

MERMER İŞLETMECİLİĞİNDE YER RADARI (GPR) UYGULAMALARI

İbrahim ALP*. Kenan GELİŞLİ**, A.Osman YILMAZ*.
Recep KAYA*. İbrahim ÇAVUŞOĞLU*

* KTÜ, MMF, Maden Mühendisliği Bölümü, 6108Q.Trab20n-ialp@ktu.edu.tr
** KTÜ, MMF, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 6108Q.Tiabzon-gelisli@ktu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Yer Radarı (GPR) sisteminin çalışma teorisi ve mekanizması hakkında bilgi verilerek uygulama alanları incelenmiştir. Araştırma sonrasında bu sistemin mermer işletmeciliğinde hızlı ve tahribatsız bir yöntem olarak ocak planlanmasını iyileştirerek çatlaksız blokların Üretilmesini kolaylaştırabileceği görülmüştür. Bu amaçla yöntem 25 MHz frekansa sahip yer radarı Ölçüm cihazı ile bir oniks-traverten ocağında damar tespitine yönelik olarak denenmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda, sistemin farklı iletkenliğe sahip ortamların sınırlarını, dalımlarını ve derinliklerini belirlemede olumlu sonuçlar verdiği, daha yüksek frekanslı kaynak kullanılması halinde ise daha ayrıntılı (yüksek ayrımlılık) sonuçların elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yer Radarı, Mermer, Haritalama, Arama.

APPLICATIONS OF GROUND PENETRATING RADAR SYSTEM (GPR) İN MARBLE QUARRIES

ABSTRACT

In this study, an investigation is taken place at an onyx-travertine quarry with Ground Penetrating Radar (GPR) in 25 MHz frequency. The result of measurements at this quarry shows that Ground Penetrating Radar (GPR) can be used for determining bound of different stone layer successfully.

Key Words: Ground Penetrating Radar, Marble, Mapping, Exploration.

1. Giriş

Madencilikte en önemli sorunlardan biri maden yatağı ile ilgili bilgilerin başlangıçta tam olarak bilinmemesidir. Yatakla ilgili bilgilerin artırılabilmesi maliyeti yüksek yöntemler (sondaj yapma, galeri açma vb.) uygulamayı gerektirmektedir. Arama aşaması olarak nitelendirilen bu aşama

ciddi bir harcama yapılmasını gerektirmekte, arama sonucunda yeterli potansiyele sahip bir maden yatağı bulunamaması gibi önemli bir risk içermektedir. Bu durum ise işletmeye önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Mermer işletmeciliği açısından bakıldığında, işletmeye başlama aşamasında titizlikle bilinmesi zorunlu olan mermer yatağının blok verip vermediği, çatlak durumu, yatağın süreklilik arz edip etmediği gibi yapısal oluşumlar işletmenin ekonomikliğini etkilemektedir. Mermer yatağının iyi tanımlanabilmesi durumunda uygulanacak üretim yöntemi planlanması da o derece etkili olacaktır.

Yer Radarı sistemi yeraltında bulunan süreksizliklerin yerlerinin tespitinde kullanılabilen hızlı ve tahribatsız bir test yöntemidir. Son yıllarda inşaat ve jeoloji gibi bir çok alanda yaygın şekilde uygulanmaya başlayan bu yöntem madencilikte de uygulama alan bulmuştur. Anılan yöntem daha önceki uygulamalardan tamamen farklı olarak elektromanyetik dalgaları kullanarak yeraltındaki oluşumlar hakkında bilgi vermektedir. Kullanılan elektromanyetik dalganın frekansına ve incelenecek ortamın özelliğine göre nüfuz derinliği ve görüntüleme çözünürlüğü değişmektedir [1].

