

Cevher ve Skarn Minerallerinde Yapılan Bir Konfokal Raman Spektroskopisi Çalışması: Dumluca Demir Yatağı (Divriği, Sivas, Türkiye)

A Confocal Raman Spectroscopy Study in Ore and Skarn Minerals: Dumluca Iron Ore Deposit, Sivas, Turkey

CEYDA ÖZTÜRK¹, CUMHUR Ö. KILIÇ¹, TANER ÜNLÜ¹

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gölbaşı 50. Yıl Yerleşkesi, Bahçelievler Mh. 06830 Gölbaşı, Ankara

Geliş (received) : 15 Şubat (February) 2016

Kabul (accepted) : 05 Ağustos (August) 2016

ÖZ

Dumluca demir yatağı, Güneş Ofiyoliti'ne ait serpantinitle kesen mafik ve felsik intrüzyon kayalardan oluşan Dumluca Plütunu arasındaki dokanakta yer almaktadır. Yatakta gözlenen ana cevher minerali manyetittir. Yapılan sistematik örnekleme sonucu, intrüzyona yaklaşıldıkça, cevher mikroskobisi ve Konfokal Raman Spektroskopisi verilerine bağlı olarak mineral parajenezinde belirgin farklılıklar saptanmıştır. Yatağın dokanağa uzak kısımlarında serpantinite bağlı kromit ve manyetit oluşumları gözlenirken, dokanağa yaklaştıkça kromitin yok olduğu, buna karşın manyetitin baskın cevher minerali olarak gözlemlendiği belirlenmiştir. Özellikle dokanaktan alınan cevher örneklerinde yapılan cevher mikroskobisi çalışmalarında manyetit, hematit, pirit, kalkopirit, götit, markazit ve pirotin mineralleri saptanmıştır. Ana cevher minerali olarak gözlenen manyetitler, kenar ve çatlakları boyunca yer yer martitlemiştir. Bazı manyetitler içerisinde özşekilsiz pirit taneleri gözlenmiştir. Boşluk ve çatlaklarda daha genç oluşumlu piritler izlenmiş olup bunlar da yer yer markazite dönüşmüştür. Kalkopiritler özşekilsiz olup kısmen götit ve kovelline dönüşmüştür. Markazitler, piritlerin dönüşüm ürünleri olarak piritlerin kenarlarında gözlenmektedir. Cevher içeren örneklerde yapılan Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmalarına göre, Dumluca demir yatağında cevher minerali olarak manyetit (668 cm⁻¹), hematit (1309 cm⁻¹, 406 cm⁻¹, 606 cm⁻¹), götit (411 cm⁻¹, 535 cm⁻¹) ve pirit (378 cm⁻¹, 342 cm⁻¹, 983 cm⁻¹) mineralleri yer almaktadır. Cevher ile birlikte skarn zonlarına özgü diyopsit (682.24 cm⁻¹, 1033.68 cm⁻¹), aktinolit (671 cm⁻¹, 1062 cm⁻¹) ve biyotit-flogopit (678 cm⁻¹, 572 cm⁻¹) mineral parajenezi saptanmıştır. Skarn mineral parajenezinde yer alan diyopsit minerallerinin tremolit ve biyotit (±flogopit) minerallerine dönüştükleri, ayrıca serpantinitle ise genel olarak krizotil (387 cm⁻¹, 690 cm⁻¹) minerallerinden oluştuğu ve serpantinleşme sürecine karbonatlaşma sürecinin eşlik ettiği saptanmıştır. Özellikle intrüzyona yakın kesimlerde manyetit-hematit ve götit dönüşümleri, Konfokal Raman Spektroskopisi kullanılarak belirgin bir biçimde saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dumluca demir yatağı, Dumluca Plütunu, Güneş Ofiyoliti, Konfokal Raman Spektroskopisi, manyetit.

ABSTRACT

Dumluca iron ore deposit is formed in the contact between serpentinites of Güneş Ophiolite and mafic and felsic intrusive rocks of Dumluca Pluton which intrude into serpentinites. Main ore mineral is magnetite. According to systematic sampling of ore deposit, in closer parts to the intrusion, distinct differences in mineral paragenesis have been determined using Confocal Raman Spectroscopy data. In distant parts of the contact, chromite and magnetite are formed within serpentinites whereas in the parts closer to contact, chromite disappears and magnetite becomes the dominant ore in contact. Ore samples from the contact consist of magnetite, hematite, pyrite, chalcopyrite, goethite, marcasite and pyrotine according to ore microscopy studies. Magnetite is the main ore mineral and martite formation occur along the cracks and edges. Anhedral pyrite occurrences can be seen within some magnetites. Also younger pyrite formations in pores and cracks can be seen and they also partly transformed into marcasite. Chalcopyrites are anhedral and partly transformed into goethite and covelline. Marcasites are found in the edges of pyrites as transformation products.

*C. Öztürk

e-posta: cozturk@eng.ankara.edu.tr

Confocal Raman Spectroscopy studies performed on ore samples shows that "Dumluca iron ore deposit" is mainly composed of magnetite (668.81 cm⁻¹), hematite (1309.33 cm⁻¹, 406.43 cm⁻¹, 606.32 cm⁻¹), goethite (411.76 cm⁻¹, 535.12 cm⁻¹) and pyrite (378.89 cm⁻¹, 342.7 cm⁻¹, 983.2 cm⁻¹) as ore minerals. Beside ore minerals, characteristic skarn zone mineral paragenesis diopside (682.24 cm⁻¹, 1033.68 cm⁻¹), actinolite (671.12 cm⁻¹, 1062.3 cm⁻¹) and biotite-phylogopite (678.16 cm⁻¹, 572.33 cm⁻¹) has been identified. Within ore minerals, transformation of magnetite to hematite and hematite to goethite has been figured both in Raman studies and polished section investigations. Also transformation of diopside to tremolite/biotite (\pm phylogopite) has been identified. Moreover, serpentine mineral type has been identified as chrysotile (387.53 cm⁻¹, 690.46 cm⁻¹) and effect of carbonitization has been figured in Raman studies.

Keywords: *Dumluca iron ore deposit, Dumluca pluton, Gunes ophiolite, Confocal Raman Spectroscopy, magnetite.*

GİRİŞ

Divriği bölgesi demir yatakları, Türkiye'nin en önemli demir alt provenslerinden birini oluştururlar. Bölgedeki demir oluşumlarının kökeni ile ilgili tartışmalar halen devam etmektedir (Kovenko, 1937; Gysin, 1938; Wijkerslooth, 1939; 1941; Klemm, 1960; Koşal, 1965; 1971; 1973; Bozkurt, 1980; Ünlü, 1983; Ünlü ve Stendal, 1986; Kuşcu vd., 2002, 2010). 1930'lu yıllardan 1980'li yıllara kadar Divriği bölgesinde yapılan çalışmalarda tüm araştırmacıların birleştiği ortak görüş, Divriği çevresindeki demir oluşumlarının, aynı yörede yer alan granitik kayalar ile doğrudan ilişkili olduğudur (Kovenko, 1937; Gysin, 1938; Wijkerslooth, 1939; 1941; Klemm, 1960; Koşal, 1965; 1971; 1973; Bozkurt, 1980). Divriği demir yatağı dünya literatürüne de kontak-metasomatik kalk-skarn (Bottke, 1981) ve kontak-metasomatik (Petrascheck ve Pohl; 1982) 'Tip Yatak' olarak girmiş ve tanıtılmıştır.

Doğrudan granite bağlı oluşum modeline karşı ilk görüş Ünlü (1983) ile başlar. Ünlü (1983) modeline göre, gerek bazik ve ultrabazik kayaların bünyesinde yer alan magmatik kökenli demir, gerekse serpantinleşme sonucu silikat minerallerinden açığa çıkan demir, Divriği bölgesi demir yataklarını oluşturmuştur. Daha sonraki etkiler, örneğin granitik kayaların oluşturduğu sıcaklık etkisiyle veya tektonik zonlardaki sıcaklık artışları ile oluşan hidrotermal sirkülasyonlarla ortaya çıkan demirin mobilizasyonu sonucu demir cevheri zenginleşmeleri ile yatak son görünümünü kazanmıştır (Ünlü ve Stendal, 1986; 1989a, b; Ünlü vd., 1995).

