

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

BEZENDİ (KELKİT-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn-Cu CEVHERLERİNİN
JEOLojİK, MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bilal İNCE

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Yılmaz DEMİR

JÜRİ ÜYELERİ
Prof. Dr. Raif KANDEMİR
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER

RİZE-2021
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BEZENDİ (KELKİT-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn-Cu CEVHERLERİNİN JEOLojİK,
MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Doç. Dr. Yılmaz DEMİR danışmanlığında, Bilal İNCE tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 10/11/2021 tarihinde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Doç. Dr. Yılmaz DEMİR	
Üye	: Prof. Dr. Raif KANDEMİR	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Bezendi (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn-Cu cevherinin jeolojik ve mineralojik özellikleri ile oluşum şartları ve kökeni araştırılmış, bu kapsamda saha çalışmaları ile mineral kimyası, sıvı kapanım ve duraylı izotop jeokimyası analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında önerileri ve katkıları için danışman hocam sayın Doç. Dr. Yılmaz DEMİR'e minnet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, arazi çalışmalarında yardımlarından dolayı Gümüşhane Üniversitesinden Öğr. Gör. İbrahim AKPINAR'a, mineral kimyası analizlerinin yapımında destek sağlayan Ankara Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Kıymet DENİZ'e ve Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Araştırma Merkezi (YEBİM) yöneticilerine, kükürt izotopları analizlerindeki katkılarından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve çok değerli eşim Jeo. Müh. Pınar İNCE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunar, bu çalışmanın vatanıma ve milletime faydalı olmasını temenni ederim.

Bu Yüksek Lisans Tezi RTEÜ Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından FYL-2018-966 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bilal İNCE

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Bezendi (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn-Cu Cevherlerinin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu tezi Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 21.10.2021.

Bilal İNCE

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

BEZENDİ (KELKİT-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn-Cu CEVHERLERİNİN JEOLJİK, MİNERALOGİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bilal İNCE

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Yılmaz DEMİR

Bezendi cevheri Şenköy Formasyonu içindeki kırıklar boyunca yan kayaç içinde epijenetik olarak yerleşmiştir. Damar tip cevher yapısının yanı sıra saçınımlı, breşik, zonlu ve bantlı cevher yapıları sahada makro olarak izlenmektedir. Pirit, arsenopirit, pirotin, kalkopirit, sfalerit ve galen cevher, kuvars, barit ve kalsit ise gang minerallerini oluşturmaktadır. Bu özellikler Bezendi cevherleşmesinin hidrotermal damar tipte geliştiğini göstermektedir.

Sıvı kapanım çalışmalarına göre, ilki 342 ile 455 °C arasında, ikincisi ise 214 ile 326 °C arasında olmak üzere iki farklı cevher oluşum evresi belirlenmiştir. İlk evrede oluşan sıvı kapanımların tuzluluğu ağırlık % 7.1 ile ağırlık % 16 NaCl eşd. arasında değişirken, ikinci evrede oluşan sıvı kapanımların tuzluluğu 2.7 ağırlık % NaCl eşd. ile % 6 ağırlık % NaCl eşd. arasında değişmektedir. Sıvı kapanımları homojenleşme sıcaklıkları ile tuzluluk miktarı arasında gözlenen pozitif yönlü ilişki sisteme meteorik çözelti karışımına işaret etmektedir.

Sülfür minerallerinden ölçülen kükürt izotop sonuçları 1.4‰ ile -20.5‰ arasında olup bu değerler çözelti kaynağının magmatik bileşimli çözeltilerin yanında bazaltik bileşimli yan kayaçlar veya sedimanter kayaçlarla olan etkileşim olabileceğini göstermektedir. Mineral kimyası analiz sonuçlarına göre pirit, arsenopirit ve pirotinlerin bileşiminde 7.65 ağırlık %'ye varan oranda Co belirlenmiştir. Bu yüksek Co değerleri hidrotermal çözeltilerin yan kayaçlarla etkileşimine işaret etmektedir.

2021, 69 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bezendi, Sıvı Kapanım, Mineral Kimyası, Kükürt İzotopu, Kelkit-Gümüşhane

ABSTRACT

INVESTIGATION OF GEOLOGICAL, MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL PROPERTIES OF THE BEZENDİ (KELKİT-GÜMÜŞHANE) Pb-Zn-Cu MINERALIZATIONS

Bilal İNCE

Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Üyesi Yılmaz DEMİR

The Bezendi mineralization was epigenetically formed along with the fractures of the Şenköy Formation. In addition to the vein-type ore structure, disseminated, brecciated, zoned, and banded ore structures are observed in the field macroscopically. Pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, sphalerite and galena constitute ore minerals, while quartz, barite, and calcite constitute gangue minerals. These features indicate that the Bezendi mineralization has developed a hydrothermal vein type.

According to the fluid inclusion studies, two different ore formation phases were determined in the ore, the first being between 342 and 455 °C and the second between 214 and 326 °C. The salinity of the fluid inclusions formed in the first phase was 7.1 to 16 wt.% NaCl equ., while the salinity of the fluid inclusions formed in the second phase varies between 2.7 and 6 wt.% NaCl equ. The positive trend observed between the homogenization temperatures and the salinity indicates that the meteoric solution mixed into the hydrothermal solutions.

The sulfur isotope results measured from sulfur minerals are between 1.4‰ and -20.5‰, and these values indicate that the hydrothermal solutions possibly originated from magmatic sources, as well as the interaction of basaltic and sedimentary country rocks. According to the results of mineral chemistry analysis, Co was determined up to as high as 7.65 wt.% in the composition of pyrite, arsenopyrite, and pyrrhotite. These high Co values indicate the interaction of hydrothermal solutions with the basaltic host rocks.

2021, 69 pages

Key Words: Bezendi, Fluid Inclusions, Mineral Chemistry, Sulphur Isotopes, Kelkit-Gümüşhane

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım	2
1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.4. Önceki Çalışmalar	2
1.5. Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ANALİTİK YÖNTEMLER.....	10
2.1. Arazi Çalışması.....	10
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	10
2.2.1. Petrografik İnce Kesitler.....	10
2.2.2. Petrografik Parlak Kesitler	11
2.2.3. Sıvı Kapanım Kesitleri	11
2.2.4. Mineral Kimyası Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması	11
2.2.5. Kükürt İzotop Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması	12
2.3. Büro Çalışmaları.....	12
2.4. Analitik Yöntemler	13
2.4.1. Mineral Kimyası Analizleri.....	13
2.4.2. Sıvı Kapanımın Mikrotermometrik Ölçümleri	13
2.4.3. Kükürt İzotop Analizleri.....	14
3. BULGULAR	15
3.1. İnceleme Alanının Stratigrafisi ve Petrografisi	15
3.1.1. Şenköy Formasyonu	15

3.1.2.	Berdiga Formasyonu.....	17
3.2.	Sütveren-Bezendi Yöresinin Maden Jeolojisi ve Mineralojisi	18
3.3.	Sülfür Kimyası.....	29
3.3.1.	Pirotin	29
3.3.2.	Pirit	30
3.3.3.	Arsenopirit	32
3.4.	Sıvı Kapanımlar	37
3.4.1.	Sıvı kapanım Petrografisi	39
3.4.2.	Ötektik Sıcaklık (T _{fm}) Ölçümleri	40
3.4.3.	Son Buz Ergime Sıcaklığı (T _{m-ice}) Ölçümleri	41
3.4.4.	Homojenleşme Sıcaklığı (T _h) Ölçümleri	42
3.5.	Kükürt İzotop Çalışması.....	45
4.	TARTIŞMALAR.....	48
4.1.	Bezendi Cevherinin Jeolojik Mineralojik Özellikleri ve Yatak Tipi.....	48
4.2.	Hidrotermal Çözeltilerin Bileşimi ve Kökeni.....	49
4.3.	Bezendi Cevherinin Oluşum Koşulları.....	50
5.	SONUÇLAR.....	52
6.	ÖNERİLER	53
7.	KAYNAKLAR.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Türkiye'nin tektonik birliktelikleri (Okay ve Tüysüz, 1999).....	5
Şekil 2.	Çalışma alanını da içine alan bölgenin jeoloji haritası (Okay ve Şahintürk, 1997'den alınmıştır. 1: Granit (Karbonifer), 2: Pulur Metamorfikleri (Karbonifer), 3: Metatüf, fillat, mermer (Triyas Öncesi), 4: Kumtaşı, kireçtaşı, şeyl (Üst Karbonifer), 5: Çimendağ Napı (Üst Kretase), 6: İmalıdağ Napı (Jura-Kretase), 7: Volkanoklastik ve karbonat kayaları (Jura-Kretase), 8: Ofiyolitik Melanj (Üst Kretase), 9: Peridotit (Üst Kretase), 10: Rudistli kireçtaşı (Üst Kretase), 11: Fliş (Alt Eosen), 12: Granitoid (Eosen), 13: Kumtaşı, kireçtaşı, volkanit.....	6
Şekil 3.	Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası.....	16
Şekil 4.	Şenköy Formasyonu içerisinde silisleşmiş bazalt ve altere breşik andezit, b: Şenköy Formasyonu tabakalı kumtaşları, c: Andezit içerisinde yoğun barit-kalsit damarı ve bu damar içerisinde bulunan galen minerali, d: Şenköy bazaltları içerisindeki barit damarları.....	17
Şekil 5.	a: Kızılkaya Tepe ve kömür pasalarının uydu görüntüsü, b: Kızılkaya Tepe ve kömür pasalarının arazi görüntüsü.	18
Şekil 6.	Sondaj ve Açık yarmanın Google Earth görüntüsü, b: Kuvars-Kalsit Damarları doğrultusunda açılan yarma, c: Çalışma sahasında açılan kapalı galeri ve yarmaların Google Earth görüntüsü, d: Kalsit-Kuvars damarı doğrultusunda açılan kapalı galeri, e: Çalışma sahasında araştırma sondajı yapılan alanın Google Earth görüntüsü, f: Molloğlu Değirmeni yakınlarında yapılan sondaj çalışmalarından bir görüntü.	19
Şekil 7.	a: Açık yarmada gözlemlenen cevherli damar yapıları, b: Açık yarmanın hemen yanında bulunan kapalı galeri c: Cevherli damarların yakından görünümü (pirit, kalkopirit, malahit, azurit, kalkantit, d: Açık yarmanın yaklaşık 20m güneyinde yapılan sondaj karotu.	20
Şekil 8.	a: Sütveren köyü kuzeyi arama galerisi, b: Arama galerisi içinde bulunan barit-kalsit gangli galenli damar.....	21
Şekil 9.	a-b-c : Molloğlu Değirmeni bölgesinde yapılan arama sondajının değişik seviyelerdeki cevherli karotları.....	21
Şekil 10.	a: Hamitin Değirmeni bölgesindeki pirit saçınımlı silisleşmiş andezit mostrası, b: Bezendi Dere yamacındaki silisifiye cevherli zon, c: Cevherli pirit, pirotin, hematit silisifiye andezit mostrası.	22
Şekil 11.	a: Molloğlu Değirmeni bölgesi uydu görüntüsü, b: Silisifiye andezit stokları c: Demir Şapka oluşumu ve killeşme, d: Andezit mostra içinde pirit, galen, kuvars birlikteliği.	22
Şekil 12.	a: Gögelen Tepe yamacındaki kapalı galeri b: Galeri boyunca devam eden damar ve yankayaç.	23
Şekil 13.	K25B doğrultulu silis kafası b: Silis kafası içerisindeki makro cevherleşme (Kalkopirit, Sfalerit).	24

Şekil 14. Şenköy Formasyonu içindeki andezitik stok, b: Andezitik stok içindeki cevherleşme c: Epidotlamanın yoğun olduğu andezitik stok, d: Epidotlaşma ve cevherleşme.	24
Şekil 15. Kalkopirit ve ikincil karbonatlaşma, b: Kalkopirit içindeki galen oluşumları c: Kalkopirite eşlik eden bornit, d: İleri derece ayrıışmış kalkopirit ve karbonatlaşma.(Kpy:Kalkopirit, Bn: Bornit, Gn: Galen, Ks: Kalkozin.....	25
Şekil 16. a: Konglomera yapısı, b: Saçınımlı pirit ve kalkopirit c: Kalkopirit, Pirotin ve barit gülü (Gng), d: Pirotin kırıklarında gelişen kalkopirit, e: Saçınımlı pirit ve kalkopiriti kesen gang barit, f: Arsenopiriti ornatın kalkopirit. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Pir: Pirotin, Asp: Arsenopirit.	26
Şekil 17. a: Hematit boşluklarında gelişen pirit, b: Pirotin, sfalerit, kalkopirit ve galen birlikteliği c: İskelet dokulu pirit ve kalkopirit, d: Pirotin, pirit, kalkopirit sfalerit ve galen ornatımları. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Gn: Galen, Pir: Pirotin, Sph; Sfalerit, Hm: Hematit.....	27
Şekil 18. a: Üçgen yapılı galen, b: Kenarlarından ayrıışmış kalkopirit c-d: Sfalerit, kalkopirit ve galen parajenezi. Gn: Galen, Kpy: Kalkopirit, Sph: Sfalerit.	28
Şekil 19. a: İskelet dokulu pirit ve kalkopirit, b: Spekularit ve kalkopirit parajenezi c: Kalkopirit ve bornit parajenezi, d: kalkopirit kenarlarında malahit-azurit oluşumları. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Spe: Spekularit.	29
Şekil 20. Pirotin minerallerindeki a) Fe-Co arasındaki negatif korelasyon, b) Fe-Ni arasındaki negatif korelasyon, c) S-Co arasındaki pozitif korelasyon, d) S-Ni arasındaki negatif korelasyon.	30
Şekil 21. a, b, c) Pirit minerallerindeki Fe ile Co, Ni ve As arasındaki negatif korelasyonlar, d) Pirit minerallerindeki S ile Co arasındaki korelasyon.....	31
Şekil 22. Arsenopirit minerallerindeki a) Co-Fe arasındaki negatif korelasyon, b) As-Co ilişkisi, c) Sb ile As arasındaki negatif korelasyon, d) As-S arasındaki negatif korelasyon.	32
Şekil 23. A, b) Kuvars minerallerindeki Tip I sıvı kapanımlar, c, d) kuvars minerallerindeki Tip II sıvı kapanımlar.	40
Şekil 24. Kuvars minerallerindeki Tip I ve Tip II sıvı kapanımların Ötektik sıcaklıklarına karşılık tuzluluk değışimleri.	41
Şekil 25. a) Kuvars minerallerindeki Tip I ve Tip II sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığına karşılık tuzluluk değışimleri.	42
Şekil 26. Kuvars minerallerindeki Tip I ve Tip II sıvı kapanımların Homojenleşme sıcaklığı histogramı.	43
Şekil 27. Bezendi cevherine ait sıvı kapanımların TH-Tuzluluk değışimlerinin farklı yatak tipleri ile kıyaslanması (Wilkinson, 2001'den alınmıştır).	43
Şekil 28. a) Farklı jeolojik ortam ve kayaç türlerinin $\delta^{34}\text{S}$ izotop bileşimlerindeki değışimler (Ohmoto ve Rye, 1979 ve Hoefs, 2004). b) Bezendi cevherindeki pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ izotop bileşimleri.....	46

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Pirotin minerallerinde ölçülen mineral kimyası analiz sonuçları.	33
Tablo 2. Pirit minerallerinde ölçülen mineral kimyası analiz sonuçları.	34
Tablo 3. Arsenopirit minerallerinde ölçülen mineral kimyası analiz sonuçları.....	36
Tablo 4. Kuvars minerallerindeki sıvı kapanımlara ait mikrotermometrik parametreler.	44
Tablo 5. Bezendi cevherindeki pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinin kükürt izotop bileşimleri ve çeşitli mineral çiftlerinden hesaplanan dengelenme sıcaklıkları. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Sph: Sfalerit, Gn: Galen.....	45



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μm	Mikrometre
cm	Santimetre
Gl	Galen
gr	Gram
Ba	Barit
Apy	Arsenopirit
Pr	Pirotin
Ka	Kalsit
Kçt	Kireçtaşı
Kl	Klorit
Km	Kilometre
Kov	kovelin
Kpy	Kalkopirit
Ku	Kuvars
m	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
My	Milyon yıl
Op	Opak Mineral
Or	Ortoklas
Pl	Plajiyoklas
Py	Pirit
Sf	Sfalerit
$\delta^{34}\text{S}$	Kükürt İzotop Bileşimi
T_{fm}	İlk Buz Ergime Sıcaklığı
$T_{\text{m-ice}}$	Son Buz Ergime Sıcaklığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Gümüşhane ili maden potansiyeli bakımından ülkemizin önemli sahalarından birisidir. Bölgedeki maden yatak ve zuhurlarından bazıları Istala (Torul), Köstere (Torul), Düzköy (Kürtün), Midi (Karamustafa), Eğrikar (Kürtün), Hazinemağara, Kırkpavli, Mastra, Arnastal, Bahçecik, Eskiköy, Belentepe, Melek, Karadağ şeklinde sıralanabilir. Bu yataklardan bazıları eski dönemlerde ilkel şartlarda işletilmiş iken, bazıları modern madencilik yöntemleri ile halen işletilmekte ve bazıları ise prospeksiyon çalışmaları devam etmektedir. Bu yataklarla ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yapılmış olup oluşum şartları ve kökensel özellikleri detaylı olarak irdelenmiştir.

Ancak bölgede bilinen sahaların dışında prospeksiyon aşamasında olan sahalar da bulunmakta olup Bezendi sahası bunlardan birisidir. Bezendi Köyü çevresinde bulunduğu için Bezendi sahası olarak adlandırılan alanda çok sayıda cevher lokasyonu bulunmakta olup bunların jeolojik ve mineralojik özellikleri henüz ortaya çıkarılmamıştır. Bunun yanında söz konusu sahada bulunan cevherin oluşum şartları ve kökensel özellikleri de bilinmemektedir. Bundan dolayı bu tez çalışması kapsamında Bezendi sahasında bulunan cevherleşmenin jeolojik ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesinin yanında cevherin kökensel özellikleri ve oluşum şartlarının ortaya konması da hedeflenmiştir.

Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda Bezendi sahasının jeolojik ve mineralojik özellikleri belirlendikten sonra mineral kimyası çalışmaları ile cevher minerallerinin bileşimleri ve kökensel özellikleri ortaya konmuştur. Sıvı kapanım çalışmaları ile cevheri oluşturan çözeltilerin oluşum şartları (sıcaklık, basınç vb.) ve bu çözeltilerin bileşimsel özellikleri (tuzluluk miktarı, olası tuz türleri) belirlenmiştir. Pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinde gerçekleştirilen kükürt izotopları ile de bu çözeltilerin kökensel özellikleri ortaya konmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen bulguların hem Bezendi sahasının oluşum şartları ve kökensel özelliklerinin belirlenmesine, hem de bölgede bilinen diğer cevherleşmeler arasındaki kökensel ilişkinin kurulmasına olanak sağlanması hedeflenmiştir.

1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Gümüşhane iline bağlı Kelkit ilçesi Bezendi Köyü sınırları içerisinde bulunmakta ve 1/25.000 ölçekli H42-c1 pafta sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı doğuda Ünlüpınar (Pekün) Beldesi, güneyde ise Kelkit ilçesine bağlı Gümüşgöze Köyü tarafından çevrilmiştir. Bezendi köyü Kelkit'in Kuzeybatısında bulunmakta olup Kelkit ilçe merkezine 21 km uzaklıktadır. Çalışma alanının yakın çevresinde bulunan diğer yerleşim yerleri Sütveren ve Gümüşgöze köyleridir. Kelkit ilçe merkezinden Sütveren ve Bezendi köylerine ulaşım asfalt yol ile, diğer köylere ve çalışma alanı içerisindeki alanlara ulaşım ise stabilize yollar ile sağlanmaktadır.

1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü

Zigana Dağları güneyinde bulunan çalışma alanında orta derecede engebeli bir plato morfolojisi hakimdir. Çalışma alanı içerisindeki önemli yükseltileri Tilkini tepe (1878 m), Bezendi tepe (1835 m) ve Sütüçtikleri tepe (1721 m) oluşturmaktadır. Sahadaki en önemli su kaynağı Bezendi dere (1570 m) olup, kuzeydoğudan güneybatıya akmaktadır. Bezendi deresini Peküt, Kanlı, Kavşaklar, Gözeler, Gümüşgöze, Bostanlar ve Yenice dereleri beslemektedir. Bunlar dışında az miktarda su taşıyan veya tamamen kuru olan dereler ile birlikte çok sayıda göze de gözlenmektedir. Kelkit bölgesinde yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı karasal iklim özellikleri egemendir. Çalışma alanının büyük kısmı bitki örtüsü içermeyen açık alan ve mostralardan oluşur. Bununla birlikte sahanın kuzey, batı ve kuzeybatısında meyve ağaçlarıyla birlikte ladin ve çam ağaçları bulunur. Çoğunlukla ekili olmayan çalışma alanında çayırılık alanlara sıkça rastlanmaktadır. Bölge halkı geçimini ağırlıklı olarak hayvancılıktan sağlamaktadır.

1.4. Önceki Çalışmalar

Ketin (1951), bölge jeolojisini ilgilendiren çalışmasında; bölgenin en eski kayaların metamorfizmlerden oluştuğunu ve bunların da granit, siyenit ve andezitlerle

kesilmiş olduğunu belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı çalışmasında bölgedeki bütün birimlerin geçirmiş oldukları tektonik fazları belirlemiştir.

Yılmaz (1985), “Kelkit (Gümüşhane) Yöresinin Jeolojisi” adlı çalışmasında Üst Kretase döneminde yörenin Hankırı Tepe dışındaki kesimlerinin kara halinde kaldığını, denizin inceleme alanının batısında egemen olduğunu ve Üst Kretase sonunda derin bir aşınmaya uğradığını belirtmiştir. Paleosen oluşuklarının ise, sığ ortamdan derin deniz ortamına kadar değişik fasiyeslerde çökellerle temsil edilmesini ve yer yer volkanizmanın egemen olmasını, bu dönemde duraysız bir ortamın varlığı şeklinde yorumlamıştır. Ayrıca Paleosen yaşlı kayaçların aşınmaya karşı dayanımsız olmalarını ve stratigrafik istifin üst seviyelerinde yer almasını, geçen zaman sürecinde aşınarak artık gözlenememesi şeklinde yorumlamıştır.

Gürsoy (1989), Kelkit (Gümüşhane) ve yakın dolayının stratigrafik ve tektonik özelliklerini ortaya koymaya çalıştığı çalışmasında, çalışma alanında yüzeyleyen birimleri jeolojik konumlarına dayanarak otokton ve allokton olmak üzere iki ana kategoriye ayırmış ve incelemiştir. İnceleme alanındaki otokton birimlerin tabanını metamorfik bir temel içerisine yerleşen Gümüşhane Granitoidi’nin oluşturduğunu ve bu temelin Liyas-Dogger yaşlı volkano-tortul bir istiftten oluşan Kelkit Formasyonu tarafından transgresif olarak örtüldüğünü belirtmiştir.

Kandemir (2004), doktora tezinde, Gümüşhane ve yakın çevresinde Gümüşhane Graniti üzerinde uyumsuzlukla yer alan üstten ise Berdiga Formasyonu tarafından uyumlu üstlenen birimleri Şenköy Formasyonu olarak adlandırmıştır

Aslan (2011) Mastra (Gümüşhane) Yatağında yaptığı Yüksek Lisans çalışmasında, Eosen yaşlı andezitik bileşimli volkanik ve volkanoklastik kayaçların sahada yoğun olduğu ve cevherleşmenin fay zonu içine yerleşen kuvars damarlarından oluştuğunu belirtmiştir. Bu damar zonlarında kloritleşme, karbonatlaşma, epidotlaşma, serizitleşme, silisleşme ve killeşme ile temsil edilen hidrotermal alterasyonların varlığını belirlemiştir. Alterasyon, cevher mikroskobisi, sıvı kapanım ve izotop çalışmaları neticesinde Mastra Au-Ag madeninin adularya-serizit tip bir epitermal sistem olduğu belirlemiştir.

Akbulut vd. (2014), Gümüşdamla Yayla (Kelkit- Gümüşhane) Pb-Zn±Au±Ag cevherleşmesinin petrografik özelliklerini ortaya koymuş, cevher mineral parajenezi pirit, kalkopirit, sfalerit, galen altından, kuvars ve kalsit mineralinden oluştuğunu,

volkanitlerin mineral kimyasına göre klinopiroksenlerin ojit bileşiminde olduğu, cevher minerallerin mineral kimyasına göre cevherleşmenin magmatik kökenli olduğunu belirlemişlerdir.

