

**ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE MANYETİK YÖNTEMLER İLE
ARKEOLOJİK YAPILARIN SAPTANMASI**

ÖZLEM ALTUNKAYNAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ISPARTA, 2005**

**T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE MANYETİK YÖNTEMLER İLE
ARKEOLOJİK YAPILARIN SAPTANMASI**

ÖZLEM ALTUNKAYNAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

ISPARTA, 2005

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. METARYAL VE METOT	6
3.1 Metaroyal	6
3.2 Elektrik Özdirenç (Rezistivite) Yöntemi	6
3.2.1 Yüzeideki Elektrik Potansiyeli ve Yer Altındaki Tabakaların Özdirenç Dağılımı Arasındaki Temel İlişki	7
3.2.2 Laplace Denkleminin Basit Çözümü	8
3.2.3 Laplace Denkleminin Silindirik Simetri ile Genel Çözümü	10
3.2.4 Çözümün Sınır Şartlarına Uyarlanması	11
3.2.5. Elektrot Açılımları	14
3.2.5.1 Wenner Elektrot Açılımı	14
3.2.5.2 Schlumberger Elektrot Açılımı	15
3.2.6 Elektrik Özdirenç (Rezistivite) Yönteminde Veri Toplama Ve Sunumu ...	16
3.2.6.1 Düşey Elektrik Sondajı (DES)	17
3.2.6.2 Profil Ölçümü	18
3.2.6.3 Sondaj profil Ölçüsü	19
3.2.6.4 Seviye (Kat) Haritaları	20
3.2.7 Elektrik Özdirenç (Rezistivite) Yönteminde Modelleme	21
3.2.7.1 Jeofizikte Düz ve Ters çözüm	21
3.3 Manyetik Yöntem	23
3.4 Jeofizik Çalışmalar	24
3.4.1 Çalışma Alanı Konumu	24
3.4.2 Tarihçe	25

3.4.3	Jeofizik Uygulamalar	26
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI	32
4.1	Kat haritaları.....	32
4.2	Profil Haritaları	39
4.3	Manyetik Harita	44
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	46
6.	KAYNAKLAR.....	47
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE MANYETİK YÖNTEMLER İLE ARKEOLOJİK YAPILARIN SAPTANMASI

Arkeolojik kazılarda, zaman ve ekonomik kazanımların yanında yanlış kazı ile tarihi buluntuların zarar görmemesi oldukça önemlidir. Yanlış yerden başlatılacak bir kazı, çalışmanın maliyetini arttıracak gibi tarihi eserlerin zarar görmesine de yol açabilir. Bu bakımdan jeofizik çalışmalar arkeolojik araştırmalara büyük ölçüde yardımcı olmaktadır.

Burdur ili Gölhisar ilçesine bağlı Yusufça kasabasının yaklaşık 4 km batısında 2003 yaz aylarında Burdur müze müdürlüğü tarafından bir kazı yapılmıştır. Bu kazı çalışmaları sonucunda MS. 3. y.y'a ait olduğu sanılan 14.1x17.60 metre boyutlarında bir kilise kalıntısı bulunmuştur. Kilise çevresi ve girişinde bu mozaiklerin devamının olup olmadığını araştırmak maksadı ile belirlenen alanda Elektrik öz direnç, Georadar ve Manyetik yöntemleri içeren bir çalışma yapılmıştır. Gömülü kalıntıların belirlenmesi amacıyla ilk olarak kilisenin kuzey istikametinde nokta ve profil aralıkları 2 m olmak üzere 4 profilde derinlik sondajı ölçümleri alınmıştır. Açılım imkansızlığı nedeniyle benzer ölçümler kilisenin batı istikametinde ancak 2 profilde alınabilmiştir. Manyetik yöntemde 5 profilde her profilde nokta arası 2.5 m olmak üzere toplam 45 noktada alınan ölçüler kayıt edilmiştir. Özel sektörden kiralanan Georadar da oluşan bir teknik arıza nedeniyle alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılamamış bu yüzden değerlendirmeye alınmamıştır. Sonuca gidilmesinde öz direnç verileri dikkate alınmış ve oldukça başarılı olmuştur. Kilisenin giriş kısmı olan batı kesiminde mozaiklerin devam edebileceği ayrıca yine batı kısmında kuzeye doğru uzanan bir yapının olabileceği bildirilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak Eylül 2004 tarihinde başlatılan kazı çalışmaları sonucunda mozaiklerin devamı, giriş duvarları ve vaftiz havuzu bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Öz direnç, Antikkent, Mozaik, Arkeojeofizik

ABSTRACT
**FOUND OF ARCHAEOLOGICAL AREAS VIA ELECTRICAL
REZİSTİVİTY AND MAGNETİC METHODS**

In archaeological excavations, it is rather important that time, economy and incorrect excavation with historical foundlings shouldn't be harmed. An excavation which starts with the wrong place not only increases the cost of the study but also can cause the historical works of art to be harmed. with the geophysical studies practised in the area, such problems can be avoided. So geophysical studies help the archaeological studies considerably in this way.

In about 4 km far west of Yusufça village in Gölhisar, Burdur, an excavation was performed by Burdur museum managment in summer 2003. As a result of these excavation studies, a remnant of church, supposed to belong to the 3rd centruy AD with 14.1x17.60 dimensions, was found. Whether there were the rest of these mosaics around the church and the entrance or not has been a topic of great interest. In the determined area, a study which included and Electrical Rezistivity, Ground Penetrating Radar and Magnetic methods was carried out. In order to determine the buried structures, firstly in the north of the church with the point and profile spaces to be taken as 2 metres, rezistivity depth sounding measurements in 4 profiles were taken. Due to the impossibility of array The same measurements only in 2 profiles were taken in the east direction of the church. in the practised Magnetic method, the measurements taken at 45 points with 2.5 m spaces along 5 profiles were recorded. The data havent been taransfered to computerized medium and so havent been evaluated because of a failure which has ocured in a georadar that has been from the private sector. While reaching to the result, the rezistivity datas to be taken into consideration and were quite efficent. It was announced that mosaics can exist in the west part which is the entrance of the church and also there can be a structure extending to the north. Therefore, as a result of an excavation, which started in september, 2004 the rest of mosaics, the walls of enterance and pool of baptism were found.

KEYWORDS: Rezistivity, Ancient City, Mosaic, Archaeogeophysics,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 0 ve 1 dereceden BESSEL Fonksiyonları (Koefoed, 1968)	9
Şekil 3.2 Wenner Elektrot Dizilimi.....	15
Şekil 3.3 Schlumberger Elektrot Dizilimi.....	16
Şekil 3.4 Schlumberger dizilimi için parçalı görünür özdirenç sondaj eğrisi.....	18
Şekil 3.5 Schlumberger dizilimi için görünür özdirenç sondaj eğrisi.....	18
Şekil 3.6 Görünür Özdirenç Profil Eğrisi.....	19
Şekil 3.7 Sondaj Profil ölçü tekniğine göre hazırlanmış görünür özdirenç yapma kesiti.....	20
Şekil 3.8 Görünür özdirenç seviye haritası	20
Şekil 3.9 Nicel yorumlamanın Basitleştirilmiş Akış Şeması (Başokur, 2002)	22
Şekil 3.10 Çalışma Alanının Konumu	25
Şekil 3.11 Elektrik özdirenç araştırmanın yapıldığı alanın görünümü	27
Şekil 3.12 Çalışma alanında elektrik profillerin plan görünümü	28
Şekil 3.13 Kuyu içi jeolojik ardalama.....	29
Şekil 3.14 Kuyu başı görünür özdirenç değerleri ve logaritmik ifadesi	30
Şekil 3.15 Çalışma alanında manyetik profillerin görünümü	31
Şekil 4.1 $AB/2 = 1$ metre için seviye haritası	33
Şekil 4.2 $AB/2 = 1.5$ metre için seviye haritası	33
Şekil 4.3 $AB/2 = 2$ metre için seviye haritası	34
Şekil 4.4 $AB/2 = 2.5$ metre için seviye haritası	34
Şekil 4.5 $AB/2 = 3$ metre için seviye haritası	35
Şekil 4.6 $AB/2 = 3.5$ metre için seviye haritası	35
Şekil 4.7 $AB/2 = 4$ metre için seviye haritası.....	36
Şekil 4.8 $AB/2 = 5$ metre için seviye haritası	36
Şekil 4.9 $AB/2 = 6$ metre için seviye haritası	37
Şekil 4.10 $AB/2 = 7$ metre için seviye haritası	37
Şekil 4.11 $AB/2 = 8$ metre için seviye haritası	38
Şekil 4.12 $AB/2 = 9$ metre için seviye haritası	38
Şekil 4.13 $AB/2 = 10$ metre için seviye haritası	39
Şekil 4.14 Doğu Batı profil haritası-1	40

Şekil 4.15 Doğu Batı profil haritası-2	41
Şekil 4.16 Doğu Batı profil haritası-3	41
Şekil 4.17 Doğu Batı profil haritası-4	42
Şekil 4.18 Kuzey Güney profil haritası-5	43
Şekil 4.19 Kuzey Güney profil haritası-6	44
Şekil 4.20 Manyetik anomali haritası.....	45

SİMGELER DİZİNİ

V	: Potansiyel
z	: Düşey eksen
r	: Bir P noktasının akım kaynağından geçen düşey eksene olan uzaklık
θ	: P noktasıyla dikey ekseni birleştiren doğru ile yatay koordinat ekseni arasındaki açı
U	: Uzaklığa bağlı bir fonksiyon
W	: Derinliğe bağlı bir fonksiyon
J_0	: Sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonu
J_1	: Birinci dereceden Bessel fonksiyonu
λ	: Değişken.
C	: Sabit
ρ	: Özdirenç
V_0	: Homojen yarı sonsuz ortam potansiyeli
V_1	: Tabakalı ortam potansiyeli
$K(\lambda, k, d)$: Kernel fonksiyonu
ΔV	: Gerilim elektrotları arasındaki gerilim farkı
I	: Akım
K	: Geometrik faktör
$\varphi(\lambda)$: Laplace denkleminin çözümünü, sınır düzlemlerinde doğrulayan şartlara uygulamayı mümkün kılan fonksiyon
$\psi(\lambda)$: Laplace denkleminin çözümünü, sınır düzlemlerinde doğrulayan şartlara uygulamayı mümkün kılan fonksiyon

1- GİRİŞ

Arkeoloji bilimi temelde, eski uygarlıkların yaşam tarzlarının, kültürel etkinliklerinin ve teknolojik faaliyetlerinin araştırılmasını hedefler. Bu bilim, geçmişte insanoğlunun bıraktığı her nesneden geriye kalanları araştırarak geçmişten bugüne geliş sürecine ışık tutar. “Arkeolojinin ilgilendiği zaman dilimi üç milyon yıl öncesine dayanır. Bu zaman dilimi içinde sadece son 5000 yıllık dönem yazılı kaynaklar içerir (Groiler Incorporated, 1993). Yazının icadından önceki dönem tarihçiler tarafından “prehistorya” olarak adlandırılır. Bu dönem hakkında yalnızca insanın kullandığı aletler ve yaşadığı ortamlardan geriye kalanlar sayesinde bilgi edinilmektedir. Dolayısıyla insanlık tarihinin bu dönemine ait bilgiye arkeoloji bilimi ile ulaşılmaktadır” (Öztürk, 2004 s.1).

