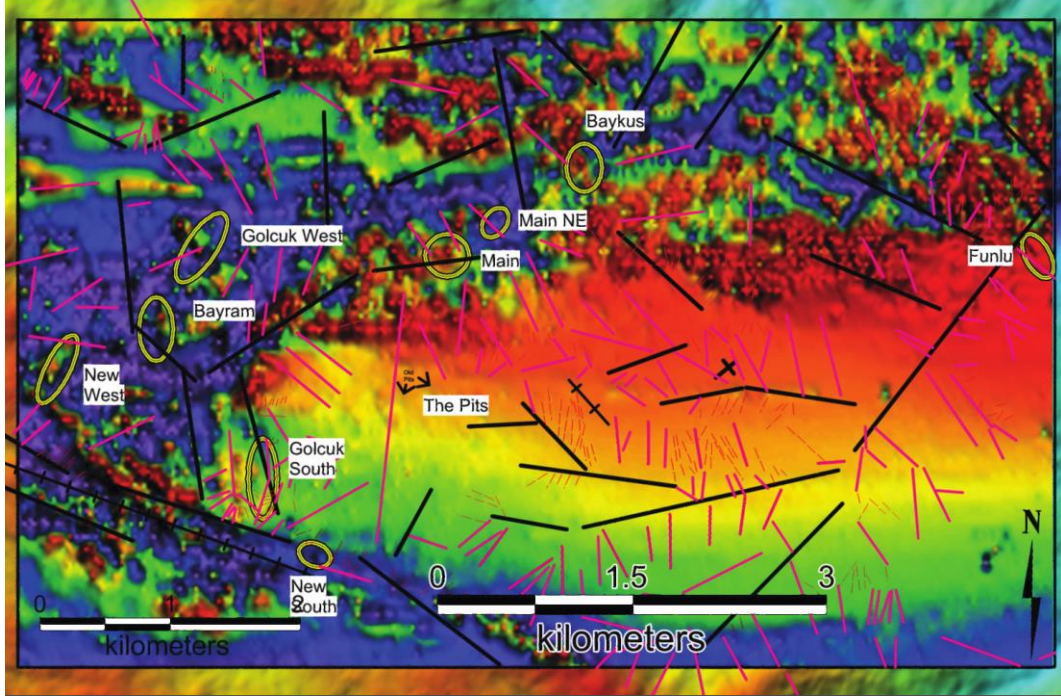
İnceleme alanının temelini Üst Senoniyen öncesi yaşta Tekelidağ Karışığı oluşturur. Tekelidağ Karışığı üzerine açılmal uyumsuzluk ile kıltaşı-kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşan ve yer yer olistostromal düzeyler içeren Alt-Orta Eosen yaşlı Akıncılar Formasyonu (Yılmaz, 1985) yer alır. Akıncılar Formasyonu inceleme sahasının kuzeybatısında küçük bir alanı kaplar. Akıncılar Formasyonunu uyumlu ve geçişli olarak andezitik, bazaltik lav akıntıları ve aglomeralar ve tüfitlerle ayrılan Haydaroğlu Formasyonu (Terlemez ve Yılmaz, 1980) izler. İnceleme alanındaki çoğu cevher mineralizasyonu Haydaroğlu Formasyonunda bazaltik kayalarda yer alır. Sahanın güney kesiminde kireçtaşları ile birlikte kıltaşı, kumtaşı ve konglomera birimleri yer alır. Doğanşar Formasyonunun üzerinde ise geçişli olarak genellikle aglomeradan oluşan, andezitik ve bazaltik lav akıntıları içeren Cıbıl Tepe volkanitleri yer alır (Şekil 2.3).

Çarpışma sonrası gelişen Orta Eosen yaşlı volkanitler Üst Eosen yaşlı Köseadağ plütunu tarafından ve daha sonraki dönemde yine Üst Eosen sonlarında andezit ve tüflerden oluşan dayklarla (Şarköy volkanitleri) kesilmiştir. Üst Eosen sırasında Köseadağ mağmatiklerinin sokulumu ve daha sonra bir volkanizma ile Şarköy volkanitleri oluşturmuştur. Daha sonra bölgede Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı kırıntılardan oluşan Onarı Formasyonu önceki formasyonlar üzerinde uyumsuz olarak yer alır (Uysal ve diğ., 1995).

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kadıköy Formasyonu ve Şerefiye bazaltı, kendilerinden daha yaşlı olan formasyonları uyumsuz olarak örter. En üstte ise güncel alüvyon ve alüvyon yelpazeleri yer alır (Uysal ve diğ., 1995).

Orta-Üst Miyosen–Günümüz yaşlı Kuzey Anadolu Fayı'nın inceleme alanının yakınından geçmesi, bölgede büyük çapta faylanmalara neden olmuştur. Gölcük sahasının jeoloji haritasında (Şekil 2.1) tektonik unsurlar belirtilmemiş fakat sahada kil-kum-konglomera tabakalanmaları ve diğer birimlere dalımları gözlemlenmiştir.

Gölcük bakır cevherleşmesinin New West, Bayram, Gölcük West, Gölcük South Main, Main NE, Baykuş ve Funlu yüzleklerinde (Şekil 2.4) gözlemlendiği belirtilmiştir (King, 2013).



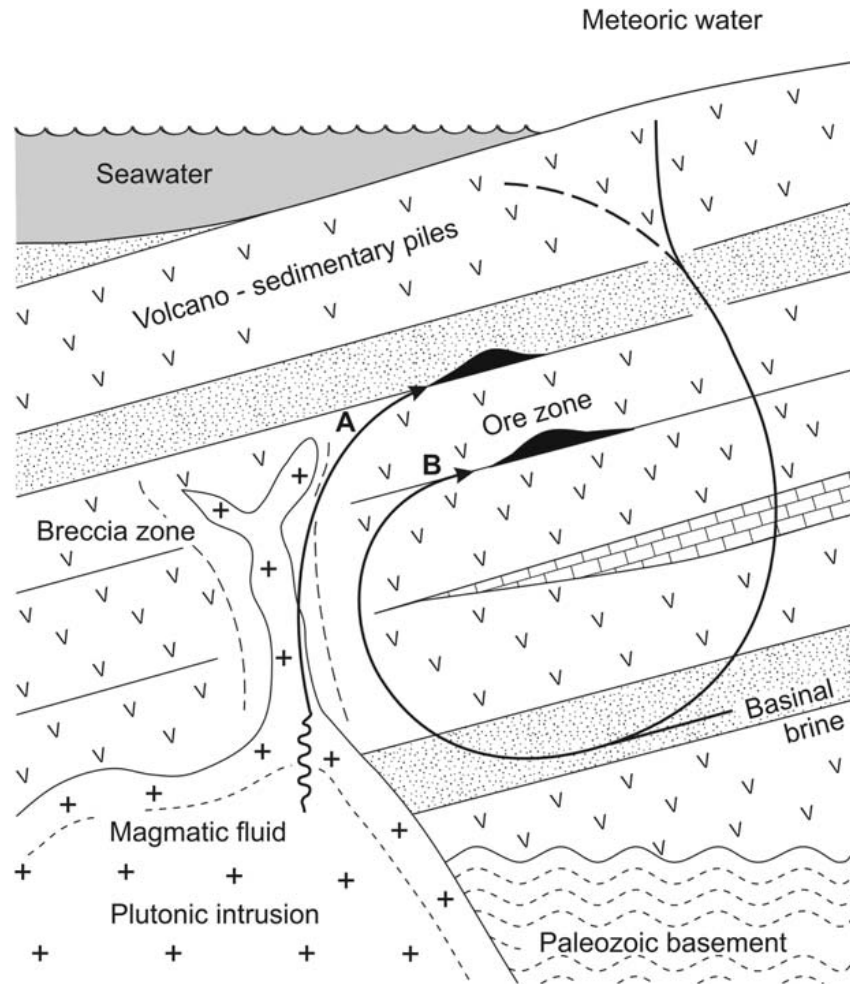
Şekil 2.4 Gölcük ve yakın civarının yapısal ve manyetik haritası (King, 2003' den).



Şekil 2.5 Gölcük South sahasının bulunduğu vadiye bakış.

3. CEVHERLEŞME

Gölcük sahasında cevherleşme bakır ve az oranda da gümüş bazik-ortaç mafik volkanik ve volkano-sedimanter yan kayaçlıdır. Bu oluşum USGS'in 23. Modeli olan ve Cox ve Singer (1986) tarafından tanımlanan 'Bazaltik Bakır' sınıflamasına uymaktadır ki bu da Strata-bound Cu yatağı modelidir. Uyumsuz ve damar tipi cevherleşme ve lokal yapısal kontrol hidrotermal breş tipi cevherleşmeyi de çağrıştırabilir. Ayrıca Kösedag plütonuna yakınlığı nedeniyle Gölcük Cu cevherleşmesi epitermal veya hidrotermal-porfiri kökenli de olabilir.



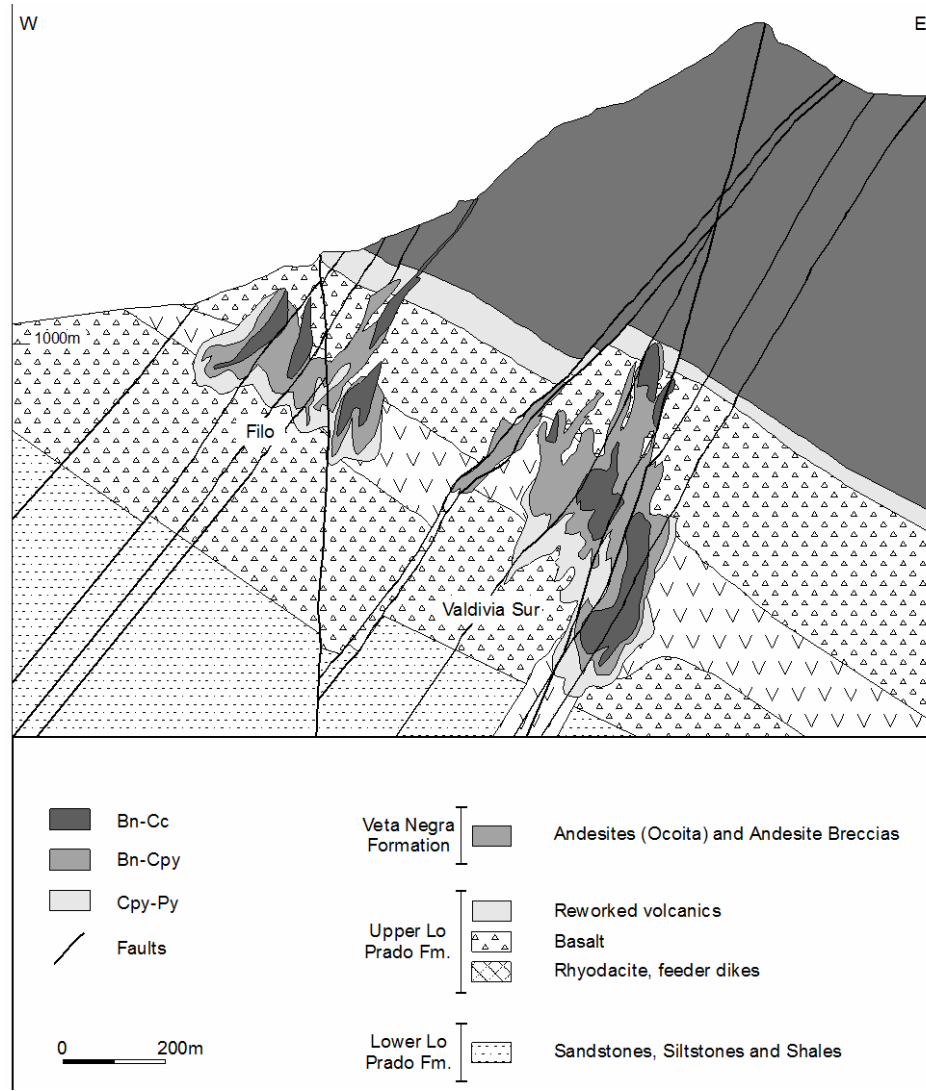
Şekil 3.1 Şili Manto-tipi Cu yatağı için alternatif şematik model. Yaygın olarak andezitik karakterli volkano-sedimenter, tüflü kumtaşı ve kireçtaşı yan kayaçlı ortamda A) magmatik ve B) yüzey sularının gelişimi-geçışı ve cevherleşmeye olan katkısı (Kojima ve diğ., 2009'dan).

Bazaltik Bakır (Red-Bed veya Manto tipi yatak olarakta bilinir) yataklarının genel özellikleri; (Wilton ve Sinclair, 1988; Lefebure ve Ray, 1998; Kirkham, 1996; Cabral ve Beaudoin, 2007; Kantor, 2011) aşağıda özetlenmiştir:

- Farklı tektonik ortamlarda oluşabilir (Michigan kıta içi rifti, Şili volkanik yayı),
- Farklı yaşlı kayaç gruplarında gelişebilir; (Michigan'da Üst Prekambriyen, Sustut'da Üst Triyas),
- Yatay tabakalanmalı gelişebilir; [Bazaltik lav akıntılarında Keweenawan Yarımadası (Kantor, 2011)],
- Yapısal kontrollü gelişebilir; [Sustu'da dayk kompleksi ile (Wilton ve Sinclair, 1988)-Faylanmayla El Saldado],
- Yatay tabakalanma ve faylanmanın birlikte etkin olduğu (Lefebure ve Ray, 1998) ortamda,
- Bazaltik ve sedimanter yan kayaçlı; Keweenawan Yarımadası (Kantor, 2011),
- Bakır veya bakır sülfür veya bunların karışımı (Kantor, 2011) şeklinde oluşabilirler.

Kojima ve diğ. (2009) Şili Manto-tipi bakır yatağının, derin plüton kökenli hidrotermal çözeltilerin volkanik-sedimanter kayaç ile etkileşimi sonucu oluştuğunu vurgulamıştır (Şekil 3.1). Boric ve diğ. (2002) El Saldado-Şili Manto tipi bakır yatağında cevher minerallerinin zonlandığını, merkezde bornit-kalkosin, bunu bornit-kalkopirit zonu sardığını ve en dış zonda da kalkopirit-pirit zonu olduğunu vurgulamıştır (Şekil 3.2).

Cevherin kaynağı volkano-sedimanter olan bu tip yataklanmada, derin plüton kökenli hidrotermal çözeltiler ile yüzey kaynaklı meteorik sular ve havza tuzlu su getirimlerinin etkileşimi ile volkano sedimanter kayaçların uygun ortamlarında cevher oluşmuştur. Gölcük Cu (Ag) cevherleşmesi yüzey kayaç-cevherleşme örnekleri Şekil 3.4'de özetlenmiştir.



Şekil 3.2 El Saldado-Şili Manto-tipi Cu yatağının enine kesiti, (Boric ve diğ., 2002'den değiştirilerek Wilson ve Zentilli, 2003'den).

Gölcük sahasında Romalılar zamanından beri, yüzey cevherleşmesinde küçük ölçekli madencilik faaliyetlerinde bulunulmuştur. Gölcük sahasında Cu cevherleşmesi genellikle saçınımlı damar ve stokvork şeklinde tabakalı andezit ve bazaltlar içerisinde oluşmuştur.

Gölcük sahasında modern araştırmalar 1970'de Etibank tarafından başlatılmıştır. Pasinex arama programları kapsamında sınırlı sayıda yüzey jeokimya örnekleme ve 7 adet sondaj yapılmıştır. Ayrıca bir adet galeri açarak cevherleşmenin doğası ortaya konmaya çalışılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Gölcük köyü GB'sında yer alan galeri girişi (B), maden ve döküm sahalarının (A) *Google Earth* görünümü.

Eurasia Madencilik A.Ş. 2002 yılında bu sahayı almıştır. 2007 yılında Turmenka Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından 12 sondaj yapılmıştır. Euroasia Madencilik A.Ş. 2010 yılında, daha önce yapılan sondaj numunelerinden jeolojik haritalama programı ve detaylı jeokimyasal araştırmalar yürütmüştür. Pasinex Madencilik Şirketi Gölcük'deki aramaları Eurasia Madencilik ile yapılan anlaşma gereği 2012 yılının haziran ayında başlatmıştır. Bu tarihten itibaren 7 adet sondaj yapılmış ve cevher kestiği derinlikler ve yönleri bir izdüşüm haritasına işlenerek cevherleşmenin yaygınlığı ve durumu tanımlanmaya çalışılmıştır.

Gölcük bakır sahasında MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Turmenka tarafından 20 ve Pasinex firmasınınca ise 7 toplamda 27 adet sondaj (Şekil 3.6-A) yapılmış olup bunların 2012'den sonra Pasinex firması tarafından yapılan PAS-1 ve PAS-2 no'lu sondajlara ait mineralojik ve manyetik duyarlılık profilleri Şekil 3.7 ve 3.8'de verilmiştir.