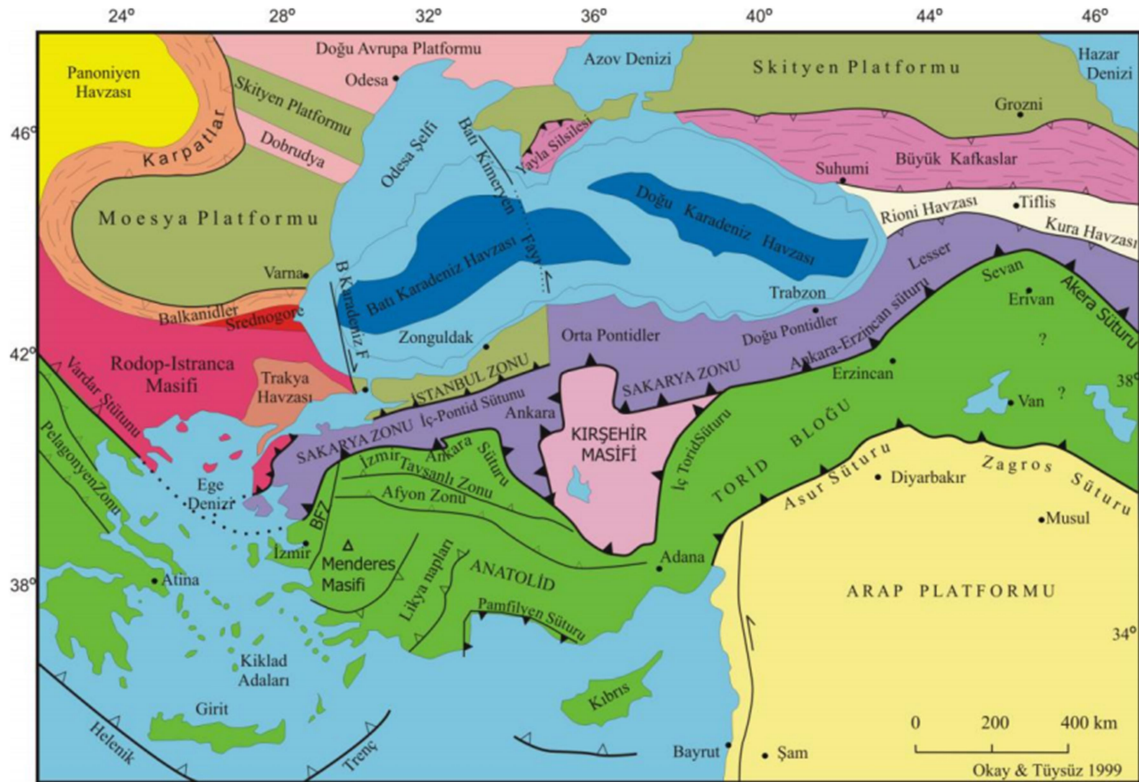
Akbulut vd. (2015), Ünlüpınar (Kelkit, Gümüşhane) Zn-Pb-Cu±Au cevherleşmesinin jeolojik, jeokimyasal ve kökensel özelliklerini ortaya koymuştur. Cevherleşmenin Şenköy Formasyonuna ait bazaltik andezitler içinde geliştiğini ve cevherleşme parajenezinin oluşum sırasına göre pirit, kalkopirit, sfalerit, galen, altın, kuvars ve kalsit olarak tespit edildiğini belirtmişlerdir. Sıvı kapanım çalışmalarına göre cevherleşmenin oluşum sıcaklığının 80-280°C arasında değiştiğini, kükürt izotop termometresine göre ise cevherleşmenin oluşum sıcaklığının ortalama 264°C olduğunu belirlemişlerdir.

1.5. Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi

Doğu Karadeniz Bölgesi'ni de kapsayan Anadolu levhası jeolojik özelliklere göre Sakarya Zonu, İstanbul Zonu, Rodop Istranca Zonu, Torid-Anatolid Bloku ve Arap Platformu olmak üzere beş ana tektonik birliğe ayrılmaktadır (Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 1). Bunlardan Sakarya zonu Paleozoyik yaşlı kristalen temel kayaları ve bunları örten Mезezoyik ve Senezoyik seri ile temsil olunur. Sakarya zonunun doğusuna karşılık gelen Doğu Karadeniz Bölgesi yaklaşık 500 km uzunluğa ve 100 km genişliğe sahiptir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Paleozoyik yaşlı metamorfik bir temel üzerinde, değişik yaş aralıklarında tortul, volkanik, volkano-tortul birimlerle yer yer bu birimleri kesen plütonik kayalar yüzeylemektedir.

Bölgenin en yaşlı brimleri Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar oluşturup Gümüşhane-Arzular (Köse Graniti ve Kurtoğlu Metamorfiti), Bayburt-Demirözü (Pulur Masifi), Tokat-Amasya (Tokat Masifi), Artvin-Yusufeli (Karadağ Metamorfitleri) Giresun-Dereli (Kotana Metamorfitleri) çevrelerinde yüzeyleme verir (Şekil 2). Farklı araştırmacılar tarafından farklı adlarla anılan metamorfitle Pulur metamorfitleri (Ketin, 1951), Ağvanis masifi (Okay, 1983), Pulur masifi (Korkmaz ve Baki, 1984; Topuz vd., 2005 ve 2007), Kotana metamorfitleri (Boynukalın, 1990), Karadağ metamorfitleri (Dokuz, 2000), Tokat masifi (Yılmaz, 2004) gibi isimler verilmiştir.

Topuz (2000), Gümüşhane çevresinde yayılım gösteren metamorfitlerin yaşını U-Pb, Ar-Ar ve Rb-Sr yöntemlerine göre 260 -330 my arasında saptamıştır.



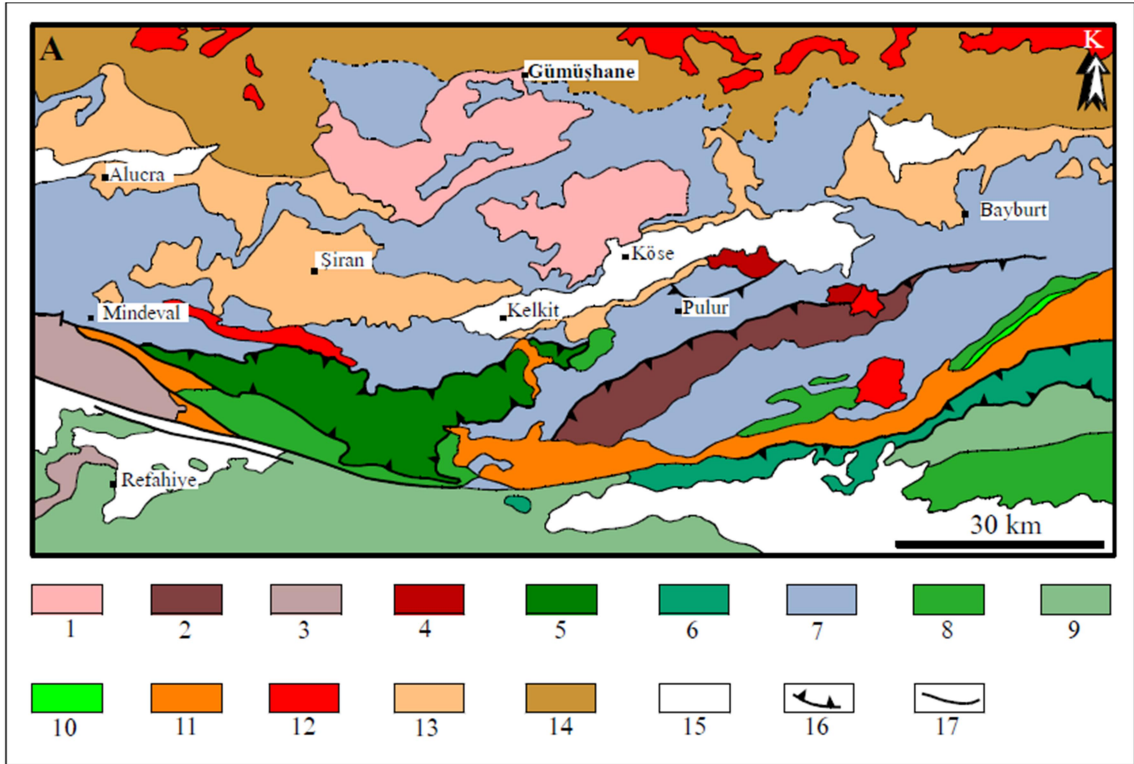
Şekil 1. Türkiye'nin tektonik birliktelikleri (Okay ve Tüysüz, 1999).

Metamorfik kayalar başlıca granodiyorit, kuvarslı mikrodiorit, alkali granitten oluşan Geç Karbonifer öncesi yaşı (Gürsoy vd., 1993) granitik kayalar tarafından kesilmektedir. Bu granitik kayalar için Yılmaz (1973) Gümüşhane Graniti, Çoğlu (1975) tarafından ise Gümüşhane Plütunu olarak adlandırılmıştır.

Ağırlıklı olarak metamorfik kayaların oluşturduğu Paleozoyik yaşlı temel kayalar üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelen Mesozoyik yaşlı kayalar volkano-tortul seri ile başlar. Farklı araştırmacılar tarafından birbirinden farklı adlamaların kullanıldığı bu birim için Seymen (1975) Karatepe Formasyonu, Yüksel (1976) Telmeyaylası Formasyonu, Pelin (1977) Hacıören Formasyonu, Açar (1977) Hamurkesen Formasyonu, Kesgin (1983) Balkaynak Formasyonu, Eren (1983) Zimonköy Formasyonu gibi adlandırmalar yapılmıştır.

Kandemir (2004) tarafından yapılan doktora çalışmasında, Erke-Orta Jura çökellerinin tabandan tavana kadar kesiksiz olarak izlendiği ve tüm fasiyeslerin yer

aldığı Şenköy (Kelkit-Gümüşhane) yöresi tip alan olarak belirlenerek bu birim Şenköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Buna göre Kuzey zonda daha çok volkanitlerle temsil edilen istif güney zonda genellikle tüf ardalanmalı, sedimanter ağırlıklı olarak devam eder. Bu zonda birim birbirleriyle yanal geçişli ve kısa mesafelerde kalınlık farkları sunan andezit, diyabaz, bazalt, aglomera, tüf ve tüfitlerden oluşan volkanik ara seviyeler içeren yersel çakıltası, dereceli kumtaşı, marn, kiltası ve kumlu kireçtaşından oluşmaktadır (Kandemir ve Yılmaz, 2009).



Şekil 2. Çalışma alanını da içine alan bölgenin jeoloji haritası (Okay ve Şahintürk, 1997'den alınmıştır. 1: Granit (Karbonifer), 2: Pulur Metamorfitleri (Karbonifer), 3: Metatüf, fillat, mermer (Triyas Öncesi), 4: Kumtaşı, kireçtaşı, şeyl (Üst Karbonifer), 5: Çimendağ Napı (Üst Kretase), 6: İmalıdağ Napı (Jura-Kretase), 7: Volkanoklastik ve karbonat kayaları (Jura-Kretase), 8: Ofiyolitik Melanj (Üst Kretase), 9: Peridotit (Üst Kretase), 10: Rudistli kireçtaşı (Üst Kretase), 11: Fliş (Alt Eosen), 12: Granitoid (Eosen), 13: Kumtaşı, kireçtaşı, volkanit (Orta-Üst Eosen), 14: Volkanitler (Kretase-Eosen), 15: Eosen sonrası kayaları, 16: Bindirme, 17: Doğrultu atımlı fay).

Gümüşhane yöresinde yüzeyleyen Geç Kretase yaşlı tortul kayaçlar Tokel (1972) tarafından Kermutdere Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Buna göre istif tabanda ince-orta tabakalanmalı, sarı renkli kumlu kireçtaşları ve yer yer

konglomeralardan oluşmakta, bunların üzerine ince tabakalı kırmızı-mor renkli mikritik kireçtaşlarıyla devam etmekte ve gri ve yeşil renkli tuf ara seviyeleri içeren ince orta tabakalı kumtaşı, kilaşı ve marn aralanması ile son bulmaktadır. Tokel (1972), Kermutdere Formasyonu adını verdiği Geç Kretase yaşlı tortul kayaçların Berdiga Formasyonu üzerine uyumsuz olarak geldiği belirtilirken, Hacıaloğlu (1983) bu kayaçların başlangıçta sığ denizel şartlarda, Geç Kretase sonuna doğru ise derin denizel ortam şartlarında oluştuğunu savunmaktadır. Eren (1983)'e göre ise, yersel farklılıklar dışında genelde türbiditik karakterde olan Geç Kretase yaşlı tortul kayaçlar daha yaşlı birimler üzerine transgresif olarak gelmekte ve Eosen yaşlı birim tarafından transgresif olarak örtülmektedir.

Kuzeydoğu Türkiye'de Geç Kretase döneminde oluşan birimler litolojik olarak kuzeyden güneye doğru farklılıklar göstermektedir. Bu dönemde bölgenin kuzeyinde magmatizma etkin iken güneyde türbiditik karakterli tortul birimlerin oluşumu devam etmiştir. Bölgenin kuzeyinde gelişen aktif volkanizma sonucu asitik ve bazik karakterli volkanik kayaçların aralanmasının oluşturduğu kalın bir volkano-tortul istif oluşmuştur. Neotetis okyanusal kabuğunun kuzeye doğru yitimine bağlı olarak gelişen bu yay volkanitleri Güven (1993); Güven vd. (1998); Karlı vd. (2004); Okay ve Tüysüz (1999); Topuz vd. (2007); Karlı vd. (2010a); Karlı vd. (2011) tarafından dört farklı formasyona ayrılarak tabandan tavana doğru Çatak, Kızılkaya, Çağlayan ve Tirebolu Formasyonları şeklinde adlandırılmıştır.

İlk olarak Güven (1993) tarafından adlandırılan Çatak Formasyonu, başlıca andezit, bazalt ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı seviyelerinin aralanmasından oluşmaktadır. Birim içindeki volkanik seviyeler kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olup ileri derecede ayrılmış ve kloritleşmiştir. Kumtaşı, marn ve şeyllerden oluşan tortul seviyeler kurşuni renkli ve ince katmanlıdır. Güven (1993) tarafından Turoniyen-Santoniyen yaşı verilen birim Berdiga Formasyonu üzerine gelmekte ve Kızılkaya Formasyonu tarafından da uyumlu olarak örtülmektedir. Sofracıoğlu ve Kandemir (2013)'e göre bu birim içerisinde Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşı blokları içermektedir.

Yine ilk olarak Kızılkaya Formasyonu, Güven (1993) tarafından adlandırılmış olup gri beyaz, grimsi sarı renkli dasit, riyodasit ve bunların piroklastlarından oluşmaktadır. Çatak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen dasitlerde prizmatik

kolon yapıları karakteristik olup kalınlığı 200-500 m arasında değişmektedir (Güven vd., 1998). Bu çalışmada birim içinde yaş verilebilecek fosil içeren tortul seviyenin bulunmadığı belirtilmekte ve alt sınırının Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu ile, üst sınırının ise Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile uyumlu olduğu dikkate alınarak birime Geç Kretase yaşı verilmektedir.

Doğu Karadeniz Bölgesinde, Arsin'in (Trabzon) güneyinde ve Çağlayan köyü (Trabzon) çevresinde yüzeyleme veren bazik karakterli volkanik kayalardan ve tortul ara seviyelerden oluşan birim Güven (1993) tarafından Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim genel olarak kumtaşı, kırmızı renkli mikritik kireçtaşı, marn killi kireçtaşı ara seviyeleri içeren bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşan volkano tortul istif sunmaktadır. Genellikle koyu gri renkli olan ve bol kırıklı yapı sunan volkanik birimler Çatak Formasyonu'na kıyasla daha az oranda ayrılmıştır. Birim içindeki mikritik kireçtaşları, marn ve kumtaşları ince ve orta tabakalı yapı sunarken, tuf seviyeleri daha kalın tabakalı olup mercekli yapıdadır. Güven (1993) Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen birim içindeki kırmızı renkli biyomikritik kireçtaşları içinde saptadığı fosil bulgularına dayanarak bu birimin yaşını Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak belirlemiştir.

Çağlayan Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Tirebolu Formasyonu riyoit, riyoasit, tuf ve piroklastları ile bu asitik kayalar arasında mercekler şeklinde yer alan gri ve kırmızı renkli, pelajik kireçtaşlarıyla kumtaşı, kilaşı ve siltaşlarından oluşmaktadır (Güven, 1993). Tirebolu Formasyonu taban seviyelerde riyoitik ve dasitik volkanikler ile başlamakta ve üste doğru piroklastik kayalar şeklinde devam etmektedir. Tortul ara seviyeler daha çok bu piroklastik kayalar içinde bulunmaktadır.

Tirebolu Formasyonu üzerine beyaz, açık gri, sarımsı renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn aralanmasından oluşan, türbiditik karakterli kireçtaşlarının hakim olduğu Kampaniyen-Daniyen yaşlı Tonya Formasyonu (Korkmaz, 1993) gelmektedir. Tonya Formasyonu üzerine Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu gelmektedir (Güven, 1993). Taban seviyelerde genellikle kırıntılı çökeller sunan birim, üste doğru volkanik kayaların egemen olduğu volkano-tortul istif sunmaktadır. Tonya Formasyonu üzerine aşıl uyumsuzlukla gelen ve taban konglomasıyla başlayan Kabaköy Formasyonu kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn arakatmanlı bazalt, andezit ve piroklastlarından oluşmaktadır. Kabaköy Formasyonu üzerine ise Pliyosen yaşlı gri,

koyu gri renkli, tamamen bazaltik kayalardan, tuf ve aglomeralardan oluşan Karadağ Formasyonu uyumsuz olarak gelir (Bulguroğlu, 1991).

Bütün bu birimler Kaçkar Batoliti'nin apofizleri olan genç granitik intrüzyonları tarafından kesilmektedir. Yapılan çalışmalara göre bu granitoidin yaşı Geç Jura'dan başlayıp (Şengör vd., 1980; Dokuz vd., 2010) Geç Kretase boyunca devam etmekte (Okay ve Şahintürk, 1997; Karlı vd., 2004; Topuz vd., 2007; Kaygusuz vd., 2009; Karlı vd., 2011) ve Erken Eosen'de son bulmaktadır (Moore vd., 1980; Boztuğ vd., 2004; Karlı vd., 2007; Karlı vd., 2010). Son yıllarda yapılan çalışmalar (Karlı vd., 2004, 2010a; Boztuğ vd., 2006; Kaygusuz vd., 2009) bu granitoidlerin düşük potasyum toleyitik bileşimden, yüksek potasyumlu kalk alkali bileşime değiştini göstermiştir.

Şenköy Formasyonu içine sokulum yapan Geç Jura granitoidleri Dokuz vd. (2010)'a göre paleotetisin kapanmasının ürünü iken Erken Senozoyik yaşı adakitik kayalar Topuz vd. (2005); Karlı vd. (2010b, 2011)'e göre çarpışma ile eş yaşı veya çarpışma sonrasının ürünleridir. Eosen dönemine ait granitoidler ise Karadeniz havzasındaki gerilme rejimine karşılık gelmektedir (Ustaömer ve Robertson, 1997; Okay ve Şahintürk, 1997; Karlı vd., 2007; Aydın vd., 2008; 2009).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ANALİTİK YÖNTEMLER

Bezendi (Kelkit-Gümüşhane) cevherleşmesinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelendiği bu çalışmanın ilk aşamasını, çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan konu ile ilişkili çalışmaların incelendiği literatür araştırması oluşturmaktadır. Sonrasında gerçekleştirilen arazi çalışmasını, laboratuvar çalışmaları ve ilgili analizlerin yapım aşaması izlemiştir. Büro çalışması aşamasında elde edilen veriler doğrultusunda tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

2.1. Arazi Çalışması

Arazi çalışmasında Bezendi köyü ve çevresinde yaklaşık 20 km²'lik alanda jeolojik birimlerin özellikleri ve birbirleriyle olan ilişkileri daha önceki çalışmalar da dikkate alınarak incelenmiştir. Bu çalışmada yapılan gözlem ve bulgular, önceki çalışmalardan elde edilen bulgular ile denestirilmek suretiyle çalışma alanı ve çevresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur. Arazide bulunan cevher lokasyonları GPS kullanılarak kaydedilmiştir. Her bir cevher lokasyonundan ilgili cevherlerin parajenez ve süksesyonunu belirlemek ve mineral kimyası, kükürt izotop ve sıvı kapanım analizleri için örnekleme yapılmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Petrografik İnce Kesitler

Çalışma alanında bulunan litolojik birimlerin mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında petrografik ince kesitler hazırlanmıştır. Bunun için seçilen örnekler, bir yüzeyinin pürüzlülükleri giderildikten sonra 2 mm kalınlığındaki kesit camı üzerine araldit yardımı ile yapıştırılmış, daha sonra örneğin diğer yüzü seviyeli aşındırıcılar ile 0.03 mm kalınlığa kadar inceltilmiştir. Örneklerin mineralojik-petrografik, dokusal ve alterasyon özelliklerini ortaya koymak için Olympus BX51 marka polarizan mikroskop kullanılmıştır.

2.2.2. Petrografik Parlak Kesitler

Arazi çalışmalarında her bir cevher lokasyonundan alınan cevherli örneklerin mineralojik ve dokusal özelliklerini belirlemek amacı ile Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarında parlak kesitler hazırlanmıştır. Parlak kesit için araziden alınan numuneler yaklaşık 2 cm çapında ve 1cm kalınlığında kesilmiş ve dağılmaması için 2.5cm çapındaki kalıplara konularak epoksi içinde kalıba alınmıştır. Numunelerin yüzeyi çeşitli boyutlardaki aşındırıcı tozların kademeli olarak kullanılması suretiyle kaba aşındırma işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra örneklerin yüzeyi 1 ve 0.1 μm boyutlu alüminyum oksit tozları kullanılarak parlatılmıştır. Bu çalışmada toplam 41 adet parlak kesit örneği hazırlanmıştır.

2.2.3. Sıvı Kapanım Kesitleri

Sıvı kapanım kesitleri cevherli numunelerde bulunan ve ışığı geçiren kuvars, kalsit ve barit mineralleri içeren örneklerden hazırlanmıştır. Parlak kesitlere uygulandığı gibi bir yüzeyi kademeli olarak aşındırılıp parlatılan kesitler soğuk yapıştırıcı (entellan) kullanılarak parlatılan yüzeyi cama yapıştırılmıştır. Kuruduktan sonra numune yaklaşık 2 mm kalınlığında olacak şekilde kabaca kesilmiş, ardından aşındırma makinesi kullanılarak numunenin kalınlığı 0.5 mm'ye indirilmiştir. Bu zımparalama işleminden sonra aşındırıcı tozların (silisyum karpid) kademeli olarak kullanılması suretiyle örneğin kalınlığı 200 μm 'ye kadar indirilmiştir. Son aşamada ise 1 ve 0.05 μm 'lik alüminyum oksit tozları kullanılarak parlatılmıştır. Bu işlemlerle çift yüzeyi parlatılan yaklaşık 200 μm kalınlığındaki örnek ksilen kullanılarak yapıştırıldığı camdan ayrılmış ve ölçüme hazır hale getirilmiştir.

2.2.4. Mineral Kimyası Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması

Parlak kesitleri hazırlanan örneklerin mineralojik ve dokusal özellikleri cevher mikroskobu altında detaylı incelenmiş ve 5 adet numune mineral kimyası analizi için belirlenmiştir. Seçilen bu örnekler MTA Genel Müdürlüğü numune hazırlama bölümünde karbon kaplanmış ve sonrasında Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği

Bölümü Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarında ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toplam 5 adet parlak kesit üzerinden pirit, arsenopirit, kalkopirit, pirotin, bornit, sfalerit ve galen minerallerinden mineral kimyası analizi yapılmıştır.

2.2.5. Kükürt İzotop Analizi İçin Örneklerin Hazırlanması

Kükürt izotop analizi Bezendi sahasında bulunan cevherlerdeki pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinde yaptırılmıştır. Bunun için çeneli kırıcıda yaklaşık 1 mm boyutunda kırılan örnekler titreşimli elek seti kullanılmak suretiyle farklı tane boyutlarına ayrılmıştır. İstenilen minerallerin en iyi serbestleştiği 200-300 µm'lik kısım elek seti kullanılarak ayrılmıştır. Ayrılan kısım saf suyla yıkandıktan ve kurutulduktan sonra binoküler mikroskop altında mineral seçimi yapılmıştır. Yaklaşık 5 gr ağırlığında seçilen örnekler ilgili laboratuvara gönderilmek suretiyle kükürt izotop analizleri yaptırılmıştır.

2.3. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları arazi, laboratuvar ve çeşitli yöntemlerle yapılan analizlerden elde edilen bulguların değerlendirilmesi, literatür bilgisi ile deneştirilmesi suretiyle tez yazım sürecini kapsamaktadır. Bu kapsamda önceki çalışmalardan temin edilen jeolojik haritalar ve stratigrafik kesitler arazi çalışmaları ile gözden geçirildikten sonra bilgisayar ortamında çizilmiştir. Arazi çalışmalarında belirlenen cevher lokasyonlarının mineralojik özellikleri parlak kesit incelemeleri ile detaylandırılarak bezendi sahasının cevher mineralojisi ve süksesyonu oluşturulmuştur. Mineral kimyası, sıvı kapanımların mikrotermometrik ölçümleri ve kükürt izotop analizlerinden elde edilen bulgular değerlendirildikten sonra bu verilere ait çeşitli grafik ve tablolar çeşitli bilgisayar programları kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra arazi, laboratuvar ve analiz sonuçlarından elde edilen bulgular literatür çalışmaları ile deneştirilmek suretiyle Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün tez yazım kurallarına göre tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

2.4. Analitik Yöntemler

2.4.1. Mineral Kimyası Analizleri

Mineral kimyası analizleri Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Toplam 5 adet parlak kesit üzerinden pirit, arsenopirit, kalkopirit, pirotin, bornit, sfalerit ve galen minerallerinden mineral kimyası analizi yapılmıştır. Sülfid minerallerinde yapılan mineral kimyası analizleri 20 kV ve 20 nA şartlarında gerçekleştirilmiş olup, ölçümler 1µm çaplı elektron ışını kullanılarak yapılmıştır. Analizi yapılan her minerale göre değişiklik gösteren sayma zamanı piritlerde S ve Fe için 10; Co, Ni ve As için 30; Au için 60; kalkopiritlerde Fe için 10; S, Cu ve Zn için 20; Sn ve Te için 30; Ag ve Au için 60; sfaleritlerde S ve Zn için 20; Mn, Fe ve Cu için 30; Ag ve Cd için 60 olarak belirlenmiştir. Analizlerde S, Fe, Cu, Zn, Co, N ve Mn için K α ; Ag, Cd, As, Sn, Te, Au ve Sb için L α ; Bi, Pb ve Hg için M α X-ışınları çizgisi kullanılmıştır.

