

Yer Radarı (GPR)Yöntemi ile Burdur Bej Mermer Ocağında Blok Verimliliği Değerlendirmesi

Kerim KÜÇÜK^{*1}, Turgay ONARGAN¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

* kerim.kucuk@deu.edu.tr

(Geliş/Received: 13.10.2017; Kabul/Accepted: 07.01.2018)

Özet

Bu çalışmada, Burdur ili Merkez ilçesi Hacılar köyü yakınında bulunan özel bir firmaya ait bej mermer sahasında blok verimliliğine yönelik saha çalışmaları yapılmıştır. Litolojik birimlerin derinliğe bağlı kalınlık, litolojik homojenite ve diğer mühendislik jeolojisi ile ilgili değişimleri belirleyebilmek için yer radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) kullanılmış ve 25-30 metre derinliğe kadar elde edilen kesit görüntüleri değerlendirilerek sahadaki mevcut süreksizliklere bağlı olarak çalışma alanı blok verimi açısından bölgelere ayrılmıştır. Ayrıca üretim basamaklarında süreksizlik ölçümleri yapılmış, elde edilen veriler ışığında söz konusu sahadan alınabilecek minimum, maksimum blok boyutları, mermer tabakasının çatlaklılık durumu, blok verimi gibi saha özellikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yer Radarı, Blok Boyutu, Süreksizlik, Mermer, Blok Verimliliği

Evaluation of Block Efficiency in Burdur Beige Marble Quarry by Ground Penetrating Radar (GPR) Method

Abstract

In this study, field studies were carried out for the block efficiency of beige marble (1/25000 – M24d4) in a private company located near the village of Hacılar in the central district of Burdur province. Ground Penetration Radar (GPR) was used to determine the depth dependent thickness, lithological homogeneity and other engineering geology variations of the lithological units and the cross-sectional images obtained up to 25-30 meters depth were evaluated and the study area was divided into separated zones. In addition, discontinuity measurements were made on the production steps, and the field characteristics such as minimum-maximum block sizes, cracking status of marble layer, block yield were determined by the obtained data.

Keywords : GPR, Block Dimension, Discontinuity, Marble, Block Efficiency

1. Giriş

Mermer işletmeciliğinde üretime başlanılmadan önce, sahada mevcut jeolojik birimlerin kalınlıklarının, kırıklı çatlaklı alanların ve sağlam yapıdaki bölgelerin belirlenmesi blok verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Günümüzde gelişen teknolojiye bağlı olarak, mermer sahalarında yapılacak bilimsel çalışmalar ile üretime başlamadan önce ve üretim sırasında mermer kütleindeki kırıklı çatlaklı bölgelerin belirlenmesi, daha masif yapıdaki alanların tespiti ve bu sayede işletmelerdeki üretim verimliliğinin artırılması mümkün olmaktadır. Bu nedenle mermer ocaklarında verimliliğin artırılması için

üretim öncesi teknik etütlerin yapılması oldukça önemlidir.

Blok üretimi yapılması planlanan mermer işletmelerinde en önemli parametre, mermer kütleinin ticari boyutta blok verebilme özelliğidir. Ülkemizde faaliyet gösteren mermer işletmelerinde blok verimliliği özellikle bej mermerlerde % 1-2 değerlerine kadar düşmektedir. Dolayısıyla, 100 m³ mermer üretilmesi durumunda ekonomik olarak 1-2 m³ mermer ticari olarak satılabilmekte olup, geriye kalan kısımlar artık olarak pasa alanına atılmaktadır.

Son yıllarda özellikle mermer sahalarında jeolojik birim kalınlığının belirlenmesi, kırık çatlak sistemlerinin belirlenmesine yönelik olarak

kullanılan yöntemlerden biri GPR yöntemidir. GPR yöntemi özellikle sığ derinliklerde yüksek çözünürlük sağladığından yeraltı jeolojisi ve heterojenliği hakkında detaylı bilgi vermektedir. GPR yönteminde yer içerisine yüksek frekanslı (10 MHz - 3 GHz) elektromanyetik dalga anten yardımıyla kısa zaman dilimleriyle gönderilmekte olup, bu radar sinyalinin yayılımı ortamın elektrik ve manyetik özelliklerine bağlı olmaktadır.