Arkeolojik kazı çalışmalarında zaman, ekonomi ve yanlış kazı ile tarihi buluntuların zarar görmemesi oldukça önemlidir. Arkeolojik alanlarda yanlış yerden başlatılacak bir kazı, çalışmanın maliyetinin artmasına ve tarihi eserlerin zarar görmesine sebep olabilir. Bu durumun önlenmesinde jeofiziğin önemli katkıları olmuştur. Son yıllarda ülkemizde de yapılan arkeolojik araştırmalarda jeofizik yöntemler daha yoğun bir şekilde uygulanmaktadır. Kutuplanma, çekim gücü, iletkenlik, elektro manyetik dalga yayılımı gibi fiziksel özelliklere dayanan jeofizik yöntemler son yıllarda kazı çalışmalarına büyük ölçüde yardımcı olmaktadır. Bu tür jeofizik çalışmalarla zaman, para ve emek tasarrufu yanında, boyutları değişebilen gömülü arkeolojik eserlerin (Duvar, sur, heykel, sütun, kil ve sanat atölyeleri, kil fırınları, herhangi bir arkeolojik yapının taban ve tavan seviyesi, klasik mezarlar, tümülüsler, höyükler v.b.) boyutları, konumları ve hatta türleri üç boyutlu bir şekilde tespit edilebilmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Jeofizik çalışmalarda hep metrelerle ifade edilen yapı farklılıklarının araştırılması ile ilgilenilmiştir. 1x1 cm² yüzeye ve yaklaşık 1 cm kalınlığa sahip kayaç parçacıklarının yan yana getirilip birbirlerine tutturularak üzerinin sırlanmasından oluşmuş oldukça ince bir yapının jeofizik yöntemle saptanıp saptanmayacağı ilginç olabilir diye

düşünüldü. Taban kayacı kireçtaşı olan mozaiklerin çok ince olmasına karşılık üzerindeki sır nedeniyle elektrik akımı ve elektro manyetik dalgaya karşı tam bir yalıtkan ve sismik dalgalara karşı iyi bir yansıtıcı olabileceği düşünülmüştür. Bu maksatla elektrik özdirenç ve georadar yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmanın planlanması esnasında sismik çalışmada düşünüldü. Ancak yapının etrafındaki duvar ve muhtemel ara bölmelerin sebep olacağı bozucu (difraksiyon gibi) etkileri yok edecek veri işlem yazılımlarının elimizde olmayışı ve legal olarak temin etme olanağımızın da bulunmaması nedeniyle sismik yansıma uygulamasından vazgeçilmiştir.

Çevrede bulunan bol miktardaki kiremit paçaları nedeni ile ek olarak manyetik yöntem uygulanmıştır. Böylece kiliseden başka yapı ve varsa konumu saptanabilmesi amaçlanmıştır.

2-KAYNAK ÖZETLERİ

Jeofizik yöntemlerin arkeolojik alanlara uygulanmasına “Arkeojeofizik” denir. Bu çalışmaların ilk kez 1940’larda A.B.D’de yapıldığı bilinmektedir. Bunu 1946 yıllarında Atkinson’un İngiltere’de öz direnç uygulaması ve 1957’de J.C. Belshe’in taşınabilir proton manyetometresiyle yaptığı manyetik çalışmalar takip etmiştir. Her iki çalışmada, türünün ilkleridir. 1970’li yıllarda yer radarı ölçümleri arkeolojik araştırma yöntemleri arasına katılmıştır (Drahor, 1991).

Bilgisayar teknolojisindeki ve ölçüm aletlerindeki hızlı gelişim, jeofizik yöntemleri arkeolojik çalışmaların vazgeçilmez ön çalışması haline getirmiştir. Buna ait bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Üst Mısır Sohag eyaleti Balyana kasabasının güney batısında Abydos adıyla bilinen ünlü bir arkeolojik alanda 1992 yılında çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda krallar ve yüksek mevkili saray halkından kalan gömülü kalıntılar, eski mısır zamanını tanıtan en önemli yapılarıdır. Bu bölgede Sığ jeofizik tekniklerin, arkeolojik özellikli kalıntıların belirlenmesinde en hızlı ve en güvenilir yöntem olduğu düşünülerek uygulanmıştır. Abydos alanının kazı yapılmamış üç bölgesinde twin probe dizilimi uygulanmıştır. Bu dizilim arkeolojik çalışmalar için özel olarak geliştirilmiştir. Burada bir akım ve potansiyel elektrot çifti sabit iken, diğer akım ve potansiyel elektrot çifti hat üzerinde hareket eder. Bu teknik ile kum, kil ve siltle tamamen örtülü yapılar, tuğla duvarlar ve değerli yapılar gibi farklı fiziksel özellikli kalıntıların sebep olduğu farklı öz direnç değerleri harita üzerinde gösterilmiştir. Abydos bölgesindeki Umm El-Qaab, Shunet El-Zebib ve Kom El-Sultan alanlarında gömülü mezarlar, duvarlar ve molozların verdiği yüksek öz direnç değerleri üç boyutlu olarak haritada gösterilmiştir. Bu sonuçlar, kazı çalışmalarının programlanmasında yol gösterici olmuştur (El-Gamalı vd.,1999).

Jordan nehrinin doğusunda Al-Kharrar vadisinde Tall Al-Kharrar arkeolojik alanında 2001 yılında manyetik ve öz direnç çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışmada gömülü yapıların haritalanması, insan yapımı nesnelere yerlerinin belirlenmesi ve bu sayede

araştırmanın maliyetinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu bölgede toplam manyetik alan ve pole-dipol öz direnç ölçümleri alınmıştır. Manyetik ölçüler G-856 taşınabilir proton manyetometresi ile toplanmıştır. Manyetometre duyarlılığı 1 nT dir. Grid aralıkları 1 m ve nokta arası 2 m olarak beş lokasyon da toplam 6000 ölçü alınmıştır. Pole dipol elektrot açılımında iki akım ve iki potansiyel elektrotu lineer olarak dizilmiştir. Bir akım elektrotu sonsuz uzaklığa yerleştirilmiştir. Potansiyel elektrotları arası mesafe 1 metredir. Bu arkeolojik alanda gömülü yapıların belirlenmesi için yürütülen manyetik ve öz direnç çalışmalarının çok başarılı olduğu görülmüştür. Yüksek görünür öz direnç değerleri ve manyetik değerler görüntülenerek duvarlar, taban yapı, mozaik duvarlar, demirden yapılmış eşyalar, kanallar ve bir kilise sahası ortaya çıkarılmıştır (Batayneh vd., 2001).

Sharkiya eyaleti, Abu Kebir in güneyinde Tell-Toukh El-Qaramousta arkeolojik alanları belirlemek için 2003 yılında manyetik düşey gradient ve elektrik öz direnç çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak mısırın doğu girişinde öncü kuvvetler için MÖ 323-30 döneminde inşa edilmiş askeri kalenin jeofizik yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. 50 x 100 m² lik alanda 0.5 m aralıklarla manyetik gradient ve 2 m grid aralıkları ile öz direnç ölçümleri wenner dizilimi kullanılarak alınmıştır. Elde edilen ölçümlere gerekli veri işlem teknikleri uygulandıktan sonra farklı derinliklerde değişen manyetik verileri ve yüksek öz direnç değerlerini gösteren haritalar oluşturulmuştur. Sonuçta bu bölgede kumdan inşa edilmiş bir arkeolojik yapı belirlenmiştir. Ayrıca tuğlalardan yapılmış tarihi duvarların bir bölümü ve insan eliyle yapılmış bazı arkeolojik kalıntıların yerleri saptanmıştır (Ghazala vd., 2003).

Ülkemizde arkeolojide jeofizik yöntemlerin uygulanması 1960'larda başlar ilk olarak Nemrut ve Giges dağ tümülüslerinde ve Keban Projesi'nde araştırmalar yapılmıştır. Tepecik, Norşun höyükleri ve Ağın kalesi öz direnç yöntemiyle araştırılmıştır. 1970'lerde Hattuşaş ve Demirci höyük, araştırmaları dünyada höyük türünde araştırılan ilk alanların arasına girmişlerdir. Türk araştırmacılar tarafından yapılan ilk araştırmalar, genellikle kazılmış tümülüslerde yapılmıştır (Drahor, 1998). 1995 yılında Kocaeli Üçtepel Köyü bölgesinde Roma dönemine ait olduğu tahmin

edilen büyük tümülüste elektrik özdirenç profil çalışması uygulanmıştır. Bu çalışmada amaç tümülüste bulunan mezar yerinin ve doğrultusunun saptanmasıdır. araştırma öncesi yapılan gözlemlerden yapının üç boyutlu olduğu ve çevresine göre yüksek özdirençli olduğu varsayılmıştır. Elde edilen jeofizik veriler değerlendirilerek Kocaeli Üçtepeler Köyü içerisinde yer alan tümülüs içinde mezar yeri ve giriş kısmının konumu saptanmıştır. Böylece gereksiz kazılardan kaçınılmıştır. Kazı çalışmalarında ulaşılan sonuçta jeofizik verilerin doğruluğu kanıtlanmıştır (Erdoğan vd., 1995).

İstanbul ili, Eminönü ilçesi, Sultanahmet semti alanında Osmanlı döneminde Sokullu Mehmet Paşa sarayı arazisi altında Doğu Roma Büyük İmparatorluğu'ndan kalma Büyük İmparatorluk Sarayının araştırılması amacıyla 1998 yılında jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanında yapay kaynaklı sinyal alışverişine dayanan elektrik özdirenç ve sismik ile doğal kaynaklı sinyal algısına dayanan polarizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Elektrik özdirenç yöntemi, 19 noktada elektrik sondaj, 126 noktada elektrik kaydırma ve 312 noktada elektrik haritalama olmak üzere üç türde uygulanmıştır. Sismik çalışma sismik kırılma, sismik yansıma, sismik kaydırma olmak üzere üç türlü uygulanmıştır. Doğal uçlaşma yöntemi ise yığma ve türev biçiminde uygulanmıştır. Her yöntemden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek sonuca gidilmiştir. Belirli noktalarda yüksek özdirençli, yüksek sismik hızlı ve 90 derece polarizasyon açılı süreksizliğin eski yapı kalıntıları malzemesi taşıyan moloz yığını olduğu tespiti yapılmıştır (Ercan vd., 1998).

3-MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Yer altında mevcut yapıları fiziksel özelliklerindeki değişimlerden yararlanarak saptamaya dayanan doğal ve yapay kaynaklı jeofizik yöntemler uygulanmıştır. Çalışma alanında doğal kaynaklı manyetik yöntem ile yapay kaynaklı sinyal alışverişine dayanan elektrik yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan öz direnç ölçüm aleti alıcı ve verici olarak iki parçalı RVA-1'dir. Güç kaynağı olarak 12V akü kullanılmıştır. Akım elektrotları kutuplanmayan paslanmaz çelik alaşımli özelliktedir. Potansiyel elektrotları ise polarize olmayan porselen fincanlardan oluşmuştur. Bu çalışmada yer manyetik alanının toplam bileşenini ölçen G-856 taşınabilir proton manyetometresi kullanılmıştır. Aletin duyarlılığı 1 gamma dır.