2.4.2. Sıvı Kapanımların Mikrotermometrik Ölçümleri

Sıvı kapanım ölçümleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Sıvı Kapanım Laboratuvarında Olympus BX51 marka polarizan mikroskoba monte edilmiş Linkam THMG600 sistemi ile yapılmıştır. -196°C ile 600°C arasında ısıtma-soğutma yapılabilen sistemde sıcaklık değişimleri Linksys-32 DV yazılım programı kullanılarak 0.1°C hassasiyetle kontrol edilebilmekte ve video görüntüleme sistemi kullanılarak bilgisayar ortamından izlenebilmektedir. Sistemin kalibrasyonu pozitif değerler için saf H₂O içeren standart örnekteki sıvı kapanımın kritik sıcaklık değeri (374.1°C) ve negatif değerler için ise saf CO₂ içeren standart örnekteki CO₂'nin ergime sıcaklığı (-56.6°C) dikkate alınarak yapılmıştır. Bazı örneklerde tekrarlanan homojenleşme sıcaklığı ölçümleri pozitif değerler için ölçüm hata sınırının $\pm 2^\circ\text{C}$ olduğunu, son buz ergime sıcaklığı ölçümleri ise negatif değerlerdeki hata sınırının $\pm 0.1^\circ\text{C}$ olduğunu göstermiştir. Örneklerin soğutma işlemini gerçekleştirmek için sıvı azot kullanılmıştır.

2.4.3. Kükürt İzotop Analizleri

Bezendi cevherinden derlenen pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinin kükürt izotop analizleri ($\delta^{34}\text{S}$) Georgia Üniversitesi izotop analiz merkezi (Center for Applied Isotopes Studies, Georgia-Amerika Birleşik Devletleri)'nde yaptırılmıştır. EA-IRMS yöntemiyle yapılan izotop analizlerinde standart örnek olarak CDT (Troillite of Devil Canyon) kullanılmıştır. Bu yöntemde ölçümler için sülfür örnekler 10^{-3} tor vakum altında yakılarak SO_2 'ye dönüştürülmekte daha sonra açığa çıkan SO_2 vakum vasıtasıyla kütle spektrometresine gönderilmekte ve ölçümü yapılmaktadır. Ölçümleri yapan laboratuvar tekrarlanan ölçümlere göre analizlerin doğruluğunun $\pm 0.2\%$ olduğunu rapor etmiştir.

3. BULGULAR

3.1. İnceleme Alanının Stratigrafi ve Petrografisi

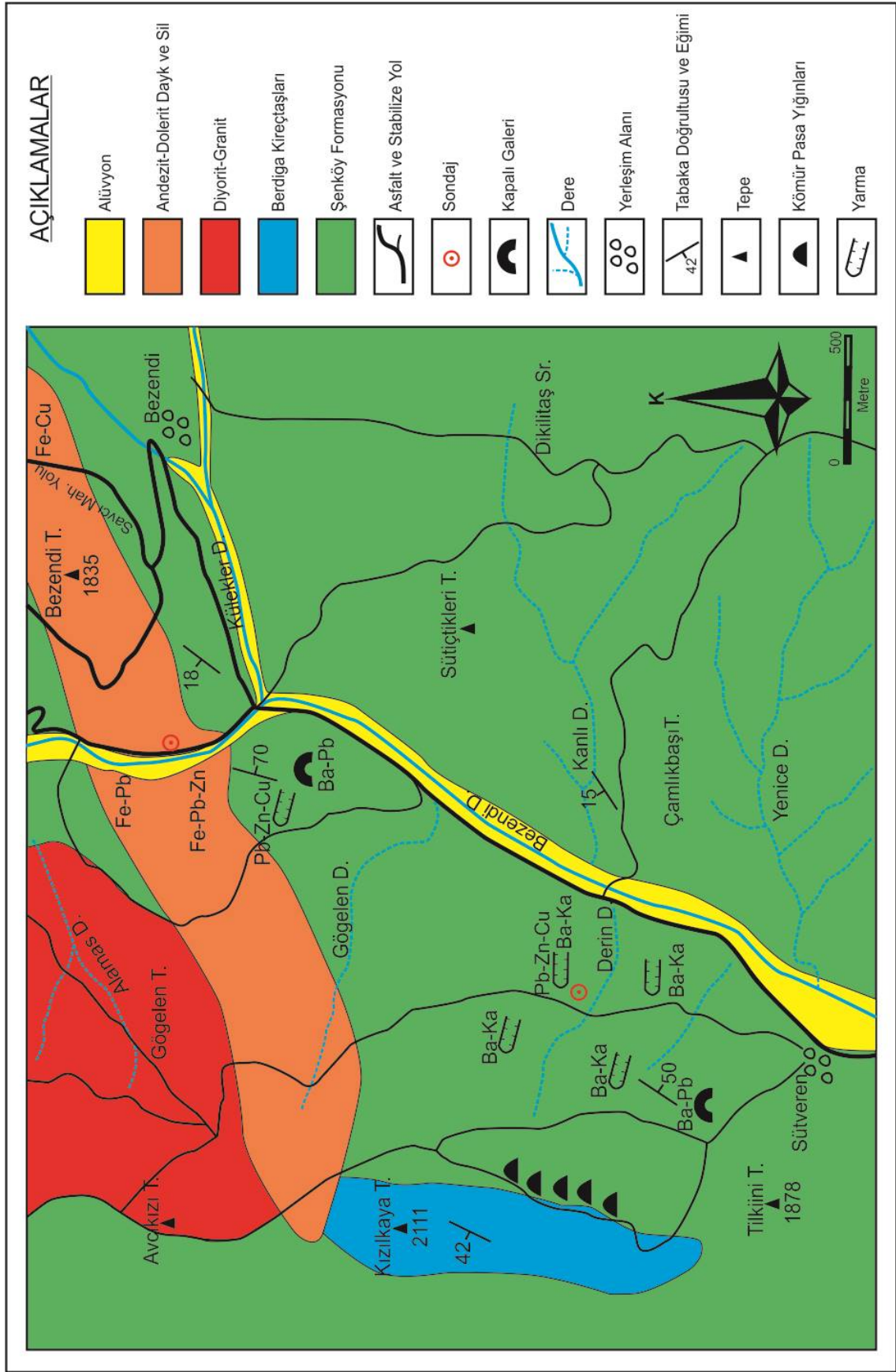
Bezendi cevherleşmesinin gözlemlendiği Kelkit (Gümüşhane) ilçesinin Bezendi, Sütveren ve Kurtalan köylerini içine alan yaklaşık 20 km²'lik alanın jeolojik çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3). Bu alan içerisinde Alt-Orta Jura'dan Kuvaterner zaman aralığında üç birim gözlemlenmiştir. Bunlar yaşlıdan gence doğru aşağıdaki gibidir.

- Şenköy Formasyonu (Alt-Orta Jura)
- Berdiga Formasyonu (Malm-Alt Kretase)
- Yamaç Molozu ve Alüvyon (Kuvaterner)

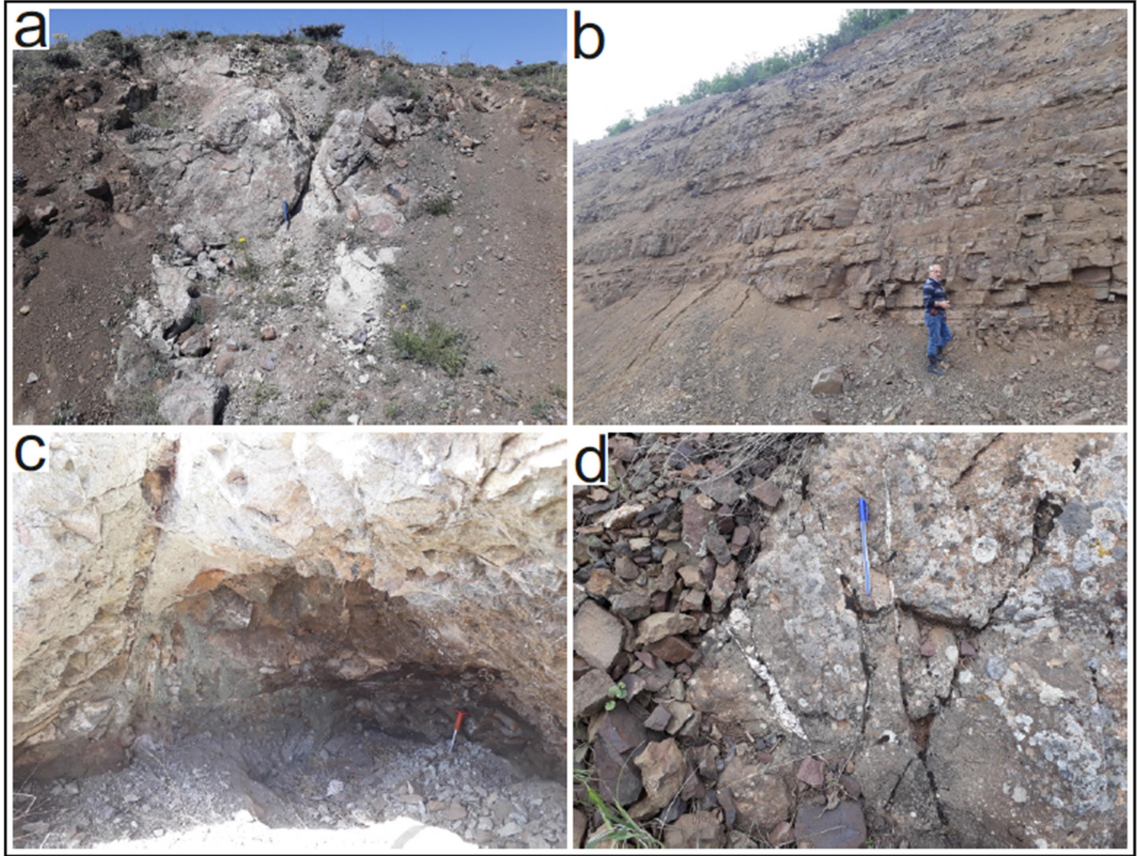
3.1.1. Şenköy Formasyonu

Çalışma alanının temel birimini Liyas yaşlı andezit ve bazalt ile kırmızı kireçtaşı, kumtaşı ve marn türü kayalardan meydana gelen Şenköy Formasyonu oluşturmaktadır. Sütveren ve Bezendi köylerini de içine alan birim 20km²'lik çalışma alanının yaklaşık %75'lik kısmında yayılım göstermekte, Kızılkaya Tepe civarında yüzeylenen iyi tabakalı, kısmen kristalize ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmuş Malm-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu tarafından ise uyumlu olarak örtülmektedir. Berdiga kireçtaşlarından daha yaşlı olan andezit, bazalt, kumtaşı, marn ve kırmızı kireçtaşı içeren bu kayalar Kandemir (2004) tarafından Şenköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Çalışma alanında Şenköy Formasyonuna ait bazalt, andezit, kumtaşı, marn seviyeleri gözlemlenmiştir. Sütveren ve Bezendi köylerinin de içinde bulunduğu alan bir çöküntü havzası özelliğinde olup ana kayaları Şenköy Formasyonu'nun altere andezit ve bazaltları oluşturmakta ve yer yer bunları kesen barit-kalsit-kuvars damarları gözlenmektedir (Şekil 4). Eğimleri genellikle dik ve dike yakın olan bu damarların uzunlukları 1cm'den 15cm'lere kadar değişmekte olup bazılarınının makro örneklerinde barit-kalsit'e eşlik eden galen, pirit ve kalkopirit mineralleri içermektedir (Şekil 4).



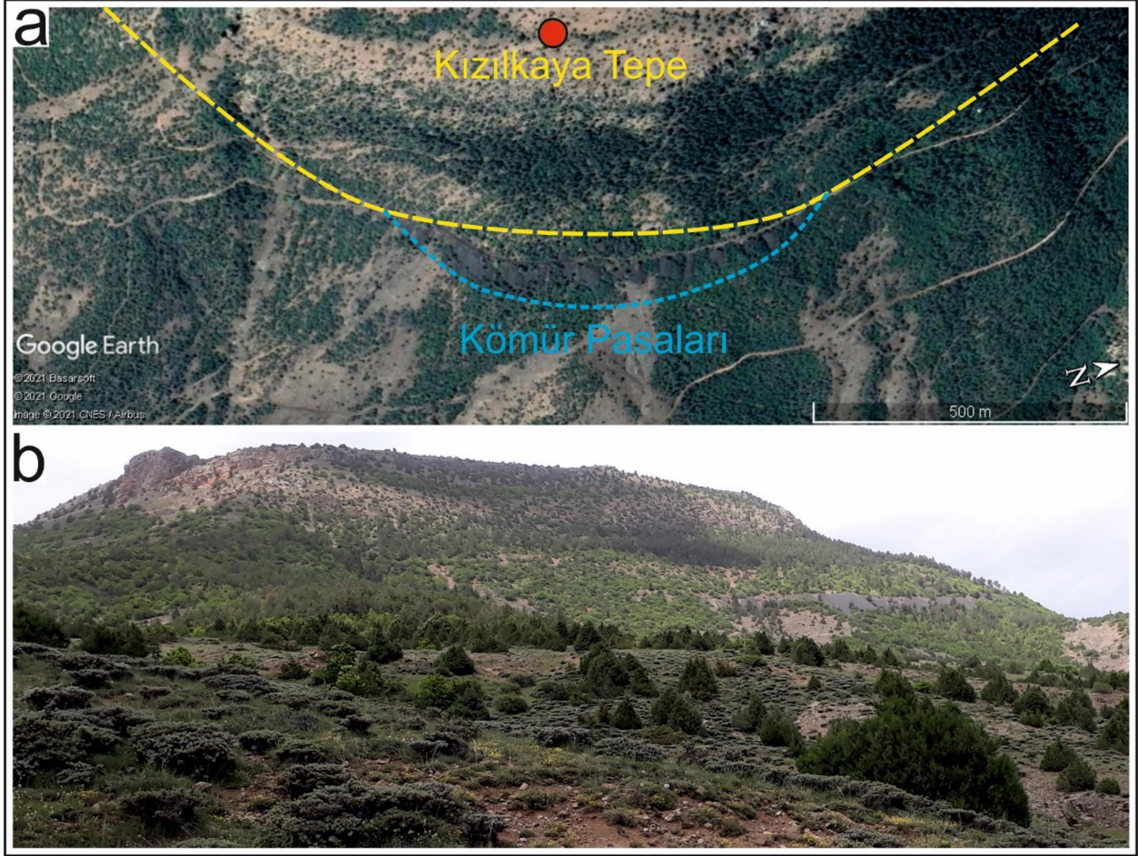
Şekil 3. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası



Şekil 4. Şenköy Formasyonu içerisinde silisleşmiş bazalt ve altere breşik andezit, b: Şenköy Formasyonu tabakalı kumtaşları, c: Andezit içerisinde yoğun barit-kalsit damarı ve bu damar içerisinde bulunan galen minerali, d: Şenköy bazaltları içerisindeki barit damarları.

3.1.2. Berdiga Formasyonu

Çalışma alanında sadece Sütveren köyünün kuzeybatısında Kızılkaya Tepe civarında gözlenen ve Şenköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Berdiga Formasyonu ilk kez Pelin (1977) tarafından tanımlanmıştır. Malm-Erken Kretase yaşlı kalın tabakalı dolomitik kireçtaşlarından oluşan bu formasyonda yer yer kömür oluşumları bulunmakta ve bölgede işletilmiş linyit ocaklarına rastlanmaktadır (Şekil 5).

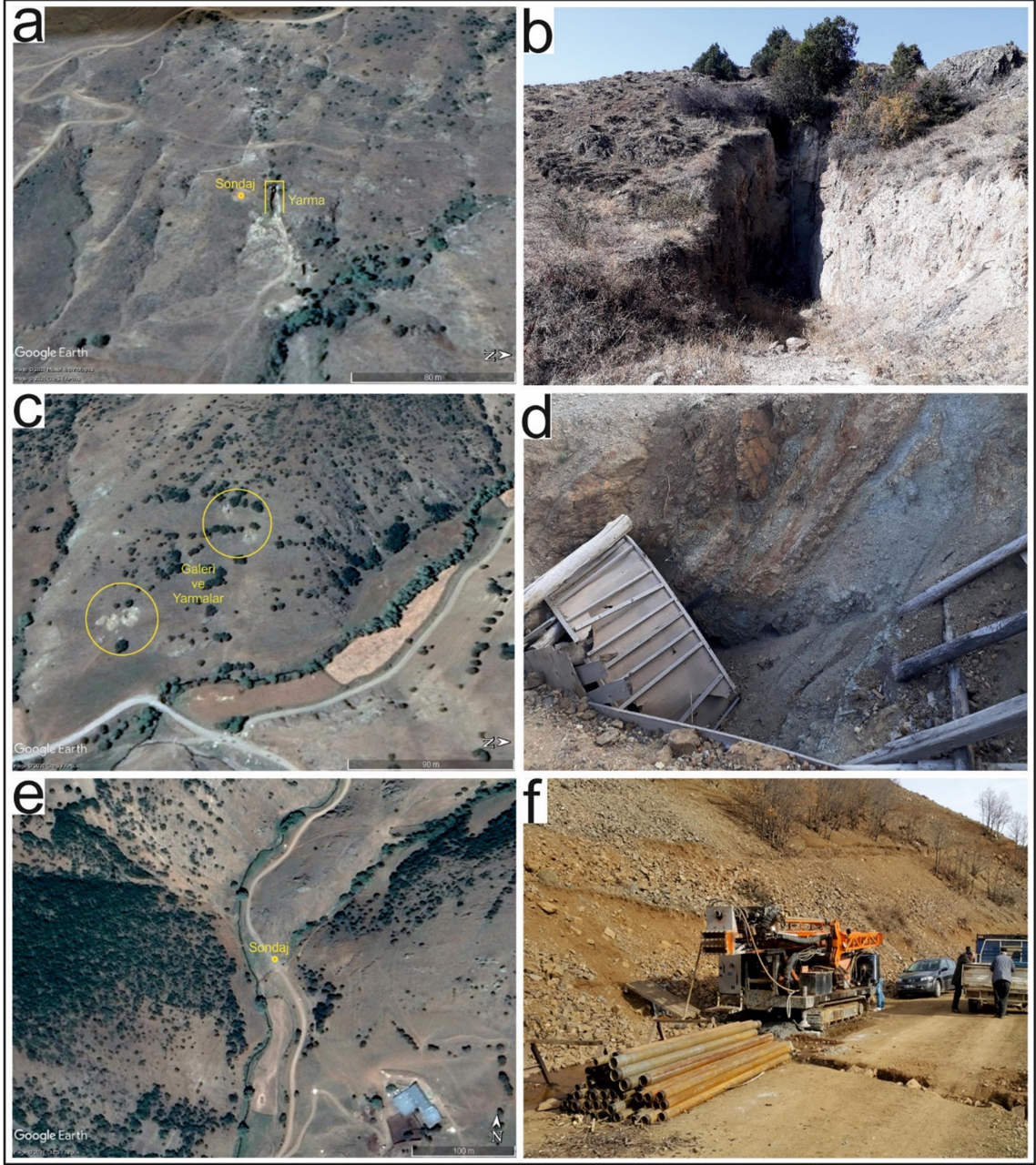


Şekil 5. a: Kızılkaya Tepe ve kömür pasalarının uydu görüntüsü, b: Kızılkaya Tepe ve kömür pasalarının arazi görüntüsü.

3.2. Sütveren-Bezendi Yöresinin Maden Jeolojisi ve Mineralojisi

Sütveren-Bezendi köylerinin jeolojik incelemesi yapılan alanda genellikle tortul ve volkano-tortul kökenli kayalar yer almaktadır. Çalışma alanının büyük bir bölümünü kapsayan Şenköy Formasyonu içerisinde çok sayıda barit-kalsit damarı bulunmaktadır. Bu damarlar makroskobik örneklerle galen, pirit ve kalkopirit mineralleri içerir. Çalışma alanı içerisinde 2 adet karotlu araştırma sondajı, mostra veren damarlar boyunca yarmalar ve galeriler açılmıştır (Şekil 6).

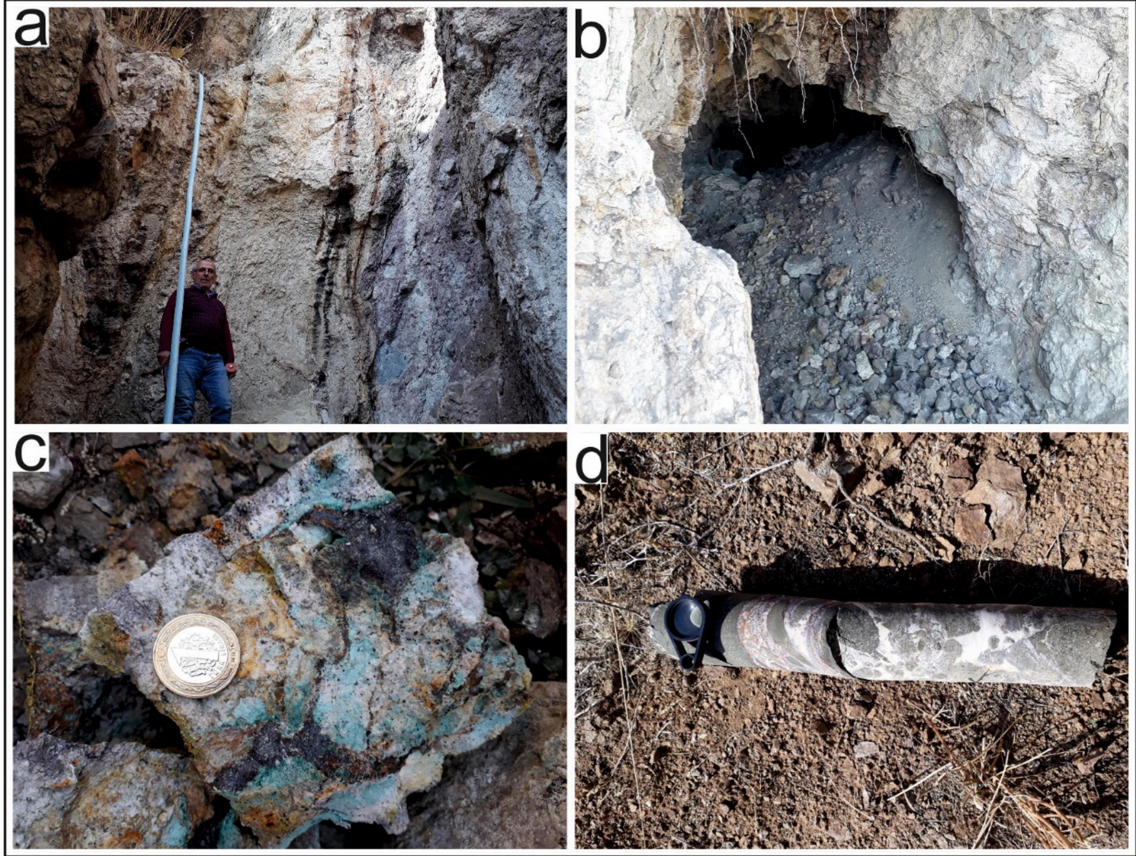
Kom yolu mevkiinde doğu-batı istikametinde açılmış yaklaşık 50m'lik açık yarma ve kapalı galeri bulunmaktadır. Bu yarmada yaklaşık 10-30cm kalınlığında kuvars ve kalsit damarı mevcuttur. İlgili yarmadan yapılan inceleme ve örneklemelerde galen, sfalerit, pirit ve kalkopirit ile birlikte altere zonlar boyunca malahit, azurit ve kalkantit oluşumları gözlemlenmiştir. Bu yarmanın 20m güneyinde yapılan sondaj 50m yankayaç kestikten sonra sonlandırılmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Sondaj ve Açık yarmanın uydu görüntüsü, b: Kuvars-Kalsit Damarları doğrultusunda açılan yarma, c: Çalışma sahasında açılan kapalı galeri ve yarmaların uydu görüntüsü, d: Kalsit-Kuvars damarı doğrultusunda açılan kapalı galeri, e: Çalışma sahasında araştırma sondajı yapılan alanın uydu görüntüsü, f: Molloğlu Değirmeni yakınlarında yapılan sondaj çalışmalarından bir görünüm.

