



**Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Manto-Tipi Cu ($\pm$ Ag) Cevherleşmesinin Jeolojisi,
Jeokimyası ve İzotop ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) Oranları**
*Geology, Geochemistry, and Isotope Ratio ($\delta^{65}\text{Cu}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ‰) of Manto-Type Gölcük
(Koyulhisar-Sivas) Cu ($\pm$ Ag) Mineralisation*

**İsmail Erdem Kızılgöz¹ , Çiğdem Şahin Demir² , Ali Uçurum^{3*} 
Nazmi Otlu³ , Ahmet Efe³ , Ryan Mathur⁴ **

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Mimar Sinan Yerleşkesi, 163140 Yıldırım- Bursa, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, 58140, Sivas, Türkiye

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

⁴ Juniata College, Huntingdon, 16652 PA, United States

• Geliş/Received: 02.05.2025

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 14.07.2025

• Kabul/Accepted: 22.07.2025

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.08.2025

• Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) cevherleşmesi, Eosen yaşlı bazalt ve andezit ile bunların piroklastiklerini içeren volkanik-volkanosedimanter yan kayaçlıdır. Cevher mineralleri bornit, kalkopirit, kovellit, kalkosit, malakit, manyetit ve hematittir. Yan kayaçlarda alterasyonlar serizitleşme, killeşme, karbonatlaşma, iddingsitleşme ve epidotlaşmadır. Gang mineraller kuvars ve kalsit ile sınırlıdır. Sondaj karot örneklerinin analiz sonuçlarına göre, yüzeyden ortalama 9,7 m derinlikte %2,97 Cu ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir. Kükürt izotop değerleri ($\delta^{34}\text{S}$ ‰) yüzey örneklerinde -20,0'dan +2,8'e, karot örneklerinde -6,3'ten +0,6'ya değişim aralığındadır. Bakır izotop değerleri ($\delta^{65}\text{Cu}$ ‰) yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde -1,41'den +2,69'a değişim göstermektedir. Gölcük Cu (Ag) cevherleşmesi; cevher mineral parajenezi, alterasyon mineralojisi, yataklanma tipi ve izotop jeokimya değerlerine göre Manto-tipi olabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gölcük Cu ($\pm$ Ag), Manto-tipi Cevherleşme, S-Cu İzotopu.

Abstract: Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) mineralisation is hosted by Eocene basalt and andesite and pyroclastics with volcanic-volcano-sedimentary rocks. Ore minerals are bornite, chalcopryrite, covellite, chalcocite, malachite, magnetite and hematite. Alteration in the host rocks includes sericitization, argillisation, carbonation, iddingsitization and epidotization. Gangue minerals are limited to quartz and calcite. According to the analysis results for the drill core samples, 2.97% Cu and 37 g/t Ag grade was determined at an average depth of 9.7 m from the surface. Sulphur isotope values ($\delta^{34}\text{S}$ ‰) range from -20.0 to +2.8 in surface samples and from -6.3 to +0.6 in core samples. Copper isotope values ($\delta^{65}\text{Cu}$ ‰) range from -0.86 to +1.38 in surface samples and -1.41 to +2.69 in core samples. For Gölcük Cu (Ag) mineralization, ore mineral paragenesis, alteration mineralogy, deposit type, and isotope geochemistry values suggest that it may be a Manto-type deposit.

Keywords: Gölcük Cu ($\pm$ Ag), Manto-type Mineralisation, S-Cu Isotopes.

GİRİŞ

Manto-Tipi Cu±Ag Yataklarına Genel Bakış

Manto-tipi Cu (Ag) cevherleşme modeli hakkında okuyucuya kısa bilgi vermek amacı ile literatür taraması ile derlenerek özetlenmiştir.

Şili’de ilk kez ayrıntılı olarak tanımlanan ve nispeten yüksek tenörlü (en fazla %8 ağırlıkça Cu) olan manto tipi Cu yatakları, dünyada önemli bir Cu yatak türüdür (örneğin Wilson ve Zentilli, 1999; Vila vd., 1996; Benavides vd., 2007). Manto tipi Cu kütleleri her zaman volkanik veya tortul tabakalar içinde bulunur ve çoğunlukla yapısal olarak kontrol edilir (Megaw vd., 1988; Wilson ve Zentilli, 1999; Pollard, 2006). Şili’deki Manto tipi yataklarda, mineralizasyon tabakalara göre uyumsuzdur ve yapısal olarak damarlar tarafından kontrol edilir (Wilson vd., 2003a ve b), oysa İran’daki Manto tipi yataklarda, metallerin birikimi üzerinde güçlü bir stratigrafik kontrol vardır (Boveiri vd., 2013; Abolipour vd., 2015; Maghfouri vd., 2017). Şili And dağlarındaki volkanik yankayaçlı ve sedimanter yanı kayaçlı yataklar olarak ayrılmıştır (Camus, 1980).

Bu yataklar genellikle volkanik/volkaniklastik kayaçlarda bulunur ve bakır sülfür mineralleri (örneğin, kalkopirit, kalkosit, bornit ve digenit) bakımından zengindir ve tabakalı veya tabular cevher kütleleri için büyük ölçeklidir. 1960’larda ilk kez tanımlanmalarının ardından (örneğin, Carter, 1961), manto tipi bakır yataklarının jeolojisi, sıvı kapanım özellikleri, izotoplar, yaşlar ve mineral jeokimyası açısından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. (örneğin, Wilson vd., 2003a; Tristá-Aguilera vd., 2006; Oliveros vd., 2008; Carrillo-Rosúa vd., 2006, 2014; Cai vd., 2016; Maghfouri vd., 2017).

Kuzey Amerika Cordillera’daki benzer yataklar “volkanik kırmızı yatak” olarak adlandırılır (Wilton ve Sinclair, 1988; Kirkham, 1996; Cabral ve Beaudoin, 2007). Pasifik Kıyısı Kuşağı çevresinde, Şili’deki Cerro Negro, Mantos

Blancos, Buena Esperanza ve El Soldado gibi çok sayıda Mesozoyik Manto tipi Cu yatakları bulunmaktadır (Wilson ve Zentilli, 1999; Wilson vd., 2003a ve b). Eosen ve Kretase dönemlerinde oluşan manto tipi bakır yatakları, Himalaya-Tibet Kuşağı boyunca da görülmüştür. İran’daki Abbas Abad, Mari, Kesht Mahaki gibi yataklar bunlara örnektir (Maghfouri vd., 2017; Boveiri vd., 2013; Abolipour vd., 2015; Salehi ve Rasa, 2016).

Paleozoyik volkanik-sedimanter dizisi Orta Asya Orojenik Kuşağı’nda iyi gelişmiştir, ancak şu ana kadar Manto tipi yatak tanımlamaları sınırlıdır. Çin’in Sincan Uygur Özerk Bölgesi’nin kuzeyindeki Batı Junggar bölgesindeki Sharburti Dağı’nda bulunan Hongguleleng (Armuqiang olarak da bilinir) Cu yatağı (Shen vd., 2020), ve Tiyanşan bölgesindeki Orta Permiyen Honglanliang yatağı (Zhao vd., 2020), batı Junggar’daki Hongguleleng yatağı (Sun vd., 2021) örnek olarak verilebilir.

Manto tipi yatakların oluşumu pek çok tartışmaya konu olmuştur (Fontboté, 1990); önerilen genetik modeller arasında;

- volkanojenik sinjenetik (örn. Ruiz vd., 1965; Camus, 1980; Ruiz ve Peebles, 1988)’ten
- volkanik yığınlarının düşük dereceli metamorfizması sırasında serbest kalan akışkanlarla ilişkili (örn. Sato, 1984; Westra, 1988; Sillitoe, 1992);
- doğrudan granitoid plütonlardan türetilen akışkan kaynaklı (örn. Carter, 1961; Palacios, 1986; Kohn vd., 1990),
- bu son iki mekanizmanın bir kombinasyonunu (örn. Fontboté, 1990) çağrıştıran hipotezlere kadar değişmektedir.

Kojima vd. (2009) Şili manto-tipi bakır cevherleşmesinin derin plüton kökenli hidrotermal çözeltilerin volkanik-sedimanter kayaç ile etkileşimi sonucu oluştuğunu vurgulamıştır. Boric vd. (2002) El Soldado-Şili manto tipi bakır cevherleşmesinde cevher minerallerinin

zonlandığını, merkezde bornit-kalkosit, bunu bornit-kalkopirit zonunun sardığını ve en dış zonda da kalkoprit-pirit zonu olduğunu vurgulamıştır.

Kojima vd. (2009)'a göre meteoritik su ve havza havza tuzlu suları gibi yüzey kökenli sıvıların, volkano-sedimanter ana kayalarla hidrotermal etkileşimi, manto tipi yatakların oluşumu için güçlü bir köken mekanizma olarak görülmektedir.

Bu suların dolaşımını sağlamak için bölgesel bir ısı kaynağı gereklidir ve bu rolü derin kökenli bir plütonik kompleks oynamış olabilir. Dolayısıyla, ana kaya litolojisi ve intrüzyonların konumu gibi yerel jeolojik özellikler, her bir yatakta özgün bir manto tipi cevherleşme modelinin oluşturulması açısından iyi şekilde belirlenmelidir.

Porfiri tipi bakır yataklarından sonra, Şili'nin en önemli bakır üretim madenleri "mantolar"dır. Bu yataklar tipik olarak epijenetik tabakalarla sınırlı, yayılmış, yüksek tenörlü (~%2 Cu), kalkosit-bornit-kalkopirit cevherleşmeleri şeklindedir ve çoğunlukla Mesozoyik yaşlı karasal volkanik ve volkano-klastik kayaç serilerinde bulunmaktadır.

Cevherleşme genellikle birincil gözeneklilik ve çatlak porozitesi tarafından kontrol edilir.

- Manto jeolojisi bölgeden bölgeye oldukça değişkendir.
- Volkanik kayaçlarda barındırılan yataklardaki sülfürün izotop bileşimi genellikle değişkendir, $\delta^{34}\text{S}$ değerleri magmatik sülfür değerlerine (-10 ila +10‰) benzemektedir.
- Buna karşılık, daha çok sedimanter tabakalar tarafından barındırılan yataklardaki sülfürler izotopik olarak çok hafiftir: $\delta^{34}\text{S}$ değerleri -10 ila -40‰ arasındadır (Munizaga ve Zentilli, 1994).
- Bu fark, sülfürün kaynağının ya da oluşum süreçlerinin farklılığını yansıttığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Tetis metalojenik kuşağında komşumuz olan İran'da Manto-tipi Cu (Ag) yataklarının son on yılda hızla tanımlanmış olmasına rağmen (Movahednia vd., 2022), Türkiye de bu tür tanımlama ve adlandırma henüz yapılmamıştır. İlk kez bu çalışma ile Eosen yaşlı bazalt ve andezit ile bunların piroklastiklerini içeren volkanik-volkanosedimanter yan kayaçlı Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) cevherleşmesi: bornit, kalkopirit, kovellit, kalkosit, malakit, manyetit ve hematit mineral içeriği; serizitleşme, killeşme, karbonatlaşma, iddingsitleşme ve epidotlaşmadan oluşan alterasyonları; kuvars ve kalsit ile sınırlı gang mineralleri; S -Cu izotop oranları ($\delta^{34}\text{S}$ ‰ yüzey örneklerinde -20,0'dan +2,8'e, karot örneklerinde -6,3'ten +0,6; $\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde -1,41'den +2,69) ve yataklanma tipi göre Manto-tipi olabileceği ileri sürülebilir.

MATERYAL ve METOD

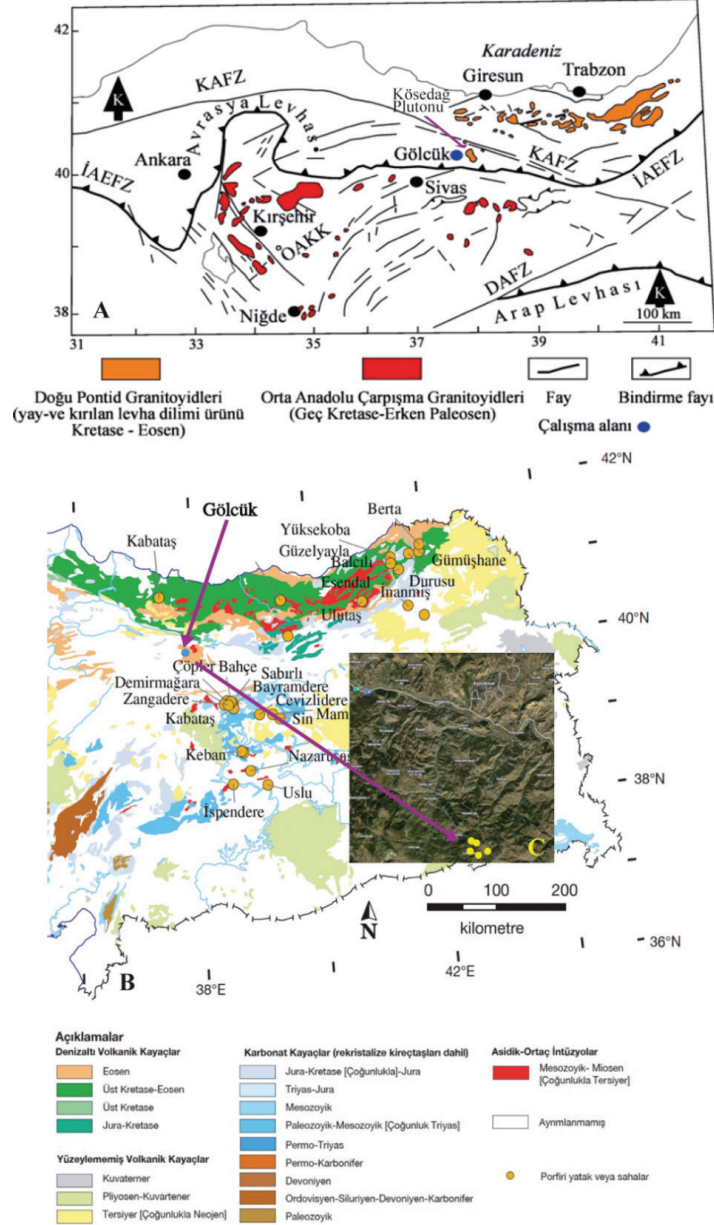
İnceleme alanındaki cevherleşme ve yan kayaç ilişkisi, saha ve laboratuvar çalışmalarından oluşan yöntemlerle incelenmiştir.

Gölcük Cu cevherleşme sahası 9 farklı mostra alanından oluşmakta olup (Şekil 1 ve 2) 50 adet yüzey ve 9 adet sondaj karotlarından alınan 25 adet sondaj ve toplamda 75 adet kayaç örneğinde ince kesit; 30 adet mostra ve 30 adet sondaj karotlarından olmak üzere toplamda 60 adet parlatma blokları hazırlanarak tanımlanmıştır. Tanımlamalar Nikon Coolpix 4500 kamera ataçmanlı üstten ve alttan aydınlatmalı Nikon Eclipse E600 POL mikroskobunda Pyser-SGI Tablo 1,0/0,01mm mikrometresi ile ölçeklendirilerek tanımlanmıştır.