Arazi çalışmalarında elde edilen verilerin görüntülenmesi ve değerlendirilmesi aşamasında haritalama ve IPI2Win bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Düşey elektrik sondaj ölçümleri kuzey-güney doğrultusunda iki profilde, doğu-batı doğrultusunda dört profilde alınmıştır.

3.2 Elektrik Öz direnç (Rezistivite) Yöntemi

Yeraltındaki yapıların elektriksel özelliklerinin farklı olmasından yararlanarak, yüzeyden iki ayrı noktadan bir çift elektrot ile yer içine gönderilen akımın diğer iki elektrotta meydana getireceği potansiyel farkın ölçülmesi ilkesine dayanan yapay kaynaklı bir yöntemdir. Ölçülen bu potansiyel farklardan yararlanarak yeraltı yapısı ortaya çıkarılabilir. Aletlerin ekonomik olması gibi nedenlerden kullanımı oldukça yaygındır.

Yöntem ilk kez "Conrad Schlumberger" tarafından uygulanmış olup, 1920'lerden beri bilinmektedir. Bilgi ve deneyim birikiminin fazla olması, arazide rahatça uygulanabilir olması uygulamada tercih sebebidir.

Yer altının homojen olması halinde yani yapı ve doku bakımından aynı özellikleri göstermesi durumunda yüzeyde bir noktadan yere verilen akımın meydana getireceği potansiyel, Ohm kanunundan yararlanarak kolayca hesaplanabilir. Ancak yer altı kimyasal, fiziksel, bileşimleri farklı litolojilerden meydana gelen tabakalı bir yapı gösterir. Bu tür heterojen yapıya sahip yerlerde yere verilen akımın yeryüzünde herhangi bir noktada meydana getireceği potansiyeli analitik olarak hesaplamak oldukça karmaşık işlemler gerektirir bunun için çok değişik yollar olmakla beraber elektrik imaj ve Laplace denkleminin sınır şartlarına göre çözümü en yaygın olanlarıdır. Elektrik imaj yöntemi iki ve üç tabakalı ortamların modellenmesinde çok başarılı olmasına karşılık tabaka sayısı arttıkça yöntem içinden çıkılmaz bir hal alır (Kara, 1977).

3.2.1 Yüzeydeki Elektrik Potansiyeli İle Yeraltındaki Yatay Tabakaların Özdirenç Dağılımı Arasındaki Temel İlişki

Yer elektrik özdirenç metodunda, yer altındaki tabakalı yapı ve elektriksel anizotropiden kaynaklanan özdirenç dağılımı, yüzeydeki potansiyel dağılımdan yararlanarak saptanır. Bu potansiyeli bulmak için aşağıda verilen sınır şartlarını sağlayan potansiyel alanının aranması gerekir. Bu şartlardan ilkinde özdirence sahip tabakaların her birinde potansiyel alan aşağıda verilen Laplace denklemini sağlamalıdır.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (3.2.1)$$

İkinci şart ise özdirence sahip tabakalar arasındaki sınır düzlemlerinin her birinde ve yüzeyde potansiyel aşağıda maddeler halinde verilen belirli sınır şartlarını doğrulamalıdır.

1. Potansiyel yer içindeki her sınır düzlemi boyunca devamlı olmalıdır.
2. Akım yoğunluğunun düşey bileşeni sınır düzlemi boyunca devamlı olmalıdır.
3. Havada akım yoğunluğu sıfır olduğundan akım yoğunluğunun düşey bileşeni yer yüzünde sıfır olmalıdır.

4. Potansiyel sonsuzda sifira yaklaşmalıdır (Başokur, 1984).

3.2.2 Laplace Denkleminin Basit Çözümü

Yatay tabakalardan oluşmuş bir yer altı modelinde Potansiyel alan, akım kaynağından geçen düşey eksene göre simetrik olmalıdır. Bu elektrik alanın yatay düzlemde dairesel, üç boyutlu uzayda ise silindirik gösterilmesi demektir. Bu nedenle Laplace denkleminin silindirik koordinatlarda yazılması uygundur. Buna göre Laplace denkleminin silindirik koordinatlarda ifadesi;

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} = 0 \quad (3.2.2)$$

Şekindedir (Dizioğlu ve Keçeli 1981 s.37). Bu denklemde, Z düşey eksen olup aşağıya doğru pozitif alınmıştır. Herhangi bir P noktasının akım kaynağından geçen düşey eksene olan uzaklığı r ve θ ise bu P noktasıyla dikey eksen birleştiren doğru ile yatay koordinat eksen arasındaki açıdır.

Silindirik simetri nedeni ile potansiyel, düşey eksene göre simetrik olduğundan potansiyel θ 'dan bağımsızdır. Bu durumda yukarıdaki (3.2.2) denklemi yeniden yazılarak

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (3.2.3)$$

Elde edilir. Bu diferansiyel denklemi sadece r ve z'ye bağlı iki fonksiyonun çarpımı şeklinde, aşağıdaki gibi basit bir çözüm içerdiği

$$V(r, z) = U(r) \cdot W(z) \quad (3.2.4)$$

Varsayılarak çözülebilir. Denklem (3.2.4) yukarıdaki (3.2.3) bağıntısında yerine konursa;

$$\frac{\partial^2 (U \cdot W)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial (U \cdot W)}{\partial r} + \frac{\partial^2 (U \cdot W)}{\partial z^2} = 0 \quad (3.2.5)$$

Elde edilir.

Çarpımın türevinden

$$W \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + U \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} + \frac{W}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{U}{r} \frac{\partial W}{\partial z} = -W \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \cdot U \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \quad (3.2.6)$$

Elde edilir. Burada U sadece uzaklığın, W ise yalnız derinliğin bir fonksiyonudur ve U.W sadeleştrimesi ile

$$\frac{1}{U} \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{Ur} \frac{\partial U}{\partial r} = -\frac{1}{W} \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \quad (3.2.7)$$

Elde edilir. Denklem (3.2.7) yeni bir değişken (λ) atamak suretiyle iki basit diferansiyel denkleme ayrılabilir.

$$\frac{1}{W} \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \lambda^2$$

veya

$$\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \lambda^2 W \quad (3.2.8)$$

Denklem (3.2.8)'in iki çözüümü vardır. Bunlar;

$$W = Ce^{-\lambda z}$$

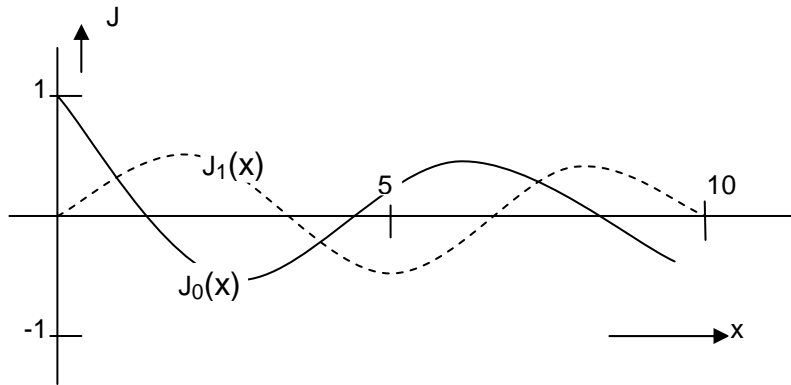
ve

$$W = Ce^{+\lambda z}$$

(3.2.9)

İle verilir. Bu ifadelerde C herhangi bir sabittir.

Denklem (3.2.9) un çözüümü elementer fonksiyonlar olarak ifade edilmez. Bu tip bir diferansiyel denklem bizi yeni bir sınıf fonksiyon olan BESSEL fonksiyonuna götürür. Yani denklemin çözüümü silindirik simetri nedeni ile özellikleri aşağıda belirtilen sıfıncı ($J_0(\lambda r)$) ve birinci dereceden ($J_1(\lambda r)$) Bessel fonksiyonlarını içerir.



Şekil 3.1 0 ve 1 Dereceden BESSEL Fonksiyonları (Koefoed, 1968).

Burada J_0 ile gösterilen sıfırıncı dereceden BESSEL fonksiyonu ve J_1 ile gösterilen birinci dereceden BESSEL fonksiyonlarıdır (Şekil 3.1). Burada, $r \rightarrow 0$ giderken $J_1(\lambda r) \rightarrow \infty$ gider. Ancak bu davranış z eksenini boyunca bütün noktalar için geçerli olmayacağından $J_1(\lambda r)$ içeren denklemin çözümlerindeki bütün terimler sıfır katsayısına sahip olmalıdır (Dizioğlu ve Keçeli, 1981, s.38). Bunun sonucu olarak, Laplace denklemi iki çözüme sahip olacaktır. Bunlar;

$$V = C J_0(\lambda r) e^{-\lambda z}$$

ve

$$V = C J_0(\lambda r) e^{+\lambda z} \quad (3.2.10)$$

İle verilir. Burada λ değişken, C ise sabittir.

3.2.3 Laplace Denkleminin Silindirik Simetriyle Genel Çözümü

Denklem (3.2.10)'un da C ve λ herhangi bir değer alabilir. Bu yüzden Bessel diferansiyel denklemin en genel çözümü;

$$V_1' = \int_0^\infty \{ \varphi(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + \psi(\lambda) j_0(\lambda r) e^{+\lambda z} \} d\lambda \quad (3.2.11)$$

İle verilir (Koefed, 1968). Burada Bessel diferansiyel denklemi çözüldükten her zaman basit fonksiyonlarla ifade edilemez bu yüzden çözüm integral ile verilir. Bu denklemde verilen Laplace denkleminin çözümünü, sınır düzlemlerinde doğrulayan şartlara uygulamayı mümkün kılan $\varphi(\lambda)$ ve $\psi(\lambda)$ fonksiyonlarının seçimi serbesttir (Dizioğlu ve Keçeli, 1981, s.39).

Denklem (3.2.11)'in sınır şartlarına uyarlanması izleyen bölümde verilecektir. Ancak, bundan önce denklem (3.2.11)'e ufak bir değişiklik uygulanacaktır. Bu ise, alt yüzeyin elektriksel olarak homojen olması halinde ortaya çıkacak potansiyel alanının ayrı bir etki olarak potansiyel alana eklenmesidir.

