

Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye
Proceedings of the 14 th Turkey Coal Congress, June 02-04,2004, Zonguldak, Turkey

TKİ-GELİ ESKİHİSAR OCAĞINDA ANTİK YAPILARIN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BULUNMASI

LOCATING ANCIENT STRUCTURES BY GEOPHYSICAL METHODS AT TK1-GELI ESKIHISAR OPEN PIT MINE

Ismail ERGÜDER, TKİ Genel Müdürlüğü, 06330 ANKARA
İbrahim KIZILDAĞ, Abdulkadir SUCU, Öner ÖZDEMİR, TKİ Genel Müdürlüğü,
06330 ANKARA

ÖZET

Bu bildiriye, TKİ-GELİ Yatağan Eskihsar ocağında, madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan antik mezarların devamlılığını araştırmak amacıyla yapılan jeofizik çalışmalar anlatılmıştır. Arkeolojik alanlarda jeofizik yöntemler kullanılarak, gömülü antik yapıların yerleri kısa sürede belirlenip, arkeolojik kazıya yön verilebilmektedir. Ocak sahasında rezistivite (öz direnç) ve jeoradar (yer radarı) yöntemleri uygulanarak mezar, duvar gibi antik yapıların yerleri belirlenmiştir. Daha sonra arkeologlar tarafından bu antik yapıların kazı, kurtarma ve temizlik çalışmaları yapılmıştır. Böylelikle Eskihsar ocağında bir taraftan Türkiye'nin enerji ihtiyacına önemli katkılar sağlayan kömürün üretimi sürdürülürken, diğer taraftan da insanlık tarihinin kültürel mirası olan arkeolojik değerler kazanılmıştır.

ABSTRACT

In this paper, geophysical exploration methods to examine the continuity of the ancient structures that have been discovered during the mining operations at TKI-GELI Yatağan Eskihsar open pit coal mine, has been presented. In archaeological dig sites, buried ancient structures can be located by using geophysical methods in a short time and archaeological digging sequence can be accordingly directed. In pit area, ancient structures like grave, wall etc. were located by using resistivity and ground penetrating radar methods. Afterwards, archaeologists performed digging, rescue and cleaning operations of these sites. By this way, lignite production in Eskihsar mine that has significant contributions to energy demand of Turkey has not been interrupted and on the other hand, archaeological assets that are the cultural heritage of human history have recovered.

1. GİRİŞ

Arkeolojik alanlarda da jeofizik yöntemler (elektrik-özdirenç, yer radarı, doğal potansiyel, manyetik, sismik ve gravite) kullanılarak, kazı yapılacak alanın kazı öncesi yol gösterici ve yönlendirici haritası elde edilebilmektedir. Etütler sonucunda arkeoloğlara, arama zamanından ve giderlerden kazanç sağlanarak en hızlı ve en etkili bir biçimde kazı yapma olanağı sunulabilmektedir.

Yurdumuzda arkeolojik amaçlı ilk jeofizik uygulamalar, 1960'lı yılların ortaları ve sonlarında başlamış, uzun yıllar çok az uygulaması olmuştur. Ancak 1990 yılından günümüze doğru arkeolojik yerleşimler üzerinde yoğun bir biçimde kullanılarak arkeolojik aramacılığın vazgeçilmez yöntemlerinden biri olmuştur (Drahor, 1999).

Türkiye Kömür işletmeleri (TKİ) Kurumu Genel Müdürlüğü'ne bağlı Güney Ege Linyitleri işletmesi (GELİ) Müdürlüğü'nün Muğla ili Yatağan ilçesi Eskihisar Ocağında madencilik faaliyetleri sırasında antik mezarlara rastlanılmıştır. Bu mezarların devamlılığını araştırmak amacıyla Mart 2003 ve Mayıs 2003 aylarında, mezarların yakın civarı olan 6 ayrı alanda jeofizik etütler yapılmıştır. Bu çalışmalarda arkeolojik nesnelerin aranmasında en çok kullanılan jeofizik yöntemlerden, elektrik-özdirenç yöntemi ile yer radarı yöntemi birlikte kullanılmıştır.

Çok elektrotlu otomatik rezistivite cihazı ile etüt alanı içerisinde 2-3 metre aralıklarla oluşturulan 48-72 metre uzunluklu toplam 152 adet profil (kesit) üzerinde pole-dipol elektrot dizilimi kullanılarak, 15848 adet elektrik profil ölçüsü alınmıştır. Ayrıca jeoradar cihazı ile 200 MHz ve 100 MHz'lik antenler kullanılarak kayıtlar alınmıştır.

