



Karadoru ve Karaköy (Biga Yarımadası, Çanakkale) Arasındaki Pb-Zn-Cu Cevherleşmelerinin Kökeni, Jeokimyası ve Kükürt İzotop Oranları

Origin, Geochemistry and Sulfur Isotope Ratios of Pb-Zn-Cu Mineralization between Karadoru and Karaköy (Biga Peninsula, Çanakkale)

Didem Kıray^{1*}, Mustafa Kuşcu², Oya Cengiz²

¹ Barbaros Mh. Hacı Mustafa Bey Cd. No:12, 17100, Çanakkale, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 32260, Çünür, Isparta, Türkiye

• Geliş/Received: 30.09.2023

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 29.02.2024

• Kabul/Accepted: 04.03.2024

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 26.04.2024

• Baskı/Printed:

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışma Biga Yarımadası (KB Türkiye)'nda yer alan Karadoru (Biga, Çanakkale) ve Karaköy (Yenice, Çanakkale) arasındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin jeokimyasını ve kükürt izotop oranlarıyla kökenini ortaya koymaya yöneliktir. İncelenen cevherleşmeler, Karadoru, Peynirderesi, Madençeşme (Biga, Çanakkale) ve Karaköy (Yenice, Çanakkale) olmak üzere toplam 4 lokasyonda gözlenmektedir. Bölgenin en alt tektonostratigrafik birimini Karakaya Kompleksi oluşturmaktadır. Karakaya Kompleksinin birimi olan ve başlıca metabazik kayalar içeren Nilüfer birimi onun üzerinde de kireçtaşları, spilitik bazalt, diyabaz ve arkozik kumtaşlarını kapsayan Hodul birimi yer alır. Karakaya Kompleksine ait birimlerini Oligosen-Miyosen yaşlı Karadoru, Sarıçayır ve Soğucak granitoidleri kesmektedir. Bölgede yüzlek veren birçok plütonik kütlelerin Karakaya Kompleksi (Nilüfer ve Hodul)'ne ait birimleri kestiği lokasyonlarda skarn zonları gelişmiştir. Karadoru, Sarıçayır ve Soğucak granitoid kayaları üzerine Miyosen yaştaki Çan volkanitleri gelir. İncelenen Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri Karakaya Kompleksi içerisindeki Karadoru ve Madençeşme lokasyonlarında Nilüfer biriminde (epimetamorfikler), Peynirderesi ve Karaköy (Arapuçandere) mevkiilerinde Hodul birimi (metadiyabazve kristalize kireçtaşı) içerisinde damar şeklinde yataklanmaktadır. Cevherleşmenin mineral parajenezini galen, kalkopirit, sfalerit cevher mineralleri ile pirit, limonit, hematit, malakit, manganoksit, kuvars, kalsit ve klorit oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki cevherli zonlardan alınan galen ve pirit numunelerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerleri sırasıyla Karadoru ‰ -3,4 ve ‰ -3,9, Karaköy ‰ -1,7 ve ‰ -1,6, Peynirderesi ‰ -1,7 ve ‰ -4,0 şeklindedir. İncelenen Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinde galenlerde Sb/Bi oranının 0,06-0,34 ppm, piritlerde Co/Ni oranı 1-10 ppm arasında olması, kükürt izotop oranlarının negatif değerlerde olması, cevherleşmenin magmatik hidrotermal kökenli ve I-tipi bir magmatik aktiviteye bağlı olduğuna işaret etmektedir. Buna ek olarak, Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin damar şeklinde epijenetik yataklanması, iz element içeriklerinin (Pb, Zn, Cu, Bi, Sb, Ag, Au, W, As) yüksekliği ve silisleşme, serizitleşme, killeşme ve limonitleşme alterasyonlarının gözlenmesi de cevherleşmenin hidrotermal kökenli olduğunu destekler niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Biga Yarımadası, Karadoru-Karaköy Pb-Zn-Cu cevherleşmesi, Karakaya Kompleksi, köken, $\text{S}^{34/32}$ izotop oranları.

Abstract: This study aims to investigate the geochemistry and sulfur isotope ratios, as well as the origin of Pb-Zn-Cu mineralization, between Karadoru (Biga, Çanakkale) and Karaköy (Yenice, Çanakkale) in the Biga Peninsula (NW Turkey). Mineralization was observed at four locations: Karadoru, Peynirderesi, Madençeşme (Biga, Çanakkale) and Karaköy (Yenice, Çanakkale). The lowest tectonostratigraphic unit in the region is the Karakaya Complex. The Nilüfer unit, which is part of the Karakaya Complex and mainly consists of metabasic rocks, is overlain by the Hodul

unit. The Hodul unit comprises limestones, spilitic basalt, diabase, and arkosic sandstones. The Karadoru, Sarıçayır, and Soğucak granitoids, which are Oligocene-Miocene in age, cut through units of the Karakaya Complex. Skarn zones developed in locations where many plutonic masses intersect with the units of the Karakaya Complex (Nilüfer and Hodul). The Çan volcanics, which date back to the Miocene era, are found on top of the Karadoru, Sarıçayır, and Soğucak granitoid rocks. The Pb-Zn-Cu mineralizations were deposited as veins in the Nilüfer unit (epimetamorphics) in the Karadoru and Madençeşme locations within the Karakaya Complex, and in the Hodul unit (metadiabase and crystallized limestone) in the Peynirderesi and Karaköy (Arapuçandere) locations. The paragenesis includes galena, chalcopyrite, sphalerite, pyrite, limonite, hematite, malachite, manganese, quartz, calcite, and chlorite. The $\delta^{34}\text{S}$ values of galena and pyrite samples taken from the ore zones in the study area are as follows: Karadoru -3.4‰ and -3.9‰, Karaköy -1.7‰ and -1.6‰, and Peynirderesi -1.7‰ and -4.0‰. The examined Pb-Zn-Cu mineralizations had Sb/Bi ratio in galena ranging from 0.06-0.34 ppm, and Co/Ni ratio in pyrites ranging from 1-10 ppm. The sulfur isotope ratios are negative, indicating that the mineralization has magmatic hydrothermal origin and is due to I-type magmatic activity. The mineralization contains vein-shaped epigenetic deposits of Pb-Zn-Cu mineralization, high trace element contents (Pb, Zn, Cu, Bi, Sb, Ag, Au, W, As), and silicification, sericitization, argillization, and limonitization are observed. These characteristics support the view that the mineralization has hydrothermal origin.

Keywords: Biga Peninsula, Karadoru-Karaköy Pb-Zn-Cu mineralization, Karakaya Complex, origin, $\text{S}^{34/32}$ isotope ratios.

GİRİŞ

Birçok cevherleşmeye ev sahipliği yapan Biga yarımadası, Tetis Avrasya Metalojenik Kuşağı'nın önemli bir parçasıdır ve KB Anadolu'da yer almaktadır. Türkiye'de doğu-batı gidişli orojenik kuşaklar, dört ana tektonik birime (Pontidler-Lavrasya kısmı, Anatolidler, Toridler, Gondwana) (Ketin, 1966) ve kuzeybatıdan güneydoğuya uzanan üç tektonik bölgeye (Ezine zonu, Ayvacık-Karabiga zonu, Sakarya zonu) (Okay vd., 1990 ve 1991) ayrılmıştır (Şekil 1). Çalışma alanı, Karadoru (Biga)-Karaköy (Yenice), Biga Yarımadası'nın doğusunda Paleo-Tetis aktif kenar birimlerine sahip kıtasal parçası olan Sakarya zonunda yer almaktadır. Bu yarımada jeolojisinin büyük bir bölümünü kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase-Erken Tersiyer döneminde Sakarya kıtası ile Anatolid-Torid platformunun çarpışması sonucunda geniş yayılımlar sunan magmatizma (Şengör ve İlmaz 1981; Yılmaz, 1990; Yılmaz vd., 1994; Şengör vd., 1993; Genç, 1998; Yılmaz vd., 2001) ürünü oluşturmaktadır.

Biga Yarımadası'nın zengin jeolojisinin yanı sıra epitermal Pb-Zn-Cu±Ag±Au, Au-Ag ve Pb-Zn-Cu distal skarn tipi cevherleşmelerinin çeşitliliği, değerli ve baz metaller bakımından önemli bir metalojenik kuşak olması sebebiyle

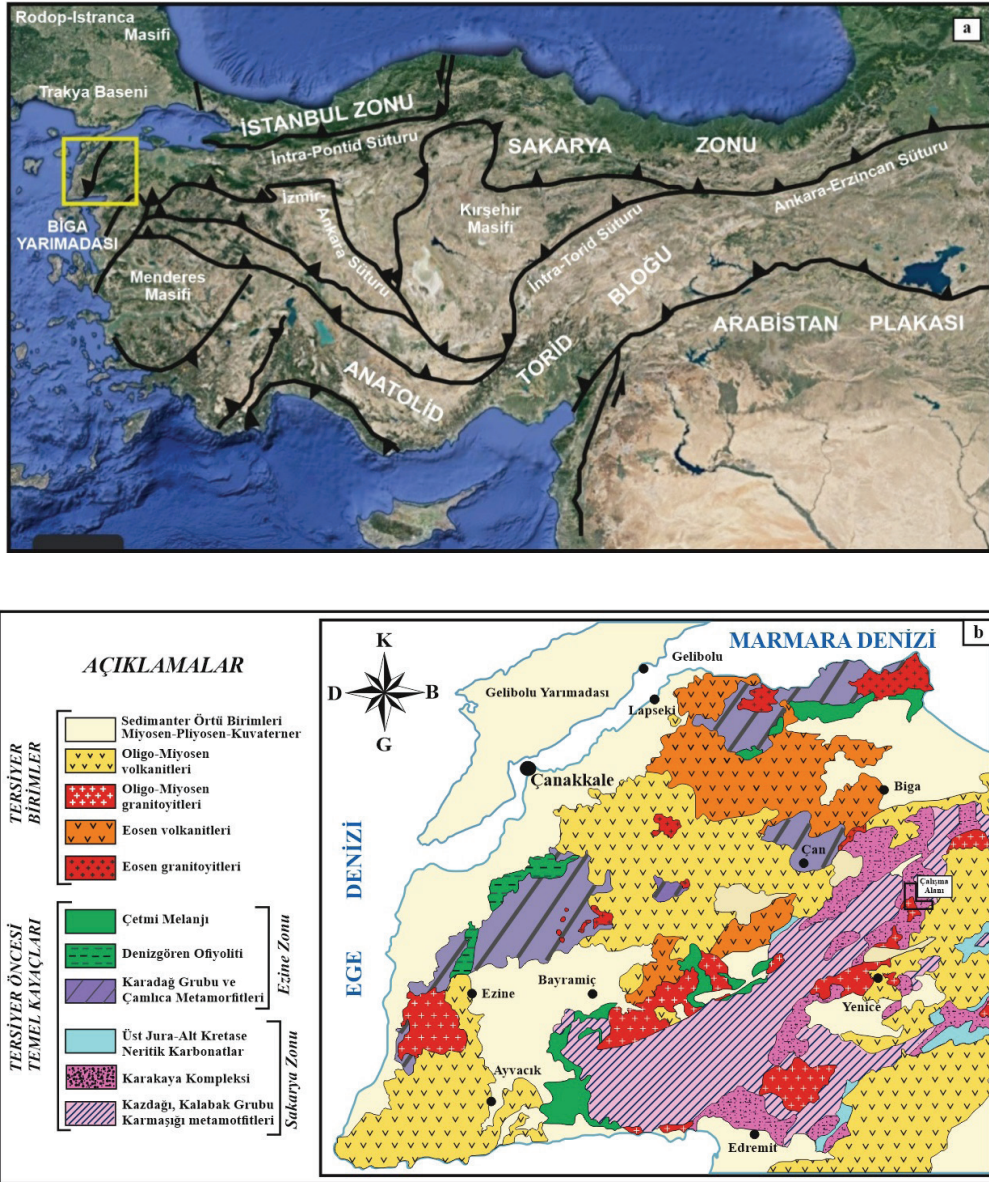
pek çok araştırmacı bu bölgede çalışmaya odaklanmıştır (Yılmaz vd., 2010; Yiğit, 2012; Bozkaya ve Banks, 2015; Richards, 2015; Çiçek ve Oyman, 2016; Sánchez vd., 2016; Menant vd., 2018; Kuşçu vd., 2019; Çiçek vd., 2021; Kıray, 2021; Kıray ve Cengiz, 2023). Biga Yarımadasının farklı lokasyonlardaki Pb-Zn cevherleşmelerinin jeolojisi, mineralojisi-petrografisi, petrolojisi ve jeokimyası ile ilgili pek çok araştırma mevcuttur (Doyuran, 1970; Ovalıoğlu, 1973; Arvas ve Önder, 1976; Yenigün, 1978; Çağatay, 1980; Aydın, 1981; Çetinkaya vd., 1983; Anıl, 1984; Tufan ve Kara, 1987; Ağdemir vd., 1994; Andıç ve Kayhan, 1997; Pehlivan ve Çetin, 1997; Örgün vd., 2005; Aysal vd., 2006; Bozkaya ve Gökçe, 2009; Kıray, 2010; Bozkaya, 2011a, 2011b; Akıska vd., 2013; Demirela vd., 2014; Akıska ve Demirela, 2014, 018; Çiçek ve Oyman, 2016; Akıska, 2020; Ünal-Çakır, 2020; Demirela ve Akıska, 2022). Bölgedeki I-tipi intrüzif kütlelerin geliştirmiş olduğu skarn zonlarında önemli Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri görülmektedir. Bölgenin en önemli Pb-Zn-Cu yataklarından Arapuçandere (Yenice-Çanakale) Pb-Zn-Cu±Ag yatağı pek çok araştırmacının ilgisini çekmiş ve jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal bakımdan incelenmiştir (Kaden, 1957; Bingöl, 1968; Yücealay, 1971,