Özdirenci ρ_1 olan homojen bir arz yüzeyinde bir nokta akım kaynağının kendisinden R kadar uzakta meydana getirdiği potansiyel;

$$V_0 = \frac{\rho_1 I}{2\pi R} = \frac{\rho_1 I}{2\pi\sqrt{r^2 + z^2}} \quad (3.2.12)$$

İle verilir. Burada I kaynaktan yayılan elektrik akımının şiddetidir, $1/R$ ise Bessel fonksiyonlarının teorisinde geçerli Weber–Lipschitz integrali olarak bilinen aşağıdaki

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \int_0^\infty e^{-\lambda z} j_0(\lambda r) d\lambda \quad (3.2.13)$$

İfadeyle gösterilir. Yukarıda verilen (3.2.12) ve (3.2.13) denklemlerinden yararlanarak homojen arz için potansiyel ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$V_0 = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \int_0^\infty j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} d\lambda \quad (3.2.14)$$

Yazılabilir. Şimdi λ 'nin aşağıdaki denklemlerle belirlenen

$$\phi(\lambda) = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \{1 + K(\lambda)\}$$

ve (3.2.15)

$$\psi(\lambda) = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \chi(\lambda)$$

Yeni fonksiyonları $K(\lambda)$ ve $\chi(\lambda)$ tanımlanabilir. Bunlar (3.2.11) denkleminde yerlerine konulursa;

$$V = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \int_0^\infty \{j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + K(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + \chi(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda z}\} d\lambda \quad (3.2.16)$$

Tabakalı ortam yüzeyindeki nokta kaynak potansiyeli elde edilir (Koefoed, 1968). Bu potansiyel, Denklemin ilk terimini oluşturan ve homojen yarı sonsuz ortam potansiyeli (V_0) ile denklemin ikinci ve üçüncü terimlerini oluşturan tabakalı ortam potansiyeli (V^1)'nin toplamından oluştuğu görülür.

3.2.4 Çözümün Sınır Şartlarına Uyarlanması

Yatay katmanlardan oluşan bir yer altı modelinde daha önce maddeler halinde verilen sınır şartları (Bölüm 3.2.1) doğrulanmalıdır. Buna göre;

1- Birbirini takip eden her tabaka çifti arasındaki sınır düzleminde potansiyel sürekli

olmalıdır. Bu koşula göre h_n derinliğinde n . İnci ve $n+1$. İnci tabakalar arasındaki ara yüzeylerde potansiyel birbirine eşit yani,

$$V_n = V_{n+1}$$

Olmalıdır. Bu durumda (3.2.16) denklemi

$$V_n = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \int_0^\infty \{j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + K_n(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + \chi_n(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda z}\} d\lambda \quad (3.2.17)$$

$$V_{n+1} = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \int_0^\infty \{j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + K_{n+1}(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + \chi_{n+1}(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda z}\} d\lambda$$

Şeklinde yazılabilir. Bu denklemler eşitlenerek

$$\int_0^\infty \{j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} + K_n(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} + \chi_n(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda h_n}\} d\lambda = \int_0^\infty \{j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} + K_{n+1}(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} + \chi_{n+1}(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda h_n}\} d\lambda \quad (3.2.18)$$

Denklemleri elde edilir.

(3.2.18) denklemleri her r değeri için doğrulanabildiği göz önüne alınarak eşitlenirse

$$K_n(\lambda) e^{-\lambda h_n} + \chi_n(\lambda) e^{\lambda h_n} - K_{n+1}(\lambda) e^{-\lambda h_n} - \chi_{n+1}(\lambda) e^{\lambda h_n} = 0 \quad (3.2.19)$$

Denklemleri elde edilir.

2- Tabaka sınırlarında akım yoğunluğunun düşey bileşeni sürekli olmalıdır. Bu durumda h_n derinliğinde n . İnci ve $n+1$. İnci tabakalarda akım yoğunluğu eşit olmalıdır. Buna göre;

$$\frac{1}{\rho_n} \frac{\partial V_n}{\partial z} = \frac{1}{\rho_{n+1}} \frac{\partial V_{n+1}}{\partial z} \quad (3.2.20)$$

Bağıntısı elde edilir.

Şayet denklem (3.2.17)'nin Z' ye göre diferansiyelini alır ve elde edilen ifadeleri denklem (3.2.20)'de yerine konursa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\int_0^\infty \{-\lambda j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} - \lambda K_n(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} + \lambda \chi_n(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda h_n}\} d\lambda$$

(3.2.21)

$$= \int_0^{\infty} \frac{\rho_n}{\rho_{n+1}} \left\{ -\lambda j_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} - \lambda K_{n+1}(\lambda) J_0(\lambda r) e^{-\lambda h_n} + \lambda \chi_{n+1}(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda h_n} \right\} d\lambda$$

Yine denklem (3.2.21) sadece r 'nin bütün değerleri için doğrulanabilir. Eğer iki denklem üyesinin alınan integrali birbirine eşitlenirse

$$-K_n(\lambda) e^{-\lambda h_n} + \chi_n(\lambda) e^{\lambda h_n} + K_{n+1}(\lambda) \frac{\rho_n}{\rho_{n+1}} e^{-\lambda h_n} - \chi_{n+1}(\lambda) \frac{\rho_n}{\rho_{n+1}} e^{\lambda h_n} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_{n+1}}\right) e^{-\lambda h_n}$$

(3.2.22)

Elde edilir.

3- Havada akım yoğunluğu sıfır olduğundan yeryüzünde akım yoğunluğunun düşey

bileşeni sıfır olmalıdır. Yani, $\frac{\partial V}{\partial z} = 0$ olmalıdır. Buna göre $z = 0$ için;

$$\int_0^{\infty} \left\{ -\lambda j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} - \lambda K_1(\lambda) j_0(\lambda r) e^{-\lambda z} + \lambda \chi_1(\lambda) J_0(\lambda r) e^{\lambda z} \right\} d\lambda = 0 \quad (3.2.23)$$

Elde edilir.

(3.2.23) integral denkleminin ilk terimi öz direnç bakımından homojen bir yer modeline aittir. Bu alanın dikey bileşeni yüzeydeki her noktada sıfırdır. Dolayısıyla integraldeki ilk terimi sıfır olur. Bu durumda integralin kalan kısmı, sadece r 'nin bütün değerleri için sıfır olabilir. Bu da aşağıdaki denklemi verir.

$$K_1(\lambda) - \chi_1(\lambda) = 0 \quad (3.2.24)$$

Bu denklemden yararlanarak yeryüzündeki nokta kaynak potansiyeli şu şekilde yazılabilir.

$$V(r,0) = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r} + 2 \int_0^{\infty} K_1(\lambda, k, d) \cdot J_0(\lambda r) \cdot d\lambda \right\} \quad (3.2.25)$$

Burada;

λ = İntegrasyon değişkeni olup boyutu mesafenin tersidir.

$K(\lambda, k, d)$ = Kernel fonksiyonu olup tabakaların, öz direnç, kalınlık ve yansıma faktörlerine bağlıdır.

4- Son sınır koşulu gereğince potansiyel sonsuzda sıfır olmalıdır. Son katmanın derinliği sonsuz olduğundan (3.2.17) denkleminin son terimi sonsuz olur. Bu durumda;

$$\chi_N(\lambda) = 0 \quad (3.2.26)$$

elde edilir (Başokur, 1984).

3.2.5 Elektrot Açılımları

Özdirenç (Rezistivite) yönteminde yere A ve B gibi iki noktadan akım gönderilir ve M ve N gibi iki nokta arasındaki potansiyel fark ölçülür. Bu potansiyel fark;

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (3.2.27)$$

ile verilir.

Burada geometrik faktör;

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \quad (3.2.28)$$

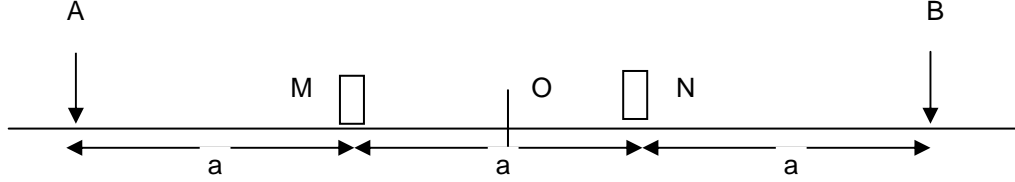
İle verilir.

Yer elektrik yöntemlerinde genel dizilim yerine akım ve potansiyel elektrotlarının yerleri değiştirilerek türetilmiş özel dizilimler kullanılır. Bu dizilimlerin özellikleri göz önünde bulundurularak karşılaşılan probleme göre sonuca gitmede en etkili olan dizilim seçilir. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan ikisine burada kısaca değinilecektir.

3.2.5.1 Wenner Elektrot Açılımı

Wenner diziliminde akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içerde ve birbirlerinden eşit uzaklıkta olmak üzere dizilirler. Ölçüm düzeni uyarınca, dıştaki iki elektrottan yere akım verilir. İçte yer alan iki elektrottan ise verilen akımın yarattığı

gerilim alanı ölçülür. Ölçme işlemi elektrot arası mesafe değişmeden profil boyunca kayarak veya ölçü noktası etrafında simetrik biçimde açılarak devam eder. Yanal yöndeki değişimler bu dizilimle daha kolay saptanır. Daha fazla kablo ve personel gerektirmesi dizilimin dezavantajıdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Wenner elektrot dizilimi

Wenner dizilimi için geometrik faktör;

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} = 2\pi a \quad (3.2.29)$$

İle verilir.

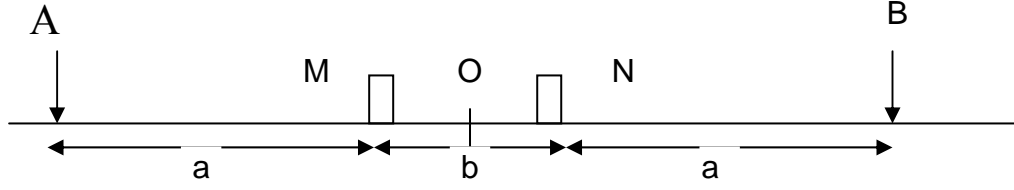
Bu sistemde görünür özdirenç;

$$\rho_{aw} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3.2.30)$$

dir.

3.2.5.2 Schlumberger Elektrot Açılımı

Bu dizilim de elektrotlar düzgün bir çizgi üzerine simetrik olarak akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride olmak üzere yerleştirilir ve simetri merkezi olan ölçü noktasındaki elektrik alan ölçülür. Potansiyel elektrotları arasındaki mesafe akım elektrotları arasındakine göre küçüktür. Ölçme esnasında potansiyel elektrotlarının yer değiştirmesine gerek yoktur. Hem sığ hem derin sondajlar için kullanılabilmesi, birçok teorik değerlendirme eğrisinin olması ve daha az kablo ve personel gerektirmesi Schlumberger diziliminin üstünlükleridir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Schlumberger elektrot dizilimi

Schlumberger dizilimi için geometrik faktör;

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{a - \frac{b}{2}} - \frac{1}{a + \frac{b}{2}} - \frac{1}{a + \frac{b}{2}} + \frac{1}{a - \frac{b}{2}}} = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (3.2.31)$$

ile verilir.

Bu sistemde görünür özdirenç;

$$\rho_{as} = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (3.2.32)$$

olarak verilir.

