

## Ünlüınar (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn±Au Cevherleşmesinin Jeolojik, Jeokimyasal ve Kökensel Olarak İncelenmesi

Kübra AKBULUT<sup>1</sup>, Enver AKARYALI<sup>\*2</sup>, İbrahim AKPINAR<sup>2</sup>, Emre AYDINÇAKIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 29100, Gümüşhane, Türkiye

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane, Türkiye

Geliş tarihi/Received 02.10.2014

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 23.12.2014

Kabul tarihi/Accepted 25.12.2014

### Özet

*İnceleme alanı Gümüşhane ilinin güneyinde yer alan Kelkit İlçesi Ünlüınar (Pekün) Beldesine bağlı Eylence Yayla ve Emirinkomu Köyü yakın çevresini kapsamaktadır. Çalışma alanında Kurtoğlu Metamorfikleri, Şenköy Formasyonu ve Köse Granitoyidi yer almaktadır. Detay inceleme yapılan alan ve yakın çevresindeki birim Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'na ait bazalt, bazaltik andezit ve piroklastları oluşturmaktadır. Eylence Yayla ve Emirinkomu mevkiinde yer alan Zn-Pb-Cu ± Au cevherleşmesi tamamen Şenköy Formasyonuna ait bazaltik andezitler içinde K20D doğrultularındaki kırık hatlarına yerleşmiştir. İnceleme alanında cevherleşmenin parajenezini ortaya çıkarmak içinde çalışma sahasından sistematik örneklerden parlak kesitler yapılarak, cevher mikroskopisi altında incelenmiştir. Cevherleşmenin parajenezi oluşum sırasına göre pirit, kalkopirit, sfalerit, galen, altın, kuvars ve kalsit olarak tespit edilmiştir. Arazide yapılan gözlemler sonucunda alterasyon türleri olarak hematitleşme, limonitleşme ve kükürtleşme tespit edilmiştir. Sıvı kapanım analiz sonuçlarına göre cevherleşmenin oluşum sıcaklığının 80-280°C arasında değiştiği, kükürt izotop termometresine göre ise cevherleşmenin oluşum sıcaklığının ortalama 264°C olduğu belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Altın, Duraylı izotop, Kelkit, Kurşun-Çinko, Sıvı kapanım

## Geological, Geochemical and Genesis Investigation of Ünlüınar (Kelkit-Gümüşhane) Mineralization

### Abstract

*The investigation area in this study covers the immediate surroundings of Eylence Yayla and Emirinkomu, Ünlüınar (Pekün) Town of Kelkit County located south of Gümüşhane Province. Kurtoğlu Metamorphics, Şenköy Formation and Köse Granitoid are located in the study area. The Zn-Pb-Cu ± Au mineralization located in Eylence Yayla and Emirinkomu sites is completely settled into the N20E striking fault lines within andesites belonging to Şenköy Formation. To reveal the mineralization assemblages in the study area, the polished samples which prepared from systematic samples were examined under the ore microscopy. The paragenesis of the mineralization is determined according to the order of occurrence, as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, gold, quartz and calcite. The hematitization, limonitization and sulfurization are identified as alteration types, based on the observations made on the field. According to the results of the fluid inclusion studies, the formation temperature of mineralization changes between 80 and 280°C. Based on the*

\* Enver AKARYALI, eakaryali@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 1000/1696

*sulphur isotope thermometer analysis, the average formation temperature of mineralization is determined as 264°C.*

**Keywords:** Gold, Stable isotope, Kelkit, Lead-zinc, Fluid inclusion

## 1. Giriş

Pontidler, Balkanlardan Himalayalara kadar uzanan yaklaşık 6000 km uzunluğundaki metalojeni kuşağı içinde yer alır ve Türkiye'nin önemli bir maden bölgesidir. Yaklaşık 700 km uzunluğundaki Doğu Pontid metalojenik provansı (bölge) içinde farklı tiplerde 500-600 adet bakır, kurşun, çinko, molibden, demir ve mangan zehir ve yatakları yer almaktadır. Doğu Karadeniz bölgesi, özellikle de Gümüşhane kurşun, çinko ve bakır ve bunların yanı sıra altın ve gümüş gibi değerli metaller açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. Bölgedeki cevherleşmeleri meydana getiren jeodinamik evrim ve magmatizma bu tip ve tür cevherleşmelerin bulunmasında en önemli rolü oynamaktadır. Özellikle masif sülfür, porfiri bakır, skarn ve epitermal damar tipi Cu, Pb, Zn, Au ve Ag gibi ekonomik maden yataklarını içeren bu bölgenin jeolojisi, tektoniği ve maden yatakları bugüne kadar çok sayıda çalışmaya konu olmuştur (Gettinger, 1962; Dixon ve Pereire, 1974; Adamia, ve diğ., 1977; Aslaner, 1977; Pejatoviç, 1979; Leitch, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yalçınalp, 1992; Bektaş ve Güven, 1995; Lermi, 1996; Akçay, ve diğ., 1998; Tüysüz, 2000; Çiftçi, 2000; Lermi 2003; Eyüboğlu 2010, Akaryalı, 2010; Akaryalı ve Tüysüz 2013).

Bu çalışmanın içinde yer aldığı Gümüşhane yöresi, geçmişte olduğu gibi bu gün de madencilik açısından önemli bir konuma sahip olup günümüzde işletilen, işletilmeyi ve/veya keşfedilmeyi bekleyen pek çok önemli maden yatağına sahiptir. Bölgenin neotektonik konumu ile uyumlu olarak gelişmiş olan cevherleşmeler, genel olarak Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin hakim kırık sistemlerine bağlı olarak KB-GD ve D-B doğrultulu fay ve kırıklarda meydana gelmiştir. Cevherli hidrotermal çözeltiler bu kırık ve fayları hareket ve yerleşimleri için

yol olarak kullanmış ve özellikle Liyas volkanotortul serisi ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları içinde damar, damarcık ve mercerler şeklinde kıymetli metal (Au, Ag) içeren Pb, Zn cevherleşmelerini geliştirmiştir. Çalışma konusunu oluşturan Ünlüpınar (Pekün) Pb-Zn±Au cevherleşmesi de Liyas yaşlı volkanotortul seri içinde bazaltik andezitlerle ilişkilidir. Bu çalışmada Doğu Pontidler'in, Güney Zonu ve Eksen Zonu geçişini temsil edecek şekilde ve Gümüşhane ili Kelkit ilçesi sınırları içerisinde Ünlüpınar Beldesi Eylenceyayla yöresinde bulunan cevherleşmelerin; petrografi, jeokimyası ve mineral kimyası ile sıvı kapanım ve duraylı izotop çalışmaları yardımıyla cevherin oluşum sıcaklığı ve cevherleşmeyi oluşturan çözeltilerin kökeni belirlenmiştir.

## 2. Analiz Yöntemleri

Ünlüpınar cevherleşmesine ait yapılan analizler ve yöntemleri şu şekildedir. Cevherleşmeye ev sahipliği yapan volkanik kayaçların sınıflandırılması, kökeni ve jeodinamik ortamının saptanması ve mineral kimyasını belirlemek için tüm kayaç ve mikroprob analizi yapılmıştır. Cevherleşmenin oluşum sıcaklığını belirlemek amacı ile sıvı kapanım analizi, cevherleşmenin oluşum sıcaklığı ve hidrotermal çözeltilerinin kökenini belirlemeye yönelik ise duraylı izotop analizleri yapılmıştır.