Roma döneminde eski madencilik faaliyet kalıntılarının gözlendiği Gölcük Cu cevherleşmesi ve civarında yapılan sondajlar sonucunda, MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Turmenka tarafından yapılan 20 adet karotlu sondajlarda cevherleşme yüzeyden ortalama 13,5 m derinlikte %2,6 Cu ve 41,9 g/t Ag belirtilmiştir.



Şekil 3.4 İnceleme alanı fotoğrafları: **A**, Piroklastik bazaltik kayaç; malakit mineralizasyonu ve kalsit damarları. **B**, Piroklastik bazaltik kayaç; epidotlu malakit mineralizasyonu. **C**, Piroklastik bazaltik kayaç; malakit ve kalkosin mineralizasyonu. **D**, Piroklastik bazaltik kayaç; malakit, azurit mineralizasyonu ve kalsit damarları. **E-F**, Bazaltik lav-aglomeralar; malakit içeren aglomera çakılları.



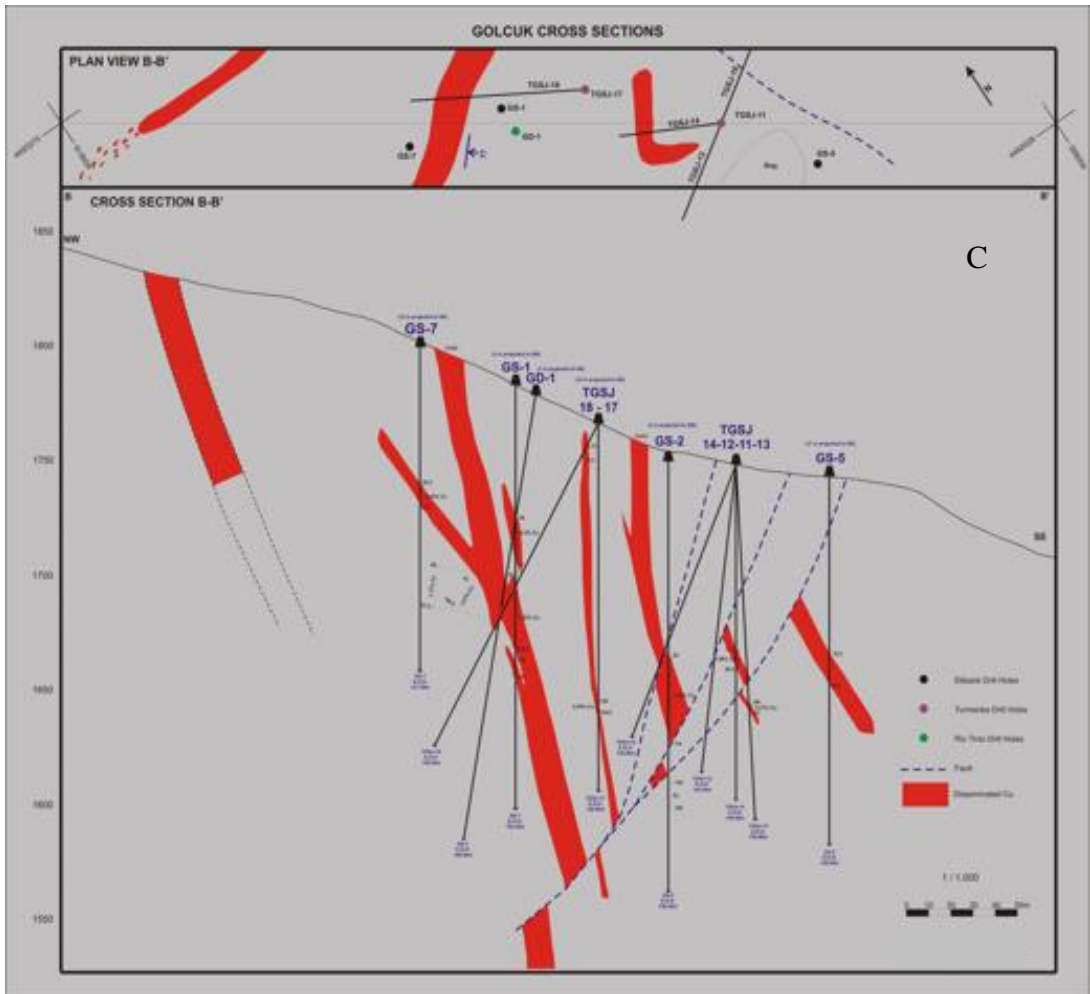
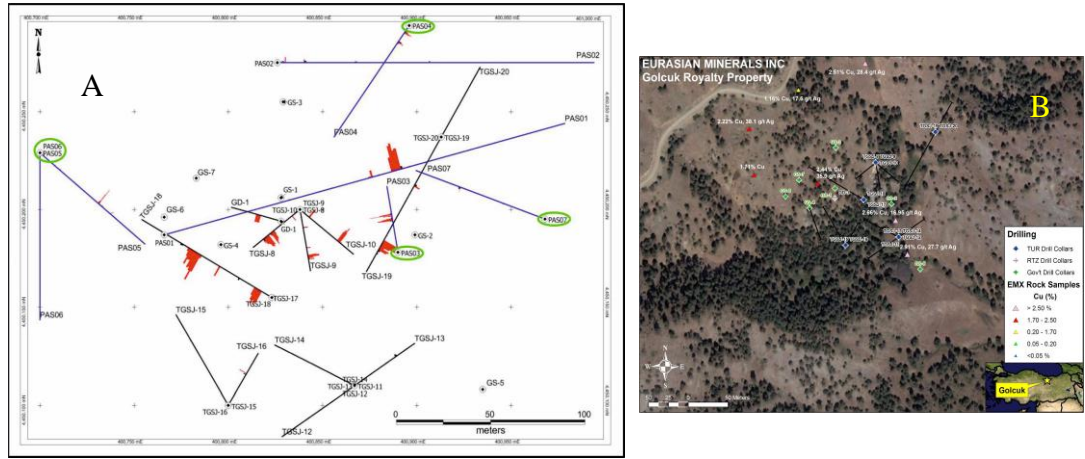
Şekil 3.5 Pasinex tarafından Gölcük’de yapılan sondaj çalışmalarından görünüm.

Ancak, Pasinex tarafından yapılan sondajlarda ise, cevherleşme ortalama yüzeyden 9,7 m %2,97 Cu değeri ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.1); (Şekil 3.5); (King, 2013).

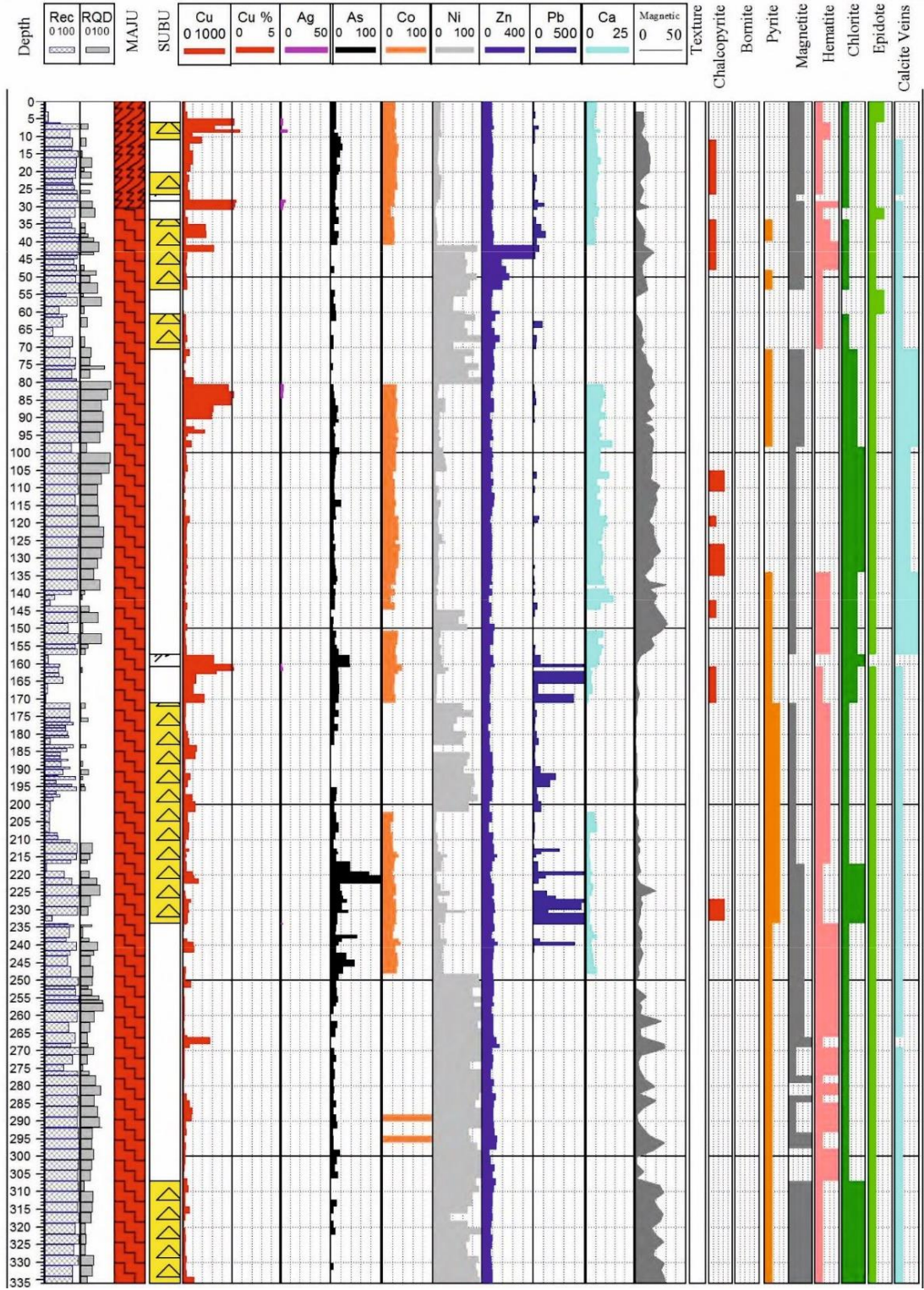
Gölcük sahası H-39.c1 paftası içerisinde, Sivas ili Koyulhisar ilçesinin yaklaşık 14 km güneyinde Yeşilköy, Beydere Mahallesi ve Elmalı, Ağaseki, Yelice Yaylaları civarlarında bulunur. Gölcük sahası Eosen yaşlı volkanik-volcano klastik birimler içerisinde (Şekil 3.4) intrüzyonlarla ilişkili Cu cevherleşmesi ile tipik bir özellik sunmaktadır.

Çizelge 3.1 Pasinex tarafından yapılan bazı karotlu sondajlarda Cu (%) ve Ag (ppm)

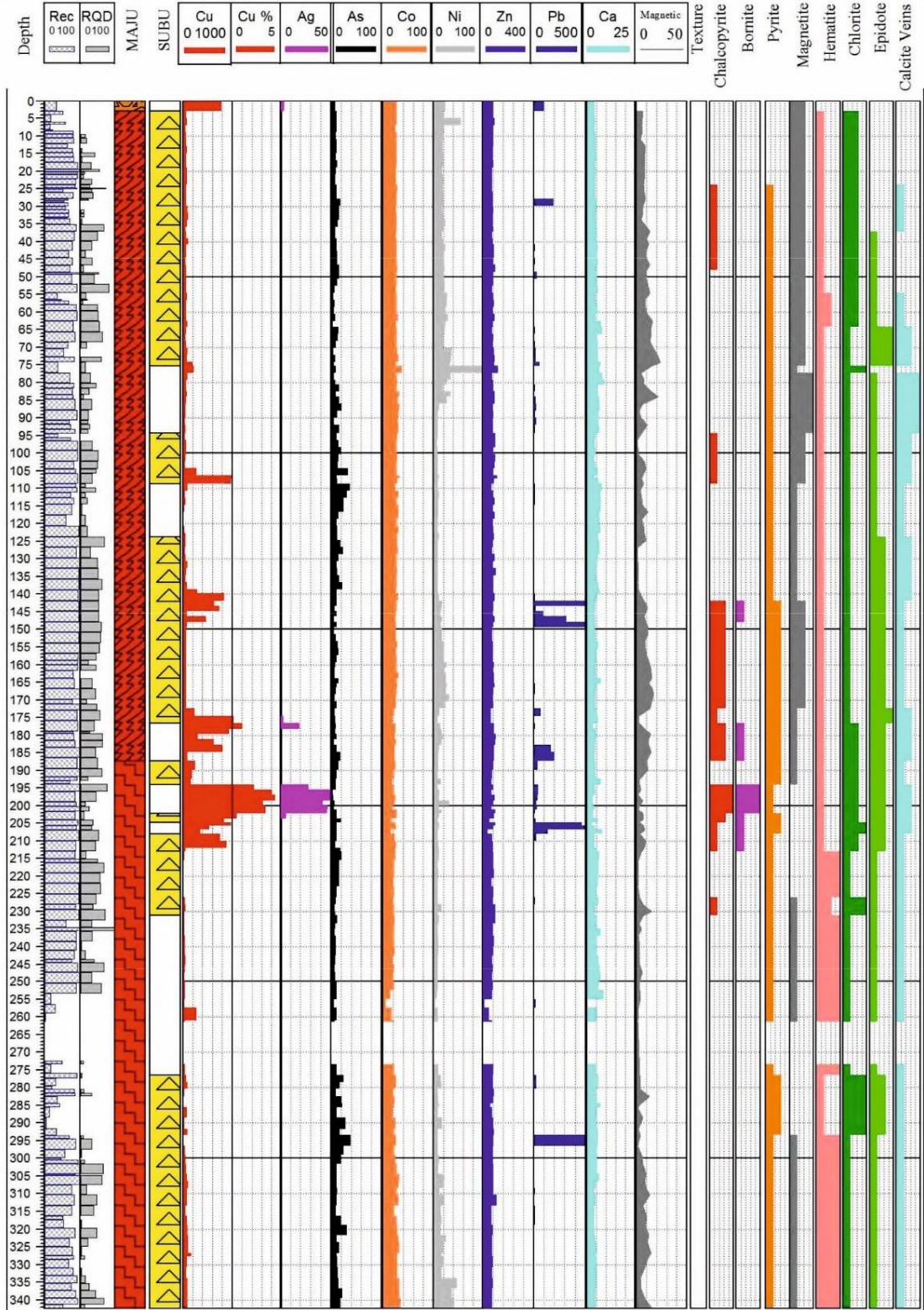
| Hole ID | Length (m) | From (m) | To (m) | Interval (m) | Cu % | Ag (ppm) | |
|--------------|--------------|------------------------|--------|--------------|------|----------|--|
| PAS03 | 165.0 | 6.0 | 8.0 | 2.0 | 0.56 | ND | |
| | | 78.5 | 85.5 | 7.0 | 1.57 | 6 | |
| | | 90.5 | 92.5 | 2.0 | 1.01 | 5 | |
| | | 93.5 | 97.5 | 4.0 | 1.83 | 15 | |
| PAS04 | 203.5 | 10 | 13.5 | 3.5 | 0.82 | 9 | |
| | | 28.0 | 31.0 | 3.0 | 0.69 | 18 | |
| PAS05 | 212.5 | 117.0 | 119.5 | 2.5 | 1.21 | 17 | |
| | | 142.5 | 143.0 | 0.5 | 0.42 | 6 | |
| | | 144.5 | 145.0 | 0.5 | 0.59 | 1 | |
| PAS06 | 200.4 | No significant results | | | | | |
| PAS07 | 213.0 | 139.0 | 142.0 | 3.0 | 0.35 | 7 | |



Şekil 3.6 2012 yılından önce MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Turmenka firmalarınca yapılan sondajların ve Pasinex tarafından yapılan PAS rumuzlu 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 no'lu karotlu sondajların plan görünümünü ve Cu profilleri (A) Google Earth görünümünü (B) ve 2012 yılı öncesi sondajlardan yararlanılarak çizilen saçınımlı Cu cevherleşmesinin görünümünü (C).



Şekil 3.7 PAS-1 sondajının jeokimyasal, manyetik duyarlılık ve mineralojik profili.



Şekil 3.8 PAS-2 sondajının jeokimyasal, manyetik duyarlılık ve mineralojik profili.



