

YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ İLE BİR MERMER SAHASINDAKİ KALINLIK VE SÜREKSİZLİKLERİN BELİRLENMESİ

Selma KADIOĞLU¹ ve Yusuf Kağan KADIOĞLU²

¹Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh.Böl. 06100 Tandoğan ANKARA

²Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh.Böl. 06100 Tandoğan ANKARA

kadioglu@eng.ankara.edu.tr; kadi@eng.ankara.edu.tr

Makalenin Geliş Tarihi: 13.02.2006

ÖZET: Bu çalışmada dekorasyon kayacı olan mermer içindeki kırık-çatlak yapılarının aranmasına yönelik yeni bir uygulama tanıtılmaktadır. Yer radarı (GPR) yöntemi, Sivas-Gürün ilçesi Tilkihüyük bölgesinde, bir mermer tabakası içerisindeki kırık ve boşlukları belirleme ve derinliğe göre haritalamada başarıyla uygulanmıştır. Araştırma bölgesi farklı ölçekte boşlukları içeren çok az quartz ve silikat minerallerini kapsayan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşlarından oluşur. Çalışmanın amacı bir mermer bölgesindeki ocak işletimini doğru yönlendirmek için çok kısa bir zamanda sağlam işletilebilir mermer bölgelerini kırıklı ve diğer bozuk bölgelerden ayırmaktır.

100*100 m² lik bir alanda GPR verisi toplamak için 5m aralıklı, 100m boyunda 21 adet paralel profil hatları belirlendi. Her bir profilde ölçümler 10cm aralıklarla alındı. 2B verileri işlendikten sonra 3B GPR veri bloğu üzerinden sabit derinlik dilimleri elde edildi. Sonuç olarak mermer tabakasının kalınlık değişimi, görülemeyen kırıkları, boşlukları, sağlam ve bozuk alanları bir kuyu verisine gerek kalmadan belirlendi.

Anahtar Kelimeler: GPR (Yer radarı), Petrografi, Gölsel kireçtaşı, Tilkihüyük.

Determination of Thicknesses and Discontinuities in A Marble Area by Ground Penetrating Radar (GPR) Method

ABSTRACT: A new application on a marble layer which is ornamental stones is described in this study. Ground Penetrating Radar (GPR) were successfully applied to detect and map fractures and cavities in a marble layer according to depth in Sivas City Gürün Town Tilkihüyük region. The research area is represented by Upper Miocene-Pliocene lacustrine limestone and mainly composed of calcite with rare amount of quartz and calcedoney including some cavities with different sizes. The aim of this research is to distinguish quickly inact marketable marble areas from fractured ones in order to improve quarry management.

21 parallel profiles, which were 100m lengths, of 5m interval were defined to take the GPR measurements. Measurement station interval set 10cm on each profile. Following data processing on the parallel 2D profiles, constant depth slices were obtained from constructed 3D GPR data block by using the parallel profiles. Finally, Marble layer thickness variations, non-distinguishable fractures, cavities and high-or low-quality marble areas were determined on 2D profiles and depth slices of 3D block without using borehole.

Key Words: GPR, Petrography, Lacustrine limestone, Tilkihüyük.

GİRİŞ

Yer radarı (GPR) yöntemi, yakın yüzey araştırmalar için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik alandan yararlanan bir jeofizik yöntemdir. Bir yer radarı verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Verici anten (transmitter) yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne paralel olacak şekilde birkaç nanosaniyeli elektromanyetik dalga üretir. Yer içinde ilerleyen dalgalar anomali verecek herhangi bir nesne ile karşılaştıklarında yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkarlar ve yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımı ile zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilirler. Buna radar izi adı verilir. Zaman birimi nanosaniyedir. Ölçümler genellikle bir profil üzerinde, önceden belirlenmiş ölçüm noktalarında alınır. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek radagram adı verilen radar kesitleri elde edilir. Bir alan üzerinde çalışıldığında, arazide paralel profiller kullanılarak ölçümler alınır. Sonuçlar üç boyutlu olarak görüntülenebilir (Kadioğlu, 2003; Kadioğlu ve Ulugergerli, 2004).

