

Yellice (Çetinkaya-Sivas) Manyetit Oluşumlarının Maden Jeolojisi

Mining Geology of the Magnetite Occurrences of Yellice (Çetinkaya-Sivas)

Ceyda ÖZTÜRK¹, Taner ÜNLÜ¹, İ. Sönmez SAYILI²

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tandoğan, ANKARA

²Fe-Ni Madencilik, Ceyhan Atıf Kansu Cad., 1368. Sokak, 6/4, Balgat, ANKARA

Geliş (received) : 20 Haziran (June) 2012
Düzeltilme (revised) : 09 Ekim (October) 2012
Kabul (accepted) : 08 Kasım (November) 2012

ÖZ

Yellice köyü (Çetinkaya - Sivas) ve yakın çevresinde, temeli oluşturan kayaçlar, Toros platformuna özgü Munzur kireçtaşları ile bunların üzerine Maastrichtiyen öncesi yaşta tektonik olarak yerleşmiş olan ofiyolitik kayaçlardır. Temelin üzerine post-tektonik havza çökelleri (Saya formasyonu ve Sincan grubu) uyumsuz olarak gelir. Üst Kretase ve/veya hemen sonrası yaşlı granitik kayaçlar ile Plio-Kuvaterner yaşlı volkanitler sahada gözlenen magmatik aktiviteyi karakterize etmektedir. Araştırmaya konu olan ve ağırlıklı biçimde manyetitlerden oluşan cevher, ofiyolitik kayaçlara özgü serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar içerisinde yer alır.

Yellice sahasında gözlenen birincil cevher mineralleri, likid magmatik evreyi karakterize eden; kromit, manyetit, makinavit kurtçukları içeren pentlandit, pirotin, kübanit lamelleri içeren kalkopirit ve pirit disseminasyonlarından oluşur. Kromit, manyetit ve sülfid birlikteliğinden oluşan bu birincil parajenez, bir sonraki evreyi karakterize eden serpantinleşme olayı ile ferromagnezyen minerallerden yoğun biçimde açığa çıkan demir elementinin oluşturduğu ikincil manyetit oluşumları ve daha az oranlardaki piritler ile silikat mineralleri eşlik eder.

Serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar genelde ortalama; % 20.34 toplam Fe₂O₃, % 0.26 MnO, % 33.19 MgO, % 1.08 CaO, % 0.14 Al₂O₃, % 31.99 SiO₂, % 0.18 K₂O, % 0.08 Na₂O ile 5678 ppm Cr₂O₃, 1772 ppm Ni, 191.7 ppm Co, 280 ppm V₂O₅ ve 163 ppm TiO₂ içermekte olup ateşte kayıp miktarı % 10.49'dur.

Serpantinler içerisinde mercer şekline konumlanan ve ana bileşeni manyetit olan cevherleşmenin ortalama Fe₃O₄ tenörü % 18-20 arasında değişmekte olup 125 milyon ton görünür + olası (muhtemel) rezerv saptanmıştır.

T.Ünlü

E-Posta: tunlu@eng.ankara.edu.tr

Demir oluşumunun ilk evreleri ultramafik kayalar içerisinde saçılmış (dissemine) tipte gelişmeye başlamış, daha sonra ise ultramafik kayalardaki ferromagnezyen minerallerin (olivin ve piroksen gibi) serpantinleşmeleri ile açığa çıkan demir elementinin oluşturduğu minerallerle yoğunluk kazanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çetinkaya, Demir, Maden jeolojisi, Ofiyolit, Sivas, Yellice.

ABSTRACT

In the close vicinity of Yellice (Çetinkaya-Sivas), ophiolitic rocks which were trusted tectonically before Maastrichtian over Munzur limestones of Taurus platform form the basement. Post-tectonic basin deposits (Saya formation and Sincan group) cover them unconformably. Magmatic activity observed in the field is characterized by granitic rocks of Upper Cretaceous and/or subsequent ages, and volcanics of Plio-Quaternary. The ores which is the subject of this study, are mainly composed of magnetites and located within serpentinized ultramafic rocks of the ophiolites.

Primary ore minerals of the Yellice area, consist of chromite, magnetite, machinavite droplets bearing pentlandite, pyrrhotite, cubanite lamellae bearing chalcopyrite and pyrite disseminations characterizing liquid magmatic phase. In addition to this primary paragenesis of chromite, magnetite and sulphide assemblages, secondary magnetite minerals formed from iron elements released intensively from ferromagnesian minerals during serpentinization processes which characterize subsequent phase. Small amount of pyrite and silicate minerals accompanied with these assemblages.

In general, the average compositions of serpentinized ultramafic rocks are 20.34 % Fe_2O_3 (total Fe), 0.26 % MnO, 33.19 % MgO, 1.08 % CaO, 0.14 % Al_2O_3 , 31.99 % SiO_2 , 0.18 % K_2O , 0.08 % Na_2O with 5678 ppm Cr_2O_3 , 1772 ppm Ni, 191.7 ppm Co, 280 ppm V_2O_5 and 163 ppm TiO_2 . Loss on ignition is 10.49 %.

In this study area, the ore seen as lenses within serpentinites, comprises mainly magnetite, and reveals an average grade of 18-20 % Fe_3O_4 with visible and probable tonnage of 125 million tons.

At the early stages of the iron formation, it had started to develop as disseminations within ultramafic rocks and gained intensity subsequently by the minerals formed by iron elements released from the ferromagnesian minerals such as olivine and pyroxene during the serpentinization processes of the ultramafic rocks.

Key Words: Çetinkaya, Iron, Mining geology, Ophiolite, Sivas, Yellice.

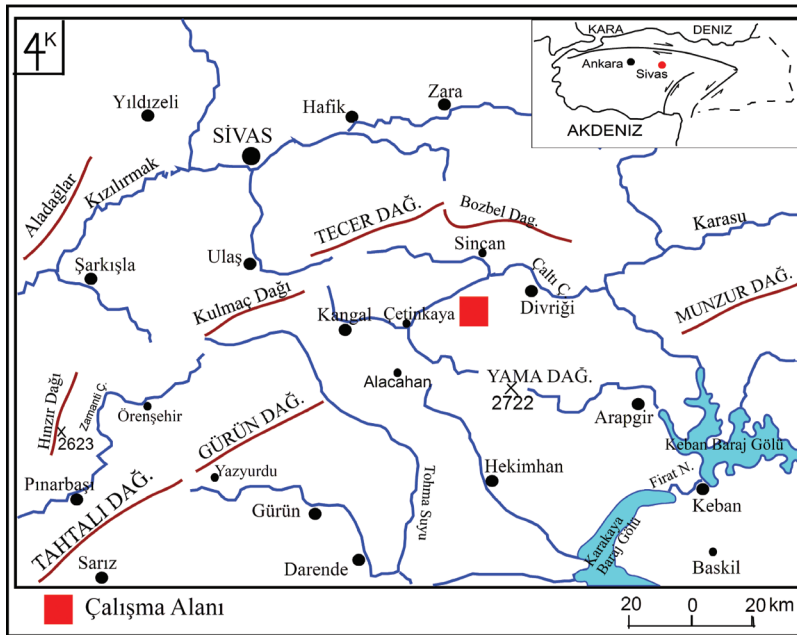
GİRİŞ

Sivas ili Çetinkaya ilçesi Yellice köyü yakınında yer alan çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesi'nde, Sivas ilinin GD kesiminde, Çetinkaya ile Divriği arasında ve 1/25000 ölçekli J39-a3 paftası sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu araştırma kapsamında; Sivas ili, Çetinkaya ilçesi, Yellice köyü civarında yer alan Yellice manyetit oluşumları ve çevresi incelenmiştir. Bu bağlamda, jeolojik harita çalışmalarının yanısıra, inceleme alanından toplanan yüzey ve sondaj karot örnekleri üzerinde yapılan makroskobik ve mikroskobik incelemelerle, jeokimyasal analizlerin bütünleştirilmesi sonucunda, demir oluşumlarının kökeninin yorumlanması amaçlanmıştır.

Daha önce bu bölge ile ilgili yayınlanmış olan birçok demir maden yatakları çalışmasında,

bu yataklarda gözlenen mineral birliktelikleri "skarn mineraller" biçiminde metamorfojenik bir çatıda ele alınmıştır (Kovenko, 1937; Gysin, 1938; Klemm, 1960; Koşal, 1973; Işık, 1998). Buna karşın bazı araştırmacılar ise bu mineral parajenezlerini tamamen ayrı bir prosesle (örneğin okyanus tabanı metamorfizması, ısı ve kütle transferi: hidrotermal metamorfizma + hidrotermal alterasyon vb. gibi) ele almakta ve yorumlamaktadır (Bayhan, 1980; Ünlü ve Stendal, 1986; Ünlü, 1989; Ünlü vd., 1995). Son yıllarda Kuşçu vd. (2010)'un yaptığı çalışmada ise Divriği bölgesi demir yatakları Olympic Dam tipi (DOBA türü) yataklar olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada Yellice manyetit oluşumları konu edilecek ve bölgedeki demir yataklarının oluşumu için yukarıda sunulan görüşlerden hangisinin daha uygun olduğu araştırılacaktır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. The location map of the study area.

GENEL JEOLJİ

Türkiye'nin en büyük demir havzası olan Divriği bölgesinde birçok araştırmacı tarafından gerek jeoloji, gerekse de ekonomik jeolojiye yönelik olarak değişik çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların başlıcaları; Kovenko (1937), Gysin (1938), Wijkerslooth (1939), Koşal (1973), Çağatay (1974), Çoban (1974), Gümüş (1979), Bayhan (1980), Bayhan ve Baysal (1981, 1982), Ünlü (1983a), Ünlü ve Stendal (1986), Zeck ve Ünlü (1988a, 1988b), Ünlü ve Stendal (1989a, 1989b), Gültekin (1993), Çelebi (1998), Doğan (1998), Gümüş (1998), Öztürk (1998), Kuşçu vd. (2002), Yılmaz vd. (2002, 2003), Demirela vd. (2005), Kuşçu vd. (2005), Yılmaz vd. (2005), Yılmaz ve Yılmaz (2006), Marschik vd. (2008), Kuşçu vd. (2010), Tokel vd. (2011), Öztürk (2011) ile Öztürk vd. (2011) olarak sıralanabilir.

Çetinkaya-Yellice bölgesi, Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın (OAKK) kuzeydoğusunda, Sivas havzasının ise güneydoğu bölümünde yer almaktadır. Sivas havzası, Neotetis'in kuzey koluna özgü ofiyolitik birimlerin Torid platformuna üzerlemesi sonucu oluşmuş ve çarpışma sonrası meydana gelmiş bir havzadır.

Çalışma alanının yer aldığı Sivas yöresinde yüzeyleyen birimler çok genel olarak; en alta

izlenen temel kayalar (Paleozoyik - Mesozoyik), bunların üzerine gelen Tersiyer ve Kuvaterner kayaları (Senozoyik) ve Mesozoyik - Senozoyik zaman aralığında etkili olmuş magmatik kayalar biçiminde sıralanabilir (Şekil 2). Paleozoyik yaşlı metamorfitle ve Munzur kireçtaşları, bölgede yüzeyleyen en yaşlı birimler olup okyanusal kabuğa özgü ofiyolit parçaları ve ofiyolitik melanj tarafından üzerlenir. Bu birimler Orta Anadolu granitoidleri ve alkali magmatizma ürünleri tarafından kesilir. Bu topluluk, çoğunluğu sedimanter olan ve kısmen volkanik - piroklastik kayalardan oluşan örtü kayaları ile örtülür (Erler ve Bayhan, 1995).

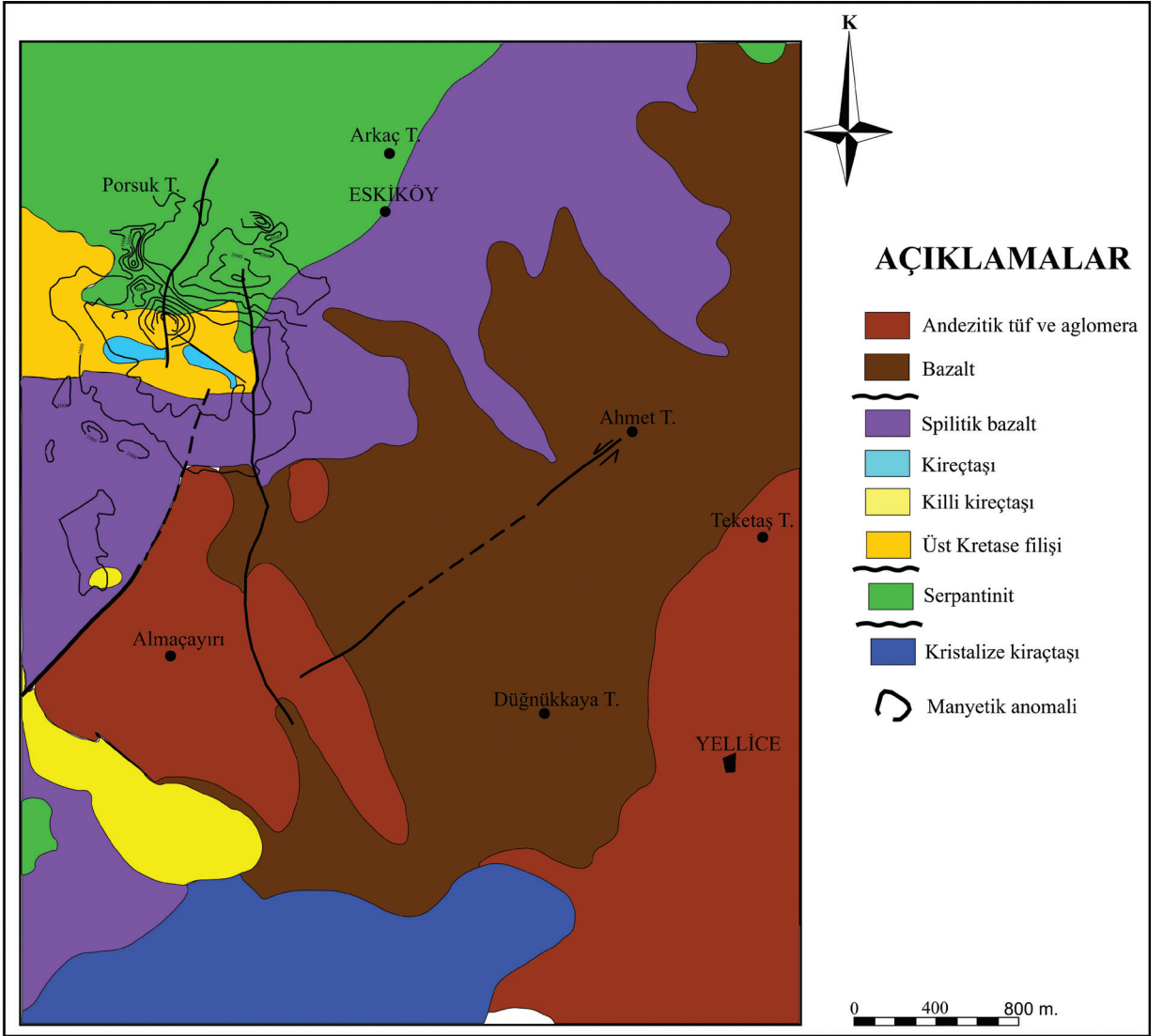
Çalışma alanında ayırtılan kayaç birimleri ve yaş aralıkları şu biçimde sıralanabilir: 1) Munzur kireçtaşları (Alt Karbonifer - Kampaniyen) 2) Güneş ofiyoliti (serpantin, peridotit - piroksenit, gabro - diyorit - diyabaz; Üst Kretase) 3) Savaş formasyonu (konglomera, kumtaşı, miltaşı, kireçtaşları ve spilit - diyabazlardan oluşan volkanosedimanter istif; Maastrichtiyen) 4) Sincan grubu (Eosen-Miyosen) 5) Yamadağ volkanitleri (andezit-bazalt ve piroklastikleri; Plio-Kuvaterner).

Çalışma alanına ait jeoloji haritası, Çoban (1974) ve Özdemir (1971)'den değiştirilerek Şekil 3'te verilmiştir.

Yaş	Formasyon Litodem	Kalınlık (m)	Kaya türü	Açıklamalar
Kuvaterner	Örenlice	60		Alüvyon Yer yer kumtaşı ve silttaşı ara düzeyleri kapsayan çakıltaşı Bazalt
	Pliyosen	Yamadağı		Bazaltik piroklastitler ve karasal kıvrımlı tortul kayalar Andezitik lav ve piroklastitler
Uzunyayla		75		Yer yer çamurtaşı arakatıkları içeren beyaz-bej renkli, bitki kırıntılı, gastropod ve pelecypoda kireçtaşı
Üst Miyosen	Kurtoglu	250		Yaygın çapraz tabakalanmalı kırmızı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı aralanması
Orta Miyosen	Sincan Jipsleri	300		Masif / Yer yer jips ve andezitik lav ve tuf ara düzeyleri kapsayan, kumtaşı- marn-çamurtaşı aralanması
	Günceyeber			
	Kulmaçdağı	120		Kalın ve orta tabakalı, fosilli gölsel kireçtaşı
Üst Oligosen	Altinyayla	300		Çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı
Eosen	Kozluca	200		Çakıltaşı, kumtaşı, Nummulitesli kireçtaşı-marn aralanması, Akdağ demir yatağı
Paleosen	Divriği Granitoidleri			Granitik kayalar
Maastrichtiyen	Saya	750		Volcano-tortul dizi Pelajik kireçtaşı Bordomsu-yeşilimsi çakıltaşı-kumtaşı Pınargözü-Davutoğlu demir yatağı
Jura	Güneş Ofiyoliti	2500		Ofiyolitik kayalar, Yellice manyetit oluşumları
Alt Maastrichtiyen	Yeşiltaşyayla Karışığı	500		Serpantinleşmiş matriks içinde kireçtaşı ve metamorfik blokları, A-B Kafa demir yatağı
Kampaniyen	Munzur Kireçtaşı	1000		Rekristalize kireçtaşı
Alt Karbonifer				
Devoniyen- Permien	Kangal	600		Meta-kuvars kumtaşı, meta-şeyl ve sleyt, rekristalize kireçtaşı

Şekil 2. Divriği - Çetinkaya arasındaki geliştirilmiş dikme kesiti (Yılmaz vd., 2005).

Figure 2. Generalized lithostratigraphic columnar section of the area between Divriği and Çetinkaya (Yılmaz et al., 2005).



Şekil 3. Yellice çevresinin jeoloji haritası (Özdemir, 1971 ve Çoban, 1974'ten değiştirilerek).

Figure 3. Geological map of Yellice area and its vicinity (modified from Özdemir, 1971 and Çoban, 1974).

MİNERALOJİ ve PETROGRAFI

Bu bölümde, 152 adet kayaç ve karot örneğinden hazırlanan ince kesitlerde mineralojik ve petrografik incelemeler sunulmuştur. Saha çalışmalarında ultramafik kayaçlar ile bazik kayaçlar ayrılmış olmasına rağmen burada sadece ultramafik kayaçların

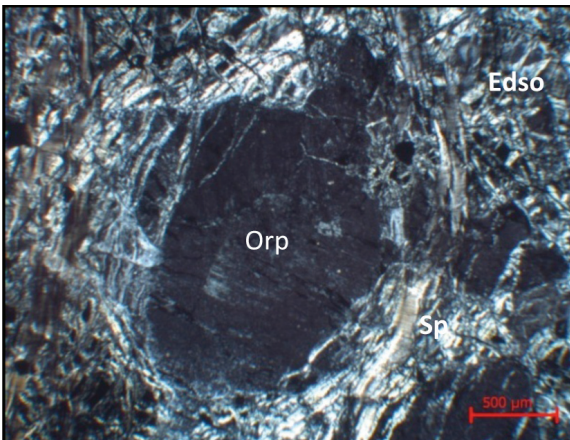
özellikleri verilmiştir. Bazik kayaçlara ilişkin tanımlamalar ise Öztürk (2011)'de ayrıntılı biçimde sunulmuştur.

Ultramafik kayaçlar, peridotitler (serpantinleşmiş harzburjit, lertzolit, verlit ve serpantinitler) ile piroksenitlerden (klinopiroksenitler) meydana gelmektedir.

Peridotitler

Harzburjit

Bu kayalar holokristalin taneler dokular göstermekte olup, serpantinleşme sonucu elek dokusu sunan olivinler ve ortopiroksenler ile opak minerallerden oluşur (Şekil 4). Serpantin mineralleri tipik biçimde lifsel dokular sunar. Bu minerallerin içinde, genellikle lifleşmeleri izler biçimde opak mineraller görülmüştür. Diğer opak mineraller ise çok seyrek biçimde dağılmış özşekilsiz - yarıözşekilli, orta tane boyulu olarak gözlenmiştir.



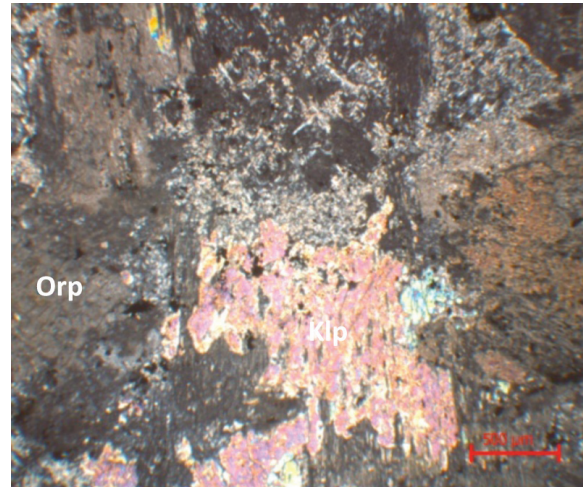
Şekil 4. Harzburjit içinde bastitileşmiş ortopiroksen (Orp) etrafında elek dokusu sunan serpantinleşmiş olivinler (Edso) ve serpantin lifleri (Sp) (ÇN, L-9 nolu örnek).

Figure 4. Bastitised orthopyroxene (Orp) in harzburgite around serpentinized olivines showing mesh texture (Edso) and serpentine fibers (Sp) (crossed nicols, sample nr: L-9).