S ve Cu izotopları tek bir mineral örneğinden ziyade, mineral bornit (Bn), kalkopirit (Cp), kovellit (Cv), kalkosit (Cc) ve malakit (Mlc) birlikteliklerini/dönüşümleri içeren mineral tanelerinden elde edilmiştir. S ve Cu izotop analizleri için örnekler CÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü

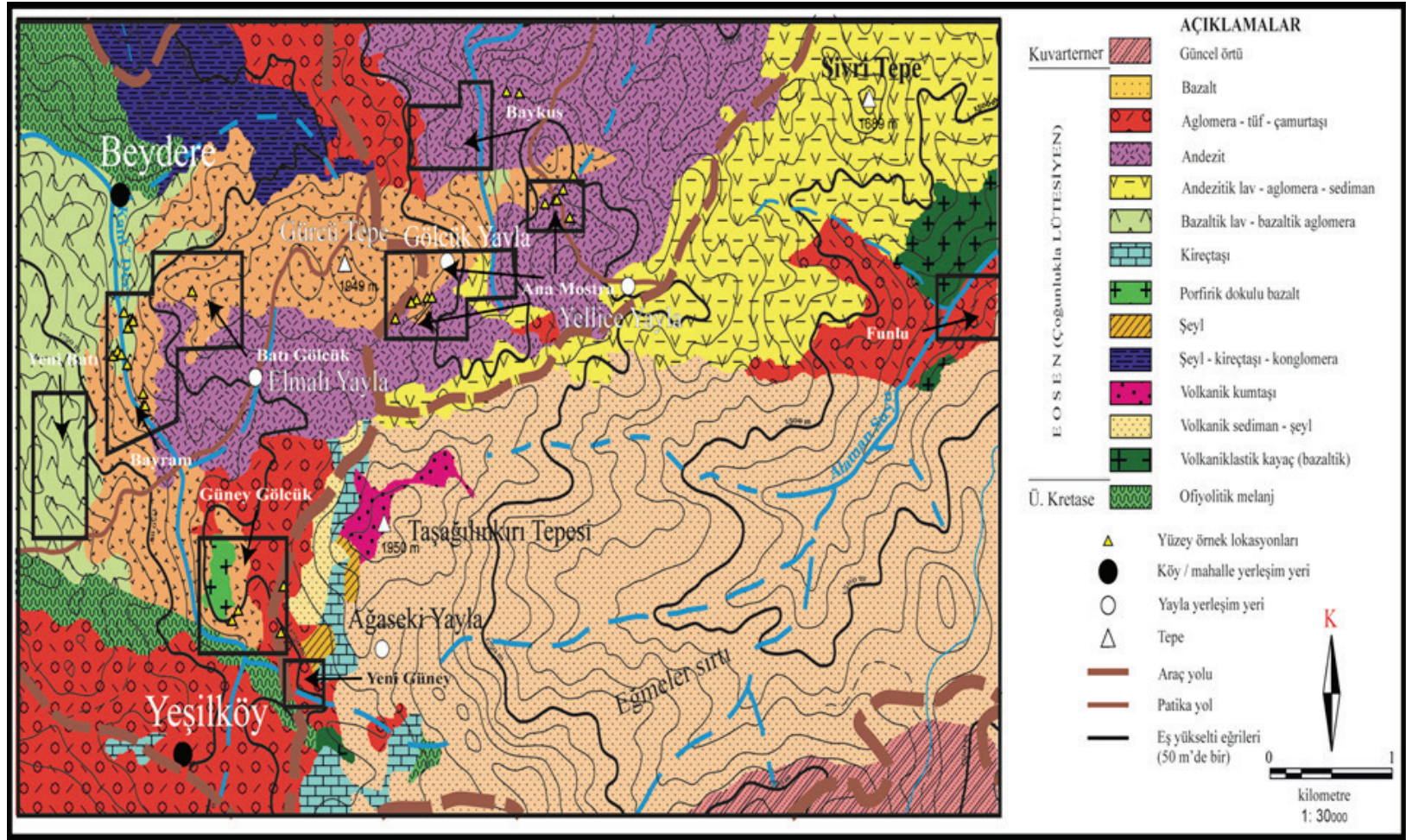
Parlak Kesit Laboratuvarı'nda üstten aydınlatmalı mikroskop ile ayıklanarak hazırlanmıştır. Daha sonra bu mineral birliktelikleri/dönüşümlerini

içeren mineral tanelerin bileşimleri, XRD yöntemi ile de teyit edilmiştir.



Şekil 1.A) Çalışma bölgesi ve yakın civarının basitleştirilmiş bölgesel tektoniği, (Boztuğ, 2008'den), **B)** Doğu Pontid porfiri yataklarının dağılımı ile Gölçük sahasının bölgesel jeolojik ve coğrafik konumu (Yiğit, 2009'dan) **C)** Gölçük sahasının ve cevher mostralarını gösterir uydu görüntüsü.

Figure 1.A) Simplified regional tectonics in the study area and surroundings (after Boztuğ, 2008); **B)** Regional geological and geographical location of the Gölçük area with the distribution of Eastern Pontide porphyry deposits (after Yiğit, 2009); **C)** Satellite view of the Gölçük area and ore outcrops.



Şekil 2. Gölcük ve civarının detaylı jeolojik haritası ve cevherleşme mostraları (King, 2013, Smyth, 2013 ve Smyth, 2014'ten değiştirilerek).

Figure 2. Detailed geologic map of Gölcük and mineralised outcrops (modified from King, 2013, Smyth, 2013 and Smyth, 2014).

$\delta^{34}\text{S}$ İzotopu

Kükürt izotop jeokimyası analizi için 30 adet örnekten (14 yüzey–16 karot), $\delta^{34}\text{S}$ izotop analizleri Nevada Reno Üniversitesi (ABD) Duraylı İzotop Laboratuvarı’nda yaptırılmıştır.

Kükürt izotopları Eurovector 3000 model element analiz cihazında 1000 °C’de doğrudan yakma (combustion) ile analiz edilmiştir. S gazı oksijen fugasitesinin Cu-CuO karışımı ile tamponlandığı fırınlarda SO_2 gazına dönüştürülür. Oluşan SO_2 gaz kromatograflarında saflaştırılmış ve devamlı akış hatlı Micromass Isoprime izotop oran kütle spektrometresi ile analiz edilmiştir. S izotop analizleri Giesemann vd., 1994’te belirtilene benzer yöntemle yürütülmüştür. Analizler GSL (Green Sphalerite), UGLI (Galena), BSL (Brown Sphalerite) ve MIC (Chalcopyrite) standartları kullanılarak kalibre edilmiştir. Hata oranı $\pm$ (%0,2)’dir. Değerler V-CDT’e (Vienna Canyon Diablo Troilite) ve Denklem (1) kullanılarak rapor edilmiştir.

$$\delta^{34}\text{S} = \left(\frac{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{örnek}}}{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{standart}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (1)$$

$\delta^{65}\text{Cu}$ İzotopu

Bakır izotop analizleri için örnekler 0,05 gr Cu-sülfür ve Cu-oksit ve aqua regia yöntemiyle çözeltiye alınıp bir gece 200 °C de bekletilmiştir. Sonrasında Mathur vd. (2009) tarafından belirtilen yöntem ile alınıp analiz 200 ppb ye kadar saflaştırılmıştır. Örnekler Arizona Üniversitesi (ABD) Micromass Isoprobe labotratuvarında MC-ICP-MS (çoklu kollektörlü iyon kütle spektrometresi)’ne enjekte edilip analiz edilmiştir. Kütle spektrometresinde indiyum iç standartı ve NIST 976 $\delta^{65}\text{Cu}$ standardı kullanılarak 0,01% den daha az hata oranı ve (2) denklemi ile rapor edilmiştir.

$$\delta^{65}\text{Cu}\text{‰} = \left(\frac{\left[\frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right]_{\text{örnek}}}{\left[\frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right]_{\text{standart}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (2)$$

BÖLGESEL JEOLJİ

Türkiye’nin Tetis metalojeni, dalma-batma, çarpışma, çarpışma sonrası ve sürüklenme süreçlerinin etkileşimi ile şekillenmiştir ve esas olarak Geç Kretase’dan Senozoyik’e kadar uzanan volkanik plutonik ve ofiyolitik kayalarla ilişkilidir. Ada yaylarında bulunanlardan kıta ortamlarıyla ilişkili olanlara kadar geniş bir yelpazede maden yatakları mevcuttur. Bunlar porfiri, skarn, yüksek ve düşük sülfidasyonlu epitermal (Yiğit, 2006), Kuroko ve Kıbrıs tipleri dahil olmak üzere polimetalik volkanik ilişkili masif sülfür (VMS) yatakları, podiform kromit, lateritik nikel, karbonat barındıran kurşun-çinko (sedimanter-eksalatif (SEDEX) ve Mississippi Vadisi tipi (MVT) dahil), karstik ve lateritik boksit, mezotermal ve listvenit barındıran tipleri içeren orojenik altın (Uçurum ve Larson, 1999; Uçurum, 2000) ve plaser yatakları gibi ekonomik öneme sahip başlıca yatak türleridir (Yiğit, 2009).

Anadolu bölgesi Alp-Himalaya Orogenik kuşağının bir parçası olup günümüzde bölgede yüzeyleyen kayalar Geç Mesozoyik-Senozoyik döneminde Afrika-Avrasya kıtalarının yaklaşması sonucu Neotetis okyanus (ları) nın kapanma tarihçesine ait jeolojik kayıtları içerir. İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı (İAEKK) boyunca yüzeyleyen ofiyolitli melanjin konumu eskiden Neotetisin kuzey kolunun bulunduğu yeri işaret eder. İAEKK’nın güneyinde bulunan ve metamorfik kayalar, ofiyolitler ile magmatik sokulumlardan oluşan Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) Türkiye’de yüzeyleyen en büyük metamorfik komplekstir. Bahsi geçen kristalen kompleks Geç Kretasede Paleozoyik-Mesozoyik sedimanter birimler üzerine ofiyolitli napların yerleşmesi, buna bağlı olarak bölgesel

Barrovian metamorfizması (Lefebvre vd., 2011; 2013) ve magmatik sokulum gibi karmaşık tektonik olaylara maruz kalmıştır (Şengör ve Yılmaz 1981; Boztuğ ve Jonckheere, 2007; Moix vd., 2008; Yiğit, 2006; 2009).

Orta Anadolu Kristalin Kompleksi'ndeki maden yatakları NeoTetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kapanması sırasında, Sakarya Mikro kıtasını altındaki okyanus kabuğunun kuzeye doğru dalmasıyla meydana gelen çarpışma ve çarpışma sonrası magmatic süreçler, Geç Kretase-Eosen döneminde çeşitli maden yataklarının oluşumuna yol açmıştır. Bunlar arasında skarn, damar tipi yataklar ile tortul diatomit, kaolinit, tuz ve uranyum yataklarıdır. Bölgesel dağılımları ve bölgenin jeolojik evrimiyle olan ilişkileri göz önüne alındığında, skarn ve damar tipi yatakları Orta Anadolu Kristalin Kompleks (OAKK) metalojenezinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Kuşçu ve Erler, 1998; Yiğit, 2006, 2009; Kuşçu vd., 2010).

Gölcük Bakır cevherleşmesi H39 (1:100.000) jeoloji haritasında (MTA, Sayısal Harita) Eosen yaşlı volkanik kayalar içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu da Türkiye'nin bu bölgesinde Pontidlerde ve Orta Anadolu Kristalin Kompleks (OAKK)' inde gerilme rejimi ve onu takip eden sıkışma rejimleri (Boztuğ, 2008) sonucu gelişmiştir. Gölcük ve civarında da gözlenen volkano-sedimanter birlik, Torid-Anatolid ve Kuzey Avrasya plakalarının Geç Paleosen-Erken Eosen'de çarpışması sonucu oluşmuştur. Volkano-sedimanter birim genellikle D-B ve KD-GB yönlerinde dağılım göstermektedir (Şekil 1).

Gölcük cevherleşmesi KAFZ'nun 2-3 km güneyinde, Köseadağ plutonu ise Gölcük Cu cevherleşmesinin 2,5 km GD'sunda yer almaktadır. Bölgede Eosen (tüm kayalar Rb-Sr izokron yaş 42 ± 4 my, Kalkancı, 1974; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zirkon ağırlıklı ortalama yaş ile evaporasyon yaşı $52,1\pm 6,4$ my, Boztuğ, 2008) yaşlı siyenit, kuvars-siyenit bileşimli Köseadağ plütunu OAKK'ni

üzerleyen volkano-sedimanter birimi kesmiş ve bu da Gölcük cevherleşmesinin oluşumuna katkı sağlamıştır (Şekil 1).

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

MTA 1:100.000, 1:25.000 ölçekli jeoloji haritalarına (sırası ile Giresun H-39 (MTA, Sayısal Harita), H-39 c₁ (Uysal, 1992)) göre, Gölcük'teki mineralizasyon Eosen yaşlı volkano-klastik kayalarda gelişmiştir (Şekil 1 ve 2).

Bunlar, Türkiye genelinde tanımlanan özellikle Karadeniz bölgesinde Eosen volkano-sedimanter dizilimlerle uyumlu olup, zaman bakımından iki sıkıştırma rejimiyle çevrelenmiş bölgesel bir genişleme rejimi ile ilişkilidir (Şekil 1; Boztuğ, 2008).

Bu volkano-sedimanter dizi, modern literatürde Aksu Formasyonu (Kalkancı, 1974); Cıbiltepe Volkanikleri (Uysal vd., 1995); Mucur Formasyonu olarak (Geneli, 2011) adlandırılmıştır. Ancak MTA haritasında Giresun H-39, H-39 c₁ bu şekilde adlandırılmamış olup, herhangi bir açıklayıcı metin eşlik etmemektedir. Dizi, Güney Torid-Anatolit platformu ile Kuzey Avrasya plakası arasındaki son çarpışmadan (Geç Paleosen-Erken Eosen) önce oluşmuş, Avrasya ile Afrika-Arap arasındaki çarpışmadan kaynaklanan Oligosen'den Geç Miyosen'e kadar olan sıkıştırmadan sonra yer almaktadır.

