

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

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KIRKPAVLİ (SÜLEYMANİYE-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn**  
**CEVHERLEŞMESİNİN JEOLojİSİ VE MADEN ÇEVRESİNDEKİ**  
**YÜZEYSEL SULARIN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**NURTEN TUĞÇE ŞENSOY**

**Mayıs 2026**  
**GÜMÜŞHANE**



**T.C.**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KIRKPAVLİ (SÜLEYMANİYE-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn  
CEVHERLEŞMESİNİN JEOLojİSİ VE MADEN ÇEVRESİNDEKİ  
YÜZEYSEL SULARIN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**GEOLOGY OF THE KIRKPAVLİ (SÜLEYMANİYE-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn  
MINERALIZATION AND DETERMINATION OF HEAVY METAL CONTENT  
OF SURFACE WATERS AROUND THE MINE**

**YÜKSEK LİSANS**

**NURTEN TUĞÇE ŞENSOY**

**Mayıs 2026  
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE  
ÜNİVERSİTESİ**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**T.C.**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KIRKPAVLİ (SÜLEYMANİYE-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn  
CEVHERLEŞMESİNİN JEOLJİSİ VE MADEN ÇEVRESİNDEKİ  
YÜZEYSEL SULARIN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**GEOLOGY OF THE KIRKPAVLİ (SÜLEYMANİYE-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn  
MINERALIZATION AND DETERMINATION OF HEAVY METAL  
CONTENT OF SURFACE WATERS AROUND THE MINE**

**YÜKSEK LİSANS**

**NURTEN TUĞÇE ŞENSOY**

**DANIŞMAN: PROF. DR. ENVER AKARYALI**

**Mayıs 2026  
GÜMÜŞHANE**

## KABUL VE ONAY

**Prof. Dr. Enver AKARYALI** danışmanlığında **Nurten Tuğçe ŞENSOY** tarafından hazırlanan “**Kırkpavli (Süleymaniye-Gümüşhane) Pb-Zn Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Maden Çevresindeki Yüzeysel Suların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi**” isimli bu çalışma, 22/05/2026 tarihinde yapılan lisansüstü tez savunma sınavı sonucunda **Oy Birliği** ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....  
**Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER (Başkan)**

.....  
**Prof. Dr. Enver AKARYALI (Danışman)**

.....  
**Prof. Dr. Yener EYÜBOĞLU (Üye)**

Lisansüstü tez savunma sınavında başarılı bulunarak kabul edilen bu tezin ciltlenmiş hali, .... /..... /..... tarihli ve ..... / ..... sayılı Enstitü Yönetim Kurulu toplantısında görüşülmüş ve tez yazım kılavuzuna uygun bulunarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ**  
Enstitü Müdürü

## **BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI**

**Yüksek Lisans Tezi** olarak hazırlamış olduğum “**Kırkpavli (Süleymaniye-Gümüşhane) Pb-Zn Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Maden Çevresindeki Yüzeysel Suların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’ nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisanüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporlandığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

**22/05/2026**

.....  
**Nurten Tuğçe ŞENSOY**

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmamın her aşamasında mesleki bilgi ve tecrübeleri ile yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Enver AKARYALI'ya sonsuz ve içten teşekkürlerimi borç bilirim. Tez çalışmam süresince çizim programı temini sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve ince kesitlerin hazırlanmasındaki gerekli izinleri sağlayan Müdürümüz Maden Yüksek Mühendisi Uğur ÖLGEN ve arazi örneklerinin alınmasındaki yardımlarından dolayı Maden Mühendisi Nazım ERKOÇ, Jeoloji Mühendisi Zafer ÇİTLAK teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi, tez çalışmam sırasında da maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Harun Şensoy, annem Zeynep Arzu Aydın, babam Mustafa Ferudun Akdağ, kardeşim Hatice Nurçe Kıyatsil ve varlıklarıyla bana çalışma azmi veren çocuklarım Said Emir ile Miray Duru minnet ve şükranlarımı sunarım.

**Nurten Tuğçe ŞENSOY**  
**GÜMÜŞHANE-2026**

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Gümüşhane Süleymaniye Mahallesi yakınındaki Kırkpavli Pb-Zn maden sahasının jeolojisi, mineral parajenezi ve alterasyon zonları incelenmiş; Sarı Dere yüzey suyu ve dere kumu örneklerinde ağır metal içerikleri belirlenerek çevresel etkiler değerlendirilmiştir. İnceleme alanında cevherleşme Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plütonu, Erken – Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu ve Geç Jura– Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu içerisinde damar, masif ve mercekli gelişmiştir. Parajenezde sülfür mineralleri olarak pirit, kalkopirit, galen, sfalerit ve fahlerz grubu (tenantit-tetrahedrit) yer almakta ve alterasyon zonları görülmektedir. Yapılan mikroskobik incelemelerle cevherleşmenin parajenezi belirlenmiştir. Maden ocağı yanında Sarı Dere’de 10 farklı noktadan ağır metal kirliliğinin belirlenmesi için dere suyu (10 adet) ve dere kumu (10 adet) toplam 20 adet örnek alınmıştır. Dere suyu örnekleri pH derişimleri sonuçlarının “Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Standartları”na göre I. sınıf su kalitesindedir. Kanada’ da Kimyasal Analiz Laboratuvarı yapılan iz element konsantrasyonları sonuçlarına göre dere sularında bazı örneklerde Pb, Zn, Fe, Cu, Al ve Mn konsantrasyonlarının TS 266 limit değerleri üzerinde çıkmıştır. Dere kumu örnekleri analiz sonuçları incelemelerinde tüm örneklerde Cu, Pb, Zn, Fe, Mn elementlerinin yüksek klark değerlerinin üzerinde olduğu; Mo, Ni, Co, As, Cr ve S elementlerinin bazı örneklerde klark değerlerinin üzerinde, altında veya tayin limitinin altında kaldığı belirlenmiştir. DS-7 ile DS-8 numune alım noktası arasında eskiden işletilmiş pasif bir galeri olması göz önünde tutularak; DS-8, DS-9 ve DS-10 numaralı dere suyu ve dere kumu örneklerinde gözlenen Al, Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn zenginleşmelerinin, devam eden madencilik faaliyetlerinden kaynaklanmadığı değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal kirliliği, Cevherleşme, Çinko, Kırkpavli Madeni (Gümüşhane), Kurşun

## ABSTRACT

This study investigates the geology, mineral paragenesis, and alteration zones of the Kırkpavli Pb-Zn mining area near Süleymaniye District, Gümüşhane. In addition, heavy metal contents in surface water and stream sediment samples from Sarı Dere were determined through geochemical analyses to evaluate potential environmental impacts. In the study area, mineralization has developed as veins, massive structures, and lenticular forms within the Paleozoic Gümüşhane Pluton, the Early-Middle Jurassic Şenköy Formation, and the Late Jurassic-Early Cretaceous Berdiga Formation. The paragenesis includes sulfide minerals such as pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, and the Fahlerz group (tenantite-tetrahedrite), and alteration zones are observed. Microscopic examinations determined the paragenesis of the mineralization. A total of 20 samples (10 samples of stream water and 10 samples of stream sand) were taken from 10 different points in Sarı Dere, next to the mine, to determine heavy metal contamination. The pH concentrations of the stream water samples were classified as Class I water quality according to the "Quality Standards According to the Classes of Inland Surface Water Resources". According to trace element concentration results from the Chemical Analysis Laboratory in Canada, some samples of stream water showed concentrations of Pb, Zn, Fe, Cu, Al, and Mn exceeding the TS 266 limit values. Analysis of stream sand samples revealed that in all samples, Cu, Pb, Zn, Fe, and Mn elements were above high larch values; while Mo, Ni, Co, As, Cr, and S elements were above, below, or below the detection limit in some samples. Considering the presence of a previously operated, inactive gallery between sampling points DS-7 and DS-8, it is assessed that the enrichment of Al, Cu, Pb, Zn, Fe, and Mn observed in stream water and stream sand samples DS-8, DS-9, and DS-10 is not due to ongoing mining activities.

**Keywords:** Heavy metal pollution, Mineralization, Zinc, Kırkpavli Mine (Gümüşhane), Lead

## İÇİNDEKİLER

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| KABUL VE ONAY .....                                          | III  |
| BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....                         | IV   |
| TEŞEKKÜR .....                                               | V    |
| ÖZET .....                                                   | VI   |
| ABSTRACT .....                                               | VII  |
| İÇİNDEKİLER.....                                             | VIII |
| TABLolar DİZİNİ.....                                         | X    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                        | XI   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                          | XIII |
| 1.GİRİŞ .....                                                | 1    |
| 1.1. Çalışma Sahasının Coğrafi Özellikleri .....             | 2    |
| 1.2. Çalışmanın Amacı.....                                   | 4    |
| 1.3. Bölgesel Jeoloji.....                                   | 4    |
| 1.4. Önceki Çalışmalar.....                                  | 5    |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....                                  | 10   |
| 2.1. Arazi Çalışması.....                                    | 10   |
| 2.2. Laboratuvar Çalışmaları .....                           | 10   |
| 2.2.1. İnce ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması .....          | 10   |
| 2.2.2. Jeokimyasal Analizler .....                           | 11   |
| 2.2.2.1. Dere Kumu Örneklerinin Jeokimyasal Analizleri.....  | 12   |
| 2.2.2.2. Dere Suyu Örneklerinin Jeokimyasal Analizleri ..... | 12   |
| 2.3. Büro Çalışmaları .....                                  | 13   |
| 3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                 | 14   |
| 3.1. Çalışma Sahasının Stratigrafisi ve Jeolojisi .....      | 14   |
| 3.1.1. Gümüşhane Plütonu .....                               | 16   |
| 3.1.2. Şenköy Formasyonu.....                                | 16   |
| 3.1.3. Berdiga Formasyonu .....                              | 18   |
| 3.1.4. Kermutdere Formasyonu .....                           | 19   |
| 3.1.5. Alibaba Formasyonu .....                              | 19   |
| 3.1.6.Kuvarsdiyorit .....                                    | 20   |
| 3.3. Cevher Mikroskobu Çalışmaları.....                      | 22   |
| 3.3.1. Pirit.....                                            | 22   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2. Kalkopirit.....                                                  | 23 |
| 3.3.3. Sfalorit .....                                                   | 24 |
| 3.3.4. Galen .....                                                      | 25 |
| 3.3.5. Fahlerz .....                                                    | 26 |
| 3.3.6. Kuvars .....                                                     | 26 |
| 3.4. Cevher Dokuları.....                                               | 27 |
| 3.5. Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi .....                    | 29 |
| 3.5.1. Dere suyu örneklerinin jeokimyasal analizleri yorumlanması ..... | 31 |
| 3.5.2. Dere kumu örnekleri jeokimyasal analizleri yorumlanması.....     | 34 |
| 4. SONUÇLAR.....                                                        | 38 |
| KAYNAKÇA .....                                                          | 40 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                           | 46 |

## **TABLÖLAR DİZİNİ**

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1. Sarı Dere Örnek alım noktalarına ait coğrafi koordinatlar.....                                                     | 31 |
| Tablo 2. Dere suyu örneklerinin yerüstü su kaynakları değerleri ile karşılaştırılması<br>(değerler mg/L cinsindendir). .... | 32 |
| Tablo 3. Dere kumu örneklerinin seçilmiş tüm kayaç iz element analiz sonuçları (ppm)<br>.....                               | 35 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası .....                                                                                                                                                                          | 3  |
| Şekil 2. Çalışma alanının içinde yer aldığı bölgenin tektonik ve litoloji haritası.....                                                                                                                                        | 5  |
| Şekil 3. Parlak kesit numunelerinin sıcak bakalite alınma işlemi .....                                                                                                                                                         | 11 |
| Şekil 4. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti .....                                                                                                                                                    | 14 |
| Şekil 5. Çalışma alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası.....                                                                                                                                              | 15 |
| Şekil 6. Gümüşhane Plütonun arazi görünümü .....                                                                                                                                                                               | 16 |
| Şekil 7. Şenköy Formasyonu arazi görünümleri .....                                                                                                                                                                             | 17 |
| Şekil 8. Şenköy Formasyonuna ait volkanik kayalarından ince kesit görünümleri (Plj: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend) .....                                                                                                         | 17 |
| Şekil 9. Berdiga Formasyonu arazi görünümü .....                                                                                                                                                                               | 18 |
| Şekil 10. Berdiga Formasyonu kayalarına ait ince kesit görünümleri .....                                                                                                                                                       | 19 |
| Şekil 11. Alibaba Formasyonuna ait volkaniklerin görünümü .....                                                                                                                                                                | 19 |
| Şekil 12. Cevherleşme sahasındaki galeriden görünüm .....                                                                                                                                                                      | 20 |
| Şekil 13. Kuvars diyorit (Tersiyer) içerisindeki cevherli ve altere olmuş kayaların makroskobik görünümü.....                                                                                                                  | 21 |
| Şekil 14. Kireçtaşı seviyelerinden alterasyon ve kalsit damar sokulumu görüntüleri (a)Kireçtaşı birimi içerisinde altere olmuş(gossanlaşmış seviyeleri (b) Breşik kireçtaşları içerisinde görülen silis damar sokulumları..... | 21 |
| Şekil 15. Çalışma sahasında hidrotermal alterasyonlarla ilişkili olarak kırık hatları boyunca gelişmiş silisleşme,hematitleşme ve limonitleşmenin saha görünümleri.....                                                        | 22 |
| Şekil 16. Piritin cevherleşmedeki görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Qz: Kuvars) .....                                                                                     | 23 |
| Şekil 17. Kalkopiritin cevherleşme görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Fhl: Fahlerz mineralleri). 24                                                       |    |
| Şekil 18. Sfaleritin cevherleşme görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Qz: Kuvars) .....                                                                                      | 24 |
| Şekil 19. Galenin cevherleşme görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Qz: Kuvars).....                                                                         | 25 |
| Şekil 20. Fahlerz minerallerin diğer cevher mineralleri ile mikroskobik görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Qz: Kuvars).....                                                                        | 26 |
| Şekil 21. Kuvars minerallerinin diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Qz: Kuvars).....                                                                                   | 27 |

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 22. Cevher minerallerinde kapanım dokularının görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit) .....                                | 28 |
| Şekil 23. Cevher minerallerinde ornatım dokularının görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Fhl: Fahlerz Grubu mineraller) ..... | 28 |
| Şekil 24. Cevher minerallerinde boşluk dokusunun görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen) .....                                                               | 29 |
| Şekil 25. Cevher minerallerinde kataklastik dokunun görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit).....                                                  | 29 |
| Şekil 26. Dere kumu ile dere suyu örnek alım noktaları ve saha görünümleri .....                                                                        | 31 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| AMD | : Asit maden drenajı        |
| Cpy | : Kalkopirit                |
| DLA | : Dedeksiyon Limiti Altında |
| Fhl | : Fahlerz Mineral           |
| Ga  | : Galen                     |
| Py  | : Pirit                     |
| Sp  | : Sfalerit                  |
| Qz  | : Kuvars                    |

## 1.GİRİŞ

Doğal kaynakların hızla tüketildiği Yeni Çağ'da dünyamızda, madencilik faaliyetleri; küresel ekonominin ve sanayileşmenin temel yapı taşıını oluşturmaktadır. Ancak endüstriyel hammaddeler ve kıymetli madenlerin ekonomiye kazandırılması süreci, ekolojik dengeler üzerinde geri dönüşü zor tahribatlar yaratmaktadır. Maden arama, çıkarma ve işleme safhalarında yürütülen jeolojik, jeofiziksel ve kimyasal çalışmalar sırasında litosfer, hidrosfer, atmosfer ve biyosfer üzerinde birbiriyle bağlantılı zincirleme olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu durum, madenciliği küresel ölçekte en büyük yapay çevre kirliliği kaynaklarından biri haline getirmektedir.

Madencilik faaliyetlerinin olduğu çevrelerde; geniş arazi bozunumu, ormansızlaşma, erozyon ve açık ocak işletmeciliği nedeniyle topografyanın kalıcı olarak değişmesi ilk sırada yer almaktadır. Bir diğer en kritik çevresel problemlerden biri, cevher işletme sahalarının yakınında yer alan yüzeysel su kaynaklarında ve akarsu havzalarında meydana gelen ağır metal kirliliğidir. Özellikle sülfürlü minerallerin hava ve su ile teması sonucu ortaya çıkan Asidik Maden Drenajı (AMD), kayaç yapısındaki çinko (Zn), arsenik (As), kurşun (Pb), cıva (Hg), kadmiyum (Cd) ve bakır (Cu) gibi yüksek derecede toksik ağır metalleri çözerek çevre drenaj sistemlerine taşımaktadır.

Ağır metaller, organik kirleticilerin aksine doğada biyolojik veya kimyasal yollarla parçalanamayan kalıcı elementlerdir. Dere yataklarına ulaşan bu metaller, akarsu debisinin azaldığı bölgelerde nehir tabanındaki çökel (sediman) yapısına tutunarak uzun yıllar boyunca potansiyel bir kirletici kaynağı olarak varlığını sürdürmektedir. Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında ekosisteme dahil olan bu elementler, biyobirikim yoluyla önce fitoplankton ve balıklara, ardından gıda zincirinin üst halkalarında yer alan kuşlara ve insanlara aktarılmaktadır. Ağır metallerle kirlenmiş dere sularının tarımsal sulamada kullanılması veya içme suyu havzalarına karışması; insanlarda nörolojik bozukluklar, organ yetmezlikleri ve kanser gibi kronik ve akut sağlık problemlerini tetiklemektedir. Dolayısıyla, maden sahaları çevresindeki akarsu yataklarının ağır metal yükünün, mevsimsel değişimlerinin ve kirletici kaynaklarının hassasiyetle tespit edilmesi hayati bir önem arz etmektedir.

Doğu Karadeniz Bölgesi, Türkiye'nin metalojenik provensleri arasında, özellikle porfiri bakır, skarn, masif sülfat ve epitermal tipi yatakların yoğunluğu bakımından en yüksek maden potansiyeline sahip alanların başında gelmektedir. Geç Kretase ve Eosen dönemlerinde yaşanan yoğun volkanizma ve magmatik faaliyetler, bölgede polimetallik

(bakır, kurşun, çinko) ve kıymetli metal (altın, gümüş) cevherleşmelerinin oluşmasına zemin hazırlamıştır. Bölgenin bu karmaşık stratigrafik ve tektonik yapısı, cevher yataklarının hem litolojik hem de yapısal kontrollü olarak geniş bir alana yayılmasını sağlamıştır.

Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı Jura-Tersiyer jeolojik zaman aralığında Afrika levhası, Arabistan levhası ve Hindistan levhalarının Avrasya levhasını sıkıştırması ile meydana gelen bir dağ oluşum sürecidir. Bu orojenik hareketler sonucunda Karadeniz Bölgesi içerisinde bazı jeologlar tarafından ‘Pontidler’ adı verilen kıvrımlı dağlar serisi meydana gelmiştir. Bu dağ oluşum süreci boyunca volkanizma ve sıkışma ile meydana deformasyonlar sonucu farklı türde ekonomik cevher yatakları oluşturmuştur. (Güven, 1993; Tüysüz vd., 1994; Tüysüz vd., 1995; Tüysüz, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Demir vd., 2008, 2013; Akaryalı, 2010; Sipahi, 2011; Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Akaryalı, 2016; Sipahi vd., 2018, 2020). Gümüşhane ili içerisinde Kırkpavli Madeni (Pb-Zn yatakları), Hazine Mağara (Pb-Zn yatakları), Ünlüpınar (Kelkit) (Pb-Zn-Au yatakları), Karamustafa ve Midi (Pb- Zn yatakları) gibi ekonomik yataklar yer almaktadır.