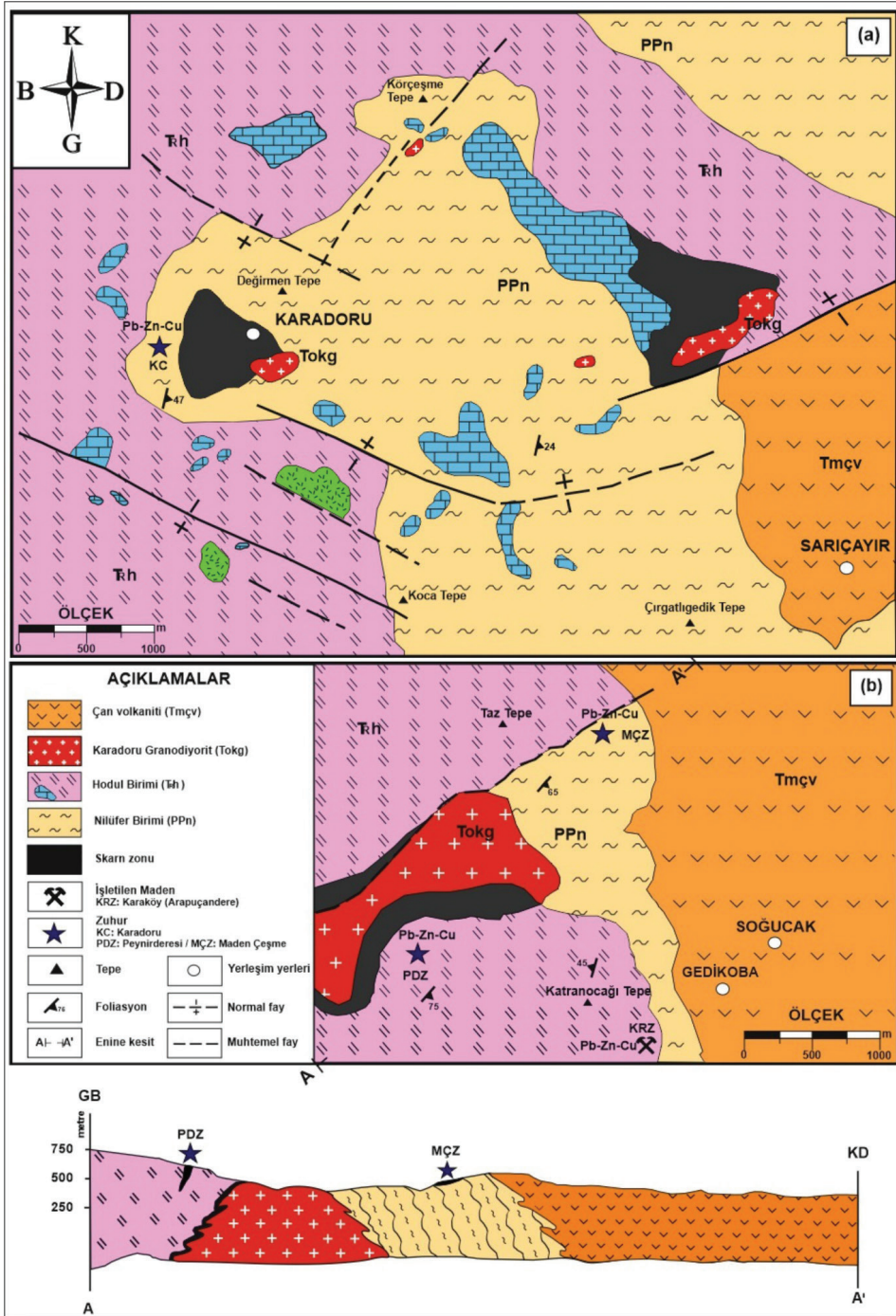
BASKIDA

Karadoru ve Karaköy (Biga Yarımadası, Çanakkale) Arasındaki Pb-Zn-Cu Cevherleşmelerinin Kökeni, Jeokimyası ve Kükürt İzotop Oranları

1976; Anıl, 1979, 1984; Çağatay, 1980; Aydın, 1981; Aydın ve Öztunalı, 1981; Anıl ve Yaman, 1985; Gültekin ve Örgün, 2005; Örgün vd., 2005; Kasapçı, 2005; Bozkaya vd., 2008; Kasapçı vd., 2008; Kıray, 2010; Bozkaya, 2011a; Bozkaya ve Banks, 2015; Çiçek vd., 2021). Bu çalışmada, Karadoru-Karaköy arasındaki (Çanakkale) Pb-

Zn-Cu cevherleşmelerinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri incelenerek cevher mineralojisi, iz element içerikleri, galen-pirit sülfid minerallerinin kükürt izotop bileşimleri ile cevherleşmenin kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar önceki çalışmaların verileri ile de karşılaştırılmıştır.





JEOLOJİK KONUM

İnceleme alanını, temelini oluşturan Karakaya Kompleksine ait Geç Prekambriyen - Erken Paleozoyik yaşlı Nilüfer birimi, üzerine uyumsuz dokanakla gelen Triyas yaşlı Hodul birimi ve her iki birimi kesen Oligosen-Miyosen yaşlı intrüzifler (Karadoru, Sarıçayır, Soğucak) ve Miyosen yaşlı volkanik kayalar (Çan volkanitleri) yüzeylemektedir (Şekil 2a ve b).

Karakaya Kompleksinin en alt tektonik birliği olan Triyas yaşlı Nilüfer birimi, düşük dereceli yeşilist metamorfizması geçirmiş (Okay vd., 1990; Okay ve Altın, 2004; Aysal 2005; Kasapçı vd., 2008), kuvvetli biçimde deforme olmuş metabazik, metatüf, fillit ve karbonat serilerinden oluşmaktadır (Okay vd., 1991; Kaya ve Mostler 1992; Kozur vd., 2000; Okay ve Goncüoğlu, 2004; Aysal vd., 2006). İnceleme alanında Nilüfer biriminin litolojisini başlıca; metabazik, metatüf, fillat, serizit-kuars-şist, granat şist, mermer, kalkıştler oluşturmaktadır ve nadir olarak serpantin blokları içermektedir. Ayrıca, birimin çatlak düzlemleri boyunca kalsit damarları da gelişmiştir. Birimin mineralojisini klorit, epidot, aktinolit, tremolit ve opak mineralleri oluşturmaktadır. Duru vd. (2007), Pehlivan vd., 2007 ve Kandemir vd. (2013), Nilüfer birimini Sazak formasyonu olarak adlandırmışlar, Okay vd. (1990) ise Sazak formasyonunun Nilüfer biriminin bir bölümüne eş değer olduğunu belirtmiştir. Buna dayanarak, Nilüfer biriminin metamorfizma yaşının Geç Triyas (Okay vd., 1990; 1991), oluşum yaşının da Geç Prekambriyen-Erken Paleozoyik (557-582 My) (Tunç vd., 2012; Yiğitbaş ve Tunç, 2020) olduğu kabul edilmiştir.

Nilüfer biriminin metamorfik temel kayaları üzerine uyumsuz olarak gelen Triyas yaşlı Hodul biriminin litolojisi türbiditik bir istif şeklinde olup başlıca sarımsı boz renkli çakıtaşı, siyah renkli grovak ve şeyller, metakumtaşları, yer yer yeşil renkli spilitik bazalt, diyabaz ve Permiyen ve Karbonifer kireçtaşı blokları (Okay vd., 1991)

(olistostromal) içerir (Kıray, 2010) (Şekil 3). Siyah renkli şeyller içerisinde Üst Triyas için karakteristik olan Halobia, Daonella ve Posidonomya fosilleri bulunmuştur (Kaaaden, 1956).

Çalışma alanı içerisinde Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Karadoru, Sarıçayır ve Soğucak granitoid sokulumlar mevcuttur (Karacık ve Yılmaz, 2008; Delaloye ve Bingöl, 2000; Aysal, 2015; Çiçek vd., 2017; Akış, 2011; Çiçek vd., 2021). Bu intrüzifler, Triyas yaşlı Nilüfer birimi ve Hodul birimini kesmektedir. Karadoru, Sarıçayır ve Soğucak intrüziflerinden etkilenen temel kayalar birimlerinde kontak metamorfizma ve skarn zonları gelişmiştir. Oligosen-Miyosen yaşlı Karadoru granodiyoritinin taze yüzeyi beyazımsı bej renkli, orta taneli (Öngen, 1982), ayrışma yüzeyi sarımsı kahverengimsi renklidir (Kıray, 2010). Karadoru granodiyoritine en yakın çevre granodiyoritlerin mineralojisi hemen hemen aynı olduğundan, monzo-diyorit karakterinde olduğu kabul edilir. Plajiyoklaz, alkali feldspat, kuvars, biyotit, amfibol (hornblend), sfen, klorit, epidot ve opak mineraller gözlenen önemli minerallerdir (Öngen, 1982). Soğucak plütonu, Karadoru granitoidine benzer petrografik özellikler göstermektedir. Fazla aşınmamış olan bu plütonun tavan zonu yüzlek vermiştir (Öngen, 1982). Sarıçayır graniti ise granofirik dokulu, pembemsi renkli, alkali feldspat (ince-orta taneli) granit ve aplitik granitlerle temsil edilmiş ve Karadoru granitoidinin son evresinde yerleşmiştir (Aysal vd., 2006). Bu sebeple Şekil 2'de Soğucak ve Sarıçayır granitleri ile küçük apofizleri Karadoru granodiyoriti içine alınarak çizilmiştir. Karakaya kompleksi birimleri ve intrüzifleri kesen Miyosen yaşlı (Öngen vd., 2002; Laçın, 2003;) Çan volkanikleri, yoğun altere olmuş andezit, dasit ve riyodasit, bazaltik andezit lav, tüf ve aglomeradan oluşur (Ercan vd., 1995; Örgün vd., 2005; Çiçek vd., 2021) ve bu volkanikler Sarıçayır, Soğucak ve Arapuçandere yatağı çevresinde yaygın olarak yüzeylenir (Şekil 2a ve b).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	BİRİM	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	TERSİYER	MIYOSEN	ÇAN KARADORU GRANODİYORIT VOLKANİTLERİ	Tmçv		Andezitik lav, tuf ve aglomera
		OLİGOSEN		Tokg		Granit porfir
MESOZOYİK	TRİYAS		HODUL BİRİMİ	T _{rh}		Kontakt metamorfizma ve skarn zonu: Granatlı ve epidotlu skarn ve çeşitli hornflens zonu
			NİLÜFER BİRİMİ	T _{rn}		Çeşitli boylarda kireçtaşı, spilit bazalt, diyabaz, radyolaritli çört blokları içeren arkozit çakıltaşı, kumtaşı ve şeyl
						Tektonik dokanak
						Metabazik lav/tuf, granatlı fillat, şist, mermer ve kalkşist bantları, yer yer serpantin blokları

Şekil 3. İnceleme alanının tektonostratigrafik sütun kesiti (Kıray, 2010'den değiştirilmiştir).

Figure 3. Tectonostratigraphic columnar section for the study area (modified from Kıray, 2010).

MATERYAL ve METOTLAR

İnceleme alanındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin gözlemlendiği Karadoru, Madençeşme, Peynirderesi ve Arapuçandere lokasyonlarından derlenen 25 adet yankayaç, cevherli yankayaç ve cevher numunesinin ince kesit ve parlak kesitleri Süleyman Demirel Üniversitesi (S.D.Ü.) Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. İnce kesitlerin mineralojik-petrografik incelemeleri ve mikro görüntülerinin alınması aynı üniversite ve Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında 10 Olympus (BH-2) marka polarizan mikroskop altında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda numunelerin mineralojik-petrografik tanımlamaları, mineralojik bileşimi, yapıları ve dokuları belirlenmiştir.

Karadoru (KC-1), Madençeşme (MÇZ-1) ve Peynirderesi (PDZ-1)'nin herbirinden 1 adet, Karaköy-Arapuçandere (KRZ-1, KRZ-2, KRZ-2, KRZ-3, KRZ-4) maden yatağından 4 adet cevher numunesi olmak üzere toplam 7 numune alınmıştır. Karadoru (KC-P, KC-G), Peynirderesi (PDZ-P, PDZ-G) ve Karaköy (KRZ-P, KRZ-G) maden yatağından 1 adet galen ve 1 adet pirit olmak üzere toplam 6 adet cevher numunesinin parlak kesitleri S.D.Ü. Su, Kayaç ve Mineral Analiz laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu kesitlerin cevher mikroskobu çalışmaları Olympus BX-51 polarize mikroskop altında 5.1 megapiksel kamera ile yapılmış ve mikro görüntüleri Image Pro Plus 5.1v görüntü analiz sistemi kullanılarak alınmıştır. İncelenen cevherleşmenin parajenezi, süksesyonu, cevher minerallerinin dokusal özellikleri, ikincil cevher mineralleri ve gang mineralleri arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır.

Jeokimyasal analizler kapsamında Bureau Veritas Mineral (BVM) Kanada laboratuvarında 7 adet cevherli yan kayaç numunesi ve 6 adet cevher (galen ve pirit) numunesi 200 mesh olacak şekilde öğütülmüştür. Daha sonra lityum borat füzyonu ile çözülerek element içerikleri Endüktif olarak

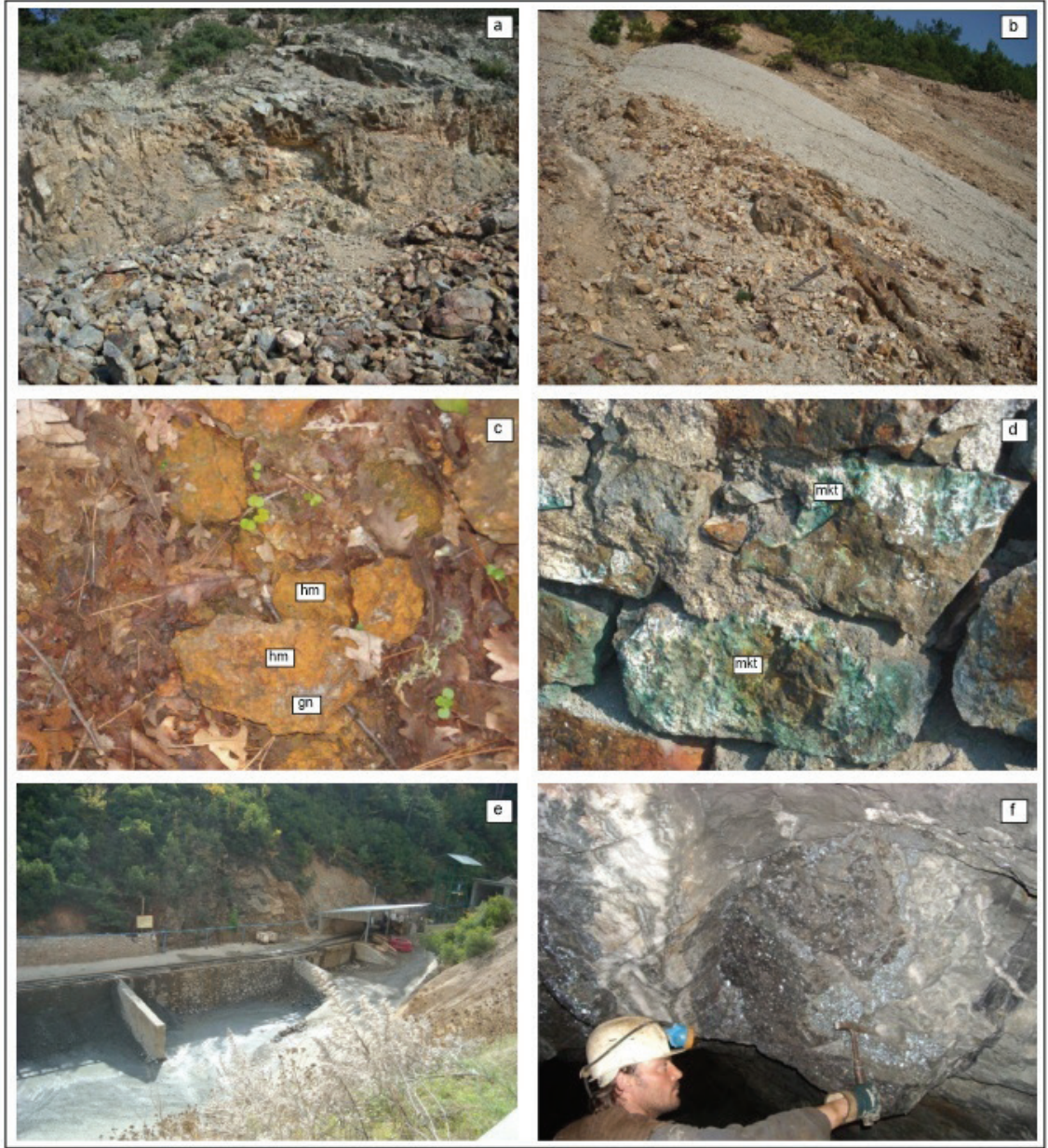
Birleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) yöntemi ile majör oksit, minöroksit, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır.