Uysal vd. (1995) inceleme alanının temelini Üst Senoniyen öncesi yaşta Tekelidağ Karışığı'ndan oluştuğunu, bunun üzerine açısız uyumsuzluk ile kilaşı-kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşan ve yer yer olistostromal düzeyler içeren Alt-Orta Eosen yaşlı Akıncılar Formasyonu (Yılmaz, 1985) yer aldığını belirtmiştir. Akıncılar Formasyonu inceleme sahasının kuzeybatısında küçük bir alanı kapladığı ifade edilmiştir. Akıncılar Formasyonunu uyumlu ve geçişli olarak andezitik, bazaltik lav akıntıları ve aglomeralar ve tüfitlerle ayrılan Haydaroğlu

Formasyonu (Terlemez ve Yılmaz, 1980) izler. İnceleme alanındaki çoğu cevher mineralizasyonu Haydaroğlu Formasyonunda bazaltik kayaçlarda yer aldığı rapore edilmiştir. Sahanın güney kesiminde kireçtaşları ile kıltaşı, kumtaşı ve konglomera birimleri yer alır. Doğanşar Formasyonunun üzerinde ise geçişli olarak genellikle aglomeradan oluşan, andezitik ve bazaltik lav akıntıları içeren Cıbiltepe volkanitleri yer almaktadır (Uysal vd., 1995).

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

Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kadıköy Formasyonu ve Şerefiye Bazaltı, kendilerinden daha yaşlı olan formasyonları uyumsuz olarak örter. En üstte ise güncel alüvyon ve alüvyon yelpazeleri yer alır. (Uysal vd., 1995). Bölgedeki volkano-sedimenter kayaçları Göncüoğlu vd. (1993 ve 1994) Orta Anadolu Kristalin Kompleksi üzerindeki sedimanter örtü olarak adlandırmış ancak, Genelli (2011) bu sedimanter örtüyü yeniden üretmiş ve KD Pontidlerde gözlenen Volkano-sedimanter birimleri Eosen Mucur Formasyonu olarak adlandırmıştır.

Doğu Karadeniz bölgesindeki Eosen volkanik kayaçlar lav şeklinde gözleendiği gibi zaman zaman farklı alanlarda genellikle kırıntılı tortul istifler içinde ara lav akmaları halinde ve dayklar şeklinde gözlenmektedir. Bazaltik volkanik kayaçlar ve piroklastikler yastık yapısı ve sütun eklemleri sergilemekte ve bu özelliğinden dolayı Genelli (2011) tarafından volkaniklerin sıg denizel ortamda yerleştiği ifade edilmekte ve özellikle bazaltların amigdaloidal olup kuvars, kalsit ve zeolit dolgular içerdiği ifade edilmiştir. Buna

karşın, Gölcük civarında volkanik kayaçlarda arjilik, serizitik, iddingsitleşme ve epidotlaşma türü alterasyonun yaygın olduğu Kızılgöz, (2019) tarafından tanımlanmıştır.

İnceleme sahasının (Şekil 2) daha çok kuzey batısında mostra veren andezitik lav-aglomera birimleri tabakalı yapı gösterir, breşik ve genelde killeşmiştir. Kireçtaşları Yeşilköy civarının doğusunda bantlar halinde bulunur ve içinde kalsit damar ve toplulukları vardır. Sahanın batısında mostra veren bazaltik lav ve bazaltik aglomera tabakalı ve yer yer şistoziteli yapı gösterir. Volkanik sedimanlar ve şeyl sahanın güneydoğusuna doğru geniş yayılım gösterir, tuf ve killeşmiş kayaç parçalarından oluşur. Andezitler sahanın kuzey ve orta kesiminde mostra verir, bazalt ve andezitik lavlar ile kontak halindedir. Sahanın batısındaki bazalt birimler bazaltik lav-bazaltik aglomera ile kontak halindedirler ve yer yer breşik yapı gösterirler.

Gölcük bölgesindeki stratigrafik dizilim; alttan üstte doğru sırası ile Üst Kretase Ofiolitik melanj ile başlamakta, bunu uyumsuzlukla bazaltik bileşimli volkanoklastik kayaçlar üzerlemekte, ve sonrasında volkanik ara katkılı sedmanter kayaç-şeyl, volkanik kumtaşı, şeyl-kireçtaşı-konglomera, şeyl, porfirik dokulu bazalt, kireçtaşı, bazaltik lav-aglomera, andezitik lav-aglomera, andezit-aglomera-tuf ve bazalt takip etmektedir. Ofiyolitler üzerine gelen volkanik ve sedimenter seriler genellikle Eosen (çoğunlukla Lütisiyen yaşlıdır). İnceleme alanının GD’da güncel örtü birimler Kuvaterneri oluşturmaktadır (Şekil 2).

Genelli (2011) Yozgat bölgesindeki volkanik kayaçların tortul birimlerle ilişkisi, volkanizmanın çökelimle eş zamanlı olduğunu ifade etmiştir. Volkanik kayaçları ile ilişkili kireçtaşı ve kumtaşı, Geç-Orta Eosen (Bartoniye, 37-40 My)’i temsil eden zengin bir fosil topluluğuna sahip olduğu ifade etmiştir. Bu yaş, önceki çalışmalarla da tutarlıdır (Göncüoğlu vd., 1993, 1994; Erdoğan vd., 1996). Atakay (2009), Çorum

bölgesinde yüzeyleyen volkanik kayalar için K-Ar yöntemiyle ($41,4 \pm 1,4$ My) yaş tayini yapmıştır. Bununla beraber Eyüboğlu vd. (2013) ve Gümüşhane'nin GD'sunda Nummilites sp. içeren kireçtaşları ile birlikte bulunan bazalt, andezit ve piroklastiklerin yaşının, U/Pb yöntem ile; adakitik biyotitce zengin andezitte $48,71 \pm 0,74$ My, adakitik olmayan aglomera bombası olan andezitte $44,68 \pm 0,84$ My olduğunu ifade etmiştir. Radyometrik yaş verilerinin tamamı çalışma bölgesindeki volano-sedimanter kayalarının yaşının Orta Eosen (Lutesiyen) işaret etmektedir.

KAYAÇ VE CEVHER PETROGRAFİSİ

Gölcük sahasında epidotlar ve Cu cevherleşmesi, genellikle saçınımlı damar ve stokwork şeklinde tabakalı andezit, bazalt ve piroklastiklerin içerisinde oluşmuştur. Gölcük bakır cevherleşmesinin dokuz farklı bölgede yüzlek verdiği gözlemlenmiştir (Şekil 2). Bunlar batıdan doğuya doğru Yeni Batı; Bayram, Batı Gölcük, Güney Gölcük, Ana, KD Ana, Baykuş ve Funlu yüzlekleridir.

Kayaç Petrografisi

İnce kesit petrografi çalışması sonucu; bazalt, andezit ve bazaltik piroklastik kayaç tanımlaması yapılırken, killeşme, karbonatlaşma, epidotlaşma ile iddingsitleşme, serizitleşme, serpantinleşme ve opasitleşme türü alterasyon ürünleri tanımlanmıştır. Kayaç tanımlamalarında; MacKenzie (1982), Adams vd. (1984), Deer vd. (1992), Melgarejo ve Martin (2011), ve Barker (2014) referanslarından faydalanılmıştır. Buna karşın alterasyon petrografisi ve mineralojisinde ise Thompson ve Thompson (1996), Delvigne (1998) referanslarından faydalanılmıştır.

Bazı kayalar yoğun altere olduğundan dolayı ilksel kayaç tanımlaması çoğunlukla yapılamamıştır. Bazalt: Olivin mineralleri

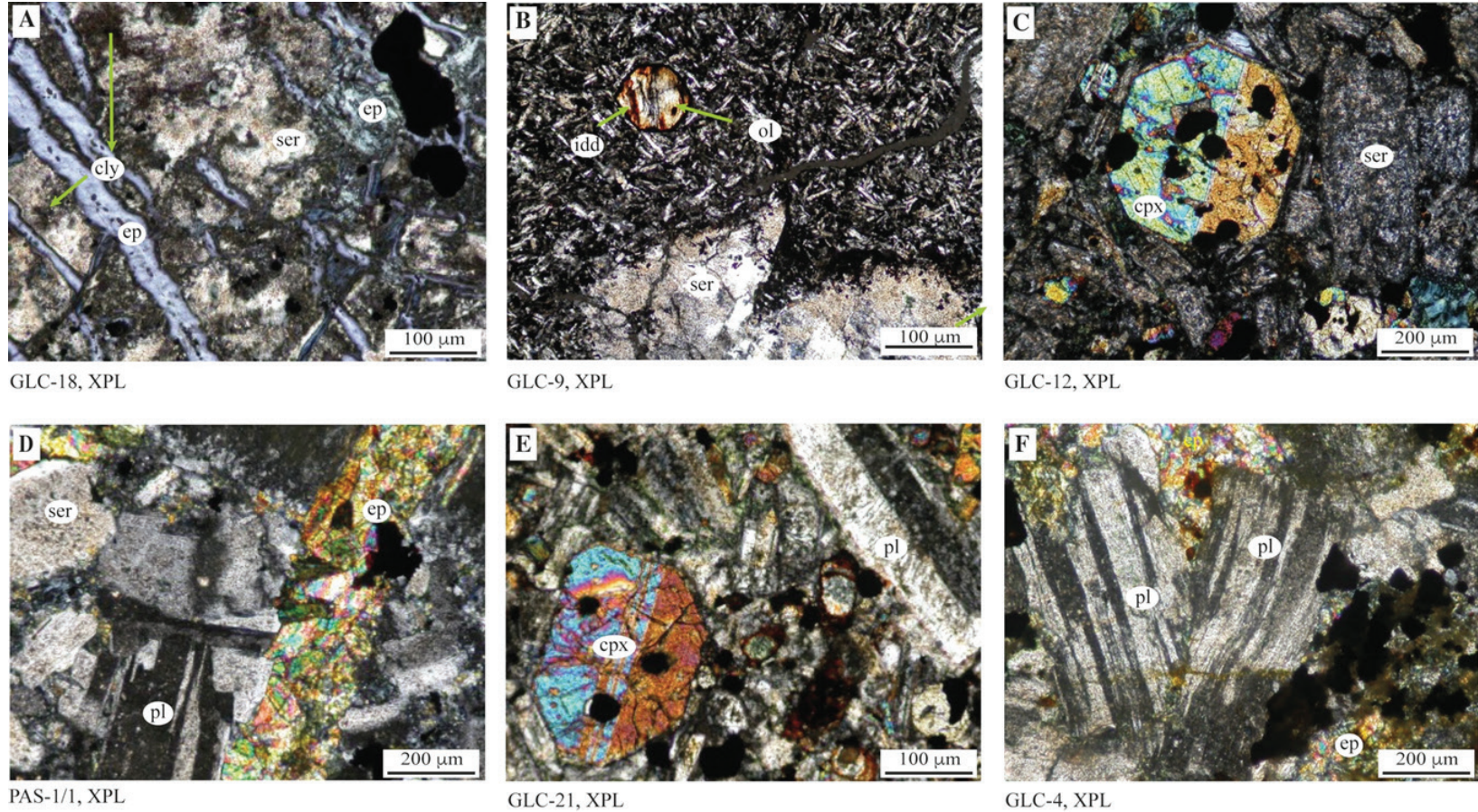
çoğunlukla özşekilsiz (anhedral) ve bazı örneklerde özşekilli (euhedral) gözlemlenmiştir. Klinopiroksenler; diğer minerallere göre daha yoğun ve yaygındır. Çoğunlukla yarı özşekilli (subhedral) ve bazı örneklerde özşekillidir (euhedral). Hornblend ve biyotit, klinopiroksenlere göre çok daha az orandadır. Plajiyoklazlar daha çok yarıözşekilli (subhedral), tipik polisentetik ikizlenme ile serizitleşmiş, killeşmiş olarak gözlemlenmiştir. (Şekil 3A, D, E ve F).

Piroklastik bazaltik kayalar da gelişi güzel dağılmış mikrolitler, fenokrsitaller ve volkanik malzemelerden oluşmuştur. Olivinler genelde yeşilimsi sarı renkte gözlemlenmiştir. Genelde mikroçatlaklar boyunca serpantinleşmiş ve mineral sınırları boyunca iddingsitleşmiştir (Şekil 3 B). Mikrolitler daha çok plajiyoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Hamur malzeme de tuf ve volkanik camdan oluşmaktadır.

Cevher Petrografisi

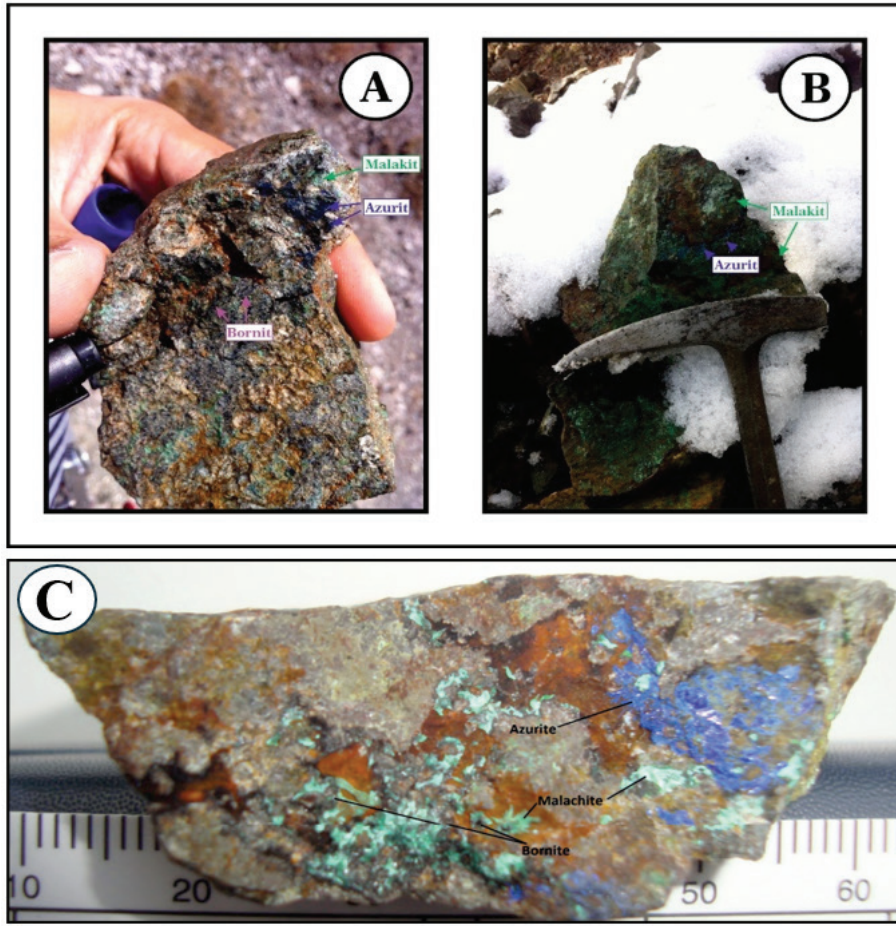
Altmış adet parlatma bloğunda, cevher petrografisi çalışmalarında Ramdohr (1980), Picot ve Johan (1982), Ixer, (1990), Jambor ve Vaughan (1990), Craig ve Vaughan (1994), Augustithis (1995), Marshall vd. (2004), Taylor (2009), Lufkin (2012), Pracejus (2015), Paar vd. (2016) referanslarından faydalanılmıştır.

