

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

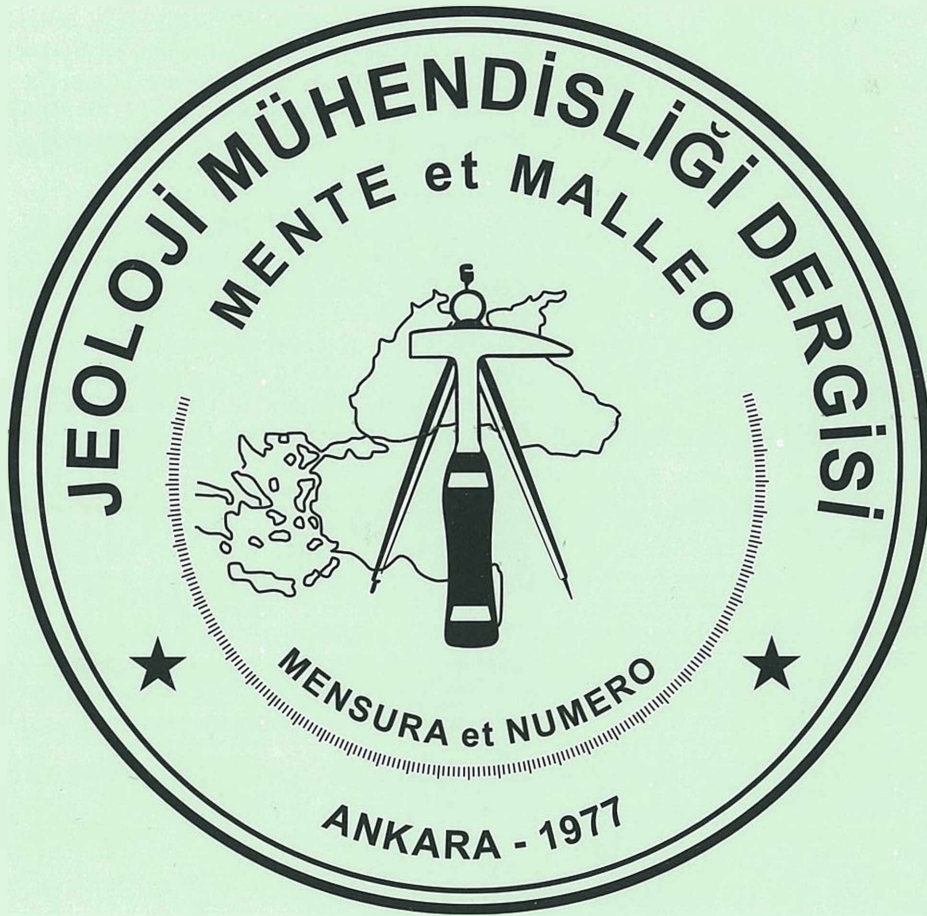
Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 36

Sayı - Number 2

ISSN 1016 - 9172

Aralık / December 2012



TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

EDİTÖR

Tamer TOPAL
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
06800, Ankara
Tel : 0 312 210 26 90
Faks: 0 312 210 57 50
E-Posta: topal@metu.edu.tr

TEKNİK EDİTÖR

Yavuz KAYA
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
Hatay Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara
Tel : 0 312 434 36 01
Fax : 0 312 434 23 88
E-Posta : jmo@jmo.org.tr

Baskı : Afşaroğlu Matbaası
Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı
No: 87/7 İskitler / Ankara
Tel: 0 312 384 54 88

Yayın Kurulu / Editorial Board

Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)
Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)
Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)
Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)
Vedat DOYURAN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Üniversitesi)
Nusret EMEKLİ (İller Bankası)
Yavuz ERGİNTAV (Karayolları Genel Müdürlüğü)
Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Fikret KAÇAROĞLU (Muğla Üniversitesi)
Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)
Nurkan KARAHANOGU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Muazzez Çelik KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)
K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)
Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)
Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)
Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)
İlkay KUŞÇU (Muğla Üniversitesi)
Mahmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Cengiz SOYLU (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)
Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)
Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi)
Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Asuman TÜRKMEENOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)
Namık YALÇIN (İstanbul Üniversitesi)
Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)
Işık YILMAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)
Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özlere
SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts ve EBSCO
uluslararası indeksleri tarafından taranmaktadır.

*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by
SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts and EBSCO*

Jeoloji Mühendisleri Odası Chamber of Geological Engineers Yönetim Kurulu / Executive Board

DÜNDAR ÇAĞLAN
HÜSEYİN ALAN
HALİL İBRAHİM YİĞİT
FARUK İLGÜN
ARZU ÇAĞLAYAN
ÖZCAN DUMANLILAR
ÜMİT UZUNHASANOĞLU

Başkan / President
İkinci Başkan / Vice President
Sayman / Treasurer
Yazman / Secretary
Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Yayın Üyesi / Member of Publication
Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

İçindekiler / Contents

Araştırma Makaleleri / Research Articles

75- **Levent SELÇUK, Harun AYDIN**

Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Zeminlerin Kuvvetli Yer Hareketine Etkisi: 2011 Van Depremleri

The Effect of Quaternary Alluvium on Strong Ground Motion: 2011 Van Earthquakes

99- **Gülten YAYLALI-ABANUZ, Necati TÜYSÜZ**

Çayeli Bakır Yatağı Çevresindeki Toprak ve Bitkilerde Mevsimsel Değişimlerin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi

Application of Statistical Methods to Determine Seasonal Variations of Metals in Soils and Plants Around A Copper Deposit in Çayeli, Turkey

115- **Koray ULAMIŞ, Horng Jyh YANG, Gary NORRIS**

Anizotropik Yükleme Koşullarında Eksenel Deformasyon İle Sıvılaşma İlişkisi)

Relationship Between Axial Strain and Liquefaction under Anisotropic Loading Conditions

125- **Ceyda ÖZTÜRK, Taner ÜNLÜ, İ. Sönmez SAYILI**

Yellice (Çetinkaya-Sivas) Manyetit Oluşumlarının Maden Jeolojisi

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

Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Zeminlerin Kuvvetli Yer Hareketine Etkisi: 2011 Van Depremleri

The Effect of Quaternary Alluvium on Strong Ground Motion: 2011 Van Earthquakes

Levent SELÇUK¹, Harun AYDIN²

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, VAN

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, VAN

Geliş (received) : 02 Temmuz (July) 2012
Düzeltilme (revised) : 07 Ağustos (August) 2012
Kabul (accepted) : 12 Eylül (September) 2012

ÖZ

23 Ekim (M_w : 7.2) ve 9 Kasım 2011 (M_w : 5.6) Van depremleri sırasında meydana gelen hasar dağılımına bakıldığında, alüvyal zeminler üzerinde bulunan yerleşim alanlarında, yapısal hasarın yüksek olduğu görülmektedir. 9 Kasım 2011 depreminde kaydedilen yer ivmesi değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, söz konusu zeminlerin yer hareketi ve yapısal hasarlar üzerindeki etkisi anlaşılmaktadır. Edremit merkezli depremde travertenler üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri 0.10 g iken, yaklaşık 15 km uzaklıkta alüvyal zemin üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri ise 0.25 g dir. Zeminin yer ivmesi üzerindeki etkisi 2.5 kattır. Bu çalışmada, derinlikleri 10-25 m arasında değişen toplam 81 adet jeoteknik sondaj verisi ile mahalle bazında zeminlerin yanal ve düşey yöndeki dağılımları elde edilmiştir. Alüvyal zeminler üzerinde kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanan zemin büyütme değerlerinin gözlenen yer hareketleri ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Özellikle, hasarın yüksek olduğu mahallelerde, zemin kohezyonsuz, göreceli olarak daha gevşek ve su seviyesi yüzeye daha yakındır. Van ili merkez mahallelerinde gözlenen hasarın büyük bir kısmı ise düşük kalitede malzeme kullanımı ve yönetmeliklere uymayan yapılaşma ile ilişkilidir. Van ili yerleşim alanındaki zemin koşulları dikkate alındığında, gerek depremin tekrarlı yüklerinden gerekse zeminden kaynaklanan deformasyonların (zemin büyütmesi, sıvılaşma vb.) Van ili yerleşim alanında can ve mal kayıplarının artmasına neden olacağı açıktır. Bu nedenle, olası bir depremde zararların en aza indirgenebilmesi için, Van yerleşim yerindeki söz konusu zemin koşullarının dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Hasar dağılımı, Maksimum yer ivmesi, Van, Zemin büyütmesi.

ABSTRACT

The distribution of damaged buildings observed from October 23 and November 9, 2011 Van earthquakes shows that a major portion of damage occurred at settlement areas underlain by alluvial soils. The effect of alluvial soil on strong ground motion and structural damage can be seen by comparing two strong ground motion records of the Van province, earthquake of 09 November 2011 (M_w :5.6). One record at Edremit on travertine bedrock had a peak horizontal acceleration of 0.10 g. The other one, at the city center of Van province, at a distance of 15 km from the epicenter in Quaternary alluvium, had the acceleration value of 0.25 g. The effect of soil on the ground motion is about 2.5. In this study, the lateral and vertical distribution of the soil were obtained using a total of 81 geotechnical borehole data with depths ranging from 10-25 m. Soil amplification values computed at the alluvial site based on measured shear wave velocity show reasonably good agreement with the observed motions. The earthquake damage was determined to be high at local areas of relatively poor soil conditions such as cohesionless and loose soil, high groundwater. In addition to the soil conditions, there is no doubt that the use of low quality materials and low construction technologies have caused higher damage at central districts of Van province. Considering the soil conditions, both ground deformation (soil amplification, liquefaction) and cycling loading will increase the loss of lives and property in the central districts of Van province. Therefore, in order to minimize the possible damage of a potential earthquake, ground conditions should be considered at the Van settlement area.

Key Words: Earthquake, Distribution of damage, Peak ground acceleration, Van, Soil amplification.

GİRİŞ

23 Ekim 2011 tarihinde saat 13:41'de, Van ilinin kuzeyinde, merkez üssü Tabanlı köyünde, moment büyüklüğü (M_w) 7.2 olan ve yaklaşık 25 saniye süren yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir (KOERI, 2011). Van ve çevresinde yer alan yerleşim alanlarında şiddetli bir şekilde hissedilen deprem, Bingöl-Duhok (Kuzey Irak) ile Diyarbakır-Erzurum arasında kalan geniş bir coğrafyada da hissedilmiştir. 1976 Çaldıran (M : 7.3) depreminden sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olan 23 Ekim 2011 depremi, Van ve Erciş başta olmak üzere bölgede bulunan yerleşim yerlerinde toplam 604 kişinin hayatını kaybetmesine, çok sayıda yapının yıkılmasına ve hasar görmesine neden olmuştur. Bu deprem

ülkemizde 1999 İzmit depreminden sonra meydana gelen en etkili depremdir. Depremden sonra büyüklüğü 4.0 ile 5.7 arasında değişen 111 adet artçı sarsıntı kaydedilmiştir (KOERI 2011). 23 Ekim tarihinde meydana gelen depremden yaklaşık 18 gün sonra, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23'te Van ili, Edremit ilçesi yakınlarında, büyüklüğü M_w : 5.6 olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Van ilinde şiddetli hissedilen deprem il genelinde önemli yapısal hasara neden olmuştur. Her iki depremde toplam 644 kişi hayatını kaybetmiştir.

Deprem sonrası meydana gelen hasarın nedenlerini araştırmak için bölgede birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Atsori vd., 2011; Panagiotis, 2011; CEDIM, 2011; METU, 2011a;

METU, 2011b; YTU, 2011; Koçyiğit vd., 2011, Emre vd., 2011, Özkaymak vd., 2011, Ulusay vd., 2012). Bu çalışmalarda, M_w 7.2 büyüklüğündeki depremin özellikleri, meydana getirdiği hasarın nedenleri, yerel zemin şartları ve mühendislik yapılarının karakteristik özellikleri araştırılmıştır.

Van ili yerleşim alanında meydana gelen hasarın büyük bir kısmı 9 Kasım 2011'de Van'ın yaklaşık 12 km güney batısında meydana gelen M_w :5.6 büyüklüğündeki depreme bağlı olarak gelişmiştir. 23 Ekim 2011 M_w :7.2 büyüklüğündeki depremde hasar gören binaların bir kısmı ikinci depremde yıkılırken, hasar görmemiş binaların bir kısmı kullanılamaz hale gelmiş, büyük bir kısmı ise hafif ve orta derecede hasar görmüştür. Bu çalışmada, jeoteknik sondaj verileri ve hasar dağılımına yönelik yapılan tespit ve saha gözlemleri birlikte değerlendirilerek; Van ili merkez mahallelerin yerel zemin koşullarının belirlenmesi ve söz konusu zemin koşullarının yer hareketine ve dolayısıyla yapısal hasara olan etkilerinin anlaşılmasına çalışılmıştır.

YÖNTEM

Van ili yerleşim alanında yer alan litolojik birimlerin üç boyutlu dağılımı, bölgede yapılan önceki çalışmalar, arazi gözlemleri ve önceki dönemlerde açılmış jeoteknik sondaj verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bölgede 1990 yılından günümüze kadar farklı amaçlarla açılmış çoksayı sondaj verisi mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir kısmı, zemin etüt raporlarından, küçük bir kısmı ise, 2011 Van depremleri sonrasında bina performansı/güçlendirmesi amaçları ile yapılmış çalışmalardan elde edilmiştir. Bu çalışmada mevcut olan yaklaşık 200 adet sondaj verisinden, Van merkez mahallelerini kapsayan,

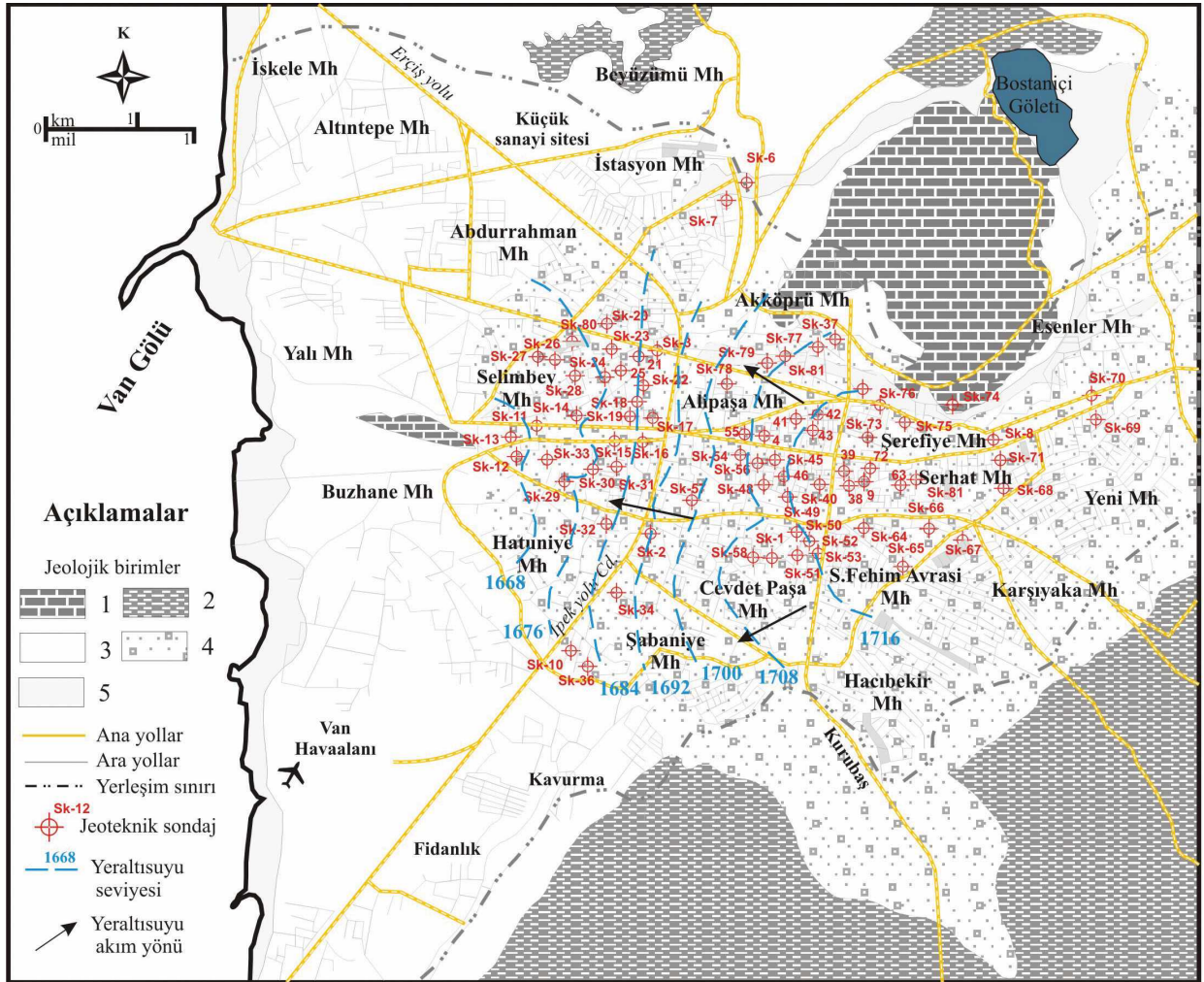
yelpaze çökelleri üzerinde açılan toplam 81 adet jeoteknik sondaj verisi dikkate alınmıştır. Herbir sondaj verisi hazır paket programlar kullanılarak birbirleri ile karşılaştırılmış ve Van ili yerleşim alanı merkez kısmında zemin birimlerin dağılımı elde edilmiştir. Litolojik birimlerin mühendislik parametreleri dikkate alınarak, literatürde tanımlı ampirik ilişkiler ile kayma hızı ve zemin büyütme değerleri gibi depremin etkisini arttırıcı yönde rol oynayan parametreler belirlenmiştir. Bununla birlikte söz konusu jeoteknik sondaj loglarından elde edilen yeraltı seviye değerleri kullanılarak Van ili merkez mahalleleri için yeraltı seviye haritası oluşturulmuştur. Ayrıca Van ovası zemininin hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir. 2011 Van depremlerinde hasar dağılımının belirlenebilmesi için, Van Valiliği kesin hasar tespit listeleri ayrıntılı bir şekilde düzenlenerek, Van ili merkez mahallelerine ait hasar dağılım haritası oluşturulmuştur. Elde edilen bilgilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bölgede meydana gelen depremlere bağlı mahalle bazında görülen yapısal hasar ile Van ili yerleşim alanındaki zemin koşulları arasındaki ilişki/ilişkiler araştırılmıştır.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK, JEOMORFOLOJİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Van ili yerleşim alanı, Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski göl-akarsu çökelleri, eski yelpaze çökelleri ve Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri üzerine kurulmuştur (Acarlar vd., 1991). Şehrin kuzey kısımlarında çamurtaşı-marn-mikritik kireçtaşı araldanmasından oluşan Eosen yaşlı temel birimler yer almaktadır (Şekil 1). Bu araldanma içersinde, seyrek olarak, türbiditik kumtaşı, ince taneli çakıltası, çört-radyolarit,

şeyl ara seviyeleri bulunmaktadır. Şehrin güney kesiminde ise Miyosen yaşlı Van formasyonu'na ait kumtaşı, çakıltaşı ve ince katmanlı kilttaşları bulunmaktadır (Şekil 1).

alanının batı sınırını oluşturan Van Gölü kıyısında %1 olan eğim değeri, doğu kesimlerde %25 değerlerine ulaşmaktadır. Bu açıdan, Van ili yerleşim alanı tatlı eğimli sırtlar ve geniş



Şekil 1. Van ili merkez mahallelerine ait jeoloji haritası, 1) Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşı 2) Miyosen yaşlı kilttaş, kumtaşı, çakıltaşı ardalanması 3) Üst Pleyistosen akarsu-göl çökelleri 4) Üst Pleyistosen yelpaze çökelleri 5) Holosen yaşlı akarsu çökelleri

Figure 1. Geological map of the central districts of Van province 1) Paleocene-Eocene limestone 2) Miocene claystone, sandstone and conglomerate 3) Upper Pleistocene fluvial and lacustrine sediments 4) Upper Pleistocene fan deposits and 5) Holocene fluvial sediments.

Van ili yerleşim alanı yaklaşık 1650.0 m ile 1770.0 m kotları arasında yer almaktadır. Ortalama yükseklik farkı 120 m'dir. Yerleşim

düzlüklerden oluşmuş bir topografyaya sahiptir. Van ili yerleşim alanının üzerinde bulunduğu yelpaze çökellerinde yapılan 81 adet jeoteknik

amaçlı sondaj verisi ve arazi gözlemleri doğrultusunda Van ili merkez mahallelerinin genel olarak zemin profili oluşturulmuştur. Buna göre, genel olarak üst kotlarda siltli birimler yüzeyde gözlenmekte ve daha alt kesimlerde ise kumlu birimlerle ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Siltli birimlerin kalınlıkları genel olarak 3 ile 5 m arasında değişmektedir. Merkez mahallelerin orta kesiminde ise söz konusu siltli birimlerin kaybolarak yerini kumlu birimlere bıraktığı gözlenmiştir. Önceki çalışmalarda tutturulmamış tanelerden oluşan akifer niteliğindeki kumlu birimlerin Van ili yerleşim alanının merkez kesiminde 45 m kalınlıklar sergilediği belirtilmiştir (Özvan vd., 2005). Van Gölü'ne doğru gidildikçe siltli ve killi birimler yüzeyde gözlenmekte ve kumlu birimlerle ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Van ili eski yerleşim alanı (Van Kalesi) ve Van Gölü'ne sınır mahalleler (İskele, Altın-tepe, Yalı ve Buzhane) ise eski göl ve akarsu çökelleri üzerindedir. Söz konusu alanda yapılan jeoteknik sondaj çalışmalarına göre hâkim birimler gri-yeşil renkli killi birimlerdir (Grafit, 2012).

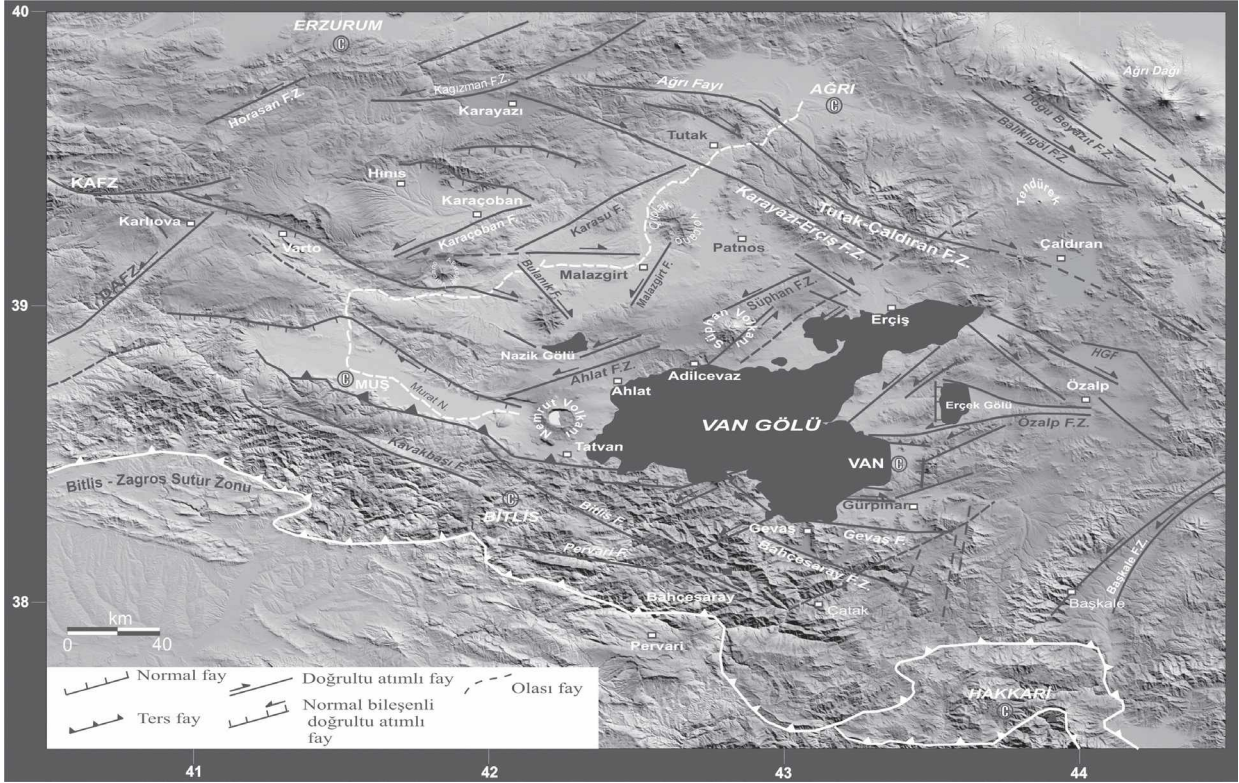
Van ili yerleşim alanında yüzeylenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı gölsel çökeller ile Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri, Akdemir (1996) ve Özler (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda hidrojeolojik açıdan geçirimli birim olarak tanımlanmaktadır. Tabanda basınçlı akifer ile karakterize edilen Van ili yerleşim alanının hidrojeolojik yapısı bu akifer üzerinde kalınlığı 2 m ile 8 m arasında değişen kil seviyesi ve bu seviye üzerinde kalınlığı 5 m ile 50 m arasında değişen serbest akifer ile temsil edilmektedir (Özler, 2004). Adı geçen çalışmalarda serbest akiferi oluşturan Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl çökellerinin hidrolik iletkenlik değeri $3.2 \cdot 10^{-4}$

m/s ile $6.6 \cdot 10^{-4}$ m/s arasında değişirken alüvyon birimlerin hidrolik iletkenlik değeri $1.8 \cdot 10^{-4}$ m/s olarak belirtilmektedir. Söz konusu bu veriler Bear (1988)'e göre birimlerin hidrolik iletkenlik değeri iyi boylanmış killi siltli kum ve killi siltli çakıl ortamlarına işaret etmektedir.

VAN İLİNİN DOĞAL AFET POTANSİYELİ

Van Gölü ve çevresinde tektonik kökenli deprem etkinliği yüksek olup, bu durum anılan bölgede gerek tarihsel dönemlerde ve gerekse son yüzyılı kapsayan aletsel dönemde meydana gelmiş olan çok sayıda yıkıcı depremlerden bilinmektedir (Koçyiğit vd., 2011). Bölgesel ölçekte Doğu Anadolu Tektonik Birliği içinde, yerel ölçekte Van deprem bölgesinde, doğrultu atımlı faylanma mekanizmasına bağlı olarak bazıları Pliyo-Kuvaterner yaşlı neotektonik dönemde oluşmuş, diğerleri ise paleotektonik dönemde oluşmuş fakat neotektonik dönemde aynı mekanizmaya bağlı olarak yeniden etkinlik kazanmış, değişik nitelikte çok sayıda fay bulunmaktadır (Aksoy ve Tatar, 1990; Koçyiğit vd., 2001; Örçen vd., 2004; Üner vd., 2010; Koçyiğit vd., 2011; Özkaymak vd., 2011).

Söz konusu alan Bitlis kenet kuşağının hemen kuzey kesiminde yer almaktadır. Bölgede doğrultu atımlı ve/veya bindirme özelliğinde bulunan Gevaş, Gürpınar, Bahçesaray, Edremit, Özalp, Süphan ve Çaldıran fayları gibi önemli yapısal elemanların varlığı söz konusudur (Şekil 2). Bölgede son dönemlerde büyüklüğü 4 ve üzerinde meydana gelen depremlerin dağılımları dikkate alındığında, söz konusu fayların aktif bir özellik sergilediği anlaşılmaktadır (Selçuk vd., 2010).



Şekil 2. Van ili ve çevresine ait tektonik harita (Koçyiğit, 2002; Selçuk vd., 2010'dan değiştirilerek)

Figure 2. Tectonic map of Van and its surroundings (modified from Koçyiğit, 2002; Selçuk et al., 2010)

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı doğal afet olarak deprem olgusu, bölge için ayrı bir önem taşımaktadır. Van ili yerleşim merkezi, toprakla örtülü kil, kum ve çakıllardan oluşan heterojen bir istif özelliği taşıyan Pliyo-Kuvaterner yaşlı akarsu ve göl çökelleri, eski yelpaze çökelleri ve güncel akarsu çökelleri üzerinde bulunmaktadır. Yeraltısuyu şehrin merkez kısmında 4-10 m arasında değişmektedir. Bu durum olası büyük bir depremde zeminden kaynaklanabilecek deformasyonların ve buna bağlı yapısal hasarların yüksek olabileceğini göstermektedir. Deprem dalgalarının alüvyal zeminlerde büyüyerek yayıldığı (Keller ve Pinter 1996), zemin granülometrisinin uygun ve su seviyesinin yüksek olması durumunda da zemin

sıvılaşma olgusuna neden olduğu göz önüne alındığında (Youd ve Idriss, 2001), Van kenti için yakın odaklı ve M_w : 6.5 büyüklüğündeki bir depremin meydana getireceği hasarın boyutları kolayca anlaşılacaktır (Selçuk, 2003).

Bölgenin doğal deprem riski yanında, son yıllarda çevre il ve ilçelerden Van merkez ve çevresine yönelen yoğun iç göç nedeniyle oluşan yoğun nüfus artışı ile birlikte kontrolsüz ve denetimsiz yapılaşmanın getirdiği ek bir risk faktörü oluşmuştur. Yapı kalitesinin denetlenmemesi, olası büyük bir depremin doğal afet değil, bir facia olarak yaşanması kaygılarını artırmaktadır. Bu nedenle bölgenin depremselliğinin ve deprem özelliklerinin

olabildiğince doğru ve ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir.

DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

2011 Van Depremlerinin Değerlendirilmesi

23 Ekim 2011 Van depremi saat 13:41'de Van ilinin yaklaşık 20 km kuzeyinde meydana gelmiştir (KOERI, 2011). Depremin moment büyüklüğü M_w : 7.2, odak derinliği 19 km ve merkez üssü Tabanlı köyü olarak tanımlanmıştır. Ana depremi takiben büyüklüğü 4.0 ve üzeri olan 111 adet artçı sarsıntı meydana gelmiştir. Bu depremin artçıları sürerken, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23'te merkez üssü Edremit-Van ve odak derinliği 5 km olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Van deprem bölgesinde 23 Ekim 2011 tarihinden itibaren büyüklüğü 1.4 ile 5.7 arasında değişen 5527 adet deprem meydana gelmiştir (KOERI, 2012). Her iki deprem için deprem merkez üssüne en yakın konumda bulunan ivme kayıtları, ilk deprem için Van

Muradiye ve ikinci deprem için Van Merkez ve Van Edremit istasyonlarından alınmıştır (Şekil 3). 23 Ekim'de meydana gelen ilk depremin ivme kaydı Van merkez istasyonunda ölçülemedi. Ancak Van-Muradiye istasyonu ile Van-Merkez istasyonu hemen hemen aynı zemin koşulları üzerinde (istasyonların kayma dalgası hızları sırasıyla 300 m/s ve 360 m/s) ve depremin merkez üssüne yaklaşık eşit (deprem merkez üssüne olan uzaklıkları sırasıyla 40 km ve 30 km) konumdadır. Buna göre 23 Ekim'de meydana gelen M_w : 7.2 büyüklüğündeki depremin maksimum ivme değeri (Muradiye istasyonu için) K-G doğrultusunda 178.5 cm/sn², D-B doğrultusunda 168.5 cm/sn² ve düşey doğrultuda 75.5 cm/sn²'dir. 9 Kasım'da meydana gelen M_w : 5.6 büyüklüğündeki depremin maksimum ivme değeri (Van merkez istasyonu için) ise K-G doğrultusunda 148.1 cm/sn², D-B doğrultusunda 245.9 cm/sn² ve düşey doğrultuda 150.5 cm/sn²'dir (Çizelge 1).