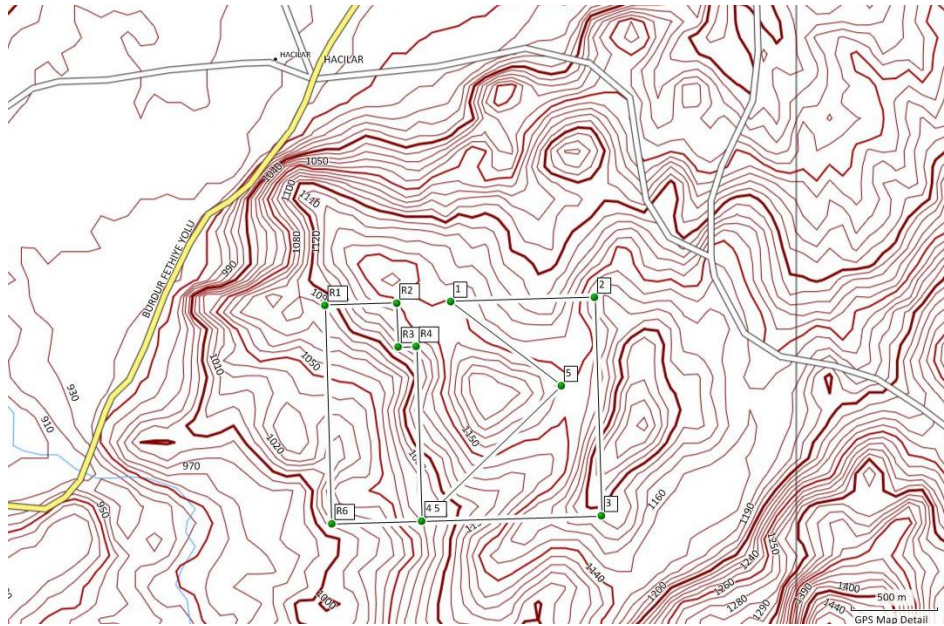
GPR yöntemi, başlıca yapısal araştırmalarda toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında [1], yüzeye yakın jeolojik birimlerin tespitinde [2], fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında [3-11]), yeraltı karstik boşluklarının aranmasında [12], yeraltı su seviyesinin tespitinde [13], yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında [14] kullanılmıştır. Bununla birlikte arkeolojik çalışmalarda tapınak, mezar, duvar, temel ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında [15-18], metalik materyal arama çalışmalarında yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının tespitlerinde [19], zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında karayolu, demiryolu, su

tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde, galeri içinde bozunmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitlerinde [20, 21] ve yeraltındaki insan kalıntılarını aramada [22] kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, GPR yönteminin yanı sıra mermer işletmesinde mevcut basamakların aynalarında hat etüdü yöntemi ile süreksizlik ölçümleri yapılmış, söz konusu mermer sahasındaki süreksizlik sistemlerinin özellikleri (yönelimleri, devamlılıkları, açıklıkları... vb.) belirlenerek elde edilen veriler GPR ölçüm sonuçları ile birlikte değerlendirilerek, çalışma alanı blok verimliliğine göre bölgelere ayrılmıştır.

2. Çalışma Alanı Lokasyonu

Burdur ili Merkez ilçesi Hacılar köyü yakınında bulunan mermer sahası Burdur il merkezine yaklaşık 25 km mesafededir (Şekil 1). Sahaya ulaşım, Hacılar köyünden sonra toprak yol vasıtasıyla sağlanmaktadır.