Çalışma sahasından toplanan kayaçların, petrografik ve mineralojik tayinlerine yönelik ince kesitler, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında 0.025 mm kalınlığa kadar inceltirilerek petrografik tayin için hazır hale getirilmiştir. Ünlüpınar cevherleşme sahasından derlenen cevher ve yan kayaç örneklerinden, cevher mineral parajenezini ve dizilimini ortaya çıkarmak için hazırlanan

parlak kesitler uygun aşındırıcılarla amaca uygun olarak Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü parlak kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan kimyasal analizler için Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde, 250-300 g kayaç örnekleri çeneli kırıcıda parçalanarak kimyasal analize hazır hale geldikten sonra gönderildikleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (KANADA) analitik kimya laboratuvarında 7 adet kayaç örneğinin ana element analizleri; İndüktif Eşleşmiş Plazma (Inductively Coupled Plasma)-Atomik Emisyon Spektrometri (ICP-AES) yöntemiyle analiz edilmiştir. Aynı örneklerin iz ve nadir toprak element analizleri ise ICP-MS (Kütle Spektrometresi) yöntemiyle analiz edilmiştir. ICP-AES analiz yönteminde, bir örnekte bulunan elementler atomlaştırma denilen bir işlemle (ICP hamlacı ile) buhar haline getirilerek atomlarına dönüştürülür. Akabinde ise buhar içindeki atomik türlerin emisyonunun ölçümleri yapılır (Thompson ve Walh, 1983). Ana element analizleri için 0.2 g örnek 1.5 g LiBO<sub>2</sub>'de eritilmiş ve %5'lik 100 mL HNO<sub>3</sub> içinde çözündürülmüştür. Analiz yapılan alete standartlar (STD SO 18) girildikten sonra örnekler analiz edilmiştir. ICP-MS yöntemi ise 0.25 g toz örnek üzerinde gerçekleştirilir. Yöntemin esası şu şekildedir. Analiz edilecek örnekler ICP hamlacı ile atomlaştırılır, iyonlaştırılır ve kütle /yük oranına göre ayrılan iyonların sayımı ile sayısal sonuçlar elde edilir (Jenner ve diğ., 1990). Numuneler, karbon içeriklerinin uçurulması için 200 °C de 100 mL HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub>-HCl-HF çözeltisinde köpürmeleri gidinceye kadar bekletilmiştir. Metalleri çözmek amacıyla 10 mL kral suyu (3HDNO<sub>3</sub>-HDHCl) ile sulandırılarak bekletilen numuneler, seyreltikten, filtrelendikten ve cihaza standart (STD SO 18) okutulduktan sonra analiz edilmişlerdir.

Volkanik kayaçlarda gözlenen minerallerin mikroprob analizleri New Mexico Bureau of Geology & Mineral Resources New Mexico Institute of Mining & Technology

KANADA'da elektron mikroprob laboratuvarında CAMECA SX-100 model cihaz ile 20 kV ve 30 nA şartları altında yapılmıştır.

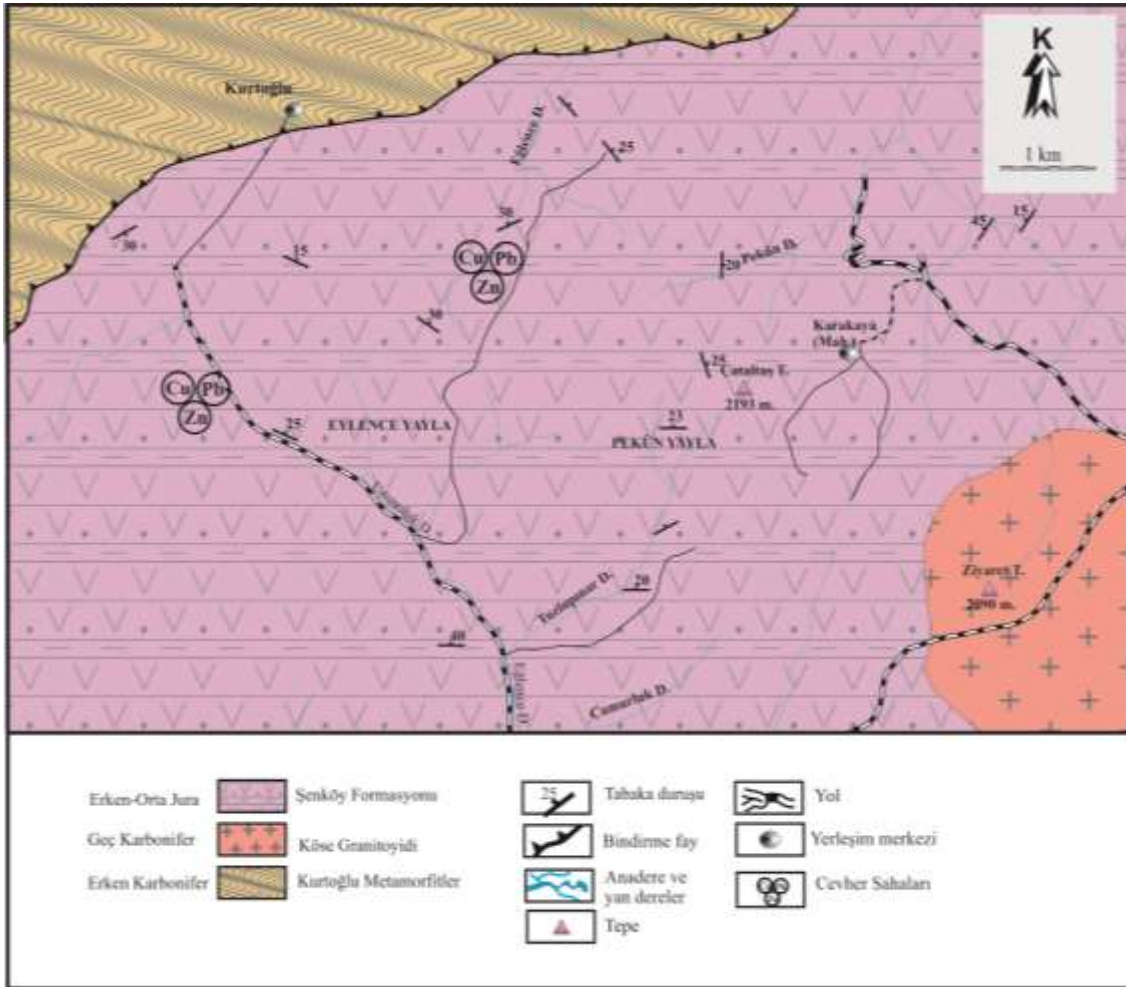
Cevher ve gang minerallerinin bünyelerinde buldukları sıvı kapanımları tespit etmek amacıyla cevherli örneklerden çift tarafı parlatılmış 9 adet ince kesit, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarında polarizan mikroskop üzerine monte edilmiş ve -196 °C ile 600 °C aralığında ısıtma-soğutma yapabilen Linkam THMG-600 cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Ayrıca cevherleşme sahasında derlenen cevherli örneklerde yer alan kalsit minerali üzerinde yapılan C ve O izotop analizleri, sfalerit, kalkopirit, pirit ve galen üzerinde gerçekleştirilen kükürt izotop analizleri Queen's Facility for Isotope Research KANADA'da yapılmıştır. C ve O izotop analiz işleminde ilk olarak örnekler üzerindeki organik materyallerin arındırılması ile başlamıştır. Kurutulup toz haline getirilen örnekler % 100 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>'in içinde 72°C' de 4 saat tepkimeye sokularak açığa çıkan CO<sub>2</sub>'nin 0,5 mg'nin çözünmesi ile karbon ve oksijen izotoplarının değerleri ile ölçülmüştür. Karbon ve oksijen izotoplarının bileşimleri V-PDB standartına göre analiz edilmiştir. Kükürt duraylı izotop ölçümleri sfalerit, kalkopirit, pirit ve galen üzerinde Finnigan MAT 252 Carlo Erba NCS 2500 element analizör çifti kullanılarak, Finnigan MAT kütle spektrometresi ile Finnigan MAT Conflo 11 birlikte ölçülmüştür ve bunlar izotop formülünde V-CDT standartına göre ‰ 1 olarak analiz edilmiştir. Kükürt izotop analizinin yapılması aşamasında ilk olarak, analizi yapılacak olan örnek birlikte katalizör olarak işlem gören vanadyum pentaoksit içeren kalay kapsül analiz haznesine yerleştirilir. Daha sonra 1080 °C sıcaklıkta saf oksijen akımı sağlanarak ısıtılan örnek, kalay kapsülle birlikte sıcaklık 1700 °C'ye kadar çıkarılarak yakılır. Yakma işlemi sırasında çıkan gazlar saf bakır teller üzerinden geçirilerek SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve su elde edilir. Elde edilen SO<sub>2</sub> gazı 45 °C'de çözündürülerek ayrılır, iyonlaştırılır, üzerinden akım geçirilir ve sonuçta SO<sub>2</sub> pikleri ölçülür.