GPR yöntemi başlıca yapısal araştırmalarda toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında (Davis and Annan, 1989), yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde (Kadioğlu, 2003), fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında (Grandjean ve Gourry, 1996; Dérobert ve Abraham, 2000; Kadioğlu ve diğ., 2005; Aldaş ve diğ., 2004; 2005; Green ve diğ., 2003), yeraltı karstik boşluklarının aranmasında (Kadioğlu ve Ulugergerli, 2004; Ulugergerli ve Kadioğlu, 2005), yeraltı su seviyesinin tespitinde (Bano ve diğ., 2000; Dannowski ve Yaramancı, 1999; Aspiron ve Aigner, 1999; Harrari, 1996; Benson, 1995), yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında (Changryol ve diğ., 2000) kullanılır. Bununla birlikte arkeolojik çalışmalarda tapınak, mezar, duvar, temel ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında (Saka ve diğ., 2003; Cezar ve diğ., 2001; Hruska ve Fuchs, 1999), metalik cisim arama çalışmalarında yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının tespitlerinde (Kadioğlu ve Daniels, 2002; 2004), zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler,

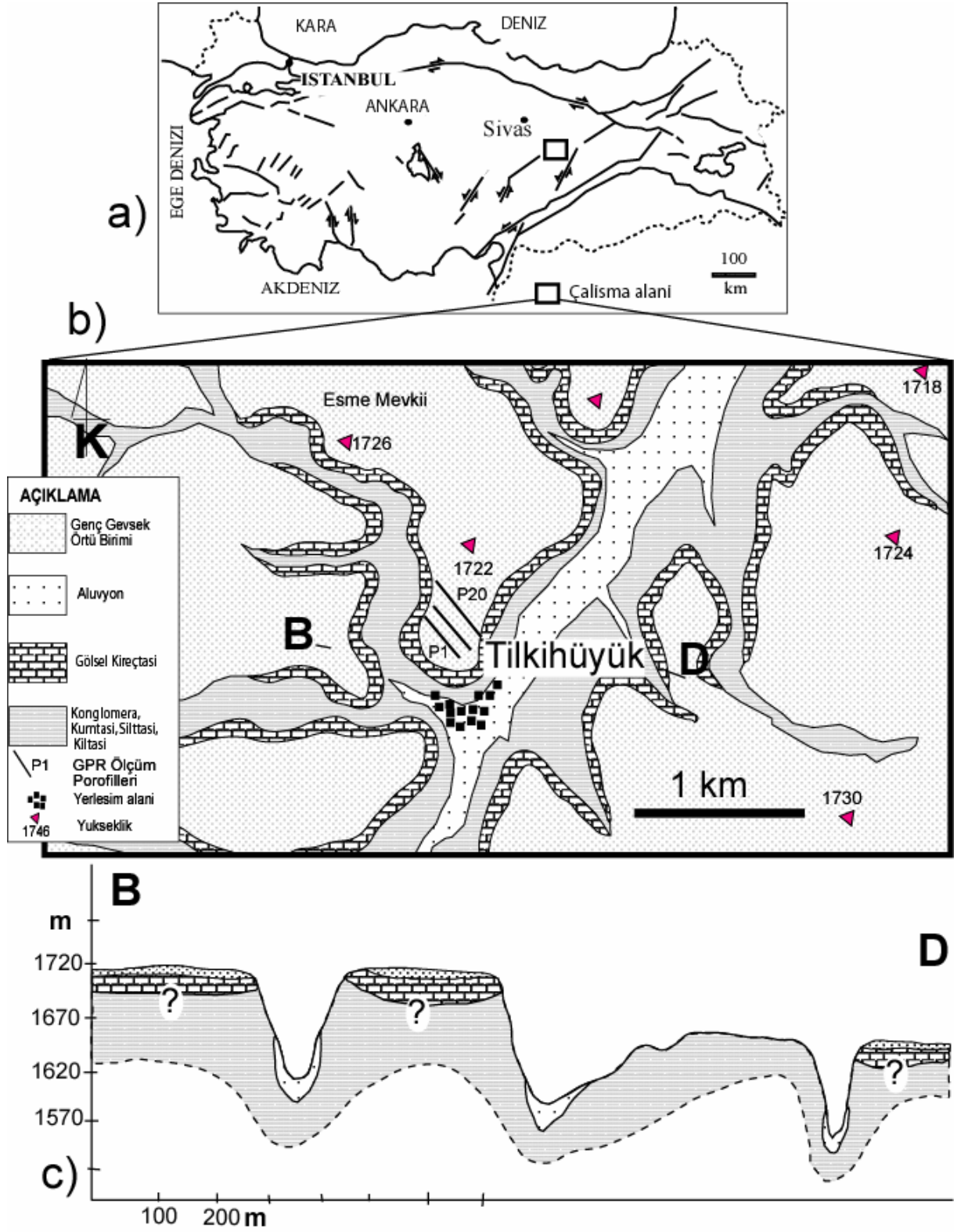
maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde (Kadioğlu ve diğ., 2003), galeri içinde bozunmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitlerinde (Cardelli ve diğ., 2003) ve yeraltındaki insan kalıntılarını aramada (Hammon III ve diğ., 2000) kullanılmaktadır.

