


Eskigedik-Kızılçayır (Ovacık-Tunceli) Kromit Oluşumlarının Jeolojik Özellikleri ve Yer Radarı Yöntemiyle Cevherli Alanların Belirlenmesi

Ayten Öztüfekçi Önal^{1*}, Aysel Şeren²

^{1*}Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye

*aoztufekci@munzur.edu.tr 

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye
seren@ktu.edu.tr

Makale gönderme tarihi: 01.02.2018, Makale kabul tarihi:25.04.2018

Öz

Bu çalışma kapsamında, Eskigedik-Kızılçayır kromit cevherlerinin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmış ve derinde bulunan kromit kütlelerinin konumları yer radarı (GPR) yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Kromit işletmesinin bulunduğu alanda üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar bulunmaktadır. Cevherin yan kayacı oldukça altere olmuş harzburgit ve dünitdir. Kromit kütleleri küçük mercek ve yığınlar şeklinde, tamamen serpantinleşmiş dünitler içerisinde bulunmaktadır. Cevherin dokusu esas olarak masif ve saçınımlı, bazan da nodülerdir. Gang mineralini çubuksu serpantinler oluşturmaktadır. Kromit tanelerinin büyüklükleri oldukça değişken (2-30 mm) olup, çok kırıklı ve milonitleşmiştir ve kırıklar serpantin dolguludur. Kromit ve içerisinde yer aldığı kayaların jeokimyası, Türkiye'deki düşük tenörlü podiform kromitler ile benzerdir. Ortalama Cr₂O₃, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içerikleri sırasıyla %16, %14 ve %12 olup, yüksek-alüminyum kromitlerdir. Daha çok Co, Ni ve V gibi iz elementlerce zenginleşmiştir. Jeokimyasal veriler, bu kromitlerin okyanusal yay ardı havzada, dalma-batma ile modifiye edilmiş bir manto kaynağından türediğine işaret etmektedir.

Açık işletme alanında yüzeylememiş cevheri belirlemek için, şev basamakları ve ocak içi düzlüklerde, 83 hat boyunca 100 MHz anten ile GPR ölçümleri yapılmıştır. Birinci kazı alanında ölçümler sorunsuz olarak gerçekleştirilmiştir, ancak ikinci kazı alanındaki zeminin ıslak olması GPR çalışmalarını sınırlandırmıştır. Ölçümlerden elde edilen ham verilere veri işlem teknikleri uygulanarak yeraltı kesitleri elde edilmiştir. Kromit cevheri fiziksel özellikleri nedeniyle önemli jeofizik belirti verdiği için, ölçümlerde yan kayalardan daha yüksek yansımaya sahip alanlar kromitli alanlar olarak kabul edilmiştir. Açık işletme alanındaki şev basamaklarında, yüksek yansıma yüzeyleri, sadece birkaç hat boyunca ve farklı derinliklerde gözlenmiştir. Buna karşın, ocak içi alt ve üst düzlüklerde yaklaşık 10m derinde yüksek yansıtıcı yüzeylerin varlığı, birçok hat boyunca belirlenmiştir. Ocak içi alt düzlükte, öncelikle ikinci paralel hat boyunca 10-20 m arasındaki derinlikte belirlenen yüksek yansımalı düzeylerde kromitin var olup olmadığının kazı yapılarak doğrulanması gerekmektedir. Kromit varlığı belirlendikten sonra, kazılar öncelikle bu alanda ve açık ocağın üst düzlüğünde yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Eskigedik-Kızılçayır, jeoloji, kromit, Ovacık, Tunceli, yer radarı

Geological Properties of Eskigedik-Kızılçayır (Ovacık-Tunceli) Chromite Deposits and Determination of Ore Sites by Ground Penetrating Radar Method

Abstract

In this study, the mineralogical, petrographic and geochemical features of the Eskigedik-Kızılçayır chromite ores were revealed and the locations of the chromite masses in the depths were tried to be determined by the Ground Penetrating Radar (GPR) method. There are ophiolitic rocks of the upper Cretaceous age in the area where the chromite open pits is located. The wall rock which is bearing the chromite deposits are substantially altered harzburgite and dunite. The chromite masses are within the completely serpentinized dunitess and are in the form of small lenses and pods. The texture of the ore is mainly massive, sometimes scattered and nodular. The gangue minerals are rod-shaped serpentines. The size of the chromite grains is quite variable (2-30 mm), very fractured and mylonitized and the fractures are filled with serpentine. The geochemistry of the chromites and its host rocks are similar to the low-grade podiform chromite deposits in located at Turkey. The average Cr₂O₃, Al₂O₃ and Fe₂O₃ contents are 16%, 14% and 12%, respectively, and are high-aluminum chromites. It is mostly enriched with trace elements such as Co, Ni and V. The geochemical evidences suggest that these chromites are derived from a mantle source modified by subduction in the oceanic arc basin.

DOI: 10.29132/ijpas.387943

In order to determine unexposed ore in the open field, GPR measurements were made with 100 MHz antenna along 83 lines on slope and open pit flatness. Measurements in the first excavation area of the open pit were carried out without any problems, but the wetness of the second excavation area limited GPR operations. Underground sections were obtained by applying data processing techniques to the raw data obtained from the measurements. Because of the physical properties of the chrome ore, the areas with higher reflectance than the wall rocks were accepted as chromite areas because of the significant geophysical indications. In slope steps in the open pit area, high reflection surfaces were observed along several lines and at different depths. On the other hand, the presence of highly reflective surfaces at depths of about 10m in the lower and upper flats in the open pit was identified along the many lines. In the lower flat of the open pit, it is firstly necessary to confirm by excavation whether chromite is present at the high reflectivity surface determined at a depth of 10-20m along the second parallel line. Once the chromite presence has been identified, the excavations firstly must be done in this area and in the upper flat of the open pit.

Keywords: Eskigedik-Kızılçayır, geology, chromite, Ovacık, Tunceli, ground penetrating radar

GİRİŞ

Sanayinin önemli bir hammaddesi olan ve ekonomik olarak işletilen tek krom minerali kromit (FeCr_2O_4)'dir. Türkiye'deki kromit yatakları ofiyolit topluluğuna ait ultrabazik kayaçlar (peridotitler) içerisinde bulunmakta ve Alpin tip kromit yatakları olarak bilinmektedir. Bu yatakların en belirgin özellikleri karmaşık yapı ve doku ilişkileri göstermeleri, mercek, bant veya düzensiz şekilli kütleler halinde, küçük rezervli oluşlarıdır. Türkiye'de bilinen rezervleri bir milyon tonu geçen kütlelerin sayısı sınırlı olup, üretim yapılan önemli yataklar Elazığ, Muğla, Bursa, Mersin, Erzincan ve Hatay illerindedir. Ülke geneline yayılmış olarak 1000 kadar tek veya grup halinde kromit yatağı ve kromit cevherleşmesi bilinmektedir. Üretilen cevherler hem yurt içinde refrakter ve düküm sanayinde kullanılmakta hem de yurt dışına ham cevher (parça ve konsantr), krom bileşikleri ve ferrokrom olarak ihraç edilmektedir (URL-1). Gerek yerli sanayinin hammadde güvenliğini sağlamak ve gerekse artan dış talebi karşılamak için, bilinen yatakların rezervlerini geliştirme ve yeni yataklar arama çalışmaları devam etmektedir. Bugüne kadarki toplam kromit üretiminde yüksek tenörlü masif cevherler önemli bir bölümü oluşturmuştur. Ancak, yüksek tenörlü kromit rezervlerinin azalması, yeni yataklar bulmada karşılaşılan zorluklar ve pazar koşullarının elverişli olması nedeniyle, düşük tenörlü ve kolay işletilebilecek kromit yataklarının değerlendirilmesi giderek mümkün hale gelmektedir. Kromit cevherinin yeri ve rezervi jeofizik yöntemler, jeolojik çalışmalar ve sondajların birlikte değerlendirilmesi, tenörü (kromun yüzde değeri) ise cevher örneklerinin analiz edilmesi sonucunda belirlenmektedir.