Kırkpavli Madeni Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı sisteminin zengin polimetallik mineralizasyon barındıran en tipik örneklerinden biridir. Cevherleşme Erken Jura-Orta Jura yaşlı volkanotortul kayaçlar ve Geç Jura-Erken Kretase yaşlı karbonatlı kayaçlar içerisindeki kırık, çatlak ve fay hatları boyunca masif, damar ve damarcıklar şeklinde oluşmuştur.

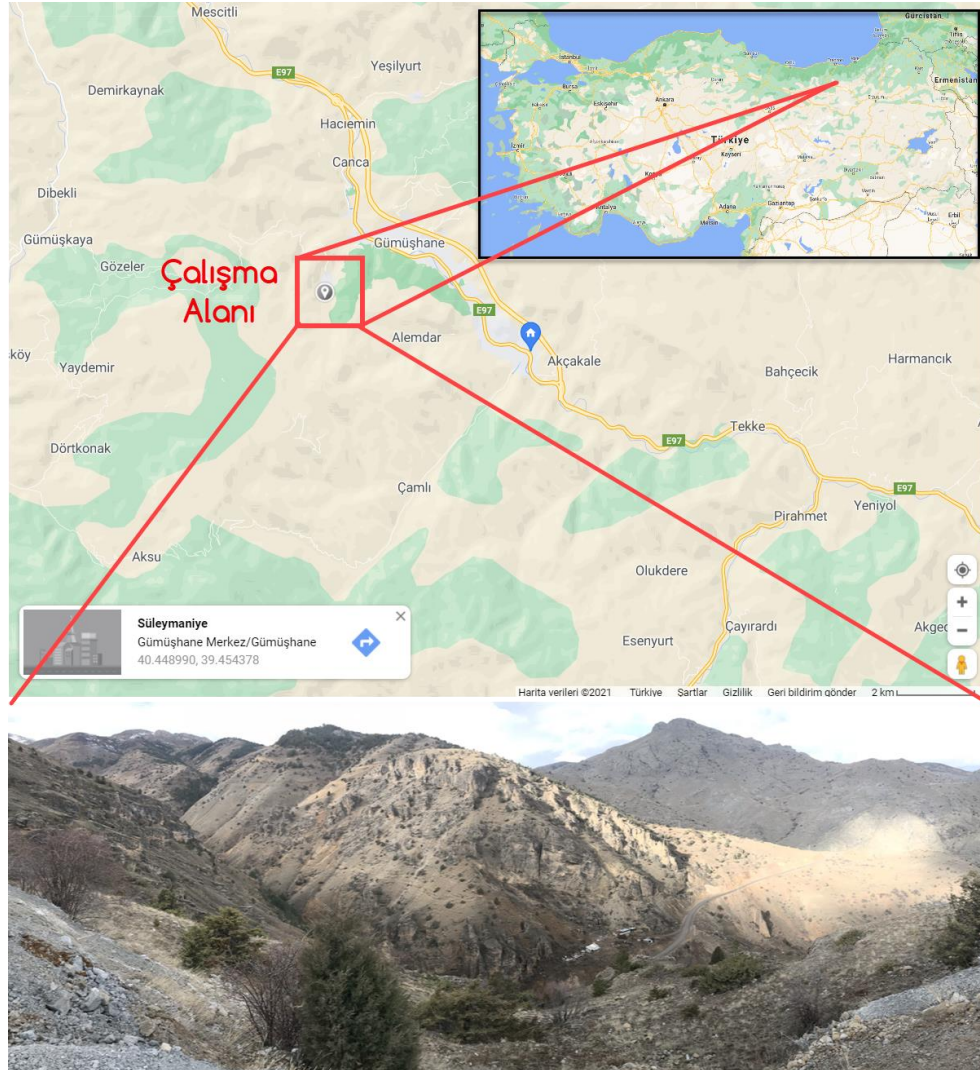
### **1.1. Çalışma Sahasının Coğrafi Özellikleri**

Gümüşhane ili merkezi 7 km kadar güney batısında olan Süleymaniye Mahallesi mevkiinde bulunan çalışma sahasına bir kısmı stabilize olmakla birlikte asfalt bir yolla ulaşılmaktadır (Şekil 1).

Süleymaniye Mahallesi, Doğu Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgelerinin geçiş kuşağında, oldukça sarp ve engebeli bir topografyaya sahiptir. Gümüşhane şehir merkezinin güneybatısında bulunan mahalle, deniz seviyesinden yaklaşık 1.200 ila 1.500 metre yükseklikte, bir vadi yamacında yer alır. Mahallenin kuzey ve kuzeydoğu cephesini, bölgede belirgin bir doğal sınır çizen ve yükseltileri 2.000 metreyi bulan Kuşakkaya ile Alemdar Tepeleri, batısında Karahisar Tepe (1601m) oluşturmaktadır.

Kırkpavli maden sahası GB-KD yönü boyunca uzanan vadinin tabanından sahanın en önemli akarsuyu olan Sarı Dere akmaktadır. Bu dere maden sahasının yüzey sularını toplayarak doğu yönüne doğru ilerlemektedir. Kırkpavli’nin hemen doğu sınırında KG

doğrultulu sarp bir vadi oluşturan Süleymaniye (Dere Madeni) Deresi ile birleşir. Kırkpavli çevresindeki sarp yamaçlardan beslenen bu iki lokal dere, birleştikten sonra dik topografyayı yarararak vadi boyunca K-KD yönünde akışını sürdürür. İlkbahar aylarında dağlardaki karların erimesiyle yüksek debiye ulaşan bu akarsu ağı, Kırkpavli maden sahasındaki tüm yüzey ve yeraltı sızıntı sularını nihai olarak Harşit Çayı Havzası üzerinden Karadeniz'e taşımaktadır. Bölge, yazları yaklaşık +19 ile + 24 °C aralığında sıcak; kışları ise yaklaşık -14 ile +10 °C aralığında soğuk ve kar yağışlı; tipik karasal iklim özellikleri yaşanmaktadır. En sıcak ay Temmuz- Ağustos iken, en soğuk ay Şubat-Mart ayları arasındadır. Yıllık yağış miktarı ortalama 410 mm/yıl'dır. Kızılçık, kavak, söğüt ağacı ve değişik meyve ağaçları (yabani kuşburnu, elma, ceviz, dut, fındık, kayısı, vişne vb.) yaygın olan bitkilerdir. Arazide pH düşük kısmen organik parçalarca zengin kahverengi toprak rastlanmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Kırkpavli (Süleymaniye-Gümüşhane) Pb-Zn cevherleşme sahasının jeolojik özelliklerini, cevherleşme oluşumunu, mineral parajenezini ve alterasyon zonlarını ortaya koymaktır. Cevherleşmenin Erken Jura-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu ve Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plütünü'nün kenar zonlarında tektonik kontrollü damar tipi oluşumlar şeklinde geliştiği belirlenmiştir. Bu kapsamda, maden sahası çevresindeki Sarı Dere'de yüzey suyu ve dere kumu örnekleri üzerinde jeokimyasal analizler gerçekleştirilerek ağır metal içerikleri belirlenmiş ve bölgedeki olası çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, ağır metal kirliliğinin önlenmesine yönelik alınabilecek önlemler hakkında öneriler sunulmuştur. Çalışmanın, Kırkpavli cevherleşme sahası ve çevresinde gelecekte gerçekleştirilecek çevresel izleme ve ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesine yönelik araştırmalara katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

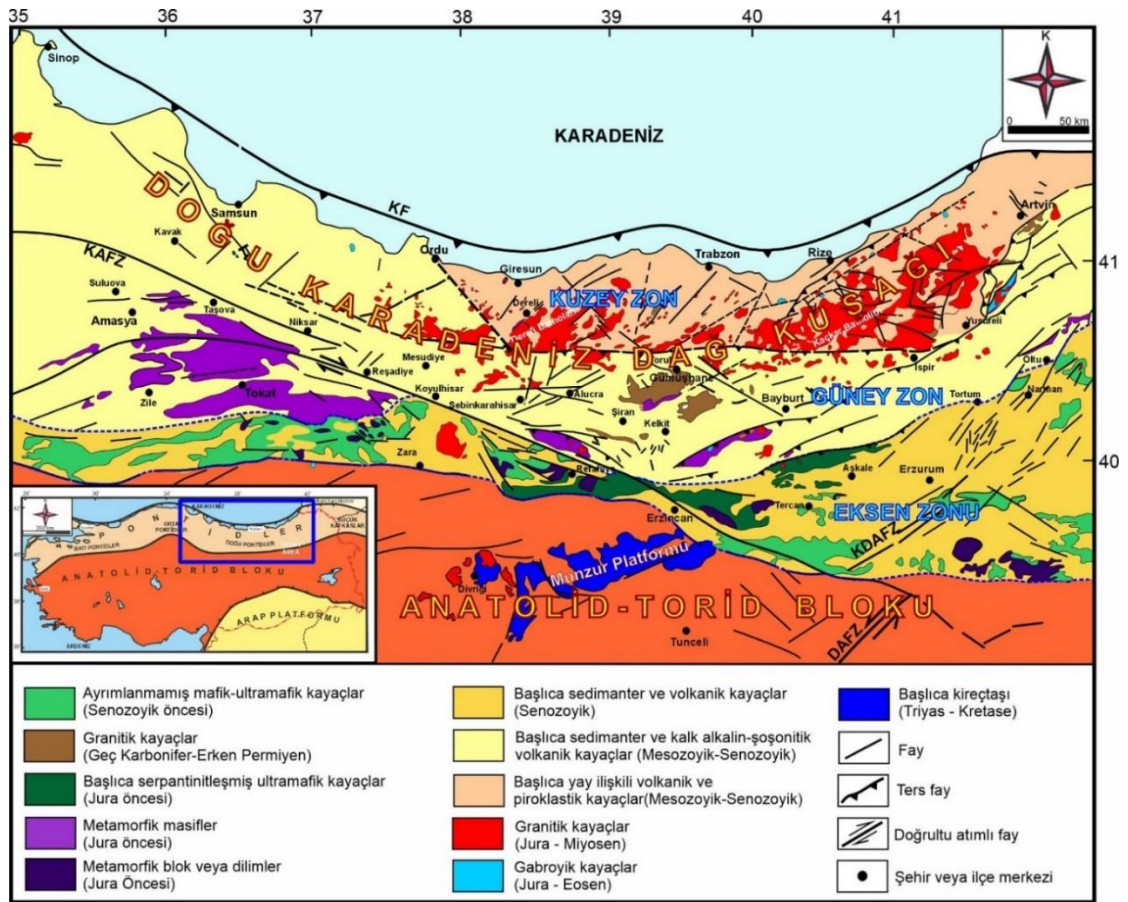
## 1.3. Bölgesel Jeoloji

Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı Jura-Tersiyer jeolojik zaman aralığında Afrika levhası, Arabistan levhası ve Hindistan levhalarının Avrasya levhasını sıkıştırması ile meydana gelen bir dağ oluşum sürecidir. Bu orojenik hareketler sonucunda Karadeniz Bölgesi içerisinde bazı jeologlar tarafından Pontidler adı verilen kıvrımlı dağlar meydana gelmiştir. Bu dağ oluşum süreci boyunca volkanizma ve sıkışma ile meydana deformasyonlar sonucu farklı türde ekonomik cevher yatakları oluşturmuştur. (Güven, 1993; Tüysüz vd., 1994; Tüysüz, 1995; Tüysüz, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Demir vd., 2008, 2013; Akaryalı, 2010; Sipahi, 2011; Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Akaryalı, 2016; Sipahi vd., 2018, 2020).

Çalışma sahasının yer aldığı bölgede en yaşlı birimleri Paleozoyik yaşlı Pulur Masifi ve Kurtoğlu Metamorfikleri (Topuz vd., 2004, 2007) ve bu kayalarla sokulum yaparak oluşan Paleozoyik yaşlı plütönlükler (Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2016) oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı temel birimler üzerine uyumsuz olarak Şenköy Formasyonu adı verilen Jura yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayalar gelmektedir (Kandemir ve Yılmaz, 2009). Volkanoklastik istif üzerine uyumlu sınır ile Üst Jura-Alt Kretase yaşlı ince tabakalı genellikle açık gri-krem renkli, masif katmanlı, sıkı denizel bir istif özelliği gösteren karbonatlı kayalar istiflenmiştir (Pelin, 1977).

Geç Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid Kuşağı uzun bir zaman boyunca farklı petrografik değişimler gösteren volkanik kayalar, Kretase zamanı sonlarında yaşlı

granitler tarafından kesilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997; Kaygusuz vd., 2013; Sipahi vd., 2018; Kaygusuz vd., 2021). Geç Kretase yaşlı kayaçların alt kesimlerinde alüvyonlar, üst kesimlerinde çoğunlukla volkanik kayaçlarla istiflenirken, tüm bu birimler üzerine açılmal uyumsuzlukla gelen taban konglomerası ile Üst Eosen doğru volkanik tuf, kireçtaşı (nummulitis) ve volkanitler Alibaba Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Saydam Eker vd., 2016). Eyüboğlu vd. (2026) tarafından yapılan çalışmada bölgenin ana tektonik-litolojik birliktelikleri haritalanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının içinde yer aldığı bölgenin tektonik ve litoloji haritası (Eyüboğlu vd. 2026).

#### 1.4. Önceki Çalışmalar

Gümüşhane ili, bulunduğu coğrafya ve geçirmiş olduğu farklı jeolojik süreçler nedeni ile araştırmacılar tarafından birçok jeolojik çalışma ve araştırmalara konu olmuştur. Bu bölümde bölgede geçmişte yapılmış bazı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Çoğulu (1970), “Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü” konulu doçentlik tezi çalışmasında, Gümüşhane ve Rize

yöresinde büyük bir topografik alanda gözlemlenen granit plütonuna ait kayaç istifini jeokronometrik ve petrolojik olarak incelemiştir.

Türk- Japon Ekibi (MTA, 1985), “The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area” konulu MTA-Japon ortak çalışmasında bölgede önemli maden sahalarında (Hazine, Köstere, Istala ve Mastra) incelemeler sonucu, 1/25000 ölçekli genel jeoloji harita oluşturmuşlardır. Yapılan jeokimyasal prospeksiyon çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Jeokimyasal prospeksiyon çalışmaları ile de elde edilen veriler sonucunda bu sahaların Pb- Zn- Cu anomali sahası olduğunu ve detaylı olarak çalışılmasını belirtmişlerdir.

Kandemir (2004), Gümüşhane ili ve çevresinde 9 farklı alanın jeolojik haritalarını hazırlamış ve 20 ayrı noktada yaptığı çalışmalar ile stratigrafik kesitleri belirlemiştir. Şenköy Formasyonu’nu oluşturan kayaçların stratigrafik özelliklerine göre; K- G, KD- GB VE D- B yönlerinde havza morfolojik özelliklerini kanıtlamıştır. Yaptığı çalışma sonuçları ile önceki çalışmalarda elde edilen bulguları kullanarak Erken Jura-Orta Jura zaman aralığı ile ilgili paleocoğrafik yaklaşımlar ve havza görselleri oluşturmuştur.

Demir (2005), Istala ve Köstere (Torul-Gümüşhane) madenlerinde elde ettiği sıvı kapanım çalışmaları sonucunda cevherleşmenin epitermal ile mezotermal aralıkta oluştuğunu belirtmiştir. Bölgedeki kayaçların serizitleşme, silisleşme, karbonatlaşma ve kloritleşme gibi hidrotermal alterasyonlara uğradığını ifade etmiştir. Tektonik süreçlere bağlı olarak fay ve kırık sistemlerinin geliştiği ve barit minerallerinde farklı oluşum evrelerinin bulunduğu sonucuna varmıştır.

Akaryalı ve Tüysüz (2013), Arzular (Gümüşhane) epitermal altın cevherleşmesini hidrotermal alterasyon ve kütle değişimleri açısından incelemiştir. Cevherleşmenin silis damarları boyunca geliştiği ve ana minerallerin sfalerit, galenit, pirit, kalkopirit ve fahlerz olduğu belirlenmiştir. Kuvarsın baskın gang minerali olduğu tespit edilmiştir. Jeokimyasal analizler, hidrotermal sıvıların silisleşme ve serizitleşmeye neden olduğunu ve cevherleşmenin tek fazlı gelişim gösterdiğini ortaya koymuştur.

Erşen (2013), Eski Gümüşhane manganez cevherleşmesinin Berdiga Formasyonu içerisindeki kireçtaşlarında hidrotermal akışkanlarla damar ve çatlak dolgusu şeklinde oluştuğunu belirtmiştir. Manganez oksit içerikli cevherleşmenin merceksel ve ağsal yapıda geliştiği tespit edilmiştir. Jeokimyasal sonuçlar, Mn açısından zenginleşme, Fe açısından ise görece düşük içerik olduğunu ve oluşumun ağırlıklı olarak hidrotermal kökenli olduğunu göstermiştir.

Uslu (2014), Gümüşhane il merkezi içme sularının genel olarak Ca+Mg baskın karbonatlı ve sülfatlı su tipinde olduğu belirlenmiştir. Anyon dağılımına göre  $\text{HCO}_3^-$  +

$\text{CO}_3^{2-}$  değerlerinin  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca pH ile metal içerikleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Akaryalı vd. (2015), Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn±Au cevherleşmesini jeolojik ve jeokimyasal açıdan incelemiştir. Cevherleşmenin Şenköy Formasyonu içindeki bazaltik andezitler ve fay zonları boyunca geliştiği belirlenmiştir. Alterasyon zonları olarak hematitleşme, limonitleşme ve kükürtleşme gözlenmiş, oluşum sıcaklığının ise hidrotermal sistemle ilişkili geniş bir aralıkta değiştiği belirtilmiştir.

Akaryalı (2016), Altınpınar (Torul) bölgesindeki Pb-Zn cevherleşmesinin jeolojik kökeni ve oluşum sürecini izotop, minerall kimyası ve sıvı kapanım analizlerine bağlı olarak incelemiş olup, cevherleşmenin Liyas yaşlı volkanik kayalar içinde geliştiğini belirlemiştir. Çalışmada, mineralizasyonun granitik intrüzyonlarla ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Sonuç olarak cevherleşmenin epitermal damar tipi bir sistemde oluştuğu ifade edilmiştir.

Akaryalı ve Akbulut (2016), Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) çevresindeki Pb-Zn cevherleşmesini jeolojik ve mineralojik açıdan incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda cevherleşmenin parajenezi belirlenmiş ve sıvı kapanım, mineral kimyası ile duraylı izotop analizleri uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, cevherleşmenin damar tipi yapıda ve epitermal sistem koşullarında geliştiğini göstermiştir. Ayrıca oluşum sıcaklığının düşük-orta aralıkta (yaklaşık 150–300 °C) olduğu belirlenmiştir.

Sipahi ve Uslu (2016), Gümüşhane kent merkezindeki içme sularının pH, sertlik ve iletkenlik değerleri ile su-kayaç etkileşimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre suların TS-266 standartlarına göre “iyi su” sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz (2016), “Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe- Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Jeokimyasal Açıdan İncelenmesi” konulu çalışmada inceleme alanındaki kayaç birimleri belirlenerek, her kayaç biriminin petrografileri tespit edilmiştir. Yapılan jeokimyasal çalışmalar neticesinde Fe-Cu skarn cevherleşmesinin kalk-alkali karakterde ve yay magmatizması sonucu oluştuğunu belirtmiştir.