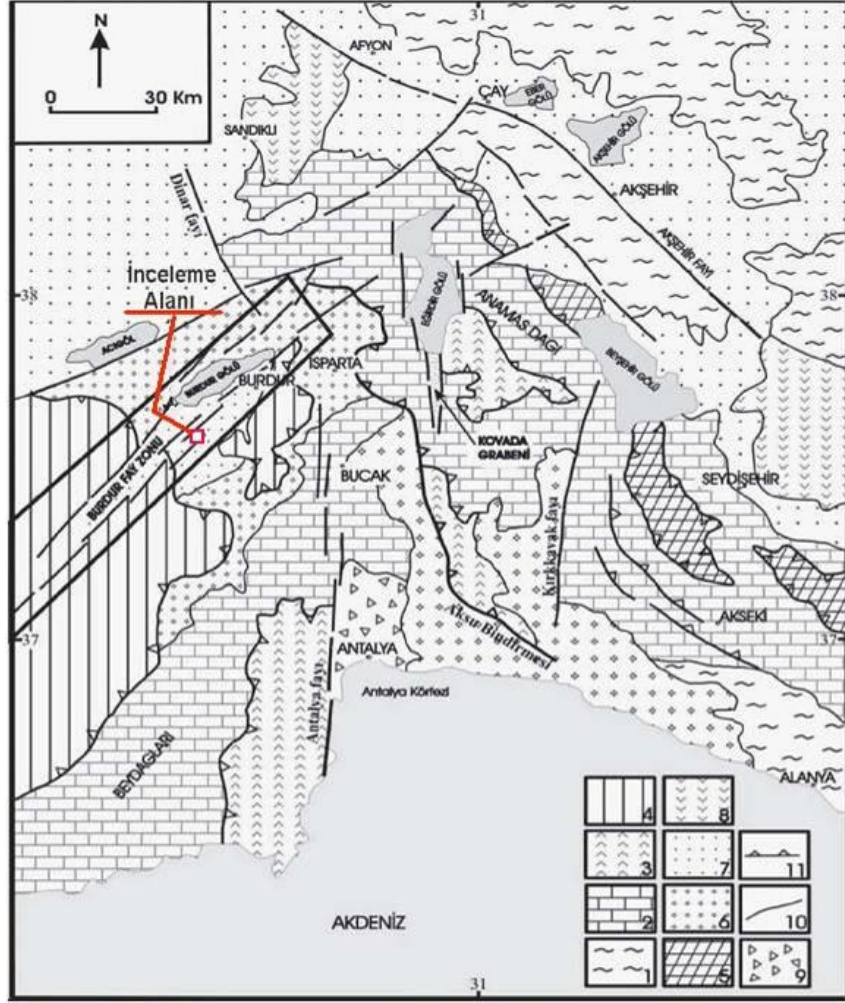


Şekil 1. Mermer Sahası Yer Bulduru Haritası (1/25000 M24-d4 Paftası)

2.1. Bölgenin jeolojik yapısı ve stratigrafisi

Bölgede altta, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı, allokton konumlu, "İç Toros Napı" bulunur. Bu ofiyolitler üzerine, Lütseyen yaşlı Gölbaşı Formasyonu uyumsuzlukla gelir. Pliyosen yaşlı Burdur Formasyonu da bu birimler üzerine

uyumsuz olarak gelir. Birbirleri ile uyumsuz olan, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karaçal ve Yakaköy Formasyonları da diğerlerinin üzerine uyumsuz olarak gelir. En üstte Kuvaterner yaşlı alüvyon ve birikinti konileri yer alır (Şekil 2).



(1) Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, (2) Mesozoyik yaşlı karbonat kayalar, (3) Antalya napları, (4) Likya napları, (5) Beyşehir-Hoyran napları, (6) Denizel Tersiyer tortulları, (7) Karasal neojen tortulları, (8) Neojen volkanitleri, (9) Antalya travertenleri (10) Normal faylar, (11) Bindirme fayları.

Şekil 2. İnceleme alanı genel jeoloji haritası [24]

Burdur ve civarı, "İç Toros Napı" olarak adlandırılan birimin yöreye yerleşimi sırasında sıkışma tektoniği ve Pliyosen sonrasında başlayan çekme tektoniği etkisi altında kalmış ve değişik yönlü çekim faylarıyla kesilmiştir [23]. Çalışma alanında altta, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı, allokton konumlu, "İç Toros Napı" bulunmaktadır. Bu ofiyolitler üzerine, Lütesyen yaşlı Gölbası Formasyonu uyumsuzlukla gelmiştir (Şekil 3). Şekil 3'ten görüleceği üzere, inceleme alanı ve çevresi KD-GB doğrultulu fay sistemlerinin hâkim olduğu Burdur Fay Zonu içerisinde yer almaktadır.

İç Toros Napı birimini oluşturan Hacılar Kireçtaşı Blokları, masif görümlü, kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Allokton konumlu olan bu blokların, içinde yer aldıkları ofiyolitik

kayaçlarla olan dokanağı tektoniktir. Göller Yöresinde yer alan Burdur Havzası'nın oluşumunda tektonik hareketlerin büyük etkisi olmuştur. Havza kuzeydoğu-güneybatı yönlü fay hatlarıyla sınırlandırılmıştır.