Daha sonraki yıllarda Kuşcu vd. (2002, 2010), Divriği bölgesi demir yataklarında yapmış oldukları çalışmalarda daha önce pirometasomatik, fels, kalk-skarn veya skarn olarak tanımlanan A-B Kafa cevherleşmelerinin, alterasyon ürünleri ve cevherleşme biçimleri bakımından, Fe oksit-Cu-Au türü cevherleşmelerle (IOCG) ilişkili olabileceği görüşünü gündeme taşımışlardır.

Divriği bölgesinde, değişik lokasyonlarda, oluşumları açısından farklı özellikler sergileyen bir çok yatağın varlığı bilinmektedir. Bu yataklardan biri de Dumluca demir yatağıdır. Koşal (1971), Dumluca demir yatağı ile ilgili çalışmalar yapmış ve yatağın plaser bir tip oluşuma sahip olduğu belirtmiştir. Yatağın ana cevher mineralinin hematit olduğunu saptamıştır. Bozkurt (1974), Divriği A-B Kafa ve Dumluca yataklarının pirometasomatik tipte olduğunu belirtmiştir. Yıldızeli (1977), Dumluca demir yatağında detaylı çalışma yapmış, yatakta yer alan intrüziflerin asit ve nötr karakterli olduğunu, oluşumun Divriği A-B Kafa yatakları gibi kontak-metasomatik olduğunu belirtmiştir. Doğan vd. (1989), cevher oluşumu olarak A-B Kafa ve Dumluca yataklarının serpantinleşmiş ultrabazik kayalardaki manyetit, granitik intrüzyon ile yan kayaç içinde oluşan sıcak su dolaşımının etkisiyle çözünmesi ve kontak felsler içine metasomatoz yoluyla yerleşmesi şeklinde kabul etmişlerdir. Dumluca demir yatağında granitik kayalar, serpantinleşmiş ultramafik kayaları kesmekte ve granitik kayalar ile serpantinleşmiş ultramafik kayaların dokanaklarında yüksek tenörlü (%57 Fe), 8 milyon tonluk bir yatağın varlığı bilinmektedir (Koşal, 1971). Günümüzde yatakta üretim yapılmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Dumluca yatağından alınan yan kaya ve cevher örnekleri üzerinde gerçekleştirilen Konfokal Raman Spektroskopi çalışmalarından elde edilen verilerin, saha gözlemleri ve cevher mikroskopi çalışmaları ile birlikte yorumlanması ile, hem yan kayaç, hem de intrüzyona yaklaştıkça cevher minerallerinde gözlenen dönüşümlerin ortaya konularak Divriği bölgesinde yer alan benzer demir cevherleşmelerini etkileyen ya da oluşumuna neden olan magmatik-hidrotermal sistemlerin cevher oluşumundaki etkilerini ortaya çıkarmaktır.

BÖLGESEL JEOLJİ

Dumluca demir yatağı, Ketin (1966)'e göre Toridler içerisinde, Şengör ve Yılmaz (1981)'a göre Torid

Anatolid Platformu ve Okay ve Tüysüz (1999)'e göre ise Torid-Anatolid Bloğu içerisinde yer alır. Alpin orojenik kuşağı içerisinde yer alan İç Anadolu bölgesi, Neotetis Okyanusu'nun Mesozoyik-Senozoyik döneminde kapanması ile şekillenmiştir (Ketin, 1966; Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Neotetis Okyanusu'nun kapanması ile kıta üzerine yerleşen ofiyolitik melanjın gözlemlendiği yerler, bu dalma batma süreci sonucu gelişen İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı'nın (IAEKK) yerini gösterir ve bu kuşak, Anatolid-Torid platformları arasında yer alır. Divriği bölgesi, Torid tektonik birliği içerisinde bulunmaktadır ve Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun Geç Kretase'de kapanması ile oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Robertson, 2002; Parlak vd., 2006).

Divriği ve yakın çevresinde temeli, Paleozoyik yaşlı, düşük dereceli metamorfizma gösteren, kırıntılı kayalardan oluşan Kangal Formasyonu (Gültekin, 1993) ve bu birimin üzerine tektonik dokanakla gelen Alt Karbonifer-Kampaniyen yaşlı platform kireçtaşlarından oluşan Munzur kireçtaşları oluşturmaktadır (Öztürk ve Öztunalı, 1993; Yılmaz vd., 2001). Bölgedeki temelin üzerinde Alt Maastrichtiyen yaşlı Yeşiltaşyayla Karışığı ve Divriği bölgesinde yer alan demir yataklarının oluşumunda etkin rol oynadığı bir çok araştırmacı tarafından belirtilen, yerleşim yaşı Maastrichtiyen öncesi olan Güneş Ofiyoliti tektonik dokanakla yer alır (Erkan vd., 1978; Bayhan, 1980; Bayhan ve Baysal, 1982; Yılmaz vd., 2001). Tüm bu birimler, Üst Kretase-Pliyosen aralığında çökelmiş farklı sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan bir istif tarafından açısız uyumsuzlukla örtülür (Gültekin, 1993; Yılmaz ve Yılmaz, 2004). Bu örtü birimleri, Maastrichtiyen yaşlı volkano-sedimanter istif (Saya Formasyonu) ile, çakıllı, kumlu Eosen birimleri (Kozluca Formasyonu) ve Oligo-Miyosen yaşlı killi kireçtaşı, kumtaşı seviyelerinden oluşmaktadır. Pliyosen birimleri ise, manyetit çakıllı konglomera seviyeleri ve volkanik akıntılar ile tuf, aglomera ve andezitik, bazaltik örtü (Yamadağ Volkanitleri) ile temsil olunur (Gültekin, 1993; Yılmaz vd., 2001) (Şekil 1).

Çalışma alanında gözlenen Murmano ve Dumluca plütonları; Munzur kireçtaşı, Yeşiltaşyayla karışığı, Güneş Ofiyoliti ve Saya Formasyonu'na özgü birimleri sıcak dokanakla kesmektedirler (Yılmaz ve Yılmaz, 2004; Boztuğ ve Harlavan, 2007) (Şekil 2). Bu plütonların egemen kayaç tipi monzonit olup, kuvars-siyenitten başlayıp monzonite, hatta diyorite kadar değişen modal bileşimler sunmaktadır. (Zeck ve Ünlü 1988a, b; 1991). Dumluca ve Murmano plütonları, alkalin karakterli, çarpışma sonrası oluşan, levha

içi karakterli, silikaca aşırı doymun siyenitik, monzonitik plütonik kayaçlar olarak tanımlanmıştır (Boztuğ 1998a, b). Dumluca ve Murmano plütonlarının K-Ar soğuma yaşları, 77 My. (Senomaniyen-Turoniyen) olarak belirlenmiştir (Boztuğ vd., 2007) .

