



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



Balaban (Demirköy-Kırklareli) demir cevherleşmesinin jeolojisi ve oluşumu

Ercan DEMİRYÜREK^{a*} ve Hüseyin ÖZTÜRK^b

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

^bİstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Istranca Masifi,
Balaban Formasyonu,
Kumtaşı içindeki demir
cevherleşmeleri, Toarsiyen
oksijensizliği

ÖZ

Balaban demir cevherleşmesi, Istranca Masifi içindedir. Istranca Masifi Permiyen'de metamorfizmaya uğramış gnays, migmatit ve metagranitlerden oluşan Veriskan bir temel ile bunu uyumsuzlukla örten ve geç Jura-erken Kretase'de yeşilist metamorfizmasına uğramış erken Jura yaşlı çakıltaşları (Yuvarlaktepe Formasyonu), kalın kumtaşları (Gümüşalan Formasyonu) ve Toarsiyen yaşlı, oksijensiz deniz koşullarından çökelen piritli siyah şeyl ve fosfatlı şeyl içeren (Balaban Formasyonu) çökellerden oluşmaktadır. Cevherleşme, iki farklı tipte oluşmaktadır. İlki, Gümüşalan Formasyonu'nun üst kesimlerinde gözlenen cevherleşme olup lepidokrosit, magnetit, pirit, pirotit, kromit, rutil, kalkopirit, sfalerit ve psilomelan minerallerini içermektedir. İkinci tip ise metakumtaşları ile siyah metaşeyller arasındaki kırık ve fay hatlarında gelişen breş dolgulu hematit cevherleşmesidir. Fe tenörü birinci tip için %2-32, ikinci tip için %6-50 arasındadır. Metakumtaşları içerisindeki birinci tip demir cevherleşmesi, Toarsiyen yaşlı siyah şeyllerdeki piritlerin oksitlenmesiyle iyon haline geçen demirin aşağı hareket ederek Gümüşalan Formasyonu'nun üst kesimlerinde kumtaşlarında oksitlenmesi sonucunda çökeltme ile oluşmuştur. Bu süreç olasılıkla Üst Kretase sonrası-Orta Eosen öncesi dönemde gelişmiş olmalıdır. Bu dönemde bölgesel yükselmeye bağlı olarak piritik şeyllerin oksidasyonu gerçekleşmiş ve yeraltı sularına bağlı olarak kumtaşı içinde dolgulanmalar şeklinde demiroksit cevherleşmesi oluşmuştur. Breş dolgulu cevherleşmede 50 ppb'ye varan Au değerleri, Cu ve Fe iyonlarının derindeki yaşlı kayalardan olasılıkla Orta Eosen sonrası dönemde hidrotermal çözültürce söküldüğünü, bunların Gümüşalan-Balaban formasyonları arasındaki faylı dokanıklarda depolandığını göstermektedir.

Gönderim Tarihi: 29.07.2024

Kabul Tarihi: 01.10.2024

Keywords:

Strandja Massif,
Balaban Formation, Iron
Mineralization in Sandstone,
Toarcian Anoxia

ABSTRACT

Balaban iron mineralization is located within the Strandja Massif. Strandja Massif is composed of metamorphosed Veriscan basement consisting of Permian gneisses, migmatites and metagranites, and early Jurassic conglomerate (Yuvarlaktepe Formation) metamorphosed to greenschist in the late Jurassic-early Cretaceous which discordantly overlying, thick sandstones (Gümüşalan Formation) and Toarsian sediments containing pyrite black shale and phosphatic shale (Balaban Formation) deposited in anoxic marine conditions. Mineralization occurs in two different types. The first one is mineralization observed in the upper parts of the Gümüşalan Formation which contains lepidocrocite, magnetite, pyrite, pyrrhotite, chromite, rutile, chalcopyrite, sphalerite and psilomelane minerals. The second is breccia-filled hematite mineralization developed in the fracture and fault lines between metasandstones and black metashales. The Fe grade of the first type is between 2-32% and the Fe grade of the second type is between 6-50%. The first type of iron mineralization in the metasandstones was formed by precipitation as a result of the iron ionized by the oxidation of pyrites in the Toarsian black shales moving down and oxidizing in the sandstones in the upper parts of the Gümüşalan Formation. This process probably developed in the post-Upper Cretaceous to pre-Middle Eocene period. During this period, oxidation of pyritic

Received Date: 29.07.2024

Accepted Date: 01.10.2024

Atf Bilgisi: Demiryürek, E., Öztürk, H. 2024. Balaban (Demirköy-Kırklareli) demir cevherleşmesinin jeolojisi ve oluşumu. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 6, 1-20.

*Başvurulacak yazar: Ercan DEMİRYÜREK, edemiryurek@mta.gov.tr

shales occurred due to regional uplift, and iron oxide mineralization was formed in the form of fillings in the sandstone due to groundwater. Au value which is up to 50 ppb in the breccia-filled mineralization indicates that Cu and Fe ions were probably removed from the deeper older rocks by hydrothermal solutions in the post-Middle Eocene period and that they were stored in the fault zones between the Gümüşalan and Balaban formations.

1. Giriş

Türkiye’de farklı tiplerde demir yatakları bulunmaktadır (TMMOB, 2015; Öztürk vd., 2016; Tiringa vd., 2019), ancak ekonomik olarak işletilebilenlerin çoğunluğu skarn ve hidrotermal yataklardır. Diğer tipler ise genellikle tenörlerinin düşüklüğü ve içerdikleri zararlı elementler (S, As, P vb.) nedeniyle kısmen işletilebilmektedir. Dünya genelinde demir cevheri üretiminin büyük bir kısmı Prekambriyen yaşlı sedimanter tip yataklarda bulunan bantlı demir yataklarından elde edilmektedir. Türkiye’deki bilinen sedimanter tip yataklar arasında Çamdağ (Kocaeli), Araç (Kastamonu), Silifke (Mersin), Örendüz (Anamur-Mersin) ve Balaban (Kırklareli) yatakları bulunmaktadır (Tiringa vd., 2019). Bu yataklar üzerine eski tarihli çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, günümüzde sedimanter jeokimyanın teorik açıdan gelişmesi, bu yataklara yeni bir bakışı gerektirmektedir.

Kırklareli’nin Balaban demir cevherleşmelerinde 1977 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 5 lokasyonda 363 metre karotlu sondaj yapılmış ve değerlendirmelerin ardından, 2017-2018 yılları arasında yine MTA tarafından sahada yeniden bir proje oluşturulmuştur. Bu proje kapsamında, toplam 74 lokasyonda 12.348,70 metre karotlu sondaj gerçekleştirilmiş ve detaylı etüt çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalara göre, 12 metre kalınlığa kadar ulaşan %19 ila %45 arasında değişen Fe tenörlerine sahip seviyelerin varlığı belirlenmiştir. Cevher zonuun yaklaşık 9-10 kilometrelik bir uzanımına sahip olduğu, yer yer incelenerek sonlandırıldığı ve tekrar mostra verdiği gözlemlenmiştir. Balaban demir cevherleşmesi, Istranca Masifi’nde bulunan ve sedimanter tip Fe yatağı olarak kabul edilen önemli bir kaynaktır (Tiringa vd., 2019). Jeolojik ve tektonik konumu nedeniyle bu cevher Türkiye’nin madencilik sektörü için potansiyel bir alan olarak değerlendirilebilir.

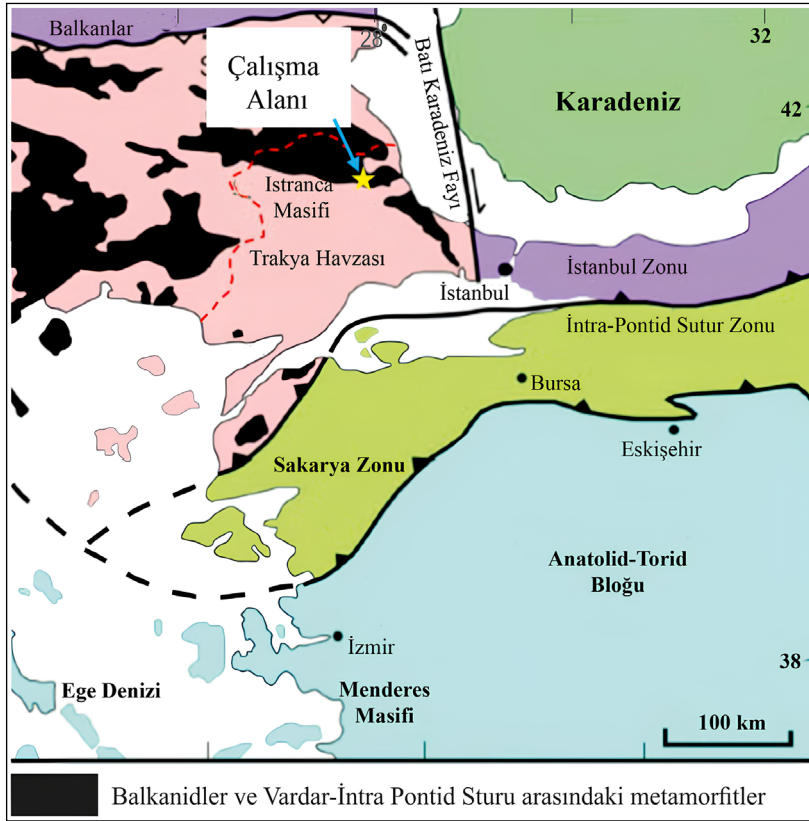
Balaban demir cevherleşmeleri, Trakya Havzası’nda Jura yaşlı formasyonlarda yer alır. Bu cevherleşmelerin jeolojik süreçlerinin tam ve doğru olarak tanımlanması, cevher-yan kayaç ilişkilerinin ve cevher-tektonizma ilişkilerinin incelenmesiyle mümkündür. Bu çalışmalar, bölgesel ölçekte yapılacak etütlerle desteklenmelidir. Doğru değerlendirmeler yapıldığında, yeni demir yataklarının keşfi için olumlu bir ortam sağlanabilir.

Bu çalışma kapsamında, Jura yaşlı kırıntılılar içinde yer alan ve stratigrafik bir devamlılığa sahip Balaban demir cevherleşmesi ile bir fay hattına yerleşmiş breş dolgulu demir cevherleşmesinin oluşumu, saha çalışmaları ve MTA tarafından yapılan sondajlardan alınan karot örneklerinin jeokimyasal ve mineralojik incelemeleri, ayrıca duraylı kükürt izotopu verileri değerlendirilerek modellemeye çalışılmıştır. Bu sayede, cevher gelişiminin kökeni ve süreçlerinin ortaya konması hedeflenmiştir.

2. Bölgesel Jeoloji

Balaban Köyü doğu Trakya’da Kırklareli il sınırı içinde, Kırklareli iline 83 km ve Demirköy ilçesine 9 km uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı, Istranca Masifi olarak bilinen tektonik birlik içinde yer alır. Istranca Masifi Prekambriyen, Paleozoyik bir çekirdeğe sahip kayaç topluluklarından oluşur ve kuzeyinde Balkanid’ler güneyinde ise Sakarya Kıtası bulunur (Yılmaz vd. 2022). Istranca Masifini oluşturan Prekambriyen, Paleozoyik ve Mesozoyik formasyonları İstanbul Zonu’nda, diğer taraftan İstanbul Zonu’nda izlenen kayaç toplulukları da Istranca Masifi’nde görülmez ve bu nedenle İstanbul Zonu ile Istranca Masifi iki ayrı tektonik birlik olarak kabul edilir (Okay ve Tüysüz, 1999).