Mermer sahasında ve çevresinde yapılan gözlemlerde, sahanın genelini açık bej renkli mermerlerin oluşturduğu tespit edilmiştir. Sahanın geneline bakıldığında, çoğunlukla bodur çalılıklarla kaplı olan bölgede yer yer büyük kafalar şeklinde bej mermer mostraları görülmektedir (Şekil 4).

3. GPR Yöntemi

Yer radarı sistemi, bir verici (transmitter), bir alıcı (receiver) antenler ve bir kontrol ünitesinden

oluşmaktadır. Sistemin çalışması, yere verici tarafından gönderilen elektromanyetik sinyalin yer içindeki süreksizliklerden yansiyarak alıcı tarafından algılandıktan sonra kontrol ünitesinde amplitüd titreşimi olarak kayıt edilmesine dayanmaktadır.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÖYE	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
I K	P. KUVATLARI	KARACAÇAL	YAKAÇI	ALUYON	300	Gevşek tutturulmuş alüvyon ve birikinti konisi	
					200	TRAVERTEN :Gözenekli, çakıtaş, kumtaş, tuf ardalanmalı	
					300	Kötü boylanmış çakıtaş, kumtaş	
O Y	P. KUVATLARI	KARACAÇAL	YAKAÇI	ALUYON	1000	Gösel tüft, tuf, aglomera ile andezitik lav	
						Gösel çakıtaş, kumtaş, kilaş, kili kireçtaş, çamurtaş, mam, tüft ve kömürü seviyeler, jipsli seviyeler	
Z O	P. KUVATLARI	KARACAÇAL	YAKAÇI	ALUYON	600	İyi tabakalı denizel çakıtaş, tüftürek kumtaş, kilaş ve kireçtaş	
						HACILAR KIREÇTAŞI BLOĞU: Mikantik ve yer yer kristalize kireçtaş	
E N	LÜTESİYEN	GÖLEBAŞI	KARABURUN	AKDERE		OFİYOLİTLİ MELANİ: Serpantin, harzburit, galre, diyabaz, diorit, split, radyolant	
S	Ü. PALEOGENA. EÖSEN	İÇ TOROSI NAFİ	KARABURUN	AKDERE			

Şekil 3. İnceleme alanını temsil eden stratigrafik kesit (MTA Orta Anadolu II. Bölge Müd.)

Elektromanyetik dalgalar ortamın kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre yayınırlar. Buna göre elektromanyetik dalgaların hızları, içinde yayıldıkları ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Herhangi bir atom içinde yayılan radyo dalgalarının hızları, ışığın boşluktaki hızına ($c=0.3$ m/ns), göreceli dielektrik sabitesine (ϵ_r) ve göreceli manyetik geçirgenliğe bağlıdır.