MATERYAL VE YÖNTEM

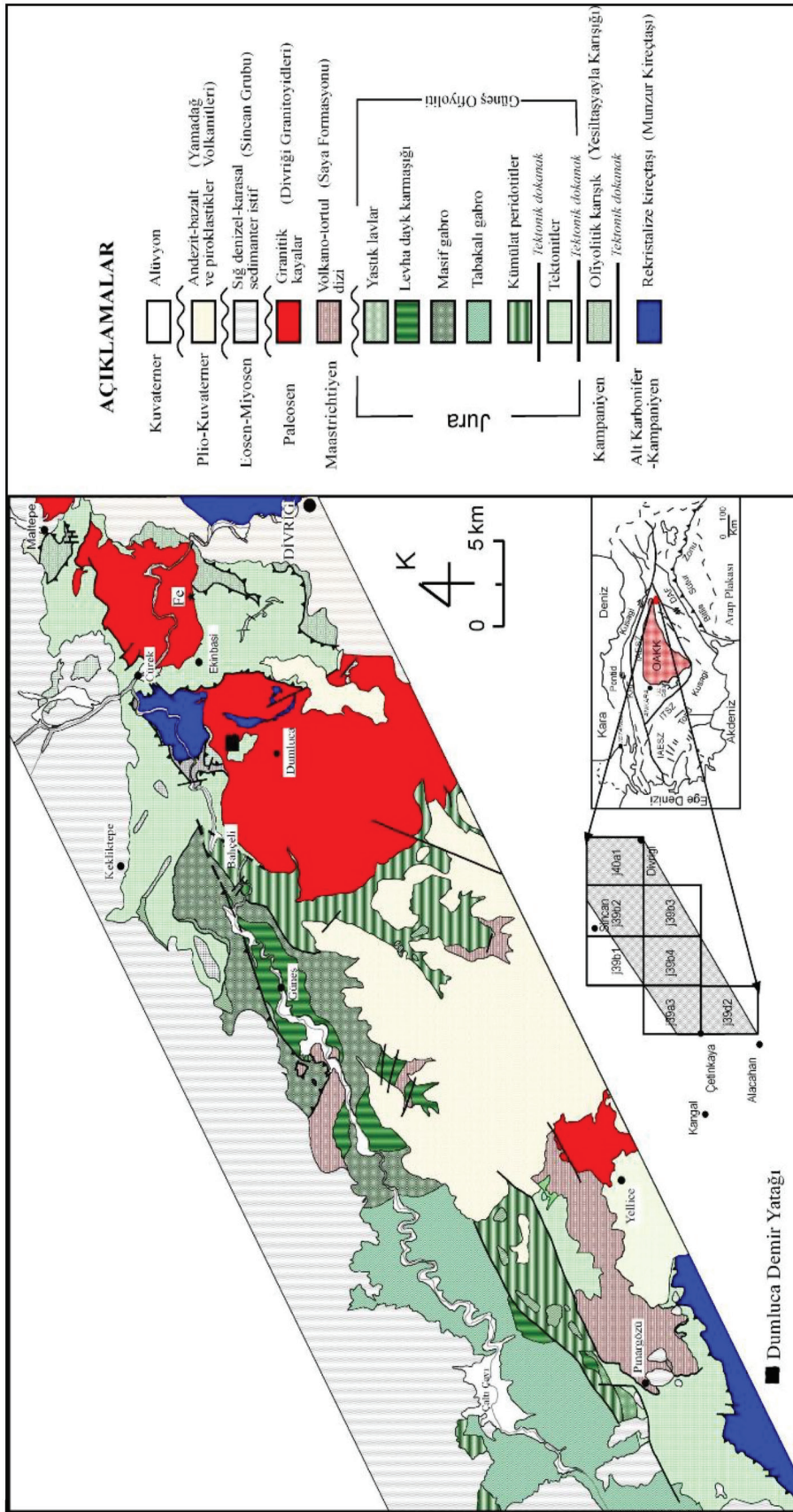
Dumluca sahasında 60 adet el örneğinden 57 adet ince kesit ve 15 adet parlatma Ankara Üniversitesi İnce Kesit Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Kesitlerin petrografik incelemeleri, Leica DM/LSP marka polarizan mikroskopta, cevher mikroskopisi çalışmaları ise Leitz Ortholux marka üstten aydınlatmalı cevher mikroskopunda yapılmıştır.

Dumluca yatağına ait cevher ve serpantin minerallerinin türü ve dokanak kayalarının mineral parajenezini belirlemek için gerçekleştirilen Konfokal Spektrometre çalışmaları, Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yer alan Thermo DXR Raman Mikroskobu cihazında gerçekleştirilmiştir.

Konfokal Raman çalışmaları için, örneklerin ince ve parlatma kesitleri üzerinde gerekli görülen mineraller belirlenmiş ve sınırları çizilerek analiz yapılacak spesifik bölge işaretlenmiştir. Analizlerde kullanılan konfigürasyon, 632 nm dalga boyundaki lazer ışınının, 100x objektif altında, 25 um pinhole aperture aralığından örnek üzerine iletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Saçıyan ışınlar, CCD dedektör tarafından toplandıktan sonra OMNIC yazılımı aracılığıyla "Raman kayma" değerlerini içeren bir spektrogram olarak kaydedilmiştir. Bu spektrogram üzerindeki Raman kayma değerleri, ölçümü yapılan her numunenin moleküler yapısına göre karakteristik özellik gösterir. Elde edilen spektrogramlar, LabSpec yazılımı ile veri tabanında karşılaştırılarak minerallere ait karakteristikler belirlenmiştir.

MİNERALOJİ-PETROGRAFI

Çalışma alanını oluşturan Dumluca demir yatağı, Sivas ili, Divriği ilçesinin 9 km kuzeybatısında yer alır (Şekil 1). Dumluca yatağı, Güneş Ofiyoliti'ne özgü serpantinleşmiş ultramafik kayalar ile Dumluca Plütonu'na ait felsik ve mafik intrüzif kayaların dokanağında yer alır (Şekil 3 ve 4). Yatağı karakterize etmesi açısından, hem serpantinit, hem magmatik kayaçlar hem de dokanaktan sistematik bir şekilde örnekleme yapılmış ve seçilen taze örneklerde petrografik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojî haritası (Yılmaz ve Yılmaz, 2004).
Figure 1. Geological map of the study area (Yılmaz and Yılmaz, 2004).

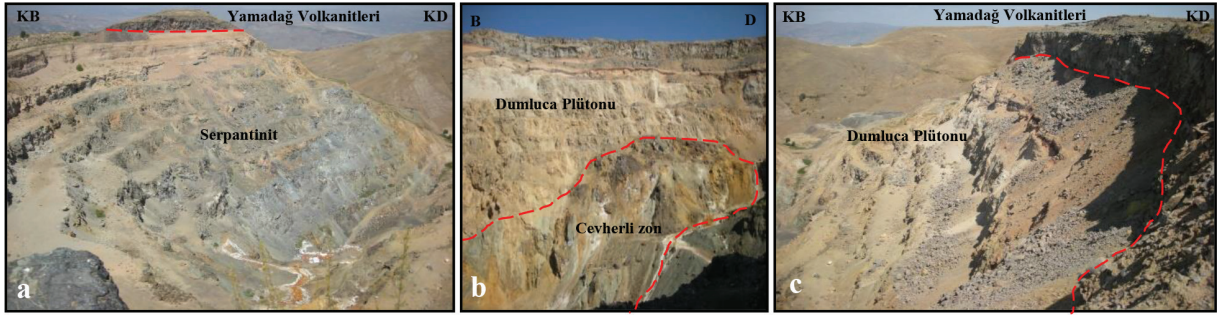
Yaş	Formasyon Litodem	Kalınlık (m)	Kaya türü	Açıklamalar
Kuvaterner	Örenlice	60		Alüvyon Yer yer kumtaşı ve silttaşı ara düzeyleri kapsayan çakıltı
				Bazalt
Pliyosen	Yamaadağı			Bazaltik piroklastitler ve karasal kıvrımlı tortul kayalar
	Uzunyayla	75		Andezitik lav ve piroklastitler
Üst Miyosen	Kurtoglu	250		Yer yer çamurtaşı arakatıkları içeren beyaz-bej renkli, bitki kırıntılı, gastropod ve pelecypoda kireçtaşı
Orta Miyosen	Sincan Jipsleri	300		Yaygın çapraz tabakalanmalı kırmızı çakıltı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı aralanması
	Güneşler			
	Kulmacadağı	120		Masif / Yer yer jips ve andezitik lav ve tüf Jips / ara düzeyleri kapsayan, kumtaşı- marn-çamurtaşı aralanması
Üst Oligosen	Altinyayla	300		Kalın ve orta tabakalı, fosilli gösel kireçtaşı
Eosen	Kozluca	200		Çakıltı, kumtaşı ve çamurtaşı
Paleosen	Divriği Granitoidleri			Çakıltı, kumtaşı, Nummulitesli kireçtaşı-marn aralanması Akdağ demir yatağı
Maastrithiyen	Saya	750		Granitik kayalar
Jura	Güneş Ofiyoliti	2500		Volcano-tortul dizi Pelajik kireçtaşı Bordonsu-yeşilimsi çakıltı-kumtaşı Pınargözü-Davutoğlu demir yatağı
				Dumlucu demir yatağı
Alt Maastrithiyen	Yeşiltayayla Karşığı	500		Ofiyolitik kayalar Yellice manyetit oluşumları
Kampaniyen	Munzur Kireçtaşı	1000		Serpantinleşmiş matris içinde kireçtaşı ve metamorf blokları A-B Kafa demir yatağı
Alt Karbonifer				Rekristalize kireçtaşı
Devoniyen- Permian	Kangal	600		Meta-kvarts kumtaşı, meta-şeyl ve sleyt, rekristalize kireçtaşı

Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Yılmaz ve Yılmaz, 2004) (Ölçeksiz).
Figure 2. Generalized columnar section of the study area (Yılmaz and Yılmaz, 2004) (not to scale).

