

YERALTI RADARI (GPR) YÖNTEMİ İLE KROM CEVHERİNİN YÜZDE DEĞERİNİN TESPİTİ

Cahit Çağlar YALÇINER¹, Erdem GÜNDOĞDU²

ÖZET : Kromit ($FeCr_2O_4$) ultrabazik kayalar içerisinde bulunan metalik bir cevherdir. Sanayide yaygın olarak kullanılan bu cevherin yeri, rezervi klasik olarak arazi gözlemleri sonucu uygulanan sondajlar ile yüzde değeri ise araziden değişik yöntemlerle alınan örneklerin laboratuvar ortamında analiz edilmesi sonucu elde edilir. Jeofizik yöntemlerin aletlerin gelişmesi ve bunların yerbilimlerdeki çalışmalarına uygulanması ile yeraltının detaylı görüntülenmesi son zamanlarda artarak mümkün hale gelmiştir. Bu yöntemlerden biri de Yeraltı Radarı (GPR) yöntemidir. Özellikle kromit ($FeCr_2O_4$) gibi metalik minerallerin çevre kayalarla oluşturacağı kontrast sayesinde Yeraltı Radarı yöntemiyle yeraltında görüntülenmeleri mümkündür. Yüzeyde herhangi bir tahribat (kazı, patlatma, sondaj v.b.) yapılmadan uygulanan elektromanyetik yöntemlerden olan GPR uygulamaları ile güvenilir ve hızlı bir şekilde metalik cevherin (Kromit ($FeCr_2O_4$)) yeri, rezervi ve yüzde değeri tespit edilebilir.

Bu çalışmada krom cevherinin yerinin ve yüzde değerinin GPR yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. GPR yöntemi ile krom mineralinin yeri tespit edilmiş, tespit edilen bölgede yapılan kazı sonucu krom mineraline ulaşılmış ve yüzde değeri belirlemek amacıyla örnekler alınmıştır. GPR profillerinden hesaplanan iletkenlik değerleri ile laboratuvar ortamında belirlenen yüzde değerleri karşılaştırılarak, GPR sonuçlarının yüzde değeri belirlemede başarılı olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER : Yeraltı Radarı (GPR), Kromit ($FeCr_2O_4$), Yüzde değeri.

DETECTION OF GRADE OF CHROMITE WITH GROUND PENETRATING RADAR (GPR) METHOD

ABSTRACT : Chromite ($FeCr_2O_4$) is a metallic ore, which is usually, exist in ultrabasic rocks. The location, the reserve of this widely used in industry ore is classically identified by field observation and drillings, and the grade is determining by laboratory analysis's on the samples from the field works.

Nowadays, to have detail under ground maps are become available with application of the improving geophysical methods in Earth Science. Ground Penetrating Radar (GPR) application in Earth Science is one of the new method. Especially metallic ores like Chromite ($FeCr_2O_4$) that causes clear contrast differences between the medium rocks are suitable to identify at under ground. The GPR is a nondestructive method to determine the location, reserve and the grade of the metallic ore (Chromite ($FeCr_2O_4$)). In this study the main aim is to identify the location and the grade of the ore by using GPR method. With GPR method the ore was located, then after the excavation of the area the Chromite ($FeCr_2O_4$) ore unearthed for taking sample to analysis of grade. Compare of the conductivity in GPR profile with the analysis's results showed us, using GPR method for grade determining is successful.

KEYWORDS : Ground Penetrating Radar (GPR), Chromite ($FeCr_2O_4$) and Grade.

^{1,2} Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksekokulu Çan/ÇANAKKALE

I. GİRİŞ

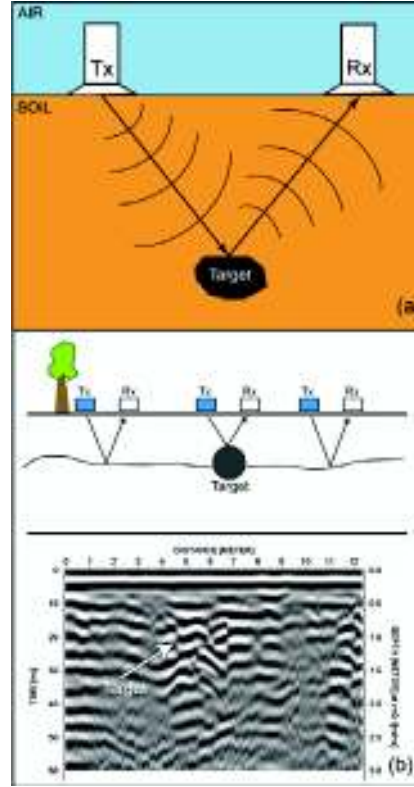
Yer kabuğunu oluşturan element bileşenlerinden biri olan krom; metalurji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral ise kromittir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, küp sisteminde kristallenir. Teorik formülü FeCr_2O_4 olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$ olarak verilmektedir [1].