İnceleme alanı ve civarında daha önce yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu genel olarak bölgenin jeolojisi ve jeodinamik evrimine yönelik çalışmalardır (Örneğin; Pamir ve Baykal, 1947;



Şekil 1- İnceleme alanı ve çevresine ait tektonik birlikleri gösteren harita (Okay vd., 2001). Haritada Istrañca Masifi'nin güneyden İntra-Pontid suture, doğudan ise İstanbul Zonu ile tektonik sınırlı olduğu görülmektedir.

Ternek, 1949; Ayhan vd., 1972 ile Yurtsever vd., 1993; Ercan vd., 1998; Karacık ve Tüysüz, 2009; Bedi vd., 2011). Istrañca Masifi'ndeki porfiri ve skarn tip cevherleşmelere ait çalışmalar bulunsa da incelemeye konu olan Balaban demir cevherleşmesi ile ilgili MTA tarafından yapılan tek bir çalışma bulunmaktadır (Tiringa vd., 2019).

Balaban demir cevheri Istrañca Masifi içerisinde ve Kırklareli ilinin kuzeyinde yer almaktadır. Masifin güneyinde ise Tersiyer-Kuvaterner yaş aralığında çökelmiş kırıntılı birimler bulunmaktadır (Yurtsever vd., 1993; Okay ve Yurtsever, 2006). Istrañca Masifi, batıda Rodop Masifi ve doğuda İstanbul Paleozoyiki ile sınırlanmıştır. Masifin tabanında yüksek derecede metamorfizmaya uğramış çekirdek kayalar bulunur ve bunların üzerinde Permo-Triyas'tan başlayarak Kretase'ye kadar devam eden metamorfik çökel paketi yer alır. Metamorfik seriler (Üşümezsoy, 1982), Kretase yaşlı granitoidler tarafından kesilmektedir. Istrañca Masifi'nin örtü birimleri ise

Eosen yaşlı Kırklareli kireçtaşları ile başlar. Eosen üzerine denizelle başlayıp karasala geçen Oligosen formasyonları ve bunun üzerinde de kömürlü Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu ve Pliyosen yaşlı karasal Trakya Formasyonu gelir (Siyako, 2006).

Doğanköy Napı bölgedeki en üst yapısal birimi oluşturmakta ve Geç Karbonifer öncesi yaşta felsik ve mafik intrüzyonlarla kesilmiş Prekambriyen-Paleozoyik yaşlı Tekedere Grubu kayaları ile başlamaktadır. Bu gruba ait kayalar, değişik bileşimsel ve dokusal özellikler gösteren metagranit ve ortogneysler ile temsil edilen Geç Karbonifer-Erken Permiyen yaşlı Hamzabeyli graniti ve Kırklareli Grubu kayaları tarafından kesilmektedir. Üstteki kaya birimleri, açısız uyumsuzlukla tabanda metakonglomera/gneys ile başlayıp, üste doğru ince meta kırıntılılarla devam eden Erken Triyas yaşlı Evciler Formasyonu ve daha sonra, Orta Triyas yaşlı Kocayazı Formasyonu ve Kapaklı Formasyonu ile sonlanmaktadır (Bedi vd., 2011). Bu yapısal birimler,

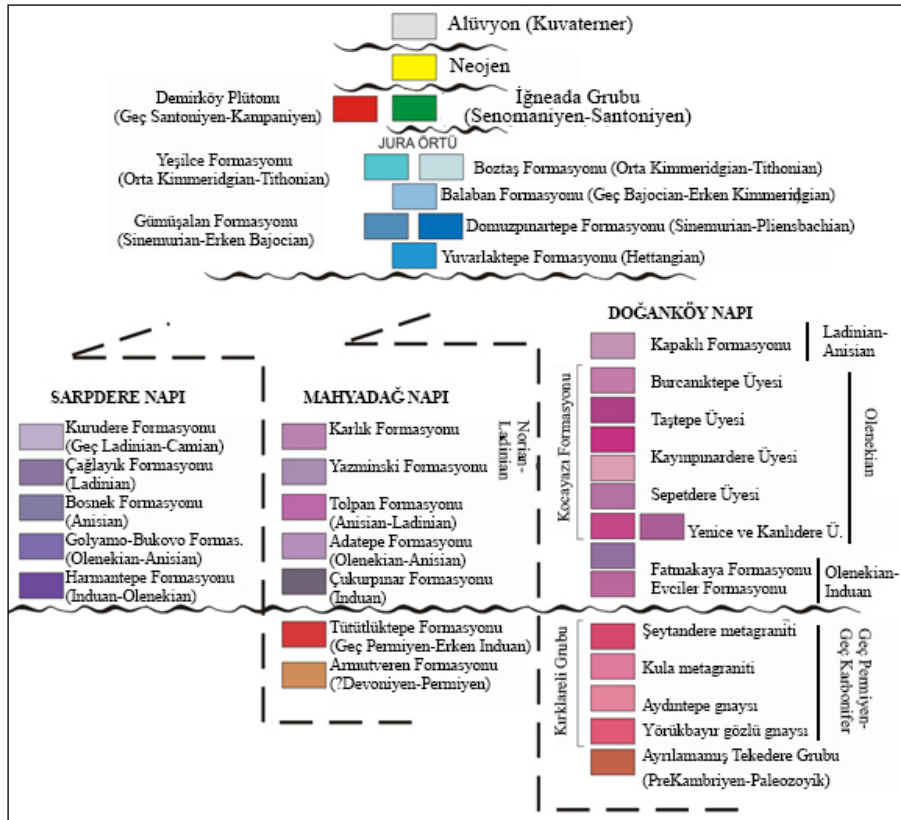
Jura yaşlı birimler tarafından örtülmüştür. Bu birimler alttan üst doğru, Erken Jura yaşlı Yuvarlaktepe formasyonu, Domuzpınartepe formasyonu, Gümüşalan Formasyonu, Balaban Formasyonu ve en üstte Kalloviyen yaşlı Boztaş ve Balcitepe formasyonları yer alır. Istranca naplarına ait kaya birimleri ile Jura yaşlı örtü birimleri İğneada Grubu volkanosedimanter kayaçları ile açılal uyumsuzlukla örtülür. Tüm bu birimler, Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Demirköy plütonik kayaçları ile kesilir (Bedi vd., 2011) (Şekil 2).

2.1. Bölgenin Metalik Maden Yatakları

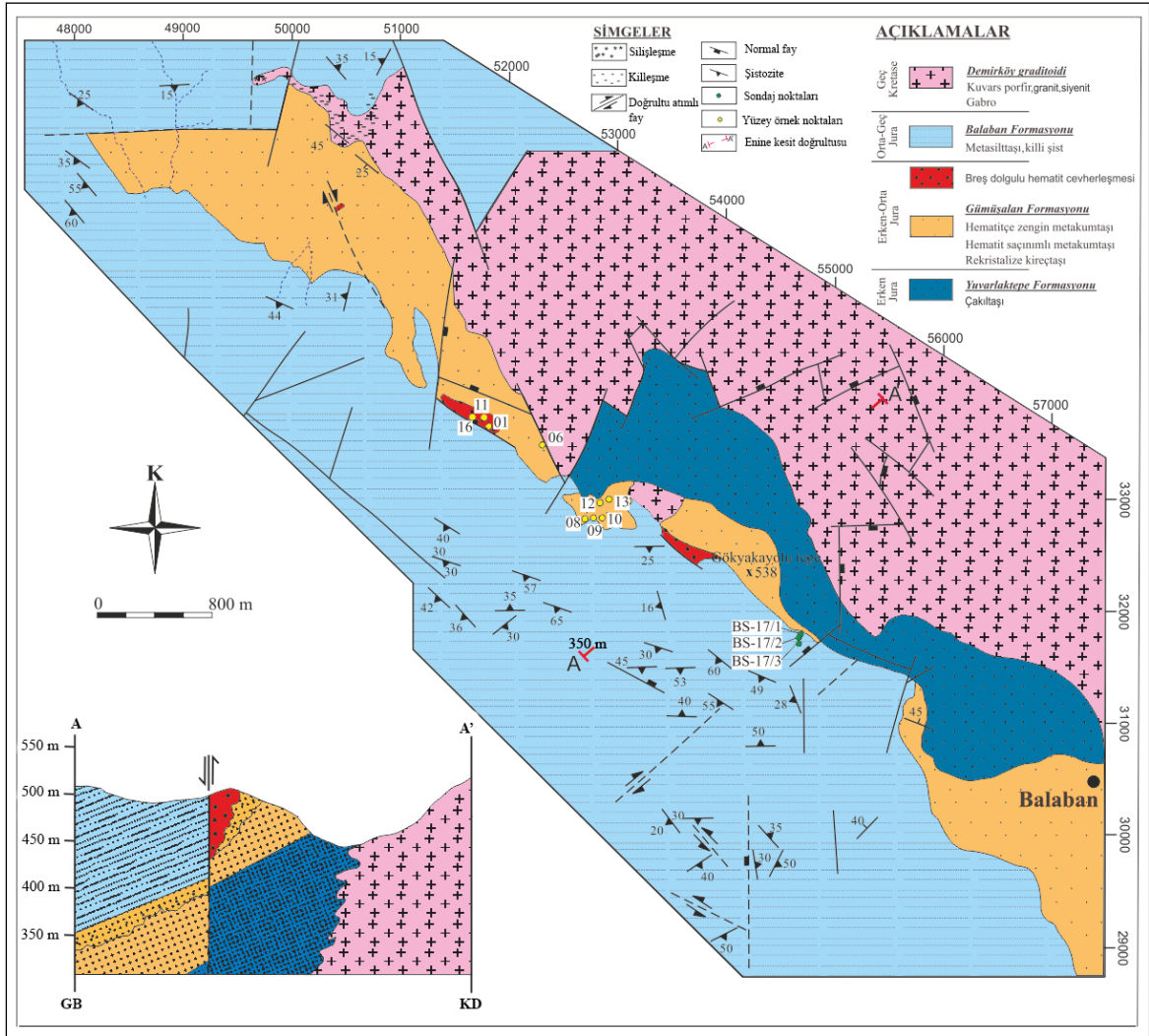
Istranca Bölgesi, antik dönemlerde madencilik faaliyetlerinin yapıldığı önemli bir bölge olup özellikle demir cevherlerinin, eski dönemlerden beri işletildiği, sahada gözlenen işletme çukurları, curuflar ve Demirköy'deki dökümhaneden anlaşılmaktadır. Istranca bölgesinde, özellikle Demirköy ve Dereköy plütonları ile ilişkili porfiri tip Cu-Mo ve skarn-tip demir cevherleşmelerinin varlığı bilinmektedir (Taner vd., 1983; Gültekin, 1999).

İkiztepeliler Cu-Mo-W cevherleşmesi, Demirköy plütonunun dolomitik kireçtaşı, şist ve metakumtaşı ile olan tektonik dokanağında gelişmiştir (Şekil 3). Cevherleşme KB-GD doğrultulu (Taner ve Çağatay, 1983) bir zonda magmatik kayaçlarla (granodiyorit, monzodiyorit, hiperstenli monzonit) karbonatlı kayaçların dokanağında skarn tip bir cevherleşme olup geçmiş dönemde bir miktar işletilmiştir (Taner ve Çağatay, 1983).