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



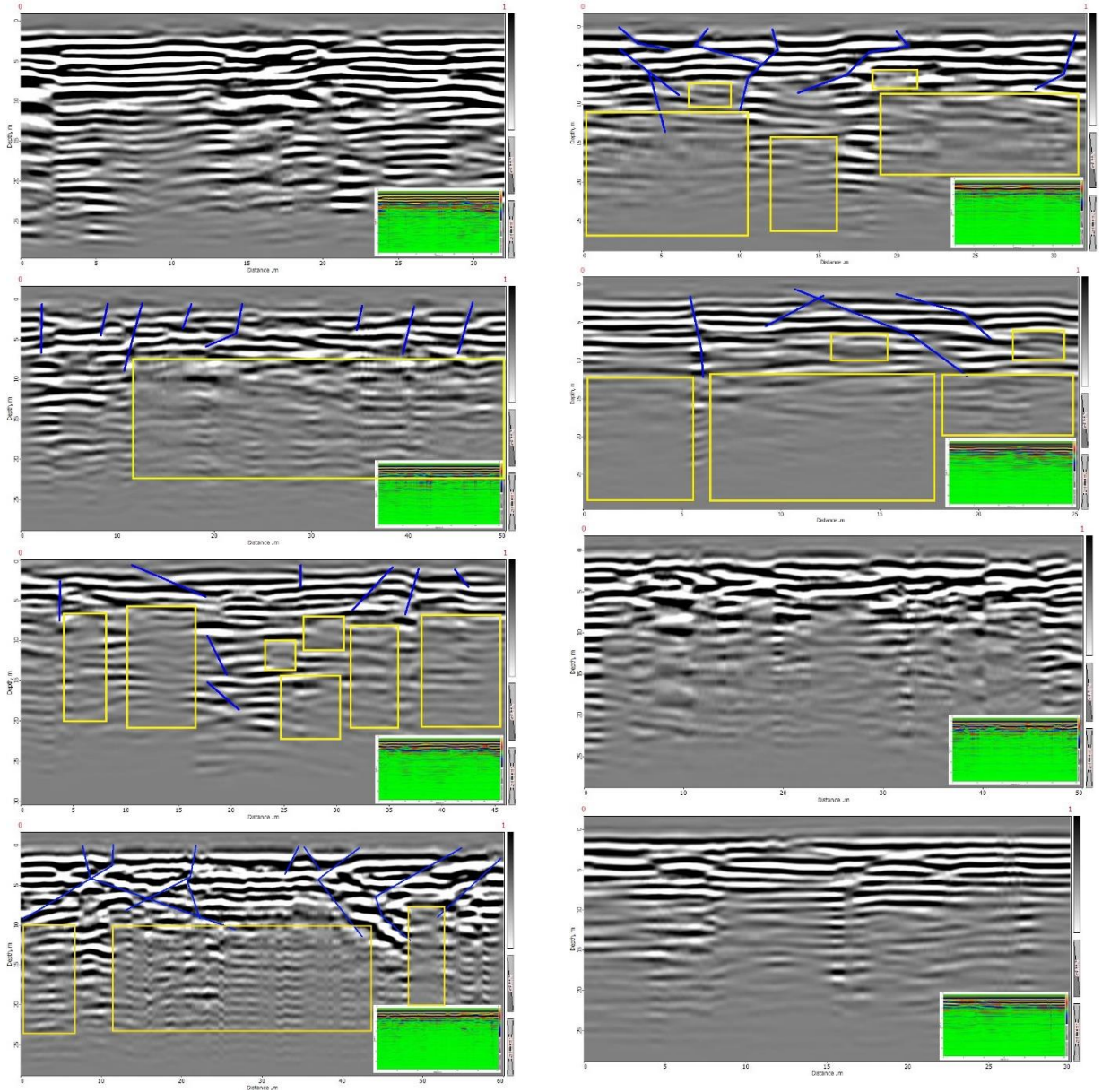
Şekil 4. Sahada yaygın olarak görülen bej mermer mostraları ve hakim bitki örtüsü

Araştırma derinliği ve çözünürlük iletilen frekansın dışında araştırılan ortamdaki malzemenin dielektrik özelliklerine de bağlıdır. Genellikle ortamın düşük kayıplı ortam olması istenir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda yer radarı dalgaları derinlere ulaşabilirken, kil, şeyl gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğurulmasına neden olmaktadır

4. GPR ve Süreksizlik Ölçümleri

4.1. GPR ölçüm çalışmaları

GPR çalışmalarında, sahada belirlenen kesitlerde GPR ile yaklaşık 25-30 metre derinliğe kadar görüntüler alınmıştır. Zond 12e marka GPR ile 38 mHz anten kullanılarak maksimum 50 m uzunlukta hatlar belirlenmiştir (Şekil 5). Bu belirlenen hatlar üzerinde yerden yaklaşık 25-30 cm yukarıdan tutulan antenle hat üzerinde yürüyerek, kontrol ünitesine monteli bilgisayarda eş zamanlı görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 6. GPR ölçülerinden elde edilen görüntüler

Yapılan süreksizlik ölçülerinden elde edilen ortalama değerler aşağıdaki gibidir.