3.2.6 Elektrik Özdirenç (Özdirenç) Yönteminde Veri Toplama ve Veri Sunumu

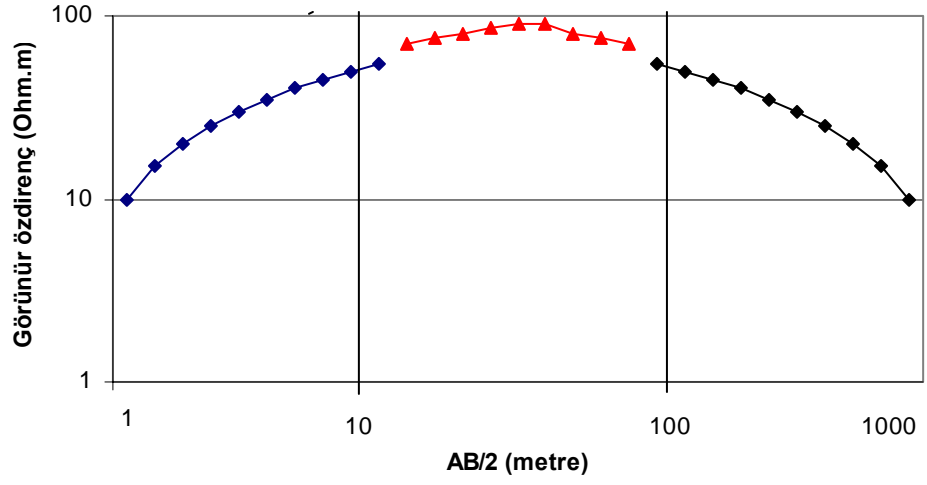
Dünyada en yaygın olarak kullanılan yapay kaynaklı özdirenç yönteminde çözümü istenen problemlerin farklı olması halinde farklı ölçü alım teknikleri geliştirilmiştir. Sabit bir noktadan simetrik açılım yaparak terin düşey yöndeki değişimini izlemek amacıyla geliştirilen düşey elektrik sondajı (DES), yanal süreksizliklerin araştırılması için geliştirilen yatay kaydırma (profil) ölçümü, hem yanal hem düşey yöndeki değişimlerin saptanması amacıyla geliştirilen sondaj profili tekniği özdirenç yönteminde kullanılan ölçüm teknikleridir.

3.2.6.1 Düşey Elektrik Sondajı (DES)

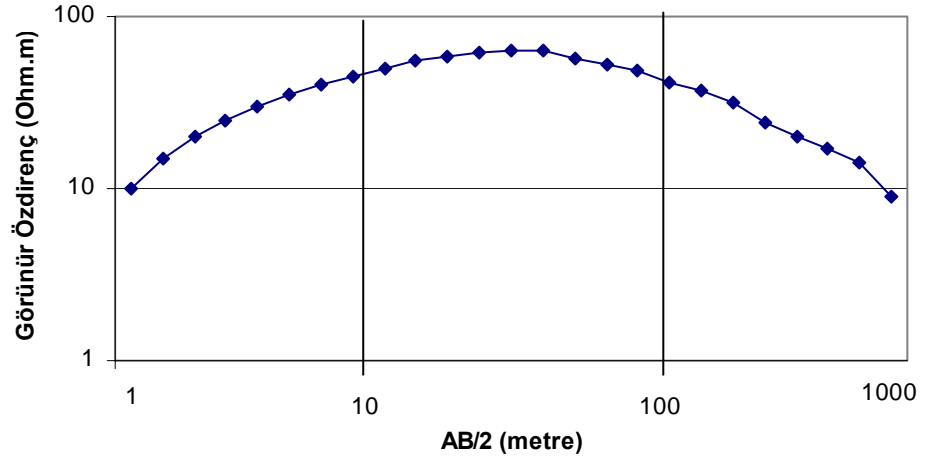
Düşey elektrik sondajı, yer altı yapısını derinlere doğru incelemek amacıyla, sabit bir O noktasına göre simetrik olarak yerleştirilen akım elektrotlarını alınan her ölçüden sonra artan aralıklarla yanlara doğru kaydırmak suretiyle yapılır.

Akım elektrotları arasındaki uzaklığın artırılması, akımın derinlere inmesine dolayısıyla daha derinlerdeki yapıların özdirenç özellikleri hakkında bilgi toplanmasını sağlar. Böylece sabit bir noktanın düşey yöndeki değişimi belirlenmiş olur. Ancak pratikte akım elektrotları potansiyel elektrotları arası mesafeye göre çok küçük olduğu zaman okunan potansiyel fark alet duyarlılığının altında kalabilir. Bu durumda potansiyel elektrotları arası mesafeyi arttırmak gerekir. Bu da özdirenç eğrisinde sıçramalara yol açar (Şekil 3.4). Bu şekilde parçalı olan arazi eğrisi tek parça haline getirilmelidir (Şekil 3.5).

Düşey elektrik sondajında elde edilen özdirenç değerleri hangi açılım türü olursa olsun çift logaritmik kağıda çizilir. Böylece çok geniş bir aralıkta değişebilen görünür özdirenç ve akım elektrotları arasındaki büyük ve küçük değerler aynı ortamda görüntülenebilir.



Şekil 3.4 Schlumberger dizilimi için parçalı görünür öz direnç sondaj eğrisi

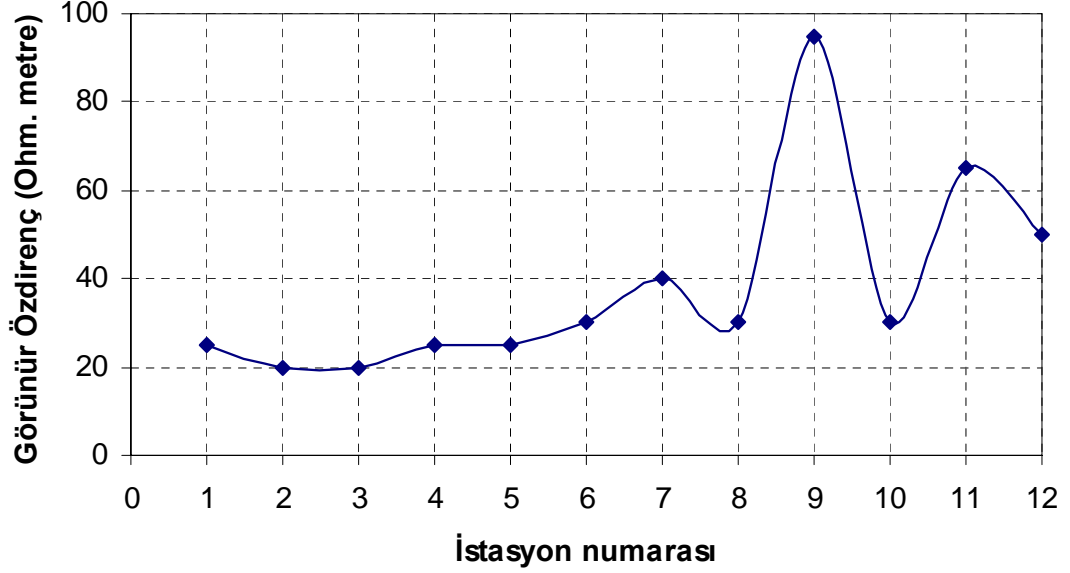


Şekil 3.5 Schlumberger dizilimi için görünür öz direnç sondaj eğrisi

3.2.6.2 Profil Ölçümü

Bir hat boyunca yanal süreksizliklerin belirlenmesi amacıyla uygulanır. Araştırılmak istenen derinliğe göre belirlenmiş sabit bir elektrot aralığı ile kurulan dizilim her ölçüden sonra profil boyunca kaydırılarak ölçme işlemi sürdürülür. Farklı seviyelerden bilgi almak için aynı profil üzerinde elektrot aralığı değiştirilerek ölçme işlemi sürdürülür.

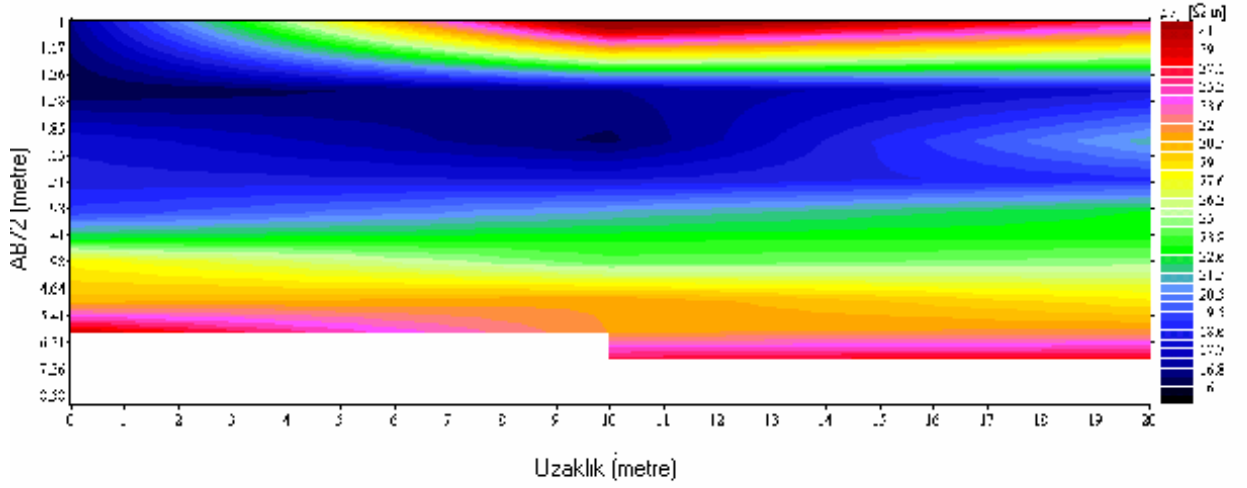
Bu ölçü tekniği daha çok kırık ve çatlakların belirlenmesinde fay ve dayk gibi yapıların araştırılmasında ve yer altında gömülü arkeolojik yapıların konumunu belirlemek için kullanılır.



Şekil 3.6 Görünür öz direnç profil eğrisi

3.2.6.3 Sondaj -Profil Ölçüsü

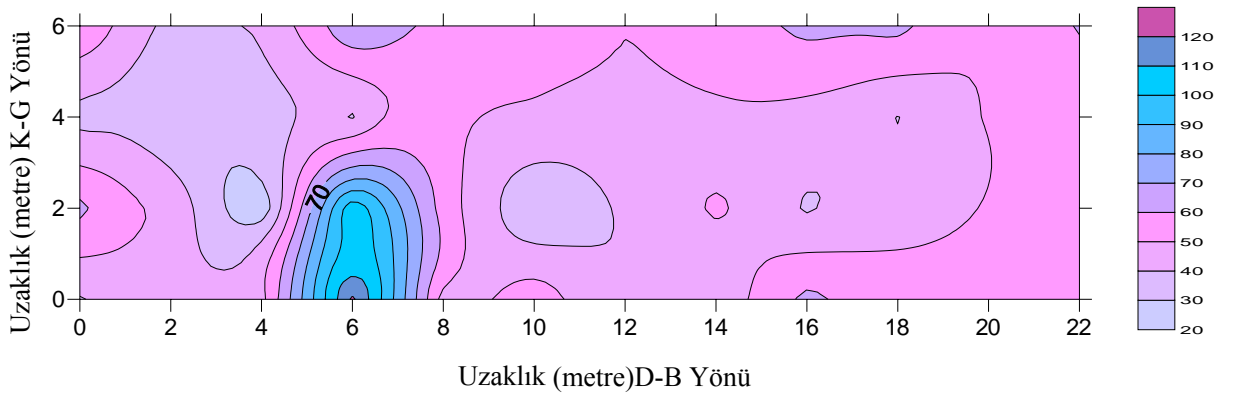
Bu ölçüme tekniğinde sondaj ve profil ölçü teknikleri birlikte kullanılır. Bir hat boyunca belirlenmiş noktalar üzerinde ölçülmüş DES değerleri birlikte sunulur. Burada dikkat edilmesi gereken bütün noktalarda değişen AB/2 değerleri için alınan ölçümlerde akım elektrotları doğrultusu değişmemelidir. Aksi halde alınan ölçüler anizotropiden etkilenecektir. Ölçülen verilerden her nokta için sondaj eğrisi ve farklı AB/2 değerleri için profil eğrisi elde edilebilir. Ayrıca ölçülen tüm görünür öz direnç değerlerinin konturlanması ile yapma kesitler elde edilir (Şekil 3.7). Bu yöntem ile yer altında hem yanal hem de düşey yönde öz direnç dağılımı belirlenir (Candansayar, 1997).



