

Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) Cevherleşmesinin Jeolojik ve Mineralojik İncelenmesi

Geological and Mineralogical Investigation of Kılıçören (Gümüşhane) Pb-Zn-Cu±Au±Ag Mineralization

Enver AKARYALI*^{1,a}, Fatih ŞAL^{2,b}

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

² Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 02.06.2020 • Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 18.09.2020 • Kabul tarihi / Accepted: 24.09.2020

Öz

İnceleme alanı Gümüşhane İline bağlı Kılıçören Köyü, Madenin Sırtı mevkiinde yer alır. Çalışma alanında bulunan cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'na ait volkanik kayalar içinde gelişmiştir. Volkanik kayaların Nb/Y ve Zr/TiO₂ oranları, kayaların andezit ve andezit/bazalt türünde olduğunu işaret etmektedir. AFM, SiO₂'ye karşı K₂O ve Th-Co diyagramlarına göre ise volkanitlerin kalk-alkali karaktere sahip oldukları belirlenmiştir. Cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonuna ait andezitlerde gelişen KB-GD doğrultulu kırık hatlarına damar şeklinde yerleşmiş olarak gözlenmektedir. Arazide gözlenen damarlar birkaç santimetreden bir iki metreye kadar değişen kalınlıklarda ve birkaç metre devam eden uzunlukta gelişmiştir. Alanda K25°B doğrultulu, yaklaşık olarak 5 m kalınlığa ve 50 m uzunluğa sahip silis kafası gözlenmekte olup oluşumu itibariyle epitermal sistemi işaret etmektedir. Sahada silisleşmenin yanı sıra hematitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve kükürtleşme gibi alterasyon ürünleri tespit edilmiştir. Cevherleşmenin parajenezi pirit, kalkopirit, galen, sfalerit, fahlerz ve kuvarstan oluşmaktadır. İki farklı evrede gelişen cevherleşmede gözlenen en önemli doku türleri ornatım, ayrılım, kapanım ve kataklastik dokulardır. Özellikle kuvars içeren örneklerde, öz şekilli kuvars kristallerinin yanı sıra boşluk dolgusu ve taraklı yapının gözlenmesi, sahadaki cevherleşmenin epitermal sistemde gelişmiş olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Bakır-Kurşun-Çinko, Epitermal, Kılıçören (Gümüşhane), Ornatım, Parajenez

Abstract

The study area is located in Madenin Sırtı region of Kılıçören village of Gümüşhane. The mineralization found in the study area is developed within andesitic rocks of Early-Mid Jurassic Şenköy Formation. The ratios of Nb/Y and Zr/TiO₂ of volcanic rocks in the area indicated these rocks are andesite and andesite/basalt according to the chemical analyzes. It is determined that the volcanics have calc-alkaline character based on the AFM, SiO₂ versus K₂O and SiO₂ versus Th-Co diagram. The mineralization is observed as a vein situated in the NW-SE trending fractures developed in andesites belonging to Early-Middle Jurassic Şenköy Formation. The veins observed in the field have the thicknesses ranging from a few centimeters to several meters and length continues for several meters. The silicified ridge pointing to an epithermal system is about 5 meters in thickness and 50 meters long, having a bearing of N25°W. In the field, besides to silicification, the alteration types such as hematitization, limonitization, chloritization and sulfurization have been identified in the rocks around the mine. The pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, fahlerz and quartz form the paragenesis of mineralization. In the mineralization, which is developed in two different phases, the replacement, separation, inclusion and cataclastic textures are the most important texture types observed. Especially, the observation of space filling and comb textures in quartz-containing samples, suggests that the mineralization in the field may have developed in the epithermal system.

Keywords: Copper-Lead-Zinc, Epithermal, Kılıçören (Gümüşhane), Replacement, Paragenesis

*a Enver AKARYALI; eakaryali@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/ 0000-0003-1495-9186

^b orcid.org/0000-0001-5469-2928

1. Giriş

Çalışma konusunu oluşturan Kılıçören Köyü (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) cevherleşmesi Doğu Pontid metalojenik provensi içinde yer almaktadır. Bu bölge değişik türlerde çok sayıda Cu, Pb, Zn, Mo, Fe ve Mn cevherleşmesi içermesinin yanı sıra, çalışma sahasının içinde yer aldığı Gümüşhane ve çevresi altın ve gümüş gibi değerli metaller açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Çalışma sahasının da içinde bulunduğu Doğu Pontidler'de yer alan maden yatakları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Lermi, 1996; Akçay vd., 1998; Tüysüz, 2000; Çiftçi, 2000; Lermi, 2003; Demir, 2005; Eyüboğlu vd., 2014; Akaryalı, 2010; Akaryalı ve Tüysüz, 2013; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016; Aktaş, 2018; Kurt, 2018).

Gümüşhane yöresinde farklı türde gelişen birçok maden yatağı bulunmakta olup bu yataklar birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Türk-Japon Ekibi (1985), Gümüşhane ve çevresinde yaklaşık 2800 m²'lik bir alanda önemli bazı maden sahalarının jeolojik harita yapımını ve jeokimyasal arama çalışmalarını yaklaşık gerçekleştirmiştir. Yalçınalp (1992), Güzelyayla Mo-Cu cevherleşmesinin oluşumunu genç granitik intrüzyonlarla ilişkilendirmiş ve sahada arjilik alterasyonun gözlemlenmediğini ve söz konusu cevherleşmenin 280-460°C aralığında mezotermal evrede geliştiğini ifade etmiştir. Lermi (2003), Midi Pb-Zn (Karamustafa-Şiran) madeninde; cevherleşmenin Şenköy formasyonu içinde kırık ve çatlaklara yerleştiği, mineral parajenezinde baz metal sülfidlerin yanı sıra nabit altın, elektrik, enarjit-luzonit, minerallerinin yer aldığı ve cevherleşmenin mezo-epitermal geçiş evresinde oluştuğunu belirtmiştir. Demir (2005), Istala ve Köstere (Gümüşhane) damar tip cevherleşme sahalarında her iki sahadaki cevher parajenezinin benzer olduğunu ve sıvı kapanım çalışmalarına göre cevherleşmelerinin orta-düşük (100-290 °C) sıcaklıkta geliştiğini ifade etmiştir. Akaryalı (2010), Arzular (Gümüşhane) yöresinde, altın cevherleşmesinin hidrotermal damar tip, düşük sülfidasyon epitermal sistemde oluştuğu sonucuna varmıştır. Sipahi ve Sadıklar (2010), Zigana (Gümüşhane) yöresindeki volkanitlerinin üzerine yaptıkları çalışmada, volkanitlerde gözlenen alterasyon ürünlerinin muhtemelen mezo-epitermal evrede oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. Aslan ve Akçay (2010), Gümüşhane ili Mastra Au madeninde yaptıkları sıvı kapanım (113-390°C) ve kükürt izotop jeotermometre (147-365°C) çalışmalarına göre cevherleşmenin epitermal sistemde geliştiğini belirtmişlerdir.

Turan (2012), Zigana (Torul, Gümüşhane) yöresinde damar tip Pb-Zn-Cu±Barit cevherleşmesinin oluşumunda yüzeysel kökenli çözeltilerle kısmen seyreltilmiş magmatik kökenli çözeltilerin etkili olduğunu vurgulamıştır. Akaryalı, (2016), Altınpınar (Torul) Pb-Zn cevherleşmesinin kökenine yönelik olarak gerçekleştirdiği sıvı kapanım, mineral kimyası ve duraylı izotop analizlerinden elde ettiği verilere dayanarak Liyas yaşlı volkanitler içinde gelişen cevherleşmenin granitik kayalarla ilişkili epitermal damar tip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Akaryalı ve Akbulut (2016), Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) yöresinde gelişen Pb-Zn cevherleşmesinde mineral parajenezinin pirit, kalkopirit, sfalerit, galenit, altın, kuvars ve kalsitten oluştuğunu, sıvı kapanım, mineral kimyası ve duraylı izotop çalışmalarına göre cevherleşmenin damar tip ve epitermal sitemde geliştiğini ortaya çıkarmıştır. Aktaş (2018), Leriköy ve Aktutan (Gümüşhane) yörelerinde Eosen volkanikleri üzerinde gelişen hidrotermal alterasyonların modellenmesi üzerine yaptığı kütle değişim hesapları sonuçlarına göre söz konusu sahaların potansiyel birer altın sahası olduğu sonucuna varmıştır. Kurt (2018), Gümüşdamla (Aydıntepe-Bayburt) yöresindeki skarn yatağında yaptığı mineral kimyası çalışmalarına göre cevherleşmenin Fe-Skarn tipinde olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Çalışma konusu olan Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) cevherleşmesi üzerine ise özel şirketler ve/veya Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan yüzeysel jeokimyasal prospeksiyon çalışmaları dışında yapılan herhangi çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında söz konusu cevherleşmenin; jeolojik ve petrografik özellikleri ile cevherleşmenin içinde bulunduğu kayaların jeokimyası ve cevher mikroskobisi özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, incelenen bölgede yüzeyleyen birimler stratigrafik adlama kuralları dikkate alınarak ayırtlanmış, seçilen volkanik kayalardan yapılan jeokimyasal analizler ile cevherli örneklerin mikroskobik incelemesinden elde edilen bulgular Doğu Pontid Orojenik Kuşağında yapılan diğer çalışmalarla da denestirilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarının ilk etabı, Madenin Sırtı bölgesindeki cevherleşmenin de içinde bulunduğu yaklaşık 14 km²'lik bir alanda yaygın birimlerin tanınması,