Akaryalı vd. (2018), Gümüşhane'deki maden işletme sahasında asit maden drenajı (AMD) potansiyelini cevher stok alanı, atık barajı ve çevre kayalardan alınan örneklerle jeolojik ve jeokimyasal olarak değerlendirmiştir. Yan kayaç ve cevherli örneklerde majör oksit bileşimleri karşılaştırılmış, bazı bileşenlerde yerkağı ortalamasına göre zenginleşme tespit edilmiştir. Temas sızıntı suyu testleri sonucunda örneklerin genel olarak düşük mobilite gösterdiği ve su kalitesinin I. sınıf kıta içi su kriterlerinde olduğu belirlenmiştir. Bulgular, mevcut koşullarda AMD riskinin düşük

olduğunu, ancak uzun vadeli olasılığa karşı stok sahasında geçirimsizlik önlemlerinin alınmasının gerekli olduğunu ortaya koymuştur.

Aydurmuş (2018), “Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe- Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Sıvı Kapanım Özelliklerinin” konulu yüksek lisans tezi çalışmasında cevherleşmenin oluşmuş olduğu kayaç birimi ve yan kayaç birimleri tespit edilerek genel stratigrafik kesit oluşturulmuştur. Yapılan petrografik çalışmalar neticesinde cevherleşmenin Geç Kretase yaşlı kireçtaşları ile granitoid sınırında geliştiğini ifade etmiştir. Karadağ skarnlaşması sıvı kapanım çalışmaları sonucuna göre yüksek sıcaklıktaki magmatik akışkanların yan kayaçları altere ederek başladığını ve sürecin nispeten daha düşük sıcaklıktaki akışkanlar ile devam ettiği sonucuna varmıştır.

Semiz (2019), Gümüşhane ili Şiran ilçesindeki içme sularının hidrojeokimyasal özelliklerini araştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada, iletkenlik ve sertlik değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği belirlenmiştir.

Yazıcı (2019), Kelkit ve Köse ilçelerindeki içme sularının hidrojeokimyasal özellikleri ile yan kayaç ilişkisini incelemiştir. Suların genel olarak karbonatlı ve sülfatlı su tipinde olduğu ve beslenme kaynaklarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca su kalitesinin TS-266 ve WHO standartlarına genel olarak uygun olduğu ifade edilmiştir.

Akaryalı ve Şal (2022), Gümüşhane Kılıçören Köyü Madenin Sırtı yöresindeki Cu-Zn-Pb  $\pm$  (Ag, Au) cevherleşmesini jeolojik ve mineralojik açıdan incelemiştir. Çalışmada, cevherleşmenin Erken-Orta Jura yaşlı andezitik kayaçlar içinde, KB-GD doğrultulu faylara bağlı damar tipi yapılar halinde geliştiği belirlenmiştir. Mineral parajenezinin pirit, kalkopirit, galenit, sfalerit, fahlerz ve kuvarstan oluştuğu ve cevherleşmenin iki evrede meydana geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca hematitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve kükürtleşme gibi belirgin alterasyon zonları gözlenmiştir. Elde edilen bulguların, cevherleşmenin epitermal sistemle ilişkili olduğunu ve gelecekte yapılacak detaylı jeokimyasal ve izotopik çalışmalar için önemli bir temel oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Vural (2022), Gümüşhane-Canca hidrotermal alterasyon sahasında toprakların element içeriklerini inceleyerek olası ağır metal kirliliğini değerlendirmiştir. Çalışmada 288 toprak örneğinin element konsantrasyonları arka plan değerleri ile karşılaştırılmış ve kirlilik düzeyleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre K elementi hariç bazı majör elementler genel olarak doğal değerlere yakın bulunurken, ağır metal ve iz elementlerin büyük bölümünde farklı oranlarda zenginleşme tespit edilmiştir. Birleşik Kirlilik İndeksi (IPI) sonuçları, sahada orta ile yüksek düzey arasında kirlilik bulunduğunu

göstermiştir. Araştırma, hidrotermal alterasyon alanlarının hem maden aramaları hem de çevresel kirlilik açısından birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Vural ve Kaygusuz (2025), Gümüşhane-Avliyana sahasında Pb-Zn-Cu-Ag içerikli cevherleşmelerle ilişkili iz element zenginleşmesi ve olası çevresel kirliliği araştırmıştır. Çalışmada alınan kum örnekleri ICP-AES yöntemiyle analiz edilmiş ve element konsantrasyonları jeokimyasal indeksler kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre özellikle As, Cd ve Pb elementlerinde belirgin zenginleşme gözlenmiş, diğer bazı elementlerde ise yer yer limit değerlerin üzerinde değerler belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu element zenginleşmelerinin maden kaynaklı ağır metal kirliliğine işaret edebileceğini belirtmiştir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Çalışma sahasında yüzeyleyen birimler arazi çalışmaları sırasında incelenerek stratigrafik adlamaları yapılmış ve maden ocağı içerisinde yüzeyleme veren cevherli bölgelerden örnekler alınmış, alınan bu kayaçlardan jeokimyasal analiz ve mikroskobik incelemeler için gerekli çalışmalar yapılmıştır.

### **2.1. Arazi Çalışması**

Saha çalışmaları kapsamında, Kırkpavli madeni ve çevresinde jeolojik birimlerin stratigrafik ve yapısal özelliklerinin belirlenmiştir. Cevherleşme potansiyeli gösteren zonlardan, alterasyon alanlarından ve sistematik olarak belirlenen lokasyonlardan mikroskonik çalışmalar ve jeokimyasal analizlerde kullanılmak üzere örnekler alınmıştır. Bununla birlikte, maden sahası yanında Sarı Dere'den potansiyel toksik metal içeriklerini ortaya koymak için de 10 adet dere kumu ve 10 adet dere suyu olmak üzere toplam 20 adet numune alınmıştır.

Maden Ocağı içerisinde analiz için örnek toplanırken iş sağlığı ve güvenliği ön planda tutulmuş; yer altı çalışmalarında tavan ve çeperlerin tahkimat durumları güvenliğinden emin olunulmuştur. Cevher damarının tenör ve mineralojik özelliklerini tam olarak yansıtabilecek örnekler tercih edilmiştir. Numune alım sürecinde laboratuvar sonuçlarını olumsuz etkileyebilecek kirlenmeyi önlemek adına; galeri içerisinde kademe yüzeylerinde biriken paslı su, çamur, toz ve egzoz kalıntıları çekiç yardımıyla kazınarak tamamen temizlenmiş, örnekler doğrudan ana kayaçtaki taze yüzeylerden çekiç ile alınmıştır. Yan kayacın cevhere karışarak tenörü yapay şekilde düşürmesini engellemek amacıyla cevher-yan kaya sınırlarına titizlikle dikkat edilmiştir. Yer altı ortamının nemli ve sulu koşulları göz önünde bulundurularak, toplanan numuneler kalın beyaz polietilen torbalara konulmuş ve etiketleme sistemi kullanılarak silinmez kalemle kodlanmıştır.

### **2.2. Laboratuvar Çalışmaları**

#### **2.2.1. İnce ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması**

Kırkpavli Ocağından toplanan kayaçların, petrografik ve mineralojik bileşimlerini ortaya koymaya yönelik ince kesitler bölüm laboratuvarında hazırlanmıştır. İncelenen kayaçların taze yüzeylerinden alınan numuneler 0.5x2x4 cm boyutlarında küçük plakalar şeklinde kesilmiştir. Plakaların bir yüzeyi, taşlama ve zımparalama işlemlerinden geçirilerek pürüzsüz hale getirilmiştir. Plakaların yüzeyinin düzgün

olması, sonraki aşamalar için önemlidir. Hazırlanan plaka, 2.5x5 cm boyutlarında ve 1 mm kalınlığındaki bir cam tabağa Kanada balzamu kullanılarak yapıştırılır. Balzam, plakanın cam üzerinde sabit bir şekilde durmasını sağlar. Cam üzerine yapıştırılmış plaka, dereceli aşındırıcılar kullanılarak incelenir. Kalınlık, 0.025 mm'ye kadar düşürülür. Bu inceltme işlemi, cevher minerallerinin mikroskop altında ışık geçirgenliği için gereklidir. İnce kesit, istenen kalınlığa ulaştığında, temizlenir ve kurutulur. Sonrasında, petrografik mikroskop altında incelemeye hazır hale gelir. Hazır hale getirilen kesitlerin petrografik mikroskop altında petrografi ve alterasyon mineralojileri incelenmiştir.

Çalışma sahasından toplanan cevherli örneklerin mineralojik tayinlerine yönelik parlak kesitler, ruhsatı bulunan maden firmasının Mikroskopik Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Cevher mikroskopisi çalışmaları için hazırlanan kesitler sonrasında Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mikroskopik Araştırma Laboratuvarında incelenmiştir.

Gerekli boyutlarda kesilmiş olan 12 cevher içeren numune numaralandırılarak epoksi kalıplarına yerleştirilip, epoksi+yapıştırıcı karışımı kalıplara dökülmüştür. Sıcak bakalite alma işlemi için sıcak plaka ısıtılmak üzere 270 °C çalıştırılmıştır. Sıcak plaka gerekli ısıya ulaştığında numuneler sıcak plaka üzerine yerleştirilip 45 dk kadar beklenmiştir (Şekil 3). Gerekli süre tamamlandığında numuneler plaka üzerinden indirilerek soğumaları beklenmiş ve sonrasında tek tek kalıplardan çıkartılmıştır. Hazırlanmış olan 12 kalıp örneği zımparalama ve parlatma işlemleri ile mikroskopik çalışma için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3. Parlak kesit numunelerinin sıcak bakalite alınma işlemi

### 2.2.2. Jeokimyasal Analizler

Kırkpavli maden ocağı yanında bulunan Sarı Dere'de potansiyel ağır metal içeriklerini belirleyebilmek için numuneler alınmıştır. Sarı Dere içerisinde birbirine eşit

uzaklıkta olmayan 10 nokta belirlenip, 10 adet dere kumu ve 10 adet dere suyu numunesi alınmıştır. Alınan numuneler jeokimyasal analizler için işleme alınmıştır.

#### **2.2.2.1. Dere Kumu Örneklerinin Jeokimyasal Analizleri**

Tüm-kayaç jeokimyası analizleri için cevherli, yan kayaç ve dere kumu örneklerinin öğütme işlemleri Gümüştaş Madencilik ve Tic. A.Ş örnek hazırlama laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup numuneler yaklaşık 74-75 mikron tane boyutuna kadar öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Bu numunelere ait ana, iz ve nadir toprak element analizleri amacı ile numuneler Kanada’ da bulunan Bureau Veritas Commodities Canada Ltd. (eski adıyla Acme Laboratories Ltd.) Kimyasal Analiz Laboratuvarında analiz edilmiştir.

Tüm kayaç analizleri İndüktif Eşleşmiş Plazma-Emisyon Spektrometresi (ICP-ES), nadir toprak element analizleri ise İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemiyle yapılmıştır. Öğütülen toz numunelerden 0.2 gr alınarak 1.5 gr LiBO<sub>2</sub> ile karıştırılmış ve %5 HNO<sub>3</sub> içeren bir sıvı içinde çözündürülmüştür. Nadir toprak element analizi için, gerekli olan kimyasallar ile sırayla tepkimeye sokulmuş ve analiz sonuçları birimi ppm olarak belirtilmiştir. Analiz yapılan cihazlarda STD SO-19, STD DS11, STD OREAS262, STD GS311-1, STD GS910-4 ve STD GS314-1 standart numuneleri kullanılmıştır. Toplam demir, ana element analizlerinde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* cinsinden ölçülmüştür. Ateşte kayıp miktarını (LOI) belirlemek için öncelikle numuneden belirlenen miktarda alınarak tartılmış, sonrasında 105°C sabit sıcaklıkta ısınmış fırında 1 gün süreyle kurutulmuş ve işlem tamamlanınca tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve sülfür gazı (SO<sub>2</sub>) ölçümleri için %2’lik C ve %1’lik S standartları hazırlanmış ve kimyasal analize hazır hale getirilmiştir. Numuneler daha sonra yaklaşık 60 dk süreyle 1000°C’lik sabit sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Isıtmadan önce ve sonraki ağırlıklar kontrol edilerek su, karbondioksit ve sülfür kayıpları belirlenmiş ve iki tartı arasındaki farkın yüzdesi (%) alınarak numunelerin ateşte kaybı (LOI) tespit edilmiştir.

#### **2.2.2.2. Dere Suyu Örneklerinin Jeokimyasal Analizleri**

Çalışma alanındaki yüzeysel suların (dere sularının) potansiyel toksik metal içeriklerini ortaya koymak için çalışma sah içerisinde geçen Sarı Dere’den dere kumuna ilaveten 10 adet dere suyu örneği alınmış ve analiz edilmiştir. Her bir numune TS266 standartlarına uygun olarak, steril bir polietilen örnek şişesi alınmış ve etiketlenmiştir. Hazırlanan numuneler analiz başlayana kadar +4°C’de bekletilmiştir. Su

(H<sub>2</sub>O) analizleri Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Enstrümantel Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. İz element derişimlerinin belirlenmesinde Agilent 7700 marka ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) cihazı kullanılmıştır. Analiz sırasında numunenin çökerek cihazı tıkamaması ve tam iyonlaşma olması için %65'lik suprapur nitrik asit (HNO<sub>3</sub>)'den, %2'lik HNO<sub>3</sub> solüsyon hazırlanıp su numunelerine 1'er damla eklenmiştir. Örneklerde yüksek konsantrasyona sahip Mg ve Ca elementlerinin ölçümünde 4 ila 8 kat arasında seyreltme işlemleri uygulanmıştır. Ölçümler sırasında argon gazı elektromanyetik indüksiyonla (RF jeneratörü) 10.000 °K ekstrem sıcaklıkta pozitif yüklü iyonlara dönüştürmek için kullanılmıştır. Meydana gelen iyonlar kütle spektrometresi için vakum ortamına çekilip ve iyonları kütle/yük oranlarına göre filtreleyerek dedektöre ulaşmasını sağlamıştır. Dedektöre ulaşan her bir iyon ikincil bir emisyon ile elektron kümeleri oluşturarak ve element derişim yüksek hassasiyetle belirlenmiştir. ICP-MS çoklu element analizi yaklaşık 60 ila 120 saniyelik bir sürede periyodik cetveldeki 70'den fazla elementin derişimini aynı anda belirleyebilmektedir. Sonuçlar element konsantrasyonlarına bağlı olarak ppm (mg/l) ve ppb (µg/l) mertebesinde alınmış ve su kalite standartlarıyla karşılaştırılmıştır.

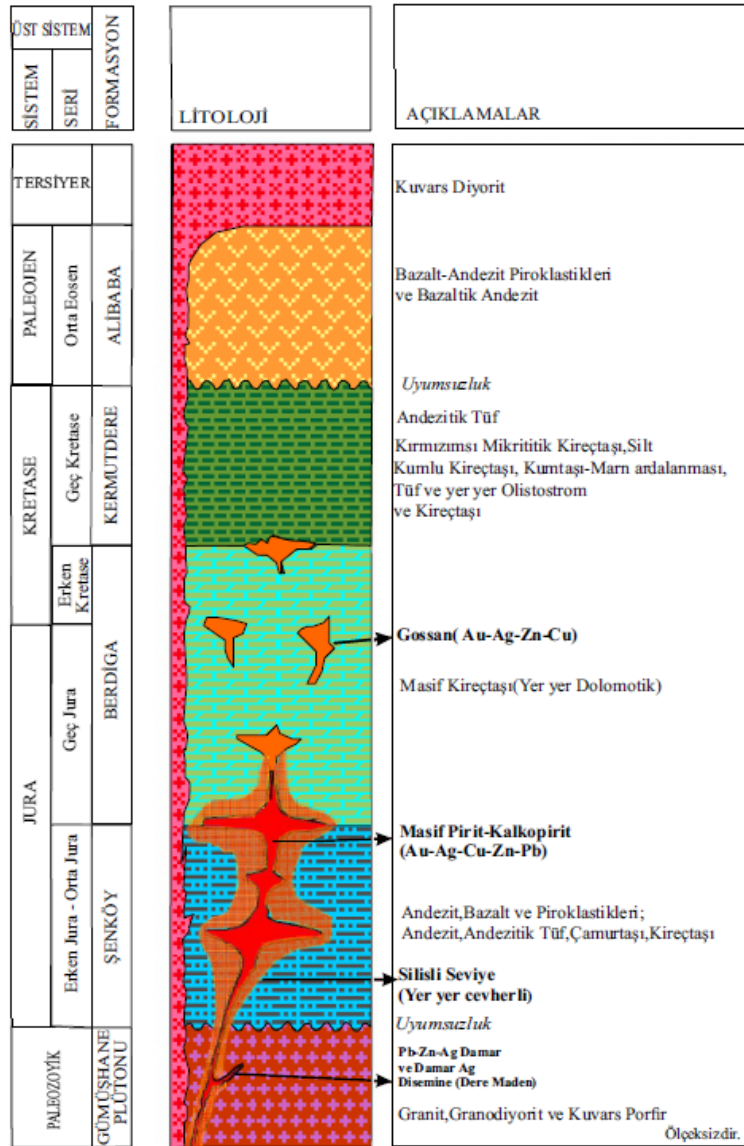
### **2.3. Büro Çalışmaları**

Öncelikle büro çalışmasında nasıl bir yol izleneceği konusunda planlama yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen bilgiler toparlanmıştır. Mineralojik çalışmalarla çekilen görüntüler mineral parajenezi belirlenmiştir. Kimyasal analizlerin sonuçları ile elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Çalışma Sahasının Stratigrafisi ve Jeolojisi

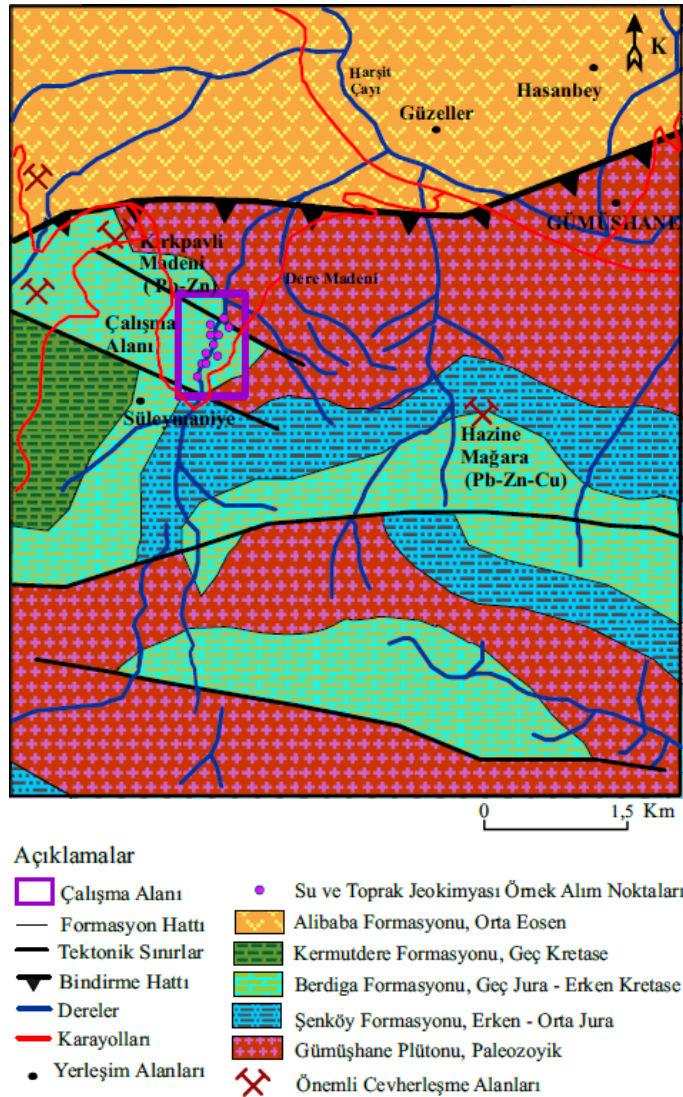
Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın Güney Zonu'nda bulunan inceleme sahasında yer alan birimler yaşlıdan gence doğru; Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plütönu, Erken Jura-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu, Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu, Orta Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu, Tersiyer yaşlı Kuvarsdiyorit olarak adlanmış birimler yüzeylemektedir. Çalışma sahasının stratigrafik kesiti ve genelleştirilmiş jeolojik haritası çizilmiştir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti

Kırkpavli sahası Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'nın güney sınırında yer almaktadır. Kırkpavli sahası ve yakın çevresinde KB-GD fay ve kırık hatları boyunca gelişen damar ve çatlaklarda Cu-Pb-Zn-Py-Au-Ag cevherleşmeleri tespit edilmiştir. Tektonizmanın etkisi sonucu birimler mm boyutundan m boyutuna kadar yoğun kırıklı ve breşik bir yapı göstermektedir. Cevherleşme bu kırık hatları boyunca yoğun olarak gözlenmektedir.