Kaplama veya yer döşemesinde kullanılan levha şeklinde kesilen kayaların geçmişten günümüze dek pek çok alanda kullanılabilirliği parlatma ve kendisine özel yapı ve dokusuna bağlı olarak artmaktadır. Bu tür kayalar jeolojik olarak mermer tanımına girmese de mermer olarak adlandırılmaktadır. Bu tür mermerlerin renk, desen, doku ve kesilebilirliğinin yanında blok verimi oldukça önemlidir. Günümüzde mermer işletmeciliğindeki ocak ağız ve ayna açılmaları daha çok gözlemsel mineral bileşimi, yapısal konumu ve bazen kısıtlı sondaj çalışmaları ile desteklenerek yapılmaktadır. Ancak pek çok zaman bu veriler kayacın gömülü bölümündeki fiziksel davranışı hakkında yeterli veriyi vermediğinden harcanan emek karşılanamamaktadır.

Bu çalışmada; yakın yüzey araştırmalarındaki çözünürlüğü oldukça yüksek olan GPR yöntemi uygulanarak (Kadioğlu and Daniels, 2002, 2004; Kadioğlu ve diğ., 2005, Aldaş ve diğ., 2005) Sivas ili, Gürün ilçesinin Tilkihöyük köyü civarında (Şekil 1.) yüzlek veren Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşlarının kalınlıkları ve süreksizlikleri ortaya konulmuştur. Kireçtaşlarının petrografik davranışları (mineralojik ve dokusal özellikler) GPR verilerinin irdelenmesi ile elde edilen boşluk ve süreksizlikler karşılaştırılarak birimlerin derinlere doğru yapısal konumlarının sondaj yapılmadan ortaya konulması sağlanmıştır. Sonuçlar mermer işletmeciliğinde işletme öncesi ve işletme sırasında karşılaşılan pek çok sorunun önceden kestirilmesine yardımcı olmaktadır.

Jeoloji ve Petrografi

Çalışma alanı başlıca genç gölsel kireçtaşları ve bunların üzerlerini örten eski aluvyonlardan oluşmaktadır. Bu gölsel kireçtaşları daha çok Neotetisin kapanmasından sonra oluşmuş ve geniş denizel havza oluşumlarının ardından meydana gelen gölsel istiflerden oluşmuştur.



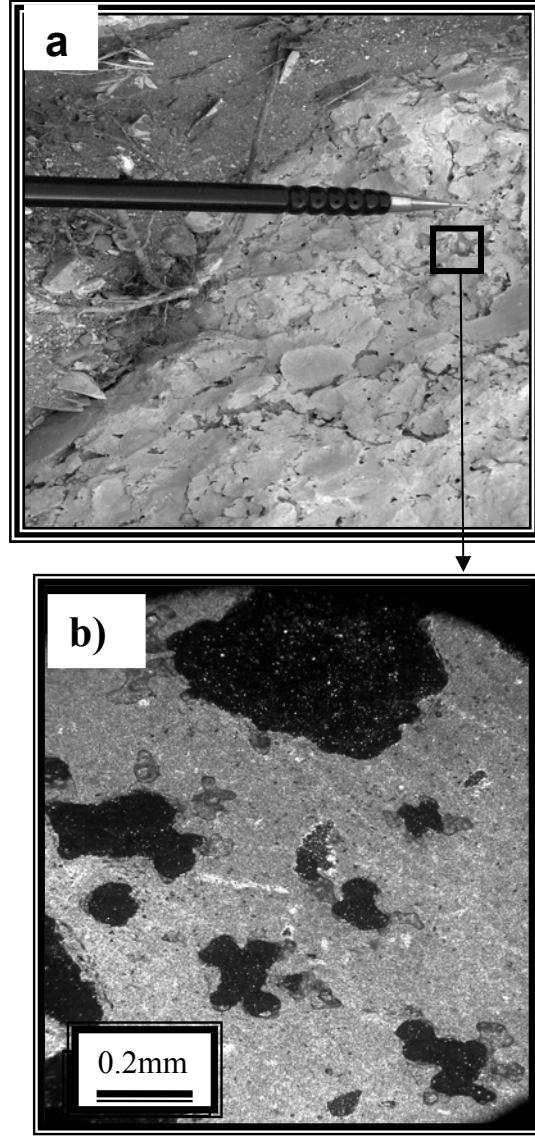
Şekil 1. Çalışma alanının a) Yerbulduru, b) Jeoloji ve GPR ölçüm yeri gösterim haritası, c) Jeolojik kesiti.

Figure 1. a) Location map, b) Geological map and GPR measurement profiles c) Geological section of the study area.