### 3. Eylence Yayla Cevherleşmesi ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Çalışma konusunu oluşturan cevherleşme sahası Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane ili, Kelkit ilçesi Ünlüpınar Beldesi civarındaki Eylence Yayla mevkinde bulunduğu için Eylence Yayla cevherleşmesi adını almıştır. İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru; Yılmaz (1972) tarafından “Kurtoğlu Metamorfitleleri” başlığı altında incelenmiş olan Erken Karbonifer yaşlı Kurtoğlu Metamorfikleri, ilk olarak Erguvanlı (1952) tarafından adlandırılan Geç Karbonifer yaşlı Köse Granitoyidi ve cevherleşmeye ev sahipliği yapan ilk kez Kandemir (2004) tarafından Gümüşhane yöresinde tanımlanan Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu görülmektedir (Şekil 1). Şenköy Formasyonu inceleme alanında andezit-bazalt ve piroklastlarından oluşmaktadır. İnceleme

alanındaki bu birim genel olarak siyah, gri ve grimsi siyah renklerde ve genel olarak yuvarlak iri bloklar halinde yer yer ise akmalar şeklinde gözlenmektedir. Şenköy Formasyonu'nun bu özelliği arazide formasyonun hemen tanınmasını sağlamaktadır. Şenköy Formasyonu içerisindeki andezit ve bazalt gibi volkanik kayalar ve bunların piroklastları yer yer kırıklı ve çatlaklı yapıda olup çatlaklar limonit ve kalsit dolguludur. İnce kesitlerde yapılan incelemede, Eylence Dere'nin kuzeybatısındaki Şenköy Formasyonu'na ait andezitlerin içerisinde: Mikrolitik porfirik ve glomeraporfirik doku gözlenmekte olup, içerisinde orta ve iri boyutlarda yer yer serizitleşmiş, kalsitleşmiş nadiren de üzerinde epidotlaşma görülen ve cins tayinine göre Andezin ( $An_{32-36}$ ) bileşimine sahip olan plajiyoklas mineralleri gözlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanını kapsayan bölgenin 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası.

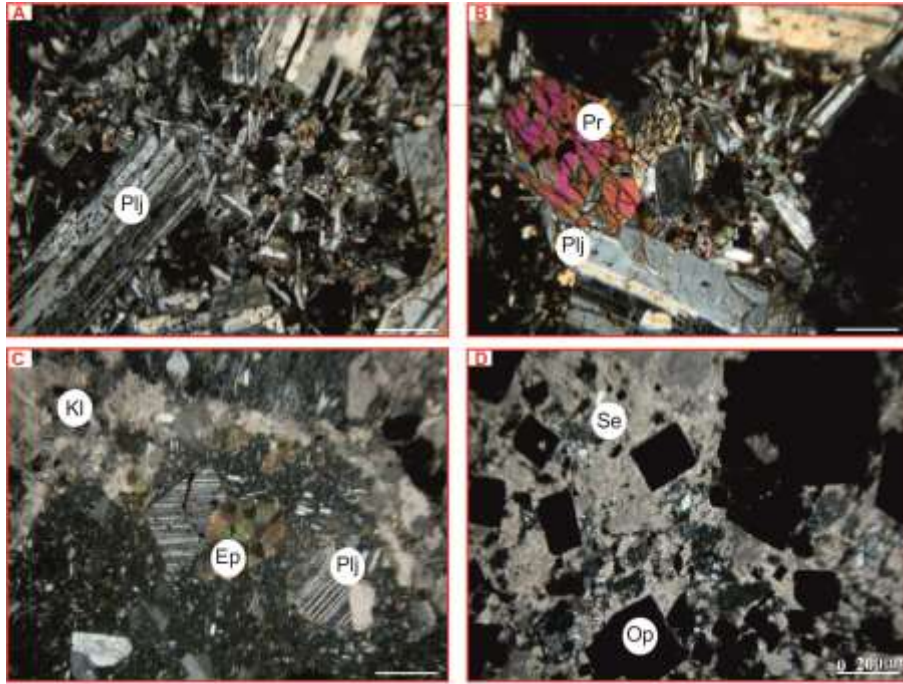
İnce kesitlerde genellikle öz ve yarı öz şekilli küçük kristaller halinde gözlenen piroksenlerin bazılarında uzantıya dik kesitlerde çok iyi gelişmiş, birbiriyle yaklaşık 90<sup>0</sup>'lik açılar yapan dilinimler, bazılarında ise tek yönde dilinimler belirgindir. Ayrıca kesit içinde öz şekilli ve yarı öz şekilli saçınımlar halinde küçük ve orta boyutta opak mineraller ve bu minerallerin çok küçük tanelerinden oluşan hamur görülmüştür (Şekil 2).

### 3.1. Eylence Yayla Cevherleşmesi

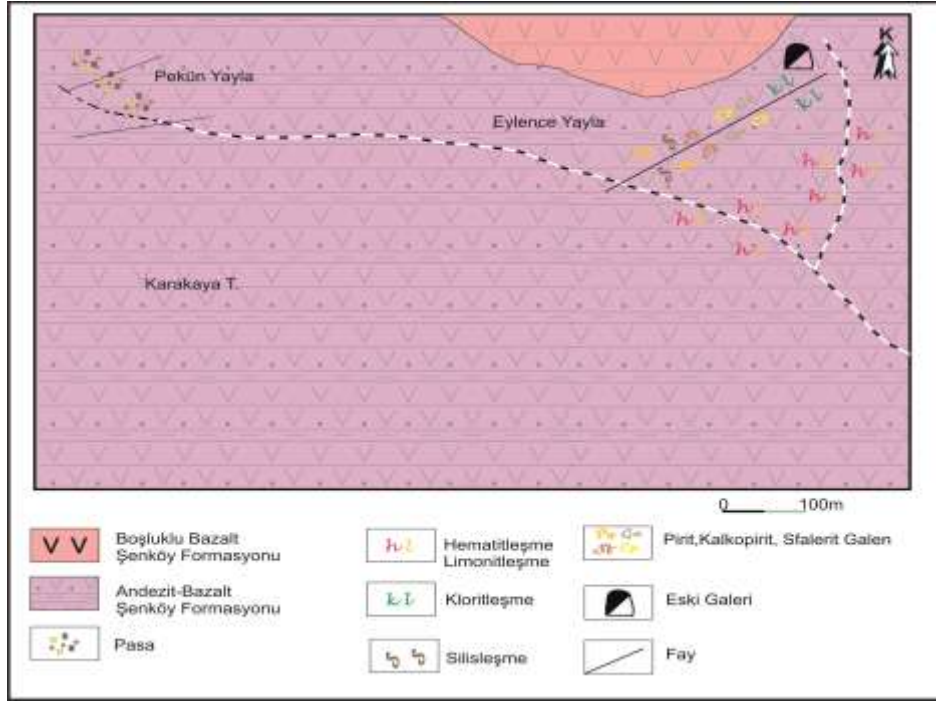
Cevherleşme Şenköy Formasyonu'na ait andezitler içinde KB-GD doğrultularındaki kırık hatlarına yerleşmiştir. Yöredeki en önemli cevher damarı Eylence dere içindeki K20D doğrultulu Zn-Cu-Pb damarıdır. Kırık hatlarında killeşme ve limonitleşme gibi alterasyonların yanı sıra yan kayalarda kloritleşmelerde gözlemlenmektedir (Şekil 3). Damarların kalınlığı 20-40cm arasında değişmekte olup sahadaki uzunluğu ise yaklaşık 120m arasındadır (Şekil 4A). Dere

içinde yaklaşık KD doğrultusunda açılmış bir adet galeri mevcuttur (Şekil 4B). Pekün Yayla çevresinde ise açılmış yarmalar ve pasalar bulunmaktadır (Şekil 4C-D). Cevherleşme sahasındaki yarma ve galerilerin pasalarında yapılan gözlemlerde makroskobik olarak sfalerit-galen-pirit ve kalkopirit gibi cevher mineralleri ile birlikte kalsit ve kuvars gang minerali olarak saptanmıştır

İnceleme sahasının tümünde mostra veren Şenköy Formasyonu'nda andezitler yoğun olarak hematitleşme ve limonitleşme gibi alterasyonlar içermektedir. Cevherli kırıkların bulunduğu yarmalar ve cevherli zonlar etrafında ise bunlara ilaveten silisleşmeler ve killeşmeler belirgindir. Eylence Yayla cevherleşmesinde galen, sfalerit, pirit ve kalkopirit gibi cevher minerallerine silisleşme, hematit ve limonitleşmenin eşlik ettiği gözlenmiştir. Eylence Dere ile Çamurluk Dere'nin kesiştiği alanlarda çok yoğun bir hematitleşme, limonitleşme ve kloritleşme tespit edilmiştir (Şekil 4E-F).