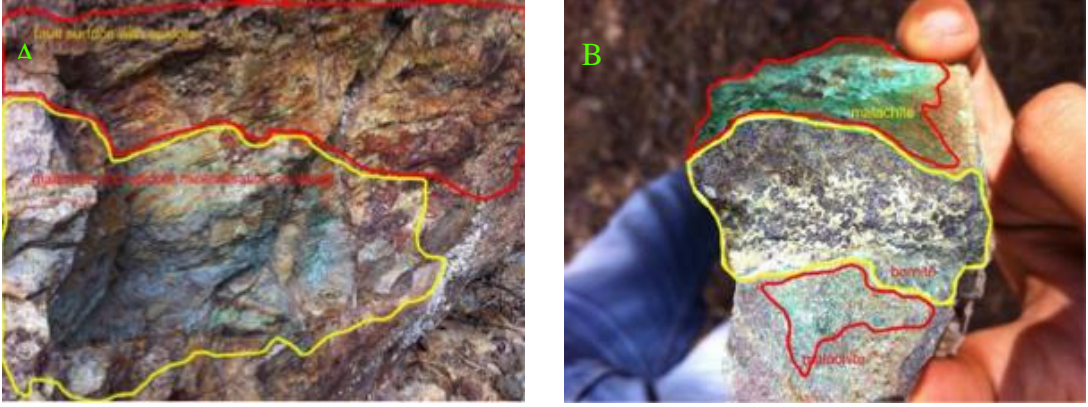
Şekil 3.11 Gölcük Funlu sahasında; kırık zonunda kırmızımsı yeşil renkli volkanoklastik kayalarda saçınımlı malakit cevherleşmesi (A), malakit ve azurit cevherleşmesinin çamurtaşı ve volkanoklastik kondağında gelişimi ve volkanoklastik kayalarda fay düzlemi (B).



Şekil 3.12 Gölcük Bayram sahasında; bazaltik kayada epidotlaşma ile birlikte bornit yaması (A), kırmızımsı yeşil renkli konglomeralarda hematit, epidot ve malakit cevherleşmesi (B).



Şekil 3.13 Gölcük Baykuş sahasında; epidot damarı boyunca malakit cevherleşmesi (A), bazalt kayacında bornit ve malakit cevherleşmesi (B).



Şekil 3.14 Gölcük West sahasında; bazaltik kayaç içerisinde 7x6 m boyutlarında mostrada malakit, epidot, limonit ve hematit cevherleşmesi (A), bazaltik kayaç yüzeyinde bornit, epidot ve malakit cevherleşmesi (B).

4. PETROGRAFİK İNCELEMELER

İnceleme sahasından alınan yüzey ve karot örneklerinden kayaç ve cevher petrografisi; 30 yüzey, 25 karot örneklerinden olmak üzere toplam 55 adet ince kesit ve 30 yüzey, 30 karot örneği olmak üzere toplam 60 adet parlatma blokları üzerinden tanımlanmıştır.

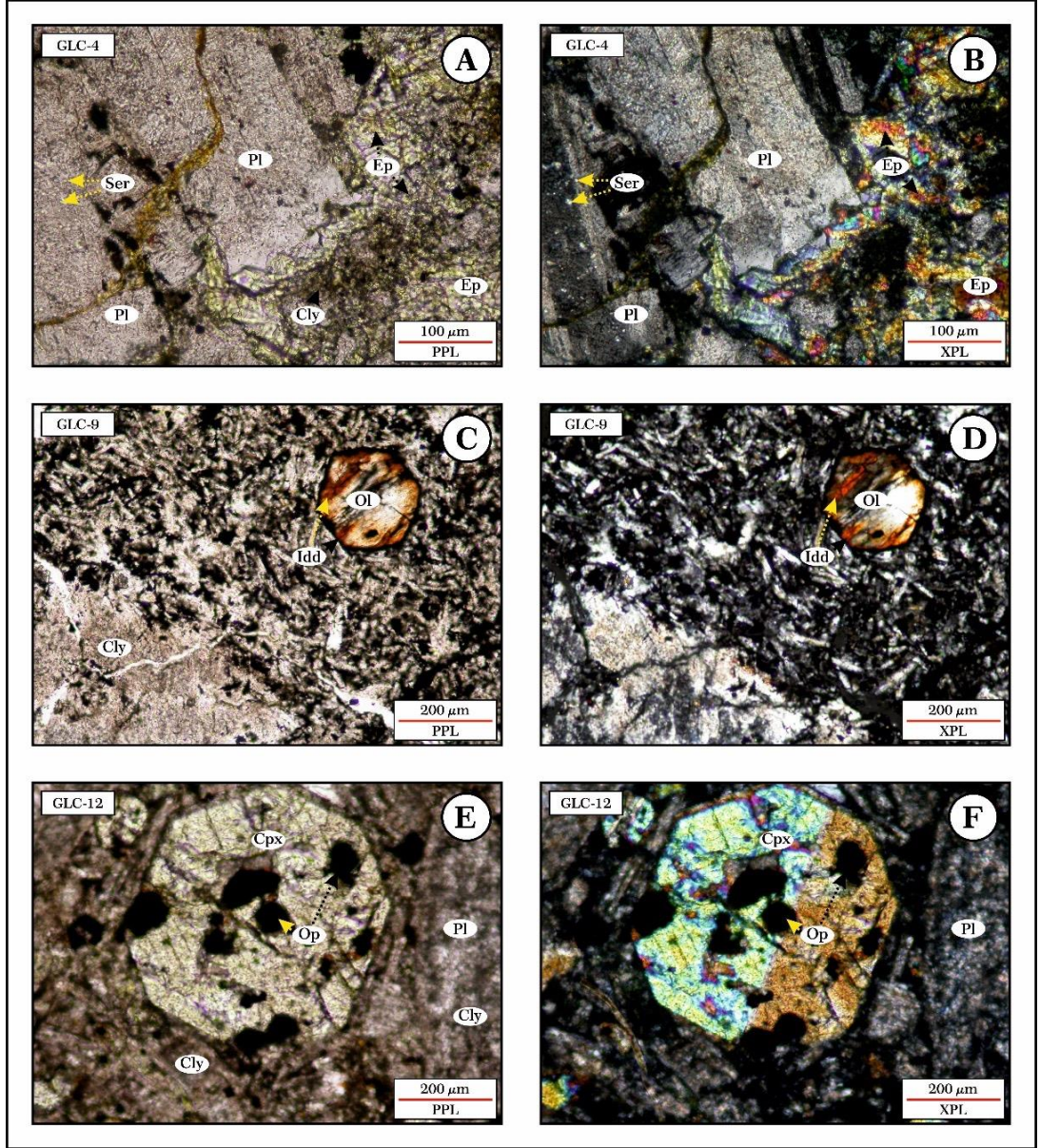
4.1 Kayaç Petrografisi

İnce kesit petrografi çalışması ile kayaç olarak piroklastik bazaltik kayaçlar ve bazaltlar; alterasyon olarak da yoğun killeşme, karbonatlaşma, epidotlaşma ile iddingsitleşme, serizitleşme, serpantinleşme ve opasitleşme tanımlanmıştır.

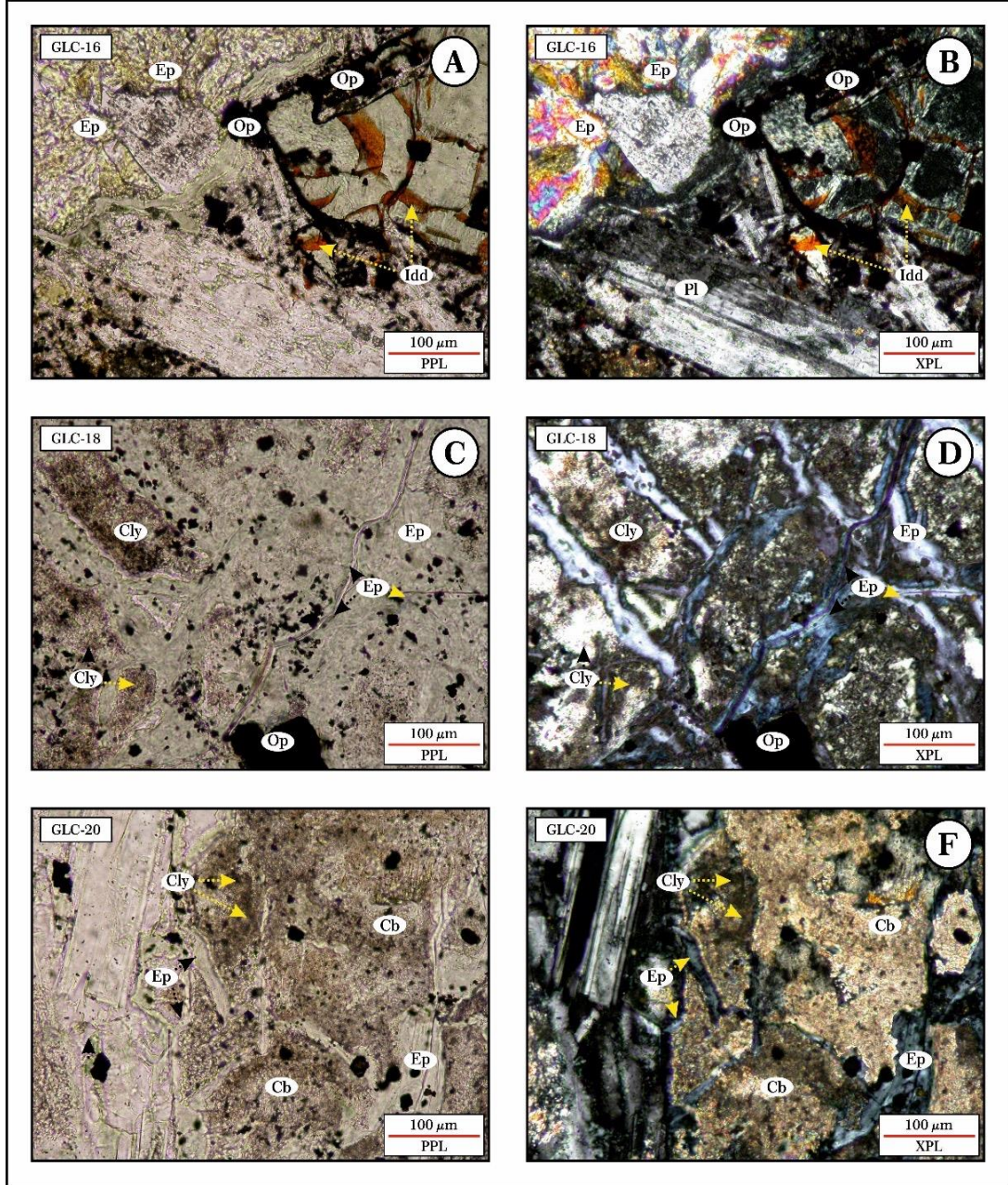
Bazı kayaçlar yoğun altere olduğundan dolayı ilksel kayaç tanımlaması yapılamamıştır. Bazalt: Olivin mineralleri; Daha çok özşekilsiz (anhedral) ve bazı örneklerde özşekilli (euhedral) gözlemlenmiştir. Klinopiroksenler; diğer minerallere göre daha yoğun ve yaygındır. Daha çok yarıözşekilli (subhedral) ve bazı örneklerde özşekillidir (euhedral). Hornblend ve biyotit, klinopiroksenlere göre çok daha az orandadır. Plajiyoklazlar daha çok yarıözşekilli (subhedral), tipik polisentetik ikizlenme ile ve serizitleşmiş, killeşmiş olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

Piroklastik bazaltik kayaçlarda: Gelişi güzel dağılmış mikrolitler, fenokrsitaller ve volkanik malzemelerden oluşmuştur. Olivinler genelde yeşilimsi sarı renkte gözlemlenmiştir (N//). Oksidasyon sonucu yeşilimsi sarı renk almış olabilir? Genelde mikroçatlaklar boyunca serpantinleşmiş ve mineral sınırları boyunca iddingsitleşmiştir (Şekil 4.1-C, D). Mikrolitler daha çok plajiyoklaz minerallerinden oluşmaktadır? Hamur malzemede tuf ve breşik yapılar gözlemlenmiştir.

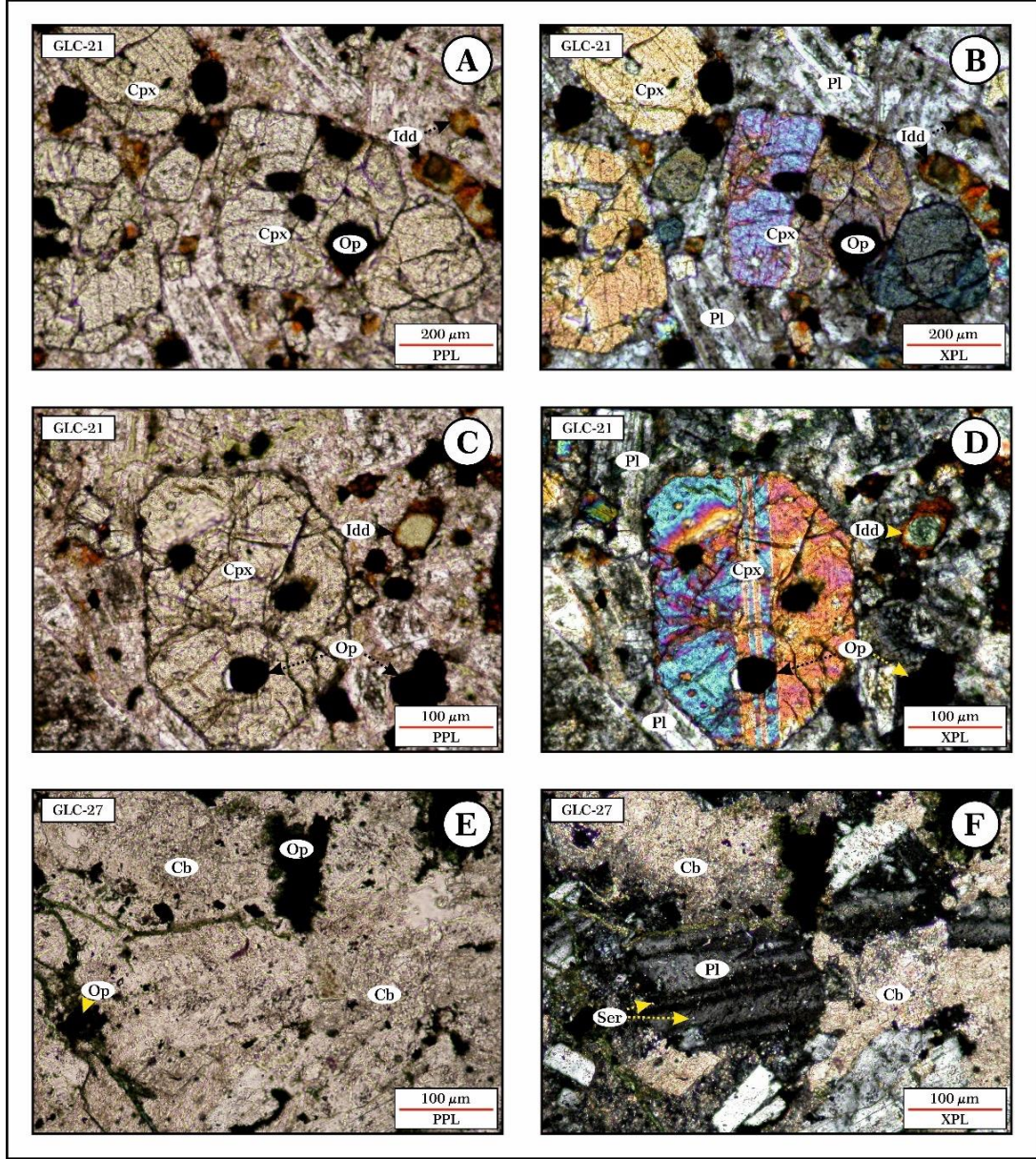
Kayaç petrografisi çalışmalarında Deer ve diğ. (1992), Pichler ve diğ. (1997), Barker (2014), MacKenzie ve diğ. (2017); alterasyon mineraloji-petrografisinde ise Thompson ve Thompson (1996), Delvigne (1998) referanslarından faydalanılmıştır.