İz element içerikleri belirlenmiş 6 adet galen ve pirit numunesi üzerinde kükürt izotop analizi Geoscience (ABD) İzotop Jeokimyası laboratuvarlarında kütle spektrometre ile yapılmış ve veriler Viyana Kanyonu Diablo Troilite (VCDT) standardına ($\delta^{34}\text{S}$) göre mil başına (‰) δ notasyonu ile rapor edilmiştir. $^{34}/^{32}\text{S}$ İzotop oranları ile cevherleşmeyi oluşturan çözeltinin kökeni ve oluşum sıcaklığı belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI**Pb-Zn-Cu Cevherleşmelerinin Jeolojik Özellikleri**

Çalışma alanındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri, Karadoru köyü, Peynirderesi mevki, Madençeşme mevki ve Karaköy mevkiinde olmak üzere toplam 4 lokasyonda gözlenmektedir (Şekil 4).

Karadoru Pb-Zn-Cu zuhuru, metamorfik şistleri içinde yaklaşık 30 m uzunluğunda ve 15 m genişliğinde damar şeklinde yataklanır. Cevher, skarn zonu içerisinde yer alır. Zuhurda limonitleşmeler, malakit ve mangan sıvamaları görülür (Şekil 4a). Mineral parajenezini, galen, sfalerit, kalkopirit cevher mineralleri ve pirit, kuvars gang minerali oluşturur. Peynirderesi Pb-Zn-Cu zuhuru, Karakaya Karmaşığı içerisinde K50B/41 GB doğrultulu bir fay zonunda kahverengi limonitik kabuklar içerisinde yer alır. Cevherleşme 1 m uzunluğunda, 2 m yüksekliğinde ve 3 m derinliğindeki cevherde açılan bir yarmada gözlenir. Cevher K35D/78GB konumlu ve 150 cm kalınlığındadır (Şekil 4b). Cevherleşme, mikroskobik olarak galen, kalkopirit, pirit, hematit ve limonit şeklindedir (Şekil 4c). Madençeşme Pb-Zn-Cu zuhuru, Pb-Zn-Cu bakımından zayıf bir cevherleşmedir ve Karakaya Kompleksi içerisinde gözlenmektedir. Kuvarsların yüzeylerinde malakit, mangan ve limonitik sıvamaları gözlenmektedir (Kıray, 2010; Şekil 4d).



Şekil 4. **a)** Karadoru zuhurundaki limonit (lm), malakit (mkt) ve mangan (mn) sıvamalarının görünümü, **b)** Maden çeşme zuhurunun genel görünümü, **c)** Peynir deresi zuhurundaki galen (gn) ve hematit-limonitin (hm-lm) görünümü, **d)** Karadoru cevherleşmesindeki malakit (mkt) sıvamaları, **e)** Arapuçandere maden işletmesinin genel görünümü, **f)** Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Ag maden işletmesindeki cevherleşmelerin galeri aynasındaki galen cevher damarığörünümü (Kıray, 2010).

Figure 4. **a)** The appearance of limonite (lm), malachite (mkt) and manganese (mn) coatings in Karadoru mineralization, **b)** General view of Madencesme, **c)** General view of galena (gn) and hematite-limonite (hm-lm) in the Peynir Deresi mineralization, **d)** Malachite (mkt) coatings in Karadoru mineralization, **e)** General view of Arapuçandere Mine **f)** View of the galena ore vein on the gallery mirror of mineralization in Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Ag mine (Kıray, 2010).

En önemli yatak olan Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Ag maden yatağı Triyas yaşlı Karakaya Kompleksinin içerisinde bulunmaktadır (Şekil 4e). D-B doğrultusunda Pb-Zn-Cu-Ag hidrotermal ve damar tipi cevherleşmedir (Kaaden, 1959; Yücelay, 1976; Gültekin ve Örgün, 2005; Bozkaya ve Gökçe, 2008; Çiçek vd., 2017). Damar kalınlıkları 1,5-2 m arasında değişmekte olup, 15 m kalınlığa ulaşmaktadır. Cevherin dalım yönünde güneydoğru yer yer incelmeler ve kalınlaşmalar gösterdiği belirlenmiştir. İkincil olarak mm'den cm'ye ulaşan kalınlıklarda cevher damarları ağsal şekilde de gözlenir. Sülfidli cevher mineralleri kuvars damarları içinde gözlenir ve yaklaşık 15-20 cm kalınlığında pembemsi, iri kristalli saf kalsit damarlarını keser şekilde de ortaya çıkmaktadır. Cevheri kesen farklı kalınlıklarda mm ile birkaç cm boyutlara ulaşan ametist damarlarının varlığı da stok sahasındaki cevher numunelerinde gözlenmiştir (Kıray, 2010). Cevher içeriği bakımından doğu-batı doğrultulu 4. ve 5. damarlar olarak iki damar şeklindedir. 4. damar kurşun ve bakır mineralleri, 5. damar kurşun ve çinko mineralleri yönünden zenginlik göstermektedir (Şekil 4f). Alterasyon tipleri olarak da silisleşme, serizitleşme, killeşme ve limonitleşme gözlenir.

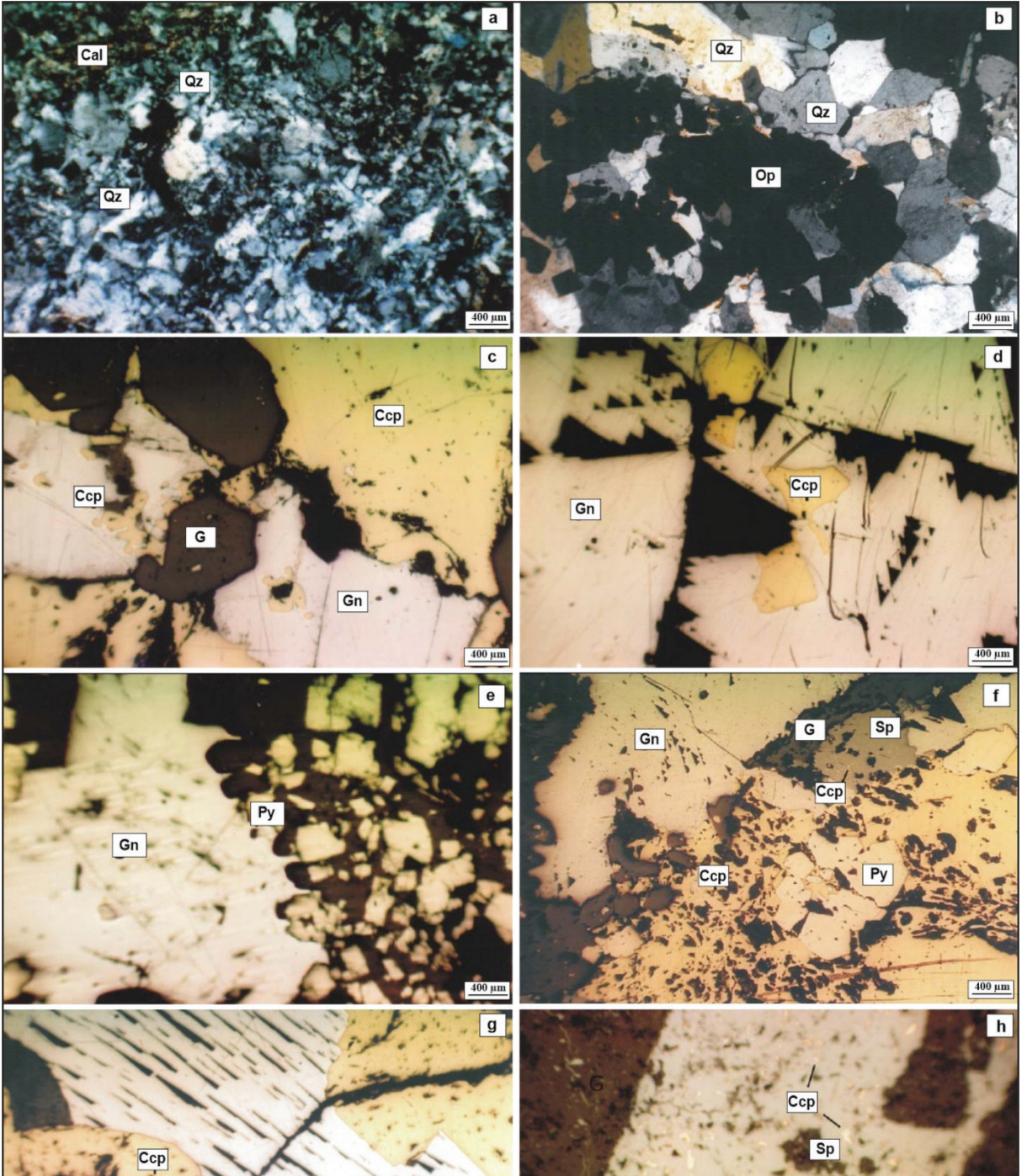
Cevherleşmelerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Polarizan mikroskop incekesit incelemelerinde hidrotermal kuvars tüm cevherleşmelerde ana gang minerali olarak gözlenir. Kuvars genellikle küçük ve iri kristalli (3-100µm) olmak üzere iki şekilde gözlenir. İri kristalli kuvarslar özşekilli, yarı özşekilliyada özşekilsizdir. Karadoru cevherleşmesine ait kuvars damarlarını oluşturan küçük kristalli kuvarsların içerisinde, tane sınırlarında yarı özşekilli - özşekilsiz opak mineral (galen) gözlenirken, galenin kuvarsıkeştiği de gözlenir (Şekil 5a). Bu özelliklerin gözlemlendiği Şekil 5a'da gösterilen kesitte galen ve kuvars ve kalsit mevcuttur. Şekil 5b'de iri kristalli kuvarslardan oluşan damar içerisinde opak minerali (galen) özşekilli ve yarı özşekilli kristaller

şeklinde yoğun olarak izlenmektedir.

İnceleme alanındaki bütün cevherleşmelerde yoğun olarak gözlenen ana cevher minerali galendir. Cevher mikroskobisi incelemelerinde genellikle özşekilsiz ya da yarı özşekilli kristaller şeklinde gözlenmektedir. Cevherleşme lokasyonlarının tümünde galen genellikle kuvars gang minerali, sfalerit, kalkopirit cevher mineralleriyle birlikte bulunmaktadır. Galen, kuvars-1 gangı içerisinde genellikle damar şeklinde gözlenir. Şekil 5c'de kuvars-2 gangı, galen damarını kesmiştir. Galeni kalkopirit çevrelemiştir ve galen içerisinde kalkopirit damlacıkları da mevcuttur. Kalkopirit tüm cevherleşmelerde çok sık gözlenen bir mineraldir. Kalkopirit iki evrede gelişmiştir. Birinci evre kalkopiriti galen içerisinde yarı özşekilli veya özşekilsiz kristaller şeklinde gözlenirken (Şekil 5d), ikinci evre kalkopiriti de sfalerit içerisinde kapanımlar şeklinde bulunur (Şekil 5f). Sfalerit sadece Arapuçandere maden yatağında çok az miktarda bulunmaktadır. Pirit yarı özşekilli-özşekilli ve küçük taneli kristaller şeklinde gang (kuvars) içerisinde ve kalkopirit içinde kataklastik dokuda gözlenmektedir (Şekil 5e ve f). Galen ve kalkopirit içerisinde gelişen bir mikro çatlağın içerisinde gang (kuvars) minerali ince damar şeklinde izlenmektedir (Şekil 5g). Şekil 5h'de gangı (kuvars) kesen galen ve galen içerisinde kalkopirit damlacıkları da gözlenmektedir.

İncelenen cevherleşme lokasyonlarının parajenezinde; Karadoru cevherleşmesinde sülfütlere çoğunlukla galen, daha az olarak kalkopirit, pirit birincil mineralleri, Peynirderesi cevherleşmesinde galen, kalkopirit, pirit, Arapuçandere maden yatağında da galen, kalkopirit, sfalerit, pirit birincil mineralleri bulunur. Gang minerali olarak da kuvars, kalsit, muskovit ve klorit mevcuttur. Birincil sülfütlere oksidasyonu sonucunda gelişen minerallerden limonit tüm cevherleşme lokasyonlarında gözlenirken, hematit sadece Peynirderesi cevher lokasyonunda bulunmaktadır. Malakit ve mangan sıvımaları da Karadoru ve Madenleşme cevher lokasyonlarında gözlenmektedir (Şekil 4a, c ve d).



Şekil 5. Karadoru, Peynirderesi ve Arapuçandere cevherleşmelerine ait polarizan ve cevher mikroskopik görüntüleri (Kıray, 2010). **Açıklamalar:** Gn: galen, Sp, sfalerit, Py: pirit, Ccp, kalkopirit, Qz: kuvars, Cal: kalsit, Op: opak mineral, G: gang.

Figure 5. Polarizing and ore microscopic images of Karadoru, Peynir Deresi and Arapuçandere (Karaköy) mineralizations (Kıray, 2010). **Abbreviations:** Gn: galena, Sp: sphalerite, Py: pyrite, Ccp: chalcopyrite, Qz: quartz, CaL: calcite, op: opaque, G: gangue.

	Cevherleşme Öncesi	Cevherleşme		Cevherleşme Sonrası
		Evre 1	Evre 2	
Kalkopirit	—	—	
Sfalerit	—	—	
Galen	—	—	
Kuvars	—	—	—	—
Pirit	—	—	—	—
Hematit, limonit	—	—
Manganoksit	—	—
Malakit	—	—

Şekil 6. Çalışma alanındaki cevherleşmelerin mineral parajenezi ve mineral oluşum sırası.

Figure 6. Mineral paragenesis and succession for mineralizations in the study area.

İnceleme alanındaki cevherleşme lokasyonlarındaki cevher ve gang minerallerinin mineral oluşum süreci ile ilgili olarak cevher mikroskobu incelemelerinde iki fazda oluşan hipojen cevherleşmeye ilişkin kanıtlar gözlenmektedir (Şekil 6). Cevher minerallerinden kalkopirit, galeniçerisinde yarı özşekli özşekilsiz kristaller, sfalerit içerisinde de kapanımlar şeklinde olmak üzere iki evrede oluşmuştur. Sfalerit, kalkopirit-1 fazından sonra oluşmuştur. Galen kalkopirit-1'den ve sfaleritten sonra oluşmaya başlamış ve bunların oluşumundan sonraya kadar gelişimi devam etmiştir. Hidrotermal kuvars da cevherleşme öncesinden itibaren iki evrede gelişmiştir.