Şükrüpaşa Cevherleşmesi, Kırklareli'nin 54 km kuzeydoğusunda, Şükrüpaşa köyünün 2 km doğusunda yer almaktadır (Şekil 3). Cevherleşme, Şükrüpaşa sokulum kayaçları ile bunların dokanağındaki dolomitik kireçtaşı, daha az oranda kalkşist ve metakumtaşlarında gelişmiştir (Taner, 1981; Gültekin, 1999). Gültekin (1999)'e göre cevherleşme iki farklı fazda gelişmiş olup birinci fazda porfiri intrüzifler içerisinde saçınımlı ve damarcıklar şeklinde (zayıf porfiri tip) ve ikinci fazda ise bu intrüziflerin kontaklarındaki karbonatlarda pirometazomatik olarak gelişmiştir. Şükrüpaşa yatağı İkiztepeliler



Şekil 2- Istranca Kristalen Kompleksi'nin tektono-stratigrafik kesiti (Bedi vd., 2013).



Şekil 3- Balaban ve civarının jeoloji haritası (Tiringa vd., 2019'dan düzenlenerek). BS-17/1, BS-17/2 ve BS-17/3 sondaj noktalarını göstermektedir.

yatağında izlenen tüm skarn silikat ve sülfürlü bakır ve molibden minerallerini içermektedir.

Korutepe Zuhuru, Demirköy ilçesinin yaklaşık 6 km doğusunda, Korutepe'nin kuzey kesiminde bulunmaktadır. Cevherleşme, Demirköy plütununun kalkışist ve kireçtaşları dokanağında gelişen skarn zonunda oluşmuştur. Skarn zonunda diyopsit, grossular gibi skarn mineralleri tespit edilmiş olup kireçtaşları mermerleşmiştir. Skarn zonunda açılan galerilerde alınan örneklerde kalkopirit, pirit, kübanit, vallerit, şeelit, pirotit, magnetit, ilmeno - magnetit, sfalerit, petlandit, violarit, linneit, bravoit, rutil, hematit, kalkosit, kovellit, markasit ve oksidasyon ürünü malakit, azurit ve limonitin varlığı tespit edilmiştir (Taner ve Çağatay, 1983).

3. Yöntem

Bu çalışma kapsamında, Balaban demir cevherleşmesinin karakteristik bir şekilde temsil edilmesi amacıyla farklı seviyelerden örnekleme yapılmıştır. Gümüşalan Formasyonu'nun demirli metakumtaşlarından 5 adet, yüksek tenörlü breşik cevherlerden 6 adet olmak üzere, cevherleşmeyi örten Balaban Formasyonu'nun grafitli şistlerinden, Korutepe cevherleşmesini temsil edecek şekilde Demirköy Plütunu'na ait granodiyoritlerden, dokanakta gelişen skarn zonundan ve kireçtaşlarından toplam 20 adet örnek alınmıştır.

Bu örneklerden 13 adetinde mineraloji-petrografi ve 9 adetinde parlatma analizleri MTA analiz

laboratuvarlarında, Leica DM 2700 marka/model alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop ile Leica DM 6000 marka/model alttan-üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. 14 adet jeokimya örneği Thermo Scientific ICAP 6500 marka ICP-OES cihazında analiz edilmiştir. 1 adet grafit analizi Leica DM 5000 marka/model üstten aydınlatmalı polarizan mikroskopta ve son olarak 1 tane sıvı kapanımı analizinde Olympos BX51 mikroskoba monte edilmiş Linkam THMSG-600 ısıtma ve soğutma düzeneği kullanılmıştır. Leoben Üniversitesi tarafından hazırlanmış olan sentetik sıvı kapanımı standartları (H₂O-NaCl; Saf su; H₂O-CO₂) kullanılarak kalibre edilmiştir. 5 adet örnekte kükürt izotop analizi, EA-IRMS cihazı ile İngiltere'deki Iso-analytical laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerin kükürt izotop analizi için kullanılan referans malzemesi IA-R061'dir (baryum sülfat, δ³⁴S_V-CDT=%20.33).

4. Bulgular

4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanında Jura yaşlı örtü sedimenter kayalar ve Kretase yaşlı magmatik kayalar mostra vermektedir. Bölgenin temelini oluşturan Prekambriyen-Triyas yaş aralığına sahip birimler (Sarpdere, Mahyadağ, Doğan köy napları; Bedi vd., 2013) inceleme alanının yakın civarında gözlenmektedir. İnceleme alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru Yuvarlaktepe Formasyonu (Alt Jura), Gümüşalan Formasyonu (Alt Jura), Balaban Formasyonu (Toarsiyen-Oksfordiyen) ve Kretase yaşlı Demirköy Plütunu'ndan oluşmaktadır (Şekil 4).

Yuvarlaktepe Formasyonu ait metamorfik birimleri uyumsuzlukla örten ve mikrokonglomera ve silttaşı ara tabakalı kuvarsitik kumtaşlarından oluşmakta, üzerinde dolomitize ve rekristalize kireçtaşı, mermer ve kumtaşından oluşan Domuzpınartepe Formasyonu (inceleme alanında gözlenmemektedir) ve bununla yanall geçişli demirli kumtaşı ve silttaşlarından oluşan Gümüşalan Formasyonu yer almaktadır. Bunların da üzerine ince kireçtaşı ara katkıları içeren siyah renkli bitümlü şeyl ve silttaşı aralanmasından oluşan Balaban Formasyonu gelmektedir (Şekil 4).

Yuvarlaktepe ve Gümüşalan formasyonları ilk kez Bedi vd. (2011) tarafından adlandırılmış ve detaylı

bir şekilde tanımlanmıştır. Yuvarlaktepe Formasyonu, inceleme alanının doğusunda mostra vermektedir (Şekil 5a). Başlıca kırmızı, kahverengimsi, sarımsı renkli, yer yer kalın-çok kalın tabakalı meta-konglomera, kaba taneli meta-kumtaşları ve yer yer meta-silttaşlarından oluşmaktadır (Şekil 5b). Tektonik hatların birimi kestiği yerlerde kayaç milonite dönüşmüş ve yoğun ayrışma gelişmiştir. Meta-konglomeraların çakılları genellikle kuvarslardan oluşmaktadır ve daha yaşlı birimlerden malzeme almıştır.

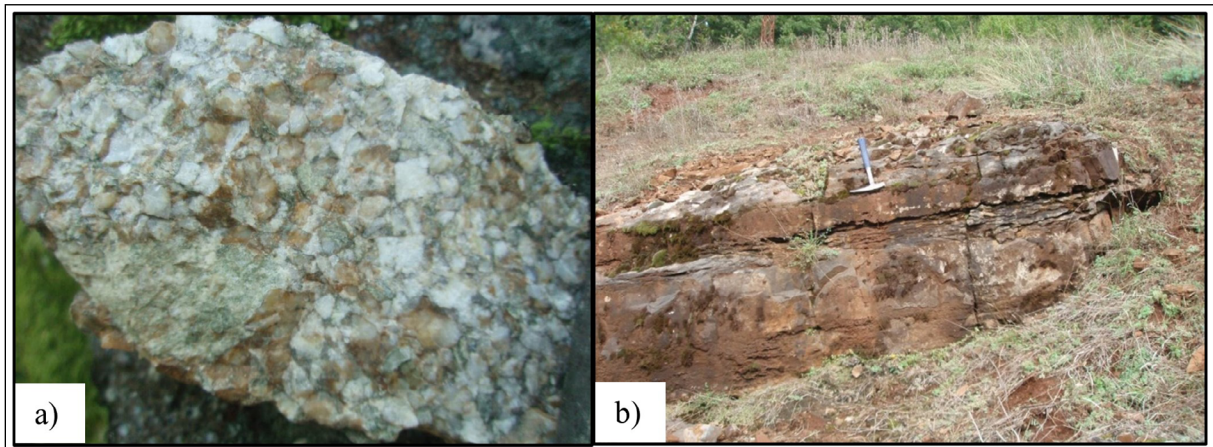
Gümüşalan Formasyonu çalışma alanının güneyinde kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu bir hat boyunca yüzlek vermektedir (Şekil 5b). Olistrostomal karakterli olan formasyon başlıca metakumtaşı ve metasilttaşı aralanmasından oluşmaktadır. Formasyon içerisindeki olistolitler dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Metakumtaşları ince-orta tabakalı olup sarı, kahverengi ve kırmızımsı renklindedir (Şekil 5b).

Gümüşalan Formasyonu'nun petrografik incelemesi feldispat grubu minerallerde killeşme ve serisitleşme geliştiği, bağlayıcı olarak serizit ve kil mineralleri yaygın iken bunlara yer yer de kırmızı-kahve renkli opak minerallerinin eşlik ettiği, dağılımın homojen olduğu gözlenmiştir. Opak minerallerin cevher mikroskobisi incelemelerinde lepidokrozit ve götit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6).

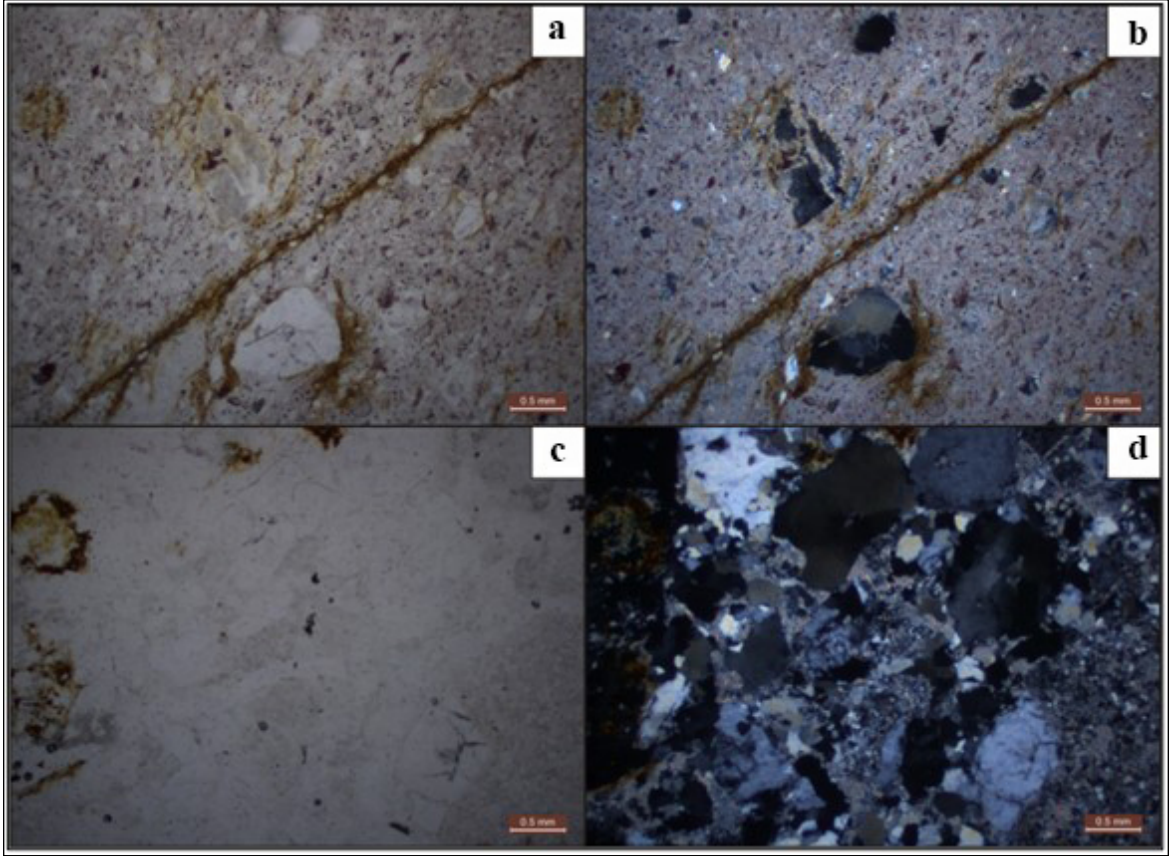
Gümüşalan Formasyonu ile uyumlu sedimanter bir geçişe sahip olan Balaban Formasyonu ilk kez Okay ve Yurtsever (2006) tarafından verilmiştir. İnceleme alanının güneydoğusundan başlayarak kuzeybatıya doğru geniş bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 3). Formasyon, tabanda kahve-açık kahve, sarımsı renkli orta-kalın katmanlı düzenli tabakalı kuvarsitik kumtaşları ile başlayıp üste doğru siyah, koyu gri renkli, ince-çok ince tabakalı ve lamine bitümlü şeyl (Şekil 7) ve sarımsı-grimsi renkli ince tabaka ve lamine silttaşlarına geçiş göstermektedir. Balaban Formasyonu'ndaki bu fosfat konkresyonlarından Bedi vd. (2013) tarafından alınan örneklerde radyolarya tarihlendirmesi yapılmış ve birimin çökelim yaşının Geç Bajosiyen-Erken Kimmeriyen olduğu tespit