Süreksizlik Aralığı : 1,35 m

Süreksizliklerin Açıklığı : 3,63 cm

Süreksizliklerin Devamlılığı : 12,24 m

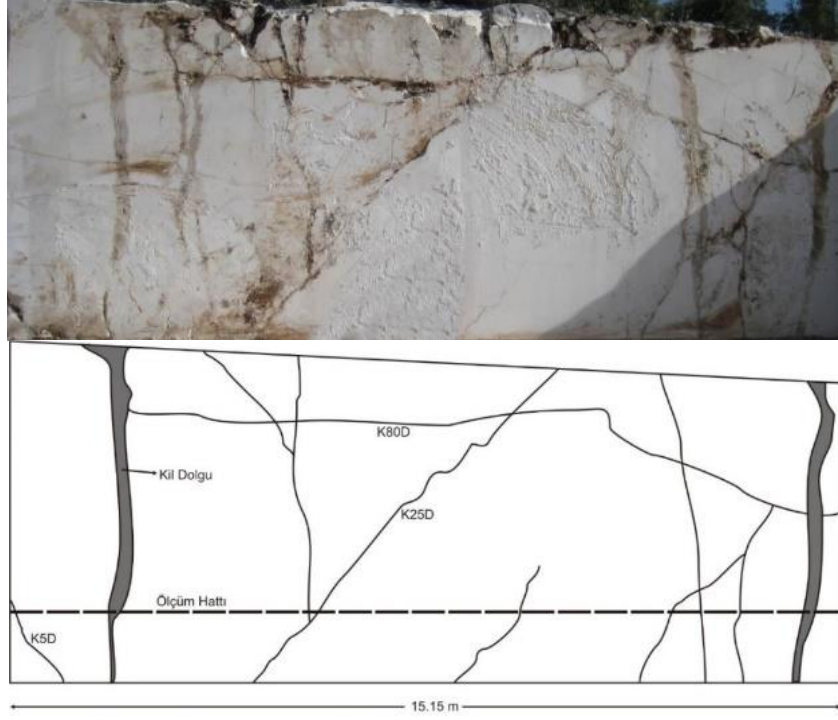
Çalışma alanındaki çatlak sistemlerini belirlemeye yönelik yapılan etütlerde, birbirini kesen 3 çatlak sisteminin var olduğu ve bu çatlak sistemlerinin doğrultularının da KD-GB doğrultulu uzandığı belirlenmiştir.

Sahada mevcut çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğim açıları ölçülmüş, buna bağlı olarak gül diyagramı çizilmiştir. Çatlak sistemlerinin doğrultu ve eğimleri göz önüne alındığında,

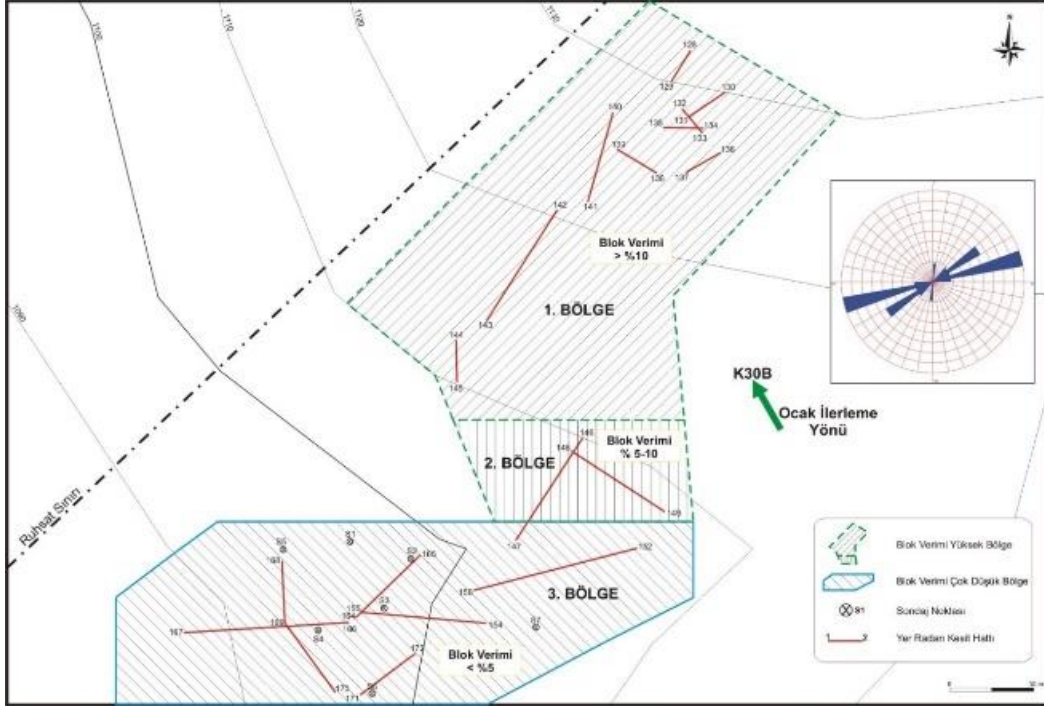
açılması düşünülen işletmenin yönünün K30oB olarak belirlenerek kademelerin bu doğrultuda ilerletilmesinin üretim verimliği açısından faydalı olacağı düşünülmektedir (Şekil 8)