Lerzolit

Holokristalin taneler dokular gösteren bu kayalar tamamen serpantinleşmiş olivinler ile kısmen uralitleşmiş, aktinolitleşmiş orto ve klinopiroksenler ve opak minerallerden

oluşmuştur (Şekil 5). Olivinler, kayada iri kristaller halinde ve çatlaklarından itibaren serpantinleşmiş olarak izlenmiştir. Ortopiroksenler ise yer yer kalıntılar halinde olup, daha çok iri taneli, özşekilsiz olarak ve az oranlarda gözlenmiştir. Bazılarının opak mineral kapanımları içerdiği görülmüştür. Opak mineraller yer yer kümecikler oluşturmuş, küçük, parçalanmış taneler halinde, özellikle ortopiroksenlerin izlendiği yerlerde yoğunlaşmış olarak bulunur.



Şekil 5. Lerzolit içinde ortopiroksen (Orp) ve klinopiroksenler (Klp) (ÇN, Y-30 nolu örnek).

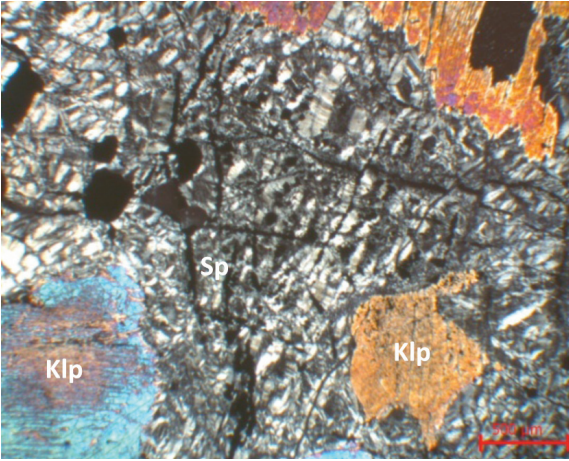
Figure 5. Orthopyroxene (Orp) and clinopyroxenes (Klp) in lherzolite (crossed nicols, sample nr: Y-30).

Verlit

Holokristalin taneler dokudaki verlitlerde, bol miktarda serpantin mineralleri ve klinopiroksenler izlenirken az oranda ortopiroksen kalıntıları, ikincil serpantin damarları, karbonatlaşmalar ile talk ve opak mineraller gözlenmiştir. Serpantin mineralleri

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

lifsi dokular sunmakta olup, klinopiroksenlerin aralarını doldurur biçimde yer almıştır. Klinopiroksenler genellikle orta - iri tane boyulu, özşekilsiz, çoğunlukla çatlaklı ve parçalanmış, yer yer uralitleşmiş ve az oranda karbonatlaşmış olarak izlenmiştir (Şekil 6). Ortopiroksenler orta - iri taneler halinde ve yer yer çatlaklı yapılarda görülmüştür. Opak mineraller genellikle küçük ve orta tane boyulu, yarıözşekilli - özşekilsiz saçılmış taneler halinde gözlenmiştir. Bir kısmı ise çatlak dolguları biçimde belli doğrultular boyunca dizilmiş damarcıklarda izlenmiştir.



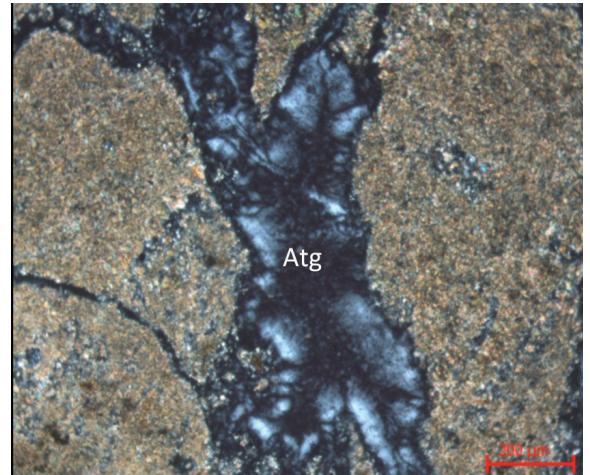
Şekil 6. Verlit içinde klinopiroksen (Klp), serpantin mineralleri (Sp) ve opak mineraller (ÇN, L-8 nolu örnek).

Figure 6. Clinopyroxene (Klp), serpentine minerals (Sp) and opaque minerals in wehrlite (crossed nicols, sample nr: L-8).

Serpantinit

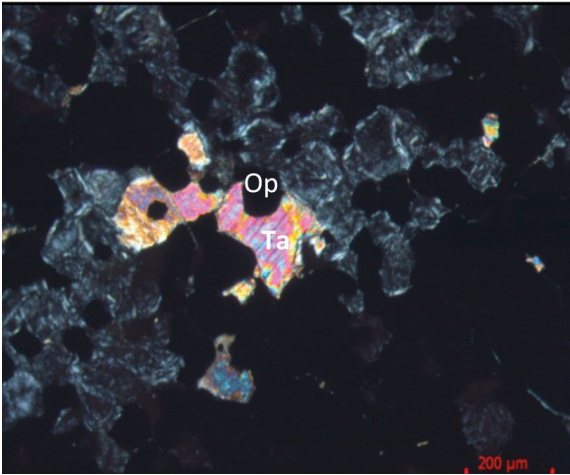
Holokristalin taneler dokulu bu kayaçların ana mineralini serpantinleşmiş, opaklaşmış ve elek dokuları sunan olivin kalıntıları oluşturur. Lifsi serpantin minerallerinin

türü ileride sunulacak olan XRD ve Raman Spektroskopisi çalışmalarına göre antigorittir (Şekil 7). Ayrıca çok az miktarlarda iri taneli uralitleşmiş klinopiroksenler ile karbonatlaşmış ve bastılmış ortopiroksen kalıntılarına rastlanmıştır. Kayaçlarda ayrıca yer yer talk, karbonat mineralleri, ikincil serpantin damarları, silis ve opak mineraller gözlenmiştir. Talk mineralleri çok küçük pulsu tanecikler şeklinde yarıözşekilli - özşekilsiz olarak görülmüştür (Şekil 8). Karbonatlaşmalar özellikle serpantinleşmiş kısımlarda yoğunlaşmıştır. Opak mineraller kayaçta üç şekilde izlenmiştir. Bir kısmı saçınımlar halinde, bol silikat kapanımları içerir tarzda ve küçük-orta tane boyulu özşekilsiz biçimlerde gözlenir. Diğer bir kısmı ise serpantinleşmeyle ilişkili opak mineraller şeklinde oluşmuş iken geri kalan kısmı da damarcıklar şeklindedir.



Şekil 7. Serpantinit içinde görülen antigorit mineralleri (Atg) (ÇN, Y-79 nolu örnek).

Figure 7. Antigorite minerals (Atg) in serpentinite (crossed nicols, sample nr: Y-79).



Şekil 8. Serpantinit içinde görülen talk (Ta) ve opak mineraller (Op) (ÇN, E-102 nolu örnek).

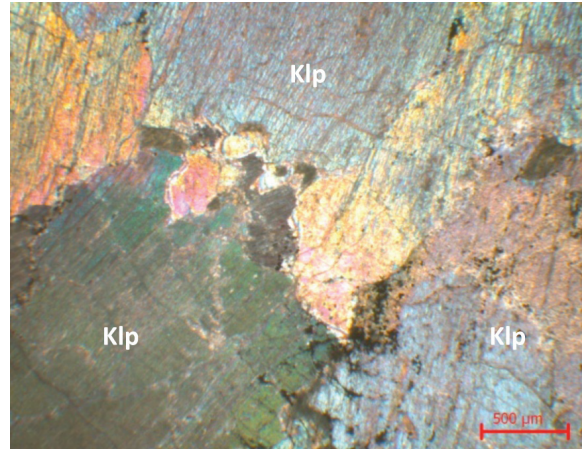
Figure 8. Talc (Ta) and opaque minerals (Op) in serpentinite (crossed nicols, sample nr: E-102).

Piroksenitler

Klinopiroksenit

Holokristalin taneler dokuda gözlenen bu kayalar, bol miktarda iri taneli klinopiroksen, çok az ortopiroksen, çok az serpantinleşmiş olivin, talk, karbonat ve kil mineralleri ile opak minerallerden oluşmuştur. Klinopiroksenler yarıözşekilli - özşekilsiz, iri taneli olup dilinimleri boyunca opaklaşmalar içerir biçimde izlenmiştir (Şekil 9). Klinopiroksenlerin bir kısmı, deformasyonlara bağlı olarak bükülmeler sergileyerek dalgalı yanıp - sönme özelliği kazanmıştır. Ayrıca bu mineraller yer yer uralitleşmiş olup çok küçük opak mineraller içerir. Klinopiroksenlerin bir kısmı da karbonatlaşmıştır. İri kristalli piroksenlerin aralarında talk mineralleri görülmüştür. Kayalarda az oranda serpantin minerallerine ve kloritleşmelere de rastlanmıştır. İzlenen opak mineraller özşekilsiz taneler halinde veya saçınımlar ya da damarcıklar

şeklinde görülmüştür. Bir kısım opak mineraller ise piroksen minerallerinin dilinimleri boyunca izlenmiştir. Karbonatlaşmalar da özellikle klinopiroksenlerin bozunması sonucu oluşmuştur.



Şekil 9. Piroksenitlerde gözlenen iri taneli klinopiroksenler (Klp) (ÇN, L-100 nolu örnek).

Figure 9. Coarse-grained clinopyroxenes (Klp) in pyroxenes (crossed nicols, sample nr: L-100).

X-Işınları Kırınımı (XRD) Analiz Çalışmaları

İnceleme alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1972, 1973 ve 1974 yıllarında yapılmış olan sondajlardan, Y-15 sondajına özgü 5, Y-16 sondajına özgü 17 ve Y-20 sondajına özgü 4 tane olacak biçimde toplam 26 tane karot örneğinde XRD analizleri yardımı ile mineralojik tanımlamalar yapılmıştır.

Analizler Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrojenez ve Mikro Analiz Laboratuvarı'nda INEL marka 1000 model XRD (X-Ray Diffraction) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alınan örnekler kil boyutuna gelinceye kadar öğütüldükten sonra, tüm kaya XRD çekimleri yapılmıştır.

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

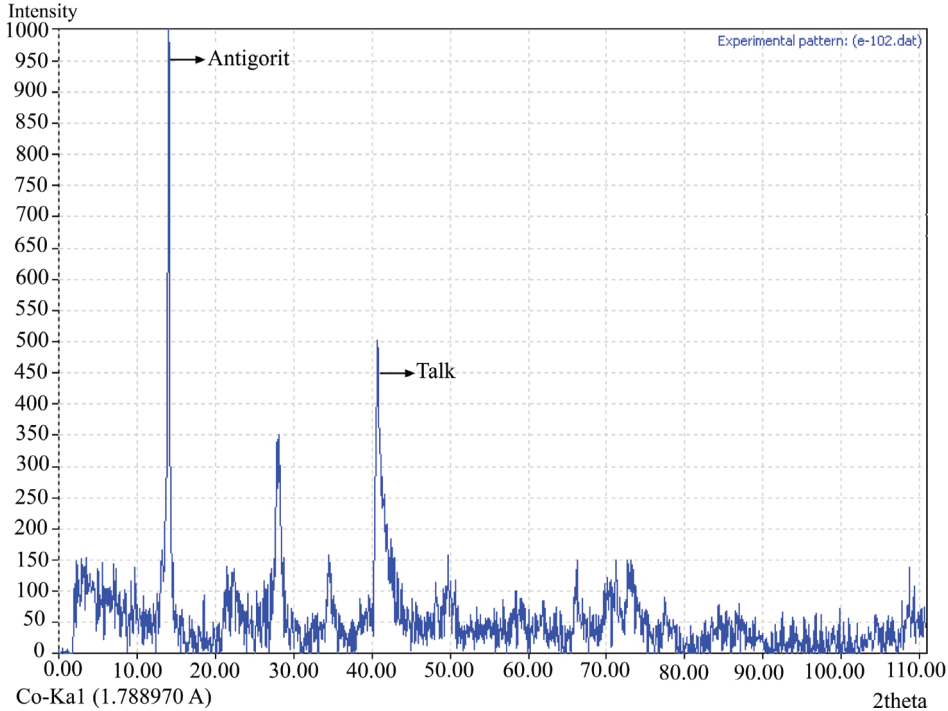
Aletin çekimlerdeki koşulları; Anot: Co ($CoK\alpha = 1.788970 \text{ \AA}$), Filtre: Ni, Gerilim: 30 kV, Akım: 20 mA, Goniometre hızı: $2^\circ/\text{dk}$, Kağıt hızı: 2 cm/dk, Duyarlılık: $4 \cdot 10^2$, Zaman sabiti: 1 sn, Yarıklar: $1^\circ - 0.1^\circ - 1^\circ$ ve Ölçüm aralığı $2\theta = 0^\circ - 115^\circ$ dir. Elde edilen kırınım desenleri (difraktogramlar) XRD-MATCH bilgisayar programı yardımıyla değerlendirilmiş, ayrıca çıkan sonuçlar ASTM (1972) kartları kullanılarak kontrol edilmiştir. Yorumlanan veriler kayaç petrografisi ve Raman spektroskopisi çalışmaları sonuçları ile de denştirilmiştir.

Örneklere özgü XRD tanımlamaları Çizelge 1’de toplu biçimde sunulmuştur.

Çalışma alanında yüzeyleyen ve Öztürk (2011)’de ayrıntılı bir biçimde mineralojik ve

petrografik özellikleri anlatılmış olan, ancak bu makalede çalışmanın boyutunu daraltmak amacı ile sunulmamış bulunan bazalt, spilitik bazalt ve volkanosedimanter kayaçlarda (volkanik breş/volkanik tuf); anortit - albit dönüşümleri, kuvars, kalsit, kaolinit, illit, ojit, klorit, olivin ve lizardit mineralleri belirlenmiştir.

XRD çalışmaları sonucunda serpantinlerde ise birbirinden farklı iki tane mineral beraberliği ortaya çıkmaktadır. Birinci birliktelik krizotil, lizardit, diyopsit, ojit-diyopsit, tremolit-aktinolit, kalsit, kuvars, kromit, manyetit, olivin ve talk minerallerinden oluşur. Serpantinlerde karşılaşılan ikinci mineral birlikteliği ise antigorit, talk, manyetit, manyezit ve klorit minerallerini içerir (Şekil 10).



Şekil 10. E-102-b örneğinin XRD difraktogramı.

Figure 10. X-ray diffractogram of the E-102-b sample.

Çizelge 1. Sondaj karot örneklerinin XRD tanımlamaları (mineraller çokluk sıralarına göre çoktan aza doğru verilmiştir).

Table 1. XRD definitions of the drilling core samples (minerals are given in the order of abundance, from high to low).

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	Kayaç İsmi	Tanımlama
Y – 15	L – 95	221.10	Serpantinit	Lizardit, diyopsit
	L – 105	242.95	Hidrotermal alterasyona uğramış serpantinit	İllit, antigorit, lizardit, ojit, tremolit-aktinolit, kalsit, kuvars
	L – 107	252.90	Serpantinit	Lizardit, ojit-diyopsit, kalsit
	L – 112-a	270.40	Serpantinit	Lizardit, diyopsit, kalsit
	L – 112-b	270.40	Hidrotermal alterasyona uğramış serpantinit	İllit, kaolinit, kalsit, kuvars
Y – 16	E – 12	32.00	Spilitik bazalt	Albit, anortit
	E – 15	43.90	Volkanosedimanter kayaç	Klorit, kaolinit
	E – 21	69.15	Spilitik bazalt	Albit, kalsit
	E – 24	78.25	Spilitik bazalt	Albit, anortit, kaolinit
	E – 30	91.90	Bazalt	Kaolinit, illit, anortit
	E – 33	98.10	Volkanik kayaç	Lizardit, ojit, olivin, kuvars
	E – 35	100.60	Volkanosedimanter kayaç	Kaolinit, kalsit, kuvars
	E – 48	127.00	Spilitik bazalt	Albit, kalsit, kaolinit
	E – 51	132.55	Volkanosedimanter kayaç	Kuvars, kalsit, klorit
	E – 57	145.40	Volkanosedimanter kayaç	Kuvars, kaolinit
	E – 61	169.75	Volkanosedimanter kayaç	Kaolinit, kuvars, illit
	E – 139	229.00	Volkanik elemanlı kumtaşı	İllit, ojit
	E – 89	232.25	Volkanosedimanter kayaç	Kalsit, ojit, illit
	E – 95	247.90	Serpantinit	Lizardit, talk, kalsit, kuvars
	E – 99	275.50	Serpantinit	Lizardit, olivin, kromit
E – 102-a	280.55	Serpantinit	Lizardit, ojit, manyetit, hematit	
E – 102-b	280.55	Serpantinit	Antigorit, talk, manyezit	
Y – 20	Y – 23	92.00	Serpantinit	Lizardit, kalsit
	Y – 50	181.00	Serpantinit	Krizotil, kromit
	Y – 79	241.82	Serpantinit	Antigorit, klorit
	Y – 86	258.20	Serpantinit	Antigorit, manyetit

Raman Spektroskopisi Çalışmaları

Y-15, Y-16 ve Y-20 sondajlarına özgü 13 tane karot örneğinde Raman spektroskopisi çalışmaları yardımı ile mineralojik tanımlamalar yapılmıştır. Raman çalışmalarında mineral saptamaları yapılacak örnekler, XRD çalışmaları sonucu ortaya çıkan mineral beraberlikleri göz önüne alınarak seçilmiştir.

Analizler Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrografi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı'nda HORIBA Jobin Yvon LabRAM HR model Konfokal Raman Spektrometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda özellikle minerallerin incelenmesinde

ve mineralojik tanımlamalarda Raman spektroskopisi çalışmaları önem kazanmıştır. Mineral tayinlerinin yanı sıra minerallerin bağ yapılarının ortaya konulmasında da yararlanılan bu yöntem, moleküllerden saçılan enerjinin ölçümü esasına dayanmaktadır (McMillan, 1989; Ferraro vd., 2003). Bu çalışmada yararlanılan Raman nokta analizlerinde, örneğin tek bir noktasının Raman spektrumu elde edilmekte ve ölçme işlemi örneğin çok küçük bir bölümünde oldukça kısa bir süre içerisinde (birkaç dakika içerisinde) gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 2'de Raman spektroskopisi çalışmaları sonucu saptanmış bulunan mineraller ile diğer tanıtıcı özellikler toplu bir biçimde sunulmaktadır.

Çizelge 2. Sondaj karot örneklerinin Raman spektroskopisi tanımlamaları.

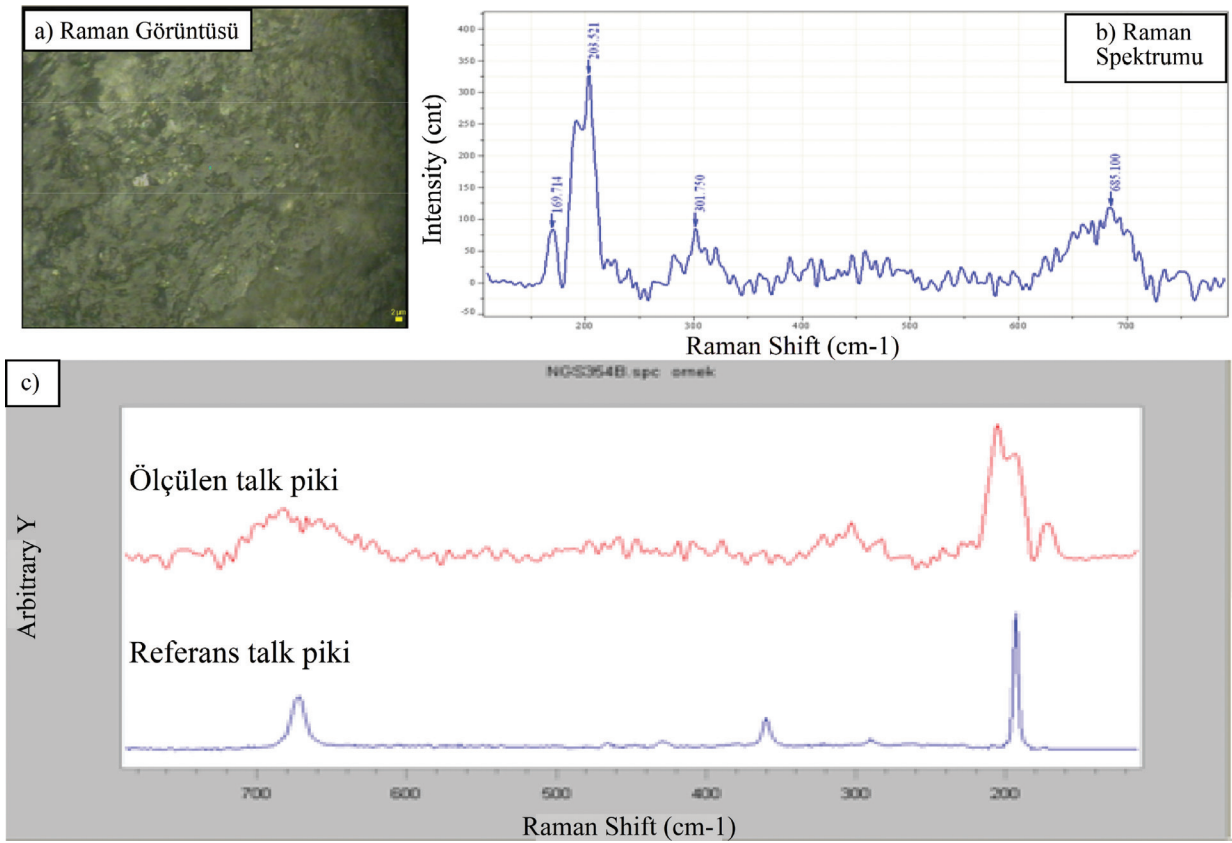
Table 2. The Raman spectrometry definitions of the drilling core samples.

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	Kayaç İsmi	Tanımlama
Y-15	L-98	229.55	Piroksenit	Diyopsit, ilmenit
	L-115	273.45	Piroksenit	Diyopsit
Y-16	E-15	43.90	Volkanosedimanter kayaç	İlmenit
	E-19-a	65.00	Spilitik bazalt	Anortit, epidot, labradorit
	E-21	69.15	Bazalt	Labradorit
	E-22	71.15	Bazalt	Hematit, manyezit
	E-29	89.50	Bazalt	Langit
	E-33	98.10	Bazalt	Antigorit
	E-48	127.00	Spilitik bazalt	Albit
Y-20	Y-27	100.15	Klinopiroksenit	Aktinolit
	Y-79	241.82	Serpantinit	Talk
	Y-86	258.20	Serpantinit	Antigorit
	Y-88	261.00	Serpantinit	Talk

Çizelge çok genel biçimde irdelendiğinde, bazalt ve/veya spilitik bazaltlarda plajiyoklazların anortit - albit arasında değişim gösterdiği gözlenmektedir.