stratigrafik dizilimin ortaya konması ve yapısal özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalardır. Bu amaç doğrultusunda, Madenin Sırtı ve çevresinde yaygın olan birimlerde yapılan gözlemler neticesinde mevcut yapısal unsurlardan (kırık, çatlak vb.) ölçümler alınmış, formasyon sınırları haritaya işlenmiş ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. 1/25.000 ölçekli haritalama işlemleri sırasında, birimleri temsil eden kayalardan petrografik ve kimyasal analiz amaçlı örnekler ile çalışılan cevherleşmenin parajenez ve süksesyonu belirlenmeye yönelik örnekler alınmıştır.

2.1. İnce ve Parlak Kesitlerin Hazırlanması

Çalışma sahasından toplanan kayaların, petrografik ve mineralojik tayinlerine yönelik ince kesitler, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır. İnce kesit hazırlama esnasında kayalardan alınan 0.5x2x4 cm boyutundaki plakacıklar, bir yüzeylerinin pürüzlülükleri giderildikten sonra 1 mm kalınlığındaki 2.5x5 cm boyutundaki cam üzerine kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan plaka, dereceli aşındırıcılar yardımıyla 0.025 mm kalınlığa kadar inceltilecek petrografik tayin için hazır hale getirilmiştir. Madenin Sırtı cevherleşme sahasından derlenen cevher ve yan kayaç örneklerinden, cevher mineral parajenezini ve süksesyonu ortaya çıkarmak için parlak kesitler hazırlanmıştır. Araziden toplanan örnekler, amaca yönelik olarak 2x2x2 cm boyutunda kesilmiştir. Kesilen bu parçalar öncelikle çeşitli boyutlarda aşındırıcılar kullanılarak kaba parlatma işlemine tabi tutulmuş ve son olarak 0.1 mikron boyutunda alüminyum oksit tozuyla uygun yüzeyleri amaca uygun olarak parlatılmıştır. Hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskopta incelenerek kayaların petrografik özellikleri ve alterasyon mineralojileri tayin edilmiştir. Cevher örneklerinden hazırlanan parlak kesitler ise üstten aydınlatmalı cevher mikroskobu ile incelenerek cevherleşmenin mineral parajenezi ve süksesyonu belirlenmiştir.

2.2. Kimyasal Analiz İçin Örnek Hazırlanması ve Analiz Yöntemleri

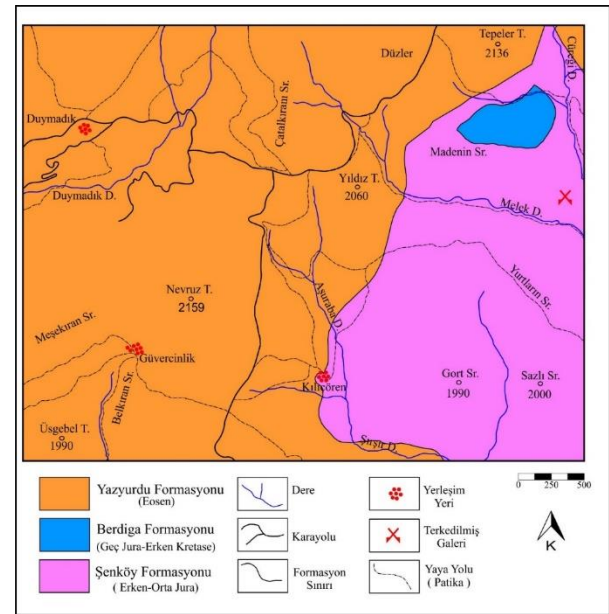
İnceleme alanından volkanik kayalardan seçilen örneklerden ana, iz ve nadir toprak element analizi yapılmıştır. Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği

Bölümü, örnek hazırlama laboratuvarında örnekler kimyasal analize gönderilmiştir. Volkanik kayalardan 6 örneğin ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (Vancouver-Kanada)'de ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) ve ICP-AES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi) analiz edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çalışma Alanının Stratigrafisi ve Petrografisi

İnceleme alanı Doğu Pontid Orojenik Kuşağının (Ketin, 1966) Güney Zonu'nda (Gedikoğlu vd., 1979) yer almaktadır. İnceleme alanındaki jeolojik birimler litostatigrafik esaslara bağlı olarak ayırtlanmış ve jeolojik haritası hazırlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası.

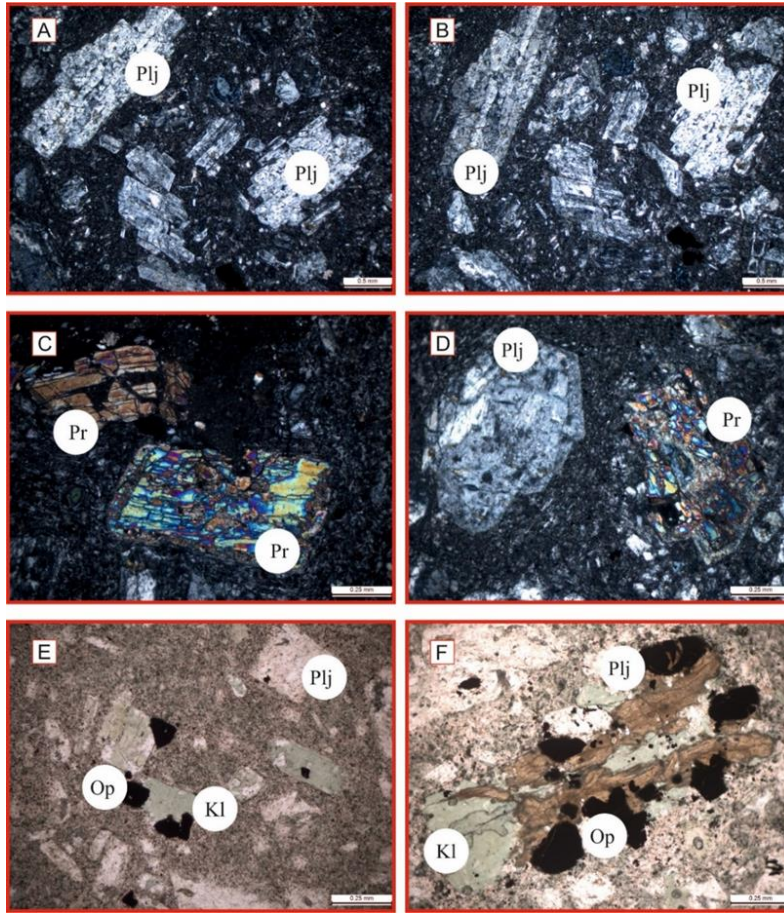
Kılıçören cevherleşmesine ev sahipliği yapan Şenköy formasyonu (Kandemir, 2004) bölgede çok farklı litolojik özelliklere sahip olmakla birlikte, inceleme alanında kumtaşı ile başlayıp kırmızı renkli kireçtaşları, kiltası ve marn ardalanması ve üzerine gelen volkano tortul bir istif ile devam eder. Birim içerisindeki volkanik kayalar aynı zamanda cevherleşmenin içinde geliştiği (Şekil 2) andezit ve bazaltlardan oluşmaktadır. Birim içinde yer alan andezitik kayalar gri- yeşilimsi gri renklere ve oldukça kırıklı ve çatlaklı yapıda izlenmektedir. Söz konusu kırıklar genel olarak kalsit ve kil dolguludur.



Şekil 2. Şenköy formasyonu içerisinde izlenen andezitlerin arazideki genel görünümü.

Birimden alınan örneklerin petrografik incelemelerinde, volkanitlerin porfirik ve mikrolitik porfirik doku gösterdiği, plajiyoklas, piroksen ve opak minerallerden meydana geldiği belirlenmiştir. Çoğunlukla orta ve iri kristalli, özşekilli ve yarı özşekilli olan plajiyoklaslar yer

yer serizitleşmiş ve epidotlaşmıştır. Yapılan cins tayinine göre plajiyoklasların andezin (An30-34) bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Hamur içinde yer yer öz şekilli opak mineraller izlenmektedir (Şekil 3).