Gölcük Cu cevherleşmesi yüzeyde 9 farklı alanda mostra vermektedir (Şekil 1). Bunlar Bayram sahası Gölcük köyünün 1,3 km KB'sında olup, bazaltlar içerisinde malakit, az oranda da bornit ve azurit mineralleri ile karakteristiktir. Yüzlek kesikli olarak 800 m devam etmektedir. 700 m GB'sında Batı Gölcük sahası bulunmakta; bu saha fay kontrollüdür ve cevherleşme içermektedir. Buna karşın Baykuş sahası ise Ana Gölcük sahasının 1,2 km KD'sunda yer alır ve bazalt içinde malakit ve az oranda bornit içerir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 3. Mostradan alınan yan kayaç mikrofotografıları. **A)** yoğun killeşme (cly) ve epidotlaşma (ep), **B)** piroklastik bazaltik kayaç; öz şeklini korumuş olivinin (ol), kenarlarından itibaren iddingsitleşmesi (idd), yoğun killeşme (cly), pilotaksitik doku. **C)** piroklastik bazaltik kayaç; klinopiroksen (cpx) ve serisitleşme (ser). **D)** piroklastik bazaltik kayaç; epidotlaşma (ep), plajiyoklaz (pl) minerallerinde killeşme (cly) ve serizitleşme (ser). **E)** bazalt; klinopiroksen (cpx) mineralleri ve olivin parçalarında iddingsitleşme (idd), yoğun opak mineraller. **F)** Plajiyoklazlarda polisentetik ikizlenme ve epidot gelişimi.

Figure 3. *A)* Dense argillisation (cly) and epidotization (ep), *B)* Pyroclastic basaltic rock with olivine (ol) preserving its core shape, iddingsitization (idd) from the edges, dense argillisation (cly), pilotaxitic texture. *C)* Pyroclastic basaltic rock with clinopyroxene (cpx) and sericitization (ser). *D)* Pyroclastic basaltic rock with epidotization (ep), argillisation (cly) and sericitization (ser) in plagioclase (pl) minerals, *E)* Basalt with iddingsitization (idd), dense opaque minerals in clinopyroxene (cpx) and olivine? *F)* Polysynthetic twinning in plagioclase and epidote formation.



Şekil 4. Bazaltik kayalarda Cu mineralizasyonu makrofotoğrafları. **A)** Azurit ve kısmen bornit ve malakit mineralizasyonu. **B)** Azurit ve yoğun malakit mineralizasyonu. **C)** Bazaltik piroklastikler içersindeki Cu mineralizasyonun el örneği görünümü.

Figure 4. Close-up view of Cu mineralisation in basaltic rocks. **A)** Azurite and partly bornite and malachite mineralisation. **B)** Azurite and intense malachite mineralisation. **C)** Hand sample view of Cu mineralisation in basaltic pyroclastics.

Cevher mineralleri parajenez, süksesyon ve doku bazında incelenmiştir. Bakır cevher mineralleri; bornit, kalkopirit, kovellit, kalkosit, malakit, demir oksit mineralleri ise manyetit ve hematitdir (Şekil 6). Bornit minerali kalkopirit tarafından ornatılmış (Şekil 6B ve E) ve/veya birlikte oluşmuştur. Bornit kalkosit iç içe büyümelerini gösterir mirmekitik doku

göstermektedir (Şekil 6D). Örneklerin birçoğunda bornitin, sırası ile kalkosit ve kovellit tarafından ornatıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6). Demir oksit minerali olan manyetitin tercih edilen kristal düzlemleri boyunca oksidasyon sonucu kısmen hematite dönüşerek martitleşme gelişmiştir (Şekil 6C).



Şekil 5. Gölcük bakır sahası 5 farklı mostralarda gözlenen cevherleşmelerin arazi ve el örneği görünümü.

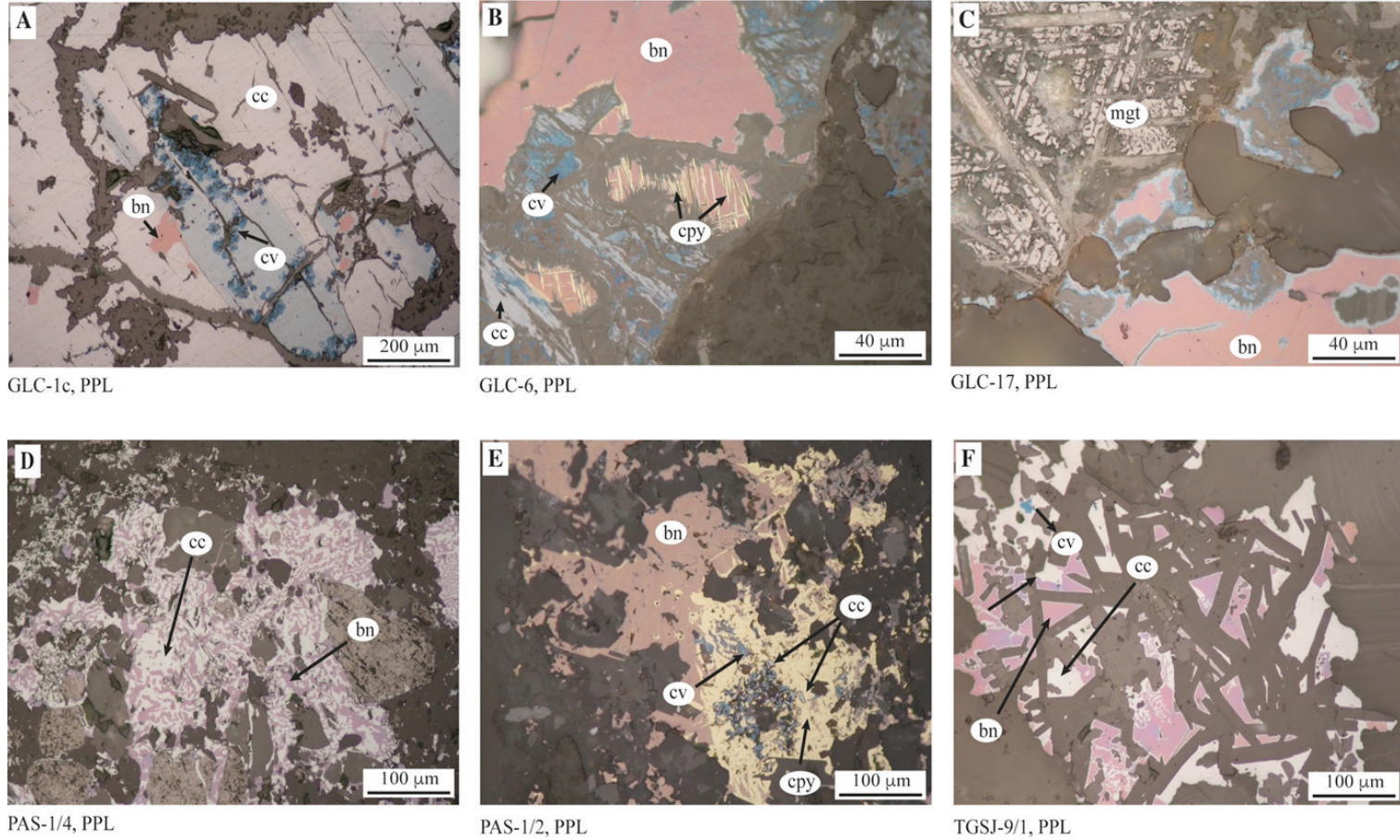
Figure 5. Field and hand sample view of ores observed in 5 different outcrops in Gölcük copper mineralisation.

Cevher minerale parajenezi aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Bornit→Kalkopirit→Kalkosit→Kovellit→Malakit

Manyetit→Hematit

Martitleşme



Şekil 6. Cevher minerallerinin mikrofotografı. **A)** kalkosinin (cc) bornitten (bn) itibaren oluşumu ve kolloform yapıda kovellit (cv), **B)** Kalkopiritin (cpy) bornit (bn) dilinimleri ve mineralin sınırları boyunca eksolüsyonu. **C)** Bornitten (bn) itibaren kalkosit ve kovellit oluşumu, daha sonra manyetit tarafından ornatılması, **D)** Bornit (bn) ve kalkosit (cc) arasındaki mirmekitik doku. **E)** Kalkopirit (cpy) bornit (bn) ile iç içe/beraber oluşması ve kalkosit (cc) ile kovellit (cv) tarafından ornatılması, **F)** kırıklı parçalı doku; kalkosit (cc) ve kovellit (cc) bornitten (bn) itibaren gelişimi ve Çatlaklardan itibaren kalsit ve epidot oluşumu.

Figure 6. *A) Formation of chalcocite (cc) from bornite (bn) and covellite (cv) in colloform structure, B) Exsolution of chalcopyrite (cpy) along bornite (bn) slices and mineral boundaries, C) Formation of chalcocite and covellite from bornite (bn), followed by its replacement by magnetite, D) Myrmekitic texture between bornite (bn) and chalcocite (cc)-covellite (cv), E) Chalcopyrite (cp) intergrown/co-formed with bornite (mn), and chalcocite (cc) and covellite (cv), F) Fractured texture between bornite (bn), chalcocite (cc) and covellite (cv) (fractures filled with calcite and epidote).*

Çizelge 1. Pasinex tarafından yapılan bazı karotlu sondajlarda Cu (%) ve Ag (ppm) değerleri.

Table 1. Cu (%) and Ag (ppm) values in core drillings made by Pasinex.

Sondaj No	Sondaj Uzunluğu (m)	Örnekleme Başlangıcı (m)	Örnekleme Sonu (m)	Analiz Uzunluğu (m)	% Cu	Ag (ppm)
PAS-03	165,0	6,0	8,0	2,0	0,56	ND
		78,5	85,5	7,0	1,57	6
		90,5	92,5	2,0	1,01	5
		93,5	97,5	4,0	1,83	15
PAS-04	203,5	10,0	13,5	3,5	0,82	9
		28,0	31,0	3,0	0,69	18
PAS-05	212,5	117,0	119,5	2,5	1,21	17
		142,5	143,0	0,5	0,42	6
		144,5	145,0	0,5	0,59	1
PAS-07	213,0	139,0	142,0	3,0	0,35	7

Jeokimyasal analizlerde Ag belirlenmesine (Çizelge 1) rağmen cevher petrografisinde Ag içeren mineraller gözlemlenmemiştir. Cevherleşmeye eşlik eden alterasyonlar, bazalt ve bazaltik piroklastiklerin bileşimindeki plajiyoklazlardan itibaren serizitleşme, killeşme ve karbonatlaşma; özşekilli-yarı öz şekilli olivin kristallerinden itibaren iddingsitleşme ve piroksenlerden±olivinden itibaren gelişen epidotlaşmadır.

JEOKİMYA

Roma döneminde eski madencilik faaliyet kalıntılarının gözlemlendiği Gölcük Cu cevherleşmesi ve civarında, MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Turmenka tarafından yapılan 20 adet karotlu sondajlarda cevherleşme yüzeyden ortalama 13,5 m derinlikte %2,6 Cu ve 41,9 g/t Ag belirtilmiştir (Şekil 7, 8, 9 ve 10).

Ancak, Pasinex tarafından yapılan sondajlarda ise, cevherleşme ortalama yüzeyden 9,7 m %2,97 Cu değeri ve 37 g/t Ag tenör olarak belirlenmiştir (Çizelge 1, Şekil 10) (King, 2013).

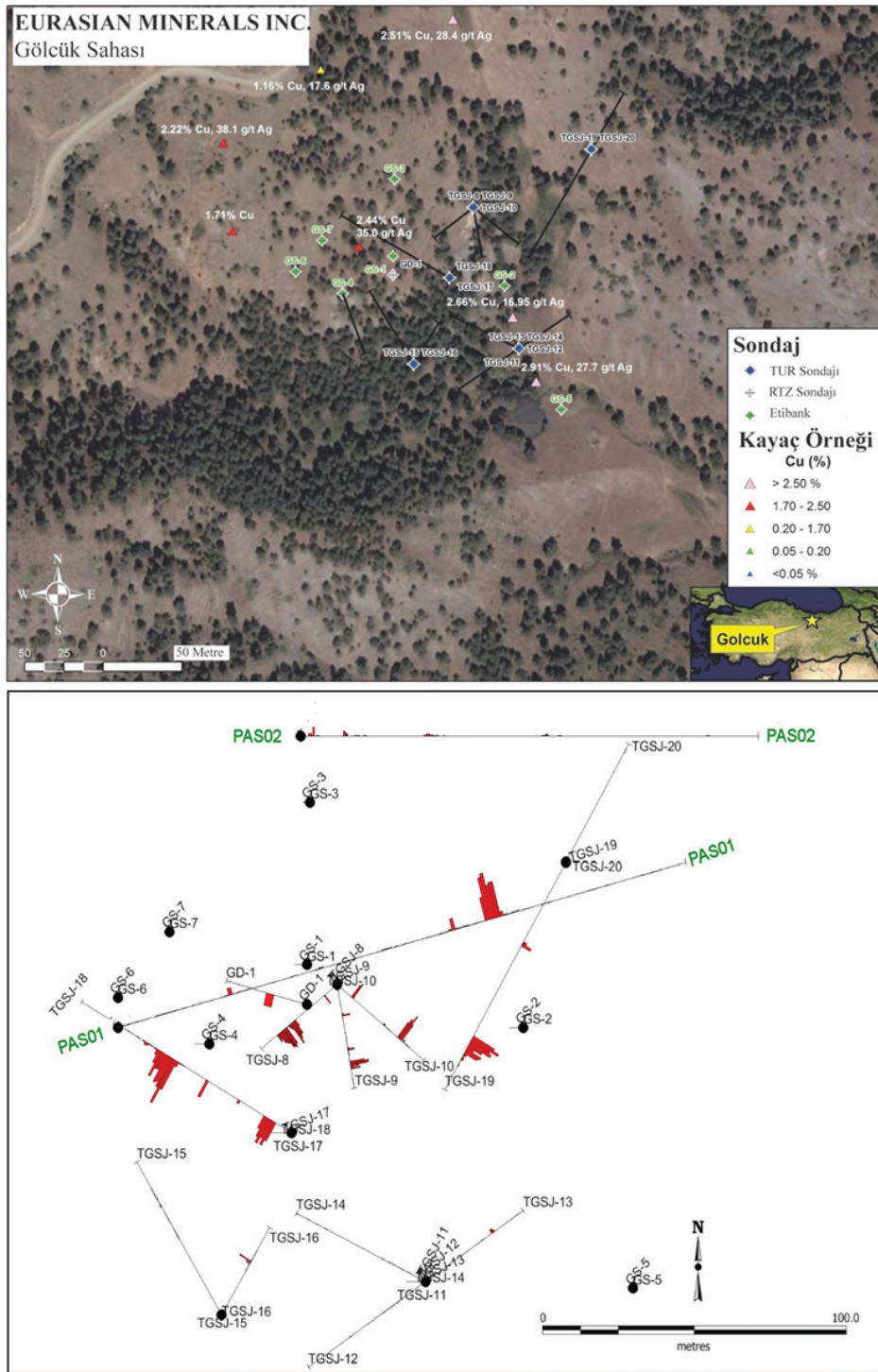
Gölcük bakır cevherleşmesinin tenör/ rezervinin anlaşılması için yüzey, yarma ve

sondaj örneklerinden Cu, Ag element jeokimyasal analizler ile cevher çökelim mekanizmasının yorumlanması için bakır cevherlerinden S ve Cu izotop analizleri yapılmıştır.