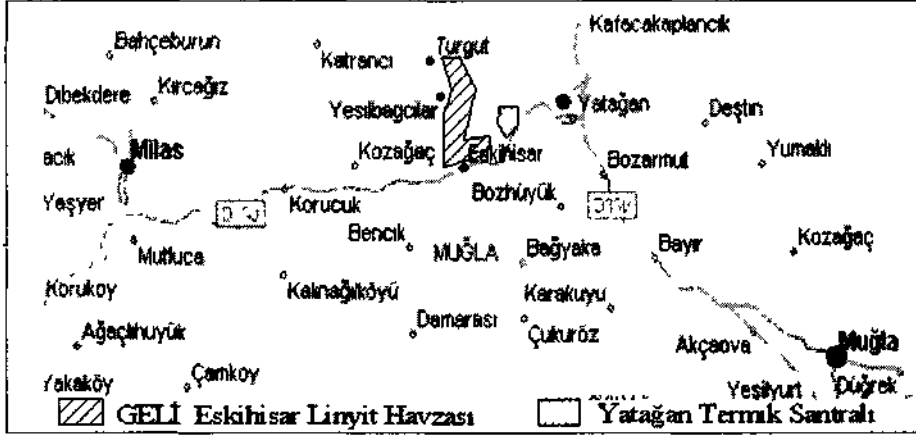
Eskihisar ocağında daha önceki arkeolojik amaçlı jeofizik çalışmalar, 1996, 1999, 2000, 2001 ve 2002 yıllarında yine TKİ jeofizik ekibi tarafından yapılmıştır.

Antik mezarların bulunduğu alanda jeofizik, arkeolojik ve madencilik çalışmaları eşgüdümlü yapılarak kömür üretimi ve buna bağlı olarak elektrik üretiminde bir aksama yaşanmamıştır.

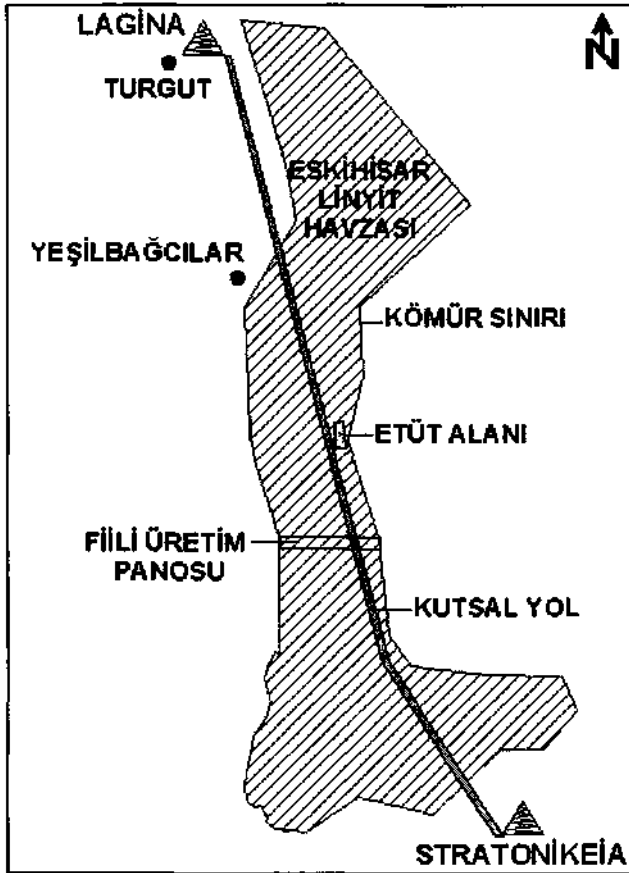
2. ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma alanı Muğla ili Yatağan ilçesi Eskihisar Köyü ile Turgut Kasabası arasında kalan TKİ-GELİ Müdürlüğü'nün Eskihisar Linyit Havzası içerisinde yer almaktadır. Yatağan ilçesine 8 km mesafededir. Yine bu bölgede, 3x210 MW gücündeki Yatağan Termik Santrali bulunmaktadır (Şekil 1). Santral bu havzadan üretilen kömürlerle beslenmektedir.

Eskihisar linyit havzası, bulunduğu coğrafi konumu itibariyle güneydoğusunda Stratonikeia Antik Kenti, kuzeybatısında ise Lagina Kutsal Tapınağı yer almaktadır. Bu iki antik kenti birleştiren 10 km uzunluğundaki Kutsal Yol'un Yeşilbağcılar Beldesine kadar olan kısmı Eskihisar ocağından geçmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Yer Buldum Haritası



Şekil 2. Eskişehir Linyit Havzası, Stratonikeia ve Lagina Antik Kentleri Vaziyet Planı

3. GENEL JEOLJİ

Etüt alanında Yatağan Formasyonu (tüfit arakatlı ve çakıtaşı yaygıları içeren, kırmızımsı kahve renkli kumtaşı) ile Sekköy Formasyonu (ince tabakalı kireçtaşı, marn ve kıltaşı araldanması, laminah marn, kompakt marn) yer almaktadır. Nebati toprak kalınlığı 0-3 metre arasında değişmektedir.