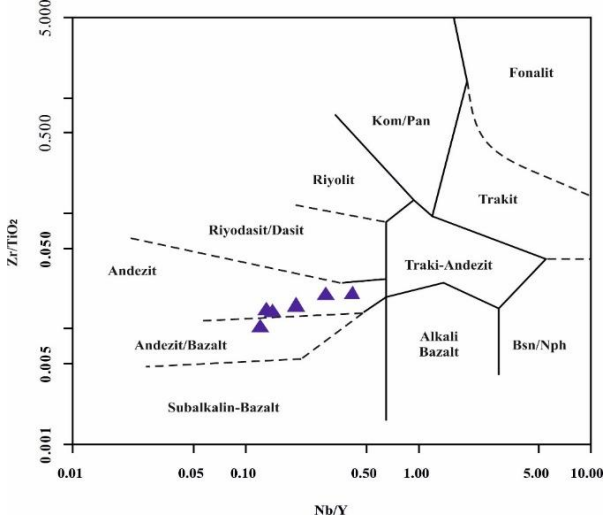


Şekil 3. Şenköy formasyonu içindeki andezitlerde plajiyoklas (Plj), piroksen (Pr), klorit (Kl) ve opak (Op) minerallerin oluşturduğu porfirik ve mikrolitik porfirik doku (A, B, C ve D: +N; E ve F: //N).

3.2. Volkanik Kayaçların Jeokimyası

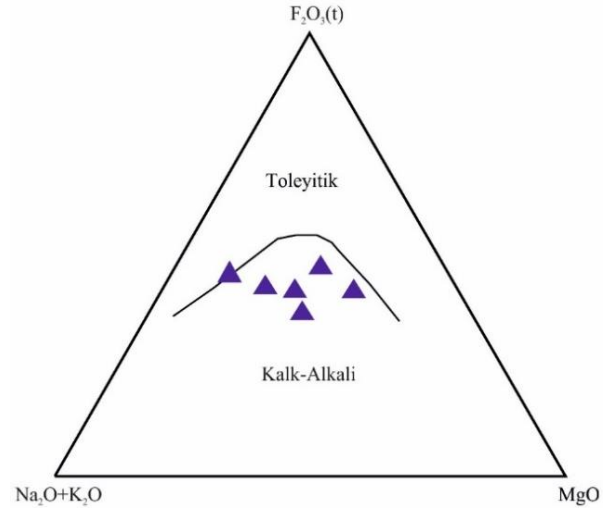
Çalışılan cevherleşmenin içinde geliştiği Şenköy formasyonu'na ait volkanik birimlerin petrokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla seçilen örneklerden ana (%) iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) analizleri gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarından yararlanılarak yan kayaçların jeokimyasal karakteristikleri ortaya konmuştur. Alınan örneklerin kimyasal adlandırılmasında Winchester ve Floyd (1976) tarafından önerilen Nb/Y'ye karşı Zr/TiO₂*0.0001 diyagramı tercih edilmiştir. Bu diyagrama göre örneklerin andezit, andezit/bazalt alanlarında yer aldığı (Şekil 4), Irvine ve Baragar (1971) tarafından oluşturulan AFM diyagramında ise kayaçların kalk-alkali karaktere sahip oldukları görülmektedir (Şekil 5).

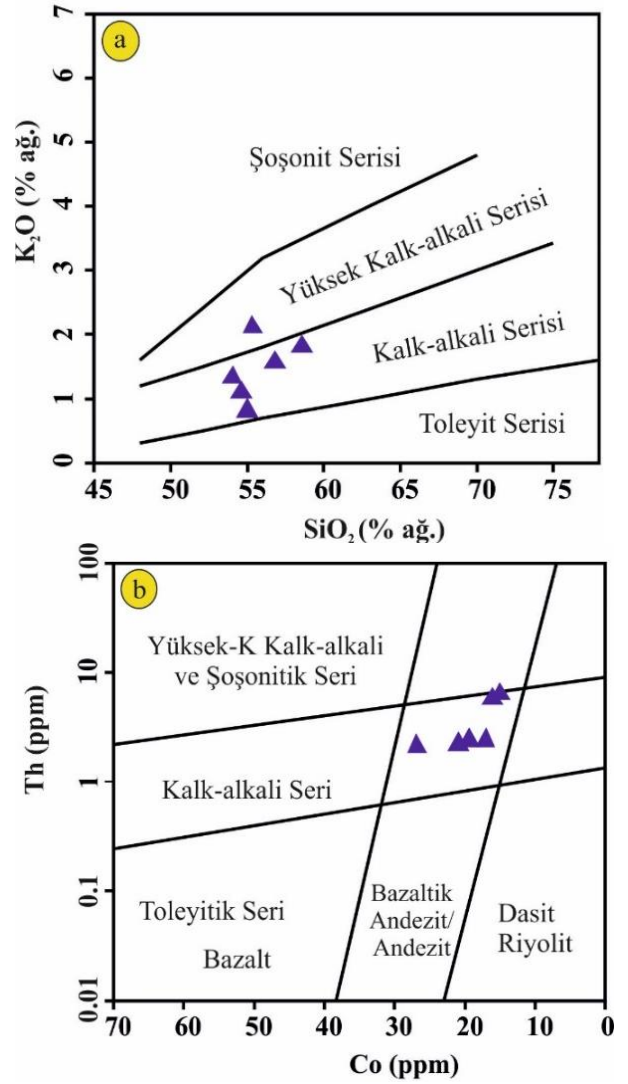


Şekil 4. Volkanik kayaçların Nb/Y'ye karşı Zr/TiO₂*0.0001 diyagramı

Volkanik kayaçların SiO₂ ve K₂O içeriklerine göre örnekler kalk-alkali karakterli bir magmadan türeyen kayaçlar ile benzerlik gösterirken (Peccerillo ve Taylor, 1976; Şekil 6a), Th ve Co içerikli kalk-alkali bileşimli bazaltik/andezit ve andezit bileşimi (Hastie vd., 2007; Şekil 6) yansıtmaktadır.



Şekil 5. Volkanik kayaçlarının AFM üçgen diyagramı (toleyitik ve kalk-alkali ayırım eğrisi Irvine ve Baragar (1971)'dan alınmıştır.).



Şekil 6. Volkanik kayaçlarının (a) SiO₂'ye karşı K₂O (Peccerillo ve Taylor, 1976) ve (b) Co karşı Th (Hastie vd., 2007) diyagramı.

Tablo 1. Volkanik kayaların ana (% ağı.), iz (ppm) ve nadir toprak (ppm) element analiz sonuçları.