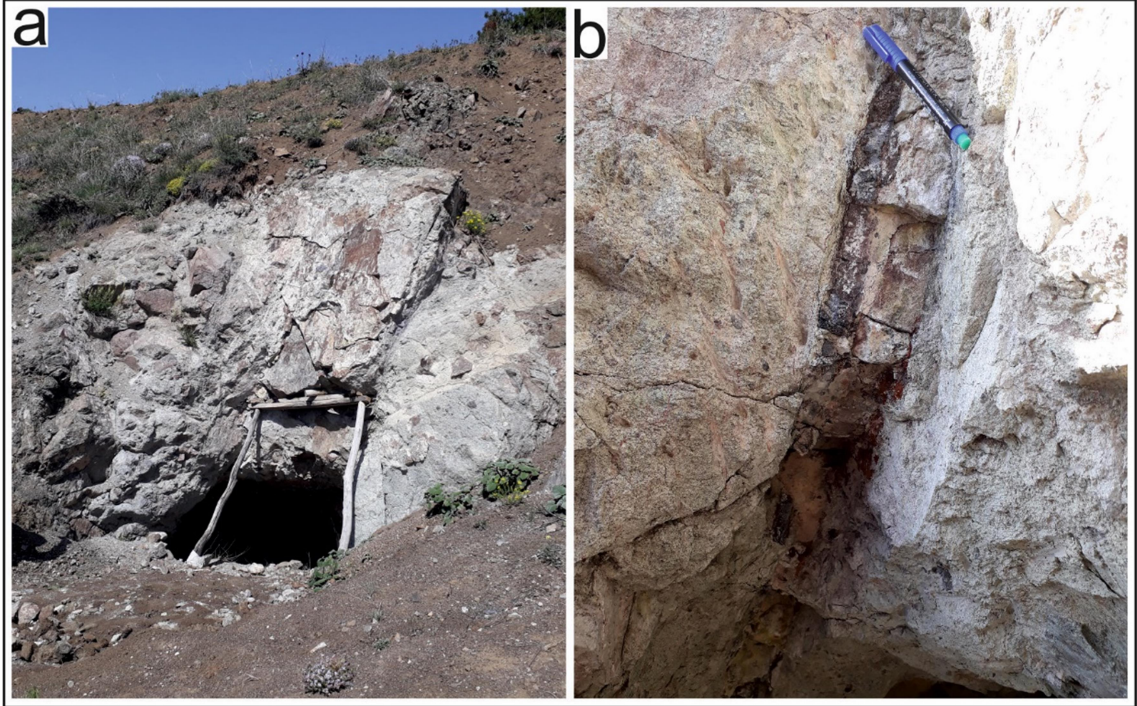
Komlar mevkiinde yarmanın yaklaşık 50m kuzeydoğusunda yaklaşık 10cm kalınlığında doğu-batı doğrultulu kalsit damarlarının yanında breşik yapıda kloritleşmiş aglomeralar tespit edilmiştir. Sütveren köyü kuzeyinde linyit ocaklarına giden yol üzerinde barit, kuvars ve kalsitle birlikte onlara eşlik eden galenli damarlara

rastlanmıştır. Bu damarların doğrultu ve eğimleri K40D/50GD şeklinde tespit edilmiş ve kurşun cevheri içeren damar genişlikleri 1-10cm arasında değişen kalınlıklara sahiptir. İlgili damarların bulunduğu bölgede 1 adet arama galerisi mevcuttur. (Şekil 8).

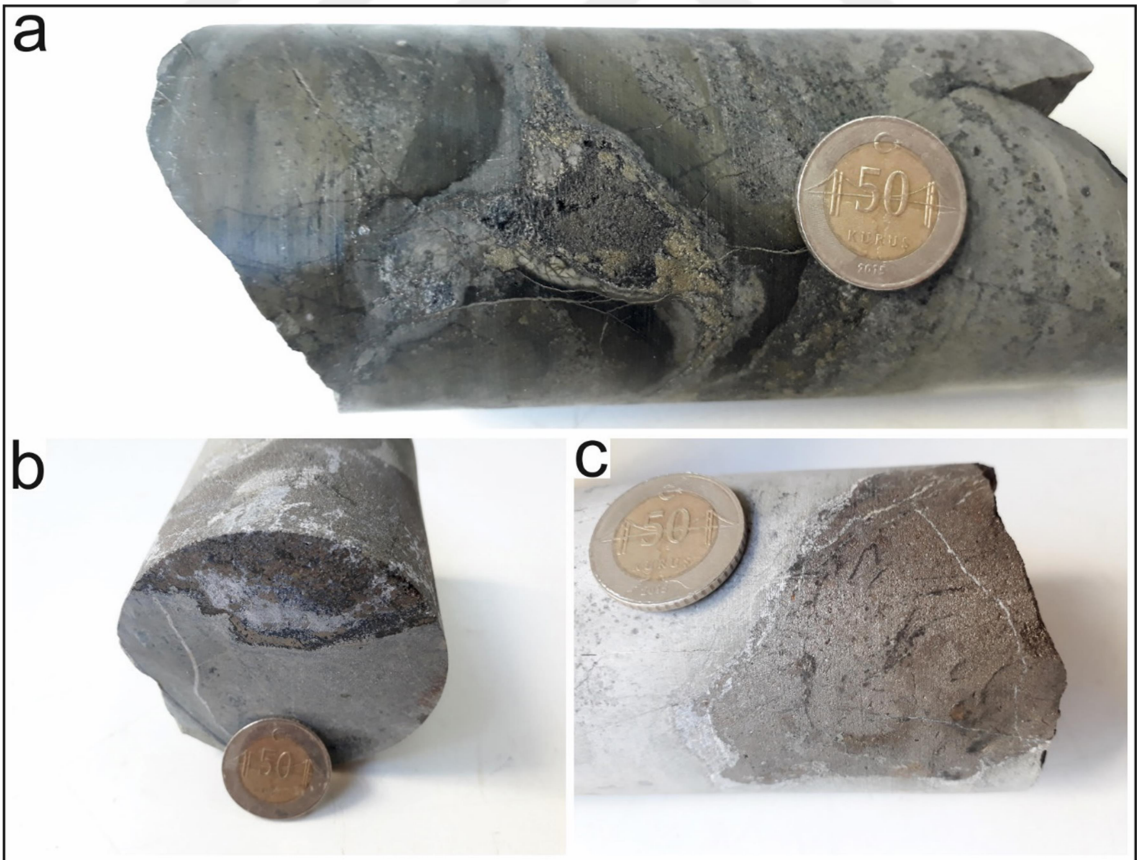


Şekil 7. a: Açık yarmada gözlemlenen cevherli damar yapıları, b: Açık yarmanın hemen yanında bulunan kapalı galeri c: Cevherli damarların yakından görünümü (pirit, kalkopirit, malahit, azurit, kalkantit), d: Açık yarmanın yaklaşık 20m güneyinde yapılan sondaj karotu.

Hamitin Değirmeni'nin yaklaşık 300m kuzeyinde yer alan Molloğlu Değirmeni bölgesinde yapılan incelemede silisleşmiş andezit mostralarının etrafında pirit, pirotin, hematitleşme, yoğun demir oksit ve galenitli demir şapka oluşumlarına eşlik eden kalsit-kuvars gangı ile birlikte kükürtleşme ve killeşme gibi alterasyon ürünleri gözlemlenmiştir (Şekil 11).



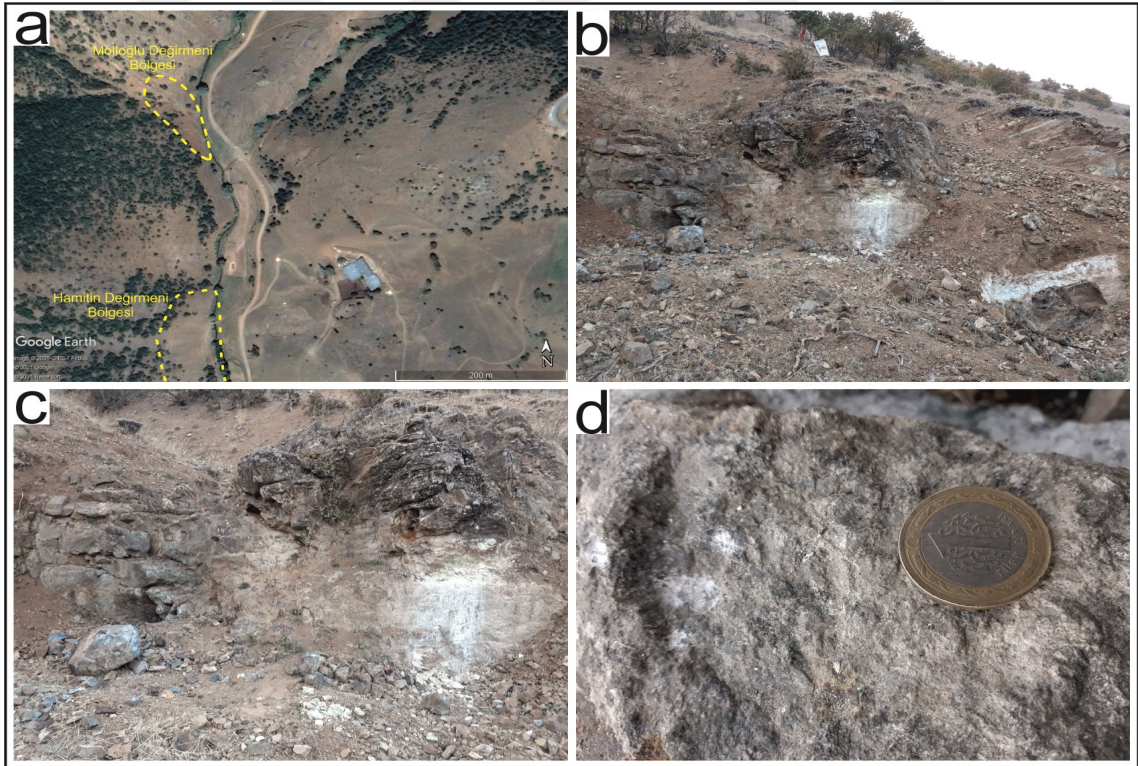
Şekil 8. a: Sütveren köyü kuzeyi arama galerisi, b: Arama galerisi içinde bulunan barit-kalsit gangli galenli damar.



Şekil 9. a-b-c: Molloğlu Değirmeni bölgesinde yapılan arama sondajının değişik seviyelerdeki cevherli karotları.

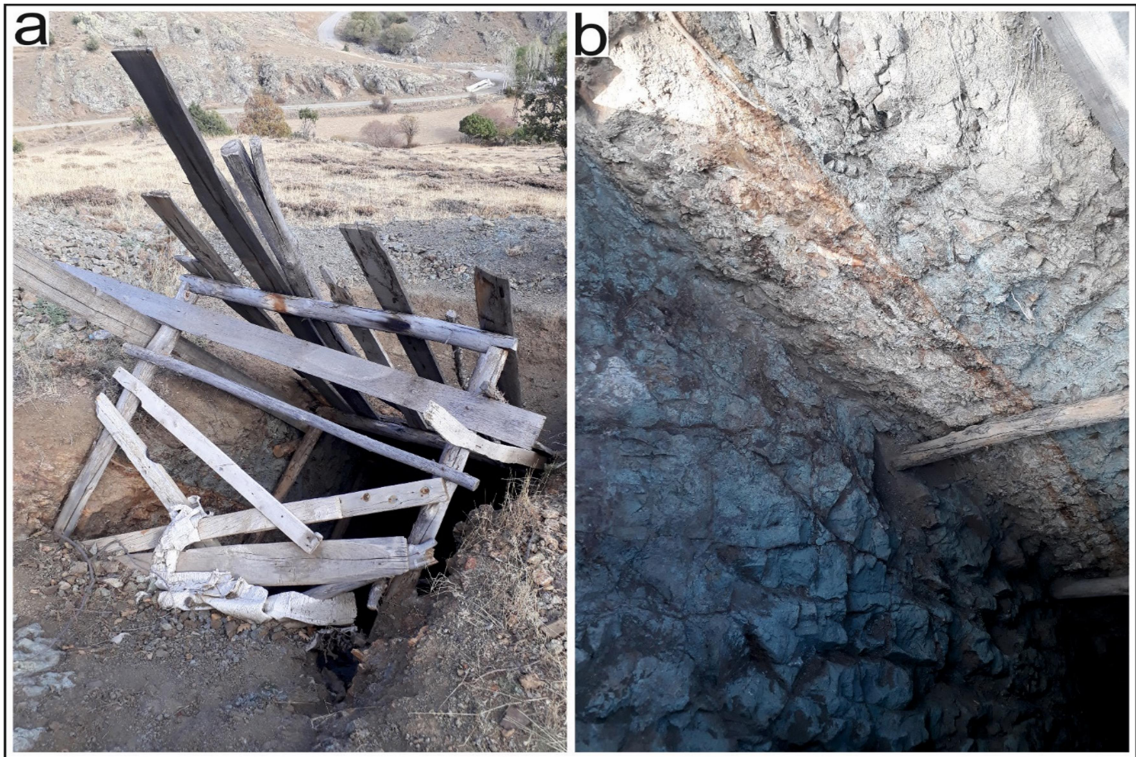


Şekil 10. a: Hamitin Değirmeni bölgesindeki pirit saçınımlı silisleşmiş andezit mostrası, b: Bezendi Dere yamacındaki silisifiye cevherli zon, c: Cevherli pirit, pirotin, hematit silisifiye andezit mostrası.



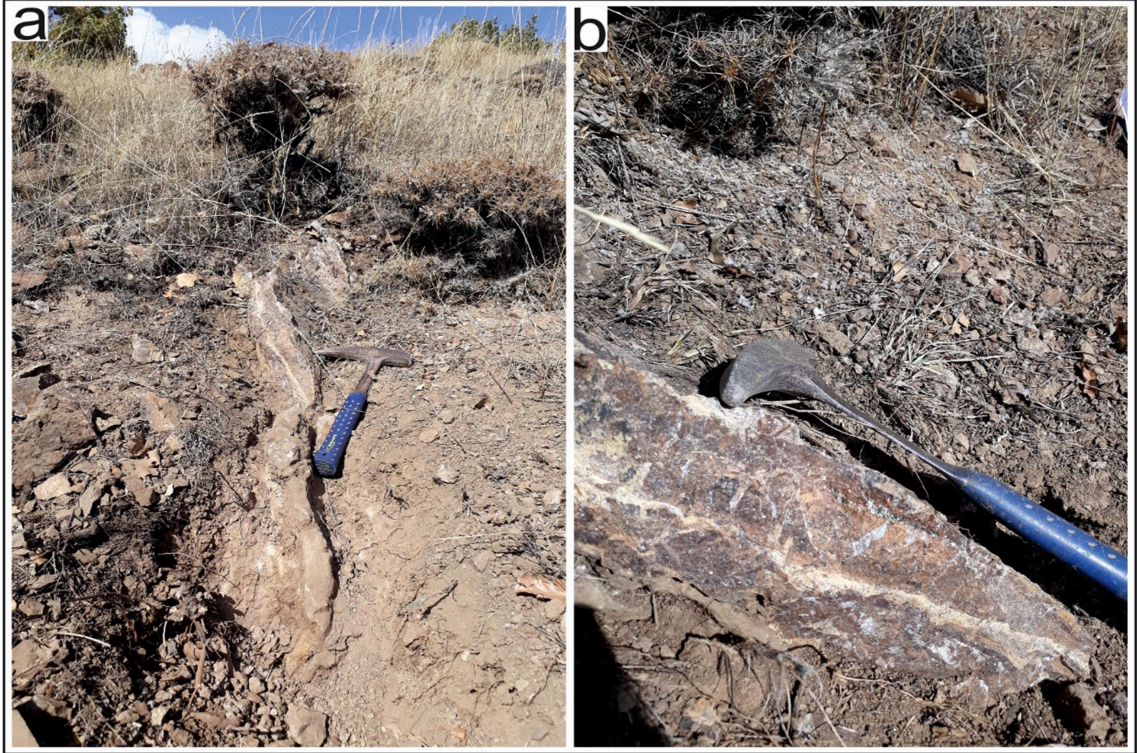
Şekil 11. a: Molloğlu Değirmeni bölgesi uydu görüntüsü, b: Silisifiye andezit stokları c: Demir Şapka oluşumu ve killeşme, d: Andezit mostra içinnde pirit, galen, kuvars birlikteliği.

Bezendi Dere ve K lekler Dere'nin birleşim yerinde Gögelen Tepe'nin yamaçlarında yapılan incelemelerde Kuzeybatı yönünde yamaçta açılmış 3 adet yarma ve 50 derece eēimli girişten 10m sonra ařaēıda aynaya ulaşılabilen 1 adet baş ařaēı galeri mevcuttur. Bu yarma ve galeride yantaşlarda kloritleşme, hematitleşme, limonitleşme ile birlikte saçınımlı kalsitle birlikte galen ve malahit oluşumları ayrıca volkanikler içinde 80cm kalınlıēında hematitli, limonitli ve baritli damar gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu damar yapısında doērultu-eēim  l m  K20D/70GD olarak tespit edilmiştir (şekil 12).

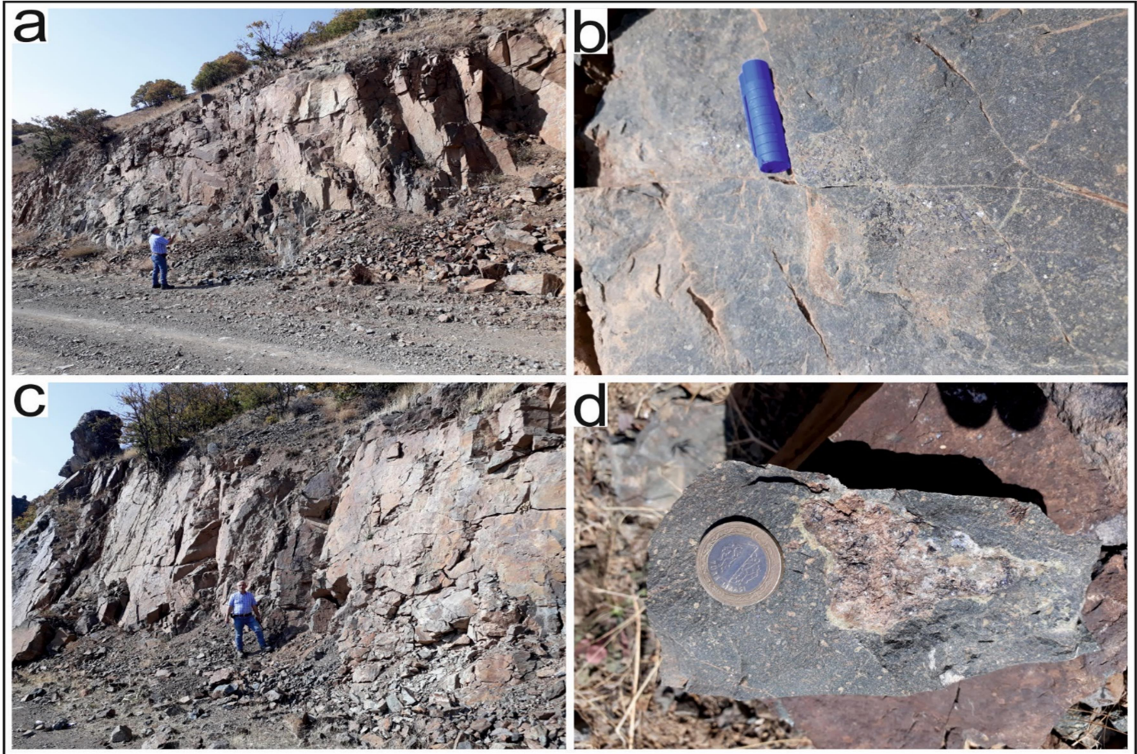


şekil 12. a: Gögelen Tepe yamacındaki kapalı galeri b: Galeri boyunca devam eden damar ve yankayaç.

Açılan bu galerilerin etrafında Gögelen Tepe yamaçlarında açılan farklı yarmalarından alınan damar doērultuları K30B, K35B, K25B, K20B, K60B olarak  l lm ştir (şekil 13). Bezendi Köyü kuzeyinde savcı yolu üzerinde şenköy volkaniklerinin içine sokulu yapmış andezitik stok bulunmaktadır. Bu stok saçınımlı pirit, kalkopirit içermekte ve yoēun epidotlaşmaya yer yer spe ularit eşlik etmektedir (şekil 14). Fakat üzerinde bulunan şenköy volkanitlerinde böyle bir yapı gözlenmemiştir. Dolayısıyla bu cevher minerallerinin andezitik stokla eş yaşlı olduēu düşünülmektedir.

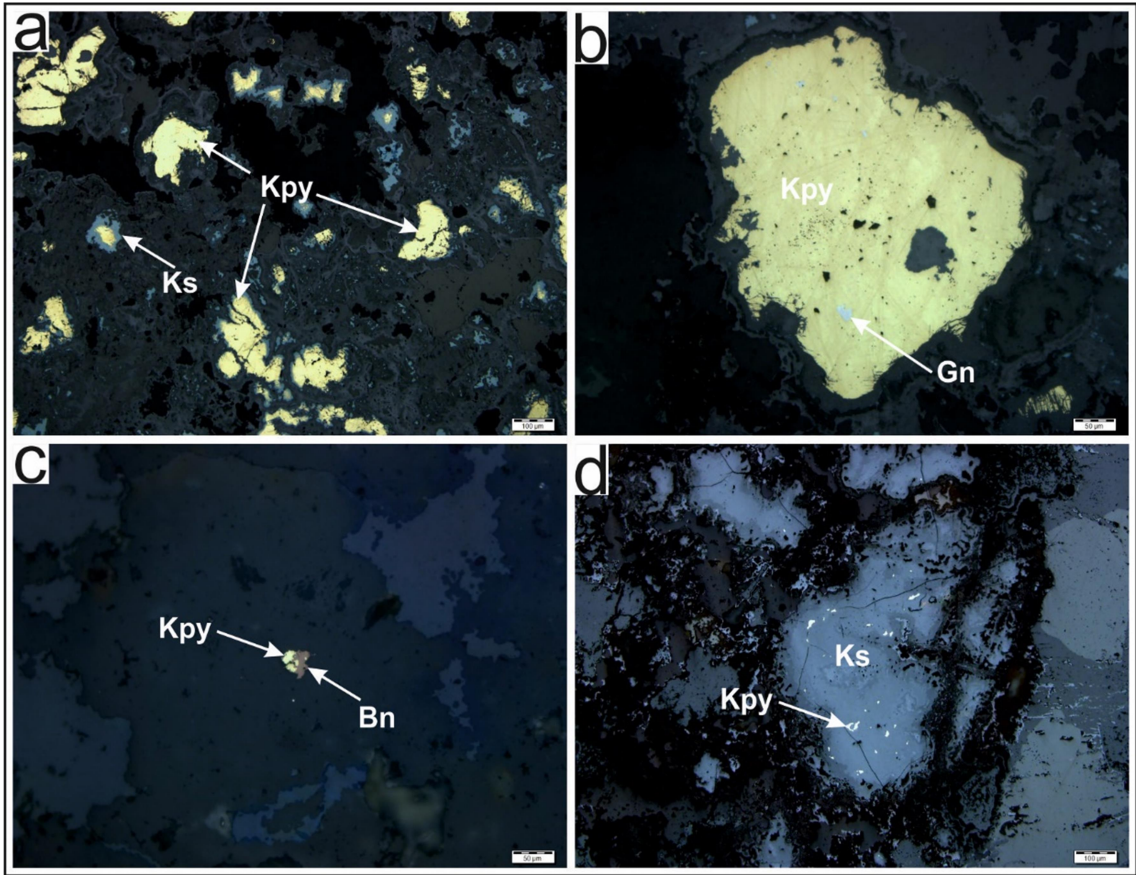


Şekil 13. K25B doğrultulu silis kafası b: Silis kafası içerisindeki makro cevherleşme (Kalkopirit, Sfalerit).



Şekil 14. Şenköy Formasyonu içindeki andezitik stok, b: andezit stok içindeki cevherleşme c: Epidotlamanın yoğun olduğu andezitik stok, d: Epidotlaşma ve cevherleşme.