Şekil 3.7 Sondaj Profil ölçü tekniğine göre hazırlanmış görünür özdirenç yapma kesiti

3.2.6.4 Seviye (Kat) Haritaları

Kat haritaları, seçili bir AB/2 seviyesi için çalışma yapılan sahanın tümü için paralel hatlar boyunca her bir DES noktasına karşılık gelen, görünür özdirenç değerlerinin eş kontur haritasının çizilmesiyle elde edilir. Bu haritalar arkeolojik amaçlı çalışmalarda yapıların konumları ile ilgili faydalı bilgiler sağlar (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Görünür özdirenç seviye haritası

3.2.7-Elektrik Özdirenç (Rezistivite) Yönteminde Modelleme

Yer yüzünde veya yer altında ölçülmüş verilerden yararlanarak yüzeyin alt yapısının belirlenmesi jeofizik araştırmanın temel hedefidir. Jeofizik yöntemlerle kayıt edilen veriler yetersiz olabildiği gibi gürültüde içerebilir. Bu durumun giderilmesi için ölçülmüş veriye birtakım matematiksel işlemlerin uygulanması gerekir. Bu veri işlem aşamasını oluşturur. Veri işlem aşamasında karşılaşılan problemin çözümü için çeşitli modellemelerin yapılması gerekir. Jeofizikte problem çözümü iki guruba ayrılır. Bunlardan birincisi, jeolojik bir modelin vereceği jeofizik belirtinin hesaplanmasıdır. Bu düz çözüm olarak bilinir. İkinci grupta ise ters çözüm olarak bilinen jeofizik belirtiden jeolojik model parametrelerinin bulunması yaklaşımıdır.

3.2.7.1 Jeofizikte Düz ve Ters Çözüm

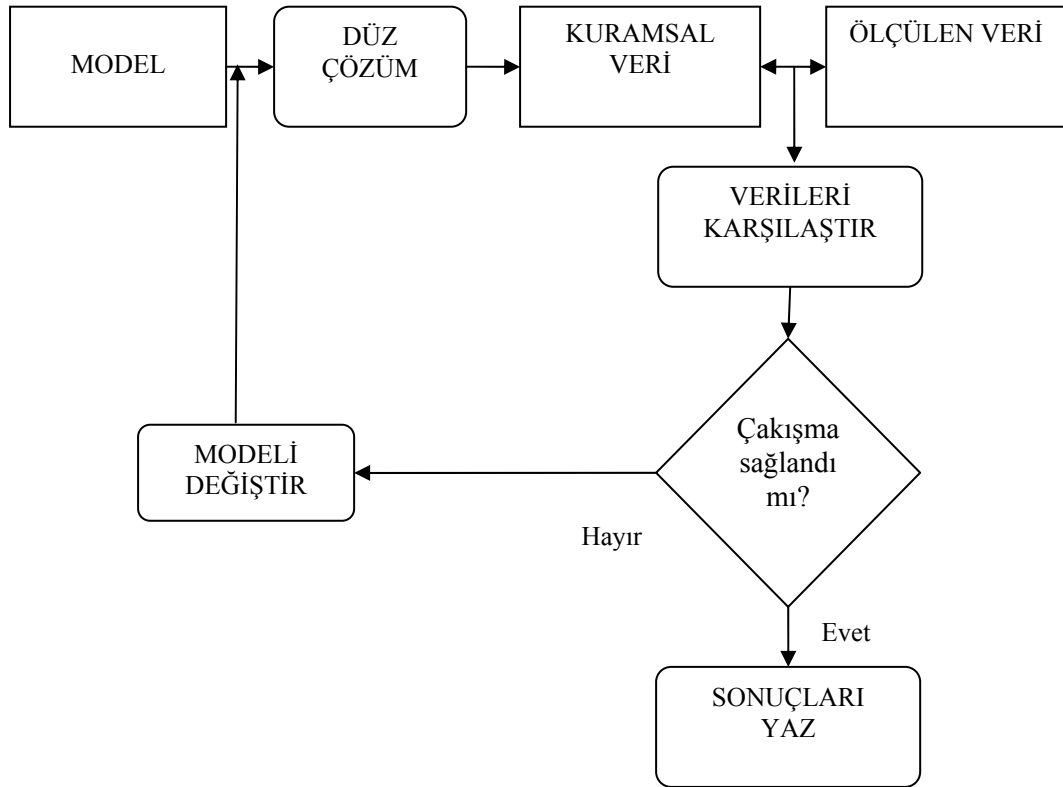
Düz problem çözümünde jeolojik bir modelden jeofizik belirtinin hesaplanması amaçlanır. Düz çözümün ilk adımı jeolojik yapının modellenmesidir. Bunun içinde geometrik ve fiziksel parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bu parametreleştirme olarak bilinir. Geometrik parametreler yer altında bulunan farklı yapıların konumları ve biçimlerini belirtir. Fiziksel parametreler ise jeofizik yöntemde anomaliye sebep olan fiziksel özelliklerdir (Başokur, 2002).

Başlangıçta bilgisayar kullanım olanaklarının azlığı sebebiyle yer altı küre, silindir, yarı sonsuz levha v.b basit geometrik şekillere yaklaştırılarak modellenmeye çalışılmıştır. Bugün gelinen noktada çok karmaşık yapıları modellemek ve bunların vereceği jeofizik belirtinin hesaplanması olanaklıdır.

Jeolojik modelin belirlenmesinden sonraki adım, fiziksel modelin kurulmasıdır. Bu fiziksel modelin ortaya koyduğu bağıntı probleme bağlı olarak değişir. Bu bağıntı belirlenen jeolojik modelden gelen jeofizik belirtinin ifadesidir. Parametrelerin belirli değerleri için hesaplanan değerler kuramsal jeofizik belirtiyi verecektir. Özdirenç problemlerinin düz çözümünde kalınlık ve özdirençleri bilinen tabakalı yarı sonsuz olarak verilen fiziksel bir modeli matematiksel olarak ifade ederek bu model

üzerinde seçilmiş bir elektrot düzenine bağlı olarak ölçülecek görünür öz direnç değerlerinin hesaplanması amaçlanır (Canitez, 1997).

Ters problem çözümünde yer yapısına ait bilgileri içeren parametre değerleri doğrudan doğruya arazi verisinden alınır. Ters çözümde ölçülmüş gözlemsel veriye uygun gelen kuramsal verinin hesaplanması gerekir kuramsal verinin hesaplanması düz çözümdür. Yani ters çözüm işlemi sırasında mutlak suretle düz çözüme başvurulur. Ters problemde model tepkisi ile model parametreleri arasındaki ilişki bir düzey denklemi ile ifade edilebiliyor ise problem doğrusaldır. Şayet model tepkisi ile model parametreleri arasındaki ilişki bir düzey denklemi ile ifade edilemiyor ise problem doğrusal değildir. Doğrusal olmayan ters çözüm, şekil 3.9'da verilen akış diyagramı ile yürütülür (Canitez, 1997).



Şekil 3.9 Nicel yorumlamanın basitleştirilmiş akış şeması (Başokur, 2002)

Burada yer altının en başarılı temsili için model seçimi oldukça önemlidir. Modele ait parametre ve değişken değerleri için ön bir tahmin yapılır. Bu ön tahmin değerleri için modele ait kuramsal veri hesaplanır ve bu değerler ile ölçülen veri kıyaslanır. Yapılan kıyaslamada çakışma uyumu iyi değilse parametreler yenilenir ve iyi bir uyum sağlayınca dek işleme devam edilir. Günümüzde ters çözüm problemleri bilgisayar algoritmaları ile yapılır. Burada önemli olan en hızlı çözüme ulaşılacak algoritmanın seçilmesidir (Başokur, 2002).

3.3. Manyetik Yöntem

Manyetik yöntem üzerine ilk araştırma Belshe (1957) tarafından yapılmış olup, günümüze kadar arkeolojik araştırmalarda çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Yeraltındaki kayaçların mıknatıslanma özelliklerinin birbirinden farklı olmasına dayanan yöntem, karadan, denizden ve havadan uygulanabilir (Akçığ ve Pınar, 1992). Arkeolojik verilerden yola çıkarak yer manyetik alanının geçmişteki davranışının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalara Arkeomanyetizma adı verilir. Arkeolojik çalışmalarda ısı kalıcı (thermo-remanent) mıknatıslanma manyetik nesnelere belirlenmesindeki en temel özelliktir. Arkeolojik alanlarda yaygın olarak bulunan seramik, kiremit tuğla gibi yapılar kilden yapılmıştır. Bu yapılar fırınlanarak pişirilme esnasında yanma süresine bağlı olarak manyetik özellik kazanırlar. Bu yanma işlemi sırasında kil içinde var olan manyetik mineraldeki atomlar hareket ederek gelişigüzel bir yönlenme kazanırlar. Daha sonra soğumaya bırakılan bu nesnedeki, manyetik atomlar o günkü yer manyetik alanı doğrultusunda bir yönelim kazanırlar. Böylece ısı kalıcı mıknatıslanma yoluyla mıknatıslanmış nesnelere, etkin manyetik verilerinin elde edilmesiyle mıknatıslanamayan cisimlerin birbirinden ayırt edilmesi sağlanır.

Manyetik yöntem kullanılarak yer manyetik alanının düşey, yatay ve toplam bileşenleri ya da şiddetindeki değişimler ölçülür. Böylece arkeolojik bir çalışma alanında manyetik birimlerin ayrımlılığı sağlanmış olur (Drahor, 1998).

3.4 Jeofizik Çalışmalar

3.4.1 Çalışma Alanı Konumu

Göhlisar, Burdur İli'nin güneybatısında, Burdur'a 107 km uzaklıktadır. Eşeler Dağının eteklerinde verimli bir ovanın batı kıyısında kurulmuş bu gün için 15.000 nüfuslu bir ilçedir. Batısında ve kuzeybatısında Denizli, doğusunda ve kuzey doğusunda Çavdır, güneyinde Altınyayla, güneybatısında Muğla'ya komşudur.