Tez kapsamında çalışılan Kırkpavli Pb-Zn cevherleşmesi yoğun olarak Erken Jura-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu ve Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu içinde; nadiren de Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Plütunu kenar zonlarında damar ve masif şekilde bol çatlaklı olarak gelişmiştir. Bu bağlamda, tez çalışması özelinde Şenköy ve Berdiga Formasyonları daha detaylı incelenmiş, diğer formasyonlar ile ilgili genel bilgiler açıklanmıştır.



Şekil 5. Çalışma alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası (Güven, 1993; Vural ve Erdoğan, 2014'ten değiştirilerek yazar tarafından yeniden düzenlenmiştir).

### 3.1.1. Gümüşhane Plütunu

Gümüşhane Plütunu, literatürde farklı araştırmacılar tarafından Gümüşhane Graniti (Yılmaz, 1972), Gümüşhane Granitoyiti (Güven, 1993) ve Gümüşhane Plütunu (Çoğulu, 1970, 1975) olarak adlandırılmıştır. Çoğulu (1975), birimi Kuzey ve Güney masif olmak üzere iki alt masife ayırmıştır. Birim içerisinde granodiyorit, kuvars monzonit, adamellit, siyenogranit, granit, mikrogranit, granofir ve aplit gibi farklı bileşimler tanımlanmıştır (Çoğulu, 1970; Tokel, 1972; Yılmaz, 1972; Eren, 1983; Çınar vd., 1983). Modal mineralojik veriler, plütunun esas olarak granodiyorit ile kuvars monzonit–granit bileşimli iki ana kaya grubundan oluştuğunu göstermektedir (Çoğulu, 1975).

İnceleme sahasında yüzeyleyen en yaşlı birim olan Gümüşhane Plütunu Paleozoyik yaşlı olup sahanın kuzey-güney kesimlerinde yüzeyleme vermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Gümüşhane Plütunun arazi görünümü

Gümüşhane Plütunu iki dokuda gözlemlenmektedir. İri kristalli, pembemsi tonlarda, çatlaklı olanlar taneli dokuda; kısmen daha küçük kristalli ve daha koyu renkli olanlar porfirik doku göstermektedir. Birim yoğun kloritleşme geçirmiş olup; kuvars ve yer yer etrafına yerleşmiş pirit/kalkopirit damarları kesilmektedir. Bu piritleşmelerin yer yer saçınımlı ve çatlak dolgusuna yerleşen iri kristalli izlendiği görülmüştür.

### 3.1.2. Şenköy Formasyonu

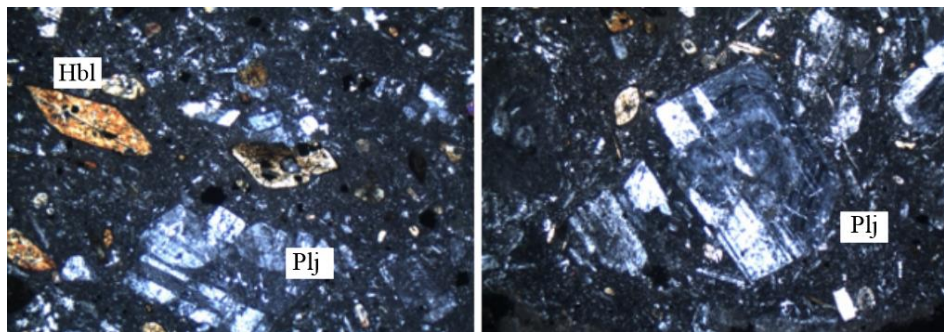
Ağar (1977), Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) yörelerini kapsayan doktora çalışmasında bu litolojik birimi ilk kez Hamurkesen Formasyonu olarak tanımlamıştır. Kandemir (2004) ise Gümüşhane ve çevresine ilişkin çalışmasında birimi Şenköy Formasyonu olarak yeniden adlandırmıştır. Bu tezde de Şenköy Formasyonu ismi benimsenmiştir.

İnceleme alanında Sarı Dere ve Kırkpavli çevresinde yüzeyleyen Erken–Orta Jura yaşlı birim; ağırlıklı olarak andezit, andezitik tüf ve piroklastik kayalardan oluşmakta, yer yer çamurtaşı, killi kireçtaşı ve kumtaşı ara seviyeleri içermektedir (Şekil 7). Şenköy Formasyonu, Gümüşhane Plütunu üzerine uyumsuz olarak gelirken, üstte Geç Jura–Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu ile uyumlu geçiş göstermektedir.



Şekil 7. Şenköy Formasyonu arazi görünümü

Şenköy Formasyonuna ait volkanik kayaların mikroskopik incelenmesi sonucu, birime ait volkaniklerin mikrolitik porfirik doku gösteren andezitlerden ve doleritik doku gösteren doleritlerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 8). Plajiyoklas: İri kristaller halinde ve mikrolitler halinde, özşekilli ve yarı özşekilli gözlenen plajiyoklaslar çatlaklı, kenarları kırıklı yapıda olup serizitleşmişlerdir. Yapılan mikroskop çalışmasında plajiyoklasların sönme açılarına göre albit ikizlenmesi belirgin olmasından minerallerin andezin (An<sub>34</sub>) oldukları belirlenmiştir. Amfibol özşekilsiz olarak gözlenmekte olup, cinsinin hornblend olduğu ve ayrışma ürünü olarak da genellikle kloritleşmenin gözlemlendiği belirlenmiştir. Kesit içinde düzensiz olarak, yarı özşekilli ve özşekilsiz taneler halinde opak mineraller tespit edilmiştir.



Şekil 8. Şenköy Formasyonuna ait volkanik kayalarından ince kesit görüntüleri (Plj: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend)

Cevherleşmeye eşlik eden hidrotermal akışkanların etkisiyle, plajiyoklas kristallerinin yüzeylerinde ve çatlak hatlarında ileri derecede serizitleşme, arjilitleşme ve yer yer kalsitleşme alterasyonları izlenmektedir. Bu bozunma, kristal yüzeylerinin çift nikolde bulanık, mat ve kirli bir görünüm almasıyla kendini göstermektedir. Hidrotermal akışkanların etkisi ile hornblendler kararsız hale gelerek dilinim hatları boyunca kloritleşmeye maruz kalmış; yer yer aktinolit-tremolit, epidot ve sekonder demir oksit (limonit/hematit) oluşumlarına ayrıışmıştır. Hornblendlerin bozunmasıyla serbest kalan demir iyonları  $Fe^{+2}$ , kükürtçe zengin epitermal/hidrotermal çözelti ile hızlıca reaksiyona girerek sahada çok yaygın izlenen pirit minerallerini oluşturmuştur. Bu piritizasyon süreci akışkanın kimyasal dengesini (pH ve kalıcı kükürt oranını) değiştirmiş; çözeltide taşınan kompleks haldeki kurşun, çinko ve bakır iyonlarının kararsızlaştırarak ana kırık ve fay hatları boyunca galen, sfalerit ve kalkopirit şeklinde cevherleşmelerini tetiklemiştir.

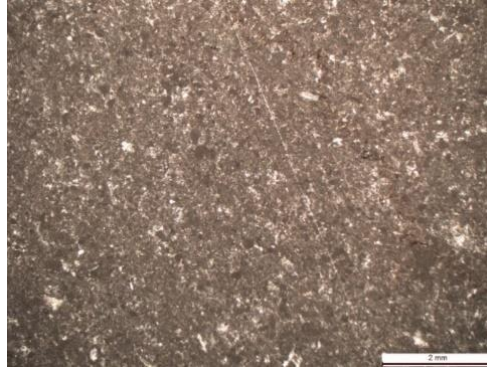
### 3.1.3. Berdiga Formasyonu

Erken Jura-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Berdiga Formasyonu Geç Jura-Erken Kretase yaşlıdır. Sahada Karahisar Tepe bölgesinde izlenmektedirler. Makroskobik olarak gri, sarımsı griden kahverengi-bej renklere kadar değişen tonlarda; alt seviyelerde ince-orta tabakalı, ortalarda ve üst seviyelerde kalın tabakalı killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı oluşan birim masif, dolomitik (üstlerde daha az) ve kristalizedirler.



Şekil 9. Berdiga Formasyonu arazi görünümü

Berdiga Formasyonu, kalın tabakalanmalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Özellikle alt seviyelerinde şeker dokusu ile tipik olan dolomitleşme makroskobik olarak ayırt edilmektedir. Kireçtaşları genellikle bol çatlaklı olup, çatlaklar kalsit tarafından ikincil mineral olarak doldurulmuştur. Berdiga Formasyonu'ndan alınan örneklerin mikroskobik olarak incelenmesi ile mikritik kireçtaşı oldukları belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Berdiga Formasyonu kayaçlarına ait ince kesit görünümü

#### 3.1.4. Kermutdere Formasyonu

Tokel (1972) birimi Kermutdere Formasyonu olarak tanımlamış, Güven (1993) ise Gümüşhane–Mescitli köyü civarındaki yüzlekleri Mescitli Formasyonu olarak adlandırmıştır. Bu çalışmada Kermutdere Formasyonu adı kullanılmıştır. Formasyon, Eski Gümüşhane’nin kuzeybatısı ile Hazinemağara’nın güneybatısında gözlenmektedir. Geç Jura–Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alır. Sarı renkli kumlu kireçtaşları ve kırmızı mikritik kireçtaşlarının yanı sıra, kumtaşı–marn ardalanmasından oluşan türbiditik istifler içerir; yer yer silt, tuf, olistostrom ve kireçtaşı seviyeleri de gözlenmektedir (Saydam, 2002).

#### 3.1.5. Alibaba Formasyonu

Tokel (1972) Gümüşhane’de yapmış olduğu çalışmasında Orta Eosen yaşlı andezitik volkanit, volkan tüfleri, yastık lavlar, aglomeralar ve kumtaşı-kireçtaşı gibi kayaçlardan karmaşık şekilde istiflenen bu birimi Alibaba Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Şekil 11). Güven (1990) çalışmasında bu birimi bölgedeki Orta Eosen yaşlı volkano-tortul istifi (andezit, bazalt lavları, piroklastlar ve ara katkılı tortul kayaçlar) tanımlamak için Kabaköy Formasyonu adlamasını kullanmıştır. Bu çalışmada da Alibaba Formasyonu isimlendirmesi kullanılmıştır.



Şekil 11. Alibaba Formasyonuna ait volkaniklerin görünümü

Çalışma bölgesinde, Alibaba Formasyonu Kaledere Mahallesi yakınlarında ve Kırkpavli ocağı kuzeyinde mostra veren Orta Eosen yaşlı bazaltik andezit ve piroklastiklerinden oluşmaktadır. Genellikle gri siyah- gri yeşil renk göstermektedirler. Alibaba Formasyonu Kırkpavli bölgesinde yoğun bir hidrotermal bozunmaya uğrayarak; silisleşme, killeşme ve serisitleşme gibi alterasyonlar geçirerek formasyonun orijinal dokusunu değiştirmiştir.

### 3.1.6. Kuvarsdiyorit

Süleymaniye mahallesinin güneyinde, Haneg Tepe ve Sarı Dere içerisinde yüzeylenen Tersiyer yaşlı Kuvars diyoritlerin dış zonlarında yoğun şekilde arjilik ve hematitleşme alterasyon zonları görülmektedir. Bu arjilik alterasyon üzerinde ayrıca masif pirit ve bunların ayrışmalarından oluşan sülfür saçınımları görülmektedir.

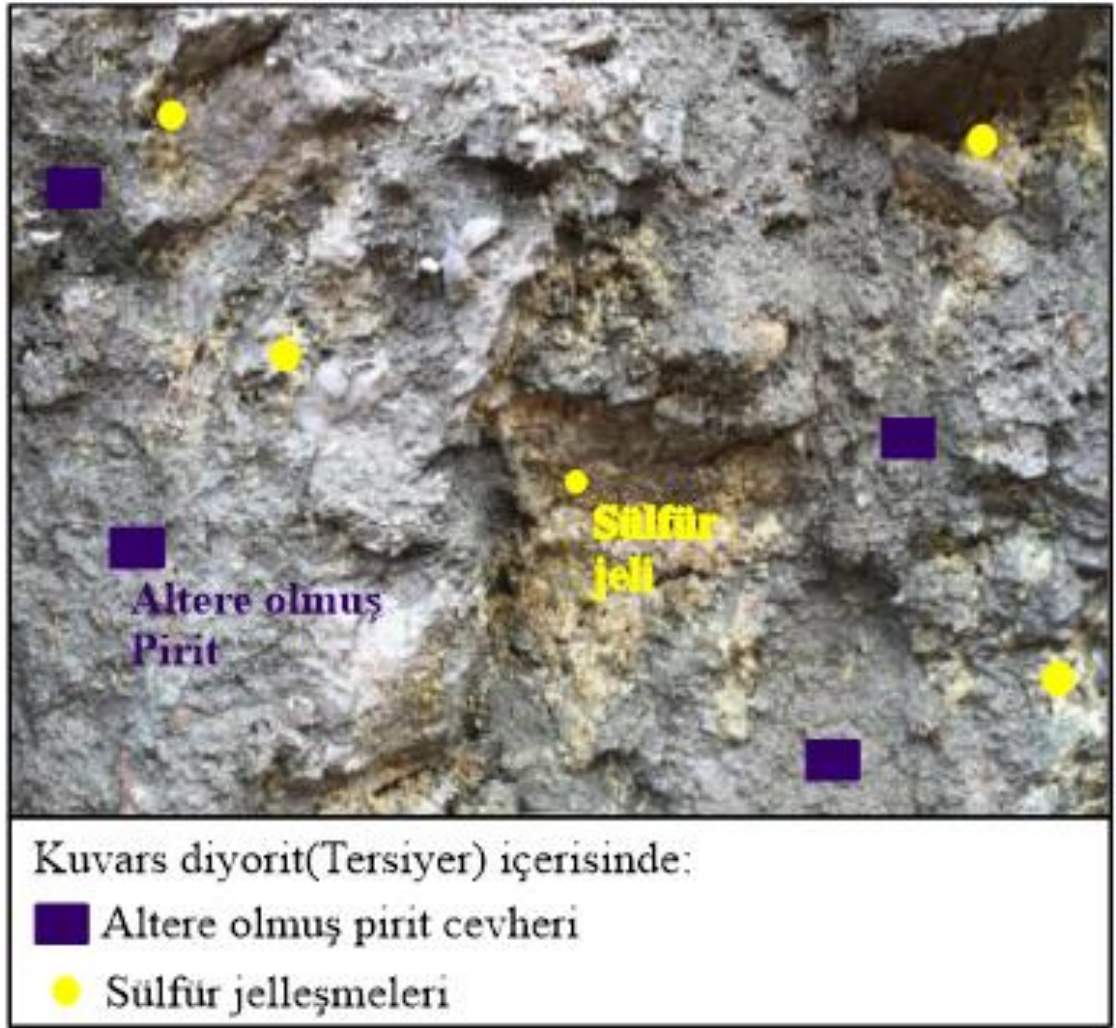
### 3.2. Cevherleşme sahasının jeolojisi ve gelişen alterasyonlar

Cevherleşmenin yoğun olarak izlendiği alanda, andezitik-bazaltik kayalar, kireçtaşları yüzeylemektedir. Kırkpavli Pb-Zn cevherleşmesi, Şenköy ve Berdiga Formasyonlarında kahverengimsi-yeşil renkli masif pirit ve kalkopiritler şeklinde; Gümüşhane Plütunu içerisinde ise Pb-Zn damarları halinde yüzeylemektedir. Cevherleşme sahasında ruhsatı bulunan özel bir firma tarafından galeri yöntemi ile üretim faaliyeti devam etmektedir (Şekil 12).

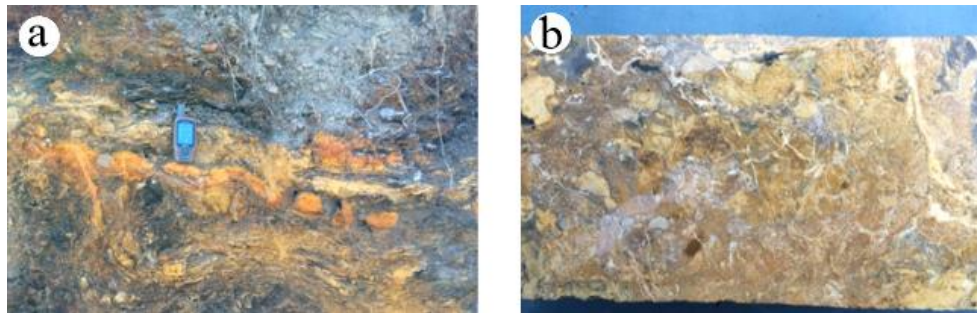


Şekil 12. Cevherleşme sahasındaki galeriden görünüm

Altere seviyeler kırık, çatlak veya erime boşluklarında gelişmekte veya sülfid zonunun üst seviyelerinde oksidasyon zonunun görüldüğü sınırlarda bu sülfidlerin alterasyonu şeklinde izlenmektedir. Kırkpavli bölgesinde nadirde olsa malakit, bornit cevherleşmeleri de görülür. Erken Jura içerisinde görülen silisli seviyeleri kireçtaşları içerisinde de görülmektedir (Şekil 14).