Madencilik ve jeoloji uygulamalarında arama jeofiziği çalışmaları için Yer Radarı kullanımı 1970'lerden bu tarafa olmuştur [2], [3], [4]. Bu çalışmaların ortak hedefi, toprak altında en iyi penetrasyon koşullarını bulmaktır. 1980'lerde Yer Radarı iyi ayrımlılık veren 500Mhz-1Ghz antenlerle doğal soğurmanın daha az olduğu sığ incelemeler için kullanılmaya başlandı, [5]. Bu periyot esnasında Yer Radarı yönteminin ilk arkeolojik uygulamalarını bulmak mümkündür [6], [7]. 1990'larda ise düşük (10, 20 ve 50Mhz) ve yüksek (2.5-3 Ghz) merkez frekanslı antenler Yer Radarı için kullanıldı. Bunu yöntemin yeni birçok uygulamada kullanımı izledi; maden arama, stratigrafi, yol kaplama denetleme, yapı, inşaat, su arama vs. Son yıllarda da Yer Radarı yönteminin basan ile kullanıldığı pek çok arkeolojik site çalışması yapılmıştır [8], [9], [10], [11], [12], [13].

Yer Radarı üzerine bir çok çalışma gerçekleştirilmiş olup olumlu sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Bu çalışmaların konularından bazıları; kaya şevlerindeki çatlakların belirlenerek haritalanması [14], kumlu topraklar içindeki tabakaların belirlenmesi [15], yeraltı kömür madenlerinde kömür damarlarının konumlarının belirlenmesi [16], kireçtaşı aranmasında kullanımı [17], kireçtaşı formasyonları içindeki jeolojik ve yapısal değişimlerin üç boyutlu izlenmesi [18], jips ocağında kırıklı bölgelerin görüntülenmesi [19], masif kaya kalitesinin yarı kantitatif olarak belirlenmesi [20] olarak sıralanabilir. Mermer ocağında çatlakların üç boyutlu olarak

haritalanması amacıyla yapılan çalışmalarda da yüksek frekanslı (300-900 MHz) yer radarı ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir [21], [22].

2. Yer Radarı Uygulamaları

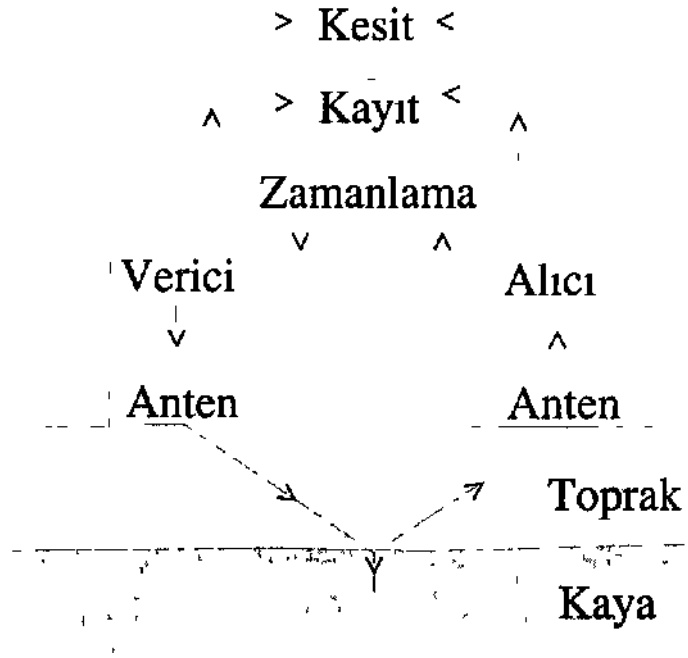
Yer Radarı yer altının yüksek çözünürlükle görüntülenmesini sağlayan ve son zamanlarda uygulama alanı gittikçe artan bir jeofizik yöntemdir. Yöntem özellikle sığ derinliklerde yüksek çözünürlük sağladığından yer altı jeolojisi ve heterojenliği hakkında detaylı bilgi vermektedir. Yer Radarı yönteminde yer içerisine yüksek frekanslı (10MHz-3GHz) elektromanyetik enerji bir anten yardımıyla kısa zaman dilimleriyle gönderilir. Bu radar sinyalinin y ayılımı ortamın elektrik ve manyetik özelliklerine bağlıdır. Sinyalin bir kısmı farklı özellikli ortamları ayıran tabaka sınırlarından yansır, diğer kısmı ise alttaki ortama iletilerek yoluna devam eder. Yansıyıp geri gelen sinyal alıcı anten yardımıyla algılanıp, filtre edilir, güçlendirilerek sayısal laştın I diktan sonra işlenmeye hazır hale getirilir ve manyetik teyp üzerine kayıt edilir. Kayıt edilen sayısal sinyaller değişik veri işlem teknikleri ile işlenerek iki yol zamanlı düşey kesitler olarak yer altı yapısını gösterecek şekilde yoruma hazır hale getirilir. Fay hatları, kırık ve çatlaklar elektromanyetik sinyalin ortamdaki yayılım hızını değiştirdiğinden bu özellikler ve yerleri özellikle yüksek frekanslı Yer Radarı kesitlerinde belirlenebilmektedir. Yöntemde araştırma derinliği; uygulamada kullanılan sisteme ve frekansa, yer tabakalarının elektromanyetik enerjiyi soğurma ve ara yüzeylerinde yansıtma özelliğine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 1'de Yer Radarı ölçü sistemi blok diyagramı görülmektedir [1].