Piroksenitlerde gözlenen diyopsitlerin ise uralitleşme sonucu yer yer aktinolite dönüştüğü izlenmektedir.

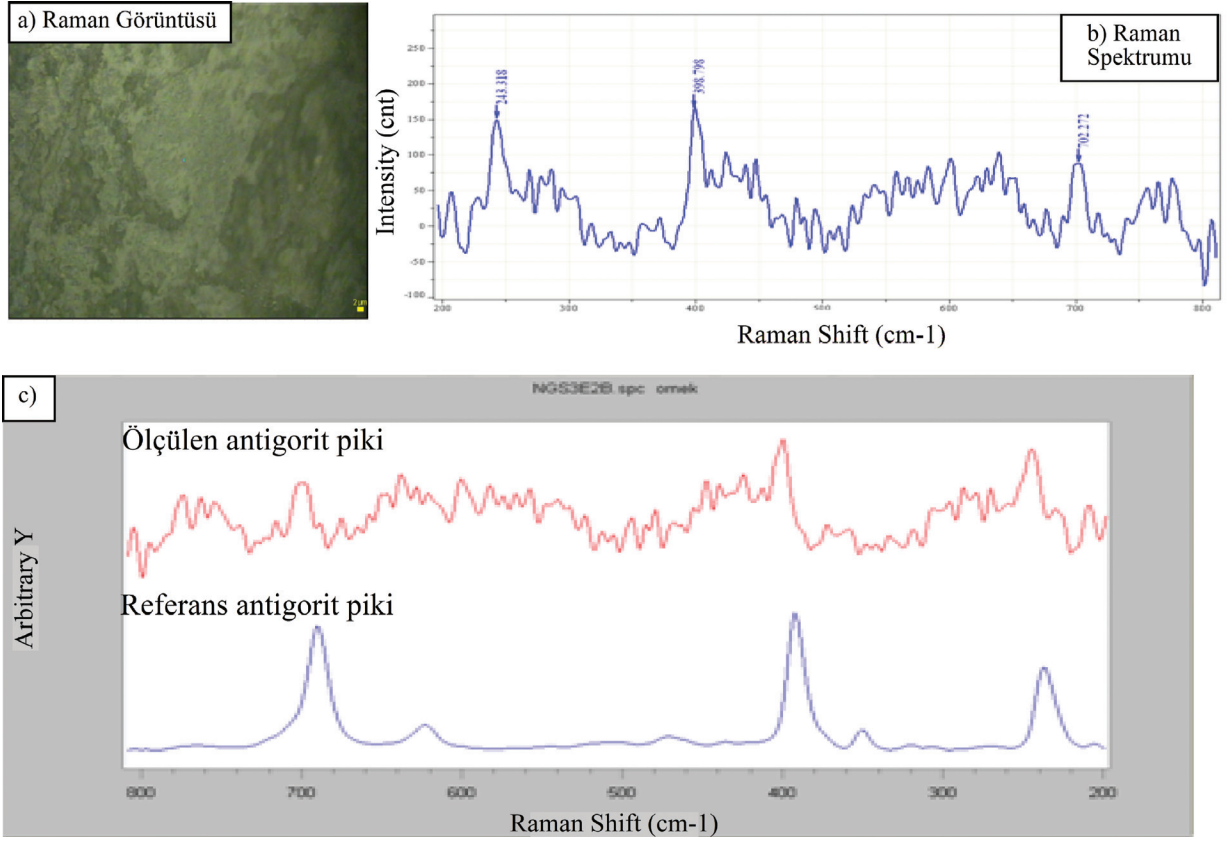
Serpantinlerde saptanmış bulunan talk ve antigorit mineral birlikteliği ile (Şekil 11-12), XRD çalışmaları bölümünde saptanan bulgular da uyum içerisindedir.



Şekil 11. Y-79 örneğine özgü Raman spektroskopisi verileri.

Figure 11. Confocal Raman spectra of Y-79 sample.

Öztürk, Ünlü ve Sayılı



Şekil 12. Y-86 örneğine özgü Raman spektroskopisi verileri.

Figure 12. Confocal Raman spectra of Y-86 sample.

Cevher Mikroskobisi Çalışmaları

Yellice sahasından derlenen örnekler içinden seçilen, 36 adet ultramafik kayaç ve karot örneğinden hazırlanan parlak kesitlerde, cevher mikroskobisi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar içerisinde oluşan cevher mineralleri, oksit mineralleri ve sülfür mineralleri olmak üzere iki ana grupta toplanmıştır.

Oksit mineralleri

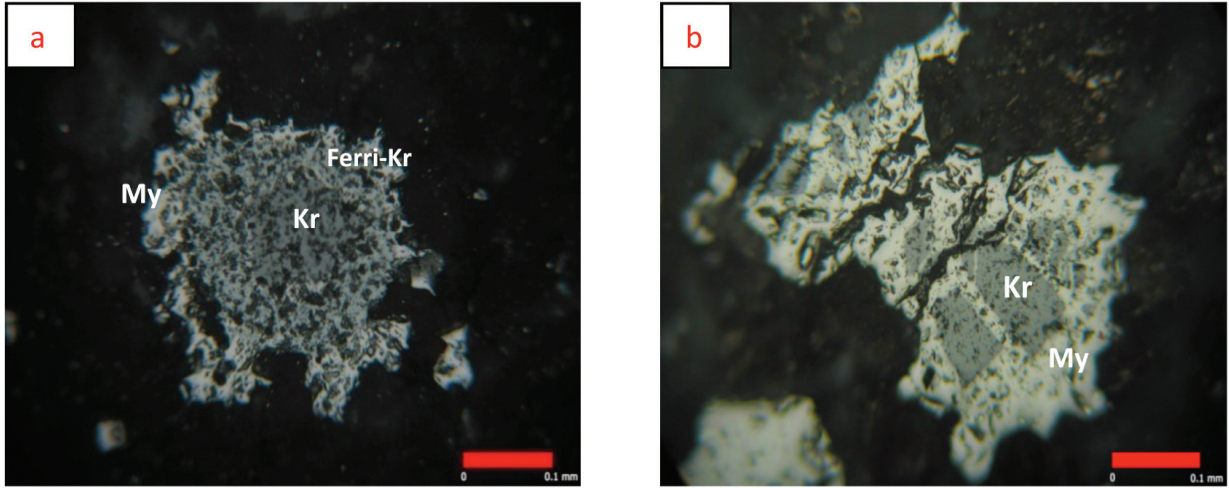
Kromit

Kromitler, ferrikromit - manyetit oluşturan kromit metasomatizmasının bir sonucu olarak,

Fe⁺³'ün Cr ve Al'yi ornatması sonucu fazla miktarda manyetitleşmişlerdir. Kromitler, adacıklar şeklinde gözlenen artıklar biçiminde kalmışlardır. Bu olay sırasında, kromitlerle manyetitler arasında ara zon halinde (kromit - manyetit ara fazı biçiminde: ferrikromit), Fe - Cr - spineller gelişmiştir. Bu şekilde kataklastik dokuda reliktler halinde izlenen kromitler, kenarları ve çatlakları boyunca öncelikle Fe - Cr - spinele, daha sonra da manyetite dönüşmüşlerdir (Şekil 13 a ve b). Bu nedenle taneler ve özşekilli olanlarına az oranlarda rastlanılmıştır. Tanelerin büyük bir bölümü serpantinleşme sonucu oluşmuş, çözünme benzeri, çiçek şekilli özşekilsiz manyetitler tarafından da sarılmıştır.

Tanesel kromitlerin büyüklükleri yaklaşık olarak 250 - 500 mikron arasında değişmektedir.

açığa çıkan manyetitler, kromit tanelerinin etrafında ve çatlaklarında gözlenmekte olup



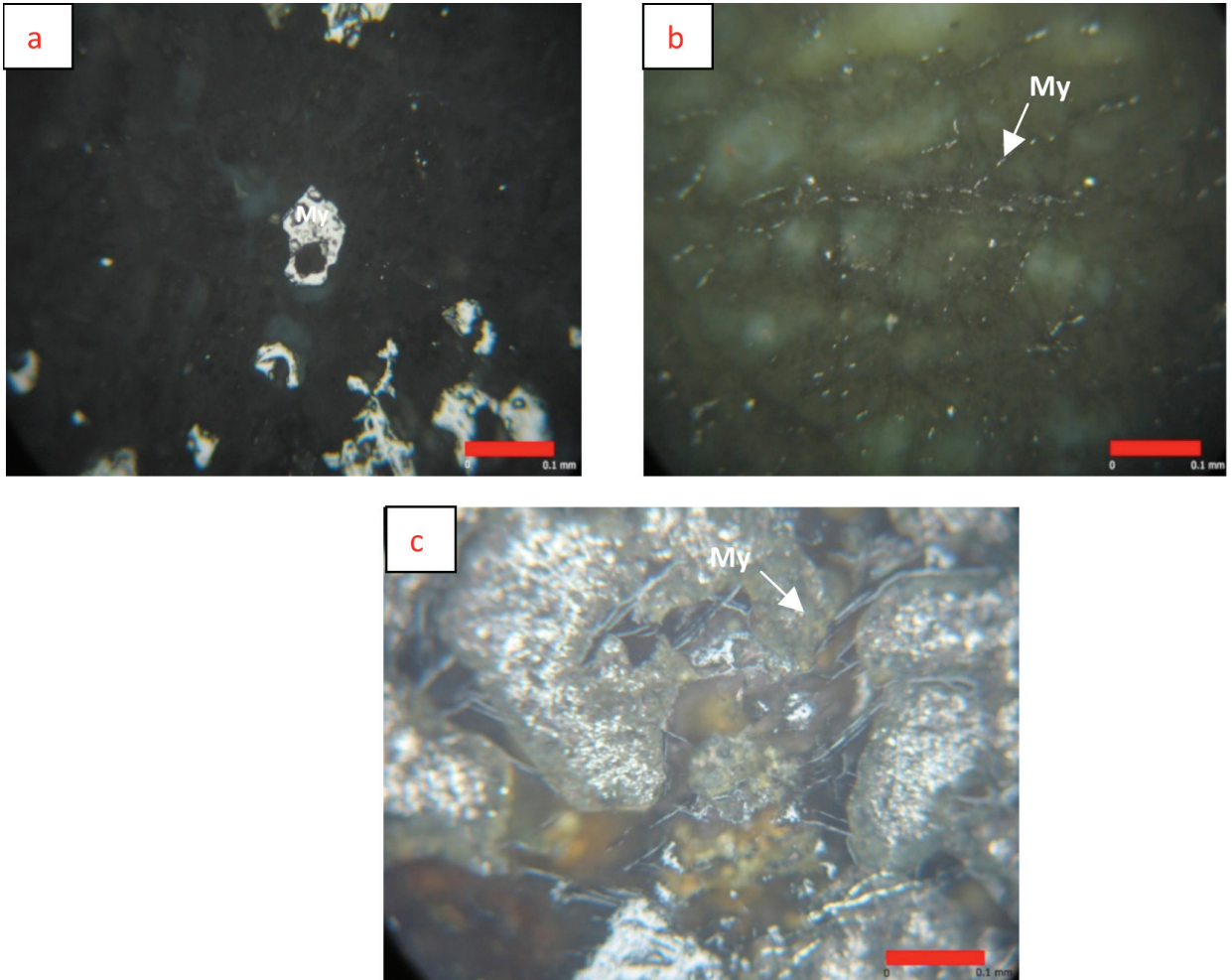
Şekil 13. (a) Kromit (Kr) ile manyetit (My) arasında ara zon halinde görülen ferri-kromit (Ferri-Kr) (L-107 nolu örnek), (b) Adacıklar şeklinde görülen kromit (Kr) ve çevresini saran manyetit (My) (E-108 nolu örnek).

Figure 13. (a) Ferrichromite (Ferri-Kr) observed as a transition zone between chromite (Kr) and magnetite (My) (sample nr: L-107), (b) Chromite (Kr) relicts as patches and surrounding magnetites (My) (sample nr: E-108).

Manyetit

Öz - yarıözşekilli, ince - orta tane boyutlarında (20 - 30 mikrondan 0.5 - 0.6 mm'ye kadar değişen büyüklüklerde), kataklastik dokuda izlenen manyetitler, farklı oluşum ve yapısal - dokusal özellikler göstermektedir. Manyetitler, az oranda, öz - yarıözşekilli birincil oluşumlar, kromitten dönüşen manyetitler, serpantinleşme sonucu açığa çıkan manyetitler ve damar biçimli hidrotermal manyetitler şeklinde izlenmiştir. Birincil oluşumlu, dissemine (saçılmış), ince taneli, öz - yarıözşekilli manyetitler, genellikle pirit ve silikat kapanımları ile pirit damarcıkları içerirler (Şekil 14a). Piritler genellikle damla biçimlidir. Kromitlerin ornatılması sonucu

kromit artıkları içermektedir. Serpantinleşme ile oluşmuş manyetitler ise, olivin ve ortopiroksen psödomorfları olarak yer almaktadır. Yaygın silikat kapanımları ve pirit oluşumları da bu tür manyetitlerde gözlenmiştir. Bu manyetitler yer yer iskelet ve damarcıklar şeklinde de izlenmiştir (Şekil 14b ve c). Ayrıca çiçek benzeri büyümeli manyetitler de serpantinleşme ile ilgili oluşumlardır. İnce damarcıklarda izlenen manyetitler hidrotermal kökenlidir. Bazen kenetli, bazen de damarcıklar şeklinde olan manyetitlerde tane boyları yaklaşık 0.3 - 0.4 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Kataklastik dokuda yarıözşekilli - özşekilsiz olan manyetit tanelerinin kenar ve çatlakları boyunca, çok zayıf oranlarda martitleşmeler de gözlenmiştir.



Şekil 14. (a) Silikat kapanımı içeren manyetit (My) (Y-83 nolu örnek), (b-c) Serpantinleşme sonucu açığa çıkan manyetitler (My) (Y-23, E-99 nolu örnekler).

Figure 14. (a) Silicate inclusions bearing magnetite (My) (sample nr: Y-83), (b-c) Magnetites (My) formed after serpentinization (sample nr: Y-23, E-99).

Hematit

Hematitler, özşekilsiz, serbest taneler halinde, bazen de manyetit ile kenetli şekilde görülmüştür. Hematitler, manyetitlerin kenar ve çatlakları boyunca martitleşme ürünü olarak da izlenmiştir. Primer oluşumlarına az oranlarda rastlanmıştır. Serpantin mineralleri arasında, çok az oranlarda da olsa yer yer hematit oluşumları gözlenmiştir. Spekülaritler ise, genellikle

olivinin çatlaklarını doldurur biçimde izlenmiş olup pirit ve pirotin tarafından ornatıldığı için çok ince kalıntılar şeklinde görülmüştür.

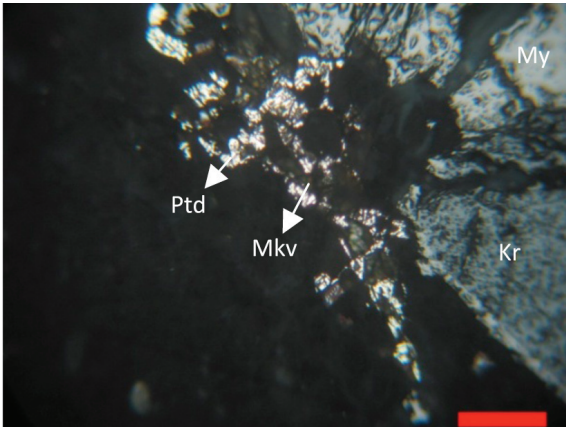
Rutil

Eser miktarda izlenen rutiller, özşekilsiz taneler halinde olup mineral sınırlarında ve mineral içlerinde görülmüştür.

Sülfid mineralleri

Pentlandit

Pentlanditler, yarı özşekilliden özşekilsiz kadar değişen, dissemine biçimde, kristal taneleri halinde görülmüştür. Pentlanditler ince ve iri taneler halinde, dilinimli, 1.3 - 1.4 mm uzunluğunda ve bazı bölümleri viyolarite dönüşüm göstermiş biçimlerde gözlenmiştir. Pentlandit tanelerinin içlerine yayılmış, kurtçuk biçimli makinavitlerin yanısıra (Şekil 15), pentlandit çatlaklarında da makinavit ve manyetit oluşumları izlenmiştir. Çok iyi dilinim sergileyen pentlanditler, bazen kenetli topluluklar biçiminde de gözlenmiş olup tane büyüklükleri yaklaşık 0.5 - 0.6 mm'dir. Pirotinlerle birlikte çatlak ve damarlarda izlenen bu pentlanditler, öz - yarıözşekilli olup, bozuşma çatlakları da içermektedir. Pentlanditlerin bir kısmı ise oksitlenerek linneyite (viyolarit) dönüşmüş biçimde görülmüştür.



Şekil 15. Kromit (Kr), pentlandit (Ptd), manyetit (My) ve makinavit (Mkv) birlikteliği (Y-83 nolu örnek).

Figure 15. Assamblage of chromite (Kr), pentlandite (Ptd), magnetite (My) and mackinawite (Mkv) (sample nr: Y-83).

Pirotin

Pirotinler, kenetli, ince taneli, dissemine, yer yer hegzagonal şekli belirgin, bazen de damar

dolguşu şeklinde olup içinde iskelet biçiminde dilinimli pirit, çok iri taneli pentlandit (1.5 - 2 mm) ve ince taneli kalkopiritleri kapanım olarak bulundurmaktadır. Ayrıca çatlak ve damarlarda öz - yarıözşekilli olarak da izlenmiştir. Pirotinlerin bir kısmı oksitlenerek limonite dönüşmüş ve bazılarının dilinimleri boyunca ise manyetit oluşumları izlenmiştir. Pirotinlerin merkez kısımlarında makinavit oluşumları görülmüştür. Pirotinler manyetite dönüşüm göstermiş kalıntılar şeklinde de izlenmiş olup içlerinde çok az manyetit ve pirit oluşumları bulunmaktadır.

Kalkopirit

Kalkopiritler çoğunlukla özşekilsiz, ince taneli olup, pirotinler içinde kapanımlar biçiminde bulunmakla birlikte bazen de bunun tersi söz konusudur. Birçok kalkopirit kristali kübanit lamelleri de içermektedir. Ayrıca, bir kısım kalkopiritler ise karbonat damarları içinde, ince taneli, öz - yarı özşekilli mineraller halinde görülmüştür.

Pirit

Piritler öz şekilliden öz şekilsiz kadar değişen tane şekilleri gösterirler. Bazı piritlerin tane boyu 600 mikrona kadar ulaşmış ve kataklastik doku gözlenmiştir. Tanesel dokulu pirit minerallerinde dilinim izleri çok belirgindir. Piritlerin bir kısmı iskelet şeklinde kalarak, yer yer makinavite dönüşmüştür. Bir kısım piritlerin merkezlerinde ise makinavit oluşumları gözlenmiştir. Ayrıca piritler karbonat damarları içinde ince taneli, öz - yarı özşekilli mineraller halinde de görülmüştür. Piritlerin bir bölümü ise en genç mineraller olup genellikle

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

manyetitler içinde damarcıklar ve taneler halinde gözlenmiştir. Ayrıca serpantin mineralleri içinde de ince kılcal damarcıklar şeklinde izlenen piritler, çoğunlukla çok iyi dilinim izleri sergilemektedir. Damar oluşturan piritler spekülait ile birlikte de görülmüştür. Yer yer dilinimli piritlere, melnikovit piritler de (jel pirit) eşlik etmektedir. Melnikovit piritler genellikle ağ şeklinde görülmekte ve bunlar genç mineral jenerasyonları olarak düşünülmüştür.

Makinavit

Genellikle bazı minerallerin psödomorfu şeklinde oluşan makinavitler; piroksenlerin, olivinlerin ve piritlerin çekirdeklerinde izlenmiş olup pentlanditler içinde de bol miktarlarda kurtçuk biçimli makinavit oluşumları görülmüştür. Makinavitler özşekilsiz, ince taneli oluşumlar biçiminde damarcıklar şeklinde, bazen de serpantin mineralleri ile talklar arasında yaprağımsı dokuda ve özgün taneler halinde gözlenmiştir. Makinavitlerin bir bölümünün boşluklarında ise manyetitler ve piritler izlenmiştir.

Kübanit

Kübanitler, kalkopiritler içinde ayrışmalar halinde bulunmakta ve kalkopiritler ile büyümüş, çok belirgin lamelli yapılar sergilemektedir.

Millerit

Milleritler karbonat damarları içinde ince taneli, öz - yarıözşekilli biçimlerde izlenmiştir. Milleritler, çok ince taneler ve kılcal damarcıklar şeklinde az oranlardaki uvarovitler ile birlikte de görülmüştür.

Molibdenit

Eser miktarda gözlenen molibdenitler, levhamsı şekillerde izlenmiştir. Molibdenitler çubuk şeklinde olup en büyük tane boyu 50 mikrondur. Saçak şeklinde genellikle piritlere eşlik eder konumlarda ya da manyetitleri kuşatmış şekillerde görülmüştür. Bazı molibdenitlerde kıvrım yapıları tipiktir. Molibdenitlerin bir bölümünün en genç mineral jenerasyonuna özgü olduğu düşünülmektedir.

CEVHER GEOMETRİSİ

Cevherleşme sahasına özgü Çoban (1974) tarafından yapılmış bulunan 1/2000 ölçekli detay jeoloji haritasının bir bölümü Şekil 16'da, aynı haritadan yararlanılarak Çoban (1974) tarafından hazırlanmış olan jeolojik kesitlerden, cevherleşmenin geometrisini karakterize edebilecek şekilde seçilmiş bulunan kesit ise Şekil 17'de verilmiştir. Bu şekillerde ayrıca, MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan sondajların bir bölümü de yer almaktadır.

Bu çalışmada ağırlıklı biçimde konu edilen karot örneklerinin derlenmiş bulunduğu sondajlar; Y-15, Y-16 ve Y-20 numaraları ile harita ve/veya kesit üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 16 ve 17 birlikte değerlendirildiğinde, temelde Geç Kampaniyen - Erken Maastrichtiyen yerleşim yaşlı serpantinlerin, bunların üzerinde uyumsuz konumda çökelmiş bulunan Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı volkanotortul istifin, en üstte ise Pliyosen yaşlı diyabaz - spilit - bazalt karmaşığının (harita sahasının dışında, güneyde ve ayrıca güneydoğuda Yellice köyü çevresinde, andezit, tuf ve aglomeraları daha baskın karakter

sergilemektedir) uyumsuz biçimde yer aldığı görülmüştür.