İşletilen önemli yatakların çoğunda jeolojik çalışmalarla birlikte işletmeye başlamadan rezistivite (elektrik öz direnç), mikrogravite, manyetik, doğal elektrik uçuşma (SP) gibi birçok jeofizik yöntem ve sondajlarla arama ve rezerv belirleme çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalara işletme döneminde de devam edilmiştir (Yungul, 1956; Akdoğan, 2000; Öztürk ve Baykal 2012; Kınalıbalaban, 2013). Sondaj çalışmalarının oldukça maliyetli olması nedeniyle kazısız (hasarsız) uygulanan jeofizik yöntemler doğru yerden ve doğru derinliğe kadar mekanik sondaj önerisinde bulunup sondaj sayısını azaltacağı için maden aramalarında jeoloji mühendisliğine katkı koymaktadır. Son yıllarda ekonomik ve kolay uygulanabilen ve araştırma ortamında sığ derinlikleri yüksek duyarlılıkta görüntüleyebilen Yer Radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) yöntemi sığ araştırmalarda (Near-Surface Geophysics) arkeolojiden yapı incelemelerine kadar birçok alanda uygulanmaktadır (Davis ve Annan, 1989; Jol, 2009).

Ülkemizde kromit sahasında ilk GPR uygulaması Yalçınır ve Gündoğdu (2011) tarafından Gaziantep ili İslahiye ilçesindeki kromit işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen GPR verileri ile derindeki cevherli alanların yatay ve düşeydeki konumları belirlenmiş, cevherin % değeri ise aynı cevherin analiz sonuçlarına çok yakın değerlerde tespit edilebilmiştir.

Tunceli'nin Mazgirt ilçesinde Oymadal civarında, Pülümür ve Ovacık ilçeleri arasında Yıldırım, Aksu, Hasangazi, Dereboyu, Atilla, Karagöz, Kaymaztepe ve Işıkvuran gibi birçok alanda kromit cevherleşmeleri bulunmaktadır. Mercek ve küçük yığılımlar halinde yüzeylenmiş olan cevherler açık ocak işletmeciliği ile

DOI: 10.29132/ijpas.387943

alınmıştır. Ancak bugüne kadar işletilen alanlardaki cevherleşmelerin jeolojik özellikleri, tenörü ve yeraltındaki yayılımı ve boyutlarını belirlemek için jeolojik ve hiçbir jeofizik çalışma yapılmamıştır. Sadece işletmelerin çevresel etkileri ve cevherleşmeleri içerisinde bulunduran kayaçların jeolojik özellikleri konusunda son yıllarda sınırlı sayıda araştırma (Akarsu-Akyol, 2013; Öztüfekçi Önal ve ark., 2014; Çimen ve ark., 2015; Çimen ve ark., 2016) bulunmaktadır.

Bu makalede, özellikleri ve rezervi bilinmeyen Eskigedik-Kızılcayır (Ovacık-Tunceli) kromit oluşumlarının jeolojik özellikleri belirlenirken, işletme sahası içerisinde yüzeylenmemiş cevherli alanlarda ise GPR yöntemi uygulanarak cevherin sınırları ve derinliği belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Jeolojik Çalışmalar

Eskigedik-Kızılcayır kromit yatağının jeolojik (sahasal, mineralojik-petrografik ve jeokimyasal) özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan arazi çalışmasında cevher ve cevherin içinde bulunduğu yan kayacının sahasal özellikleri incelenmiştir. Mikroskobik ve jeokimyasal çalışmalar için mümkün olduğunca taze örnekler alınmış ve örnek alım noktalarının koordinatları Magellan eXplorist 610 el tipi GPS ile ölçülmüştür. Alınan örnekler mikroskopta incelemeye ve jeokimyasal analizlere hazır hale getirilmiştir. Petrografik çalışmalar için cevherli örneklerin parlak ve yan kayaçlarının (dünit ve hazburjit) ince kesitleri Ortadoğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Hazırlanan parlak ve ince kesitler Munzur Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında sırasıyla üstten ve alttan aydınlatmalı Leica-7500P kameralı araştırma mikroskobunda incelenmiştir. Mikroskop çalışmaları ile cevher ve yan kayacının mineralojik ve dokusal özellikleri belirlenmiş ve mikrofotoları çekilmiştir. Mikroskobik çalışmalar sonucunda yan kayaç ve cevherden seçilen temsili örneklerin tüm kayaç ana oksit, iz ve nadir toprak elementleri uluslararası akreditasyonu olan ACME Laboratuvarı (Kanada)'nda ICP-MS'de analiz edilmiştir.

Jeofizik Çalışmalar

Eskigedik-Kızılcayır kromit yatağının açık işletme kazı sahasında, yüzeylenmemiş cevherli

alanların varlığı ve konumunun tespiti amacıyla GPR ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler çalışmaya uygun düzlük alanlarda gerçekleştirilmiştir. GPR, verici anten, alıcı anten ve kontrol biriminden oluşmaktadır. Elektromanyetik (EM) dalgaların yeraltına gönderilmesi ve yeraltındaki değişik elektromanyetik (dielektrik sabiti) özelliklere sahip çeşitli katmanlardan geçerek ve yansıtılarak geri gelen dalgaların kaydedilmesi ilkesine dayanmaktadır (Yalçın ve Gündoğdu, 2011). GPR ölçümleri sonucunda belirli bir hat boyunca sabit aralıklarla toplanan elektromanyetik izlerden oluşan yeraltı kesitleri elde edilmektedir (Daniels, 2004). Yeraltı bilgilerini içeren bu kesitler ham verilerdir ve çalışma alanı koşullarına bağlı olarak gürültüler (antenin yerleştirilmesi, çevresel etkiler, antenin yüzeye teması vb.) içermektedir. Ancak, biraz karmaşık ve zor olsa da kesitlerdeki bu gürültüleri veri işlem teknikleri ile uzaklaştırmak ve yere ait olduğu düşünülen gerçek veriyi elde etmek mümkündür. Yüksek iletkenlikli zeminler (yüksek kil içerikli) düşük iletkenlikli zeminlerden (kuru kum) daha fazla enerji soğurduğu için GPR çalışmalarını sınırlamaktadır. Bu nedenle yeraltı radarı çalışmalarında çalışılan ortamın nemli olması GPR çalışmalarını sınırlamakta ve araştırma başarısını azaltmaktadır (Bristow ve Jol, 2003). Yöntemde dikkate alınan fiziksel parametreler, dielektrik sabiti, manyetik duyarlılık ve elektriksel iletkenliktir. Dielektrik sabiti (ϵ_r), genel olarak, elektromanyetik bir yük üzerine uygulandığı zaman bir maddenin depolayabildiği yükü göstermekte ve $\epsilon_r=(c/v)^2$ formülü ile hesaplanmaktadır (Burada c, ışık hızı 30 cm/ns; v, elektromanyetik enerjinin maddeden geçiş hızıdır). Benzer olarak manyetik duyarlılık da elektromanyetik hızı kontrol eder ve ortamda bulunabilecek metalik elementlerden etkilenir (Annan ve ark., 1975). Elektriksel iletkenlik ise esas olarak derinliği belirleyen elektriksel unsurdur ve su içeriği ile artan elektriksel iletkenliğin maddelerin elektromanyetik olarak yüklenmesi ile ilgilenir (Yalçın ve Gündoğdu, 2011). Cisimlerin dielektrik sabitleri, iletkenlik ile doğru orantılı oldukları için ölçümler sonucu elde edilen ϵ_r değerleri cismin iletkenliği konusunda bilgi vermektedir. Bu özellik, GPR'nin çeşitli mühendislik yapıları (baraj, havaalanı, kara ve demiryolu vs.) zeminlerinin yanal ve düşey değişimlerinin incelenmesi, tünellerdeki jeolojik ve jeoteknik araştırmalar, su tablası derinliği, tarihi binaların iç yapısı, gömülü objelerin yayılım