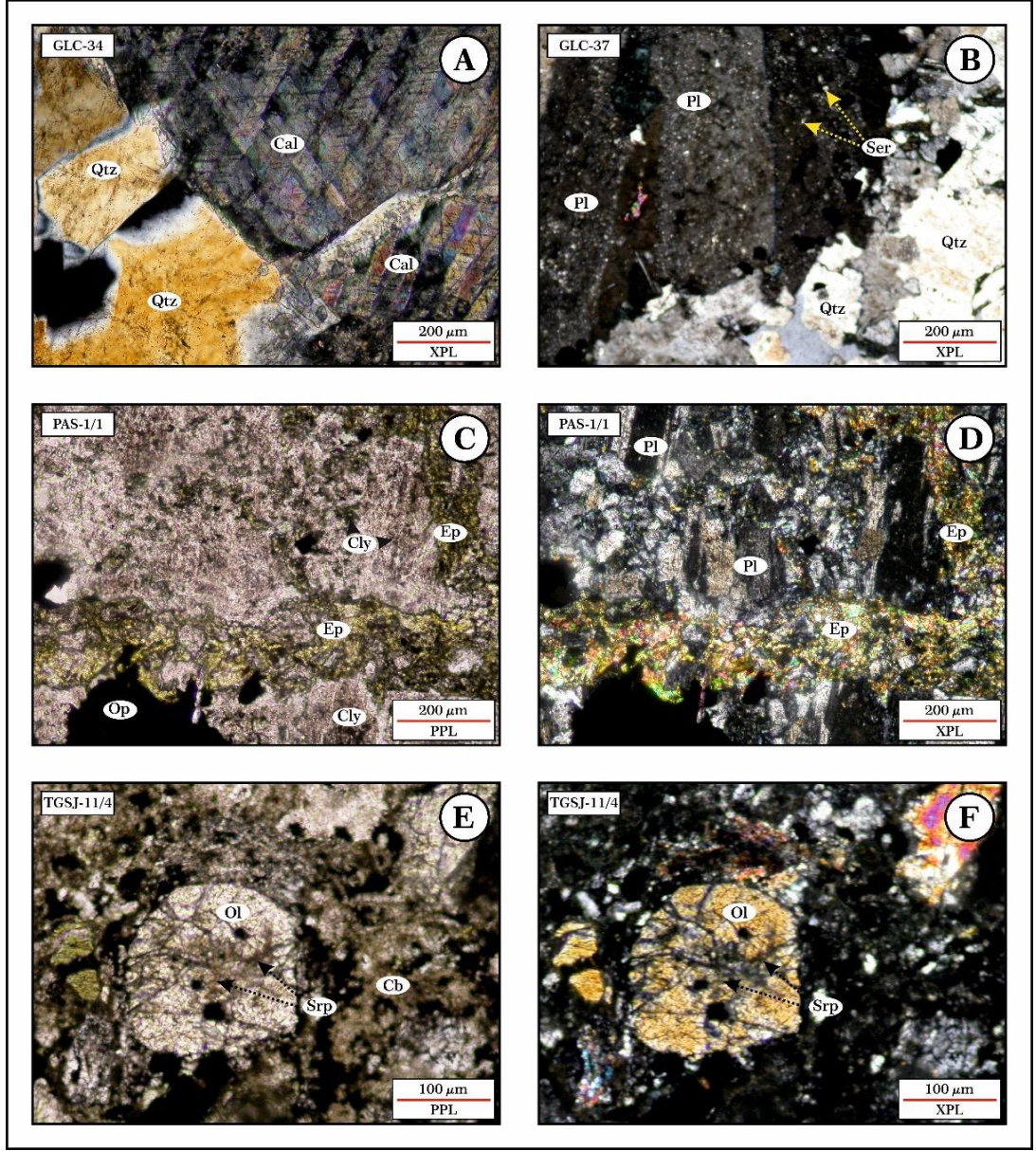
Şekil 4.1 Kayaç petrografi mikrofotografaları (i): **A-B**, piroklastik bazaltik kayaç; epidotlaşma (Ep), plajiyoklaz (Pl) minerallerinde killeşme (Cly) ve serizitleşme (Ser). **C-D**, piroklastik bazaltik kayaç; öz şeklini korumuş olivinin (Ol) kenarlarından itibaren iddingsitleşmesi (Idd), yoğun killeşme (Cly), pilotaksitik doku. **E-F**, piroklastik bazaltik kayaç; klinopiroksen (Cpx) ve opak mineraller (Op).



Şekil 4.2 Kayaç petrografi mikrofotografaları (ii): **A-B**, mineral sınırlarından itibaren opasitleşme (Op), mineral mikroçatlaklarında iddingsitleşme (Idd) ve epidotlaşma. **C-D**, yoğun killeşme (Cly) ve epidotlaşma (Ep). **E-F**, yoğun karbonatlaşma (Cb), killeşme (Cly) ve epidotlaşma (Ep).



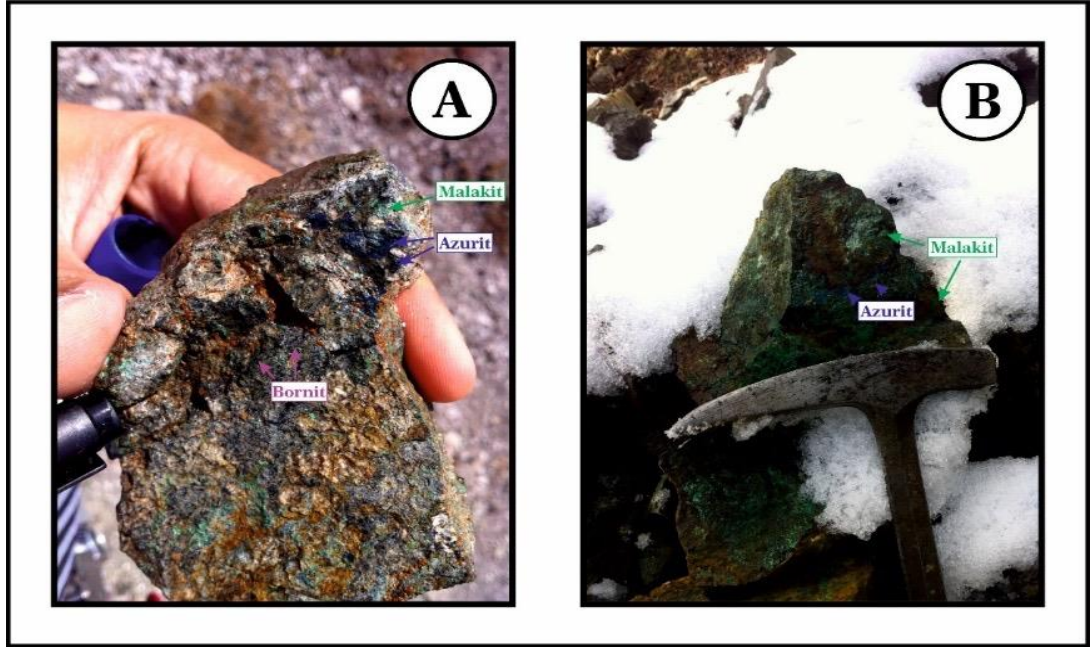
Şekil 4.3 Kayaç petrografi fotoğrafları (iii): **A-B-C-D**, bazalt; klinopiroksen (Cpx) mineralleri ve olivin? parçalarında iddingsitleşme (Idd), yoğun opak mineraller. **E**, yoğun karbonatlaşma (Cb). **F**, plajiyoklaz (Pl) minerallerinde serizitleşme (Ser).



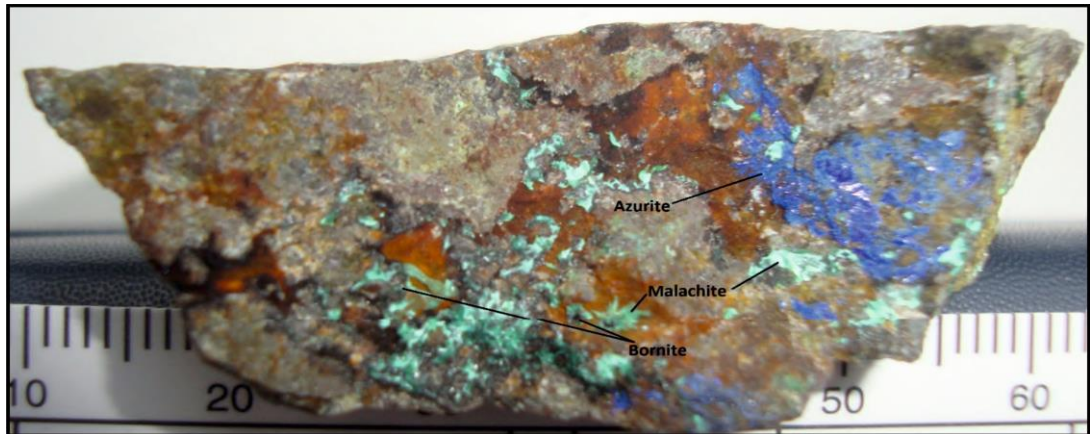
Şekil 4.4 Kayaç petrografi mikrofotografaları (iv): **A**, kalsit damar; ikincil oluşumlardan kalsit (Cal) ve kuvars (Qtz) mineralleri. **B**, Serizitleşmiş (Ser) plajiyoklaz (Pl) ve kuvars mineralleri (Qtz) **C**, yoğun killeşme (Cly). **D**, yoğun epidotlaşma (Ep). **E-F**, piroklastik bazaltik kayaç; olivinin (Ol) mikroçatlakları boyunca serpantinleşme (Srp).

4.2 Cevher Petrografisi

Cevher mineralleri parajenez, süksesyon ve doku bazında incelenmiştir. Bakır cevher mineralleri; bornit, kalkopirit, kovelit, kalkosit, malakit olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.5, 4.6).



Şekil 4.5 Bazaltik kayalarda cevher mineralizasyonu makrofotoğrafları: **A**, Azurit ve kısmen bornit ve malakit mineralizasyonu. **B**, Azurit ve yoğun malakit mineralizasyonu.



Şekil 4.6 Bazaltik breşlerde mineralizasyon.

Bornit; pembe-kahverengi renkte (N//) ve anizotropisi zayıftır (N+). Sıklıkla kahverengi-gri-pembe kahverengi renkli karakteristik olmayan tonlarda zayıf anizotropi gösterirler. Bornit minerali kalkopirit ve kalkosit eksolüsyon lamelleri içermektedir. (Şekil 4.10-B). Örneklerin birçoğunda bornitin, kovelit ve kalkosit tarafından ornatıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.7-A, B, C, E). Ayrıca bornit ve kalkosit mineralleri arasında mirmekitik dokunun geliştiği gözlenmiştir (Şekil 4.7-D, Şekil 4.9-C).

Kovelit; mavi renklidir (N//) ve koyu mavi-mavimsi beyaz renk aralığında pleokroyizma (N//) gösterir. Turuncu ve turuncu-kahverengi renkte oldukça kuvvetli anizotropi gösterir (N+), (Şekil 4.8-D). Kesitlerde, kalkosit mineralleri ile birlikte oldukça yaygın olarak gözlenmektedir.

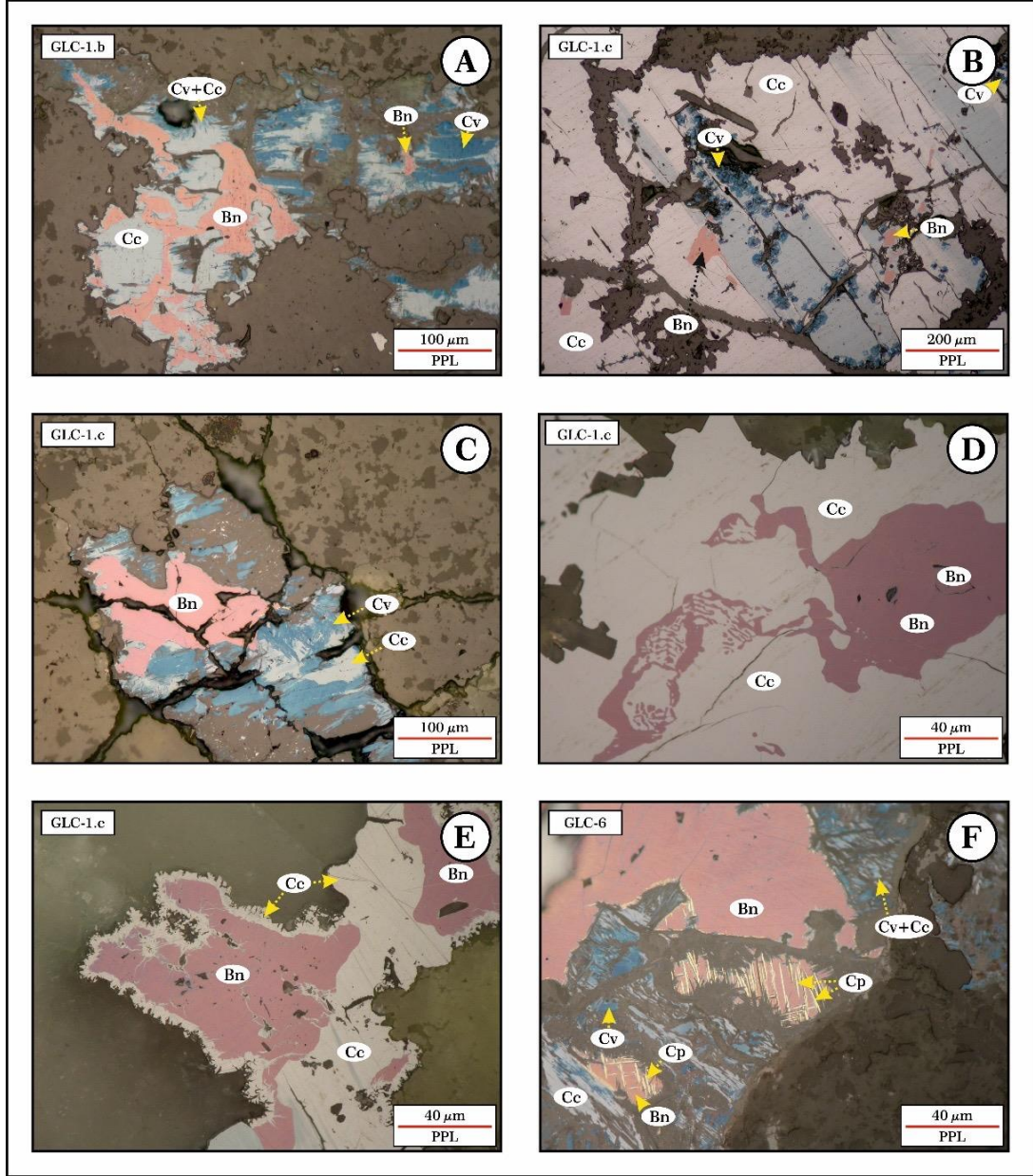
Kalkosit; mavi gölgeli beyaz, gri-beyaz renktedir (N//). Anizotropisi zayıf fakat belirgin turuncu kahverengi veya koyu yeşil tonlarda gözlenir. Bornit ile arasında mirmekitik ilişki (Şekil 4.7-D, 4.9-C) gözlemlenmiştir.

Kalkopirit; parlak sarı renkte, yansımaları yüksek bir mineraldir ancak piritten daha mattır (N//). Anizotropisi zayıf çok zayıftır, sarı-kahverengi, mavimsi gri veya yeşilimsi gri tonlar gösterir (N+). Bornit dilinimleri boyunca ve sınırları boyunca oluşmuştur (Şekil 4.7-F, 4.8-F). Bazı kesitlerde, bornit minerali içinde eksolüsyon (kuma yapıları) şeklinde gözlenmiştir.

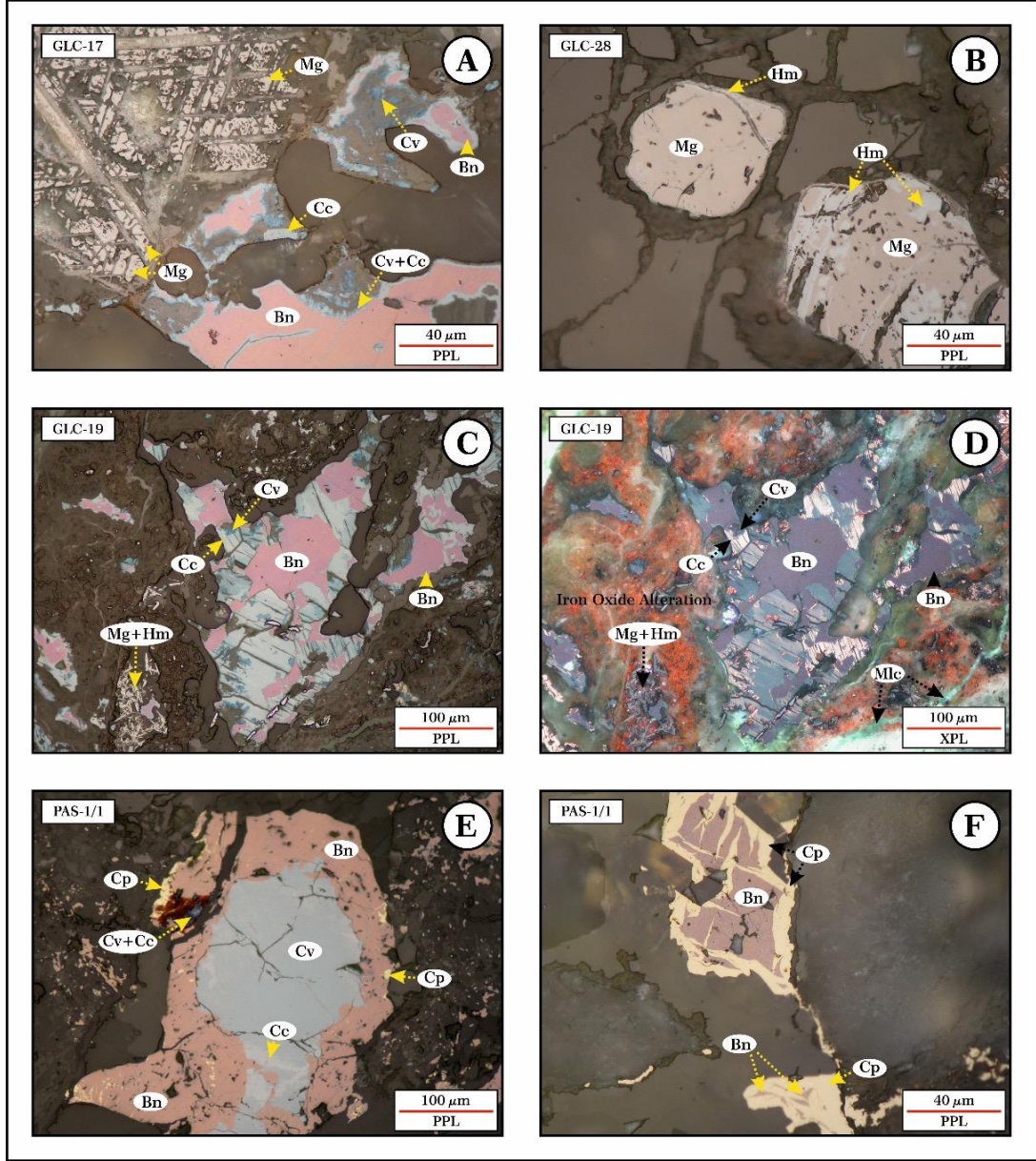
Hematit; beyaz, gri-beyaz renktedir. Pleokroyizması oldukça zayıftır (N//). Yansımaları ortadır. Yeşilimsi griden açık kahverengimsi renk tonlarına değişen belirgin bir anizotropisi vardır (N+). Demir oksit alterasyon zonlarında yaygın gözlemlenmiştir (Şekil 4.8-C, D).