Serpantinler içerisinde mercer şekline görülen ve %5'ten küçük ile %25'ten büyük arasındaki geniş bir aralıkta değişen manyetik tenörlü demir cevheri yer almaktadır. Cevherli seviyeler, steril manyetitli ($Fe_3O_4 < \% 5$), az manyetitli ($Fe_3O_4 \%5 - 15$), orta manyetitli ($Fe_3O_4 \% 15 - 25$) ve zengin manyetitli ($Fe_3O_4 > \%25$) bölümler biçiminde ayrıca ayırtlanmışlardır (Çoban, 1974). MTA Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu çalışmalarda % 18 - 20 ortalama Fe_3O_4 tenörlü 125 milyon ton görünür + olası (muhtemel) rezerv saptanmıştır.

JEOKİMYA

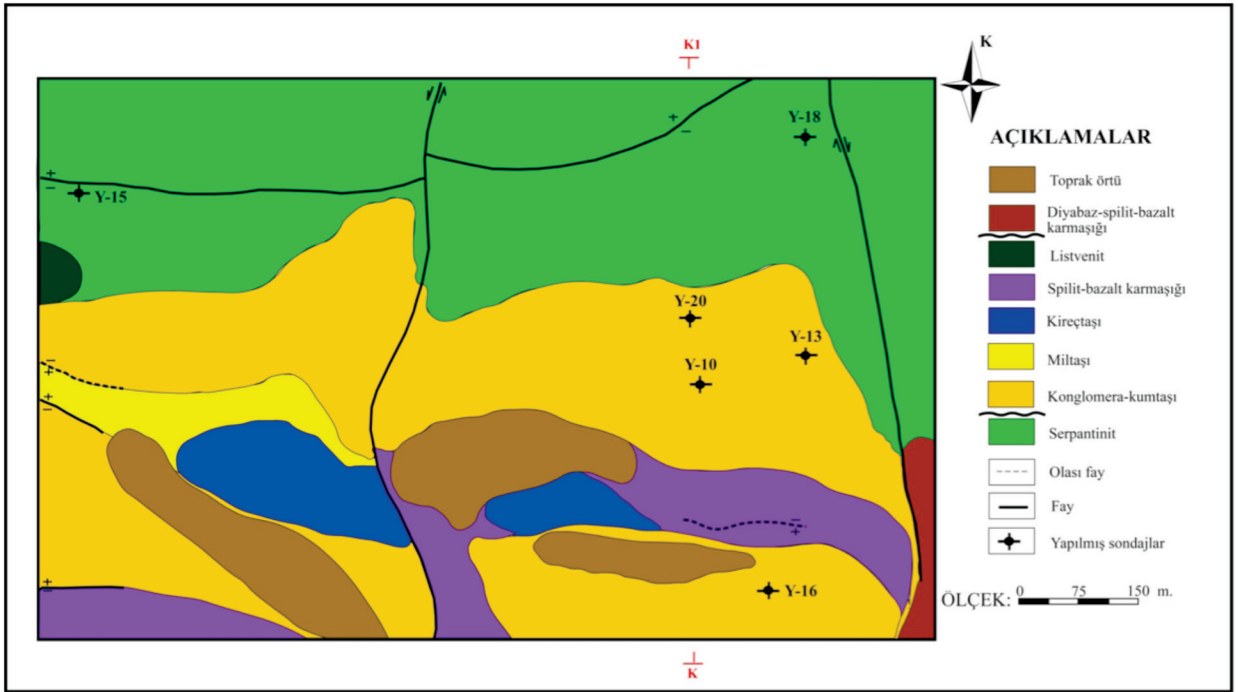
On bir adet bazik volkanik kayac örneğinde, on sekiz adet serpantinleşmiş ultrabazik kayac örneğinde ve iki adet geç evre hidrotermal alterasyonundan da etkilenmiş olan serpantinleşmiş ultrabazik kayac örneğinde kimyasal analizler yapılmıştır.

Seçilen örneklerin tüm kaya ana oksit ve iz element kimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrografi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı'nda SPECTRO X-LAB 2000

model PED-XRF (Polarized Energy Dispersive XRF) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizlerde GEO-7220 ve Tq-7220 yöntemlerinden yararlanılmış olup USGS'in mafik - ultramafik kayalar için oluşturduğu GO1-BE-N (bazaltlar için), GO1-PM-S (gabrolar için) ve GO1-UB-N (serpantinler için) standartları kullanılarak cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümlerde hata sınırı ana oksit elementler için % 1 - % 3 arasında, iz elementler için ise 2 ppm - 5 ppm arasında değişmektedir. Ateşte kayıp aynı laboratuvarda kızdırma kaybı yöntemine göre (örnekler 900 C°'ye kadar fırında ısıtılarak ve 10 saat fırında bekletilerek) belirlenmiştir.

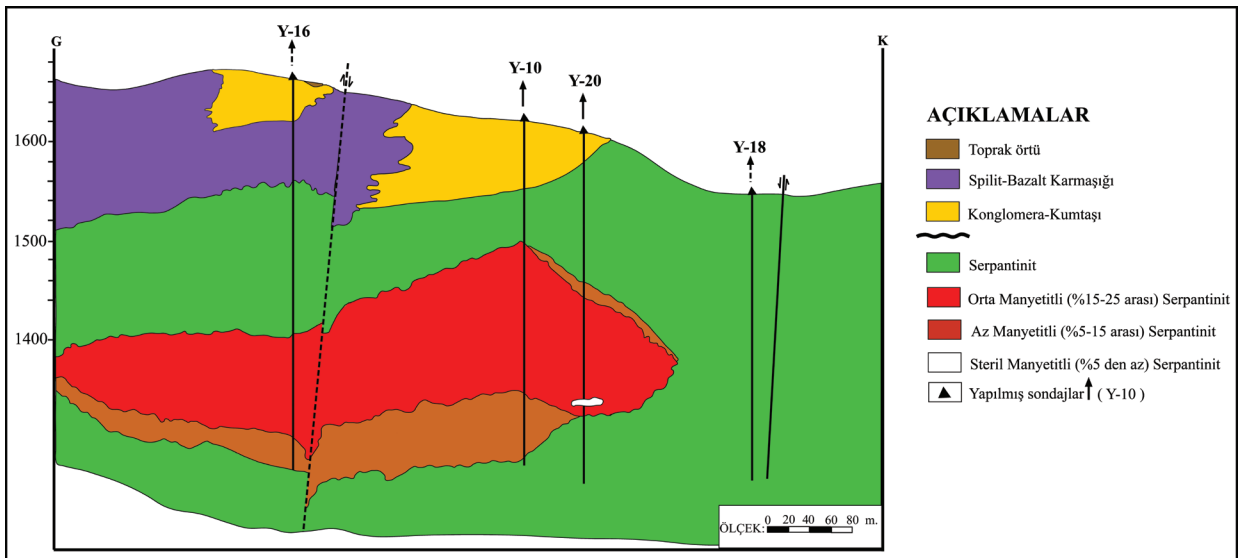
Kimyasal analiz sonuçları, ortalama içerikleri ile birlikte Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir. Ortalama içerikler basit aritmetik hesaplama yoluyla saptanmıştır. Ana elementler virgülden sonra iki basamak, iz elementler virgülden sonra bir basamak olacak biçimde yuvarlanmıştır. Ancak Cr_2O_3 , V_2O_5 ve TiO_2 içeriklerinin çok küçük olması nedeniyle bu elementler virgülden sonra dört basamak biçiminde verilmiştir.

Öztürk, Ünlü ve Sayılı



Şekil 16. Cevherleşme sahasına özgü ayrıntılı jeoloji haritası (Çoban, 1974'ten değiştirilerek).

Figure 16. Detailed geological map of the mineralization area (modified from Çoban, 1974)



Şekil 17. Şekil 16'dan çizilen K-K1 kesiti (Çoban, 1974'ten değiştirilerek alınmıştır).

Figure 17. K-K1 cross-section from the geological map given in Figure 16 (modified from Çoban, 1974).

Çizelge 3. Yellice sahası karot örneklerine özgül % cinsinden ana element içerikleri (Fe₂O₃*: toplam demiroksit, A.K.: ateşte kayıp).

Table 3. Major element oxides (%) concentrations of the core samples from the Yellice area (Fe₂O₃*: total iron oxide, A.K.: loss on ignition)

Örnek	Derinlik	Elementler															
No	(m)	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ *	MnO	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	A.K.	TOPLAM
E-13	35.05	1.43	5.26	17.36	47.42	5.03	3.55	10.69	0.07	0.0023	0.0320	1.3085	0.55	0.14	0.06	6.77	99.67
E-15	43.90	1.55	2.90	16.30	40.69	9.56	4.72	11.80	0.15	0.0022	0.0422	0.9337	0.57	0.15	0.06	10.14	99.57
E-17	52.80	1.24	3.51	15.22	46.53	9.12	5.58	8.72	0.12	0.0028	0.0318	0.8912	0.42	0.15	0.05	8.12	99.69
E-19a	65.00	2.09	2.81	16.79	49.45	7.55	4.89	8.78	0.13	0.0042	0.0308	1.1667	0.43	0.16	0.07	5.18	99.53
E-21	69.15	3.46	2.55	12.75	43.82	17.84	1.48	5.70	0.09	0.0021	0.0284	1.0098	0.50	0.11	0.05	10.73	100.13
E-24	78.25	3.18	3.05	17.97	48.83	5.73	4.24	8.35	0.18	0.0022	0.0307	1.3113	0.50	0.16	0.05	5.92	99.51
E-26	82.35	2.31	4.20	16.39	49.16	8.55	3.46	9.41	0.12	0.0054	0.0330	1.1982	0.52	0.14	0.07	4.21	99.78
E-28	86.45	1.95	3.48	16.20	45.13	9.85	5.11	8.68	0.20	0.0026	0.0308	1.1479	0.50	0.14	0.06	7.17	99.66
E-30	91.90	1.40	5.39	15.61	45.48	6.40	3.95	13.92	0.15	0.0024	0.0136	1.6692	0.92	0.14	0.09	4.60	99.73
E-38	114.45	2.34	4.12	16.75	50.26	9.34	2.93	7.03	0.12	0.0032	0.0305	1.2389	0.51	0.14	0.07	4.96	99.84
E-48	127.00	6.06	2.08	17.73	53.96	3.93	3.62	5.43	0.04	0.0018	0.0057	0.4111	0.04	0.14	0.05	6.21	99.70
Ortalama		2.45	3.58	16.28	47.37	8.45	3.96	8.96	0.12	0.0028	0.0281	1.1170	0.50	0.14	0.06	6.73	99.71
E-98	273.45	0.08	0.24	0.01	30.68	0.65	32.13	23.33	0.21	0.3540	0.0022	0.0027	0.03	2.52	0.16	10.30	100.71
E-99	275.50	0.07	0.11	0.01	34.77	0.09	36.20	13.96	0.19	0.4524	0.0013	0.0042	0.03	2.27	0.16	12.56	100.87
E-102	280.55	0.08	0.05	0.01	29.01	0.12	33.18	24.80	0.27	0.3650	0.0025	0.0659	0.01	1.54	0.17	11.01	100.68
E-107	290.00	0.08	0.08	0.01	28.09	0.41	35.20	21.07	0.35	0.3819	0.0020	0.0023	0.05	2.28	0.14	12.38	100.51
E-108	291.00	0.07	0.09	0.01	28.73	0.56	35.19	20.77	0.37	0.4914	0.0019	0.0042	0.03	2.06	0.14	12.27	100.79
L-81	174.85	0.07	0.26	0.16	34.73	0.35	34.38	15.55	0.24	0.3263	0.0018	0.0163	0.01	1.44	0.27	13.16	100.96
L-90	210.40	0.07	0.14	0.01	31.94	0.25	36.13	14.48	0.33	0.2623	0.0016	0.0080	0.01	2.06	0.23	14.25	100.16
L-95	221.10	0.07	0.25	0.01	38.91	0.32	40.68	10.77	0.30	0.3009	0.0013	0.0053	0.00	2.31	0.30	5.30	99.52
L-104	239.90	0.07	0.25	0.01	33.16	0.60	33.49	19.71	0.24	0.3537	0.0067	0.0189	0.01	1.38	0.24	11.21	100.75
L-107	252.90	0.07	0.18	0.01	36.21	2.59	34.24	16.66	0.24	0.3305	0.0018	0.0024	0.01	0.54	0.16	9.05	100.30
L-112a	270.40	0.08	0.55	1.68	37.02	10.38	24.41	22.45	0.15	0.3258	0.0104	0.0422	0.01	0.34	0.09	2.55	100.08
Y-23	92.00	0.09	0.06	0.01	29.66	0.38	28.01	26.40	0.14	0.3619	0.0020	0.0078	0.02	4.91	0.15	10.73	100.94
Y-43	166.00	0.08	0.12	0.01	28.58	0.41	34.09	19.40	0.37	0.4257	0.0019	0.0023	0.05	3.07	0.14	13.33	100.06
Y-50	181.00	0.08	0.26	0.04	27.85	0.05	32.16	21.49	0.44	3.5269	0.0023	0.0027	0.02	2.00	0.17	12.02	100.11
Y-83	254.50	0.07	0.08	0.01	33.59	0.19	33.49	21.61	0.18	0.4340	0.0016	0.0210	0.01	0.87	0.14	10.09	100.80
Y-86	258.20	0.08	0.20	0.48	27.78	0.78	28.88	34.60	0.17	0.3241	0.0050	0.0489	0.01	1.04	0.12	6.38	100.90
Y-93	272.50	0.07	0.14	0.01	33.83	0.30	34.32	16.83	0.23	0.4998	0.0018	0.0147	0.02	2.37	0.19	12.04	100.86
Y-96	287.50	0.08	0.12	0.01	31.28	0.94	31.18	22.22	0.21	0.7038	0.0023	0.0231	0.02	3.09	0.15	10.22	100.24
Ortalama		0.08	0.18	0.14	31.99	1.08	33.19	20.34	0.26	0.5678	0.028	0.0163	0.02	2.00	0.17	10.49	100.51
L-105	242.95	0.08	0.97	5.11	36.36	14.35	22.74	11.82	0.21	0.2232	0.0272	0.3854	0.13	0.90	0.16	6.56	100.03
L-112b	270.40	0.08	1.97	14.27	40.06	21.94	8.00	4.43	0.18	0.0019	0.0430	1.0712	0.63	1.56	0.04	5.30	99.57

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

Çizelge 4. Yellice sahası karot örneklerinin ppm cinsinden iz element içerikleri.

Table 4. Trace element concentrations in ppm of the core samples from the Yellice area.

Örnek	Derinlik (m)	Elementler																	
		Ni	Co	Cu	Zn	Pb	As	Sb	Mo	Bi	Ag	Au	Cd	Hg	Ba	La	Ce	Rb	Sr
E-13	35.05	27.1	46.4	1.5	21.0	3.6	3.9	1.2	4.0	1.0	<0.1	<0.1	1.0	1.6	2613.0	33.3	52.7	182.7	211.0
E-15	43.90	32.1	57.8	2.5	77.6	3.1	7.1	0.9	3.1	1.1	<0.1	<0.1	1.0	1.7	1446.0	12.8	22.3	126.2	266.0
E-17	52.80	23.6	68.8	1.3	39.7	3.2	5.2	1.1	51.7	0.5	2.0	<0.1	0.5	1.7	1533.0	78.1	108.7	122.8	361.0
E-19a	65.00	14.8	35.1	1.6	49.5	4.6	8.9	1.0	17.6	1.1	<0.1	<0.1	0.9	1.7	1530.0	23.2	49.0	115.9	537.0
E-21	69.15	8.8	26.0	7.0	20.5	4.5	9.2	2.1	3.4	1.1	<0.1	<0.1	0.9	1.9	782.1	23.1	52.5	80.7	412.0
E-24	78.25	19.3	30.0	65.5	92.6	11.9	7.9	1.0	3.2	1.1	<0.1	<0.1	0.9	1.6	1360.0	52.7	103.5	140.3	620.0
E-26	82.35	14.8	62.9	8.9	54.1	13.1	11.8	1.1	3.4	1.2	<0.1	<0.1	1.1	2.0	2119.0	33.5	44.8	148.0	591.0
E-28	86.45	16.2	94.0	22.4	88.2	5.6	54.3	1.0	5.1	1.2	<0.1	<0.1	0.9	2.0	1364.0	34.6	74.9	142.0	479.0
E-30	91.90	3.1	48.2	14.9	41.7	10.2	3.1	1.1	7.5	1.2	<0.1	<0.1	1.2	2.0	1411.0	47.1	89.6	168.1	515.0
E-38	114.45	20.4	28.1	52.7	61.1	7.0	6.4	1.5	8.1	0.4	<0.1	<0.1	1.7	2.1	1607.0	32.5	65.5	171.8	660.0
E-48	127.00	4.1	30.9	1.5	41.2	9.3	1.0	1.6	3.9	0.8	<0.1	<0.1	0.7	1.6	213.4	79.5	137.8	122.9	169.0
Ortalama		16.8	48.0	16.4	53.4	6.9	10.8	1.2	10.1	1.0	0.3	<0.1	1.0	1.8	1452.6	41.0	72.9	138.3	438.0
E-98	273.45	1568.0	182.0	62.9	75.4	3.7	20.6	1.6	117.9	1.4	0.6	<0.1	1.2	2.0	22.0	7.5	10.0	53.3	2.6
E-99	275.50	1792.0	186.0	32.3	70.0	1.8	66.5	1.7	6.1	1.3	<0.1	<0.1	0.9	1.5	7.2	7.4	11.8	0.6	1.3
E-102	280.55	1662.0	195.0	29.7	92.1	4.0	51.6	3.9	4.8	1.7	<0.1	<0.1	1.2	2.2	5.1	7.3	14.1	2.7	0.7
E-107	290.00	2234.0	178.0	72.0	135.9	3.1	30.8	1.0	4.2	1.4	<0.1	<0.1	1.1	2.0	5.2	9.8	13.6	9.1	2.1
E-108	291.00	2353.0	156.0	41.7	150.3	3.0	32.7	1.0	4.4	1.4	<0.1	<0.1	1.0	1.8	9.2	7.4	10.0	9.9	1.6
L-81	174.85	2679.0	232.0	175.3	54.0	2.1	95.8	3.5	14.6	1.6	<0.1	<0.1	1.0	1.7	9.7	7.3	14.4	26.3	3.4
L-90	210.40	2145.0	143.0	140.0	95.9	1.4	12.8	0.8	18.8	1.1	<0.1	<0.1	1.0	1.5	4.9	7.2	9.8	8.4	1.3
L-95	221.10	1386.0	96.1	149.6	90.7	2.5	24.3	0.8	4.1	0.9	<0.1	<0.1	0.8	1.2	4.9	9.5	12.4	15.4	1.6
L-104	239.90	1352.0	146.0	16.7	57.5	2.5	50.1	1.0	5.9	1.5	<0.1	<0.1	1.1	2.0	5.2	7.5	10.0	28.7	1.5
L-107	252.90	763.2.0	113.0	9.3	56.6	2.8	54.0	1.1	13	1.4	<0.1	<0.1	1.1	2.2	5.2	10.1	12.6	14.9	2.4
L-112a	270.40	183.4.0	57.9	3.4	22.7	2.2	9.7	1.4	5.0	1.5	<0.1	<0.1	1.3	3.0	12.0	8.0	20.8	49.0	3.0
Y-23	92.00	2735.0	327.0	148.4	48.6	4.3	32.8	1.2	789.0	1.7	<0.1	<0.1	1.4	2.2	5.3	12.2	10.8	4.0	9.3
Y-43	166.00	1402.0	329.0	34.5	97.6	2.0	24.3	1.0	104.4	1.3	<0.1	<0.1	1.1	2.1	14.4	7.4	14.9	13.2	1.4
Y-50	181.00	1789.0	166.0	24.6	383.8	3.2	10.8	1.2	76.8	1.7	<0.1	<0.1	1.1	2.1	13.3	14.6	14.1	28.1	0.6
Y-83	254.50	1408.0	154.0	17.1	106.0	7.8	8.8	1.0	3.6	1.2	<0.1	<0.1	1.1	1.8	5.0	7.3	10.0	0.9	4.2
Y-86	258.20	2066.0	256.0	45.7	82.6	26.6	28.5	3.3	5.3	2.5	<0.1	<0.1	1.4	3.2	13.9	7.6	14.9	34.6	5.9
Y-93	272.50	2020.0	310.0	23.1	122.1	14.2	36.7	1.5	3.8	1.4	<0.1	<0.1	0.7	1.8	13.2	12.0	18.5	8.9	3.4
Y-96	287.50	2358.0	223.0	19.6	111.7	3.1	30.5	1.1	4.1	1.5	<0.1	<0.1	1.2	2.1	7.7	10.4	10.0	11.3	4.8
Ortalama		1772.0	191.7	58.1	103.0	5.0	34.5	1.6	65.9	1.5	0.1	<0.1	1.1	2.0	9.1	8.9	12.9	17.7	2.8
L-105	242.95	582.6	99.0	6.2	47.6	3.5	39.8	23.7	35.7	1.3	<0.1	<0.1	1.1	2.2	307.2	399.9	353.0	104.0	14.7
L-112b	270.40	11.8	32.1	34.6	51.2	1.9	30.4	1.7	63.3	1.1	<0.1	<0.1	0.9	1.9	70.5	60.5	107.4	182.2	39.0

Çizelge 4. (devam)