Jeokimya

İnceleme alanındaki farklı lokasyonlardan elde edilen jeokimya analiz sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Cevherleşme zonundan alınan numunelerinin majoroksit içerikleri ağırlıkça %23,93-80,9SiO₂, %2,47-27,71 Fe₂O₃, %0,31-7,41 Al₂O₃, %0,03-2,19 K₂O, %0,01-2,14 MnO, %0,01-1,16 CaO arasında değişmektedir ve diğer oksitler de %1 in altında değerlere sahiptir (Çizelge 1). Farklı lokasyonlardaki cevherleşme

zonundan alınan numunelerin majoroksit içerikleri birbirleri ile karşılaştırıldığında; KC-1 (Karadoru) Fe₂O₃, MÇZ-1 (Madençeşme) Al₂O₃, K₂O, PDZ-1 (Peynir dere) Fe₂O₃, MnO, Arapuçandere numunelerinden KRZ-1 Fe₂O₃; KRZ-2 Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O; KRZ-3 Fe₂O₃; KRZ-4 SiO₂, Fe₂O₃ bakımından daha yüksek değerlere sahiptir (Şekil 7).

Pb, Zn ve Cu iz elementler olmasına rağmen inceleme sahasındaki cevherleşme lokasyonlarından alınan numunelerde ana elementlerdir. Cevherli yankayaç ve galen-pirit cevher minerallerini içeren numunelerin element içerikleri göz önüne alındığında Pb %0,39->%1, Zn 0,015->%1, Cu 0,037->%1 arasında değişmektedir. Bu elementlerin yanısıra Ag ve Au miktarları da kısmen yüksektir (Çizelge 1 ve 2). Cevher zonlarındaki numunelerin Pb, Zn, Cu, Bi, Sb, Ag, Au, W, As değerleri yüksek konsantrasyonlara sahiptir (Şekil 8). İnceleme sahası cevher zonundaki Pb, Zn, Cu, Ag ile birlikte W, Bi ve Sb iz elementlerinin zenginleşmesinin hidrotermal çözeltilerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Evans, (1993) ve Ruggieri vd., (1997), bu element birliklerinin hidrotermal sülfür cevherleri ile ilişkilendirmişlerdir.

Çizelge 1. Cevherli yan kayaçların majör-minör oksitleri, iz (Au ppb) ve nadir yer elementlerinin içerikleri (Kıray, 2010).

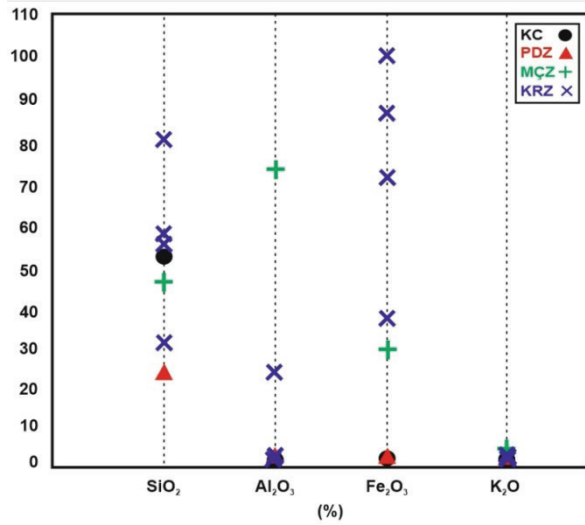
Table 1. Major-minor oxides (%), trace (Au ppb) and rare earth element content of the ore-bearing host rocks (Kıray, 2010).

Elementler	DL	KC-1 (Karadoru)	MÇZ-1 (Madençeşme)	PDZ-1 (Peynirdere)	KRZ-1 (Karaköy)	KRZ-2 (Karaköy)	KRZ-3 (Karaköy)	KRZ-4 (Karaköy)
<i>Majör-minörokisitler-wt.%</i>								
SiO ₂	0,01	52,94	47,83	23,93	56,90	60,72	33,59	80,91
Al ₂ O ₃	0,01	0,99	7,41	0,31	0,94	2,40	0,62	0,39
Fe ₂ O ₃	0,04	2,47	0,04	27,71	8,60	4,07	10,37	7,21
MgO	0,01	0,12	0,22	<0,01	0,02	0,25	0,01	0,01
CaO	0,01	0,01	0,05	0,02	0,97	1,16	0,41	0,55
Na ₂ O	0,01	0,01	0,04	0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01
K ₂ O	0,01	0,40	2,19	0,03	0,32	1,37	0,15	0,04
TiO ₂	0,01	0,02	0,28	<0,01	0,13	0,35	0,07	0,02
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
MnO	0,01	0,01	0,01	2,14	0,03	0,07	0,03	0,02
Toplam/S	0,02	7,89	0,03	11,48	5,98	14,13	6,38	9,87
Ateş Kaybı	-5,1	5,4	10,6	12,2	5,9	2,3	7,2	4,3
Toplam	0,01	62,43	68,76	66,35	73,88	72,75	52,43	93,48
<i>İz-NYE-ppm</i>								
Ba	1	91	437	6	80	460	30	519
Co	0,2	93,1	17,0	95,0	195,7	97,6	131,0	185,1
Cs	0,1	0,9	13,8	4,4	0,8	1,3	0,7	0,7
Nb	0,1	0,6	6,6	0,2	0,5	0,7	0,2	0,3
Rb	0,1	14	122,4	2,2	17,2	50,2	9,4	3,1
Sr	0,5	4,6	60,9	62,8	18,2	31,1	7,8	13,4
Th	0,2	0,5	7,6	0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
V	8	<8	35	8	28	47	15	12
W	0,5	568,1	209,7	121,3	703,5	604,8	378,5	1.304
Zr	0,1	10	74,6	2,3	10,1	24,4	5,6	1,8
Y	0,1	1,2	18,3	5,3	2,9	5,9	1,6	0,9
Mo	0,1	3,1	0,2	0,8	0,6	1,8	0,5	1,5
Cu	0,1	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000
Pb	0,1	>10.000	3.909	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000
Zn	1	7802	219	2882	258	6650	>10.000	154
Ni	0,1	2,5	1,9	3,0	21,1	8,3	8,6	23,5
As	0,5	62,6	37,9	384,2	110,2	108,4	80,4	133,6
Cd	0,1	50,0	0,9	27,0	10,6	38,9	102,8	2,7
Sb	0,1	41,4	14,5	480,6	16,2	29,7	10,2	15,5
Bi	0,1	>2000	<0,1	1199	1065	274,5	>2000	67,4
Ag	0,1	>100	47,9	>100	>100	>100	>100	85,8
Au (ppb)	0,5	13,9	11,5	37,8	120,0	77,5	230,7	68,5
Tl	0,1	2,8	0,4	12,7	1,8	0,4	6,4	<0,1
Se	0,5	>100	31,9	>100	>100	94,2	>100	38,8
La	0,1	1,7	44,7	3,5	1,1	1,3	1,2	0,6
Ce	0,1	3,3	87,4	3,6	2,2	3,6	1,3	1,3
Pr	0,02	0,38	11,07	0,53	034	0,60	0,19	0,17
Nd	0,3	1,5	45,3	2,3	1,6	2,7	0,6	1,1
Sm	0,05	0,27	6,96	0,48	0,42	0,76	0,24	0,20
Eu	0,02	0,05	1,26	0,17	0,18	0,34	0,08	0,07
Gd	0,05	0,2	5,51	0,59	0,50	0,82	0,21	0,21
Tb	0,01	0,03	0,8	0,13	0,08	0,18	0,05	0,02
Dy	0,05	0,21	4,15	0,90	0,52	1,07	0,26	0,12
Ho	0,02	0,05	0,73	0,18	0,11	0,24	0,08	0,03
Er	0,03	0,15	2,01	0,52	0,3	0,68	0,12	0,10
Tm	0,01	0,02	0,30	0,07	0,05	0,11	0,03	0,01
Yb	0,05	0,15	2,01	0,45	0,29	0,58	0,17	0,08
Lu	0,01	0,02	0,29	0,06	0,05	0,12	0,03	0,01

Çizelge 2. Cevher numunelerinin iz element içerikleri (Kıray, 2010).

Table 2. Trace element (Au ppb, others ppm) contents of the ore samples (Kıray, 2010).

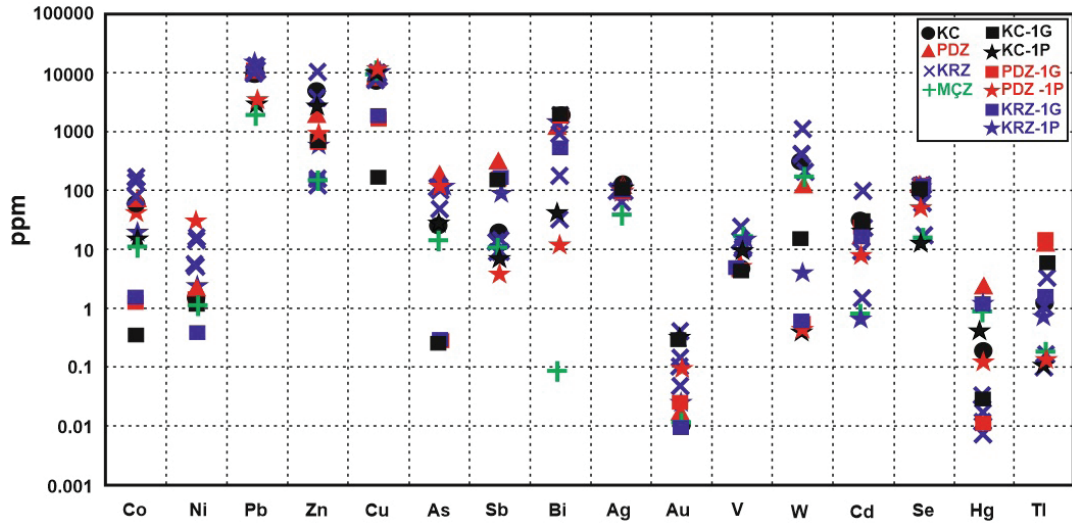
Elementler	DL	KC-P (Karadoru)	KC-G (Karadoru)	PDZ-P (Peynirderesi)	PDZ-G (Peynirderesi)	KRZ-P (Karaköy)	KRZ-G (Karaköy)
<i>İz Elementler (ppm)</i>							
Co	0,2	26,3	0,7	71,9	2,1	48,6	2,8
Cs	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
V	8	11	8	8	8	14	8
W	0,5	0,5	19	0,6	0,7	5,2	0,7
Mo	0,1	0,2	0,8	0,8	0,1	0,5	0,6
Cu	0,1	10.000	375,6	10.000	1.551	10.000	2.183
Pb	0,1	5.479	10.000	6.552	10.000	10.000	10.000
Zn	1	5.160	988	1.044	773	746	213
Ni	0,1	3,8	1,4	42,7	1,6	4,5	0,6
As	0,5	63,7	0,5	140,8	0,5	301,6	13,2
Cd	0,1	37,1	52	9,5	43,6	8,6	37,5
Sb	0,1	9,8	213,5	7,4	143	101,1	289,5
Bi	0,1	76,4	2.000	16,3	2.000	1.176	838,2
Ag	0,1	100	100	100	100	100	100
Au (ppb)	0,5	57	47,3	175,6	59,9	48,4	12
Hg	0,01	0,69	0,06	0,13	0,01	1,71	1,69
Tl	0,1	0,1	8	0,2	10,4	0,9	2,7
Se	0,5	22	>100	86,4	>100	>100	>100



Şekil 7. Çalışma sahasındaki cevherli (Pb-Zn-Cu) yan kayaç numunelerinin bazı majör oksit içeriklerinin dağılım diyagramı.

Figure 7. Distribution diagram for some major oxides in ore-bearing (Pb-Zn-Cu) host rock samples in the study area.

Co ve Ni pirit mineralinde sıklıkla bulunan iz elementlerdir ve piritin iz element jeokimyasına ilişkin önceki çalışmalarda en yaygın şekilde araştırılan elementlerdir (Walshe ve Solomon, 1981; Huston vd., 1995). Piritin kökenini belirlemek için, piritten elde edilen Co:Ni oranlarının cevher oluşumları için güvenilir bir gösterge olduğu belirtilmektedir (Bralia vd., 1979). Bu kapsamda inceleme alanındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinden alınan pirit numunelerinin Co(26,3-71,9 ppm) ve Ni (3,8-42,7 ppm) konsantrasyonlarıyla Gültekin ve Örgün (2005)'ün Arapuçandere maden yatağındaki pirit numunelerindeki Co (36-253 ppm) ve Ni (39-46) içerikleri kullanılarak Co:Ni oranları belirlenmiştir (Çizelge 3). Belirlenen bu oranlar Bralia vd. (1979)'nin hazırladığı Co:Ni diyagramı üzerine yerleştirilmiş ve diyagramdaki Co:Ni 1-10 aralığına düşmüştür (Şekil 9). İnceleme alanındaki piritlerin Co:Ni (0,92-10,8) oranlarının diyagramda 1-10 arasında olması piritlerin magmatik-hidrotermal kaynaklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 8. Pb-Zn-Cu cevherleşmelerindeki cevher numunelerinin bazı iz element içeriklerinin dağılım diyagramı.

Figure 8. Diagram displaying trace element contents of all ore-bearing samples from Pb-Zn-Cu mineralizations.

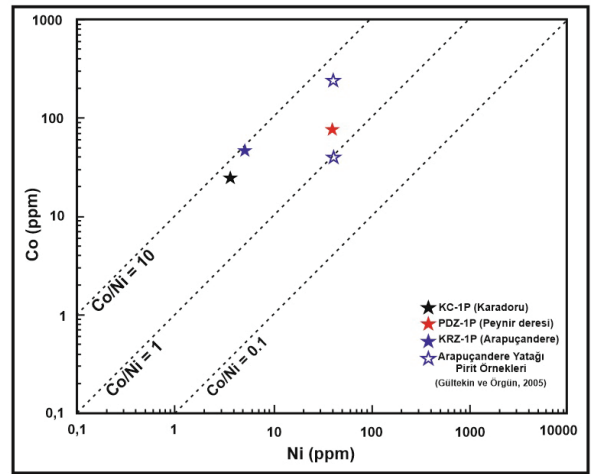
Çizelge 3. Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinden alınan pirit numunelerinin Co/Ni oranları (Kıray, 2010) ile Gültekin ve Örgün (2005)'ün Arapuçandere yatağındaki pirit numunelerinden elde ettiği Co/Ni değerlerinin karşılaştırılması.

Table 3. Comparison of Co/Ni ratios in pyrite samples taken from Pb-Zn-Cu mineralizations (Kıray, 2010) and those of pyrite samples from the Arapuçandere deposit by Gültekin and Örgün (2005).