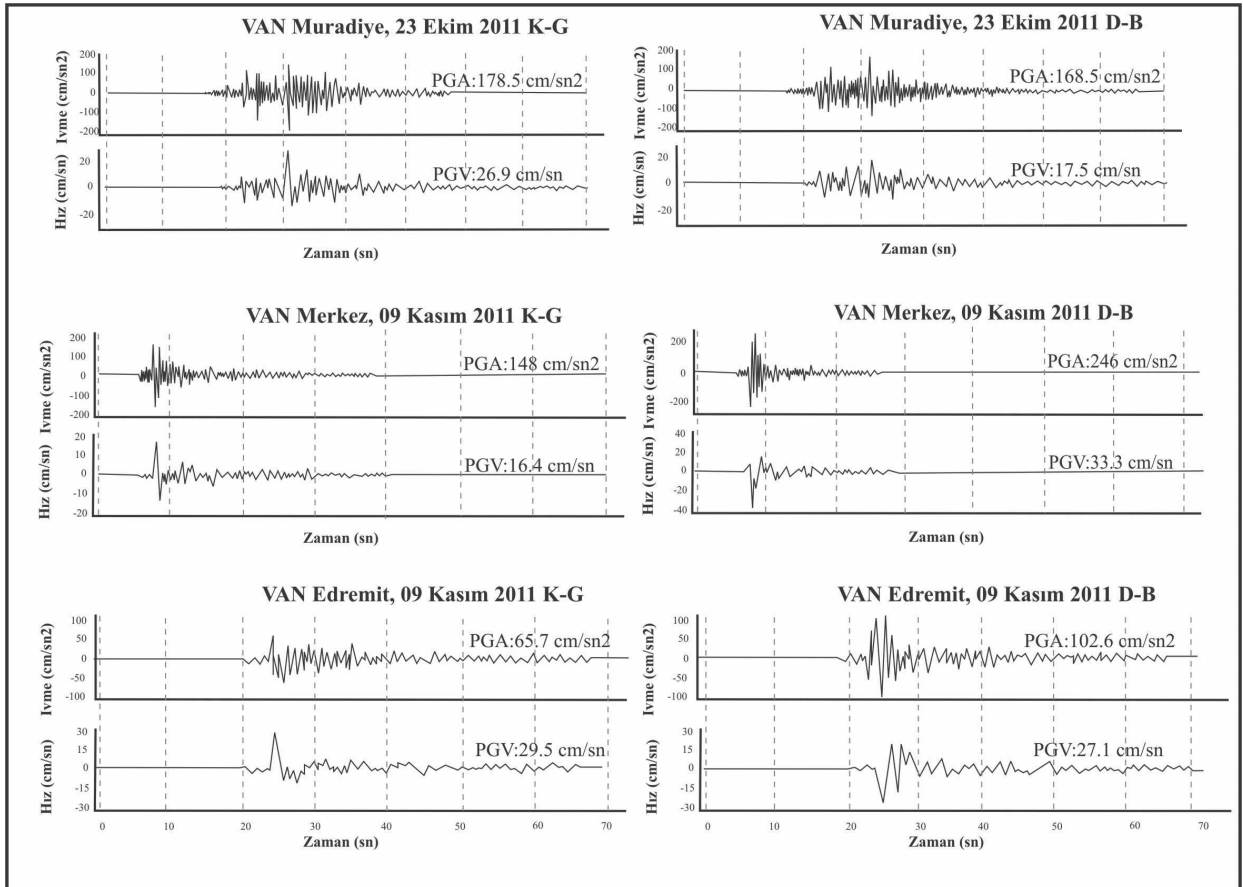
Çizelge 1. Van depremlerinin ölçülen en yüksek ivme değerleri (AFAD, 2011).

Table 1. The maximum acceleration values of the Van earthquakes (AFAD, 2011).

Van Depremi	İl	İlçe/Semt	Cihaz	K-G (cm/sn ²)	D-B (cm/sn ²)	Düşey (cm/sn ²)	İstasyona olan uzaklık (km)
23 Ekim 2011	Van	Muradiye	SMACH	178.5	168.5	75.5	42.0
23 Ekim 2011	Muş	Malazgirt	SMACH	44.5	56.0	25.5	95.0
9 Kasım 2011	Van	Merkez	CMG	148.1	254.9	150.5	12.7
9 Kasım 2011	Van	Edremit	GSR	65.7	102.6	44.3	2.9

İvme değerlerinin depremin merkez üssünden uzaklaştıkça azalması beklenirken bu durum 9 Kasım Edremit depremi için farklılık arz etmektedir. Merkez üssüne yakın sert kayalık alanda (Traverten) bulunan Edremit istasyonundan alınan ivme değerlerinin (maks. 102.6 cm/sn^2) daha uzak konumda ancak yumuşak zemin üzerinde (alüvyon) bulunan Van merkez istasyonuna göre (maks. 245.9 cm/sn^2) daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 1 ve Şekil 3). Bu durum, istasyonların üzerinde bulunduğu zemin ve kaya koşullarının, depremin ivme değerlerini

ne derece etkilediğinin bir göstergesidir. Başka bir ifade ile maksimum yer ivmesi değerleri deprem dalgalarının kat ettiği formasyonların türü (masif veya ayrılmış kaya, sıkı zemin veya suya doymuş çökeller) ile yakından ilişkilidir. Ancak, depremin maksimum ivmesi tek başına depremin etkisini tanımlayabilen bir parametre değildir. Maksimum değeri $0.4g$ olan ve çok kısa bir zaman diliminde meydana gelen bir depremin, daha küçük yer ivmesine sahip ve uzun süren depremlere göre daha az hasar yaptığı bilinmektedir. 1964 Alaska depremi buna



Şekil 3. 23 Ekim ve 9 Kasım depremlerine ait K-G ve D-B doğrultulu, ivme, hız ve yerdeğiştirme bileşenleri (AFAD, 2011).

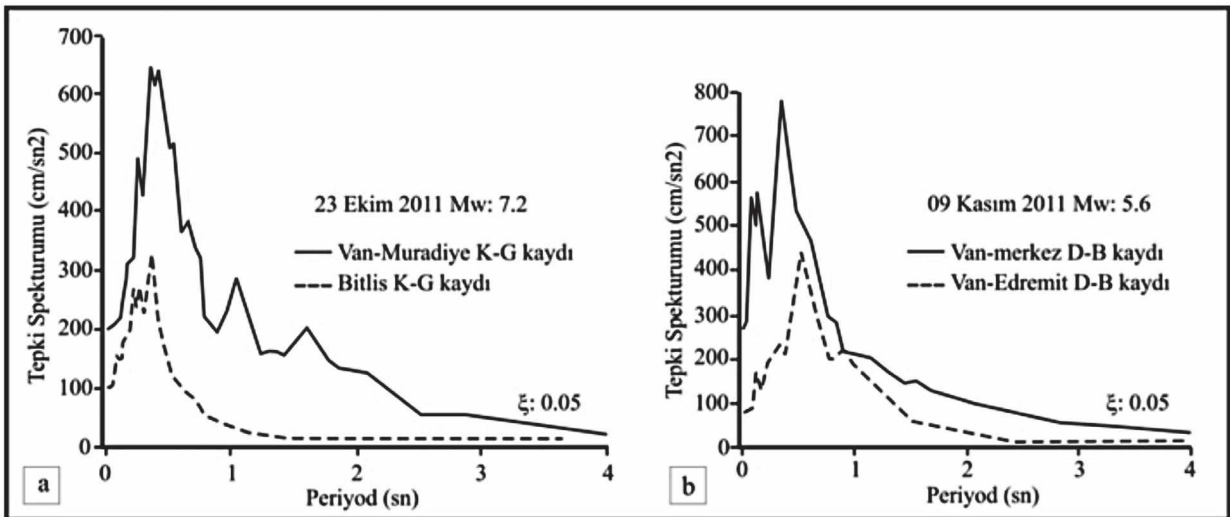
Figure 3. N-S, E-W acceleration, velocity and displacement components of the October 23 and November 9, 2011 earthquakes (AFAD, 2011).

bir örnek olarak verilebilir. Yer ivmesinin 0.15g kadar küçük ancak 4 dakika kadar uzun sürmesi, bölgede ciddi yapı hasarları meydana getirmiştir (NRC, 1973).

İlk depremin (M_w : 7.2) Muradiye istasyonu kaydının K-G doğrultusu için etkin süre 19.2 sn ve ikinci depremin Van istasyonu kaydına ait D-B doğrultusu için etkin süre 8.4 sn olarak hesaplanmıştır (AFAD, 2011). İkinci depremin (M_w : 5.6) Van ili yerleşim alanında daha çok hissedilmesinin nedeni yukarıda belirtildiği gibi yüksek ivme değerleri (245.9 cm/s^2) ile ilişkilidir. Van ili merkez istasyonu kaydına göre, bu depremin süresinin düşük olması (8.4 sn) yerleşim alanındaki hasarın boyutunu etkilemiştir. Depremin ivmesi ve süresi, meydana gelen yer hareketinin nicel ölçütleridir. Depremin ivmesine bağlı olarak yönetmeliklere uygun yapılan bir yapının yıkılması ancak yerçekimi kuvvetini aşabilecek yatay kuvvetler ile mümkündür. Dolayısıyla, bir yapının

deprem sırasındaki davranışını anlayabilmek için tepki spektrumlarının (cm/s cinsinden yer değiştirilmesi) belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü her bina, yapısal özelliklerine bağlı olarak meydana gelen yer hareketini belirli bir oranda sönümlenmektedir. Tepki spektrumları, ivme, hız ve yer değiştirme değerlerine bağlı olarak elde edilebilir. İvme tepki spektrumları ile bir binaya gelen maksimum makaslama kuvvetleri elde edilebilir.

Şekil 4'te Van ilinde meydana gelen depremlere ait tepki spektrumları görülmektedir (AFAD, 2011). İlk depremin Muradiye K-G kaydında elde edilen maksimum yer ivmesi değeri, yerçekimi ivme değerinin (178.5 cm/sn^2) çok altındadır. Ancak yaklaşık 0.4 - 0.5 sn zaman aralığında oluşan spektral ivme değerleri, yerçekimi ivme değerlerine (650 cm/sn^2) ise oldukça yakındır. 9 Kasım 2011 Van istasyonuna ait D-B kaydına ait tepki spektrumu incelenirse, yaklaşık 0.4 sn periyodunda çok daha yüksek



Şekil 4. Van depremlerinin %5 sönüm oranı için tepki spektrumları (AFAD, 2011).

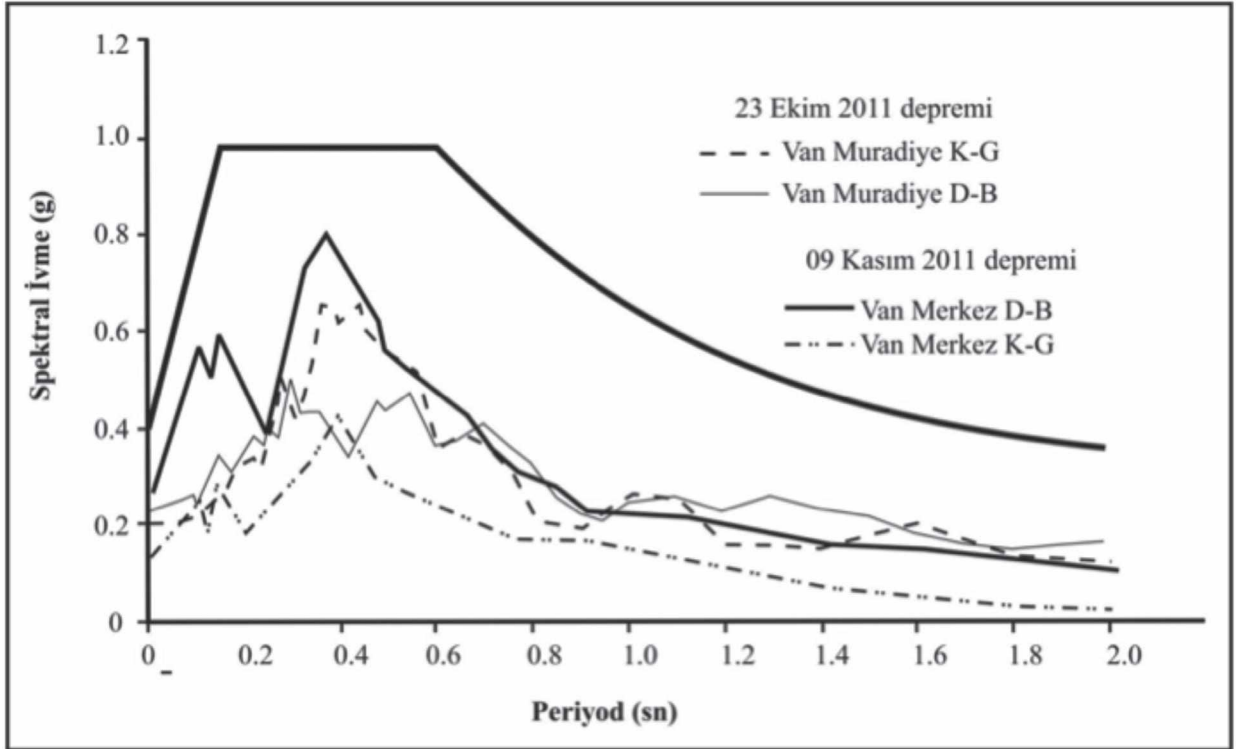
Figure 4. Response spectra with 5% damping ratio of the Van earthquakes (AFAD, 2011).

spektral ivme değerlerinin etkin olduğu görülmektedir. Yerel zemin koşullarına ve bina özelliklerine bağlı olarak gelişen bu değer Van ili yerleşim alanındaki binalarda (özellikle yüksek katlı ve kalitesiz yapılarda) yapısal hasarların meydana gelmesine sebep olmuştur.

Van Depreminde elde edilen en yüksek spektral ivme değerlerinin, Muradiye ve Van-Merkez istasyonlarında 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte verilen yerel zemin sınıfı Z3 olan tepki spektrumu ile karşılaştırılması spektral ivme değerlerinin yönetmelikte öngörülen spektral ivme değerlerinden çok daha düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 5).

Zemin Koşullarının Değerlendirilmesi

Gevşek çökeller üzerinde inşa edilen yapılarda, dinamik koşullar söz konusu olduğu zaman meydana gelebilecek olan hasar can kayıplarına neden olabilmektedir. Bununla birlikte mühendislik yapılarındaki sorunların bir kısmı bu çökellere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Van ili merkez mahalleleri, eski göl-akarsu ve yelpaze çökelleri üzerinde yer almaları ve bölgedeki sismik aktivitenin yüksek olması nedeniyle bu duruma bir örnek teşkil etmektedir. Bu alanlarda zemin profili kalın, orta katı-sert silt ve kil ile orta sıkı-sıkı arasında değişen siltli kum ve çakıllı kum katmanlarından oluşmaktadır. Jeolojik olarak bölgede yayılım gösteren birimler önceki çalışmalarda “eski akarsu ve göl çökelleri,



Şekil 5. Van depremleri için elde edilen spektral ivme değerlerinin TDY2007 tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.

Figure 5. Comparison of the spectral acceleration values obtained for Van earthquakes with TDY2007 design spectrum.

eski yelpaze çökelleri ve akarsu çökelleri” olarak adlandırılmakta olup istifin toplam kalınlığının yaklaşık 150 m olduğu belirtilmektedir (Acarlar vd., 1991). Bu çalışmada 1/5.000 ölçekli paftalar içinde kalan 81 adet jeoteknik sondaj verisi kullanılarak Eski yelpaze çökelleri üzerinde daha yerel değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

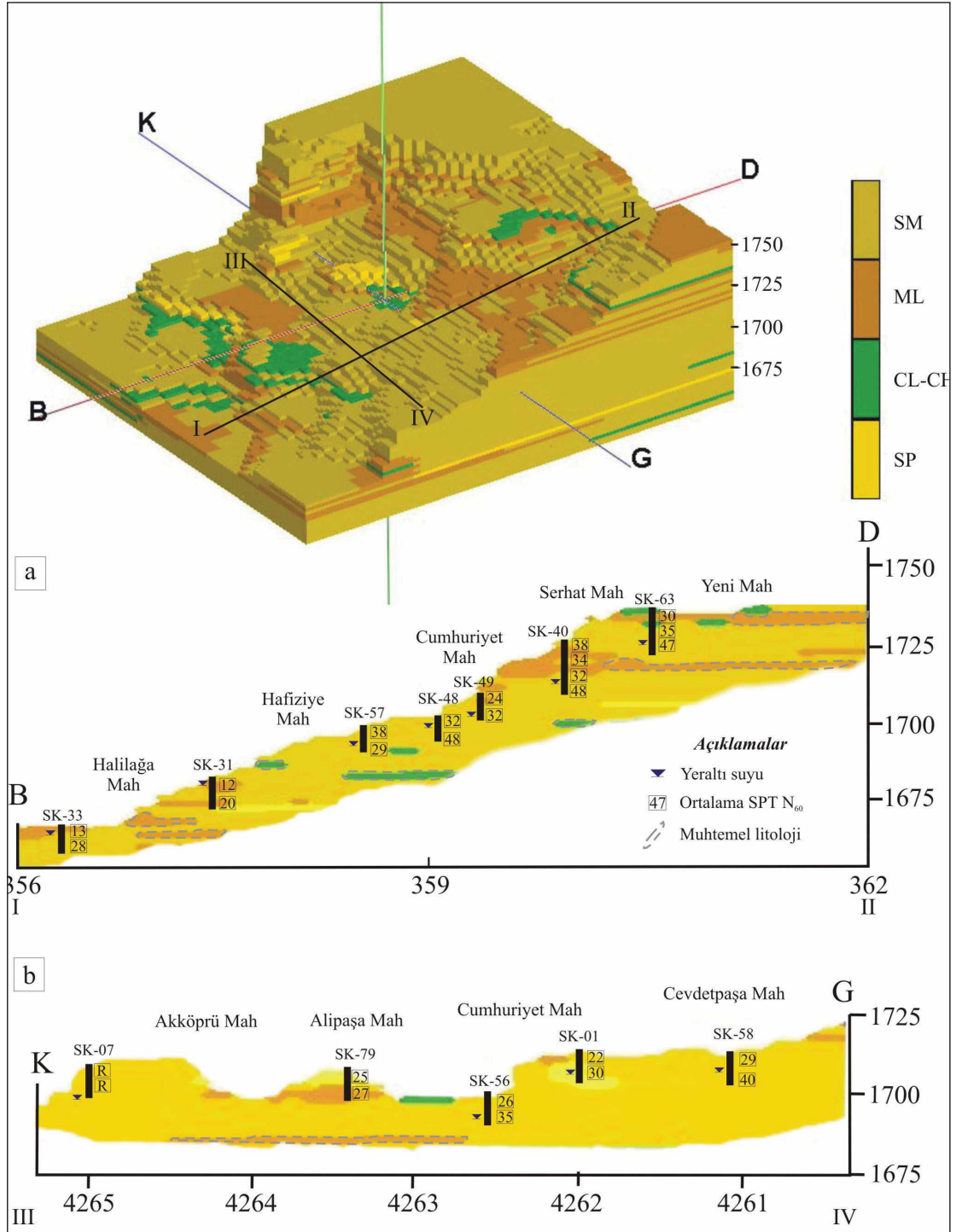
Zemin durumu

Van Gölü ile Erek Dağı etekleri arasında 1660 m kotu ile 1750 m kotu arasında kalan yaklaşık 90 m’lik bir kalınlık için zemin birimleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu incelemede yelpaze çökeli olarak tanımlanan istifin yatay ve düşey olarak kısa mesafelerde anlık değişimler sergilediği yapılan korelasyonlar ile belirlenmiştir. Ancak genel olarak Van ili merkez mahallelerinin, silt ve siltli kum birimler üzerinde yer aldığı söylenebilir (Şekil 6a). Söz konusu kumlu birimler, şehir merkezinin doğusuna (Erek Dağı) ve batısına (Van Gölü) doğru gidildikçe anlık fasiyes değişimleri göstermektedir. Bu kesimlerde kumlu birimler, killi ve siltli birimlerle birlikte aralanmalı olarak yer almaktadır. Ağırlıklı olarak kumlu birimlerin, Alipaşa, Hafiziye, Cumhuriyet ve Cevdetpaşa Mahalleleri gibi merkez mahallelerin orta kesiminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6b). Kumlu birimlerin SPT-N değerleri 12-40 arasında değişmektedir. Buna göre kum ve siltli kum birimler orta sıkı-sıkı özelliktedir. Her üç mahalle için yeraltı su seviyesi, yüzeyden itibaren 4.3 m ile 10.0 m arasında değişmektedir. Selimbey ve Halılağa Mahalleleri çevresinde ise genel olarak üst birimlerin kil ve silt içerikli olduğu, bu tabakaların altında ise yine benzer özellikte siltli kum birimlerin olduğu belirlenmiştir. Kil ve siltten oluşan birimlerin kalınlıkları yaklaşık

olarak 3.5 m ile 5.0 m arasında değişmektedir. Söz konusu killi birimlerin SPT-N değerleri 12-27 arasında, siltli birimlerin ise 13 - 32 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre ince taneli zeminler, katı-çok katı özelliktedirler. Bu alanda su seviyesi, yüzeyden itibaren yaklaşık olarak 1 m ile 5 m arasında değişmektedir. SPT-N değerlerine göre killi birimler katı-sert, kumlu birimler ise orta sıkı özelliktedir. İl merkezinin doğusunda yer alan Şerefiye, Serhat, Esenler ve F. Avrasi Mahalleleri’nde ise yine siltli ve killi birimlerin genelde yüzeyde yer aldığı, kalınlık değerlerinin ise 2 m ile 4 m arasında değiştiği, bu birimlerin altında ise kumlu birimlerin olduğu belirlenmiştir. İnce taneli birimlerin SPT-N değerleri 22 ile 50 değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler söz konusu birimlerin çok katı-sert özellikler sergilediğini göstermektedir. Sondaj loglarına göre bu alanlardaki su seviyesi, yüzeyden itibaren 6 m ile 15 m arasında değişmektedir.

Van ili merkez mahallelerin batı ve kuzey batısında yer alan Yalı, Altıntepe, Abdurrahman ve İskele Mahalleleri’nin baskın birimlerini ise gri, yeşil renkli göl çökellerine ait killer oluşturmaktadır (Grafit, 2012). Söz konusu killerin SPT-N değerleri 37 ile 50 arasında değişmektedir.

Bununla birlikte Van ili merkez mahallelerinde açılmış bulunan 81 adet jeoteknik sondaj logundan elde edilen yeraltı su seviye değerleri kullanılarak inceleme alanı için su seviye haritası elde edilmiştir (Şekil 1). Van ili yerleşim alanındaki su seviyesi 1663 m ile 1737.5 m arasında değişmekte olup ortalama 1692.4 m olarak hesaplanmıştır. Hidrolik gradyan değerinin (0.019) nispeten yüksek olduğu inceleme alanında alansal yeraltı suyu akım yönü



Şekil 6. a) Van ili yerleşim alanına ait katı alan modeli, b) D-B ve K-G hatlı jeolojik kesitler.

Figure 6. a) The solid model of the central districts of Van province b) E-W and N-S geological cross-sections

doğudan (Erek Dağı) batıya (Van Gölü) doğru gerçekleşmektedir. Van ili yerleşim alanının doğu kesimini oluşturan 1720 m ile 1750 m kotları arasındaki bölgedeki (Şerefiye, Cumhuriyet, S. Fehmi Arvası ve Hacıbekir Mahalleleri) yüzeyden itibaren ortalama su seviyesi 10.1 m olup 6 m ile 15 m arasında değişmektedir (Çizelge 2). Cevdetpaşa, Hafiziye, Alipaşa ve Akköprü Mahalleri'nin bulunduğu orta kesimdeki (1690 m ile 1720 m arası) yüzeyden itibaren ortalama, en düşük ve en yüksek yeraltısuyu seviyesi sırası

değerlerinin, depremin merkez üssüne göre (Van-Edremit) çok daha yüksek değerlerde kaydedilmesi, yer hareketleri ile zemin bileşimi arasındaki etkileşimin yüksek olabileceğini ve meydana gelen yapısal hasarların da ciddi boyutlarda olabileceğini göstermiştir.

Zemin büyütmesi

Alüvyal zeminlerin büyütme değeri, bir depremin ana özelliklerini büyük ölçüde

Çizelge 2. Van ili yerleşim alanında su seviye ölçümleri.

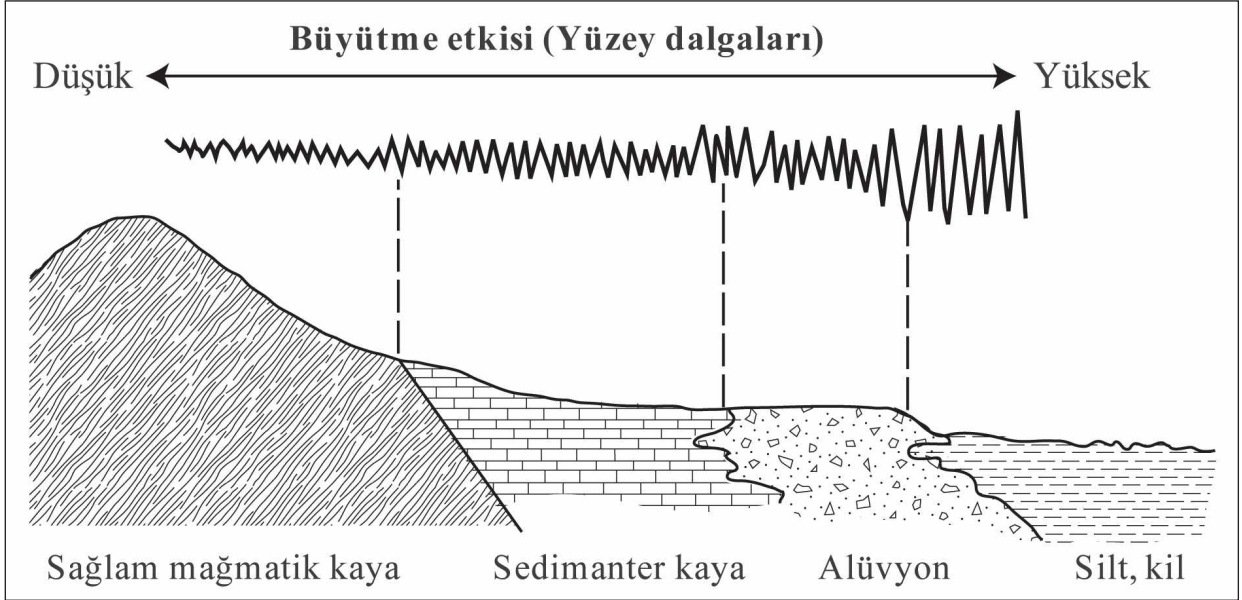
Table 2. Measurement of groundwater level at the central districts of Van province.

Bölge	n	Ortalama	Yeraltısuyu Seviyesi		Standart Sapma
			En Düşük	En Yüksek	
Batı (1660-1690)	35	6.2	1.0	10.0	1.94
Orta (1690-1720)	30	7.5	4.3	10.0	2.09
Doğu (1720-1750)	16	10.1	6.0	15.0	2.61

ile 7.5 m, 4.3 m ve 10.0 m olarak hesaplanmıştır. 1660 m ile 1690 m kotları arasında yer alan batı kesimde yüzeyden itibaren en düşük ve en yüksek su seviyesi 1 m ile 10 m arasında değişmekte olup ortalama 6.2 m ile temsil edilmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yeraltısuyu seviye hesaplamalarının Akdemir (1996) ve Özler (2004) ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Yerleşim alanındaki yapı kalitesi dikkate alındığında, bölgede meydana gelebilecek olan yakın odaklı orta büyüklükteki bir depremde (M_w : 6 - 6.5) oluşacak hasarın boyutu önceki çalışmalarda belirtilmektedir (Selçuk, 2003; Çiftçi vd., 2004; Selçuk ve Beyaz, 2005; Özvan vd., 2005; Selçuk vd., 2010). 9 Kasım 2011'de meydana gelen depremde, Van ilindeki ivme

değiştirebilir. Bu değişiklik genellikle depremin süresinde ve artan maksimum ivme artışında gözlenmektedir. Bir çok araştırmacı genç alüvyal zeminlerde meydana gelen büyütme oranlarının dolayısıyla ivme değerlerinin sağlam zeminlere oranla oldukça yüksek olduğunu göstermiştir (Borcherdt ve Gibbs, 1976; Midorikawa, 1987; Shoji vd., 2005; Kamalian vd., 2008) (Şekil 7). Ayrıca, Shoji vd. (2005) yumuşak zeminlerde meydana gelen hareketin süresinin arttığını belirtmiştir. Bazı jeolojik birimlerin zemin büyütme faktörü üzerindeki etkisi Çizelge 3'te verilmektedir. Van ili yerleşim alanı düşünüldüğünde Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl ve yelpaze çökellerindeki büyütme değerleri söz konusu çizelgeye göre 2.10 ile 3.0 arasında



Şekil 7. Bir sismik aktivite sırasında büyütme değeri ile jeolojik birimler arasındaki genelleştirilmiş ilişki (Keller ve Pinter, 1996).
Figure 7. Generalized relationship between near-surface earth material and amplification of shaking during a seismic event (Keller and Pinter, 1996).

Çizelge 3. Jeolojik birimlerin zemin büyütme değerleri ile olan ilişkileri.

Table 3. The relations between the geological units and the soil amplification.

Kaynak	Jeolojik Birim	Zemin Büyütme
Borcherd ve Gibbs (1976)	Körfez çamuru	11.2
	Alüvyon	3.9
	Santa Clara Formasyonu	2.7
	Great Valley Dizisi	2.3
	Franciscan Formasyonu	1.6
	Granit	1.0
Midorikawa (1987)	Holosen	3.0
	Pleyistosen	2.1
	Kuvaterner volkanik kayalar	1.6
	Miyosen	1.5
	Tersiyer öncesi	1.0

değişmektedir. Yer hareketinin belirli bir derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı, zemin büyütmesi ile yakından ilişkilidir. Zemin büyütmesine bağlı mikrobölgeleme çalışmalarında büyütme değerini tanımlayan parametre, yüzeyden itibaren derine doğru ilk 30.0 m derinlik için ortalama kayma dalgası (V_{s30}) hızıdır (Joyner ve Fumal, 1984; Midorikawa, 1987; Borchardt vd., 1991; Shoji vd., 2005).

Van ili yerleşim alanında dağılım gösteren zemin birimleri, 1750 m ile 1660 m kotları arasında yaklaşık 90 m'lik kalınlık için ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Zemin birimlerinin tanımlanmasında eğimli bir topografyada açılmış olan sondaj verilerinden yararlanılarak, sondaj verilerinin alt ve üst seviyelerinde iyi bir korelasyon sağlanmıştır. Bu korelasyon yapılırken zeminlerin indeks özellikleri ve SPT-N değerleri dikkate alınmıştır. 90 m'lik kalınlık

dikkate alınarak, Van yerleşim alanı batı, orta ve doğu olmak üzere 3 ayrı bölgede tanımlanmış ve bazı kabul ve genellemeler doğrultusunda her bölge kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Bu tanımlamayı yapmadaki amaç, yapılacak olan jeoteknik değerlendirme için daha hassas veri aralığı sağlamaktır. Şekil 8'de görüldüğü gibi litolojik birimler 1750 m - 1720 m (doğu),

Hasançebi ve Ulusay, 2006; Ulugergerli ve Uyanik 2007; Dikmen, 2009; Akın vd., 2011). Ancak bu çalışmada, ortalama kayma dalgası hızının belirlenmesinde litolojik birimlerin kalınlık değerlerini dikkate alan, Tamura ve Yamazaki (2002) tarafından tanımlanan aşağıdaki eşitlik (1) kullanılmıştır.