Manyetit; kahverengimsi gri renktedir (N//). Yansımaları düşüktür. İzotropdur. Genellikle manyetit mineralinin oksidasyonu sonucu hematit mineraline dönüşümü martit (martitleşme) şeklinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.8-B).

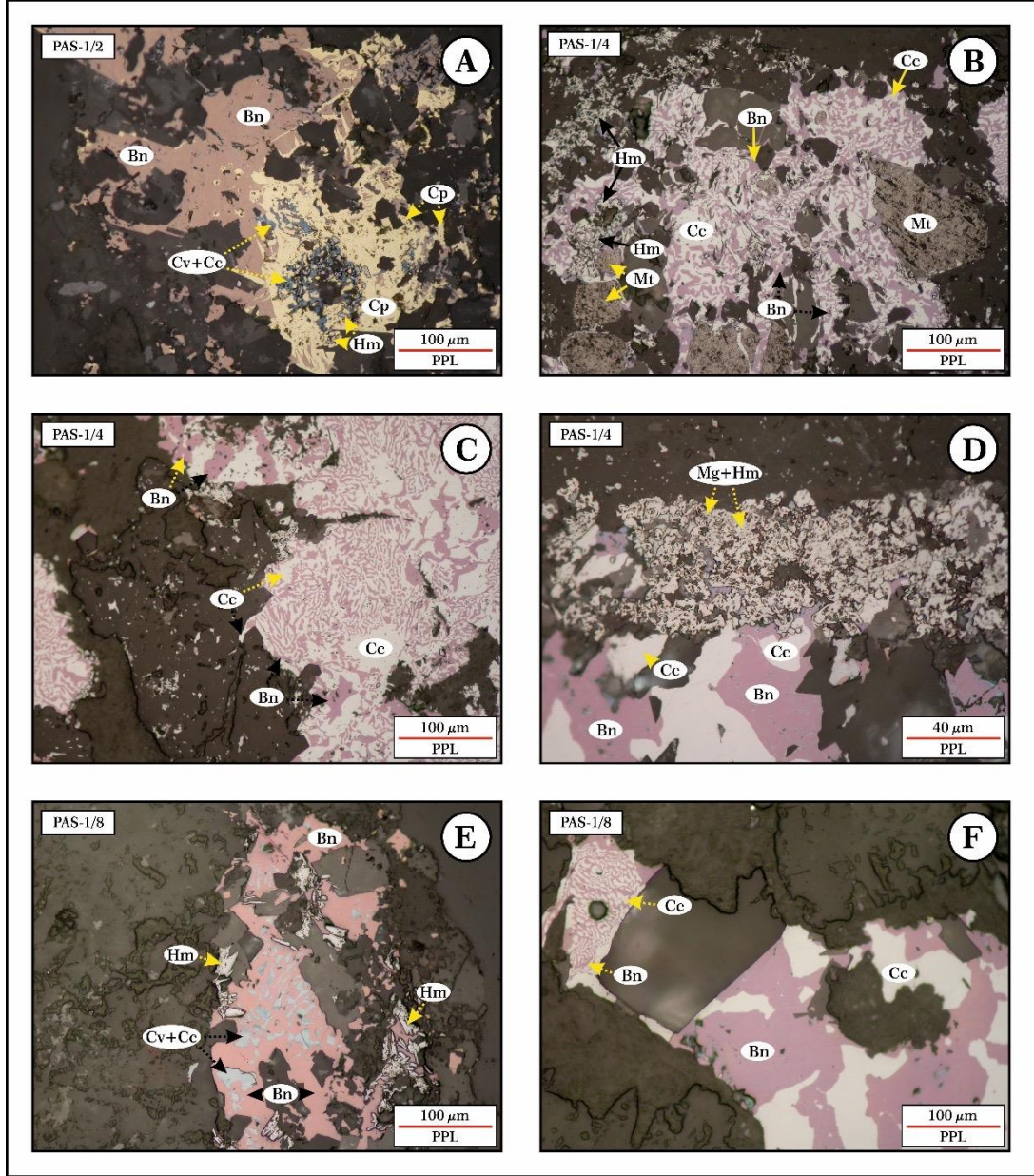
Cevher petrografisi çalışmalarında Ramdohr (1980), Picot ve Johan (1982), Ixer, (1990), Jambor ve Vaughan (1990), Craig ve Vaughan (1994), Augustithis (1995), Thompson ve Thompson (1996), Marshall ve diğ. (2004), Taylor (2009), Pracejus (2015), Paar ve diğ. (2016) referanslarından faydalanılmıştır.



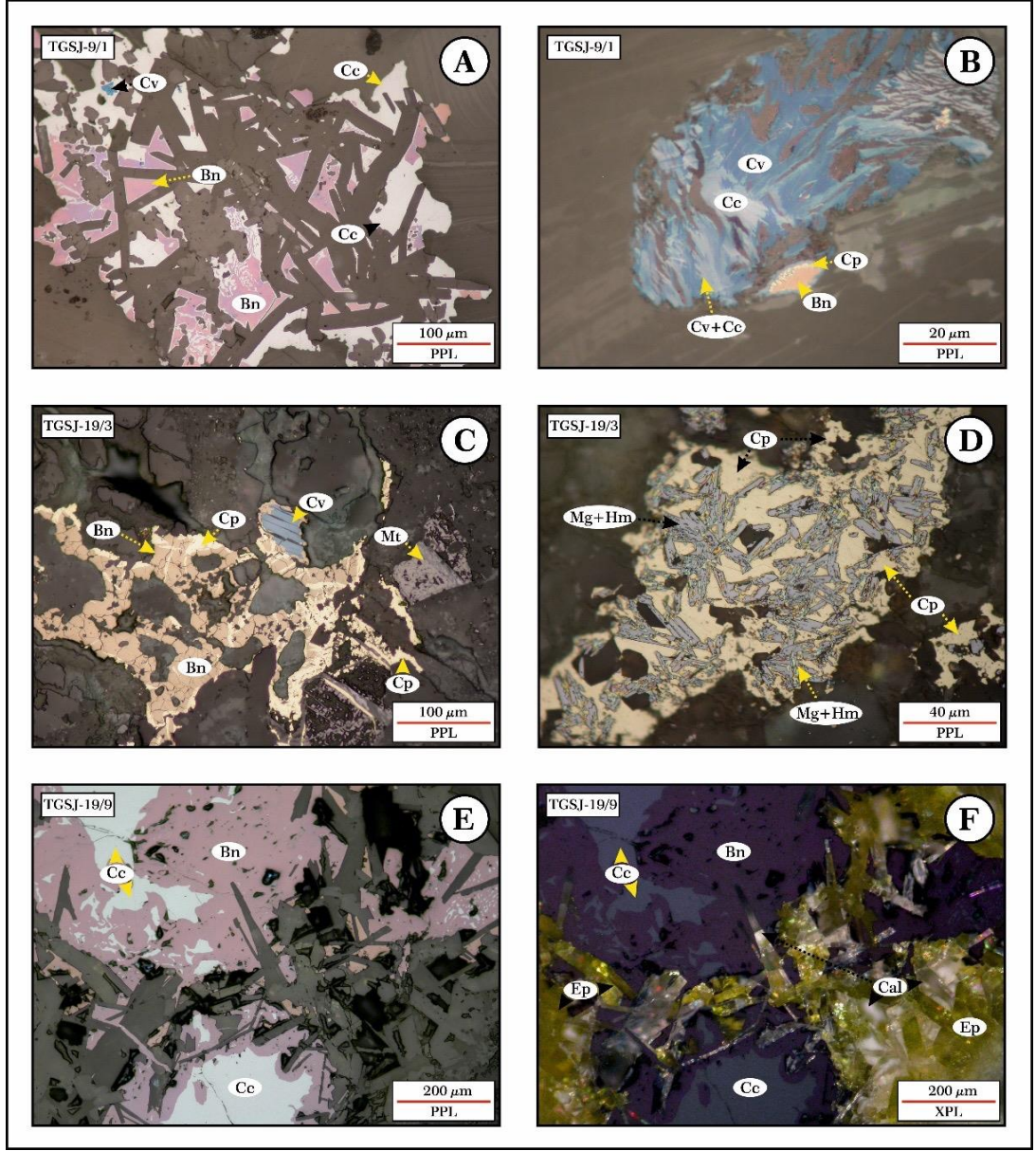
Şekil 4.7 Cevher mineral petrografi mikrofotografaları (i): **A-C** bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc), kovelit (Cv) oluşumu. **B**, kalkositin (Cc) bornitten (Bn) itibaren oluşumu ve kolloform yapıda kovelit (Cv). **D**, bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki. **E**, bornitin (Bn) mineralin sınırları ve dilinimleri boyunca kalkosit (Cc) tarafından ornatılması. **F**, kalkopiritin (Cp) bornit (Bn) dilinimleri ve mineralin sınırları boyunca eksolüsyonu (kuma yapısı).



Şekil 4.8 Cevher mineral petrografi mikrofotografaları (ii): **A**, bornitten (Bn) itibaren kalkosit ve kovelit oluşumu, daha sonra manyetit tarafından ornatılması. **B**, Martitleşme ve/veya martit; hematitin (Hm) oksidasyon sonucu kristalografik olarak tercih edilen düzlemler boyunca manyetit (Mg) minerali içerisinde/itibaren oluşması. **C**, bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc) ve kovelitin (Cv) oluşumu. Daha sonra manyetitten (Mg) martit (manyetit mineralinin hematit mineraline dönüşümü ile) oluşumu. **D**, kırmızı iç yansımalarıyla tipik demir oksit alterasyonu. Malakit (Mlc) mikroçatlak boyunca oluşumu. **E**, bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc) ve kovelit (Cv) oluşumu. Ufak miktarlarda kalkopirit (Cp) mineralleri gözlemleniyor. **F**, bornitin (Bn) sınırları ve mikroçatlakları boyunca kalkopirit (Cp) tarafından ornatılması.



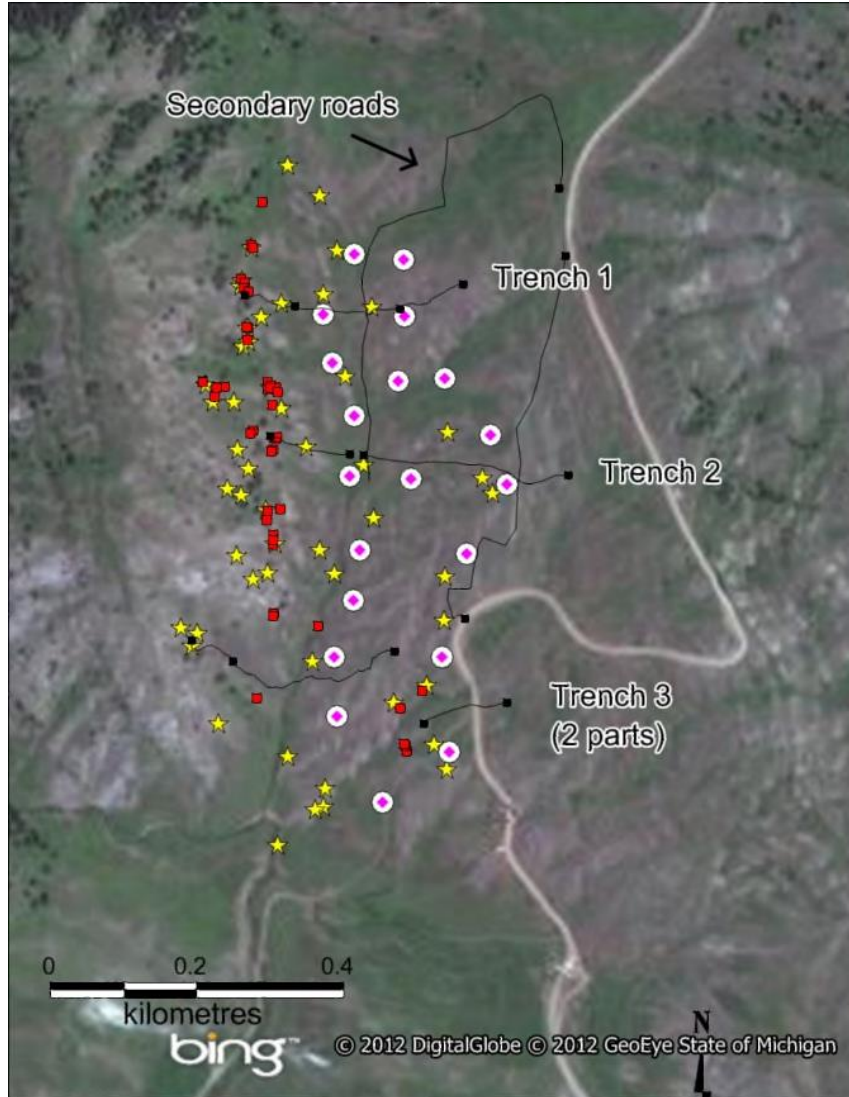
Şekil 4.9 Cevher mineral petrografi mikrofotografaları (iii): **A**, kalkopirit (cp) bornit (Bn) ile iç içe/beraber oluşması ve kalkosit (Cc) ile kovelit (Cv) tarafından ornatılması. Sonrasında demir oksit alterasyonundan manyetit (Mg) ve hematit (Hm) oluşması. **B**, bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki. Manyetit (Mg) ornatması ve itibaren hematit (Hm) oluşumu (Porfiri bakır yataklarında tipik demir oksit ornatması). **C-F**, bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki. **D**, manyetit (Mg) ve hematitin (Hm) borniti (Bn), kalkosit (Cc). **E**, bornitten (Bn) itibaren kalkosit (Cc) ve kovelitin (Cv) oluşumu. Sonrasında demir oksit ornatması.



Şekil 4.10 Cevher mineral petrografi mikrofotografaları (iv): **A**, kırık doku; bornit (Bn) ve kalkosit (Cc) arasında mirmekitik ilişki (Çatlaklardan itibaren kalsit ve epidot ile dolmuştur). **B**, Lamellar eksolüsyon yapısı; bornitten (Bn) itibaren kalkopirit (Cp) oluşumu; kalkopiritin (Cp) bornitten (Bn) kenarları itibari ile oluşumu. **C**, kalkopiritin (Cp) borniti (Bn) mineralin sınırları ve çatlakları boyunca ornatması. **D**, kalkopiritin (Cp) manyetit (Mn) - hematit (Hm) tarafından (martitleşme) ornatılması. **E**, bornit (Bn) içinde kalkosit (Cc) gelişimi. **F**, kalsit (Cal) ve epidotun (Ep) keskin kontaklar boyunca oluşumu.

5. JEOKİMYA

Gölcük bakır cevherleşmesinin tenör/rezervinin anlaşılması için yüzey, yarma ve sondaj (Şekil 5.1) örneklerinden Cu, Ag element jeokimyasal analizler ile cevher çökelim mekanizmasının yorumlanması için bakır cevherlerinden S ve Cu izotop analizleri yapılmıştır.