Yansıyan ve iletilen sinyallerin genliği, yansıma katsayısına bağlı olmaktadır. Eğer, ϵ_1 birinci ortamın, ϵ_2 ise ikinci ortamın dielektrik permittivitesi ni gösterirse, sınırın iletim ve yansıma katsayıları aşağıdaki şekilde ifade edilir [1].

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}}$$
$$T = \frac{2 * \sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (R+T=1)$$

Penetrasyon derinliği ve radar sinyalinin çözünürlük gücü iletilen dalganın frekansına bağlı olmaktadır. Kullanılan frekans hem penetrasyon derinliğini

hem de çözünürlüğü etkiler. Araştırma derinliği ve çözünürlük iletilen frekansın dışında araştırılan ortamdaki malzemenin dielektrik özelliklerine de bağlıdır. Genellikle ortamın düşük kayıplı ortam olması istenir. Bu tip bir ortamın matematiksel ifadesi $G/WE \ll 1$ olarak verilir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda yer radarı dalgaları derinlere ulaşabilirken, kil, şeyi gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğrulmasına neden olmaktadır.



Şekil 1. Yer Radarı ölçü sistemi blok diyagramı

Yer radarı yönteminde dalga hızı; ortamın permittivitesine (ϵ) ve magnetik permeabilitesine (μ) bağlı olarak değişmektedir:

$$v = c / \sqrt{\mu\epsilon}$$

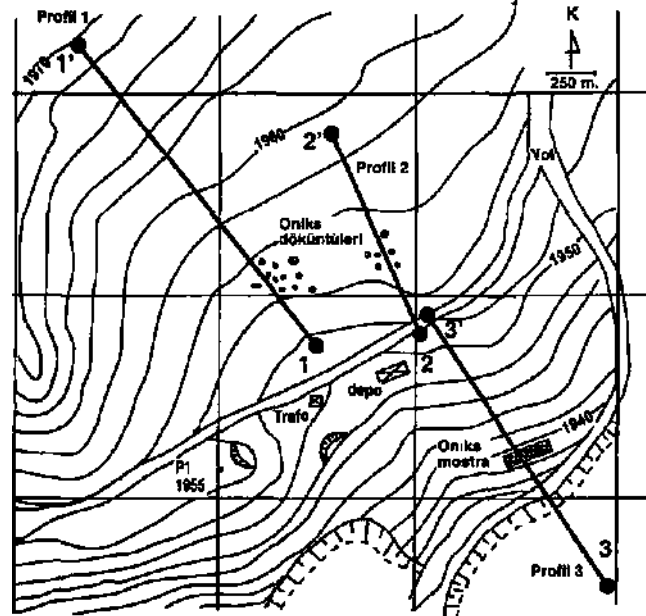
Hız bilgisinin mevcut olması durumunda derinlik bilgisi;