Şekil 2. Liyas yaşlı andezitlerin mikroskobik görünümü. A) Yarı öz şekilli plajiyoklasların görünümü, B) Öz şekilli piroksen ve yarı öz şekilli plajiyoklas minerallerinin görünümü. C) İkincil Kalsit-Epidot mineralleri ve yarı öz şekilli Plajiyoklas, D) Öz şekilli Opak mineraller ve ikincil oluşan Serizitleşme görünümü (Kesit No:Y13, Pl: Plajiyoklas, Kl: Kalsit, Op: Opak, Ser: Serizitleşme, Pr: Piroksen).



Şekil 3. Eylence Yayla Cevherleşme sahasının 1/5000 ölçekli detay maden jeoloji ve alterasyon haritası.



Şekil 4. A) Eylence Dere 'de açılan galeri ve kloritleşmiş andezitler, B) Peküt Yayla civarında eski pasalardan bir görünüm, C) Eylence Dere içindeki damarlarda açılan yarmalardan bir görünüm, D) Eylence Dere'de gözlenen cevher damarının konumu (cevher K20D yönlü kırıklar içine yerleşmiştir), E) Çalışma sahasındaki alterasyonlardan limonitleşmenin görünümü, F) Çalışma sahasındaki kloritleşmeden bir görünüm.

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1. Cevher Mikroskobisi Çalışmaları

Eylence Yayla cevher sahasındaki yarma, pasa ve damarlardan alınan cevherli örneklerin cevher mikroskobisi incelemeleri sonucunda galen, sfalerit, pirit ve kalkopirit gibi birincil cevher mineralleri ve limonit, hematit, azurit, malahit gibi ikincil oksidasyon ve sementasyon zonu mineralleri belirlenmiştir. Gang mineralleri olarak kuvars ve kalsitin cevhere eşlik ettiği tespit edilmiştir (Şekil 5).

*Pirit:* Pirit, cevherleşmede sfalerit ve galenden sonra en yaygın olarak gözlenen mineral olup genel olarak kalkopiritler ve galenler tarafından ornatıldığı ve bu ornatım sonucu öz şeklini kaybetmiş daha küçük boyutlarda piritlerde belirlenmiştir. Ornatım sonucu bazen kalkopiritler ve galenler içinde ornatım artığı kapanımlar şeklinde bulunan piritlerin yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristalleri de mevcuttur (Şekil 7A ve B). İncelenen parlak kesitlere göre piritlerin en önemli özelliği bol kırık ve çatlaklı olmaları ve kataklastik doku göstermeleridir (Şekil 6E). Piritlerin diğer önemli özelliği ise içlerinde oldukça küçük boyutlarda kalkopirit

kapanımları içermesidir. Piritler kesitlerde 5-200 mikron arasında değişen boyutlarda izlenmektedir.

*Kalkopirit:* Eylence Dere'den alınan örneklerin parlak kesitlerinde orta ve iri boyutlarda şekilsiz, geniş yüzeyli (Şekil 6F) ve canlı sarı renklerde görülür. Kalkopirit kapanımları yoğun şekilde sfalerit mineralleri içerisinde ayrılım dokusu olarak belirgindir (Şekil 7E ve F).

*Galen:* Galen, cevherleşmelerde sfaleritle birlikte en yaygın gözlenen cevher mineralidir. Grimsi beyaz yansıma rengi ile kolaylıkla tanınabilmesi ve öz şekilli minerallerinde üçgen yapıları göstermesi (Şekil 7C ve D) ile karakteristiktir. Yapılan cevher mikroskobisi çalışmaları neticesinde, galenin hemen hemen tüm cevher mineralleri ile birlikte görülmesine karşın çoğunlukla sfalerit minerali ile dokanak yaptığı ve bu ilişkiye bağlı olarak sfaleritin ornatımı sonucunda da galen içinde sfalerit kapanımlarının varlığı belirlenmiştir. Bazı durumlarda ise sonradan oluşan gang minerali tarafından yeri alınarak gang içinde galen kapanımları şeklinde görülür (Şekil 7E ve F). Galen genellikle sfaleritle beraber bulunmakla birlikte kendinden önce oluşan pirit ve kalkopiritleri de ornatmaktadır.

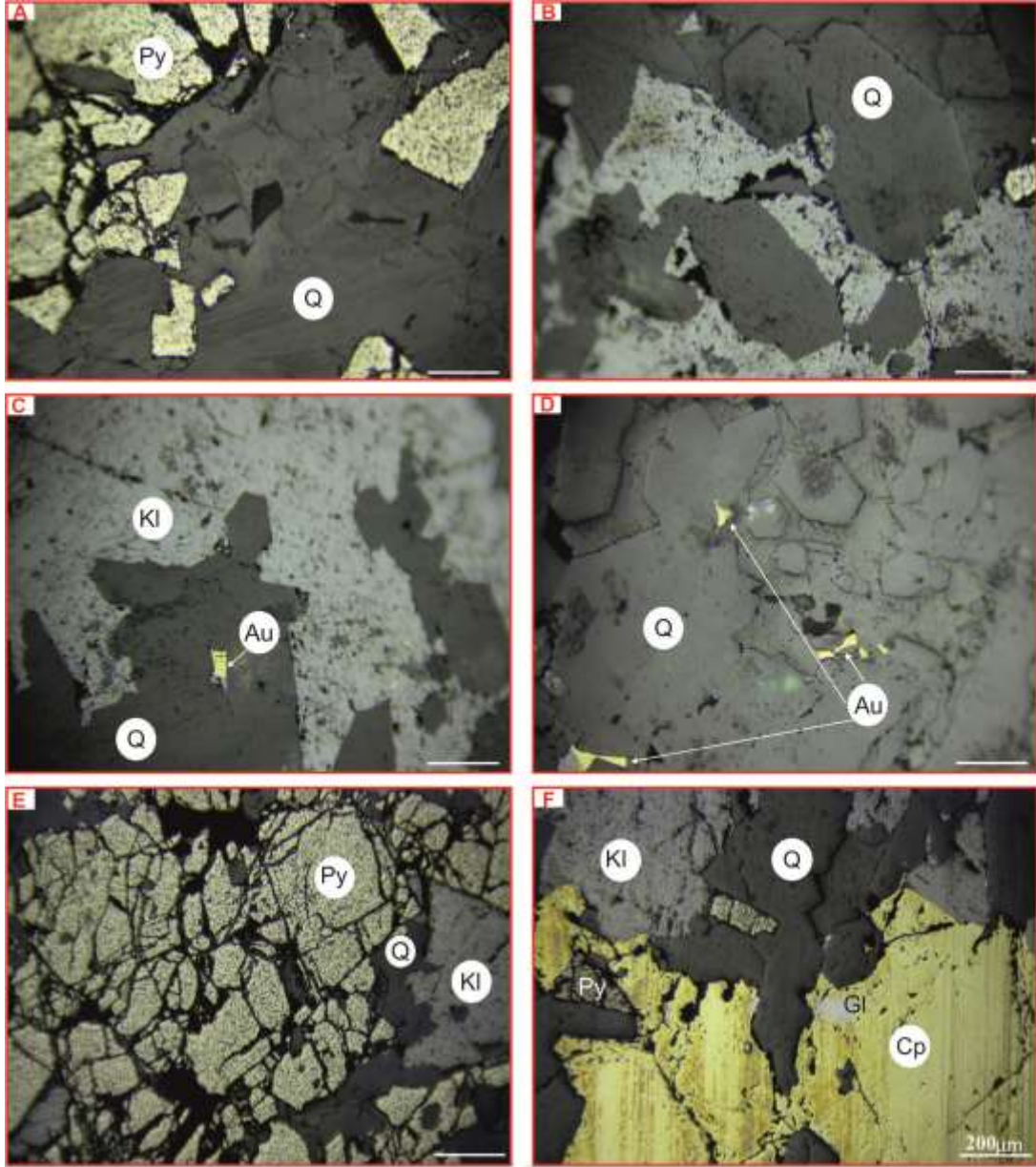
Mineraller	Hipojen cevher mineralleri		Süperjen mineraller
	I.Evre	II.Evre	
Pirit			
Kalkopirit			
Galen			
Sfalerit			
Kuvars			
Altın			
Kalsit			
Hematit			
Limonit			
Malahit			
Azurit			

Şekil 5. Eylence Yayla cevherleşmesinin mineral parajenezi ve süksesyonu.