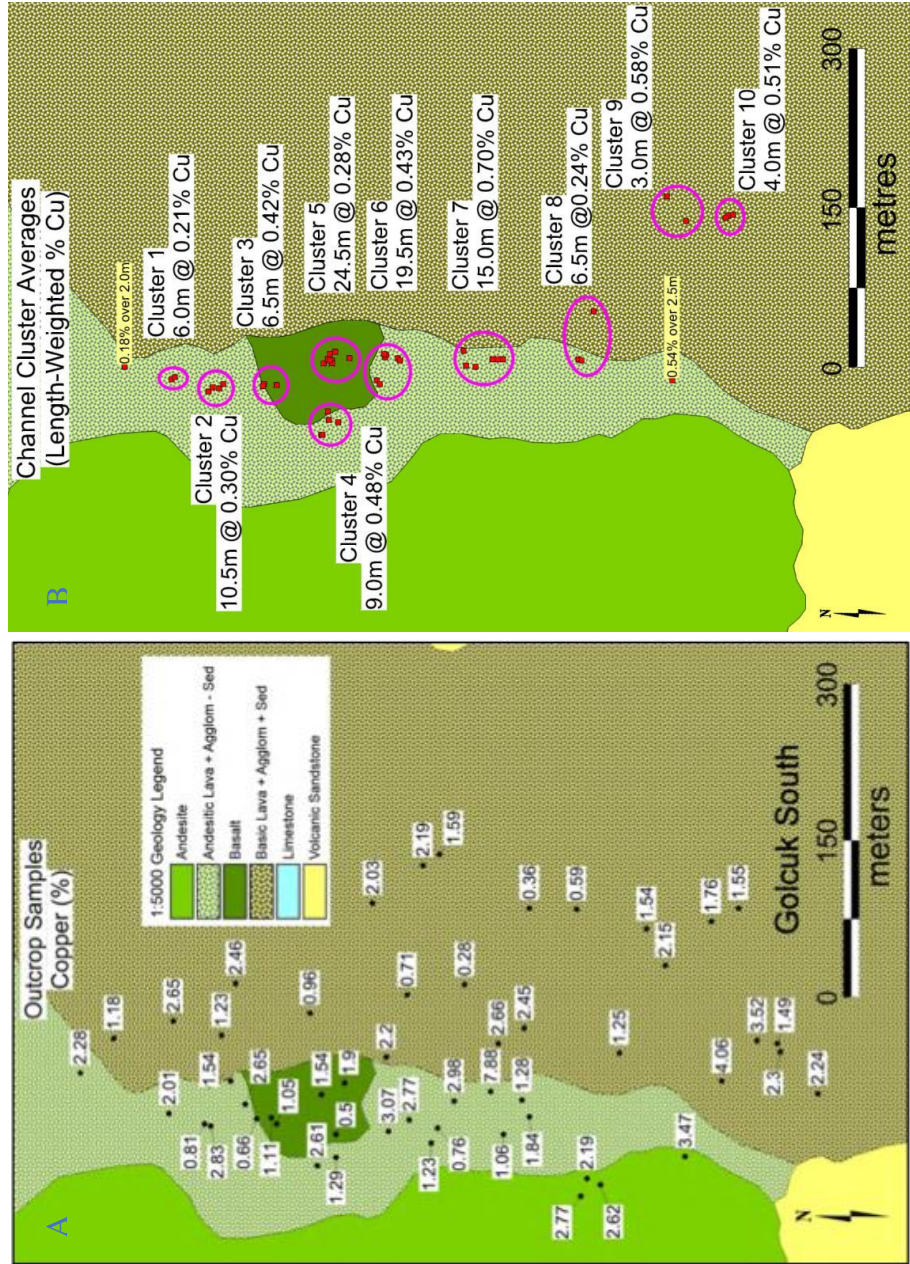


Şekil 5.1 Gölcük South sahasında sondaj lokasyonları (ortası kırmızı beyaz nokta) ve açılan yarmalarının *Google Earth* görünümü planı (sarı nokta=yüzeyden alınan örnek, kırmızı nokta=yarmadan alınan örnek).

5.1 Cu Jeokimyası

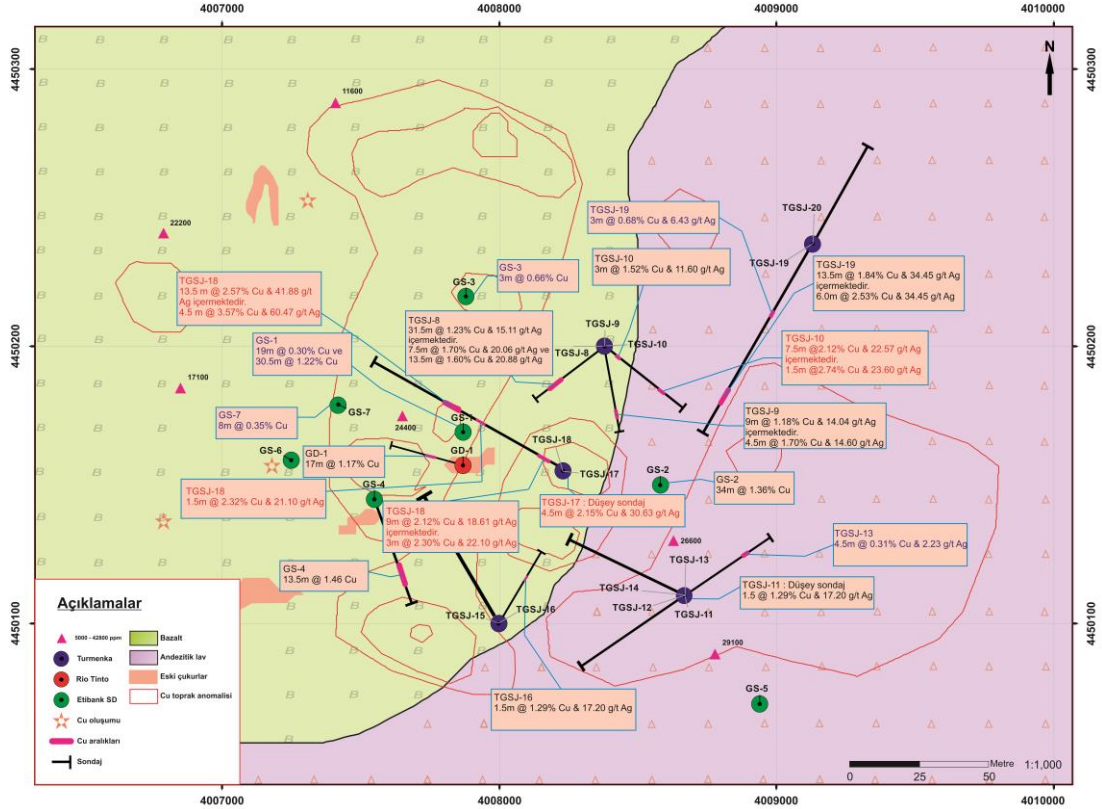
Yüzeyden toplanan-açılan yarmalardan alınan örneklerde %Cu analizleri yapılmıştır (Şekil 5.2, 5.3). Yüzeyden 700x300 m alandan toplanan 52 adet (Şekil 5.2-A) kayaç örneğinde Niton XRF ile yapılan analizlerde yaygın olarak %1'den daha fazla Cu oranı tespit edilmiştir. Çoğu örnekte %2'den daha fazla Cu oranı belirlenmiştir.

Yarmalardan yapılan ortalama %Cu 0,41 olarak rapor edilirken değerler %0,21 ile %0,70 Cu arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 5.2-B).



Şekil 5.2 Gölçük South sahasında A- yüzey örneklerinin %Cu oranaları, B- kanal uzunluk ve ortalama %Cu oranaları, Pasinex, (2013)'den.

Etibank, Rio Tinto ve Turmenka tarafından yapılan 20 adet karotlu sondajlarda cevherleşme yüzeyden ortalama 13,5 m derinlikte %2,6 Cu ve 41,9 g/t Ag belirtilmiştir (Şekil 5.3). Ancak, Pasinex tarafından yapılan sondajlarda ise, cevherleşme ortalama yüzeyden 9,7 m %2,97 Cu değeri ve %37 g/t Ag tenör belirlenmiştir (Pasinex, 2013).

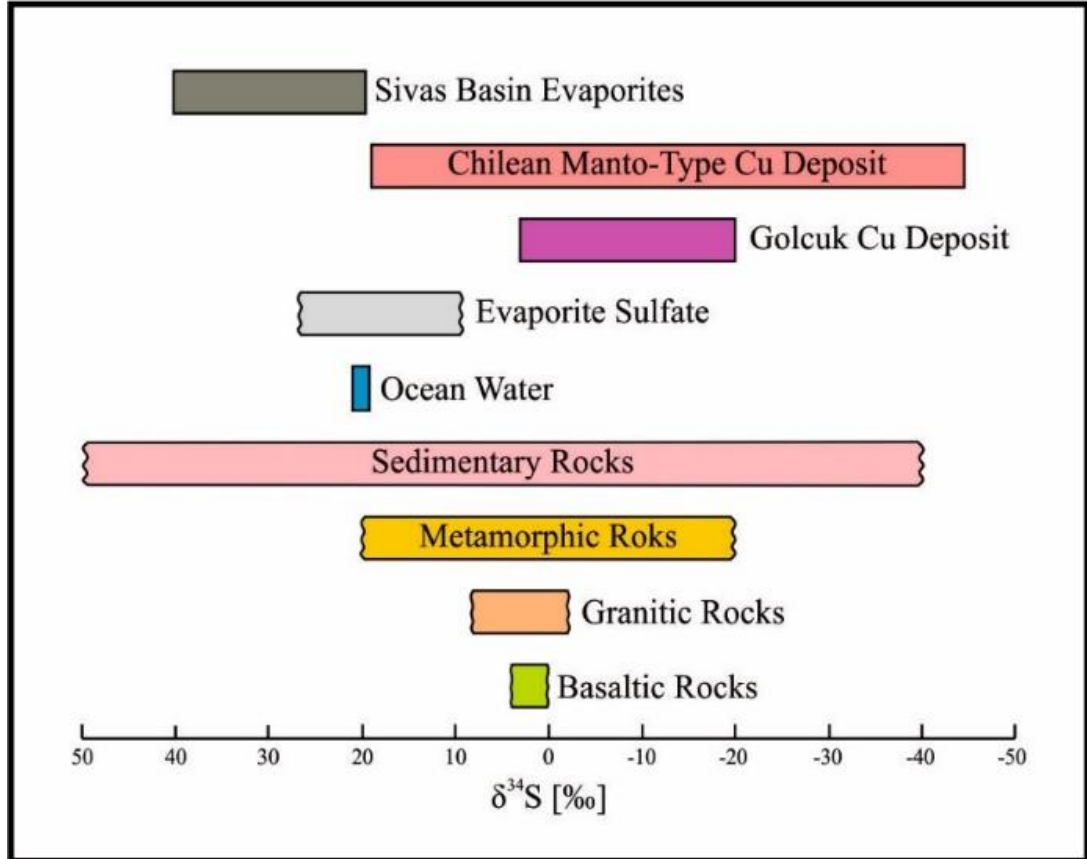


Şekil 5.3 Gölcük Cu cevherleşmesinde Etibank, Rio Tinto, ve Türmenka tarafından yapılan karotlu sondajların ortalama %Cu değerleri (King, 2013'den değiştirilerek).

5.2 S İzotop Jeokimyası

S izotop jeokimyası analizi için 30 adet örnekten (14 yüzey–16 karot) bornit, kalkopirit, kovelin, kalkosin, malakit mineralleri ayıklanmıştır.

Yüzey örnekleri: $\delta^{34}\text{S}$ (bornit-kalkopirit-kovelin-kalkosin-malakit) -20,0'dan +2,8'e; karot örnekleri: $\delta^{34}\text{S}$ (bornit-kalkopirit-kovelin-kalkosin-malakit) -6,3'den +0,6'ya değişim göstermektedir (Çizelge 5.1).



Şekil 5.4 Gölcük Cu cevherleşmesinin $\delta^{34}\text{S}$ VCDT (‰) oranlarının yaygın kayalık grupları (Hoefs, 2018), Şili manto tipi (Kojima ve diğ., 2009), Cu yatakları ve Sivas havzası evaporitleri (Uçurum ve diğ., 2017) ile karşılaştırılması.

Gölcük Cu cevherleşmesinin $\delta^{34}\text{S}$ oranları Şili Manto-tipi Cu yataklarının ki (Kojima ve diğ., 2009) ile benzerlik göstermektedir. Bu da Gölcük Cu cevherleşmesinin Manto-tipi bir bakır cevherleşmesi olabileceği görüşünü desteklemektedir.

Çizelge 5.1 Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{34}\text{S}$ [‰] değerleri

| ÖRNEK | $\delta^{34}\text{S}$ [‰] | MİNERAL | DERİNLİK (m) (yüzeyden) | YÜKSEKLİK (m) (deniz seviyesinden) |
|-----------|---------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------|
| C-5-Bn | -3.9 | Bn-Cv-Cc | yüzey | 1800 |
| GLC-6 | -18.1 | Bn-Cv-Cc | yüzey | 1769 |
| GLC-7 | -19.4 | Bn-Cv-Cc | yüzey | 1743 |
| GLC-8 | +1.4 | Cv-Cc | yüzey | 1749 |
| GLC-17 | -20.0 | Bn-Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1658 |
| GLC-22 | +0.8 | Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1664 |
| GLC-27 | +2.8 | Bn-Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1637 |
| PAS 1-6 | -2.9 | Bn-Cp | 198.60-198.80 | 1800 |
| PAS 1-8 | -1.4 | Bn | 200.40-200.60 | 1800 |
| TGSJ-8/1 | -2.8 | Bn | 87.00-87.50 | 1785 |
| TGSJ-10/1 | +0.6 | Bn | 97.70-98.00 | 1785 |
| TGSJ-10/7 | -0.2 | Bn | 104.60-104.80 | 1755 |
| TGSJ-11/2 | -0.7 | Bn-Cp-Cv-Cc | 80.70-80.90 | 1755 |
| TGSJ-11/5 | -5.5 | Bn-Cp-Cv-Cc | 84.50-84.80 | 1755 |
| TGSJ-15/1 | -1.0 | Cp | 87.40-87.50 | 1778 |
| TGSJ-16/1 | -6.3 | Cp-Mlc | 82.50-82.65 | 1808 |
| TGSJ-16/3 | -5.8 | Bn-Cp | 84.00-84.20 | 1808 |
| TGSJ-19/1 | +0.1 | Bn-Cv-Cc | 122.80 | 1770 |
| TGSJ-19/9 | -6.0 | Bn-Cv-Cc | 153.10-153.20 | 1770 |

GLC-1, GLC-5.Mlc, GLC-10, GLC-19, GLC-23, GLC-32,
GLC-35, PAS-2/1, PAS-2/2, TGSJ-8/7, TGSJ-9/1
örneklerinde S konsantrasyonları analiz için çok düşüktür.
(Bn: bornit, Cp; kalkopirit, Cv: kovelin, Cc: kalkosin, Mlc: malakit)

5.3 Cu İzotop Jeokimyası

Cu izotop jeokimyası analizi için 14 adet örnekten (7 yüzey–7 karot) bornit, kalkopirit, kovelin, kalkosin, malakit mineralleri ayıklanmıştır.

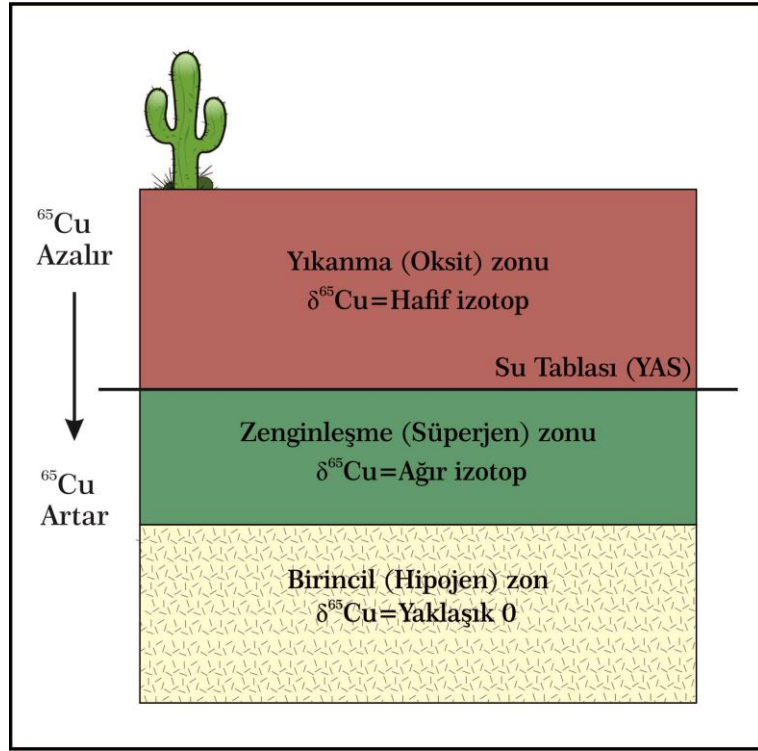
Yüzey örneklerinde: (Bn-Cp-Cv-Cc-Mlc); $\delta^{34}\text{Cu}$ -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde: (Bn-Cp-Cv-Cc-Mlc); $\delta^{34}\text{Cu}$ -1,41'den +2,69'a değişim göstermiştir (Çizelge 5.2).