5. Sonuçlar

Yapılan saha çalışmaları ve değerlendirmeler sonucunda, ruhsat sahasında yaklaşık 4 hektarlık alanda alınan 18 adet GPR görüntüsü, veri işlem ve filtreleme aşamalarından geçirilerek değerlendirilmiş ve blok verimine göre inceleme alanı 3 bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 7. Süreksizlik ölçümü yapılan aynada süreksizliklerin durumu



Şekil 8. Blok verimine göre inceleme alanında belirlenen bölgeler ve işletme yönü

Birinci bölgede, yaklaşık 30 metre derinliğe kadar alınan radar görüntülerinin tamamında bej mermer yapısı devam etmekte olup, sahada gelişmiş birincil çatlak sistemleri, yer yer bunları kesen ikincil ve üçüncül çatlaklar görülmekte ve

yüzeyden ilk 5 metreden sonra yer yer sağlam blok verebilecek yapılar görülmektedir. Bu çatlak sistemlerinin çoğunluğu yüzeyden itibaren 5 metre derinliğe kadar olan kısımda daha sık görülmektedir. Birinci bölgede bulunan mermer

yapısı diğer bölgelere göre daha masif ve blok verimi daha yüksek özellik göstermektedir.

İkinci bölgede 30 metre derinliğe kadar alınan radar görüntülerinde, mermer biriminin birinci bölgeye göre biraz daha kırıklı ve blok verimi daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü bölgede ise, mermerin yapısı yaklaşık 7 metreden sonra iyice bozulmakta olup, killi seviyeler görülmektedir. Saha yapısı olarak mermer tabakası dereye doğru kıvrılmakta ve bu bölgede çatlak sistemleri bol miktarda görülmektedir. Bunlara bağlı olarak bu bölgeden ticari boyutta blok alımı mümkün görülmemektedir. Radar görüntülerinin değerlendirilmesinde, 7 metreden sonra bozunmuş ve killi kısımlar üçüncü bölgenin tamamında karşılaşılabilecek sorunlardır. Ocak açılması durumunda bu bölgelerden kaçılması, bu bölgelerin pasa döküm sahası olarak düşünülmesi daha uygun olacaktır.

İşletmenin aynalarında yapılan süreksizlik ölçümleri sonucunda, ortalama çatlak aralığı 1,35 m, ortalama süreksizliklerin açıklığı 3,63 cm, ortalama süreksizliklerin devamlılığı 12,24 m olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre, sahadan blok verimliliğine yönelik mevcut çatlak aralıkları yakın aralıklı (çok kırıklı) ile orta derece aralıklı (kırıklı); yüksek devamlılık arz eden çatlaklar olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bütün saha çalışmaları ve hesaplamalar sonucunda, 1. bölgeden alınabilecek blok verimi % 10 ve üzeri, 2. bölgeden alınabilecek blok verimi % 5-10 arasında, 3. bölgeden alınabilecek blok verimi ise % 5'in altında olacağı tahmin edilmektedir. 1 ve 2 nolu bölgelerden alınabilecek ticari boyutta blok hacimlerinin 1,20 m³ – 7,90 m³ arasında değişeceği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir.

Sahadaki mevcut çatlak ve çatlak sistemleri göz önüne alındığında işletme yönünün K30°B yönünde seçilmesi blok verimi açısından uygun olacaktır.

6. Kaynaklar

1. Davis, J.L., and Annan, A.P. (1989). Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
2. Kadioğlu, S., Aldaş, G. U., Karpuz, C., Düzgün, Ş. B. ve Kadioğlu, Y.K. (2005). “Taş Ocağı Seçiminde Mühendislik Disiplininin Önemi: Gölbaşı

Andezitlerinde Bir Uygulama”, *Madencilik*, ISSN:0024-9416, Cilt 44, Sayı 3, 25-33.