Cevherleşme Yeri	Numune no	Co (ppm)	Ni (ppm)	Co/Ni
Karadoru	KC-1P	26,3	3,8	6,92
Peynir deresi	PDZ-1P	71,9	42,7	1,68
Arapuçandere	KRZ-1P	48,6	4,5	10,8
Arapuçandere (Gültekin ve Örgün, 2005)	K-15	253	46	5,5
	S-10	36	39	0,92

İncelenen cevher lokasyonlarındaki galen numunelerinin Bi (838,2->2.000 ppm) ve Sb (143-289,5 ppm) içerikleri ile Gültekin ve Örgün (2005)'ün Arapuçandere maden yatağındaki galen numunelerinin Bi (187-2790 ppm) ve Sb (58-1330 ppm) değerleri kullanılarak Sb/Bi oranları(0.04-0.48) hesaplanmıştır (Çizelge 4). Bu oranlar Malakhov (1969) Sb:Bi diyagramı üzerine yerleştirilmiş ve diyagramdaki A ile B aralığındaki bir alanın içine dağılmıştır (Şekil 10).

Sb/Bi oranlarına göre inceleme alanındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin oluşum sıcaklıklarının orta-yüksek sıcaklık aralığında (140-300 °C) yer aldığı saptanmıştır (Şekil 10).



Şekil 9. Cevherleşmelerdeki pirit örneklerinin Co ve Ni konsantrasyonları (Bralia vd., 1979'dan değiştirilmiştir).

Figure 9. Co and Ni concentrations in pyrite samples from mineralizations (modified from Bralia et al., 1979).

Nadir toprak elementleri (NTE) cevher oluşturan çözeltilerin kaynağının belirlenmesinde, hidrotermal sistemlerin evrimini izlemede, yan kayaç alterasyonunu ve cevher oluşum koşullarının ortaya çıkarılmasında ve cevher yataklarının oluşumunu değerlendirmede önemlidir (Henderson, 1984; Michard ve Albarède, 1986; Lottermoser, 1992; Klinkhammer vd., 1994).

İlkel mantoyla normalize edilmiş çoklu element diyagramında tüm numuneler büyük iyon litofil elementlerince (LILE: Ba, Cs, Rb, Th ve K) zenginleşme ve Ti'de belirgin negatif anomali ile ilişkili ağır nadir toprakelementlerinde (ANTE) tükenme ile yaklaşık olarak benzer desenlergöstermektedir (Şekil 11a). İncelenen numunelerin, kuvvetli negatif Ti anomalisi ile karakterize edildiğini söylenebilir.

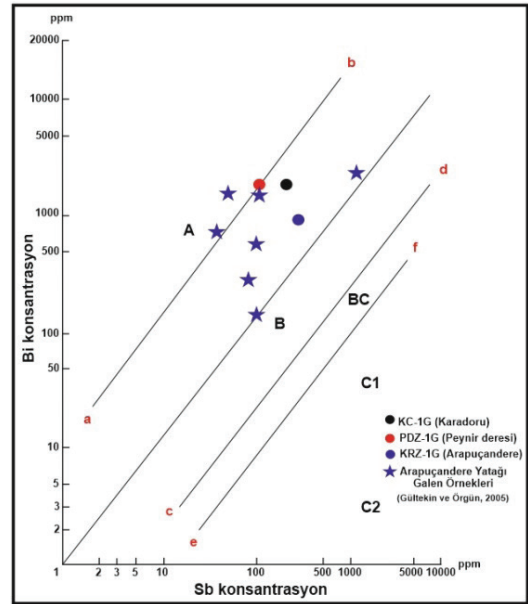
Çizelge 4. Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinden alınan galen numuneleri (Kıray, 2010) ile Gültekin ve Örgün (2005)'ün Arapuçandere yatağından aldığı galen numunelerinin Sb/Bi oranlarının karşılaştırılması

Table 4. Comparison of Sb/Bi ratios in galena samples obtained from the Pb-Zn-Cu mineralizations (Kıray, 2010) and those of galena samples from the Arapuçandere deposit by Gültekin and Örgün (2005).

Cevherleşme Yeri	Numune no	Sb (ppm)	Bi (ppm)	Sb/Bi
Karadoru	KC-1G	213,5	>2.000	0,10
Peynir deresi	PDZ-1G	289,5	838,2	0,34
Arapuçandere	KRZ-1G	143	>2.000	0,06
	K-05/2	75	597	0,13
	K-16	1.330	2.790	0,48
Arapuçandere (Gültekin ve Örgün, 2005)	K-25	62	15.36	0,04
	K-27/4	70	379	0,18
	S-9/2	77	1.326	0,06
	S-13/1	75	187	0,40
	S-17	58	647	0,09

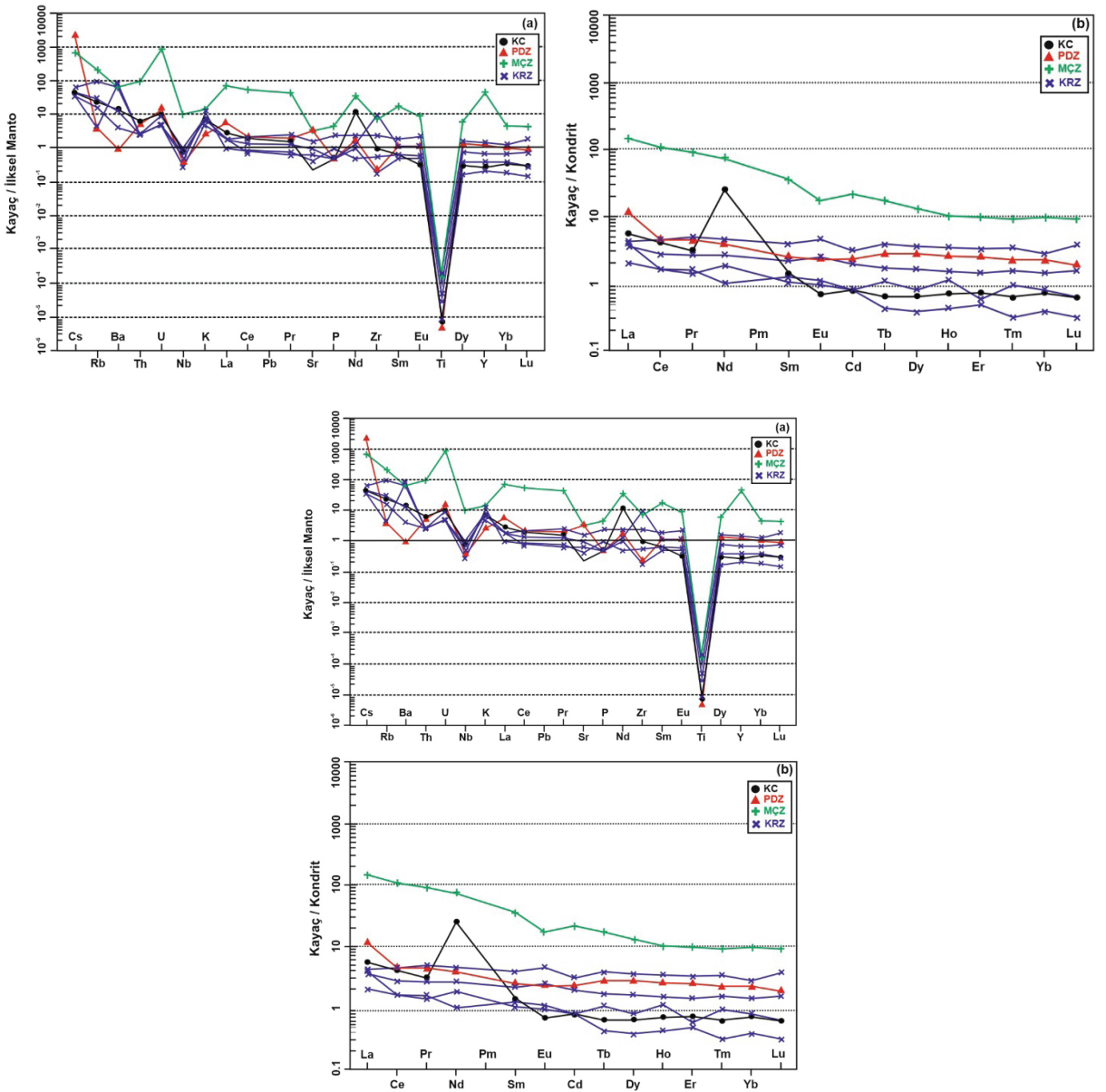
Kondrite görenormalize edilmiş NTE dağılım diyagramında, nadir toprakelement değerlerinin birbirleriyle paralellik gösterdiği gözlenir. Bu paralellik, kayaçların aynı kökene sahip olduğunu gösterdiği gibi hafif nadir toprak elementlerinde (HNTE) zenginleşme ve ağır nadir toprakelementlerinde (ANTE) tükenme olduğunu gösterir (Şekil 11b). Zayıf negatif-pozitif Eu (Eu/

Eu*= 0,62-1,32) ile düşük-orta fraksiyonlaşma derecesine ((HNYE/ANYE değerleri 3,40-19,65 ve (La/Yb) N değerleri 1,51-14,99)) sahiptir. La/Yb(n), jeokimyasal süreçler sırasında LREE'lerin HREE'lerden ayrılma derecesini yansıtır (Aubert vd., 2001; Yusoff vd., 2013; Zamanian ve Radmard, 2016). Pozitif Eu anomalileri ya cevher oluşturan sıvının cevher oluşumu sırasında jeokimyasal koşullarındaki değişikliklere (Moller ve Morteani, 1983; Lottermoser, 1992; Qi vd., 2008) ya da NTE konsantrasyonlarının sıcaklık, pH ve Eh koşulları ile su-kayaç etkileşimi (Eric vd., 1999) ile ilişkili olduğunu gösterir. Negatif Euanomalileri ise K-feldispat ve plajiyoklazın fraksiyonlaşmasına bağlıdır. Kayaç örneklerine ait toplam nadir toprak element (Σ NYE) değerleri 4,02-212,49 ppm arasında değişmektedir. Buna göre NTE konsantrasyonu hidrotermal alterasyon şiddetinin artmasıyla azalma eğilimindedir.



Şekil 10. Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinden elde edilen galen numunelerinin Sb:Bi oranlarının Malakhov (1969)' un yaptığı çalışmalardan elde ettiği diyagram üzerinde karşılaştırılması.

Figure 10. Comparison of Sb:Bi ratios in galena samples obtained from Pb-Zn-Cu mineralizations on the diagram obtained from the study by Malakhov (1969).



Şekil 11. a) İlksel manto (McDonough ve Sun, 1995'ten değiştirilmiştir), **b)** Kondrit-normalize (Boynton, 1984'ten değiştirilmiştir) tüm numunelerin iz element dağılım diyagramları.

Figure 11. a) Primitive mantle (modified from McDonough and Sun, 1995), **b)** Chondrite-normalized (modified from Boynton, 1984) trace element distribution diagrams for all Samples.

Kükürt ($\delta^{34}\text{S}$) İzotop İncelemeleri

Karadoru, Peynirderesi ve Arapuçandere sülfid minerali içeren cevherleşmeleri oluşturan çözeltilerin kaynağını tespit etmek için 3 adet galen ve 3 adet pirit olmak üzere toplam 6 adet numunede kükürt izotop analizleri

gerçekleştirilmiştir. Bu analizler birinci evrede gelişen galen ve pirit üzerinde yapılmış olup izotop oranları ($\delta^{34}\text{S}$) hesaplanmıştır. İncelenen cevherleşmelerdeki $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotop oranları önemli jeolojik rezervuarlardan elde edilen kükürt izotop bileşimleri ile karşılaştırılmıştır (Ohmoto

ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987) (Şekil 12a). Bu cevherleşme lokasyonlarındaki numunelere ait kükürt izotop oranları negatif izotopik bileşime sahiptir ve galen için ‰-3,4 ile ‰-1,7 arasında, pirit için ‰-4,0 ile ‰-1,6 arasında değişmektedir (Kıray, 2010). Bu numunelerin $\delta^{34}\text{S}$ izotopik değişimi Şekil 12b’de verilmiştir. Bunun yanında, incelenen cevherleşmelerdeki galen ve pirit numunelerinin kükürt izotop oranları Biga Yarımadasındaki ve dünyadaki benzer kökenli bazı Pb-Zn±Cu±Au±Ag yataklarının galen ve pirit numunelerindeki $\delta^{34}\text{S}$ izotop oranları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 12c). Bunun sonucunda genellikle negatif $\delta^{34}\text{S}$ ‰ izotop bileşimine sahip olduğu gözlenmiştir.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

İnceleme alanındaki stratigrafik istif mermer, granatlı fillat, kalkışt bantları, metabazik lav/tüf içeren Triyas yaşlı Nilüfer birimi, kireçtaşı, kumtaşı, şeyl, spilitik bazalt ve diyabazdan oluşan Hodul birimi (Karakaya Kompleksi), Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı skarn ve hidrotermal mineralizasyon kaynağı olan Karadoru, Sarıçayır ve Soğucak granodiyoriti, andezitik lav, tüf ve aglomeradan oluşan Miyosen yaşlı Çan volkanitlerini kapsar.

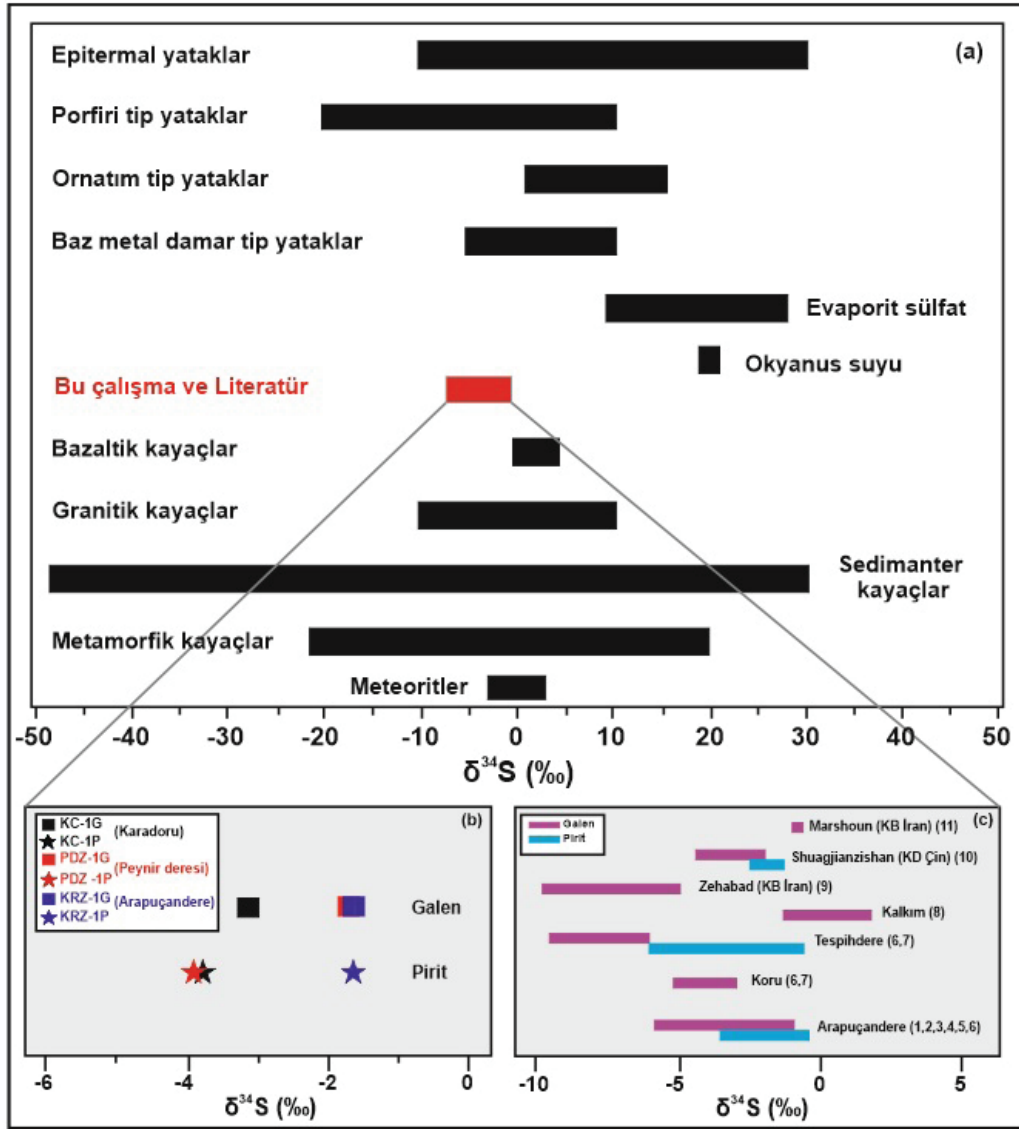
Karadoru ve Madenleşme cevherleşmeleri Nilüfer biriminde metamorfik şistlerin içerisinde Arapuçandere ve Peynirderesi cevherleşmeleri Hodul biriminde diyabaz ve kristalize kireçtaşlarının içerisinde damar şeklinde yataklanmaktadır.