$$z = \frac{v \times t}{2}$$

bağıntısı ile elde edilmektedir [1].₄₀

3. Yöntem

Yer Radan test ölçümleri, Bayburt ili Madenli ilçesinde işletilmekte olan bir Oniks-Traverten ocağında gerçekleştirilmiştir. Ocakta üretim faaliyetleri devam etmekte ve elde edilen oniks blokları kesilerek yurt dışına ihraç edilmektedir. Çalışmada; yer altı yapılarının muhtemel uzanım doğrultusuna dik, farklı uzunluklu üç ayrı profilde Yer Radarı ölçüsü alınmıştır. Profil yerleri Şekil 2'deki harita üzerinde görülmektedir. Ölçülerde 25 MHz kaynak kullanılmış ve alıcı verici antenler 3'er metre aralıklı olarak hareket ettirilmişlerdir (Şekil 3). Elde edilen ham verileri yüzeye yakın ve derindeki olayları eşit görünüme getirmek için AGC, sinyalleri güçlendirme, gürültüleri bastırmak için yüksek geçişli süzgeç, yüzeyde yansıma dışındaki olayları sönmölemek için aynı bir süzgeç olmak üzere sadece temel veri işlem adımları uygulanmıştır.



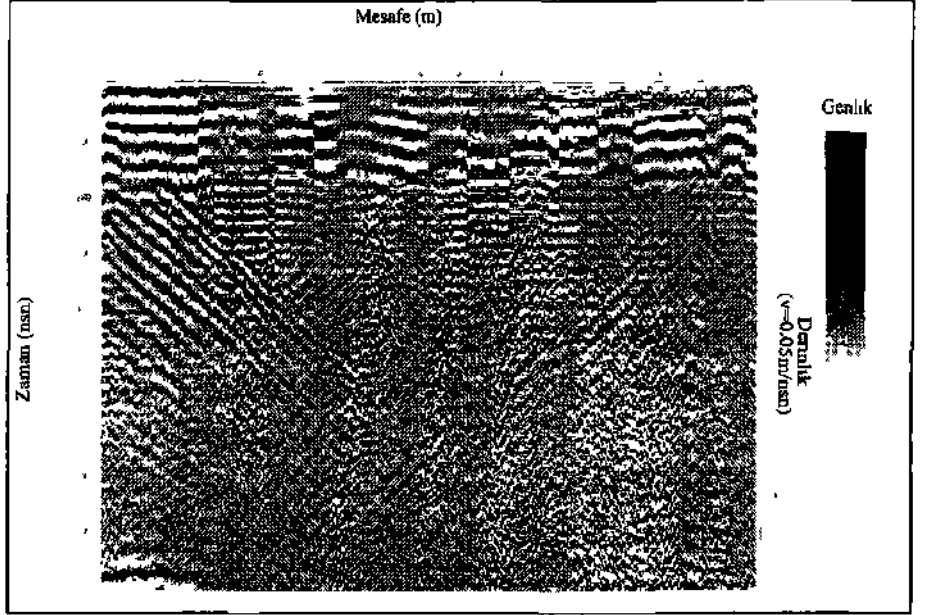
Şekil 2. Ölçüm yapılan oniks sahasının jeolojik haritası ve profil hatları