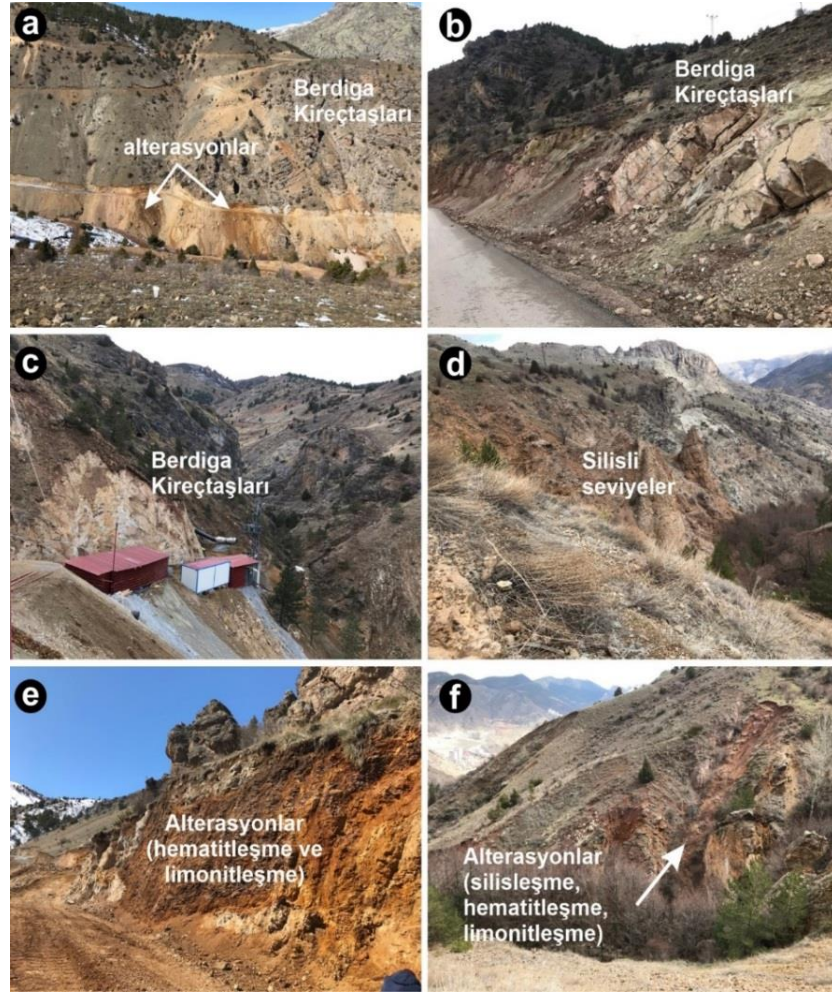


Şekil 13. Kuvars diyorit (Tersiyer) içerisindeki cevherli ve altere olmuş kayaçların makroskobik görünümü



Şekil 14. Kireçtaşı seviyelerinden alterasyon ve kalsit damar sokulumu görüntüleri  
(a)Kireçtaşı birimi içerisinde altere olmuş(gossanlaşmış seviyeleri) (b) Breşik kireçtaşları içerisinde görülen silis damar sokulumları

Çalışma alanında hidrotermal alterasyonlarla ilişkili olarak, özellikle Berdiga Formasyonu ve Şenköy Formasyonu’da yer alan kayaçların kırık hatları boyunca silisleşme, hematitleşme ve limonitleşme ile cevherden uzak zonlarda propilitik alterasyon oluşumları söz konusudur (Şekil 15). Bununla birlikte fay yönelimlerine paralel yönde daha genç birimleri kesen dayklar da gözlenmektedir.



Şekil 15. Çalışma sahasında hidrotermal alterasyonlarla ilişkili olarak kırık hatları boyunca gelişmiş silisleşme, hematitleşme ve limonitleşmenin saha görünümleri

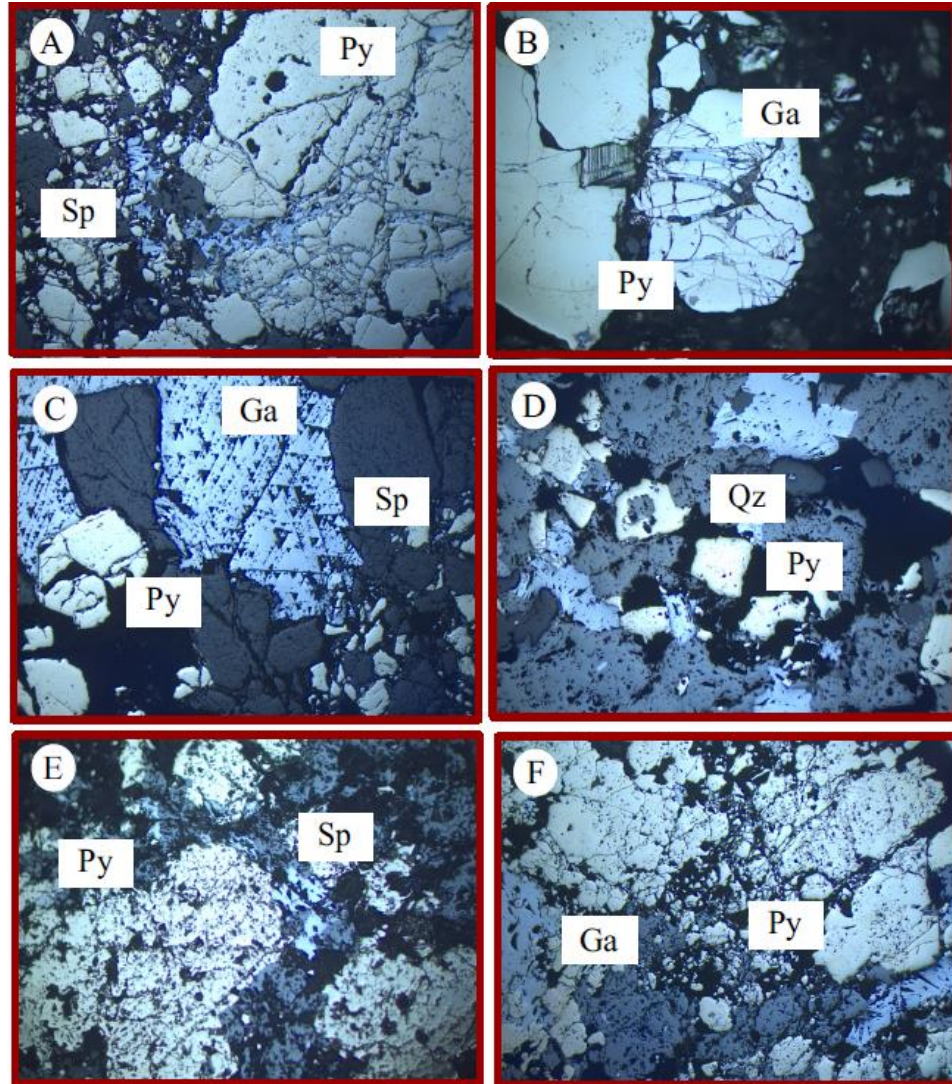
### 3.3. Cevher Mikroskobu Çalışmaları

Cevherleşmenin meydana geldiği süreç boyunca meydana gelen değişimleri öğrenmek için makroskobik olarak yapmış olduğumuz (arazi, yapısal jeoloji) çalışmaların yanı sıra mikroskobik çalışmalarda önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu yüzden çalışmanın en doğru ve net şekilde tamamlanması açısından mikroskobik çalışmalar ile cevherleşmenin parajenezinin belirlenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmadaki mikroskobik incelemeler neticesinde cevher minerallerinin birbirleriyle olan ilişkileri incelenerek cevherleşmede boşluk, ornatım, kapanım, ayrılım ve kataklastik dokularının gözlendiği tespit edilmiştir.

#### 3.3.1. Pirit

Parlak kesitler de metalik sarı rengi ile kolayca tanınan pirit genel olarak kalkopirit, sfalerit ve gang mineralleri ile birlikte gözlenmektedir. Kesitlerde

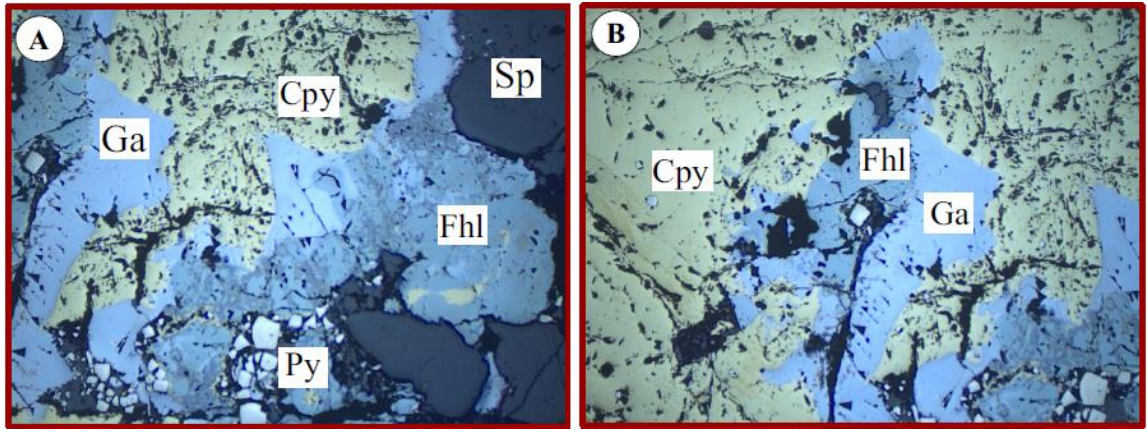
çoğunlukla yarı öz şekilli ve şekilsiz nadiren de öz şekilli olarak gözlenir (Şekil 16 B, C, D, E). Kırık ve çatlaklı pirit minerali boşlukları galen, sfalerit ve gang mineralleri tarafından doldurulmuştur. Galen ve kuvars mineralleri bazı kesitlerde pirit içerisinde kapanım halinde gözlemlenmiştir (Şekil 16 E, F).



Şekil 16. Piritin cevherleşmedeki görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Qz: Kuvars)

### 3.3.2. Kalkopirit

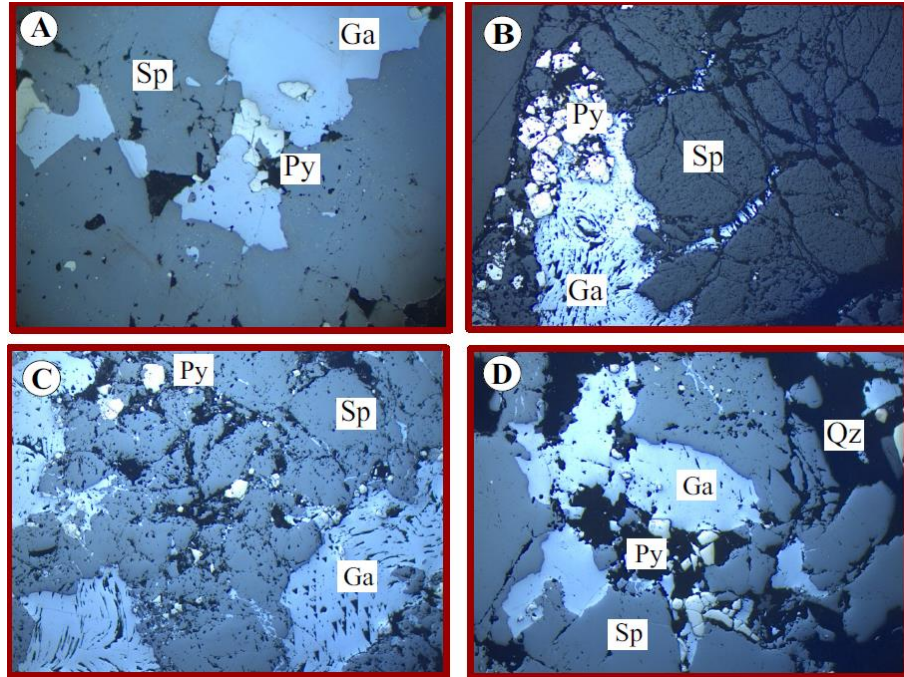
Kalkopirit mineralleri koyu sarı renkli, özşekilsiz kristaller halinde gözlenmektedir. Genellikle galen, sfalerit, fahlerz grubu (tenantit-tetrahedrit) ve kuvars mineralleri tarafından ornatılmıştır. Bazı kesitlerde (Şekil 17 A) galen mineralleri içerisinde kapanım halinde, bazı kesitlerde (Şekil 17 B) ise galen, fahlerz grubu ve kuvars kalkopirit içerisinde kapanım halinde oluşmuştur.



Şekil 17. Kalkopiritin cevherleşme görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Fhl: Fahlerz mineralleri)

### 3.3.3. Sfalerit

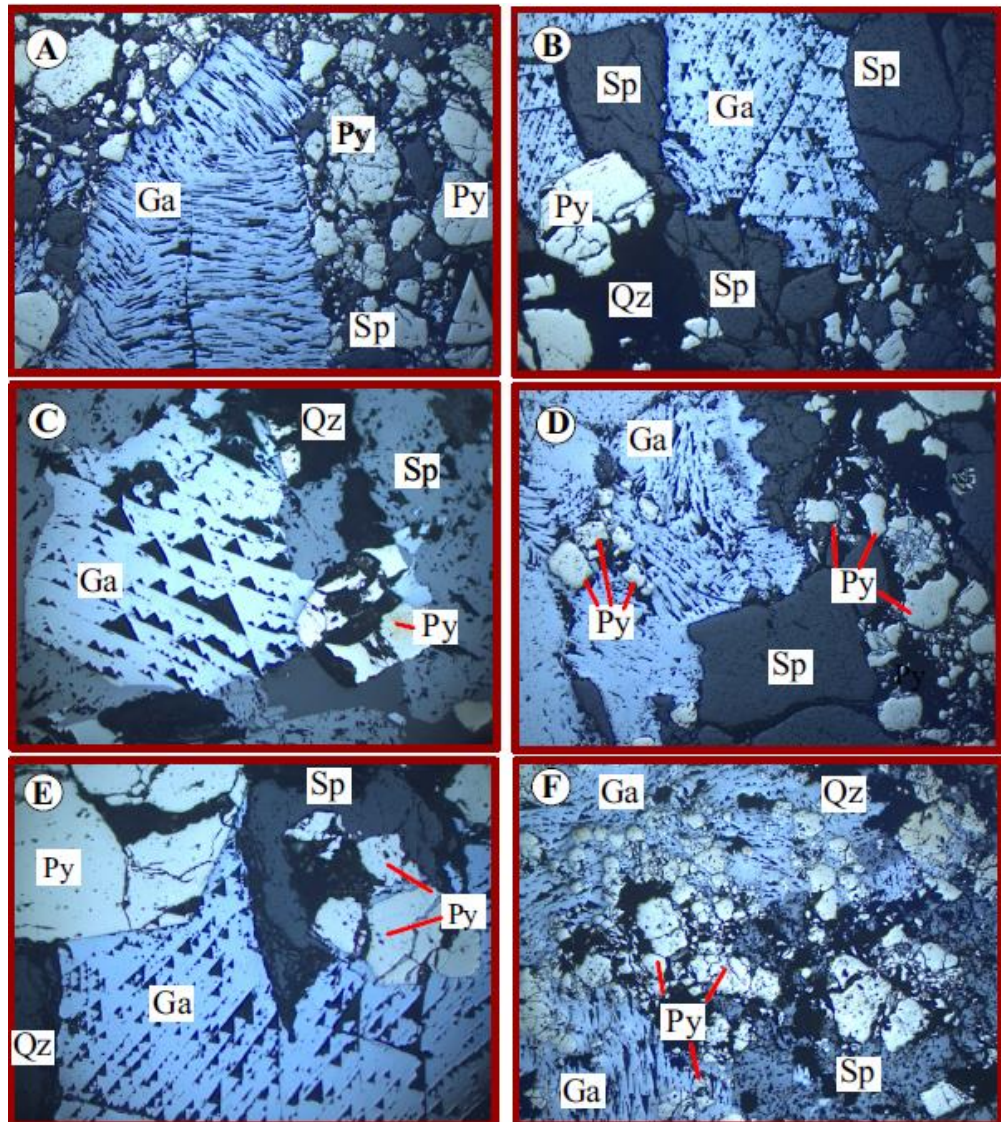
Sfalerit cevherleşmede gri renkli, yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halinde gözlenmektedirler. Yüksek basınç ile deforme olan sfalerit kristalleri çatlaklı ve kırıklı bir yapı göstermektedir. Bazı kesitlerde galen ve pirit tarafından ornatılmış olup, bazı kesitlerde kuvars, galen, pirit ve fahlerz grubu mineraller çinko içerisinde kapanım oluşturmuştur. Bazı parlak kesitlerde deforme olmuş yarı-özşekilli ve özşekilsiz sfalerit mineralleri içerisinde galen ve kuvars mineralleri ağsal bir yapı oluşturmuştur (Şekil 18 B ve D).



Şekil 18. Sfaleritin cevherleşme görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Qz: Kuvars)

### 3.3.4. Galen

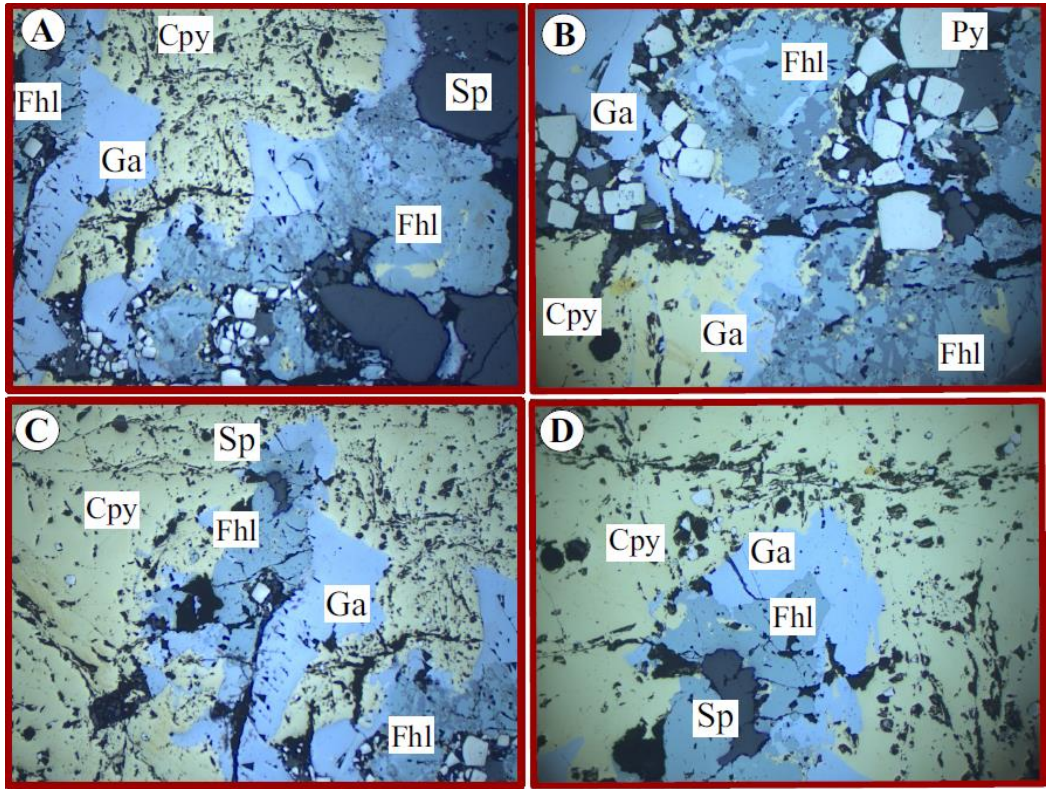
Genellikle yarı özşekilli veya özşekilsiz olarak, kremi mavi ya da buz mavisi tonlarda gözlemlenmiştir. Galen cevherleşmede sfalerit, pirit, kuvars ve nadir olarak kalkopirit, fahlerz grubu mineraller ile bir arada bulunmaktadır. Galen minerallerinde üçgen şekilli siyah dilinim yüzeyleri ile görülmektedir (Şekil 19 B, C, E). Cevherleşme süreci tamamlandıktan sonra meydana gelen tektonik hareketler sonucu cevher minerallerinin deformasyonu ile ortaya çıkan kataklastik doku gözlenmektedir (Şekil 19 A, F). Galen mineralleri pirit, sfalerit ve kuvars mineralleri tarafından ornatılmıştır (Şekil 19 D, E, F). Bölgede meydana gelen sıkışmanın mineraller üzerindeki etkisini özellikle (Şekil 19 A, D ve F) nolu örneklerden; sıkışma sonucu galen minerallerindeki kırılmanın etkisi (Şekil 19 B, C ve E) üçgen dilinim yüzeyleriyle görülmektedir.