Table 4. continued

Örnek No	Derinlik (m)	Elementler																
		Sn	Th	U	Ga	Ge	Se	Br	Y	Zr	Nb	In	Te	I	Cs	Hf	Ta	Tl
E-13	35.05	3.1	18.4	11.0	20.6	1.0	0.5	0.4	20.5	223.9	23.9	0.9	1.5	2.9	6.3	4.0	3.8	1.4
E-15	43.90	1.1	13.6	9.8	26.0	0.9	0.6	0.4	24.5	206.6	22.4	0.9	1.4	2.5	4.1	4.7	4.4	2.0
E-17	52.80	2.0	16.6	16.0	21.4	1.0	0.5	0.5	25.6	221.2	25.5	1.0	1.4	2.6	12.3	3.9	3.7	1.6
E-19a	65.00	1.1	15.6	10.0	16.6	1.2	0.6	0.6	20.3	222.1	21.1	0.9	1.4	2.6	4.3	4.4	3.6	1.5
E-21	69.15	2.9	16.6	16.9	13.7	1.0	0.6	0.4	18.1	193.2	24.4	0.9	1.3	2.4	5.3	4.3	3.9	1.5
E-24	78.25	2.0	15.9	9.0	17.1	1.3	0.5	0.8	21.7	238.2	26.1	0.9	1.4	2.6	15.2	6.9	8.1	1.5
E-26	82.35	1.7	16.3	13.6	18.0	1.1	0.6	0.5	21.1	217.4	24.7	0.9	1.4	2.7	11.3	4.7	4.8	1.8
E-28	86.45	2.4	15.5	9.2	21.6	1.2	0.6	0.5	21.0	203.9	25.1	0.9	1.4	2.6	12.4	5.0	5.7	2.0
E-30	91.90	3.3	16.6	19.4	23.3	1.2	0.6	0.4	31.2	290.7	67.0	0.9	1.5	2.7	4.3	5.8	5.8	2.0
E-38	114.45	2.5	15.3	24.8	19.2	0.6	0.6	0.4	23.3	252.7	30.1	1.1	1.5	2.7	6.8	6.8	7.3	0.9
E-48	127.00	2.5	35.3	13.9	24.6	0.9	0.5	0.4	36.0	456.4	73.5	0.8	1.2	2.1	3.7	6.1	4.9	1.4
Ortalama		2.2	17.8	14.0	20.2	1.0	0.6	0.5	23.9	247.9	33.1	0.9	1.4	2.6	7.8	5.2	5.1	1.6
E-98	273.45	3.5	4.5	9.7	3.5	1.2	0.7	2.5	1.2	5.6	4.4	1.0	1.3	2.2	3.7	11.0	19.0	2.0
E-99	275.50	3.1	2.1	8.8	3.2	1.7	0.5	3.9	0.8	4.6	3.3	0.9	1.2	2.0	3.5	7.1	14.0	1.7
E-102	280.55	6.6	5.1	13.0	4.1	1.4	0.8	4.6	1.1	4.3	4.4	1.0	1.4	2.2	3.7	10.0	19.0	2.4
E-107	290.00	4.2	3.7	28.8	3.0	1.1	0.7	2.1	1.0	4.3	4.0	1.0	1.3	2.1	3.7	11.0	21.0	2.1
E-108	291.00	3.8	3.8	13.8	3.4	1.1	0.7	2.5	1.0	5.0	4.0	1.0	1.3	2.1	2.8	9.6	20.0	2.0
L-81	174.85	3.4	2.5	16.2	4.3	2.2	0.5	7.4	0.9	4.0	3.5	0.9	1.2	3.5	3.9	13.0	21.0	1.9
L-90	210.40	3.5	2.2	8.8	2.1	1.1	0.5	8.2	0.8	4.1	3.4	0.9	1.2	2.0	4.4	12.0	19.0	1.4
L-95	221.10	2.4	1.3	6.6	1.9	0.9	0.4	8.7	0.7	3.3	2.8	0.8	1.6	2.0	3.5	9.9	15.0	1.2
L-104	239.90	3.9	3.5	9.8	3.8	1.2	0.7	8.2	3.0	5.0	3.8	1.0	1.3	2.2	3.7	7.7	14.0	2.0
L-107	252.90	5.8	2.4	10.3	4.1	1.0	0.5	2.6	2.3	4.0	3.5	0.9	1.3	2.1	3.7	5.8	9.9	1.9
L-112a	270.40	4.6	3.4	12.0	6.2	1.6	0.7	0.4	4.2	8.7	4.4	1.1	1.4	2.3	3.9	6.9	7.8	2.4
Y-23	92.00	2.5	5.4	26.6	2.4	1.4	0.9	0.9	1.1	6.2	4.9	1.1	1.4	2.3	3.8	17.0	28.0	2.4
Y-43	166.00	2.0	3.3	9.9	1.4	1.2	0.7	0.8	1.0	4.6	3.9	1.1	1.3	2.1	3.5	8.5	15.0	1.6
Y-50	181.00	2.7	3.7	10.0	3.0	1.3	0.7	2.1	1.1	5.2	4.3	1.0	1.3	2.2	6.1	9.3	17.0	1.9
Y-83	254.50	3.7	3.8	9.7	3.7	1.1	0.6	2.0	0.8	5.0	3.8	0.4	1.2	2.1	3.6	8.2	15.0	1.7
Y-86	258.20	6.9	8.4	10.0	2.6	1.8	1.0	1.1	1.5	6.5	8.3	1.3	1.4	2.3	6.1	16.0	27.0	3.5
Y-93	272.50	2.7	2.7	7.8	4.1	0.6	0.6	3.7	0.9	5.0	3.4	1.1	1.2	2.0	3.5	8.0	16.0	1.8
Y-96	287.50	4.6	4.1	10.0	5.2	1.2	0.7	3.0	1.0	5.0	4.3	0.6	1.3	2.2	3.6	9.4	19.0	1.9
Ortalama		3.9	3.7	12.3	3.4	1.3	0.7	3.6	1.4	5.0	4.1	1.0	1.3	2.2	3.9	10.0	17.6	2.0
L-105	242.95	37.4	1.4	10.0	6.6	1.1	0.6	2.7	15.7	48.7	4.8	1.1	1.4	2.6	4.1	5.0	8.5	1.9
L-112b	270.40	25.4	14.4	19.5	18.2	0.5	0.6	0.5	11.3	184.3	13.8	0.9	1.3	2.3	7.3	5.7	6.2	1.7

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

E.13 ile başlayıp E.48 ile biten örnek numaraları ile gösterilmiş olan on bir tane bazik volkanik kayaç örneği Y-16 numaralı sondajın 35.05'inci metresi ile 127. metresi arasından derlenmiş olup herbir örneğe özgü sondaj derinliklikleri Çizelge 3 ve 4'te ayrıca verilmiştir. Bu örnekler bölgeye ofiyolitin yerleşmesinden sonra, ofiyolit üzerinde açılan havzaya özgü ve Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı volkanosedimanter istifin (post - tektonik havza çökellerinin) denizaltı volkanitlerinin bir bölümünden derlenmiştir.

E.98 ile başlayıp E.108 ile biten örnek numaraları ile gösterilen beş tane serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneği Y-16 numaralı sondajının 273.45'inci metresi ile 291. metresi arasından, L.81 ile başlayıp L.112a ile biten örnek numaraları ile gösterilen altı tane serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneği Y-15 numaralı sondajın 174.85'inci metresi ile 270.4'üncü metresi arasından ve Y.23 ile başlayıp Y.96 ile biten örnek numaraları ile gösterilen yedi tane serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneği ise Y-20 numaralı sondajın 92. metresi ile 287.5'inci metresi arasından derlenmiş olup, tüm bu örnekler ofiyolitin bir bölümünü temsil etmektedir (Çizelge 3 ve 4).

L.105 ve L.112b numaralı iki tane örnek ise, Y-15 numaralı sondajın sırası ile 242.95'inci ve 270.4'üncü metresinden derlenmiştir. Bu örnekler geç evre hidrotermel alterasyonundan da etkilenmiş olan serpantinleşmiş ultrabazik kayaçları temsil etmektedir. Bu örnekler de ofiyolitin, ofiyolit içinde yaygın olarak gözlenemeyen, ancak lokal bir biçimde izlenebilen, damarcık biçimindeki çok ince bir bölümünü karakterize etmektedir.

Bazik volkanik kayaçların jeokimyası

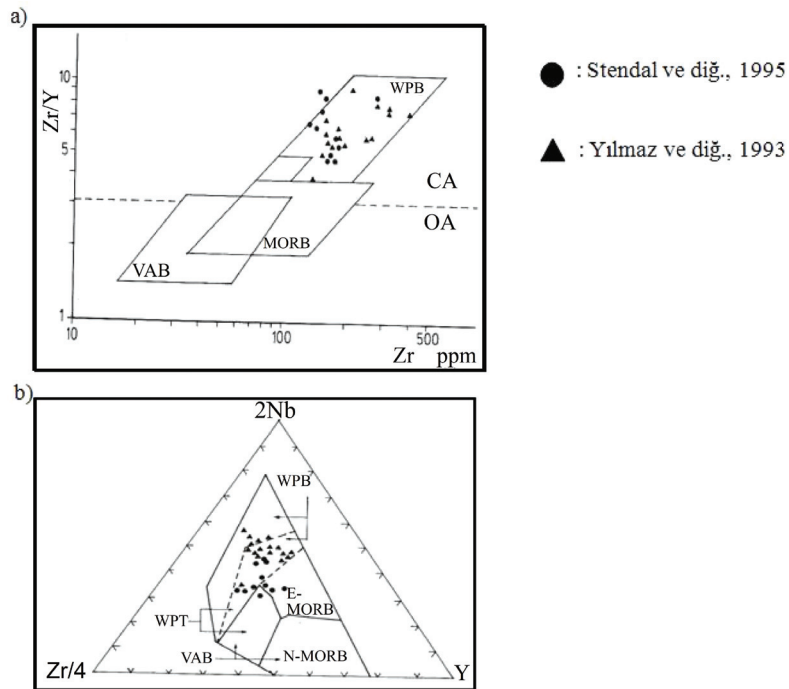
E.13 ile başlayıp E.48 ile biten örnek numaraları ile gösterilen on bir tane örneğin kimyası toplu biçimde incelendiğinde, ortalama içeriklere göre farklılık sergileyerek ilk bakışta dikkati çeken; E.21 örneğinde gözlenen % 17.84 oranındaki yüksek CaO içeriği ile % 10.73 oranındaki yüksek ateşte kayıp içeriği kayaçtaki karbonatlaşmalara işaret etmektedir. E.48 örneğinde gözlenen % 6.06 oranındaki yüksek Na₂O içeriği ile % 3.93 oranındaki düşük CaO içeriği ve % 6.21 oranındaki ateşte kayıp içeriği ise bu kayaçtaki bazik plajiyoklazların yoğun bir biçimde albitleşmesi ve kayaçtaki karbonatlaşmalarla ilgilidir. On bir tane bazik volkanik kayaç örneğinde izlenen yüksek Ba içeriği (ortalama 1452.6 ppm), volkanosedimanter ortamlara özgü kayaçlarda izlenen yüksek Ba element içeriği ile uyum içindedir.

E.13 ile başlayıp E.48 ile biten on bir tane örneğe özgü diğer tüm ana (esas) ve iz (eser) elementlerin içerikleri, denizaltı volkanizmasına özgü spilitik bazaltların element içerikleri ile örtüşmektedir (Schroll, 1976).

Hekimhan bölgesinde yüzeyleyen Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı volkanosedimanter istifin spilitik bazaltlarından derlenmiş bulunan dokuz tane bazik volkanik kayaca özgü bazı karakteristik elementlerin ortalama içerikleri ile (Stendal vd., 1995), bu çalışmada analizleri yapılan E.13 ile başlayıp E.48 ile biten on bir tane bazik volkanik kayaca özgü elementlerin ortalama içeriklerinin karşılaştırılması Öztürk (2011)'de yapılmıştır. Bu deneşirmede CaO içeriğinin Yellice bölgesi örneklerinde biraz daha yüksek, Na₂O içeriklerinin ise Yellice bölgesi örneklerinde biraz daha düşük olduğu

gözlenmektedir. Ayrıca K_2O içerikleri de Yellice bölgesi örneklerinde biraz daha yüksektir. Bu durum, Hekimhan bölgesi örneklerinde, Yellice bölgesi örneklerine göre biraz daha fazla albitleşmenin gözlemlendiğini, buna karşın Yellice bölgesi örneklerinde ise, spilitik bazalt kimyasının yanısıra az da olsa keratofir kimyasına yönelik bir eğilimin de hissedilebildiğini göstermektedir. Diğer elementlerin ortalama içerikleri karşılaştırıldığında, Hekimhan bölgesi ve Yellice bölgesindeki bazik volkanitlerin kimyasındaki büyük oranlardaki örtüşme dikkati çekmektedir (Öztürk, 2011).

Tektono - magmatik süreçlerin değerlendirilmesinde, kayaların altere olmuş doğasından dolayı, en az altere olmuş örneklerdeki mobil olmayan elementlerden Zr, Y ve Nb elementlerine özgü diyagramlar da anlam taşıyabilmektedir. Bu bağlamda Şekil 18'de, Hekimhan bölgesinden derlenen bazik volkanik kayaç örneklerine özgü Zr/Y 'a karşı Zr diyagramı ve $Zr/4 - 2Nb - Y$ üçgen diyagramı verilmiştir (Stendal vd., 1995). $Zr/Y - Zr$ diyagramında Hekimhan bölgesi bazik volkanitleri levha içi bazaltlar alanında yer almaktadır. $Zr/4 - 2Nb - Y$ üçgen diyagramında da Hekimhan bölgesi örnekleri levha içi alkali bazaltları alanı içinde konumlanmaktadır (Stendal vd., 1995).



Şekil 18. Hekimhan bölgesi bazik volkanik kayaç örneklerinin (a) $Zr/Y-Zr$ (log-log dağılımı), (b) $Zr/4 - 2Nb - Y$ üçgen diyagramındaki konumları (CA: Kıtasal yay, OA: Okyanusal yay, WPB: Levha içi bazaltları ve VAB: Ada-yay bazaltları) (Stendal vd., 1995)

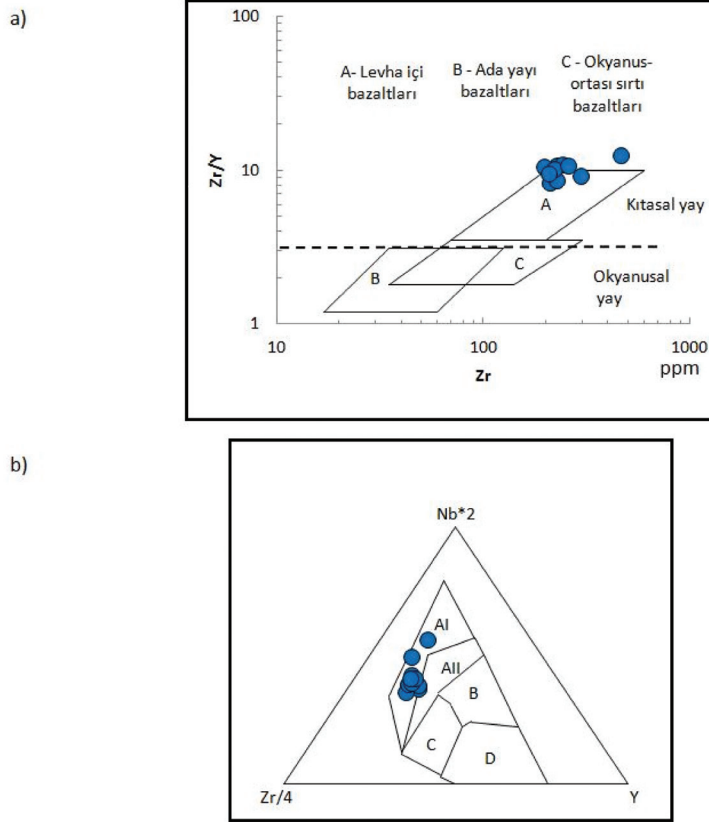
Figure 18. (a) $Zr/Y-Zr$ (logarithmic values), (b) $Zr/4-2Nb-Y$ triangular diagrams for basic volcanic rock samples of the Hekimhan region (CA: Continental arc, OA: Oceanic arc, WPB: Within plate basalts and VAB: Volcanic arc basalts) (Stendal et al., 1995)

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

Zr/Y - Zr ve Zr/4-2Nb-Y üçgen diyagramında (Şekil 19) Yellice bölgesi örneklerinin, Şekil 18'de verilen Hekimhan bölgesi bazik volkanik kayaç örnekleri gibi benzer alanda ve levha içi bazaltları bölgesinde yer aldıkları görülmüştür.

Daha önce yapılan çalışmalarda (Çoban, 1974; Gültekin, 1993), Yellice bölgesinde yüzeyleyen bazik volkanik kayaçlar, spilitik bazaltlar olarak, okyanusal litosferin lav - çökel istifi bölümünde değerlendirilmişler, bölgeye

tektonik olarak yerleştikleri ifade edilmiş ve jeolojik harita çalışmalarına da konu edilmişlerdir. Bu çalışmada ise, yukarıdaki diyagramlardan da izlendiği gibi bu kayaçların levha içi bazaltları alanında yer aldığı görülmektedir. Ayrıca, saha çalışmaları da bu özgün sonucu desteklemektedir (jeolojik harita revizyonu sırasındaki saha çalışmalarında bazik volkanik kayaç kimyasındaki spilitik bazaltların, rudist fosilleri de içeren Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı tortullarla yanal geçişli oldukları saptanmıştır).



Şekil 19. Yellice bölgesine özgü onbir tane bazik volkanik kayaç örneğinin (a) Zr/Y - Zr (Pearce ve Norry, 1979) (log-log dağılımı), (b) Zr/4-2Nb-Y üçgen diyagramındaki (Meschede, 1986) konumları (AI-AII: Levha içi alkali bazaltları (WPB), B: Primitif okyanus ortası sırtı bazaltları (P-MORB), C: Ada yayı bazaltları (VAB), D: Normalize edilmiş okyanus ortası bazaltları (N-MORB, VAB).

Figure 19. (a) Zr/Y-Zr (Pearce and Norry, 1979) (logarithmic values), (b) Zr/4-2Nb-Y diagrams (Meschede, 1986) for eleven basic volcanic rock samples for the Yellice region; (AI-AII: WPB; Within plate basalts, B: P-MORB; Primitive type-middle ocean ridge basalts, C: VAB; Volcanic arc basalts, D: N-MORB; Normal type-middle ocean ridge basalts, VAB)

Bu durumda denizaltı bazik volkanizmasına özgü spilitik bazaltlar (ve tüfleri), okyanusal litosferin kıta kabuğu üzerine tektonik olarak üzerlemesinden (ofiyolit) sonra ofiyolitler üzerinde açılan, post-tektonik havzayı karakterize eden birimlerdir. Bu volkanosedimanter istifin yaşı Üst Kretase (Maastrichtiyen)'dir. Bu birimler Hekimhan bölgesi birimleri ile doğrudan denestirilebilir. Aslında aynı havzanın volkanotortul birimleridir. Sonuçta Üst Kretase yaşlı kuzeyde Yellice bölgesi birimleri (Saya formasyonu) ve güneyde Hekimhan bölgesi birimleri (İzdar ve Ünlü, 1985), ortalarında (aralarında) yer alan genç yaşlı Yamadağ volkanitlerince örtülmüş, aynı havzanın volkanotortul birimleridir.

Serpantinleşmiş ultrabazik kayaların jeokimyası

Çizelge 3 ve 4'teki E.98 ile başlayıp Y.96 ile biten on sekiz tane örneğin kimyası toplu biçimde incelendiğinde, ortalama içeriklere göre farklılık sergileyerek ilk bakışta dikkati çeken, L.107 örneğinde gözlenen % 2.59'luk yüksek CaO içeriği ile % 9.05'lik yüksek ateşte kayıp içeriği kayadaki karbonatlaşmalarla ve kayacın kapsadığı klinopiroksen içeriği ile ilgilidir. L.112a örneğinde gözlenen % 10.38'lik yüksek CaO içeriği, % 1.68'lik yüksek Al₂O₃ içeriği, % 37.02'lik yüksek SiO₂ içeriği ve % 2.55'lik düşük ateşte kayıp içeriği ise, kayacın kapsadığı klinopiroksen içeriğine ve kayadaki az orandaki karbonatlaşmalara işaret etmektedir.

Y.23 örneğinde gözlenen 789 ppm Mo içeriği, 148.4 ppm Cu içeriği, % 26.40 Fe₂O₃ içeriği ve % 4.91 SO₃ içeriği, ilk bakışta

olasılıkla demir - bakır sülfürlerle beraber lokal bir hidrotermal kökenli molibden oluşumunu (magmatik hidrotermal sistem) düşündürülebilir. Bu tek örnekte izlenen yersel Mo zenginleşmesinin, ofiyolit üzerinde açılan Üst Kretase yaşlı riftin bimodal karakterli mafik ve felsik bileşimli magmatizma ve volkanizması ile kökensele ilişkili olabileceği yukarıdaki biçimde yorumlanabilir. Hekimhan bölgesinde yer alan Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı spilitik bazalt bileşimli ve bazik karakterli kayaların yoğun biçimde yayılım gösterdiği volkanosedimanter istifle kökensele ilişkili konumda oluşmuş olan, eksalatif - sinsedimanter tipteki Deveci siderit yatağında tortul birimler içinde de 92 ppm'e varan içeriklerde Mo element zenginleşmeleri saptanmıştır (Ünlü, 1983b). Derin deniz sedimanlarının da (killerinin de) Mo zenginleşmesi ile kökensele ilişkili olabileceği varsayılabilir. Güncel Doğu Pasifik Yükselimi (EPR) derin denizel açılma - yayılma (rift) zonlarındaki deniz tabanı hidrotermal sıcak su çıkış bacaları kalkopiritlerinde, 0.11 - 2083.98 ppm arasında değişen Mo elementi ile 0.26 - 125.33 ppm arasında değişen Sn elementi saptanmış bulunmaktadır (Revan, 2010; Maslennikov, 2011). Bu tür oluşumlarda karşılaşılan (gözlenen) Sn ve Mo elementlerinin kökeni, günümüz yerbilimleri jeokimyasında halen tartışılmaktadır (Maslennikov, 2011). Y.50 örneğinde gözlenen % 3.53 Cr₂O₃ içeriği ise, kayacın kapsadığı kromit mineral oluşumlarına karşılık gelmektedir.

E.98 ile başlayıp Y.96 ile biten on sekiz tane örneğe özgü diğer tüm ana ve iz elementlerin içerikleri, serpantinleşmiş ultrabazik kayalara özgü element içerikleri ile örtüşmektedir (Schroll, 1976).

Hidrotermal alterasyona uğramış serpantinleşmiş ultrabazik kayaların jeokimyası

Çizelge 3 ve 4 incelendiğinde, iki tane serpantinleşmiş ultrabazik kayacın örneğinin kimyasının, diğer on sekiz tane serpantinleşmiş ultrabazik kayacın örneğinin kimyasından farklı olduğu görülmektedir.