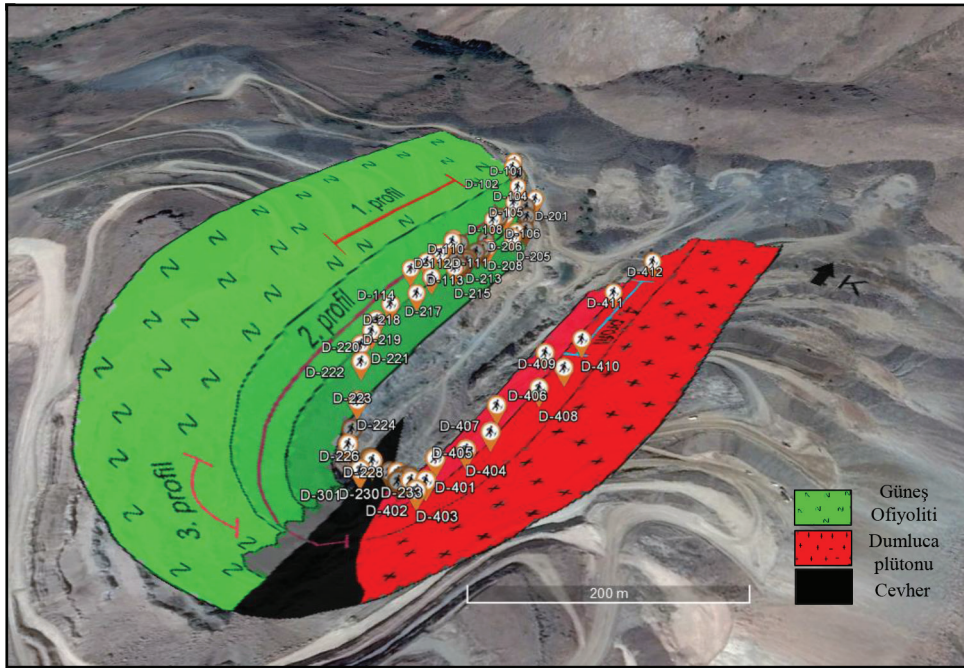
Serpantinitle

Güneş Ofiyoliti'ne ait serpantinitle, genellikle elek dokusu gösterirler, ancak bazı kısımlarda ilksel holokristalin doku da gözlenebilmektedir. Serpantinitle, genel olarak serpantin, olivin, ortopiroksen, daha az oranda klinopiroksen ve opak mineral içerir (Şekil 5a). Serpantin mineralleri, kayada hakim mineral olarak gözlenirler. Piroksenlerin bazılarında ikincil uralitleşme gözlenmektedir (Şekil 5b). Piroksenlerin bir kısmı, serpantinleşme

sürecinden kısmen etkilenmiş olup ilksel optik özelliklerini korur şekilde yer alırlar. Kalsiyumca zengin akışkanların etkisi ile gelişen epidotlaşma, özellikle piroksen minerallerinde yaygın şekilde gözlenmektedir. Opak mineraller serpantinleşmiş ultramafik kayalar içerisinde genellikle ince taneli ve saçınımlı veya toz şeklinde dağılmış olarak veya mikro çatlak düzlemleri boyunca ayrıca kataklazma geçirmiş iri taneler şeklinde de yaygın olarak görülmektedir. Ayrıca olivin ve piroksenlerden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetit oluşumları da gözlenmektedir



Şekil 3. Dumluca demir yatağının panoramik görünümü; a) Serpantinitlemelerin genel görünümü, b) Serpantinitle, granit ve cevher dokanağının genel görünümü ve c) Magmatik kayaların genel görünümü.
 Figure 3. Panoramic view of Dumluca iron deposit; a) General view of serpentinites, b) General view of serpentinite, granite and ore contact and c) General view of magmatic rocks.



Şekil 4. Dumluca yatağından alınan örnek yerlerini gösteren projeksiyon.
 Figure 4. Projection showing the location of samples taken from Dumluca deposit.

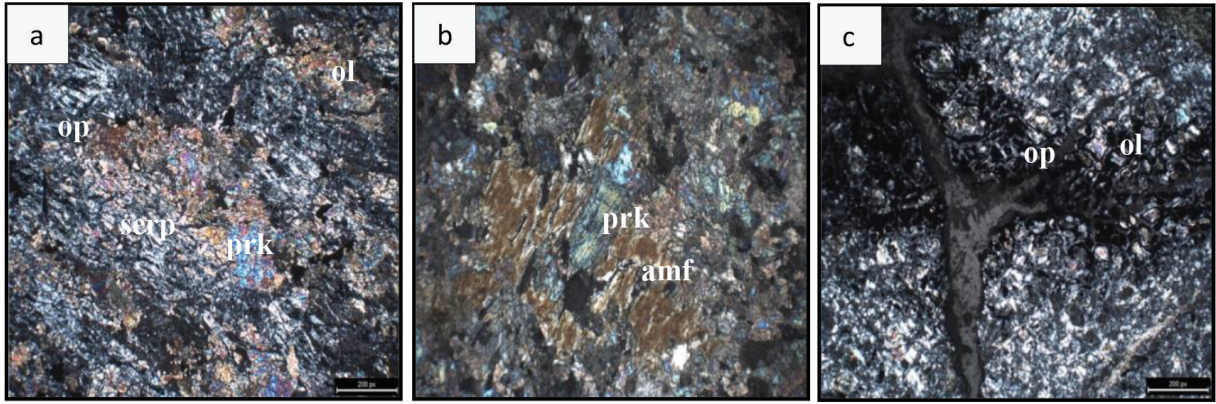
(Şekil 5c). Mikroskop altında, serpantinleşme derecesi ile opak minerallerinin çokluğu arasında bir paralel ilişki gözlenmektedir.

Magmatik Kayalar

Güneş Ofiyoliti'ni sıcak dokanakla kesen Dumluca Plütönu'na ait magmatik kayalar, kimyasal ve mineralojik bileşimlerine göre mafik (gabro ve monzodiyorit) ve felsik (monzonit ve siyenit) kayalar olarak iki gruba ayrılmışlardır.

Mafik kayalar

Mafik kayalar, gabro ve monzodiyorit olarak sınıflandırılmışlardır. Gabrolar, ince kesit altında plajiyoklaz, klinopiroksen, biyotit ve çok az oranda amfibolden oluşmaktadır ve holokristalin dokuya sahiptirler (Şekil 6a). Plajiyoklazlarda Ca-zengin akışkanların etkisi ile gelişen sossoritleşme sonucu merkezden çepere doğru karbonat mineralleri, serisit oluşumu ve killeşme gözlenmektedir (Şekil 6b). Piroksenlerde uratlaşma sonucu tremolit oluşumları gözlenmektedir.



Şekil 5. a) Serpantinlerde gözlenen serpantin, olivin, piroksen ve opak mineral birlikteliği (çift nikol), b) Klinopiroksenlerde gözlenen uralitleşme (çift nikol) ve c) Olivinlerden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetitler (çift nikol) (Kısaltmalar: amf: amfibol, ol: olivin, op: opak mineral, prk: piroksen, serp: serpantin).

Figure 5. a) Serpentine, olivine, pyroxene and opaque mineral association within serpentinites (cross nicol), b) Uralitization in pyroxenes (cross nicol) and c) Magnetites formed by extraction of Fe element from olivines (cross nicol) (Abbreviations: amf: amphibole, ol: olivine, op: opaque mineral, prk: pyroxene, serp: serpentine).

Klinopiroksenler, K-zengin çözeltilerin etkisi ile yaygın bir şekilde kenarlarından itibaren genellikle biyotite, daha az oranda amfibol-biyotit dönüşümüne uğramıştır (Şekil 6c).