Eskihisar havzasında değişik araştırmacılar tarafından jeolojik çalışmalar yapılmış olup, Ulusay ve Yoleri'ye (1990) göre formasyonların havzadaki alttan üste doğru dizilimi şöyledir :

1. Paleozoyik yaşlı şistler,
2. Mesozoyik yaşlı mermerler,
3. Turgut Formasyonu (Kil, kum,silt),
4. Sekköy Formasyonu,
5. Yatağan Formasyonu.

Kömür Horozonu, Turgut Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir, tavanında ise Sekköy Formasyonunun kompakt marnları yer alır. Eskihisar ve yakın civarında 15-20 metre arasında değişen bir kalınlıkta olup Orta Miyosen yaşındadır. Eskihisar linyit havzasının 2004 yılı rezervi, 43.435.000 ton görünür, 874.000 ton hazır olmak üzere, toplam 44.309.000 ton dur.

Antik mezarlara, genellikle nebati toprak ve Yatağan Formasyonu ile Sekköy Formasyonunun kantağında yer alan tüfitler içerisinde rastlanılmaktadır.

4. UYGULANAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

Bu çalışmada elektrik-rezistivite (özdirenç) yöntemi ile jeoradar (yer radarı) yöntemi birlikte kullanılmıştır.

4.1 Özdirenç Yöntemi

Özdirenç, bir materyalin elektrik iletkenliğini gösteren öziletkenliğin tersidir ve birimi ohm-m dir. Özdirenç yöntemleri ; yere verilen suni bir akımın, yer altında yarattığı elektrik alanın potansiyelini ölçerek, potansiyel-akım şiddeti bağıntısından yeraltındaki katmanların özdirenç ve kalınlık değerlerinin hesaplanması prensibine dayanır.

$$\rho_a = k(AV/I) \quad [1]$$

k = Geometrik Faktör (Elektrod dizilim tekniğine göre değişir)

AV = Ölçülen potansiyel farkı (mV)

I = Yere verilen akım (mA)

ρ_a = Görünür özdirenç (ohm-m)

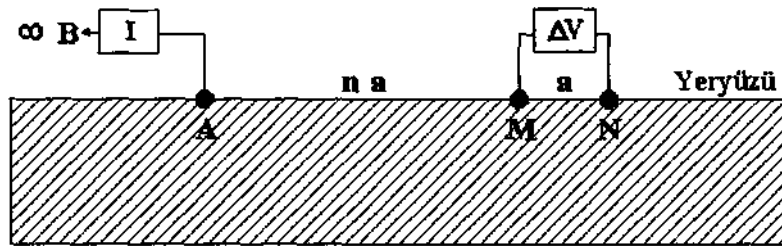
Bu yöntemle yeraltındaki kayaların özdirençlerine bağımlı olan görünür özdirenç [1] bağıntısından belirlenerek, yer içinin jeolojik yapısı elektrik (özdirenç) özelliğine göre

haritalanır. Yöntem maden, petrol, su, jeotermal, arkeolojik aramalar ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır. (Candansayar). Arkeolojik nesnelere içinde buldukları ortamdan daha yüksek öz direnç değerine sahiptir. Boşluklar, mezarlar, taş duvarlar ve tümülüs içindeki koridorlar içinde buldukları ortamdan daha yüksek öz direnç gösterirler. Arkeolojik nesnelere yüksek öz direnç değerlerine sahip olması, bunların aranmasında jeofizik öz direnç yönteminin kullanımını olanaklı kılar. (Başokur, 1999)

Bu çalışmada öz direnç-elektrik profil yöntemi pole-dipol elektrod dizilimi kullanılarak 4-5 seviye ($n= 1, 2, 3, 4$ ve 5) için yapılmıştır.

Pole-Dipol Elektrod Dizilimi

Bu dizilimde akım elektrodlarından biri, AM mesafesine göre sonsuz sayılabilecek bir mesafeye, arazinin durumuna göre profil doğrultusunda veya profile dik olacak şekilde irtibatlandırılır.



Şekil 3. Pole-Dipol Elektrod Dizilimi

Bu dizilimde geometrik faktör k , [2] bağıntısından hesaplanır.

$$k = 27 \pi n(n+1)a \quad [2]$$

A ve B Akım Elektrodları

M ve N Gerilim Elektrodları

$MN = a$

$AM = n a$

$n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

$\pi = 3.14159$

Elektrik profil ölçülerinde pole-dipol elektrod dizilimiyle 2 ile 13.5 metre arasındaki teorik derinliklere karşılık gelen seviyelerde, ölçümler yapılarak profiller boyunca öz direnç değişimleri incelenmiştir. Ölçümler, Scintrex-Saris çok elektrodlu öz direnç cihazı ve çok kanallı kablo düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan akımın değerleri 500 volt-1 amper, ölçü istasyonları arası uzaklık 2-3 metredir.