SİSTEM SERİ		KAT	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KRETASE	Geç	Kampaniyen	+ + + + + +	Demirköy Plütunu Granit, granodiyorit, tonalit
	Geç	Oksfordiyen		Balaban Formasyonu Bitümlü şeyl ve silttaşı ardalı ve ince taneli tabakalı kireçtaşı ara seviyeli belemnitli kuvarsitik kumtaşı
JURA	ORTA	Kaloviyen		
		Batoniyen		
		Bajosiyen		
		Aleniyen		
		Torsiyen		
ERKEN		Plinsbakiyen		breşik dolgulu hematit cevherleşmesi Balaban demir cevherleşmesi
		Sinemuriyen		Gümüşalan Formasyonu kırmızımsı kahverenkli orta tabakalı kumtaşı ve silttaşı
		Hetagiyen		Yuvarlaktepe Formasyonu mikrokonglomera ve silttaşı ara seviyeli, kuvarsitik kumtaşı
TEMEL				Sarpdere, Mahyadağ ve Doğanköy naplarına ait Prekambriyen-Triyas formasyonları

Şekil 4- Çalışma sahasının stratigrafik sütun kesiti (Bedi vd., 2013'den düzenlenerek). Kesitte Balaban Formasyonu'nun altında kumtaşları içinde yer alan demir oksit cevherleşmesi ve bunun içindeki fay hattında yer alan breşik dolgulu demir cevherleşmesi görülmektedir.



Şekil 5- a) Yuvarlaktepe Formasyonu'na ait konglomeraların görünümü ve b) Gümüşalan Formasyonu'na ait ince-orta katmanlı kırmızı renkli demirli meta kumtaşlarının arazi görünümü.



Şekil 6- Metakumtaşlarını oluşturan kuvars ve feldspat parçaları ile bunları bağlayan serizit ve kil bağlayıcının a) tek nikol ve b) çift nikol görüntüsü. Metakumtaşlarında kumtaşı kayaç parçaları ile kuvars kristallerinin c) tek nikol ve d) çift nikol görüntüsü.



Şekil 7- Laminalı siyah renkli bitümlü şeyllerin arazi görüntüsü. Çökelin denizel özelliği içindeki belemnit fosilleriyle karakteristiktir.

edilmiştir. Balaban Formasyonu yaklaşık 400 metre kalınlığa sahiptir (Bedi vd., 2013).

Kırklareli'nin Demirköy ilçesi yakınında yüzeyleyen granitik, granodiyoritik ve tonalitik sokulumlu magmatik kayalar ilk kez Pamir ve Baykal (1947) tarafından Demirköy magnetitli granit lakoliti olarak adlandırılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından (Aykol, 1979; Üşümezsoy, 1982; Aykol ve Tokel, 1991; Çağlayan ve Yurtsever, 1998) incelenen granitoidler Balaban köyü kuzeyinde ve çalışma alanının doğusunda geniş bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 3).

Demirköy granitoidinde en geniş yüzeylemeye sahip olan granodiyoritler yer yer iri kristalli hornblend ve biyotitli olabildiği gibi, kenar fasiesinde mikro taneli, ender olarak da porfirik dokuludur (Şekil 8). Demirköy granitoidinde aşınma ve ileri derecede fiziksel ayrışmanın

geliştiği yerler morfolojik olarak daha yayvan iken, taze olan mostraları eğimli morfoloji şeklinde belirgindir. Istranca dağlarında yer alan Geç Kretase plütonlarından en önemlisi olan Demirköy granitoidinin jeokimyasal özellikleri, dalma-batma zonu üzerinde meydana gelmiş granitlere işaret etmektedir (Aykol, 1979; Aykol ve Tokel, 1991). Demirköy granitoidi damar kayaları ve İğneada yöresindeki volkanotortul istifteki kalkalkalen kökenli magmatitler Boccaletti vd. (1974) tarafından kuzeye doğru dalan Neo-Tetis okyanusu üzerinde gelişmiş And tipi magmatitler olarak tanımlanmıştır. Moore vd. (1980), Demirköy granitoidindeki granodiyoritten alınan bir örnekte K/Ar metodu ile biyotitte 78.3 ± 1.3 my hornblendde ise 79.1 ± 2.3 my, yaşını (Kampaniyen) elde etmiştir.

4.2. Balaban Demir Cevherleşmesinin Jeolojisi

Balaban demir cevherleşmesi (a) düşük tenörlü hematitli metakumtaşı (DTHM; %10-35 Fe) ve



Şekil 8- Demirköy Granitoidine ait a) granodiyorit ve b) monzonitin makroskobik görünümü. Plajiyoklas, kuvars, amfibol ve kloritleşmiş biyotit içeren tonalit kayacına ait c) tek nikel ve d) çift nikel mikroskop görüntüsü.

(b) yüksek tenörlü breş dolgulu hematit (BDH) cevherleşmesi (%35-60 Fe) olmak üzere iki cevher tipinden oluşmaktadır.

DTHM cevherleşmesinde daha önce Atılğan (1977) tarafından MTA için maden jeolojisi, jeofizik, yarma ve sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen verilere göre cevherleşmesinin volkano-sedimanter kökenli olduğu öngörülmüştür. Yapılan sondaj çalışmalarında cevherin ortalama 10 m kalınlığında, GB doğrultulu, 40-45° açıyla GB'ye eğimli olduğu belirlenmiştir. Cevherli karot örneklerinin kimyasal analizleri cevher tenörünün %19-45 Fe arasında değiştiğini ve ortalama %30

Fe olduğunu ortaya koymuştur. Yarmalardan alınan cevher örneklerinin teknolojik testlerinde cevher tenörünün zenginleştirme ile %50 Fe'ye çıktığı tespit edilmiştir (Atılğan, 1977).

DTHM cevherleşmesi Gümüşalan Formasyonu'nun üst seviyelerinde gelişmiş ve Balaban yerleşim yerinden başlayıp yaklaşık K45°B istikametinde 6-7 km devamlılık göstermektedir (Şekil 3). Demiroksit-hidroksit içeriği nedeniyle sarımsı-kahve renk tonlarıyla sahada belirgin olarak izlenmektedir. Hematitli metakumtaşları genellikle ince-orta yer yer de kalın tabakalı olarak gözlenmektedir (Şekil 9).



Şekil 9- Balaban demir cevherleşmesine ait arazi fotoğrafları. a) Kumtaşı tabakaları içinde taneler arası çimento ve ornatım şeklinde izlenen götit ve hematit oluşumları b) düşük tenörlü limonitik cevherleşme; c-d-e) yüksek tenörlü breş dolgulu hematit (BDH) cevherinin görünümü; f) Gümüşalan Formasyonu metakumtaşlarının tabakalı görünümü.

Breş dolgulu hematit (BDH) cevherleşmesi, inceleme alanının merkezinde ve kuzeybatısında iki lokasyonda, Balaban Formasyonu ile Gümüşalan Formasyonu arasındaki tektonik hatlarda ve Gümüşalan Formasyonu içinde gelişmiştir. Cevher zonlarının genişliği yaklaşık 15-20 m, uzunluğu ise 350-400 m arasındadır.

4.2.1. Sondaj Çalışmaları

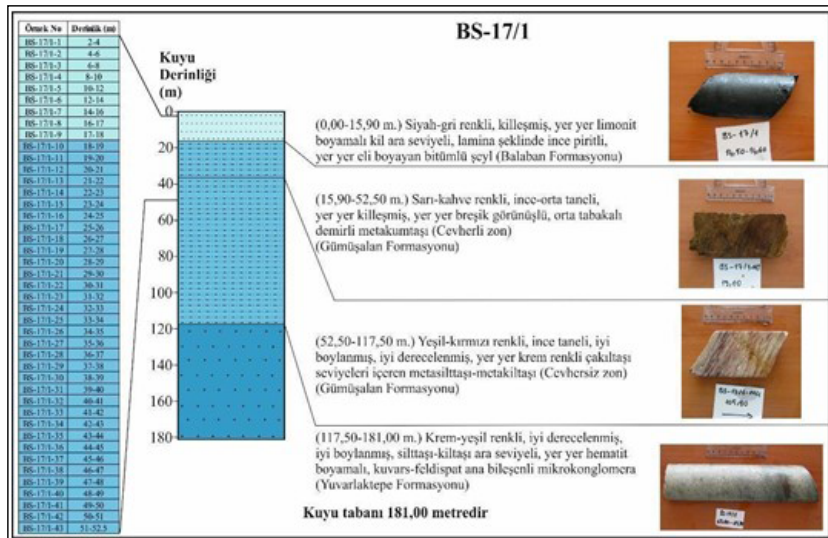
Cevher zonu boyunca farklı lokasyonlarda MTA tarafından yapılan sondajlarda, cevherli seviyenin Gümüşalan Formasyonu'nun en üstte bulunan 1-57 m arasında değişen kalınlıklar sunduğu gözlenmiştir. Demir cevherleşmesinde kalınlığın oldukça değişik olması ayrıca üst sınırın düzgün ancak alt sınırın girintili çıkıntılı olması bunların ortama sonradan yerleştiğine ve sinsedimanter olmadığına işaret etmektedir. Sondaj verileriyle elde edilen bu veriler cevherleşmenin üstten beslenme şeklinde gerçekleştiğini belgelemektedir.

MTA tarafından yapılan BS-17/1, BS-17/2 ve BS-17/3 no.lu üç sondaj (Şekil 3) detaylı bir şekilde örneklenmiş olup mineralojik-petrografik incelemeleri ve kimyasal analizleri yapılarak değerlendirilmiş ve sondajlarda kesilen birimlerin jeokimyasal bileşimleri ortaya konmuştur.

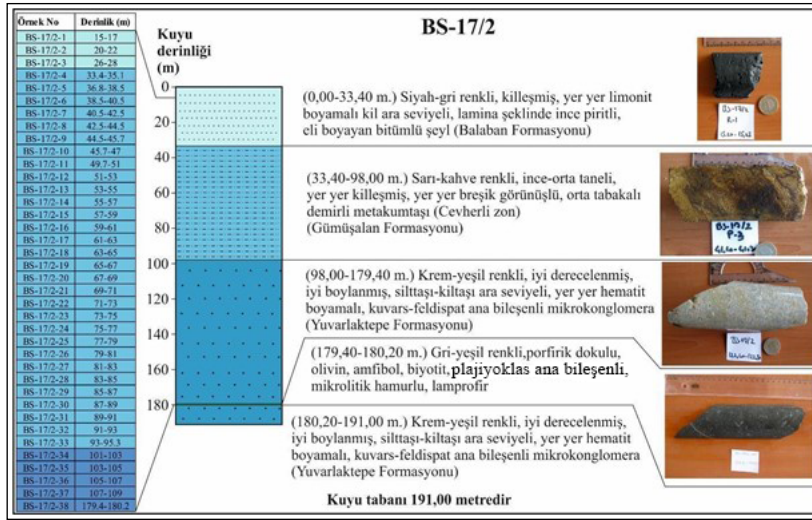
BS-17/1 no.lu sondaj, yüzeyde siyah-gri renkli, killeşmiş, yer yer limonit boyamalı, kil ara seviyeli, laminalı, piritli ve eli boyayan bitümlü şeylden oluşan Balaban Formasyonu'nda başlamış ve 16. metrede sarı kahve renkli, ince orta taneli, yer yer killeşmenin ve breşleşmenin gözlemlendiği orta tabakalı demirli metakumtaşlarından oluşan Gümüşalan Formasyonu'nun üst seviyeleri 52,50 metreye kadar devam etmiştir (Şekil 10).