DOI: 10.29132/ijpas.387943

ve kalınlığı, illegal atık alanları, hidrokarbon sızıntıları ve maden aramaları gibi birçok alanda (Ulriksen, 1982; Bristow ve Jol, 2003; Çataklı, 2003; Leucci ve Negri, 2006; Kurt ve ark., 2009; Yalçiner, 2009; Yalçiner ve ark., 2009) kullanımına olanak sağlamaktadır.

Bu araştırmada, 7 (yedi) farklı lokasyonda, 83 (seksenüç) profil boyunca, 100 Mhz antenli MALA Proex GPR kullanılarak jeofizik araştırma yapılmıştır. Şev alanlarında sadece paralel profiller boyunca, ocak içi alt ve üst düzlükte ise paralel profiller ve bunlara dik olarak oluşturulan profiller boyunca ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan tüm alanlardaki profillerin doğrultuları Brunton tipi jeolog pusulası, başlangıç koordinatları GPS ile UTM (Evrensel Enlem Merkatörü) olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerden elde edilen ham yeraltı kesitlerinin görüntüleri "Reflexw" bilgisayar programında gerekli veri işleme (filtreleme) aşamalarından geçirilmiştir. Krom cevherinin yoğunluk, manyetik susseptibilite ve özderinç gibi fiziksel özellikleri nedeniyle, krom depozitlerinin araştırılması için yürütülen jeofizik çalışmalarında önemli belirtiler vermektedir (William ve ark., 2011). Bundan dolayı, kromit cevherinin iletkenliği, krom içeriği ile doğru orantılı olarak arttığından yan kayaca göre daha yüksek er değerli belirti (yansıma) gösteren derinlikler yer altı kesitleri üzerine işaretlenmiştir.

Kromit Cevherinin Jeolojik Özellikleri

Kromit işletmesi ve civarının jeolojisi

Eskigedik-Kızılcayır kromit işletmesi ve civarında üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar ve bu kayalarla ilişkili volkanitler yer almaktadır (Şekil 1a). İşletme alanının alt seviyelerindeki ofiyolitik kayalar tektonizmanın etkisiyle breşleşmiş, milonitleşmiş ve aşırı derecede alterasyona uğramıştır. Bu alandaki ofiyolitik derinlik kayaları daha çok hazburjit ve dünitler ile temsil edilmektedir. Hazburjitler kısmen, dünitler ise tamamen serpantinleşmiştir. Cevher daha çok masif ve saçınımlı, daha az ise tabakalı-saçınımlı ve nadiren nodüler yapıdadır. Cevher yığılımları düzensiz mercek ve yığınlar (kafalar) halinde dünitlerin serpantinleşmiş zonları içerisinde yer almaktadır. Yüzeylemiş ve izi sürülebilen yığınlardan hem açık hem de kapalı işletme (galeri) yöntemiyle, 2014 yılına kadar

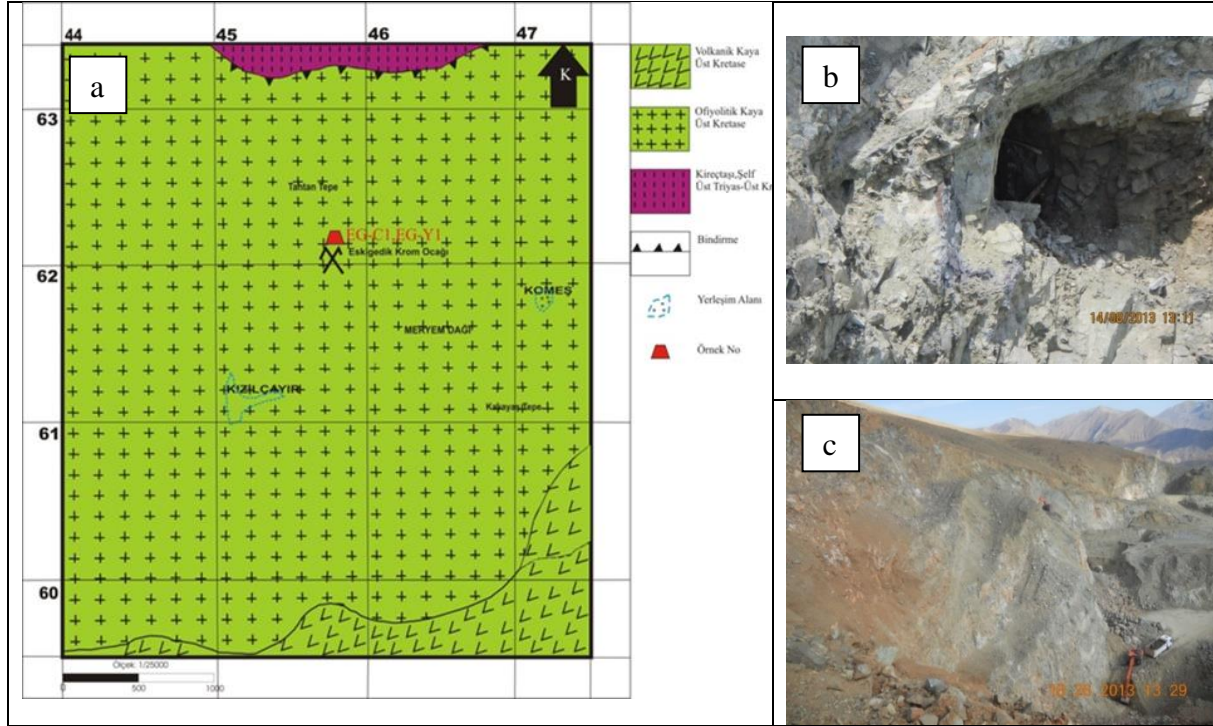
üretim yapılmıştır (Şekil 1b, c). Üretim yapılan alanlardaki kromit cevheri ve yan kayaçlarından alınan çok sayıda örneği temsil eden 6 yan kayaç ve 3 kromit cevherine ait koordinatlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Kromit ve yan kayacının petrografik özellikleri