Bu tür gösel kireçtaşları İç Anadolu'da Polatlı, Temelli, Cihanbeyli ve Doğu Anadolu'da Sivas, Gürün ve Adıyaman çevrelerinde yatay tabakalı yayvan topografya sergileyerek konglomera, kumtaşı, siltası ardalanmalı istifin üzerinde yer almaktadır. Bunların beslenme kaynakları çok farklı olmasından kompakt, yarı kompakt ve boşluklu yapılar sergileyecek şekilde oluşmuşlardır. Kalınlıkları birkaç desimetreden bir kaç metreye kadar değişmektedir. İnceleme alanındaki Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı gösel kireçtaşları; bejimsi sarı ve açık krem renginde olup yer yer boşluk içeren başlıca karbonat minerallerinden oluşmakta ve içerisinde daha çok Gastropot ve Ostracot fosilleri içermektedir. Kayaç içerisindeki boşluklar bir milimetreden bir kaç santimetreye kadar değişmekte ve heterojen bir şekilde kayaç içerisinde dağılım sergilemektedir. İnceleme alanındaki kireçtaşları genel olarak yatay tabakalı olarak görülmekte, renk ve dokusal açıdan heterojenlik sergilemektedir. Bunlar mikroskop altında başlıca kalsitten oluşmakta (Şekil 2.) ve bunun yanında içermiş oldukları bazı küçük boşlukları kalsedon ve amorf silis mineralleri tarafından doldurulmaktadır. Boşluk yapıları mezoskopik ölçekte görüldüğü gibi mikroskop altında da görülmektedir. Birimin orta seviyelerindeki boşluklar daha çok rekristalize kalsitler tarafından doldurulmuştur (Şekil 3.). Gösel kireçtaşları; kalınlıkları 20-50 cm kadar varan kil, silt, kum ve kireçtaşı çakılları Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar tarafından örtülmektedir.

GPR VERİLERİNİN TOPLANMASI VE İŞLENMESİ

GPR ölçümleri mermer tabakasının yüzeylediği, Şekil 1.'de görülen BD kesitindeki ikinci tepe üzerinde alındı. İlk profil yarma üzerinden başlatıldı ve 5 m aralıklarla diğer profillerin konumları belirlendi. Her profilin başlangıç ve bitiş noktalarının aynı olması için düzenek sınırları kireç tozu ile sabitlendi. Böylece x profil yönü, y profil artım yönü olmak üzere 100*100 m² lik bir alanda GPR verileri toplandı. Ölçümler için RAMAC CU II GPR sistemi ve 100 MHz kapalı anten kullanıldı. Her bir profilde ölçüm aralıkları 10 cm olarak alındı.



Şekil 2. Tilkihöyük Gösel kireçtaşının a) makroskobik b) Mikroskobik görünümü (Çapraz Nikol).

Figure 2. a) Handspecimen and b) microphotograph (X nichole) of Tilkihöyük lacustrine limestone.

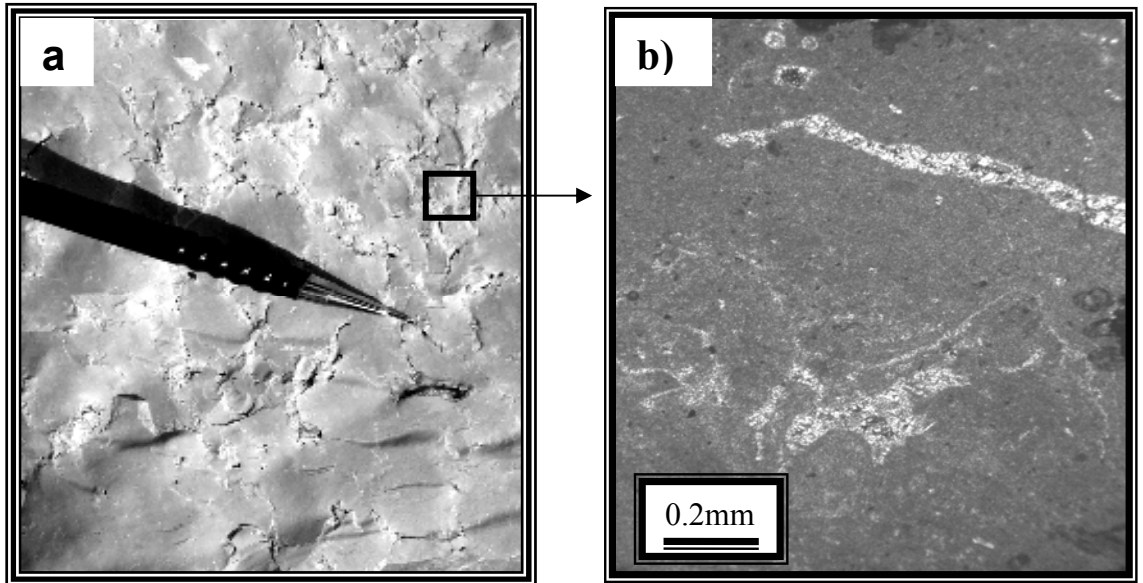
Toplanan verinin düzenlenmesi ve işlenmesinde PulseEKKO-Pro ve Reflex-Win V.3.5 yazılımları kullanıldı. Öncelikle profil başlangıç noktalarına göre ters yönde verisi toplanan profil verilerinin yönü düzeltilerek tüm profillerin yönünün aynı olması sağlandı. Tüm profillere çok düşük ve çok yüksek frekanslı gürültüleri atmak için band geçişli süzgeç uygulandı. Zamanla zayıflayan genlik değerlerini artırmak amacıyla lineer genlik kazanç fonksiyonu düzenlenerek süzgeçlenmiş veri üzerinde genlik kazanç işlemi yapıldı.