*Sfalerit:* Kayaç içerisinde genelde iri boyutlarda düzensiz şekilli geniş yüzeyli ve bazen de küçük- orta boyutlarda gri- açık gri renklerde izlenir. Çoğunlukla galeni ornatarak yerini almıştır. Bazı kesitlerde sfalerit içerisinde kalkopirit kapanımları ayrılım olarak gözlenmektedir. Sfaleritler içinde bol miktarda kalkopirit ayrılımları

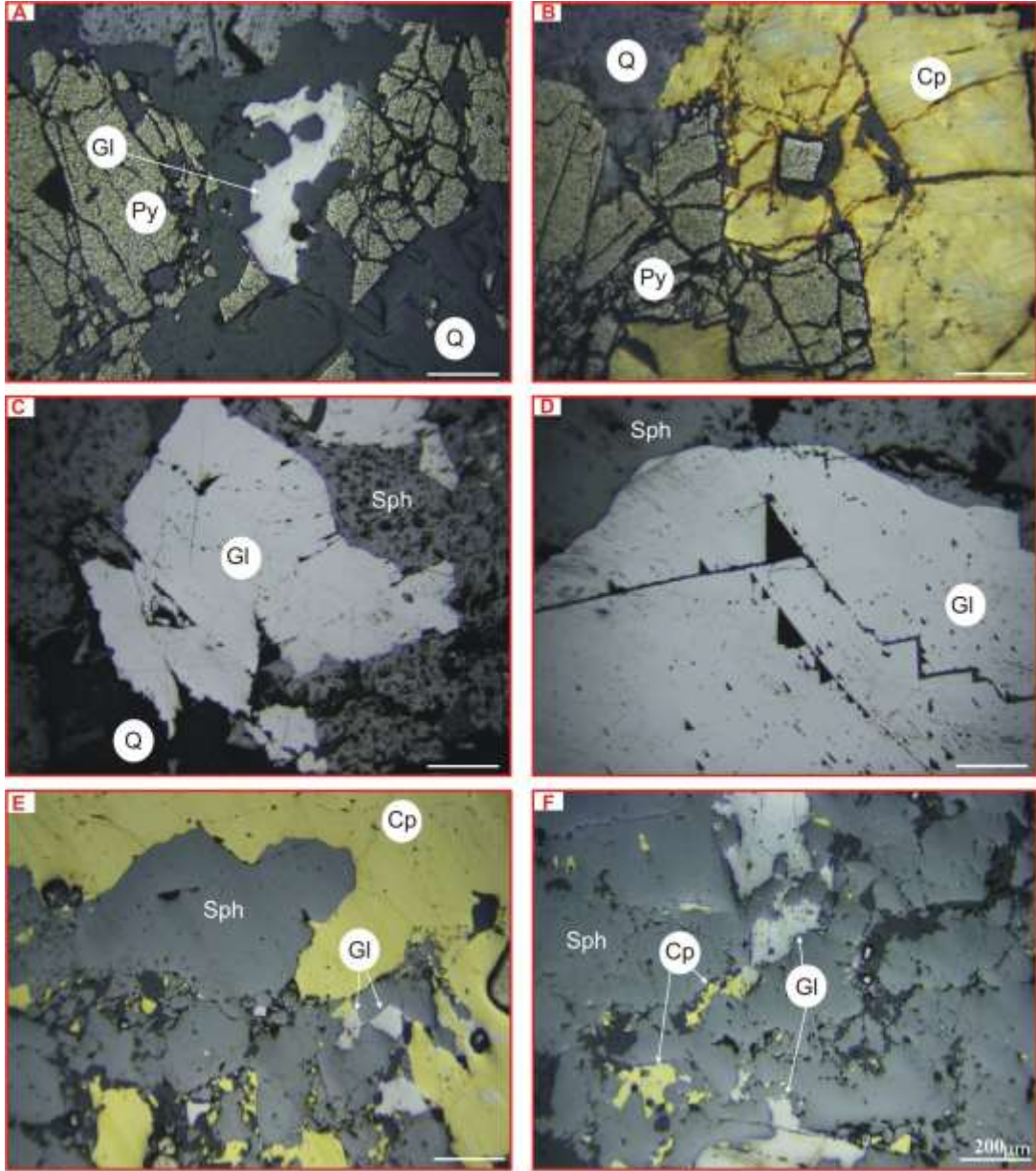
gözlenmektedir (Şekil 7E ve F).

*Altın:* Öz şekilli boşluklu kuvars içinde mikron boyutunda gözlenmektedir (Şekil 6C ve D). Gang mineralleri olarak ise kalsit ve kuvars gözlenmektedir. Özellikle kuvarsların (Şekil 6A ve B) öz şekillerde gözlenmesi epitermal sistemleri işaret etmektedir.



Şekil 6. Eylence Yayla yöresinde yer alan cevherleşmenin mikroskobik görünümü. A-B) Öz şekilli kuvarslar ve kataklastik pirit, C-D) Öz şekilli kuvars gangü içinde altın kapanımlar, E) Kataklastik dokuda pirit, piritlerin arasında kalsit ve kuvars dolgusu, F) Kalkoprit içinde galen kapanımları (Gl: Galen; Py: Pirit; Cp: Kalkopirit; Q: Kuvars; Au: Altın; Kl: kalsit).





Şekil 7. Eylence Yayla yöresinde yer alan cevherleşmenin mikroskobik görünümü. A) Kataklastik pirit, B) Kalkopirit içinde pirit kapanımları, C-D) Galenin cevher içinde değişik bulunma durumları; üçgen yapıları ve galen içi keskin kırıklarla dolu ganglar, E-F) Sfalerit içinde kalkopirit ayrılımları ve galen kapanım ve ayrılımları, (Gl: Galen; Py: Pirit; Cp: Kalkopirit; Q; Kuvars; Sph: Sfalerit).