Monzodiyoritler, genel olarak amfibol, plajiyoklaz, biyotit, K-feldispat, kuvars ve piroksen minerallerinden oluşmakta ve ofitik doku göstermektedirler (Şekil 6d). Gabrolara kıyasla K-feldispat ve kuvars oranında belirgin bir artış gözlenmektedir. Amfiboller ana mafik mineral bileşimini oluşturur ve yer yer biyotitler tarafından çeperlenmiş şekilde gözlenir. Biyotitler belirgin segregasyon özelliği gösterecek şekilde yer alırlar (Şekil 6e). Piroksenler, diğer mafik minerallere kıyasla daha az oranda gözlenirler (Şekil 6f). Plajiyoklazlarda kısmen sossoritleşme sonucu gelişen serisit ve kil minerali oluşumları gözlenmektedir.

Felsik kayaçlar

Felsik kayaçlar, monzonit ve siyenit olarak sınıflandırılmışlardır. Monzonitler, genel olarak holokristalin doku, kısmen de ofitik doku özelliği gösterirler. Genel olarak amfibol, K-feldispat, biyotit, plajiyoklaz ve kuvars minerallerinden oluşurlar. Amfiboller çoğunlukla hornblend, bazı kesimlerde de tremolit bileşimindedir (Şekil 6g). Biyotitler, piroksen ve amfibol çeperinde ya da amfibol ile poikilitik doku özelliği gösterir şekilde yer alırlar (Şekil 6h).

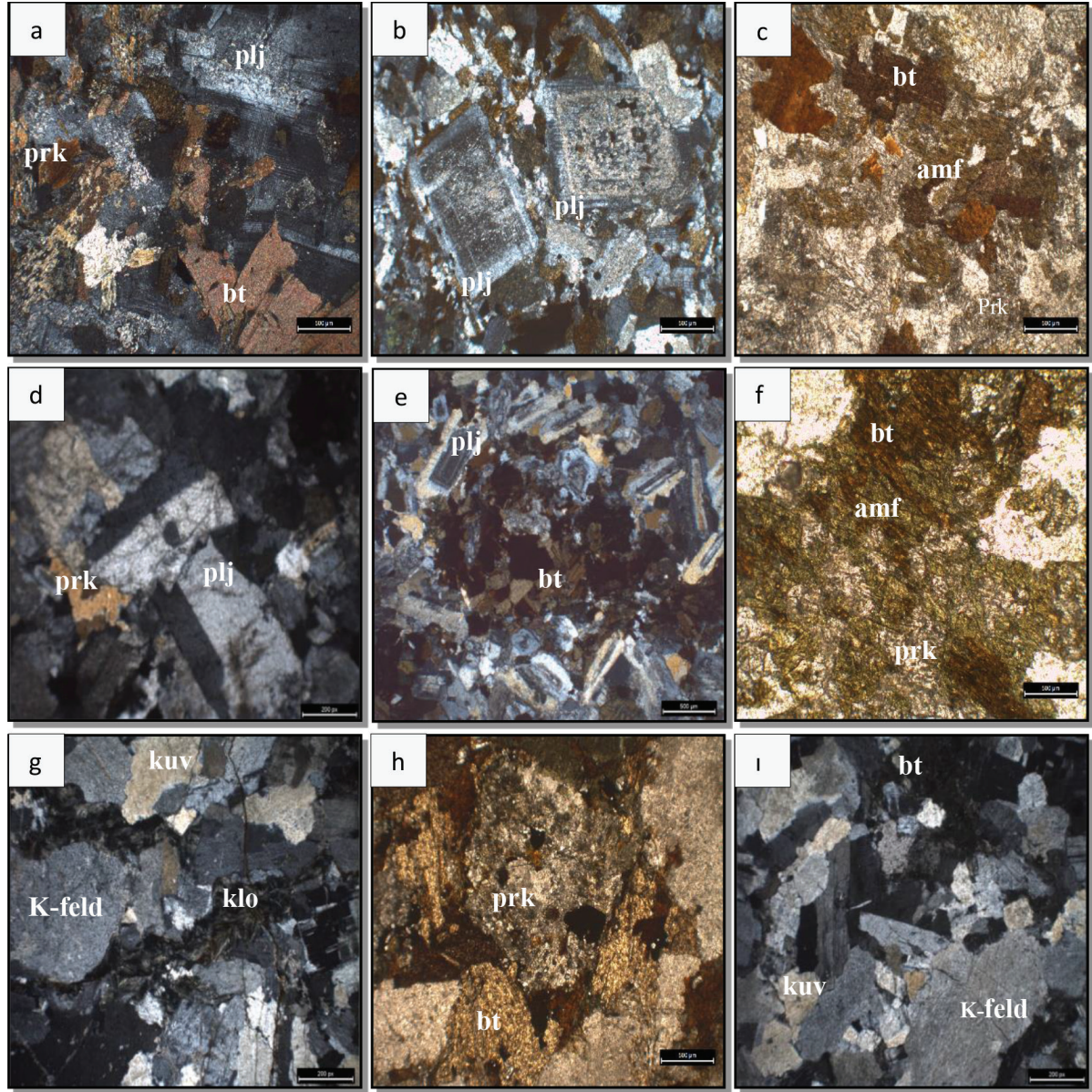
Siyenitler, holokristalin dokuya sahip olup K-feldispat, kuvars, plajiyoklaz ve biyotit minerallerinden oluş-

maktadır (Şekil 6i). K-feldispatlar megakristaller halinde bulunur. Biyotitlerde opasitleşme gözlenmektedir.

CEVHER MİNERALOGİSİ

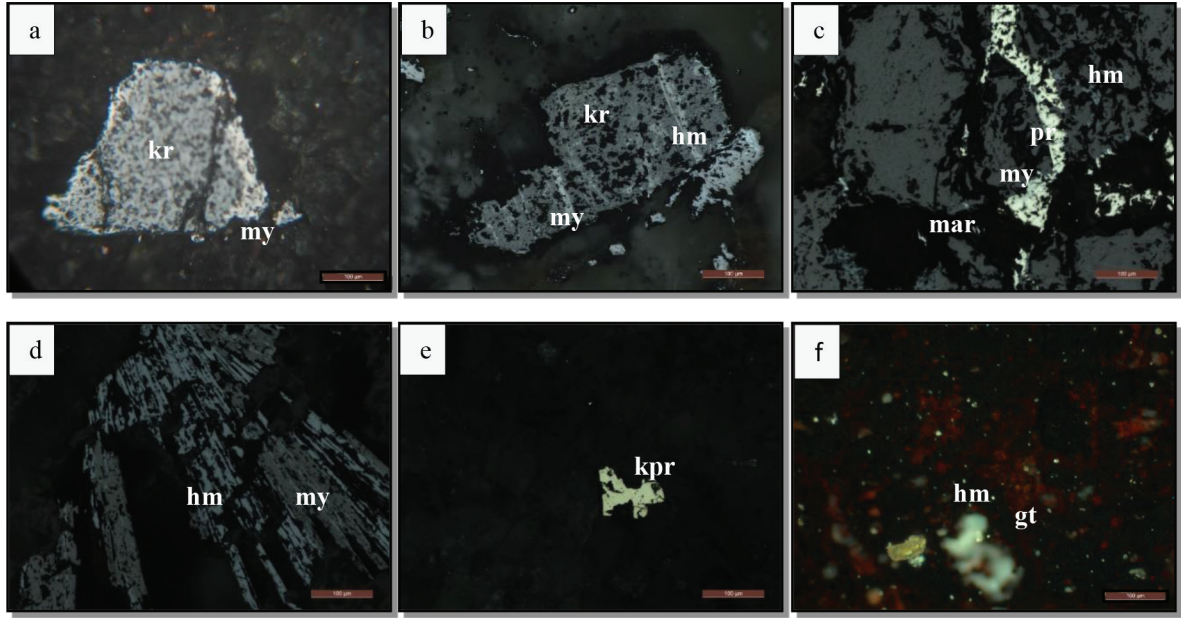
Dokanağa uzak serpantinleşmiş ultramafik kayaç örneklerinde ana cevher minerali olarak kromit ve manyetit tespit edilmiştir (Şekil 7a). Gang mineral olarak krizotil ve kuvars mineralleri gözlenmektedir. Kromit minerallerinde belirgin kataklazma etkisi gözlenmektedir ve kenarlarından itibaren manyetit dönüşümleri gelişmiştir. Manyetit mineralleri, hem birincil olarak, hem kromitlerin serpantinleşme sürecine bağlı olarak manyetite dönüşmesi şeklinde, hem de serpantinleşme sürecinde olivin ve piroksen minerallerinden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetitler olarak üç farklı oluşum şeklinde gözlenmiştir.