Nanosaniye zaman birimi ile temsil edilen radar kesitlerini (radagramlar) derinlik birimine dönüştürmek için gerekli olan, ortama ait elektromanyetik (EM) dalga yayılım hızı analizi gerçekleştirildi. Analiz sonucu mermer tabakasının ortalama EM dalga yayılım hızının 0.12 ve 0.13 m/ns arasında değiştiği gözlemlendi ve daha ağırlıklı olan 0.12 m/ns mermerin EM dalga hızı olarak alındı. Bu hız değeri kullanılarak zaman eksenini derinlik eksenine dönüştürüldü. Çalışma alanı topografik değişim göstermediği için topografya düzeltmesi uygulanmadı. Şekil 4, işlenmiş bazı örnek radar kesitlerini göstermektedir. Bu kesitlerin yatay eksenini profil doğrultusu üzerindeki uzaklık değerlerini, dikey eksenini sol taraf nanosaniye cinsinden kayıt zamanı değerlerini, sağ taraf ise derinlik değerlerini göstermektedir. 2B birbirine paralel ve her birinin profil başlangıcı aynı eksen üzerinde olan profil verileri sıralanarak 3B görüntüleme üzerinden sabit derinlik dilimleri elde edildi (Şekil 5.).

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

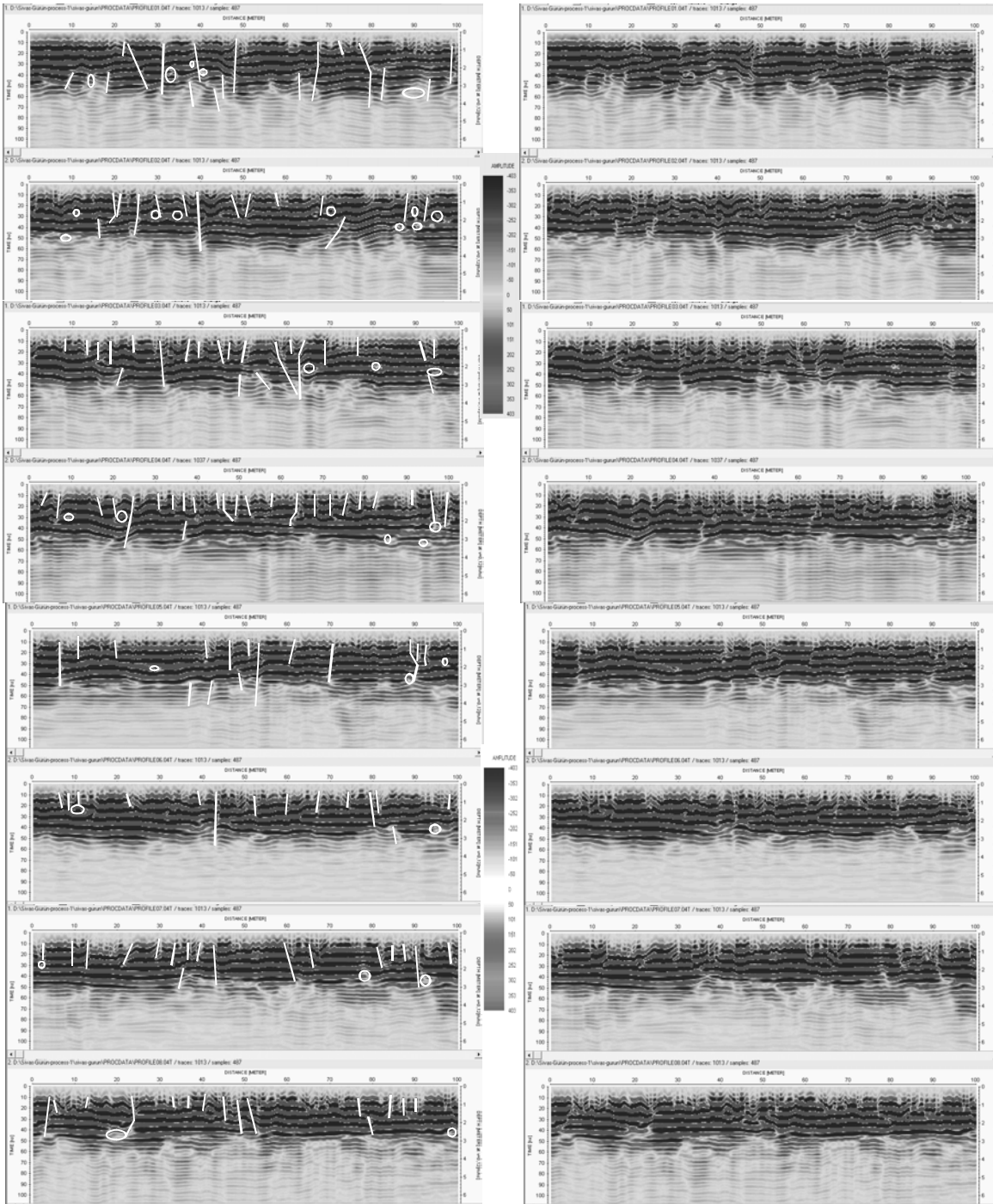
Tilkihiyök ve çevresindeki birimlerin ayrıntılı jeolojik haritaları tamamlanarak kalınlığı ve içermiş olduğu süreksizlikleri belirleme amacıyla GPR ölçümleri için uygun