Eskigedik-Kızılcayır cevherleşmelerinin esas mineralini oluşturan kromitler öz-yarı öz şekilli, 2-30 mm arası büyüklükte, kızıl-kırmızımsı renkte ve bol çatlaklıdır. Tek nikolde kırıklar boyunca FeO ayrılımları nedeniyle renkte değişim (renk koyulaşması) net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 2a). Küçük klinoprosen ve amfibol mineralleri ise kromit taneleri içerisinde kapantılar halinde yer almaktadır. Cevherin gangını genellikle çubuksu serpantin minerali oluşturmaktadır (Şekil 2b). Dünitlerin ana mineralini olivin oluşturmaktadır. Olivinle birlikte piroksen ve opak mineral bulunmaktadır. Olivin ve piroksen mineralleri neredeyse tamamen serpantinleşmiş ve kayacda elek (mesh) dokusu çok iyi gelişmiştir. Kalık olivin kristalleri sadece elek dokusunun merkezi kesimlerinde gözlenmektedir (Şekil 2c). Hazburjitlerin ana minerallerini ise ortopiroksen ve olivin oluşturmakta, opak mineraller ve nadiren klinopiroksen de bu minerallere eşlik etmektedir. Olivin minerallerinin çoğunluğunda ve bazı piroksen minerallerinde serpantinleşme iyi gelişmiştir. Olivinler kalık halde gözlenirken, piroksen minerallerinin çoğunda kristal sınırları korunmuştur. Bazı ortopiroksenler 40-50 mm büyüklüğüne erişmiş ve belirgin dilinimlidir (Şekil 2d). Her iki yan kayacda opak mineral olarak kromit ve spinel bolca yer almaktadır. İri kromit kristallerinin bazıları oldukça kırıklı-çatlaklı ve yer yer milonitleşmiştir. Kırık ve çatlaklar daha çok serpantin minerallerince doldurulmuştur (Şekil 2c). İncelenen çoğu yan kayaç örneklerinin mikroskobik kesitinde, yaygın olarak gözlenen siyah spinel kristalleri kübik öz-şekilliden öz-şekilsiz kadar değişmektedir. Ortopiroksen ve elek dokulu dünit mineralleri içerisinde ise öz şekilli kromit kristalleri ve tamamen serpantinleşmiş kesimlerde hem özşekilli, hem de yuvarlaklaşmış kromit kristalleri mevcuttur (Şekil 2c ve d).

Çizelge1. İncelenen cevher ve yan kayaç örneklerinden bazılarının UTM koordinatları. Serp: serpantinit, Harz: harzburjrit

Örnek No	EG-C1a	EG-C1b	EG-C1c	EG-Y1a	EG-Y1b	EG-Y1c	EG-Y1d	EG-Y1e	EG-Y1f
Tanım	Kromit	Kromit	Kromit	Serp.	Harz.	Serp.	Harz.	Serp.	Serp.
Koord. (UTM)	4362027/ 0545713	4362047/ 0545747	4362036/ 0545796	4362083/ 0545774	4362027/ 0545713	4361957/ 0545907	4362083/ 0545774	4362089/ 0545808	4362083/ 0545771

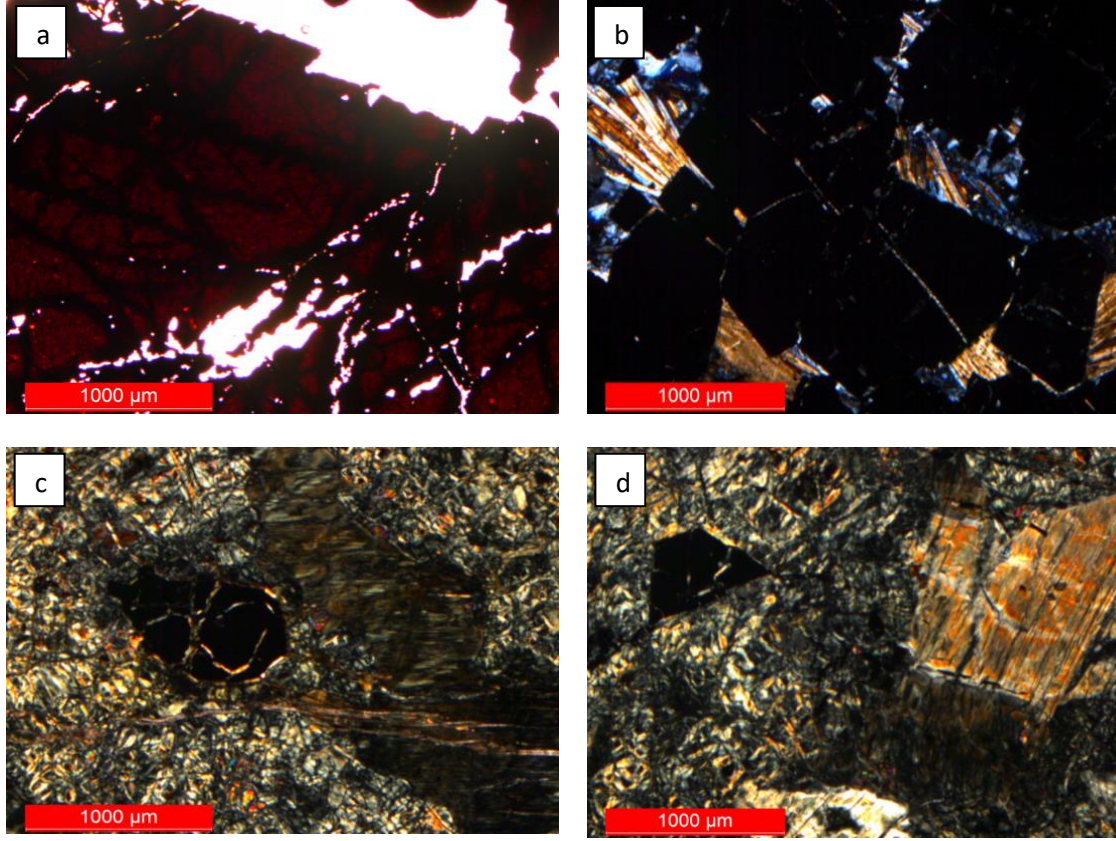


Şekil 1. (a) Eskigedik kromit cevherleşmesi ve civarının jeoloji haritası (arazi gözlemleri ve 1/25000 ölçekli MTA jeoloji haritasından faydalanılarak hazırlanmıştır); (b) Üretim galerisi; (c) Açık işletme alanının görünümü

Kromit Cevherinin Jeokimyası

Eskigedik-Kızılçayır işletmesinin farklı alanlardaki (birinci ve ikinci kazı alanı) kromit cevherlerinin jeokimyasal özelliğini belirlemek amacıyla alınan örneklerin bazı ana ve iz element konsantrasyonlarının ortalama içerikleri (EG-C1a ve EG-C1b) ile bunlarla karşılaştırma yapmak amacıyla, Pülümür-Yıldırım ocağı (AK-C) ve Mazgirt-Oymadal kromit ocağından alınmış cevherlerin ortalama değerleri (OY-C) Çizelge 2’de verilmiştir.