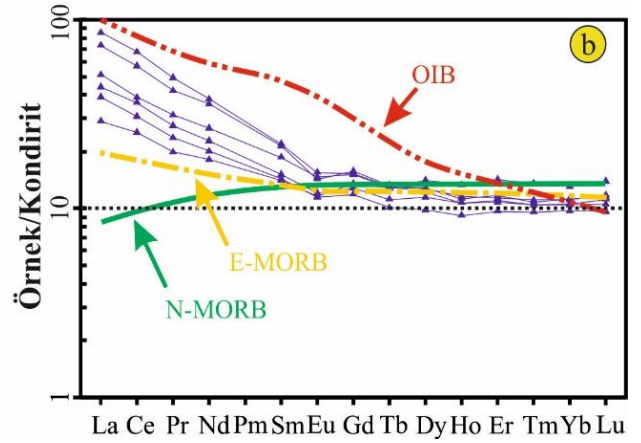
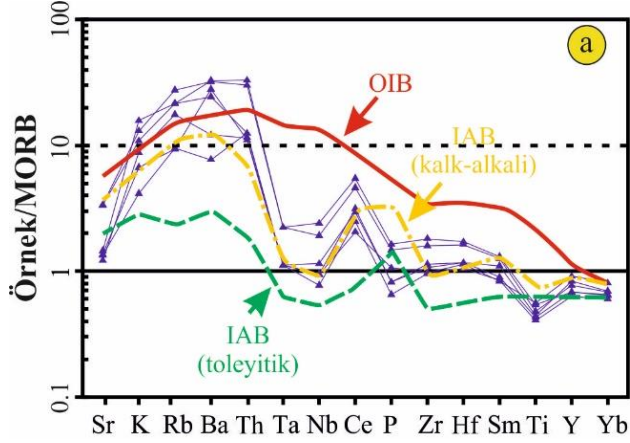
Örnek No	CS6	CS8	HS18	HS17	HS15	HS14
SiO ₂	59.32	57.00	55.06	53.24	54.56	54.06
Al ₂ O ₃	16.68	17.28	16.74	16.79	16.41	16.30
Fe ₂ O ₃ *	6.72	5.60	7.46	7.78	7.58	7.84
MgO	2.78	1.25	5.41	4.19	4.19	6.11
CaO	6.49	8.04	3.73	6.28	4.32	6.92
Na ₂ O	3.30	3.06	3.61	2.27	4.54	2.30
K ₂ O	1.95	1.63	2.36	1.31	0.62	1.00
TiO ₂	0.72	0.81	0.64	0.66	0.84	0.61
P ₂ O ₅	0.18	0.20	0.10	0.10	0.13	0.08
MnO	0.13	0.10	0.14	0.12	0.16	0.14
Cr ₂ O ₃	0.004	0.004	0.011	0.012	0.002	0.030
A.K.	1.50	4.80	4.50	7.10	6.50	4.40
Toplam	99.77	99.77	99.76	99.85	99.85	99.79
Ba	643	655	488	242	154	558
Sc	21	22	27	29	26	30
Co	16.1	14.9	19.4	20.9	17.1	26.8
Cs	1.7	1.0	0.9	2.1	1.8	0.7
Ga	15.0	15.7	15.4	16.5	12.7	14.0
Hf	3.9	4.1	2.8	2.8	2.7	2.5
Nb	6.7	8.4	4.0	3.3	3.3	2.7
Rb	55.0	43.2	42.7	35.2	19.0	18.7
Sr	403.7	399.0	174.0	145.7	161.7	162.9
Ta	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
Th	6.0	6.6	2.5	2.3	2.5	2.2
U	1.6	1.4	0.7	0.5	0.6	0.5
V	163	176	172	184	181	188
W	0.6	0.8	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	143.1	162.9	102.2	96.4	87.6	85.6
Y	23.0	20.4	20.5	25.1	27.2	18.9
Cu	52.3	26.3	39.4	17.4	11.9	13.7
Pb	1.7	3.5	15.2	3.4	2.2	3.2
Zn	24	21	85	84	118	61
Ni	3.7	4.1	21.9	24.6	6.3	57.3
La	22.7	26.6	13.7	15.9	9.0	12.1
Ce	46.0	54.6	29.4	31.4	20.5	24.9
Pr	5.15	6.02	3.36	3.82	2.43	2.90
Nd	21.5	22.8	13.7	16.0	10.9	12.1
Sm	4.18	4.29	2.95	3.64	2.75	2.81
Eu	1.05	1.14	0.89	1.08	0.85	0.84
Gd	4.09	3.97	3.33	3.92	3.50	3.08
Tb	0.63	0.62	0.53	0.61	0.61	0.48
Dy	4.09	3.93	3.70	4.14	4.55	3.16
Ho	0.83	0.77	0.77	0.81	0.96	0.66
Er	2.38	2.26	2.32	2.46	2.99	2.03
Tm	0.36	0.34	0.34	0.35	0.44	0.31
Yb	2.33	2.18	2.21	2.36	2.74	2.03
Lu	0.38	0.34	0.36	0.37	0.45	0.31
Mg#	29	18	42	35	36	44

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği. Mg# = molar MgO / molar (MgO+FeOT)*100.

Çalışılan sahadan alınan Liyas yaşlı volkanik kayaların ana ve iz element analiz sonuçlarına göre; SiO₂ (% 59.32-53.24), Na₂O (% 4.54-2.27), Al₂O₃ (% 17.28-16.30), Fe₂O₃ (% 7.84-5.60), MgO (% 6.11-1.25), CaO (% 8.04-3.73), K₂O (% 2.36-0.62), TiO₂ (% 0.81-0.61) değerleri arasında değişmektedir.

Volkanik örneklerinin MORB'a göre (Sun ve McDonough, 1989) normalleştirilmiş olan iz element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil element (LILE) konsantrasyonları bakımından zenginleşme yüksek çekim alanlı elementler bakımından fakirleşme görülmektedir (Şekil 7a). Volkaniklerinin kondrite göre (Boynnton, 1984) normalize edilmiş nadir toprak

element dağılımlarında özellikle hafif nadir toprak elementlerin, ağır nadir toprak elementlere göre daha fazla zenginleştiği dikkat çekicidir (Şekil 7b). Söz konusu diyagramda gözlenen konkav yapı ise çalışılan kayaçların oluşumu sırasında klinopiroksen ve hornblend ayırılmasının



Şekil 7. Volkanik kayaçlarının iz element dağılım diyagramları, (a) MORB'a göre, (b) kondirite normalize edilmiş NTE dağılımları (MORB: Normal Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları, OIB: Okyanus Adası Bazaltları, IAB: Ada Yaylı Bazaltları. Normalleştirme değerleri, N-MORB ve E-MORB; Sun ve McDonough, (1989)'dan, Boynton (1984); IAB: Pearce, (1982)'den alınmıştır)

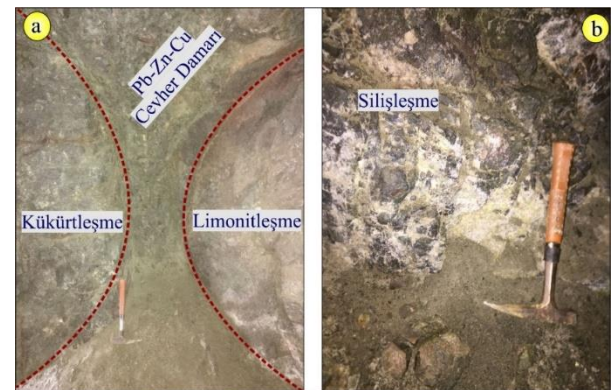
Sonuç olarak, büyük iyon yarıçaplı litofil elementler, yüksek çekim alanlı elementler, hafif nadir toprak elementler ve ağır nadir toprak elementler kapsamında elde edilen verilerin Şekil 7a ve b'de gözlenen negatif Nb, Ta, Ti ve Zr anomalileri volkanitlerin yitim ilişkili kıtasal yay magması özelliğinde olduğunun göstergesidir (Pearce 1983; Ringwood 1990; Stolz vd., 1990; Kelemen vd., 1990).

3.3. Kılıçören (Gümüşhane) Cu-Zn-Pb ± (Ag, Au) Cevherleşmesinin Jeolojisi

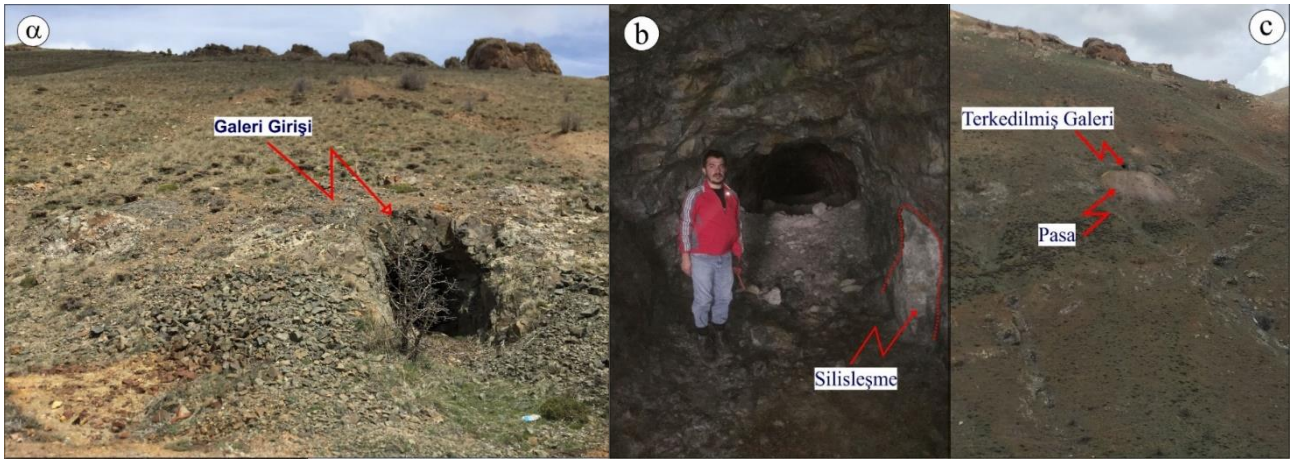
Kılıçören cevherleşmesi Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonuna ait andezitler içerisinde oluşan polimetalik bir cevherleşmedir. Cevherleşmeye neden olan ısı kaynağı inceleme alanı dışında yer alan Üst Kretase yaşlı Kaçkar-I Granitoidi'dir (Güven, 1993). Cevherleşmenin oluşumunda birincil etken söz konusu magmatik sokulumun sığ derinliklere yükselmesi ve hidrotermal ergiyiklerin uygun kırık ve çatlaklara gelip yerleşmesidir.