BS-17/2 no.lu sondajda, 0-33,4 m arasında siyah-gri renkli, killeşmiş ve yer yer limonit boyamalı, kil ara seviyeleri içeren, pirit içeren laminalı ve eli boyayan bitümlü şeylden oluşan Balaban Formasyonu kesilmiştir (Şekil 11). 33,4-98 m arasında sarı-kahve renkli, ince-orta taneli, yer yer breşik görünümlü ve orta tabakalı demirli metakumtaşlarından oluşan Gümüşalan Formasyonu kesilmiştir. Bu sondajda kesilen 64,6 m kalınlığındaki Gümüşalan Formasyonu tamamı cevherli olup BS-17/1 sondajında ise 36,6 m cevherli zondan sonra Gümüşalan Formasyonu 65 m daha devam etmektedir (Şekil 11).

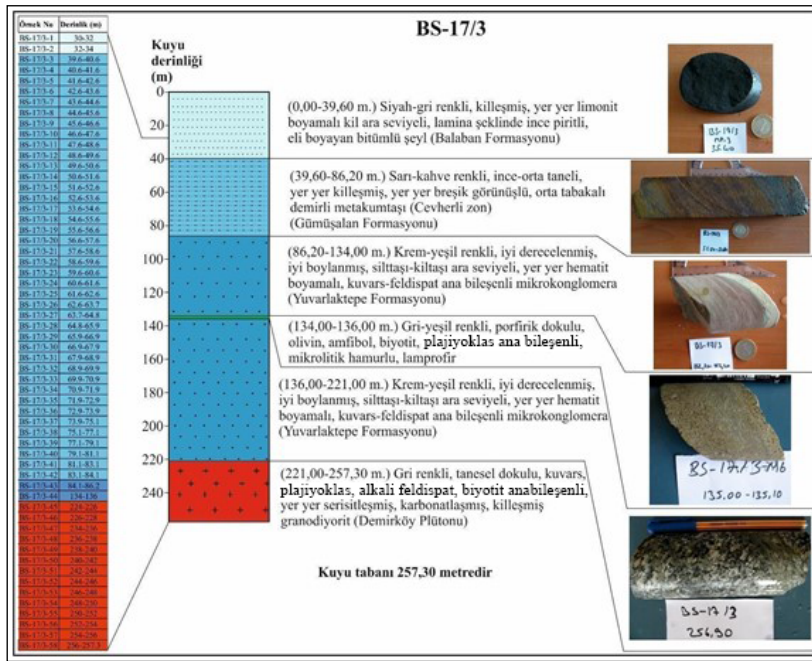
BS-17/3 no.lu sondajın 0-39,6 m arasında, siyah-gri renkli, killeşmiş, yer yer limonit boyamalı, kil ara seviyeleri içeren, piritli, eli boyayan laminalı bitümlü şeylden oluşan Balaban Formasyonu tespit edilmiştir (Şekil 12). 39,6-86,2 arasında, 46,6 m kalınlığında sarı-kahve renkli, ince-orta taneli kum



Şekil 10- MTA tarafından yapılan BS-17/1 no.lu sondaja ait kuyu loğu (Fotoğraflarda cevherleşmenin siyah şeyl ile kumtaşı sınırında yer aldığına dikkat ediniz).



Şekil 11- MTA tarafından yapılan BS-17/2 no.lu sondaja ait kuyu logu.

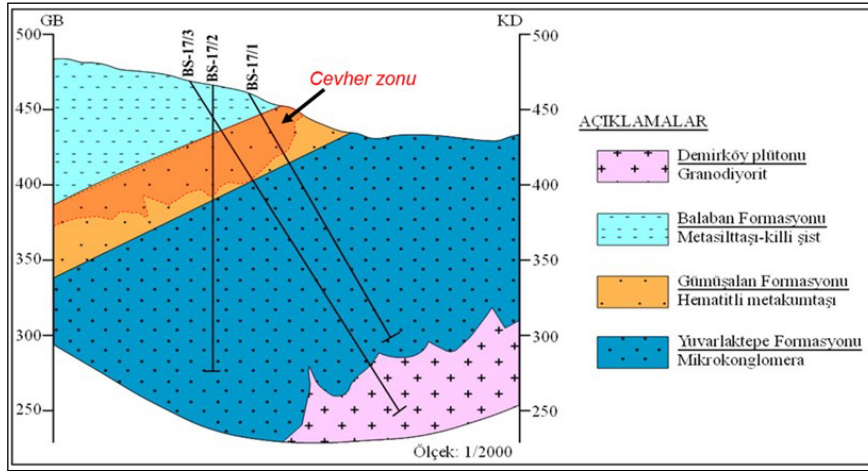


Şekil 12- MTA tarafından yapılan BS-17/3 no.lu sondaja ait kuyu logu. Bantlı cevher dokusu tipik olup şeyl ve kumtaşı katmanlanmasına uygunluk göstermektedir.

içeren, kısmen breşik görünümlü, orta tabakalı demirli metakumtaşından oluşan Gümüşalan Formasyonu kesilmiştir.

Sondajlardan elde edilen verilerin korelasyonları sonucunda çizilen enine jeolojik kesitte, Gümüşalan Formasyonu olarak adlandırılan Erken-Orta Jura yaşlı demirli metakumtaşı biriminin, alt ve üstündeki birimlerle uyumlu olduğu ve gerçek kalınlığının yaklaşık 35 metre olduğu belirlenmiştir (Şekil 13).

Sondaj örneklerinin jeokimyası: BS-17/1 sondajında kesilen 36 m cevher zonundan 34 adet örnek, BS-17/2 no.lu sondajda kesilen 64 m cevher zonundan 29 adet örnek ve BS-17/3 no.lu sondajda kesilen 46 m cevher zonundan 22 adet örnek alınarak jeokimyasal analizleri yapılmıştır. BS-17/1 sondajında cevher zonundaki iz elementlerin ortalama ($n=34$) içerikleri; As 424 ppm (111 ppm ile 1390 ppm arasında), Ba 105,7 ppm (12 ppm ile 745 ppm arasında), Co 16,9 ppm (2,5 ppm ile 127 ppm arasında), Cu 25,9 ppm

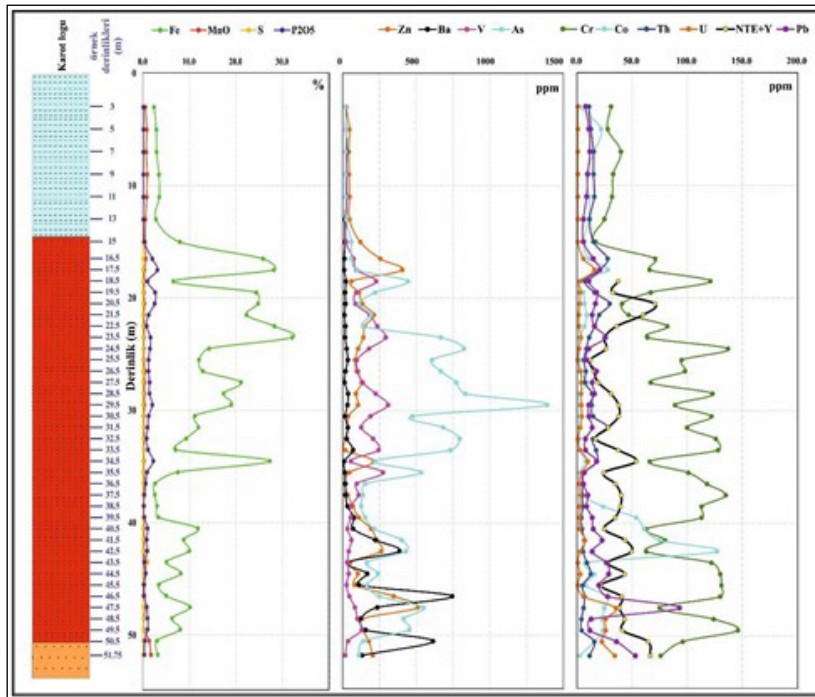


Şekil 13- MTA tarafından yapılan, BS-17/1, BS-17/2 ve BS-17/3 no.lu sondajların korelasyonu ile oluşturulan jeolojik enine kesitin görünümü.

(7 ppm ile 100 ppm arasında), Ni 69,6 ppm (7 ppm ile 341 ppm arasında), V 124,7 ppm (18 ppm ile 309 ppm arasında), Zn 131,3 ppm (15 ppm ile 512 ppm arasında), Th 11 ppm (4 ppm ile 29,8 ppm arasında), U 7,12 ppm (1 ppm ile 35,4 ppm arasında) ve Σ NYE+Y ise 37,1 ppm (11,8 ppm ile 79,6 ppm arasında)'dir. Cevherin üst seviyesindeki 20 m'lik kısımda Fe tenörünün %22 ile %32 arasında (bir örnek hariç) değiştiği ve altındaki cevher zonuna göre daha yüksek

Fe içerdiği görülmektedir. Yine cevherin ilk 6 m'lik kesiminde cevherin P_2O_5 değeri de cevherin diğer kısmına göre görece daha yüksektir (Şekil 14). Kesitte Fe ile birlikte As, P, V artışının üst cevher zonunda tipik olduğu ve bunların üstteki organik maddece zengin şeyllerden yıkandığı anlaşılmaktadır.

BS-17/2 sondajında cevher zonundaki iz elementlerin ortalama (n=29) içeriği ise; As 214 ppm (4 ppm ile 511 ppm arasında), Ba 301,2 ppm (2,5 ppm



Şekil 14- BS-17/1 no.lu sondajda cevher zonuna ait örneklerin jeokimyasal stratigrafisi.