Kromit minerali ve krom yatakları, kökensel olarak ilişkili oldukları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Ultrabazik kayanın (örneğin, dunit, serpantinit vb.) oluşturduğu hamura (gang) gömülü kromit kristalleri krom cevherini oluşturmaktadır. Ultrabazik hamur malzemesi içinde kromit kristallerinin ve/veya tanelerinin bulunuş yoğunluğu, sergiledikleri doku ve yapı özellikleri krom cevherinin masiv, saçılmış (dissemine), nodüllü, orbiküler, bantlı, masiv bantlı ve dissemine bantlı gibi nitelendirilmelerini sağlar [1]. Kromit mineralini oluşturan elementlerin (Cr, Mg, Fe, Al) ve gang minerallerinin miktarı, krom cevherinin sanayideki kullanım alanlarını belirleyen en önemli faktörlerdir. Kimyasal analizlerde belirleyici olan SiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 % miktarları ve Cr/Fe oranıdır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek Cr_2O_3 içeriği % 68'dir. Cevher yüzdesi olarak adlandırılan bu değer, araziden değişik yöntemlerle alınan (direk mostradan, sondaj, yarma açılarak vb. alınan örnek) örneklerin laboratuvar ortamında analiz edilmesi sonucu elde edilen ortalama değerdir. Bu yöntem ile cevher yüzdesinin tespit edilmesi uzun zaman almakla beraber masraf gerektiren (arazi çalışmaları, laboratuvar masrafları vb.) bir iştir. Bu çalışmada krom cevherinin yüzdeleri bir elektromanyetik yöntem olan Yeraltı Radarı (GPR) ile ilk kez belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Gaziantep İli – İslahiye İlçesinde (Şekil 1a) krom madeninin elektromanyetik özellikleri belirlenerek araziden alınan kromit örneklerinin laboratuvar analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve aralarındaki ampirik bağıntı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntem ile krom cevherinin yüzdeleri tespit edilebileceği gibi, cevherin yayılımı ve derinliği konusunda da sağlıklı bilgiler elde edilebilecektir. Böylelikle herhangi bir kazı, sondaj ve laboratuvar çalışmasına gerek kalmadan, kromit cevherinin yüzde değeri arazide GPR ile kısa sürede belirlenebilecek ve işletmeye uygun olup olmayacağına karar verilebilecektir. Bu da hem zaman hem de maddi olarak yadsınamayacak tasarruf sağlayacaktır.

III. GPR (YERALTI RADARI) YÖNTEMİ, ARAZİ ÇALIŞMALARI, VERİLERİN İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

III.1. GPR Yöntemi

GPR basitçe, radyo dalgası tarzında enerji taşıyan elektromanyetik dalgaları yeryüzüne gönderen ve yeryüzündeki değişik elektromanyetik (dielektrik sabiti) özelliklere sahip çeşitli katmanlardan geçerek ve yansıtılarak geri gelen dalgaları toplayan bir yöntemdir [4] (Şekil 2a). Böylece belirli bir hat boyunca sabit aralıklarla toplanan elektromanyetik izlerden oluşan yeryüzü kesitleri elde edilir [5] (Şekil 2b). Yeryüzü bilgilerini içeren bu kesitler ham verilerdir ve çalışma alanı koşullarına bağlı olarak gürültüler (antenin yerleştirilmesi, çevresel etkiler, antenin yüzeye teması vb.) içermektedir [6]. Kesitlerdeki bu gürültüleri değişik filtreleme aşamaları ile en aza indirmek mümkündür [7].



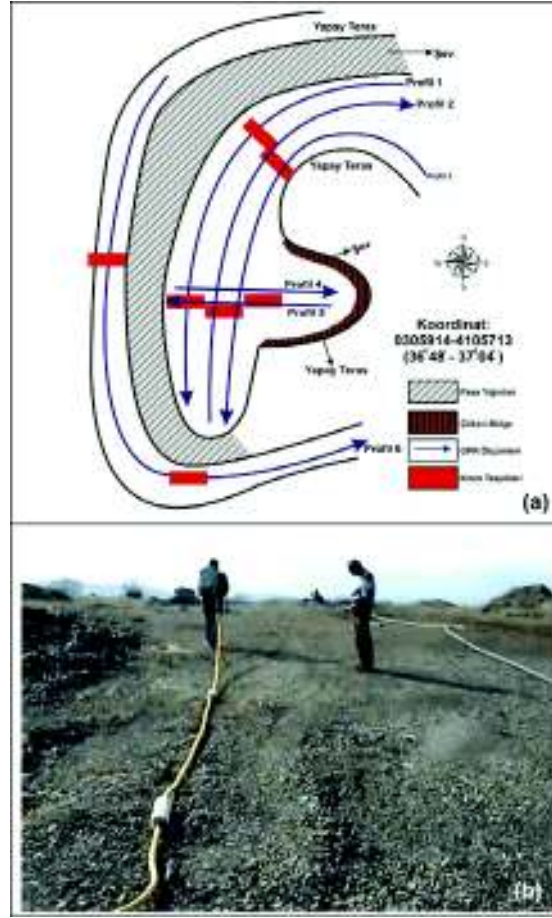
Şekil 2. GPR sistemi. (a) GPR sistemindeki antenlerin şematik gösterimi. (b) Sabit anten aralığı ile uygulanan GPR yönteminin ve profilinin şematik gösterimi.

GPR yönteminde dikkate alınan fiziksel parametreler, dielektrik sabiti, manyetik duyarlılık ve elektriksel iletkenliktir. Dielektrik sabiti temel olarak seyahat eden elektromanyetik dalgaların hızlarını ve su

içeriğine bağlı olarak yoğunluklarını kontrol eder. Dielektrik sabiti genel olarak bir maddenin elektromanyetik bir yük üzerine uygulandığı zaman depolayabildiği yükü göstermektedir ve $\epsilon_r = (c / v)^2$ formülü ile hesaplanır (ϵ_r dielektrik sabiti, c ışık hızı [30 cm/ns] ve v elektromanyetik enerjinin maddeden geçiş hızı). Benzer olarak manyetik duyarlılık da elektromanyetik hızı kontrol eder ve ortamda bulunabilecek metalik (demir) elementlerden etkilenir [8]. Elektriksel iletkenlik ise esas olarak derinliği belirleyen elektriksel unsurdur ve su içeriği ile artan elektriksel iletkenliğin maddelerin elektromanyetik olarak yüklenmesi ile ilgilidir.