Dokanağa yakın serpantinleşmiş ultramafik kayaç örneklerinde ana cevher minerali olarak kromit, manyetit ve hematit tespit edilmiştir (Şekil 7b). Gang mineral olarak krizotil, kuvars ve flogopit mineralleri gözlenmektedir. Flogopitler, özellikle intrüzyon kaynaklı sıvıların etkisi sonucu oluşmuşlardır (Yılmaz vd., 2003). Kromitler iri taneli olup kenarlarından itibaren ve kırık-çatlakları boyunca hematit ve manyetite dönüşmüştür (Şekil 7b). Hematitler belirli hatlar boyunca ince, bazen uzun özşekilsiz tanecikler ya da devamsız damarlar şeklindedir. Hematitlerin bazıları manyetit kalıntıları içerirken, bazı hematitler ise gang



Şekil 6. a) Gabrolardaki plajiyoklaz-klinopirosken ve biyotit birlikteliği (çift nikol), b) Gabrolarda yer alan plajiyoklazlarda gözlenen sossoritleşme (çift nikol), c) Gabrolarda gözlenen piroksen-amfibol-biyotit dönüşümleri (tek nikol), d) Monzodioritlerin genel görüntüsü (çift nikol), e) Monzodioritlerde gözlenen biyotit segregasyonları (çift nikol), f) Monzodioritlerde gözlenen piroksen-amfibol-biyotit birlikteliği (tek nikol), g) Monzonitlerin genel görüntüsü (çift nikol), h) Monzonitlerde gözlenen piroksenlerin etrafını saran biyotitler (tek nikol) ve i) Siyenitlerin genel görüntüsü (çift nikol) (Kısaltmalar: amf: amfibol, bt: biyotit, K-feld: K feldispat, klo: klorit, kuv: kuvars, plj: plajiyoklaz, prk: piroksen).

Figure 6. a) Plagioclase, clinopyroxene and biotite association in gabbro (cross nicol), b) Sossorization in plagioclases within gabbro (cross nicol), c) Pyroxene-amphibole-biotite transformations in gabbro (parallel nicol), d) General view of monzodiorites (cross nicol), e) Biotite segregations in monzodiorites (cross nicol), f) Pyroxene-amphibole-biotite association in monzodiorites (cross nicol), g) General view of monzonites (cross nicol), h) Pyroxene enroled by biotite in monzonite (parallel nicol) and i) General view of syenites (cross nicol) (Abbreviations: amf: amphibole, bt: biotite, K-feld: K feldispar, klo: chlorite, kuv: quartz, plj: plagioclase, prk: pyroxene).



Şekil 7. a) Dokanağa uzak serpantinleşmiş ultramafik kayalarda yer alan ve kataklazma etkisi gösteren kromit-manyetit birlikteliği, b) Dokanağa yakın serpantinleşmiş ultramafik kayalarda yer alan kromit-manyetit-hematit birlikteliği, c) Dokanaktan alınan örnekte gözlenen manyetit-pirit-hematit-martit birlikteliği, d) Dokanaktan alınan örnekte gözlenen çubuk şekilli hematit e) Dokanaktan alınan örnekte gözlenen özşekilsiz kalkopirit minerali ve f) Cevher örneğinde hematit dönüşümü sonucu gözlenen hematit-götite birlikteliği (Kısaltmalar: gt: götite, hm: hematit, kpr: kalkopirit, kr: kromit, mar: martit, my: manyetit, pr: pirit).

Figure 7. a) Chromite-magnetite association which shows cataclasm effects found in serpentinized ultramafic rocks far from contact, b) Chromite-magnetite-hematite association in serpentinized ultramafic rocks close to contact, c) Magnetite-pyrite-hematite-martite association in samples from contact, d) Rod shaped primary hematites in samples from contact, e) Anhedrally shaped chalcopyrite in samples from contact and f) Hematite-goethite association resulted from hematite transformation in ore samples (Abbreviations: gt: goethite, hm: hematite, kpr: chalcopyrite, kr: chromite, mar: martite, my: magnetite, pr: pyrite).

minerallerinin kenarları boyunca oluşmuştur. Genel yönelmeyi kesen demir içeren damarlar içerisinde ince taneli hematit ve iri taneler halinde martitleşmiş manyetitler yer almaktadır.

Dokanaktan alınan cevher örneklerinde manyetit, hematit, pirit, kalkopirit, götite, markazit ve pirotin mineralleri belirlenmiştir (Şekil 7c). Intrüzyona yaklaştıkça cevher minerallerinin bileşiminde belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Ana cevher minerali olarak gözlenen manyetitler, kenar ve çatlakları boyunca yer yer martitleşmiştir. Bazı örneklerde eser miktarda, çubuk şekilli hematitler belirlenmiştir (Şekil 7d). Piritler özşekilli olup, bazıları kenar ve çatlaklarından itibaren götite dönüşmüştür. Boşluk ve çatlaklarda daha genç oluşumlu piritler izlenmiş olup bunlar da yer yer markazite dönüşmüştür. Kalkopiritler özşekilsiz olup kısmen götite ve kovelline dönüşmüştür (Şekil 7e). Markazitler, piritlerin dönüşüm ürünleri olarak pirit-

lerin kenarlarında gözlenmektedir. Piritinler yuvarlağımsı taneler halindedir. Özellikle intrüzyona yakın kesimlerde manyetit-hematit ve götite dönüşümleri belirlenmiştir (Şekil 7f).

Dokanağın plütona yakın kesiminden alınan örneklerde tipik skarn mineral parajenezi olan diyopsit-tremolit-epidot birlikteliği gözlenmektedir. Cevher minerali olarak genellikle manyetit gözlenmektedir. Manyetitler, kenarlarından itibaren ve kırık-çatlakları boyunca martitleşmiş olup manyetit oranı, dokanaktan uzaklaştıkça azalmaktadır.

Cevher mikroskopi çalışmalarına göre, dokanağa yaklaştıkça cevher minerallerinin çeşitliliği ile birlikte bu mineraller arasında gözlenen dönüşümlerin ve ana cevher minerali olan manyetitin toplam oranının artmakta olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Dumluca yatağındaki cevher, gang (skarn) ve serpantin minerallerinin Raman Kayma değerleri.
Table 1. Raman shift values of ore, gangue (skarn) and serpentine minerals of Dumluca deposit.

Mineral Adı	1. Kayma (cm ⁻¹)	2. Kayma (cm ⁻¹)	3. Kayma (cm ⁻¹)
Manyetit	668		
Hematit	406	606	1309
Götit	411	535	622
Pirit	342	378	983
Diyopsit	393	682	1033
Aktinolit	553	671	1062
Biyotit	351	572	678
Krizotil	387	690	1123

Çizelge 2. Dumluca yatağındaki manyetit-hematit ve hematit-götit dönüşümlerine ait Raman karakteristikleri.
Table 2. Raman characteristics of magnetite-hematite and hematite-goethite transformations of Dumluca deposit.