Yüzeyden toplanan-açılan yarmalardan alınan örneklerde %Cu analizleri yapılmıştır. Yüzeyden 700x300 m alandan toplanan 52 adet (Şekil 8) kayaç örneğinde Niton XRF ile yapılan analizlerde yaygın olarak %1'den daha fazla Cu oranı tespit edilmiştir. Çoğu örnekte %2'den daha fazla Cu oranı belirlenmiştir. Yarmalardan yapılan ortalama %Cu 0,41 olarak rapor edilirken değerlerin %0,21 ile %0,70 Cu arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9).

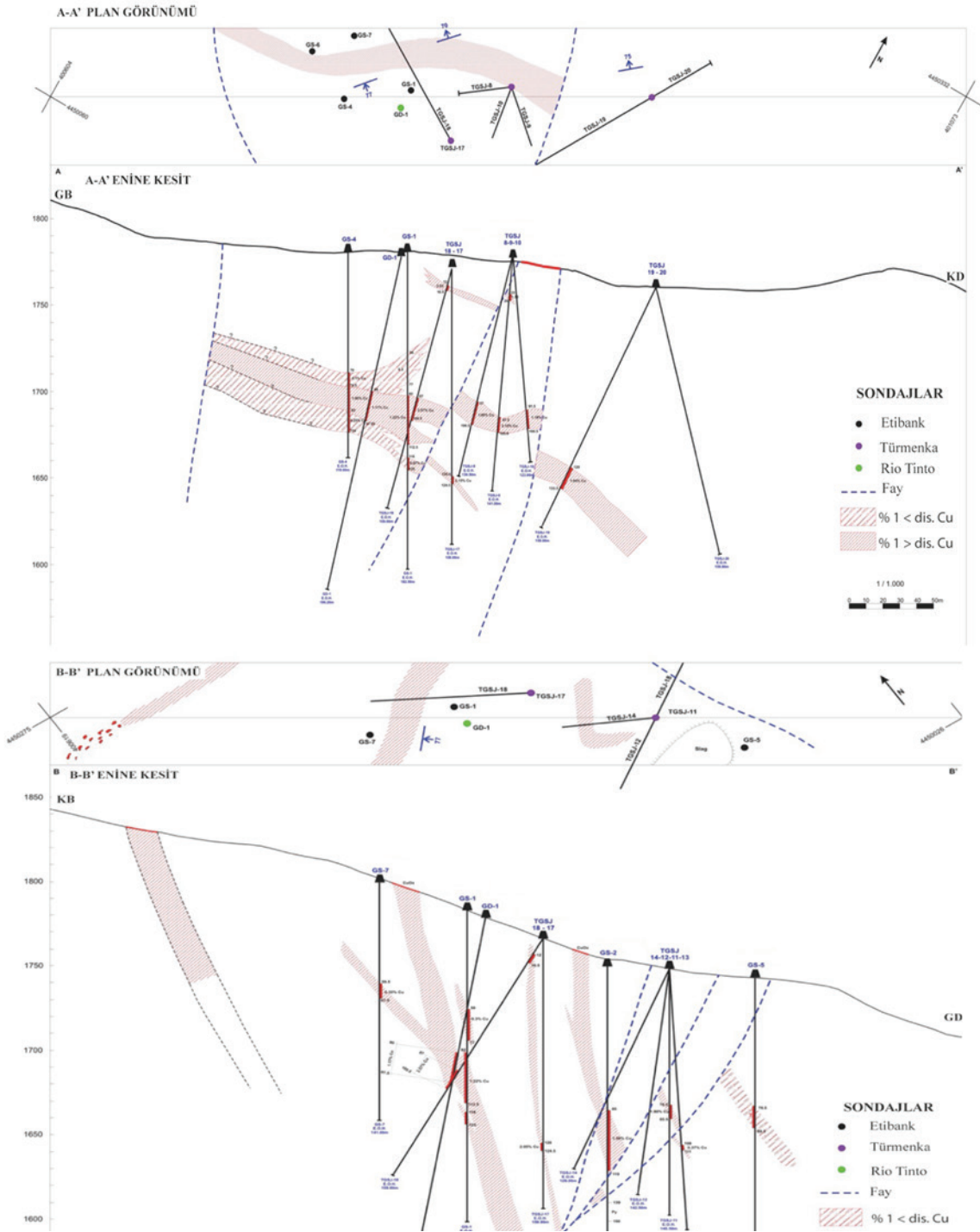
δ³⁴S (‰) İzotop Jeokimyası

Yüzey örnekleri: δ³⁴S -20,0'dan +2,8'e; karot örnekleri: δ³⁴S -6,3'ten +0,6'ya değişim göstermektedir (Çizelge 2, Şekil 11). Gölcük Cu cevherleşmesinin δ³⁴S oranları Şili Manto-tipi Cu yataklarının ki (Kojima vd., 2009) ile benzerlik göstermektedir. Bu da Gölcük Cu cevherleşmesinin Manto-tipi bir bakır cevherleşmesi olabileceği görüşünü desteklemektedir.



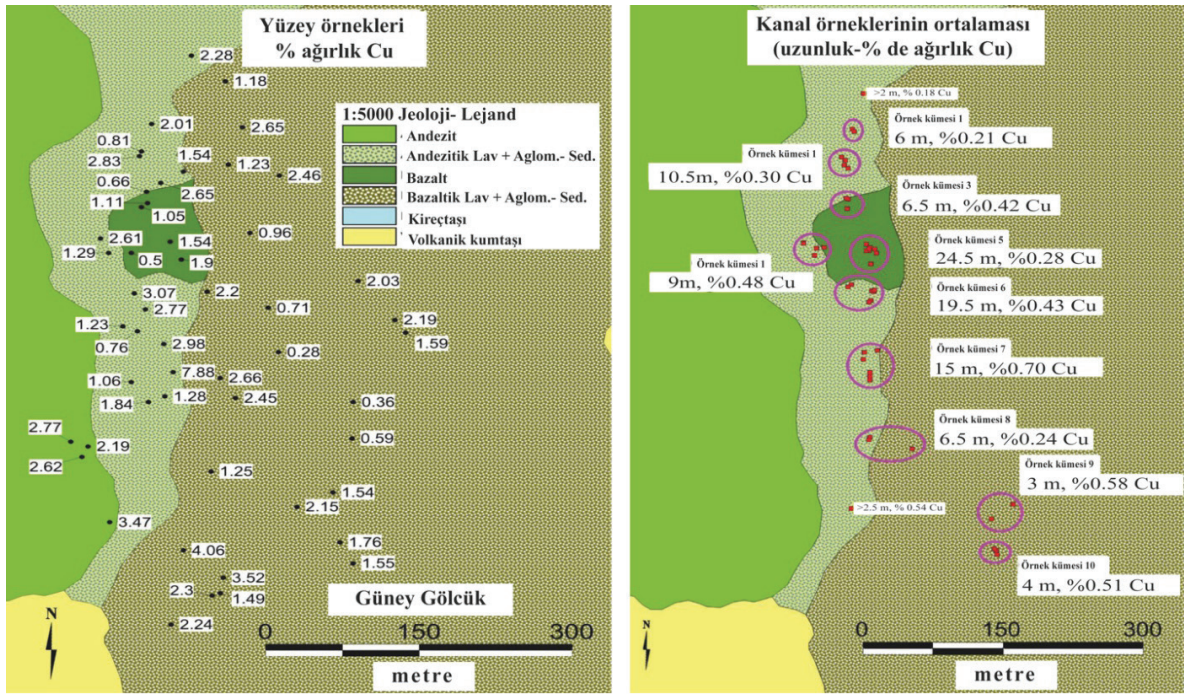
Şekil 7. A) Gölcük sahasının 2012 yılı öncesi yapılan sondajların Google Earth görünümü ve **(B)** Pasinex tarafından yapılan PAS rumuzlu sondaj içeren plan görünümü ve bakır profili (kırmızı kolonlar)

Figure 7. A) Google earth view of drill logs before 2012 and **(B)** PAS drill logs made by Pasinex with copper data (red histogram).



Şekil 8. 2012 yılından önce MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, Türmenka firmalarınca yapılan sondajların ve Pasinex tarafından yapılan PAS rumuzlu 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu karotlu sondajların plan görünümü ve A-A' ve B-B' enine kesitleri.

Figure 8. Plan view and A-A' and B-B' cross sections of drillings made by MTA, ETIBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, and Turmenka before 2012 and Pasinex core drillings numbered PAS 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7.



Şekil 9. Güney Gölcük mostrasında yüzey ve kanal örneklerinin, kanal uzunluk ve ortalama %Cu oranları, King, (2013)’den, (Koordinatlar ve lokasyon için Şekil 2’ye bakınız).

Figure 9. Channel length and average %Cu ratios of surface and channel samples at South Gölcük outcrop, from King (2013) (See Fig. 2 for coordinates and location).

$\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) İzotop Jeokimyası

Cu izotop jeokimyası analizi için 14 adet örnekten (7 yüzey–7 karot) bornit, kalkopirit, kovallit, kalkosit, malakit mineralleri ayıklanmıştır. Yüzey örneklerinde $\delta^{65}\text{Cu}$ -0,86’den +1,38’e, karot örneklerinde ise $\delta^{65}\text{Cu}$ -1,41’den +2,69’a değişim göstermiştir (Çizelge 3, Şekil 12). Yüzey ve yüzeye yakın bakır minerallerinin izotop oranları daha çok tüketilmiş yani hafif izotoplarca zenginleşmiştir (GLC-5,7,8,17). Sondaj karot örneklerinin bakır mineral izotop oranlarının yüzeyden yaklaşık 200 m derinliklerden itibaren (PAS-1/4,10) ağır izotoplarca zenginleşmiştir (Çizelge 3). Bu özellik, maden aramalarında nasıl kullanılacağı Mathur ve Zhao (2023) tarafından ayrıntısı ile açıklanmıştır; Bakır izotop fraksiyonlaşması, süperjen süreçlerle ilişkili en düşük sıcaklıktaki yataklarda en yüksektir.

Sülfür mineralleri ve liç zonlarındaki kalıntı Fe-oksitler için bakır izotop değerleri -10‰ ila +15‰ arasında değişmektedir. Zenginleşme zonlarındaki daha yüksek izotop değerlerine kıyasla liç şapkası minerallerindeki daha düşük bakır izotop değerlerinin genel bir ilişkisi, modelin (Şekil 13) nedeni olarak su tablasının yer değiştirmesi ile oksidasyonu işaret etmektedir (Mathur vd., 2018). Maden Aramalarında Bakır izotoplarının süperjen yataklarının aranmasında kullanılmasına ilişkin spesifik örnekler; Braxton ve Mathur (2011), liç şapka minerallerindeki bakır izotop değerlerinin önceki zenginleşme olaylarının çoklu ayrışma aşamalarının varlığını belirlemek için nasıl kullanılabileceğine dair mükemmel bir örnek sunmaktadır. Yıkılmış şapkanın Fe-oksitlerindeki yüksek bakır izotop değerlerinin derinlikteki daha büyük bakır konsantrasyonlarıyla ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Çizelge 2. Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{34}\text{S}$ (‰) değerleri.

Table 2. $\delta^{34}\text{S}$ (‰) values in surface and drill core samples of Gölcük Cu mineralisation.

Örnek	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mineral	Derinlik (m) (yüzeyden)
C-5-Bn	-3,9	Bn±Cv-Cc	yüzey
GLC-6	-18,1	Bn±Cv-Cc	yüzey
GLC-7	-19,4	Bn±Cv-Cc	yüzey
GLC-8	+1,4	Cv-Cc	yüzey
GLC-17	-20,0	Bn±Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-22	+0,8	Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-27	+2,8	Bn±Cv-Cc-Mlc	yüzey
PAS 1-6	-2,9	Bn±Cp	198,60-198,80
PAS 1-8	-1,4	Bn	200,40-200,60
TGSJ-8/1	-2,8	Bn	87,00-87,50
TGSJ-10/1	+0,6	Bn	97,70-98,00
TGSJ-10/7	-0,2	Bn	104,60-104,80
TGSJ-11/2	-0,7	Bn±Cp-Cv-Cc	80,70-80,90
TGSJ-11/5	-5,5	Bn±Cp-Cv-Cc	84,50-84,80
TGSJ-15/1	-1,0	Cp	87,40-87,50
TGSJ-16/1	-6,3	Cp±Mlc	82,50-82,65
TGSJ-16/3	-5,8	Bn±Cp	84,00-84,20
TGSJ-19/1	+0,1	Bn±Cv-Cc	122,80
TGSJ-19/9	-6,0	Bn±Cv-Cc	153,10-153,20

GLC-1, GLC-5.Mlc, GLC-10, GLC-19, GLC-23, GLC-32, GLC-35, PAS-2/1, PAS-2/2, TGSJ-8/7, TGSJ-9/1 örneklerinde S konsantrasyonları analiz deteksiyon limitin altında olduğu için burada rapor edilmemiştir.
(Bn: bornit, Cp: kalkopirit, Cv: kovelin, Cc: kalkosin, Mlc: malakit)

Aynı derecede önemli olarak, kalkositin bakır izotop değerlerinin hidrojeolojik gradyanlarda değiştiğine ve böylece mineralizasyon sıvısı için bir akış yoluna işaret ettiği ifade edilmiştir. Braxton ve Mathur (2014), Fe-oksitle kaplı ancak yüzeyde mineralizasyon olmayan bir alanda, Fe oksit minerallerin bakır izotoplarının, süperjen kalkositin ayrıştığı ve yoğunlaştığı alt yüzeydeki alanlara işaret ettiğini ifade etmiştir. Her iki çalışma da yüzeyde bol miktarda bulunan ve gömülü arama hedeflerinin belirlenmesinde yararlı olan Fe-oksitlerde bakır izotop değerlerinin kullanılmasının önemine işaret etmektedir.