profil alanları belirlenmiştir. Mermer işletilmesi açısından ekonomik değer sergileyen bej ve krem renkli görsel kireçtaşlarının mikroskobik olarak mineralojik bileşim ve içermiş olduğu porozite oranları dikey yönde incelenmiştir. Elde edilen petrografik veriler görsel kireçtaşlarının üst bölümlerinin orta kısımlara nazaran daha fazla boşluk içerdiği ve orta bölümlerinin içermiş olduğu boşlukların daha çok rekristalize kalsitler tarafından doldurulduğu görülmüştür. GPR ölçüm değerleri irdelenerek veri işleme tamamlanmış 2B profiller (Şekil 4) ve jeolojik verilerle uyumlu olan tüm profillere ait sabit derinlik dilimleri üzerinden çalışma alanının sağlam, zayıf, kırıklı, çatlaklı killi ve boşluklu alanlarının yerleri belirlenmiştir (Şekil 5). Buna göre 2.5 m derinliğe kadar kil ile dolu veya boşluklu alan ve zayıf bölgeler oldukça az olduğu sonucuna varılmıştır. Bu verilerin mikroskop altında tesbit edilen boşluk oranlarının azlığı ile örtüştüğü belirlenmiştir. Bunun yanında farklı açı ve uzanımlarda kırıklar tespit edilmiştir. 2.5 – 3.5m derinlik arası oldukça kil dolgu seviyelere karşılık gelmektedir. Bu derinlikler arası zayıf mermer alanı olarak tanımlanabilir. 3.5 – 4.5m derinlik arası killi dolgu hakim olup ve özellikle 4.5m nin altındaki seviyeler tamamen kil hakimiyetindedir.



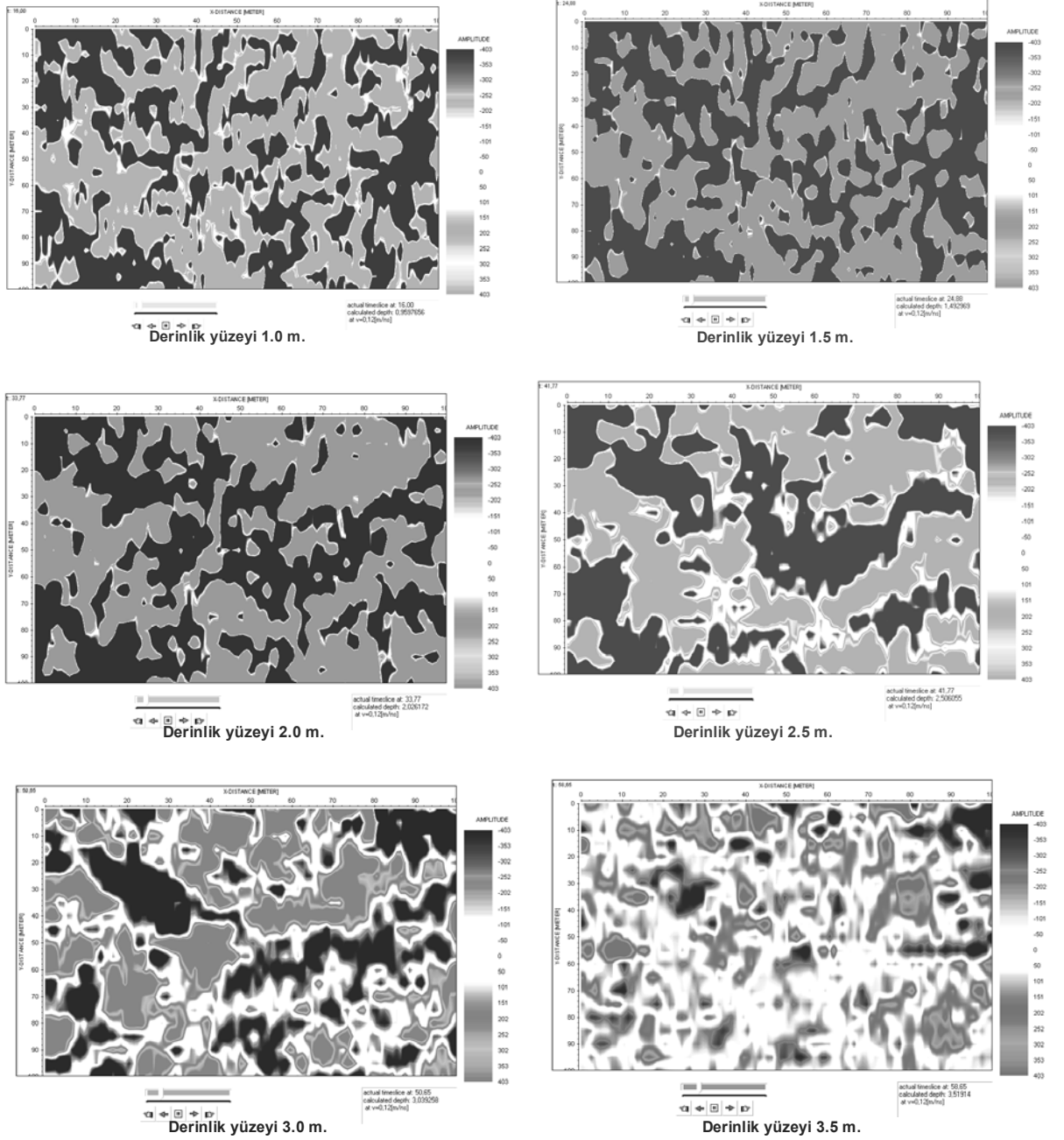
Şekil 3. Rekristalize kalsitler tarafından doldurulmuş a) makroskobik b) Mikroskobik görünümü (Çapraz Nikol).