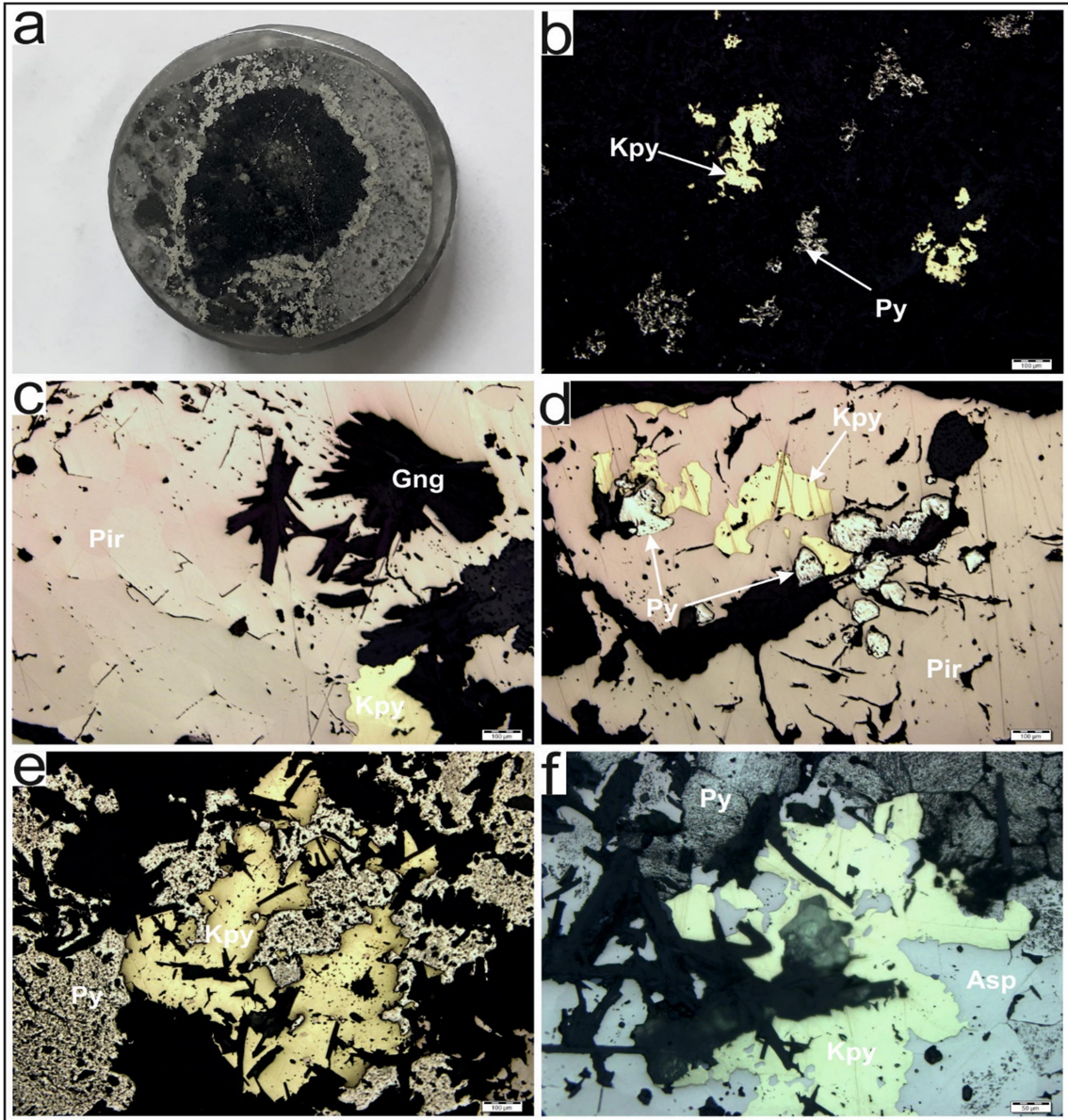
Kom yolu mevkiindeki açık yarmadan alınan numunelerin mikroskopik parlak kesit incelemelerinde özellikle kalkopiritlerde yoğun ayrışma ve etraflarından karbonatlaşmaya bağlı ikincil zenginleşme olarak kalkosin-kovellin oluşumları gözlenmiştir. Bazı örneklerde kalkopirit tamamen ayrıışmış ve birincil şeklini kaybetmiştir. Bu oluşum cevherleşmenin oksidasyon zonuna ait olduğunu göstermektedir. Ayrıca kalkopiritler içinde saçınım şeklinde çok ince taneli bornit ve galen dikkat çekmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Kalkopirit ve ikincil karbonatlaşma, b: Kalkopirit içindeki galen oluşumları c: Kalkopirite eşlik eden bornit, d: İleri derece ayrıışmış kalkopirit ve karbonatlaşma. Kpy: Kalkopirit, Bn: Bornit, Gn: Galen, Ks: Kalkosin.

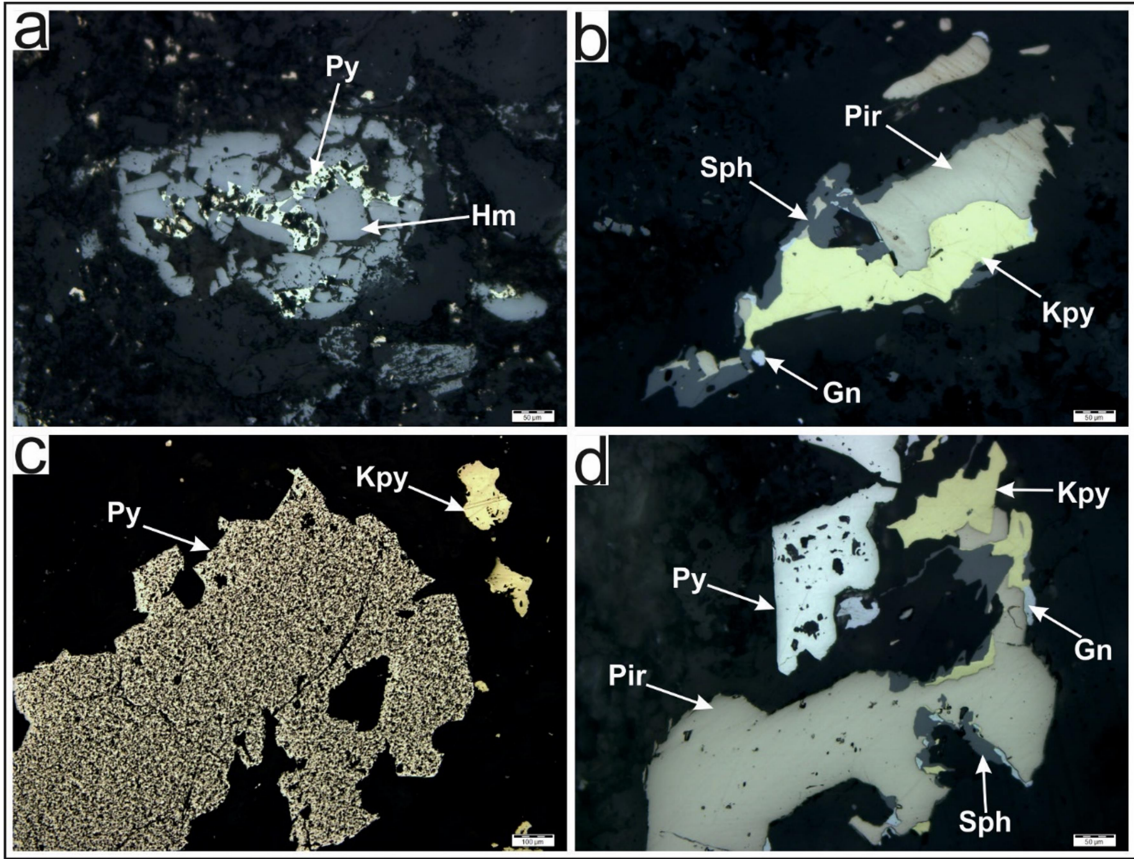
Molloğlu değirmeni bölgesindeki ana yol üzerinde yapılan sondajın cevherli kısımlarından yapılan mikroskobik incelemede konglomera yapısını saran iskelet dokulu piritler gözlenmiştir. Bu doku yatağın düşük sıcaklık şartlarında oluştuğunu gösterir (Ramdohr, 1985). Konglomera yapısının merkezi kısmında saçınımlı kalkopirit bulunmaktadır (Şekil 16a-b).

Farklı bir sondaj örneğinde yapılan incelemede kalkopirit, pirit ve pirotin gözlenmiş olup yoğun deformasyon sonucu kataklastik doku oluştuğu görülmüştür. İskelet dokulu piritler ve barit gülllerinin oluşumları mevcuttur. İkizlenme gösteren pirotin mineralinin kırıkları boyunca oluşan kalkopirit, kalkopiritin sonradan oluştuğunu desteklemektedir (Şekil 16c-d). Pirotin ve arsenopirit minerallerini içeren örnek incelendiğinde kalkopiritin arsenopiriti ornattığı ve gang olarak bulunan baritin ise her ikisini birden kestiği gözlenmiştir (Şekil 16e-f).



Şekil 16. a: Konglomera yapısı, b: Saçınımlı pirit ve kalkopirit c: Kalkopirit, Pirotin ve barit gülü (Gng), d: Pirotin kırıklarında gelişen kalkopirit, e: Saçınımlı pirit ve kalkopiriti kesen gang barit, f: Arsenopiriti ornatan kalkopirit. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Pir: Pirotin, Asp: Arsenopirit.

Hamitin Değirmeni bölgesinde yaptığımız örneklerin mikroskobik incelemesinde hematit mineralinin arasındaki boşluklarda pirit oluşumu gözlenmiştir (Şekil 17a). Molloğlu Değirmeni bölgesindeki örneklerde pirotini ornatın kalkopirit, kalkopiriti ve pirotini ornatın sfalerit mineralleri gözlenmiştir. Bu minerallerin arasında ise küçük galen kapanımları mevcuttur. Galen minerali sfalerit, pirotin ve kalkopirit minerallerini ornatmaktadır (Şekil 17b-d).

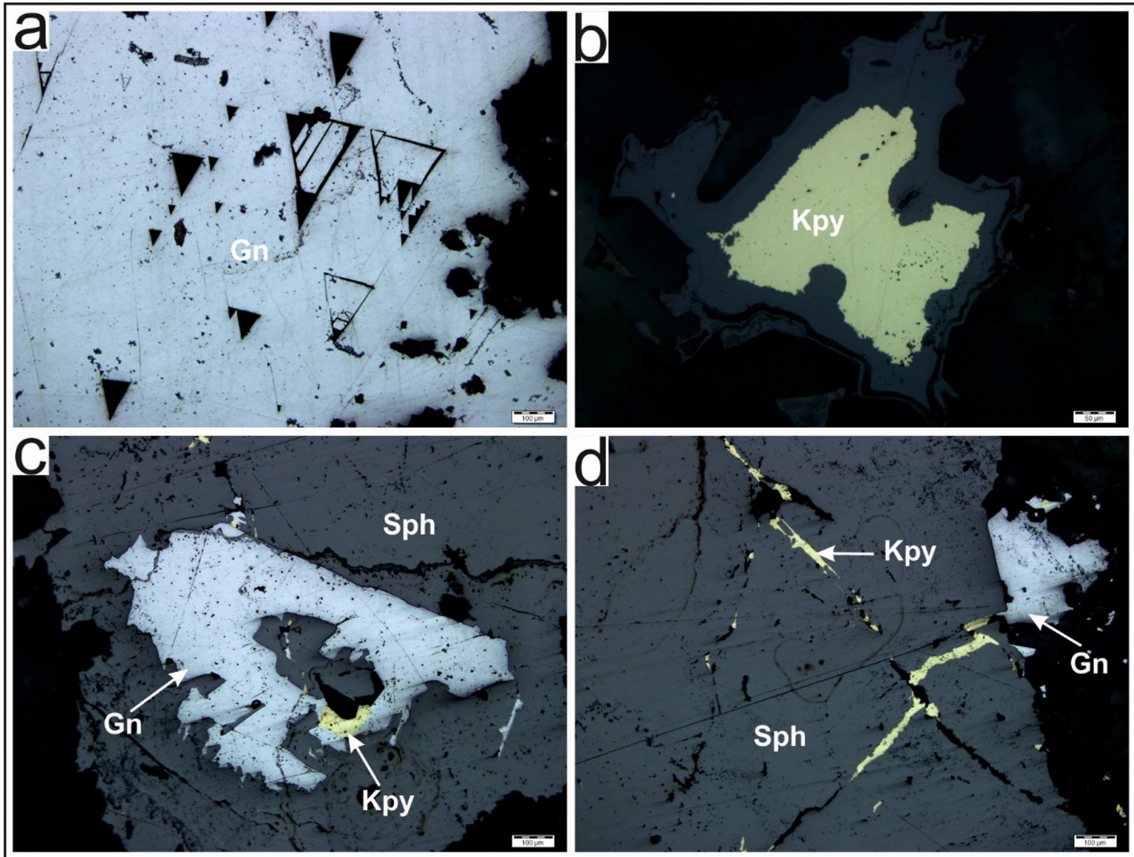


Şekil 17. a: Hematit boşluklarında gelişen pirit, b: Pirotin, sfalerit, kalkopirit ve galen birlikteliği c: İskelet dokulu pirit ve kalkopirit, d: Pirotin, pirit, kalkopirit sfalerit ve galen ornatımları. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Gn: Galen, Pir: Pirotin, Sph: Sfalerit, Hm: Hematit.

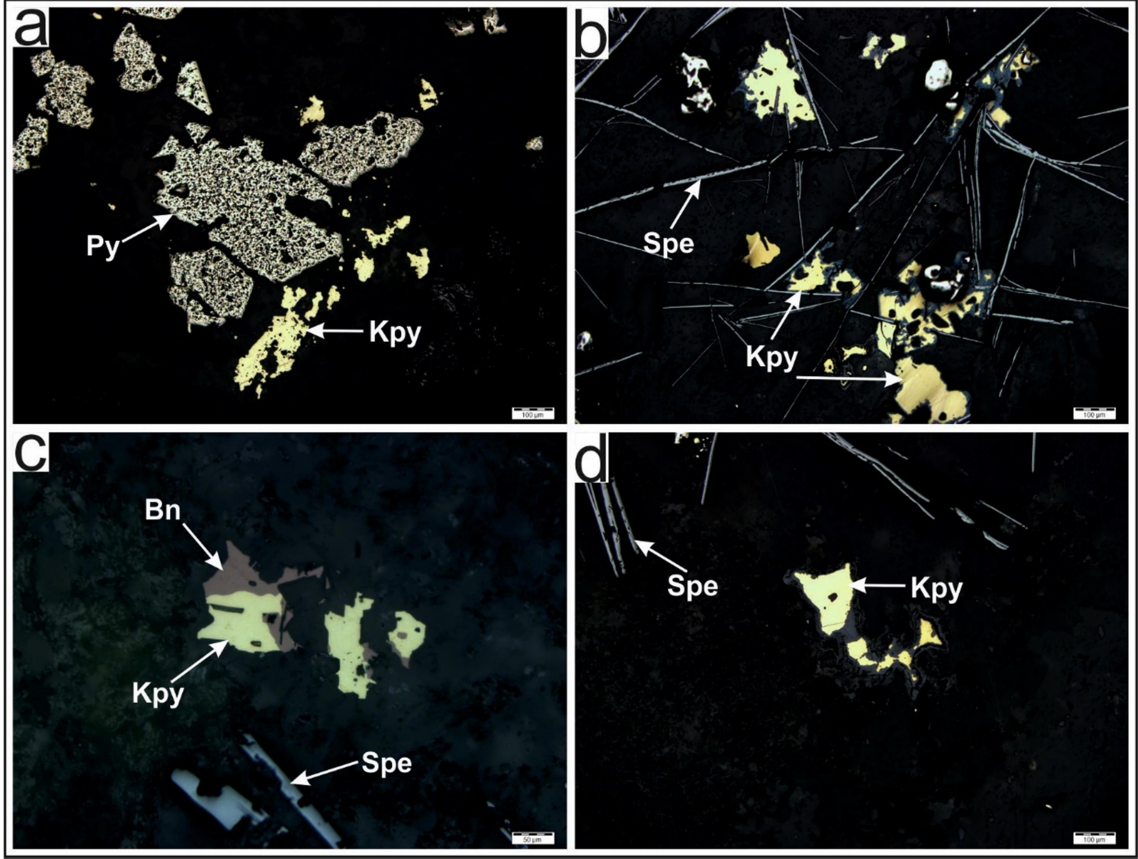
Gögelen Tepe yamaçlarındaki açılan galerilerden alınan örneklerin mikro incelemesinde kenarlarından itibaren serüztileşmiş üçgen yapılı galenler ile birlikte tamamen götit mineraline dönüşmüş pirit ve çok az miktarda kenarlarından itibaren ayrılmış kalkopirit gözlenmiştir (Şekil 18a-b). Yamaçlarda açılan açık yarmalardaki örneklerde pirit, sfalerit, kalkopirit ve galen birlikteliği görülmüştür. Burada galen,

sfaleriti ornatmış, sfalerit kırıkları boyunca kalkopirit gözlenmiştir. Bu durum kalkopiritin sfaleritten sonra oluştuğunu işaret etmektedir (Şekil 18c-d).

Bezendi Köyü kuzeyi savcı yolu üzerinde andezitik stoktan alınan örneklerin incelemesinde iskelet dokulu pirit mineralleri yaygın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca spekülaitin yanında kalkopirit, bornit ve saçınımlı pirit mineralleri mevcuttur. Kalkopirit minerallerinde kısmen malakit-azurit dönüşümleri ve kalkopirite eşlik eden bornitler gözlenmiştir (Şekil 19).



Şekil 18. a: Üçgen yapılı galen, b: Kenarlarından ayrılmış kalkopirit c-d: Sfalerit, kalkopirit ve galen parajenezi. Gn: Galen, Kpy: Kalkopirit, Sph: Sfalerit.



Şekil 19. a: İskelet dokulu pirit ve kalkopirit, b: Spekülerit ve kalkopirit parajenezi c: Kalkopirit ve bornit parajenezi, d: kalkopirit kenarlarında malahit-azurit oluşumları. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Spe: Spekülerit.

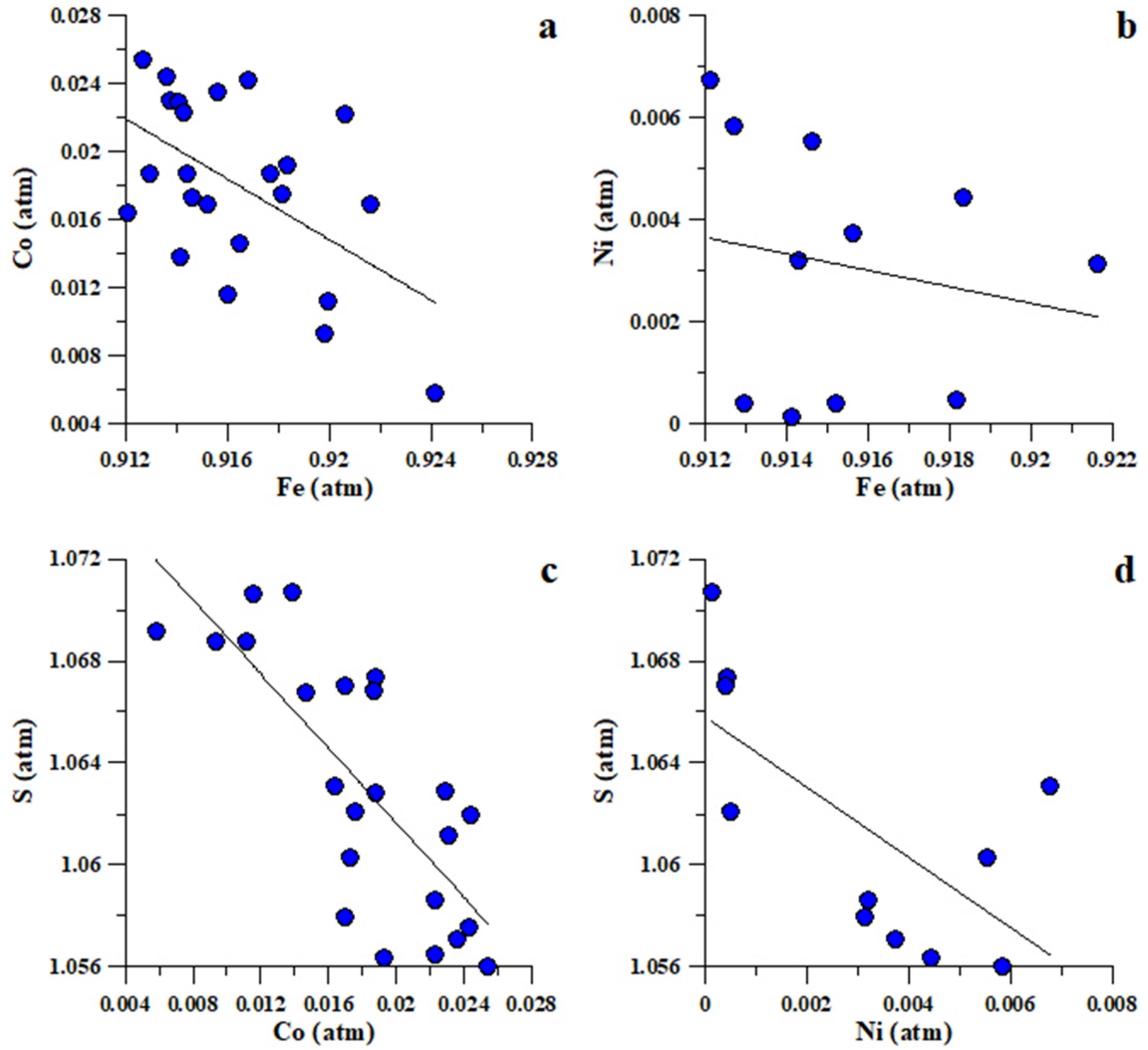
3.3. Sülfit Kimyası

Bezendi cevherinin mineral bileşimlerini, ana ve iz element içeriklerini belirlemek, bunların benzer tip yataklarla ilişkilerini ortaya koymak amacı ile pirotin, pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinden mineral kimyası analizleri yaptırılmıştır. Her bir mineral türünden yaptırılan analiz sonuçları ve elde edilen bulgular aşağıda mineral türüne göre ayrı ayrı verilmiştir.

3.3.1. Pirotin

Bezendi cevherine ait pirotin minerallerinden toplam 23 adet mineral kimyası analizi yaptırılmış ve sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre stokiometrik bileşime oldukça yakın olan pirotinlerde en yüksek değerler olarak 1.73

ağ.% Co, 0.46 ağ.% Ni tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan Cu ve As değerleri ise ölçüm sınırının altındadır. Analiz sonuçlarına göre kobalt ve nikel pirotin minerallerinde hem Fe katyonu ile hem de S anyonu ile negatif korelasyonlar göstermektedir. Bu durum kobalt ve nikelin sadece demir ile değil kükürt ile de element değiş-tokuşu yaptığını göstermektedir (Şekil 20).

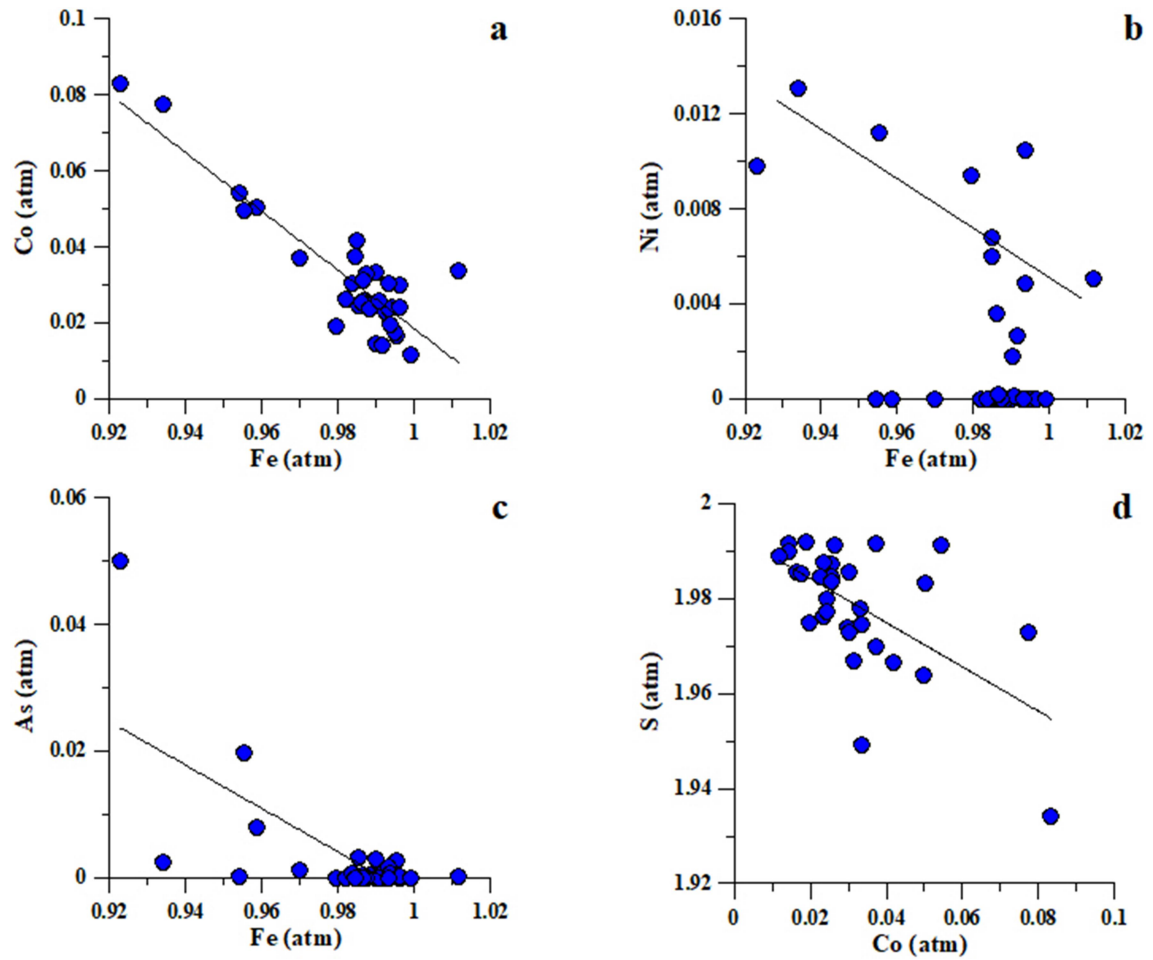


Şekil 20. Pirotin minerallerindeki a) Fe-Co arasındaki negatif korelasyon, b) Fe-Ni arasındaki negatif korelasyon, c) S-Co arasındaki negatif korelasyon, d) S-Ni arasındaki negatif korelasyon.