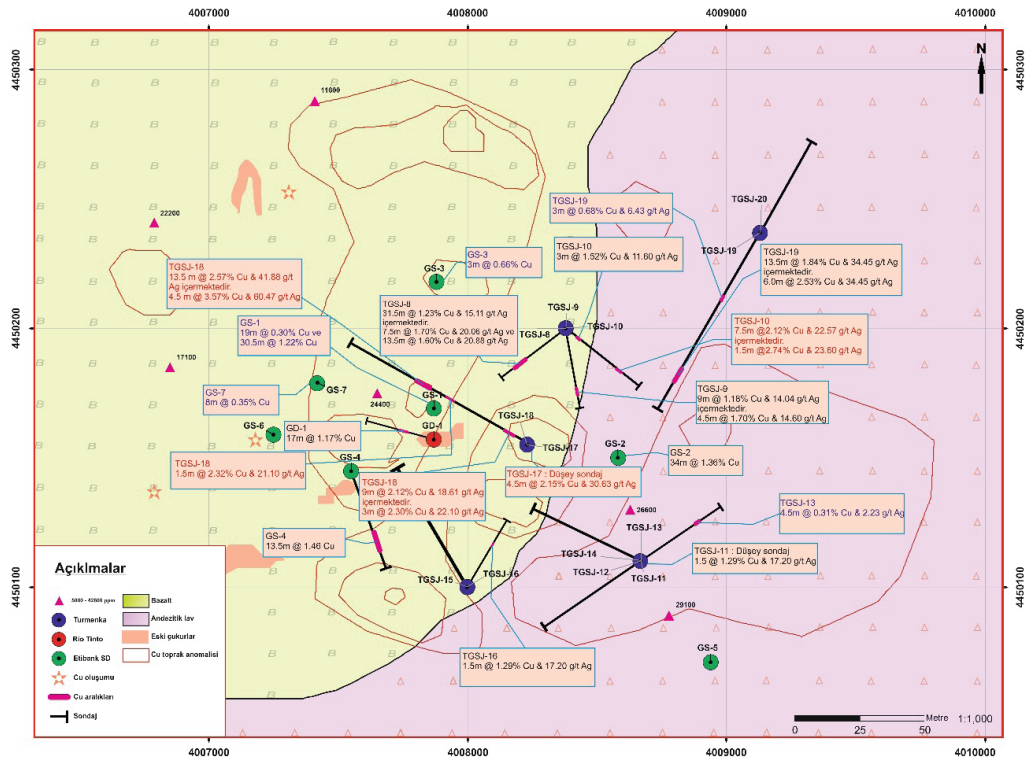
Çizelge 3. Gölcük Cu cevherleşmesinin yüzeyden ve sondaj karot örneklerinde $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) değerleri.

Table 3. $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) values in surface and drill core samples from Gölcük Cu mineralisation.

Örnek	$\delta^{65}\text{Cu}$ (‰)	Mineral	Derinlik (m) (yüzeyden)
GLC-1,c	+1,38	Bn±Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-5	-0,86	Cv-Cc-Mlc± Bn	yüzey
GLC-7	-0,04	Cv-Cc-Mlc±Bn	yüzey
GLC-8	-0,1	Cv-Cc-Mlc	yüzey
GLC-17	-0,63	Cv-Cc-Mlc±Bn	yüzey
TGSJ-11/2	+2,69	Bn±Cv-Cc-Cp	80,70-80,90
TGSJ-11/5	-0,88	Cv-Cc-Cp±Bn	84,50-84,80
TGSJ-19/1	-0,09	Cv-Cc±Bn	124,80-125,00
TGSJ-19/9	+1,21	Bn±Cv-Cc-Cp	153,10-153,20
PAS-1/1	-1,41	Cv-Cc±Bn	176,60-177,10
PAS-1/4	+2,21	Bn±Cv-Cc	198,20-198,40
PAS-1/10	+0,13	Bn-Cv-Cc	202,20-202,50

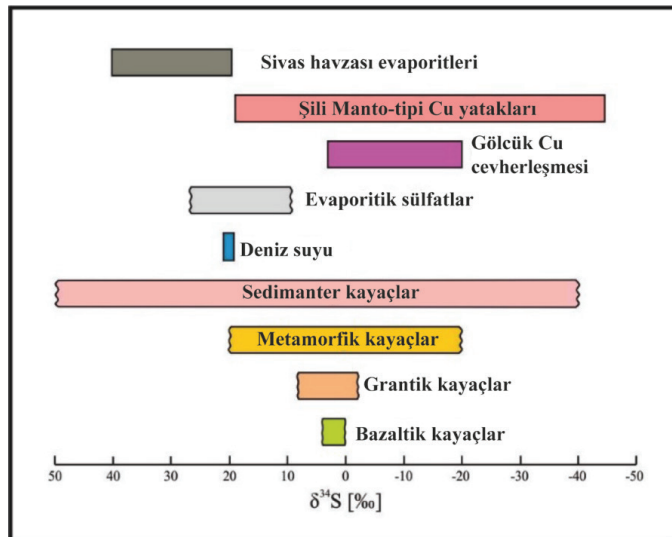
GLC-25, GLC-35 örneklerinde Cu izotop oranı deteksiyon limitinin altında olduğu için rapor edilmemiştir.
(Bn: bornit, Cp: kalkopirit, Cv: kovelin, Cc: kalkosin, Mlc: malakit)

Düşük sıcaklık sürecinin Cu izotoplarının redoks duyarlılığı ile birlikte daha yüksek derecelerde fraksiyonlaşmaya neden olabileceği göz önüne alındığında, Mathur vd. (2018) kalkositin bakır izotop imzasının kökenini izlemek için kullanılabileceğini ifade etmiştir. Birçok maden yatağındaki süperjen süreçlerinin etkisi ile, kalkositin kökenine ilişkin sürecin tanımlanmasını esrarengiz hale getirmektedir. Mathur ve Zhao (2023) kalkositteki düşük bakır izotop değerlerinin sedimanter bakır yatağı kalkositini oluşturan Cu-klorür komplekslerinden kaynaklandığını (Şekil 13'te gösterildiği gibi), süperjen kalkositin ise oksidatif ortamlarda oluştuğu için daha yüksek bakır izotop değerlerine sahip olduğunu öne sürmüşlerdir. Magmatik kalkosit, daha yüksek sıcaklıklarda daha küçük derecelerde fraksiyonlaşma meydana geldiği için ‰ 0 civarında seyreden değerlere sahiptir (Şekil 13).



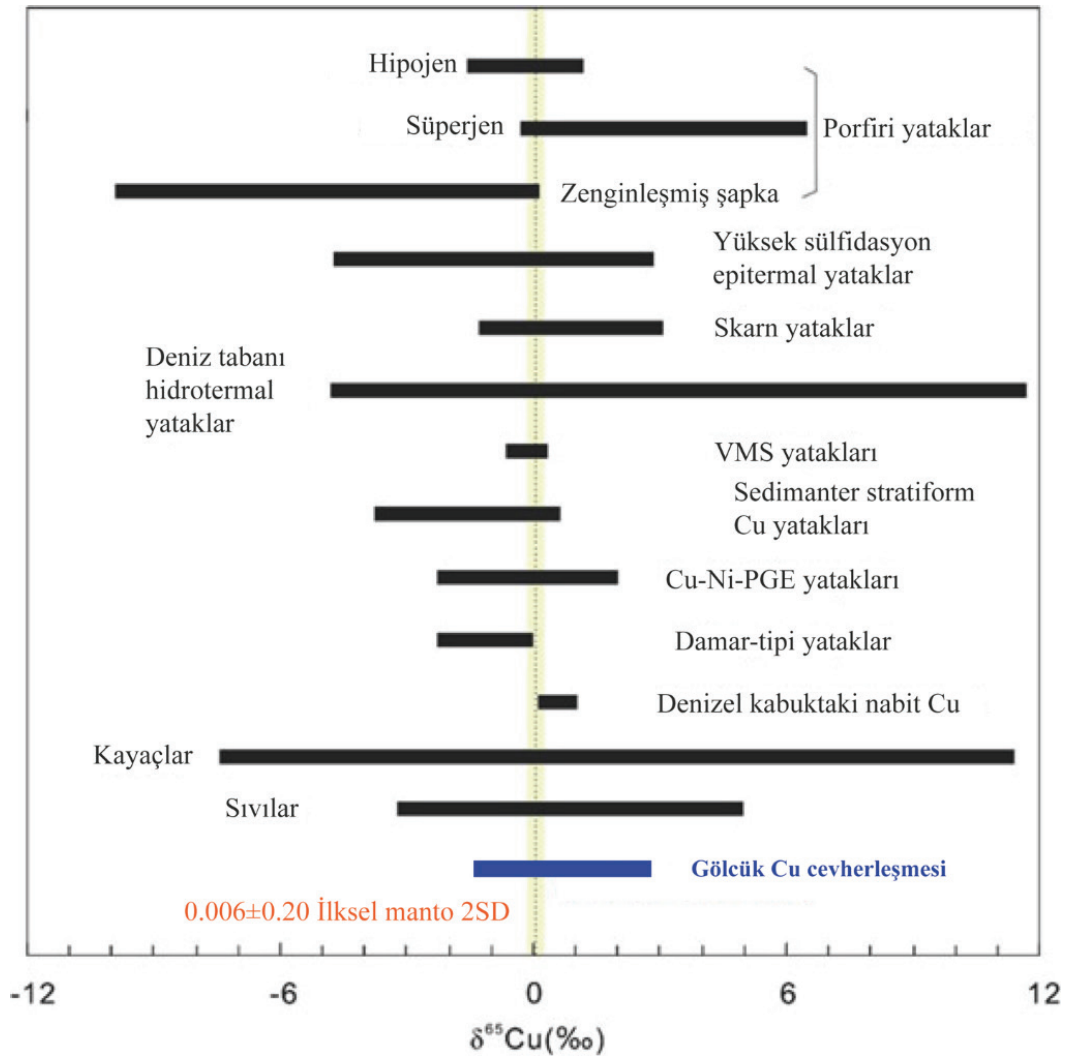
Şekil 10. Gölçük Cu cevherleşmesinde Etibank, Rio Tinto, ve Türmenka tarafından yapılan karotlu sondajların ortalama (%) Cu değerleri (King, 2013'den değiştirilerek).

Figure 10. Average (%) Cu values of core drilling by Etibank, Rio Tinto, and Türmenka at Gölcük Cu mineralisation (modified from King, 2013).



Şekil 11. Gölcük Cu cevherleşmesinin $\delta^{34}\text{S}$ VCDT (‰) oranlarının yaygın kayaç grupları (Hoefs, 2021), Şili manto tipi (Kojima vd., 2009) Cu yatakları ve Sivas havzası evaporitleri (Uçurum vd., 2017) ile karşılaştırılması.

Figure 11. Comparison of $\delta^{34}\text{S}$ VCDT (‰) ratios from Gölcük Cu mineralisation with common rock groups (Hoefs, 2021), Chilean mantle-type (Kojima et al., 2009) Cu deposits and Sivas Basin evaporites (Uçurum et al., 2017).

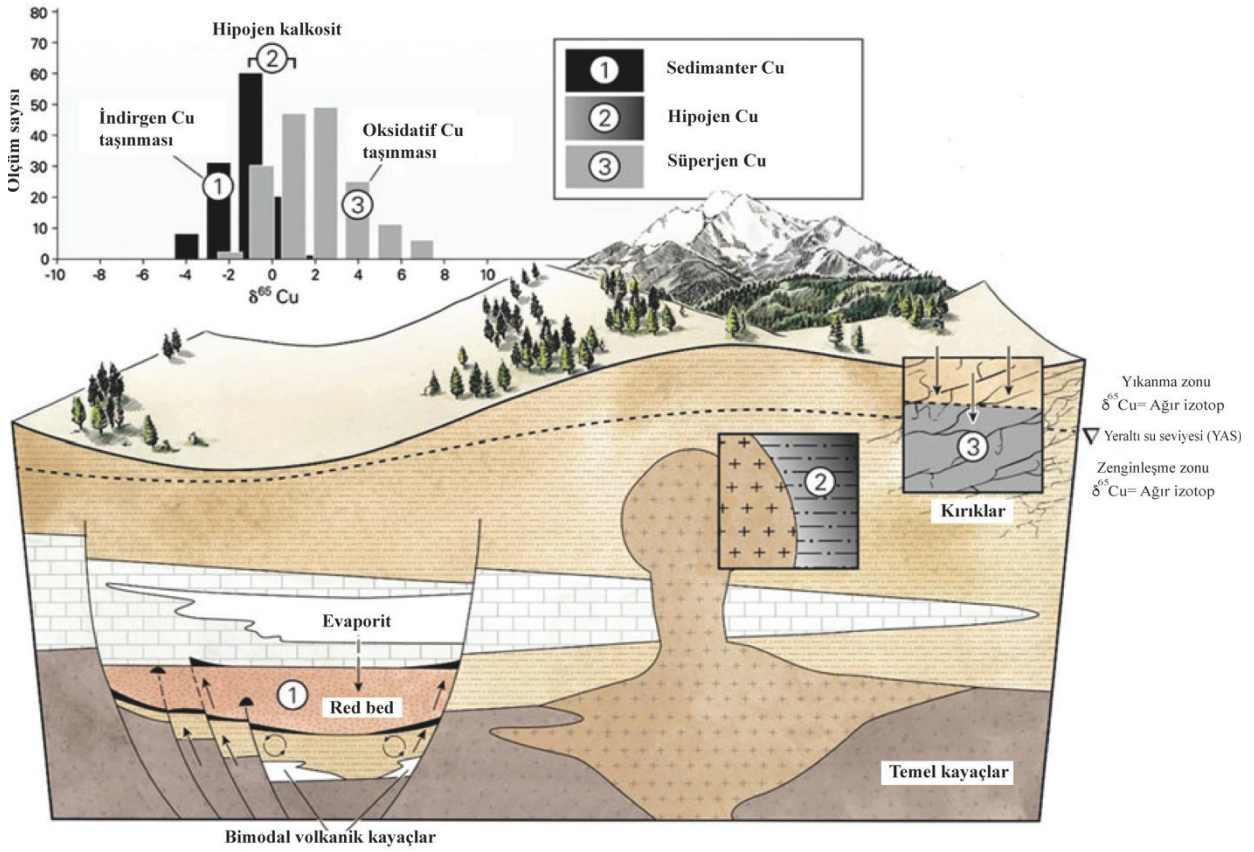


Şekil 12. Gölcük Cu cevherleşmesi, farklı yatak tipleri, kayaçlar, su ve toprak ile porfiri yataklardaki $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) oranlarının dağılımı (Mathur ve Zhao, 2023'ten).

Figure 12. Distribution of $\delta^{65}\text{Cu}$ (‰) ratios in Gölcük Cu mineralisation, different deposit types, rocks, water and soil, and porphyry deposits (from Mathur and Zhao, 2023).

Cevherlerdeki ve sulardaki bakır izotopik fraksiyonlaşması, cevher yataklarını işaret etmesi bakımından önemli potansiyele sahiptir. Bu tekniklerin kullanımındaki en büyük sınırlama, izotop vektörünün bakır-sülfür mineralizasyonunun varlığına işaret edebilmesi, ancak sistemde bulunan bakır miktarını açıkça belirtmek

için kullanılamamasıdır. Diğer jeofiziksel ve jeokimyasal verilerle birlikte kullanıldığında, elde edilen bakır izotopik değerleri maden arama jeologları için değerli bilgiler sağlayabilmekte ve bu özelliği ile Cu yataklarının aranmasında etkili bir yöntem olarak görülmesi teşvik edilmelidir.