L.105 örneğinde yan kayalara göre yüksek içeriklerde K_2O (% 0.97), Al_2O_3 (% 5.11), SiO_2 (% 36.36), CaO (% 14.35), TiO_2 (% 0.3854), Ba (307.2 ppm), La (400 ppm), Ce (353 ppm), Rb (104 ppm), Sn (37.4 ppm), Y (15.7 ppm), Zr (48.7 ppm), düşük içeriklerde Fe_2O_3 (% 11.82), MgO (% 22.74) ve % 6.56 ateşte kayıp saptanmıştır. Aynı şekilde L.112b örneğinde yüksek içeriklerde K_2O (% 1.97), Al_2O_3 (% 14.27), SiO_2 (% 40.06), CaO (% 21.94), TiO_2 (% 1.0712), Ba (70.5 ppm), La (60.5 ppm), Ce (107.4 ppm), Rb (182.2 ppm), Sr (39 ppm), Sn (25.4 ppm), Y (11.3 ppm), Zr (184.3 ppm), düşük içeriklerde MgO (% 8.00), Fe_2O_3 (% 4.43), Cr_2O_3 (19 ppm), % 5.30 ateşte kayıp ile Ni (11.8 ppm) belirlenmiştir.

Yukarıda kimyası sunulmuş bulunan iki örnek, yoğun biçimde karbonatlaşmış, silisleşmiş ve killeşmiş serpantinleşmiş ultrabazik kayaca özgüdür. Bu örnekler yoğun biçimde hidrotermal alterasyona uğramıştır. Bu değişim, geniş bir serpantinleşmiş ultrabazik kayacın kütlesinin çok dar bölümlerinde, damarcıklar biçiminde, lokal olarak izlenmiştir.

Yalnızca iki tane serpantinleşmiş ultrabazik kayacın rastlanan bu tür element içerik değişimleri; derin denizel rift zonlarındaki deniz tabanı hidrotermal sıcak su çıkış bacalarına özgü kayalarla veya serpantinleşmiş ultrabazik

kayaların stratigrafik olarak üzerinde yer alan ve rift volkanizmasını karakterize eden kayalarla ilişkilendirilebileceği gibi, Yellice bölgesinde izlenen ve tüm bu birimleri kateden Yellice plütununun granitik kayalarının geç evre hidrotermal etkileri ile bu değişimlerin oluşmuş olabileceği varsayımını da gündeme taşımaktadır. Ancak, genişleme tektoniğine bağlı gelişen riftlerin metalojenezinde izlenen litofil element zenginleşmelerinin (Sn, Mo ve U) riyolit ve granitlerle ilişkili felsik magmalarla kökensel birliklikleri olabileceği gerçeği burada özellikle vurgulanmalıdır (Sawkins, 1984). Nadir toprak elementlerine özgü bazı elementlerin ise, “okyanus tabanı metamorfizması, ısı ve kütle transferi modeli” kapsamında derin okyanus tabanı tortullarında veya sedimanlarında (örneğin okyanus tabanı Mn yumrularında) az da olsa zenginleştikleri gerçeği de gözden kaçırılmamalıdır.

Çizelge 4’te bazik volkanik kayacın örneklerinde U içeriğinin, olması gerekenden az da olsa yüksek (ortalama 14 ppm), serpantinleşmiş ultrabazik kayacın örneklerinde olması gerekenden yine az da olsa yüksek (ortalama 12.3 ppm) ve hidrotermal alterasyona uğramış serpantinleşmiş ultrabazik kayacın örneklerinde sırasıyla 10 ppm ve 19.5 ppm oldukları görülmektedir. Bu, az da olsa yüksek U içerikleri, derin deniz tabanı tortulları kimyası ile ilişkilendirilebilir. Olası farklı açılma ortamına özgü ürünler olsa bile Çayeli - 2 (Rize) çıkış bacası kalkopiritlerinde de, 8.94 ppm’e kadar çıkan U zenginleşmelerine rastlanmıştır (Revan, 2010). Bazik volkanik kayacın örneklerinde izlenen az da olsa yüksek Th içeriğini (ortalama 17.8 ppm) ve hidrotermal alterasyonuna uğramış L.112b numaralı

serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneğinde izlenen az da olsa yüksek Th içeriğini (14.4 ppm), rift volkanizmasının yanısıra, Yellice plütununun granitik kayaçlarının etkileşimleri ile de kökensel bağlamda açıklamak mümkündür.

Yellice sahasında geniş bir alanda yapılmış olan üç sondajdan derlenmiş otuz bir adet karot örneğinin kimyasal analizlerinin değerlendirilmesi ile, derinde yer alan ofiyolitlere özgü ultrabazik kayaçların yoğun ve yaygın bir biçimde serpantinleştikleri belirlenmiştir. Buna karşın yalnızca iki tane örnekte çok lokal biçimde ve ince cılız seviyeler halinde (damarcık şeklinde) geç evre hidrotermal alterasyonunun da, daha yaşlı serpantinleşme kalıplarını çok az oranlarda etkilediği görüşü ortaya çıkmaktadır. Ofiyolitler üzerinde yer alan volkanosedimanter istifin denizaltı bazik volkanitlerinin kimyalarında ise, levha içi bazaltları konumundaki spilitik bazalt ve tüflerine özgü normal sınırlar içerisindeki esas ve eser element içerikleri belirginleşmektedir.

Sonuç olarak, sondajların yapıldığı alandaki jeokimyasal çalışmalar, gerek serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların geniş yayılım ve kalınlık gösteren ana kütlelerinde, gerekse üzerlerinde yer alan volkanosedimanter istifin bazik volkanik kayaçlarında, birkaç küçük lokalitede hissedilebilen yersel etkiler gözardı edildiğinde, bölgede yer alan Yellice plütouna özgü granitik kayaçların yaygın ve yoğun etkilerinin bu kayaçlarda hemen hemen hissedilmediğini göstermektedir. Ayrıca Üst Kretase yaşlı volkanosedimanter istifin volkanik kayaçlarının da, tabanlarında yer alan ofiyolitik kayaçları fazlasıyla etkilemediği söylenebilir.

Jeoistatistiksel Analiz

Jeokimya sonuçları, jeoistatistik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Jeoistatistik yöntemlerden; element çiftlerine özgü korelasyon katsayısı değerleri ve bu katsayıların birlikte değerlendirilmesine yönelik biçimde oluşturulan dendogramlardan yararlanılmıştır. Au element içeriğinin 0.1 ppm'den, Ag element içeriğinin ise çoğunlukla 0.1 ppm'den küçük olması nedeni ile, bu iki element jeoistatistik yorumlamalarda yararlanılacak olan element kümesinden çıkartılmıştır.

Serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlardan ve bazik volkanik kayaçlardan oluşan 29 tane tüm kayaç örneğine ait, jeokimyasal veriler kullanılarak somutlaştırılan ve element çiftlerinin birbirleriyle olan ilişkilerini ifade eden korelasyon katsayı değerlerinden yararlanılarak hazırlanmış olan dendogram incelendiğinde, 2 topluluğun belirgin biçimde ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 20). 1. Topluluk sırasıyla; TiO₂, K₂O, Rb, P₂O₅, Sr, Ba, Zr, Y, Ga, Al₂O₃, Th, V₂O₅, Nb, Na₂O, Ce, La, SiO₂, CaO, Cs, I, Te, Pb ve U elementlerini kapsamakta olup, bu topluluk bazik volkanik kayaçları karakterize etmektedir. 2. Topluluk ise sırasıyla; Ta, Hf, Ni, Co, MgO, SO₃, Cl, Br, Bi, Fe₂O₃, MnO, Sn, Tl, Se, As, Zn, Cr₂O₃, Cu, Ge, Hg, Sb, Cd, In ve Mo elementlerini ve ateşte kaybı (A.K.) içermektedir. Bu topluluk ise serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlara karşılık gelmektedir.

Dendogramda her topluluk içindeki elementler, kendi içlerinde birkaç aykırılık dışında birbirleriyle artan ilişkili beraberlikler (pozitif korelasyon ilişkisi) sergilemektedir. Ayrıca her bir topluluk içinde soldan sağa doğru, element çiftlerine özgü pozitif korelasyon

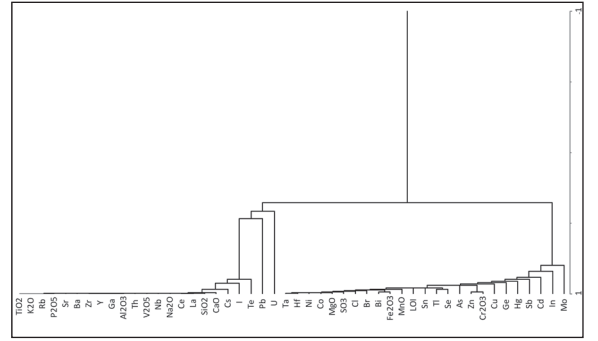
katsayısı değerleri de düşme göstermektedir. Örneğin, 1. ve 2. topluluğun en sonunda yer alan elementlerin kendi toplulukları içinde birbirleriyle olan artan ilişkililikleri en düşük düzeydedir.

Aynı zamanda her iki ayrı topluluk içindeki elementler birbirleriyle birkaç ayrıcalık dışında karşılıklı biçimde eksilen ilişkili beraberlikler (negatif korelasyon ilişkisi) sergilemektedir. Bu ilişkililik, topluluklar içinde soldan sağa doğru element çiftlerinin korelasyon katsayısı değerlerindeki düşmeler biçiminde şekillenmektedir. Örneğin, 1. topluluğun en sonunda yer alan elementler ile, 2. topluluğun en sonunda yer alan elementlerin birbirleriyle olan eksilen ilişkililikleri en düşük düzeydedir.

Çok genel biçimde Şekil 20'de verilen dendogram değerlendirildiğinde, Fe elementinin serpantinleşmiş ultrabazik kayaçları karakterize eden 2. topluluk içinde yer aldığı ve Fe elementinin bu topluluğun diğer elementleri ile artan ilişkili birliktelikler oluşturduğu açık biçimde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu dendogramda, yalnızca bazik volkanik kayaçları ve serpantinleşmiş ultrabazik kayaçları karakterize eden 2 topluluğun özgünleştiği, buna karşın bölgede yer alan Yellice plütönuna özgü granitik sıvıları betimleyebilecek 3. bir topluluğun olmadığı gerçeği de, burada kolaylıkla vurgulanabilir.

Tüm kayaç örneklerine özgü (serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar ve bazik volkanik kayaçlar) bazı element çiftlerinin birbirleriyle olan dağılım ilişkilerini gösteren grafikler incelendiğinde, ultrabazik kayaçlardan bazik kayaçlara doğru doğal biçimde Fe element içeriği azaldıkça Si element içeriğinin artmakta olduğu, bu durumda ise element çiftleri

arasında eksilen ilişkililiğin (negatif korelasyon ilişkisinin) ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 21). Ayrıca, Fe elementinin artmasına karşın, Mn ve Co elementlerindeki artış ise bazik kayaçlardan ultrabazik kayaçlara doğru olan doğal kimyasal sürekliliğe işaret etmektedir. Bu durum anılan element çiftleri arasındaki artan ilişkililikle (pozitif korelasyon ilişkisi) temsil edilmektedir.



Şekil 20. Tüm kayaç örneklerine özgü dendogram (A.K.: Ateşte kayıp).

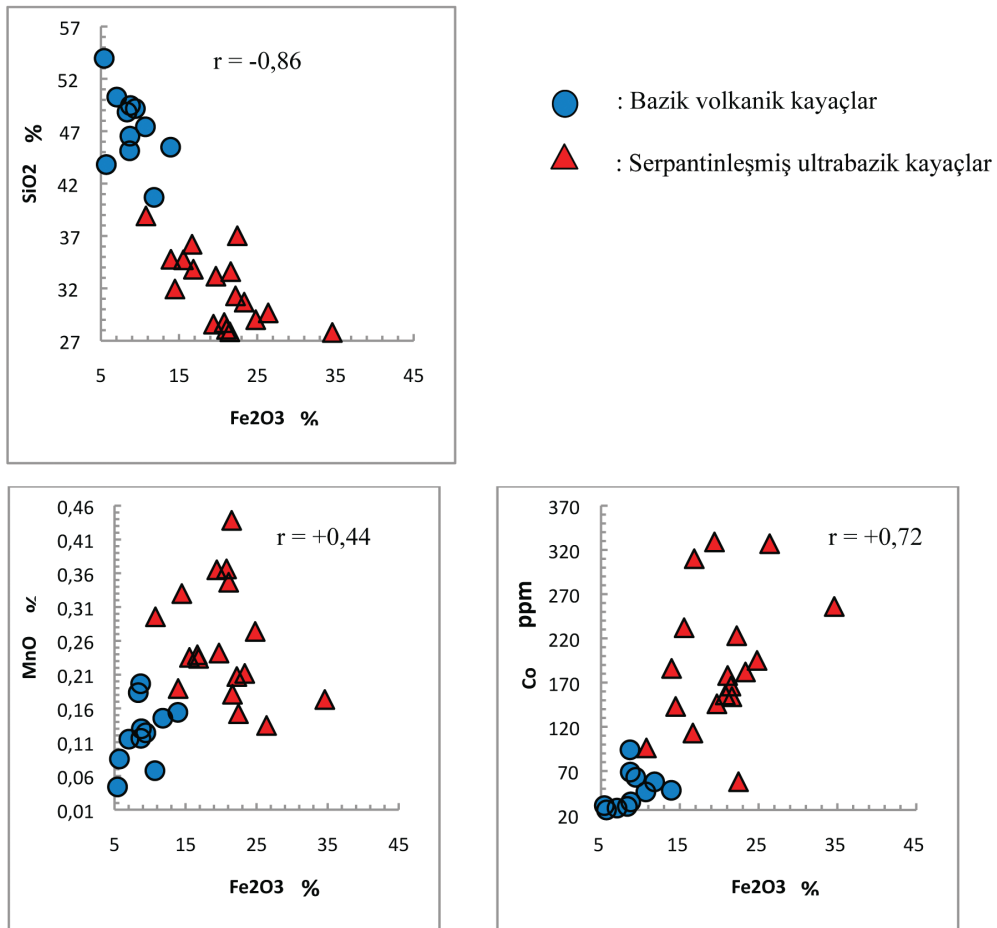
Figure 20. Dendogram for the whole-rock samples (LOI: Loss on ignition).

Şekil 22'de ise, serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneklerine özgü bazı element çiftlerinin birbirleriyle olan dağılım ilişkilerini gösteren grafikler verilmiştir.

Genelde ultrabazik kayaçlarda normal koşullarda, Fe ve Mg elementlerinin beraber artarak veya beraber eksilerek birlikte hareket etmesine karşın (pozitif korelasyon ilişkisi), Şekil 22 incelendiğinde, serpantinleşme olayının sonucunda (MgO/Fe_2O_3 ile SiO_2/Fe_2O_3 diyagramları), Fe elementinin serbestleştikten sonra ortamdaki uzaklaşarak manyetit minerali olarak kristalize olduğu ve bu nedenle ana kayacın Fe elementince fakirleştiği, bunun

sonucunda ise her iki diyagramda da element çiftleri arasındaki eksilen ilişkinin özgülleştiği (negatif korelasyon ilişkisi) söylenebilir. Buna karşın silisleşme olayı ($\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ diyagramı) Fe element ayrışmasında fazla etkin bir rol oynamamaktadır. Fe elementine karşı Cl element dağılımında gözlenen eksilen ilişkililik, deniz suyunun serpantinleşme olayındaki işlevini düşündürmektedir. A.K./ Fe_2O_3 diyagramına dayanılarak ise, karbonatlaşma olayının Fe

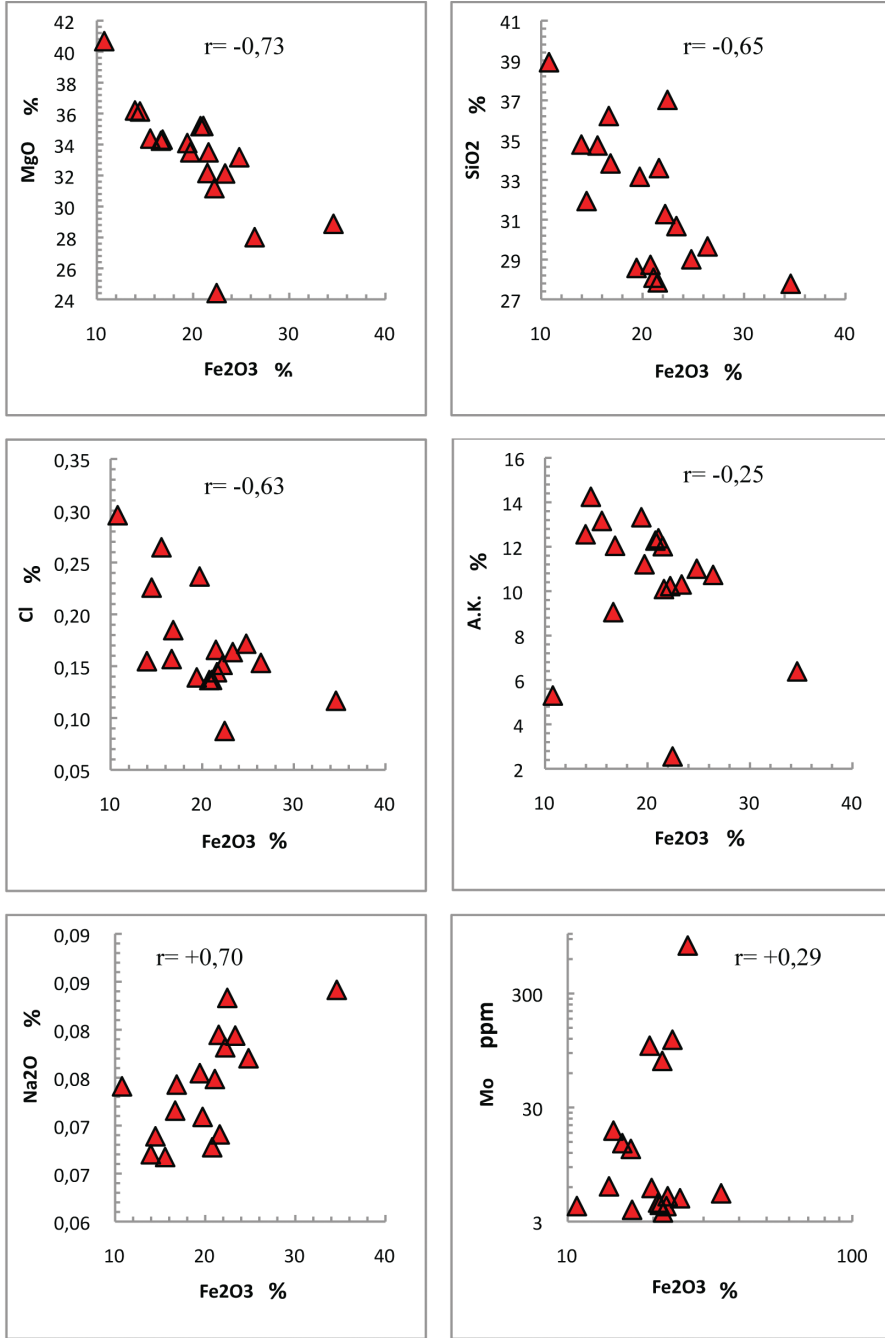
element zenginleşmesinde az da olsa rol oynadığı söylenebilir. Fe elementi ile Na elementi arasındaki artan ilişkililik, manyetit mineralinin olduğu ortamda, Na elementinin Cl elementine göre daha duraylı olabileceğine ve Fe elementi ile Mo elementi arasındaki az da olsa hissedilebilen artan ilişkililik ise, Mo element kaynağının dışarıdaki başka bir süreçte aranılmaması varsayımına işaret etmektedir.



Şekil 21. Tüm kayaç örneklerinde (serpantinleşmiş ultrabazik kayalar + bazik volkanik kayalar; toplam 29 örnek) toplam Fe_2O_3 'e karşı; SiO_2 , MnO ve Co element dağılım grafikleri (r = korelasyon katsayısı değeri).

Figure 21. Total Fe_2O_3 (wt %) plotted against SiO_2 , MnO and Co element variation diagrams for the all rock samples (serpentinized ultrabasic rocks + basic volcanic rocks; a total of 29 samples) (r = correlation coefficient value).

Öztürk, Ünlü ve Sayılı



Şekil 22. Serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneklerinde (toplam 18 örnek) toplam Fe₂O₃'e karşı; MgO, SiO₂, Cl, Na₂O, Mo element ve A.K. dağılım grafikleri (toplam Fe₂O₃'e karşı Mo element dağılım grafiği log-log dağılımı olarak verilmiştir) (r = korelasyon katsayısı değeri).

Figure 22. Total Fe₂O₃ (wt %) plotted against MgO, SiO₂, Cl, Na₂O, Mo element and LOI variation diagrams of the serpentinized ultrabasic rock samples (element distribution diagram of total Fe₂O₃ versus Mo is given as logarithmic values) (r = correlation coefficient value).

TARTIŞMA

Çalışma alanında yüzeyleyen ofiyolite özgü serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar, kuzeydoğuda Ilıç kazasından güneybatıda Kangal kazasına, hatta daha güneybatıda Karahalka köyüne kadar bir kuşak boyunca kuzeydoğu - güneybatı yönünde geniş yayılımlar sergiler (Ünlü, 1991). Öztürk (2011)'de J-39 ve J-40 paftalarına özgü, Kanadalılar tarafından havadan uçakla ve manyetik yöntemle yapılmış bulunan, jeofizik manyetik anomali haritası da (Hutchison vd., 1962) verilmiştir. Bu harita üzerinde de yukarıda anılan bölge işaretlenmiştir.

Bu iki harita incelendiğinde ve birbirleri ile karşılaştırıldığında, serpantinleşmiş ultrabazik kayaçların yer aldığı alanlarda yapıya yönelik anomalilerin yanısıra, sayısız birçok cevherleşmeye yönelik manyetik anomalilerin yer aldığı görülmüştür. Bu manyetik anomalilerden yalnızca bir tanesi Yellice anomalisine karşılık gelmektedir. Bu anomaliiyi değerlendirmek için MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, Yellice sahasında sondajlar yapılmış ve % 18 - 20 Fe₃O₄ tenörlü 125 milyon tonluk görünür + muhtemel rezervli, düşük tenörlü manyetik oluşumu ortaya konulmuştur (Çoban, 1974).

Geniş bölgede yer alan diğer sayısız manyetik anomalilerin değerlendirilmesi sonucunda, Yellice manyetit oluşumları gibi yörede potansiyel olabilecek daha birçok gizli (örtülü) manyetit cevherleşmesinin bulunması kaçınılmaz görünmektedir. Çünkü, bu manyetik anomalilerin bir bölümünün, büyük ölçüde ultrabazik kayaçların serpantinleşmesi sonucu açığa çıkan manyetit minerallerinden kaynaklanmış olduğu görüşü, bu çalışma ile ortaya konmuştur.