MİNERAL ADI	RAMAN SPEKTROGRAMI	RAMAN GÖRÜNTÜSÜ	RAMAN SPEKTROGRAMI	MİNERAL ADI
MANYETİT				HEMATİT
HEMATİT				GÖTİT

KONFOKAL RAMAN SPEKTROSKOPİ ÇALIŞMALARI

Raman spektroskopisi; inorganik, organik ve biyolojik örneklerin hem kalitatif hem de kantitatif analizinde kullanılabilen hızlı, kolay, örneğe temas etmeden ve zarar vermeden uygulanabilen çok önemli bir spektroskopik yöntemdir (Akçe, 2010). Jeolojik çalışmalarda özellikle minerallerin adlandırılması ve bağ yapılarının ortaya konulmasında etkin olarak kullanılan yöntem, moleküllerden saçılan enerjinin

ölçümüne dayanır (Güllü, 2012). Minerallerin bileşiminde bulunan moleküllerin özelliklerine bağlı olarak saçılan ışınlar arasındaki oluşturan farka "Raman saçılımı", dalga boyundaki kaymalara ise "Raman kayması" denilir. En önemli faktör, minerallerin kimyasal yapısıdır. Bu yöntemin tercih edilmesinin en önemli sebebi, inceleme yapılacak madde üzerinde herhangi bir yıkıcı etkiye sahip olmaması ve istenilen her noktadan ölçüm yapabilme kolaylığı sağlamasıdır. Titreşimli Raman spektrumu kimyasal ve moleküler yapının karakterize edilmesinde önemli rol oynar (Zo-

Çizelge 3. Dumluca yatağındaki cevher, gang (skarn) ve serpantin minerallerinin Raman karakteristikleri.
Table 3. Raman characteristics of ore, gangue (skarn) and serpentine minerals of Dumluca deposit.

MİNERAL ADI	RAMAN SPEKTROGRAMI	RAMAN GÖRÜNTÜSÜ
MANYETİT	<p>Ölçülen pik: 668 cm^{-1} Referans pik: 668 cm^{-1}</p>	
HEMATİT	<p>Ölçülen pik: 1309 cm^{-1}, 606 cm^{-1}, 406 cm^{-1} Referans pik: 1309 cm^{-1}, 606 cm^{-1}, 406 cm^{-1}</p>	
PIRİT	<p>Ölçülen pik: 983 cm^{-1}, 378 cm^{-1} Referans pik: 983 cm^{-1}, 378 cm^{-1}</p>	
DİYOPSİT	<p>Ölçülen pik: 1033 cm^{-1}, 682 cm^{-1} Referans pik: 1033 cm^{-1}, 682 cm^{-1}</p>	
AKTİROLİT	<p>Ölçülen pik: 1062 cm^{-1}, 671 cm^{-1}, 553 cm^{-1} Referans pik: 1062 cm^{-1}, 671 cm^{-1}, 553 cm^{-1}</p>	
BİYOTİT	<p>Ölçülen pik: 678 cm^{-1}, 572 cm^{-1}, 351 cm^{-1} Referans pik: 678 cm^{-1}, 572 cm^{-1}, 351 cm^{-1}</p>	
KRİZOTİL	<p>Ölçülen pik: 1123 cm^{-1}, 690 cm^{-1}, 387 cm^{-1} Referans pik: 1123 cm^{-1}, 690 cm^{-1}, 387 cm^{-1}</p>	

roğlu, 2009).

Dumluca demir yatağında, serpantinitle ile intrü- zif kayaların dokanağında gelişen cevherleşmeden alınan örneklerde yapılan Konfokal Raman Spekt- roskopi çalışmaları ile cevher minerallerinin türü ve gözlenen dönüşümler belirlenmiştir. Dumluca yatağı cevher örneklerinin mineral parajenezine ait Raman Kayması değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Yatağın dokanağa uzak kısımlarında serpantinite bağlı kromit ve manyetit oluşumları gözlenirken, do- kanağa yaklaştıkça kromitin yok olduğu, buna karşın manyetitin baskın cevher minerali olarak gözlendiği belirlenmiştir. Dokanaktan alınan örneklerde, Raman analizi yapılan manyetitin belirgin bir şekilde hematite dönüştüğu, aynı spektrogram üzerinde belirlene- bilmektedir (Çizelge 2). Spektrogram üzerindeki bu belirgin dönüşüm, dokanaktan uzaklaştıkça belirgin biçimde gözlenmektedir. Benzer şekilde, manyetit- hematit dönüşümünü takip eden hematit-götít dö- nüşümü de, dokanaktan alınan örneklerde net bir biçimde belirlenmiştir (Çizelge 2).

Dokanaktan alınan cevher örneğinde hem manye- tit (668 cm^{-1}) hem de hematite ($406-606-1309\text{ cm}^{-1}$) ait Raman Kayma değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3). Benzer şekilde hem hematit ($406-606-1309\text{ cm}^{-1}$), hem de götíte ($411-535-622\text{ cm}^{-1}$) ait Raman Kayma değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3). Bu verilere bağlı olarak, direk dokanaktan alınan örneklerde yaygın dönüşüm gözlenirken, dokanaktan uzaklaştıkça bu dönüşümün Raman spektroskopisi ile saptanması zorlaşmakta, daha çok saf manyetit ve hematit mi- nerallerinin oluştuğu söylenebilmektedir. Ayrıca bu mineral parajenezine ek olarak piritte ait ($342-378-983\text{ cm}^{-1}$) Raman Kayma değerleri de elde edilmiştir (Çizelge 3). Diğer cevher mineralleri örnek içinde eser miktarda gözlendiği için saptama yapılamamıştır.

Dumluca yatağında dokanakta oluşan kayaçların bile- şimini belirlemek üzere yapılan Raman çalışmalarına göre dokanak kayaçlarında skarn zonlarına özgü di- yopsit ($393-682-1033\text{ cm}^{-1}$) ve tremolit-aktinolit ($671-1062\text{ cm}^{-1}$) mineral parajenezi belirlenmiştir (Çizelge 3). Ayrıca serpantinleşmiş ultramafik kayaçlardaki baskın serpantin türünü belirlemek için yapılan çalışmalarda, serpantin türü olarak krizotil saptanmıştır (Çizelge 3). Krizotil mineraline bağlı olarak serpantinleşme süre- cinde sıcaklığın $350-400^{\circ}\text{C}$ civarında olduğu söylene- bilir (Coleman, 1977; Dymek vd., 1988).

SONUÇLAR

Dumluca demir yatağında yer alan cevher mineral- lerinde gözlenen dönüşümlerin Konfokal Raman Spektrometre çalışmaları ile belirlenmesiyle ile bir- likte, saha, petrografi ve cevher mikroskobisi ça- lışmalarından elde edilen veriler birleştirilerek, int- rüzyon etkisinin cevher minerallerinin oluşumları ve dönüşümlerine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Dumluca yatağı, Güneş Ofiyoliti’ne ait serpantinitle ile Dumluca Plütonu’na ait magmatik kayaçların do- kanağında yer almaktadır. Serpantinlerden başlaya- rak dokanağa doğru yapılan sistematik örnekleme- ler sonucu elde edilen cevher mikroskobisi ve petrografi ve Konfokal Raman spektroskopisi verilerine göre,

1- Dokanağa en uzak serpantinitle mikroskop al- tında daha taze olduğu ve genel olarak serpantin (krizotil), olivin ve piroksen minerallerinden oluştu- ğu, cevher minerali olarak kromit, kromit-manyetit dönüşümleri ve serpantinleşme sürecinde olivin ve piroksen minerallerinden açığa çıkan Fe elementinin oluşturduğu manyetitlerin gözlendiği,

2-Dokanağa yakın serpantinitle mikroskop altında serpantin, piroksen, flogopit ve epidot minerallerin- den oluştuğu, dokanağa yaklaştıkça serpantin mine- rallerine eşlik eden cevher minerallerinin oranının art- tığı, bununla birlikte yaygın karbonatlaşma ve kısmen silisleşme gözlendiği,

3-Dokanaktan alınan cevher örneklerinin, saf manye- titten oluştuğu ve sırasıyla hematit ve götít dönüşü- münün gerçekleştiği,