Şekil 13. Kalkosit'in Cu izotop bileşimine göre farklı jeolojik ortamlarda oluşumunu gösterir şematik model (Mathur ve Zhao, 2023'ten değiştirilerek).

Figure 13. Schematic model showing the formation of chalcocite in different geological environments according to Cu isotope composition (modified from Mathur and Zhao, 2023).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışması sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Cevherleşme yan kayacı, bazaltik-andezitik lav ve piroklastiklerinden oluşmaktadır.
- Cu-Ag cevherleşmesi ağsı (stockwork) ve kısmen damar şeklinde oluşmuştur.
- $\delta^{34}\text{S}$ ‰ yüzey örneklerinde -3,9'dan +20,0'a, karot örneklerinde -6,3'den +2,9'a değiştiği belirlenmiş ve Şili Manto-tipi Cu $\pm$ Ag yataklarına benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

- $\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ yüzey örneklerinde -0,86'dan +1,38'e, karot örneklerinde ise -0,88'den +2,69'a değişim göstermekte ve Magmaya yakın kaynağı temsil ettiği söylenebilir.
- Sondaj karot örneklerinin analiz sonuçlarına göre, yüzeyden ortalama 9,7 m derinde % 2,97 Cu ve 37 gt/t Ag tenör olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki özellikler itibari ile Gölcük Cu $\pm$ Ag cevherleşmesinin oluşum model;

Yan kayacının bazalt-andezitik lav ve piroklastiklerden oluşması,

Saçınımlı ve lav akıntı yüzeylerine paralel ince damarlar sunması,

$\delta^{34}\text{S}$ ‰ oranlarının Şili Manto-tipi $\text{Cu}\pm\text{Ag}$ yatakları ile benzerlik göstermesi,

$\delta^{65}\text{Cu}$ ‰ oranları Cu 'ın kaynağının manto kökenli olduğunu göstermesi,

Yaygın alterasyonun epidotlama olması ve daha az yaygın alterasyonların, killeşme, karbonatlaşma, epidotlaşma ile iddingsitleşme, serizitleşme, serpantinleşme ve opasitleşme olması,

Cevher minerallerinin

- Bornit→Kalkopirit→Kalkosit→Kovellit→Malakit
 - Manyetit→Hematit
 - Martitleşme

Çalışma bölgesi yakınında Köseadağ Pluton'un yer alması, cevherleşmenin oluşumunda etkin olan ısı kaynağı olarak değerlendirilebilirliği, nedeniyle Wilson ve Zentilli (1999), Wilson vd. (2003a ve b) ve Kojima vd. (2009) tarafından tanımlanan Manto-tipi cevherleşme benzerlik gösterdiği ileri sürülebilir. Bu çalışma ile Türkiye de ilk defa Manto-tipi bir cevherleşmenin varlığı ortaya konarak tartışmaya açılmıştır.

EXTENDED SUMMARY

Gölcük (Koyulhisar-Sivas) $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation is hosted by Eocene basalt, andesite, and associated pyroclastic rocks, which are in contact with volcanic-volcano-sedimentary rocks. The ore minerals present in the region include bornite, chalcopyrite, covellite, chalcocite, malachite, magnetite, and hematite. The host rocks exhibit alteration such as sericite, argillic, and carbonate, iddingsite, and epidote. The gangue minerals found in the area are limited to quartz and calcite.

During drilling operations in and around Gölcük $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation, basalts, andesites,

volcanoclastic, and sedimentary units were identified. The Gölcük mineralisation is situated approximately 2-3 kilometres south of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), while the Köseadağ pluton is located 2.5 kilometres from the Gölcük $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation. Eocene syenite, a quartz-syenite composite, constitutes the Köseadağ pluton, which covers an area of 225 square kilometres in the region. This pluton overlies the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC) and is the source of $\text{Cu}(\pm\text{Ag})$ mineralisation, contributing to the formation of Gölcük mineralisation (Figure 1 and Figure 2).

According to the MTA 1:100,000 geological map (H39-Giresun), mineralisation at Gölcük occurs in Eocene volcanoclastic rocks (Figures 1 and 2). These rocks are consistent with Eocene volcano-sedimentary sequences identified throughout Turkey, particularly in the Black Sea region, and are temporally associated with a regional extension regime surrounded by two compressional regimes (Figure 1; Boztuğ, 2008). This volcano-sedimentary sequence was named the Aksu Formation (Kalkancı, 1974), Cıbiltepe Volcanics (Uysal et al., 1995), and Mucur Formation (Geneli, 2011) in the modern literature. The sequence formed prior to the last collision between the Southern Tauride-Anatolian platform and the Northern Eurasian plate (Late Palaeocene-Early Eocene) and after compression from Oligocene to Late Miocene resulting from the collision between Eurasia and Africa-Arabia. The volcano-sedimentary rocks in the region were designated as sedimentary cover over the CACC by Göncüoğlu et al. (1993, 1994) and Göncüoğlu and Türel (1994). However, Geneli (2011) replicated this sedimentary cover and named the volcano-sedimentary units observed in the NE Pontides as the Eocene Mucur Formation.

The stratigraphic column section in Figure 2 is representative of the Eocene volcano-sedimentary succession observed in Gölcük. The volcano-sedimentary sequences are predominantly found in E-W and NE-SW trending basins. The convergence

that persisted from the Late Miocene onward resulted in the formation of the dextral NAFZ and the westward displacement of the Anatolian block, as depicted in Figure 1.

The Gölcük Cu($\pm$ Ag) mineralisation comprises nine distinct outcrop areas, as illustrated in Figure 1. Olivine minerals, predominantly anhedral, are observed in some samples, exhibiting euhedral characteristics. Clinopyroxenes exhibit higher density and wider distribution compared to other minerals. They are predominantly subhedral and, in certain instances, euhedral. Hornblende and biotite are significantly less prevalent than clinopyroxenes. Plagioclases, predominantly subhedral, exhibit typical polysynthetic twinning accompanied by sericite and argillic alterations, as evidenced in Figures 3, 4 and 5.

In pyroclastic basaltic rocks, the composition comprises randomly dispersed microliths, phenocrysts, and fragments of volcanic rocks. Olivine minerals are generally observed to have a greenish-yellow colour, which arises from oxidation, serpentinisation along microcracks, and iddingsite along mineral boundaries, as illustrated in Figures 3. Microliths predominantly consist of plagioclase minerals. The groundmass material primarily comprises tuff and volcanic glass.

Ore minerals were analysed based on their paragenesis and texture. The copper ore minerals present are bornite, chalcopyrite, covellite, chalcocite, and malachite, and iron oxide minerals are magnetite and hematite (Figure 4). The alteration accompanying the mineralisation includes sericitization, carbonation, and argillisation, which affect the composition of basalt and basaltic pyroclastics, starting from plagioclases. Iddingsitization occurred in euhedral olivine crystals, and epidotization formed in pyroxenes and olivine.

In 20 core drillings conducted by MTA, ETİBANK, Rio Tinto Turkey, Eurasia, and Türmenka, mineralisation was detected as 2.6%

Cu and 41.9 g/t Ag at an average depth of 13.5 m from the surface. However, in drillings conducted by Pasinex, mineralisation was identified as 2.97% Cu and 37 g/t Ag at an average depth of 9.7 m (Table 1) (King, 2013).

Samples collected from a channel were analysed for Cu percentage. Analysis of 52 rock samples collected from a 700 x 300 m area on the surface using Niton XRF commonly found more than 1% Cu. In most samples, more than 2% Cu($\pm$ Ag) was detected. The average Cu percentage reported for channel samples was 0.41%, with values ranging from 0.21% to 0.70% Cu (Figure 9).

$\delta^{34}\text{S}$ data range from -20.0 to +2.8 ‰ from outcrop samples (bornite-chalcopyrite-covellite-chalcocite-malachite) and varies from -6.3 to +0.6 ‰ from core samples (bornite-chalcopyrite-covellite-chalcocite-malachite) (Table 2, Figure 11). The $\delta^{34}\text{S}$ ratios for Gölcük Cu($\pm$ Ag) mineralisation are similar to those of Chilean Manto-type Cu($\pm$ Ag) deposits (Kojima et al., 2009; Makshev and Zentilli, 2002).

$\delta^{65}\text{Cu}$ isotope geochemistry was conducted on Cu-bearing minerals extracted from 14 samples (7 surface-7 core). In outcrop samples $\delta^{65}\text{Cu}$ ranges from -0.86 to +1.38, and in core samples $\delta^{65}\text{Cu}$ ranges from -1.41 to +2.69 ‰ (Table 3, Figure 12) and indicate a mantle origin for Cu.

Copper isotopic fractionation in ores and waters has potential as an indicator of ore deposits. However, the primary limitation of these techniques is that they solely point to the presence of copper sulphide mineralisation, lacking the ability to quantify the copper content within the system (Figure 13). When employed in conjunction with other geophysical and geochemical evidence, copper isotopic data provides valuable insights for exploration geologists.

The proximity of the Köseadağ pluton to the study area and its potential as an effective heat source for mineralisation formation align it with the Manto-type mineralisation defined by Wilson and

Zentilli (1999), Wilson et al. (2003a, b) and Kojima et al. (2009). This study marks the first description of Manto-type mineralisation in Turkey.

KATKI BELİRTME

Finansal desteklerinden dolayı CÜBAP birimine (M-529 nolu proje), saha çalışmaları sırasında lojistik desteklerinden dolayı Pasinex Resources Limited' den Steve WILLIAMS (President, CEO), Clinton SMYTH (VP Exploration)'e, kükürt izotop verilerinin elde edilmesindeki katkılarından dolayı Simon POULSON, Greg B. AREHART'a (UNR-Nevada, ABD) teşekkürü bir borç biliriz. Bu makale kısmen İ. ERDEM KIZILGÖZ' ün Yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ORCID

İsmail Erdem Kızılğöz  <https://orcid.org/0000-0003-1699-1358>

Çiğdem Şahin Demir  <https://orcid.org/0000-0002-0630-4924>

Ali Uçurum  <https://orcid.org/0000-0002-9548-353X>

Nazmi Otlı  <https://orcid.org/0000-0002-8046-8484>

Ahmet Efe  <https://orcid.org/0000-0002-5989-4753>

Ryan Mathur  <https://orcid.org/0000-0001-9095-8527>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Abolipour, M., Rastad, E. & Rashidnejad Omran, N. (2015). Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite, Koshkoiye district of Rafsanjan, Dehaj-Sardoieye subzone. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24 (95), 123–144. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42418>
- Adams, A. E., MacKenzie, S. & Guilford, C. (1984) *Atlas Of Sedimentary Rocks Under The Microscope*. John Wiley & Sons, New York, 104.
- Atakay, E. (2009) *Çorum güney batısındaki volkanik kayaların jeolojik ve petrolojik özellikleri ve Alacahöyük kazısında arkeolojik çalışmalar*, [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 194 s.

- Augustithis, S. (1995). *Atlas Of The Textural Patterns Of Ore Minerals and Metallogenic Processes*. Walter de Gruyter & Co, Berlin, 659 p.
- Barker, A. J., (2014). *A Key for Identification of Rock-forming Minerals in Thin-Section*. CRC Press, Boca Baton, 70.
- Benavides, J., Kyser, T. K., Clark, A. H., Oates, C., Zamora, R., Tarnovschi, R. & Castillo, B., (2007). The Mantoverde iron oxide-copper-gold district, III Región, Chile: The role of regionally-derived, non-magmatic fluid contributions to chalcopyrite mineralization. *Economic Geology*, 102, 415–440.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F. & Zentilli, M. (2002) The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In Porter, T. M. (ed.) *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective* (p. 1-22). Vol. 2. PGC Publications, Adelaide.
- Boveiri, M., Rstad, E., Kojima, S. & Rashidnejad, N. (2013). Volcanic redbed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, 190(2), 107 – 121. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2013/0236>
- Boztuğ, D. (2008). Petrogenesis of the Köseadağ Pluton, Suşehri-NE Sivas, East-Central Pontides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 241-262.
- Boztuğ D. & Jonckheere, R. C. (2007). Apatite fission-track data from central-Anatolian granitoids (Turkey): constraints on Neo-Tethyan closure. *Tectonics*, 26, Article TC3011. <https://doi.org/10.1029/2006TC001988>
- Braxton, D. & Mathur, R. (2011) Exploration applications of copper isotopes in the supergene environment: a case study of the Bayugo Porphyry Copper-Gold Deposit, Southern Philippines. *Economic Geology*, 106(8), 1447–1463. <https://doi.org/10.2113/econgeo.106.8.1447>
- Braxton, D. & Mathur R. (2014) Copper isotopic vectors to supergene enrichment: leaches cap iostopic footprint of the Quellaveco porphyry copper deposit, southern Peru. In *SEG conference proceedings: SEG 2014: Building exploration capability for the 21st century*.