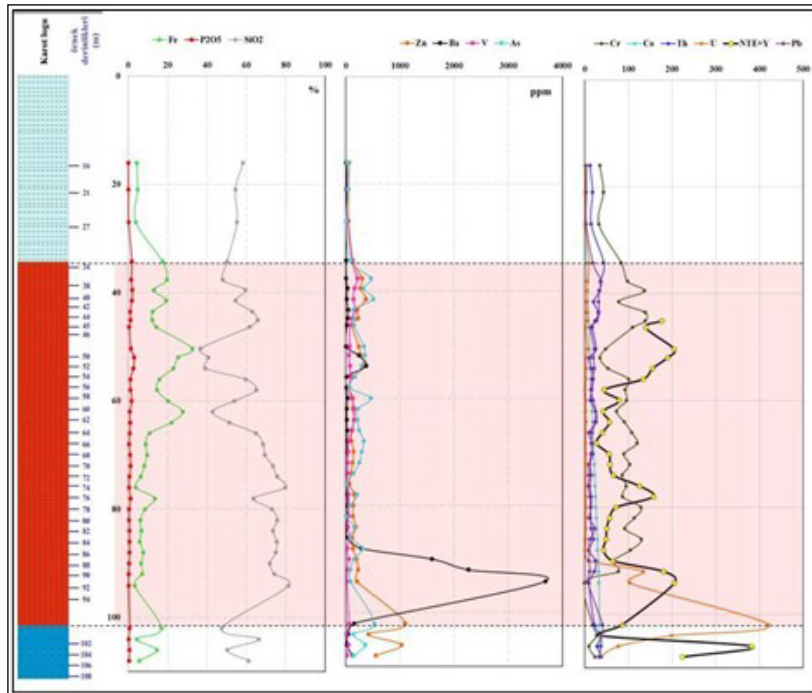
ile 3685 ppm arasında), Co 13,7 ppm (2,5 ppm ile 92 ppm arasında), Cu 7,13 ppm (1,5 ppm ile 12 ppm arasında), Ni 65,1 ppm (2 ppm ile 164 ppm arasında), V 84,5 ppm (24 ppm ile 213 ppm arasında), Zn 175,9 ppm (67 ppm ile 372 ppm arasında), Th 19,3 ppm (9,1 ppm ile 43,7 ppm arasında), U 14,45 ppm (1 ppm ile 135 ppm arasında) ve $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$ ise 112,7 ppm (27,15 ppm ile 382 ppm arasında) dir. BS-17/2 no.lu sondaj örneklerinden hazırlanan jeokimyasal stratigrafi kesiti incelendiğinde (Şekil 15), cevher zonunun 28 metrelik üst zonunun ortalama %19 Fe (% 12-32 arasında), cevherli metakumtaşı zonunun geri kalan kısmının ise (65 ile 93 m arası) ortalama %7 Fe içerdiği görülmektedir. Cevherli zonda Fe değeri arttıkça SiO_2 değerlerinin azaldığı ve bu değişimin neredeyse birebir ilişki gösterdiği açıkça görülmektedir.

BS-17/2 sondajında 46 m kalınlığındaki cevherli zonun Fe tenörü %13,7 ile %38,7 arasında değişmekte olup ortalama (n=22) %22,86'dır. Zonun ortalama (n=2) SiO_2 içeriği %51,2 (%26,6 ile %67 arasında), MnO içeriği %0,064 (%0,05 ile %0,1 arasında), P_2O_5 içeriği %3,014 (%0,6 ile %16 arasında)'dir. Cevher zonundaki iz elementlerin ortalama (n=22) içeriği ise; 155 ppm As (47 ppm ile 481 ppm arasında), 6,97 ppm Co (2,5 ppm ile 19 ppm arasında), 7,71 ppm Cu (4 ppm

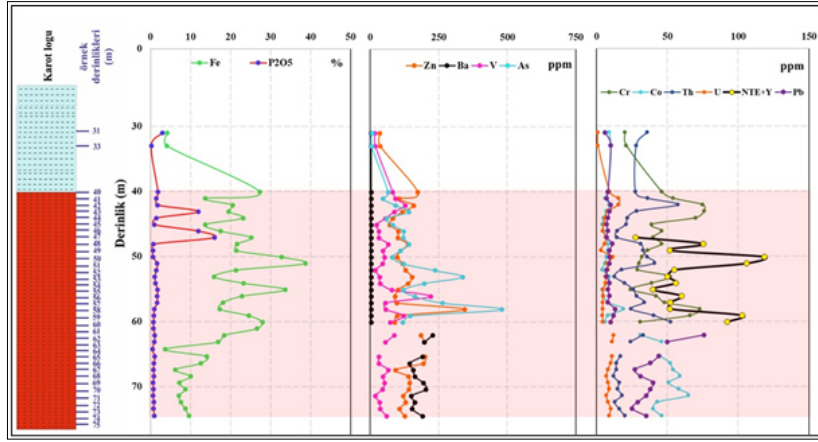
ile 16 ppm arasında), 55,8 ppm Ni (21 ppm ile 137 ppm arasında), 69,05 ppm V (19 ppm ile 221 ppm arasında), 125,1 ppm Zn (72 ppm ile 345 ppm arasında), 29,4 ppm Th (12,8 ppm ile 57,5 ppm arasında), 6,95 ppm U (3,3 ppm ile 15,5 ppm arasında) ve 100,2 ppm $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$ (27,25 ppm ile 365,4 ppm arasında)'dir. BS-17/3 nolu sondaj örneklerinden hazırlanan jeokimyasal stratigrafi kesiti incelendiğinde (Şekil 16), cevherli metakumtaşlarının ilk 20 metresinde (40-60 m arası) demir tenörü ortalama %23 olup cevher zonunun ilk 7 metresinde fosfor değerlerinin de demir ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, BS-17/1 ve BS-17/2 no.lu sondajlardaki cevherli zonda olduğu gibi BS-17/3 no.lu sondajda da cevherli zonda As değerleri demir ile birlikte artış göstermektedir.

4.3. İzotop Jeokimyası

Gümüşalan Formasyonu'nun üst seviyelerindeki metakumtaşların, organik maddece zengin bitümlü şist içeren Balaban Formasyonu tarafından örtüldüğü ifade edilmektedir. Aynı zamanda, Gümüşalan Formasyonu içerisinde organik maddece zengin bitümlü şistler ve metakumtaşlarının içerisinde pirit içeriklerinin bulunduğu aktarılmaktadır. Özellikle, Gümüşalan Formasyonu'ndaki metakumtaşlarda oksidasyon sürecinde çözünen piritlerin boşluklar şeklinde



Şekil 15- BS-17/2 no.lu sondajda cevher zonuna ait örneklerin jeokimyasal stratigrafisi.



Şekil 16- BS-17/3 no.lu sondajda cevher zonuna ait örneklerin jeokimyasal stratigrafisi.

gözlemlendiği belirtilmektedir. Demir cevherleşmesinin kökenine ışık tutmak amacıyla Balaban ve Gümüşalan formasyonlarındaki pirit içeren seviyelerden örnekler alınmış ve kükürt izotopu analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, $\delta^{34}\text{S}$ değerleri % -18 ile % -37 arasında değişmektedir. Balaban Formasyonu'na ait metakumtaş birimlerindeki piritlerin ortalama $\delta^{34}\text{S}$ değeri % -22,03 iken, Gümüşalan Formasyonu metakumtaş seviyesinde alınan piritlerin ortalama $\delta^{34}\text{S}$ değeri ise % -36,23 olarak saptanmıştır. Balaban Formasyonu'nun çökeldiği Toarsiyen ve Oksfordiyen arasındaki deniz suyunun $\delta^{34}\text{S}$ değeri %15 ile %25 arasında değişmektedir. Organik maddece zengin metakumtaşlardaki piritlerin bu dönemdeki deniz suyundan, muhtemelen bakterilerin sülfatı indirgemesi sonucu geliştiği öne sürülmektedir (Çizelge 1).

5. Tartışma ve Sonuçlar

Türkiye'nin önemli tektonik birliklerinden olan Istranca Masifi, çalışma alanını içine almaktadır. Bu özelliği nedeniyle oldukça karmaşık ve önemli tektonik ve jeolojik özelliklere sahiptir. Çalışma alanında

mikrokonglomera ve silttaşı ara tabakalı kuvarsitik kumtaşlarından oluşan Yuvarlaktepe Formasyonu, masife ait metamorfik birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. Bu birimden sonra dolomitleşmiş ve rekristalize özellik gösteren kireçtaşı, mermer ve kumtaşından oluşan Domuzpınarteppe Formasyonu, bu birimle yanal geçişli demirli metakumtaşı ve metasilttaşlarından oluşan Gümüşalan Formasyonu yer alır. En üstte ise ince kireçtaşı ara katkıları içeren bitümlü metaşeyl ve metasilttaşı ardalanmasından oluşan orta-geç Jura yaşlı Balaban Formasyonu gelmektedir.

Balaban demir cevherleşmesi erken Jura yaşlı Gümüşalan Formasyonu'nun en üst kesimindeki metakumtaşları içinde bulunmaktadır. Gümüşalan Formasyonu'nun üst kesiminde gelişen cevherli zon K45°B doğrultulu 28°GB eğimli olup yaklaşık 6-7 km yanal devamlılık sunmaktadır. MTA tarafından yapılan 57 adet sondaj verisine göre cevher kalınlığı 1-57 m arasında, ortalama 15,7 metredir. Fe tenörü ise %9-31 arasında değişmektedir ve ortalaması %16,14'dir. Kumtaşı içindeki Balaban demir

Çizelge 1- Piritlere ait $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ değerleri.

No	Örnek No	Formasyon Adı	Örneğin alındığı derinlik (m)	Litoloji	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰)
1	E-18/29-Si1	Balaban	8,50	Bitümlü metaşeyl	-21,10
2	E-18/29-Si3	Gümüşalan	15,10	Demirli metakumtaşı	-35,96
3	E-18/34A-Si1	Balaban	70,00	Bitümlü metaşeyl	-18,78
4	E-18/34A-Si2	Balaban	75,70	Bitümlü metaşeyl	-26,21
5	E-18/30AT-Si1	Gümüşalan	77,00	Metakumtaşı	-36,61

cevherleşmesinde ortalama %15,81 Fe tenörlü 6.923.252 ton kaynak tespit edilmiştir (Tiringa vd., 2019).

İnceleme alanında iki farklı cevher tipi yer almakta bunlardan ilki, hematitli metakumtaşları olup, Gümüşalan formasyonunun üst seviyelerinde gelişmiştir; ikincisi ise, Balaban Formasyonu ile Gümüşalan Formasyonunun tektonik dokanaklarında gelişen “breş dolgulu hematit” cevherleşmesidir. Hematitli metakumtaşları, lepidokrosit, magnetit, hematit, pirit, pirotit, kromit, rutil, kalkopirit, sfalerit ve psilomelan grubu mineralleri içermektedir. Demir cevher minerallerinden en yaygın lepidokrosit olup, ikinci sırada hematit bulunmakta ve nadiren de olsa magnetit gözlenmektedir. Kromit, rutil gibi minerallerin ise metakumtaşları içerisinde kırıntılı olarak bulunduğu ve kumtaşının çökelimi sürecinde kırıntılı olarak havzaya geldiği ve demir cevherleşmesi ile kökensel bir ilişkisinin olmadığı düşünülmektedir. Balaban demir cevherleşmesinde oolitik veya pizolitik yapı ve dokuların gözlenmemesi, cevherleşmenin sedimanter olarak oluşmadığını işaret etmektedir. Bazı araştırmacılara göre (Young ve Taylor, 1989; Petránek ve Van Houten, 1997) Fe içeriği $> \%15$ olan sedimanter kayalar oolitik demirtaşları olarak tanımlanırken, Salama vd. (2013) ise tanelerin de en az $\%5$ 'inin oolit, pizolit ve onkoit olması gerektiğini, Eichler (1976) ise çökme (slump) yapıları, stilolit ve büzülme (shrinkage) çatlakları gibi yapıların sedimanter kökenli demir yataklarında bulunması gerektiğini belirtmiştir.

Cevherli metakumtaşları (CMK) ve breş dolgulu hematit cevherine (BDH) ait jeokimya sonuçlarına göre; CMK'nın demir tenörleri $\%2,9$ ila $\%45,9$ arasında, BDH'nin ise $\%9,1$ ila $\%72,1$ arasında değişmektedir. CMK'nın Fe tenörleri her ne kadar BDH'nin tenörleri gibi yüksek olmasa da yer yer yüksek değerlere ulaşabildiği görülmektedir. Her iki cevher tipinde de 1200 ppm'e varan Zn değerleri ile Cu'da dikkat çekici değerler bulunmaktadır.