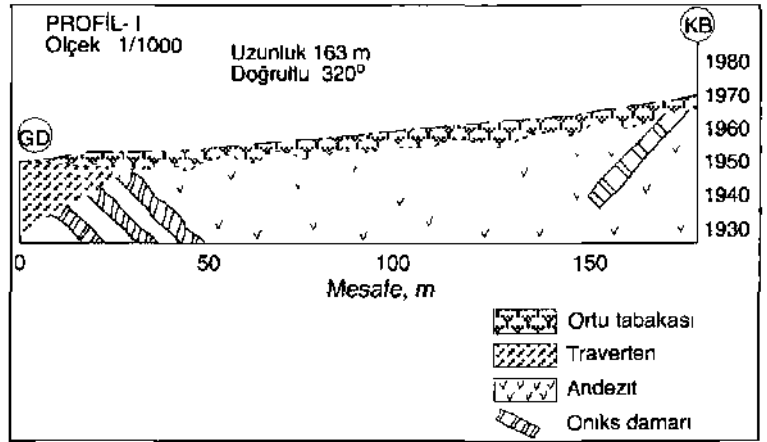
Şekil 3. Arazide Yer Radarı uygulaması

4. Bulgular Ve Tartışma

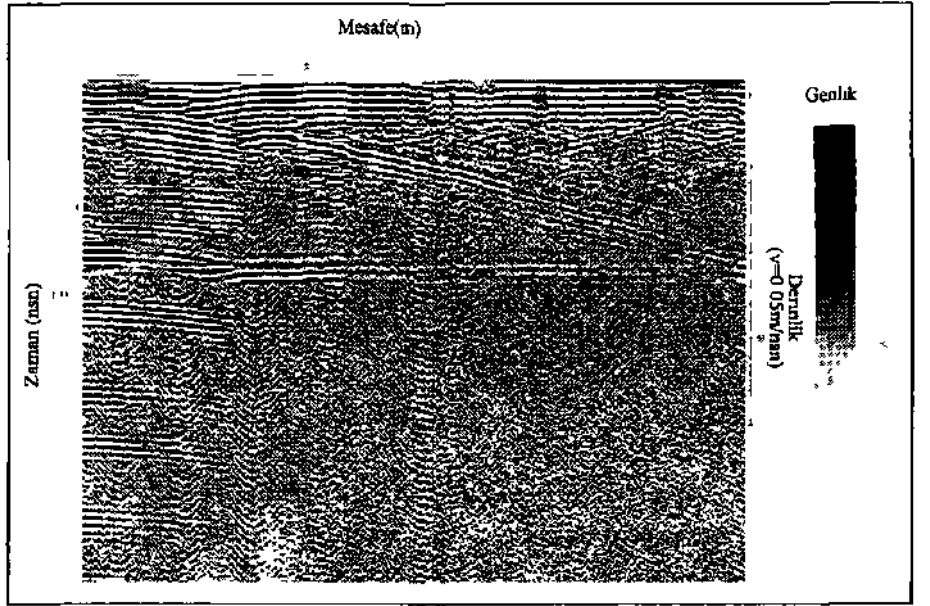
Yer Radarı ile arazi çalışması sonrasında elde edilen işlenmiş kesitler Şekil 4, 6 ve 8'de görülmektedir. Kesitler yatay eksen uzaklık, düşey eksenler; bir tarafta kaynak sinyalinin gidiş-geliş zamanı (nanosaniye), diğer taraf ise uygun hızlar kullanılarak elde edilen derinlik bilgisi ile sunulmuştur. Elde edilen kesitlerin değerlendirilmesinde dikkat edilen iki temel özellik; farklı ortamları ayıran sınırlardan gelen yansımalar ve yansımaların genlikleridir. 1. profilde üstte yaklaşık 1 metre civarında bir kalınlığa sahip görülmektedir. Bu tabaka ilk 20 metreye kadar daha ince görülüyor. Onun altında 20 metreye kadar devam eden ve kuzeybatıya eğimli belirgin bir anomali göze çarpmaktadır. Bundan başka kesitte 135 ve 155 metrelerde iki anomali gözlemlenmektedir. 2. profilde 10-40 metreler arası yüzeylenen bir anomali ve bu aralık dışında 1-2 metrelik bir örtü tabaka var, ayrıca bu profilde 47 ve 80 metreler arasında farklı genişlikte düşeye yakın süreksizliklerle yer alan anomaliler gözlenmektedir. Profilin ilk metrelerinde gözlenen bu yapı 20. metrede 5-6 metre derinlerde faylanmakta ve 20-30 metreler arası devam etmektedir. 3. profilde ise örtü tabakası gözlenmemekte, belirgin iki anomali 80 metre ve 125 metrede göze çarpmaktadır. Kesitten bu belirtilerin bir blok halinde devam etmediği anlaşılmaktadır Kesitte 60 metrede bu anomaliyi kesen bir sokulum göze çarpmaktadır (Şekil 5, 7, 9).