Ayrıca, Yellice sahasındaki on sekiz tane serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneğinde jeokimyasal çalışmalarla saptanmış olan yüksek Ni element içeriği de (ortalama 1772 ppm), Yellice sahası ve manyetik anomalilere sahip diğer sahalara, gelecekte potansiyel Ni yatak ve zuhurları olabilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır.

DENEŞTİRME

Serpantinleşme olayını, okyanus ortası sırtlarda üst manto koşullarında gelişen metamorfizma olaylarıyla başlayan, okyanusal kabuğun kıtasal kabuk üzerine üzerlemesi (yerleşimi) sürecine kadar devam eden eş yaşlı çeşitli metamorfik koşullarda olgunlaşan, onu izleyen çeşitli hidrotermal alterasyon süreçleri ve en sonunda atmosferik bozunma olayları ile sonuçlanan bir metamorfik + hidrotermal alterasyon olaylar dizisi biçiminde, geniş bir spektrum içinde ele almak mümkündür (Ünlü, 1989; Ünlü vd., 1995).

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre, Yellice sahası ofiyolitinde, yörede yer alan granitik kayaçların (Yellice plütону) katettikleri yan kayaçlar üzerinde doğrudan etkilerinin hemen hemen hiç olmadığı saptanmıştır.

Divriği ve Yellice bölgelerinde izlenen granitik kayaçların sokulumunun, okyanusal litosferin kıta üzerine yerleşmesinden sonraki periyotta olduğu düşünüldüğünde, bu koşullarda serpantinleşme olayının büyük bir bölümünün granitik kayaçların sokulumundan önceki evrelerde gerçekleşmiş olması kaçınılmaz görülmektedir.

Divriği demir yatağında granitik kayaçlar, yan kayaçları konumundaki serpantinleşmiş

ultrabazik kayaçları etkilemişler ve bunları hidrotermal alterasyona uğramış serpantinite dönüştürmüşlerdir. Burada hidrotermal konvektif sistem içinde özellikle magmatik sıvılar, meteorik sularla birlikte etkin rol oynamıştır. Magmatik sıvıların en somut kanıtları olarak; Divriği A-Kafa demir yatağında granitik kayaçlarda izlenen plajiyoklazların yerini alan skapolit mineral oluşumları (Bayhan, 1980; Zeck ve Ünlü, 1988a; 1988b; 1991) ile ofiyolitik kayaçlarda piroksenlerin biyotite (flogopite) dönüşümleri (Bayhan, 1980; Ünlü ve Stendal, 1986; 1989a), örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca Hekimhan bölgesindeki Hasançelebi demir yatağında da denizaltı bazik volkanik kayaçların plajiyoklazlarının granitik kayaçların etkileri ile yaygın bir biçimde skapolitleşmiş olmaları, önce deniz suyunun etkisiyle albitleşme evresi: spilitik bazaltların oluşması, daha sonra ise skapolitleşme evresi (Stendal vd., 1995), bu model olguya bir diğer örnek olarak verilebilir.

Buna karşın Yellice sahasında Üst Kretase yaşlı volkanosedimanter istife özgü spilitleşmiş bazik volkanik kayaçlardaki plajiyoklazlar, deniz suyunun etkisiyle yalnızca albitleşmiş (skapolitleşme görülmemekte), ofiyolitik kayaçların klinopiroksenleri ise H₂O etkisiyle uralitleşerek, yalnızca amfibol grubu minerallerine dönüşmüştür (biyotitleşme veya flogopit oluşumları görülmemektedir). Bu durumda Yellice sahasında bazik volkanik ve ofiyolitik kayaçlarda, granitik kayaçlara özgü magmatik sıvıların etkilerinden söz etmek, modeli zorlamaktan başka bir anlam taşımamaktadır.

Bu koşullarda, Yellice sahasındaki ultrabazik kayaçlarda gözlenen ilk evre serpantinleşmelerinin, granitik kayaçların

sokulumundan önceki bir süreçte oluştuğu kolaylıkla söylenebilir. Yani, serpantinleşmelerin büyük bir bölümü granitik kayaç etkilerinden daha yaşlı bir konumdadır. Zira anılan bu serpantinitleşmelerde granitik sıvıların etkileri hemen hemen hiç hissedilememektedir.

Bu tip serpantinleşmiş ve serpantinleşme sonucu manyetit minerallerince zenginleşmiş ultrabazik kütleler, daha sonraki evrede granitik kayaçlar tarafından kesildiklerinde, Divriği A-B Kafa demir yataklarında olduğu biçimde ve granitik kayaçların oluşturdukları hidrotermal konvektif sistemlerin etkisiyle, zengin (yüksek tenörlü) manyetit yatak oluşumlarına neden olabilmektedir.

Bu bağlamda, Yellice sahası ve geniş çevresinde gözlenen manyetik anomalilere yönelik sahalardaki serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar, derinlerde granitik kayaçlar tarafından kesildiklerinde, Divriği tip yüksek tenörlü, manyetitçe zengin örtülü potansiyel yatakların bulunması (keşfedilmesi) açısından hedef bölge olarak büyük önem taşımaktadır.

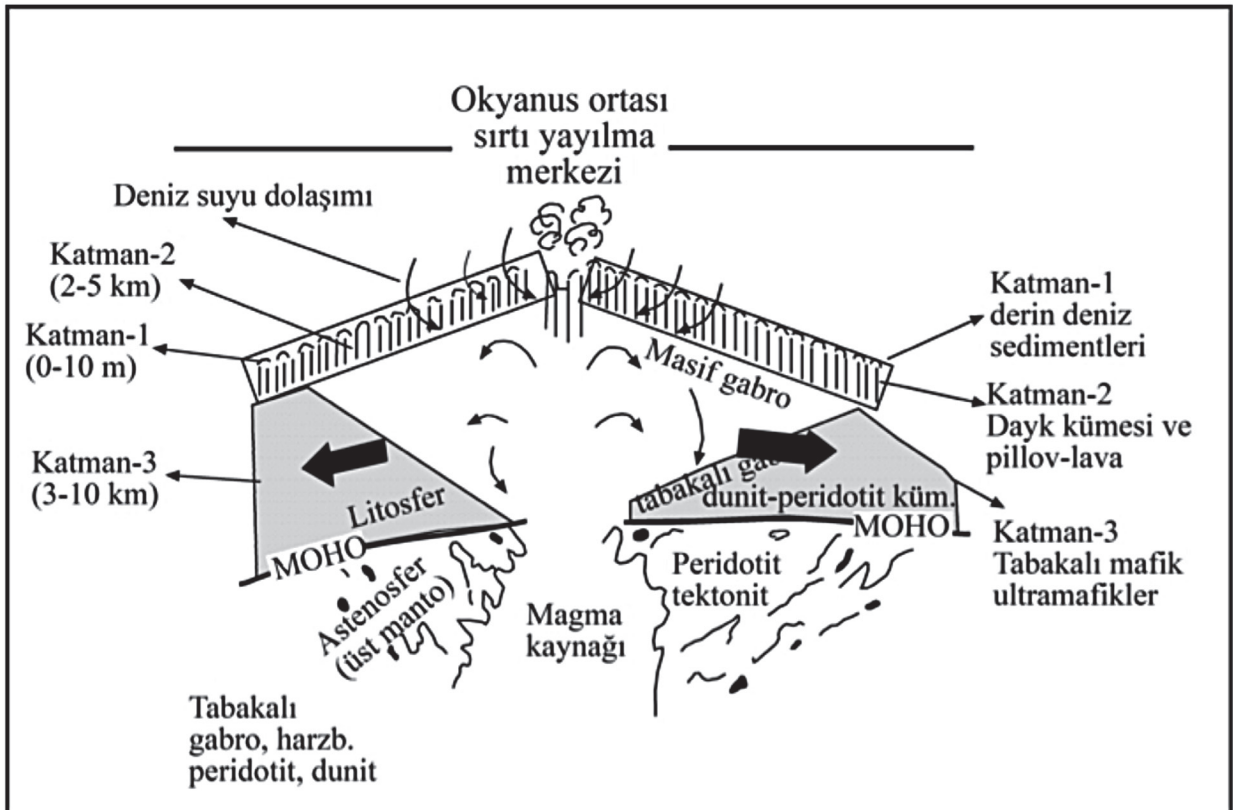
Bu çalışma ile, Yellice manyetit oluşumlarının, Divriği demir yataklarının oluşumundan bir önceki oluşum evresini karakterize ettiği görüşü (Ünlü, 1989) ağırlık kazanmaktadır.

YORUM

Çalışma alanında yüzeyleyen bazalt, spilitik bazalt ve volkanosedimanter kayaçlarda (volkanik breş/volkanik tüf) mineraloji ve petrografi çalışmaları sonucunda; anortit-albit dönüşümleri, kuvars, kalsit, kaolinit, illit, ojit, klorit, olivin ve lizardit mineralleri belirlenmiştir.

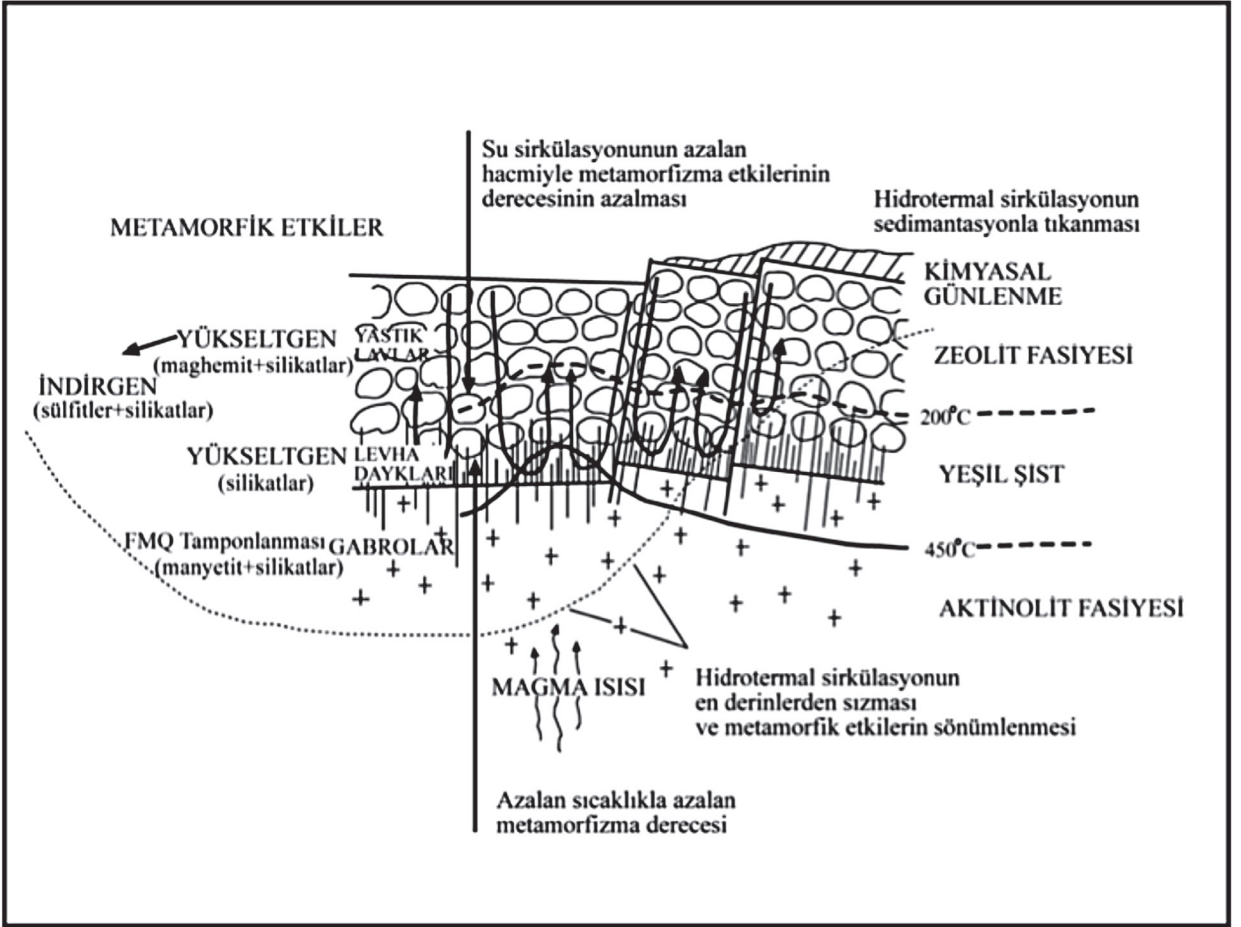
Bu parajenez, okyanusal kabuğun sırt kenar bölgelerinde meydana gelen metamorfizmalar modeline göre (Stern ve Elthon, 1979), Katman-3'ün bir bölümünü de içerecek biçimde (Şekil

23) lav-çökel istifinin deniz suyu ile olan tepkimeleri sonucu ortaya çıkan "okyanus tabanı metamorfizması" mineral birlikteliği ile uyum içerisindedir (Şekil 24).



Şekil 23. Okyanus sırtlarında okyanus kabuğunun oluşumunun kesiti (Guilbert ve Park, 1986).

Figure 23. Cross section of the formation of the oceanic crust in the oceanic ridges (Guilbert and Park, 1986).



Şekil 24. Okyanus sırt kenar bölgelerindeki metamorfizma modeli (Stern ve Elthon, 1979).

Figure 24. Model of metamorphism in the vicinities of the ridge crests (Stern and Elthon, 1979).

Mineraloji ve petrografi çalışmaları sonucunda serpantinlerde ise birbirinden farklı iki mineral birlikteliği ortaya çıkmıştır. Birinci birliktelik; krizotil, lizardit, diyopsit, ojit-diyopsit, tremolit-aktinolit, kalsit, kuvars, kromit, manyetit, olivin ve talk minerallerinden oluşmaktadır. Yaklaşık 350–400 C°'ye kadar olan sıcaklık koşullarını karakterize eden (Coleman, 1977; Özkan, 1983; 1984) bu parajenez, yukarıda sunulan modelde de gösterildiği biçimde, okyanus tabanı metamorfizması (hidrotermal metamorfizma) (Coleman, 1977) koşullarına

işaret etmektedir. Bu model içinde serpantinleşme olayı, doğrudan okyanus suyunun deniz tabanında okyanusal kabuk içerisinde oluşturduğu su sirkülasyonlarının etkileri ile kolaylıkla açıklanabilmektedir. Serpantinlerde karşılaşılan ikinci mineral birlikteliği ise, antigorit, talk, manyetit, manyezit ve klorit minerallerinden oluşmaktadır. Bu birliktelik, yaklaşık 400 – 500 C° veya daha yüksek olan sıcaklık koşullarına işaret etmektedir (Coleman, 1977; Winkler, 1979; Özkan, 1983; 1984; Dymek vd., 1988; Iyer vd., 2008). Krizotil ve lizarditler düşük sıcaklık

serpantin mineralleri olarak, tipik biçimde orta-yeşilist fasiyesi altındaki metamorfizma derecelerinde görülmektedir. Buna karşılık antigorit minerali, tipik yeşilist/mavişist ve düşük-amfibolit fasiyesi serpantin minerallerini karakterize etmektedir (Bucher ve Frey, 2002). Bu durumda ise, serpantinleşme olayının ilk evrelerinin, ultramafik kümülatları oluşturan magmanın kendi hidrotermal eriyiklerinin etkileri ile başlamış olabileceğini söylemek (Guilbert ve Park, 1986; Özkan, 1983; 1984) olasıdır. Aynı zamanda MOHO'nun altındaki mantoya derin faylar ve makaslama zonları boyunca ulaşan herhangi bir suyun etkisinden bahsederek, serpantinleşmenin bir bölümünü mantonun kendi içerisinde yorumlamak da (Bucher ve Frey, 2002) mümkündür.

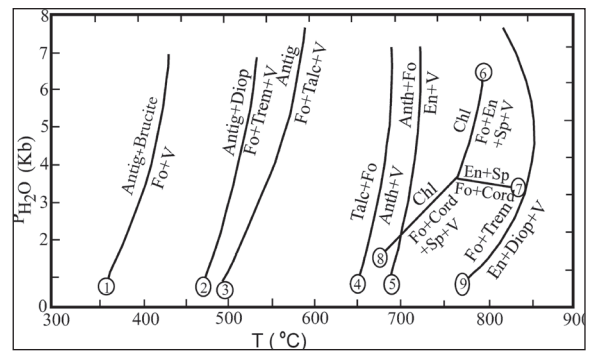
Yellice sahası serpantinlerinde saptanmış bulunan talk ve antigorit mineral birlikteliği, serpantinleşme sürecinin yüksek sıcaklıklarda (~ 500 C°) başlamış olabileceğine (Şekil 25) ilişkin (Karipi vd., 2007) özgün sonucu desteklemektedir.

Bu bağlamda serpantinleşme olayı evriminin, ultramafik kayaçları oluşturan magmanın hidrotermal evredeki etkileri ile başlayan ve okyanus tabanı metamorfizması (hidrotermal metamorfizma) ile devam eden, geniş bir süreci kapsadığı düşünülmektedir.

Laskou vd. (1996), Yunanistan ve Bulgaristan ofiyolitlerinde yapmış oldukları mineraloji - jeokimya ağırlıklı çalışmalarında aşağıdaki özgün sonuca ulaşmışlardır:

“Kromitler ($T > 1300$ C°) \rightarrow Cr-Ni içeren manyetitler ($T = 750 - 700$ C° ve $P > 2$ kbar) \rightarrow ferroferrikromspineller ($T = ?$, fakat < 700 C° ve > 300 C°) \rightarrow manyetitler ($T = \sim 350 - 300$ C°)“.

Yellice sahasında bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, yukarıda bahsedilen çalışmada sunulmuş olan mineralojik bulgular ve Bayhan (1980) ve Ünlü vd. (1995)'in çalışmalarındaki bulgular büyük bir uyum içerisindedir.



Şekil 25. Ultramafik metamorfik kayaçların yorumlanmasında kullanılan Mg-Si-Ca-O-H sistemindeki reaksiyonları gösteren PH₂O -T diyagramı, Antig: Antigorit, Fo: Forsterit, V: Su/Buhar, Diop: Diyopsit, Trem: Tremolit, En: Enstatit, Chl: Klorit, Cord: Kordiyerit, Sp: Serpantin (Dymek vd., 1988).

Figure 25. PH₂O -T diagram showing the locations of reactions relevant to the interpretation of ultramafic metamorphic rocks, Antig: Antigorite, Fo: Forsterite, V: Water/Vapor, Diop: Diopside, Trem: Tremolite, En: Enstatite, Chl: Chlorite, Cord: Cordierite, Sp: Serpentine (Dymek et al., 1988).

Yellice sahasındaki cevherleşmelerin ilk safhası, primer minerallerle belirginleşen likid magmatik faz ile karakterize edilir. Bu faz, üst manto koşullarında oluşmuş birincil minerallerce temsil edilir. Bunlar ultrabazik kayaçlar içindeki Ni-, Co-, Cu- ve Fe- sülfid mineralizasyonları ve manyetit ile kromit disseminasyonları biçiminde görülür. Yellice sahasında gözlenen bu birincil oluşumlu likid magmatik kökenli cevherleşmelere

(Bayhan, 1980; Ünlü vd., 1995), Yunanistan ve Bulgaristan ofiyolitlerindeki manyetitler ve yandaş mineral birliktelikleri de (Karkanas vd., 1996; Laskou vd., 1996; Karipi vd., 2007) benzer birer örnek olarak gösterilebilir.

Bir sonraki safha olan serpantinleşme evresi, Yellice manyetit yatağının oluşumunda en önemli ana evredir. Burada ultrabazik kayalar içindeki primer kökenli demir içeren silikatlar, demir yatağının oluşumu için esas bileşenlerdir ve bu yüzden bunlar genellikle bu evrede, düşük tenörlü demir cevherlerini oluştururlar. Bu demir minerallerinin zenginleşmesine neden olan olaylar, aşağıdaki model reaksiyonları ile açıklanabilir:

- 1) $7(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})_2\text{SiO}_4$ (forsteritik olivin) + 3 $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})\text{SiO}_3$ (enstatitik piroksen) + 10.57 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ (serpantin) + 0.57 Fe_3O_4 (manyetit) + 0.3 MgO + 0.57 H_2 [Engin ve Hirst, 1970],
- 2) $11\text{Fe}_2\text{HSiO}_4$ (fayalit) + $2\text{SO}_4 = +4\text{H}^+ \rightarrow 7\text{Fe}_3\text{P}_3\text{HSiO}_4$ (manyetit) + FeS_2 (pirit) + 11SiO_2 (kuvars) + $2\text{H}_2\text{O}$ [Spooner ve Fyfe, 1973; Pallister ve Hopson, 1981],
- 3a) $3\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ (fayalit) + $\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4$ (manyetit) + $3\text{SiO}_{2\text{aq}}$
- 3b) $3\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ (forsterit) + $\text{SiO}_{2\text{aq}} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (krizotil) [Bucher ve Frey, 2002],
- 4) $\text{Fe}_{2\text{II}}\text{SiO}_4$ (fayalit) + $\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_{2\text{III}}\text{O}_3$ (hematit) + $\frac{1}{2}(\text{SiO}_2)_{\text{kati}}$ (kuvars) + $\frac{1}{2}(\text{SiO}_2)_{\text{çözelti}}$ [Spooner ve Fyfe, 1973],
- 5) $6[(\text{Mg}_{1.5}\text{Fe}_{0.5})\text{SiO}_4]$ (olivin) + $7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ (serpantin) + Fe_3O_4

(manyetit) + H_2 [Ramdohr, 1967; Genç, 1992],

- 6) $2[(\text{Mg}\cdot\text{Fe}_{\text{II}})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ (serpantin) + $\text{X}(\text{Fe}_{\text{II}}\cdot\text{Mg})\text{Fe}_{2\text{III}}\text{O}_4$ (manyetit I) + $3\text{CO}_2 \rightarrow (\text{Mg}\cdot\text{Fe}_{\text{II}})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$ (talk) + $3(\text{Mg}\cdot\text{Fe}_{\text{II}})\text{CO}_3$ (manyetit) + $\text{Y}(\text{Fe}_{\text{II}}\cdot\text{Mg})\text{Fe}_{2\text{III}}\text{O}_4$ (manyetit II) + H_2O [Chidester, 1962; Genç, 1992].