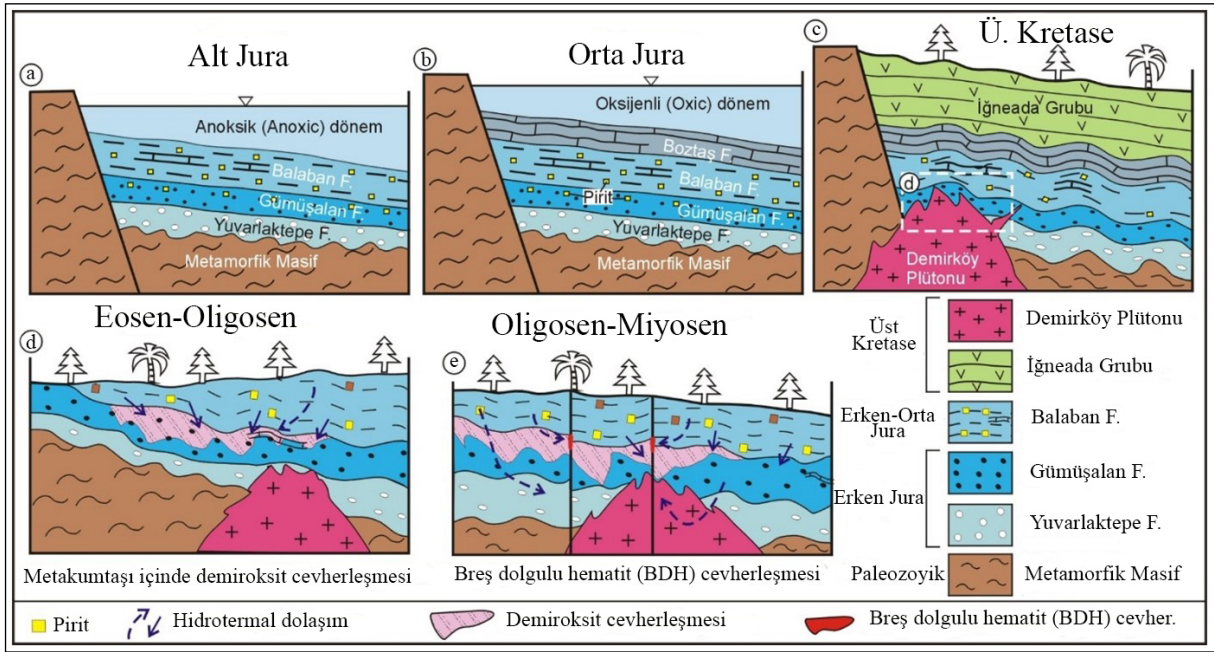
Cevherli metakumtaşlarının jeokimyasal kesitleri, cevherin üst zonundaki Fe tenörünün ortalama $\%26,12$ ve nispeten yüksek, geri kalan kısmının ise ortalama $\%12,05$ olup düşük olduğunu göstermektedir. Cevherli zonda Fe tenör değeri arttıkça SiO_2 değerlerinin

azaldığı ve bu değişimin düşey cevher zonu boyunca neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Ba ve U değerlerinin ise cevherli metakumtaşlarının en alt kesiminde dikkat çekici bir şekilde yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

BDH zonuna ait kuvars minerallerinde yapılan sıvı kapanım çalışmalarında, kuvarsın Th değerleri 260-599 °C arasında tespit edilmiştir. En yaygın Th değeri (n=14) >500 °C olup, ikinci yaygın Th değerleri (n=6) ise 400-450 °C arasındadır.

Üşümezsoy (1990)'a göre, Istranca Masifine ait birimler, Triyas-Jura çökel prizmasının Kimmeriyen orojeni sırasında metamorfizmaya uğramıştır. Triyas-Jura çanağına ait birimler Geç Jura öncesi deformasyon geçirerek A tipi yitim sonucu kapanım esnasında, Triyas-Jura çökel istifi kuzeye devrik kıvrımlı bir yapı kazanmış ve Kırklareli temeli çökel istifi üzerine bindirerek kuzeye devrik bir yapı oluşturmuştur (Üşümezsoy, 1990). Okay vd. (1990) Istranca masifinin, gnays, migmatit ve granitlerden oluşan geç Variskan bir temelini olduğunu, yüksek dereceli bu metamorfizmanın erken Permiyen döneminde geçirdiğini ileri sürmüştür.

Cevherleşmelerin sahadaki özellikleri, jeokimyasal veriler (duraylı kükürt izotopları, cevher ve yan kayaç jeokimyası), mineralojik-petrografik veriler birlikte değerlendirilerek Balaban demir cevherleşmesi için bir oluşum modeli önerilmiştir (Şekil 17). Bu çalışma ile önerdiğimiz oluşum modeline göre; erken Jura döneminde sığ derinliklerdeki oksijenli deniz suyu ortamında kumtaşlarından oluşan Gümüşalan formasyonu çökelmiştir (Şekil 17a). Erken Jura'nın sonlarına doğru, Toarsiyen döneminde ortamın derinleşmesiyle oksijenli ve oksijensiz iki su tabakası gelişmiş ve oksijensiz (anoksik) ortamda Balaban formasyonunun tabanında yer alan siyah şeyller çökelmiştir (Şekil 17a). Bu indirgen koşullarda, siyah şeyllerle birlikte önemli miktarda pirit çökelimi gerçekleşmiştir. Juranın alt Toarsiyen döneminde tüm dünya denizlerinde ve başta Tethis okyanusunda yaşanan oksijensizlik ve bunu gösteren siyah şeyl çökelimi literature geçmiş önemli bir paleoekolojik olgudur (Jenkyns, 1988; Jime'nez vd., 1996; Jenkyns vd., 1997; Cope vd., 1998; İzumi vd., 2012). Bu oksijensiz deniz ortamının çökeli olan siyah şeyller



Şekil 17- Cevherleşme oluşum modeli.

içindeki Ürküt manganez yatağı (Macaristan) ayrıntılı çalışılmış bir yataktır (Polgari vd., 1991, Jenkyns vd., 1991) Öte yandan siyah şeyller içinde sinsedimanter oluşumlu manganez karbonatlar ve bunların oksitlenme ürünü manganez oksit yatakları Türkiye'nin ve dünyanın çeşitli yerlerinde "siyah şeyl serileri içindeki yataklar" şekline tanımlanmış önemli bir cevherleşme tipini de oluşturmaktadır (Öztürk ve Hein, 1997). Jura'daki alt Toarsiyen anoksiyasının, bir başka ifadeyle oksijensiz deniz ortamının ve ilişkili sedimantasyonun günümüzdeki örnekleri ise Kara Deniz (Arthur ve Dean, 1998; Mort vd., 2010), Baltık Denizi (Schneider, 2011; Jilbert ve Slomp, 2013) ve Doğu Çin Denizi (Chen vd., 2007) gibi denizlerdir. Bunların ortak özellikleri ise kapalı veya kısmen kapalı oluşları ve organik madde üretiminin fazlalığı ve diplere metan ve hidrojen sülfür gibi oksijensiz gazların egemen oluşudur. Literatürdeki bu veriler dikkate alındığında inceleme alanındaki Balaban formasyonundaki piritli siyah şeyllerin de alt Toarsiyen döneminde dünya denizlerinde etkin olan oksijensiz ortamda çökelmiş ve bu birimlerin piritlerin Balaban demir cevherleşmesi için demir açısından bir kaynak olabileceği değerlendirilmiştir.

Piritlerin duraylı kükürt izotoplarının yüksek negatif değerlerde olması, deniz suyu sülfatının

bakteriler tarafından indirgenerek fraksiyonlaşmanın gerçekleştiğini ve indirgenen kükürtün Fe ile bileşik yaparak piritlerin çökelmiş olduğunu göstermektedir. Kükürt izotoplarındaki yüksek negatif değerler aynı zamanda fraksiyonlaşmanın açık sistemde gerçekleştiğine, sürekli sülfat açısından beslendiğine işaret etmektedir. Balaban formasyonunun çökelişi sırasında zaman zaman oksidan koşulların gerçekleştiği ve siyah şeyllerin üzerindeki seviyelerde manganez ve fosfat yumrularının da çökelmiş olduğu gözlenmiştir (Bedi vd., 2011). Orta Jura'da oksijenli deniz suyu koşullarında sığ bir deniz ortamında karbonatlarla temsil edilen Boztaş formasyonu çökelmiştir (Şekil 17b). Mesozoyik birimlerin, Geç Jura (Üşümezsoy, 1990) veya Geç Jura-Alt Kretase (Elmas vd., 2011) döneminde yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış, ardından çekirdek kompleksi şeklinde yükselen (Elmas vd., 2011) metamorfik kayalar üzerinde Senoniyen'de sığ denizel kumlu karbonat çökelişi (Okay vd., 2001) gerçekleşmiştir. Ayrıca, bu dönemde granodiyoritik plütönlere, andezitik lav ve tüflerle temsil edilen erken Senoniyen magmatik yay ve yay içi havza birimleri çökelmiştir (Boccaletti vd., 1974; Şekil 17c). Olasılıkla, Paleosen- Orta Eosen öncesi dönemde yüzeylenmiş olan Balaban Formasyonu'ndaki siyah şeyl seviyeleri oksitlenmiş ve formasyon içindeki piritler çözünerek Fe^{2+}

iyonları açığa çıkmıştır. Benzer süreçte yine daha üst seviyelerdeki manganez ve fosfat yumrulu seviyelerden de çözünen Mn^{+2} ve PO_4^{-3} iyonları aşağı doğru hareket ederek Gümüşalan Formasyonu'na ait kumtaşlarının içine sızması ile yukarıdan aşağıya bir demir göçü gerçekleşmiş olmalıdır (Şekil 17d). Üstten taşınan demir iyonları kumtaşları içindeki oksidan ortam koşullarında, olasılıkla kumtaşlarındaki karbonatlı ve silikatlı mineralleri replase ederek lepidokrosit ($FeOOH$) ve hematit (Fe_2O_3) şeklinde çökelmiş olmalıdır. Jeokimyasal stratigrafide, Gümüşalan Formasyonu'nun alt seviyesinde uranyumca bir zenginleşmenin olduğu (419,9 ppm'e kadar) tespit edilmiştir. Bu durum ise, organik maddece zengin şeyllerden çözülmüş olan U^{+4} iyonlarının hematitlerin çökeldiği oksidan ortamda tutuklanmadan iyon olarak daha derine doğru hareket ettiğini ve Gümüşalan Formasyonu'nun alt seviyelerindeki indirgen koşullarda tutuklanarak zenginleştiğini göstermektedir. Gerek major oksitler, iz elementler ve gerekse nadir yer elementleri hem Balaban Formasyonu hem de kumtaşı içindeki cevherleşmedeki benzerliklerin kökensel ilişkisini göstermektedir. Bir başka ifadeyle Fe, As, P, V ve NYE'leri, üstteki Balaban Formasyonu'ndan altındaki Gümüşalan Formasyonu'na göç etmişlerdir. Bu işlem Üst Kretase yaşlı Demirköy Plütunu'nun yerleşimi sonrası olduğundan cevherleşmeye plütun yerleşimiyle ilgili bir madde transferi söz konusu değildir.