III.2. Arazi Ölçümleri

Ölçüm yapılan alanın şematik görünümü Şekil 3a'da verilmiştir. Ölçümler, Hz. Ukkşe Türbesininin bulunduğu tepenin batı yamacında yapay olarak oluşturulan teraslar üzerinde yapılmıştır (Şekil 3a). Çalışma alanı önce 50 MHz RTA (Rough Terrain Antenna) anten ile taranmıştır (Şekil 3b). Anomali görülen alanlar 50 MHz RTA antenin aletsel özellik olarak bilgi toplayamadığı kör derinlik zonunda (0 – 3 metre) tespit edilen anomaliyi etkileyebilecek gürültü kaynağı olup olmadığını belirlemek amacı ile 250 MHz anten ile de taranmıştır. Ancak bu antenin nüfuz edebildiği 6m'ye kadar olan derinliklerde yeni anomaliler elde edilmemiştir. Ölçüm esnasında kullanılan antenlere ait parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Şekil 3a'da görüldüğü gibi, 1, 2, 3 ve 6 numaralı profiller yapay teraslar boyunca, 4 ve 5 numaralı profiller teraslara dik alınmıştır.



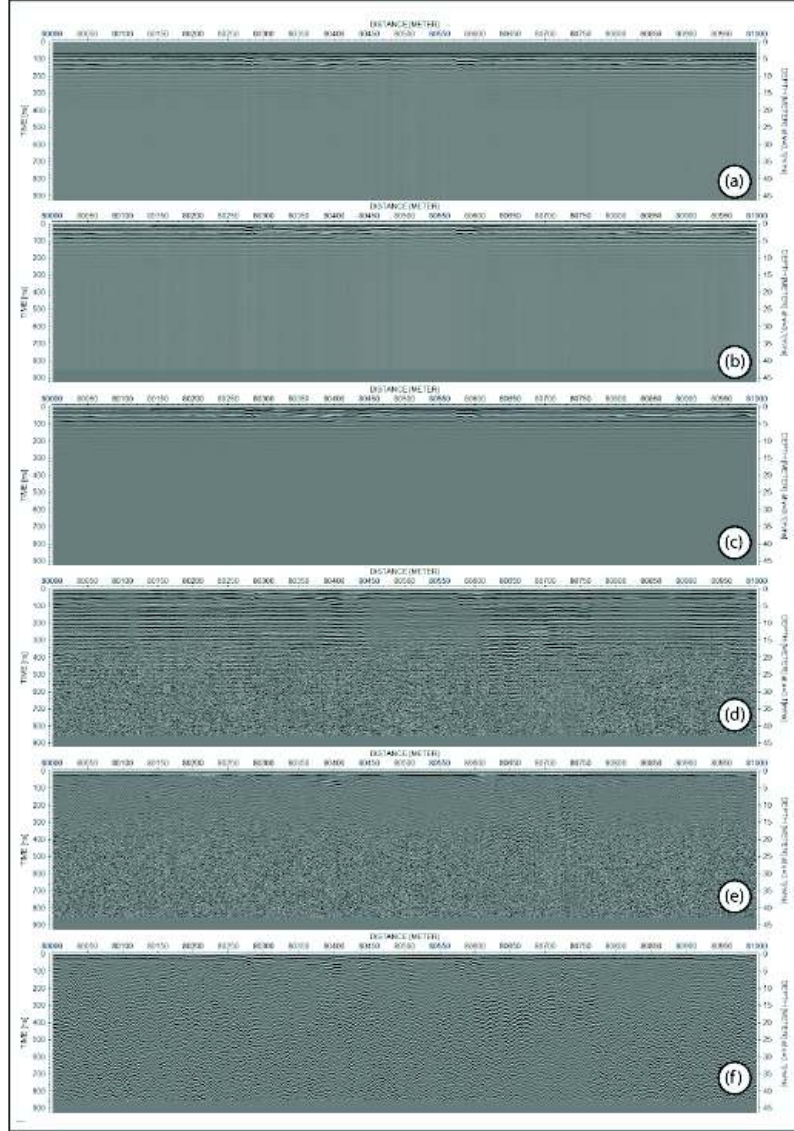
Şekil 3. (a) Gaziantep-İslahiye bölgesinde uygulanan GPR çalışma alanının şematik gösterimi. (b) Ölçümlerde kullanılan 50 MHz RTA anteni.

Çizelge 1. GPR çalışmalarında kullanılan ölçüm parametreleri.

Anten Frekansı	250 MHz	50 MHz (RTA)
İz aralığı	0.1 m	0.5 m
Örnekleme	512	512
Örnekleme frekansı	2607 MHz	753 MHz
Zaman penceresi	196 ns	911 ns

III.3. Verilerin İşlenmesi

Saha çalışmalarında toplanan GPR verilerinin anlaşılır ve kullanılabilir hale getirilmesi için uygun filtreleme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ReflexW [9] programı kullanılmış ve uygulanan filtreleme aşamaları Şekil 4’de verilmiştir.