4.2 Jeoradar (Yer Radarı) Yöntemi

Yer radarı son yıllarda mühendislik ve arkeolojik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yurdumuzda da Topkapı Sarayı avlusu, Gaziantep-Zeugma, Tekirdağ-Kamaradere, Efes vb. arkeolojik kazı alanlarında ve mühendislik araştırmalarında başarı ile uygulanmıştır.

Yer radarı zaman ortamı bir elektromanyetik yöntemdir. Radar sistemi bir sinyal üreticisi, verici ve alıcı antenler ile kayıt biriminden oluşur. Bu yöntemde yer içine gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalganın bir kısmı farklı dielektrik sabitine sahip tabaka veya kütle ara yüzeylerinde yansımaya uğrar. Yansıyan bu dalgalar alıcı anten tarafından algılanır. Elektromanyetik dalganın gidiş-geliş zamanının ölçülmesi ile yeraltındaki katmanların konumu, fay, kırık ve çatlakların varlığı, yapay veya doğal gömülü oluşumların, kütlelerin ve boşlukların belirlenmesi yapılabilmektedir.

Yer radarı yöntemi Eskişehir ocağındaki arkeolojik ve tektonik amaçlı jeofizik etütlerde, özdirenç yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır. Bu çalışmalar özdirenç çalışmaları sonucunda belirlenen anomaliler üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Yer radarı çalışmalarında, PulseEKKO 100A cihazı ile 200 MHz ve 100 Mhz frekansında antenler kullanılarak kayıtlar alınmıştır. Bu kayıtlar WinEKKO bilgisayar programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

5. DEĞERLENDİRME VE YORUM

Verilerin araziden toplanıp işlenmesinden sonra değerlendirme (verilerin jeofizik, jeolojik ve arkeolojik yorumu) çalışmaları yapılmıştır. Eskişehir ocağında 6 ayrı alanda yapılan jeofizik ölçüler sonunda elde edilen özdirenç değerlerine göre tüm kesitlerin SURFER, MATLAB, iki boyutlu (2-B) ters çözüm bilgisayar programları kullanılarak Özdirenç Grafikleri, Yer-Elektrik Kesitleri, 2-B Yapma-Kesit ve Ters Çözüm Kesitleri ile etüt alanlarının Eş-Özdirenç Seviye Haritaları, 3-B Özdirenç Haritaları yapılmıştır. Özdirenç grafikleri yeraltının yanal değişimlerini belirlemek için yapılır. Her seviye (derinlik) için hesaplanan ρ (özdirenç), profil boyunca x (metre)in fonksiyonu olarak çizilir. Yer-Elektrik Kesiti ve Yapma-Kesit, kesit boyunca ölçülen derinliklere ait özdirenç değerlerinin yerlerine yazılıp konturlanması ya da bu değerlere göre renklendirilmesiyle elde edilir. Profil uzunluğunun düşey düzlemindeki özdirenç değişimini gösterirler. Bu kesitler, katmanların doğrultu ve eğimleri, cevher oluşukları, süreksizlikler, boşluk, blok, mezar vb. yeraltı yapılarının belirlenmesini sağlarlar.

2-B Ters Çözüm ise yeni bir veri işlem tekniğidir. Olası yapının konumu, derinliği ve boyutları hakkında bilgi verir. Eş-Özdirenç seviye haritaları ise çizildikleri seviye (derinlik)deki yatay özdirenç dağılımını gösterirler.

Bilgisayar ortamında yapılan tüm bu jeofizik kesit ve haritalar arkeolojik açıdan değerlendirilip yorumlanarak, antik yapıların buldukları ortam içerisindeki göstergesi olan yüksek özdirençli zonlar belirlenmiştir.

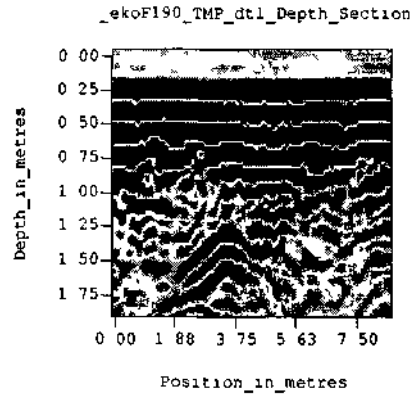
Belirlenen bu lokasyonlarda arkeologlar tarafından yapılan kazılarda ; mezar, duvar vb. antik yapılar gün ışığına çıkarılmıştır.