4-Dokanağın intrüzyona yakın kısmından alınan ör- neklerin mikroskop altında tipik skarn parajenezi olan diyopsit, tremolit, epidot ve cevher minerallerinden oluştuğu ve cevher oranının dokanaktan uzak örne- klerle oranla belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştır- ma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından birinci ya- zarın, üçüncü yazarın danışmanlığında yürütölen 15L0443007 no.lu doktora tezi projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar ayrıca Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmalarında destek olan Yerbilim- leri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) araştı- rmacılarına, ayrıca yayının geliştirilmesi ve son haline getirilmesindeki katkılarından dolayı hakemlere te- şekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akçe, M. A., 2010. Yozgat İnrüzif Kompleksinin jeolojisi, petrolojisi ve Orta Anadolu Kristalen Karmaşığındaki zamansal ve mekansal Konumu. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayhan, H., 1980. Güneş-Soğucak (Divriği-Sivas) yöresinin jeolojik, mineralojik, petrografik-petrolojik ve metalojenik incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Enstitüsü, Ankara (yayınlanmamış).
- Bayhan, H. ve Baysal, O., 1982. Güneş-Soğucak (Divriği-Sivas) yöresinin petrografik-petrolojik incelenmesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 1-13.
- Bottke, H., 1981. Lagerstättenkunde des Eisens: Verlag Glückauf GmbH, 202 s., Essen.
- Bozkurt, M. R., 1974. Dumluca Köyü (Sivas) Ni-Co-Bi mineralizasyonunun metalojenik ve yakın yöresinin petrografik etüdü. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon (yayınlanmamış).
- Bozkurt, M.R., 1980. Divriği demir madenleri cevher minerallerinin incelenişi ve oluşumu. Doçentlik Tezi, Eskişehir.
- Boztuğ, D., 1998a. Orta Anadolu çarpışma intrüzifleri. Ofiyolit-Granitoid ilişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu, Sivas, Bildiriler kitabı s. 19-37.
- Boztuğ, D., 1998b. Post-collisional Central Anatolian Alkaline Plutonism, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 7, 145-165.
- Boztuğ, D. and Harlavan, Y., 2007. K-Ar ages of granitoids unravel the stages of Neo-Tethyan convergence in the eastern Pontides and central Anatolia, Turkey. International Journal of Earth Sciences, 97, 585-599.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Arehart, G.B., Satir, M. and Avcı, N., 2007. K-Ar age, whole-rock and isotope geochemistry of A-type granitoids in the Divriği-Sivas region, Easterncentral Anatolia, Turkey. Lithos, 97, 193-218.
- Coleman, R. G., 1977. Ophiolites. Springer-Verlag, Berlin.
- Doğan, H., Yıldızeli N., Yurt, M.Z., Celebi, A. and Özcan, H., 1989. T.D.C.I. Geological iron ore report 89/120 on Sivas Divriği and its environment, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 89/120, Ankara.
- Dymek, R.F., Brothers, S.C. and Schiffrics, M.C., 1988. Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from the 3800 Ma Isua Supracrustal Belt, West Greenland. Journal of Petrology, 29 (6), 1353-1397.
- Erkan, E., Özer, S., Sümengen, M. ve Terlemez, I., 1978. Sarız-Şarkışla-Gemerek-Tomarza arasının temel jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 5646, Ankara (yayınlanmamış).
- Güllü, B., 2012. Topkaya ve Karakaya (Eskişehir) granitoidlerinin zamansal ve mekansal konumları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gültekin, A.S., 1993. Alacahan-Çetinkaya-Divriği (Sivas ili) arasında kalan alanın jeolojisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (yayınlanmamış).
- Gysin, M., 1938. Le're impression sur la geologie de la region de Divrik, sur la structure et sur l'origine du gisement de fer. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 700, Ankara.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Bülteni, 66, 20-34.
- Klemm, D.D., 1960. Die Eisenerzvorkommen von Divrik (Anatolien) als Beispiel tektonisch angelegter pneumatolytisch-metasomatischer Lagerstättenbildung Jahrbuch Mineralogie, A 94, 591-607.
- Koşal, C., 1965. Divriği civarı jeolojisi ve magmatojen cevher yatakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 3743, Ankara.
- Koşal, C., 1971. Divriği A-B kafası demir yataklarının sondajlı aramalar jeolojik raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 4304, Ankara.
- Koşal, C., 1973. Divriği A-B-C demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu üzerinde çalışmalar. MTA Dergisi, 81, 1-22.
- Kovenko, V., 1937. Divriği imtiyaz manyetit yatağı hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 485, Ankara.
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E. ve Demirela, G. 2002. Sivas-Divriği bölgesi skarn tipi demir oksit yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi)

- perspektifinden yeni bir bakış. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 45 (2), 33-46.
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E., Demirela, G., Gencalioğlu, G. and Güleç, N., 2010. Iron Oxide-(Copper ± Gold) Mineralisation in the Turkish Tethyan. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, Advances in the Understanding of IOCG Deposits; PGC Publishing, 4, 573-600. Adelaide
- Okay, A. I. and Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. In The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within The Alpine Orogen, Geological Society of London, Special Publication, 156, 475-515.
- Öztürk, H. ve Öztunalı, Ö., 1993. Divriği demir yatakları üzerinde genç tektonizma etkileri ve sonuçları. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 8, 97-106.
- Parlak, O., Yılmaz, H., and Boztuğ, D., 2006. Origin and tectonic significance of the metamorphic sole and isolated dykes of the Divriği ophiolite (Sivas, Turkey): evidence for slab break-off prior to ophiolite emplacement. Turkish Journal of Earth Sciences, 15 (1), 25-41.
- Petrascheck, W. and Pohl, W., 1982. Lagerstättenlehre: E.S.V.H, 341, Stuttgart.
- Robertson, A.H.F., 2002. Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. Lithos, 65, 1-67.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey - a Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75 (3-4), 181-241.
- Ünlü, T., 1983. Sivas, Divriği-Akdağ; Gürün-Otluklisse; Erzincan, Kemaliye, Bizmişen-Çaltı, Kurudere ve Adıyaman, Çelikhhan-Bulam demir yatakları hakkında görüşler. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Rapor No. 1901, Ankara.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1986. Divriği bölgesi demir yataklarının element korelasyonu ve jeokimyası. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28, 5-19.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1989a. Jeokimya verilerinin çok değişkenli jeostatistik analizlerle değerlendirilmesine bir örnek: Divriği Bölgesi demir yatakları, Orta Anadolu. MTA Dergisi, 109, 127-140.
- Ünlü, T. ve Stendal, H., 1989b. Divriği Bölgesi demir cevheri yataklarının nadir toprak element (REE) jeokimyası, Orta Anadolu, Türkiye. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 32, (1-2), 21-38.
- Ünlü, T., Stendal, H., Makovicky, E. ve Sayılı, İ.S., 1995. Divriği (Sivas) demir yatağının kökeni, Orta Anadolu, Türkiye-Bir cevher mikroskopisi çalışması. MTA Dergisi, 117, 17-28.
- Wijkerslooth, P. D., 1939. Demirdağ (Divrik) demir yatakları hakkında jeolojik rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 803, Ankara.
- Wijkerslooth, P. D., 1941. Divrik (Sivas Vilayeti) Demir Cevheri zuhuratının tevevvün ve yaşı hakkında bazı malumatlar. MTA Dergisi, 3-24.
- Yıldızeli, N., 1977. Divriği-Dumlucua Sondajlı Etüd Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 5986, Ankara.
- Yılmaz, H., Arıkal, T. ve Yılmaz, A., 2001. Güneş Ofiyoliti'nin (Divriği-Sivas) jeolojisi. 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 54-65.
- Yılmaz, H. ve Yılmaz, A., 2004. Divriği (Sivas) yöresinin jeolojisi ve yapısal evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 47 (1), 13-45.
- Yılmaz, E., Kuşçu, İ. ve Demirela, G., 2003. Divriği A-B kafa cevherleşmeleri, alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 46 (1), 17-34.
- Zeck, H. P. and Ünlü, T., 1988a. Alpine ophiolite obduction before 110±5 Ma ago Taurus Belt, eastern central Turkey. Tectonophysics, 145 (1-2), 55-62.
- Zeck, H. P. ve Ünlü, T., 1988b. Murmano plütönu'nun yaşı ve ofiyolitle olan ilişkisi (Divriği-Sivas). MTA Dergisi, 108, 82-97.
- Zeck, H. P. ve Ünlü, T., 1991. Orta Anadolu'nun doğusunda yer alan şoşonitik, monzonitik Murmano Plütönu-Ön Çalışma. MTA Dergisi, 112, 103-115.
- Zoroğlu, O., 2009. Sivrihisar-Günyüzü (Eskişehir) Granitoidlerinin Jeolojisi, Petrolojisi ve Anklavlarının Kökeni, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.