1750 m - 1720 m kotları arası genel zemin dağılımı

Der.	Litoloji	SPT N	V _s	V _{s30}	Zemin büyütme
0	Siltli kum (SM)	34	272.9	316.8	2.16
	Silt (ML)	30	283.1		
10 m	Siltli kum (SM)	33	337.8		
	Silt (ML)	22	327.9		
20 m	Siltli kum (SM)	28	362.6		
30 m					

1720 m - 1690 m kotları arası genel zemin dağılımı

Der.	Litoloji	SPT N	V _s	V _{s30}	Zemin büyütme
0	Siltli kum (SM)	26	259.5	312.5	2.17
10 m	Siltli kum (SM)	29	322.5		
	Siltli kum (SM)	22	330.5		
20 m	Silt (ML)	21	337.6		
30 m					

1690 m - 1660 m kotları arası genel zemin dağılımı

Der.	Litoloji	SPT N	V _s	V _{s30}	Zemin büyütme
0	Silt (ML)	27	261.3	297.3	2.23
	Kil (CL)	28	297.9		
10 m	Siltli kum (SM)	26	332.7		
20 m					
30 m					

Şekil 8. Sondajlardan elde edilen bölgelere ait litolojiler ve zemin büyütme değerleri.

Figure 8. Lithologies and soil amplification values for different zones obtained from the boreholes.

1720 m - 1690 m (orta) ve 1690 m - 1660 m (batı) kotlarında 30 metrelik istifler içerisinde tanımlanmıştır. Her bölgede litolojik birimlerin 30 m'lik kalınlık değerlerinde ortalama SPT-N değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, 30 m'lik kalınlık değerlerinde, V_{s30} değerlerinin elde edilmesinde kullanılan SPT-N değerleri Boore (2004) ve Kuo vd. (2011) tarafından verilen istatistiksel ilişkilerle de kontrol edilmiştir. Bu tür yaklaşımlar sığ derinlikli mevcut verinin kullanımına olanak sağlamaktadır.

SPT-N değerleri ile kayma dalgası hızı arasında bir çok ilişki geliştirilmiştir (Ohta ve Goto, 1978; Seed ve Idriss, 1981; Lee, 1990; Kiku vd., 2001; Tamura ve Yamazaki, 2002;

Bu eşitlikte; $V_s = 105.8 \times N^{0.187} \times D^{0.179}$

V_s: ortalama kayma dalgası hızını (m/s)

N: ortalama SPT-N değerlerini

D: ise derinliği (m) ifade etmektedir.

Van ili merkez mahallelerinde SPT-N değerlerine göre elde edilen kayma dalgası hızları 261.3 m/s ile 357.7 m/s arasında değişmektedir. Ulusal deprem tehlikelerini azaltma programı (NEHRP) tarafından tanımlanan zemin birimleri dikkate alındığında, bu değerler orta sıkı-sert özellikteki (D sınıfı) zemin birimleri olarak tanımlanmıştır (BSSC, 2003). Bu değerler Van merkez istasyonunda tanımlanan değerlerle de uyumludur (Sandikkaya vd., 2010). Van ili

yerleşim alanındaki zemin büyütmesi değerleri, ortalama kayma dalgası hızı ile zemin büyütmesi arasındaki ilişkiden (Midorikawa, 1987) yararlanılarak elde edilmiştir.

$$A = \frac{68}{V_s^{0.6}} \quad V_s < 100 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$A = 1.0 \quad V_s > 100 \text{ m/s}$$

Burada;

A: Zemin büyütmesi

V_s : Ortalama kayma dalgası hızıdır (m/s).

Eşitlik 1 ve 2'nin değerlendirilmesi sonucunda Van ili yerleşim alanı batı, orta ve doğu kısmındaki ortalama kayma dalgası hızı ve zemin büyütmesi değerleri sırası ile 297.3 m/s, 312.5 m/s, 316.8 m/s ve 2.23, 2.17, 2.16 olarak hesaplanmıştır (Şekil 8). Söz konusu zemin büyütme değerleri, meydana gelebilecek herhangi bir depremde, yüzey etkisini, belirtilen değerler kadar arttırabileceğini göstermektedir. Nitekim 9 Kasım 2011 M_w :5.6 büyüklüğündeki Edremit-Van depreminde, Edremit (102.9 cm/sn²) ve Van istasyonlarında kaydedilen ivme değerleri (245.9 cm/sn²) arasında yaklaşık 2.4 kat büyütme etkisi söz konusudur (Çizelge 1). Her ne kadar deprem istasyonları aynı lokasyonda bulunmasalar da, depremin merkez üssü olan Edremit ilçesinden uzaklaştıkça depremin ivmesinin azalması beklenir. Oysa yaklaşık 18 km uzaklıkta bulunan Van merkez istasyonunda kaydedilen ivme değeri, alüvyal gevşek zeminlerin depremin ivme değerindeki büyütme etkisini göstermektedir. Depremler sırasında istasyonlarda ölçülen ivmeler üzerindeki büyütme etkisi, ampirik yaklaşımlarla elde edilen büyütme değerleri ile uyum içersindedir. Yine de bölgede meydana gelen depremin ivme değerlerinin ve süresinin

düşük olması, zeminden kaynaklanabilecek deformasyonların ve ciddi yapı hasarlarının oluşmasını engellemiştir.

Yapısal Hasarlar

23 Ekim - 30 Kasım 2011 tarihleri arasında Van ilinde 5 ayrı depremin kısa zaman aralıklarıyla meydana gelmesi (Koçyiğit vd., 2011), bölgede yeni depremlerin oluşmasına yönelik kaygıları da arttırmaktadır. Van ilinin 20 km kadar kuzeyinde, 23 Ekim 2011 tarihinde ve M_w :7.2 büyüklüğüne meydana gelen deprem, Erciş ilçesine oranla Van ili yerleşim alanında çok daha az can kaybına neden olmuştur. Bu durum, bölgede meydana gelen hasarın ciddi boyutta olmadığı yanılıgısı yaratsa da, Van ili yerleşim alanı orta kesimde (Cumhuriyet, Alipaşa, Halılağa ve Hafiziye Mahalleleri) düşük kalitede ve yüksek katlı binaların, büyük bir kısmında az/orta derecede hasara neden olurken bir kısmının da yıkılmasına neden olmuştur. Bu depremden yaklaşık 18 gün sonra meydana gelen M_w : 5.6 büyüklüğündeki ikinci deprem ise Van ili yerleşim alanını yüksek derecede etkilemiştir. Bu depremde hafif ve orta hasarlı binaların bir kısmı yıkılırken, ilk depremde hasar almayan binaların büyük bir kısmı hafif ve orta derecede hasar görmüştür.

Van ilindeki hasar tespit çalışmaları depremden kısa bir süre sonra tamamlanmıştır. Kesin hasar tespit listeleri Van Valiliği tarafından ayrıntılı bir şekilde düzenlenmiş ve Van ili merkez mahallelerine ait hasar dağılım haritası oluşturulmuştur (Çizelge 4 ve Şekil 9). Şekil 9'da hasar dağılımına bakılacak olursa, en çok hasarın Alipaşa, Halılağa, Cumhuriyet ve Hafiziye Mahalleleri gibi Van ili yerleşim alanının orta kesiminde olduğu görülmektedir.

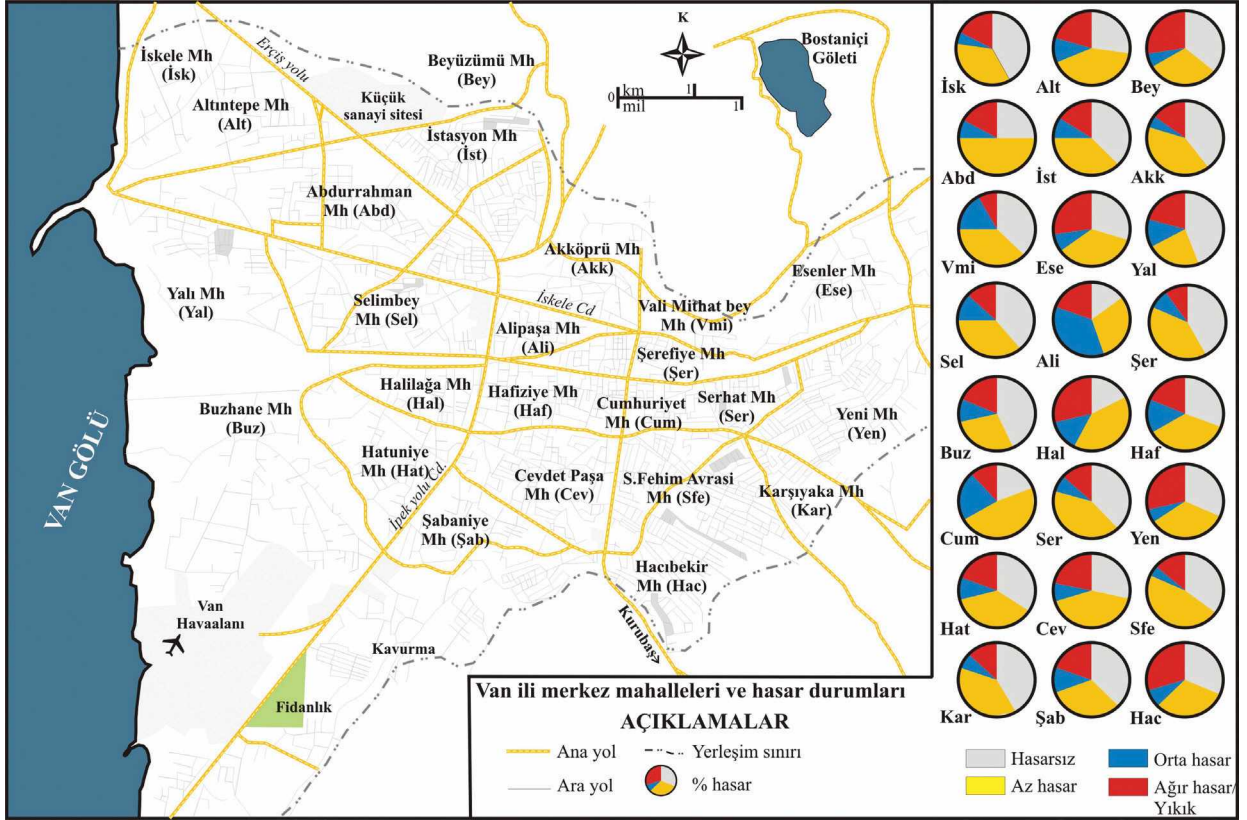
Çizelge 4. 2011 Van depremlerinde hasar gören bina sayıları.

Table 4. The numbers of buildings damaged during the 2011 Van earthquakes.

Mahalleler	Hasarsız	Az hasarlı	Orta hasarlı	Ağır hasar/ yıkık	%Hasarsız	% Az hasarlı	% Orta hasarlı	% Ağır hasar/ yıkık
A. Gazi	472	913	171	262	25.9	50.2	9.4	14.5
Akköprü	500	500	50	236	38.8	38.8	3.8	18.6
Alipaşa	159	308	305	216	16.1	31.2	30.9	21.8
Altıntepe	358	641	90	284	26.1	46.7	6.5	20.7
Beyuzumu	570	462	63	449	36.9	29.9	4.1	29.1
Buzhane	159	120	27	74	41.8	31.6	7.1	19.5
Cevdetpaşa	274	420	60	200	28.7	44.0	6.3	21.0
Cumhuriyet	132	275	113	63	22.6	47.2	19.4	10.8
Esenler	200	265	50	190	28.4	37.6	7.1	26.9
Hacıbekir	900	950	150	1000	30.0	31.7	5.0	33.3
Hafiziye	182	260	80	123	28.2	40.3	12.4	19.1
Halılağa	265	380	222	312	22.5	32.2	18.8	26.5
Hatuniye	232	263	64	180	31.4	35.6	8.7	24.3
İskele	449	379	54	187	42.0	35.5	5.1	17.4
Karşıyaka	800	600	70	300	45.0	34.0	4.0	17.0
S. Fehim	300	450	42	150	31.8	47.8	4.5	15.9
Şabaniye	800	700	200	400	38.1	33.3	9.5	19.1
Selimbey	1007	981	332	370	37.4	36.5	12.3	13.8
Serefiye	700	714	157	169	40.2	41.0	9.0	9.8
Serhat	259	268	56	100	37.9	39.2	8.2	14.7
V.Mithat	898	900	399	244	36.8	36.9	16.4	9.9
Yalı	400	226	69	200	44.7	25.3	7.7	22.3
Yeni	420	444	75	500	29.2	30.9	5.2	34.7
İstasyon	473	497	83	233	36.8	38.6	6.5	18.1

Bu mahalleler yüksek katlı yapılaşmanın yoğun olarak gözlendiği kesimlerdir. Bu mahallelerde meydana gelen yapı hasarlarının bir kısmı zemin durumu ile ilişkilidir. Söz konusu mahallelerde ağırlıklı olarak kohezyonsuz daha gevşek birimlerin olması ve su seviyesinin yüzeye

yakın olmasının bu alanlarda hasarın artmasına neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 10). Buna karşılık son zamanlarda bölgede yapılan zemin iyileştirme çalışmalarını içeren projelerde, yüksek dayanımlı kolonlar üzerine inşa edilen çok katlı binalarda, söz konusu depremde



Şekil 9. Van ili merkez mahalleleri hasar dağılımı.

Figure 9. The distribution of structure damage in the central districts of Van province.

çevre binalarda ciddi yapı hasarları oluşmasına rağmen bu yapılarda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Merkez mahallelerin orta kesimlerinden doğuya doğru (Erek Dağı) gidildikçe zeminin daha sağlam (zemin kısmen kohezyonlu ve göreceli olarak daha sıkı) ve göreceli olarak yeraltı seviyesinin yüzeyden itibaren daha derinde olduğu görülmektedir (Şekil 6b, B-D hatlı kesit). Van ili doğu kesiminde bulunan binalarda gözlenen yapısal hasar dağılımı orta kesimde bulunan binalara göre daha azdır. Bu durum; doğu kesimin zemin özelliklerinin orta kesime oranla daha iyi olması, su seviyesinin göreceli olarak daha derinde bulunması ve yüksek katlı yapılaşmanın daha

az olması gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. Benzer olarak, Abdurrahman, Altın-tepe ve İskele Mahalleleri gibi merkez mahallelerin B-KB kesiminde yapılan sondaj çalışmaları, bu kesimlerin göl çökellerine ait sert özellikte bulunan killi birimlerin üzerinde bulunduğunu göstermektedir. Van ili yerleşim alanına oranla bu bölgedeki yeraltı seviyesi yüzeye daha yakındır. Bu kesimler daha iyi zemin koşulları sergilemelerine ve diğer kesimlere oranla yeraltı seviyesinin yüzeye yakın olması dezavantajına rağmen, hasar boyutları açısından büyük bir fark gözükmemektedir. Ancak, bu kesimlerde meydana gelen hasarın büyük bir kısmının yapı kalitesi ile ilişkili olduğu



Şekil 10. Hasar derecesinin yüksek olduğu mahallelerden görünüm.

Figure 10. A view of some districts in high degree damage.

söylenbilir. Bu alandaki yapılaşma düşük kaliteli kısmen 2-3 katlı ve genellikle yığma yapılardan oluşmaktadır. 23 Ekim ve 9 Kasım depremlerinin spektral ivme değerlerinin, 2007 yönetmeliklerinde Z3 sınıfı için verilen tasarım spektrumu ile karşılaştırılmasında, söz konusu ivme değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Bu durum Van ili yerleşim alanında meydana gelen hasarların büyük bir kısmının, yerleşim alanının bulunduğu zemin özellikleri ile birlikte standart dışı malzeme kullanımı, işçilik hatası ve projelendirilmemiş yüksek katlı yapılaşmadan kaynaklandığına işaret etmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Van ili yerleşim alanı Plio-Kuvaterner yaşlı göl-akarsu ve yelpaze çökelleri üzerinde yer almaktadır. Söz konusu çökeller farklı litolojik birimlere sahip olup, yatay ve düşey mesafelerde anlık değişimler göstermektedirler. Jeoteknik sondaj verileri dikkate alındığında, Van ili yerleşim alanının merkez kesimi genel olarak orta sıkı-sıkı özellikte bulunan kumlu birimler üzerindedir. Bu kesimlerde su seviyesi doğu kesime oranla yüzeye daha yakındır. Merkez mahallelerin orta kesimlerinden doğuya doğru gidildikçe zemin durumunun göreceli olarak

sağlam bir yapı sergilediği belirlenmiştir. Bu alanlarda su seviyesi daha derinlerde, zemin kısmen kohezyonlu ve sıkı özelliindedir.

Van ili yerleşim alanındaki yapısal hasarların en çok Alipaşa, Halılağa, Cumhuriyet ve Hafiziye Mahallelerin bulunduğu, merkez mahallelerin orta kesimlerinde olduğu belirlenmiştir. Bu mahallelerde meydana gelen yapı hasarlarının bir kısmı, zemin durumu ile ilişkilendirilmiştir. Söz konusu mahalleler ağırlıklı olarak kohezyonsuz, orta sıkı kumlu alüvyal birimler üzerindedir. Meydana gelen yapısal hasarın büyük bir kısmı ise zemin durumu ile birlikte düşük kalitede malzeme kullanımı, yüksek katlı ve kalitesiz yapılaşmadan kaynaklanmaktadır.

Van ili yerleşim alanına yakın konumda bulunan ve orta büyüklükte deprem yaratabilecek birden fazla fay hattı (Gürpınar, Özalp, Erçek, vb.) söz konusudur. Van ili yerleşim alanındaki zemin koşulları dikkate alındığında, gerek depremin tekrarlı yüklerinden gerekse de zeminden kaynaklanan deformasyonların, (zemin büyütmesi, sıvılaşma vb.) Van ili yerleşim alanında can ve mal kayıplarının artmasına neden olabileceğini işaret etmektedir. Nitekim 9 Kasım 2011'de meydana gelen, merkez üssü Edremit olan depremin, Van merkez istasyonunda ölçülen ivme değerleri (maks. 245.9 cm/sn²), Edremit istasyonunda ölçülen değin (maks. 102.9 cm/sn²) 2.4 katıdır. Bu değer Van ili yerleşim alanında elde edilen zemin büyütme değerleri ile uyumludur. Van ili yerleşim alanı batı, orta ve doğu kısmında hesaplanan zemin büyütmesi değerleri sırası ile 2.23, 2.17 ve 2.16'dır.

Van ilinde 5 ayrı depremin (23 Ekim (M:7.2), 25 Ekim (M:5.5), 9 Kasım (M: 5.6), 15 Kasım (M: 5.1) ve 30 Kasım (M:5.0)) kısa zaman aralıklarıyla meydana gelmesi, olası bir

depremde can ve mal kayıpları konusundaki endişeyi arttırmaktadır. Dolayısı ile olası bir depremin neden olabileceği zararların ve söz konusu bu endişelerin en aza indirgenebilmesi için, zemin koşullarının dikkate alınması, yeni cazibe merkezlerinin sağlam kaya zeminlerde ve topografik olarak yerleşime uygun alanlarda seçilmesi ve oluşturulacak yapılaşmanın yönetmeliklere uygun yapılması gerekmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 1990 yılından günümüze kadar Van il merkezi ve çevresinde yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik amaçlı çalışmaları temel almıştır. Yazarlar, bölgenin jeolojik katı alan modelinin elde edilmesinde yardımlarından dolayı DSİ, YE Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'ne, İller Bankası'na ve Aras Mühendislik'e, sondaj loglarının derlenmesinde jeoloji mühendisi Sema Çakar'a, NETCAD programında koordinatların işlenmesinde Dr. Azad Sağlam Selçuk'a ve değerli görüş ve bilgileriyle katkıda bulunan hakemlere çok teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, E., Elibol, E., Erkal., T., Gedik, İ., 1991. Van gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, No: 1061.
- AFAD, 2011. 23 Ekim 2011 Van depremlerinin kuvvetli yer hareketleri kayıtlarının değerlendirilmesi, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Van Raporu, 19 s.
- Akdemir, S., 1996. Van merkez ve çevresinin hidrojeoloji incelemesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış).

- Akın, M.K., Kramer, S.L., Topal, T., 2011. Empirical correlations of shear wave velocity (V_s) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey), *Engineering Geology*, 119 (1-2), 1-17
- Aksoy, E., Tatar, Y., 1990. Van İli doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. *TÜBİTAK Doğa Dergisi*, 14, 628-644.
- Atsori, S., Tolomei, C., Salvi, S., Zoffoli, S., 2011. Co-seismic ground displacement and preliminary source models for the 10/23/2011, Mw 7.2 Van earthquake, Eastern Turkey, SIGRIS activation report, PR6-7, 9 p.
- BSSC, 2003. The 2003 HEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Building Seismic Safety Council, FEMA, Washington D. C.
- Bear, J., 1988. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Dover Publications, 784 p.
- Boore, D.M., 2004. Estimating $V_s(30)$ from shallow velocity models (Depths <30 m). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (2), 591–597.
- Borcherdt, R. D., Gibbs, J. F., 1976. Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66, 467-500.
- Brocherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gibbs, J., 1991. Methodology for predictive GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay Region, 4th International Conference on Seismic Zonation. Vol. 3, 545-552.
- CEDIM, 2011. Comparing the current impact of the Van Earthquake to past earthquakes in Eastern Turkey, CEDIM Forensic Earthquake Analysis Group, Report 4, 28p.
- Çiftci, Y., Selcuk, L., Özvan, A., Akkaya, İ., Sengül, A., Aras, B., 2004. Seismic risk analysis for the settlements in the basin of Lake Van, Turkey, *Proceedings of 5 th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Vol.2, Thessaloniki, Greece, 964-966.
- Dikmen, U., 2009. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6, 61-72.
- Emre, Ö., Duman T.Y., Özalp, S. Elmacı, H., 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 22 s.
- Grafit, 2012. Van ili Kalecik köyü imara esas jeolojik-Jeoteknik etüd raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Van, 138 s.
- Hasançebi, N. Ulusay, R., 2006. Evaluation of site amplification and site period using different methods for an earthquake-prone settlement in Western Turkey. *Engineering Geology*, 87, 85-104.
- Joyner, W.B., Fumal, T., 1984. Use of Measured Shear-Wave elocity for predicting geological site effects on strong motion, *Proceedings of Eighth world conferance on Earthquake Engineering*, Prentice Hall Incorporation, California, USA, Vol 2, 777-783.
- Kamalian, M., Jafari, M.K., Ghayamghamian, M.R., Shafiee, A., Hamzehloo, H., Haghshenas, E., Sohrabi-bidar, A., 2008. Site effect microzonation of Qom, Iran. *Engineering Geology*, 97, 63-79.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996. *Active Tectonics*, Englewood Cliffs, Prentice Hall Incorporation, New Jersey, 338p.
- Kiku, H., Yoshida, N., Yasuda, S., Irisawa, T., Nakazawa, H., Shimizu, Y., Ansal, A., Erkan, A., 2001. In-situ penetration tests and soil profiling in Adapazari, Turkey. *Proc. ICSMGE/TC4*

- Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, 259-265.
- Koçyiğit A., Yılmaz A., Adamia S., Kuloshvili S., 2001. Neo-tectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip fault, *Geodinamica Acta*, 14(1-3),177-195.
- Koçyiğit, A., 2002. Doğu Anadolu'nun neotektonik özellikleri ve depremselliği. Doğu Anadolu Jeoloji Çalıştayı – 2002 (DAJEO-2002), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, bildiri özleri kitabı, Van, 2-4 s.
- Koçyiğit, A., Deveci, Ş., Kaplan M., 2011. Van depremleri raporu (23 Ekim - 30 Kasım 2011) Orta Doğu teknik Üniversitesi (ODTÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı, 22 s.
- KOERI, 2011. Van earthquake (Mw 7.2) evaluation report as of 27 October 2011. Bogazçi University, Kandilli Observatory and Earthquake research institute, 3p.
- KOERI, 2012. Son Depremler, Kandili Rasathanesi ve Deprem araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqmap/gmapt.asp> (Son Erişim: 26 Nisan 2012).
- Kuo, C.H., Wen, K.L., Hsieh, H.H., Chang, T.M., Lin, C.M., Chen, C.T., 2011. Evaluating empirical regression equations for Vs and estimating Vs30 in northeastern Taiwan. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31 (3), 431-439
- Lee, S.H., 1990. Regression models for shear wave velocities *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 13, 519-532.
- METU, 2011a. Processed mainshock accelerometric recordings of the 23 October 2011 Van earthquake, Report no: METU/EERC 2011-02, 18p.
- METU, 2011b. 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri. Report no: METU/EERC 2011-04, 76s.
- Midorikawa, S., 1987. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake. *Journal of Structural Engineering*, 33, 43-48.
- NRC, 1973. The Great Alaska Earthquake of 1964, National Research Council (US), National Academy of Science, DC, 1019 p.
- Ohta, Y., Goto, N., 1978. Empirical shear wave velocity equation in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 167-187.
- Örçen, S., Tolluoğlu, U., Köse, O., Yakupoğlu, T., Çiftçi, Y., Işık, A., Selçuk, L., Üner, S., Özkaymak, Ç., Akkaya, İ., Özvan, A., Sağlam, A., Baykal, M., Özdemir, Y., Üner, T., Karaoğlu, Ö., Yeşilova, Ç., Oyan, V., 2004. Van Şehri Kentleşme alanında yüzeyleyen Pliyo-Kuvaterenr çökellerinde sedimentolojik özelliklerin ve aktif tektonizmanın depremselliğe yönelik incelenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TÜBİTAK Proje Raporu, Proje No. YDABAG 101Y100 (VAP 10), 161 s (Yayımlanmamış).
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D., 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi. *JMO Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35 (2), 175-199.
- Özler, H.M., 2004. Van Akiferinin Hidrojeolojisi ve Tuzlanma Nedenleri. TÜBİTAK-YDABAG, Proje No: 101Y097, İstanbul.
- Özvan, A., Akkaya, İ., Tapan, M., Şengül, A., 2005. Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları, Kocaeli Deprem sempozyumu, bildiriler kitabı, Kocaeli Üniversitesi, 1386-1393.
- Panagiotis, C., 2011. Preliminary report Van Earthquake-Turkey Mw 7.2 -23 October 2011, National Kapodistrian University of Athens, 59 p.

- Sandikkaya, M. A., Yılmaz, M. T., Bakır, B. S., Yılmaz, Ö., 2010 Site classification of Turkish national strong-motion stations, *Journal of Seismology*, (2010) 14, 543–563.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1981. Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes. *ASCE National Convention*, 81-544.
- Selçuk, L., 2003. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampusu yerleşim alanının Mühendislik Jeolojisi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Van, Yüksek Lisans Tezi, 150s (yayımlanmamış).
- Selçuk, L., Beyaz, T., 2005. Van Gölü havzasının probabilistik sismik tehlike analizi. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 221-222.
- Selçuk, L., Selçuk, A., Beyaz, T., 2010. Probabilistic seismic hazard assessment for Lake Van basin, Turkey. *Natural Hazard*, 54(2010), 949-965.
- Shoji, Y., Tani, K., Kamiyama, M., 2005. A study on the duration and amplitude characteristics of earthquake ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 505-512.
- Tamura, I., Yamazaki, F., 2002. Estimation of S-wave velocity based on geological survey data for K-NET and Yokohama seismometer network. *Proceedings of JSCE (Japan Society of Civil Engineers)*, Vol. 696, 237-248.
- TDY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 159s.
- Ulugergerli, U. E., Uyanık, O., 2007. Statistical correlations between seismic wave velocities and SPT blow counts and the relative density of soils. *Journal of Testing and Evaluation*, 35, 1-5.
- Ulusay, R., Kumsar, H., Konagai, K., Aydan, Ö., 2012. The Characteristics of Geotechnical Damage by the 2011 Van-Erciş Earthquake. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan, 1926-1937.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu, T., Üner, T., 2010. Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu. *Yerbilimleri*, 31/1, 53-66.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., (co-chair) 2001. Liquefaction resistance of soils. Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(4):817-833.
- YTU, 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi ön inceleme raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi, 61s.

Çayeli Bakır Yatağı Çevresindeki Toprak ve Bitkilerde Mevsimsel Değişimlerin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi

Application of Statistical Methods to Determine Seasonal Variations of Metals in Soils and Plants Around A Copper Deposit in Çayeli, Turkey

Gülten YAYLALI-ABANUZ, Necati TÜYSÜZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 30 Mart (March) 2012

Düzeltilme (revised) : 02 Temmuz (July) 2012

Kabul (accepted) : 10 Temmuz (July) 2012

ÖZ

Çalışma sahası Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Karadeniz Tektonik Birliği'nin doğusunda yer almaktadır. Doğu Avrupa'dan başlayıp, Orta Asya'dan Pasifik'e kadar uzanan Alp-Himalaya metalojenik kuşağının bir parçası olan Karadeniz Tektonik Birliği, çok sayıda ve farklı tiplerde ekonomik cevherleşmeye ev sahipliği yapması nedeniyle dünyadaki sayılı bölgelerden biridir. Çayeli Bakır (Cu) yatağı Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki en büyük yataklardan biridir. Dolayısıyla çalışma sahasındaki kayaçlar yüksek konsantrasyonlarda cevher elementleri içermektedir. Bu kayaçlardan türeyen topraklar ve bunların üzerinde yetişen çay bitkileri de yüksek element konsantrasyonuna sahiptir. Toprakların ve üzerinde yetişen bitkilerin element konsantrasyonlarının mevsimlere bağlı olarak değişim gösterip göstermediğinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada, 2005 yılının ilkbahar ve sonbahar dönemine karşılık gelen nisan ve ekim aylarında örnekleme yapılmış ve alınan örnekler ana (Mn, Al, Fe, Na, Ca, K, Mg ve P) ve eser (As, Cd, Co, Cu, Hg, Pb ve Zn) elementler için analiz edilmiştir. Elde edilen verilere lineer diskriminant analizi uygulanmıştır. Mahalanobis mesafesi sonuçlarından toprak ve bitki örneklerinin element konsantrasyonlarının iki mevsimde önemli değişiklik gösterdiği görülmüştür. Topraklardaki kirlilik, kirlenme indeksi ve birleştirilmiş kirlenme indeksi kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları topraklarda yüksek konsantrasyonlarda Cd, As, Pb, Zn, Mn, Cu, Co ve Hg değerlerini göstermektedir. Diğer elementler topraklardaki normal seviyelerde olduğu için değerlendirilmeye alınmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Çay, Çayeli bakır yatağı, Mevsimsel değişim.

G. Yaylalı-Abanuz

E-Posta: gultenyaylali@yahoo.com

ABSTRACT

The study area is located at the southern part of the Black Sea Tectonic Unit in northern Turkey. This unit which is a part of the Alpine-Himalayan metallogenic belt extending from Eastern Europe through Central Asia to the Pacific region hosts several types of economic mineralization. Çayeli copper deposit is one of the biggest deposits in the Eastern Black Sea region. Therefore, the host rocks in the study area contain high concentrations of various ore elements. Soils derived from the ore-containing rocks and tea plants growing on these soils may also contain high element concentrations. In order to better understand the seasonal variations, soil and tea leaf samples were collected during two seasons (April 2005, October 2005) and analyzed for major elements (Mn, Al, Fe, Na, Ca, K, Mg, and P), and trace elements (As, Cd, Co, Cu, Hg, Pb, and Zn). Linear discriminant analysis was performed on the soil and plant data of the study area. Mahalanobis generalized distance of both soil and plant samples showed that there was a large difference in the concentration level of two season's data. Contamination in soils was qualified with pollution index and integrated pollution index. Results of analysis yield that soils are characterized by high concentrations of Cd, As, Pb, Zn, Mn, Cu, Co, and Hg. Since concentrations of other elements do not exceed the permissible levels they are not evaluated.