6. ARAZİ ÖRNEKLERİ

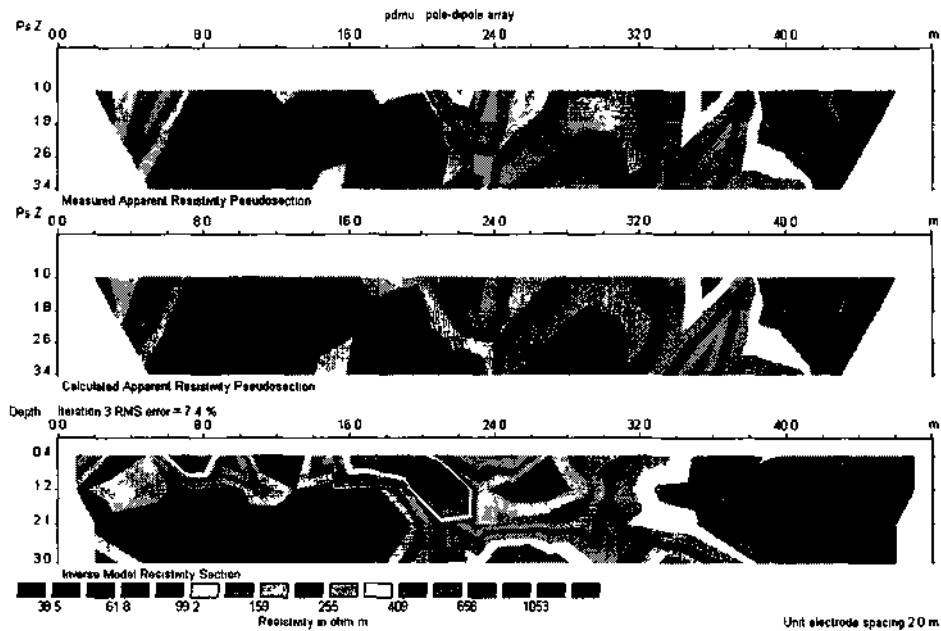
Jeofizik uygulamalara öncelikle madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan antik mezarların üzerinde test ölçüleri alınarak başlanmıştır. Daha sonra bu alanlarda antik mezarların devamlılığı araştırılmış, tespit edilen anomaliler üzerinde kazı önerilmiştir. Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan tüfitler içerisinde oyulmuş antik mezar. Şekil 4' de görülmektedir. Bu mezarın, 200 MHz'lik anten kullanılarak ölçülen yer radarı kesitinde verdiği hiperbol Şekil 4a'da, ters çözüm kesitindeki anomalisi (1050 Ohm-m, 42 nolu istasyon) Şekil 4b'de görülmektedir (Löke, 1999).