3.3.1. Cevherleşme Jeolojisi ve Gelişen Alterasyonlar

Çalışılan cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonu içerisindeki andezit kayaçları içinde gelişen KB-GD doğrultulu kırık hatlarına yerleşmiş olarak gözlenmektedir. Arazide gözlenen damarlar birkaç santimetreden bir iki metreye kadar değişen kalınlıklarda ve birkaç metre uzunluğundadır (Şekil 8). Cevherleşmenin en iyi gözlemlendiği alan olan Madenin Sırtı bölgesinde 2151 m yükseklikte, K10°B doğrultulu 2.5 m genişliğinde 3 m yüksekliğinde yaklaşık 100 m devam eden bir galeri mevcuttur. Ayrıca galeri çıkışında pasa da bulunmaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. Galeri içerisinde a) andezitlerikesen cevher damarının ve b) silisleşmenin görünümü



Şekil 9. Madenin Sırtı bölgesindeki terkedilmiş maden galerisi ve pasasından görünüm

Bunun yanı sıra çalışma sahasında $K25^{\circ}B$ doğrultulu yaklaşık 5 kalınlığında ve 50 m uzunluğunda bir silisifiye zon tespit edilmiştir. Silis kafası olarak da adlandırılan silisifiye zonlara

ait mostraların çalışılan alanda gözlenmesi, cevherleşmenin düşük sıcaklıkta, bir başka ifade ile epidermal sistemde geliştiğine işaret etmektedir (Şekil 10).



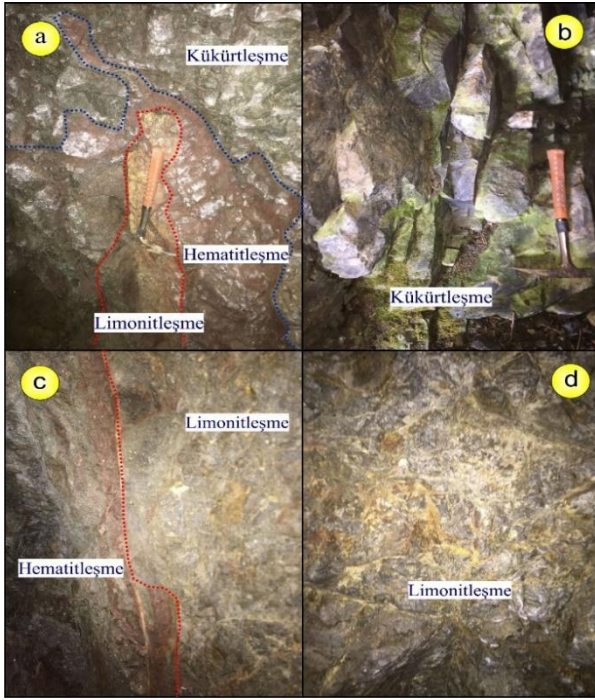
Şekil 10. İnceleme alanında gözlen (a) silisifiye zonun, (b) ve (c) silisleşmenin ince kesit görünümü (Q: Kuvars)

Yapılan arazi gözlemleri neticesinde gerek galeri içinden gerekse çevresinden alınan örneklerde pirit, kalkopirit, sfalerit, galenit ve kuvars makroskobik olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra bölgede cevherleşmeye işaret eden hidrotermal çözeltilerin meydana getirdiği pek çok alterasyon türü gözlenmektedir. Özellikle cevher damarına yakın kesimlerde gözlenen silisleşmeye ek olarak, piritlerin oksidasyonu sonucu hematitleşme ve limonitleşme en sık gözlenen alterasyon ürünleridir (Şekil 11). Sahada lokal olarak kloritleşme ve kükürtleşme türü alterasyonlar da gözlenmektedir.

3.3.2. Cevher Mikroskobisi

Kılıçören Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin bulunduğu alanda yer alan galeri, damar ve pasadan derlenen cevherli örnekler üzerinde mikroskobik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Buna göre çalışılan madende cevher oluşumunun 2 farklı evrede gerçekleştiği tespit edilmiştir (Tablo 2). Birinci evreden sonra kataklastik dokuların ortaya çıkmasına sebebiyet veren kırılma olayı ve ornatım, ikinci evreden sonra ise sadece ayrılma dokuları ile ornatımın yanı sıra kırılma da gerçekleşmiştir. Her iki evrenin sonunda ise oksidasyon evresinde hematit ve limonit mineralleri oluşurken, malakit-azurit ile kovellin-kalkozin kalkopirit ve galenlerin çevresi ve

kırıkları boyunca ikincil mineraller nadir olsa da gözlenmektedir.



Şekil 11. Arazide gözlenen alterasyonlar (a) limonitleşme, hematitleşme, kükürtleşme, (b) kükürtleşme, (c): limonitleşme ve hematitleşme, (d) limonitleşme

Tablo 2. Cevherleşmenin parajenezi ve süksesyonu

Başlıca Sülfür Mineralleri	I. FAZ	II. FAZ	Süperjen Mineralleri
Pirit	—————	—————	
Kalkopirit	—————	—————	
Sfalerit	- - - - -	—————	
Galen	—————	- - - - -	
Fahlerz	—————	- - - - -	
Kuars	—————	- - - - -	
Hematit			—————
Limonit			—————
Malakit			—————
Azurit			—————
Kalkosin			—————
Kovellin			—————

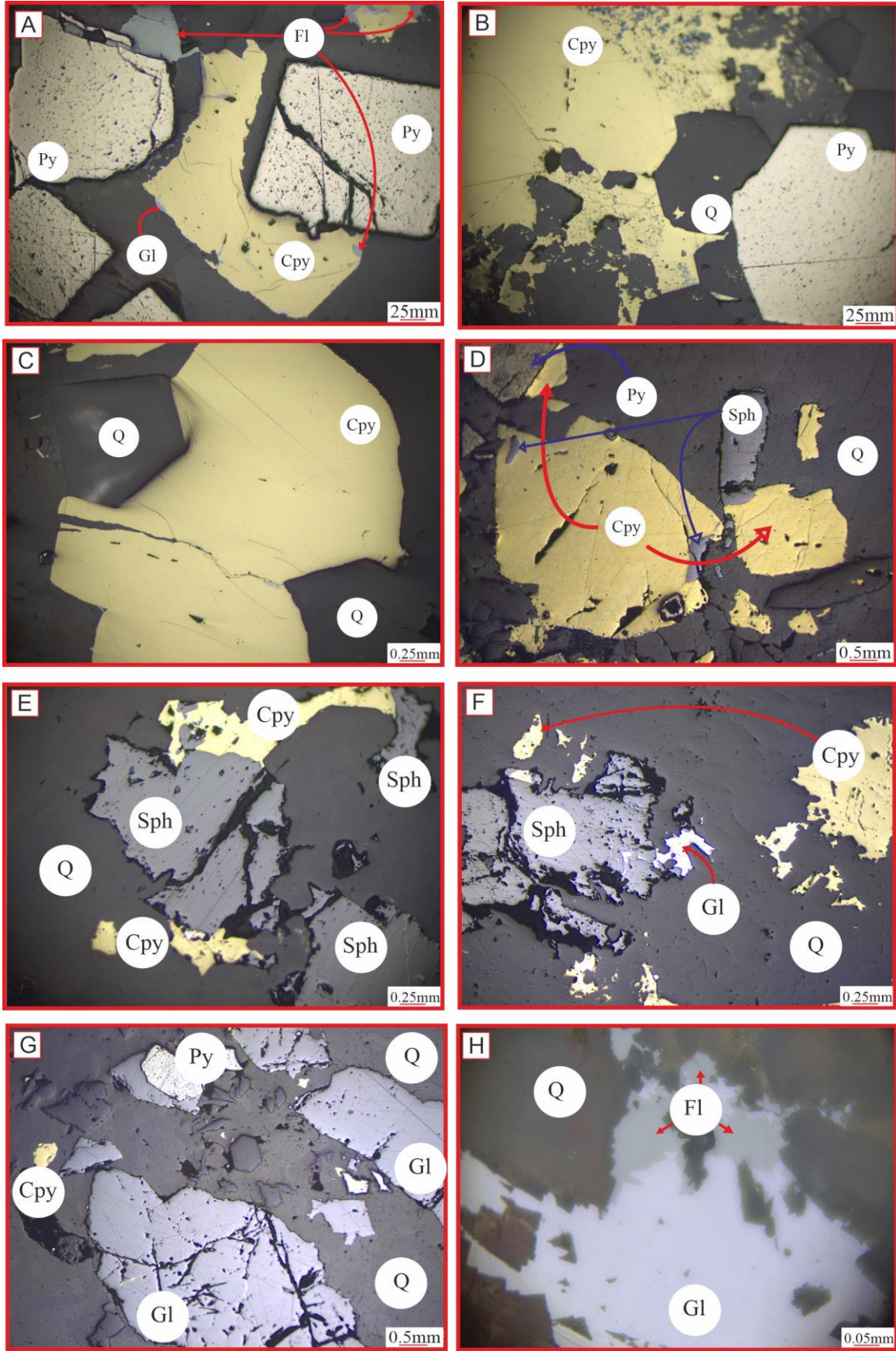
Pirit ilk oluşan cevher minerali olmakla birlikte genel olarak kalkopirit, sfalerit ve kuvars ile birlikte gözlenmektedir. Kesitlerde çoğunlukla yarı

öz şekilli ve şekilsiz nadiren de öz şekilli olarak gözlenir. Genellikle kuvars içerisinde kapanım halinde bulunan pirit kırılma tektoniğine bağlı olarak kırıklı ve parçalı bir yapıda görülmektedir (Şekil 12A ve B).