Key Words: *Tea, Çayeli copper deposit, Seasonal variation.*

GİRİŞ

Topraklar eser elementler için havzalar olarak kabul edilir. Bundan dolayı da elementlerin çevredeki döngüsü için önemli rol oynadıkları düşünülür. Toprakların metal içeriği, insan aktivitelerinden ve doğal süreçlerden kaynaklanan metallerin toplamıdır (Loska vd., 2003a,b). Topraktaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları çevrede bulunan maden yataklarına, ana kayacın alterasyonuna, tarımda kullanılan gübrelere, otomobillerin egzozlarından çıkan gazlara, kömür yakılmasına ve benzeri etkenlere bağlıdır. Madenlerin ve madencilik aktivitelerinin çevreye çok önemli etkileri vardır. Toprak profilinde bölgesel yayılım yanında, toprakların ve üzerinde yetişen bitkilerin çok geniş çaplı kirlenmesine ve metallerin toksik konsantrasyonlara ulaşmalarına neden

olmaktadır (Down ve Stocks, 1977). Dolayısıyla zirai faaliyetlerin yapıldığı alanlardaki metal kirliliği oldukça önemlidir. Ağır metaller toprak ve bitki kirliliğine neden olmakta, daha sonra besin zincirine girerek çeşitli sağlık problemlerine yol açmaktadır. Toprak sadece kirleticiler için jeokimyasal bir havza değil, aynı zamanda kimyasal madde ve elementlerin atmosfer, hidrosfer ve canlılar arasındaki nakline doğal tampon görevi de yapmaktadır (Knox vd., 1999).

Türkiye’de çay bitkisi, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Gürcistan sınırından başlayan ve batıda Fatsa’ya kadar uzanan alan içerisinde yetiştirilmektedir. Sahilden yer yer 30 km kadar içeriye doğru giren, ortalama 8 km derinliğinde olan alan, çay yetiştiriciliği için en elverişli bölge olması nedeniyle birinci sınıf çay

bölgesi olarak kabul edilmektedir. Bahsedilen bölge içerisinde çaycılık, sahilden 400–500 m yüksekliğe kadar birbirine eklenerek yer yer bir çay denizi oluşturmakta ve kimi yerlerde 100 m yükseklikte çay bahçelerinin kurulduğu görülmektedir. Bunun yanında Doğu Karadeniz Bölgesi, Cu-Pb-Zn yatakları açısından Türkiye'nin en büyük potansiyeline sahip metalojenik bir kuşak oluşturmaktadır. Bu kuşak içinde halen işletilmekte olan madenlerin yanı sıra birçok irili ufaklı maden zuhuru mevcuttur. Dolayısıyla bu tür kayalar oldukça yüksek değerlerde cevher elementleri içermektedir. Bu tür cevher minerali içeren kayalardan türeyen topraklar ve üzerinde üretilen çayların da yüksek element konsantrasyonları içermesi söz konusudur. Ülkemizde çay üretiminin yoğun bir şekilde yapıldığı bölge topografik olarak oldukça engebeli olup, yıllık yağış miktarı 2300.2 mm'dir. Yıl içerisindeki en az yağış nisan ve mayıs, en fazla yağış ise eylül ve ekim ayların da gerçekleşmektedir. Suya doymuş topraklarda toprak çözeltisindeki HCO_3^- ve CO_3^{2-} konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak toprak pH'ı yükselmekte ve bu artışa bağlı olarak metal birikimi meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek pH şartlarında bitkiler tarafından element alımı kolaylaşmaktadır. Dolayısıyla mevsimsel değişimlerin ve özellikle bazı mevsimlerde yağmur miktarının artışının, bitkiler tarafından elementlerin alınması üzerinde önemli etkileri vardır. Bu nedenle topraktaki ve dolayısıyla da çay bitkisindeki elementlerin farklı mevsimlerde farklı konsantrasyonlarda olması beklenmektedir. Bu çalışmanın amacı, Çayeli-Madenköy yatağı çevresindeki topraklarda madenden kaynaklı kirlenmelerin belirlenmesi ve çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak elementlerin toprakta

ve çay bitkisinde mevsimsel olarak değişip değişmediğinin saptanmasıdır.

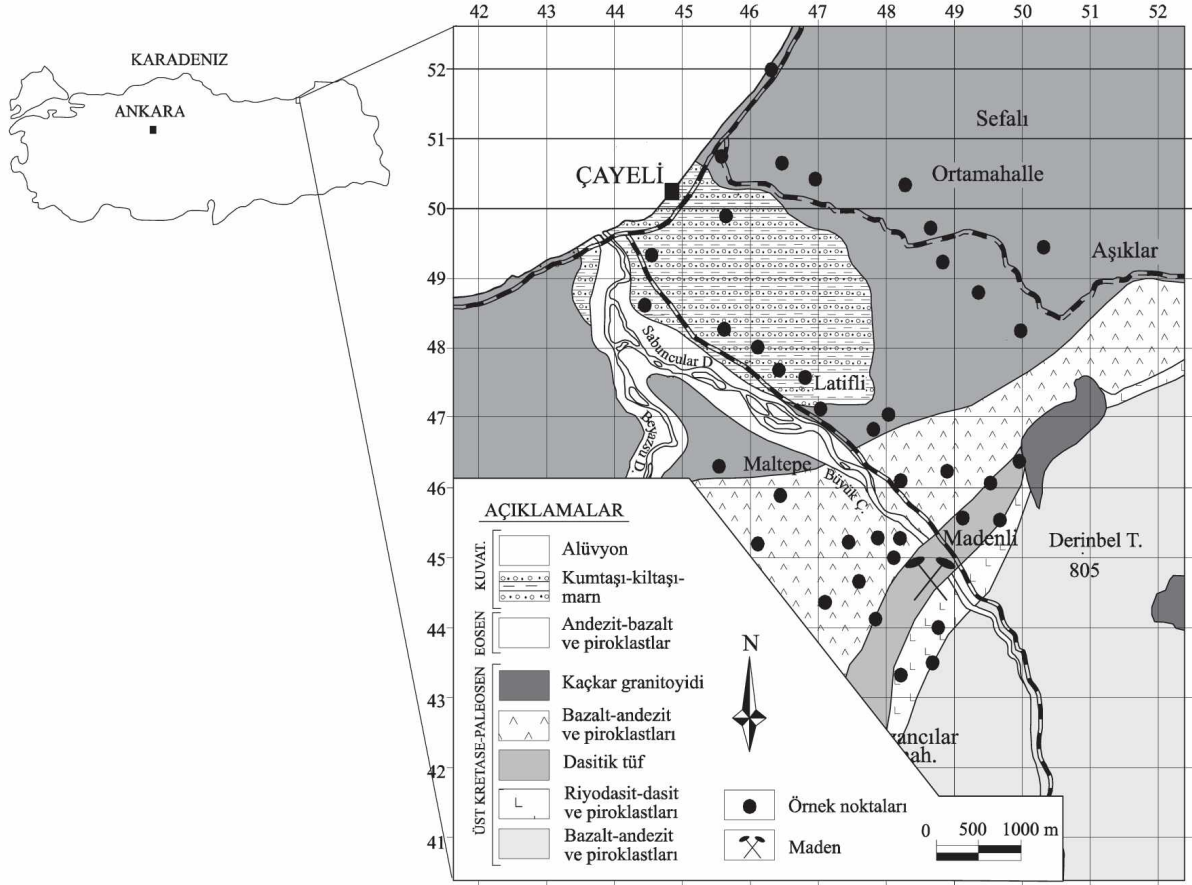
MATERYAL VE METODLAR

Çalışma Sahası

Çayeli-Madenköy sahası Rize iline bağlı Çayeli ilçesinin güneyinde yer almaktadır (Şekil 1). Arazi çok engebeli olup, yüksek tepeler ve derin vadiler görülür. Bölgedeki en önemli akarsular Sabuncular Dere, Beyazsu Dere ve Büyük Dere'dir. Bölgede çay bahçeleri geniş yer kaplar. Ayrıca kestane, gürgen, kızılbaş ve orman gülleri oldukça yaygındır.

Balkanlardan Himalayalara kadar uzanan ve yaklaşık 5000 km uzunluğundaki bir metalojeni kuşağı içinde yer alan Doğu Karadeniz Bölgesi bir maden provansı özelliğinde olup, Türkiye'nin en önemli Cu-Pb-Zn kuşağını içermektedir. Bölgede değişik parajenezlerde volkanik malzeme eşikli masif sülfür zenginleşmeleri, skarn ve damar tipi maden yatakları mevcuttur (Tüysüz, 1995; Akçay ve Tüysüz, 1997; Akçay ve Arar, 1999; Tüysüz ve Akçay, 2000).

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Üst Kretase volkanizması son derece yaygın olup, çok geniş alanlarda izlenebilen yüzeylenmeler verir. Bu volkanizma dört ayrı evrede ardalanmalı asit ve bazik karakterli olarak gelişmiştir. Volkanizmanın ilk evresinde Alt Bazik Seri olarak adlandırılan bazik kayalar, bunların üzerine asitik volkanizmanın ilk ürünleri olan dasitik ve riyolitik kayalar, daha üstte Üst Bazik Seri olarak adlandırılan bazalt ve andezitler ve bu birimlerin üzerine de Üst Kretase volkanizmasının son ürünleri olan ve daha dar alanlarda izlenen asitik volkanikler gelişmiştir.



Şekil 1. Çalışma sahasına ait genel jeoloji haritası (Çuvalcı vd., 1997'den değiştirilmiştir) ve örnek noktaları.

Figure 1. General geological map of the study area (modified from Çuvalcı et al., 1997) and sampling locations.

Çalışma konusunu oluşturan Çayeli madeni polimetalik bir sülfid cevherleşmesidir. Hâkim cevher minerali pirittir. Cevherleşme asidik piroklastları oluşturan denizaltı volkanik faaliyetinin en son safhasındaki hidrotermal eriyik ve gazlara bağlı olarak oluşmuştur. Cevherleşme, asidik piroklastların meydana getirdiği büyük bir antiklinalin kenarında yer alır. Cevher kütlesi uzun eksenini 500 m, kısa eksenini 50–100 m olan KD-GB doğrultulu ve 50–80 KB eğimli bir şekil gösterir (Nebioğlu, 1975).

Yatakta siyah cevher, sarı cevher ve ağsal cevher olmak üzere üç ayrı tip cevherleşme gözlenmiştir. Siyah cevher pirit taneleri ve iri taneli sfaleritik matriksten oluşmaktadır. Cevher masif, kırıntılı ve boşluklu yapıdadır. Sarı cevher başlıca yuvarlak şekilli pirit kristallerinden oluşur. Pirit, sfalerit ve kilden oluşan bir matriks içinde bulunur. Ağsal cevher ise masif merceğin tabanında yer alır ve üç ayrı şekilde bulunur. Bunlar piritli damarcıklar, kalkopiritli damarcıklar ve taban ağsal cevheridir. Masif

cevherin ve altındaki saçınımlı cevherin tenörü % 3.7 Cu, % 5.9 Zn ve % 0.3 Pb şeklinde olup, rezerv 10.6 milyon tondur (Akçay ve Arar, 1999).

Analitik Yöntem

Maden sahası ve çevresindeki toprak ve üzerinde yetişen çay bitkilerinden nisan ve ekim aylarında 39 noktadan örnek alınmıştır (Şekil 1). Toprak örnekleri, çay bitkisinin yapraklarının alındığı ocakların altından, toprağın yaklaşık 25 cm derinliğine karşılık gelen B zonundan alınmıştır. Örnekleme yapılırken el burguları kullanılmış ve alınan örnekler kâğıt torbalara konularak laboratuvara taşınmıştır. Örnekler laboratuvarlara getirildikten sonra oda sıcaklığında kurutulmuş ve agat havan yardımıyla öğütülmüştür. 0.177 mm'lik eleklerden geçirilen örnekler paketlenerek analiz edilmek üzere Acme laboratuvarlarına (Kanada) gönderilmiştir. Burada örneklerden 1 gram alınarak 1 saat süreyle 6 mL (2-2-2) HCl-HNO₃-H₂O çözeltisiyle 95 C° sıcaklıkta çözündürülmüş ve ICP-ES & MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi) tekniği ile analiz edilmiştir. Laboratuvara getirilen yaprak örnekleri ise saf su ile yıkandıktan sonra oda sıcaklığında yaklaşık 1 hafta kurutulmuştur. Daha sonra fırınlarda içerdiği nemin alınmasına yönelik olarak 70-80 C° sıcaklıkta 2 saat bekletilmiştir. Nemi alınan örnekler, öğütücüler yardımıyla öğütülmüş ve 0.177 mm'lik elekten geçirilerek elek altında kalan örnekler paketlenerek analiz edilmek üzere Acme laboratuvarlarına gönderilmiştir. Bu laboratuvarda çay bitkisi örneklerinden 1 gram alınmış ve bunlar 2 mL HNO₃ çözeltisi içinde 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra 6 mL (2-2-2) HCl-HNO₃-H₂O çözeltisine alınmış ve burada

95 C° sıcaklıkta 1 saat çözündürüldükten sonra ICP-ES & MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi) tekniği kullanılarak toplam 38 element için analiz edilmiştir.

Veri Ön İşlemleri

İstatistiksel çalışmalara geçmeden önce tüm veriler aşağıdaki şekilde standardize edilmiş ve daha sonraki çalışmalar elde edilen yeni değerlere göre yapılmıştır.

$$hr = X_{\max} - X_{\min} / 2 \quad (1)$$

$$cv = X_{\max} + X_{\min} / 2 \quad (2)$$

burada hr ; yarı aralık, cv ; merkezi değer, X_{\max} ve X_{\min} her bir değişkenin maksimum ve minimum değerleridir. Daha sonra tüm X_i değişkenleri aşağıdaki şekilde standardize edilerek z_i değerleri bulunur:

$$z_i = (X_i - cv) / hr \quad (3)$$

Bu dönüştürme işlemi istatistiksel analizler uygulanmadan önce verileri homojenize etmeye yarayan en kullanışlı tekniktir (Moreda- Pineiro vd., 2002).

Lineer Diskriminant Analizi (LDA)

Diskriminant analizinin amacı örnek gruplarını eniyi şekilde ayırtlayan ve değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu olan yeni değişkenler belirlemektir (Tüysüz ve Yaylalı-Abanuz, 2005). Bu değişkenler daha sonra herhangi bir gruba ait olmayan örneklerin sınıflandırılmasında kullanılır (Cooley ve Lohnes, 1971). Daha önce yapılan birçok çalışmada diskriminant analizi kullanılarak topraklarda, sedimanlarda ve sularda madencilikten ve endüstriyel çalışmalardan

kaynaklanan kirleticilerin antropojenik katkıları belirlenmeye çalışılmıştır (Rahta ve Venkataraman, 1997; Rahta ve Sahu, 1993).

Diskriminant analizi, tanımlanan gruplar arasında ayrımı yapacak iki ya da daha fazla bağımsız değişkenin lineer kombinasyonunun türetimini kapsamaktadır. Bu analiz sonucunda grupları birbirinden ayırmaya yarayan fonksiyon bulunur ve hesaplanan fonksiyonlar yardımıyla yeni gözlenen bir birim, hatası minimum olacak şekilde gruplardan herhangi birine yerleştirir.

Diskriminant fonksiyonunu bulmak için kullanılan yöntemlerden birisi regresyon yöntemidir. Doğrusal diskriminant fonksiyonu genel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$R = b_{0i} + b_{1i}x_1 + b_{2i}x_2 + \dots + b_{mi}x_m \quad (4)$$

Bu fonksiyondaki i ; grup numaralarını, b_{mi} ; doğrusal bileşenleri, b_{0i} ise sabit değeri gösterir. Grupların birbirinden ayrılması gruplar arasındaki farklılığı maksimum yapan bir ayırma fonksiyonu ile mümkün olur. Bunun için aşağıdaki gibi ortak bir ayırma fonksiyonu belirlenir:

$$R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (5)$$

İki değişkenli A ve B grubu için ayırma fonksiyonu şu şekildedir:

$$R_A = b_{0A} + b_{1A}X_{1A} + b_{2A}X_{2A} \quad (6)$$

$$R_B = b_{0B} + b_{1B}X_{1B} + b_{2B}X_{2B} \quad (7)$$

İki grup arasındaki ayırımın önemli olup olmadığını test etmek için grup ortalamaları arasındaki Mahalanobis uzaklığı (D^2) kullanılır:

$$D^2 = [\bar{A}_i - \bar{B}_i]^t [S_p^2]^{-1} [\bar{A}_i - \bar{B}_i] \quad (8)$$

Sonuçta her grup için hesaplanan diskriminant skorları diskriminant fonksiyonu çizgisi boyunca çizilebilir ve diskriminant skor indeksi R_0 , diskriminant fonksiyon çizgisi boyunca 1. grup ve 2. grubun merkezleri arasındaki mesafenin tam ortasını gösteren noktadan bulunabilir. Eğer noktalarda üst üste gelme var ise bu durumda yanlış sınıflama hatası hesaplanmalıdır. Üst üste binme küçük ise bu durumda gruplar ideal bir şekilde ayrılmış demektir. Her grup için hesaplanan diskriminant skorları diskriminant fonksiyon çizgisi boyunca grafiğe aktarılır. Grafiğin düşey ölçeği hesaplanmış skoru, yatay ölçeği diskriminant fonksiyon çizgisinin üzerindeki örnek skorların izdüşümlerini göstermektedir. R_0 diskriminant indeksi, diskriminant çizgisi boyunca 1. ve 2. grup merkezlerinin arasındaki mesafenin orta noktasına denk gelmektedir.

TARTIŞMA

İstatistiksel çalışmalar SPSS 10.0 ve Statistica programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toprak ve bitki örneklerinin içerdiği elementlere ait temel istatistiksel parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Elementlerin çoğu geniş bir dağılıma sahiptir. Buna örnek olarak nisan ayındaki konsantrasyonu 64-3468 mg/kg, ekim ayındaki konsantrasyonu 74-5976 mg/kg arasında değişen ve ortalaması sırasıyla 1053 mg/kg ve 1249 mg/kg olan Mn verilebilir. Benzer değişkenlik Co, Cu, Hg, Pb, Zn elementlerinden de elde edilmiştir.

Her iki döneme ait toprak örnekleri kuvvetli asidikten orta dereceli asidiğe kadar değişen özellikler sergilemektedir. 1. sürgün dönemine

Çizelge 1. Nisan ve ekim aylarında alınan toprak ve bitki örneklerine ait verilerin temel istatistiksel parametreleri (St.S. Standart sapma; Veriler Yaylalı-Abanuz ve Tüysüz, 2009'dan alınmıştır).

Table 1. Basic statistical parameters of soil and plant samples collected in April and October (St S. Standard deviation) (from Yaylalı-Abanuz and Tüysüz, 2009).

Elementler	Toprak (Nisan)			Toprak (Ekim)		
	Ortalama	Aralık	St. S.	Ortalama	Aralık	St. S.
As	2.66	0.30-5.30	1.42	2.31	0.10-6.40	1.31
Cd	0.17	0.02-0.65	0.12	0.17	0.03-0.40	0.09
Co	20.67	2.40-36.40	10.13	21.25	1.80-40.00	11.24
Cu	59.58	8.56-163	32.03	59.09	4.22-325	49.49
Hg	51.03	9.00-148	29.90	74.72	7.00-872	135.14
Mn	1053	64-3468	497	1249	74-5976	931
Pb	18.32	3.41-121	19.32	16.16	1.85-53.68	11.31
Zn	96.86	41.30-212	34.53	91.91	40.50-153	20.21
Al	4.93	2.29-7.56	1.57	4.84	1.64-7.54	1.93
Fe	5.41	2.15-7.87	1.58	5.27	1.90-8.25	1.61
Na	0.03	0.00-0.23	0.05	0.05	0.00-0.99	0.16
Ca	0.33	0.01-1.08	0.34	0.30	0.01 - 1.19	0.31
K	0.11	0.03-0.36	0.07	0.13	0.03 - 0.53	0.11
Mg	0.97	0.06-2.23	0.60	0.96	0.07 - 2.76	0.65
P	0.06	0.01-0.23	0.04	0.07	0.02 - 0.41	0.06
Elementler	Yaprak (Nisan)			Yaprak (Ekim)		
	Ortalama	Aralık	St. S.	Ortalama	Aralık	St. S.
As	0.14	0.10 – 0.60	0.10	0.12	0.10 – 0.30	0.05
Cd	0.06	0.02 – 0.12	0.02	0.35	0.03 – 0.20	0.04
Co	0.28	0.10 – 0.70	0.14	0.38	0.10 – 0.80	0.17
Cu	12.72	5.93 – 26.21	3.76	12.72	6.89 – 18.51	2.37
Hg	7.03	5.00 – 16.00	2.65	0.24	5.00 – 39.00	0.05
Mn	1198	354 – 2421	555	1650	659 – 5024	838
Pb	0.97	0.49 – 2.63	0.43	0.58	0.28 – 1.31	0.24
Zn	27.32	17.40 – 47.90	5.66	22.78	16.10 – 30.80	3.69
Al	0.11	0.05 – 0.30	0.05	0.25	0.12 – 0.92	0.16
Fe	0.02	0.01 – 0.06	0.01	0.02	0.01 – 0.05	0.01
Na	0.01	0.00 – 0.02	0.01	0.01	0.00 – 0.02	0.01
Ca	0.39	0.28 – 0.58	0.09	0.58	0.35 – 0.95	0.16
K	1.69	1.25 – 2.56	0.24	2.09	1.04 – 2.84	0.46
Mg	0.15	0.10 – 0.20	0.03	0.24	0.14 – 0.36	0.05
P	0.31	0.25 – 0.45	0.05	0.29	0.19 – 0.356	0.05

ait toprak örneklerinin % 85'i kuvvetli asidik ($\text{pH} \leq 4.5$), % 15'i asidik ($\text{pH} = 4.5 - 5.5$), 3. sürgün dönemine ait toprak örneklerinin % 46'sı kuvvetli asidik, % 53.8'i ise asidiktir.

Mevsimsel Değişimler

Bitkilerin fiziksel ve biyokimyasal aktiviteleri çeşitli etmenlerin etkisi altındadır. Bu etmenlere bağlı olarak bitkinin topraktaki elementleri alımı artar, azalır ya da değişmeden kalır. Bu etmenler, pH, sıcaklık, havalanma, iyonların karşılıklı etkileri, ışık, bitki çeşidi, bitkinin büyüme durumu şeklinde sıralanabilir. Toprak pH'ı toprak içindeki besin maddelerinin ve elementlerin bitkiler tarafından alınması üzerinde etkili olur. Ortam asitleştikçe bazı elementler kolaylıkla hareket edebilmekte ve bitkiler için kullanışlı hale gelebilmektedir. Toprağın asidik şartları toprağın katı fazından bazı elementlerin çözünmesini ve toprak çözeltisinin bu elementler bakımından zenginleşmesini sağlamaktadır (Kabata-Pendias, 2000).

Birçok araştırmacı yaptıkları çalışmalarda özellikle suya doymun topraklarda toprak pH'ının giderek arttığını vurgulamaktadır (Ratha ve Venkataraman, 1997). Özellikle yağışın çok fazla olduğu mevsimlerde su bakımından zengin topraklarda toprağa O_2 difüzyonu ve topraklardan CO_2 çıkışı büyük ölçüde azalmaktadır. Bu da topraklarda CO_2 birikimine neden olmaktadır. Bu ise toprak çözeltisindeki HCO_3^- ve CO_3^{2-} konsantrasyonlarının artmasına ve toprak pH'ının yükselmesine ve metal birikimine neden olmaktadır (Jung ve Thornton, 1997). Dolayısıyla mevsimsel değişimlerin ve özellikle bazı mevsimlerde yağmur miktarının artışı, bitkiler tarafından elementlerin alınması üzerinde önemli etkileri vardır.

Çalışma sahası ve yakın çevresine ait son 41 yılın ortalama yağış değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Sahada en az yağış nisan ve mayıs aylarında, en fazla yağış ise eylül ve ekim aylarında gözlenmektedir.

Çizelge 2. Çalışma sahası ve yakın çevresinde 1970-2011 yılları arasındaki ortalama yağış değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012).

Table 2. Average precipitation values in the study area and its vicinity between 1970-2011 (General Directorate of Meteorology, 2012).

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Ortalama yağışlı gün sayısı	15.1	14.3	15.8	15.5	15.1	14.6
Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (kg/m^2)	212.0	178.1	144.1	93.9	99.1	138.6
Aylar	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama yağışlı gün sayısı	14.4	15.2	15.3	16.2	14.7	15.3
Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (kg/m^2)	148.9	182.1	256.8	305.1	251.0	243.2

Çayeli sahasında toprak ve çay bitkisindeki element konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişiklik gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla nisan ve ekim aylarında alınan toprak ve yaprak örnekleri için lineer diskriminant fonksiyonu bulunmuştur. Toprak örnekleri için belirlenen diskriminant fonksiyonu şu şekildedir:

$$R = 2.25 \text{ Cu} - 8.24 \text{ Pb} - 4.76 \text{ Zn} - 1.26 \text{ Co} + 5.53 \text{ Mn} + 1.07 \text{ Fe} + 52 \text{ As} - 3.82 \text{ Cd} - 1.98 \text{ Ca} + 5.00 \text{ P} + 7.95 \text{ Mg} - 3.96 \text{ Al} + 0.39 \text{ Na} - 2.89 \text{ K} + 1.21 \text{ Hg}$$

R_0 toprak diskriminant indeksi ise 0.0065 olarak bulunmuştur. R_0 'dan büyük değerler nisan ayına ait toprak örneklerini, küçük değerler ise ekim ayına ait toprak örneklerini işaret etmektedir.

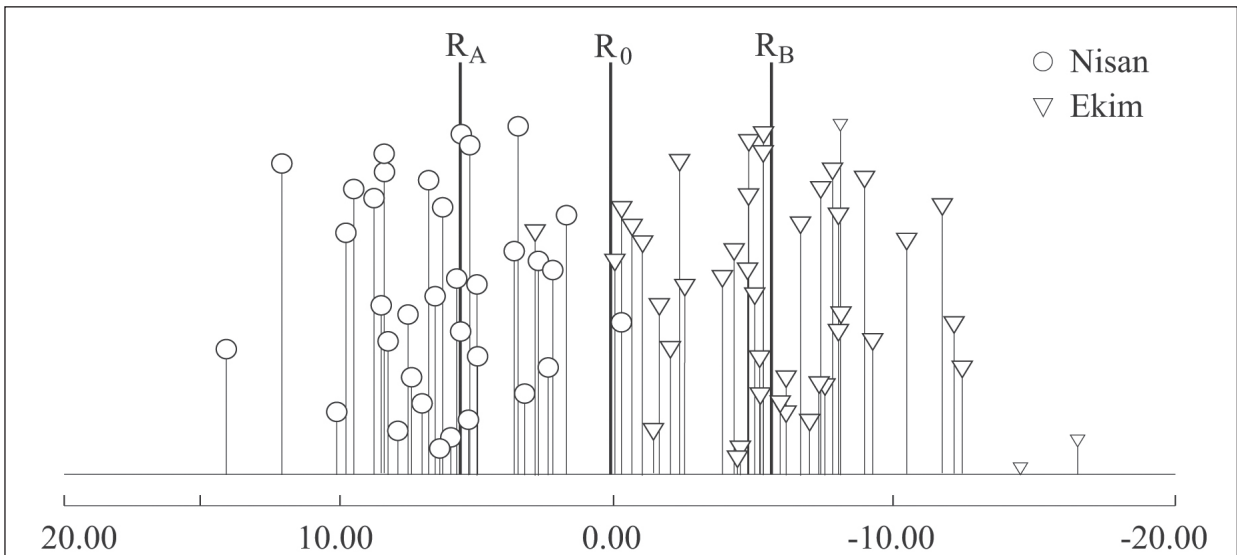
Nisan ayında alınan topraklara ait grup ortalaması R_A 5.67, ekim ayında alınan topraklara ait grup ortalaması R_B ise -5.66 olarak hesaplanmıştır. Ekim ayında alınan toprak örneklerinden bir tanesi nisan ayına ait

toprakların olduğu grupta, nisan ayında alınan toprak örneklerinin bir tanesi ise ekim ayında alınan toprak grubunda yer almaktadır. Bu noktalar diskriminant fonksiyonu tarafından yanlış sınıflandırılmıştır. Sonuçta iki topluluk da birbirlerinden iki örnek dışında iyi bir şekilde ayrılmıştır (Şekil 2).

Nisan ve ekim aylarında alınan toprak örneklerinde 15.25'lik yüksek D^2 değeri bulunmuş, F-değeri 16.17, serbestlik derecesi 15 ve 62 olarak hesaplanmıştır. Buna göre bu fonksiyon anlamlıdır ve ayırtman özelliğe sahiptir. Dolayısı ile bu 2 topluluğu ayırmak için kullanılabilir.

Nisan ayında alınan yaprak örneklerini ekim ayında alınan örneklerden ayıran diskriminant fonksiyonu şu şekildedir:

$$R = -0,63 \text{ Cu} - 2.92 \text{ Pb} - 1.23 \text{ Co} + 2.21 \text{ Mn} + 1.49 \text{ Fe} + 0.99 \text{ As} + 4.33 \text{ Cd} - 3.27 \text{ Ca} + 1.35 \text{ P} + 2.55 \text{ Mg} + 2.07 \text{ Al} - 0.33 \text{ Na} - 5.36 \text{ K} - 0.32 \text{ Hg}$$

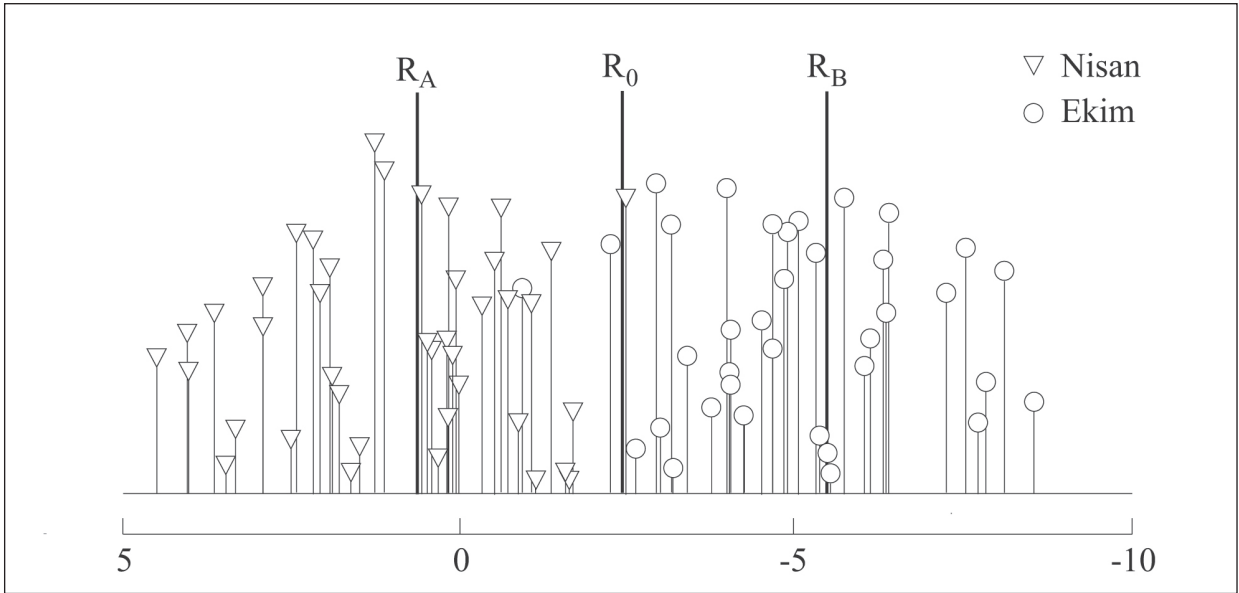


Şekil 2. Toprak örnekleri için diskriminant skor grafiği.

Figure 2. Discriminant score plot for soil samples.