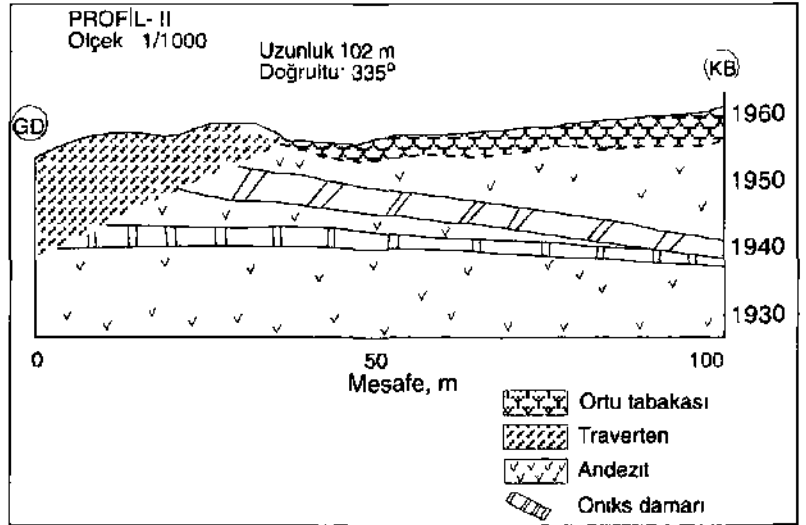
Şekil 4. Test alanında Profil 1 hattı için iki boyutlu kaba GPR çözümü



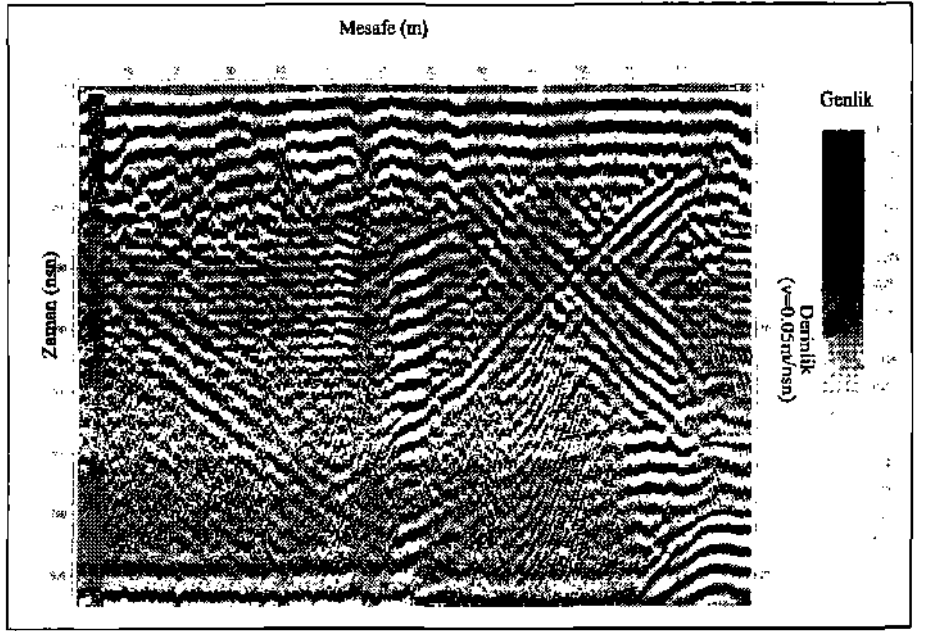
Şekil 5. Profil 1 hattı boyunca yorumlanan jeolojik kesit görünümü.