Şekil 19. Galenin cevherleşme görünümü ve diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Qz: Kuvars)

### 3.3.5. Fahlerz

Fahlerz mineralleri cevher içerisinde iki türde (tenantit, tetrahedrit) genellikle özşekilsiz kristaller halinde, mavimsi-gri ve morumsu- mavi tonlardaki görünümü ile galen minerallerinden ayırt edilmekte olup, genelde galen, daha az oranda da kalkopirit içerisinde kapanımlar şeklinde bulunmaktadır (Şekil 20 A, B, C, D). Genellikle ornatım dokusu şeklinde oluşmuş olmakla beraber, yer yer ornatılmıştır. Bazı görüntülerde fahlerz mineralleri içerisinde sfalerit, pirit ve kuvars mineralleri oluşumları gözlenmektedir (Şekil 20 A, C, D).

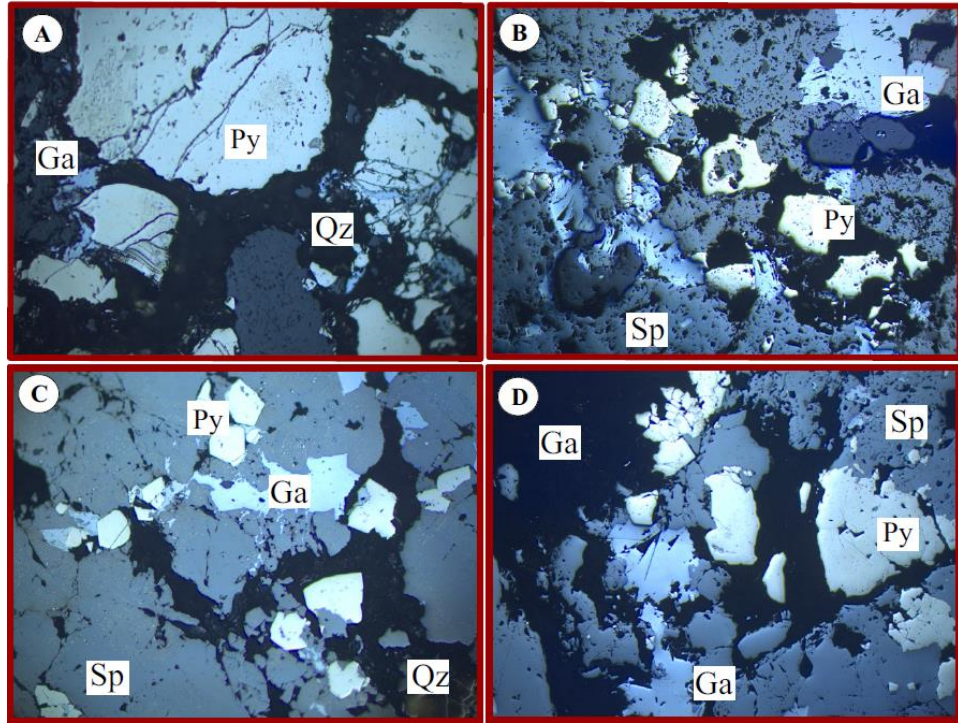


Şekil 20. Fahlerz minerallerin diğer cevher mineralleri ile mikroskobik görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Qz: Kuvars)

### 3.3.6. Kuvars

Cevherleşme de genel olarak gang mineraller kuvars olmaktadır. Kuvars mineralleri tektonik hareketler sonucu meydana gelen cevher mineralleri arasında kırık ve çatlaklar boyunca oluşmuştur. Kuvars mineralleri genel olarak özşekilsiz olup, cevher mikroskobu görüntülerimizde koyu siyah renkte görülmektedir (Şekil 21).

Kuvars mineralleri içerisinde galen, pirit ve sfalerit kapanımları görüldüğü gibi (Şekil 21 B, C ve D); bazı kesitlerde kuvars mineralleri kapanım şeklinde (Şekil 21 B, D) sfalerit içerisinde oluşmuştur.

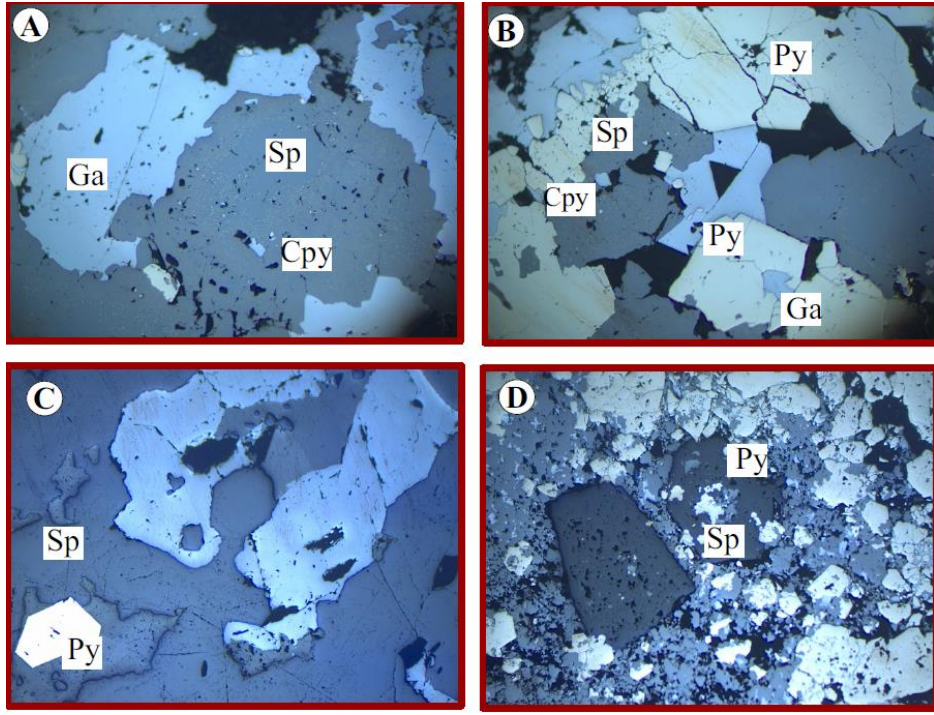


Şekil 21. Kuvars minerallerinin diğer cevher mineralleri ile ilişkisi (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Qz: Kuvars)

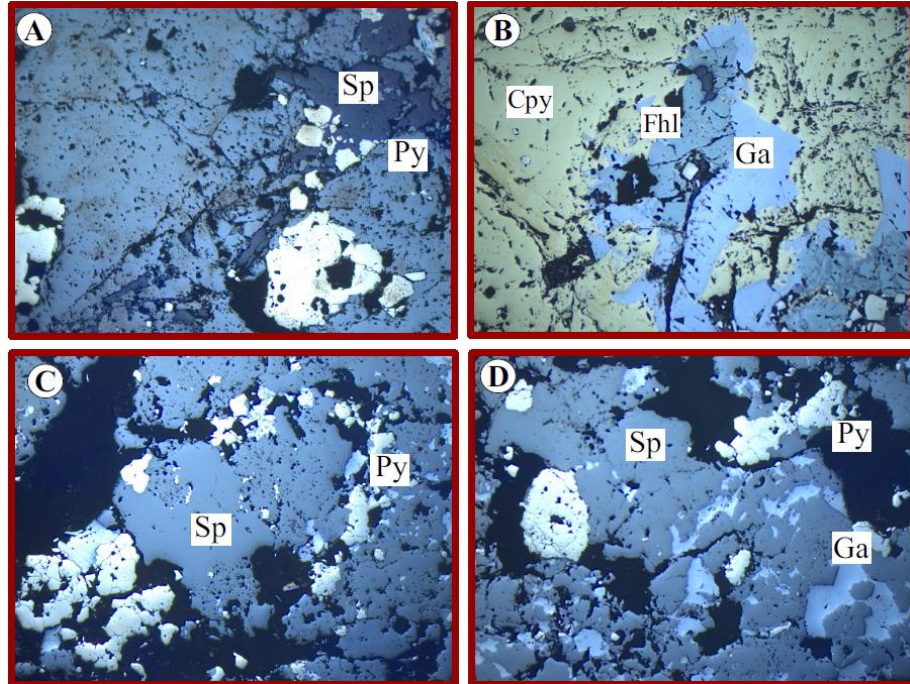
### 3.4. Cevher Dokuları

Bir mineralde ornatmanın ileri derecede meydana gelmesi sonucu başka bir mineral içerisinde kalmasıyla kapanım dokuları meydana gelir. Elde edilen mikroskobik görüntülerde yarı özşekilli sfalerit içerisinde adacıklar halinde küçük özşekilli kalkopirit kapanımları (Şekil 22 A), yarıözşekilli pirit minerali içerisinde yarıözşekilli galen kapanımı (Şekil 22 B), sfalerit içerisinde özşekilli pirit kapanımı (Şekil 22 C) ve özşekilli sfalerit içerisinde özşekilsiz pirit kapanımları (Şekil 22 D) gözlemlenmiştir.

Cevher içeren hidrotermal akışkanların yan kayaçlarla veya önceden cevherli kayaçlarla yeniden reaksiyona girerek bunları kısmen çözmesi ile meydana gelen boşluklarda yeni mineraller oluşmasına ornatım denir. Hidrotermal cevher yataklarında sıkça gözlemlenmektedir. Birincil mineral olarak oluşan özşekilli pirit kristallerinin kenar ve çatlak hatları boyunca; ikincil mineral olarak kalkopirit ve galen tarafından kemirilerek ornatılması, hidrotermal akışkan kimyasının zamanla değiştiğinin mikroskobik kanıtıdır. Yapılan cevher mikroskobisi çalışmaları sonucunda özşekilsiz sfaleritin yarı öz şekilli pirit kristalleri tarafından (Şekil 23 A), kalkopiritin özşekilsiz fahlerz grubu mineraller ve galen minerali tarafından (Şekil 23 B), özşekilsiz sfalerit minerallerinin özşekilsiz pirit mineralleri tarafından (Şekil 23 C) ve özşekilsiz sfalerit minerallerinin galen ve pirit tarafından ornatılması gözlemlenmektedir. Genel olarak sfalerit minerali diğer cevher mineralleri tarafından (Şekil 23 D) ornatılmıştır.

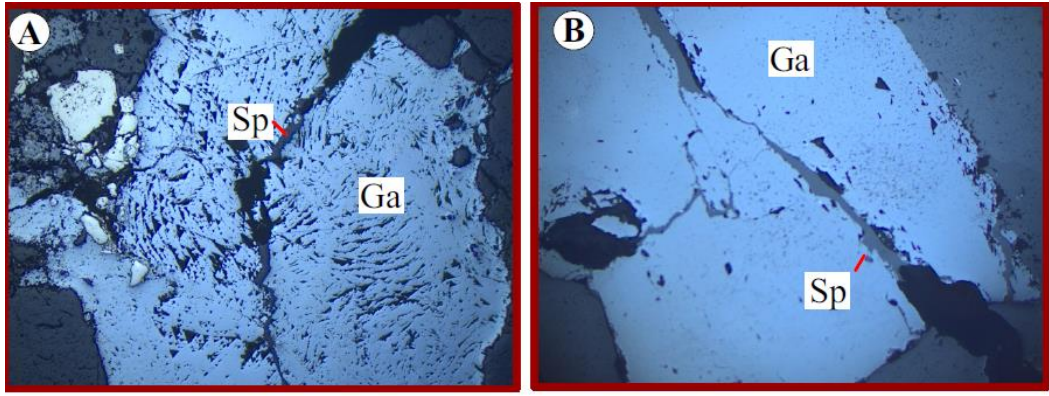


Şekil 22. Cevher minerallerinde kapanım dokularının görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit)



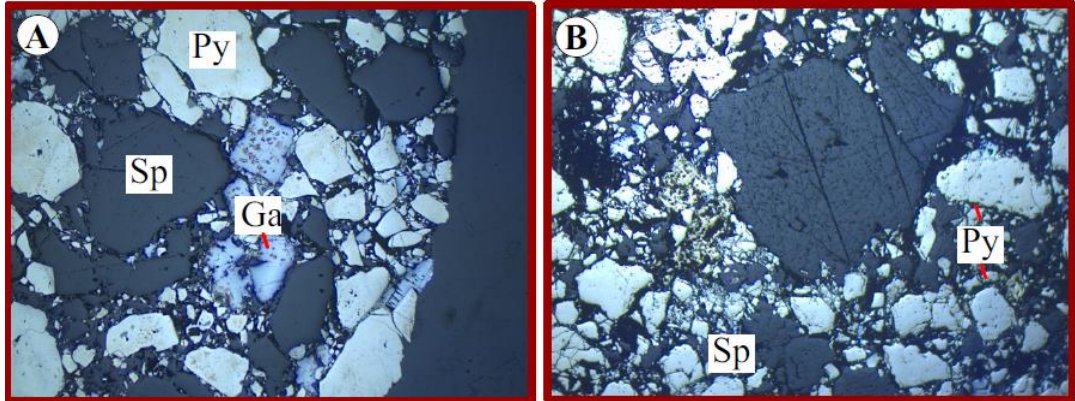
Şekil 23. Cevher minerallerinde ornatım dokularının görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Fhl: Fahlerz Grubu mineraller)

Hidrotermal çözeltilerin yan kayaç veya cevher minerallerin kırık ve çatlakları boyunca hareketi esnasında mineral çökelimi ile meydana gelen doku boşluk dolgusudur. Mikroskopik görüntüler incelendiğinde yarı özşekli galen içerisinde özşekilsiz sfalerit (Şekil 24 A ve B) boşluk dolgusu oluşturmuştur.



Şekil 24. Cevher minerallerinde boşluk dokusunun görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen)

Cevher oluşmasını tamamladıktan sonra meydana gelen sıkışma kuvvetleri nedeni ile minerallerin ilksel şeklini yitirerek daha küçük parçalara ayrılmasıyla oluşan dokuya kataklastik doku denir. Mikroskobik incelemelerde yarı özşekli sfalerit, yarı özşekli pirit ve özşekilsiz galen mineralleri arasında kataklastik doku gözlemlenmiştir (Şekil 25 A ve B). Mineral tanelerinin çatlak ve boşlukları kuvars mineralleri tarafından doldurularak kapanım dokularının sayılarını artırmıştır.



Şekil 25. Cevher minerallerinde kataklastik dokunun görünümü (Sp: Sfalerit, Ga: Galen, Py: Pirit)

### 3.5. Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Yüzeysel sular; yeryüzünde statik veya dinamik olarak varlığını sürdüren, atmosferik koşullarla doğrudan etkileşim halindeki akarsu ve göl gibi tüm su kütlelerini tanımlamaktadır. Yüzeysel suların varlığı ve debi sürekliliği; öncelikle meteorik yağışlar ve eriyen kar sularının oluşturduğu yüzeysel akışlar ile kontrol edilmektedir. Bununla birlikte, kayaçların kırık-çatlak sistemleri boyunca yüzeye doğru yükselen yeraltı suları yüzeysel su sistemlerinin özellikle kurak dönemlerdeki taban akışını besleyen en kritik hidrojeolojik kaynağını oluşturmaktadır.

Ağır metaller, yağışlarla yıkanarak yüzey sularına taşınabilmekte ve sızma yoluyla yeraltı sularına kadar ulaşarak su ortamlarındaki konsantrasyonlarını artırabilmektedir. Genellikle özgül ağırlığı 5 g/cm<sup>3</sup>'ten büyük olan ve düşük derişimlerde dahi çevresel ve biyolojik etkiler gösteren elementler ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar, atomik özellikleri, periyodik tablodaki konumları ve toksik etkileri esas alarak bu grubu iz elementler, geçiş metalleri, post-geçiş metalleri, nadir toprak elementleri veya toksik metaller gibi farklı sınıflamalar altında da değerlendirmektedir. Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), arsenik (As), nikel (Ni), krom (Cr), çinko (Zn) ve cıva (Hg) yaygın olarak toksik ağır metaller arasında gösterilmektedir (Amarasinghe ve Williams, 2007). Bu elementlerden Cu, Fe, Mn, Zn ve Ni düşük konsantrasyonlarda biyolojik olarak gerekli olmasına karşın, yüksek derişimlerde canlılar için zararlı hale gelebilmektedir. Buna karşılık Cd, Cr, Hg ve Pb gibi elementler biyolojik açıdan gerekli olmayıp çok düşük miktarlarda bile toksik etki gösterebilmektedir.

Ağır metallerin çevresel dağılımı incelendiğinde, doğal süreçlerden ziyade çoğunlukla antropojenik faaliyetlerle yayılım gösterdikleri görülmektedir. Madencilik, sanayi, çimento üretimi, demir-çelik endüstrisi ve termik santraller gibi kaynaklardan atmosfere ve su ortamlarına karışan ağır metaller hem doğrudan hem de dolaylı yollarla canlılara ulaşabilmektedir. Yüzey sularında artan ağır metal derişimleri, ekosistemdeki tüm canlı gruplarını olumsuz etkileyerek biyolojik birikim yoluyla ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle ağır metaller dikkat çekilecek önemli konular arasında yer almaktadır. Maden ocaklarında en önemli sorun, yağmur suları ile yıkanan metallerin yüzeysel sulara karışarak su kalitesini olumsuz etkilemesidir. Diğer bir sorun ise, maden çıkartılırken ya da işlenirken herhangi bir arıtma yapılmaksızın atıksuların doğrudan doğaya verilmesidir. Bu nedenle maden ocaklarında cevher çıkartılması ve maden işletme tesislerinde madenin işlenilmesi sırasında oluşacak atıksuların arıtılması gerekmektedir. Bunun takibi için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen standart değerlere göre yüzeysel sulardaki ağır metal içerikleri düzenli olarak analiz edilmelidir (Topal ve Arslan Topal, 2011). Bu çalışmada, maden sahası çevresinde ve ruhsat sahasındaki, yüzeysel suların ve dere kumlarının ağır metal analizleri ile çevresel kirliliğinin tespiti ve alınması gereken önlemler yönünden değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma sahasında geçen Sarı Dere'den 10 adet su ve 10 adet dere kumu örneği alınmıştır (Tablo 1; Şekil 26).

Tablo 1. Sarı Dere Örnek alım noktalarına ait coğrafi koordinatlar

| Örnek No    | Enlem      | Boylam     |
|-------------|------------|------------|
| DK-1/DS-1   | 40.452391° | 39.443366° |
| DK-2/DS-2   | 40.454331° | 39.444041° |
| DK-3/DS-3   | 40.454981° | 39.444506° |
| DK-4/DS-4   | 40.456487° | 39.445781° |
| DK-5/DS-5   | 40.458071° | 39.447593° |
| DK-6/DS-6   | 40.459340° | 39.448066° |
| DK-7/DS-7   | 40.460027° | 39.448351° |
| DK-8/DS-8   | 40.460505° | 39.448331° |
| DK-9/DS-9   | 40.462099° | 39.450501° |
| DK-10/DS-10 | 40.463176° | 39.452888° |



Şekil 26. Dere kumu ile dere suyu örnek alım noktaları ve saha görünüşleri

### 3.5.1. Dere suyu örneklerinin jeokimyasal analizleri yorumlanması

Suların kalitesinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında 2872 sayılı Çevre Kanunu'na dayanılarak hazırlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'nde belirtilen kriterler ile yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kontrolü sağlanmalıdır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde sular kalitesine göre 4 sınıfta toplanmıştır (Tablo 2). Sınıf I-Yüksek kaliteli sular olarak nitelendirilen çözünmüş oksijen miktarı >8 mg/l olan kirlilik yükü (BOİ) çok düşük, içme suyu olma potansiyeli fazla, rekreasyonel amaçlı,

alabalık üretimi yapılabilen, hayvan çiftliklerinde kullanılabilir suları kapsamaktadır. Sınıf II-Az kirlenmiş sular adlandırılmış çözülmüş oksijen miktarı 6-8 mg/l olan rekreasyonel amaçlı, alabalık dışında balık üretimi yapılabilen ve sulama suyu olarak kullanılabilen suları kapsamaktadır. Sınıf III-kirlenmiş sular ise oksijen seviyesi 3-6 mg/l olan, gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılacak suları ve Sınıf IV Çok kirlenmiş sular çözülmüş oksijen seviyesi 3 mg/l altında olan hiçbir amaçla içme, sulama, üretim için kullanılamayacak yüzeysel suları kapsamaktadır (Topal ve Arslan Topal, 2011).