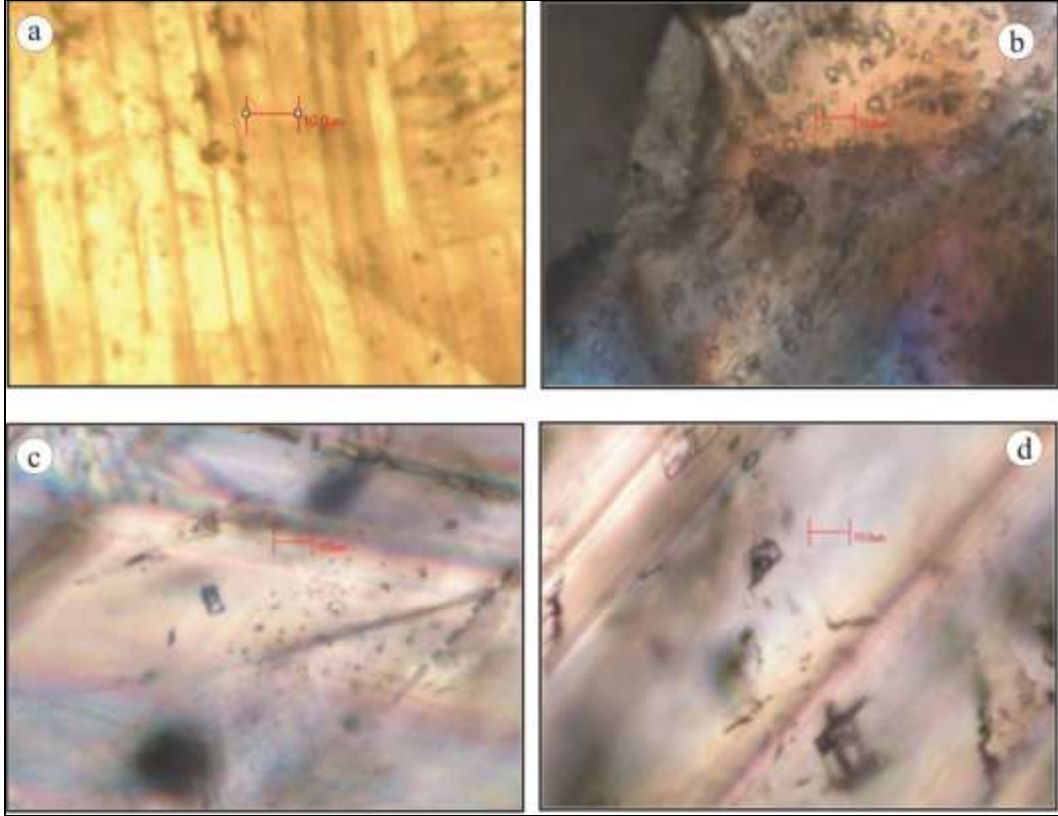
#### 4.2. Sıvı Kapanım Petrografisi

Ünlüpınar cevherleşme sahasından alınan örneklerden kuvars ve kalsit minerallerinden sıvı kapanım örnekleri hazırlanmıştır. Örneklerin incelenmesi sonucu, sıvı kapanımların Roedder (1984) ve Shepherd vd., (1985)'nin jenetik sınıflama kriterlerine göre birincil ve ikincil tip sıvı kapanımlar olduğu belirlenmiştir.

Kuvars ve kalsitlerde bulunan birincil kapanımların, bileşimlerine göre sıvı ve gaz içeren iki fazlı kapanım olmak üzere tek tipte olduğu belirlenmiştir. Sıvı ve gaz içeren iki fazlı birincil kapanımlar da kendi aralarında, sıvıca zengin (sıvı+gaz) ve gazca zengin (sıvı+gaz) kapanımlar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.  $T_{fm}$ ,  $T_{m-ice}$  ve  $T_h$ ' ı kapsayan mikrotermometrik ölçümler bu kapanım türü üzerinde yapılmıştır.

Kuars ve kalsit minerallerinde bulunan sıvı kapanımların boyutları, 8  $\mu\text{m}$  ile 45  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Küçük boyutlu kapanımlarda faz değişimlerini izlemek zor olduğundan  $T_{\text{fm}}$  ve  $T_{\text{m-ice}}$  ölçümleri 20  $\mu\text{m}$  – 40  $\mu\text{m}$  boyutlu kapanımlarda yapılmıştır. Homojenleşme sıcaklığı ise iki fazlı birincil

kapanımların hepsinde ölçülmüştür. Kuvars ve kalsit minerallerinde bulunan birincil kapanımlar ikincil kapanımlara göre daha büyük boyutlarda daha seyrek ve mineral içinde gelişigüzel dağılmış olarak bulunmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Kuvarlar (a-d) ve kalsitlerde (b-c) gözlenen sıvı kapanım şekilleri, mineral içerisindeki dağılımları ve boyutları.

#### 4.2.1. Mikrotermometrik Ölçüm Sonuçları

Kuars ve kalsit minerallerinde, bulunan kapanımlardan ölçülen homojenleşme sıcaklığı ( $T_{\text{H}}$  °C), ilk buz ergime sıcaklığı ( $T_{\text{fm}}$ ) ve son buz ergime sıcaklıkları ( $T_{\text{m-ice}}$  °C) ile bu verilere bağlı olarak hesaplanan tuzluluk değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Sıvı kapanımların bileşiminde bulunan tuz miktarının % olarak hesaplanmasında, son buz kristalinin ergime sıcaklığından ( $T_{\text{m-ice}}$ ) yararlanılır (Roedder, 1984; Bodnar, 1993).  $T_{\text{m-ice}}$  değerlerinin sıfırın altında olmasının nedeni, kapanımların bileşimde bulunan tuz ile alakalı olarak açıklanabilir. Şöyle ki, kapanımların bileşiminde bulunan tuz, kapanımların donma sıcaklığını saf suya göre

düşüreceğinden  $T_{\text{m-ice}}$  ölçümleri sıfırın altında olacaktır. Bu yöntemle göre hesaplanan tuzluluk verileri, sistemde katı tuz kristalinin olmadığı durumlarda kullanılmakta olup, kapanım sıvısı içinde bulunabilecek en fazla tuz miktarı 23.2 % NaCl eşd.’ e denk gelmektedir. Katı tuz kristalinin bulunması durumunda kapanım sıvısı içindeki tuz miktarı farklı yöntemlerle hesaplanabilir. Sıvı kapanımların tuzluluk miktarlarının hesaplanması, Potter ve diğ., (1978), Bodnar, (1993) tarafından verilen hesaplama yöntemleri ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada, Bodnar (1993) tarafından belirlenen ve aşağıda verilen denklem kullanılarak sıvı kapanımların tuzluluğu hesaplanmıştır.

$$\text{Tuzluluk (Ağ. \% NaCl)} = 1.78 * T_{m-ice} - 0.0442 * (T_{m-ice})^2 + 0.000557 * (T_{m-ice})^3 \quad (1)$$

Tablo 1. Kuvars ve kalsitlerde yapılan sıvı kapanım sonuçları ve tuzluluk değerleri

Örnek No.	Efektif Sıcaklık(T <sub>e</sub> )(°C)	Son Ergime™ (°C)	Homojenleşme Sıcaklığı (T <sub>h</sub> )(°C)	Tuzluluk Ağ.( % (NaCl)
EY7	-61.7	-2.3	151.0	4.3
	-64.7	6.0	136.8	9.2
	-51.7	-1.1	146.7	2.0
EK16	-58.0	2.4	135.4	4.0
	-56.1	-1.4	157.5	2.6
	-47.7	-6.5	146.7	13.6
EK9	-22.7	2.9	144.4	4.9
EK4	-71.6	3.2	281.4	5.2
	-19.9	-1.7	191.8	3.2
EK1	-15.7	-2.1	282.8	3.9
	-53.2	-6.3	238.3	13.1
ED17	-68.7	-3.2	250.0	6.2
	-87.5	-3.5	260.0	6.8
EK16	-20.9	-3.9	77.0	7.6
	-27.7	-3.0	81.0	5.8

Mikrotermometrik ölçümler kapsamında homojenleşme sıcaklıklarına ait frekans dağılım grafikleri Tablo 1’de verilen T<sub>h</sub> değerlerine göre hazırlandığında kuvarslardaki sıvı kapanımlardan ölçülen T<sub>h</sub> değerlerinin 151 °C ile 250 °C arasında değişim göstermektedir. Kalsitlerdeki sıvı kapanımlardan ölçülen homojenleşme sıcaklıkları ise 77°C–281°C arasında değişim göstermektedir (Tablo 1). Kuvars ve kalsitlerde ölçülen homojenleşme sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde ortalama homojenleşme sıcaklık değeri 178°C olurken, cevher oluşumun 300°C’nin altındaki sıcaklıklarda ve iki ayrı evrede gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak; Ünlüpınar Cevherleşmesini oluşturan hidrotermal sıvılar, Roedder (1984) tarafından hazırlanan değişik yataklara ait homojenleşme sıcaklığı-tuzluluk değişim diyagramına aktararak karşılaştırılmıştır (Şekil 9). Genel olarak birçok maden yatağının tuzluluk değişimi 0 ile 30 NaCl (Ağ. %) arasında değiştiği, granitlerle alakalı Sn-W, skarn ve porfiri tip yataklarda tuzluluk değişiminin 30-70 ağ. % NaCl değerine kadar yükseldiği diyagramda görülmektedir.

Roedder, (1984)’ e göre granitlerle ilişkili damar tip yataklarda magmatik sıvılardan oluşan kapanımların tuzlulukları % 1-15 NaCl arasında, T<sub>h</sub> değerlerinin ise 240-430 °C arasında değiştiği, epitermal yataklarda ise tuzluluk ve T<sub>h</sub> değerlerinin sırasıyla % 0-13 NaCl ve 140-350 °C aralıklarında değiştiği belirtilmiştir. Ünlüpınar cevherleşmesini oluşturan sıvıların tuzluluk değerleri ve homojenleşme sıcaklıkları bu yataklarda belirtilen tuzluluk ve T<sub>h</sub> değerleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde cevherleşmenin, magmatik kökenli sıvıların tuzluluğuna yakın ve epitermal bir cevherleşme olduğu sonucuna varılır.