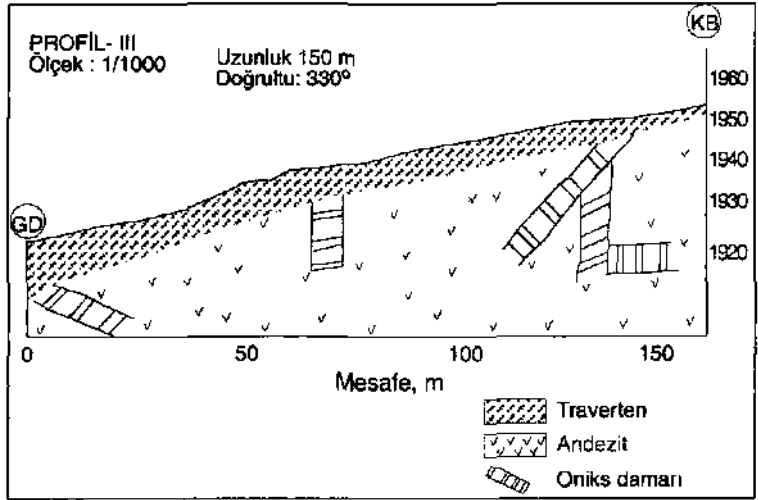
Şekil 6. Test alanında Profil 2 hattı için iki boyutlu kaba GPR çözümü.



Şekil 7. Profil 2 hattı boyunca yorumlanan jeolojik kesit görünümü.



Şekil 8. Test alanında Profil 3 hattı için iki boyutlu kaba GPR çözümü.



Şekil 9. Profil 3 hattı boyunca yorumlanan jeolojik kesit görünümü

5. Sonuç Ve Öneriler

Yer Radarı yeri oluşturan birimlerin dielektrik katsayı farklılığını kullanarak yeraltı elektromanyetik dalga yansımaları ile görüntüleyen bir yöntemdir. İnceleme derinliği kullanılan alıcı frekansı ve yer öz direncine göre değişmektedir. İz başına ölçü sayısı 128 ile 2048 arasında, yığılma 1 ile 32768 arasında, örnekleme frekansı 300-600 MHz arasındadır. Saniyede 50 iz görüntülemeye imkan verir. Anten boylan çalışılan frekansla ters orantılı olarak azalır. Frekansın büyüklüğü artarken görüntüleme derinliği azalmakta ve görüntü çözünürlüğü artmaktadır. Antenler sabit aralıkla profil boyunca hareket ettirilerek uzaklık değişimli veya antenlerden biri sabit diğeri ise farklı uzaklıklarda tutularak zaman değişimli ölçüler alınabilmektedir.

Yer radan günümüzde yeraltının görüntülü kesitinin çıkartılmasında, maden, kömür, kumî, kil, yer altı suyu, arkeolojik kalıntı, gömü, metal, boru, yer altı boşluğu, kanal ve tünel aramaları gibi benzer bir çok uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Yeraltı kesitlerini taşınabilir bilgisayar ekranı yardımı ile anında görüntüleme imkanını verebilmektedir.

Yer radan mermer ocaklarında kırık ve çatlakların belirlenmesi ve haritalanmasında başarılı sonuçlar vermektedir. Ticari olarak pazarlanabilir mermer bloklarının kırıklı ve çatlaklı olan bloklardan kolayca ayrılmasını üretim öncesinde sağlayabilmesi mermer ocak işletmeciliği açısından çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Uygulanmasının kolay ve çok hızlı olması, yüzeyden ve tahribatsız olarak uygulanabilmesi önemli avantajlarıdır. Çatlak görüntüleme yüksek frekanslar (500 MHz) kullanılarak iyi sonuçlar elde edilmektedir. Maden yataklarının ve mermer damarlarının belirlenmesi ve izlenmesinde düşük frekanslı (25-50 MHz) antenler tercih edilmektedir.

Çalışma kapsamında düşük frekanslı anten kullanılarak bir oniks-traverten ocağında yeraltındaki damar oluşumlarının görüntülenmesi araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde elde edilen ham bilgilerin yorum için yeterli olmadığı görülmüş, genlik sıkıştırma, filtreleme ve diğer işleme programları yardımı ile veriler işlenerek yorumlanmıştır. Elde edilen Yer Radarı kesitlerinden oniks ve kayaç gibi farklı litolojiye sahip yer altı yapılarının izlenebildiği görülmüştür.

6. Teşekkür

Yazarlar, arazi ölçümlerine imkan veren, CEMAL GÜVEN İnşaat Madencilik ve Mermer A.Ş. çalışanlarına ve yöneticilerine teşekkür eder.