3. Grasmueck, M. (1996). 3-D ground penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, *Geophysics*, Vol. 61, No.4, 1050-1064.
4. Grasmueck, M., Weger, R., and Horstmeyer, H. (2005). Full-resolution 3D GPR imaging. *Geophysics*, Vol. 70, No.1, K12-K19.
5. Grandjean, G., and Gourry, J.C. (1999). GPR data processing for 3D fracturemapping in a marble quarry (Thassos, Greece), *Journal of Applied Geophysics* 36, 19–30.
6. Orlando, L. (2002). Ground penetrating radar in massive rock: A case history. *European J. of Env. and Eng. Geophysics*, 7, 265-279.
7. Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., and Baldwin, J. (2003). Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit, *Tectonophysics* 368,7–23.
8. Tsoflias, G.P., Gestel, J-P. V., Stoffa, P.L., Blankenship, D.D., Sen, M. (2004). Vertical fracture detection by exploiting the polarization properties of ground-penetrating radar signals. *Geophysics*, Vol. 69, No. 3, P. 803-810.
9. Kadioğlu, S. ve Kadioğlu, Y. K. (2006). “Yer Radarı Yöntemi ile Bir Mermer Sahasındaki Kırıkların, Sağlam ve Bozuk Alanların Belirlenmesi”, *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, Sayı 1-2, 127-135
10. Kadioğlu, S. (2008a). Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D GPR visualisation, *Journal of Applied Geophysics* 64(3), 109-114.
11. Koralay, T., Kadioğlu, S. and Kadioğlu, Y. K. (2007). A New Approximation in determination of zonation boundaries of ignimbrite by ground penetrating radar: Kayseri, Central Anatolia, Turkey, *Environmental Geology*, 52, No.7, 1387-1397.
12. Kadioğlu, S., Ulugergerli, E.U., and Daniels, J.J. (2006). 3D visualization to map cavities by GPR method: Dalaman Akkopru dam reservoir area, Mugla, Southwest Turkey. 11 th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 19-22, 2006, ColumbusOhio, USA.
13. Aspiron, U., and Aigner, T. (1999). Towards realistic aquifer models: Three dimensional georadar surveys of Quaternary gravel deltas (Singen Basin, SW Germany), *Sedimentary Geology*, 129, 281-297.
14. Changryol, K., Daniels, J. J., Guy, E., Radzevicius, S. J., and Holt, J. (2000). Residual hydrocarbons in a water-saturated medium: A detection strategy using ground penetrating radar, *Environmental Geosciences*, 7, 4, 169-176.
15. Sambuelli, L., Socco, L.V., and Brecciaroli, L. (1999). Acquisition and processing of electric, magnetic and GPR data on a Roman site (Victimulae, Salussola, Biella). *J Appl Geophys* 41:189–204.

16. Daniels, J.J. (2000). Ground penetrating radar for imaging archeological objects in the subsurface, *Proceedings of the New Millennium International Forum on Consideration of Cultural Property*, Kongju, Korea, 247-265.
17. Kadioğlu, S. (2008b). “Transparent 3D Visualisation of Ground Penetrating Radar Method”, *18th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey*, MTA Cultural Center, Ankara-TURKEY, October, 14-17
18. Kadioğlu, S., Kadioğlu, Y. K., Kadioğlu, M. (2008). Determination of Buried Roman Roads in Nysa Ancient City with Ground Penetrating Radar Method, *18th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey*, MTA Cultural Center, Ankara, TURKEY
19. Kadioğlu, S. and Daniels, J. J. (2008). 3D visualization of integrated ground penetrating radar data and EM-61 data to determine buried objects and their characteristics, *Journal of Geophysics and Engineering*, No. 5, P.448-456.
20. Kadioğlu, S. ve Kadioğlu, Y. K. (2008). Hisarönü-Zonguldak İstasyonları Arasında Bulunan 55 Nolu Tüneldeki Kaplama Kalınlığının ve Stabilite Durumunun Petrografi ve Yer radarı Yöntemi İle Araştırılması Projesi, Ankara Üniversitesi Ankara Devlet Demiryolu Varyantlar ve Yeni Yollar İnşaatları Grup Müdürlüğü, proje raporu.
21. Cardelli, E., Marrone, C., and Orlando, L. (2003). Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods, *Journal of Applied Geophysics*, 52, 93-102.
22. Hammon III, W. S., McMechan, G. A., and Zeng, X., (2000). Forensic GPR: finite-difference simulations of responses from buried human remains. *Journal of Applied Geophysics*, V. 45, 171-186.
23. Kaya, Ş. (2015). Burdur Fayının Paleosismolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
24. Bozcu, M., Yağmurlu, F., Şentürk, M. (2007). Fethiye-Burdur Fay Zonunun Bazı Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri, *GB-Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı 66, 25-48