Kromitlerin içerisinde önemli olan bazı majör ve iz elementler, korelasyon katsayıları dikkate alınarak ikili diyagramlarda gösterilmiştir (Şekil 3). Bu diyagramlarda elementlerin jeokimyasal davranışlarına baktığımızda, ana hatlarıyla iki farklı grubun olduğu görülmektedir. Birinci grup MgO, SiO₂ ve TiO₂ elementlerinin birlikte hareket ettiği silikatlı fazları, ikinci grup Cr₂O₃, Fe₂O₃, Co, V, Au birlikteliğinden oluşan oksitli fazları temsil etmektedir. Ni’in ise bu iki gruptan bağımsız davrandığı görülmektedir. Ortaya çıkan bu durum



Şekil 2. Cevher ve yan kayacına ait mikrofotolar. (a): İri kromit minerallerindeki kırıklar boyunca renk değişimi (tek nikol); (b): Kromit cevheri ve onun gang minerali olan çubuksu serpantinler; (c): Serpantinleşmiş dünitler içerisindeki kalık olivin mineralleri ve kromit kristalinin görünümü; (d): Hazburjitlelerdeki serpantinleşmiş olivin içerisinde köşeli kromit (solda) ve iri ortopirosken (sağda) minerali

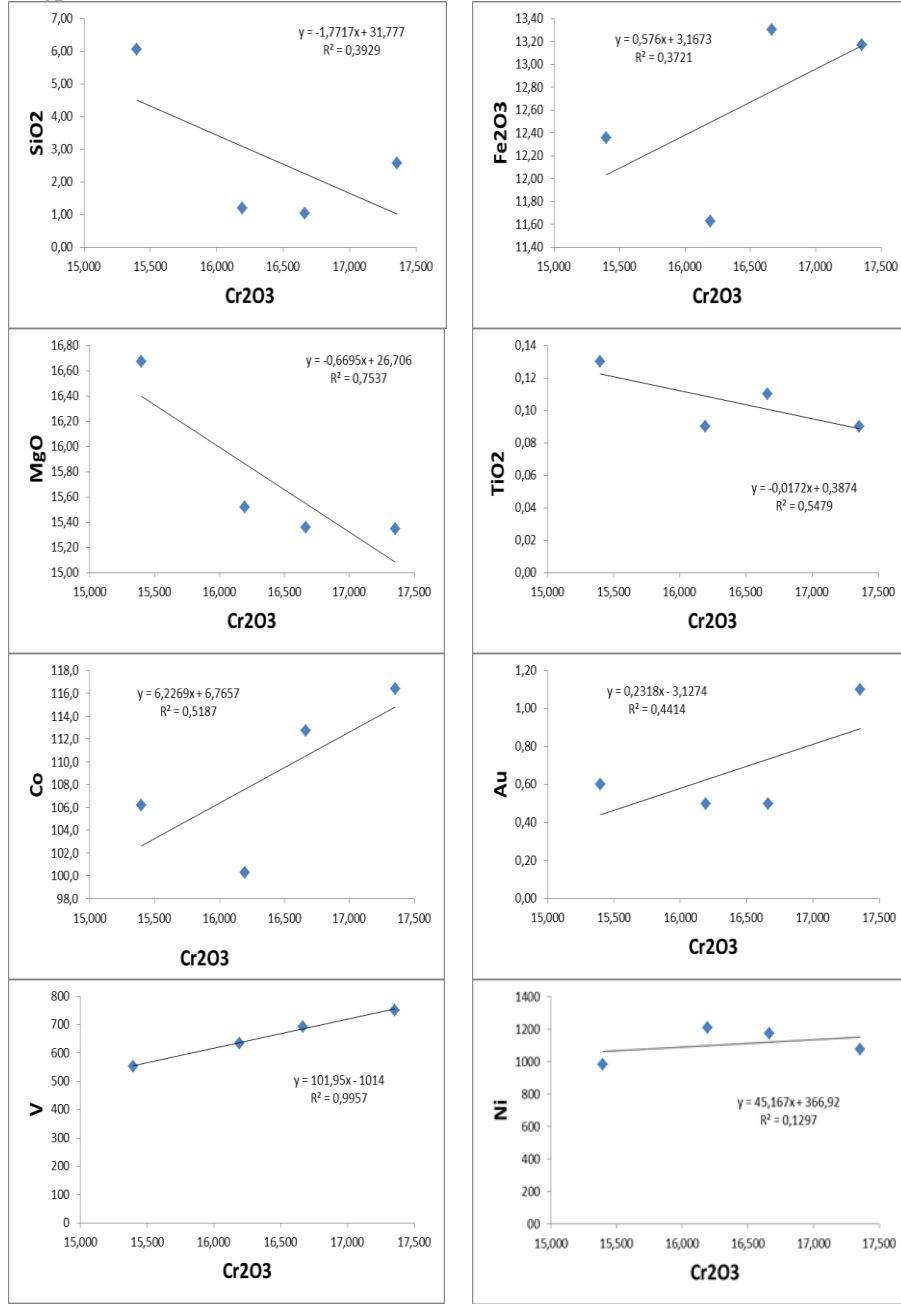
Çizelge 2. Tunceli kromitlerine ait ana ve iz element konsantrasyonları ortalama değerleri. Eskigedik-Kızılcayır birinci ve ikinci kazı alanı kromitleri (sırasıyla EG-C1a ve EG-C1b); Pülümür-Yıldırım ocağı kromitleri (AK-C); Mazgirt-Oymadal ocağı kromitleri (OY-C). AK-C ve OY-C analiz sonuçları (Öztüfekçi Önal ve ark., 2015)

Örnek No	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	TiO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ni (ppm)	Co (ppm)	V (ppm)	Au (ppm)
EG-C1a	1.05	13.30	15.36	0.11	16.664	1173	112.7	693	0.50
EG-C1b	1.19	11.63	15.52	0.09	16.193	1207	100.3	635	0.50
AK-C	6.05	12.36	16.67	0.13	15.396	979	106.2	554	0.60
OY-C	2.58	13.17	15.35	0.09	17.355	1072	116.4	751	1.10

Co, Au ve V elementlerinin, Cr₂O₃ ile birlikte hareket ettiği ve oksitli fazların yapısına girdiğini göstermektedir. Kromitleri içerisinde bulduran yan kayaların jeokimyasal özellikleri detay olarak Çimen ve ark. (2016)'de mevcuttur. Günay ve Çolakoğlu (2011) tarafından açıklanan verilere göre, ülkemizdeki kromit yataklarının ortalama Cr₂O₃ değerleri Muğla, Kütahya ve Diyarbakır gibi illerde %40'ın üzerinde yüksek değerlere

sahip iken, Adana ve Bursa illerinde %20 değerinin altında kaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada incelenen Eskigedik-Kızılcayır kromitleri ve Tunceli'deki diğer işletmelerdeki tüm kromitlerin ortalama Cr₂O₃ değerleri ise %16.40 olup, podiform kromitlerin özelliklerine benzer şekilde düşük tenörlüdür. Zhou ve Robinson (1997) tarafından oluşturulan jeodinamik modelde, okyanus içi bir ortamda dalma batmadan etkilenen ve yay ardı bir havzada



Şekil 3. Eskiğedik-Kızılcayır kromitlerindeki bazı ana ve iz elementlerin Cr₂O₃'e göre değişim diyagramları

oluşan okyanusal kabuk içerisindeki kromitlerin Cr₂O₃ konsantrasyonlarının yüksek olmadığı belirtilmiştir. Böyle yay ardı ortamlarda litosferik manto kalınlığı az olduğundan, üst mantonun düşük dereceli ergimesiyle oluşan ve yükselen eriyiğin litosferik manto ile reaksiyonu da düşük dereceli olacağı için alüminyumca zengin kromitler (Yüksek Al-Kromitleri) oluşmaktadır. Eskiğedik-Kızılcayır kromitlerinin de böylesi bir yay ardı havzada oluştuğu görülmektedir. Çünkü;

dalma batmanın daha etkin olduğu sıkışmalı ortamlarda su girdisi sonucunda kısmi ergimenin derecesi artmakta ve daha yüksek tenörlü kromit oluşumlarına rastlanmaktadır. Nitekim; Çimen ve ark. (2014a; 2014b ve 2016) tarafından Tunceli ofiyolitleri üzerinde yapılan çalışmalarda da, kromitleri içinde bulunduran ofiyolitik kayaçların okyanus içi yay ardı bir havzada oluştuğunu açıklanmıştır.