#### 4.3. Duraylı İzotopların Jeokimyası

Ünlüpınar cevherleşmesinden derlenen örneklerden binokuler mikroskop yardımıyla tespit edilen cevher tiplerinden: sfalerit, pirit, kalkopirit ve galen minerallerinden S izotopu, analiz edilmiştir. Bu çalışmada, cevherleşmeyi oluşturan mineral ve sıvıların, kükürt izotop analiz sonuçları, farklı jeolojik ortam ve kayaçlarla karşılaştırılarak kökensel bağlantısı belirlenmiştir. Kükürt izotop termometresinde, cevher oluşum sıcaklık

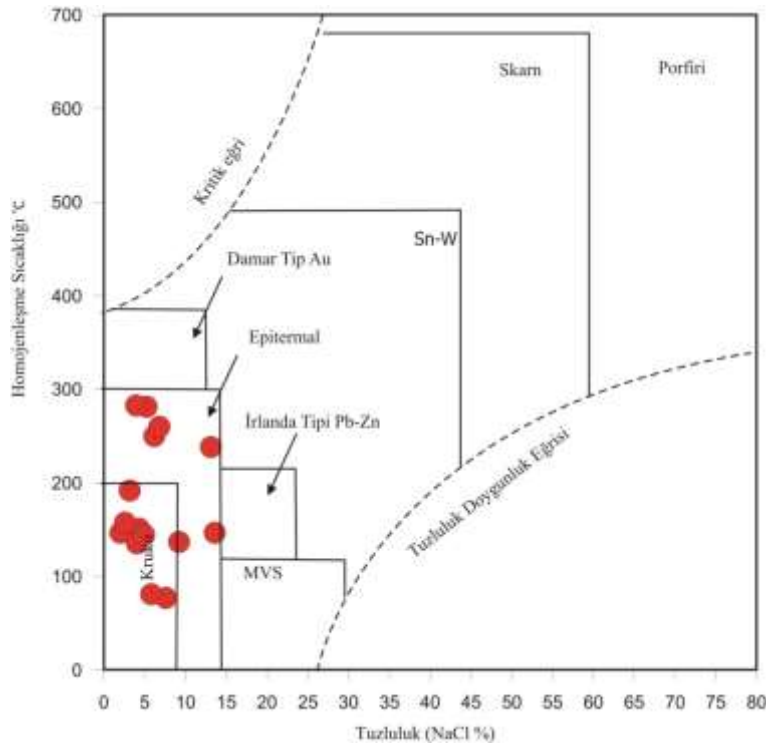
hesabı gerçekleştirmek için pirit-galen ve pirit - sfalerit mineral çiftlerinden yararlanılmıştır.

#### 4.3.1. Kükürt İzotopları

Bu çalışmada, cevherleşme sahasından derlenen örneklerden saflaştırılan sfalerit, pirit, kalkopirit ve galen minerallerinden elde edilen kükürt izotop analiz sonuçları ve bu sonuçlardan yararlanarak kükürt jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tüm bu örneklerden elde edilen  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri; genel olarak 1,6 ile 5,7 ‰ arasında değişim göstermekte olup, önceki çalışmalarda belirlenen (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987) çeşitli jeolojik ortam, kayaç ve cevher tiplerine ait izotop verileri (Şekil 10) ile karşılaştırılmıştır. Ünlüpinar cevherleşmesinden elde edilen  $\delta^{34}\text{S}$  izotop verileri 1,6 ile 5,7 ‰ arasında değişmekte olup, granitik kayaçların ve baz metal damar tip yatakların  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri ile benzerlik sunmakta ve magmatik kökenli kükürde işaret etmektedir (Cooke ve Simon, 2000; Hedenquist ve diğ., 1994).

#### 4.3.1.1 Kükürt İzotop Jeotermometresi

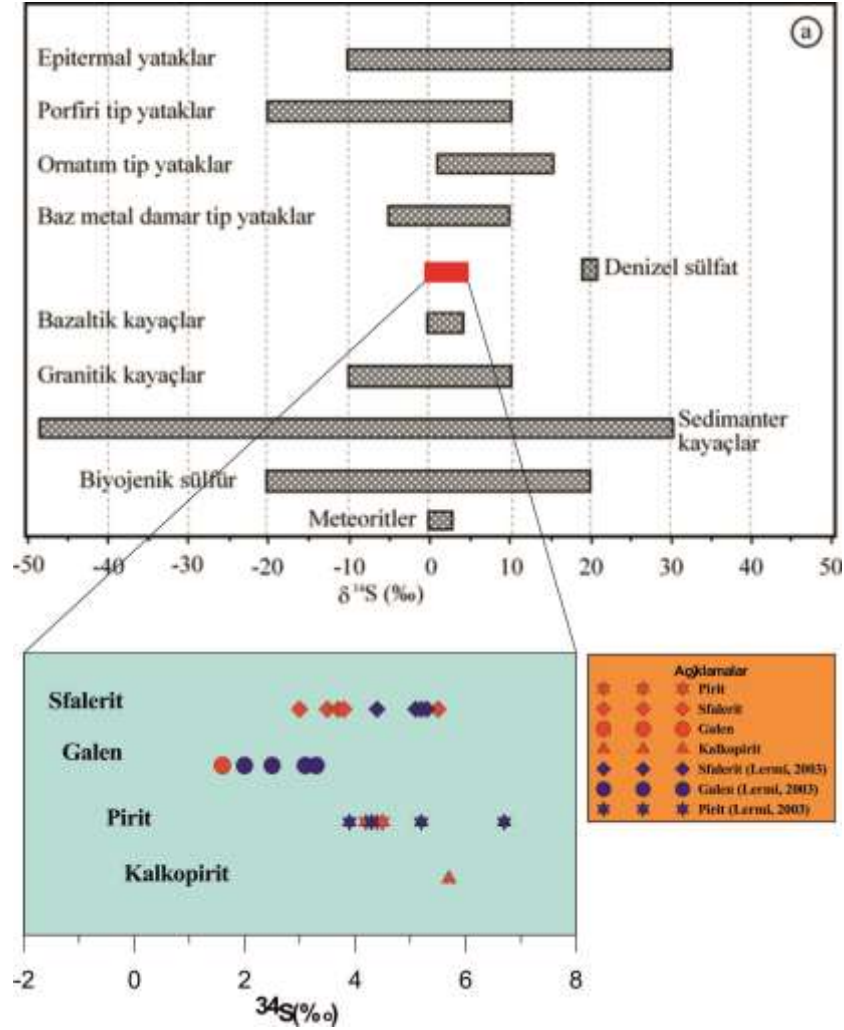
İki mineral çiftinin jeotermometre olarak kullanılması izotop farklılaşma faktörü ile yakından ilişkilidir. İzotop farklılaşma faktörünün basınçtan bağımsız daha çok sıcaklığa bağlı olarak değişmesi iki mineral çiftlerinin jeotermometre olarak kullanılmasına olanak sağlar (Ohmoto ve Rye, 1979; Campbell ve Larson, 1998). Bu çalışmada, pirit-galen ve pirit-sfalerit mineral çiftlerinin dengede olduğu belirlenmiş ve Ohmoto ve Rye (1979) tarafından geliştirilen pirit-galen ve pirit-sfalerit arasında denge sıcaklık denklemi kullanılarak, kükürt jeotermometresi hesapları gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Pirit-Galen mineral çiftinden elde edilen sıcaklık değerleri 305-353 °C (EK6 nolu örnek), pirit-sfalerit mineral çiftinden elde edilen sıcaklık değerleri ise 156-224°C (EK6 nolu örnek) ve 235-315 °C (EK8 nolu örnek) aralığında değişmektedir. Kükürt izotop jeotermometresine göre cevherleşmenin ortalama sıcaklık değeri ise 264°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Değişik yataklarından elde edilen homojenleşme-tuzluluk değişim alanları (MVS: Misisipi Vadisi masif sülfid yatakları) ve Ünlüpinar cevherleşme sahasından elde edilen sıvı kapanım verilerinin bu yataklarla ilişkisi (Roedder, 1984).