Karadoru ve Arapuçandere (Karaköy) cevherleşmeleri parajenez bakımından benzerlik göstermektedir. Mineral parajenezini galen, sfalerit ve kalkopirit cevher mineralleri, oksidasyon mineralleri limonit, manganoksit, malakit ile gang minerallerini de kuvars, kalsit, klorit ve muskovit oluşturmaktadır. Karadoru, Peynirderesi ve Madenleşme cevherleşmelerinde limonitleşme, Arapuçandere’ de ise silisleşme, serizitleşme, killeşme ve limonitleşme şeklindeki alterasyon tipleri gözlenmiştir. Gültekin ve Örgün

(2005) ve Örgün vd. (2005) Arapuçandere cevher damarlarında galen, sfalerit, kalkopiritin yanısıra magnetit, bizmutinit, tetrahedrit, hidrotermal kuvars, rutil, şeelit, kalsit, Fe-oksit, Mn-oksit, malakit, pirit ile silisleşme, serisitleşme, killeşme (arjilik) alterasyonları da gözlemlemiştir. Kasapçı vd. (2008) ise manyetit, bizmutinit, pirit, galen, sfalerit, kalkopirit, markasit, pirotin, tetrahedrit, arsenopirit, hematit, lepidokrosit, malakit, azurit, limonit, kalsit, kuvars, ametist, klorit, epidot minerallerini ve silisleşme, serizitleşme, kaolinleşme ve albitleşme alterasyonlarını belirlemiştir. Bozkaya (2011a) yaptığı mikroskobik incelemeler sonucunda galen, sfalerit, kalkopirit, pirit, markazit, kovelit ve speküler hematit, kuvars, kalsit ve barit içerdiğini ortaya koymuştur.

Piritin kökenini belirlemek için yapılan iz element jeokimyası çalışmalarında (Loftus-Hills ve Solomon, 1967; Campbell ve Ethier, 1984; Bajwah vd., 1987) piritten elde edilen Co:Ni oranlarının cevher oluşumları için önemli bir gösterge olduğu belirtilmiştir. İnceleme alanındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmelerden alınan pirit numunelerinin Co/Ni (0,92-10,8) oranları ile Gültekin ve Örgün (2005)’de Arapuçandere maden yatağındaki piritlerin Co:Ni oranları Bralia vd. (1979) tarafından hazırlanan Co/Ni diyagramında karşılaştırılmıştır. Oranların 1-10 arasında bir alana düşmesi piritin magmatik-hidrotermal kaynaklı olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 9).

Malakhov (1969) orta sıcaklıkta oluşan Pb-Zn cevherleşmelerinin en çok yeryüzüne yakın yerlerde ve hiperabisale yakın derinliklerde oluştuğunu belirtmiştir. Hazırlanmış olduğu Sb:Bi diyagramında çalışma alanındaki Arapuçandere, Karadoru ve Peynirderesi cevherleşmeleri ile Gültekin ve Örgün (2005)’ün Arapuçandere yatağı karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Galen numunelerinin oluşum sıcaklıkları A ve B aralığı içerisindeki bir alanda dağılmaktadır. Orta-yüksek sıcaklık (140-300 °C) zonunda yer alması, bu cevherleşmelerin magmatik hidrotermal kökenli olduğunu desteklemektedir.



Şekil 12.a) İnceleme alanındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmelerine ait $\delta^{34}\text{S}$ (‰) izotop bileşimlerinin önemli jeolojik rezervuarların izotop bileşimleri ile karşılaştırılması (Ohmoto ve Rye, 1979; Field ve Fifarek, 1985; Hoefs, 1987), **b)** İncelenen cevherleşmelerden alınan galen ve pirit numunelerinin $\delta^{34}\text{S}$ izotop değişimi, **c)** Biga Yarımadasındaki ve dünyadaki benzer kökenli bazı Pb-Zn±Cu±Au±Ag yataklarının galen ve pirit numunelerindeki $\delta^{34}\text{S}$ izotop oranı aralıkları. **Açıklamalar:** 1- Gültekin ve Örgün (2005), 2- Örgün vd. (2005), 3- Hoefs (2009), 4- Bozkaya (2011a), 5- Bozkaya ve Banks (2015), 6- Çiçek vd. (2021), 7- Bozkaya ve Gökçe (2009), 8- Akıska vd. (2013), 9- Shabhazi vd. (2019), 10- Zhai vd. (2020), 11- Kouhestani vd. (2019).

Figure 12.a) Comparison of $\delta^{34}\text{S}$ isotope compositions of Pb-Zn-Cu mineralizations in the study area with those obtained from important geological reservoirs (Ohmoto and Rye, 1979; Field and Fifarek, 1985; Hoefs, 1987), **b)** $\delta^{34}\text{S}$ isotope variation in galena and pyrite samples from mineralizations, **c)** $\delta^{34}\text{S}$ isotope ratio ranges in galena and pyrite samples from some Pb-Zn±Cu±Au±Ag deposits with similar origin in the Biga Peninsula and around the world. **Abbreviations:** 1- Gültekin and Örgün (2005), 2- Örgün et al. (2005), 3- Hoefs (2009), 4- Bozkaya (2011a), 5- Bozkaya and Banks (2015), 6- Çiçek et al. (2021), 7- Bozkaya and Gökçe (2009), 8- Akıska et al. (2013), 9- Shabhazi et al. (2019), 10- Zhai et al. (2020), 11- Kouhestani et al. (2019).

İlkel mantoyla normalize edilmiş çoklu element diyagramında tüm numuneler büyük iyon litofil elementlerince (LILE) zenginleşme ve Ti'de belirgin negatif anomali ile ilişkili ağır nadir toprak elementlerinde (ANTE) tükenme ile benzerlik göstermektedir (Şekil 11a). Kondrite göre normalize edilmiş NTE dağılım diyagramında, nadir toprak element değerlerinin birbirleriyle paralellik gösterdiği gözlenir (Şekil 11b).

Cevherleşmelere ait numunelerden yapılan ilksel mantoya göre normalize edilmiş çoklu element diyagramında Th, U, Rb, Ba ve K gibi mobil uyumsuz elementlerin yüksek konsantrasyonlara sahip oldukları gözlenir. Buna karşılık, Ta, Nb, Zr ve Ti gibi elementler ilksel manto normalize element diyagramında negatif anomaliler sunmaktadır (Şekil 11). Ti'deki azalma, Ti'nin manto kaynağındaki Ti bakımından zengin kalıntı mineral fazlarında (rutil, titanit ve titanomagnetit) tutulmasıyla açıklanabilir (Foley ve Wheller, 1990; Pearce ve Parkinson, 1993). Nb, Ti ve Zr elementleri için negatif anomaliyi ve yay magmatik kayalara özgü yüksek konsantrasyonlarda büyük iyon litofil elementleri (LILE) ve düşük konsantrasyonda yüksek alan kuvvetli elementleri(HFS) gösterir (Muller vd.,1992; Pearce ve Peate, 1995). Ayrıca negatif Nb, Ta, Ti ve Zr anomalileri volkanitlerin yitim zonu ile ilişkili kıtasal yay magması özelliğinde olduğunun göstergesidir (Pearce 1983; Ringwood 1990; Stolz vd., 1990; Kelemen vd., 1990).

Genel olarak, ortaç sülfidasyonlu epitermal yataklar, porfiri yataklarıyla ilişkilendirilir (Sillitoe, 1973; Hedenquist vd., 1998; Einaudi vd., 2003; Heinrich vd., 2004). Karadoru (Kurttaş) skarn-hidrotermal tipi Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin Karadoru ve Soğucak sokulumları arasında yer alması birbiriyle ilişkili olduğunu göstermektedir (Anıl 1984; Aysal vd., 2006). Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Au yatağının da karışık meteorik ve magmatik sıvılardan kaynaklandığı (Bozkaya ve Banks 2015) ve Soğucak sokulumu ile ilişkili olduğu (Kasapçı 2005; Kasapçı vd., 2008)

belirtilmiştir. Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Ag yatağı, kontak metamorfizmaya uğramış kumtaşları ile çevrelenmiş olup cevherleşme hem hornfels karakterli kayalar hem de diyabazlar içerisinde damarlar şeklinde gelişmiştir (Kasapçı vd., 2008). Gözler vd. (1984), kırık hatlarına yakın kesimlerde görülen Arapuçandere cevherleşmesinin çevresinde bulunan granodiyoritlerle yakından ilişkili olduğunu ileri sürmektedir.

Karadoru (Biga) ve Arapuçandere (Karaköy)'deki cevherleşmeler oluşum ve parajenez bakımından benzerlikler gösterir. Kaaden (1957) ve Yücelay (1976) buradaki cevherleşmeler için granodiyorit sokulumlarının bölgeye yerleşmeleri sırasında oluşan çatlak zonlarının hidrotermal sülfürlü eriyiklerle dolduğu şeklinde yorumlamışlardır. Ayrıca, Karadoru ve Karaköy'de görülen cevherleşmelerin granodiyorit sokulumlarının bölgeye yerleşmeleri sırasında ön konsantrasyon halindeki ağır iri metallerin yeniden hareketlenerek zenginleştiği ve oluşan kırıklarda filon tipinde yatakladığı belirtilmiştir (Anıl, 1984).

Karadoru, Peynir Deresi ve Arapuçandere sülfid cevherleşmesini oluşturan çözeltilerin kaynağını tespit etmek için yapılan kükürt izotop analizleri sonucunda galen ve pirit minerallerinin $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin ‰ -4 ile ‰ -1,6 arasında değiştiği ortaya konulmuştur (Şekil 12 a ve b). İnceleme sahasının kükürt izotop oranları ile benzer cevherleşme sahalarından elde edilen kükürt izotop oranları karşılaştırılmıştır (Şekil 12c). Bu verilerin sonucunda cevherleşmelerin kükürt izotop oranları birbirlerine benzediği ve magmatik-epitermal (hidrotermal) kökenli olduğu tespit edilmiştir. Şekil 12c'de genellikle negatif $\delta^{34}\text{S}$ ‰ izotop değerlerine sahip iken, Kalkın cevherleşmelerinin pozitif $\delta^{34}\text{S}$ ‰ izotop değerleri sunduğu görülmektedir. Galen ve piritin negatif değerler göstermesi, cevherleşmeyi oluşturan hidrotermal çözeltilerdeki kükürtün kaynağının magmatik kökenli olduğuna işaret etmektedir (Ohmoto ve Rye, 1979). Ishihara ve

Sasaki (1989), I-tipi kısmi ergime ile magma bileşimine katılan sedimanter protolitlerden kaynaklanabileceği için negatif $\delta^{34}\text{S}\%$ değerler gösterdiğini belirtmiştir. Bu olgulara dayanarak incelenen epijenetik hidrotermal oluşumlu cevherleşmelerin magmatik kökenli eriyiklerden kaynaklandığı ve I-tipi granitler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Oyman vd. (2018), porfir ve skarn cevherleşmelerine ait pozitif $\delta^{34}\text{S}\%$ izotop oranları için çok fazlı akışkanlara sahip magmatik bileşimin zamana bağlı değişiminden kaynaklanabileceğini rapor etmiştir.

EXTENDED SUMMARY

Pb-Zn-Cu mineralization between Karadoru and Karaköy is located in the Biga Peninsula (Çanakkale-Yenice, NW Turkey). The basement of the region consists of the Nilüfer unit, which includes metabasic rocks of the Triassic Karakaya Complex, and the Hodul unit, which includes overlying limestones, spilitic basalt, diabase, and arcotic sandstones. The Karakaya Complex units are intruded by the Oligocene-Miocene Karadoru, Sariçayır, and Soğucak granitoids. Skarn zones and contact metamorphism developed between the Nilüfer and Hodul units and granitoids. The Karadoru, Sariçayır, and Soğucak granitoids are unconformably overlain by the Miocene Çan volcanics.

The Karadoru and Madencesme mineralizations are located within the metamorphic schists of the Nilüfer unit, while the Arapuçandere and Peynir Deresi mineralizations are found in the form of veins in diabase and crystallized limestone of the Hodul unit. The mineralizations in Karadoru (Biga) and Arapuçandere (Karaköy) exhibit similarities in terms of formation and paragenesis. Galena is the main ore mineral, which is observed intensely in all mineralizations in the study area. In ore microscopy examinations, quartz gangue mineral and ore minerals such as sphalerite, chalcopyrite, and pyrite are frequently

found together as anhedral or flat euhedral crystals (Figure 5).

Limonite is predominantly found in Peynirderesi and Karadoru mineralizations. Hematite is also found in Peynir Deresi mineralization. Malachite is commonly found in the Karadoru mineralization. Manganese appears as stains in both the Karadoru and Madencesme mineralizations (Figure 4a, c & d). Ore microscope examinations revealed evidence of hypogene mineralization occurring in two phases during the formation process of ore and gangue minerals in the mineralization locations (Figure 6). Chalcopyrite ore mineral was formed in two phases. Firstly, subhedral and anhedral crystals formed within a galena vein, and secondly, inclusions within sphalerite formed. The sphalerite formed after chalcopyrite-1 phase. Galena formation followed the development of chalcopyrite-1 and sphalerite, and continued until after their formation. Hydrothermal quartz underwent two phases of development before mineralization.