Balaban Formasyonu'ndaki kumtaşları içindeki düşük tenörlü demir cevherleşmesinde As, P, V, Cu, Zn şeklinde bir element birlikteliği görülür. Demir cevherleşmesine giren bu elementler organofilik elementlerdir ve üstte yer alan organik maddece zengin piritik şeyllerden kaynaklanmış olmalıdır. Buna karşın Au +As zenginleşmesinin tipik olduğu damar tipi breşik demir cevherleşmesi, daha derindeki yaşlı kayalardan çözülen demir ve Au gibi iz elementlerin hidrotermal süreçlerle ilgili olarak Balaban Formasyonu içindeki fay hatlarında oluştuğunu göstermektedir (Şekil 17e). Breş dolgulu hematit cevherleşmesi, bölgedeki magmatik etkinlik sonrası yani Orta Eosen ve sonrası dönemde gerçekleşmiş olmalıdır. Breş dolgulu hematit cevherleşmesindeki 50 ppb'ye varan altın değerleri damarı oluşturan hidrotermal etkinliğin soğumuş granit ve diğer

çevre kayalarından altın çözdüğünü göstermektedir. Yüksek negatif duraylı kükürt izotop değerleri de ($\delta^{34}S_{CDT} = \text{‰} -36$ ile -21 arasında) kükürtlerin magmatik olmadığını ve dolayısıyla ortamda magmatik kökenli sıcak suların rol almadığını ve cevherleşmenin magma sokulumundan sonra olduğuna işaret etmektedir (Demiryürek, 2021).

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2021-32-13-05-1 özel kod no.lu projesi kapsamında desteklenmiştir. Gösterilen kolaylık ve destekten ötürü MTA Genel Müdürlüğü'ne, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa (İÜ-C) Jeoloji Mühendisliği Bölümü imkânlarının kullanılmasını sağlayan Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

Değinen Belgeler

- Arthur, M.A., Dean, W.E. 1998. Organic-matter production and preservation and evolution of anoxia in the Holocene Black Sea. *Paleoceanography* 13: 395–411.
- Atılğan, A. 1977. Kırklareli-Demirköy-Balaban sedimentler demir cevheri ön istikşaf raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 6660. Ankara (yayımlanmamış).
- Ayhan, A., Dinçel, A., Tuğrul, Y. 1972. Istranca masifinin Yıldız dağları jeolojisi: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 5130. Ankara (yayımlanmamış).
- Aykol, A. 1979. Kırklareli Demirköy Formasyonunun Petroloji ve Jeokimyası. İTÜ Maden Fakültesi Doçentlik Tezi, 108s, İstanbul (yayımlanmamış).
- Aykol, A., Tokel, S. 1991. The Geochemistry and Tectonic Setting of the Demirköy Pluton of the Srednogie-Istranca Granitoid Chain, NW Turkey. *Mineralogical Magazine*, 55, s. 249-256.
- Bedi, Y., Ergen, A., Doğan, A., Okuyucu, C., Tekin, U. K., Tuncay, E., Kuşçu, İ., Ulusoy, E., Türkmen, Ö., Soycan, H., Demiray, G., Göncüoğlu, M.C. 2011. Istranca Kristalen Kompleksi'nin Tektonostratigrafik Özellikleri ve Bulgaristan'daki İstiflerle Karşılaştırılması: Ön Bulgular (KB Türkiye-GD Bulgaristan). 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 28-29.
- Bedi, Y., Vasilev, E., Dabovski, C., Ergen, A., Okuyucu, C., Doğan, A., Tekin, U. K., Ivanova, D., Boncheva, I., Lakova, I., Sachanski, V., Kuşçu, I., Tuncay, E., Demiray, D. G., Soycan, H.,

- Göncüoğlu, M. C. 2013. New Age Data From the Tectonostratigraphic Units of the Istranca "Massif" in NW Turkey: a Correlation With SE Bulgaria. *Geologica Carpathica* 64, 255–277.
- Boccaletti, M., Manetti, P., Peccerillo, A. 1974. The Balkanides as an Instance of Back-Arthrustbelt: Possiblerelation with the Hellenides. *Geological Society America Bulletin* 85, 1077-1084.
- Chen, C.C, Gong, G.C, Shiah, F.K. 2007. Hypoxia in the East China Sea: One of the largest coastal low-oxygen areas in the world. *Marine Environmental Research* 64(4):399-408.
- Cope, J. C. W. 1998. Discussion on estimates of the amount and rate of sea-level change across the Rhaetian–Hettangian and Pliensbachian–Toarcian boundaries (latest Triassic to Early Jurassic). *J. Geol. Soc. Lond.* 155, 421.
- Çağlayan, A., Yurtsever, A. 1998. Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B-3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli-B5 ve B6; Kırklareli-C6 Paftaları, 1:100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları. No: 20, 21, 22, 23. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Demiryürek, E. 2021. Balaban (Demirköy-Kırklareli) Demir Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Oluşumu, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa. Doktora Tezi, 107s, İstanbul.
- Eichler, J. 1976. Origin of the Precambrian banded iron-formations. In *Handbook of Strata-bound and Stratiform are Deposits* (ed. K. H. Wolf), Elsevier 7, 157-197.
- Elmas, A., Yılmaz, I., Yiğitbaş, E., Ullrich, T. 2011. A Late Jurassic-Early Cretaceous metamorphic core complex Strandja Massif, NW Turkey, *International Journal of Earth Science* 100, 1251-1263.
- Ercan, T., Türkecan, A., Gailou, H., Satır, M., Sevin, D., Şaroğlu, F. 1998. Marmara Denizi çevresindeki Tersiyer volkanizmasının özellikleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 120, 199-222.
- Gültekin, A. H. 1999. Şükrüpaşa Sokulumu (Dereköy-Kırklareli) ile İlişkili Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Kimyasal İlişkileri, *Türkiye Jeoloji Bülteni* 42, 1, 29-45.107: 155–169.
- Izumi, K., Miyaji, T., Tanabe, K. 2012. Early Toarcian (Early Jurassic) oceanic anoxic event recorded in the shelf deposits in the northwestern Panthalassa: Evidence from the Nishinakayama Formation in the Toyora area, west Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 315-316, 100-108.
- Jenkyns, H. C. 1988. The early Toarcian (Jurassic) anoxic event: stratigraphic, sedimentary and geochemical evidence. *Am. J. Sci.* 288, 101–151.
- Jenkyns H. C., Clayton, C. J. 1997. Lower Jurassic epicontinental carbonates and mudstones from England and Wales: Chemostratigraphic signals and the early Toarcian anoxic event. *Sedimentology* 144, 687– 706.
- Jenkyns, H.C. Geczy, B, Marshall, J.D. 1991. Jurassic Manganese Carbonates of Central Europe and the Early Toarcian Anoxic Event, *The Journal of Geology*. V 99, p 137-149
- Jilbert, T, Slomp C.P, 2013. Iron and manganese shuttles control the formation of authigenic phosphorus minerals in the euxinic basins of the Baltic Sea. *Geochim Cosmochim Acta* 107: 155–169.
- Jime'nez, A. P., Jime'nez de Cisneros, C., Rivas, P. Vera, J. A. 1996. The Early Toarcian anoxic event in the westernmost Tethys (Subbetic): Paleogeographic and paleobiogeographic significance. *J. Geol.* 104, 399–416.
- Karacık, Z., Tüysüz, O. C. 2009. Petrogenesis of the Late Cretaceous Demirköy Igneous Complex in the NW Turkey: Implications for the magma genesis in the Strandja Zone, *Lithos* 117, 331.
- Moore, W.J., McKee, E. H., Akıncı, Ö. 1980. Chemistry and Chronology of Plutonic Rocks in the Pontid Mountains, Northern Turkey. *European Copper Deposits Congress Book, Belgrade*, 209-216.
- Mort, H.P., Slomp, C.P., Gustafsson, B.G., Andersen, T. J. 2010. Phosphorus recycling and burial in Baltic Sea sediments with contrasting redox conditions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 74 (4), 1350–1362.
- Okay, A.İ, Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications* 156, 475-515.
- Okay, A., Yurtsever, A. 2006. Istranca Masifinin metamorfik kaya birimleri ile metamorfizma sonrası Kretase kaya birimleri. *Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-2*, Ankara.
- Okay, A. İ., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., Chen, F. 2001. The tectonics of Strandja Massif: late-Variscan and late-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. *International Journal of Earth Sciences* 90, 217-233.
- Öztürk, H., Hein, J.R. 1997. Mineralogy and stable isotopes of black shale-hosted manganese ores, Southwestern Turkey, *Economic Geology*, 92,1, 733-744.

- Öztürk, H., Kasapçı, C., Cansu, Z., Hanilçı, N. 2016. Geochemical characteristics of iron ore deposits in central eastern Turkey: An approach to their genesis. *International Geology Review*.
- Pamir, H.N., Baykal, F. 1947. Istanca Masifinin Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 1, 7-43.
- Petránek, J., Van Houten, F. B. 1997. Phanerozoic ooidal ironstones. *Czech Geological Survey Special Publications* 7, 71.
- Polgári, M., Okita, P.M. Hein, J.R. 1991. Stable isotope evidence for the origin of the Úrkút manganese ore deposit, Hungary. *Journal of Sedimentary Petrology* 61,3, 384-393.
- Salama, W., El Aref, M. M., Gaupp, R. 2013. Mineral evolution and processes of ferruginous microbialite accretion – an example from the Middle Eocene stromatolitic and ooidal ironstones of the Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. *Geobiology* 11, 15–28.
- Schneider, B. 2011. PO4 release at the sediment surface under anoxic conditions: A contribution to the eutrophication of the Baltic Sea? *Oceanologia*, 53, 415 – 429.
- Siyako, M. 2006. Trakya Havzası Tersiyer Kaya Birimleri, Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-2, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları 43-77.
- Taner, M.F. 1981. Şükrüpaşa (Demirköy-Kırklareli) Çevresinde Jeolojik, Petrografik İnceleme ve Cevherleşme Üzerine Görüşler. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 1777. Ankara (yayımlanmamış).
- Taner, M.F., Çağatay, A. 1983. Istanca Masifindeki Maden Yataklarının Jeolojisi ve Mineralojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 26, 31-40.
- Ternek, Z. 1949. Geological study of the region of Keban-Korudağ. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını, D12, 78.
- Tiringa, D. 2019. Kırklareli-Demirköy-Balaban yöresindeki AR:201400302 (ER:3317272) no'lu IV. Grup Ruhsat Sahasına Ait Demir Madeni Buluculuk Talebine Esas Maden Jeolojisi ve Kaynak Tahmin Raporu (Maden Tetkik ve Arama), Ankara.
- TMMOB, 2015. Maden Mühendisleri Odası, Madencilik Bülteni, Türkiye'de Demir Cevheri Madenciligi, 28.
- Üşümezsoy, Ş. 1982. Petrogenetic Evolution of Strandja Massif (in Turkish). Istanbul University Faculty of Geosciences. Ph. D. Thesis.
- Üşümezsoy, Ş. 1990. Istanca Orojeni; Karadeniz Çevresi Kimmerid Orojen Kuşakları ve Masif Sülfür Yatakları, *Türkiye Jeoloji Bülteni* 33, 17-28.
- Yılmaz, İ., Yılmaz, Şahin, S., Aysal, N., Güngör, Y., Akgunduz, A., Bayhan, U. C. 2022. Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Cadomian (Ediacaran-Cambrian) magmatism in the Istanca (Strandja) Massif: New insights into magmatism along the northern margin of Gondwana in NW Turkey. *International Geology Review*, 1.64, no.17, 2456-2477.
- Young, T. P., Taylor, W. E. G. 1989. Phanerozoic ironstones. Geological Society, London, Special Publications 46, 251.
- Yurtsever, A. İmik, M., Özcan, İ., Arda, A., Çağlayan, A. 1993. Yıldız Dağları (Istanca Masifi)'nin Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9929. Ankara (yayımlanmamış).