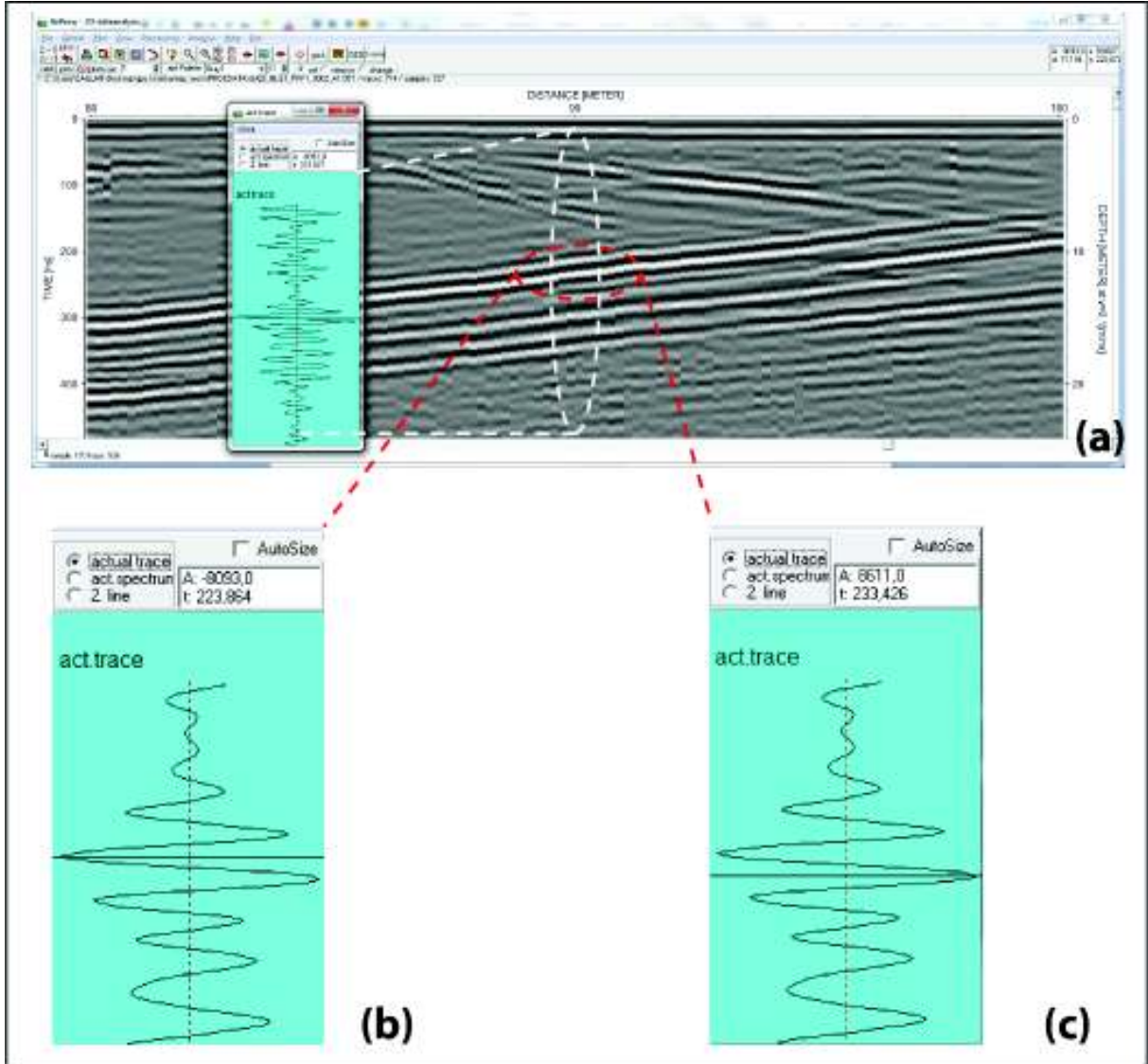


Şekil 4. Örnek bir GPR profili ve veri işlem adımları. (a) Ham veri. (b) İlk zaman filtresi. (c) Akım düzeltmesi (dewow). (d) Enerji geciktirme. (e) Ortalama değer temizleme. (f) Band Geçişli filtre.

Ölçüm sonucu toplanan verilere (Şekil 4a) önce ilk zaman filtresi uygulanmıştır. İlk zaman filtresi her bir iz için ayrı ayrı uygulanarak hava boşlukları en aza indirgenmiş ve veri diğer filtrelemeler için hazır hale getirilmiştir (Şekil 4b). Verilerde güç kaynağından kaynaklanan etkileri temizlemek amacıyla Doğru Akım (DC) düzeltmesi uygulanmıştır (Şekil 4c). Enerji geciktirme filtresi uygulayarak enerjideki gecikmeler ortaya çıkarılmış ve bütün izlerin genlikleri belirlenen sabit bir katsayı ile çarpılarak izler görünür hale getirilmiştir (Şekil 4d). Ortamda bulunabilecek sanal yatay izleri temizlemek için ortalama değer temizleme işlemi uygulanmıştır (Şekil 4e). Ölçüm sırasında elektromanyetik yayın yapan diğer cihazların kullanılan frekans aralığının dışında üretebileceği sinyaller bant geçişli filtre ile temizlenmiştir (Şekil 4f).

III.4.Verilerin Değerlendirilmesi

Filtreleme işlemleri sonucunda elde edilen GPR profillerinde görülen anomalileri ayrıntılı inceleyerek kontrast farklılıkları belirlenmiştir (Şekil 5a). Bu kontrast farklılıklarının genlik cinsinden '+ , - ' değerleri (Şekil 5b ve 5c) kullanılarak anomaliye neden olan cismin dielektrik katsayısı (ϵ_r) hesaplanmıştır (Şekil 5). Cisimlerin dielektrik sabitleri iletkenlik ile doğru orantılı oldukları için ölçümler sonucu elde edilen ϵ_r değerleri cismin iletkenliği hakkında bilgi vermektedir [10]. Bu çalışma krom sahasında yapıldığı için anomali gösteren tüm cisimler krom olarak yorumlanmıştır. Krom cevherinin iletkenliği krom içeriği ile doğru orantılı olduğundan, yüksek ϵ_r değeri yüksek krom içeriği, düşük ϵ_r değeri düşük krom içeriği olarak yorumlanmıştır.