Figure 3. a) Handspecimen and b) microphotograph (X nichole) of recrystallised calcite.



Şekil 4. Ölçülen bazı örnek profillere ait işlenmiş ve yorumlanmış radagramlar. Burada Beyaz çizgiler kırıkları, açık gri renkler killi bölgeleri tanımlamaktadır. Kapalı beyaz eğriler mermer içindeki hava veya kil ile dolu boşlukları temsil etmektedir.

Figure 4. Representative some processed and interpreted radagrams of profiles. The white color lines indicate the fractures and the pale grey color defines the fields with clay. The circular lines represent the gaps filled with air or clay in the marble.



Şekil 5. Sabit Derinlik dilimleri. X Profil ölçüm yönünü, Y ise profil artış yönünü göstermektedir. Siyah ve gri renkli alanlar farklı iki dokudaki mermer birimini, beyaz renkli alanlar kil dolguları temsil etmektedir. Kil dolguların miktarları, konumları ve derinlikle değişimleri 3B GPR veri bloğuna ait derinlik dilimleri üzerinden gözlenebilmektedir.

Figure 5. Constant depth slices. X and Y show the profile measurement direction and the profile step direction respectively. The black and grey colors area represent the marble unit, and white color area represents clay filling. The amount, locations and changing with depth of the clay filling can be observed on depth slices of the 3D GPR data block.

Elde edilen petrografik ve GPR sonuçlarına göre eski alüvyonların (20 – 50cm) altından başlayarak ilk 2.5m kalınlığındaki gösel kireçtaşları ekonomik anlamda mermer olarak

kullanılabilir. Ancak bu çalışma ile belirlenen kırıklar dikkate alınarak sabit blok boyutları ile blok elde etme öncesi kesim aralıklarının kırıkların sıklık ve mesafelerine göre yapıldığı

zaman işletme ömrünün uzamasını sağlayabilecektir.

Sonuç olarak; mermer ocaklarının içerisindeki kontrolsüz süreksizlikler verimi düşüren başlıca etkindir. Bunları değiştirmek olanağı yoktur. Ancak işletilmesi düşünülen mermer ocağındaki birimin kalınlığı, içerdiği süreksizliklerin (kırık, çatlak, boşluk) sıklık mesafeleri, doğrultuları ayna açılmadan önce belirlenirse işletme maliyetini ve öngürülmeyen zararları önemli ölçüde azaltacaktır. Bu çalışma ile ocağın mevcut süreksizliklerinin konumu ve uzunlukları

birimin kalınlığı ile birlikte belirlenmiştir. Böylece mermer ocak işletmelerine yararlı örnek teşkil edeceği ve bu uygulama ile ülke ekonomisine önemli kazançlar sağlayacağı açıkça ifade edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; Ankara Üniversitesi ve DPT tarafından desteklenen DPT 2003-K-120-190-4-1 ve A.Ü.BAP 2005-07-45-030 nolu projelerin desteği ile yapılmıştır.