Şekil 4. Tüfitler içindeki Antik Mezar

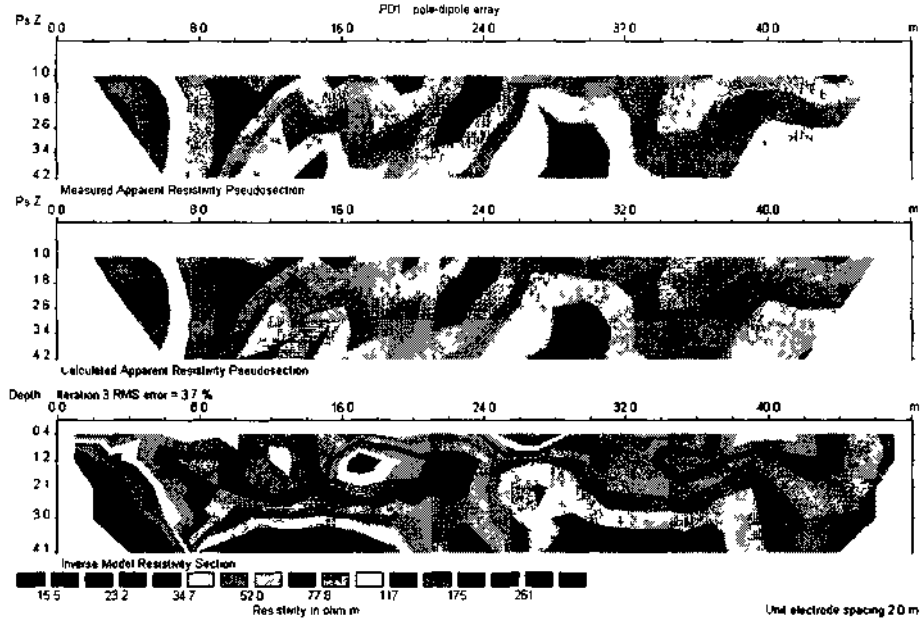


Şekil 4a. Antik Mezarın Yer Radarı Kesiti



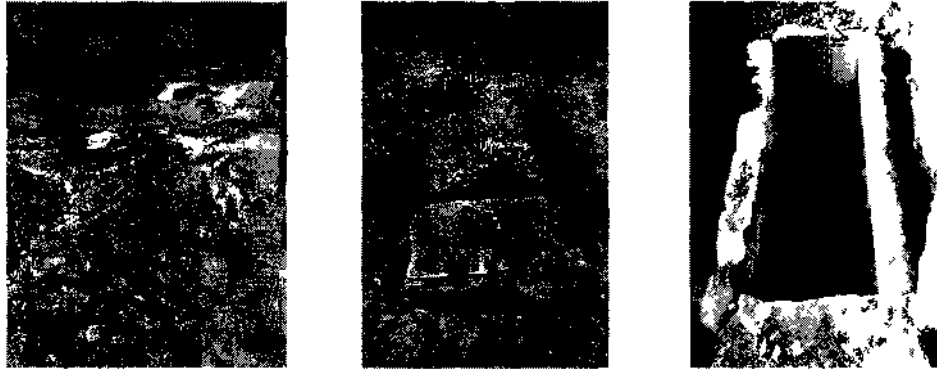
Şekil 4b. Antik Mezarın 2-B Görünür, Kuramsal ve Ters Çözüm Özdirenç Kesiti

1.Sahada ölçülen 1.Profilin Şekil 5' deki 2-B görünür, kuramsal ve ters çözüm kesitinde; ortamın öz direnci ortalama 75 ohm-m iken, 4 nolu istasyonda 250 ohm-m ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. 1.Saha profili 2-B Görünür, kuramsal ve ters çözüm öz direnç kesiti

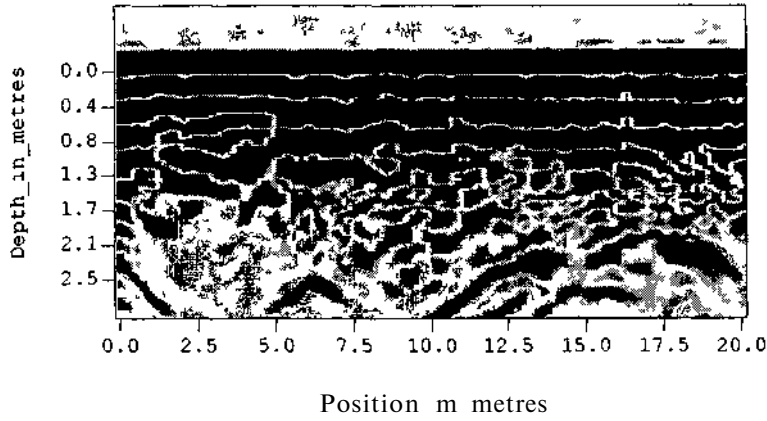
Bu lokasyonda kazı önerilmiş ve arkeologlar tarafından yapılan kazıda, 9.5 metre uzunluğunda 2 metre eninde teras duvarı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5a).



Yine bu sahada jeofizik çalışmalarla yeri tespit edilen antik mezarın, yapılan kazılar sonucunda kapak taşları ile ilk buluntu hali Şekil 6'da, kapak taşlarının kaldırılmasından sonra iskeletin yatış durumu Şekil 6a' da görülmektedir. (Tırpan ve Söğüt, 2003)

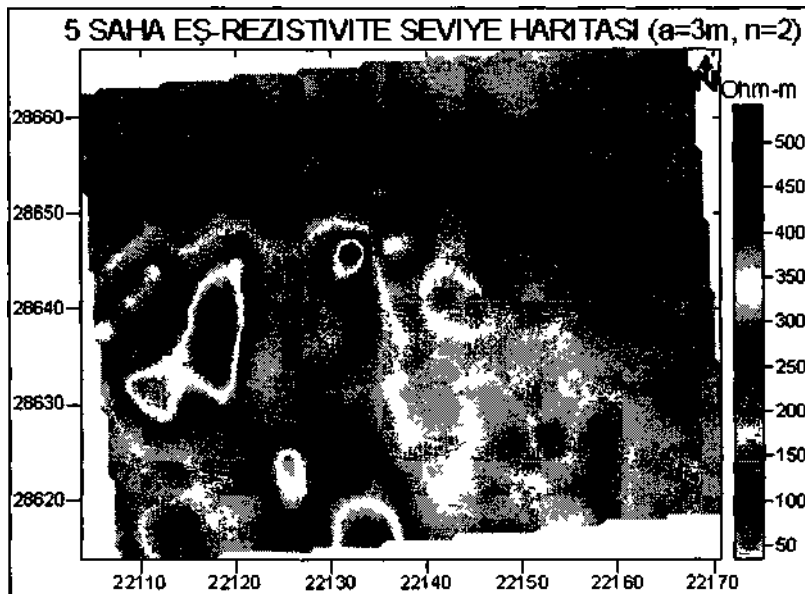
Eskihisar ocağı 5.Sahada yapılan yer ıradarı çalışmalarına örnek Şekil 7 de verilmiştir. WinEKKO programı kullanılarak yapılan derinlik kesitinde, elde edilen yansımalar görülmektedir.