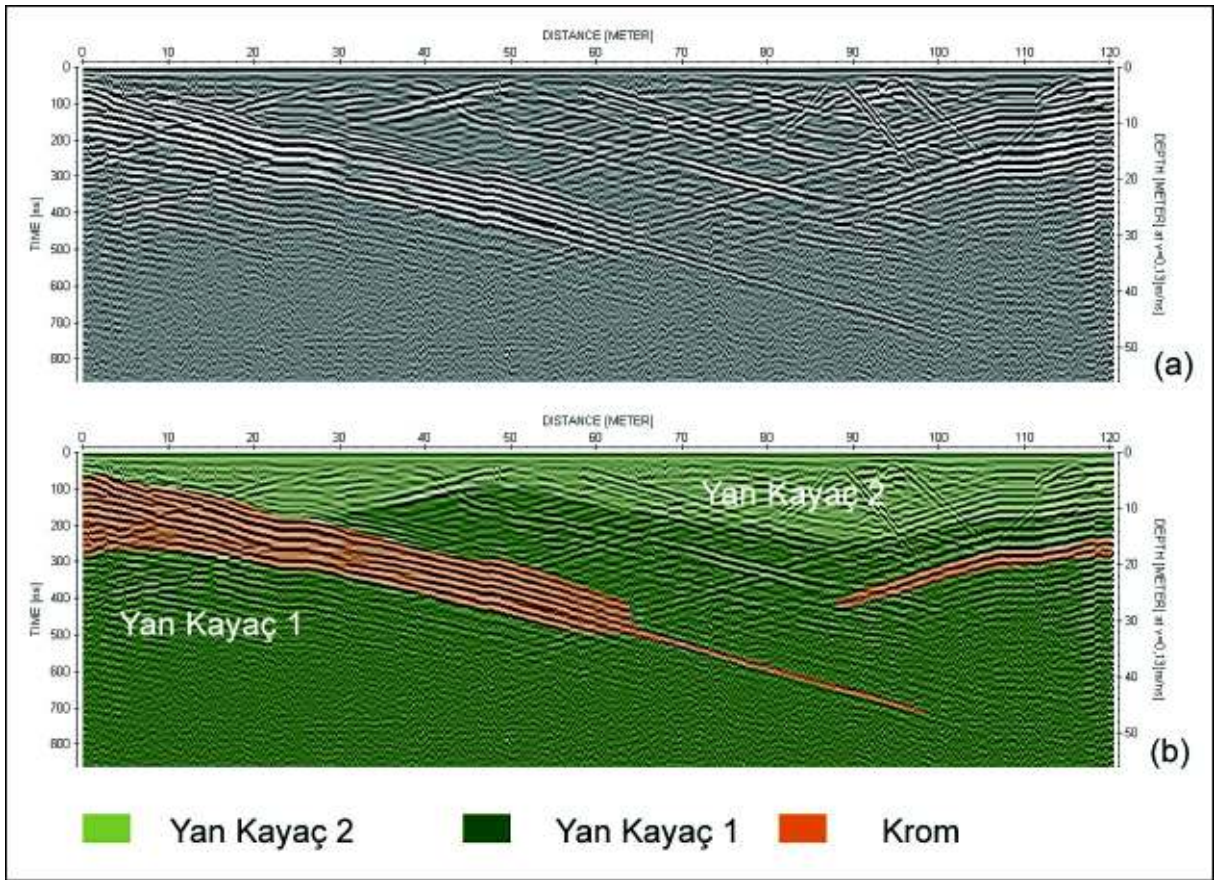


Şekil 5. Genlik spektrumuna göre değerlendirilen GPR sinyalinin gösterimi (profil üzerinde 90. metrede bulunan sinyal). a) Toplam profil üzerinde ele alınan bölgenin ve tam boy sinyal genliğinin gösterimi (beyaz kesikli çizgi ile belirlenen alan). b) Eksi genlik olarak ölçülen (siyah kontrast) değer gösterimi (kırmızı kesikli çizgi ile belirlenen alan). c) Artı genlik olarak ölçülen (beyaz kontrast) değer gösterimi (kırmızı kesikli çizgi ile belirlenen alan).

IV. SONUÇLAR

IV.1. Model Gösterimler

Çalışma alanında toplam 6 adet 50 MHz GPR profili alınmıştır (Şekil 3a). Ancak bu makalede “Profil 2” numaralı profil verilmiştir. Çünkü değerlendirme sonrası kazı işlemi yapılarak arazi verisi GPR profili ile karşılaştırılmış ve kimyasal analizler için örnekler alınmıştır. Filtreleme işlemi uygulanmış GPR profili (Profil 2) Şekil 6a’da yorumlanmış GPR profili ise Şekil 6b’de verilmiştir.