KAYNAKLAR:

- Aldaş, G.U., Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U., 2004. The effects of concealed discontinuities in blast design pattern, 4th Int. Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists, St. Petersburg-RUSSIA, Abstracts, p. 6-7.
- Aldaş, G.U., Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U., 2005. The usage of ground penetrating radar (GPR) in designing blast pattern, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, (online yayımlandı).
- Aspiron, U., Aigner, T., 1999. Towards realistic aquifer models: Three dimensional georadar surveys of Quaternary gravel deltas (Singen Basin, SW Germany), *Sedimentary Geology*, **129**, 281-297.
- Bano, M., Marquis, G., Niviere, B., Maurin, J.C., Cushing, M., 2000. Investigating alluvial and tectonic features with ground penetrating radar and analyzing diffractions patterns, *Journal of Applied Geophysics*, **43**, 3-41.
- Benson, A.K., 1995. Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: Examples of groundwater contaminants, faults, cavities, *Journal of Applied Geophysics*, **33**, 177-193.
- Cardelli, E., Marrone, C., Orlando, L., 2003. Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods, *Journal of Applied Geophysics*, **52**, 93-102.
- Cezar, G.S., Rocha, P.L.F., Baurque, A., Costa, A., 2001. Two Brazilian archeological sites investigated by GPR: Serrano and Morro Grande, *Journal of Applied Geophysics*, **47**, 227-240.
- Changryol, K., Daniels, J.J., Guy, E., Radzevicius, S.J., Holt, J., 2000. Residual hydrocarbons in a water-saturated medium: A detection strategy using ground penetrating radar, *Environmental Geosciences*, **7**, 4, 169-176.
- Dannowski, G., Yaramancı, U., 1999. Estimation of water content and porosity using combined radar and geoelectric measurements, *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, **4**, 71-85.
- Davis, J.L., Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, *Geophysical Prospecting*, **37**, 531-551.
- Dérobot, X., Abraham, O., 2000. GPR and seismic imaging in a gypsum quarry, *Journal of Applied Geophysics*, **45**, 157-169.
- Grandjean, G., Gourry, J.C., 1996. GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece), *Journal of Applied Geophysics*, **36**, 19-30.
- Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., Baldwin, J., 2003. Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit, *Tectonophysics*, **368**, 7-23.

- Hammon III, W., McMechan, G.A., Zeng, X., 2000. Forensic GPR: Finite difference simulations of responses from buried human remains, *Journal of Applied Geophysics*, **45**, 171-186.
- Harrari, Z., 1996. Ground penetrating radar (GPR) for imaging stratigrafic features and groundwater in sand dunes, *Journal of Applied Geophysics*, **36**, 43-52.
- Hruska, J., Fuchs, G., 1999. GRP prospection in ancient Ephesos, *Journal of Applied Geophysics*, **41**, 293-312.
- Kadioğlu, S., 2003, 3D ground penetrating radar- data acquisition, Processing, and Interpretation, 14th International Petroleum Congress and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, Ankara-TURKEY, Proceedings, p.485-486.
- Kadioğlu, S., Aldaş, G., Candansayar, E., Ulugergerli E.U., 2003, Çayeli Maden Tünellerindeki Stabilizasyon Çalışmalarında Yer Radarı Uygulaması, Rapor, ÇBİ-Çayeli-RİZE.
- Kadioğlu, S., Daniels, J., 2002. A Hybrid 2D/3D Ground Penetrating Radar (GPR) Survey of Brownfield Site Along Lake Street in Chicago, Illinois (USA), Istanbul University Engineering Faculty ICESE-2002, Vol.2, P. 255-261.
- Kadioğlu, S., Daniels, J., 2004, Integrated 3D visualization of GPR data and EM-61 data, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **68**, 11S, A468.
- Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U., 2004. Determination of cavities using ground penetrating radar in Dalaman-Akköprü Dam construction area, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, 7-10 December, MTA Cultural Center-Ankara, Abstract Book, 372-375.
- Kadioğlu, S., Aldaş, G.U., Karpuz, C., Düzgün, Ş.B., Kadioğlu, Y.K., 2005, Taş ocağı seçiminde mühendislik disiplininin önemi: Gölbaşı andezitlerinde bir uygulama, *Madencilik*, **44**, 3, 25-33.
- Saka, Ö., Önal, K.M., Gündoğdu, N.Y., Dönmez, Ş., Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U., 2003, Geophysical studies in Akalan Castle (Samsun) and an example of geo-radar measurement, Symposium of Geophysics, ISPARTA-TURKEY, Abstracts Book, p4.
- Ulugergerli, E.U., Kadioğlu, S., 2005. Detecting cavities and archeological remains with GPR, 9th International Congress of Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September.