Tarih boyunca önemli bir kültür merkezi olan ilçe, antik yolların birleştiği noktada, Pamfilya'yı Efes'e bağlayan yol üzerindedir. Günümüzde de Türkiye'nin önemli turistik merkezlerine yakınlığı nedeniyle bazı avantajlara sahiptir. Antalya'ya 133 km, Pamukkale'ye 111 km ve Fethiye'ye 102 km uzaklıkta yer alır.

İlçe, Yeşilgöl Dağı'ndan doğup gelen Dalaman Çayı'nın geçtiği yerlerde geniş alüvyonlu bitek ovalara sahiptir. Rakımı 1000 m olan bu ovaların en önemlileri Göhlisar, Yamadı ve Yusufça ovalarıdır.

Çalışma alanı Burdur ili Göhlisar ilçesi Yusufça kasabasının batısında yer almaktadır. Göhlisar-Denizli asfaltı üzerinde, Yusufça çıkışından batıya doğru 4 km'lik stabilize bir yol ile çalışma alanına ulaşılabilir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Çalışma alanının konumu

3.4.2 Tarihçe

Kibyranın tarih sahnesine çıkışı M.Ö. 3.yüzyıla rastlamaktadır. Antik coğrafyada Kabalia olarak adlandırılan yörede bulunan Kibyra, Frigya'nın güneyinde İndos bölgesinde yer alır. Lidyalılar zamanında Kabalia olarak adlandırılan bölge de Boubon, Kibyra, Balbaura ve Oenoanda şehirlerinin de katılmasıyla birlikte 4'lü şehir (Tetrapolislik) oluşmuştur. Bu, Anadolu da tek meclisle idare edilen çok

şehirli ilk Cumhuriyet rejimi olarak bilinmektedir. Bu mecliste 2 oya sahip Kibyra, cumhuriyetin merkezini oluşturmuştur. II. Eumenes'in saltanat sürdürdüğü M.Ö. 197-159 yıllarında Kibyra Bergama Krallığına bağlıdır.

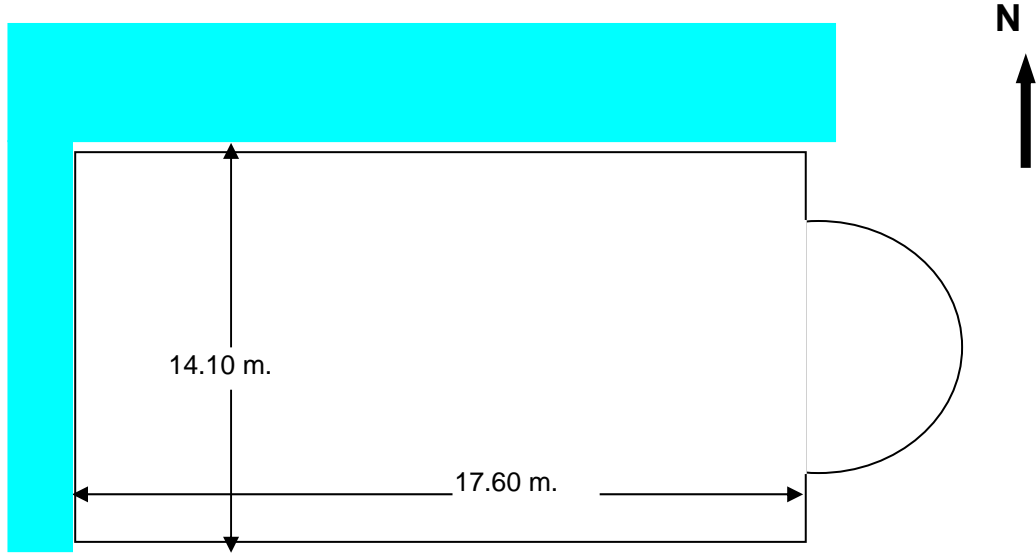
M.S.82 yıllarında Mithridates Savaşı'nın bitimine kadar tetrapolisin varlığını sürdürdüğü düşünülmektedir. O tarihte Sulla'ya bağlı bir teğmen olan Murena tarafından bağımsızlığına son verilen Kibyra Roma'ya tabi olmuştur. MS. 23 yılında bir depremle yıkılan şehir, imparator Tiberius'un yardımıyla yeniden kurulmuş üç yıl vergiden muaf tutularak, onun onuruna Kaesarea Kibyra adını almış, böylece MS. 25 yılında yeni bir dönem başlamıştır. En parlak dönemini M.S.II. yüzyılda yaşayan Kibyra'nın bu günkü kalıntılarını oluşturan odeon, tiyatro, stadion, hamam, aşağı ve yukarı agora, mezar yapıları, bazilika ve köprü yapıları bu döneme aittir.

Bizanslılar Döneminde yerleşimin daha çok aşağıya bugünkü Gölhisarın bulunduğu düzlüğe doğru kaydığı tahmin edilmektedir. M.S. 417'de şiddetli bir deprem daha geçiren Kibyra bu tarihten sonra terk edilmiştir (Çeber, 2004). Yusufça'da bulunan kalıntıların bu döneme ait olduğu düşünülmektedir.

3.4.3 Jeofizik Uygulamalar

Burdur ili Gölhisar ilçesine bağlı Yusufça kasabasının yaklaşık 4 km batısında 2003 yaz aylarında Burdur müze müdürlüğü tarafından bir kazı yapılmıştır. Bu kazı çalışmaları sonucunda MS. 3. y.y'a ait olduğu sanılan 14.1x17.60 metre boyutlarında bir kilise kalıntısı bulunmuştur. Yapının tamamen tahrip olmasına karşılık taban alanını kaplayan mozaik örtü büyük ölçüde sağlam kalabildiği gözlenmiştir. Kilise çevresi ve girişinde bu mozaiklerin devamının olup olmadığının araştırılması amacıyla belirlenen alanda jeofizik çalışmalar başlatılmıştır.

Klise düşük özdirençli fişler üzerine inşa edilmiştir. Araştırılan mozaikler kireçtaşından yapıлып üzerleri sırlanmıştır. Mozaik taban çok ince olmasına karşın oldukça yüksek özdirenç vereceği göz önüne alınarak elektrik özdirenç yöntemi uygulanmasına karar verilmiştir.

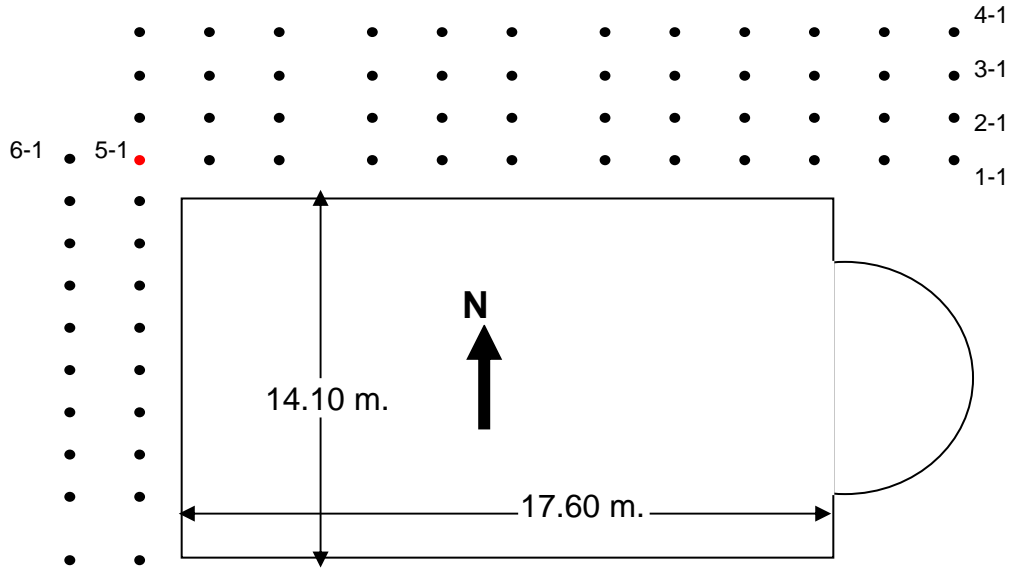


Şekil 3.11 Elektrik özdirenç araştırmanın yapıldığı alanın görünümü

Jeofizik araştırmada kullanılan elektrot açılım türü elde edilen anomalinin şeklini etkilemektedir bu bakımdan, elektrot açılım türü ve yürütme tekniği amaca uygun olarak seçilmelidir. Yapıya ait tüm geometrik parametrelerin özelliklerin ortaya çıkarılabilmesi için,

- Düşey Elektrik Sondajı (DES)
- Profil Tekniği
- Sondaj Profili Tekniği

Ölçümlerinin yapılması planı. Bu amaçla 2 metre aralıklı profiller üzerinde 2 metre aralıklı belirlenmiş ölçüm noktaları boyunca Schlumberger derinlik sondajı ölçümleri alınmıştır. Her ne kadar hedef alan kilise girişi olan batı kısım ise de, kuzey kesimde yapının devamının olabileceği düşünülerek burada da araştırma yapılmıştır (Şekil 3.12).

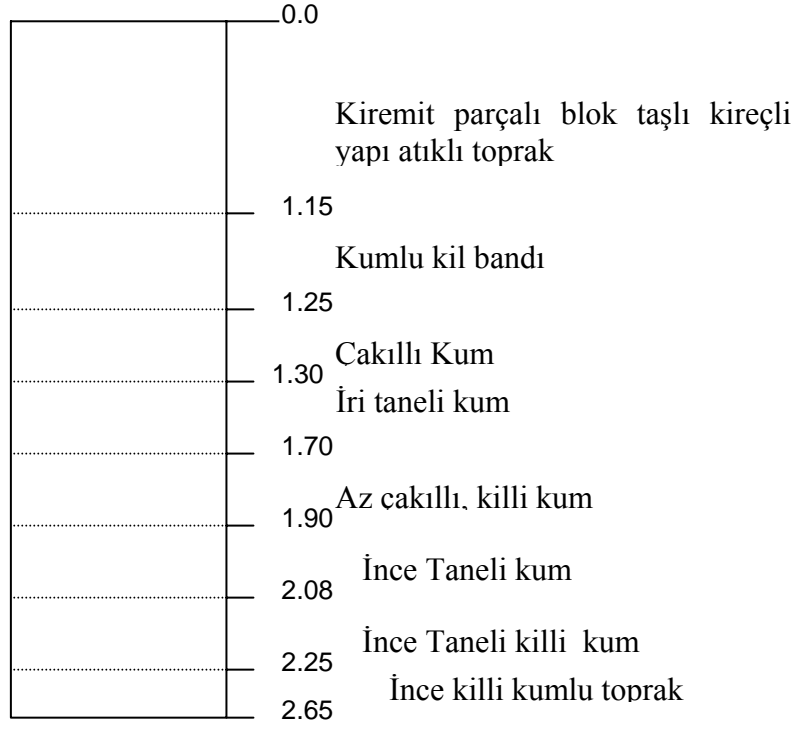


Profil Aralıkları : 2 m
 Nokta Aralıkları : 2 m
 Elektrot Açılımı : 1-2-3-4 Doğu-Batı Profili
 5-6 Kuzey-Güney Profili