Tablo 2. Ünlüpnar cevherleşmesinde yaygın olan sülfütlü minerallerin, dengede oldukları sıvıların kükürt izotop bileşimleri ve pirit-galen, pirit-sfalerit çiftlerinden hesaplanan kükürt jeotermometresi sonuçları.

Örnek No	Birlikte bulunduğu mineraller	Mineral	$\delta^{34}\text{S}$	T(°C)
EK3	Pirit, Sfalerit, Kalkopirit, Kuvars Kalsit	Pirit	4.2	
		Sfalerit	3.7	
EK6	Pirit, Sfalerit, Galen, Kuvars	Sfalerit	3.0	190±20 329±20
		Pirit	4.4	
		Galen	1.6	
EK8	Pirit, Sfalerit, Galen Kuvars	Pirit	4.5	275±20
		Sfalerit	3.5	
O3	Kalkopirit, Galen, Sfalerit, Kuvars	Sfalerit	5.5	
		Kalkopirit	5.7	
EK10	Sfalerit, Pirit, Kalsit	Sfalerit	3.8	



Şekil 10. (a) Çeşitli kayaç, jeolojik ortam ve cevher tiplerinin  $\delta^{34}\text{S}$  (‰) izotop değişimi (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987). (b) Ünlüpnar cevherleşmesinden alınan pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinden elde edilen  $\delta^{34}\text{S}$  (‰) izotop değişimi.

Çalışma sahasının kuzeyinde yer alan Midi (Karamustafa-Şiran-Gümüşhane) yöresinde Liyas yaşlı volkaniklerle ilişkili olan ve Lermi (2003) tarafından çalışılan Pb-Zn cevherleşmesine ait kükürt izotop değerleri ve jeotermometre hesaplamaları ile inceleme alanından elde edilen oluşum sıcaklık değerleri benzerlik göstermektedir.

## 5. Sonuçlar

- Cevherleşmenin Liyas yaşlı Şenköy Formasyonu içinde yer alan andezitlerde gelişen KD doğrultulu kırıklarda olduğu, bu kırık ve çatlakların ayrıca kalsit ve ikincil kuvars mineralleri tarafından doldurulduğu gözlenmiştir.
- Hidrotermal çözeltilerin işlevi sonucu çalışma alanı ve çevresinde yüzeysel alterasyon ürünleri olarak, hematitleşme, limonitleşme, kloritleşme ve silisleşmenin yoğun olarak gözlemlendiği belirlenmiştir.
- Çalışılan sahada yer alan cevher damarlarından alınan örneklerin mikroskobik incelenmesi sonucu; cevherleşmesinin mineral parajenezinin pirit, kalkopirit, sfalerit galen, altın, kuvars ve kalsit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir.
- Sıvı kapanım analiz sonuçlarına göre cevherleşmenin oluşum sıcaklığının 80-280°C arasında değiştiği, kükürt izotop termometresine göre ise cevherleşmenin oluşum sıcaklığının ortalama 264°C olduğu belirlenmiştir.
- Kükürt izotop analiz sonuçlarına göre cevherleşmenin magmatik kaynaklı olduğu belirlenmiştir.
- Cevherin yan kayaçta meydana gelen kırık ve çatlaklara boşluk dolgusu şeklinde sonradan yerleşmesi sahada epijenetik bir yerleşim olduğuna işaret etmektedir.
- Cevherleşmenin jeolojik özellikleri, tektonizma ile olan ilişkileri, sıvı kapanım ve kükürt izotop termometresinde elde edilen oluşum sıcaklık değerleri birlikte değerlendirildiğinde, Eylence Yayla cevherleşmesinin granitik magmatizmaya bağlı olarak oluşmuş epitermal-mezotermal geçişinde damar tip bir cevherleşme olduğu belirlenmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinin bir bölümü olup, Gümüşhane Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından 13.F5114.02.4 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, söz konusu çalışma süresince arazi ve büro çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisleri Fatih ŞAL ile Uğur ATAY'a teşekkür ederler.

## Kaynaklar

- Adamia, S., Lordkitanidze, M.B. ve Zakariadze, G.S., 1977. Evaluation of an Active Continental Margine as Exemplified by the Alpine History of Caucasus, *Tectonophysics*, 40, 183-189.
- Akaryalı, E., 2010. Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal Ve Kökensele İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akaryalı, E., 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.
- 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.
- Aslaner, M., 1977. Türkiye Bakır-kurşun-çinko Yataklarının Jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmesi, KTÜ Yerbilimleri Fakültesi, Yayın No: 12, Trabzon.
- Bektaş, O. ve Güven, İ.H., 1995. Alaskan Aphinitic Type Ultramafic and Mafic Complexes as the Root Zone of the Eastern Pontide Magmatic Arc (NE

- Turkey), Geology of the Black Sea Region, 189-196. Ankara.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of H<sub>2</sub>O-NaCl Solutions, Geochim. Cosmochim. Acta, 57, 683-684.
- Campbell, A.R. ve Larson, P.B., 1998. Introduction to stable isotope applications in hydrothermal systems, in Richhards, P.J., Larson, J.P., eds., Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology, Reviews in Econ. Geology, 10, 173-193.
- Cooke, D.R. ve Simmons, S.F., 2000. Characteristics and Genesis of Epithermal Gold Deposit. In Hageman, G.S., Brown, E. (eds), Gold in 2000, reviews in Economic Geology, 13, 221-241.
- 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.
- Dixon, J.C. ve Pereira, J., 1974. Plate Tectonics and Mineralization in the Tethyan Region, Min. Deposita, 9, 185-198.
- Erguvanlı, K., 1952. Trabzon-Gümüşhane Arasının Jeolojisi, MTA, Ankara.
- Eyüboğlu, Y., 2010. Late Cretaceous High-K Volcanism in the Eastern Pontide Orogenic Belt: Implications for the Geodynamic Evolution of NE Turkey, International Geology Review, 52, 142-186.
- Field, C.W. ve Fifarek, R.H., 1985. Light Isotope Systematics in the Epithermal Environment, in Berger, B.R., Bekte, P.M., Eds., Geology And Geochemistry of Geothermal Systems, Reviews in Econ. Geology, 2, 99-128.
- Gettinger, T.E., 1962. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Trabzon Paftası ve İzah namesi, MTA Yayını, Ankara,
- Hedenquist, J.W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., White, N.C., Giggenbach, W. F. ve Aoki, M., 1994. Geology, Geochemistry, and Origin of High Sulfidation Cu-Au Mineralization in the Nansatsu District, Japan: Economic Geology, 89, 1-30.
- Hoefs, J., 1987. Stable Isotope Geochemistry, 3rd edn. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 241 s.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Leitch, C.H.B., 1981. Mineralogy and Textures of the Lahanos and Kızılkaya Massive Sulfide Deposits, Northeastern Turkey, and their Similarity to Kuroko Ores, Min. Deposita, 16, 241-257.
- 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.
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ohmoto, H., 1986. Stable Isotope Geochemistry of Ore Deposits: In Valley, J. W., Taylor, H. P. And O'Nein, J. R. (eds.), Stable Isotopes in

- High Temperature Geological Processes, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 16, 491 -560.
- Ohmoto, H. ve Rye, R. O., 1979. Isotopes Sulfur and Carbon: In Barnes, H. L. (Ed.), Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Second Edition, 509 - 567, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Pejatoviç, S., 1979. Pontid Tipi Masif Yataklarının Metalojenisi, MTA Yayın No: 177. Ankara.
- Potter, R.W., Clynne M.A. ve Brown D.L. 1978. Freezing Point Depression of Aqueous Sodium Chloride Solutions, Econ. Geol., 73, 284-285.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions: Reviews in Mineralogy, v. 12, Mineralogical Society of America, Washington, 644.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.N. ve Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blacic&Son Press, London, 238 s.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tüysüz, N., Er, M., Yılmaz, Z. ve Akıncı, A., 1995. Geology, Mineralogy and Alteration of the Mastra Epithermal Gold-silver Deposits, Gümüşhane NE-Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 4, 11-21.
- Tüysüz, N., 2000. Geology, Lithochemistry and Genesis of the Murgul Massive Sulfide Deposit, NE Turkey, Chem. Erde, 60, 231-250.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and Structure Of The Gümüşhane Granite and Surrounding Rock, N.E. Andolin Ph.D Thesis, Uni. of London, 266 s.(Yayınlanmamış).