ESKİHISAR OCAĞI 5.SAHA JEORADAR KESİTİ RI



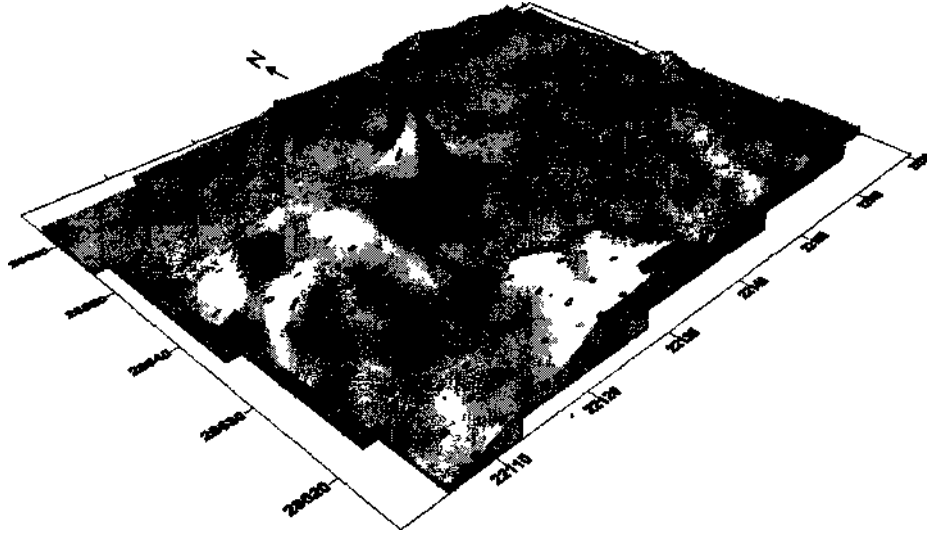
Şekil 7. Eskihisar ocağı 5. saha jeoradar kesiti (100 MHz)

Bu sahanının Surfer programı ile yapılan eş-rezistivite seviye haritasında ; olası antik yapıları işaret eden yüksek öz dirençli zonlar (500 Ohm-m) belirlenmiştir (Şekil 8).



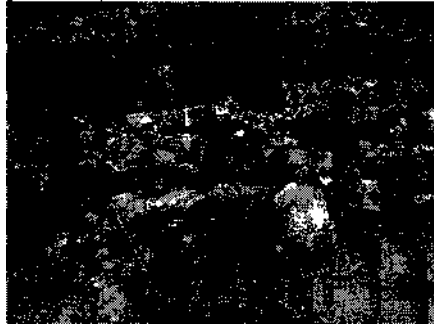
Şekil 8. 5.Saha eş-rezistivite seviye haritası

5.Sahanın özdirenç değerlerine göre 3-B haritası yapılmış ve ölçü istasyonları nokta şeklinde harita üzerine izdüşürülmüştür. Bu haritada mevcut antik mermer mezarın yeri (en büyük yükselti 600 ohm-m) ile gömülü olan diğer olası antik yapıların yerleri belirgin olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 9).

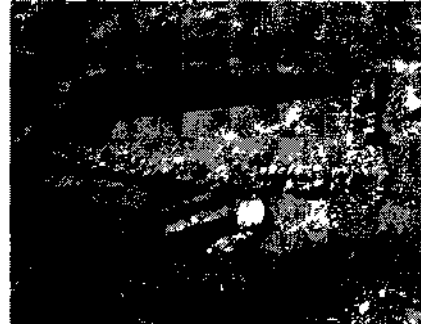


Şekil 9. Eskihisar ocağı 5. saha 3-B özdirenç haritası

Bu alanda yapılan tüm harita ve kesitler arkeolojik açıdan değerlendirilip yorumlanarak kazı yapılacak lokasyonlar belirlenmiştir. Yapılan kazılarla (Tırpan ve Söğüt, 2003) ortaya çıkarılan mezar, yapı duvarları gibi antik yapılardan bazı örnekler aşağıda verilmiştir (Şekil 10ve11).



Şekil 10. Kazı çalışmaları



Şekil 11. Antik mezar ve yapı duvarları

7. SONUÇLAR

Bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak üretilen yeni jeofizik cihazlar sayesinde, hızlı veri toplama ve yeni değerlendirme teknikleri ile yazılımlardaki gelişmeler, Eskişehir ocağındaki arkeolojik alanların kısa sürede araştırılmasını sağlamıştır.