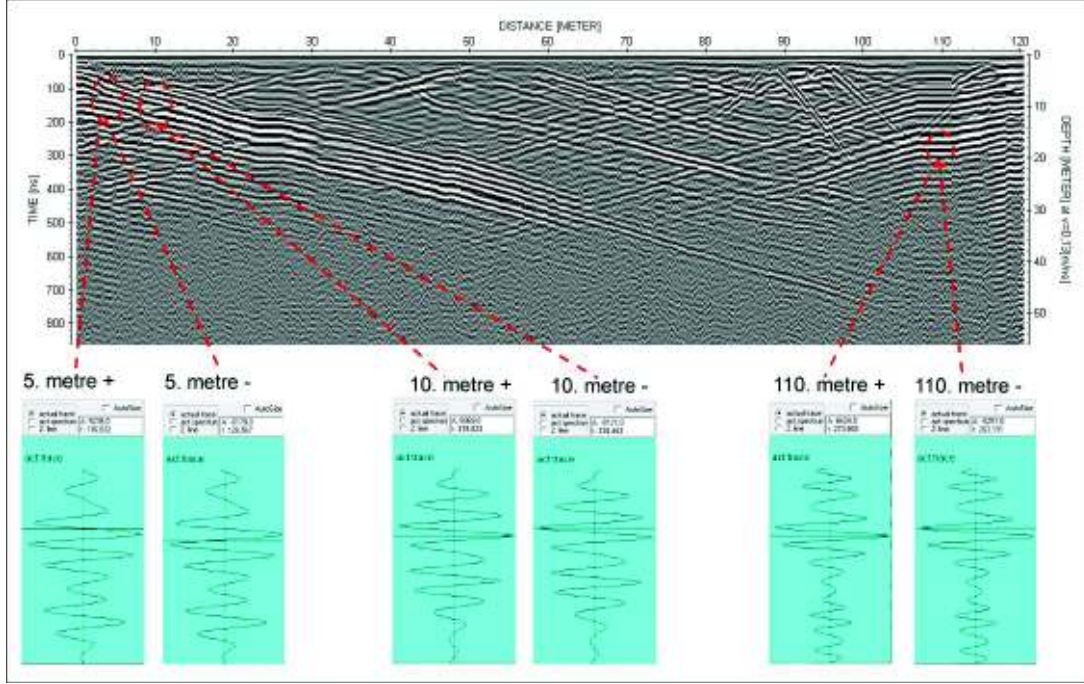


Şekil 6. Gaziantep’de uygulanan GPR profilinin sonuçlarının model gösterimi.

a) İşlenmiş data.

b) Yorumlanmış data.

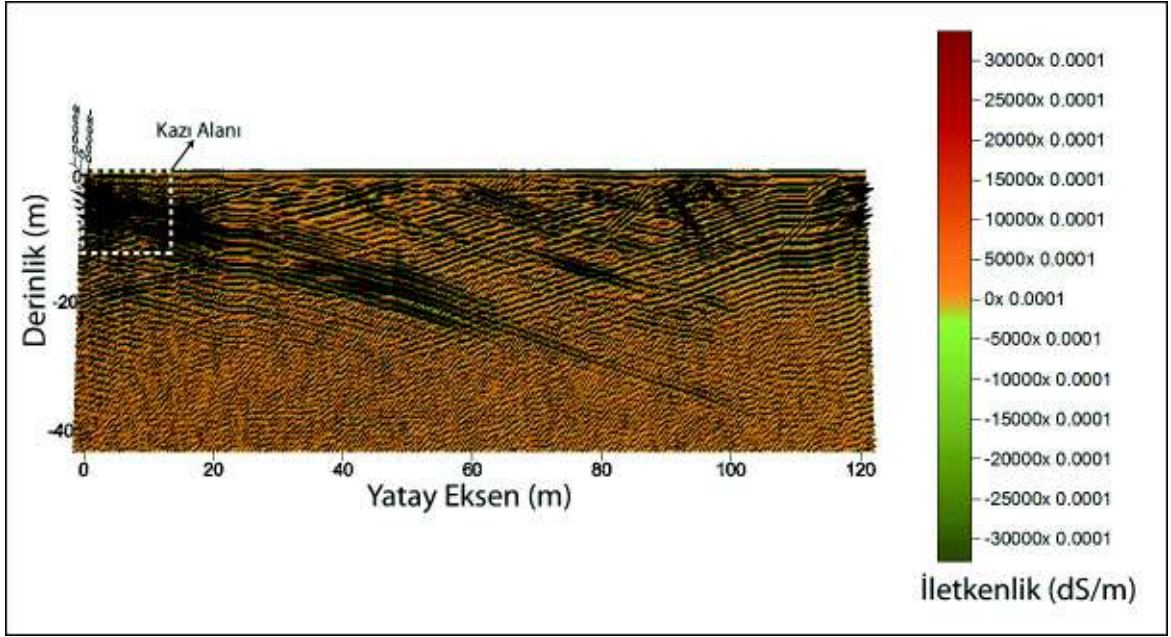
Bu profilde görülen krom cevherinin yüzde değerini belirlemek amacı ile anomali genliğinin maksimum olduğu 3 farklı yerde (5, 10 ve 110 metre) dielektrik katsayısı “ ϵ_r ” değerleri (Şekil 7) ve buna bağlı olarak da iletkenlik değerleri (Şekil 8) hesaplanmıştır (Çizelge 2).



Şekil 7. Gaziantep’de uygulanan GPR profilinin sonuçlarının amplitüt genliklerinin gösterimi.

Çizelge 2. Şekil 7 ve 8’de belirlenen değerlerin sayısal gösterimleri.