Manyetit ve serpantin minerallerinin CO_2 ile birlikte oldukları ortamlardaki karbonatlaşmalar ve silisleşmeler ise, aşağıdaki reaksiyon ile ifade edilebilir:

- 7) $(\text{Mg}_1 - (\text{x} + \text{y}) \cdot \text{Fe}_x \cdot \text{Ni}_y)_3(\text{OH})_4(\text{Si}_2\text{O}_5)$ (serpantin) + $\text{X}(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ (manyetit I) + $\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{SiO}_2$ (kuvars) + $2(\text{Mg}_1 - (\text{x} - \text{z}) \cdot \text{Fe}(\text{x} - \text{z}))\text{CO}_3$ (manyetit) + $\text{Y}[(\text{Fe}_z\cdot\text{Ni}_y)_3\text{O}_4]$ (manyetit II) + $3\text{H}_2\text{O} + \text{Mg}$ [Genç, 1992].

Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen bulgulara ve literatür çalışmalarına dayanarak, Yellice sahasındaki ultrabazik kayaların serpantinleşmesi sonucunda, yukarıda sunulan 1, 2, 3a ve 5 numaralı reaksiyonlara göre manyetit ve pirit mineralinin, 4 numaralı reaksiyona göre ise hematit mineralinin ortaya çıktığı, 6 numaralı reaksiyon sonucunda daha genç oluşumlu manyetit jenerasyonunun ve 7 numaralı reaksiyon sonucunda ise bu genç oluşumlu manyetit jenerasyonuna eşlik eden karbonatlaşma ve silisleşmelerin geliştiği tepkimelerin gerçekleşebileceği söylenebilir.

SONUÇLAR

- 1) Çalışma sahasında temeli, Munzur kireçtaşları oluşturur. Maastrichtiyen öncesi yerleşim yaşlı ofiyolitik kayaçlar kireçtaşlarını üzerler. Post-tektonik havza çökelleri olarak, Saya formasyonu ve Sincan grubuna özgü litolojiler ile Yamadağ volkanitleri sahada yüzeyler. Yellice plütouna özgü granitik kayaçlar ise, Saya formasyonu litolojileri ile intrüzif ilişkili konumludur.
- 2) Ofiyolitik kayaçlar yoğun biçimde harzburjit, lertzolit ve verlitler ile temsil edilen peridotitler, klinopiroksenitler ile temsil edilen piroksenitler ve serpantinlerden oluşmuştur.
- 3) Özellikle serpantinler içerisinde saptanmış bulunan talk ve antigorit mineral birlikteliği, serpantinleşme sürecinin başlangıç evrelerindeki yüksek sıcaklıklara işaret etmektedir.
- 4) Yellice sahasında serpantinler içerisinde gözlenen birincil cevher mineralleri, likid magmatik evreyi karakterize eden kromit, manyetit, makinavit kurtçukları içeren pentlandit, pirotin, kübanit lamelleri içeren kalkopirit ve pirit disseminasyonlarından oluşmaktadır. Kromit, manyetit ve sülfür birlikteliğinden oluşan bu birincil parajeneze, bir sonraki evreyi karakterize eden serpantinleşme olayı ile ferromagnezyen minerallerden yoğun biçimde açığa çıkan demir elementinin oluşturduğu ikincil manyetit oluşumları ve daha az oranlardaki piritler ile silikat mineralleri eşlik eder.
- 5) Çalışma sahasındaki ofiyolite özgü serpantinleşmiş ultramafik kayaçların, gerek

kayaç örneklerinde yapılan mikroskobik çalışmalarla, gerek cevher minerallerinde yapılan cevher mikroskobisi çalışmalarıyla (özellikle kromit minerallerinin doku ve yapılarına dayanılarak) ve gerekse saha çalışmalarındaki gözlemlerle, okyanusal litosferin ultramafik kümülat bölümünü (dilimini) karakterize ettiği saptanmıştır. Çalışma sahasının dışında kuzey ve kuzeydoğuya doğru ise, bu istifin ardalımalı biçimde bantlı gabrolara geçiş gösterdiği gözlenmiştir.

- 6) Serpantinler içerisinde merccek şeklinde konumlanan ve ana bileşeni manyetit olan cevherin; ortalama Fe_3O_4 tenörü % 18 - 20 arasında değişmekte olup, 125 milyon ton görünür+olası (muhtemel) rezerv saptanmıştır.
- 7) Saya formasyonuna özgü volkanosedimanter kayaçların bazik volkanitlerinde yapılan jeokimyasal çalışmalar, bu volkanitlerin kökeninin kıtasal ortamlarda gelişen riftleşme ile ilişkili olduğuna (levha içi bazaltları) işaret etmektedir. Bazik volkanik kayaçlarda gözlenen plajiyoklazların, deniz suyunun etkisiyle albitleştikleri, ancak skapolitleşmeye uğramamış oldukları saptanmıştır. Ultramafik kayaçlarda rastlanan piroksenlerin yalnızca bir kısmının uralitleşerek aktinolitlere dönüşmesine karşın, biyotitleşerek flogopitlere dönüşmedikleri de gözlenmiştir. Bu durum bölgede yer alan Yellice plütoununun bu kayaçlar üzerindeki sodik ve potasik alterasyonunun etkili olmadığını ve/veya kırık zonlarındaki çok dar

Öztürk, Ünlü ve Sayılı

alanlarda etkilerinin ancak hissedildiğini göstermektedir.

- 8) Serpantinleşmiş ultramafik kayalar genelde ortalama; % 20.34 toplam Fe_2O_3 , % 31.99 SiO_2 , % 0.18 K_2O , % 0.08 Na_2O , % 0.26 MnO , % 33.19 MgO , % 1.08 CaO , % 0.14 Al_2O_3 , % 10.49 ateşte kayıp ile 163 ppm TiO_2 , 5678 ppm Cr_2O_3 , 1772 ppm Ni, 191.7 ppm Co ve 280 ppm V_2O_5 içermektedir.
- 9) Tüm örneklerde yapılan jeokimyasal analizlerin jeostatistik yöntemlerle değerlendirilmesi sonucunda, demir elementinin serpantinleşmiş ultramafik kayalarla ilgili element kümesi içerisinde yer aldığı saptanmıştır.
- 10) Demir oluşumunun ilk evrelerinin ultramafik kayalar içerisinde likid magmatik evre ile ilişkili saçılmış (dissemine) tipte gelişerek başladığı, daha sonra ise ultramafik kayalardaki ferromagnezen minerallerin (olivin ve piroksen gibi) serpantinleşmeleri ile açığa çıkan demir elementinin oluşturduğu minerallerle yoğunluk kazandığı tezi, bu çalışma ile ortaya konmuştur. Bu bağlamda, Yellice manyetit oluşumlarının, Divriği demir yataklarının oluşumundan bir önceki oluşum evresini karakterize ettiği varsayımı ağırlık kazanmaktadır.
- 11) Yellicesahası ve çevresinde daha önce yapılan çalışmalarda birçok manyetik anomalinin saptanmış olması, bu anomalilerin Yellice tipi demir oluşumları ile özdeşleştirilmeleri ve bu tip oluşumların daha sonraki evrede Divriği demir yataklarında olduğu gibi granitik kayalarla katedilmeleri sonucu demirce zengin cevherleşmelerin oluşabilme olasılığı, derinlerde örtülü konumlarda olan

ve henüz saptanmamış bulunan yeni demir yatak ve zuhurlarının bölgede bulunabilme olasılığını gündeme taşımaktadır. Bu tür oluşumların Ni elementince de zengin olmaları, ekonomik jeoloji açısından beklentilerin önemini bir kez daha etkin kılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1. Yazarın, 2. ve 3. yazarların denetiminde, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmış olduğu yüksek lisans tezinin bir özettir. Yazarlar, makaleyi okuyarak değerli eleştirileri yapan ve tez çalışmasının çeşitli aşamalarında katkıları bulunan Cem Saraç (H.Ü.) ile aynı zamanda jeokimyasal analizlerin büyük bölümünü yapan Y. Kağan Kadioğlu'na (A.Ü.) müteşekkirdir. Ayrıca saha çalışmalarındaki katkıları nedeniyle Deniz Tringa'ya, İlhan Odabaşı'na, Bülent Ateşçi'ye (MTA) ve Sinan Akıska'ya (A.Ü.) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- ASTM, 1972. Inorganic index to the powder diffraction file. Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Pennsylvania, 1432 p.
- Bayhan, H., 1980. Güneş-Soğucak (Divriği/Sivas) yöresinin jeolojik, mineralojik, petrografik-petrolojik ve metalojenik incelemesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 206 s (yayımlanmamış).
- Bayhan, H., Baysal, O., 1981. Güneş-Soğucak (Divriği/Sivas) yöresindeki sülfür cevherleşmelerinin mineralojik ve genetik incelenmesi. Yerbilimleri, 8, 41 - 52.

- Bayhan, H., Baysal, O., 1982. Güneş-Soğucak (Divriği/Sivas) yöresinin petrografik-petrolojik incelemesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 1 - 13.
- Bucher, K., Frey, M., 2002. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer-Verlag, New York, 341 p.
- Chidester, A. H., 1962. Petrology and geochemistry of selected talc-bearing ultramafic rocks and adjacent country rocks in North-Central Vermont. Geological Survey Professional Paper (United States), 345, 1-205.
- Coleman, R. G., 1977. Ophiolites. Springer-Verlag, Berlin, 229 p.
- Çağatay, A., 1974. Makinavit minerali içeren Kangal-Yellice karot numunelerinin maden mikroskobisi etüdü. MTA Dergisi, 84, 62-72.
- Çelebi, A., 1998. İç-Doğu Anadolu demir provensindeki karakteristik cevherleşmeler. Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu (Editörler: Boztuğ, Özer ve Otlu), Cumhuriyet Üniversitesi Matbaası, Sivas, 114-129.
- Çoban, A., 1974. Sivas ili Çetinkaya-Yellice yöresi ayrıntılı demir aramaları ön jeolojik raporu. MTA Rapor No: 171, 12 s (yayımlanmamış).
- Demirela, G., Kuşçu, İ., Yılmaz, E., Saraç, C., 2005. Orta Anadolu Bölgesinde yer alan Fe-skarn granitoidlerinin temel jeokimyasal özellikleri. Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi Madencilik ve Mevcut Sorunları Sempozyumu (Editörler: Öztürk, Kahriman ve Haniççi), Bakanlar Matbaacılık, İstanbul, 141-163.
- Doğan, H., 1998. Divriği tipi demir yataklarının oluşumuna yönelik görüşler. Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu (Editörler: Boztuğ, Özer ve Otlu), Cumhuriyet Üniversitesi Matbaası, Sivas, 148-161.
- Dymek, R.F., Brothers, S.C., Schiffries, M.C., 1988. Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland. Journal of Petrology, 29, Vol. 6, 1353-1397.
- Engin, T., Hirst, D.M., 1970. The Alpine chrome ores of the Andızlık-Zımparalık area, Fethiye, SW Turkey. Mineralogical Magazine, 38, 76-82.
- Erlor, A., Bayhan, H., 1995. Anadolu granitoidlerinin genel değerlendirilmesi ve sorunları. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 17, 49-67.
- Ferraro, J.R., Nakamoto, K., Brown, C.W., 2003. Introductory Raman Spectroscopy. Academic Press, San Diego, CA, 434 p.
- Genç, Y., 1992. Mineralogisch-petrographische, geologische und geochemische Untersuchung des quecksilbervorkommens von Narman-Erzurum (Türkei). Ruprecht-Karls Üniversitesi, Heidelberg (Almanya), Doktora Tezi, Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen, 54, 239 s.
- Guilbert, J.M., Park, C.F.J., 1986. Deposits related to intermediate to felsic intrusions-Cordilleran vein type deposits. The Geology of Ore Deposits (Editor: Guilbert), W.H. Freeman and Company, New York, 465-487.
- Gültekin, A.S., 1993. Alacahan-Çetinkaya-Divriği (Sivas ili) arasında kalan alanın jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 183 s (yayımlanmamış).

- Gümüş, A., 1979. Nouvelles Observations sur la Genese du Gisement de Ferde Divriği (Sivas-Turquie). *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, 3, 347-355.
- Gümüş, A., 1998. Divriği demir yatağının jenezi hakkında yeni görüşler. Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu (Editörler: Boztuğ, Özer ve Otlı), Cumhuriyet Üniversitesi Matbaası, Sivas, 106-113.
- 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. MTA Rapor No: 700, 6 s (yayımlanmamış).
- Hutchison, R.D., Lucarelli, L.B., Hortman, R.R., 1962. Türkiye'nin müntehas sahalarında maden kaynaklarının kıymetlendirilmesi hakkında havadan istikşaf programı, Cilt 3- Orta Anadolu Bölgesi. MTA Enstitüsü Yayın No: 110, 118 s.
- Işık, M.A., 1998. Divriği yöresinde magmatizma-metamorfizma ve cevherleşme. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 218 s (yayımlanmamış).
- Iyer, K., Austrheim, H., John, T., Jamtveit, B., 2008. Serpentinization of the oceanic lithosphere and some geochemical consequences: constraints from the Leka ophiolite complex, Norway. *Chemical Geology*, 249, 66-90.
- İzdar, E.K., Ünlü, T., 1985. Hekimhan-Hasancelebi-Kuluncak bölgesinin jeolojisi. Ege Bölgeleri Jeolojisi VI. Kollojyumu (Editörler: İzdar ve Nakoman), Piri Reis International Contribution Series Publication, İzmir, 303-329.
- Karipi, S., Tsikouras, B., Hatzipanagiotou, K., Grammatikopoulos, T.A., 2007. Petrogenetic significance of spinel-group minerals from the ultramafic rocks of the Iti and Kallidromon ophiolites (Central Greece). *Lithos*, 99, 136-149.
- Karkanas, P., Laskou, M., Economou, M., Zhelyaskova-Panayotova, M., 1996. Amphibolite dikes within the Zidani asbestos mine, northern Greece, and their significance. *Ofioliti*, 21 (2), 117-123.
- Klemm, D.D., 1960. Die Eisenerzvorkommen von Divrik (Anatolien) als beispiel tektonisch angelegter pneumatolytisch-metasomatischer Lagerstaettenbildung. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 94 (Festband Ramdohr), 591-607.
- 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. MTA Rapor No: 485, 59 s (yayımlanmamış).
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E., Demirela, G., 2002. Sivas-Divriği bölgesi skarn tipi demir oksit yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) perspektifinden yeni bir bakış. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 45 (2), 33-46.
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E., Demirela, G., Gökçe, H., 2005. Orta ve Batı Anadolu'daki bazı «skarn tipi» Fe-Oksit yataklarının Fe-Oksit-Cu-Au (DOBA) potansiyeli. *Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi Madenciligi ve Mevcut Sorunları Sempozyumu* (Editörler: Öztürk, Kahrıman ve Hanilçi), Bakanlar Matbaacılık, İstanbul, 179-204.
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E., Demirela, G., Gençalioglu, G., Güleç, N., 2010. Iron oxide- (copper±gold) mineralisation in the Turkish Tethyan collage.

- Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective (Editor: Porter), GeoConsultancy Pty. Publishing, 4, Adelaide (South Australia), 573-600.
- Laskou, M., Economou, M., Zhelyazkova-Panayotova, M., Eliopoulos, D., 1996. Mineralogical and geochemical characteristics of magnetites from ophiolites of Greece and Bulgaria. Plate Tectonic Aspects of the Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region Symposium (Editor: Popov), 2, Sofia, 211-221.
- Marschik, R., Spikings, R., Kuşçu, İ., 2008. Geochronology and stable isotope signature of alteration related to hydrothermal magnetite ores in Central Anatolia, Turkey. Mineralium Deposita, 43, 111-124.
- Maslennikov, V.V., 2011. Kişisel görüşme. Institute of Mineralogy, Russia Academy of Science, Ural Division of the Russian Academy of Sciences.
- McMillan, P., 1989. Raman spectroscopy in mineralogy and geochemistry. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 17, 255-283.
- Meschede, M., 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, 56, 207-218.
- Özdemir, C., 1971. Kangal-Yellice 1/10 000 ölçekli detay jeoloji raporu. MTA Rapor No: 1053, 6 s (yayımlanmamış).
- Özkan, Y. Z., 1983. Caferi volkanitinin kökeni sorununa jeokimyasal bir yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 4, 53-58.
- Özkan, Y. Z., 1984. Guleman (Elazığ) ofiyolitinin yapısal incelemesi. MTA Dergisi, 97/98, 78-85.
- Öztürk, H., 1998. Divriği bölgesi demir yataklarının yan kayaç ilişkileri. Ofiyolit-Granitoid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu (Editörler: Boztuğ, Özer ve Otlu), Cumhuriyet Üniversitesi Matbaası, Sivas, 162-167.
- Öztürk, C., 2011. Sivas, Çetinkaya-Yellice manyetit oluşumlarının maden jeolojisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, 265 s (yayımlanmamış).
- Öztürk, C., Ünlü, T., Sayılı, İ.S., 2011. Mineralogy and geochemistry of the Yellice magnetite occurrences of Sivas-Central Anatolia-Turkey. Goldschmidt Conference, Mineralogical Magazine, 75, Prag, 1583.
- Pallister, J.S., Hopson, C.A., 1981. Semail ophiolite plutonic suite: field relations, phase variation, cryptic variation and layering, and a model of a spreading ridge magma chamber. Journal of Geophysical Research, 86, 593-644.
- Pearce, A., Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. Contributions to Mineralogy and Petrology, 69, 33-47.
- Ramdohr, P., 1967. A widespread mineral association, connected with serpentinization. Neues Jahrbuch für Mineralogie, 107, 241-265.
- Revan, M.K., 2010. Doğu Karadeniz bölgesi volkanojenik masif sülfid yataklarının tip özelliklerinin belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 206 s (yayımlanmamış).
- Sawkins, F.J., 1984. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics (Minerals and Rocks), (2nd edition). Springer-Verlag, New York, 460 p.

- Schroll, E., 1976. Analytische Geochemie. Band I, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 292 p.
- Spooner, E.T.C., Fyfe, W.S., 1973. Sub-seafloor metamorphism, heat and mass transfer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 42, 287-304.
- Stendal, H., Ünlü, T., Konnerup-Madsen, J., 1995. Geological setting of iron deposits of Hekimhan Province, Malatya, Central Anatolia, Turkey. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (section B - applied Earth Science), 104, 46-54.
- Stern, C. R., Elthon, D., 1979. Vertical variations in the effects of hydrothermal metamorphism in the Chilean ophiolites: their implications for ocean floor metamorphism. Tectonophysics, 55 (1-2), 179-213.
- Tokel, S., Köprübaşı, N., Uysal, İ., Van, A., 2011. Occurrences and genesis of Fe-skarn in relation to tectonic environment in E-NE Anatolia: geochemical consideration. Neues Jahrbuch Mineralogie, 188/2, Stuttgart, 141-149.
- Ünlü, T., 1983a. Sivas, Divriği-Akdağ, Gürün - Otlukilise, Erzincan, Kemaliye Bizmişen-Çaltı Kurudere ve Adıyaman Çelikhan Bulam demir yatakları hakkında görüşler. MTA Maden Etüd Dairesi Rapor No: 1901, 20 s (yayımlanmamış).
- Ünlü, T., 1983b. Die Genese der Siderit - Lagerstätte Deveci in der Hekimhan - Provinz Malatya/Turkei und ihre wirtschaftliche Bewertung. Berlin Teknik Üniversitesi, Almanya, Doktora Tezi, 84 s (yayımlanmamış).
- Ünlü, T., Stendall, H., 1986. Divriği bölgesi demir yataklarının element korelasyonu ve jeokimyası, Orta Anadolu, Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28, 127-140.
- Ünlü, T., 1989. Türkiye demir yatakları arama çalışmalarında 1. derecede ağırlıklı hedef saha seçimi ve maden jeolojisi araştırmaları ile ilgili proje teklifi. MTA Rapor No: 8593, 48 s (yayımlanmamış).
- Ünlü, T., Stendal, H., 1989a. Divriği bölgesi demir cevheri yataklarının nadir toprak element (REE) jeokimyası, Orta Anadolu, Türkiye. Türkiye Jeoloji Bülteni, 32, 21-37.
- Ünlü, T., Stendal, H., 1989b. Jeokimya verilerinin çok değişkenli jeostatistik analizlerle değerlendirilmesine bir örnek: Divriği bölgesi demir yatakları, Orta Anadolu. MTA Dergisi, 112, 103-115.
- Ünlü, T., 1991. Türkiye Demir Çelik İşletmeleri - Ankara Üniversitesi Divriği çevresi demir aramaları projesi. MTA Derleme No: 10139, 13 s (yayımlanmamış).
- Ünlü, T., Stendal, H., Makovicky, E., Sayılı, İ.S., 1995. Divriği (Sivas) demir yatağının kökeni, Orta Anadolu, Türkiye - bir cevher mikroskopisi çalışması. MTA Dergisi, 117, 17-28.
- Wijkerslooth, P. D.E., 1939. Demirdağ (Divrik) demir yatakları hakkında jeolojik rapor. MTA Rapor No: 803, 12 s (yayımlanmamış).
- Winkler, H.G.F., 1979. Petrogenesis of Metamorphic Rocks (fifth edition). Springer-Verlag, New York, 348 p.
- Yılmaz, S., Boztuğ, D., Öztürk, A., 1993. Geological setting, petrographic and geochemical characteristics of the Cretaceous and Tertiary igneous rocks in the Hekimhan-Hasançelebi

- area, north-west Malatya, Turkey. Geological Journal, 28, 383-398.
- Yılmaz, H., Yılmaz, A., Yıldırım, A., Dumanlılar, Ö., 2005. Divriği (Sivas)-Hekimhan (Malatya) dolayındaki demir yataklarının bölgesel jeolojik konumları. Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu (Editörler: Öztürk, Kahriman ve Hanılçı), Bakanlar Matbaacılık, İstanbul, 46-73.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., 2006. Characteristic features and structural evolution of a post-collisional basin: The Sivas basin, Central Anatolia, Turkey. Journal of Earth Science, 27, 164-176.
- Yılmaz, E., Kuşçu, İ., Demirela, G., 2002. Divriği A-B Kafa cevherleşmeleri, alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 320-321.
- Yılmaz, E., Kuşçu, İ., Demirela, G., 2003. Divriği A-B Kafa cevherleşmeleri, alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 46 (1), 17-34.
- Zeck, H. P., 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., Ünlü, T., 1988b. Murmano plütünü'nün yaşı ve ofiyolitle olan ilişkisi (Divriği-Sivas). MTA Dergisi, 108, 82-97.
- Zeck, H. P., Ünlü, T., 1991. Orta Anadolu'nun doğusunda yer alan şoşonitik, monzonitik Murmano plütünü-ön çalışma. MTA Dergisi, 112, 103-115.