Tablo 2. Dere suyu örneklerinin yerüstü su kaynakları değerleri ile karşılaştırılması (değerler mg/L cinsindendir).

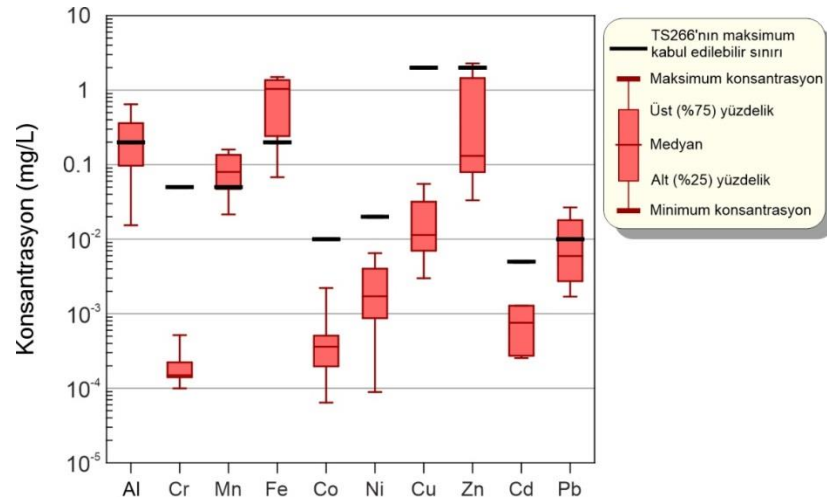
|                                                                        | pH (25°C)      | Al          | Cr     | Mn           | Fe          | Co     | Ni     | Cu    | Zn           | Cd     | Pb           |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|--------|--------------|-------------|--------|--------|-------|--------------|--------|--------------|
| TS266*                                                                 | 6.5<pH<9.2     | 0.2         | 0.05   | 0.05         | 0.2         | 0.05   | 0.02   | 2     | 2            | 0.005  | 0.01         |
| Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri** |                |             |        |              |             |        |        |       |              |        |              |
| I                                                                      | 6.5-8.5        | ≤0.3        | ≤0.02  | ≤0.1         | ≤0.3        | ≤0.01  | ≤0.02  | ≤0.02 | ≤0.2         | ≤0.002 | ≤0.01        |
| II                                                                     | 6.5-8.5        | ≤0.3        | 0.05   | 0.5          | 1           | 0.02   | 0.05   | 0.05  | 0.5          | 0.005  | 0.02         |
| III                                                                    | 6.0-9.0        | 1           | 0.2    | 3            | 5           | 0.2    | 0.2    | 0.2   | 2            | 0.007  | 0.05         |
| IV                                                                     | <6.0 veya >9.0 | >1          | >0.2   | >3           | >5          | >0.2   | >0.2   | >0.2  | >2           | >0.007 | >0.05        |
| Örnek No                                                               |                |             |        |              |             |        |        |       |              |        |              |
| DS-1                                                                   | 7.78           | <u>0.65</u> | 0.0005 | <u>0.083</u> | <u>1.36</u> | 0.0022 | 0.0040 | 0.009 | 0.070        | DLA    | 0.002        |
| DS-2                                                                   | 8.01           | <u>0.22</u> | DLA    | 0.047        | <u>0.24</u> | 0.0004 | 0.0064 | 0.055 | <u>2.239</u> | 0.0013 | 0.005        |
| DS-3                                                                   | 7.94           | 0.18        | 0.0001 | 0.034        | <u>0.20</u> | 0.0002 | 0.0038 | 0.043 | 1.451        | 0.0003 | 0.002        |
| DS-4                                                                   | 7.87           | <u>0.36</u> | 0.0002 | <u>0.142</u> | <u>0.83</u> | 0.0002 | 0.0009 | 0.020 | 0.079        | DLA    | <u>0.027</u> |
| DS-5                                                                   | 8.02           | 0.05        | DLA    | 0.022        | 0.07        | DLA    | 0.0006 | 0.004 | 0.112        | DLA    | 0.003        |
| DS-6                                                                   | 7.89           | 0.02        | DLA    | <u>0.055</u> | <u>1.45</u> | DLA    | 0.0001 | 0.003 | 0.033        | DLA    | 0.003        |
| DS-7                                                                   | 7.87           | 0.10        | DLA    | <u>0.077</u> | <u>0.41</u> | 0.0001 | 0.0020 | 0.007 | 0.095        | DLA    | 0.007        |
| DS-8                                                                   | 7.89           | <u>0.37</u> | 0.0001 | <u>0.159</u> | <u>1.24</u> | 0.0004 | 0.0012 | 0.012 | 0.150        | DLA    | <u>0.018</u> |
| DS-9                                                                   | 7.81           | <u>0.21</u> | DLA    | <u>0.135</u> | <u>1.50</u> | 0.0005 | 0.0065 | 0.032 | <u>2.281</u> | 0.0012 | <u>0.015</u> |
| DS-10                                                                  | 8.07           | <u>0.20</u> | 0.0001 | <u>0.135</u> | <u>1.24</u> | 0.0004 | 0.0014 | 0.011 | 0.241        | 0.0003 | <u>0.021</u> |

\*Türk Standartları TS 266, 2005'in izin verilen maksimum değerlerini göstermektedir.

\*\*Su sınıfları 30.11.2012 tarih ve 28483 (değişik ibare: RG-15/4/2015-29327) sayılı 'Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'ne göre. DLA: Dedeksiyon Limiti Altında

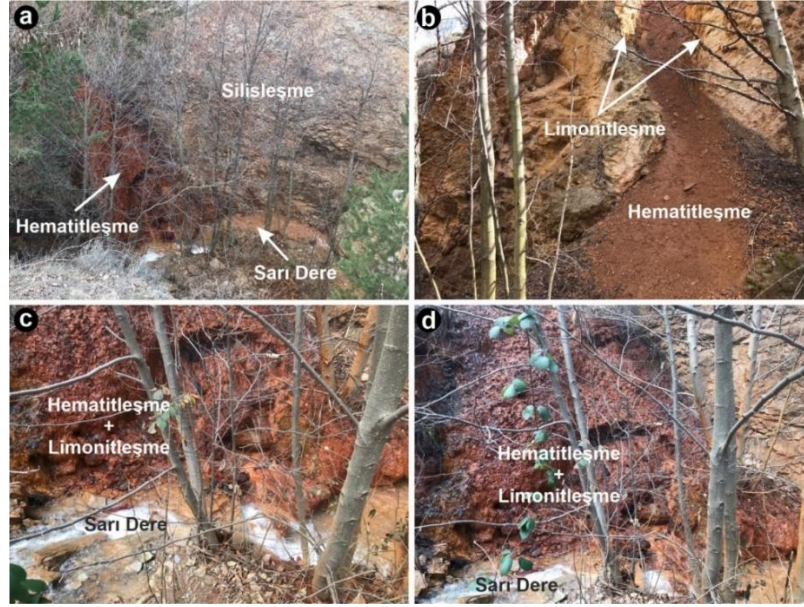
Çalışma alanında Sarı Dere'den alınan su örneklerde pH değişimleri incelendiğinde, en düşük pH değerinin DS-1 nolu örnekte 7.78 olarak, en yüksek pH değerinin ise DS-10 nolu örnekte 8.07 olarak ölçülmüştür. Tüm su numunelerinin pH değerleri Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri kapsamında değerlendirildiğinde pH değerlerinin yönetmelikte belirtilen Sınıf I kalitesinde bir su olduğu belirlenmiştir. Dere suyu pH değerleri TS266'nın kabul edilebilir sınır değerleri (6.5<pH<9.2) aralığında yer almaktadır. Dere suyu örneklerinde

iz element analiz sonuçları TS266'nın kabul edilebilir sınırı değerleri (Tablo 2) ile karşılaştırıldığında; bazı iz elementlerin TS266'nın kabul edilebilir sınırı üzerine çıkan değerler tabloda altı çizili olarak gösterilmiştir. DS-1, DS-2, DS-4, DS-8, DS-9 ve DS10 nolu örneklerde Al konsantrasyonları, DS-1, DS-4, DS-5, DS-6, DS-7, DS-8, DS-9 ve DS10 nolu örneklerde Mn konsantrasyonları, DS-5 nolu örnek hariç diğer tüm örneklerde Fe konsantrasyonları, DS-4, DS-8, DS-9 ve DS10 nolu örneklerde Pb konsantrasyonları ile DS-2 ve DS-9 nolu örneklerde Zn konsantrasyonları TS266'nın kabul edilebilir sınır değerleri üzerinde çıktığı, Cr, Co, Ni, Cu ve Cd elementlerine ait konsantrasyonların ise TS266'nın kabul edilebilir sınır değerleri altında kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. Dere suyu örneklerinin TS266 sınır değerlere göre karşılaştırılması

Mn, Fe, Al ve özellikle Zn ile Pb elementlerinin TS266'nın kabul edilebilir sınır değerleri üzerinde çıkması, alanda mostra veren hematitleşme, limonitleşme gibi alterasyonlar (Şekil 28) ile çalışma sahasındaki Pb-Zn cevherleşmesinde gözlenen pirit (FeS), kalkopirit (CuFeS<sub>2</sub>), sfalerit (ZnS), galen (PbS) gibi sülfürlü minerallerin yüzeysel sular ile reaksiyonu sonucu çözünmesine bağlı olarak dere suyuna karışması ile ilişkili olduğu, ilaveten DS-8, DS-9 ve DS-10 nolu örneklerde Al, Fe, Mn, Zn ve Pb elementlerinin yüksek konsantrasyona sahip olması, Sarı Dere içerisinde yer alan ve maden sahasında herhangi bir faaliyet yapılmadan önce eski yıllarda açılmış ve terkedilmiş Pb-Zn işletmesinin yapıldığı galeriden çıkan sızıntı maden sularından (Şekil 28 c ve d) kaynaklandığı, Mn, Fe, Al ve özellikle Pb elementlerinin TS266'nın kabul edilebilir sınır değerleri üzerinde konsantrasyona sahip olmasının, hâlihazırda çalışmaları sürdürülen Kırkpavli'de, açılan ve çalışma alanında açılacak olan galerilerden kaynaklı olmadığı değerlendirilmektedir.



Şekil 28. Dere suyu örneklerinin alındığı Sarı Dere çevresinde gözlenen alterasyonlar

Sular özellikleri bakımından mevsimsel ve hatta aylık periyotta büyük değişiklik gösterebildikleri gibi, aynı ay içerisinde bile içerdikleri element konsantrasyonları açısından farklılıklar gösterebilmektedir. Bu bağlamda çalışma sahası içinde yer alan Sarı Dere'den yağışlı ve kurak dönemler dikkate alınarak numune alınması ve dere suyunun Cu, Pb, Zn ve Fe gibi ağır metal konsantrasyonlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

### 3.5.2. Dere kumu örnekleri jeokimyasal analizleri yorumlanması

Maden yataklarının bulunduğu alanlarda kayaç ve toprak kırıntıları akarsular aracılığıyla taşınarak dere tabanında birikmekte ve sedimanları (dere kumlarını) oluşturmaktadır. Dere sedimanları, örnekleme noktasından itibaren havza içerisinde yukarı kesimlerde yer alan litolojik ve jeokimyasal birimlerin bileşimini temsil eden önemli göstergelerdir. Bu bağlamda çalışma alanı içinde yer alan Sarı Dere'den su numunelerinin alındığı noktalardan dere kumu örnekleme de yapılmıştır (Tablo 1 ve Şekil 26). Dere kumu örneklerinin analiz sonuçları, yer kabuğunda bulunan elementlerin bulunma miktarları (klark değerleri) ile karşılaştırılarak potansiyel ağır metal kirliliğine yönelik değerlendirmeler bu bölümde gerçekleştirilmiştir. Seçilmiş elementlere ait sonuçlar ve klark değerleri üzerinde çıkan sonuçlar altı çizili olarak Tablo 3'te, klark değerlere göre karşılaştırmalar ise Şekil 29'da verilmiştir.

Tablo 3. Dere kumu örneklerinin seçilmiş tüm kayaç iz element analiz sonuçları (ppm)

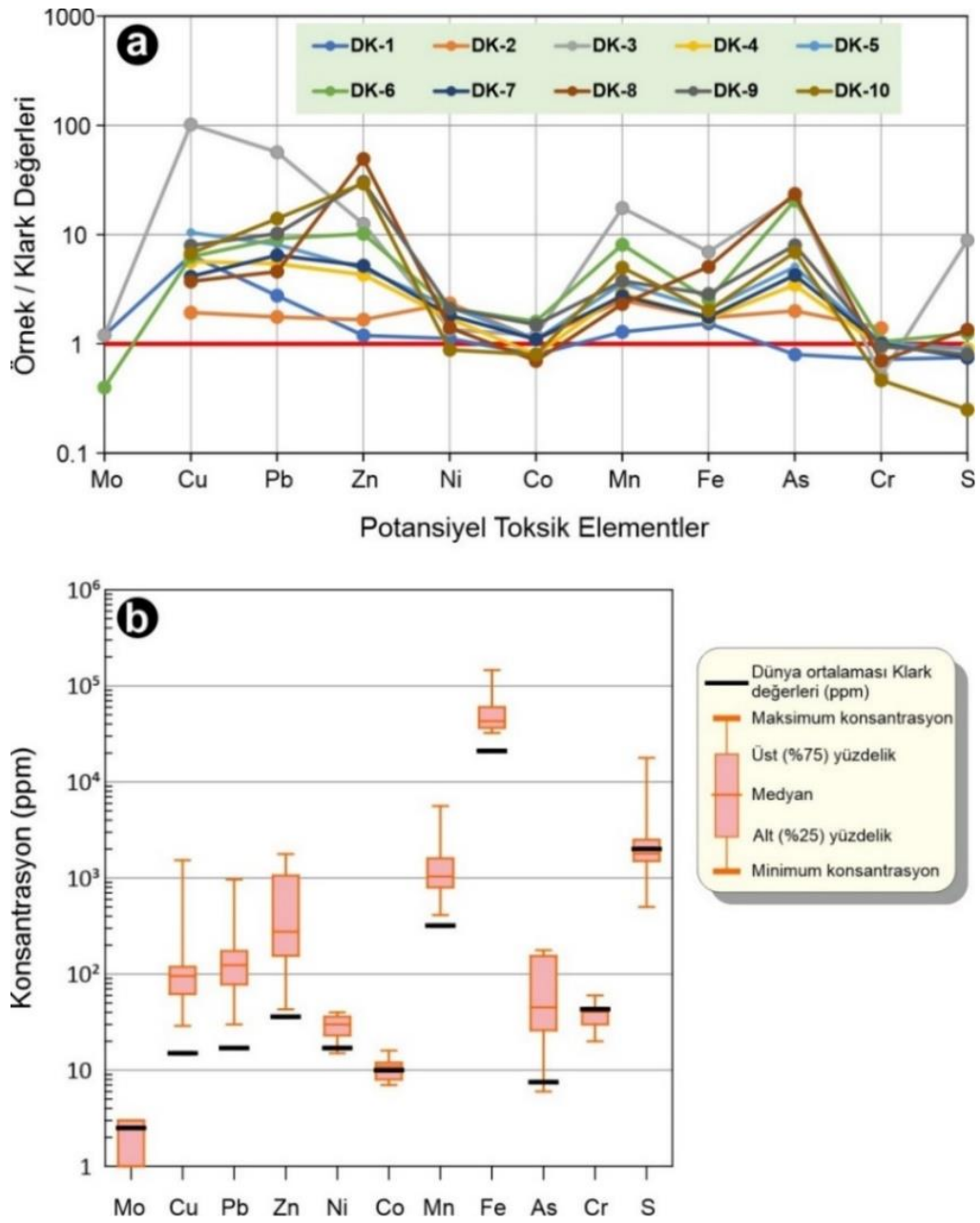
| İz elementler | Mo       | Cu          | Pb         | Zn          | Ni        | Co        | Mn          | Fe            | As         | Cr        | S            |
|---------------|----------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|-------------|---------------|------------|-----------|--------------|
| Klark değeri* | 2.5      | 15          | 17         | 36          | 17        | 10        | 320         | 21000         | 7.5        | 43        | 2000         |
| DK-1          | <u>3</u> | <u>97</u>   | <u>47</u>  | <u>43</u>   | <u>19</u> | <u>8</u>  | <u>412</u>  | <u>32300</u>  | 6          | 31        | 1500         |
| DK-2          | DLA      | <u>29</u>   | <u>30</u>  | <u>60</u>   | <u>40</u> | <u>11</u> | <u>797</u>  | <u>36500</u>  | <u>15</u>  | <u>60</u> | DLA          |
| DK-3          | <u>3</u> | <u>1530</u> | <u>965</u> | <u>452</u>  | <u>23</u> | <u>12</u> | <u>5615</u> | <u>145700</u> | <u>169</u> | 22        | <u>17800</u> |
| DK-4          | DLA      | <u>85</u>   | <u>92</u>  | <u>155</u>  | <u>29</u> | 8         | <u>927</u>  | <u>35800</u>  | <u>26</u>  | 40        | 1800         |
| DK-5          | DLA      | <u>157</u>  | <u>138</u> | <u>176</u>  | <u>37</u> | <u>11</u> | <u>1142</u> | <u>43500</u>  | <u>38</u>  | <u>44</u> | 1800         |
| DK-6          | 1        | <u>94</u>   | <u>156</u> | <u>366</u>  | <u>36</u> | <u>16</u> | <u>2596</u> | <u>53200</u>  | <u>154</u> | <u>45</u> | <u>2500</u>  |
| DK-7          | DLA      | <u>62</u>   | <u>110</u> | <u>187</u>  | <u>31</u> | <u>11</u> | <u>880</u>  | <u>37000</u>  | <u>32</u>  | 43        | 1500         |
| DK-8          | DLA      | <u>56</u>   | <u>78</u>  | <u>1776</u> | <u>24</u> | 7         | <u>742</u>  | <u>106800</u> | <u>177</u> | 30        | <u>2700</u>  |
| DK-9          | DLA      | <u>119</u>  | <u>174</u> | <u>1095</u> | <u>36</u> | <u>15</u> | <u>1201</u> | <u>60100</u>  | <u>60</u>  | 41        | 1600         |
| DK-10         | DLA      | <u>101</u>  | <u>238</u> | <u>1059</u> | 15        | 8         | <u>1600</u> | <u>42300</u>  | <u>52</u>  | 20        | 500          |

\*Klark değeri: Minerallerin yer kabuğunda bulunma oranları (Rose vd. 1979), DLA: Dedeksiyon Limiti Altında; Klark değerleri üzerinde çıkan sonuçlar altı çizili gösterilmiştir.