Yatay Eksen:	5 m	10 m	110 m
Derinlik:	9 m	20m	16 m
Genlik:	(5236)/(-6170)	(8369)/(-8121)	(6624)/(6251)
r	~43	~62	~48
İletkenlik	~2 ds/m	~3ds/m	~2,5ds/m

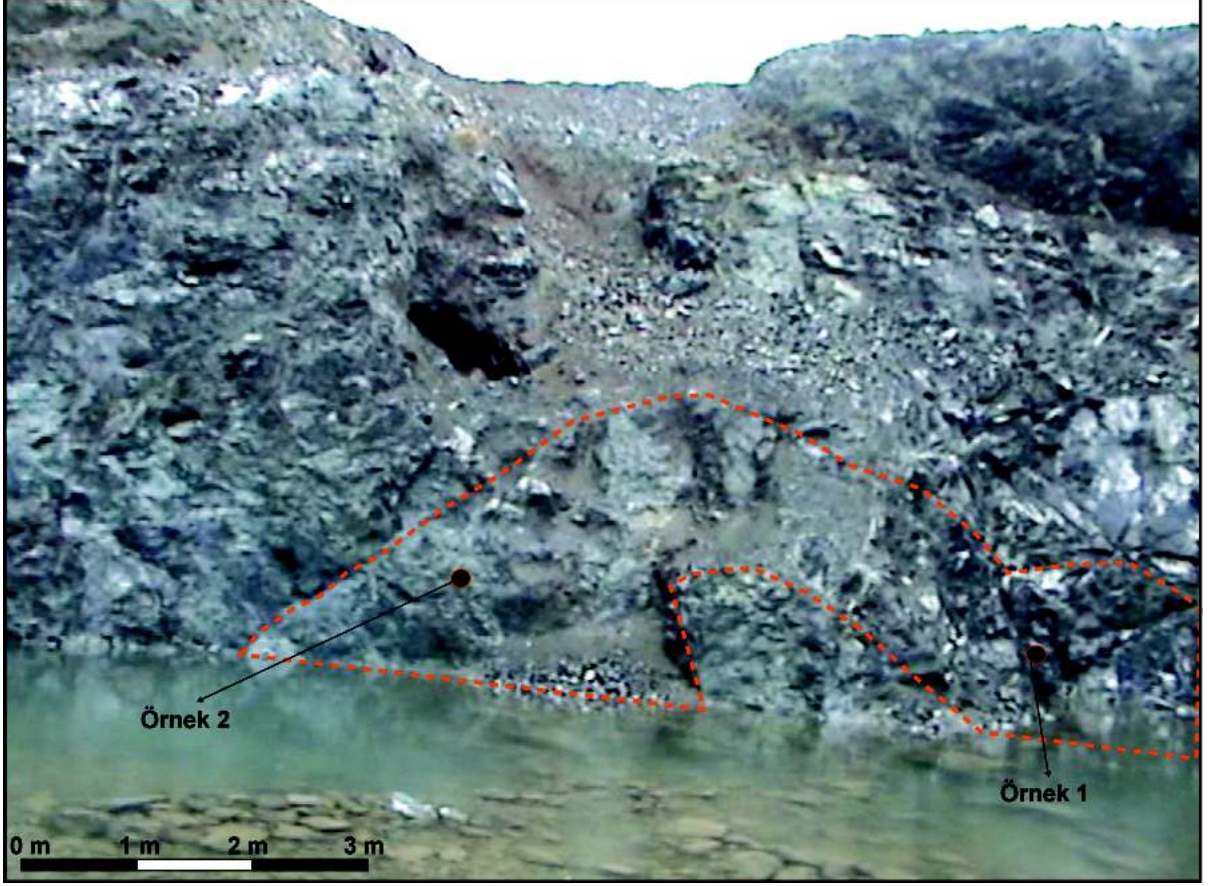


Şekil 8. Gaziantep’de uygulanan GPR profilinin sonuçlarının elektriksel iletkenlik gösterimi. Beyaz kesikli çizgi değerlendirme sonrası yapılan kazı alanını göstermektedir.

Şekil 6b’de görüldüğü gibi GPR yöntemi ile tespit edilen krom mineralinin yatayda ve düşeydeki konumu belirlenebilmektedir. Bunun yanı sıra arazide uygulanacak paralel profiller üç boyutlu olarak saha taramasını sağlar ise yeri ve derinliği tespit edilen cevherinin üç boyutlu hacmine ve bu sayede de rezerv miktarına ulaşmak mümkün olacaktır. Böylelikle GPR yöntemi ile yeraltında bulunan krom mineralinin sadece yüzde değeri değil, boyutlarının tespiti ile rezervini, yeri ve derinliğinin tespiti ile de işletmede uygulanacak yöntemlerde belirlenebilmektedir.

IV.2.GPR Sonuçlarının Kimyasal Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması

GPR profillerinde krom olarak yorumlanan anomalinin yüzeye en yakın olduğu yer (0 – 10 m) kazılmıştır (Şekil 9). GPR profilinde öngörülen derinlikte krom damarına rastlanmıştır ve örnekler alınmıştır. Örnekler “AcmeLabs (Acme Analytical Laboratories Ltd.) / Kanada” laboratuvarlarında analiz edilmiş ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.



Şekil 9. Gaziantep’de uygulanan GPR profilinin sonuçlarının ışığında uygulanan kazı çalışması ile elde edilen yarma. Kesikli çizgiler krom cevherinin sınırlarını göstermektedir. Örnek alınan noktalar şekil üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3. Kimyasal analiz sonuçları (Şekil 9 üzerinde belirtilen yerlerden alınan örneklerin sonuçlarıdır).