3.3.2. Pirit

Bezendi cevherinde bulunan pirit minerallerinden yapılan mineral kimyası analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Stokiyometrik bileşime oldukça yakın olan piritlerde

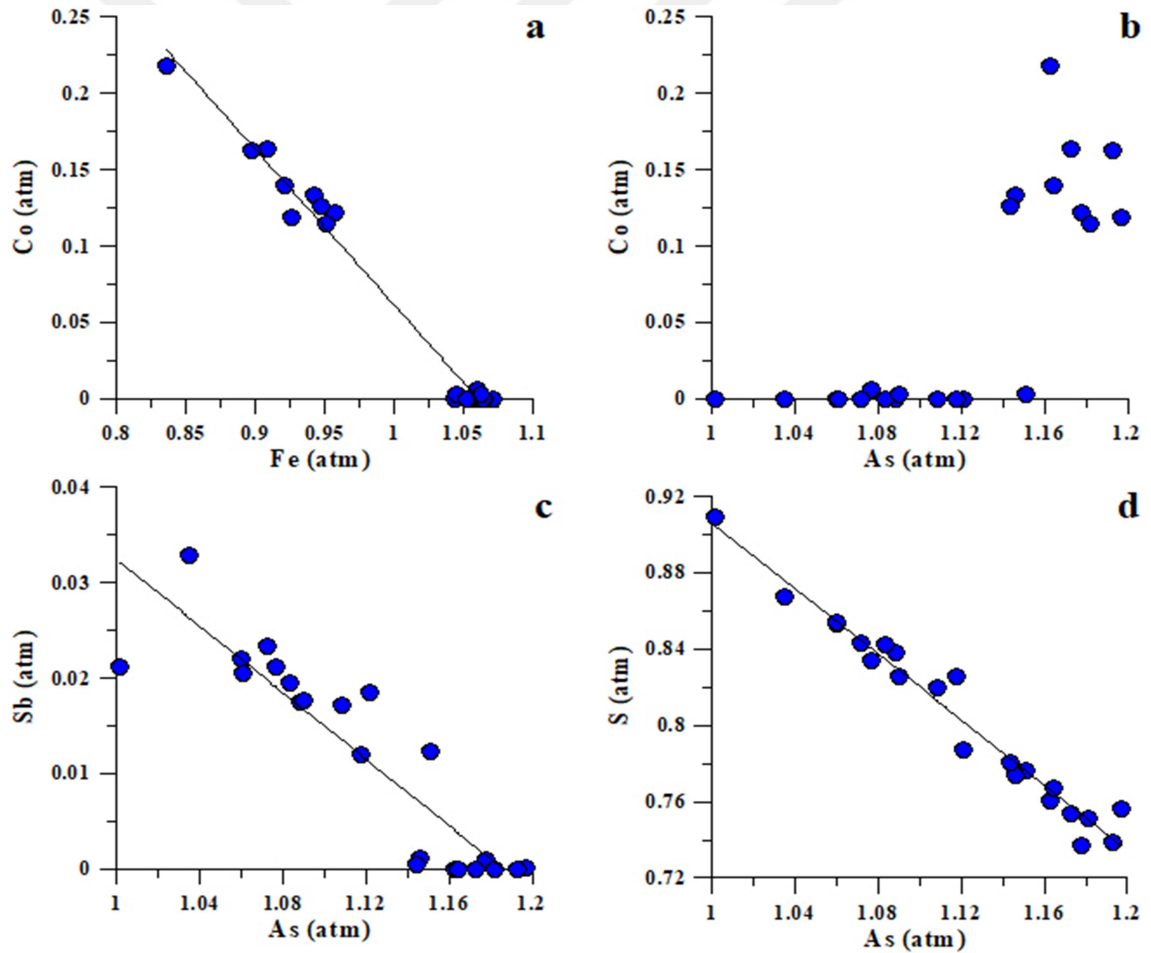
mineralin ana bileşenini oluşturan Fe ve S dışında % 4.07'ye ulaşan oranda Co, % 3.12'ye ulaşan miktarda As, % 0.78'e ulaşan miktarda Cu ve % 0.65'e ulaşan miktarda Ni belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre Fe ile Co, Ni ve As arasında negatif korelasyon bulunmakta olup bu ilişki Co, Ni ve As'ın mineral formülünde Fe ile değiş tokuş yaptığına işaret etmektedir (Şekil 21a-c). Buna karşılık S ile Co arasındaki negatif korelasyon (Şekil 21d) Co'nın sadece Fe katyonu ile değil, aynı zamanda S anyonu ile de değiş tokuş yapabileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 21. a, b, c) Pirit minerallerindeki Fe ile Co, Ni ve As arasındaki negatif korelasyonlar, d) Pirit minerallerindeki S ile Co arasındaki negatif korelasyon.

3.3.3. Arsenopirit

Bezendi cevherinde bulunan Arsenopirit minerallerinden 22 adet mineral kimyası analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Yapılan analizlerde mineralin içerdiği iz elementler bolluk sırasına göre ağırlık % 7.56 Co, ağırlık % 2.34 Sb, ağırlık % 0.60 Ni, ağırlık % 0.22 Zn şeklindedir. Arsenopirit minerallerinde Fe ile Co arasında gözlenen yüksek negatif korelasyon (Şekil 22a) Co katyonunun Fe ile değiş tokuş yaptığını göstermektedir. As içeriği yüksek örneklerin Co değerlerinin de yüksek olması As ile Co'nun birlikte hareket ettiği anlamına gelmektedir (Şekil 22b). Kükürt ile As (Şekil 22d) ve As ile Sb arasındaki (Şekil 22e) yüksek negatif korelasyonlar As'nin hem S ile, hem de Sb ile değiş tokuş yaptığını göstermektedir.



Şekil 22. Arsenopirit minerallerindeki a) Co-Fe arasındaki negatif korelasyon, b) As-Co ilişkisi, c) Sb ile As arasındaki negatif korelasyon, d) As-S arasındaki negatif korelasyon

Tablo 1. Pirotin minerallerinde ölçülen mineral kimyası analiz sonuçları.

Örnek No	Analiz/ Element	Fe	As	S	Cu	Ni	Co	Toplam	a.p.f.u.	Fe	As	S	Cu	Ni	Co	Toplam
Örnek 3	1	58,96	0,05	39,58	-	0,03	1,28	99,89		0,913	0,001	1,067	-	0,000	0,019	2,000
	2	58,99	0,07	39,67	0,03	0,01	0,94	99,71		0,914	0,001	1,071	0,000	0,000	0,014	2,000
	3	58,93	-	39,45	0,03	0,03	1,15	99,59		0,915	-	1,067	0,000	0,000	0,017	2,000
	4	58,87	-	39,29	-	-	1,66	99,83		0,914	-	1,062	-	-	0,024	2,000
	5	58,86	0,09	39,25	0,08	-	1,57	99,84		0,914	0,001	1,061	0,001	-	0,023	2,000
Örnek 3	1	59,13	0,07	39,28	0,01	-	0,39	98,88		0,924	0,001	1,069	0,000	-	0,006	2,000
	2	59,06	0,01	39,44	-	-	1,56	100,07		0,914	0,000	1,063	-	-	0,023	2,000
	3	59,21	0,01	39,50	-	-	0,76	99,47		0,920	0,000	1,069	-	-	0,011	2,000
	4	59,05	0,09	39,52	0,04	0,46	1,12	100,28		0,912	0,001	1,063	0,001	0,007	0,016	2,000
	5	58,83	0,03	39,48	0,11	-	0,79	99,23		0,916	0,000	1,071	0,001	-	0,012	2,000
Örnek 4	1	58,89	-	39,46	-	-	1,27	99,62		0,914	-	1,067	-	-	0,019	2,000
	2	58,65	0,01	38,85	0,09	-	1,64	99,23		0,917	0,000	1,058	0,001	-	0,024	2,000
	3	58,98	0,11	39,35	0,06	-	0,63	99,14		0,920	0,001	1,069	0,001	-	0,009	2,000
	4	58,77	0,03	39,28	0,13	-	0,99	99,20		0,916	0,000	1,067	0,002	-	0,015	2,000
	5	58,85	-	39,02	-	0,25	1,60	99,72		0,916	-	1,057	-	0,004	0,024	2,000
Örnek 4	1	58,95	-	39,25	0,17	0,38	1,18	99,92		0,915	-	1,060	0,002	0,006	0,017	2,000
	2	58,87	0,02	39,10	0,10	0,03	1,19	99,32		0,918	0,000	1,062	0,001	0,000	0,018	2,000
	3	59,03	0,02	39,26	0,04	-	1,27	99,62		0,918	0,000	1,063	0,000	-	0,019	2,000
	4	59,01	0,03	39,23	0,09	0,22	1,52	100,10		0,914	0,000	1,059	0,001	0,003	0,022	2,000
	5	58,92	0,05	38,91	0,08	0,30	1,30	99,56		0,918	0,001	1,056	0,001	0,004	0,019	2,000
Örnek 5	1	58,66	-	38,97	-	0,40	1,72	99,74		0,913	-	1,056	-	0,006	0,025	2,000
	2	59,04	0,03	38,91	0,02	-	1,51	99,51		0,921	0,000	1,056	0,000	-	0,022	2,000
	3	58,85	0,02	38,79	-	0,21	1,14	99,02		0,922	0,000	1,058	-	0,003	0,017	2,000

Tablo 2. Pirit minerallerinde ölçülen mineral kimyası analiz sonuçları.

Örnek No	Analiz/ Element	Fe	As	S	Cu	Ni	Co	Toplam	a.p.f.u.	Fe	As	S	Cu	Ni	Co	Toplam
Örnek 2	1	44,75	0,50	53,16	-	-	2,48	100,88		0,959	0,008	1,983	-	-	0,050	3,000
	2	45,86	0,19	53,00	0,06	-	0,71	99,81		0,990	0,003	1,992	0,001	-	0,014	3,000
	3	44,12	1,23	52,09	-	0,54	2,43	100,41		0,955	0,020	1,964	-	0,011	0,050	3,000
	4	42,85	3,12	51,56	-	0,48	4,08	102,08		0,923	0,050	1,934	-	0,010	0,083	3,000
	5	44,47	0,01	53,29	-	-	2,67	100,44		0,954	0,000	1,991	-	-	0,054	3,000
	6	45,74	0,20	52,92	0,07	-	1,20	100,14		0,985	0,003	1,985	0,001	-	0,025	3,000
	7	45,38	0,07	53,51	-	-	1,84	100,81		0,970	0,001	1,992	-	-	0,037	3,000
	8	44,04	0,15	53,41	-	0,65	3,85	102,10		0,934	0,002	1,973	-	0,013	0,077	3,000
Örnek 3	1	46,04	0,03	53,24	-	-	1,26	100,57		0,987	0,000	1,987	-	-	0,026	3,000
	2	45,93	-	53,64	-	0,47	0,94	100,97		0,979	-	1,992	-	0,009	0,019	3,000
	3	46,10	-	53,27	-	0,18	1,25	100,81		0,986	-	1,985	-	0,004	0,025	3,000
	4	45,91	-	53,47	0,03	-	1,30	100,71		0,982	-	1,991	0,000	-	0,026	3,000
	5	46,00	0,04	53,32	-	-	1,49	100,85		0,984	0,001	1,985	-	-	0,030	3,000
	6	46,21	0,03	53,36	-	-	1,17	100,76		0,988	0,000	1,988	-	-	0,024	3,000
Örnek 3	1	46,02	0,07	52,64	0,02	-	1,19	99,94		0,994	0,001	1,980	0,000	-	0,024	3,000
	2	46,08	0,04	53,10	0,06	0,13	0,70	100,11		0,991	0,001	1,990	0,001	0,003	0,014	3,000
	3	46,20	0,17	52,93	-	-	0,81	100,11		0,995	0,003	1,986	-	-	0,016	3,000
	4	46,43	-	52,83	-	-	1,47	100,72		0,996	-	1,974	-	-	0,030	3,000
	5	46,72	0,01	51,70	0,02	0,25	1,64	100,33		1,011	0,000	1,949	0,000	0,005	0,034	3,000
	6	46,09	0,04	52,82	0,09	-	0,86	99,91		0,995	0,001	1,985	0,002	-	0,018	3,000
	7	46,18	-	52,95	-	0,33	2,07	101,54		0,985	-	1,967	-	0,007	0,042	3,000
	8	46,24	-	53,09	-	-	1,12	100,45		0,993	-	1,985	-	-	0,023	3,000
	9	46,21	0,10	52,80	-	0,24	1,16	100,51		0,993	0,002	1,976	-	0,005	0,024	3,000
	10	46,16	-	52,87	-	0,09	1,65	100,77		0,990	-	1,975	-	0,002	0,033	3,000

Tablo 2'nin devamı

Örnek No	Analiz/ Element	Fe	As	S	Cu	Ni	Co	Toplam	a.p.f.u.	Fe	As	S	Cu	Ni	Co	Toplam
Örnek 6	1	46,01	-	52,90	-	0,01	1,26	100,17		0,991	-	1,983	-	0,000	0,026	3,000
	2	45,86	0,03	52,35	0,05	0,51	0,96	99,76		0,994	0,001	1,975	0,001	0,010	0,020	3,000
	3	45,77		52,65	0,08	-	1,61	100,12		0,987	-	1,978	0,002	-	0,033	3,000
Örnek 6	1	45,94	0,02	52,35	0,10	-	1,18	99,59		0,996	0,000	1,977	0,002	-	0,024	3,000
	2	45,59	-	52,00	0,18	-	1,47	99,24		0,993	-	1,973	0,004	-	0,030	3,000
	3	45,89	-	52,47	0,01	-	0,57	98,94		0,999	-	1,989	0,000	-	0,012	3,000
	4	45,58	-	52,17	0,78	0,01	1,53	100,07		0,987	-	1,967	0,015	0,000	0,031	3,000
	5	45,95	-	52,78	0,12	0,30	1,84	100,98		0,985	-	1,970	0,002	0,006	0,037	3,000

Tablo 3. Arsenopirit minerallerinde ölçülen mineral kimyası analiz sonuçları.

Örnek	Ana/ Elem.	Fe	As	Zn	Sb	S	Cu	Ni	Co	Toplam	Fe	As	Zn	Sb	S	Cu	Ni	Co	Toplam
Örnek 3	1	34,58	48,56	-	1,30	14,59	0,07	-	-	99,10	1,071	1,121	-	0,019	0,787	0,002	-	-	3,000
	2	34,86	47,49	-	1,52	15,75	-	0,02	0,22	99,88	1,060	1,077	-	0,021	0,834	-	0,001	0,006	3,000
	3	34,99	46,72	0,01	1,57	16,09	-	-	-	99,40	1,065	1,060	0,000	0,022	0,853	-	-	-	3,000
	4	34,90	47,47	0,01	1,69	15,99	0,06	0,06	-	100,19	1,057	1,072	0,000	0,023	0,844	0,001	0,002	-	3,000
Örnek 3	1	35,20	44,51	0,01	1,53	17,29	0,05	0,12	-	98,72	1,063	1,002	0,000	0,021	0,909	0,001	0,004	-	3,000
	2	34,54	47,88	-	1,26	15,78	0,08	-	0,01	99,59	1,054	1,089	-	0,018	0,838	0,002	-	0,000	3,000
	3	34,55	47,63	-	1,39	15,85	0,04	-	-	99,49	1,054	1,083	-	0,020	0,842	0,001	-	-	3,000
	4	34,69	45,32	0,01	2,34	16,26	0,07	-	-	98,69	1,063	1,035	0,000	0,033	0,867	0,002	-	-	3,000
	5	34,52	49,60	-	0,86	15,69	0,04	-	-	100,71	1,044	1,118	-	0,012	0,826	0,001	-	-	3,000
	6	34,18	50,52	-	0,88	14,59	0,09	0,35	0,10	100,71	1,045	1,151	-	0,012	0,776	0,003	0,010	0,003	3,000
	7	34,65	48,96	-	1,23	15,51	0,09	-	-	100,47	1,052	1,108	-	0,017	0,820	0,002	-	-	3,000
	8	34,88	46,63	-	1,47	16,07	0,05	-	-	99,09	1,064	1,060	-	0,021	0,854	0,001	-	-	3,000
	9	34,34	47,28	-	1,25	15,33	0,08	-	0,09	98,37	1,062	1,090	-	0,018	0,826	0,002	-	0,002	3,000
Örnek 3	2	27,52	51,36	0,22	-	14,39	0,01	0,60	7,56	101,65	0,836	1,163	0,006	-	0,761	0,000	0,017	0,218	3,000
Örnek 4	1	31,28	51,60	-	0,06	13,83	-	0,13	4,21	101,14	0,958	1,178	-	0,001	0,737	0,000	0,004	0,122	3,000
	3	29,77	51,56	-	-	14,18	-	0,02	5,67	101,23	0,909	1,173	-	-	0,754	-	0,001	0,164	3,000
Örnek 4	1	31,22	50,93	-	0,08	14,73	-	0,12	4,67	101,74	0,942	1,146	-	0,001	0,774	-	0,004	0,134	3,000
	2	31,21	50,54	0,02	0,03	14,75	0,02	-	4,40	100,98	0,948	1,144	0,001	0,000	0,780	0,001	-	0,127	3,000
Örnek 5	2	30,27	52,51	-	0,01	14,20	0,05	0,02	4,11	101,21	0,926	1,197	-	0,000	0,756	0,001	0,001	0,119	3,000
Örnek 5	1	30,24	51,26	-	-	14,46	-	0,23	4,85	101,04	0,922	1,165	-	-	0,767	-	0,007	0,140	3,000
	2	31,16	51,91	-	-	14,13	-	0,05	3,96	101,24	0,951	1,182	-	-	0,751	0,000	0,001	0,115	3,000
Örnek 5	2	29,40	52,42	-	-	13,90	0,02	0,28	5,62	101,66	0,897	1,193	-	-	0,739	0,001	0,008	0,162	3,000

3.4. Sıvı Kapanımlar

Minerallerin oluşumu sırasında kristal kafesinde oluşan boşluklarda hapsolan sıvılar sıvı kapanım olarak tanımlanmaktadır. Eğer bu sıvılar mineralin oluşumu sırasında mineral ile eş zamanlı olarak kapanlanmış ise birincil, mineralin oluşumu sonrasında gelişen kırıklar veya dilinimler boyunca sonradan hapsolmuş kapanımlar ise ikincil sıvı kapanımlar olarak kabul edilir (Shepherd vd., 1985). Sıvı kapanımların incelenmesi suretiyle çalışılan madeni oluşturan hidrotermal çözeltilerin bileşimlerini, bu çözeltilerin içerdiği tuz miktarlarını, oluşum sıcaklıklarını ve bu kapanımların oluştuğu basınç şartlarını belirlemek mümkündür.

Bu özelliklerin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi için öncelikle söz konusu yatakta bulunan birincil sıvı kapanımların belirlenmesi gerekir. Zira ikincil kapanımlar maden yatağı oluşuktan sonraki süreçlerde geliştiğinden, ikincil kapanımlardan elde edilecek bulgular yatağın oluşum zamanındaki parametreler yerine, yatak oluşuktan sonraki süreçleri temsil edecektir. Bundan dolayı birincil kapanımların petrografik çalışmalar ile belirlenerek mikrotermometrik ölçümlerin bu kapanımlardan yapılması büyük önem arz etmektedir.

Maden yataklarının oluşumu birden fazla süreç gerektirdiğinden, bir maden yatağında bulunan birincil sıvı kapanımların tamamının aynı zamanda oluşması gerekmez. Bu nedenle yatak içindeki farklı evrelerde oluşan kapanımların da ayırt edilmesi, her bir evrenin özelliklerinin tanımlanması için gereklidir. Farklı tip sıvı kapanımların ve bu kapanımların oluşum evrelerinin belirlenmesi petrografik çalışmalarla sağlanmaktadır. Bu çalışmalarda farklı tip kapanımların belirlenmesinde yaygın olarak kapanımların morfolojileri, mineral içindeki oluşum sıraları, oda sıcaklığında sahip oldukları faz sayıları gibi kriterler dikkate alınır. Bu şekilde belirlenen aynı tür ve eş zamanlı kapanımlardan elde edilecek bulgular birlikte değerlendirilerek çalışılan yatağın her bir oluşum evresine ait bulgulara ulaşmak mümkündür.

Sıvı kapanım yönteminin özü, öncelikle tamamen dondurulan kapanımların sonrasında kademeli olarak ısıtılması ve bu esnada gösterdiği faz geçişlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bunun için sıvı kapanım çalışmaları soğutma ve ısıtma işlemlerini kontrollü olarak yapabilen deney düzeneklerini gerektirir. Sıvı

kapanım çalışmalarında karşılaşılan ve bu çalışmada da gözlenmiş olan bazı faz geçişlerini ifade eden terimlerin anlamları ise şu şekildedir:

İlk Buz Ergime Sıcaklığı (T_{fm}): Ötektik sıcaklığı olarak da tanımlanan bu terim tamamen dondurulan sıvı kapanımların ısıtılması sırasında ergimenin ilk başladığı sıcaklık değeri olarak bilinir. Su ile bu su içerisinde çözünmüş çeşitli tuz türlerini içeren bir sıvı kapanımda ilk buz ergime sıcaklıkları, bu kapanımların çerdği tuz miktarından bağımsız olarak mevcut tuzun türüne göre değişim sunacaktır. Her bir tuz türünün ilk buz ergime sıcaklıkları yapılan deneysel çalışmalar ile belirlendiğinden, sıvı kapanımlardaki olası tuz türlerinin belirlenmesinde bilinen mevcut referanslar kullanılır. Bu şekilde çalışılan sıvı kapanım içerisinde bulunabilecek tuz türünü belirlemek mümkündür. Ancak sıvı kapanımları oluşturan çözeltiler her zaman tek bir tuz türünü içermez. Bu gibi durumlarda o kapanımlardan ölçülen ilk buz ergime sıcaklıkları, olası tuz türlerinin karakteristik sıcaklık değerleri arasında bir değere sahip olacaktır.

Son Buz Ergime Sıcaklığı (T_{m-ice}): dondurulmuş bir sıvı kapanımın ısıtılması sırasında ilk buz ergimesine karşılık gelen ergimenin il başladığı sıcaklığı takip eden süreçte mevcut buz türünün tamamen ergime sıcaklığı son buz ergime sıcaklığına karşılık gelmektedir.

Tuzluluk (ağ.% NaCl eşd.): Sıvı kapanımların içerdği tuz miktarına denir. Eğer bir kapanım içerisinde bir miktar tuz bulunuyor ise kapanım içindeki suyun donma sıcaklığı bir miktar 0 °C (sıfır) derecenin altına sarkacaktır. Yapılan çalışmalar sıvı içerisindeki tuz konsantrasyonu ile son buz ergime sıcaklığı arasında bir ilişkinin varlığını göstermiş olduğundan, ölçülen son buz ergime sıcaklıklarına göre o kapanımın tuzluluk mikarını hesaplayarak bulmak mümkündür.

Homojenleşme Sıcaklığı (T_h): Sıvı kapanımların ısıtılması sırasında içerisindeki gaz fazın sıvı faza veya sıvı fazın gaz faza homojenleştiği sıcaklık homojenleşme sıcaklığı (T_h) olarak tanımlanır. Ölçülen homojenleşme sıcaklığı atmosfer basıncı altında ölçülen en düşük sıcaklıktır. Bundan dolayı sıvı kapanımların oluştuğu derinlik belirlenerek basınç düzeltilmesi yapmak gerekir.

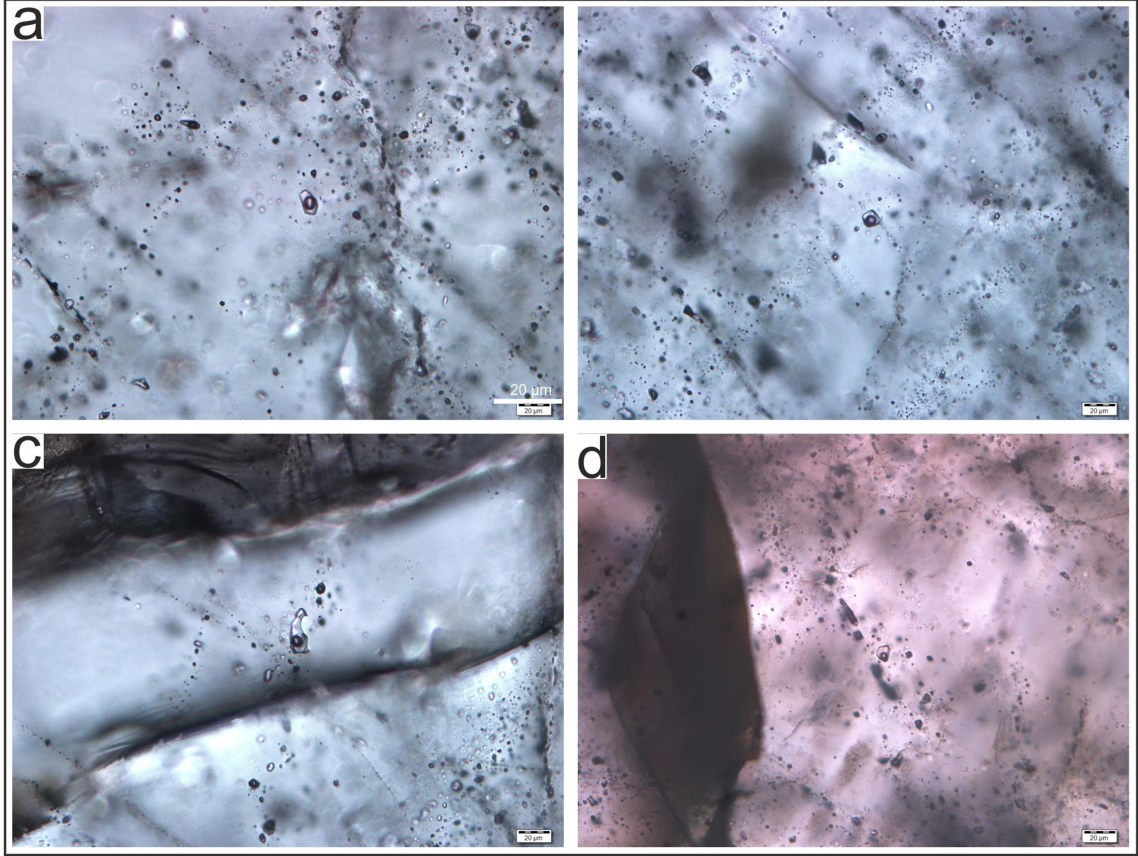
3.4.1. Sıvı kapanım Petrografisi

Bezendi cevherinde sıvı kapanım çalışması kuvars minerallerinde yapılmıştır. Çalışma yapılan kapanımlar oda sıcaklığında sıvı ve gaz içeren iki fazlı (L+V) kapanımlar şeklindedir. Örneklerde katı tuz kristali veya CO₂ içeren kapanım gözlenmemiş, hazırlanan 11 örnekten 4 tanesinde ise ölçüme uygun kapanım belirlenmiştir.