DOI: 10.29132/ijpas.387943

GPR Ölçümleri

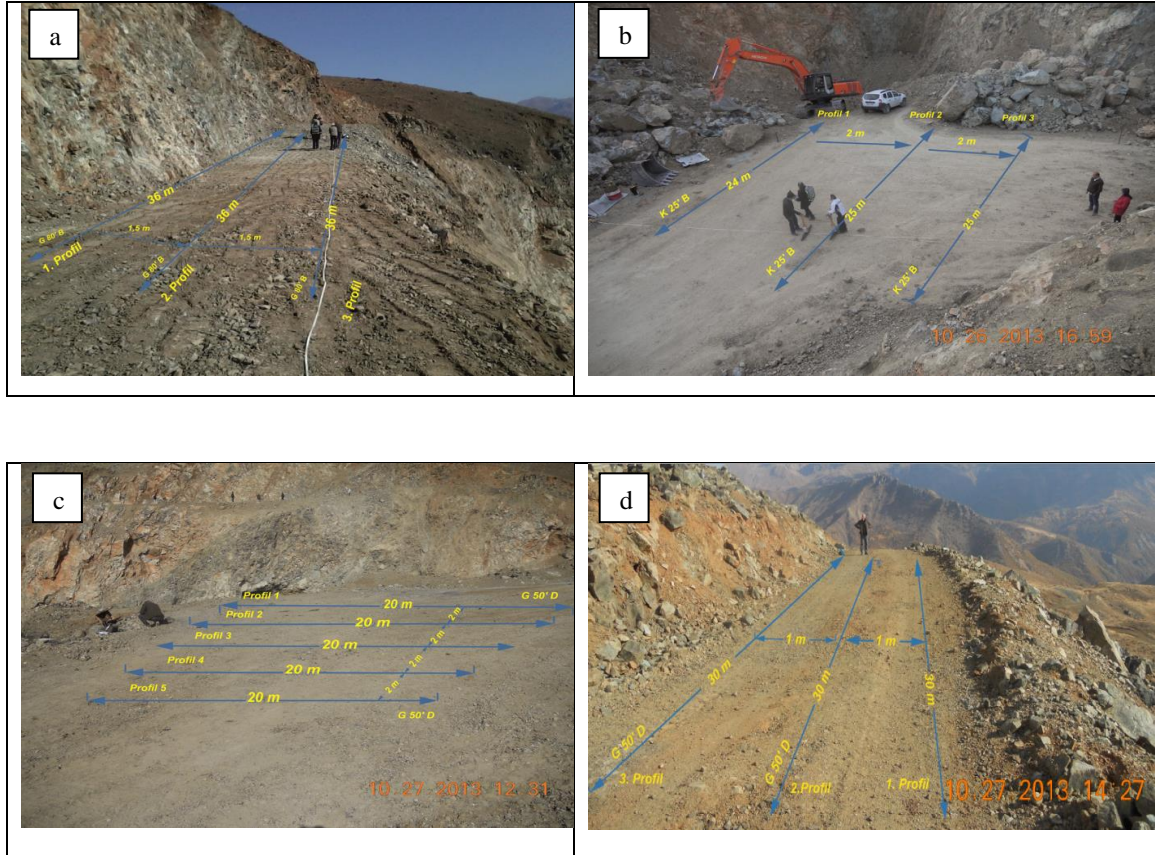
Eskigedik-Kızılçayır işletmesindeki şev alanları (ocak ve galeri üstü) ile birinci kazı alanının alt ve üst kotlarındaki düzlüklerde ve ikinci kazı alanı düzlüğünde GPR ölçümleri hem verici-alıcı antenlerin birbirine ve ölçü hattına paralel olarak taşındığı (XX modu) hem de verici ile alıcı antenlerin birbirine paralel, ölçü hattına ise dik olarak taşındığı (YY modu) konumda profiller boyunca gerçekleştirilmiştir (Şekil 4a-d).

Ocak üstü şevde K10⁰B doğrultusunda 1 m aralıklı 25 m uzunluğundaki 4 profil ve devamında K5⁰B doğrultusunda 0,5 m aralıklı 16,5 m uzunluğundaki 3 profil boyunca alınan ölçümlerin yeraltı kesitlerinde, profiller boyunca yüzeyden yaklaşık 1 m derinliğe kadar gevşek zemin, 1-10 m arasında çok kırıklı çatlaklı peridotitik kayalar, 10-25 m arası derinliklerde serpantinleşmiş zonlar belirlenmiştir.

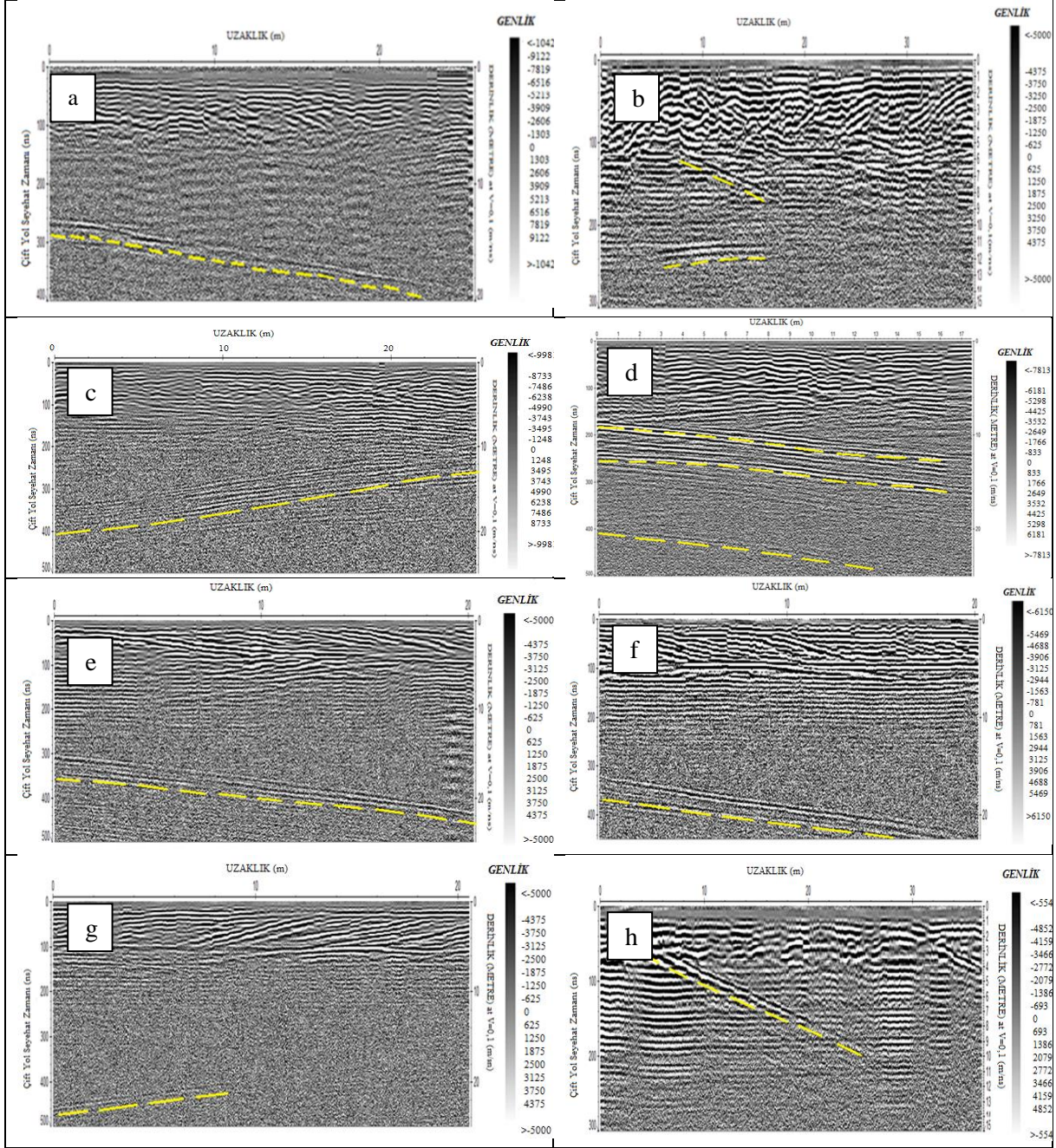
2, 3 ve 4. profil alanlarının altında, şev yüzeyinden itibaren 15-20 m derinlik arasında