R_0 yaprak diskriminant indeksi -2.42 olarak bulunmuştur. R_0 'dan büyük değerler nisan ayı çay yapraklarını, küçük değerler ise ekim ayı çay yapraklarını işaret etmektedir. Her iki döneme ait yaprak analiz sonuçları birkaç örnek dışında iyi bir şekilde ayrılmışlardır (Şekil 3). Yaprak örneklerine ait Mahalanobis mesafesi (D^2), 5.95 olarak hesaplanmıştır. F değeri 6.31, serbestlik derecesi ise 15 ve 62'dir. Bu değerlere göre bu fonksiyon anlamıdır ve ayırtman özelliğe sahiptir.

Diskriminant analizi sonucunda çay bitkisinin toplandığı 1. ve 3. sürgün dönemlerine karşılık gelen nisan ve ekim aylarında alınan toprak ve yaprak örneklerinin element içeriklerinin farklılıklar gösterdiği sonucu çıkarılabilir. Bu farklılık bölgede özellikle eylül ve ekim aylarında meydana gelen yoğun yağış ve bunun sonucunda toprak ve çay yapraklarındaki element konsantrasyonlarında değişiklikler şeklinde açıklanmaktadır.



Şekil 3. Yaprak örnekleri için diskriminant skor grafiği.

Figure 3. Discriminant score plot for leaf samples.

Nisan ayında alınan yaprak örneklerinin oluşturduğu grubun ortalaması $R_A = 0.53$, ekim ayında alınan yaprak örneklerinin oluşturduğu grubun ortalaması $R_B = -5.38$ olarak hesaplanmıştır. Ekim ayına ait yaprak örnekleri nisan ayına göre daha geniş bir yayılım sunmaktadır.

Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği

Çayeli sahasında madenden kaynaklı toprak kirliliğinin belirlenmesi amacıyla metallere ait kirlenme indeksi ve birleşik kirlenme indeksi değerleri hesaplanmıştır. Kirlenme indeksi değeri şu şekilde elde edilmektedir:

$$PI = C_n / B_n \quad (9)$$

Burada Cn çalışılan elemente ait konsantrasyonu, Bn ise o elemente ait background değerini göstermektedir. Bn değeri olarak topraktaki ortalama konsantrasyonlar kullanılmıştır (Taylor ve McLennan, 1995; Li, 2000).

Topraklardaki ağır metal kirliliğinin belirlenmesine yönelik olarak kullanılan yöntemlerden biri de birleştirilmiş kirlilik indeksidir. Bu değer, her bir örnek için hesaplanan kirlenme faktörlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Birleştirilmiş kirlenme indeksi değeri, $IPI \leq 1$ düşük dereceli kirlenmeyi, $1 < IPI \leq 2$ orta derecede kirlenmeyi, $2 < IPI \leq 5$ yüksek derecede kirlenmeyi, $IPI > 5$ çok yüksek derecede kirlenmeyi göstermektedir.

Çayeli sahasından her iki dönemde alınan toprakların içerdiği metallere ait kirlenme indeksi (PI) değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'te ayrıca Taylor ve McLennan (1995) ve Li (2000) tarafından belirlenmiş olan ve çalışılan metallerin yer kabuğundaki miktarını

gösteren referans değerler bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 4 ve Şekil 5'te her bir elemente ait kirlenme indekslerinin dağılımı verilmiştir. Nisan ayında alınan toprak örnekleri Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Pb ve Zn bakımından orta derecede, As bakımından ise önemli derecede kirlenme göstermektedir. Ekim ayında alınan topraklar ise As, Cd, Co, Cu, ve Zn bakımından orta derecede, Hg ve Mn bakımından ise önemli derecede kirlenme göstermektedir. Topraklarda Pb bakımından düşük derecede kirlenme söz konusudur.

Cu için PI değerleri nisan ayında 0.22 ile 4.18 arasında, ekim ayında 0.11 ile 8.33 arasında değişmekte olup, nisan ayında alınan örneklerin % 49'u orta derecede kirlenmeyi, % 26'sı yüksek derecede kirlenmeyi göstermektedir. Ekim ayında alınan örneklerin ise % 51'i orta derecede kirlenmeyi, % 15'i yüksek derecede kirlenmeyi, % 3'ü ise çok yüksek derecede kirlenmeyi göstermektedir.

Çalışma sahasından alınan örneklerdeki ağır metallere ait IPI değerleri nisan ayı için 0.63 - 2.83 arasında, ekim ayı için 0.77 - 4.22 arasında

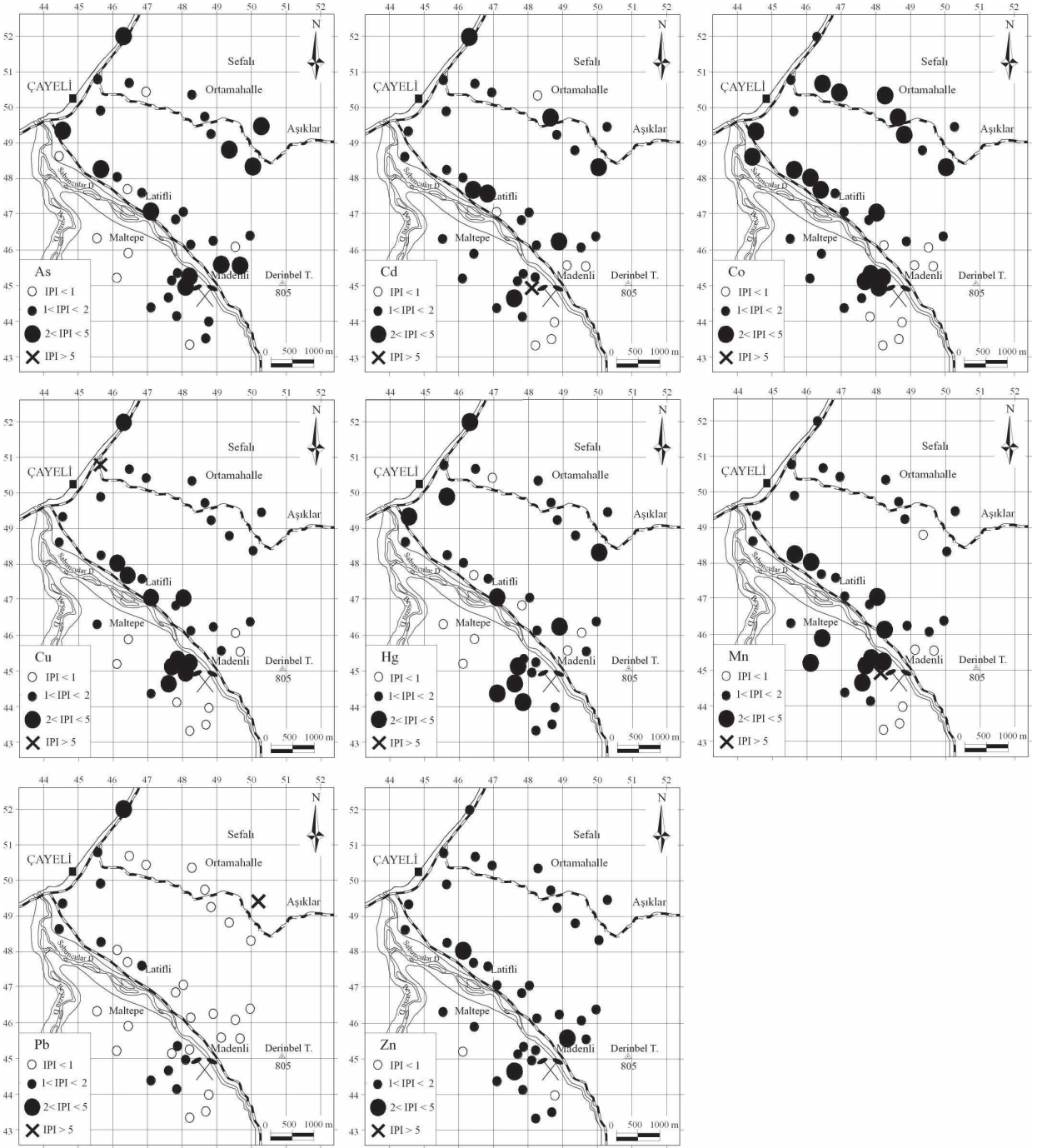
Çizelge 3. Çayeli sahasından alınan toprakların içerdiği metallere ait kirlenme indeksi değerleri.

Table 3. Pollution index values for metals in the Çayeli soils.

Metal	Referans Değer (mg/kg)	Kirlenme İndeksi (PI)			
		Nisan		Ekim	
		Min.-Maks.	Ortalama	Min.-Maks.	Ortalama
As	1.6	0.19 - 1.66	3.31	0.06 - 4.00	1.44
Cd	0.1	0.20 - 6.5	1.67	0.30 - 4.00	1.66
Co	13	0.18 - 2.80	1.59	0.14 - 3.08	1.63
Cu	39	0.22 - 4.18	1.53	0.11 - 8.33	1.52
Hg	30*	0.30 - 4.93	1.70	0.23 - 29.07	2.49
Mn	580	0.11 - 4.19	1.82	0.13 - 10.30	2.15
Pb	17	0.20 - 7.12	1.08	0.11 - 3.16	0.95
Zn	67	0.62 - 3.17	1.45	0.60 - 2.29	1.37

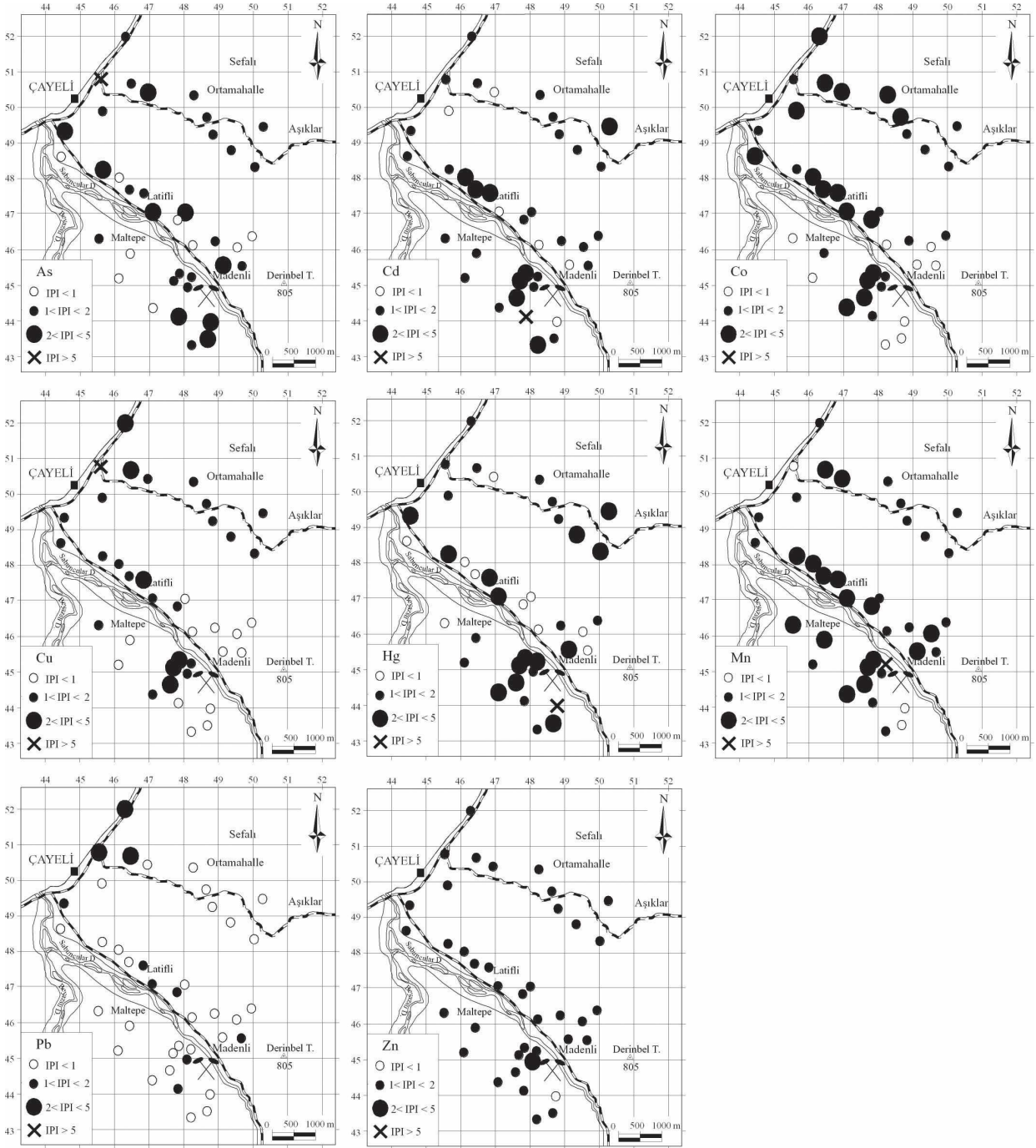
*µg/kg

Yaylalı-Abanuz ve Tüysüz



Şekil 4. 2005 yılı Nisan ayında alınan toprak örneklerindeki metallere ait kirlenme indeksi dağılımı.

Figure 4. Spatial distribution of the pollution index for metals of the soil samples collected in April 2005.



Şekil 5. 2005 yılı Ekim ayında alınan toprak örneklerindeki elementlere ait kirlenme indeksi dağılımı.

Figure 5. Spatial distribution of the pollution index for metals of the soil samples collected in October 2005.

değişmektedir. Nisan ayında alınan toprakların % 16'sının, ekim ayında alınan toprakların ise % 18'inin, IPI değeri 2 - 5 arasında olup, bu değer toprakların ağır metallerce yüksek derecede kirlendiğini göstermektedir. Bu ise Çayeli topraklarının madenden kaynaklı ağır metallere etkilediğinin bir göstergesidir.

SONUÇLAR

Çayeli sahasından alınan toprak ve çay yaprak örneklerine ait element konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişimler lineer diskriminant analizi kullanılarak belirlenmiştir. Mahalanobis mesafesi kullanılarak yapılan diskriminant analizinde hem toprak hem de yaprak örneklerinin element konsantrasyonlarının nisan ve ekim aylarında farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Mevsimsel değişimler özellikle de bazı mevsimlerde yoğun yağışın olması toprak pH'sının değişimine, dolayısıyla da toprak ve bitkilerin element konsantrasyonlarının farklı olmasına neden olmaktadır. Sahadan farklı mevsimlerde alınan toprak ve bitki örnekleri diskriminant analizi ile birkaç örnek dışında çok iyi ayrılmıştır.

Çalışma sahasından alınan topraklar kirlenme indeksi hesaplamalarına dayanılarak sınıflandırılmış ve nisan ayında alınan toprakların As bakımından önemli derecede, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Pb ve Zn bakımından orta derecede kirlendiği, ekim ayında alınan toprakların ise Pb bakımından düşük derecede, As, Cd, Co, Cu ve Zn bakımından orta derecede, Hg ve Mn bakımından ise önemli derecede kirlendiği belirlenmiştir. Yapılan IPI hesaplamaları sonucunda nisan ayında alınan toprak örneklerinin % 16'sının, ekim ayında alınan toprak örneklerinin ise

% 18'inin ağır metallerce yüksek derecede kirlendiği ortaya çıkarılmıştır.

Çayeli sahasının Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki en büyük Cu cevherleşmesine ev sahipliği yapması, bundan dolayı da sahadaki kayaçların cevher elementlerini yüksek konsantrasyonlarda içermesi sonucunda bu kayaçların üzerindeki toprakların da yüksek element konsantrasyonlarına sahip olması kaçınılmaz bir durumdur. Yapılan bu çalışma ile bu durum daha açık bir şekilde ortaya konmuştur. Saha topraklarındaki ağır metal kirliliğinin madenin yanı sıra antropojenik (trafik, zirai faaliyetler, vb.) kaynaklarının da olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla çevre sağlığı kriterleri dikkate alınarak özellikle maden çevresindeki toprakların bitkisel arındırma gibi çeşitli arındırma yöntemlerine ihtiyacı vardır. Aksi halde kirlenmiş topraklardaki ağır metallere yeraltı suyuna karışması ya da üzerinde yetişen bitkiler aracılığıyla besin zincirine girmesi durumunda insan sağlığı açısından oldukça tehlikeli durumların ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akçay, M., Tüysüz, N., 1997. Murgul Cu Madeni Çevresinde Ağır Elementlerin Yanal Dağılımı ve Çevresel Kirlilik Üzerine Etkileri, Geosound, 30, 725-741.
- Akçay, M., Arar, M., 1999. Geology, Mineralogy and Geochemistry of The Çayeli Massive Sulfide Ore

- Deposits, Rize, NE-Turkey, Mineral Deposits, Processes to Processing, Stanley et.al. (eds), Balkema, Rotterdam. 459-462.
- Cooley, W.W., Lohnes, P.R., 1971. Multivariate Data Analysis. John Wiley and Sons, Inc., New York, 364 p.
- Çuvalcı, F., Yaprak, S., Eroğlu, C.İ., Kuruçelik, M.K., Doksanbir, T., 1997. Çayeli-Fındıklı (Rize) Güney Yörelere Tahkik Jeokimya Raporu, MTA Yayınları, Ankara, 10298, 644 s.
- Down, C.G., Stocks, J., 1977. Environmental Impact of Mining, Applied Science Publishers, London, 371 p.
- Jung, M.C., Thornton, I., 1997. Environmental Contamination and Seasonal Variation of Metals in Soils, Plants and Waters in the Paddy Fields Around a Pb-Zn Mine in Korea, the Science of the Total Environment, 198, 105-121.
- Kabata-Pendias, A., 2000. Trace Elements in Soils and Plants, 3rd edition, CRC Press, USA, 413 p.
- Knox, A. S., Gamedinger, A. P., Adriano, D. C., Kokla, R. K., Kaplan, D. I., 1999. Sources and Practices Contributing to Soil Contamination, in Bioremediation of Contaminated Soils, American Society of Agronomy., Madison, Wisconsin, USA. 85.
- Li, Y.H., 2000. A Compendium of Geochemistry: from Solar Nabula to the Human Brain. Princeton University Press, New Jersey, USA, 475 p.
- Loska, K., Wiechula, D., Barksa, B., Cebula, E., Chojnecka, A., 2003 a. Assessment of Arsenic Enrichment of Cultivated Soils in Southern Poland, Polish Journal of Environmental Studies, 12, 187-192.
- Loska, K., Wiechula, D., Korus, I., 2003 b. Metal Contamination of farming Soils Affected by Industry. Environment International 30, 159-165.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012. www.meteor.gov.tr/veridegerlendirme.
- Moredo-Pineiro, A., Fisher, A., Hill, S.J., 2002. The Classification of Tea According to Region of Origin Using Pattern Recognition Techniques and Trace Metal Data. Journal of Food Composition and analysis, 16, 195-211.
- Nebioğlu, T.Y., 1975. Rize-Çayeli-Madenköy Sahasındaki Bakır Yatağına Ait Sonuç Raporu. MTA Yayınları, No: 283, Trabzon.
- Rahta, D.S., Sahu, B.K., 1993. Seasonal Variation of Geochemical Data in Sediment Samples from Two Estuaries in Western India. Indian Journal of Environmental Health 35, 294-300.
- Rahta, D.S., Venkataraman, G., 1997. Application of Statistical Methods to Study Seasonal Variation in the Mine Contaminants in Soil and Groundwater of Goa, India. Environmental Geology, 27, 253-262.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995. The Geochemical Evolution of the Continental Crust. Reviews of Geophysics., 33, 165-241.
- Tüysüz, N., 1995. Lahanos (Espiye-Giresun) Masif Sülfid Yatağına Ait Cevher Mineralleri ve Dokularının Cevher Oluşumu Açısından İncelenmesi, Geosound, 26, 79-92.
- Tüysüz, N., Akçay, M., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Altın Yataklarının Karşılaştırmalı İncelemesi. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, MTA, Sanat Kitabevi, Ankara, 625-645.
- Tüysüz, N., Yaylalı-Abanuz, G., 2005. Jeostatistik-Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, No:220, Trabzon, 382 s.
- Yaylalı-Abanuz, G., Tüysüz, N., 2009. Heavy Metal Contamination of Soils and Tea Plants in The Eastern Black Sea region, NE Turkey. Environmental Earth Science., 59, 131-144.

Anizotropik Yükleme Koşullarında Eksenel Deformasyon İle Sıvılaşma İlişkisi

Relationship Between Axial Strain and Liquefaction under Anisotropic Loading Conditions

Koray ULAMIŞ¹, Horng Jyh YANG², Gary NORRIS³

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

²West Virginia University, Institute of Technology, College of Engineering & Sciences WV, USA

³Department of Civil and Environmental Engineering, University of Nevada, Reno, NV, USA

Geliş (received) : 22 Mart (March) 2012
Düzeltilme (revised) : 04 Haziran (June) 2012
Kabul (accepted) : 07 Temmuz (July) 2012

ÖZ

Zemin sıvılaşması arazi ve laboratuvar deneyleri ile ayrıntılı olarak incelenmektedir. İzotrop ve anizotrop gerilme koşullarında eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncı gelişimine bağlı olarak farklı sıvılaşma tanımları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, konsolidasyonlu-drenajlı anizotropik devirsel üç eksenli deneyler üç farklı tane boyu dağılımına sahip, iki farklı bağıl yoğunlukta hazırlanan suya doygun örselenmiş kumda yapılarak, sıvılaşma davranışları incelenmiştir. Deneylerde uygulanacak gerilmeler farklı derinliklerde, yüzeyde tekil bir temel bulunacak şekilde hesaplanmıştır. Deneylerde yükleme frekansı 1 saniye (s), devir sayısı ise sabit bir deprem büyüklüğüne göre 26 olarak seçilmiştir. Üç farklı kum için eksenel düşey deformasyonun değişimi takip edilerek sıvılaşma ile ilişkilendirilmiştir. Kum örneklerinde gevşek veya sıkı durumda farklı eksenel deformasyonlar gelişmiştir. İone kumu ve sahil kumunda sıkışma evresinde gelişen kabarmalar, sıvılaşma başlangıcına ulaşılmasını engellemiştir. En iri taneli ve uniform olmayan beton kumunda eksenel deformasyona göre % 90 izafi sıklıkta sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anizotrop gerilme, Devirsel üç eksenli deney, Eksenel deformasyon, Sıvılaşma.

ABSTRACT

Soil liquefaction has been extensively defined via the laboratory and in-situ tests, regarding to either the generation of excess pore water pressure or the soil vertical strain reaching a particular level under

K.Ulamış

E-Posta: ulamis@ankara.edu.tr

isotropic and anisotropic conditions. In this study, consolidated-drained anisotropic loading conditions were applied herein to simulate the stresses under a shallow foundation at representative depths. Three different particle size of sandy soils with two different relative density conditions were adopted for the saturated drained cyclic tests. The number of cycle load (26 cycles) within a frequency of 1second was chosen depending on a constant earthquake magnitude. The variation of axial strain during the tests was monitored in order to evaluate the liquefaction behaviour of the three types of the sands. The axial strain is found to be relative density dependent. Ione sand and beach sand samples could not reach the initial liquefaction state due to dilation. Especially, the least uniform and coarsest concrete sand with 90 % relative density tends to liquefy based on the axial strain.

Key Words: *Anisotropic stress, Cyclic triaxial test, Axial strain, Liquefaction.*

GİRİŞ

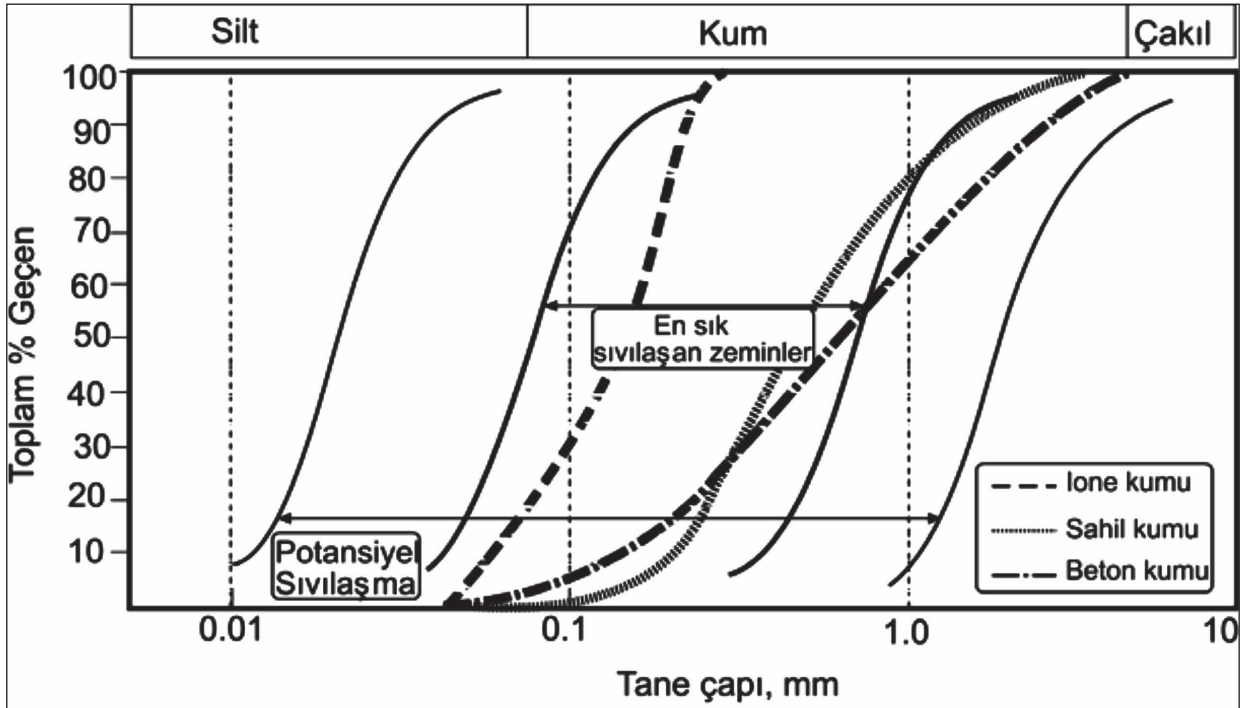
Sıvılaşmaya bağlı olarak oluşan hasarlar oturma, yanal yayılma ve farklı türlerde temel yenilmeleri olarak sınıflandırılabilir. Sıvılaşmanın deneysel olarak oluşum mekanizması ve farklı tanımları izotrop ve anizotrop koşullarda yapılmıştır (Seed ve Lee, 1966; Lee ve Seed 1967; Seed vd. 1975; Seed vd., 1983; Castro, 1975; Castro ve Poulos, 1977; Mohamad ve Dobry, 1986). Konrad ve Wagg (1993), kum ve kil oranları farklı siltli örneklerde anizotropik konsolidasyonlu-drenajsız (CU) devirsel üç eksenli deneyler yapmış ve deformasyonun devirsel gerilme oranına (CSR) ve ince tane yüzdesine bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Ghionna ve Porcino (2006), örselenmemiş ve örselenmiş kumlu örneklerde anizotropik CU devirsel deneyler yapmış ve suda sedimantasyon ile hazırlanan örneklerde yapılan deneylerde alınan sonuçların, örselenmemiş örneklerde yapılanlara yakın olduğunu belirtmişlerdir. Bouferra vd. (2007), farklı bağıl yoğunluktaki kumlarda devirsel

izotropik ve anizotropik CU deneyler yapmış ve ön yükleme koşullarının sıvılaşma direncini arttırdığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, Seed, vd. (1975) tarafından önerilen farklı sıvılaşma tanımları göz önünde bulundurularak, çift genlikte (sıkışma ve çekme gerilmesi altında) oluşacak % 5'lik toplam eksenel deformasyon değeri "Limitli deformasyona sahip sıvılaşma başlangıcı (devirsel mobilite)" sınır olarak alınmış ve değerlendirmeler bu deformasyon miktarına göre yapılmıştır. Drenajsız devirsel üç eksenli deneyler anizotropik konsolide edilen üç farklı kumda yapılmıştır. Örnekler yüzeyden örselenmiş şekilde alınmıştır. Deneylerde devirsel gerilme oranı (CSR) 0.2 ile 0.5 aralığında değişecek şekilde makaslama gerilmeleri uygulanmıştır. Eksenel deformasyonun devir sayısına göre değişimi incelenerek, farklı kum örneklerinin sıvılaşma davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarının yorumunda örneklerin gerilme tarihçesi, efektif tane çapı, geçirimsizlik vb. özellikleri değerlendirmeye alınmamış, sadece eksenel deformasyonlar drenajsız koşullarda dikkate alınmıştır. Üç farklı

kum örneğinden en ince taneli ve uniform olan Ione kumunda en az, uniform olmayan ve ince çakıllar içeren beton kumunda ise en fazla aksel deformasyon gelişmiştir. Beton kumu % 50 bağıl yoğunlukta, ilk birkaç devirde, kompresyon evresinde statik olarak yenilmeye uğramıştır.

LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, farklı tane boyu dağılımına sahip (Şekil 1) üç adet kum örneğinin (Ione kumu, beton kumu ve sahil kumu) fiziksel özellikleri (Çizelge 1) belirlenmiştir. Ione kumunun sıvılaşma potansiyeli ve fiziksel



Şekil 1. Kum örneklerinin tane boyu dağılımının sıvılaşma abağındaki konumları (Tsuchida, 1970'ten değiştirilerek).

Figure 1. Particle size distribution of the samples on the liquefaction chart (adopted from Tsuchida, 1970).

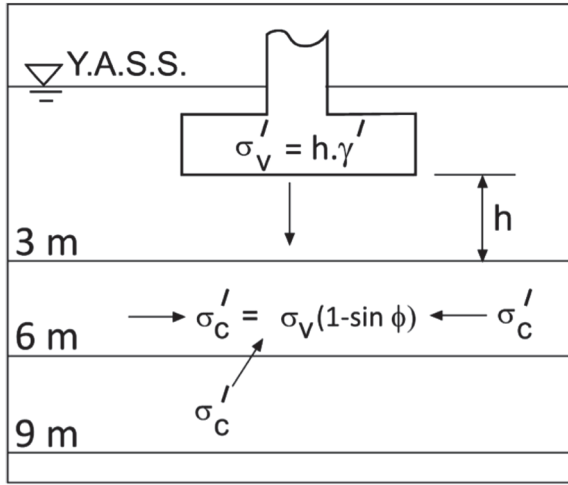
Çizelge 1. Örneklerin fiziksel özellikleri ve sınıflamaları.

Table 1. Physical properties of the samples and their classifications.

	Ione kumu	Beton kumu	Sahil kumu
G _s	2.67	2.65	2.67
e _{min} , %	0.72	0.43	0.62
e _{max} , %	1.07	0.96	0.86
D ₅₀ , mm	0.195	0.90	0.70
USCS	SP	SP	SP
D _r , %	50 ve 90	50 ve 90	50 ve 90

özellikleri ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur (Norris, vd. 1995; Palmer, 1997; Yang, 2005; Ulamis ve Yang, 2010; Ulamis ve Yang, 2011). Örnekler içinde en ince taneli ve uniform olan Ione kumu olup, beton kumu ince çakıllar da barındıran en iri taneli türdür. Sahil kumu da uniform olup, tane çapı diğerlerinin arasında değerdedir. Tüm örnekler örselenmiş olup, kötü derecelenmiş kum olarak sınıflandırılmışlardır. Anizotropik gerilme koşullarını oluşturmak

üzere, 1.5 m x 1.5 m'lik tekil bir temelin suya doymun ortamda 3 m, 6 m ve 9 m derinliklerde oluşturacağı gerilmeler hesaplanmıştır (Şekil 2). Örneklerin içsel sürtünme açıları statik üç eksenli deneylerden elde edilmiştir. Bu değerler



Şekil 2. Suya doymun kumda anizotrop gerilmelerin oluşturulduğu ortam ve derinlikler.