Analiz	Metot	Örn.1	Örn.2	Analiz	Metot	Örn.1	Örn.2
Wgt (kg)	WGHT	0,82	0,63	Co (ppm)	1F	2,2	5,1
Au (ppm)	3B	N.A.	N.A.	Mn (ppm)	1F	94	99
SiO ₂ (%)	4A	1,23	5,27	Fe (%)	1F	0,49	0,62
AL ₂ O ₃ (%)	4A	10,67	13,55	As (ppm)	1F	6,6	4,1
Fe ₂ O ₃ (%)	4A	14,60	13,62	U (ppm)	1F	<0,1	<0,1
MgO (%)	4A	13,01	15,12	Au (ppm)	1F	0,5	<0,2
CaO (%)	4A	0,19	1,25	Th (ppm)	1F	<0,1	<0,1
Na ₂ O (%)	4A	0,01	0,01	Sr (ppm)	1F	4,3	8,4
K ₂ O (%)	4A	0,01	0,01	Cd (ppm)	1F	<0,01	<0,01
TiO ₂ (%)	4A	0,09	0,09	Sb (ppm)	1F	0,24	3,55
P ₂ O ₅ (%)	4A	<0,01	<0,01	Bi (ppm)	1F	<0,02	<0,02
MnO (%)	4A	0,10	0,10	V (ppm)	1F	<2	3
Cr₂O₃ (%)	4A	59,81	47,97	Ca (%)	1F	0,12	0,70
Ba (ppm)	4A	<5	<5	P (%)	1F	<0,001	<0,001
Ni (ppm)	4A	617	592	La (ppm)	1F	<0,5	<0,5
Sr (ppm)	4A	5	10	Cr (ppm)	1F	631,9	720,0
Zr (ppm)	4A	7	7	Mg (%)	1F	0,42	2,46
Y (ppm)	4A	<3	<3	Ba (ppm)	1F	1,9	4,0
Nb (ppm)	4A	<5	5	Ti (%)	1F	0,001	0,001
Sc (ppm)	4A	4	6	B (ppm)	1F	<20	<20
LOI (%)	4A	-0,2	2,5	Al (%)	1F	0,08	0,20
Sum (%)	4A	99,64	99,60	Na (%)	1F	0,001	0,003
TOT/C (%)	2A Leco	0,10	0,40	K (%)	1F	<0,01	<0,01
TOT7S (%)	2A Leco	0,09	<0,02	W (ppm)	1F	<0,1	<0,1
Mo (ppm)	1F	0,16	0,07	Sc (ppm)	1F	0,3	1,6
Cu (ppm)	1F	3,82	3,00	Tl (ppm)	1F	<0,02	<0,02
Pb (ppm)	1F	0,63	0,20	S (%)	1F	<0,02	<0,02
Zn (ppm)	1F	9,2	5,2	Hg (ppm)	1F	13	<5
Ag (ppm)	1F	5	<2	Se (ppm)	1F	<0,1	0,2
Ni (ppm)	1F	54,2	105,6	Te (ppm)	1F	<0,02	<0,02

GPR profilinde elde edilen iletkenlik ve ρ_r değerleri, kimyasal analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında, yüksek ρ_r ve iletkenlik değeri elde edilen yerde yüksek kromit yüzdesi, bağlı olarak düşük ρ_r ve iletkenlik değeri elde edilen yerde daha düşük kromit yüzdesi olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. GPR profili ile elde edilen değerlerin laboratuvar değerleri ile karşılaştırılması.

Yatay Eksen:	5 m (Örnek 2)	10 m (Örnek 1)
ρ_r	~43	~62
İletkenlik	~2 ds/m	~3ds/m
Cr ₂ O ₃ (%)	47,97	59,81

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri, 2010/56 no'lu projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Kimyasal çalışmalara katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Sermet KOYUNCU'ya teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] DPT Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyon Krom Çalışma Grubu Raporu, ANKARA, 2001.
- [2] V. Stchepinsky, Maraş -Gaziantep bölgesi jeolojisi, MTA Dergisi 29, 1943.
- [3] O. Yoldemir. "Suvarlı-Haydarlı-Narlı Gaziantep arasında kalan alanın jeolojisi, yapısal durumu ve petrol olanakları:" TPAO Rap. No. 2257, 60s. Ankara, 1987.
- [4] A.P. Annan ve S.W. Cosway. "Simplified GPR beam model for survey design." Extended Abstracts of 62nd Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysicist, New Orleans, 25–29 October 1992. Reprinted by Sensors and Software Inc. PEMP.
- [5] D. J. Daniels. "Ground Penetrating Radar 2nd Edition." Sonar, *Navigation and Avionics Series*, London, United Kingdom, 2004.

- [6] C.Ç. Yalçiner, M. Bano, M. Kadioğlu, V. Karabacak, M. Meghraoui, ve E. Altunel, "New temple discovery at the archaeological site of Nysa (western turkey) using GPR method." *Journal of Archaeological Science*, Vol. 36, pp. 1680-1689, 2009.
- [7] G. Leucci ve S. Negri. "Use of ground penetrating radar to map subsurface archaeological features in an urban area." *Journal of Archaeological Science*, Vol. 33, pp. 502-512, 2006.
- [8] A.P. Annan, W.M. Waller, D.W. Strangway, J.R. Rossiter, J.D. Redman ve R.D. Watts. "The electromagnetic response of a low-loss, 2-layer, dielectric earth for horizontal electric dipole excitation." *Geophysics*, Vol. 40, No. 2, pp. 285-298, 1975.
- [9] K.J. Sandmeier. "Reflexw 4.3 Software Manuel Book. Sandmeier Software." Zipser Strasse 1, D-76227 Karlsruhe, Germany, 2003.
- [10] C. Ç. Yalçiner. "Investigation of buried objects with Ground Penetrating Radar: Application to archaeoseismology and palaeoseismology in the Büyük Menderes Graben (Turkey)." PhD Thesis. University of Strasbourg, 2009.