serpantinleşmiş zon içerisinde yüksek değerli yansıma düzeyinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 5a). Galeri üstü şev alanında G80⁰B yönünde 1,5 m aralıklarla oluşturulan 36 m uzunluğundaki üç profil boyunca alınan ölçümlerin yeraltı kesitlerinde yüzeyden yaklaşık 2m derinliğe kadar gevşek zemin, 11 m derinliğe kadar yer yer serpantinleşmiş, bol kırıklı peridotitik kayalar ve 11-20 m derinlik arasında daha masif peridotitik kayaların bulunduğu görülmüştür. 1. profilin başlangıcından itibaren 8-20 m'ler arasında, 6-9 m ve 11 m derinliklerinde yüksek genlikli eğimli iki yansıma yüzeyi göze çarpmaktadır (Şekil 5b).

Ocak içi alt düzlükte K25⁰B doğrultusunda 2 m aralıklı oluşturulan 25 m uzunluğundaki 3 profil ve bunlara yaklaşık dik olarak oluşturulan K45⁰D doğrultulu, 2 m aralıklı 15.5 m uzunluğunda 5 profil ile 5. profilden 2.5 m uzakta K32⁰D doğrultulu yine 17.5 m uzunluğunda oluşturulan 6.



Şekil 4. Kazı alanlarında oluşturulan bazı GPR ölçü profillerinin konumları. (a) Galeri üstü şev alanı; (b) Birinci kazı alanı alt düzlük; (c) Birinci kazı alanı üst düzlük; (d) İkinci kazı alanı



Şekil 5. Eskigedik-Kızılcayır kromit işletmesine ait filtreleme işlemi uygulanmış bazı yeraltı kesitleri. (a) Birinci kazı alanı ocak üstü şev 4. profil YY modu, UTM: 4362054K/0545701D; (b) Galeri üstü şev 1. profil YY modu, UTM 4362083K/0545774D; (c) Ocak içi alt, 3. profil YY modu, UTM 4362050K/0545754D; (d) Ocak içi alt 5. profil YY modu, UTM 4362040K/0545753D; (e) Ocak içi üst 1. profil XX modu, UTM 4362036K/0545796D; (f) Ocak içi üst 3. profil XX modu, UTM 4362015K/0543792D; (g) Ocak içi üst 4. profil YY modu, UTM 4362082K/0545806D; (h) İkinci kazı alanı 2. profil XX modu, UTM 4361957K/0545907D

profil ve bu profillerin GD devamında K15⁰B yönünde 30m uzunluğundaki profil boyunca yapılan ölçümlerin radargramlarında, yüzeyden itibaren 0-2 m derinlik arasında düşük genlikli örtü tabakası bulunmaktadır.1. profilde, profilin

başlangıç noktasından itibaren 12 m uzakta, 20 m derinliğinde eski işletme galeri boşluğu ve 12-18 m arasındaki derinliklerde yüksek yansımaya yüzeyi elde edilmiştir. Bu yüzeyin 2. profilde 11-20 m derinliğinde, 3. Profilde 12-20 m derinlikleri arasında da devam ettiği görülmüştür (Şekil 5c).

DOI: 10.29132/ijpas.387943

Bu alandaki en derin (25 m) görüntü profil 5'den elde edilmiştir. Söz konusu bu profilde yine 11-20m arasında gözlenen yüksek yansımali yüzeyin altında 20-25 m arasındaki derinlikte ikinci bir yansıtıcı alanın varlığı gözlenmiştir (Şekil 5d). Ocak içi alt düzlükteki paralel ve dik profillerin tümünde yüksek yansıtıcı düzeylerin derinlikleri birbiri ile örtüşmekte ve yaklaşık aynı derinlikte (11-20 m arası) belirgin bir anomalinin varlığını göstermektedir.

Ocak içi üst düzlükte, G50°D doğrultusunda 2m aralıklarla oluşturulan 20m uzunluğundaki 5 paralel profil ve bunlara yaklaşık dik olarak oluşturulan K30°D doğrultusunda 2 ve 4 m (3 ve 4. profil arası) aralıklarla oluşturulan 20m uzunluğundaki 4 profil boyunca yapılan ölçümlerin yeraltı kesitlerinde, yüzeyden itibaren 0-1 m derinlik arasında sıkıştırılmış örtü tabakası, 1-6 m derinliklerde çatlaklı, kırıklı yan kayaçlar ve yan kayaçların içerisinde 18-22 m arasındaki derinliklerde yüksek genlikli eğimli bir yansıma yüzeyi ayırt edilmiştir (Şekil 5 e, f, g).

İşletmenin doğu tarafında, daha önce işletilen ve sonrasında yol güzergahı olarak düzenlenen ikinci kazı alanında, yol boyunca G50°D doğrultusunda 1m aralıklı, 30 m uzunluğunda paralel 3 profil boyunca yapılan ölçümlerde, elektromanyetik dalgalar 15 m derinliğin altına inememiştir. Bu alandaki yeraltı kesitlerinde 6 m derinliğe kadar bloklu ve ıslak (saha gözlemi) zemin ve derine doğru devamında ise daha önce küçük galerilerle kromit alınmış boşluklu yan kayaçlar gözlenmiştir. Ölçümlerden sonra, bu alanının alt kotlarında arazide su çıkışlarının gözlenmesi, 2. profilin başlangıcından yatayda 5-25 m, derine doğru 4-10 m arasında gözlenen eğimli yansıtıcı yüzeyin (Şekil 5h) varlığı gözlenmişse de ortam koşulunun GPR ölçümü için uygun olmaması nedeniyle, cevherli alan olarak değerlendirilmemiştir.

SONUÇLAR

Eskigedik-Kızılcayır kromit yatağı üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayaçlar içerisinde yer almaktadır. Bu alandaki hakim ofiyolitik kayaçlar aşırı alterasyonlu hazburjit ve dünitlerdir. Kromit oluşumları serpantinleşmiş dünitik zonların içerisinde bulunmaktadır. Kromit cevherleri daha çok birbirinden bağımsız merccek ve küçük, şekilsiz yığınlar halindedir. Kromit mineralleri oldukça kırıklı, daha çok masif ve saçınımlı, daha az ise tabakalı-saçınımlı ve nadiren nodüler

yapıdadır. Tane boyu 2-30 mm arasında çok değişkendir.