Örneklerde hem birincil hem de ikincil kapanımlar gözlenmiş olup mikrotermometrik ölçümler bunlardan yalnızca birincil kökenli olduğuna karar verilen kapanımlarda yapılmıştır. Birincil kapanımların tanımlanması Shepherd vd. (1985) referans alınarak gerçekleştirilmiştir. İkincil kapanımların cevherleşme sonrası süreçlerden etkilenmesi ve bunlardan elde edilen bulguların cevher oluşum şartlarından ziyade cevherleşme sonrasındaki ortamsal şartlar hakkında bilgi vermesi nedeniyle, çalışmalarda birincil kapanımlar kullanılmıştır.

İncelenen sıvı kapanımların boyutları yaygın olarak 5-20 µm arasında değişmektedir. Bazı kapanımlarda, boyutlarının küçük olması nedeniyle, ötektik ve son buz ergime sıcaklıkları ölçülememiştir. Ancak bütün kapanımlarda homojenleşme sıcaklıkları ölçülmüştür. Örneklerde yaygın olarak düzensiz geometrik şekilli, daha az oranda ise tüp şekilli ve elipsoidal kapanımlar gözlenmiştir.

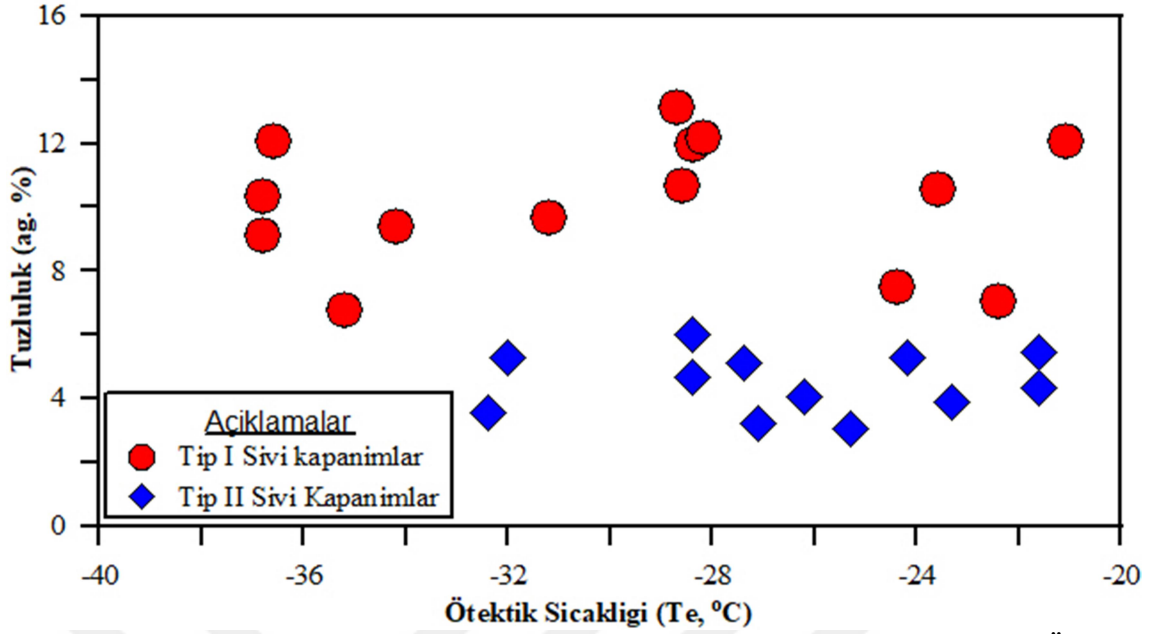
Örneklerdeki tüm kapanımlar sıvı ve gaz içeren iki fazlı kapanımlar şeklindedir. Bu kapanımların şekli, boyutu, kapanım tipi, homojenleştikleri faz tipleri ve sıvı/gaz oranları bakımından da aralarında belirgin bir farklılık yoktur. Ancak mikrotermometrik ölçümler sırasında bu kapanımların bir kısmında diğerlerine göre daha yüksek Th sıcaklıkları belirlenmiştir. Yüksek Th sıcaklıkları ile karakteristik olan bu kapanımlar Tip I olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 23a, b). Tip I kapanımlar ayrıca daha yüksek tuzluluk değerleri ile karakteristiktir. Buna karşın Tip II kapanımlar daha düşük Th sıcaklıkları ve daha düşük tuzluluk miktarı ile karakteristiktir (Şekil 23c, d). Kuvars minerallerindeki sıvı kapanımlardan ölçülen mikrotermometrik ölçüm sonuçları kapanım tipleri ve ölçülen mikrotermometrik parametreler dikkate alınarak aşağıda ayrı ayrı sunulmuştur.



Şekil 23. a-b) Kuvars minerallerindeki Tip I sıvı kapanımlar, c-d) kuvars minerallerindeki Tip II sıvı kapanımlar.

3.4.2. Ötektik Sıcaklık (T_{fm}) Ölçümleri

Kuvars minerallerindeki sıvı kapanımların ötektik sıcaklıkları ayrı ayrı ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. Buna göre Tip I sıvı kapanımların T_e sıcaklıkları -21.1 ile -36.8 °C arasında, Tip II sıvı kapanımların T_e sıcaklıkları -21.6 ile -28.4 °C arasında ölçülmüştür. Ölçülen T_e sıcaklıklarının çeşitli tuz-su bileşiklerinin ötektik sıcaklıkları ile kıyaslanması sonucu (Roedder, 1979; Shepherd, 1985) Tip I ve Tip II kapanımların bileşimlerinin MgCl₂-FeCl₂-NaCl-H₂O bileşimine yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Kuvars minerallerindeki Tip I ve Tip II sıvı kapanımların Ötektik sıcaklıklarına karşılık tuzluluk değişimleri.

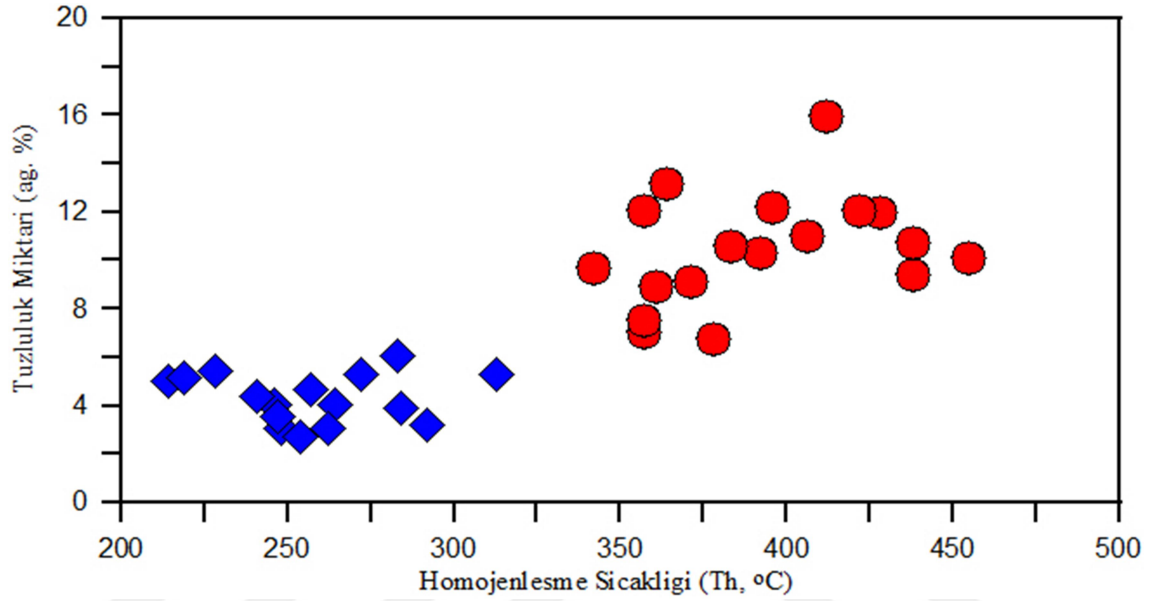
3.4.3. Son Buz Ergime Sıcaklığı (T_{m-ice}) Ölçümleri

Kuvars minerallerinde bulunan Tip I ve Tip II sıvı kapanımların son buz ergime sıcaklıkları Tablo 4’de verilmiştir. Buna göre Tip I kapanımları T_{m-ice} sıcaklıkları -4.2 ile -11.7 °C arasındadır. Buna karşın tip II kapanımların T_{m-ice} sıcaklıkları -1.6 ile -4.2 °C arasında ölçülmüştür. Ölçülen T_{m-ice} sıcaklıklarına göre sıvı kapanımların bileşimleri Bodnar ve Vitky (1994) tarafından geliştirilen ve aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan bu tuzluluk değerleri, tuzluluk hesaplamak üzere Brown (1989) tarafından geliştirilen “Flinacor“ ve Bakker (2003) tarafından geliştirilen “Bulk“ programları kullanılarak kontrol edilmiştir.

$$\text{Tuzluluk (NaCl \% eşd.): } 1,78(T_{m-ice}) - 0,0442(T_{m-ice})^2 + 0,000557(T_{m-ice})^3 \quad (1)$$

Kuvars minerallerindeki hem Tip I ve hem de Tip II kapanımların tuzlulukları yukarıda verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre Tip I kapanımların tuzlulukları 6.8 ile 16 ağ.% NaCl eşdeğeri şeklinde hesaplanmıştır. Tip II kapanımların tuzluluk miktarları ise 2.7 ile 6.8 ağ.% NaCl eşdeğeri arasında hesaplanmıştır. Hesaplanan tuzluluk değerleri tuzluluk-Th grafiğine aktarıldığında hem Tip I ve hem de

Tip II kapanımların tuzluluk miktarının azalan homojenleşme sıcaklığına karşılık azalan bir ternde sahip olduğu görülmektedir (Şekil 25). Sıvı kapanımların Th sıcaklığındaki düşüşe karşılık tuzluluk miktarının azalması trendi ise Wilkinson (2001) tarafından önerilen çözelti davranışları ile kıyaslandığında meteorik çözeltiler ile seyretilme trendine karşılık gelmektedir (Şekil 25).



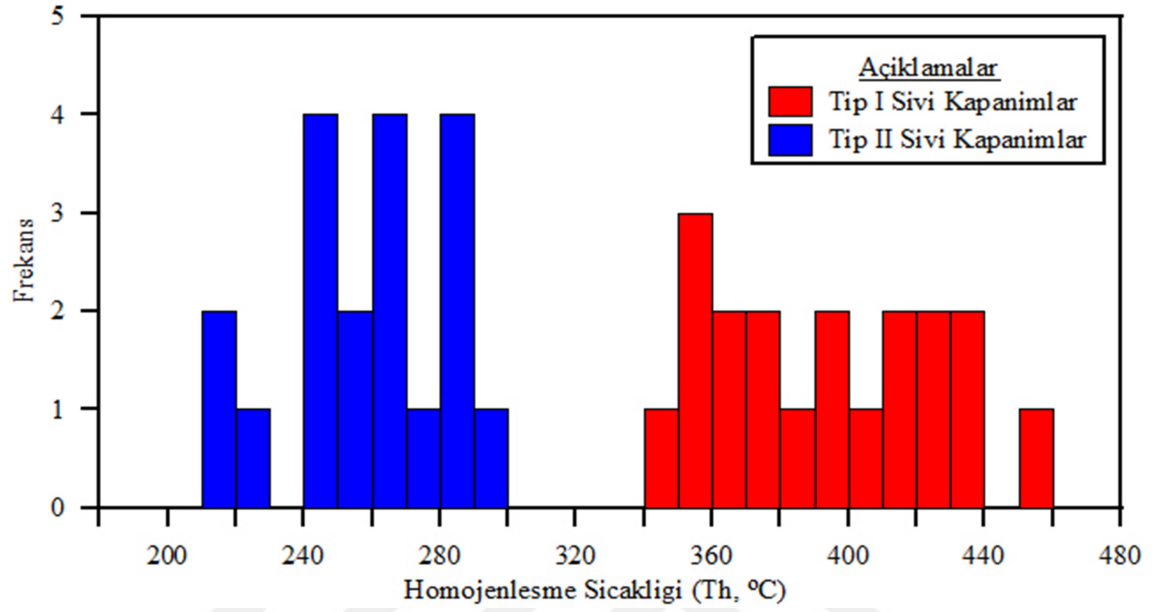
Şekil 25. a) Kuvars minerallerindeki Tip I ve Tip II sıvı kapanımların homojenleşme sıcaklığına karşılık tuzluluk değişimleri (Semboller Şekil 24'teki gibidir)

3.4.4. Homojenleşme Sıcaklığı (Th) Ölçümleri

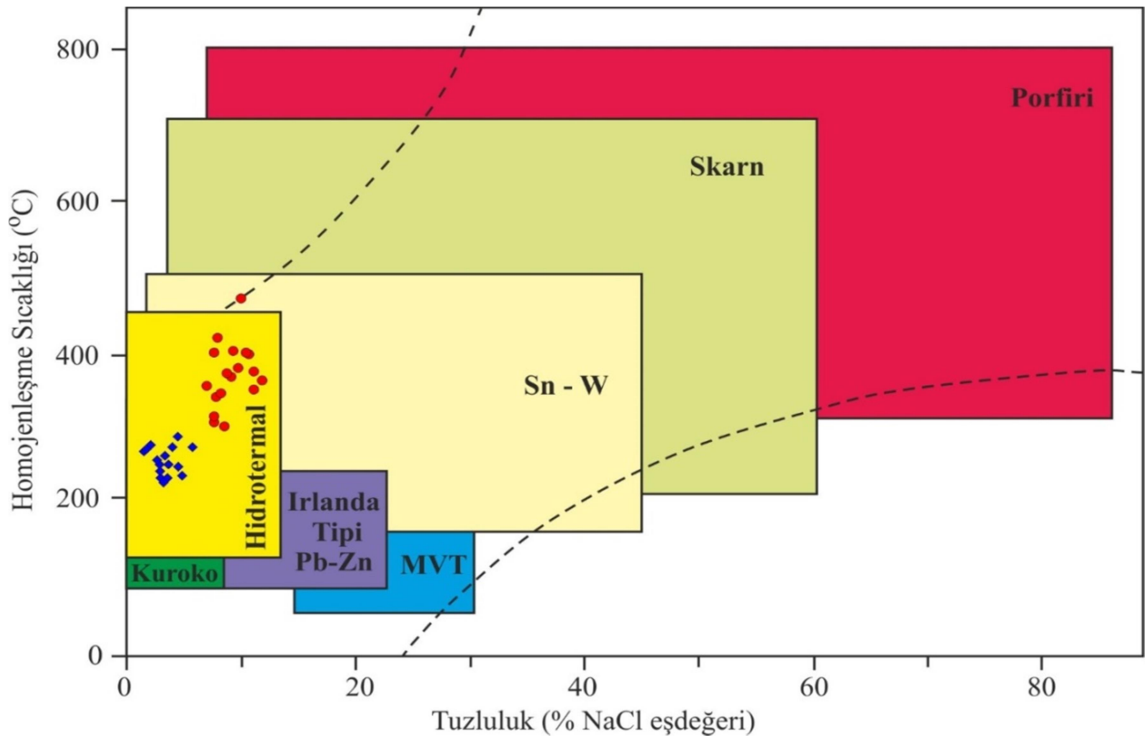
Kuvars minerallerinde bulunan Tip I ve Tip II sıvı kapanımların Th sıcaklıkları ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca ölçülen Th sıcaklıklarının değişim aralığını gösteren histogram Şekil 26'da verilmiştir. Buna göre bütün sıvı kapanımların Th sıcaklıkları 214 ile 455 °C arasında değişmektedir. Bunlardan Tip I sıvı kapanımların Th sıcaklıkları 342 ile 455 °C arasında, Tip II sıvı kapanımların Th sıcaklıkları ise 214 ile 326 °C arasında ölçülmüştür.

Petrografik çalışmalarda belirlenen iki farklı tip sıvı kapanımın Th sıcaklıklarının değişim aralığı Şekil 26'daki histogram üzerinde de iki farklı dağılım aralığı vermektedir. Ancak bütün sıvı kapanımların 214 ile 455 °C arasında değişen homojenleşme sıcaklığına karşılık 2.7 ile 16 ağ.% NaCl eşd. arasında değişen tuzluluklarının değişim aralığı Wilkinson (2001) tarafından verilen farklı yatak

tiplerinin Th-tuzluluk grafiğine aktarıldığında Bezendi cevherine ait sıvı kapanımların sıcaklık aralığının hidrotermal damar tip yataklar ile uyum gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 27).



Şekil 26. Kuvars minerallerindeki Tip I ve Tip II sıvı kapanımların Homojenleşme sıcaklığı histogramı.



Şekil 27. Bezendi cevherine ait sıvı kapanımların Th-Tuzluluk değişimlerinin farklı yatak tipleri ile kıyaslanması (Wilkinson, 2001'den alınmıştır).

Tablo 4. Kuvars minerallerindeki sıvı kapanımlara ait mikrotermometrik parametreler.

Mineral	Tip	Te, °C	Tm-ice, °C	Th, °C	Tuzluluk (ağ.% NaCl)
Kuvars	Tip I	-21,1	-8,2	357	12,1
		-38,7	-9,1	364	13,1
		-36,8	-6,8	392	10,3
				414	
		-34,2	-6,1	438	9,4
			-7,3	406	11,0
		-28,4	-8,1	428	12,0
		-23,6	-7	383	10,6
		-28,2	-8,3	396	12,2
			-5,7	361	8,9
		-22,4	-4,4	357	7,1
		-28,6	-7,1	438	10,7
			-6,6	455	10,1
		-36,6	-8,2	422	12,1
			-11,7	412	16,0
		-35,2	-4,2	378	6,8
		-36,8	-5,9	371	9,2
		-24,4	-4,7	357	7,5
		-31,2	-6,3	342	9,7
Kuvars	Tip II		-2,7	289	4,5
			-3,1	304	5,1
			-3,2	318	5,3
			-4,2	326	6,8
		-32	-3,2	313	5,3
		-27,1	-1,9	292	3,2
		-24,2	-3,2	272	5,3
			-3	214	5,0
		-26,2	-2,4	246	4,0
		-25,3	-1,8	248	3,1
			-2,4	264	4,0
		-28,4	-3,7	283	6,0
		-21,6	-3,3	228	5,4
		-32,4	-2,1	247	3,6
			-1,8	262	3,1
				264	
				268	
		-27,4	-3,1	219	5,1
		-21,6	-2,6	241	4,4
		-28,4	-2,8	257	4,7
			-1,6	254	2,7
				282	
		-23,3	-2,3	284	3,9

3.5. Kükürt İzotop Çalışması

Bu çalışmada Bezendi cevherindeki sülfür minerallerinin (pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen) kökensel özelliklerini belirlemek, denge halinde oluşan sülfür minerallerinin oluşum sıcaklıklarını hesaplamak amacıyla kükürt izotop çalışması yapılmıştır. Bu amaçla pirit (1 adet), kalkopirit (2 adet) sfalerit (2 adet) ve galen mineralinden (2 adet) toplam 7 adet kükürt izotop analizi yaptırılmış sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Bezendi cevherindeki pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinin kükürt izotop bileşimleri ve çeşitli mineral çiftlerinden hesaplanan dengelenme sıcaklıkları. Py: Pirit, Kpy: Kalkopirit, Sph: Sfalerit, Gn: Galen.

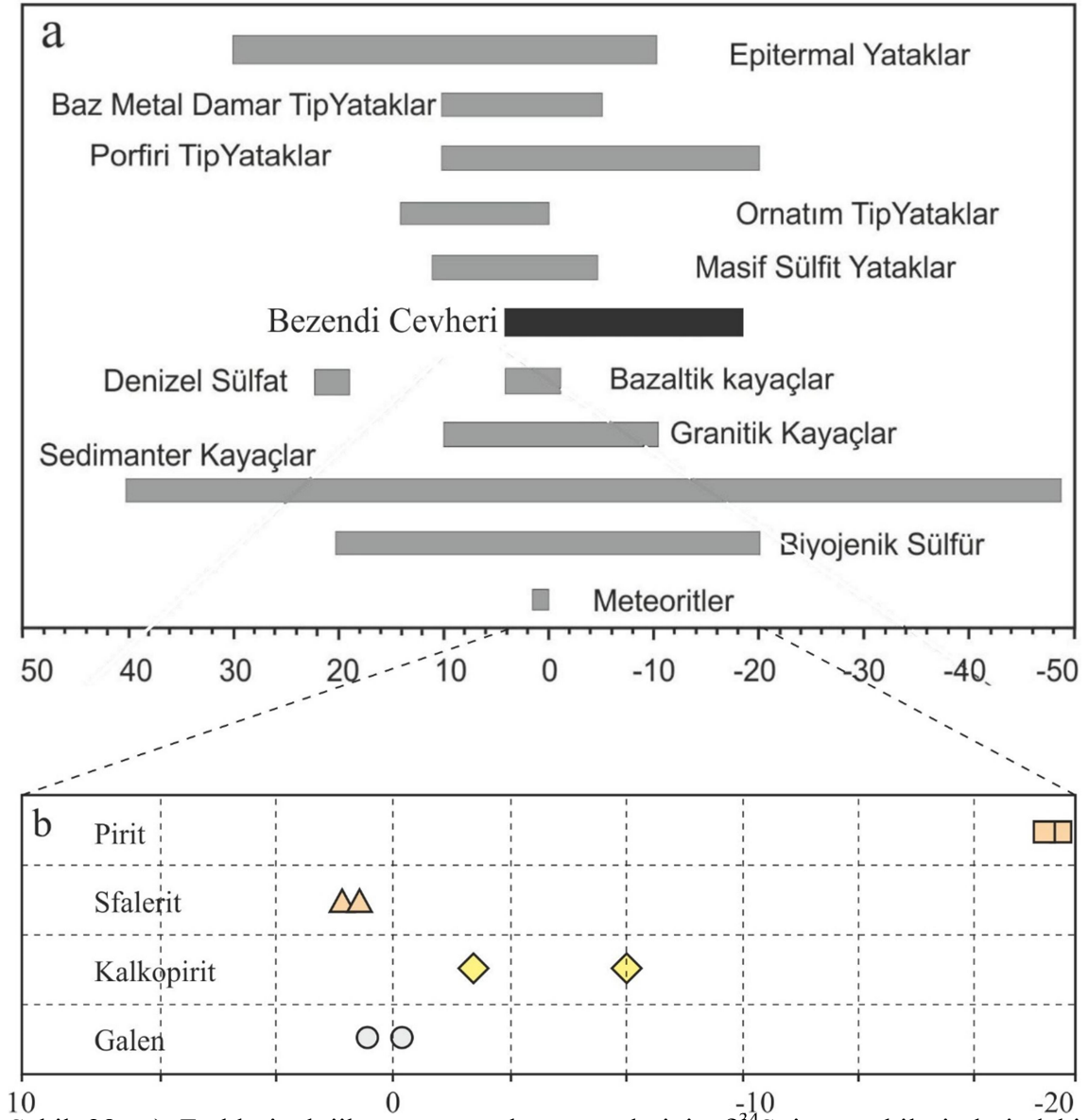
Mineral Parajenezi	Ölçülen kükürt izotop bileşimleri				Hesaplanan dengelenme sıcaklıkları			
	Pirit	Kalkopirit	Sfalerit	Galen	Py-Kpy °C	Sph-Gln °C	Py-Sph °C	Py-Gln °C
Py, Pr, Arp, Kpy, Sph, Gln, Ku, Ba	-20,5	-1.4	1.3	-0.3	< 0	>500	< 0	< 0
Py, Pr, Kpy, Sph, Gln, Ku, Ba	-18,6	-6.0	1.4	0.7	< 0	>500	< 0	< 0

Tablo 5’de verilen $\delta^{34}\text{S}$ izotop bileşimleri incelendiğinde piritlerin bileşiminin ‰ -18.6 ile -20.5, kalkopiritlerin bileşiminin ‰ -1.4 ile -6.0 (n = 2), sfaleritlerin bileşiminin ‰ 1.3 ile 1.4 ve galenlerin bileşiminin ‰ -0.3 ile 0.7 arasında değiştiği görülmektedir.

Bu sonuçlara göre kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinden ölçülen izotop değerlerinin kısmen birbirine yakın aralıklarında (‰ -6 ile 0.7) değişmesine karşılık, pirit minerallerinden ölçülen izotop değerlerinin belirgin bir farkla çok daha düşük aralıklarda değişim gösterdiği görülmektedir. Bu kadar geniş bir aralıkta değişim sunan kükürt izotop sonuçları bu haliyle Bezendi cevherini oluşturan çözeltilerin kökeninin farklı kaynaklardan türemiş olabileceğini göstermektedir.