Kaynaklar

- 1.Glover J.M., The use of sub-surface radar for shallow site investigations, PhD thesis. Kings College, University of London, (1987).
- 2.Unterberger R.R., Electromagnetic wave propagation in salt with radar, In 4th Symposium on salt. Vol. 2, 11-26, Cleveland, USA, (1974).
- 3.Annan A.P. ve Davis J.L., Impulse radar sounding of permafrost. Radio Science 11(4), 383-394,(1976).
- 4.Rubin L. A., Fowler J.C., Ground probing radar for delineation of rock features. Engineering Geology 12, 163-170,(1977).
- 5.Ulriksen C.P., Application of impulse radar to civil engineering, PhD thesis, Lund University of Technology. (1982).
- 6.Hara T. ve Sakayama, T., The Applicability of Ground Probing Radar to site Investigations, Technical Note SI OYO Corporation, Urawa, Japan, (1984).
- 7.Imai T., Skayama, T. ve Kanemori, T., Use of ground-probing radar and resistivity survey for archaeological investigations. Geophysics 52(2), 137-150, (1987).
- 8.Kong F.N., Kristiansen, J., By T.L., A radar investigation of pyramids. In fourth international conference on GPR. Rovaniemi, Finland, 345-349, (1992).
- 9.Goodman D., Ground-penetrating radar simulation in engineering and archaeology. Geophysics 59, 224-232. (1994).
- 10.Conyers LB., Jeffrey E. ve Lucius E., Velocity analysis in archeological ground-penetrating radar studies. Archaeological Prospection 3, 25-38. (1996)
- 11.Lorenzo H., Hernandez, M C., Prospeccion geofisica en yacimientos arqueologicos con geo radar en Espana Doscasos. Numanciay El Paular. Fisicade laTierra 2. 193-205. (1997)
- 12.Tohge M., at al., 1998. The use of GPR to map an ancient village buned by volcanic eruptions. Journal of Applied Geophysics 40(1-3), 49-58, (1998).
13. Vaish J.N., Sharma R.S., Ground probing radar for foundation and other subsurface features at a historical site, In eight International Conference on Ground Penetrating Radar, Gold Coast, Australia, 308-313, (2000).
- 14.Toshioka T., Tsuchida T., Sasahara K., Application of GPR to detecting and mapping cracks in rock slopes. Journal of Applied Geophysics, Vol. 33,1.1-3, p. 119-124, (1995).
- 15.Boil J. at al. Using ground penetrating radar to dedect layers in a sandy field soil, Geoderma, Vol. 70, Issues 2-4, p. 117-132. (1996).
- 16.Zhang J., Ruidian R., Application of GPR in underground coal mine (in Chinese), Int J. of Rock Mec. and Mining Science & Geomechanics. Vol. 33, Issue 5, p. 233A, (1996)
17. Overgaard T., Application of ground penetrating radar for limestone exploration in Fakse Kalkbrud, Denmark, Journal of Applied Geophysics, Vol.34, Is. 2, p.167. (1995)
- 18.Stgurdsson T., Overgaard T., Application of GPR for 3-D visualization of geological and structural variation in a limestone formation. Jour, of App. Geophy., Vol.40, p.29-36, (1998).
- 19.Derobert X., Abraham O., GPR and seismic imaging in a gypsum quarry. Journal of Applied Geophysics, Vol.45, p.157-169, (2000).
- 20,Orlando L., Semiquantative evaluation of massive rock quality using ground penetrating radar. Journal of Applied Geophysics. Vol 52, p.1-9, (2003)

TÜRKİYE IV. MERMER SEMPOZYUMU (MERSEM'2003) BİLDİRİLER KİTABI 18-19 Aralık 2003

21. Grandjean G., Gourry J.C., GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece), Journal of Applied Geophysics, Vol.36, Is.1, p. 19-30, (1996)
22. Godio A., Sambuelli L., Ferrero A.M., Geophysical investigation to optimize excavation of an underground marble quarry In Stazzema (Italy), The Leading Edge, Vol. 22, No. 6, p. 574-578, (2003).