İşletme sahası birinci ve ikinci kazı alanlarında cevherin ortalama Cr₂O₃ değerleri % 16.193-16.664 arasındadır. Kromitlerin içindeki Co, Au ve V elementleri, Cr₂O₃ ile birlikte hareket ederek oksitli fazların yapısına girmiştir. Cevher ve yan kayacının jeokimyası Türkiye'deki podiform kromitler ile benzer özellikler göstermektedir. Hem kromitler hem de yan kayacı okyanus içi bir dalma-batma ortamında, yay ardı havzada oluşmuş ve oldukça tüketilmiş bir manto kaynağından türemiştir.

İşletme sahasında herhangi bir delgi yada sondaj yapmaksızın, koordinat ve yönleri belirlenen profiller boyunca yer radarı (GPR) ile elde edilen işlenmiş yeraltı kesitlerinden ocak içi alt düzlük ve ocak içi üst düzlük alanlarında kromit cevherleşmesine işaret edecek yüksek yansımali (anomali oluşturan) birçok yüzey belirlenmiştir.

Ocak içi alt düzlük alanında yüzeyin yaklaşık 11-12 m altında, ocak içi üst düzlükte ise yüzeyin yaklaşık 18 m altında yüksek yansımali düzeyler paralel ve dik profillerin çoğunda görülmüştür. Öncelikle ocak içi alt düzlük alanında koordinatı ve doğrultusu bu çalışmada verilmiş olan 2. profil boyunca, yüzeyden itibaren 10-20 m arasındaki derinliklerde cevherli zona ulaşılması durumunda, diğer yeraltı kesitlerinde gözlenen yüksek yansımali yüzeylerin (anomali alanlarının) gözlendiği profiller boyunca arama çalışmalarının sürdürülmesi önerilmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Munzur Üniversitesi BAP birimi tarafından MFTUB015-02 nolu proje ile desteklenmiştir. Projeye maddi destek sağlayan Munzur Üniversitesine, arazi çalışmalarındaki teknik desteklerinden dolayı Munzur Üniversitesi'nden Ali Önal ve Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden Zeynep Öğretmen ile işletme sahibi Tamer Güçlü'ye çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akdoğan, N.**, 2003. Arz madencilik Osmaniye krom cevheri ruhsat alanı. Mikrogravimetrik Yöntem Uygulaması., <http://www.belgeler.com/blg/2r6u/kromda-gravite-yontemi-ile-yapilan-jeofizik-calisma-raporu#>
- Annan, A.P., Waller, W.M., Strangway, D.W., Rossiter, J.R., Redman, J.D., Watts, R.D.,**

DOI: 10.29132/ijpas.387943

1975. The electromagnetic response of a low-loss, 2-layer, dielectric earth for horizontal electric dipole excitation. *Geophysics*, 40(2): 285-298.
- Bristow, C.S., Jol, H.M.**, 2003. An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments. *Geological Society, London, Special Publications*, 211:1-7.
- Çatakli, A.**, 2003. Sığ yer altının görüntülenmesinde yer radarı yöntemi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çimen, O., Öztüfekçi-Önal, A., Toksoy-Köksal, F., Aktağ, A., Önal, A.**, 2014a. Preliminary data on the geochemistry of the chromites from Tunceli (Eastern-Anatolia). *VI. Geochemistry Symposium with International Participation*, Mersin, 14-17 Mayıs.
- Çimen, O., Sayıt, K., Göncüoğlu, M.C., Öztüfekçi-Önal, A., Aktağ, A.**, 2014b. MORB- and SSZ-type mafic rocks from the eastern part of the Ankara-Erzincan-Sevan-Akera Suture Belt: Preliminary geochemical data. *Goldschmidt, California, USA*.
- Çimen, O., Toksoy Köksal, F., Öztüfekçi-Önal, A., Aktağ, A.**, 2016. Depleted to refertilized mantle peridotites hosting chromitites within the Tunceli ophiolite, Eastern Anatolia (Turkey): Insights on the back arc origin. *Ofioliti*, 41(1):1-20.
- Daniels, D.J.**, 2004. Ground penetrating radar 2nd Edition. *Sonar, Navigation and Avionics Series*, London, United Kingdom.
- Günay, K., Çolakoğlu, A.R.**, 2011. Doğu Türkiye (Van Bölgesi) krom cevherlerinin jeokimyasal özellikleri ve platin grubu element (PGE) içerikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 54(1-2):1-24.
- Jol, H.M.**, 2009. Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Elsevier, eBook ISBN: 9780080951843, 544s.
- Kınalıbalaban, B., Beyhan, G., Karavul, C.**, 2013. Sofalca bölgesi (Gaziantep) krom madeni üzerinde mikrogravite anomalilerinin normalize tam gradyent ve doğrusal olmayan ters çözümle modellenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(2):247-255.
- Kospiri, A., Kosho, P., Vukzaj, N.**, 1999. Case Histories of the Application of Geophysical Methods to Chromite Exploration in the Balkans. *Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition*, İstanbul, July 5-9.
- Kurt B.B., Kadioğlu, S., Ekincioglu, E.E.**, 2009. Yer radarı yöntemi ile gömülü boruların konum, büyüklük ve fiziksel özellikleri ile belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, Yerbilimleri*, 30(1):45-57.
- Leucci, G., Negri, S.**, 2006. Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area. *Journal of Archaeological Science*, 33: 502-512.
- Öztüfekçi Önal, A., Toksoy Köksal, F., Çimen, O., Önal A., Aktağ, A.**, 2015. Tunceli ili Krom Yataklarının Petrojenetik Özellikleri. Tunceli Üniversitesi MFTUB013-09 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi, Final Raporu, 59s, Tunceli.
- Öztürk, A., Baykal, A.**, 2012. Hatıp-Çayırbağı (Meram-Konya) Bölgesinde yüzeylenen ofiyolitik kayalarda jeofizik yöntemlerle ağır ve kıymetli metal aranması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(4):149-167.
- Sumi, F.**, 1961. The induced polarisation method in ore investigation. *Geophysical Prospecting*, 9(3):459-477.
- Ulriksen, P.F.**, 1982. Application of Impulse Radar to Civil Engineering. *Ph.D. Thesis*, Lun Univ. Of Technology, Lund, Sweden.
- URL-1**, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>
- Voutetakis, S.K.**, 1970. Reserve Remanent Magnetisation of Chromite of Mt. Vourinos (Kozani) Northern Greece. *Geological and geophysical research Vol.XV No 1 Athens*.
- William K. M., Mandal A., Sharma S. P., Gupta S., and Misra S.**, 2011. Integrated geological and geophysical studies for delineation of chromite deposits: A case study from Tangarparha, Orissa, India. *Geophysics*, 76(5):B173-B185.
- Yalçiner, C.Ç.**, 2009. Investigation of buried objects with Ground Penetrating Radar: Application to archaeoseismology and palaeoseismology in the Büyük Menderes Graben (Turkey). *PhD Thesis*, University of Strasbourg.
- Yalçiner, C.Ç., Bano, M., Kadioğlu, M., Karabacak, V., Meghraoui, M., Altunel, E.**, 2009. New temple discovery at the archaeological site of Nysa (western Turkey) using GPR method. *Journal of Archaeological Science*, 36:1680-1689.
- Yalçiner, C.Ç., Gündoğdu, E.**, 2011. Yeraltı Radarı (GPR) Yöntemiyle Krom Cevherinin Yüzde Değerinin Tespiti. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXIV(2):85-100.
- Yungul, S.**, 1956. Prospecting for chromite with gravimeter and magnetometer over rugged topography in east Turkey. *Geophysics*, 21(2):433-454.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T.**, 1997. Origin and tectonic environment of podiform chromite deposits. *Economic Geology*, 92:259-262.