When comparing the mineralizations, it is evident that the KC-1 (Karadoru) sample had higher levels of Fe_2O_3 , the MÇZ-1 (Madencesme) sample had higher levels of Al_2O_3 and K_2O , the PDZ-1 (Peynir Deresi) sample had higher levels of SiO_2 and K_2O , and the KRZ-1 (Arapuçandere) sample had higher levels of Fe_2O_3 and CaO . The KRZ-2 (Arapuçandere) sample had higher levels of Fe_2O_3 , K_2O , and CaO , while the KRZ-3 (Arapuçandere) sample had higher levels of Fe_2O_3 and SiO_2 , and the KRZ-4 (Arapuçandere) sample had higher levels of Fe_2O_3 . Pb, Zn, and Cu were the main elements in the study area. The mineralizations are strongly enriched in certain trace elements, including Pb, Zn, Cu, Ag, Au, W, Bi and Sb. The presence of trace elements, such as Sb, Bi, As, Mo, Se, Hg, Cd, Mn and Tl, in both the country rock and ore minerals indicates a correlation with epithermal systems (Figure 8).


To determine the origin of mineralizations, the Co/Ni ratios of pyrite and Sb/Bi values of galena samples were compared. Diagrams of pyrite-galena samples were drawn using the analysis results of Gültekin and Örgün (2005) (Tables 3 & 4; Figures 9 & 10). The Co/Ni ratios of pyrite in mineralizations ranged from 1-10 (Table 3 & Figure 9). Galen was found in the Pb-Zn-Cu mineralizations in regions A and B, according to the Sb:Bi ratio diagram (Table 4 & Figure 10). The Sb/Bi ratios indicate that the formation temperatures of the Arapuçandere deposit, Karadoru, and Peynir Deresi mineralizations were in the medium-high temperature zones (140-300 °C). These diagrams provide evidence for the magmatic hydrothermal origin of the mineralizations.

The Karadoru (Kurttaş) Pb-Zn-Cu mineralization has skarn-hydrothermal type (Anıl, 1984; Aysal, 2015) and is located between the Karadoru and Soğucak intrusions, indicating their interrelation. Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Au deposit was formed by the mixing of meteoric and magmatic fluids. Galena and pyrite minerals had $\delta^{34}\text{S}$ values ranging from ‰ -4 to ‰ -1.6 in the Karadoru, Peynir Deresi and Arapuçandere mineralizations. These mineralizations are thought to have magmatic-epithermal origin and are associated with Type I granites.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisi (BAP, proje no: 1745-YL-08) tarafından finanse edilen D. Kıray'ın yüksek lisans tezinin bir kısmını oluşturmaktadır.

ORCID

Didem Kıray  <https://orcid.org/0000-0002-4187-7285>

Mustafa Kuşcu  <https://orcid.org/0000-0001-6955-7470>

Oya Cengiz  <https://orcid.org/0000-0003-1363-46381>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Ağdemir, N., Kırkoclu, M. S., Lehmann, B. & Tietze, J. (1994). Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb-Zn-Ag deposit, NW Turkey: a reconnaissance study. *Mineralium Deposita*, 29, 366-371.
- Akıska, S. (2020). Crystallization conditions and compositional variations of silicate and sulfide minerals in the Pb-Zn skarn deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 118, Article 103322.
- Akıska, S., Demirela, G. & Sayili, S. (2013). Geology, mineralogy and the Pb, S isotope study of the Kalkım Pb-Zn±Cu deposits, Biga Peninsula, NW Turkey. *Journal of Geosciences*, 58(4) 379– 396.
- Akıska, S. & Demirela, G. (2014). Origin of the fluids in the Handeresi, Bağırkaçdere, and Fırıncıkdere (Kalkım, Yenice-Çanakkale) Pb-Zn±Cu distal skarn deposits. *Yerbilimleri*, 35(3), 199–218 (in Turkish with English abstract).
- Akıska, S. & Demirela, G. (2018). The geology, mineral chemistry and isotope composition of Çulfa Çukuru (Çanakkale) Pb-Zn±Cu±Ag deposit. In M. Avcıoğlu, T. Kurttaş, F. Toksoy Köksal, Y. Eyüboğlu, E. Yiğitbaş, (Eds.), *71st Geological Congress of Turkey Abstract Book*, (p.: 575–576). Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/9ee599173fc3528_ek.pdf
- Akıs, İ. (2011). *Geological and geochemical features of the skarn deposits in the vicinity of the Sarıçayır (Yenice/Çanakkale)-Turkey* [Msc. Thesis]. Selcuk University, Konya, Turkey.
- Andic, T. & Kayhan, F. (1997). *Report on the general geochemical research of the Çanakkale Lapseki* (Report no. 10059). Technical reports of the general directorate of the Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey, (in Turkish, unpublished).
- Anıl, M. (1979). *Etude géologique et métallogénique du secteur septentrional de Yenice (presqu'île de Biga-Turquie)* (Doctoral dissertation).
- Anıl, M. (1984). Genesis of the Pb-Zn-Cu mineralization and relations with Tertiary volcanism in Yenice area (Arapuçandere-Kurttaş-Sofular and Kalkım-Handeresi). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 8(2),

- 17–30. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/289816>
- Anil, M. & Yaman, S. (1985). Fluid inclusion studies on the Arapuçandere (Yenice-Çanakkale) Pb–Zn mineralizations. *Bulletin for Earth Science*, 12, 81–91.
- Arvas, H. ve Önder, İ. (1976). *Biga Yarımadası Çataltepe sahası bakır-kurşun aramaları IP Etüd Raporu* (Rapor No: 5625) MTA Derleme Ankara.
- Aubert, D., Stille, P. & Probst, A. (2001). REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(3), 387-406.
- Aydın, E. (1981). Biga Yarımadasındaki Pb-sulfomineralleri, bunların oluşum koşulları ve kökenleri. *İ.Ü. Yerbilimleri*, 1-2, 53-76.
- Aydın, E. ve Öztunalı, Ö. (1981). Biga Yarımadasındaki Pb-Zn cevherleşmelerinin oluşum koşulları. *İ.Ü. Yerbilimleri*, 1-2, 91-95.
- Aydın, Ü., Şen, P., Özmen, Ö. & Şen, E. (2019). Biga Yarımadası'ndaki granitoyitlerin (KB Anadolu, Türkiye) petrolojik ve jeokimyasal özellikleri. *MTA Dergisi*, 160, 81-116.
- Aysal, N. (2005). Biga (Çanakkale) doğusunun Mesozoyik-Tersiyer magmatizması ve metamorfizmasının petrolojisi [Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aysal, N. (2015). Mineral chemistry, crystallization conditions and geodynamic implications of the Oligo-Miocene granitoids in the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 105, 68-84.
- Aysal, N., Öngen, S. ve Hanilçı, N. (2006). Karadoru granitoid plütönu yan kayaçlarının petrografisi ve skarn zonuunun özellikleri, Yenice-Çanakkale. İstanbul Üniversitesi *Yerbilimleri Dergisi*, 19(2), 183-194.
- Bajwah, Z., Seccombe, P. & Offler, R. (1987). Trace element distribution, Co:Ni ratios and genesis of the Big Cadia iron-copper deposit, New South Wales, Australia. *Mineralium Deposita*, 22, 292–300.
- Bingol, E. (1968). *Contribution à l'étude géologique de la partie centrale et sud-est du massif de Kazdag (Turquie)* [Doctoral dissertation thesis]. Faculty of Science, University of Nancy (France).
- Boynton, W. V. (1984). Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. Chapter 3. *Development of Geochemistry*, 2, 63-114.
- Bozkaya, G. (2011a). Sulphur-and lead-isotope geochemistry of the Arapuçandere lead-zinc-copper deposit, Biga Peninsula, Northwest Turkey. *International Geology Review*, 53(1), 116-129.
- Bozkaya, G. (2011b). Sulfur isotope composition of the Bagirkacdere lead-zinc deposit, Biga Peninsula, Turkey. In *Goldschmidt Conference 2011, Prague, Abstracts, Mineral Mag* 75, 571.
- Bozkaya, G., Gökçe, A. & Grassineau, N. V. (2008). Fluid inclusion and stable isotope characteristics of the Arapuçandere Pb–Zn–Cu deposits, Northwest Turkey. *International Geology Review*, 50(9), 848-862.
- Bozkaya, G. & Gökce, A. (2009). Lead and sulfur isotope studies of the Kuru (Çanakkale, Turkey) lead-zinc deposits. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(1), 127-137.
- Bozkaya, G. & Banks, D. A. (2015). Physico-chemical controls on ore deposition in the Arapuçandere Pb–Zn–Cu-precious metal deposit, Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 66, 65-81.
- Bralia, A., Sabatini, G. & Troja, F. (1979). A reevaluation of the Co/Ni ratio in pyrite as a geochemical tool in ore genesis problems: evidence from southern Tuscany pyritic deposits. *Mineral Deposita*, 14, 353-374.
- Cagatay, A. (1980). Geology and mineralogy of western Anatolian lead-zinc deposits and some comments about their genesis. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 23(2), 119-132. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/f477737c1829c3e_ek.pdf
- Campbell, F. A. & Ethier, V. (1984). Nickel and Cobalt in pyrrhotite and pyrite from the Faro and Sullivan ore bodies. *Canadian Mineralogist*, 22, 503-506.
- Cetinkaya, N., Karul, B., Yenigun, K. & Onal, R. (1983). *Report of Turkish–Germany project Biga Peninsula on their search project of metallic mines (Pb–Zn–Cu)* (Report No. 7745). Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA).

- Çiçek, M. & Oyman, T. (2016). Origin and evolution of hydrothermal fluids in epithermal Pb-Zn-Cu±Au±Ag deposits at Koru and Tesbihdere mining districts, Çanakkale, Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 78, 176-195.
- Çiçek, M., Oyman, T., Kaliwoda, M. & Hochleitner, R. (2017). Mineralogy and mineral chemistry of the Arapuçandere Pb-Zn-Cu (Ag-Au) mineralization in the northeast of Yenice (Çanakkale), Biga Peninsula, NW Turkey. *Workshop on Subduction Related Ore Deposits, Abstracts Book* (p.:18). Karadeniz Technical University, Trabzon-Turkey.
- Çiçek, M., Oyman, T. & Palmer, M. R. (2021). Variation of Cu, Fe, S and Pb isotopes in sulfides from hydrothermal mineralization from the Yenice region in Çanakkale, Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 136, Article 104255. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104255>
- Delaloye, M. & Bingöl, E., (2000). Granitoids from Western and Northwest Anatolia: Geochemistry and modeling of geodynamic evolution. *International Geology Review*, 42, 241-268.
- Demirela, G., Akıska, S., Sayılı, İ. S. & Kuşçu, İ. (2014). Çataltepe (Lapseki-Çanakkale) Pb-Zn±Cu±Ag yatağı'nın jeolojisi ve alterasyon özellikleri. *Yerbilimleri*, 35(2), 141-168.
- Demirela, G. & Akıska, S. (2022). Evaluation of Pb isotope systematics and metal sources of the Biga Pb-Zn Province (NW Turkey) and comparison with the Pb isotope systematics of the Rhodope Massif. *Journal of African Earth Sciences*, 187, Article 104445. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104445>
- Doyuran, M. (1970) . *The preliminary study of Pb-Zn mineralizations between Evciler-Dağoba (Bayramiç/Çanakkale)* (Report no. 4976). MTA, Ankara. (in Turkish, unpublished).
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Ilgar, A., Dönmez, M. ve Akçay, A. E. (2007). 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Bandırma-H18 paftası, no:102. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Okay, A.İ., Şentürk, Y. ve Kar, H.(2012). *Biga Yarımadası'nın Tersiyer öncesi jeolojisi. Biga Yarımadası'nın genel ve ekonomik jeolojisi*. MTA Özel Yayın Serisi-28, 7-77.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W. & Inan, E. E. (2003). Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. In S.F. Simmons, I. Graham (Eds.), *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth*. <https://doi.org/10.5382/SP.10.15>
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakioğlu, E., Adis, C., Walter, H.J. ve Yıldırım, T. (1995). Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşanlı adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri. *MTA Dergisi*, 117, 55-86.
- Eric, D., Philippe, B., Jean, L.C., Jean, P.D., Yves, F., Pierre, A. & Toshitaka, G. (1999). Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63 (5), 627-643.
- Ersoy, E.Y., Palmer, M.R., Can Genç, Ş., Prevelic D., Akal, C. & Uysal, İ. (2017a). Chemo-probe into the mantle origin of the NW Anatolia Eocene to Miocene volcanic rocks: Implications for the role of, crustal accretion, subduction, slab roll-back and slab break-off processes in genesis of postcollisional magmatism. *Lithos*, 288-289, 55-71. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.07.006>
- Ersoy, E.Y., Akal, C., Can Genç, Ş., Candan, O., Palmer, M.R., Prelevic, D., Uysal, İ. & Mertz-Kraus, R. (2017b). U-Pb zircon geochronology of the Paleogene-Neogene volcanism in the NW Anatolia: Its implications for the late Mesozoic-Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *Tectonophysics*, 717, 284-301. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.08.016>
- Evans, A.M. (1993). *Ore geology and industrial minerals: An introduction*. Blackwell Scientific Publications, London.
- Field, C.W. & Fifarek, R.H. (1985). Light isotope systematics in the epithermal environment. In B. R. Berger, P.M. Bekte (Eds.), *Geology and Geochemistry of Geothermal Systems, Reviews in Econ. Geology*, 2, 99-128.
- Foley, S.F. & Wheller, G.E. (1990). Parallels in the origin of the geochemical signatures of island arc volcanics and continental potassic igneous rocks: The role of residual titanites. *Chemical*