Jeofizik etütler arkeolojik alana, gömülü antik yapılara ve çevreye hiç bir zarar verilmeden yapılmıştır.

Jeofizik ölçüler sonucunda SURFER, MATLAB, WinEKKO ve Loke'un Res2dinv SemiDemo Version programı kullanılarak, yer-elektrik kesitleri, özdirenç grafikleri, 2-B yapma-kesit, 2-B ters çözüm, 3-B rezistivite haritaları, eş-rezistivite seviye haritaları ve jeoradar kesitleri yapılmıştır. Bu harita ve kesitlerde arkeolojik nesnelerin buldukları ortam içindeki göstergesi olan yüksek özdirençli zonlar belirlenmiştir.

Saha tüm bu verilerin denetiminde analiz edilerek arkeolojik açıdan değerlendirilip yorumlanarak olası antik yapıların yerleri kısa sürede belirlenmiş, arkeologlara geleneksel kazı yöntemlerine göre daha hızlı, daha ekonomik kazı yapma olanağı sağlanmıştır. Bu alanlarda yapılan arkeolojik kazılar sonucunda mezar, teras duvarı, yapı duvarı gibi kültür varlıkları ortaya çıkarılmıştır.

Ayrıca teknik olarak jeofizik ölçü yapılamayan yerler ile arkeologlar tarafından yüzey araştırmalarına göre belirlenen yerlerde yapılan kazılarda da çok sayıda kültür varlıkları gün ışığına çıkarılmıştır.

Bulunan eserler Muğla Müzesinde, mezarlar ise GELİ Müdürlüğü'nün park sahasında idari binalar yanında düzenlenen alana taşınarak, ziyaretçilere sergilenecektir.

Arkeolojik kazılar, Lagina Kazısı Başkanlığında Selçuk ve Pamukkale Üniversitesi başta olmak üzere 7 ayrı üniversiteden gelen öğretim üyesi, öğretim görevlisi ve öğrencilerden oluşan 55 kişilik ekip ile yürütülmüştür.

Eskişehir ocağındaki arkeolojik kazılar ve jeofizik çalışmalar, arkeologlar tarafından yüzey araştırmalarına göre belirlenen potansiyel alanlarda, eşgüdümlü olarak 2007 yılına kadar devam edecektir.

TKİ Genel Müdürlüğü, Eskişehir ocağında kömür üretiminin arkeolojik değerleri de kazanarak kontrollü yapılması için konuya gereken hassasiyeti göstermiş ve 1996 yılından bu yana jeofizik etütleri yapmış, arkeolojik kazılarla ilgili de her türlü yardımını sağlamıştır.

Böylelikle Eskişehir kömür ocağında, bir taraftan Türkiye'nin enerji ihtiyacına önemli katkılar sağlayan kömürün üretimi sürdürülürken diğer taraftan da insanlık tarihinin kültürel mirası olan arkeolojik değerler kazanılmıştır.

8. KAYNAKLAR

- Başokur, A. T.** (1999) Doğru Akım Yönteminin Arkeolojik Amaçlı Kullanımı Üzerine Bir Derleme. *Workshop Arkeoloji ve Jeofizik Bildiri Özeden Kitabı*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, izmir, s.4.
- Candansayar, M.E.** () Doğru Akım Özdirenç Yöntemi. Ankara Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Drahor, M. G.** (1999) Arkeojeofizik Aramacılığın Tarihi. *Workshop Arkeoloji ve Jeofizik Bildiri Özeden Kitabı*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, izmir, s.3.
- Ergüder, İ., Kızıldağ, İ., Sucu A. ve Özdemir, Ö.**, (2003) GELİ Müdürlüğü Eskişehir Ocağı Doğu Şevi Antik Mezar Alanı Jeofizik Etüt Raporu (2), TKİ, Ankara.
- Ergüder, İ. Kızıldağ, İ. Sucu A. ve Özdemir, Ö.** (2003) *GELİ Müdürlüğü Eskişehir Ocağı Doğu Şevi Antik Mezar Alanı Jeofizik Etüt Raporu* (3), TKİ, Ankara.
- Löke, M.H.** (1999) Res2dinv SemiDemo Version. (<http://www.geoelectrical.com>).
- Tırpan, A. ve Söğüt, B.** (2003) *Yatağan-Eskişehir Ocağı Borukçu Mevkisi 2003 Yılı Çalışmaları Raporu*, Lagina Kazısı Başkanlığı, Muğla.
- Ulusay, R. ve Yoleri, M.F.** (1990) *TKI-GELİ Yatağan (Muğla) Eskişehir Açık İşletmesi Şev Stabilitesi Etüt Raporu*, MTA, Ankara.