Figure 2. Anisotropic stress conditions for the representative depths in saturated sand.

ise daha sonra devirsel deneylerde kullanılacak hücre basıncını belirlemede kullanılmıştır. Deneylerde uygulanacak düşey efektif gerilmeler ise yukarıda verilen derinlikler ve zeminlerin yoğunluğu kullanılarak hesaplanmıştır. Üç farklı derinlik için deneylerde uygulanacak devirsel deviator gerilmeler ise $0.2 \leq CSR \leq 0.5$ aralığında hesaplanmıştır ($CSR = t_{av}/s'_v$). Burada; t_{av} makaslama gerilmesi, s'_v düşey efektif gerilmedir. Örnek değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. CSR=0.4 ve 3 m derinlikteki gerilme değerleri.

Table 2. Stress values for CSR =0.4 and 3.0 m depth.

	Ione kumu	Beton kumu	Sahil kumu
σ'_v	28	25.7	28.95
σ'_c	12.6	9.88	11.87
σ_{cons}	15.4	15.82	16.39
σ'_{cy}	21.29 - 15.4	17.6 - 15.8	18.85 - 16.385
ϕ°	36	40	38
k_0	0.38	0.42	0.41

uygulanacak devirsel deviator gerilmeler ise $0.2 \leq CSR \leq 0.5$ aralığında hesaplanmıştır ($CSR = t_{av}/s'_v$). Burada; t_{av} : makaslama gerilmesi, s'_v : düşey efektif gerilmedir. Örnek değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Not: Highlight edilenler düzeltilmiş şekilleridir.

KONSOLİDE VE DRENAJSIZ (CU) DEVİRSEL ÜÇ EKSENLİ DENEYLER

Devirsel üç eksenli deney, zeminlerin dinamik yükleme koşullarında davranışlarını belirlemede en sık uygulanan deneylerden birisidir. Deneyler için, kuru sedimantasyon yöntemi ile, % 50 ve % 90 bağıl sıklıkta örselenmiş kum örnekleri hazırlanmıştır. Vakumla havası alınan örneklere en son CO_2 uygulanarak hava yüzdesinin sıfır olması sağlanmıştır. Doymunluk oranının en az % 95 olması amacı ile ters basınç uygulanmıştır. Deney için öncelikle tamamen doymun ($S_r = 1.0$) örneklere hücre basıncı uygulanır. Anizotrop gerilme koşullarını sağlamak için ise düşey yük uygulanarak örneklerin konsolide olması sağlanır. Bu sınır koşullarının etkisiyle örnek içindeki asal gerilmeler her zaman yatay ve düşey eksenler

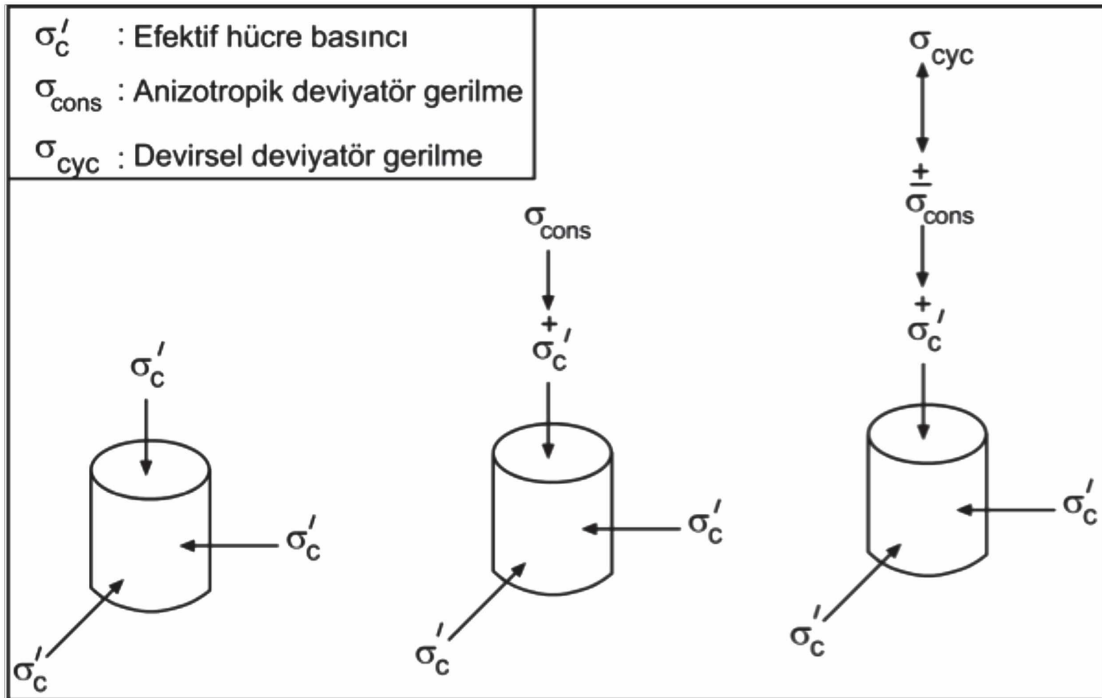
üzerindedir. Tekrarlı üç eksenli deneyde gerilme kontrollü koşullarda da deformasyon kontrollü koşullarda da deviyatör gerilme tekrarlı olarak



Şekil 3. Çalışmada kullanılan devirsel üç eksenli deney düzeneği.

Figure 3. The cyclic triaxial test system used in for the study.

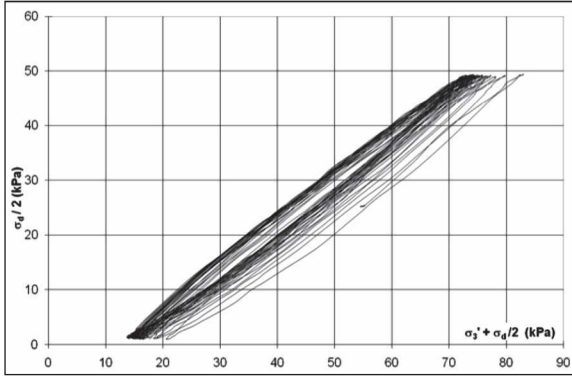
uygulanır. Tekrarlı üç eksenli deneyler sıklıkla sabit radyal gerilme ve tekrar frekansı 1 Hz olan aksenal gerilme altında gerçekleştirilir. Tipik bir deney için hazırlanmış düzenek ve parçaları Şekil 3'te verilmiştir. Anizotropik konsolidasyon için üç farklı derinlikte gerilmeler hesaplanmıştır (Şekil 4). Deneylerde yükleme frekansı 1.0 Hz, devir sayısı ise büyüklüğü 8.5 olan bir deprem için 26 olarak seçilmiştir (Seed ve Idriss, 1982). Şekil 5'te örnek olarak % 90 izafi sıkılık ve CSR = 0.5 için beton kumunda yapılan anizotrop devirsel üç eksenli deney sonucu verilmiştir. Efektif gerilme izi incelendiğinde, 26 devir sonunda %5'ten daha az bir deformasyon seviyesinde bile yenilme zarfına yaklaştığı görülmektedir. Burada örneğin yenilmesini engelleyen membranın da oluşturduğu çekme gerilmesidir.



Şekil 4. Anizotropik gerilme koşulları.

Figure 4. Representation of the anisotropic stress conditions.

Ulamiş, Yang ve Norris



Şekil 5. Beton kumunda yapılan anizotrop devirsel üç eksenli deneydeki efektif gerilme izi.

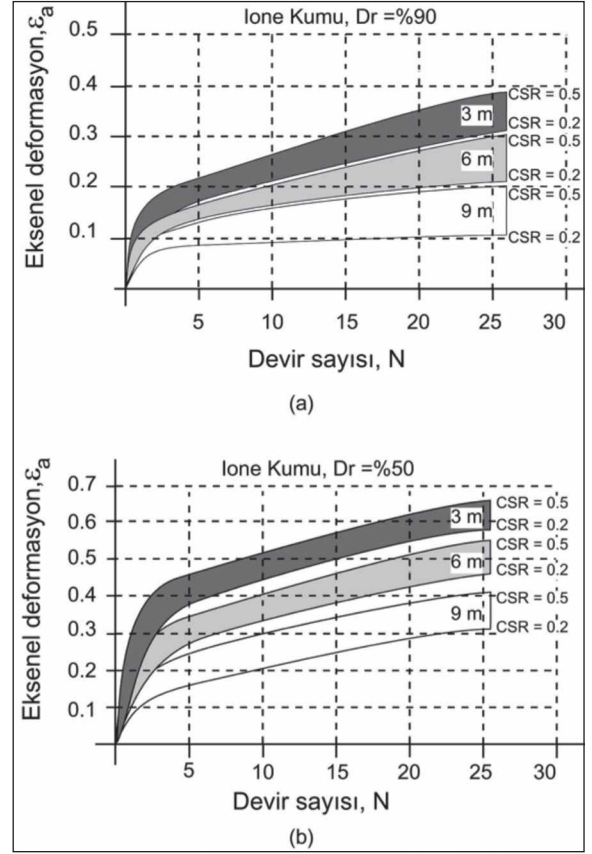
Figure 5. Effective stress path for an anisotropic cyclic triaxial test of the concrete sand.

EKSENEL DEFORMASYON İLE SIVILAŞMA İLİŞKİSİ

Bu çalışmada, çift genlikte, % 5 eksenel deformasyon değeri sınır olarak alınarak, efektif gerilme ile beraber değerlendirilmiştir. Zira devirsel mobilite kavramı, devirlerin herhangi bir anında aşırı boşluk suyu basıncı gelişimi sonrası efektif gerilmenin sıfıra yaklaşması ve kalıcı bir deformasyon oluşması olarak tanımlanabilir. İstenilen eksenel deformasyon değerine ulaşan örneklerde kabarma etkisi ile her zaman aşırı boşluk suyu basıncı gelişemeyebilir.

En ince taneli ve uniform olan Ione kumu hem % 50 hem de % 90 izafi sıklıkta sıvılaşma davranışı göstermemiştir. Yüklemin ilk devirlerinde örneklerde kabarmalar oluşarak negatif boşluk suyu basıncı gelişmiştir (Şekil 6). Artan derinlik ile beraber hücre basıncı da artmış ve eksenel deformasyon kısmen azalmıştır.

Çok sıkı sahil kumunda ($D_r = \% 90$) Ione kumuna benzer bir davranış izlenmiştir. Sahil kumunun tane boyu daha iri fakat uniformdur.

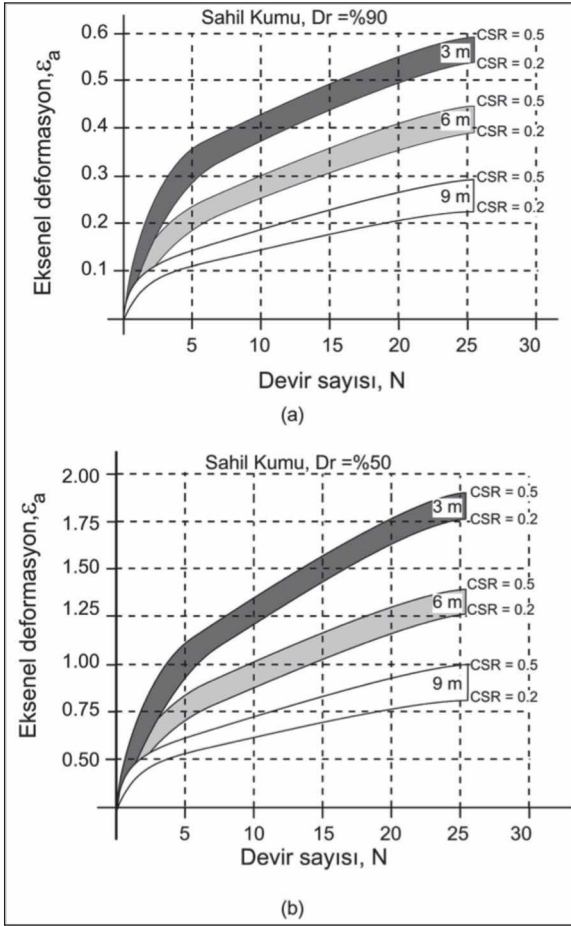


Şekil 6. Ione kumunda eksenel deformasyonun devir sayısına göre değişimi.

Figure 6. Variation of axial strain in the Ione sand with the number of cycles.

Bağıl yoğunluk %50 seviyesindeyken ilk devirdeki sıkışmada ani artan eksenel deformasyon pozitif boşluk suyu basıncı geliştirmiş ve deney sonuna kadar bu durum devam etmiştir. En yüksek devirsel gerilme oranında yapılan ($CSR = 0.5$) deneyde örnek yenilme zarfına yaklaşmış fakat 26 devir sonunda sıvılaşma gerçekleşmemiştir (Şekil 7).

Ione kumu ve sahil kumunda, devirsel yüklemenin ilk sıkışma evresinde hacim azalması görülmekte, fakat aşırı boşluk suyu basıncı

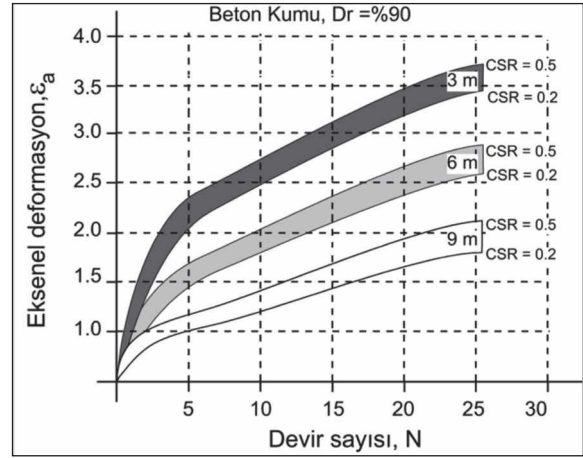


Şekil 7 Sahil kumunda eksenel deformasyonun sayısına göre değişimi.

Figure 7. Variation of axial strain in the beach sand with the number of cycles.

gelişimini engelleyecek şekilde kabarmalar ve çatlaklar oluşmaktadır. Bu da, sıvılaşma başlangıcı oluşturacak deformasyonların oluşmasını engellemiştir.

En iri taneli ve en az uniform olan beton kumu, % 50 izafi sıklıkta devirsel yüklemenin başlarında % 15 ile % 20 seviyesinde eksenel deformasyona maruz kalmıştır. Bu da, gevşek durumdaki bu kumun sıvılaşmadan, statik yük altında bile yenildiğini ifade etmektedir. Beton



Şekil 8. Beton kumunda eksenel deformasyonun devir sayısına göre değişimi.

Figure 8. Variation of axial strain in the concrete sand with the number of cycles.

kumu % 90 bağıl yoğunlukta 7. devir sonunda sıvılaşma ifadesi olan eksenel deformasyon değerine ulaşmıştır (Şekil 8). Beton kumunda yapılan deneylerde, diğerlerinden farklı olarak, ilk sıkışma evresinde kalıcı deformasyon oluşmamış ve ilerleyen devirlerde de çekme etkili olmamıştır. Şekil 6,7 ve 8'de deformasyonların değişim aralığı kapalı alanlar olarak çizilmiştir. Alt ve üst sınırlar, en az ve en çok CSR değerini ifade etmektedir. Kapalı alanlar içinde deformasyonların değişimi devirsel olarak değiştiğinden yorumda kolaylık olması açısından alt ve üst sınırlar verilmiştir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Deneylerde, artan derinlikle beraber eksenel deformasyon azalmaktadır. Zira örneklere uygulanan hücre basıncı da derinlikle beraber artmaktadır. CSR değerinin artışıyla devirsel deviyatör gerilme de artmış, buna koşut olarak eksenel deformasyonlar da artmıştır.

En ince taneli ve uniform olan Ione kumunda çok sıkı ve gevşek durumda en çok deformasyon artışı ilk 2–3 devirde gerçekleşmiştir. Özellikle, sıkışmada, hacim azalarak devam eden yükleme boyunca deformasyon artışı azalmıştır. Gevşek durumda oluşan hacim azalması yanında, çok sıkı durumda ufak kabarmalar gelişerek boşluk suyu basıncını azaltmıştır.

Benzer durum, daha iri taneli, daha köşeli fakat uniform olan sahil kumunda da izlenmiştir. Gevşek durumda, boşluk oranı Ione kumundan fazla olan sahil kumunda daha fazla deformasyon gelişmiştir. Devir sayısının sabit olması, özellikle 3 m derinlikte sıvılaşma oluşumunu sınırlamıştır.

Beton kumu ise diğerlerinden farklı olarak en az uniform olup, yer yer çakıllar da içermektedir. Gevşek durumda hazırlanan örnekler, yüklemenin ilk sıkışma aşamasında çok yüksek deformasyon değerlerine ulaşmıştır. Statik yükleme ile bu örnekler yenilmiştir. Çok sıkı durumda ise 3 m ve 6 m için % 5'lik deformasyon sınırına ulaşarak, örneklerde sıvılaşma (devirsel mobilite) gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada, kumlu zeminlerin sıvılaşma davranışı sadece anizotrop gerilme koşullarında eksenel deformasyon ile ilişkilendirilmiş, permeabilite, efektif tane çapı, gerilme tarihçesi vb. parametreler göz önünde bulundurulmamıştır.

Eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncının değişimi ile zeminlerin jeoteknik özelliklerinin beraber yorumlanması kumlu zeminlerin sıvılaşma mekanizmasına daha anlamlı bir yorum getirecektir. Herhangi bir yapı temelinde bulunabilecek zeminlerin çoğunlukla

anizotrop gerilmelere maruz kalacağı da dikkate alınmalıdır. Laboratuvar ortamında izotrop gerilmeler altında herhangi bir kumlu zemin doğal koşulları sağlamayacak şekilde de sıvılaşmaya maruz bırakılabilmektedir. Ortalama deprem sürelerinin laboratuvar deney yapılırken dikkate alınması ve deney sırasında hem frekans hem de çevrim sayısının buna göre ayarlanması uygun olacaktır. Devirsel deneylerde zaman ve gerilme koşullarının dikkate alınmaması zemin sıvılaşmasında yanlış yorumlara neden olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Bouferra, R., Benseddiq, N., Shahrour, I., 2007. Saturation and preloading effects on the cyclic behavior of sand. *International Journal of Geomechanics*, 7 (5), 194-202.
- Castro, G., 1975. Liquefaction and cyclic mobility of saturated sands. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101 (GT6), 551-569.
- Castro, G., Poulos, S.J., 1977. Factors affecting liquefaction and cyclic mobility. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 103, 501-516.
- Ghionna, V.N., Porcino, D., 2006. Liquefaction resistance of undisturbed and reconstituted samples of a natural coarse sand from undrained cyclic triaxial tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (2), 194-202.
- Konrad, J.M., Wagg, B.T., 1993. Undrained cyclic loading of anisotropically consolidated clayey silts. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119 (5), 929-947.

- Lee, K.L., Seed, H.B., 1967. Cyclic stress conditions causing liquefaction of sand. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 93, 47-70.
- Mohamad, R., Dobry, R., 1986. Undrained monotonic and cyclic triaxial strength of sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112 (10), 941-958.
- Norris, G.M., Siddharthan, R., Zafir, Z., Madhu, R., 1995. Liquefaction and residual strength of sands from drained triaxial tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 123 (3), 220-228.
- Palmer, J., 1997. Undrained lateral compression response from drained lateral compression test. University of Nevada, Reno, USA, Ph.D. Thesis, 440 p.
- Seed, H.B., Lee, K.L., 1966. Liquefaction of saturated sands during cyclic loading. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 92, 105-113.
- Seed, H.B., Mori, K., Chan, C.K., 1975. Influence of seismic history on the liquefaction characteristics of sands. UCB/EERC-75/25 Report, University of California, Berkeley, CA., 33p.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., 1982. Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, EERI, Oakland, CA., 134 p.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., Arango, I., 1983. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 109 (3), 458-482.
- Tsuchida, H., 1970. Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits. Seminar in the Port and Harbor Research Institute, Abstracts, 3.1 - 3.33, Japan (In Japanese).
- Ulamis, K., Yang, H. J., 2010. The prediction of the excess pore water pressure generation and the vertical strain in different cyclic stress ratio loadings under anisotropic undrained conditions. GSA Annual Meeting - Denver Colorado, USA (In DVD).
- Ulamis, K., Yang, H. J., 2011. Soil permeability related to liquefaction potential under anisotropic cyclic triaxial test, 43rd Engineering Geology and Geotechnical Engineering Symposium, 1 (1), 481-489.
- Yang, H.J., 2005. Extension/compression test stress-strain-volume change characterization under drained conditions. University of Nevada, Reno, Ph.D. Thesis, 431 p.

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 kayalar, Toros platformuna özgü Munzur kireçtaşları ile bunların üzerine Maastrichtiyen öncesi yaşta tektonik olarak yerleşmiş olan ofiyolitik kayalardır. Temelin üzerine post-tektonik havza çökelleri (Saya formasyonu ve Sincan grubu) uyumsuz olarak gelir. Üst Kretase ve/veya hemen sonrası yaşlı granitik kayalar ile Plio-Kuvaterner yaşlı volkanitler sahada gözlenen magmatik aktiviteyi karakterize etmektedir. Araştırmaya konu olan ve ağırlıklı biçimde manyetitlerden oluşan cevher, ofiyolitik kayalara özgü serpantinleşmiş ultramafik kayalar 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 kayalar 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. Serpantinitler içerisinde mercek şeklinde konumlanan ve ana bileşeni manyetit olan cevherleşmenin ortalama Fe₃O₄ tenörü % 18-20 arasında değişmekte olup 125 milyon ton görünür + olası (muhtemel) rezerv saptanmıştır. 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.

T.Ünlü

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

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 serpentized 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 serpentization processes which characterize subsequent phase. Small amount of pyrite and silicate minerals accompanied with these assemblages. In general, the average compositions of serpentized 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 serpentization processes of the ultramafic rocks.

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

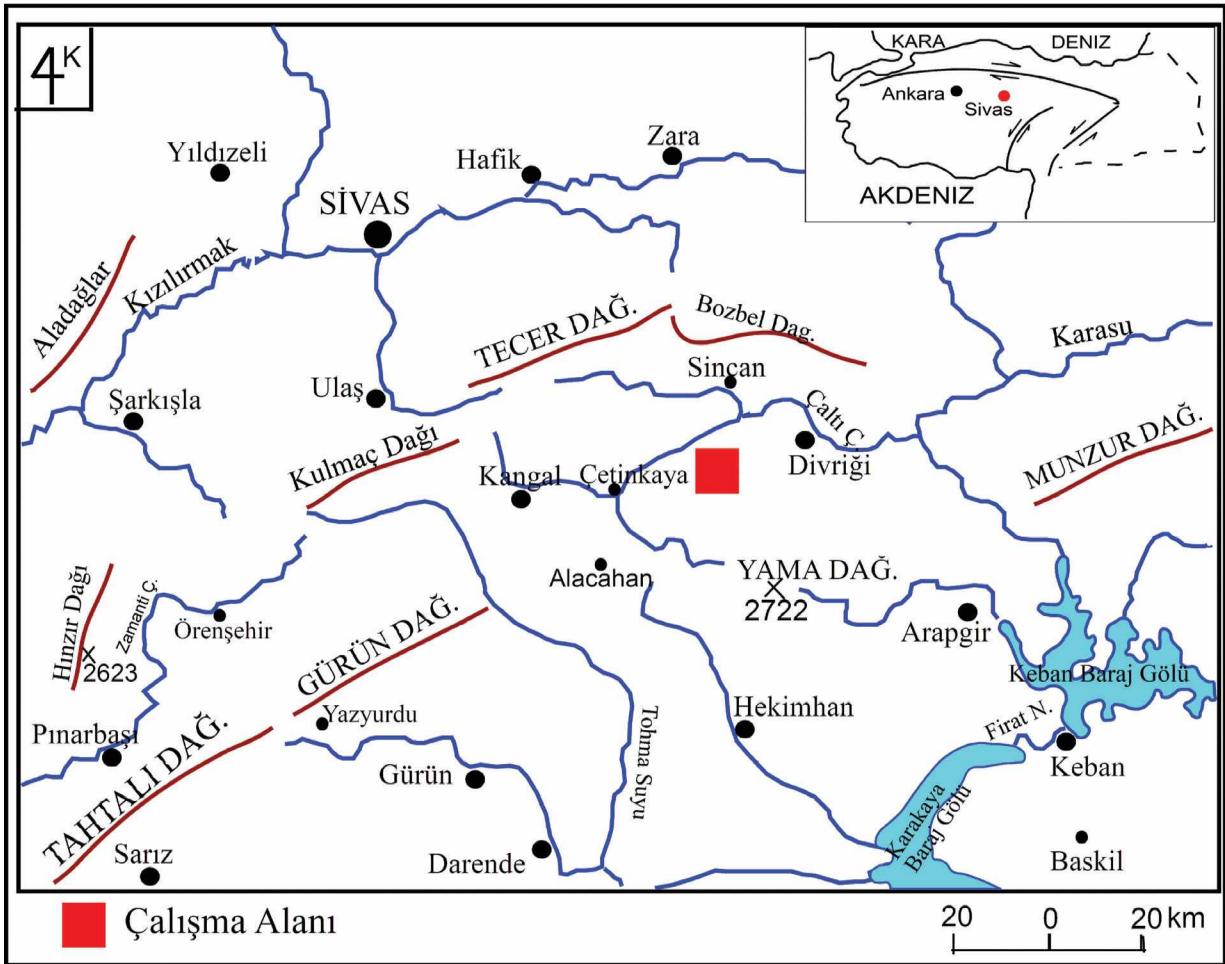
GİRİŞ

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 kökenininin yorumlanması amaçlanmıştır.

Daha önce bu bölge ile ilgili yayınlanmış olan birçok demir maden yatakları çalışmasında, bu yataklarda gözlenen mineral birliklikleri “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 altta

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 kayaçları ile örtülür (Erler ve Bayhan, 1995).

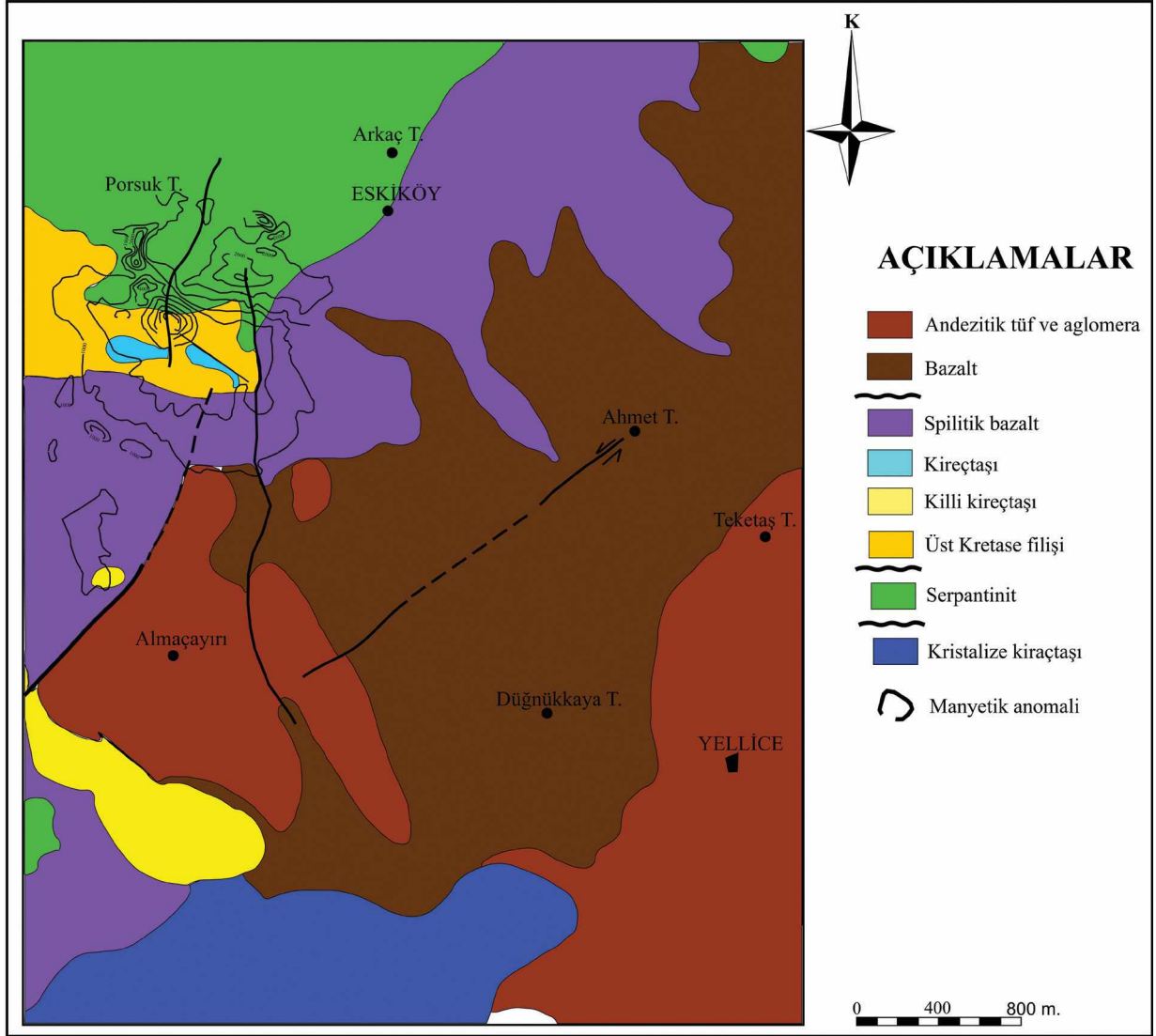
Çalışma alanında ayırtılan kayaç birimleri ve yaş aralıkları şu biçimde sıralanabilir: 1) Munzur kireçtaşları (Alt Karbonifer - Kampaniyen) 2) Güneş ofiyoliti (serpantinit, peridotit - piroksemit, gabro - diyorit - diyabaz; Üst Kretase) 3) Savaş formasyonu (konglomera, kumtaşı, miltaşı, kireçtaşları 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 kırıntılı 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 ardalanması
Orta Miyosen	Sincan Jipsleri	300		Masif / Yer yer jips ve andezitik lav ve tüf ara düzeyleri kapsayan, kumtaşı- marn-çamurtaşı ardalanması
	Güneşli Çilneyevler	120		Kalın ve orta tabakalı, fosilli gösel kireçtaşı
Üst Oligosen	Altınyayla	300		Çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı
Eosen	Kozluca	200		Çakıltaşı, kumtaşı, Nummulitesli kireçtaşı-marn ardalanması, Akdağ demir yatağı
Paleosen	Divriği Granitoidleri			Granitik kayalar
Maastrichtiyen	Saya	750		Volkano-tortul dizi Pelajik kireçtaşı Bordomsu-yeşilimsi çakıltaşı-kumtaşı Pınargözü-Davutoğlu demir yatağı
Jura	Güneş Ofiyoliti	2500		Ofiyolitik kayalar, Yellice manyetit oluşumları
Alt Maastrichtiyen	Yeşiltayayla Karşıği	500		Serpantinleşmiş matris içinde kireçtaşı ve metamorfit blokları, A-B Kafa demir yatağı
Kampaniyen	Munzur Kireçtaşı	1000		Rekristalize kireçtaşı
Alt Karbonifer				
Devoniyen- Permien	Kangal	600		Meta-kuars kumtaşı, meta-şeyl ve sleyt, rekristalize kireçtaşı

Şekil 2. Divriği - Çetinkaya arasındaki genelleştirilmiş 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 PETROGRAFİ

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

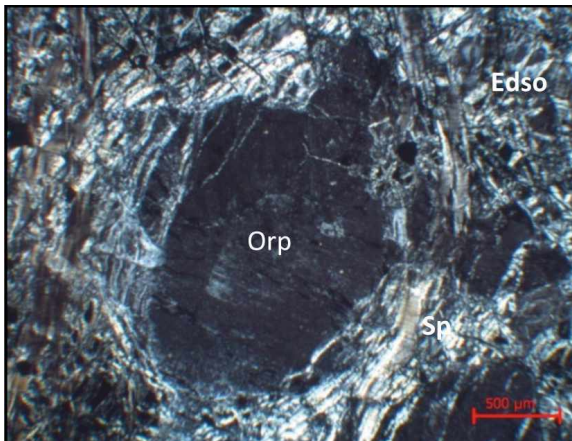
özellikleri verilmiştir. Bazik kayaçlara ilişkin tanımlamalar ise Öztürk (2011)'de ayrıntılı biçimde sunulmuştur.