Kalkopirit, kesitlerde genel olarak orta ve iri kristalli, öz şekilsiz ve çoğunlukla da pirit, sfalerit ve kuvars ile birlikte görülmektedir. Kataklastik izleri de görülen kalkopirit gerek sfaleriti ornatmış halde gerekse de sfalerit içinde ayrılım şeklinde gözlenir. Çoğunlukla öz şekilli ve yarı özşekilli pirit kapanımları içeren kalkopiritler nadiren de galeniti ornatmış olarak görülürler. Kırılma tektoniğine bağlı olarak kalkopiritlerin çatlaklarında ve dokanaklarında öz şekilli kuvars gözlenmektedir (Şekil 12D ve C).

Sfalerit genelde iri kristalli düzensiz şekilli geniş yüzeyle ve bazen de küçük-orta kristaller şeklinde gri-açık ve gri renklerde izlenir. Çoğunlukla kalkopirit ile ilişki içinde olan sfalerit minerali bazen kalkopirit tarafından ornatılmış bazen de kalkopiriti ornatmış olarak gözlenmesinin yanı sıra eş oluşumu ifade eden kalkopirit ayrımları da içermektedir (Şekil 12E ve F). Kataklastik yapılanmadan dolayı sfalerit içinde oluşan kılcal çatlaklara kalkopirit yerleşimi (Şekil 14E) gerçekleşmiş ve yıldız dokusunu oluşturmuştur. Kesitlerde nadiren de olsa sfaleritin galen mineralini ornatmış görülmektedir. Cevher oluşumunun son evresine karşılık gelen kuvars gangi yerleşimi sırasında, kuvars diğer cevher minerallerinin kırıklarına yerleştiği gibi, sfaleritin kırıklarına yerleşmiştir (Şekil 12F).

Çelik mavisi veya krem mavisi renklerde izlenen ve sfalerite göre daha açık renkler sergileyen galen, belirgin olarak derin parlatma çizikleri (Şekil 12G) içermesinin yanı sıra karakteristik tanınma özelliği olan üçgen dilinim yüzeylerine de sahiptir (Şekil 12G). Galen minerali çoğunlukla sfalerit, kalkopirit ve pirit ile birlikte izlenir. Pirit tarafından ortanılmış halde gözlenen galen, aynı zamanda kalkopirit içinde kapanım halinde gözlenmektedir. Bunun yanı sıra galenit içerisinde fahlerz kapanımları da bulunmaktadır (Şekil 12H). Galenit kırık tektoniği etkisine maruz kalmış ve diğer cevher minerallerinde olduğu gibi parçalanmış galenit aralarına ise öz şekilli kuvars mineralleri yerleşmiştir (Şekil 12G).



Şekil 12. Cevher minerallerinin mikroskopik görünüşleri. (A-B): Pirit, (C-D): Kalkopirit, (E-F): Sflerit, (G): Galen, (H): Fahlerz. (Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Sph: Sflerit, Gl: Galen, Fl: Fahlerz, Q: Kuvars)

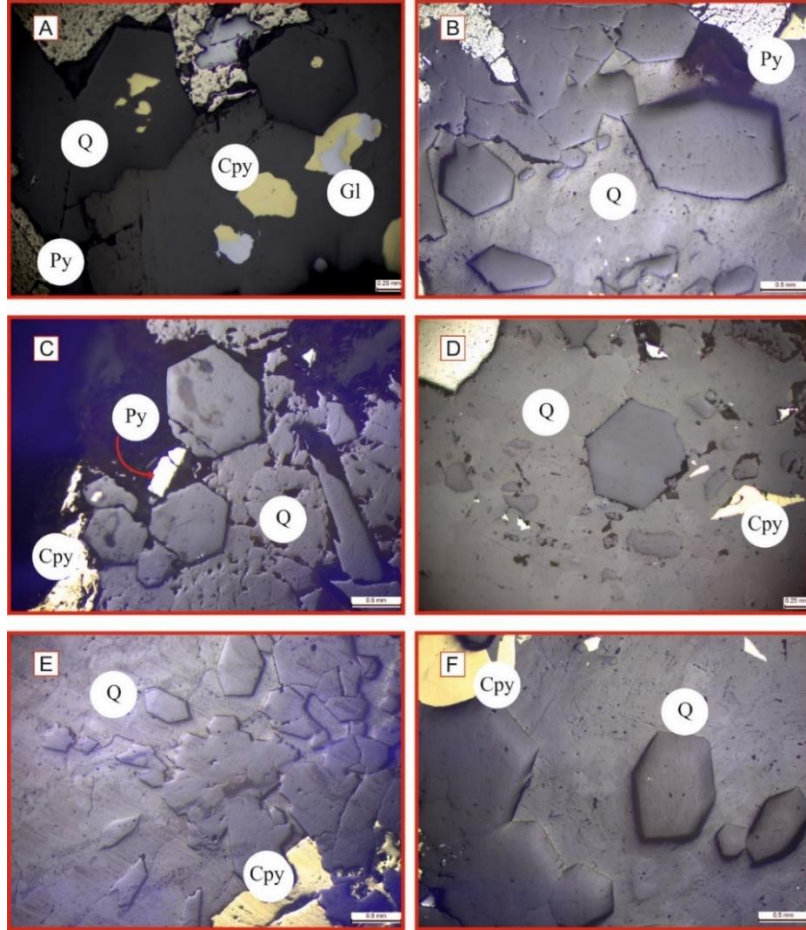
Parajenezde nadiren gözlenen fahlerz yeşilimsi gri renklerde çoğunlukla da galenit içerisinde kapanım

şeklinde gözlenir. Fahlerz, cevher oluşumunun birinci evresinde kalkopirit içerisinde (Şekil 12H)

gözlenirken cevher oluşumunun ikinci evresinde ise galenit içerisinde gözlenmektedir.

Parlak kesitlerde genellikle öz şekilli olarak gözlenen kuvars, cevherleşmenin her iki evresinde de gözlenmektedir. Cevherleşmenin birinci evresinde gözlenen kuvars, kırık tektoniğine bağlı olarak cevher minerallerinde gözlenen kırıklar arasına dolgu olarak yerleşmiştir (Şekil 13A).

Sıcaklığın düştüğü cevher oluşum sürecinin tamamlanmaya başladığı zaman gelen ikinci evrede ise öz şekilli kuvars kristalleri gözlenmektedir. Söz konusu kuvarslar boşluk dolgusu ve taraklı yapı göstermektedir (Şekil 13B, C ve D). Bu şekilde gözlenen kuvarslar mineralleri cevherleşmenin epitermal sistemde geliştiğine işaret etmektedir (Akaryalı, 2010; Akaryalı, 2016; Akaryalı ve Akbulut, 2016).