- Cabral, A. R. & Beaudoin, G. (2007) Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration Mont Alexandre Quebec Appalachians Canada. *Mineral Deposita*, 42, 901–912.
- Cai, Y. T., Ni, P., Wang, G. G., Pan, J. Y., Zhu, X. T., Chen, H. & Ding, J. Y. (2016), Fluid inclusion and H-O-S-Pb isotopic evidence for the Dongxiang Manto-type copper deposit, South China. *Journal of Geochemical Exploration*, 171, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.01.019>
- Camus, F., (1980). *Posible modelo genético para los yacimientos de cobre del distrito minero punta del cobre*. *Revista Geológica de Chile*, 11, 51-76.
- Carrillo-Rosúa, F. J., Molares-Ruano, S., Morata, D., Boyce, A. J., Fallick, A. E., Belmar, M., Munizaga, F. & Fenoll Hach-Alí, P. (2006). *Sulfur isotope studies in Chilean Manto-type Cu-(Ag) deposits in the coastal range of central Chile ('area de La Serena y Melipilla) v. 2*. 199–202.
- Carrillo-Rosúa, J., Boyce, A., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F. & Moreno-Rodríguez, V. (2014). Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean manto-type Cu-(Ag) deposits, Coastal Range of central Chile. *Ore Geology Reviews*, 56, 3–24. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.013>
- Carter, W. D. (1961). *Yacimientos de Cobre Tipo Manto, su distribución en franjas mineralizadas. Provincia de Aconcagua*. Boletín N° 10, Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile, 30. *Chem. Geol.* 197, 161–176.
- Craig, J. R. & Vaughan, D. J. (1994). *Ore Microscopy & Ore Petrography*. John Wiley & Sons. Inc., Canada, 434 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1992). *An Introduction to The Rock Forming Minerals* 2nd Edition. Logman Scientific & Technical, 696 p.
- Delvigne, J. E. (1998). *Atlas of Micromorphology of Mineral Alteration and Weathering: The Canadian Mineralogist*, SP# 3, Mineralogical Association of Canada, Canada, 495 p.
- Erdoğan, B., Akay, E. & Uğur, M.S. (1996). Geology of the Yozgat Region and Evolution of the Collisional Çankırı Basin. *International Geology Review*, 38, 788-806.
- Eyuboglu, Y., Santhos, M., Dudas, F. O., Akaryalı, E., Chung, S. L., Akdağ, K. & Bektaş, O. (2013). The nature of transition from adakitic ton on-adakitic magmatism in slab window setting: A synthesis from the eastern Pontides, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, 4(4), 353-375. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.10.001>
- Fontboté, L. (1990). Stratabound Ore Deposits in the Andes: A Review and a Classification According to their Geotectonic Setting. In Fonbote, L., Amstutz, G.C., Cardozo, M., Cedillo, E. & Frutos, J. (eds.), *Stratabound ore deposits in the Andes, SP#8 Society for Geology Applied to Mineral Deposits*, 79-110.
- Geneli, F. (2011). *Petrology of Eocene Volcanism in Central Anatolia: Implications for the Early Tertiary Evolution of the Central Anatolian Crystalline Complex* [Ph.D. Dissertation]. METU Graduate School of Natural and Applied Sciences, 252 p.
- Giesemann, A., Jager, H. A., Norman, A. L., Jrouse, H. L. & Brand W. A. (1994). Online sulphur-isotope determination using an elemental analyzer coupled to a mass spectrometer. *Analytical Chemistry*, 66(18), 2816-2819. <https://doi.org/10.1021/ac00090a005>
- Göncüoğlu, M. C. & Türel, T. K. (1994). Alpine collisional-type granitoids from western Central Anatolian Crystalline Complex. *Journal of Kocaeli University*, 1, 39-46.
- Göncüoğlu, M. C., Erler, A., Toprak, V., Olgun, E., Yılmaz, K., Kuşcu, İ., Köksal, S. & Dirik, K., (1993). Orta Anadolu Masifinin Orta Bölümünün Jeolojisi, Bölüm III, Orta Kızılırmak Tersiyer Baseninin Jeolojik Evrimi (Proje Rapor No: 3313). TPAO, 104 s.
- Göncüoğlu, M. C., Dirik, K., Erler, A. & Yılmaz, K. (1994). *Orta Anadolu Masifinin Doğu Bölümünün Jeolojisi Bölüm IV, Orta Anadolu Masifinin Sivas Baseni ile İlişkisi* (Proje Rapor no: 3535). TPAO, 135 s.
- Hoefs, J. (2021). *Stable Isotope Geochemistry*, 9th Edition: Springer, 528 p.
- Ixer, R. A. (1990). *Atlas Of Opaque and Ore Minerals In Their Associations*. Van Nostrand Reinhold., New York, 208 p.

- Jambor, J. L. & Vaughan, D. J. (1990). *Mineralogical Association of Canada: Advanced Microscopic Studies of Ore Minerals, Short Course Handbook, Ottawa*, Vol.17, 426 p.
- Kalkancı, Ş. (1974). *Etude geologique et p.trochimique du sud de la region de Suşlehi: Geochronologie du massif syenitique de Köseadağ (NE de Sivas-Turquie)* (These de doctorat de 3eme cycle). L'Universite de Grenoble, 84 p.
- Kızılgöz, E. İ. (2019). *Gölcük (Koyulhisar-Sivas) Cu (Ag) Cevherleşmesinin Ana-Eser Element, Duraylı İzotop (S, Cu) Jeokimyası ve Sıvı Kapanım İncelemeleri* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. S.C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 p.
- King, B. H. (2013). *N143-101 Technical report on the Golcuk licence, Sivas province, Turkey*. Pasinex Research Limited, Toronto, 101 p.
- Kirkham, R. V. (1996). Volcanic redbed copper. In Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D. & Thorpe, R. I. (eds.). *Geology of Canadian mineral deposit types. Geol. Surv. Canada (Geology of Canada)*, 8, 241–252.
- Klohn, E., Holmgren, C. & Ruge, H. (1990). El Soldado, a stratabound copper deposit associated with alkaline volcanism in the central Chilean coastal range. In Fontboté, L., Amstutz, G. C., Cardozo, M., Cedillo, E. & Frutos, J. (eds), *Stratabound Ore Deposits in Andes. _ Special Publication No. 8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, vol 8*, (pp: 435-448.). Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88282-1-33>
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D. & Hayashi, K.İ. (2009). Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposit. *Resource Geology*, 59(1), 87-98.
- Kuşçu, İ. & Erler, A. (1998). Mineralization events in a collision related setting: The Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *International Geological Review*, 40, 552–565.
- Kuşçu, İ., Gençalioglu-Kuşçu, G., Tosdal, R. M., Ullrich, T. & Friedman, R. (2010), Magmatism in the Southeastern Anatolian orogenic belt: Transition from arc to post-collisional setting in an evolving orogen. *Geological Society of London, Special Publication*, 340, 437–460.
- Lefebvre, C., Barnhoorn, A., van Hinsbergen, D. J. J., Kaymakci, N. & Vissers, R. L. M. (2011). Late Cretaceous extensional denudation along a marble detachment fault zone in the Kırşehir massif near Kaman, Central Turkey. *Journal of Structural Geology*, 33(8), 1220-1236. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2011.06.002>
- Lefebvre, C., Meijers, M. J. M., Kaymakci, N., Peynircioğlu, A., Langereis, C.G. & van Hinsbergen, D. J. J. (2013). Reconstructing the geometry of central Anatolia during the late Cretaceous: large-scale Cenozoic rotations and deformation between the Pontides and Taurides. *Earth Planet. Sci. Lett.* 366, 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.01.003>
- Lufkin, J. L. (2012). *Ore Mineralogy & Microscopy*. Golden Publisher, CO, USA, 192 p.
- MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H. & Guilford, C. (1982). *Atlas Of Igneous Rocks And Their Textures*. John Wiley & Sons, New York, 148.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M. & Choulet, F. (2017). Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.025>
- Maksaev, V. & Zentilli, M. (2002). Chilean Stratabound Cu (Ag) Deposits: An Overview: In Porter, T. M. (ed.), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*, Vol. 2, (p: 185–205). PGC Publications, Adelaide.
- Marshall, D., Anglin C.D (‘Lyn). & Mumin, H. (2004). *Ore Mineral Atlas*. GAC, Canada, 112.
- Mathur, R. & Zhao, Y. (2023). Copper Isotopes Used in Mineral Exploration. In D. Huston and J. Gutzmer (Eds.), *Isotopes In Economic Geology, Metallogenesis and Exploration, Mineral Resource Reviews*, 433-450.
- Mathur, R., Titley, S., Barra, F., Brantley, S., Wilson, M., Phillips, A., Munizaga, F., Maksaev, V., Vervoort, J. & Hart, G. (2009). Exploration Potential of Cu Isotope Fractionation in Porphyry Copper Deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 102(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.09.004>
- Mathur R., Falck, H., Belogub E., Milton J., Wilson M., Rose A. & Powell, W. (2018). Origins of chalcocite

- defined by copper isotope values. *Geofluids*, Article 854829. <https://doi.org/10.1155/2018/5854829>
- Megaw, P. K. M., Ruiz, J. & Titley, S. R. (1988). High-temperature, carbonate-hosted Ag–Pb–Zn (Cu) deposits of northern Mexico. *Economic Geology*, 83(8), 1856–1885. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.8.1856>
- Melgarejo, J. C. & Martin, R. B. (2011). *Atlas Of Non-Silicate Minerals In Thin Section*. The Canadian Mineralogist SP 7, Canada, 522 p.
- Moix, P., Beccalotto, L., Kozur, H. W., Hochard, C., Rosselet, F. & Stampfli, G. M. (2008). A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. *Tectonophysics*, 451, 7–39.
- Movahednia, M., Maghfouri, S., Fazli, N., Rastad, E., & Ghaderi, M., (2022). Metallogeny of Manto-type stratabound Cu-(Ag) mineralization in Iran: Relationship with NeoTethyan evolution and implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, 149, Article 105064. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105064>
- Munizaga, F. & Zentilli, M. (1994) Sulphur isotope characterization of stratabound copper deposits in Chile Comunicaciones, *Universidad de Chile, Santiago*, 45, 127–134.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M. & Palacios, C. (2008). Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita*, 43, 281–293.
- Paar, W.H., de Brodtkorb, M. K., Putz, H. & Martin, R. F. (2016) Atlas Of Ore Minerals: Focus On Epithermal Deposits Of Argentina. *The Canadian Mineralogist*, SP#11, Mineralogical Association of Canada, Canada, 402.
- Palacios, C. (1986). Subvolcanic Copper deposits in the Coastal Range of Northern Chile. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*, 1985, H.9/10, Stuttgart, 1605-1615.
- Picot, P. & Johan, Z. (1982). *Atlas Of Ore Minerals*. Elsevier, Amsterdam, 458.
- Pollard, P. J. (2006), An intrusion -related origin for Cu-Au mineralization in iron oxide-copper-gold (IOCG) provinces. *Mineralium Deposita*, 41, 179-187. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0054-x>
- Pracejus, B. (2015). *The Ore Minerals Under The Microscope An Optical Guide*, 2nd Edition. Atlases In *Geoscience 3*, Elsevier, 1098 p.
- Ramdohr, P. (1980). *The Ore Minerals and Their Intergrowths, International Series of Monographs on Earth Sciences*. V. 35: volume 1+2, Pergamon Press., Germany, 1207 p.
- Ruiz, C. & Peebles, F. (1988). *Geología, distribución y génesis de los yacimientos metalíferos chilenos*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 305.
- Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalan, J., Klohn, C., Klohn, E. & Levi, B. (1965). *Geología y yacimientos metalíferos de Chile*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 305 p.
- Salehi, L. & Rasa, I. (2016). Sulfur Isotopic Characteristics of the Chalcocite in Madan Bozorg Cu Deposits, Abbas Abad, NE Iran. *34th National and the 2nd International Geosciences Congress*, Tehran, Iran.
- Sato, T. (1984). Manto type copper deposits in Chile: a review. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 35, 565-582.
- Shen, P., Pan, H., Li, Z., Sun, J., Shen, Y., Li, C., Feng, H. & Cao, C. (2020). A Manto-type Cu deposit in the Central Asian Orogenic Belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China). *Ore Geology Reviews*, 124, Article 103656. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103656>
- Sillitoe, R. H. (1992). Gold and copper Metallogeny of the central Andes: Past, present and future exploration objectives. *Economic Geology*, 87(8), 2205-2216.
- Smyth, C. P. (2013). *Golcuk Property Exploration Status Report as of 17 August, 2013*. Pasinex Resources Limited, 41 s.
- Smyth, C. P. (2014). *Golcuk Property Exploration Status Report as of 31 December, 2013*. Pasinex Resources Limited, 52 s.
- Sun, J., Shen, P., Pan, H., Li, C., Ma, G. & Li, W. (2021), Geochemistry and genesis of the Hongguleleng Manto-type Cu deposit, West Junggar, Xinjiang, China. *Journal of Asian Earth Sciences: X*, 5, Article 100057. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2021.100057>
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181–241.

- Taylor, R. (2009). *Ore Textures: Recognition And Interpretation*. Springer, Berlin, 288 p.
- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A. (1980). Ünye-Ordu-Reşadiye-Koyulhisar arasının stratigrafisi: *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23(2), 179-191. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/eacf7a18a32812d_ek.pdf.
- Thompson, A. J. B. & Thompson, J. F. H. (1996) *Atlas of Alteration: A Field And Petrographic Guide To Hydrothermal Alteration Minerals*. GAC, Canada, 119.
- Trist'a-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S., Ferraris, F. (2006). Re-Os isotope systematics for the Lince-Estefanía deposit: Constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of northern Chile. *Mineralium Deposita*, 41, 99-105. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0048-8>
- Uçurum, A. (2000). Listwaenites in Turkey: Perspectives on Formation and Precious Metal Concentration with Reference to Occurrences in East-Central Anatolia. *Ofoliti*, 25(1), 15-29.
- Uçurum, A. & Larson, L.T. (1999). Geology, Base-Precious Metal Concentration and Genesis of the Silica-Carbonate Alteration (Listwaenites) from Late Cretaceous Ophiolitic Melanges at Central East Turkey. *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 59, 77-104.
- Uçurum, A., Şahin Demir C., Efe, A., Hofstra, A. H., Arehart, G. B., Pernicka, E., Molnar, F., Bakker, R. J. (2017). Sr, S, O, and H Isotopic Compositions of Celestine Deposits from the Tertiary Sivas Basin, Turkey. *SEG-2017*, September 17-20, 2017, Beijing, China, Abstract.
- Uysal, Ş., Bedi, Y., Kurt, İ. ve Kılınç, F. (1995). Koyulhisar (Sivas) dolayının jeolojisi (Yayınlanmamış Rapor No: 9838). MTA, 120 s.
- Vila, T. Lindsay, N. & Zamora, R. (1996). Geology of the Manto Verde copper deposit, northern Chile: A specularite-rich hydrothermal tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone. In Camus, F., Sillitoe, R. M. & Petersen, R. (Eds.), *Andean copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*. Special Publications of the Society of Economic Geologists. <https://doi.org/10.5382/SP.05.11>
- Westra, G., (1988). *La importancia del metamorfismo de carga en la formación de yacimientos de cobre de tipo manto*: preprint, Keynote Address, V Cong. Geol. Chileno, Santiago, 18.
- Wilson, N. S. F. & Zentilli, M. (1999). The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. *Economic Geology*, 94(7), 1115-1136. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.94.7.1115>
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. & Spiro, B. (2003a). A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper district, Chile: The essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology*, 98(1), 163-174. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.163>
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Reynolds, P. H. & Boric, R. (2003b). Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type Cu deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of K-feldspar. *Chemical Geology*, 197(1-4), 161-176. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00350-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00350-9)
- Wilton, D. H. C. & Sinclair, A. J. (1988). Ore geology and genesis of a stratabound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia. *Economic Geology*, 83, 30-45. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.1.30>
- Yılmaz, A. (1985). Yukarı Kelkit Çayı ile Munzur Dağları arasının temel jeoloji özellikleri ve yapısal evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28(2), 79-82. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9490244a7cabc1f_ek.pdf
- Yiğit, Ö. (2006). Gold in Turkey-a missing link in Tethyan metallogeny. *Ore Geology Reviews*, 28(2), 147-179. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.04.003>
- Yiğit, Ö. (2009). Mineral Deposits of Turkey in Relation to Tethyan Metallogeny: Implications for Future Mineral Exploration. *Economic Geology*, 104(1), 19-51. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.104.1.19>
- Zhao, L., Han, J., Lu, W., Liang, P. & Jourdan, F. (2020). The Middle Permian Hongshanliang Manto-type copper deposit in the East Tianshan: Constraints from geology, geochronology, fluid inclusions and H-O-S isotopes. *Ore Geology Reviews*, 124, Article 103601. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103601>