Yüzey ve yüzeye yakın bakır minerallerinin izotop oranları daha çok tüketilmiş yani hafif izotoplarca zenginleşmiştir (GLC-5,7,8,17). Sondaj karot örneklerinin bakır mineral izotop oranlarının yüzeyden yaklaşık 200 m derinliklerden itibaren (PAS-1/4,10) ağır izotoplarca zenginleşmiştir (Çizelge 5.2). Bu özellik Mathur ve diğ. (2009) tarafından belirtilen Cu izotopunun gelişimi ile Liu ve diğ. (2015) tarafından yaygın jeolojik ortamların Cu izotop verileri (Şekil 5.5) ile de desteklenmektedir.

Çizelge 5.2 Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{65}\text{Cu}$ [‰] değerleri

| ÖRNEK | $\delta^{65}\text{Cu}$ [‰] | MİNERAL | DERİNLİK (m) (yüzeyden) | YÜKSEKLİK (m) (deniz seviyesinden) |
|-----------|----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------|
| GLC-1.c | +1.38 | Bn-Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1777 |
| GLC-5 | -0.86 | Bn-Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1800 |
| GLC-7 | -0.04 | Bn-Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1743 |
| GLC-8 | -0.1 | Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1749 |
| GLC-17 | -0.63 | Bn-Cv-Cc-Mlc | yüzey | 1658 |
| TGSJ-11/2 | +2.69 | Bn-Cv-Cc-Cp | 80.70-80.90 | 1755 |
| TGSJ-11/5 | -0.88 | Bn-Cv-Cc-Cp | 84.50-84.80 | 1755 |
| TGSJ-19/1 | -0.09 | Bn-Cv-Cc | 124.80-125.00 | 1770 |
| TGSJ-19/9 | +1.21 | Bn-Cv-Cc-Cp | 153.10-153.20 | 1770 |
| PAS-1/1 | -1.41 | Bn-Cv-Cc | 176.60-177.10 | 1800 |
| PAS-1/4 | +2.21 | Bn-Cv-Cc | 198.20-198.40 | 1800 |
| PAS-1/10 | +0.13 | Bn-Cv-Cc | 202.20-202.50 | 1800 |

GLC-25, GLC-35 örneklerinde Cu izotop oranı analiz için çok düşüktür.
(Bn: bornit, Cp; kalkopirit, Cv: kovelin, Cc: kalkosin, Mlc: malakit)



Şekil 5.5 Tipik bir porfiri sistemde $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) dağılımı (Mathur ve diğ., 2009b'den değiştirilerek).

6. SIVI KAPANIM İNCELEMELERİ

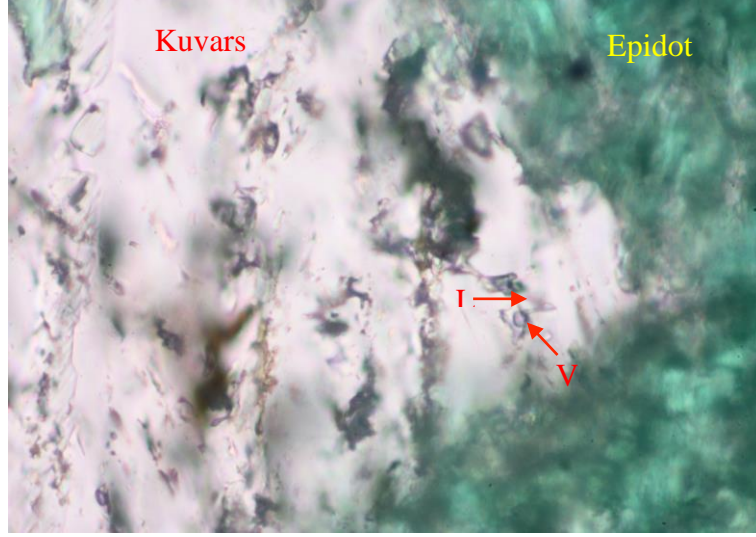
Sıvı kapanım petrografik-termometrik ve raman spektrometre analizleri 6 adet sondaj ve yüzey kayaç örneğinden (Kuvars, kalsit ve epidot GLC-5, GLC-8, GLC-17-1, GLC-17-2, GLC-33, GLC-34) çift tarafı parlatılmış sayısız levhalar (*chips*) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sıvı kapanım örnek hazırlanma aşaması CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Parlak Kesit Hazırlama Laboratuvarında, Sıvı Kapanım Petrografisi ise yine CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskopu Laboratuvarında Nikon Eclipse Pol 600 Mikroskobu kullanılarak tamamlanmıştır. Termometrik ve raman spektrometre analizleri Leoben Üniversitesi (Leoben-Avusturya) *Resource Mineralogy* bölümünde laboratuvarlar kullanılarak Nisan 2015 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1). Sıvı kapanım çalışmaları ve yorumlamaları sırasında Hollister ve Crawford (1981), Roedder (1984), Shepherd ve diğ. (1985), De Vivo ve Frezzotti (1994), Goldstein ve Reynolds (1994), Roedder ve Bodnar (1997), Burke (2001), Van der Kerkhof ve Hein (2001), Wilkonson (2001), Samson ve diğ. (2003), Beran ve Libowitzky (2004), Dubessy ve diğ. (2012), Frezzotti ve diğ. (2012), Bakker (2015), Bodnar ve diğ. (2014), Hurai ve diğ. (2015) referanslarından yararlanılmıştır.

6.1. Sıvı Kapanım Petrografisi

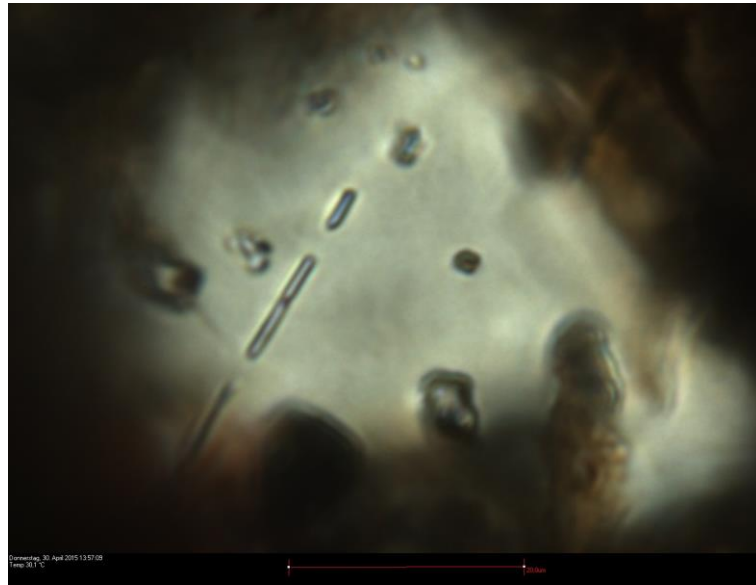


Şekil 6.1 Leoben Üniversitesi, *Resource Mineralogy* Bölümünün, sıvı kapanım ve raman spektrometre laboratuvarlarının genel görünümü.

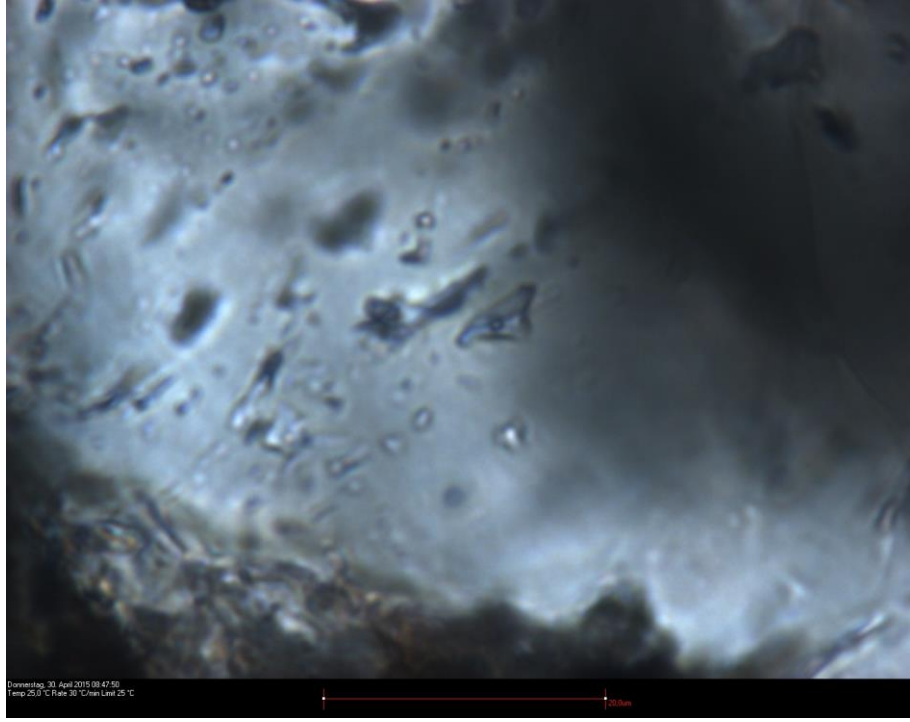
Gang (kuvars, kalsit, epidot) minerallerinde yapılan petrografik incelemelerde birincil sıvı kapanımlarda sadece NaCl+H₂O sistemini temsil eden farklı L/V oranlarına sahip sıvı ve gaz fazları ile genellikle tek fazdan oluşan ikincil sıvı kapanımlar tanımlanmıştır. Bu ya L (sıvı) veya V (gaz) fazı olarak tanımlanmıştır (Şekil 6.2, 6.3).



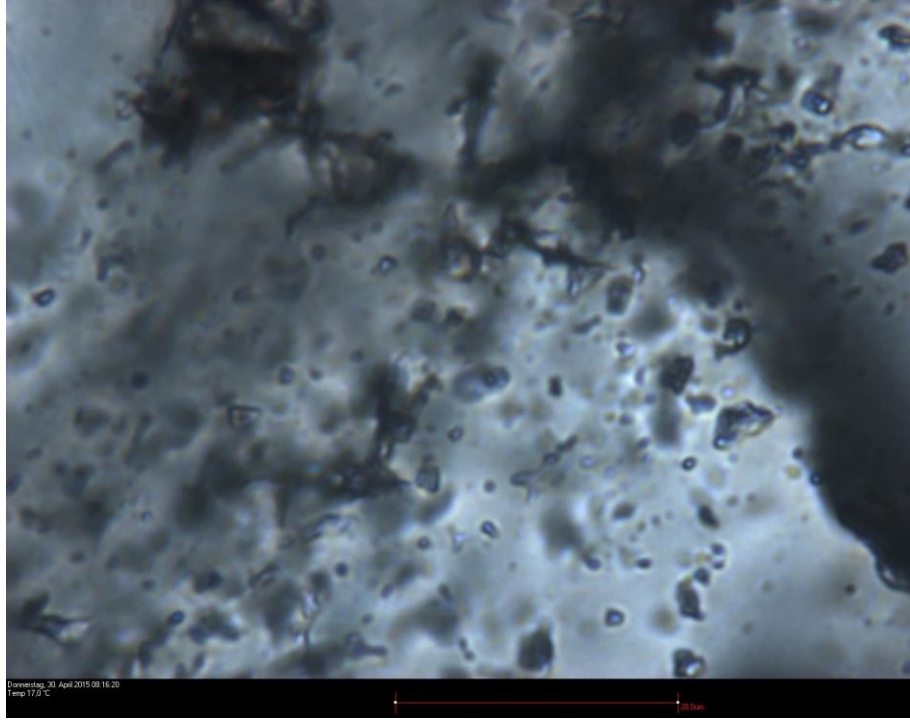
Şekil 6.2 Kuvars içinde gözlenen L (sıvı)+V (gaz) dan oluşan birincil sıvı kapanım mikrofotografı; L/V oranı %60, GLC-17-2. Fotoğraf uzun ekseni: 100 µm.



Şekil 6.3 Epidot içinde iki farklı faz sıvı kapanım mikrofotografı; L (sıvı hakim), L (sıvı)+V (gaz), GLC-8-2, @ 142 °C.



Şekil 6.4 Kuvars içinde L (sıvı) hakim ve V (gaz) hakim sıvı kapanım mikrofotografı; GLC-17-1, @ -71 °C.



Şekil 6.5 Kuvars içinde L (sıvı)+V (gaz) sıvı kapanım mikrofotografı; GLC-17-1, @ -60 °C.

6.2. Sıvı Kapanım Termometrik Analizi

Termometrik analizlerden önce sıvı kapanım düzeneği NaCl+H₂O ve CO₂ standartları kullanılarak kalibre edilmiş ve daha sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Altı adet örnekten hazırlanan çift tarafı parlatılmış sayısız levhalarda (*chips*) toplamda 50 civarında ölçüm yapılmış ve birincil kapanımlarda homojenleşme sıcaklıklarının (Th_{L-V}) 110-145 °C arasında değiştiği ve ergime sıcaklığı (Tm_{buz}) ise -6 ile -17 °C arasında değiştiği, bununda %'de ağırlık olarak NaCl eşdeğeri tuzluluğun %9,21 ile %20,22 arasında değiştiği, Bakker (2003) ve Bakker ve Brown (2003)'nın bilgisayar programları yardımı ile gözlenmiştir. Bu bulunan sonuçların Bodnar (1993)'in dönüşüm tablosu kullanılarak el ile de kontrol edilmiştir. Bulunan sonuçların tamamı Kojima ve diğ. (2009)'nin Şili'de bulunan bazı Manto-tipi Cu (Ag) cevherleşmeleri ile benzerlik göstermektedir.

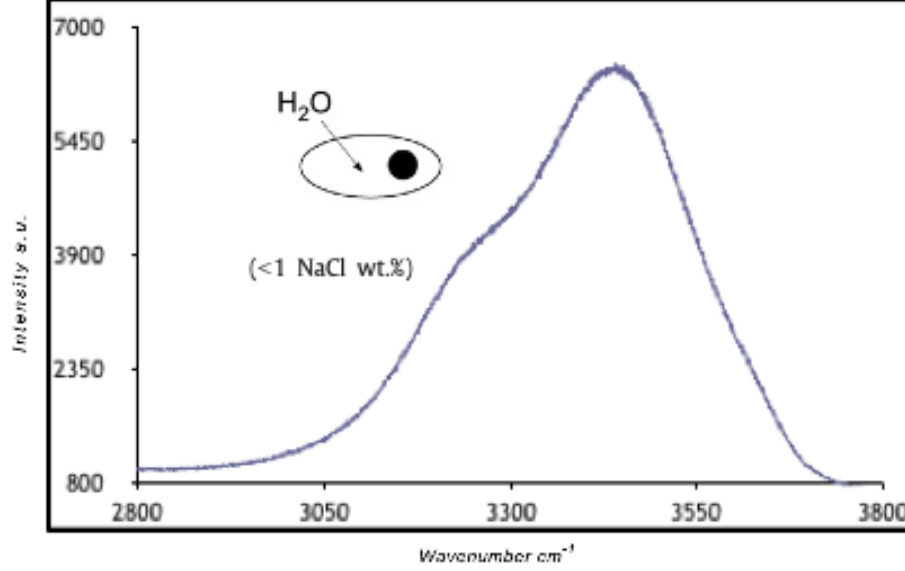
Sıvı kapanım petrografisinde CO₂ tespit edilmemesi, aynı anda gözlenen V (gaz) ve L (sıvı) hâkim kapanımlar ve %'de ağırlık olarak farklı (9-20) NaCl eşdeğeri tuzluluğun tespiti, kaynamayı işaret etmektedir. Bu da hipojen cevherleşmenin düşük basınçta oluştuğunu gösterebilir.

6.3. Raman Spektrometre Analizi

Raman spektroskopisi incelemeleri 50x objektifli Olympus BXFM mikroskop ataçmanlı Jobin Yvon Confocal Andor iDUS CCD detektörlü Horiba LabRam HR800 UV-VIS-NIR, 532-nm Nd: YAG lazerli 20 mW lazer enerjili raman spektroskopisi ile yapılmıştır. Bu çalışmalarda; Turrell ve Corset (1996), Burke (2001), Bakker (2004), Beran ve Libowitzky (2004), Dubessy ve diğ. (2012), Frezzotti ve diğ. (2012), Henderson ve diğ. (2014), Hurai ve diğ. (2015), referans çalışmaları kullanılarak yorumlanmaya çalışılmıştır. Elde edilen paternlere göre cevherleşmede etkin olan çözelti NaCl+H₂O olup hiçbir katı faz içermediği tespit edilmiştir. Şekil 6.6'da su paternindeki küçük kambur bu suyun içerisinde çok az oranda (%1'den az) çözülme halde NaCl bulunduğunu işaret edebilir (Frezzotti ve diğ., 2012). Kuvars, kalsit, hematit, ojit, epidot raman spektrometresi ile tanımlanan minerallerdir.