Çalışma alanındaki Sarı Dere'den alınan dere kumu örneklerinin iz element analiz sonuçları incelendiğinde Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn konsantrasyonlarının tüm örneklerde klark değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışında Mo, Ni, Co, As, Cr ve S konsantrasyonları bazı örneklerde klark değerlerin üzerinde, bazı numunelerde ise klark değerlerin altında veya dedeksiyon limitinin altında ölçülmüştür (Şekil 29 a,b). Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn konsantrasyonlarının tüm örneklerde klark değerlerinin üzerinde çıkması, alanda bulunan Pb-Zn cevherleşmesinin parajenezini oluşturan pirit (FeS), kalkopirit (CuFeS<sub>2</sub>), sfalerit (ZnS), galen (PbS) gibi sülfürlü minerallerin varlığından kaynaklandığı, özellikle DS-8, DS-9 ve DS-10 nolu örneklerde, Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn konsantrasyonlarının klark değerin üzerinde çıkması ve bu örneklerin diğer örneklerden yüksek konsantrasyona sahip olması, Sarı Dere içinde eski yıllarda açılmış ve terkedilmiş galeri ve çevresindeki kayaçlardaki yoğun alterasyonlar (Şekil 30) ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Dere kumu ve dere suyu analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi sonucu, her iki örneklenen materyalde de DS-8, DS-9 ve DS-10 nolu numunelerde Al, Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn elementlerinin yüksek konsantrasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Söz konusu bu elementlerin; gerek dere suyu numunelerinde, TS266'nın sınır değerleri üzerinde çıkması gerekse dere kumu numunelerinde klark değerin üzerinde olması alanda mostra veren hematitleşme, limonitleşme gibi alterasyonlar, çalışma sahasındaki

sülfürlü mineraller ve Sarı Dere içerisinde, maden sahasında herhangi bir faaliyet yapılmadan önce eski yıllarda açılmış galeriden çıkan sızıntı maden sularından kaynaklanmaktadır. Söz konusu numuneler, Sarı Dere içerisindeki eski yıllarda işletilmiş ve terkedilmiş galeriden sonra ve derenin akış yönünde alınmıştır (Şekil 30). Dolayısıyla dere kumu ve dere suyuna ait bu numunelerde Al, Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn elementlerinin yüksek konsantrasyona sahip olmasında aktif olarak çalışmaları sürdürülen Kırkpavli’de, açılan ve çalışma alanında açılacak olan galerilerden kaynaklı olmadığı, asıl etkenin Sarı Dere içindeki terkedilmiş galeriden çıkan sızıntı maden suları olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 29. Dere kumu örneklerinin klark değerlere göre karşılaştırılması, (Rose vd. 1979).



Şekil 30. Dere suyu ve dere kumu örnek alım noktalarının, çalışılan cevherleşmeler ve maden sahasında herhangi bir faaliyet yapılmadan önce eski yıllarda açılmış ve terkedilmiş galerilere göre konumlarını gösteren profil hattı

Periyodik olarak dere yatağından alınacak numunelerin analiz sonuçlarına göre Kırkpavli’de açılan ve açılacak olan galerilerden kaynaklı ağır metallerin asidik özelliğini nötr hale getirmek için bu alanda aktif veya pasif arıtma yöntemleri uygulanabilir. Pasif arıtma yöntemleri doğal ve suni bataklıklar, anoksik kireçtaşı drenleri, ardışık alkali üreten sistemler, kireçtaşı havuzları ve açık kireçtaşı kanalları şeklinde sıralanmaktadır (Karadeniz, 2005). Bu bağlamda Sarı Dere’nin yatağı boyunca sağ ve sol sahil yamaçlarına kireçtaşı bloklarının yerleştirilmesi şeklinde pasif arıtma yöntemi uygulanabilir. Aktif arıtmada ise ağır metal içeren asidik sular uygun bir yerde toplandıktan sonra, arıtma işleminde kullanılmak üzere seçilen kimyasallarla arıtma işlemi gerçekleştirilir (EPA, 1983). Bu çalışmada ilk olarak yüzeyde oluşturulacak drenaj sistemleri ile asidik suların bir alanda toplanması sağlandıktan sonra (ki bunun için en uygun lokasyonun DS-10 nolu örneğin alındı alan olduğu), Fe, Mn ve diğer ağır metal çökeltileri uzaklaştırmak için  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  vb. kimyasallar içeren çöktürme tankları ile suların asiditesinin nötralizasyonunun sağlanması gerekmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Gümüşhane ili sınırlarında Süleymaniye mevkiindeki Pb-Zn cevherleşmesinin; jeolojisi, petrografisi, cevher mikroskobisi ve maden sahasının bulunduğu vadiden akarak Harşit Çayına birleşen Sarı Dere'den alınan su ve dere kumu örnekleri ile alanın ağır metal kirliliğinin belirlenmesini konu alan bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

Gümüşhane ili merkezinin yaklaşık 7 km güney-güneybatısında, Süleymaniye Mahallesi sınırları içerisinde yer alan Kırkpavli Madeni çalışma sahasında yüzeyleyen jeolojik birimler, yaşlıdan gence doğru Gümüşhane Plütonu, Şenköy, Berdiga, Kermutdere ve Alibaba Formasyonları olarak belirlenmiştir.

Kırkpavli Pb-Zn cevherleşmesi, başlıca yoğun olarak Şenköy Formasyonu ile Berdiga Formasyonu içerisinde; nadiren de Gümüşhane plütonunun kenar zonlarında yapısal kontrol altında gelişmiş kırık, çatlak ve fay zonları boyunca; masif, damar ve damarcıklar şeklinde yoğunlaşmaktadır.

Hidrotermal çözeltilerin kayalarla etkileşimi sonucunda çalışma alanında ve çevresinde yaygın olarak silisleşme, serisitleşme, hematitleşme, limonitleşme ve kloritleşme alterasyonlarının geliştiği saptanmıştır.

Mikroskobik incelemeler sonucunda cevher minerallerinin başlıca pirit, galen, kalkopirit, sfalerit ve fahlerz minerallerinden oluştuğu; gang minerali olarak ise ağırlıklı olarak kuvarsın bulunduğu belirlenmiştir.

Dere suyu örneklerinin pH değerleri, "Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Standartları" kapsamında değerlendirildiğinde I. sınıf su kalitesine karşılık gelmekte olup, aynı zamanda TS 266 tarafından belirlenen 6.5–9.2 aralığında yer almaktadır.

Buna karşın, iz element analiz sonuçları dere suyu örneklerinde Mn, Fe, Al ve özellikle Zn ile Pb konsantrasyonlarının TS 266 sınır değerlerinin üzerinde olduğunu göstermektedir.

Dere kumu örneklerinde ise Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn elementlerinin tüm örneklerde klark değerlerinin üzerinde olduğu; Mo, Ni, Co, As, Cr ve S elementlerinin bazı örneklerde klark değerlerinin üzerinde, bazı örneklerde ise altında veya tayin limitinin altında kaldığı belirlenmiştir.

Dere suyu ve dere kumu verilerinin birlikte değerlendirilmesi, Al, Cu, Pb, Zn, Fe ve Mn gibi elementlerde gözlenen zenginleşmenin; sahada yüzeyleyen hematitleşme ve limonitleşme alterasyon zonları ile sülfürlü minerallerin y zeyssel ayrışma ve  z nme süreçleri sonucunda dere sistemine taşınmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Özellikle DS-8, DS-9 ve DS-10 numaralı örneklerde belirlenen yüksek metal konsantrasyonlarının, Sarı Dere içerisinde yer alan ve geçmişte açılmış terk edilmiş yeraltı galerilerinden sızan maden sularından kaynaklandığı; bu durumun mevcut madencilik faaliyetleri ile doğrudan ilişkili olmadığı değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda, Sarı Dere'de mevsimsel değişimler (yağışlı ve kurak dönemler) dikkate alınarak düzenli izleme çalışmaları yapılması önerilmektedir. Elde edilecek analiz sonuçlarına bağlı olarak, özellikle Cu, Pb, Zn ve Fe gibi ağır metallerin kontrol altına alınması ve olası asidik drenaj etkilerinin azaltılması amacıyla aktif veya pasif arıtma yöntemlerinin uygulanması ile çevresel ve biyolojik kirliliğin en az seviyeye indirilmesi uygun olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi* [Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Akaryalı, E. (2010). *Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) altın yatağının jeolojik, mineralojik, jeokimyasal ve kökensel incelenmesi* [Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Akaryalı, E. ve Tüysüz, N. (2013). Arzular (Gümüşhane, KD-TÜRKİYE) epitermal altın cevherleşme sahasındaki hidrotermal alterasyonlar ve kütle değişim hesaplamaları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 48-76. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/article/98602>
- Akaryalı, E., Akbulut, K., Akpınar, İ. ve Aydınçakır, E. (2015). Ünlüpinar (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn±Au cevherleşmesinin jeolojik, jeokimyasal ve kökensel olarak incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-17. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/article/98652>
- Akaryalı, E. (2016). Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb-Zn±Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides orogenic belt (NE Turkey). *Ore Geology Reviews*, 76, 117–134.
- Akaryalı, E., ve Akbulut, K. (2016). Constraints of C-O-S isotope compositions and the origin of the Ünlüpinar volcanic-hosted epithermal Pb-Zn±Au deposit, (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 130, 148–161.
- Akaryalı, E., Gücer, M. A. ve Alemdağ, S. (2018). Atık barajı rezervuarı ve cevher stok alanlarında asit maden drenajı (AMD) oluşumunun değerlendirilmesi: Gümüşhane örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 192–209. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dacd/article/415259>
- Akaryalı, E. ve Şal, F. (2020). Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) cevherleşmesinin jeolojik ve mineralojik incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 579-594. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusfenbil/article/746949>
- Amarasinghe, B. M. W. P. K. ve Williams, R. A. (2007). Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 132(1-3), 299–309.

- Aydurmuş, T. (2018). *Karadağ (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu skarn cevherleşmesinin petrografik ve sıvı kapanım özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Gümüşhane Üniversitesi.
- Çınar, S., Türk, O., Er, M., Güç, A., Musaoğlu, A., Gümüşel, A., Özdemir, M., ve Kurtoğlu, T. (1983). *Gümüşhane ili ve güneybatı yöresinin 1:25.000 ölçekli jeolojisi ile maden zuhurlarına ilişkin rapor* [Yayımlanmamış rapor]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). Rapor No. 1982.
- Çoğulu, E. (1970). *Gümüşhane ve Rize granitik plutonlarının mukayeseli petrolojik ve jeokrometrik etüdü* [Yayımlanmamış doçentlik tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Çoğulu, E. (1975). *Gümüşhane ve Rize bölgelerinin petrolojik ve jeokronolojik araştırması* (Yayın No. 1034). İTÜ Yayınları.
- Demir, Y. (2005). *Istala ve Köstere (Zigana/Gümüşhane) Cu-Pb-Zn madenleri ve yan kayaçlarının mineralojisi ve dokusal özelliklerinin karşılaştırmalı incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Demir, Y., Uysal, İ., Sadıklar, M. B. ve Sipahi, F. (2008). Köstere hidrotermal damar tipi yatakların (Gümüşhane, kuzeydoğu) mineralojisi, mineral kimyası ve sıvı kapanımlarının incelenmesi. *Neues Jahrbuch für Mineralogie- Abhandlungen*, 185(2), 173–193.
- Demir, Y., Sadıklar, M. B. ve Uysal, İ. (2013). Mineral chemical investigation on sulfide mineralization of the Istala deposit, Gumushane, NE-Turkey. *Ore Geology Reviews*, 53, 306–317.
- Dokuz, A., Dağ, S., Sipahi, F., Gücer, M. A., Zeybek, H. İ., Çavuşoğlu, İ. ve Aliyazıcıoğlu, Ş. (2011). Mescitli Formasyonu'na (Gümüşhane, Türkiye) ait kumtaşlarının endüstriyel hammadde olarak kullanım potansiyelinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 58–71.
- Eren, M. (1983). *Gümüşhane-Kale arasının jeolojisi ve mikrofasiyes incelemesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erşen, F. (2013). *Eski Gümüşhane (Gümüşhane/Merkez) manganez yataklarının mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Gümüşhane Üniversitesi.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafiz, M., Jacoby, W. R. ve Özer, R. (2006). Three-directional extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geologica Carpathica*, 57(5), 337–346.

- Güven, İ. H. (1990). *Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli derleme haritası* [Yayınlanmamış rapor]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA).
- Güven, İ. H. (1993). *Doğu Pontidler'in 1/250,000 ölçekli komplikasyonu* [Yayınlanmamış rapor]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA).
- Kandemir, R. (2004). *Gümüşhane ve yakın yöresindeki Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'nun çökel özellikleri ve birikim koşulları* [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C. (2009). Lithostratigraphy, facies and deposition environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(4), 586–601.
- Kaygusuz, A., Sipahi, F., İlbeyli, N., Arslan, M., Chen, B. ve Aydınçakır, E. (2013). Petrogenesis of the Late Cretaceous Turnagöl intrusion in the Eastern Pontides: Implications for magma genesis in the arc setting. *Geoscience Frontiers*, 4(4), 423–438. [https://www.researchgate.net/publication/255778338\\_](https://www.researchgate.net/publication/255778338_)
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ. (2016). U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. *Gondwana Research*, 39, 327–346.
- Kaygusuz, A., Aydınçakır, E., Yücel, C. ve Atay, H. E. (2021). Petrographic and geochemical characteristics of carboniferous plutonic rocks around Erenkaya (Gümüşhane, NE Turkey). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 10(1), 1667–1679.
- Lermi, A. (2003). *Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb yatağının jeolojik, mineralojik, jeokimyasal ve kökensel incelemesi* [Doktora tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Okay, A. I. ve Şahintürk, O. (1997). Geology of the Eastern Pontides. A. G. Robinson (Ed.), *Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region* içinde (ss. 291–311). AAPG Memoir 68.
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi* (Yayın No. 87). Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. ve Webb, J. S. (1979). *Geochemistry in mineral exploration* (2. baskı). Academic Press.

- Saydam, Ç. (2002). *Doğu Pontidler'de Geç Kretase yaşlı kırıntılı çökellerin sedimanter, petrografik ve organik jeokimyasal özellikleri* [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Saydam Eker, Ç., Korkmaz, S. ve Gencer Kurtoğlu, B. (2016). Doğu Karadeniz bölgesi, Kuzeydoğu Türkiye'deki Eosen lagün fasiyesinde oluşmuş kömürlerdeki organik jeokimya ve element dağılımı. *Turkish Journal of Earth Sciences* (Türk Yerbilimleri Dergisi), 25(5), 467–489.
- Semiz, Ü. (2019). *Şiran (Gümüşhane) ilçe merkezi içme sularının fiziksel ve jeokimyasal özelliklerinin araştırılması* [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Sipahi, F. ve Uslu S., 2016. Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 600. [https://www.researchgate.net/publication/306312849\\_](https://www.researchgate.net/publication/306312849_)
- Sipahi, F. (2011). Formation of skarns at Gümüşhane (Northeastern Turkey). *Neues Jahrbuch für Mineralogie- Abhandlungen*, 188(2), 173–193.
- Sipahi, F., Gücer, M. A., ve Sadıklar, M. B. (2020). Nature of clays in Late Cretaceous dacitic rocks in the eastern Sakarya Zone (NE Turkey): A geochemical and isotopic approach. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(6), 941–965.
- Sipahi, F., Kaygusuz, A., Saydam Eker, Ç., Vural, A., ve Akpınar, İ. (2018). Late Cretaceous arc igneous activity: The Eğrikar monzogranite example. *International Geology Review*, 60(15), 1827–1846. [https://www.researchgate.net/publication/317421162\\_](https://www.researchgate.net/publication/317421162_)
- Tokel, S. (1972). *Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region (NE Turkey)* [Yayımlanmamış doktora tezi]. University College London.
- Topal, M. ve Arslan Topal, E. A. (2011). Maden sahasından kaynaklanan sızıntı sularının Maden çayına etkisi: I. Ağır metaller. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(1), 1-8.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., ve Schwarz, W. H. (2004b). Low grade metamorphic rocks from the Pulur complex, NE Turkey: Implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides. *International Journal of Earth Sciences*, 93(1), 72–91.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W. H., Dokuz, A., ve Meyer, H. P. (2007). Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 96(5), 861–873. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007IJEaS..96..861T/abstract>

- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W. H., Zack, T., Hasözbeğ, A., Barth, M., Satır, M., ve Şen, C. (2010). Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton, NE Turkey. *Lithos*, 116(1-2), 92–110.
- Türk-Japon Ekibi. (1985). *The Republic of Turkey report on the cooperative mineral exploration of Gümüşhane area, phase 1*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA).
- Tüysüz, N., Özdoğan, K., Er, M., Yılmaz, Z., ve Ağan, A. (1994). Pontit adayıyında Carlin tipi Kaletaş (Gümüşhane) altın zuhuru. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37(1), 59-69.
- Tüysüz, N. (1995). Lahanos (Espiye-Giresun) masif sülfid yatağına ait cevher mineralleri ve dokularının cevher oluşumu açısından incelenmesi. *Geosound/Yerbilimleri*, (26), 11-20.
- Tüysüz, N., Sadıklar, B., Er, M., ve Yılmaz, Z. (1995). An epithermal gold-silver deposit in the Pontide island arc, Mastra Gumushane, Northeast Turkey. *Economic Geology*, 90(5), 1301-1309.
- Tüysüz, N. (2000). Geology, lithogeochemistry and genesis of the Murgul massive sulfide deposit, NE Turkey. *Chemical Geology*, 170(1-4), 229-240.
- Tüysüz, N. ve Uzun, C. (2019). *Kurtoğlu meta-granitinin (Gümüşhane) jeokimyasal ve izotopik özellikleri* [Yüksek lisans tezi]. Gümüşhane Üniversitesi.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1983). *Design manual: Neutralization of acid mine drainage* (Report No. EPA-600/2-83-001). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- Uslu, S., 2014. Gümüşhane İl Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Vural, A. ve Erdoğan, M. (2014). Eski Gümüşhane Kırkpavli alterasyon sahasında toprak jeokimyası çalışması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1–15. [https://dergipark.org.tr/en/pub/gumusfenbil/article/98626?issue\\_id=7485](https://dergipark.org.tr/en/pub/gumusfenbil/article/98626?issue_id=7485)
- Vural, A. (2022). Hidrotermal alterasyona bağlı element kirliliği: Canca (Gümüşhane-Türkiye). *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, 5(2), 87-103. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jiet/article/1182222>
- Vural, A. ve Kaygusuz, A. (2025, 6-7 Ekim). Kuzeydoğu Türkiye’de Avliyana (Gümüşhane) Sahası Topraklarındaki İz Elementlerin Jeokimyasal

Zenginleşmesi/Kirlilik Düzeylerinin Tespiti [Tam metin bildirisi]. *3rd International Conference on Pioneer and Innovative Studies, Konya, Türkiye.*

Yazıcı, N. (2019). *Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezi içme sularının hidrojeokimyasal özellikleri ile yan kayaçlarla olan ilişkilerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

Yılmaz, Y. (1972). *Petrology and structure of the Gümüşhane Granite and the surrounding rocks, NE Anatolia* [Doctoral dissertation, University of London].

Yılmaz, M. (2016). *Eğrikar (Torul, Gümüşhane) Fe-Cu Skarn Cevherleşmesinin Petrografik ve Jeokimyasal Açından İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi].

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Nurten Tuğçe ŞENSOY

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Yüksek Lisans Öğrenimi : Gümüşhane Üniversitesi

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (A2 seviye)

### İş Deneyimi

Stajlar : DSİ 22. Bölge Müdürlüğü ve DSİ. 25. Bölge  
Müdürlüğü

Çalıştığı Kurumlar : Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş  
Gümüşhane Flotasyon Tesisi (2,5 yıl)

Tarih : 22.05.2026