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.



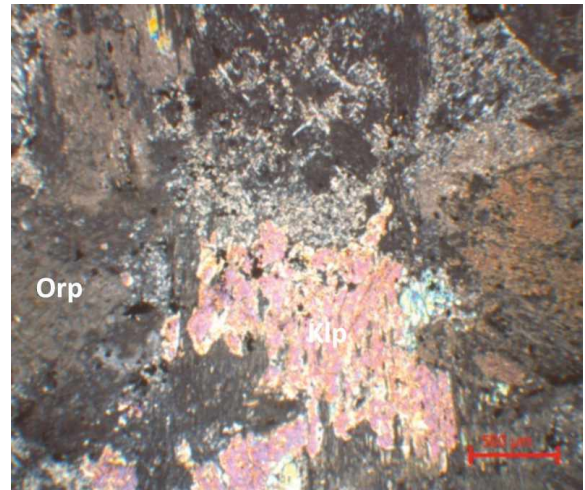
Şekil 4. Harzburjit içinde bastitileşmiş ortopiroksen (Orp) etrafında elek dokusu sunan serpantinleşmiş olivinler (Edso) ve serpantin lifleri (Sp) (ÇN, L-9 nolu örnek).

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

oluşturmuştur (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.



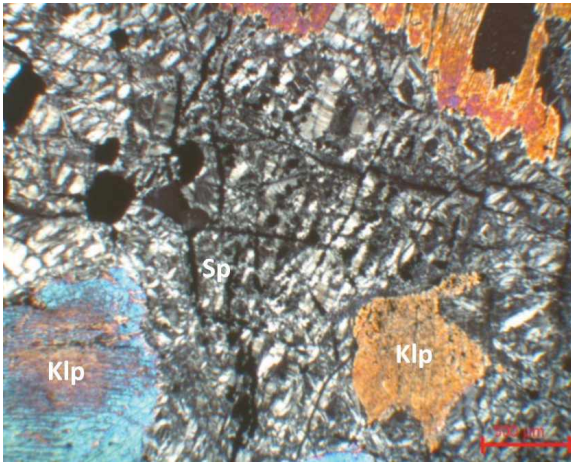
Şekil 5. Lerzolit içinde ortopiroksen (Orp) ve klinopiroksenler (Klp) (ÇN, Y-30 nolu örnek).

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

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.



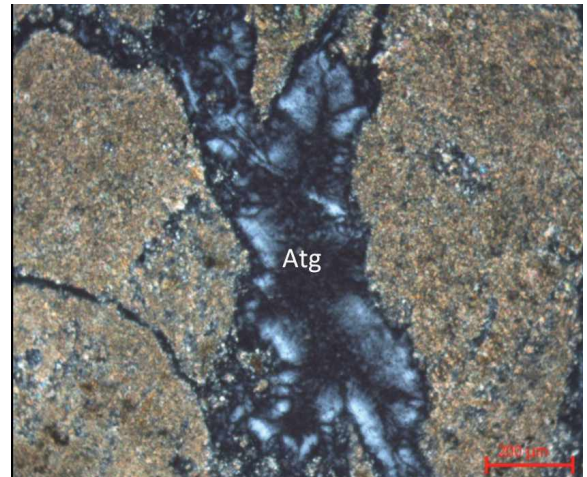
Şekil 6. Verlit içinde klinopiroksen (Klp), serpantin mineralleri (Sp) ve opak mineraller (ÇN, L-8 nolu örnek).

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

Serpantinit

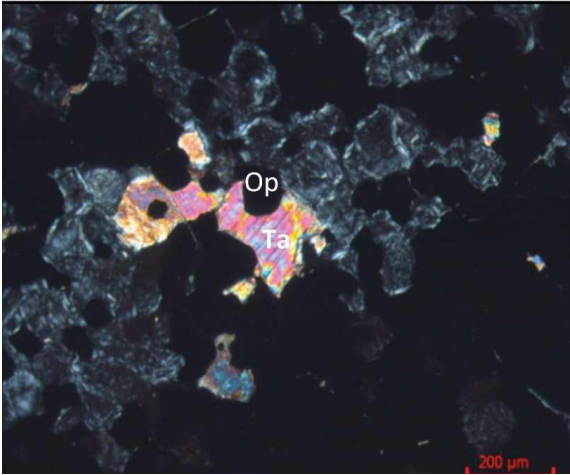
Holokristalin taneler dokulu bu kayaçların ana mineralini serpantinleşmiş, opaklaşmış ve elek dokuları sunan olivin kalıntıları oluşturur. Lifsi serpantin minerallerinin

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).

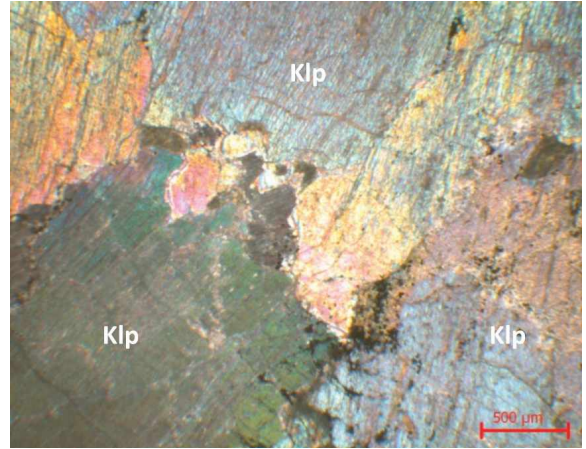
Figure 8. Talc (Ta) and opaque minerals (Op) in serpentinite (crossed nicols, sample nr: E-102).

Piroksenitler

Klinopiroksenit

Holokristalin tanesal 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 - sönmeye 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.

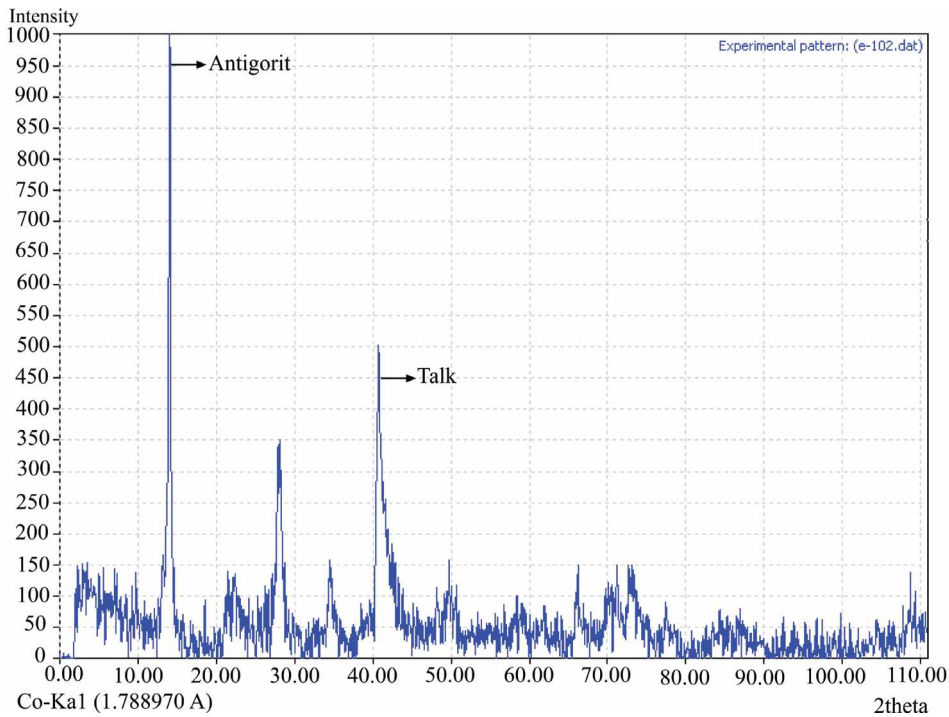
Aletin çekimlerdeki koşulları; Anot: Co ($CoK\alpha = 1.788970 \text{ \AA}$), Filtre: Ni, Gerilim: 30 kV, Akım: 20 mA, Goniyometre hızı: $2^\circ/\text{dk}$, Kağıt hızı: 2 cm/dk, Duyarlılık: 4.10^2 , Zaman sabiti: 1 sn, Yarıklar: $1^\circ - 0.1^\circ - 1^\circ$ ve Ölçüm aralığı $2\Theta = 0^\circ - 115^\circ$ 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 kayalarda (volkanik breş/volkanik tüf); 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 araştırmada 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 tanıttıcı özellikler toplu bir biçimde sunulmaktadır.

Çizelge 2. Sondaj karot örneklerinin Raman spektroskopisi tanımlamaları.

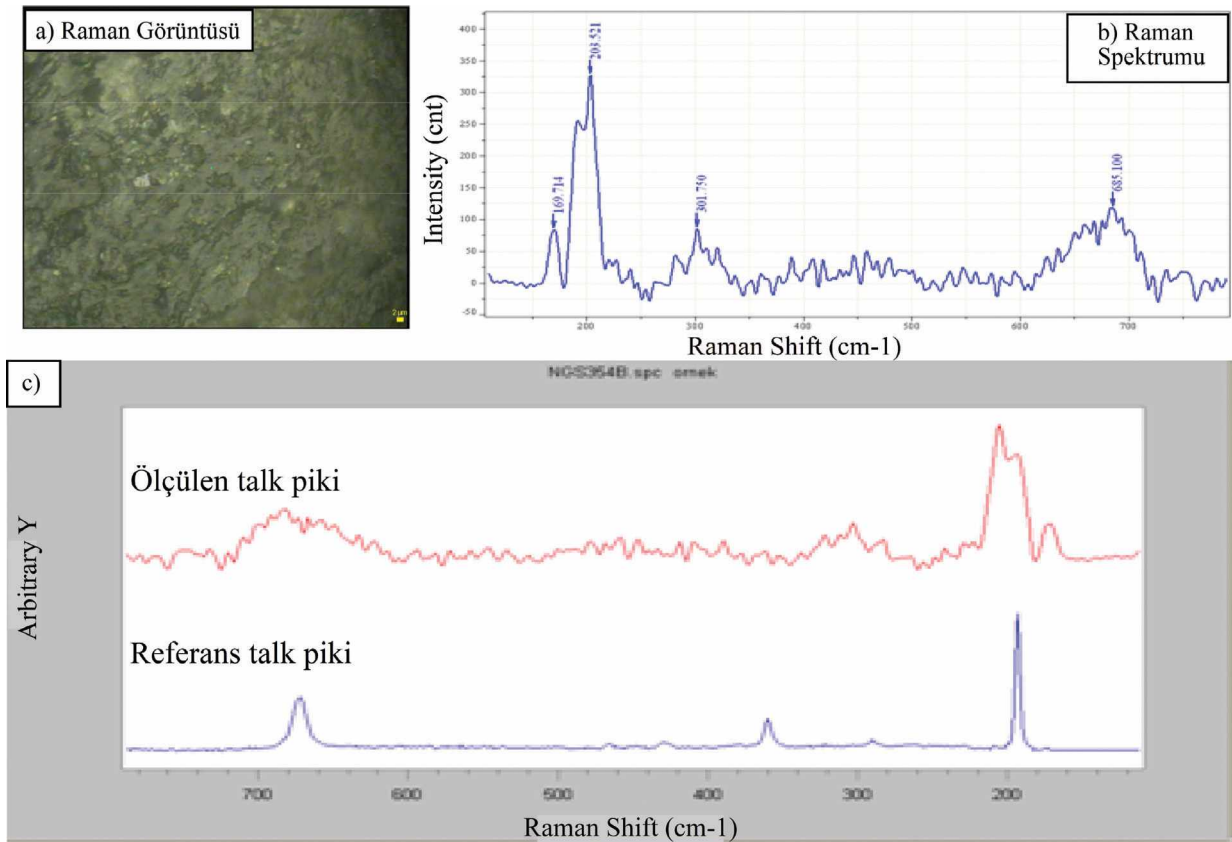
Table 2. The Raman spectrometry definitions of the drilling core samples.

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
Y-20	E-48	127.00	Spilitik bazalt	Albit
	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.

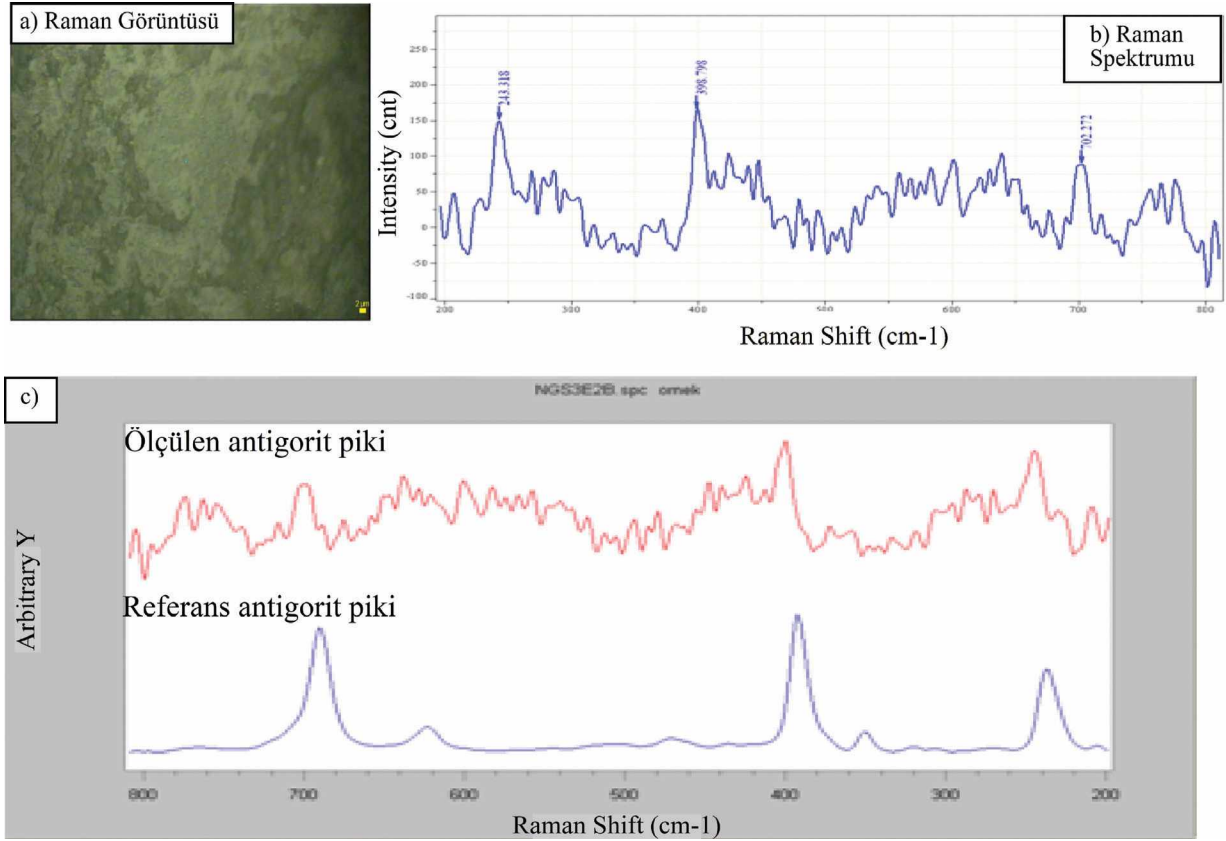
Piroksenitlerde gözlenen diyopsitlerin ise uralitleşme sonucu yer yer aktinolite dönüştüğü izlenmektedir.

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



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

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



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

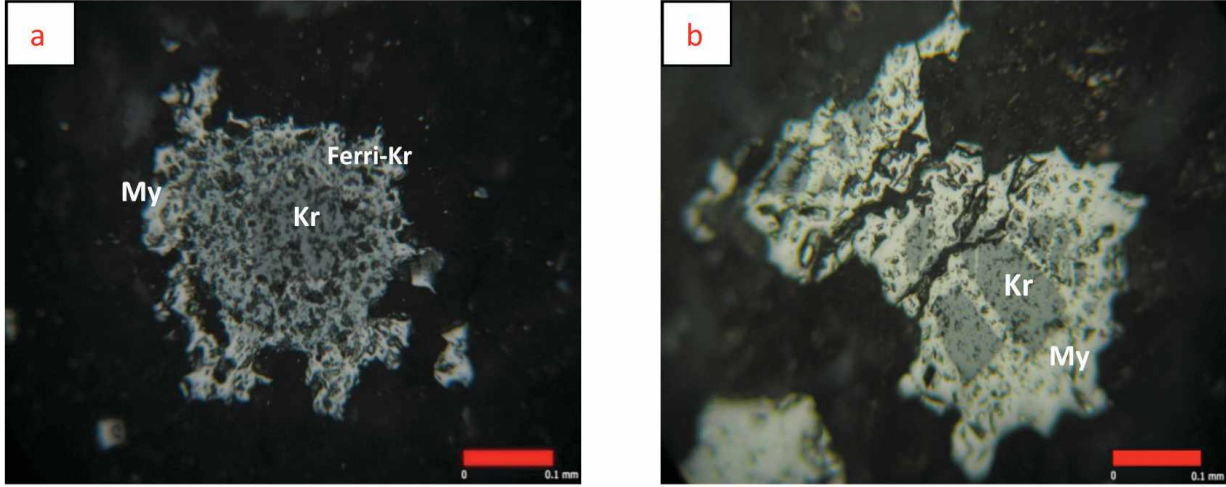
Kromit

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 relikler 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



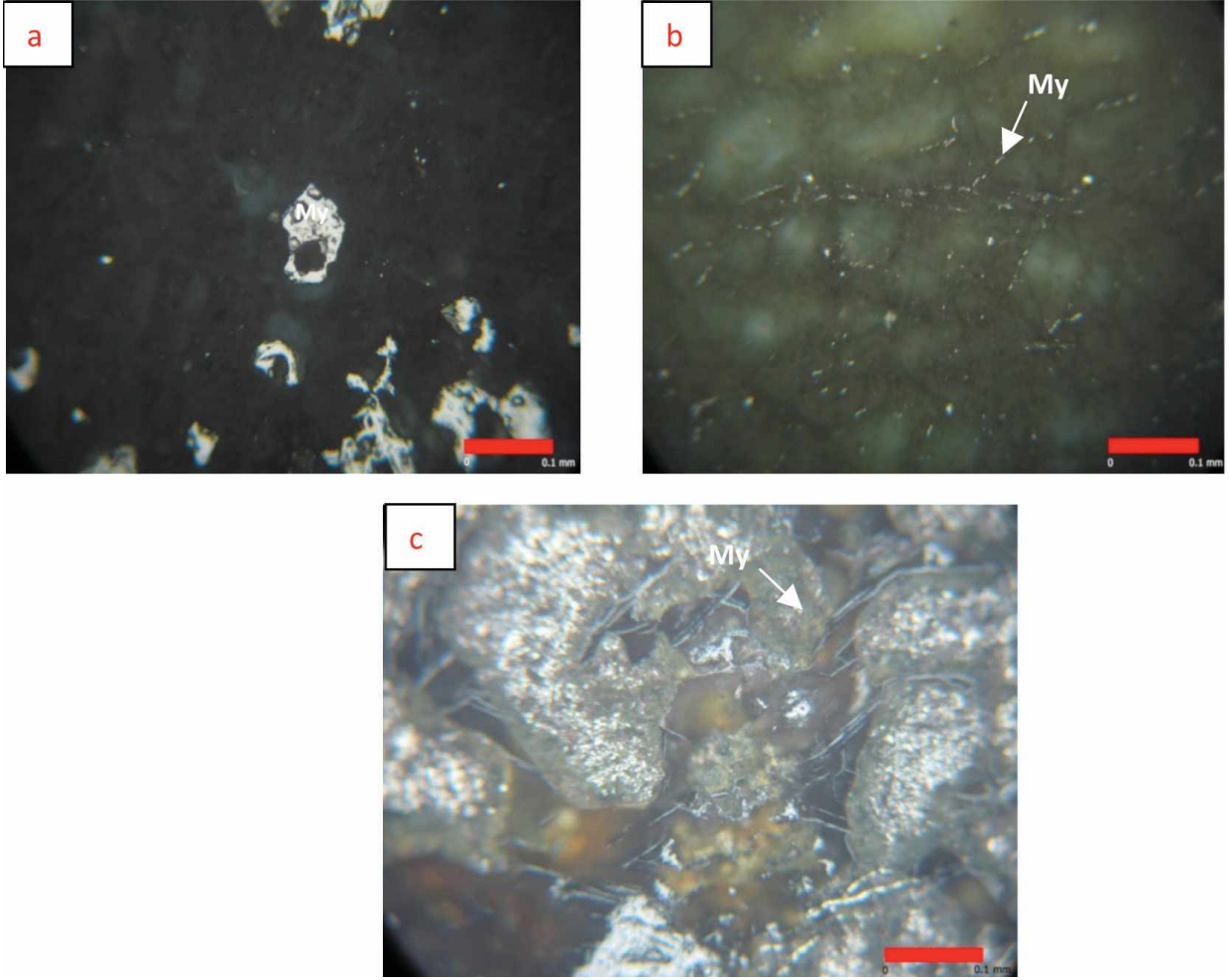
Şekil 13. (a) Kromit (Kr) ile manyetit (My) arasında ara zon halinde görülen ferri-kromit (Ferri-Kr) (L-107 nolu örnek), (b) Adacıklar şeklinde görülen kromit (Kr) ve çevresini saran manyetit (My) (E-108 nolu örnek).

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. Spekularitler ise, genellikle

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

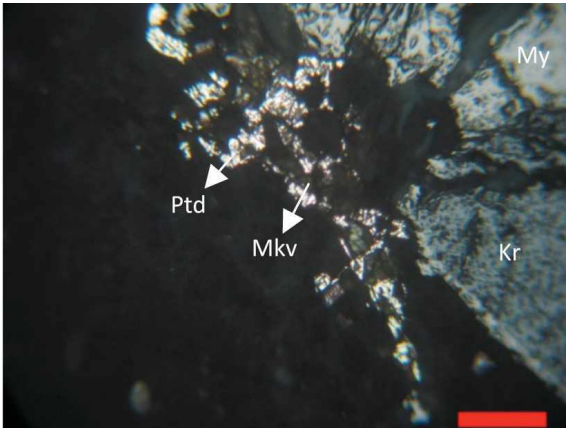
Rutil

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

Sülfür 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

dolgu 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

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 serpantinitlerin, bunların üzerinde uyumsuz konumda çökelmiş bulunan Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı volkanotortul istifin, en üstte ise Pliyosen yaşlı diyabaz - split - 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 manyetit 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

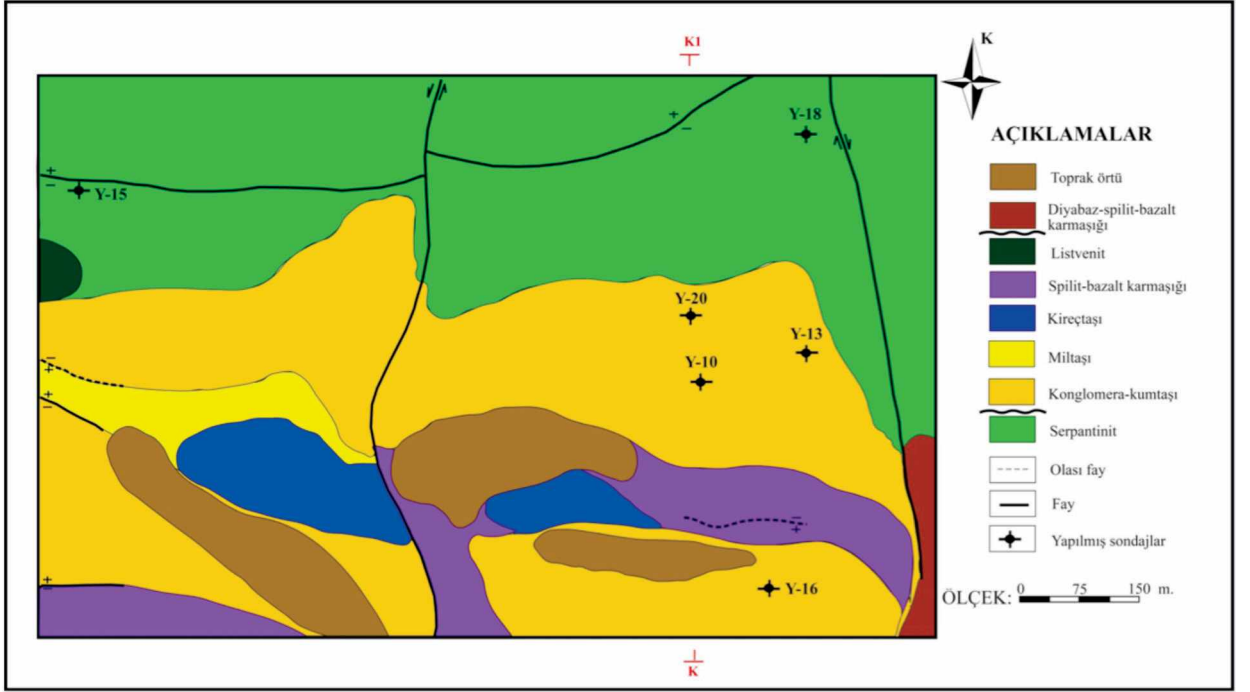
On bir adet bazik volkanik kayaç örneğinde, on sekiz adet serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneğinde ve iki adet geç evre hidrotermal alterasyonundan da etkilenmiş olan serpantinleşmiş ultrabazik kayaç örneğinde kimyasal analizler yapılmıştır.

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 kayaçlar 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 laboratuvarında kızdırma kaybı yöntemine göre (örnekler 900 C°'ye kadar fırında ısıtılarak ve 10 saat fırında bekletilerek) belirlenmiştir.

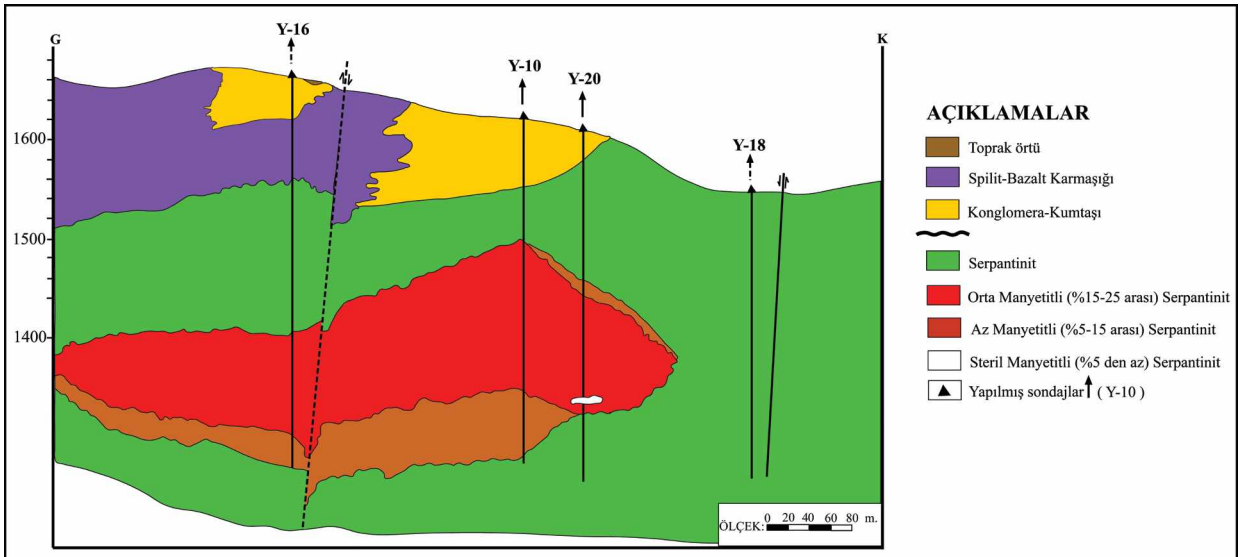
Kimyasal analiz sonuçları, ortalama içerikleri ile birlikte Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir. Ortalama içerikler basit aritmetik hesaplama yoluyla saptanmıştır. Ana elementler virgülden sonra iki basamak, iz elementler virgülden sonra bir basamak olacak biçimde yuvarlanmıştır. Ancak Cr_2O_3 , V_2O_5 ve 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 jeolojik 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 özgü % cinsinden ana element içerikleri ($Fe_2O_3^*$: toplam demiroksit, A.K.: ateşte kayıp).

Table 3. Major element oxides (%) concentrations of the core samples from the Yellice area ($Fe_2O_3^*$: 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.
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	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

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 arasında derlenmiş olup herbir örneğe özgü sondaj derinlikleri Çizelge 3 ve 4'te ayrıca verilmiştir. Bu örnekler bölgeye ofiyolit 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 sondajın 273.45'inci metresi ile 291. metresi arasında, 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 arasında 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 arasında derlenmiş olup, tüm bu örnekler ofiyolit 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 hidrotermal alterasyonundan da etkilenmiş olan serpantinleşmiş ultrabazik kayaçları temsil etmektedir. Bu örnekler de ofiyolit, ofiyolit içinde yaygın olarak gözlenemeyen, ancak lokal bir biçimde izlenebilen, damarcık biçimindeki çok ince bir bölümünü karakterize etmektedir.

Bazik volkanik kayaçların jeokimyası

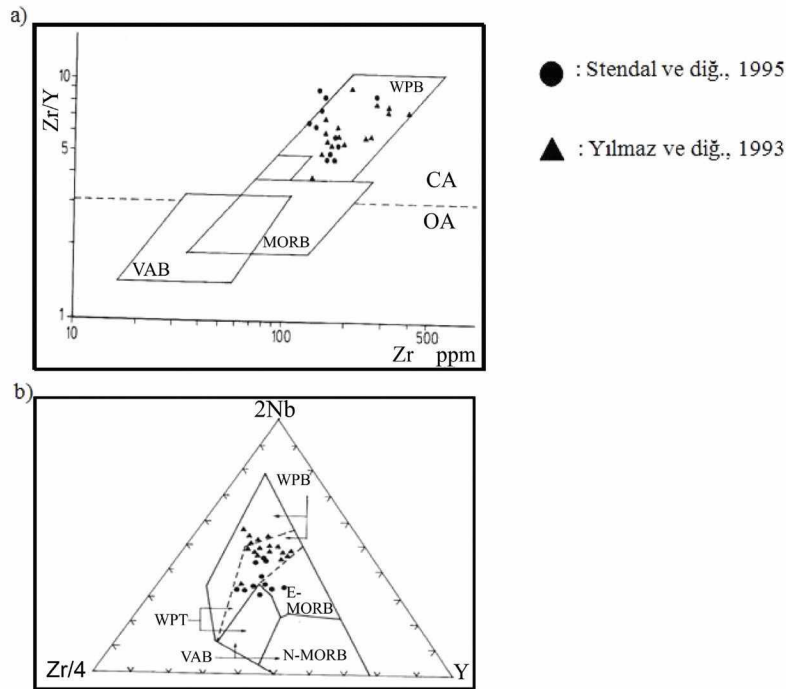
E.13 ile başlayıp E.48 ile biten örnek numaraları ile gösterilen on bir tane örneğin kimyası toplu biçimde incelendiğinde, ortalama içeriklere göre farklılık sergileyerek ilk bakışta dikkati çeken; E.21 örneğinde gözlenen % 17.84 oranındaki yüksek CaO içeriği ile % 10.73 oranındaki yüksek ateşte kayıp 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 deneştirmede 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, kayaçların 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).