Bu gözlemlerin ışığında Gölcük Cu (Ag) cevherleşmesinin oluşumunda etkin olan çözelti NaCl+H₂O sisteminde, L (sıvı) fazı olarak H₂O_{liquid} ve V (gaz) fazı olarak da H₂O_{gas} tespit edilmiştir. NaCl de sıvı fazın içerisinde çözülmüş olarak

bulunmaktadır. NaCl eşdeğeri tuzluluğun %9-20 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu da Kojima ve diğ. (2009) tarafından belirlenen şili'de bazı Manto-tipi Cu (Ag) yataklarınıniki ile benzerlik göstermektedir.



şekil 6.6 Kuvars içinde birincil sıvı kapanım L fazı (sıvı suyun raman paterni), GLC-17-2

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışması ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Cu (Ag) cevherleşmesi ağsı (stokvork) Manto-tipi (Strata-bound) Cu (Ag) cevherleşmesi,
- $\delta^{34}\text{S}$ (‰) yüzey örneklerinde -20,0'dan +2,8'e, karot örneklerinde -6,3'den +0,6'ya değiştiği,
- $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde ise -1,41'den +2,69'a değişim gösterdiği,
- NaCl+H₂O tipi sıvı kapanımın homojenleşme sıcaklığının (T_{L-V}) 110 ile 450 °C arasında değiştiği; ergime sıcaklığının ($T_{m,buz}$) -6 ile -17 °C arasında değişim gösterdiği; çözeltinin tuzluluğunun ise %'de ağırlık olarak NaCl eşdeğeri %9,21 ile %20,22 arasında belirlenmiştir.
- Sondaj karot örneklerinin analiz sonuçlarına göre, yüzeyden ortalama 9,7 m derinlikte %2,97 Cu ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Arslan, M., Arslan, Z.** (2006). Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, V. 27, I. 2, pp. 177-193.
- Augustithis, P.S.S.** (1995). Atlas of the Textural Patterns of Ore Minerals and Metallogenic Processes, *Walter de Gruyter & Co.*, Berlin, 659 pp.
- Bakker, R. J., ve Brown, P. E.** (2003). Computer modeling in fluid inclusion research. In *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation* (eds. I. Samson, A. Anderson ve D. Marshall). *Min. Assoc. Can. Short Course*, vol. 32. Pp. 175-212.
- Bakker, R.J.** (2003). Reactions in fluid inclusions in plagioclase: thermodynamic modelling, sonstrains on PT paths and a natural example: *Jornal of Geochemical Exploration* 78-79 (2003)23-2.
- Bakker, R.J.** (2004). Raman spectra of fluid and crystal mixtures in the system H₂O, H₂O–NaCl and H₂O–MgCl₂ at low temperatures: applications to fluid inclusion research. *The Canadian Mineralogist* 42, 1283–1314.
- Bakker, R.J.**, 2015, Fluid Inclusions Critical Review Applications Computer Modelling, Dept. Of Applied Geosciences and Geophysics Resource Mineral Montana University, 224 p.
- Barker, A.J.**, 2014, A Key for Identification of Rock-forming Minerals in Thin-Section: CRC Press, Boca Baton, 70 pp.
- Bektaş, O., Van. A., Boynukaun, S.** (1987). Doğu Pontidler’de (Kuzeydoğu Türkiye) Jura Volkanizması ve jeotektoniği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 30, 9-18.
- Beran, A., ve Libowitzky, E.** (2004). Spectroscopic Methods in Minerology, *Eötvös University Press*, Budapest, 661 pp.
- Bodnar R.J.** (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 683-684.
- Bodnar R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D. and Steele-MacInnis M.**, 2014, Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. In: Holland H.D. and Turekian K.K. (eds.) *Treatise on Geochemistry*, Second Edition, vol. 13, pp. 119- 142. Oxford: Elsevier.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F. and Zentilli, M.** (2002) The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In Porter, T. M. (ed.) *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. Vol. 2. PGC Publications, Adelaide, 1–22.
- Bozkurt, E. & Mittwede, S.K.** 2001. Introduction to the geology of Turkey – a synthesis. *International Geology Review* 43, 578–59.

- Boztuğ, D.** (2008). Petrogenesis of the Köseadağ Pluton, Suşehri-NE Sivas, East-Central Pontides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, V. 17, pp. 241-262.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R.C., Wagner, G.A., Yeğingil, Z.** (2004). Slow Senonian and fast Palaeocene-Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. *Tectonophysics*, 382, 213-228.
- Burke, E.A.J.**, 2001. Raman microspectrometry of fluid inclusions. *Lithos* 55, 139–158.
- Cabral, A. R. and Beaudoin, G.** (2007) Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineral. Deposita*, 42, 901–912.
- Cox, D.P. and Singer, D.A.**, 1986, Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379p.
- Craig, J.R., Vaughan, D.J.** (1994). *Ore Microscopy & Ore Petrography*, John Wiley & Sons. Inc., Canada, 434 pp.
- De Vivo B., Frezzotti M.L.**, 1994, Fluid inclusions in minerals: methods and applications: Short Course IMA, 377 p.
- Deer^{F.R.S.}, W.A., Howie, R.A., Zussman, J.**, 1992, An Introduction to The Rock Forming Minerals 2nd Edition: Logman Scientific & Technical, 696 pp.
- Delvigne, J.E.**, 1998, Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering: The Canadian Mineralogist, SP# 3, Mineralogical Association of Canada, 495 pp.
- Dubessy, J., Caumon, M.C., ve Rull, F.** (2012). Applications of Raman Spectroscopy to Earth Sciences and Cultural Heritage, *European Mineralogical Union*, London, 504 pp.
- Ercan, T., Gedik, A.** (1983). Pontid’lerdeki volkanizma. *Jeoloji Mühendisliği*, 18, 3-22.
- Frezzotti, M.L., Tecce, F., ve Casagli, A.**, 2012, Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis, *Journal of Geochemical Exploration* 112, 1-20p.
- Genç, S., Güven, İ.H.** (1994). Doğu Pontidler’de volkanizma ve jeotektonik gelişim, Yomra (Trabzon)-Keşap (Giresun)-Kelkit (Gümüşhane) yöresi, *KD Türkiye. Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 37, 1-12.
- Giesemann, A., Jager, H.A., Norman, A.L., Jrouse, H.L., Brand W.A.** (1994). On-line sulphur isotope determination using an elemental analyzer coupled to a mass spectrometer: *Anal. Chem*, 66, p. 2816-2819.
- Goldstein R.H., Reynolds T.,J.**, 1994, Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals: SEPM Short Course, v. 31, 200 p.
- Gökçe, A.** (1990a), Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarında sıvı kapanım ve jeotermometre incelemeleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 33, 31-37.
- Gökçe, A.** (1990b), Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarında kükürt izotopları incelemesi. *MTA Dergisi*, 111, 111-118.

- Gökçe, A., Spiro, B., Miller, M.F.** (1993), Kurşunlu (Koyulhisar-Sivas) damar tipi Pb-Zn-Cu yataklarında mineral oluşturuvcu hidrotermal çözeltilerin kararlı izotoplar (O, H ve C) jeokimyası ve kökeni. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 36, 73-79.
- Henderson, G.S., Neuville, D.R., Downs, R.T.** (2014). Spectroscopic Methods in Minerology and Materials Sciences, *The Mineralogical Society of America*, USA, 800 pp.
- Hoefs, J.**, 2018, Stable Isotope Geochemistry, 8th Edition: Springer, 437 p.
- Hollister, L.S., Crawford, M.L.**, (Eds), 1981, Fluid Inclusions: Applications to Petrology: Mineralogical Association of Canada, Short Course, vol.6, 301 p.
- Hurai, V., Huraiova, M., Slobodnik, M., Thomas, R.**, 2015, Geofluids: Development in Microthermometry Spectroscopy, Thermodynamics, and Stable Isotope: Elsevier, 489 p.
- Ixer, R.A.** (1990). Atlas of Opaque and Ore Minerals in Their Associations, *Van Nostrand Reinhold.*, New York, 208 pp.
- Jambor, J.L., ve Vaughan, D.J.** (1990). Mineralogical Association of Canada: Advanced Microscopic Studies of Ore Minerals, *Short Course Handbook*, Ottawa, Vol.17, 426 pp.
- Kandemir, Ö., Kanar, F., Pehlivan, Ş., Tok, T., Çobankaya, M., Akbayram, K.** (2014). Doğu Pontid Magmatik Yayının gelişimi: Yay-ardında Doğu Karadeniz Havzası'nın açılması ve Doğu Pontid Yayının Anatolid-Torid Levhası ile çarpışması. *67. Türkiye Jeoloji Kurultayı*.
- Kantor, J. A.**, 2011, Canadian National Instrument 43-101 Technical Report on the Centennial and Kingston Native Copper, 543S, and other copper sulphide properties.
- Karakaya, N., Karakaya, M.Ç.** (2001). Şaplıca (Şebinkarahisar, Giresun) volkanitlerinin hidrotermal alterasyon türlerinin minerolojik ve jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 44, S. 2.
- King B.H.** (2013), N143-101 Technical report on the Golcuk licence, Sivas province, Turkey. *Pasinex Research Limited*, p.101, Toronto.
- Kirkham, R. V.** (1996) Volcanic redbed copper. *In* Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D. and Thorpe, R. I. (eds.) Geology of Canadian mineral deposit types. Geol. Surv. Canada (Geology of Canada), 8, 241–252.
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D., Hayashi, K-İ.**, 2009, Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposit: *Journal of Complilation*, v.59, n.1, p.87-98.
- Lefebure, D. V. and Ray, G. E.**, 1998, Unconventional Metallic Deposits in Volcanic Arcs, British Columbia Geological Survey.
- Liu, S-A., Huang, J., Liu, J., Wörner, G., Yang, W., Tang, Y.C., Tang, L., Zheng, J., Li, S.**, 2015, Copper isotopic composition of the silicate Earth: Earth and Planetary Science Letters, v. 427, p.95- 103.
- MacKenzie, W.S., Adams, A.E., Broide, K.H.**, 2017, Rocks and Minerals in Thin Section, 2nd Edition: CRC Press, Boca Baton, 232 pp.

- Marshall, D., Anglin ('Lyn) C.D., Mumin, H.,** 2004, Ore Mineral Atlas: GAC, 112 pp.
- Mathur, R., Titley, S., Barra, F., Brantley, S., Wilson, M., Phillips, A., Munizaga, F., Maksaev, V., Vervoort, J., Hart, G.** (2009a). Exploration Potential of Cu Isotope Fractionation in Porphyry Copper Deposits: *Journal of Geochemical Exploration*, 102, p. 1-6.
- Mathur, R., Titley, S., Barra, F., Brantley, S., Wilson, M., Phillips, A., Munizaga, F., Maksaev, V., Vervoort, J., Hart, G.** (2009b). Copper Isotope Fractionation Used to Identify Supergene Processes: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 14, p. 45-49.
- Paar, W.H., de Brodtkorb, M.K., Putz, H., and Martin, R.F.,** 2016, Atlas of Ore Minerals: Focus on Epithermal Deposits of Argentina: The Canadian Mineralogist, SP# 11, Mineralogical Association of Canada, 402 pp.
- Pichler, H., Schmitt-Riegrad, C., Hoke, L.,** 1997, Rock-Forming Minerals in Thin Section: Chapman & Hall, London, 220 pp.
- Picot, P., ve Johan, Z.** (1982). Atlas of Ore Minerals, *Elsevier*, Amsterdam, 458 pp.
- Pracejus, B.** (2015). The Ore Minerals Under the Microscope an Optical Guide, 2nd Edition: Atlases in Geoscience 3, *Elsevier*, 1098 pp.
- Ramdohr, P.** (1980). The Ore Minerals and Their Intergrowths, International Series of Monographs on Earth Sciences. V. 35: volume 1+2, *Pergamon Press.*, Germany, 1207 pp.
- Roedder, E. & Bodnar, R. J.,** (1997) Fluid Inclusion Studies of Hydrothermal Ore Deposits. in *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd ed., H. L. Barnes, ed., Wiley&Sons, Inc, New York, p. 657-698.
- Roedder, E.,** 1984, Fluid Inclusions. *Reviews in Mineralogy*, v. 12: Mineralogical Society of America., 646 p.
- Samson, I., Anderson, A., Marshall, D.,** 2003, Fluid inclusions, analysis and interpretation: Mineralogical Association of Canada, Short Course, v. 32, 374 p.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.,** 1985, A practice guide to fluid inclusion studies: Blackie & Son, Glasgow, 239 p.
- Şahin Demir, Ç., Uçurum, A.** (2016). Sisorta (Koyulhisar-Sivas) yüksek sülfidasyon epitermal altın yatağının jeoloji-minerolojisi ve izotop (O-D, S, Cu ve Ar/Ar) Jeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 59, S. 1.
- Şaşmaz, A., Sağıroğlu, A.** (1994). Tutak dağı güneybatısındaki (Şebinkarahisar-Giresun) Pb-Zn Yatakları. *MTA Dergisi*, 116, 51-64.
- Taylor, R.** (2009). Ore Textures: Recognition and Interpretation, *Springer*, Berlin, 288 pp.
- Terlemez, İ., Yılmaz, A.** (1980). Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye arasında kalan yörenin stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 23/2, 179-1991.
- Terzioğlu, M.N.** (1986). Doğu Karadeniz bölgesinde Pliyosen yaşlı Erdembaba volkanitlerinin petrolojisi ve kökensel yorumu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Pülteni*, C. 29, 119-132.

- Thompson, A.J.B., and Thompson, J.F.H.**, 1996, Atlas of Alteration: A Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals: GAC, 119 pp.
- Tokel S.** (1977). Doğu Karadeniz Bölgesinde Eosen yaşlı kalk-alkalen andezitler ve jeotektonizma. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 20, 49-54.
- Turrel, G., Corset, J.** (Eds), (1996). Raman Microscopy-Developments and Applications. *Elsevier*, Amsterdam, p. 463.
- Ucurum, A., Şahin Demir C., Efe, A., Hofstra, A. H., Arehart, G.B., Pernicka, E., Molnar, F., Bakker, R.J.**, 2017, Sr, S, O, and H Isotopic Compositions of Celestine Deposits from the Tertiary Sivas Basin, Turkey: SEG-2017, September 17-20, 2017, Beijing, China, Abstract.
- Ulakoğlu, S.** (1985). Suşehri (Sivas) dolayının jeolojisi. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C. 5, S. 1-2, 1-19.
- Uysal, Ş., Bedi, Y., Kurt, İ., Kılınc, F.**, (1995). Koyulhisar (Sivas) dolayının jeolojisi. MTA Rapor No: 9838, 120s, (yayınlanmamış).
- Van den Kerkhof, A.M., ve Hein, U.F.**, 2001, Fluid inclusion petrography, *Lithos* (55) p. 27-47.
- Wilkinson, J.J.**, 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55, 229–272.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. and Spiro, B. (2003b)** A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper district, Chile: The essential role of bacteria and petroleum. *Econ. Geol.*, 98, 163–174.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Reynolds, P. H. and Boric, R. (2003a)** Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type copper deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of K-feldspar. *Chem. Geol.*, 197, 161–176.
- Wilton, D. H. C. and Sinclair, A. J.** (1988) The geology and genesis of a stratabound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia. *Econ. Geol.*, 83, 30–45.
- Yılmaz Şahin, S.** (2008). Geochemistry of mafic microgranular enclaves in the Tamdere Quartz Monzonite, south of Dereli/Giresun, Eastern Pontides, Turkey. *Chemine der Erde*, 68, 81-92.
- Yılmaz, A.** (1985) Yukarı Kelkit çayı ile Munzur dağları arasının temel jeoloji özellikleri ve yapısal evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 28, 79-92.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Adı Soyadı | İsmail Erdem KIZILGÖZ |
| Doğum Yeri ve Tarihi | Sivas, 09.03.1985 |
| Medeni Hali | Evli |
| Yabancı Dil | İngilizce |
| İletişim Adresi | Akdeğirmen M. 58040 SİVAS |
| E-posta Adresi | kizilgoz@yahoo.com |

Eğitim ve Akademik Durumu

| | |
|---------------|-------------------------|
| Lise | Yenişehir Lisesi |
| Lisans | Mersin Üniversitesi |
| Yüksek Lisans | Cumhuriyet Üniversitesi |