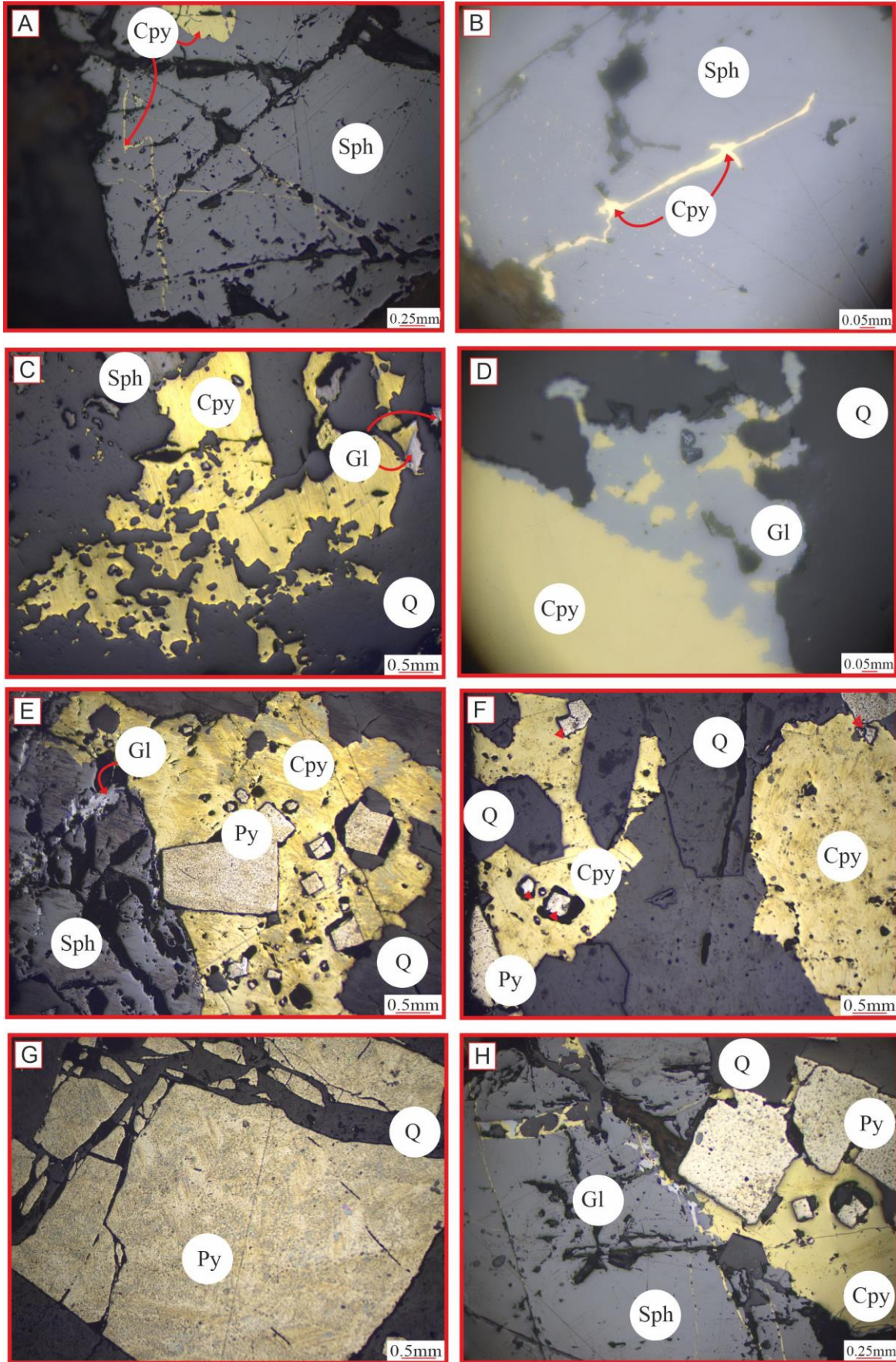


Şekil 13. Boşluk dolgusu ve taraklı yapı gösteren kuvarsların mikroskobik görünüşleri (Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Gl: Galen, Q: Kuvars)

3.3.3. Dokuların Petrografik Anlamı

Cevherleşmenin oluşumunu ve geçirdiği değişimleri gerçek anlamda ortaya çıkarabilmek için cevher minerallerinin yapı-doku ilişkilerinin belirlenmesi zorunlu bir ihtiyaçtır. Cevher minerallerinin birbirleriyle olan ilişkileri cevherin dokusal, minerallerinin tane sınırlarının durumu ise yapısal özelliklerini temsil eder. Bu çalışma kapsamında yürütülen mikroskobik incelemeler neticesinde cevherleşmede ornatım, kapanım, ayrılım ve kataklastik dokularının gözlemlendiği tespit edilmiştir. En karakteristik ayrılım dokusu kalkopirit ve sfalerit mineral çifti arasında

gözlenmektedir. Kalkopirit ayrımları sfaleritlerin içinde gelişmiş güzel dağılmış kümelenmelerinin yanı sıra sfaleritin kenar kısımlarında yoğunlaşma şeklinde gözlenmektedir (Şekil 14A ve B). Söz konusu sfaleritin kenar kısımlarındaki kalkopirit yoğunlaşmasını Eldridige vd., (1983) eş oluşumdan ziyade ard oluşumlu ornatım yoluyla oluşmaya bağlamaktadır. Midi Pb-Zn madeni üzerinde çalışmalar gerçekleştiren Lermi (2003) söz konusu bu tip kalkopirit ayrımlarını, cevher oluşum sırasında ortam sıcaklığının artmasından dolayı gelişen yeniden kristallenme ile ilişkilendirmiştir.



Şekil 14. Cevher mineralleri arasında gözlenen (A-B): Ayrılım dokuları, (C-D): Ornatım dokuları, (E-F): Kapanım dokuları, (G-H): Kataklastik dokular (Py: Pirit, Cpy: Kalkopirit, Sph: Sfalerit, Gl: Galen, Fl: Fahlerz, Q: Kuvars)

Herhangi bir cevher mineralinin başka bir cevher minerali tarafından yerinin alınması (ornatılması) cevher mikroskobisi incelemelerinde en sık gözlenen dokusal özelliktir. Elde edilen bulgular özellikle sfalerit ve galenitin kalkopirit tarafından ornatıldığını göstermektedir. Bunun yanı sıra kalkopirit-pirit ve kalkopirit-kuvarslar arasında da ornatım dokuları gözlenmektedir (Şekil 14C ve D). Cevher mikroskobisi incelemelerine göre kalkopirit içerisinde pirit, sfalerit içerisinde ise kalkopirit-pirit şeklinde kapanım dokuları tespit edilmiştir (Şekil 14E ve F).

Cevher oluşumundan sonra meydana gelen tektonik hareketler neticesinde, cevher minerallerinin kırılıp parçalanması şeklinde ortaya çıkan kataklastik doku (Şekil 14G ve H) kapanım dokularının çeşitliliğini artırmıştır. Cevherlerde meydana gelen kırıklar arasına yerleşen kuvarslar da hemen hemen her cevher mineralinde kapanım şeklinde gözlenmektedir.

Gümüşhane yöresi, bulunduğu tektonik ortam ve geçirdiği jeodinamik evrime bağlı olarak değişik kayaç türleri ile ilişkili olarak farklı tiplerde cevherleşmeler barındırmaktadır. Bunlardan kuşkusuz en önemli olanları epitermal sitemde gelişmiş Au-Ag yataklarıdır. Bunun yanı sıra bu çalışma konusunu da oluşturan Cu-Pb-Zn yatakları da Gümüşhane yöresinde bulunmaktadır. Özellikle çalışma konusunu oluşturan Kılıçören Cu-Zn-Pb cevherleşmesi, cevherleşmenin içinde litolojik birim (Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu) bakımından, Gümüşhane ilinde bulunan Midi-Karamustafa (Şiran-Gümüşhane) Pb-Zn (Lermi 2003), Altınpınar (Torul-Gümüşhane) Pb-Zn ± Au (Akaryalı, 2016) ve Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn-Cu±Au (Akaryalı ve Akbulut, 2016) cevherleşmeleri ile benzerlik göstermektedir. Her üç cevherleşme de Şenköy formasyonuna ait andezitik kayaçlarda gelişen kırıklara yerleşmiştir. Bu çalışma kapsamında Kılıçören cevherleşmesine yönelik elde edilen alterasyon, mineral birlikteliği, cevherleşmenin oluşum sırası gibi veriler de Midi-Karamustafa, Altınpınar ve Ünlüpınar cevherleşmeleri ile benzer özelliklere sahiptir. Midi-Karamustafa, Altınpınar ve Ünlüpınar cevherleşmeleri üzerine yapılan detaylı jeokimyasal ve izotop çalışmaları, söz konusu cevherleşmelerin epitermal sitemde gelişmiş damar tip cevherleşme olduğunu ortaya koymaktadır. Kılıçören cevherleşme sahasında gözlenen silisifiye zonlar (silis kafası) ile cevher mikroskobisi çalışmalarında tespit edilen öz şekilli kuvars ve bu mineralin oluşturduğu boşluk dolgusu ve tarak yapısı da cevherleşmenin epitermal sitemde gelişmiş olabileceğini düşündürmektedir.