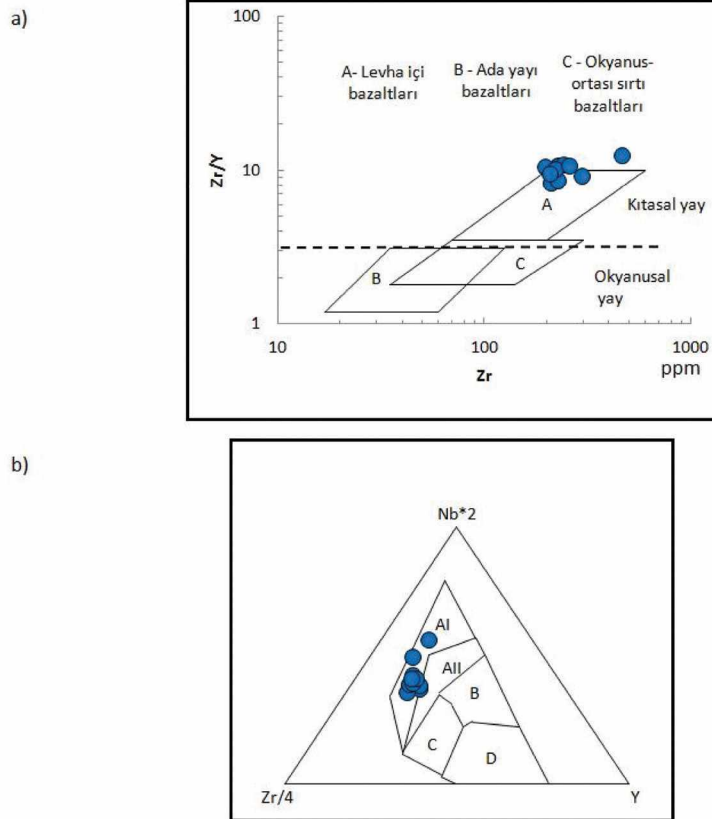
Şekil 18. Hekimhan bölgesi bazik volkanik kayaç örneklerinin (a) Zr/Y-Zr (log-log dağılımı), (b) Zr/4 - 2Nb - Y üçgen diyagramındaki konumları (CA: Kıtasal yay, OA: Okyanusal yay, WPB: Levha içi bazaltları ve VAB: Ada-yay bazaltları) (Stendal vd., 1995)

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)

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, splitik 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 splitik bazaltların, rudist fosilleri de içeren Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı tortularla 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: Primitiv 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 Al_2O_3 içeriği, % 37.02'lik yüksek SiO_2 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 Fe_2O_3 içeriği ve % 4.91 SO_3 içeriği, ilk bakışta

olasılıkla demir - bakır sülfürlerle beraber lokal bir hidrotermal kökenli molibden oluşumunu (magmatik hidrotermal sistem) düşündürebilir. Bu tek örnekte izlenen yersel Mo zenginleşmesinin, ofiyolitin üzerinde açılan Üst Kretase yaşlı riftin bimodal karakterli mafik ve felsik bileşimli magmatizma ve volkanizması ile kökensel biçimde 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 istifte kökensel olarak ilişkili konumda oluşmuş olan, eksalatif - sinesedimanter tipteki Devinci 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 kökensel 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 Cr_2O_3 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 kütesinin 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 birliktelikleri 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; TiO_2 , K_2O , Rb, P_2O_5 , Sr, Ba, Zr, Y, Ga, Al_2O_3 , Th, V_2O_5 , Nb, Na_2O , Ce, La, SiO_2 , 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, SO_3 , Cl, Br, Bi, Fe_2O_3 , MnO, Sn, Tl, Se, As, Zn, Cr_2O_3 , 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

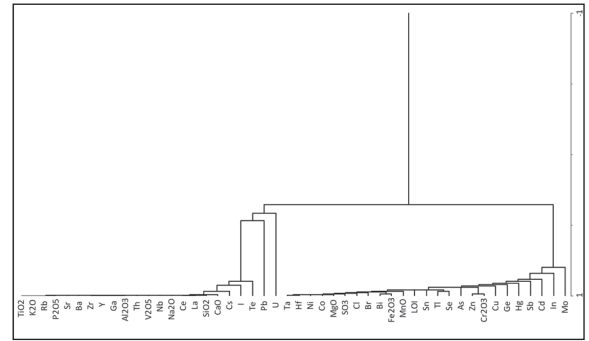
katsayısı değerleri de düşme göstermektedir. Örneğin, 1. ve 2. topluluğun en sonunda yer alan elementlerin kendi toplulukları içinde birbirleriyle olan artan ilişkililikleri en düşük düzeylerde.

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 düzeylerde.

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

Tüm kayaç örneklerine özgü (serpantinleşmiş ultrabazik kayalar ve bazik volkanik kayalar) bazı element çiftlerinin birbirleriyle olan dağılım ilişkilerini gösteren grafikler incelendiğinde, ultrabazik kayalardan bazik kayalara 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 kayalardan ultrabazik kayalara 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).

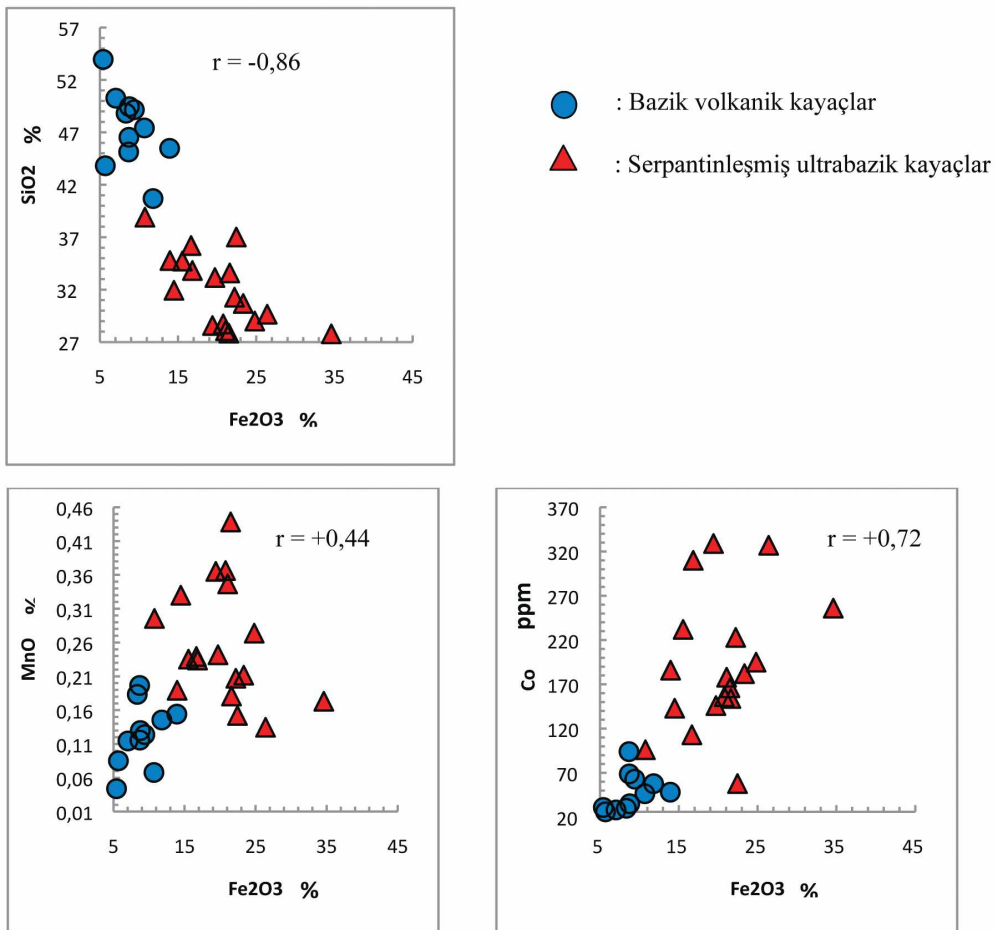
Figure 20. Dendogram for the whole-rock samples (LOI: Loss on ignition).

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

Genelde ultrabazik kayalarda 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/Fe₂O₃ ile SiO₂/Fe₂O₃ diyagramları), Fe elementinin serbestleştikten sonra ortamdan 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

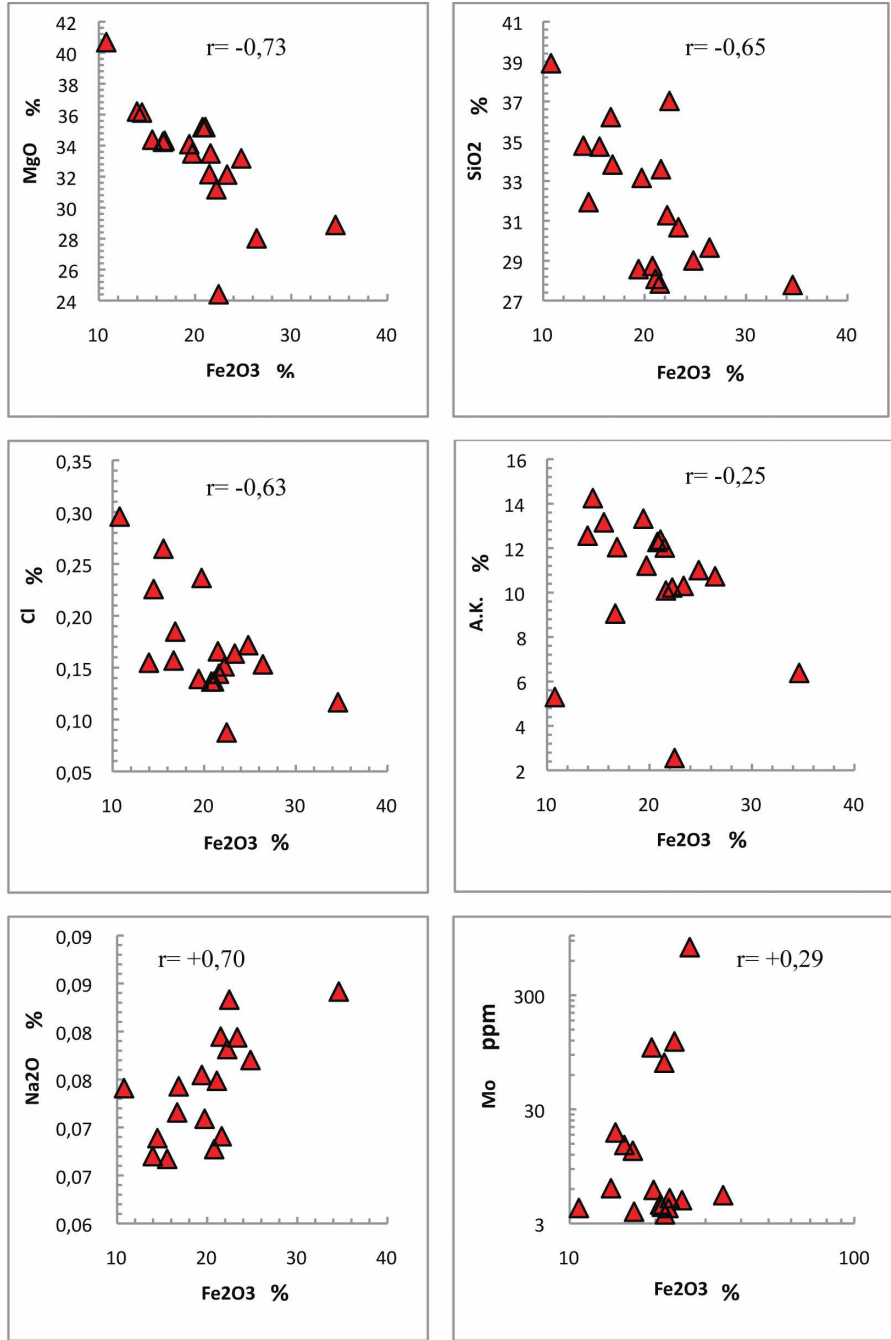
element zenginleşmesinde az da olsa rol oynadığı söylenebilir. Fe elementi ile Na elementi arasındaki artan ilişkililik, manyetit mineralinin oluştuğu ortamda, Na elementinin Cl elementine göre daha duraylı olabileceğine ve Fe elementi ile Mo elementi arasındaki az da olsa hissedilebilen artan ilişkililik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



Şekil 21. Tüm kayaç örneklerinde (serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar + bazik volkanik kayaçlar; 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 Fe_2O_3 'e karşı; MgO, SiO_2 , Cl, Na_2O , Mo element ve A.K. dağılım grafikleri (toplam Fe_2O_3 'e karşı Mo element dağılım grafiği log-log dağılımı olarak verilmiştir) (r = korelasyon katsayısı değeri).

Figure 22. Total Fe_2O_3 (wt %) plotted against MgO, SiO_2 , Cl, Na_2O , Mo element and LOI variation diagrams of the serpentinized ultrabasic rock samples (element distribution diagram of total Fe_2O_3 versus Mo is given as logarithmic values) (r = correlation coefficient value).

TARTIŞMA

Çalışma alanında yüzeyleyen ofiyolite özgü serpantinleşmiş ultrabazik kayalar, 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 kayaların 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 anomalii değerlendirmek için MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, Yellice sahasında sondajlar yapılmış ve % 18 - 20 Fe₃O₄ tenörlü 125 milyon tonluk görünür + muhtemel rezervli, düşük tenörlü manyetit 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 kayaların 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 sahaların, 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 kayaların (Yellice plütönu) katettikleri yan kayaçlar üzerinde doğrudan etkilerinin hemen hemen hiç olmadığı saptanmıştır.

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

Divriği demir yatağında granitik kayalar, yan kayaçları konumundaki serpantinleşmiş

ultrabazik kayaçları etkilemişler ve bunları hidrotermal alterasyona uğramış serpantinlite 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 Hasançeşme 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 olduğu kolaylıkla söylenebilir. Yani, serpantinleşmelerin büyük bir bölümü granitik kayaç etkilerinden daha yaşlı bir konumdadır. Zira anılan bu serpantinlitlerde 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.

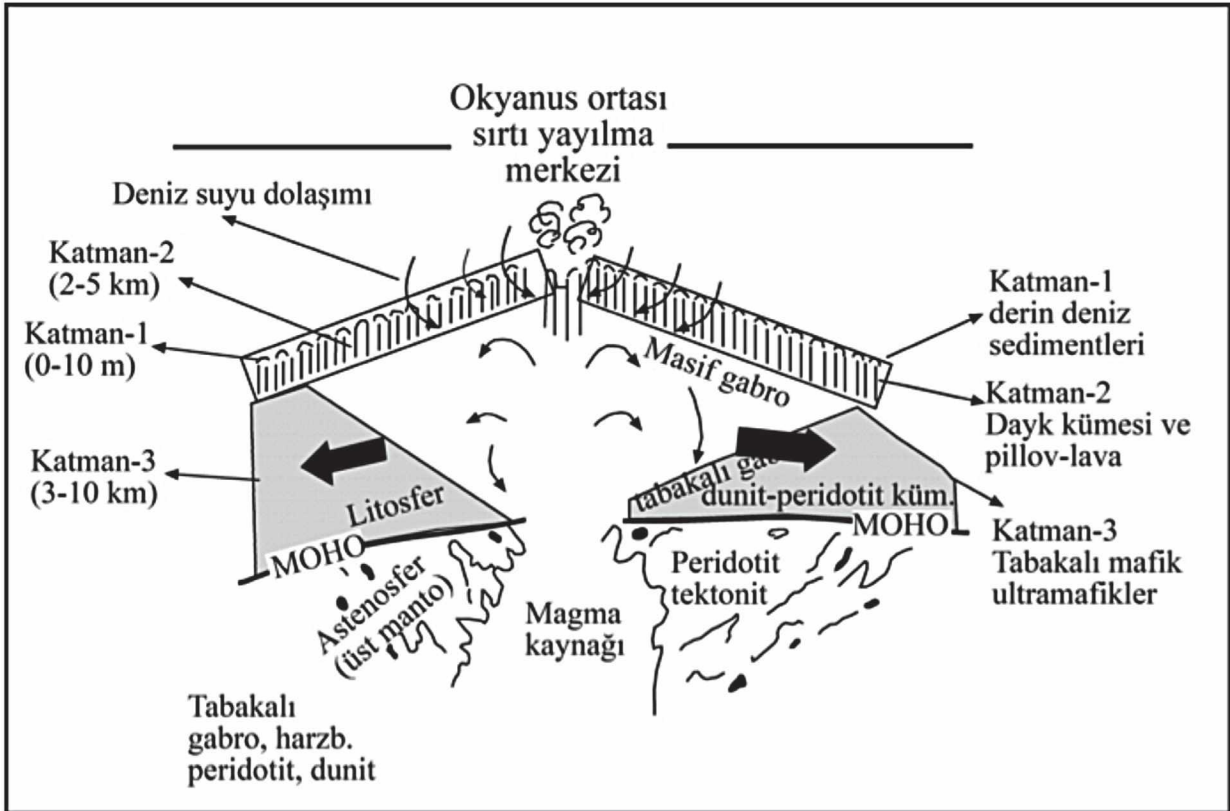
Bu çalışma ile, Yellice manyetit oluşumlarının, Divriği demir yataklarının oluşumundan bir önceki oluşum evresini karakterize ettiği görüşü (Ünlü, 1989) ağırlık kazanmaktadır.

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.

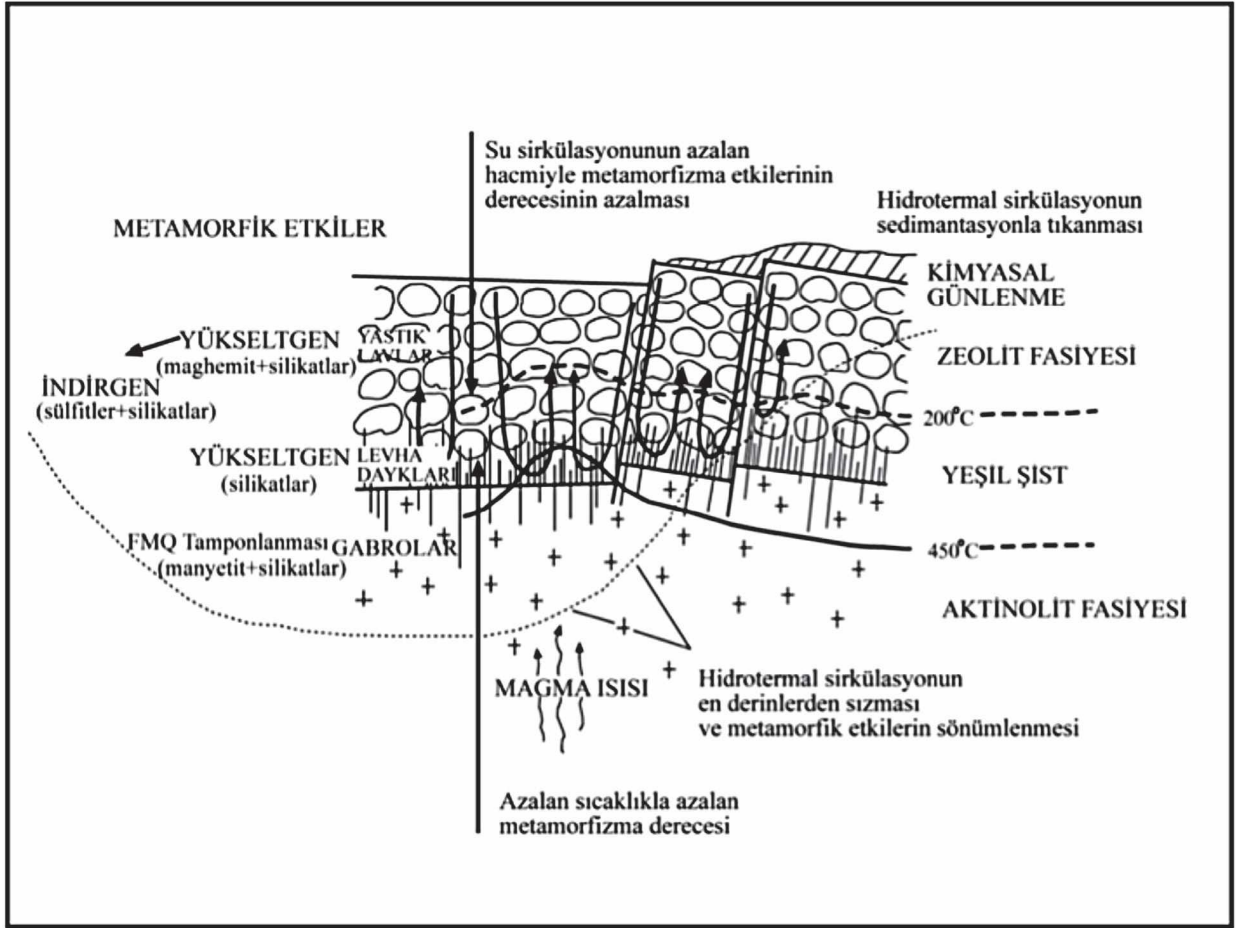
Bu parajenez, okyanusal kabuğun sırt kenar bölgelerinde meydana gelen metamorfizmalar modeline göre (Stern ve Elthon, 1979), Katman-3'ün bir bölümünü de içerecek biçimde (Şekil

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



Şekil 23. Okyanus sirtlarında 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-yeşilşist fasiyesi altındaki metamorfizma derecelerinde görülmektedir. Buna karşılık antigorit minerali, tipik yeşilşist/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.

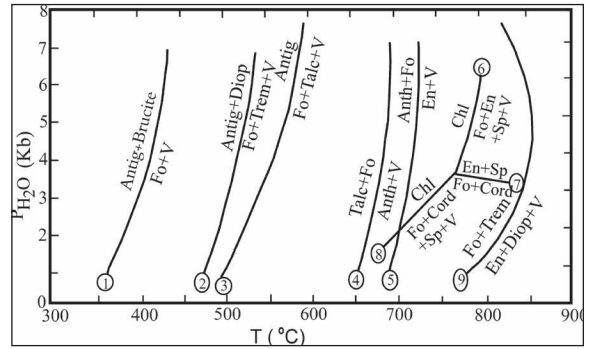
Yellice sahası serpantinlerinde saptanmış bulunan talk ve antigorit mineral birlikteliği, serpantinleşme sürecinin yüksek sıcaklıklarda ($\sim > 500\text{ C}^\circ$) başlamış olabileceğine (Şekil 25) ilişkin (Karipi vd., 2007) özgün sonucu desteklemektedir.

Bu bağlamda serpantinleşme olayı evriminin, ultramafik kayaları 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 ($T > 1300\text{ C}^\circ$) \rightarrow Cr-Ni içeren manyetitler ($T = 750 - 700\text{ C}^\circ$ ve $P > 2\text{ kbar}$) \rightarrow ferroferrikromspineller ($T = ?$, fakat $< 700\text{ C}^\circ$ ve $> 300\text{ C}^\circ$) \rightarrow manyetitler ($T = \sim 350 - 300\text{ C}^\circ$)”.

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 kayaların 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 kayalar 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 (Karkanis 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) + $0.57\text{Fe}_3\text{O}_4$ (manyetit) + 0.3MgO + 0.57H_2 [Engin ve Hirst, 1970],
- 2) $11\text{Fe}_2^{\text{II}}\text{SiO}_4$ (fayalit) + $2\text{SO}_4 = +4\text{H}^+ \rightarrow 7\text{Fe}_3^{\text{II,III}}\text{O}_4$ (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) $2[(\text{Mg.Fe}^{\text{II}})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ (serpantin) + $\text{X}(\text{Fe}^{\text{II}}.\text{Mg})\text{Fe}_2^{\text{III}}\text{O}_4$ (manyetit I) + $3\text{CO}_2 \rightarrow (\text{Mg.Fe}^{\text{II}})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$ (talk) + $3(\text{Mg.Fe}^{\text{II}})\text{CO}_3$ (manyetit) + $\text{Y}(\text{Fe}^{\text{II}}.\text{Mg})\text{Fe}_2^{\text{III}}\text{O}_4$ (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) $(\text{Mg}_1 - (\text{x} + \text{y}) . \text{Fe}_x . \text{Ni}_y)_3 (\text{OH})_4 (\text{Si}_2\text{O}_5)$ (serpantin) + $\text{X}(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ (manyetit I) + $\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{SiO}_2$ (kuvars) + $2(\text{Mg}_1 - (\text{x} - \text{z}) . \text{Fe}(\text{x} - \text{z}))\text{CO}_3$ (manyetit) + $\text{Y}[(\text{Fe}_z.\text{Ni}_y)_3\text{O}_4]$ (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 çökeltileri olarak, Saya formasyonu ve Sincan grubuna özgü litolojiler ile Yamadağ volkanitleri sahada yüzeyle. Yellice plütonuna 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 serpantinitlelerden oluşmuştur.
- 3) Özellikle serpantinitle içerisinde saptanmış bulunan talk ve antigorit mineral birlikteliği, serpantinleşme sürecinin başlangıç evrelerindeki yüksek sıcaklıklara işaret etmektedir.
- 4) Yellice sahasında serpantinitle 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 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.
- 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 kümülüt bölümünü (dilimini) karakterize ettiği saptanmıştır. Çalışma sahasının dışında kuzey ve kuzeydoğuya doğru ise, bu istifin ardanmalı biçimde bantlı gabrolara geçiş gösterdiği gözlenmiştir.

- 6) Serpantinitle içerisinde mercek 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 volkano-sedimanter 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 plütonunun 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 ferromagnezyen 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 hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinin bir özetidir. 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 jenetik 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 mikroskopisi 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, Kahrıman ve Hanilçi), 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.
- Erler, 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 Otlu), 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. Kollogyumu (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 İti and Kallidromon ophiolites (Central Greece). Lithos, 99, 136-149.
- Karkanis, 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 Haniççi), 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 manyetik 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 serpentization. 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., Stendal, 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., Makovický, 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 Haniçli), 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 plütönu'nun 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 plütönu-ön çalışma. *MTA Dergisi*, 112, 103-115.

YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAÇ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözleterek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacı ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,

• Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendisleri'nin bilgisine sunmak,

• Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan biliminsanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,

• Türkiye'nin toplumsal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,

• Türkçe'nin Jeoloji Mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek amaçlarına sahiptir.

KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformlarda, yerbilimlerinin uygulamaya yönelik alanlarında çalışmalar yapan herkesin katkısına açıktır. Bu çerçevede;

- İnsanların yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi
- Doğal ve yapay kirleticiler ve ekosisteme etkileri
- Jeolojik anıtların korunması
- Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntemlerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulu'nun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorunun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasındadır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde, yeni yapıyla beş tür yazı yayımlanacaktır:

1- ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper): Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.

2- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article): Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılıyla

değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

3- TEKNİK NOT (Technical Note): Herhangi bir süreci veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı, bu süreci veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

4- ARAŞTIRMA NOTU (Research Note): Henüz tamamlanmamış, eksik veri ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı, kendi içinde tutarlı, özgün, deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların ön sonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine diğer araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

5- GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply): Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörün uygun gördüğü uzunlukta yayımlanır.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğü'ne 2 satır aralığında 12 punto harflerle yazılmış ve 1 nüsha halinde *.doc veya *.docx formatında hazırlanarak e-posta ile gönderilen yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine ve/veya Kurul dışından seçilecek uzmanlara gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörce karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda, Editör'ün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine veya yazı konusundaki uzmana gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüp değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu üyelerinin ve Editör'ün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara iade edilmez.

YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayım dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özeti'nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelgeler ile şekillerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı**"na göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazılarını baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dize ederler ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

Metin Bölümü

- 1- **Metin:** A4 boyutunda (29,7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1,5 satır aralıkla, 10 punto ve Times New Roman yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- 2- **Başlık:** konuyu en iyi şekilde belirtecek ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harflerle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise, önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
- 3- **Öz:** yazının başlangıcında 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış Öz/Abstract (Türkçe ve İngilizce) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Abstract'ın, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. Ayrıca, Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak *Anahtar Kelimeler ve Key Words* (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, önce Abstract sonra Öz verilmelidir.
- 4- Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir:
 - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
 - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları büyük harflerle, adresler normal italik karakterlerle)
 - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d) Abstract (key words eklenerek)
 - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
 - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
 - g) Tartışmalar
 - h) Sonuçlar ve Öneriler
 - i) Katkı belirtme (gerekliyse)
 - j) Kaynaklar

- 5- Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

TARTIŞMALAR

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

- 6- Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
- 7- Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.
....Ford (1986) tarafından....
....bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)

- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayınlara metin içinde değinirken ilk soyadı belirtilmeli, diğer yazarlar için vd. İbaresini kullanılmamalıdır.
....Doyuran vd. (1995)....
....Smart vd.(1971)....
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizisinde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.
....Dreybrodt(1981; Schuster and White, 1971)....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca "Kaynaklar Dizini"nde de yer verilmelidir. (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişinin/kişilerin adres(ler)i)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla verilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

Sürelili yayınlar ve bildiriler

Yarbaşı, N., Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. *Environmental Geology*, 58 (4), 701-714.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin Başlığı. Sürelili Yayın Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), Sayfa No.]

Altındağ, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T., 2006. The integrity loss of physicommechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freeze-thaw (F-T) process. *Fracture and Failure of Natural Building Stones-Applications in the Restoration of Ancient Monuments* (Editors: Stavros and Kourkoulis), 363-372.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin Başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editörler, Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, Sayfa No.]

Kitaplar

Palmer, C.M., 1996. *Principles of Contaminant Hydrogeology* (2nd Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ., Camitez, N., 1972. *Yapısal Jeoloji*. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, Sayfa Sayısı.]

Raporlar ve Tezler

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Akın, M., 2008. Ekipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 263 s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya Tezin Başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), Sayfa Sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

NOT: Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 0.7 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller

- a) Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmamalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b) Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- c) Eşitliklerde kullanılabilecek alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I_d , x^2 gibi).
- d) Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e) Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ($\sigma_{\text{maks}} = \sigma_c^{0.5}$ gibi).

- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "*" işareti tercih edilmektedir ($y=5 * 10^{-3}$ gibi).
- g) Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} veya CO^{-} gibi ifadeler yerine Ca^{2+} ve CO_3^{2-} kullanılmalıdır.
- h) İzotop numaraları, "¹⁸O" şeklinde verilmelidir.

Çizelgeler

- a) Yazarlar, derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılanla oranla daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gerekir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b) Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dip notlara veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- c) Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilmeli, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- d) Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- e) Her çizelge, sıralı olarak ayrı bir sayfada olmalı ve çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmalıdır.

Şekiller (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- a) Şekiller, uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmalı, değerlendirmeyi kolaylaştıracak biçimde yüksek kalitede, metin sonunda verilmelidir. Ancak bu durum, elektronik dosya boyutunu fazla büyütmemelidir.
- b) Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa, şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- c) Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek "Şekiller Dizini" sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır.
- d) Şekiller, ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek boyutta hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunluluğu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16 x 21 cm) boyutlarında olması gerekir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- e) Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- f) Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken, şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- g) Fotoğraflar, şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilecek olan simgeler okunaklı olmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz renk ile gösterilmesi tavsiye edilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- a) Ana metnin içine alındığında okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek, hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonundaki "Ek Açıklamalar" başlığı altına konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkarımının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir).
- b) Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlükler neden olduğundan, çok gerekli durumlar dışında kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnotta eğer deyim yapılsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin "Yayın Amaçları ve Kuralları, Yayına Kabul İlkeleri"nde belirtilen ilkelere uygun olarak elektronik ortamda hazırlanmış yazılar, e-posta ile gönderilmelidir.

E-posta adresi: topal@metu.edu.tr

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : topal@metu.edu.tr

AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondan fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde, Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret, her ayrı baskı için yazarlar tarafından ödenir.