Bütün izotop sonuçları değişik araştırmacılar tarafından önerilen (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987 ve Solomon vd., 2004) ve farklı jeolojik

ortamların, kayaç türlerinin ve maden yatak tiplerinin izotop bileşimlerini gösteren Şekil 28a ile karşılaştırılmıştır. Buna göre Bezendi cevherinden ölçülen kükürt izotop sonuçlarının granitik kayaçların (-10 ile +10‰ arası) ve/veya sedimanter kayaçların (-50 ile +40‰ arası) izotop bileşimine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 28. a) Farklı jeolojik ortam ve kayaç türlerinin $\delta^{34}\text{S}$ izotop bileşimindeki değişimler (Ohmoto ve Rye, 1979 ve Hoefs, 2004). b) Bezendi cevherindeki pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ izotop bileşimleri.

Kükürt izotop sonuçlarını kullanarak birbiriyle dengede oluşan mineral çiftlerinin denge halindeki oluşum sıcaklıklarını hesaplamak mümkün olup bu konuda

geliştirilmiş ampirik formüller bulunmaktadır (Ohmoto ve Rye, 1979). Bu çalışmada Ohmoto ve Rye (1979) tarafından önerilen bağıntı kullanılarak Pirit-kalkopirit, sfalerit-galen, pirit-sfalerit ve pirit-galen mineral çiftleri için dengelenme sıcaklıkları hesaplanmış olup sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir.

Buna göre önerilen mineral çiftleri için hesaplanan dengelenme sıcaklıklarının tamamının 500 °C’nin üzerinde veya 0 °C’nin altında olduğu görülmektedir. Sıvı kapanım çalışmalarından elde edilen bulgular Bezendi cevherinin oluşum sıcaklığının 500 °C’nin üzerine çıkmadığını gösterdiğinden, dengelenme sıcaklıklarından hesaplanan 500 °C’nin üzerindeki sıcaklıklar ve 0 °C’nin altındaki sıcaklıklar söz konusu cevherin oluşum sıcaklığını yansıtmaması bakımından gerçekçi değildir. Bundan dolayı bu çalışmada hesaplanan dengelenme sıcaklıkları, adı geçen minerallerin denge halinde oluşmadığının veya bu minerallerin oluşumu sırasında çevre kayalardan önemli ölçüde karışımın olduğunu göstermektedir.

4. TARTIŞMALAR

4.1. Bezendi Cevherinin Jeolojik Mineralojik Özellikleri ve Yatak Tipi

Kelkit ilçesine bağlı Bezendi köyü çevresinde bazaltik-andezitik volkanik kayalar ile buunların piroklastiklerinden oluşan Şenköy Formasyonu ve Masif kireçtaşları ile karakteristik Berdiga Formasyonu yüzeyleme vermektedir. Bu sahada bulunan Bezendi cevheri Şenköy Formasyonuna ait bazaltik-andezitik volkanik kayalar içinde kalınlığı bir kaç cm'den 1-2 m'ye kadar değişen damarlar şeklinde gözlenmiştir.

Bu damarlar boyunca Bezendi cevherinin makro olarak pirotin, pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerini içerdiği belirlenmiştir. Mikroskop çalışmalarında pirit ve pirotin minerallerine eşlikeden arsenopiritler bulunmaktadır. Bezendi cevheri sahada makro olarak damar yapıları ile karakteristiktir. Bunun yanında damarlar boyunca bu damarların yan kayaç dokanaklarında piritlerin oluşturduğu saçınımlı cevher, damarların kalınlaştığı yerlerde massif cevher ve cevherli zonların kırıldığı alanlarda breşik cevher yapıları makro olarak gözlenmektedir. Cevhere ait parlak kesitlerde ise yaygın olarak ornatım dokularını ve kırılmalarla gelişen breşik cevher dokularını görmek mümkündür. Cevhere gang minerali olarak yaygın bir şekilde kuvars eşlik etmektedir. Kuvarsın dışında bazı damarlar boyunca kalınlıkları 1-10 cm'yi bulan barit damarları dikkati çeker. Kuvars ve baritin dışında yer yer kalsitin de cevhere eşlik ettiği belirlenmiştir.

Bezendi cevheri çevresinde benzer tipte cevherleşmeler daha önceki yıllarda yapılan çalışmalardan bilinmektedir (Demir, 2005; Demir vd., 2013). Bezendi cevherinin hem dokusal özellikleri, hem de mineral birlikteliği bölgedeki diğer benzer tip yataklar ile önemli ölçüde uyuşmaktadır. Bu özellikler doğrultusunda Bezendi cevherinin yan kayaların kırıkları boyunca epijenetik olarak gelişmiş damar tip bir cevherleşme olduğu anlaşılmaktadır.

4.2. Hidrotermal Çözeltilerin Bileşimi ve Kökeni

Bezendi cevherinde yapılan sıvı kapanım çalışmaları hidrotermal çözeltilerin $MgCl_2$, $NaCl$, KCl ve $FeCl_2$ tuz türlerini içerebileceğini göstermiştir (Shepherd vd., 1985; Wilkinson, 2001; Kerkhof ve Hein, 2001). Sıvı kapanım çalışmalarında belirlenen bu farklı tuz türlerinin varlığı Bezendi cevherini oluşturan çözeltilerin tek bir kaynaktan beslenmek yerine farklı kaynaklardan beslenmiş olabileceği veya farklı kaynaklarla etkileşim halinde bulunabileceğini göstermektedir. Bu sahadaki olası farklı kaynakların ise derinlerden gelen çözeltilerin bazaltik-andazitik bileşimli yan kayaçlarla etkileşimi olabileceği düşünülmektedir.

Sıvı kapanım çalışmalarında ayrıca hidrotermal çözeltilerin tuzluluk miktarı hesaplanmış ve Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre belirlenen tuzluluk miktarı 2.7 ile 16 ağırlık % $NaCl$ eşdeğeri arasındadır. Bu tuzluluk miktarı Şekil 27'de de görüleceği üzere hidrotermal damar tip cevherlerin tuzluluk miktarı ile uyumaktadır. Ancak çözeltilerin homojenleşme sıcaklığı-Tuzluluk grafiği üzerinde tuzluluk miktarının azalan sıcaklıkla orantılı olarak azaldığı gözlenmektedir. Bu durum ise hipojen kökenli çözeltilere daha düşük tuzluluğa sahip meteorik çözeltilerin karışımıyla açıklanmaktadır (Shepherd vd., 1985; Wilkinson, 2001; Kerkhof ve Hein, 2001).

Mineral kimyası analiz sonuçlarına göre pirit, kalkopirit, ve arsenopirit minerallerinde en yüksek değer olarak ağırlık % 7.56'ya ulaşan Co, ölçülürken, bu minerallerin Ni içerikleri en fazla 0.65 ağırlık % değerine ulaşmaktadır. Bu durum cevhere Ni'den çok daha fazla Co ilavesi olduğu anlamına gelmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda yüksek orandaki Co ilavesi cevherin oluşumu sırasında hidrotermal çözeltilerin bazaltik yan kayaçlarla etkileşimi şeklinde açıklanmaktadır (Li vd., 2018; Likhoidov vd., 2007). Dolayısı ile mineral kimyası analiz sonuçlarına göre, sıvı kapanım bulgularından elde edilen farklı çözelti kaynakları arasında hidrotermal çözeltilerin bazaltik yan kayaçlarla etkileşimi sayılabilir.

Bezendi cevherini temsil eden pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen örneklerinin kükürt izotop bileşimleri -20.5 ile 1.4‰ arasında ölçülmüştür. Bu değerlerin bir kısmı magmatik kökenli çözelti bileşimine yakın olup cevherin oluşumunda magmatizma ile ilişkili bir çözelti kaynağına işaret etmektedir. Ancak değerlerin çoğunluğunun 0 ile -6‰ arasında değişmesi (Şekil 28) bu magmatik kaynağın asitik bileşimli, diğer bir ifade

ile granitik bir sokulum olabileceği anlamına gelmektedir. Diğer taraftan piritlerden ölçülen ve -20.5‰'e kadar azalan değerler cevhere sedimanter bileşimli yan kayaçlardan önemli oranda bir kükürt ilavesinin olabileceği anlamına gelmektedir.

Bütün bu veriler ışığında Bezendi cevherini oluşturan çözeltilerin asitik bileşimli bir magatik aktivite ile ilişkili olabileceği, bu çözeltilerin bazaltik bileşimli yan kayaçlar içindeki hareketi sırasında bu bazaltik bileşimli yan kayaçlarla önemli ölçüde etkileşime girmiş olduğu, yine çözeltilerin yan kayaçlar içindeki hareketi sırasında veya yan kayaçlardan meteoric çözeltilerin etkisiyle cevherle sediamnter kayaçlarla önemli oranda etkileşime girmiş çözeltilerin karışmış olabileceği kanaatine varılmıştır.

4.3. Bezendi Cevherinin Oluşum Koşulları

Kuvars minerallerinde yapılan sıvı kapanım çalışmalarında Bezendi cevherinin oluşum sıcaklığının 214 °C ile 455 °C arasında değişen sıcaklık aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklık değerleri hidrotermal tip maden yataklarının oluşum sıcaklıkları ile uyumludur (Şekil 27). Ancak 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar bu hidrotermal cevherin kısmen yüksek sıcaklık şartlarında geliştiği anlamına gelmektedir. Buan göre Bezendi cevheri için Hipotermal-Mezotermal arası sıcaklıklarda oluşmuş bir cevherleşme diyebiliriz.

Pek çok çalışmaya göre mineral parajenezinde bulunan Arsenopirit ve pirit gibi mineraller cevherin kısmen yüksek sıcaklıklarda geliştiğine işaret etmektedir. Bu çalışmada da Bezendi cevherinin mineral parajenezinde belirlenen Arsenopirit ve pirotinlerin varlığı, sıvı kapanımlarda ölçülen ve 455 °C'yi bulan sıcaklıklar bu cevherin kısmen yüksek sıcaklık şartlarında olduğu düşüncesini destekler nitelitedir.

Bu çalışmada sülfür minerallerinden ölçülen izotop sonuçlarına göre bu mineraller arasındaki olası denge şartlarına bağlı olarak bu minerallerin oluşum sıcaklığının hesaplanması hedeflenmiştir. Ancak Tablo 5'de görüleceği üzere çeşitli mineral çiftleri için hesaplanan dengelenme sıcaklıklarının maden yatakları için makul kabul edilebilen sıcaklık aralığının dışında olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle mineral çiftleri arasında tam bir denge halinin yakalanmadığı gözlenir. Bu durumun iki sebebi olabilir. Bunlardan ilki analizyapılan minerallerin öğütülmüş numunelerden seçilmesine bağlı olarak tam olarak dengede olan mineral çiftlerinin yakalanamamış olmasıdır. Bu durum

pekçok çalışmada karşılaşılan önemli bir sorundur. Böyle bir durumda sıcaklık değerleri olarak sıvı kapanımlardan elde edilen değerler daha sağlıklı bilgiler vermektedir.

İkinci bir seçenek ise cevherin oluşumu sırasında çözeltinin birçok kaynakla olan etkileşimine bağlı olarak izotop bileşimlerinin değişkenlik göstermesidir. Burada farklı çözelti kaynaklarının, magmatik çözeltiler, bazik yan kayaçlarla olan etkileşim veya sediamnter yan kayaçlardan meteorik çözeltiler etkisiyle karışması muhtemel kükürt konsantrasyonları olduğunu vurgulamakta fayda vardır. Bundan dolayı çok sayıda kaynakla etkileşim halinde olan hidrotermal çözeltilerde minerallerin tam bir denge halinde oluşmaması mümkündür.

Bu çalışmada sülfid minerallerinden yapılan kükürt izotoplarında elde edilecek dengelenme sıcaklıklarının sıvıkapanım çalışmasında bağımsız termometre olarak kullanılması suretiyle cevherin oluşum basıncı ve derinliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ancak bağımsız termometre olarak kullanmak üzere makul bir dengelenme sıcaklığı elde edilemediğinden Bezendi cevherinin oluştuğu basınç şartları ve derinliği hakkında bir sonuca ulaşmak mümkün olmamıştır.

5. SONUÇLAR

Bezendi cevheri Bezendi köyü çevresinde bulunan bazalt-andezit ve bunların piroklastlarından oluşan Şenköy Formasyonu içinde damar tipte oluşmuş hidrotermal tip bir cevherleşmedir. Cevherde damar tip cevher yapısının yanında saçınımlı, masif, zonlu, ve bantlı cevher yapıları gözlenir. Cevherin mineral parajenezini Pirotin, arsenopirit, pirit, sfalerit, ve galen oluştururken, gang minerali olarak kuvars, barit, ve kalsit gözlenmiştir.

Mineral kimyası analizlerine göre pirit, pirotin ve arsenopiritlerin bileşiminde önemli ölçüde Co zenginleşmesi belirlenmiş olup bu Co, hidrotermal çözeltilerin bazik bileşimli yan kayaçlar ile etkileşiminin bir sonucudur.

Sıvı kapanım çalışmalarına göre hidrotermal çözeltilerin tuzluluğunun 2.7 ile 16 ağırlık % arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu tuzluluk miktarı hidrotermal damar tip yatakların tuzluluk miktarı ile oldukça uyumludur.

Sıvı kapanımlarda belirlenen ve cevherin homojenleşme sıcaklığına karşılık tuzluluk miktarının arzaması tendi sisteme önemli ölçüde meteorik çözelti karışımına işaret etmektedir.

Sıvı kapanımlardan ölçülen homojenleşme sıcaklığı ölçümleri Bezendi cevherinin 214 °C ile 455 °C arasında değişen sıcaklıklarda oluştuğunu göstermekte olup bu sıcaklık değerlerine göre cevherin Hipotermal-mezotermal şartlarda oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kükürt izotoplarından elde edilen ve 1.4 ile -20.5‰ arasında değişen değerler Bezendi cevherini oluşturan çözeltilerin bir çok farklı kaynaktan beslendiğini göstermektedir. Bunlar arasında magmatik kökenli çözeltiler, bazik yan kayaçlar ile etkileşim ve sedimenter yan kayaçlardan kükürt ilavesi sayılabilir.

Sülfür minerallerinde mineral kimyası analiz sonuçlarıyla tespit edilen Co zenginleşmesi bazik bileşimli yan kayaçlarla etkileşimi destekleyen bir durumdur.

6. ÖNERİLER

Bezendi köyü çevresinde belirlenen sülfür damarlarının önemli ölçüde cevher minerali içerdiği ve bölgedeki bilinen hidrotermal tip yataklarla benzer özellikler gösterdiği tespit edildiğinden sahada işletme amaçlı detay etüt çalışmaları önerilmektedir. Bu kapsamda;

- Özellikle Sütveren'in kuzey ve kuzey batısında bulunan cevher damarlarında galeri ve yarmalarla detay etüt yapılması, jeokimyasal amaçlı kayaç ve toprak örneklemesinin yapılması,
- Bezendi köyünün güney batısında açılmış olan galerilerin çevresinde detaylı arama ve jeokimyasal amaçlı kayaç ve toprak örneklemesinin yapılması,
- Bezendi dere çevresinde bulunan Hamidin değirmeni ve Moloğlu değirmeni çevresinde detaylı etüt yapılarak jeokimyasal amaçlı örneklemenin yapılması,
- Bezendi dere ile Küleklerdere yatakları boyunca derekumu örnekleme yapılarak jeokimyasal analizlerin yapılması,
- Bezendi köyü kuzeyinde bulunan Bostanlar dere ve Bezendi tepe çevresinde jeokimyasal amaçlı kayaç ve toprak örneklemesinin yapılması,
- Çalışma alanı içerisindeki kırık hatlarının kesişim zonları boyunca yarma, galeri veya sondajlı arama çalışmalarının yapılması,
- Yukarıda belirtilen sahaların her birinde jeofizik çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora tezi, İ.Ü. Fen Fakültesi, İstanbul, 56.
- Akbulut, K., Akaryalı, E., Akpınar, İ. ve Atay, U., 2014. Gümüşdamla Yayla (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn±Au±Ag Cevherleşmesinin Petrografisi ve Cevher Mikroskobisi. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara.
- Akbulut, K., Akaryalı, E., Aydınçakır, E. ve Akpınar, İ., 2015. Ünlüpınar Kelkit Gümüşhane Pb Zn Au Cevherleşmesinin Jeolojik Jeokimyasal ve Kökensel Olarak İncelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 34-39.
- Aslan, N., 2011. Mastra (Gümüşhane) Yatağı'nın Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 211.
- Aydın, F., Karslı, O. ve Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene Alkaline Volcanics with Implications for Post Collisional Lithospheric Thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. Lithos 104, 249-266. 62.
- Aydın, F., Thompson, R., Karslı, O., Uchida, H., Burt, J.B. ve Downs, R.T., 2009. C2/c Pyroxene Phenocrysts from there Potassic Series in Neogene Alkaline Volcanics, Ne Turkey: Their Crystal Chemistry with Petrogenetic Significance as a Indicator of P-T Conditions. Contributions to Mineralogy and Petrology, 158, 131-147.
- Bakker, R. J. (2003). Package Fluids 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. Chemical Geology, 194(1-3), 3-23.
- Bodnar, R.J. ve Vityk, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂ONaCl fluid inclusions. In Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications (ed. B. De Vivo ve M. L. Frezotti), Virginia Tech, 117-130.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 255.
- Boztuğ, D., Erçin, A.I., Kuruçelik, M.K., Göç, D., Kömür, I. ve Iskenderoglu, A., 2006. Geochemical characteristics of the composite Kaçkar batholith generated in a Neo- Tethyan convergence system, eastern Pontides, Turkey, Jour. of Asian Earth Sci. 27, 286-302.
- Boztuğ, D., Jonckheere, R., Wagner, G.A. ve Yeğingil, Z., 2004. Slow Senonian and fast Paleocene-Early Eocene uplift of the granitoides in the cetral eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results. Tectonophysics 382, 213–228.

- Brown, P. E., 1989. Flinkor: A Microcomputer Program For The Reduction ve Investigation of Fluid- Inclusion Data, Amer. Mineralogist, 74, 1390-1393.
- Bulguroğlu, N., 1991. Düzköy-Çayırbağ Yöresinin Jeolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 80 s.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar. İTÜ Yayını, no. 1034, İstanbul.
- Demir, Y., 2005. Istala ve Köstere (Torul-Gümüşhane) Madenlerinin Mineralojik ve Dokusal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 124.
- Demir, Y., Uysal, İ. ve Sadıklar, M.B., 2013. Mineral Chemical Investigation on Sulfide Mineralization of the Istala Deposit, Gümüşhane, NE-Turkey, Ore Geology Reviews, 53, 306-317.
- Dokuz, A., 2000. Yusufeli (Artvin-Türkiye) Yöresinin Jeolojisi, Jeotektoniği, Magmatik-Metamorfik Kayaçların jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi. K.T.Ü., Trabzon, 311 s.
- Dokuz, A., Karşı, O., Chen, B. ve Uysal, I., 2010. Sources and Petrogenesis of Jurassic Granitoids in the Yusufeli Area, Northeastern Turkey: Implications for Pre- and Post-Collisional Lithospheric Thinning of the Eastern Pontides, Tectonophysics 480, 259–279.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, FBE, Trabzon, 197s.
- Field, C.W. ve Fifarek, R. H., 1985. Light Isotope Systematics in the Epitermal Environment, in Berger, B. R., Bekte, P. M., Eds., Geology and Geochemistry of Geothermal Systems, Reviews in Econ. Geology, 2, 99-128.
- Gürsoy, H., 1989. Kelkit ve Yakın Dolayının Stratigrafisi ve Tektoniği, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas, 140.
- Gürsoy, H., Öztürk, A. ve İnan, S., 1993. Kelkit (Gümüşhane) ve Yakın Dolayının Tektonostratigrafik Gelişimi, A. Suat Erk Sempozyumu Bildiriler, 53-64.
- Güven, İ.H, Nalbantoğlu, A.K. ve Takaoğlu, S., 1998. 1/100.000 Ölçekli Açınama Nitelikli Türkiye Jeoloji Harita Serisi.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Hacıoğlu, T., 1983. Kale-Vavuk Dağı (Gümüşhane) Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes incelemeesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, FBE, Trabzon, 121s.

- Hoefs, J., 1987. Stable isotope Geochemistry, Springer Verlag, Berlin, 241p.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane Yakın Yörelerindeki Erken- Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 274s.
- 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), 586-598.
- Karşlı, O., Aydın, F. ve Sadıklar, M.B., 2004. The Morphology and Chemistry of K-Feldspar Megacrysts from İkizdere Pluton: Evidence for Acid and Basic Magma Interactions in Granitoid Rocks, NE Turkey. *Chemie der Erde-Geochemistry* 64, 155-170.
- Karşlı, O., Chen, B., Aydın, F. ve Sen, C., 2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting, *Lithos*, 98, 67-96.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydın, F., Chen, B., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2010. Relative contributions of crust and mantle to generation of Campanian high-K calc-alkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harşit Pluton, Eastern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(4), 467-487.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2010a. Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: Implications for crustal thickening to delamination, *Lithos*, 114, 109-120.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Chen, B., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2010b. Relative contributions of crust and mantle to generation of campanian high-K calcalkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harsit Pluton, eastern Turkey, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 160, 467-487.
- Karşlı, O., Uysal, İ., Ketenci, M., Dokuz, A., Aydın, F., Kandemir, R. ve Wijbrans, J., 2011. Adakite-like grabitoid porphries in eastern pontides, NE Turkey: potencial parental melts and geodynamic implications. *Lithos* 127, 354-372.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Aslan, Z., Siebel, W. ve Şen, C., 2009. U-Pb SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions of the Late Cretaceous I-type Sariosman Pluton, Eastern. *Turk. J. Earth Sci.* 18 (4), 549–581.

- Kesgin, Y., 1983. Bayburt (Gümüşhane) İlçesi, Aksar Köyü ve Güneybatısının Jeolojik İncelemesi, Master Tezi, Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 94.
- Ketin, İ., 1951. Bayburt Bölgesinin Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, Cilt XVI, 113-127.
- Korkmaz, S., 1993. Tonya-Düzköy (GB-Trabzon) Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 36, 151-158.
- Li, N., Deng, J., Yang, L., Groves, D.I., Liu, X.W. and Dai, W.G., 2018. Constraints on depositional conditions and ore-fluid source for orogenic gold districts in the West Qinling Orogen, China: Implications from sulfide assemblages and their trace-element geochemistry. *Ore Geology Reviews*, 102, 204–219.
- Likhovidov, G.G., Plyusnina, L.P. and Shcheka, Z.A., 2007. The behavior of gold during listvenitization; experimental and theoretical simulation. *Dokl., Earth Science*, 415, 723–726.
- Moore, W.J., McKee, E.H. ve Akıncı, Ö.T., 1980. Chemistry and chronology of plutonic rocks in the Pontid mountains, northern Turkey. In: Jankovic, S., Sillitoe, R.H. (Eds.), *Eur. Copper Deposits*, Belgrade, 209-216.
- Ohmoto, H. ve Rye, R.O., 1979. Isotopes of Sulfur and Carbon: in Barnes, H. L. (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd, ed., p. 509-567. John Wiley & Sons, New York.
- Okay, A., 1983. Ağvanis Metamorfizmaları ve Çevre Kayaçlarının Jeolojisi, MTA Dergisi. 1. 56-71.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: A.G. Robinson, (ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, AAPG Mem., 68, 291-311.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Séranne, M., (Eds), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society London Special Publications 156, 475-515.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi , KTÜ Yayını, 87, 103.
- Ramdohr, P. (1985): *The ore minerals and their intergrowths*, second edition, 1207 pp. Pergamon press.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 192.

- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. ve Aiderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies, Blackie and Son Limited, Glasgow (U.K.), 235s.
- Sofracioğlu, D., Kandemir, R., 2013. The upper cretaceous calciclastic submarine fan deposits in the eastern pontides, NE Turkey: facies architecture and controlling factors. *Turk. J. Earth Sci.* 22, 588–610.
- Solomon, M., Tornos, F., Large, R.R., Badham, J.N.P., Both, R.A. ve Zaw, K., 2004. Zn-Pb-Cu Volcanic-Hosted Massive Sulphide Deposits: Criteria for Distinguishing Brine Pool-Type From Black Smoker-Type Sulphide Deposition, *Ore Geology Reviews*, 25, 3-4, 259-283.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. ve Ketin, I., 1980. Remnants of pre-late jurassic ocean in northern Turkey: fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys. *Geol. Soc. Am.* 91, 599–609.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey), Doktora Tezi, University of College, London.
- Topuz, G., 2000. Zur Petrologie der metamorphen gesteine des pulur-massive, östliche pontiden, NE-Turkei, Doktora tezi, Universität Heidelberg, 270.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satir, M., Dokuz, A., 2005. Postcollisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150, 441-455.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A. 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, 861–873.
- Ustaomer, T., & Robertson, A., 1997. AAPG Memoir 68: Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. Chapter 14: Tectonic-Sedimentary Evolution of the North Tethyan Margin in the Central Pontides of Northern Turkey.
- Van den Kerkhof, A.M., & Hein, U.F. (2001). Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55(1-4), 27-47.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos*, 55, 229-272.
- Yılmaz, C., 1985. Kelkit (Gümüşhane) Yöresinin Jeolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 166.
- Yılmaz, Y., 1973. Gümüşhane Granitinin Yerleşmesi, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebligleri, 485-490.

- Yılmaz, A., & Yılmaz, H., 2004. Geology and structural evolution of the Tokat Massif (eastern Pontides, Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, 13(2), 231-246.
- Yüksel, S., 1976. Şiran Batı Yöresi Mesozoyik Karbonat Kayaçları ve Eosen Flişinin Petrografik ve Sedimentolojik İncelemesi, Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