4. Sonuçlar

Kılıçören Köyü (Gümüşhane) Madenin Sırtı yöresinde bulunan Pb-Zn-Cu±Au cevherleşmesinde gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Gümüşhane iline bağlı Kılıçören Köyü (Gümüşhane) Madenin Sırtı yöresinde gelişen cevherleşme Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy formasyonuna ait andezitik kayaçlar içinde KB-GD doğrultulu kırık hatlarında, kalınlıkları ve uzunlukları birkaç metreye varan damarlara yerleşmiş olarak gözlenmektedir. Ayrıca K25°B doğrultulu yaklaşık 5 kalınlığında ve 50 m uzunluğunda gözlenen silisifiye zon (silis kafası) cevherleşmenin epitermal sitemde geliştiğine işaret etmektedir. Sahada silisleşmenin yanı sıra hematitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve kükürtleşme şeklinde alterasyon ürünleri de gelişmiştir. Cevher mikroskobisi çalışmaları neticesinde, cevherleşmenin iki evrede geliştiği ve parajenezinin ise pirit, kalkopirit, galen, sfalerit, fahlerz ve kuvarslardan oluştuğu tespit edilmiştir. Kayaçlarda gözlenen ornatım, ayrılım, kapanım ve kataklastik dokular cevher mineralleri arasında gözlenen en önemli doku türlerini oluşturmaktadır. Özellikle kuvars içeren örneklerde, öz şekilli kuvars kristallerinin yanı sıra boşluk dolgusu ve taraklı yapının gözlenmesi, sahadaki cevherleşmenin epitermal sitemde gelişen damar tip bir cevherleşme olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulguların ileride yapılacak mineral kimyası, sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmaları ile desteklenmesi sonucu cevherleşmenin oluşum modeli ortaya çıkarılabilir. Bu sayede, elde edilecek yeni bulgular bölgede yapılacak yeni maden sahası aramalarına katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu araştırma, ikinci yazarın yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmaktadır. Yazarlar arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Ali Hakim KURT'a, tez çalışması sırasındaki katkılarından dolayı ise Dr. Mehmet Ali GÜCER'e teşekkür eder.

Kaynaklar

Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 174s.

- Akaryalı, E. ve Tüysüz, N., 2013. The Genesis of the Slab Window-Related Arzular Low- Sulfidation Epithermal Gold Mineralization (Eastern Pontides, NE Turkey). *Geoscience Frontiers*, 4(4), 409-421.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, Fluid Inclusion and isotopic (O, H and S) Constraints on the Origin of Pb–Zn ± Au Vein-Type Mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey). *Ore Geology Reviews*, 74, 1-14.
- Akaryalı, E. ve Akbulut, K., 2016. Constraints of C–O–S Isotope Compositions and the Origin of the Ünlüpınar Volcanic-Hosted Epithermal Pb–Zn ± Au Deposit, Gümüşhane, NE Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 117, 119-134.
- Akçay, M., Gündüz, Ö. ve Çoban, H., 1998. A Multi-phase Intrusion around the Gümüşhane Village (Artvin) and Associated Mineralization Types: A Geologic and Geochemical Approach. *Geosound*, 33, 1-18.
- Aktaş, F.K., 2018. Canca-Aktutan ve Leriköy (Yitirmez) – Dölek (Gümüşhane, KD Türkiye) Yöresi Eosen Yaşlı Volkanitlerin Hidrotermal Alterasyonu ve Altın Potansiyelinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gümüşhane, 59s.
- Aslan, N., ve Akçay, M., 2011. Mastra (Gümüşhane) Au-Ag Yatağının Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. 64. Jeoloji Kurultayı Bildirileri, 25-29 Nisan 2010, Ankara, s. 181-182.
- Bektaş, O., Sen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N., 1999. Migration of the Upper Cretaceous Subduction-Related Volcanism towards the Back-Arc Basin of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 95-106.
- Boynnton, W.V., 1984. Cosmochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies, in: Henderson, P. (Ed), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam., pp. 63-114.
- Çiftçi, E., 2000. Mineralogy, Paragenetic Sequence, Geochemistry and Genesis of the Gold and Silver Bearing Upper Cretaceous Mineral Deposits, North eastern Turkey. Ph.D Thesis, University of Missouri-Rolla, Missouri, 251p.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü. Doçentlik Tezi, İ.Ü Maden Mühendisliği, İstanbul, 186s.
- Demir, Y., 2005. İstala ve Köstere (Torul-Gümüşhane) Madenlerinin Mineralojik ve Dokusal Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 109s.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafız, M., Jacoby, W.R. ve Özer, R., 2006. Three- directional Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *Geologica Carpathica*. 57(5), 337-346.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Keewook, Yi., Tüysüz, N., Korkmaz, S., Akaryalı, E., Dudas, F.O. ve Bektaş, O., 2014. The Eastern Black Sea-type Volcanogenic Massive Sulfide Deposits: Geochemistry, Zircon U–Pb Geochronology and an Overview of the Geodynamics of Ore Genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29-54.
- Fujimaki, H., Tatsumoto, M. ve Aoki, K., 1984. Partition Coefficients of Hf, Zr and REE between Phenocrysts and Groundmasses, Proceedings of the Fourteenth Lunar and Planetary Science Conference, 15 February 1984. *Journal of Geophysical Research*, 89, 662-672.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. The Main Lines of Geotectonic Development of the Eastern Pontides in Mesozoic era, Proceeding of the 1st Geological Congress of the Middle East, 4-7 September 1979, Ankara, p. 555-580
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu: MTA Yayınları, Ankara, 65 s.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. ve Mitchell, S.F., 2007. Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks Using Immobile Trace Elements: Development of The Th-Co Discrimination Diagram. *Journal of Petrology*, 48(12), 2341-2357.
- Irvine, T.N. ve Baragar, W.R.A., 1971. A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 272s.
- Kelemen, P.B., Johnson, K.T.M., Kinzler, R.J. ve Irving, A.J., 1990. High-Field-Strength Element Depletions in Arc Basalts due to Mantle–Magma Interaction. *Nature*, 345, 521-524.
- Keskin, İ., Korkmaz, S., Gedik, İ., Ateş, M., Gök, L., Küçümen, Ö. ve Erkal, T. 1989. Bayburt Dolayının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rap. No. 8995, (yayımlanmamış), Ankara.
- Ketin, İ 1966: Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi 66, 20-34.

- Kurt, A.H., 2018. Gümüşdamla (Aydıntepe-Bayburt) Skarn Cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Kökensele İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gümüşhane, 55s.
- Lermi, A., 1996. Kanköy (Yomra-Trabzon) Cevherinde Toprak-Bitki Jeokimyasının Uygulanması ve İndikatör Bitki Türü Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 115s.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelenmesi. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon, 266s.
- Pearce, J.A. ve Cann, J.R., 1973. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. Earth and Planetary Science Letters, 19, 290-300.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the Sub-continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins, in: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J., (Eds.), Continental Basalts and Mantle Xenoliths, Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass., Shiva, Nantwich, UK 230-249.
- Peccherillo, A. ve Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, Trabzon, KTÜ yayını: 87, 103.
- Ringwood A.E., 1990. Earliest History of the Earth-Moon System, in Origin of the Earth, in Newsom, H. E., Jones J. H., (Eds.), Oxford University Press, 101-134.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, B., 2010. Zigana (Gümüşhane, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Alterasyon Mineralojisi ve Kütle Değişimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 53, 2-3.
- Stolz, A.J., Jochum, K.P., Spettel, B. ve Hofmann, A.W., 1996. Fluid and Melt Related Enrichment in the Subarc Mantle: Evidence from Nb/Ta Variations in Island Arc Basalts. Geology, 24, 587-590.
- Sun, S.S. ve McDonough, W.F. 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts; Implications for Mantle Composition and Processes, in Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins Geological Society of London, London 42, 313-345.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.-H., Dokuz, A. ve Meyer, H.-P., 2007. Variscan Amphibolite-facies Metamorphic Rocks from the Kurtoğlu Metamorphic Complex (Gümüşhane Area, Eastern Pontides, Turkey). International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Turan, S., 2012. Zigana (Torul, Gümüşhane, KD Türkiye) Yöresi Damar Tip Pb-Zn-Cu±Barit Cevherleşmelerinin Kökensele Açısından Karşılaştırmalı İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 132s.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area. Phase 1, 72p.
- Tüysüz, N., 2000. Geology, Lithochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE Turkey. Chemie der Erde, 60, 231-250.
- Winchester, J.A. ve Floyd, P.A., 1977. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. Chemical Geology, 20, 97-127.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 175s.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimentolojik Kayıtları ve Kontrol Etkenleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 45(1), 141-165.
- Yılmaz, Y., 1973. Gümüşhane Granitinin Yerleşmesi, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bidirileri, 17-19 Aralık 1973, Ankara, s.485-490.