- Geology*, 85, 1–18. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(90\)90120-V](https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90120-V)
- Genç, S.C. (1998). Evolution of the Bayramiç magmatic complex, Northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 233–249.
- Gözler, M.Z., Ergül, E., Akçaören, F., Genç, Ş., Akat, U. ve Acar, Ş. (1984). *Çanakkale Boğazı doğusu Marmara Denizi güneyi Bandırma–Balıkesir Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve kompilasyonu* (Rapor no:7430). Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu, (yayımlanmamış).
- Gültekin, A. H. ve Örgün, Y. (2005). Arapuçan (Yenice-Çanakkale) Pb-Zn-Cu-Ag yatağının jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 97-107.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. & Reynolds, T. J. (1998). Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system; Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology*, 93(4), 373-404.
- Heinrich, C. A., Driesner, T., Stefánsson, A. & Seward, T. M. (2004). Magmatic vapor contraction and the transport of gold from the porphyry environment to epithermal ore deposits. *Geology*, 32(9), 761-764.
- Henderson, P. (1984). General geochemical properties and abundance of the rare earth elements. In P. Henderson (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry* (pp. 1-32.). *Developments in Geochemistry 2*, Elsevier, Amsterdam.
- Huston, D. L., Sie, S. H., Suter, G. F., Cooke, D. R. & Both, R. A. (1995). Trace elements in sulfide minerals from eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; Part I, Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II, Selenium levels in pyrite; comparison with delta ³⁴S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems. *Economic Geology*, 90(5), 1167-1196. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.5.1167>
- Hoefs, J. (1987). *Stable Isotope Geochemistry*, 3rd edn. Springer, Berlin-Heidelberg New York.
- Hoefs, J. (2009). *Stable Isotope Geochemistry*, 6th ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Ishihara, S. & Sasaki, A. (1989). Sulfur isotopic ratios of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids of the Sierra Nevada batholith - a reconnaissance study. *Geology*, 17(9), 788-791.
- Kaaden, G. v. d. (1956). *Edremit Bölgesinde jeoloji ve maden yatakları incelemeleri* (Rapor No. 2400). Maden Tetkik Arama Enstitüsü Raporu (yayımlanmamış).
- Kaaden, G. v. d. (1957). *Çanakkale-Biga Edremit yarımadası bölgesindeki jeolojik saha çalışmaları ve maden yatakları hakkında rapor* (Rapor no: 2661). Maden Tetkik Arama Enstitüsü Raporu (yayımlanmamış), Ankara.
- Kandemir, Ö., Pehlivan, Ş., Kanar, F. ve Tok, T. (2013). *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi no:191 Bandırma-H21 paftası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Karacık, Z. & Yılmaz, Y. (1998). Geology of the ignimbrites and the associated volcano-plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 251-264.
- Kasapçı, C. (2005). *Kuzeybatı Anadolu Pb-Zn yataklarının jeolojisi ve oluşumlarının karşılaştırmalı incelemesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Kasapçı, C., Öztürk, H., Hanilçi, N. & Aysal, N. (2008). Jeoloji ve sıvı kapanım bulguları ışığında Arapuçandere (Yenice-Çanakkale) Pb-Zn-Cu yatağının oluşumu. *Türkiye Kurşun-Çinko Yataklarının Jeolojisi, Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu, Bildiri Kitabı* (s.: 100-118). 14–16 Ocak 2008- İstanbul,
- Kaya, O. & Mostler, H. (1992). A Middle Triassic age for low-grade greenschist facies metamorphic sequence in Bergama (Izmir), western Turkey: the first paleontological age assignment and structural-stratigraphic implications. *Newsletters on Stratigraphy*, 1-17.
- Kelemen, P. B., Johnson, K. T. M., Kinzler, R. J. & Irving, A. J. (1990). High-field-strength element depletions in arc basalts due to mantle-magma interaction. *Nature*, 345(6275), 521-524.

- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Dergisi*, 66: 20-37. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bulletinofmre/issue/3892/51961>
- Kıray, D.(2010). *Karadoru-Karaköy (Çanakkale) arasındaki Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin jeolojik ve jeokimyasal özellikleri* [Yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kıray, D. (2021). *Şahinli (Lapseki-Çanakkale, Batı Türkiye) bölgesindeki Kestanelik Au-Agcevherleşmesinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelemeler ile kökeninin belirlenmesi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kıray, D. ve Cengiz, O. (2023). Kestanelik granitoidinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri (Çanakkale, Biga Yarımadası)/Petrographical and geochemical characteristics of the Kestanelik granitoid (Çanakkale, Biga Peninsula). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 66(1) 127-148. <https://doi.org/10.25288/tjb.1187739>
- Klinkhammer, G.P., Elderfield, H., Edmond, J.M. & Mitra, A. (1994). Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 5105-5113.
- Konak, N., Alan, İ., Bakırhan, B., Bedi, Y., Dönmez, M., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Türkecan, A. ve Yusufoglu, H. (2016). *1/1.000.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Qin, K. & Zhao, J. (2019). Origin and evolution of hydrothermal fluids in the Marshounepithermal Pb-Zn-Cu (Ag) deposit, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 113, 103087.
- Kozur, H.W, Aydın, M., Demir, O., Yakar, H., Göncüoğlu, M.C. & Kuru, F. (2000). New Stratigraphic and Palaeogeographic Results from the Palaeozoic and Early Mesozoic of the Middle Pontides (Northern Turkey) in the Azdavay, Devrekani, Küre and Inebolu Areas: Implications for the Carboniferous - Early Cretaceous Geodynamic Evolution and Some Related Remarks to the Karakaya Oceanic Rift Basin. *Geologia Croatica*, 53(2), 209-268. <https://doi.org/10.4154/GC.2000.03>
- Kuşcu, İ, Tosdal, R. M. & Gençalioğlu-Kuşcu, G. (2019). Episodic porphyry Cu (-Mo-Au) formation and associated magmatic evolution in Turkish Tethyan collage. *Ore Geology Reviews*, 107, 119-154. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.005>
- Laçın, D. (2003). *Biga Yarımadası (Çanakkale-Balıkesir) haloysitlerinin yataklanma özellikleri, mineralojisi ve oluşumları* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Loftus-Hills, G. & Solomon, M. (1967). Cobalt, nickel and selenium in sulfides as indicators of ore genesis: *Mineralium Deposita*, 2, 228-242.
- Lottermoser, B. G. (1992). Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7(1), 25-41. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(92\)90017-F](https://doi.org/10.1016/0169-1368(92)90017-F)
- Malakhov, A.A.(1969). *Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore formation*. Institute of Geophysics, Tashkent.
- McDonough, W.F. & Sun, S.S. (1995). The composition of the earth. *Chemical Geology*, 120(3-4), 223-253.
- Menant, A., Jolivet, L., Tuduri, J., Loiselet, C., Bertrand, G. & Guillou-Frotier, L. (2018). 3D subduction dynamics: A first-order parameter of the transition from copper- to gold-rich deposits in the eastern Mediterranean region. *Ore Geology Reviews*, 94, 118-135. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.023>
- Michard, A. & Albarède, F. (1986). The REE content of some hydrothermal fluids. *Chemical Geology*, 55(1-2), 51-60. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(86\)90127-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(86)90127-0)
- Moller, P. & Morteani, G. (1983). On the geochemical fractionation of rare earth elements during the formation of Ca-minerals and its application to problems of the genesis of ore deposits. In S.S. Augusthitis (Ed.), *The Significance of Trace Elements in Solving Petrogenetic Problems and Controversies* (pp. 747-791). Theophrastus, Athens.
- Müller, D., Rock, N. M. S. & Groves, D. I. (1992). Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings, a pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46, 259-289. <https://doi.org/10.1007/BF01173568>

- Ohmoto, H. & Rye, R. O. (1979). Isotopes Sulfur and Carbon: In H. L. Barnes, (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Second Edition*, (509–567), John Wiley and Sons Inc., New York.
- Okay, A. İ., Siyako, M. ve Bürkan, K.A. (1990). Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2(1), 83-121.
- Okay, A. İ., Siyako, M. & Bürkan, K. A. (1991). Geology and tectonic evolution of Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Bulletin Technical University of İstanbul*, 44, 191-255.
- Okay, A. I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515.
- Okay, A. I. & Altın, D. (2004). Uppermost Triassic Limestone in the Karakaya Complex–Stratigraphic and Tectonic Significance. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 187-199. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol13/iss2/5>
- Okay, A. I. & Göncüoğlu, M. C. (2004). The Karakaya Complex: a review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 75-95.
- Ovalıoğlu, R. (1973). Biga Yarımadası'nın jeolojisi, maden yatakları ve bakır-kurşun çinko mineralizasyonu için ümitli olan bölgeler. *Madencilik Dergisi*, 12(6), 1-22.
- Oyman, T. (2018). *Yenice'nin KD'daki Granitoid sokulumlar ile ilişkili magmatik-hidrotermal sistemlerle ilişkili cevherleşmeler arasındaki bağlantılar (Çanakkale, Biga Yarımadası)*, (Rapor no: 114Y055). Tübitak Proje Raporu.
- Öngen, S. (1982). *Yenice (Çanakkale) granitoidlerinin ve yan kayaların petrolojisi* [Doçentlik Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Öngen, S., Aysal, N. & Azaz, D. (2002). Çan Güneyi (Çanakkale) Geç Tersiyer Riyolit-Bazalt Karakterli Volkanizması. 55. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, 201-203.
- Örgün, Y., Gültekin, A. H. & Önal, A. (2005). Geology, mineralogy and fluid inclusion data from the Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Ag deposit, Çanakkale, Turkey: *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, 629-642.
- Pearce, J. A. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In C. J. Hawkesworth & M. J. Norry (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, (pp.: 230-249.). Shiva Cheshire, UK.
- Pearce, J. A. & Parkinson, I. J. (1993). Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In H.M. Prichard, T. Alabaster, N.B.W. Harris, C.R. Neary, (Eds.), *Magmatic Processes and Plate Tectonics, Volume 76* (pp. 373-403). Geological Society of London: London, UK.
- Pearce, J. A. & Peate, D. W. (1995). Tectonic implications of the composition of the volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-285. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.23.050195.001343>
- Pehlivan, A. N. & Çetin, A. (1997). *Edremit (Balıkesir) Ezine-Bayramiç-Yenice (Çanakkale) çevresinin altın ağırlıklı polimetal ve ağır mineral çalışmaları raporu* (Rapor No: 10061). MTA Derleme Raporu, Ankara (yayımlanmamış).
- Pehlivan, Ş., Duru, M., Dönmez, M. Akçay, A. E. ve Ilgar, A. (2007). *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Balıkesir-İ19 paftası, No:96*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Qi, X. X., Yu, F. L. & Yu, C. L. (2008). Rare earth element and trace element geochemistry of Shalagang antimony deposit in the Southern Tibet and its tracing significance for the origin of metallogenic elements. *Geoscience*, 22(2), 162-172.
- Richards, J. P. (2015). Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: from subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, 70, 323–345. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009>
- Ringwood, A. E. (1990). Slab-mantle interactions: 3. Petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle. *Chemical Geology*, 82, 187-207.
- Ruggieri, G., Lattanzi, P., Luxoro, S. S., Dessi, R., Benvenuti, M. & Tannelli, G. (1997). Geology, mineralogy and fluid inclusion data of the Furtei high-sulfidation gold deposit, Sardinia, Italy. *Economic Geology* 92, 1–14.

- Sánchez, M. G., McClay, K. R., King, A. R. & Wijbrams, J. R. (2016). Cenozoic crustal extension and its relationship to porphyry Cu-Au-(Mo) and epithermal Au-(Ag) mineralization in the Biga peninsula, Northwestern Turkey. In J. P. Richards (Ed.), *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt, Special Publication (Society of Economic Geologists (U. S.))19*, 113-156. <https://doi.org/10.5382/SP.19.05>
- Shahbazi, S., Ghaderi, M. & Alfonso, P. (2019). Mineralogy, alteration, and sulfur isotope geochemistry of the Zehabad intermediate sulfidation epithermal deposit, NW Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 28(6), 882-901.
- Sillitoe, R. H. (1973). The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 68(6), 799-815.
- Stolz, A. J., Varne, R., Davies, G. R., Wheller, G. E., & Foden, J. D. (1990). Magma source components in an arc-continent collision zone: the Flores-Lembata sector, Sunda arc, Indonesia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 105, 585-601.
- Şengör, A. M. C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A. M. C., Cin, A., Rowley, D. B. & Nie, S. Y. (1993). Space-time patterns of magmatism along the Tethysides: A preliminary study. *The Journal of Geology*, 101(1), 51-84.
- Tufan, E. A. & Kara, A. (1987). *Çanakkale-Yenice-Vakıf Köyü Pb-Zn-Cu Cevherleşmesi Maden Jeolojisi Raporu* (rapor no: 8297). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Tunç, I. O., Yiğitbaş, E., Sengun, F., Wazeck, J., Hofmann, M. & Linnemann, U. (2012). U-Pb zircon geochronology of northern metamorphic massifs in the Biga Peninsula (NW Anatolia-Turkey): new data and a new approach to understand the tectonostratigraphy of the region. *Geodinamica Acta*, 25(3-4), 202-225. <https://doi.org/10.1080/09853111.2013.877242>
- Ünal-Çakır, E. (2020). Sulphur and lead isotope geochemistry of the Dursunbey (Balıkesir) lead-zinc deposit. *Journal of African Earth Sciences*, 172, Article 104003.
- Walshe, J. L. & Solomon, M. (1981). An investigation into the environment of formation of the volcanic-hosted Mount Lyell copper deposits using geology, mineralogy, stable isotopes and a six-component chlorite solid solution model. *Economic Geology*, 76(2), 246-284. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.76.2.246>
- Yenigün, K. (1978). *The geological report of Alandere Pb-Zn-Cu mineralization in Çakır Village (Yenice/Çanakkale)* (Report no. 6564). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara (in Turkish, unpublished).
- Yılmaz, Y. (1990). Allochthonous terranes in the Tethyan Middle East: Anatolia and the surrounding regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 331, 611-624. <https://doi.org/10.1098/rsta.1990.0093>
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Karacık, Z. & Altunkaynak, Ş. (2001). Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *Journal of Geodynamics*, 31(3), 243-271. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(01\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(01)00002-3)
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M. ve Yılmaz, K. (1994). Kuzeybatı Anadolu'da geç Kretase yaşlı kıta kenarının jeolojik evrimi, Türkiye. *10. Petrol Kongresi*, 37-55.
- Yılmaz, H., Oyman, T., Sönmez, F. N., Arehart, G.B. & Billor, Z. (2010). Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Şahinli/Tespilh Dere (Lapseki /Western Turkey). *Ore Geology Reviews*, 37(3-4), 236-258. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2010.04.001>
- Yiğit, Ö. (2012). A prospective sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and Geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.09.015>
- Yiğitbaş, E. & Tunç, İ. O. (2020). Biga Yarımadası'nda Sakarya Zonunun Prekambriyen Metamorfik Kayaları; Geç Ediyakaran Gondwanaland Aktif Kıta Kenarı. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(3), 277-302. <https://doi.org/10.25288/tjb.589144>
- Yusoff, Z. M., Ngwenya, B. T. & Parsons, I. (2013). Mobility and fractionation of REEs during deep weathering of geochemically contrasting granites

in a tropical setting, Malaysia. *Chemical Geology*, 349, 71-86.

Yücelay, M. A. (1971). *Geological etude of the Karaköy-Arapuçandere Pb-Zn-Cu mineralization, Çanakkale-Yenice* (Report No. 4688). Mineral Research and Exploration Institute of Turkey.

Yücelay, M. A. (1976). *Çanakkale-Yenice geological report related to the Karaköy-Arapuçandere Pb-Zn-Cu area* (Report No. 5655). Mineral Research and Exploration Institute of Turkey.

Zamanian, H. & Radmard, K. (2016). Geochemistry of rare earth elements in the Baba Ali magnetite skarn deposit, western Iran—a key to determine conditions of mineralization. *Geologos*, 22(1), 33-47.

Zhai, D., Williams-Jones, A. E., Liu, J., Selby, D., Voudouris, P. C., Tombros, S., Li, K., Li, P. & Sun, H. (2020). The genesis of the Giant Shuangjianzishan epithermal Ag-Pb-Zn deposit, Inner Mongolia, Northeastern China. *Economic Geology*, 115(1), 101-128.