Gözlem Kuyusu

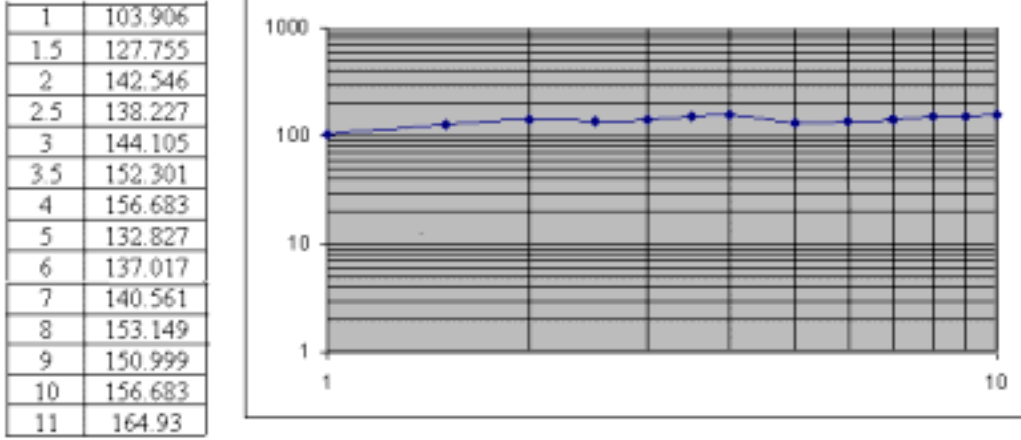
Şekil 3.12 Çalışma alanında elektrik profillerinin plan görünümü

Çalışma alanının yaklaşık 25-30 metre güney batısında kaçak kazıcılar tarafından 1x1 m boyutunda 2.65 m derinliğinde bir kuyu açılmıştır. Kuyuda yapılan gözlem sonucu jeolojik ardalama şekil 3.13'de verilmiştir.



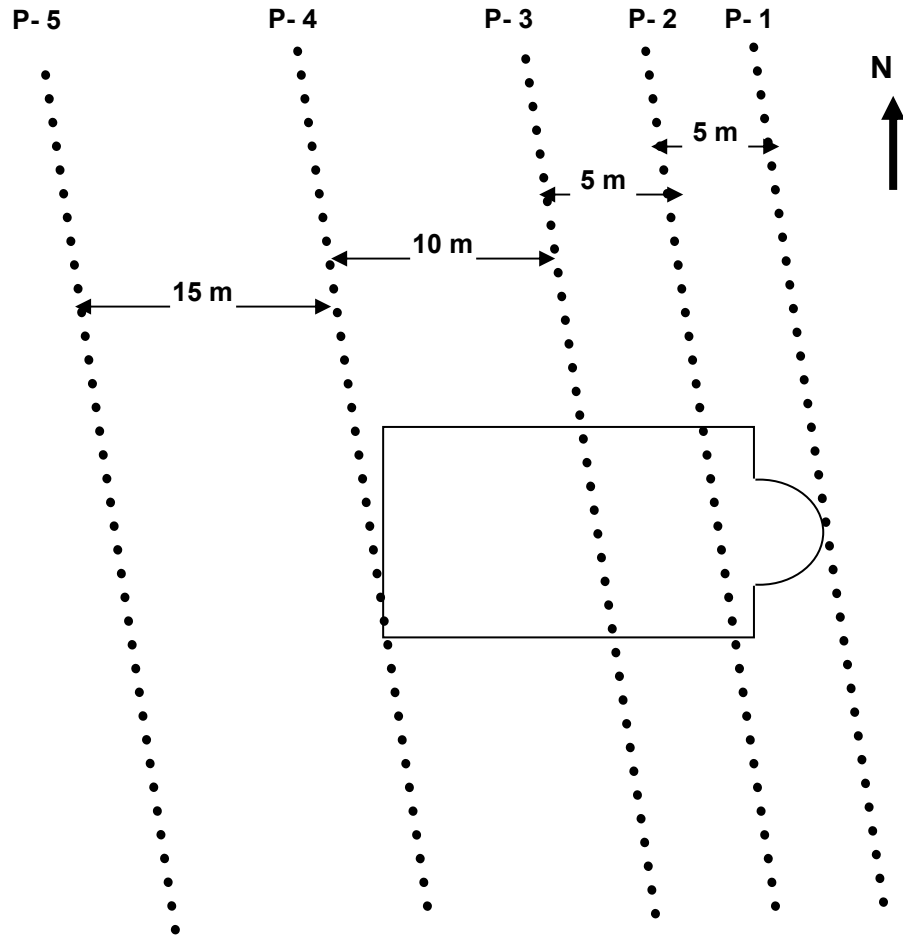
Şekil 3.13 Kuyu içi jeolojik arıalanma

Belirlenen alanda jeofizik araştırmalara başlamadan önce bu gözlem kuyusu üzerinde bir sondaj ölçümü alınmıştır. Elde edilen değerler Şekil 3.14’de verilmektedir.



Şekil 3.14 Kuyu başı görünür özdirenç değerleri ve logaritmik ifadesi

Çalışılan sahada kullanılan yapı taşları çevreden toplanmış kireçtaşı ve Volkanik kökenli traki andezitlerden oluşmaktadır. Bilindiği gibi kireçtaşları manyetik özellik göstermezler. Buna karşılık traki andezitler manyetik özelliğe sahiptir. Bu alanda traki andezitlerin bulunması ilginçtir. Zira çevrede volkanik bir oluşum gözlenmemiştir. Çevrede oldukça çok bulunan kiremit parçaları çatıların kiremitle örtülü olduğunu düşündürmüştür. Bunun içinde varsa çevredeki olası binaların yerlerinin saptanmasında ön etüt olarak manyetik yöntem uygulanmıştır. Manyetik profillerin planı şekil 3.15’de verilmiştir. Her profilde 145 nokta olup bu noktalar arası 2.5 m olarak alınmıştır.



Şekil 3.15 Çalışma alanında manyetik profillerin görünümü

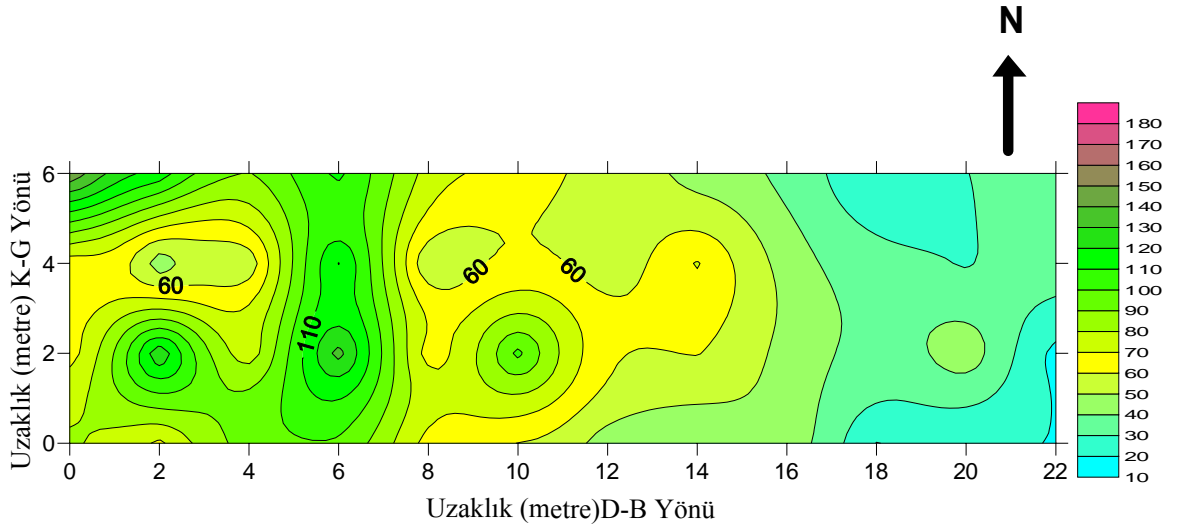
4- ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma alanında uygulanan manyetik ve elektrik özdirenç yönteminde elde edilen veriler işlenerek jeofizik yorumu yapılmıştır. Bu çalışmada Schlumberger açılımı ile toplanan veriler IPI2Win yazılımı ile değerlendirilerek katman parametreleri elde edilmiştir. Her profil için elde edilen görünür özdirenç değerlerinden profil haritaları, her AB/2 (m) değerleri seviye haritaları ve manyetik ölçüler kullanılarak manyetik harita çizilmiştir.

Çalışma alanında D-B profilleri boyunca oluşturulan görünür özdirenç seviye ve profil haritalarında K-G yönünde uzanan yüksek özdirenç değerleri gözlenmiştir. Keza K-G yönünde açılım boyunca elde edilen görünür özdirenç profil haritalarında da yüksek özdirenç değerleri gözlenmiştir.

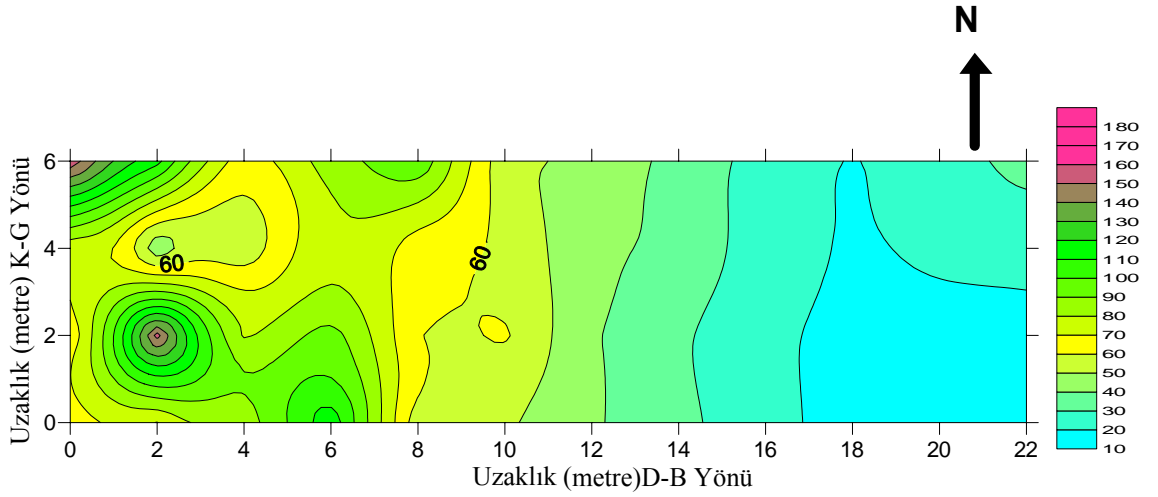
4.1 Seviye (Kat) Haritaları

Seviye haritaları, her elektrot mesafesi için, doğu batı düzleminde birbirine paralel dört profil üzerinde ölçülen her görünür özdirenç değerinin konturlanmasıyla çizilmiştir. AB/2 = 2 m seviyesinde gözlenen ve izleyen seviyelerde de devam eden D-B yönünde 4-8 m arasında K-G uzanımlı yüksek görünür özdirenç değerleri görülmektedir.



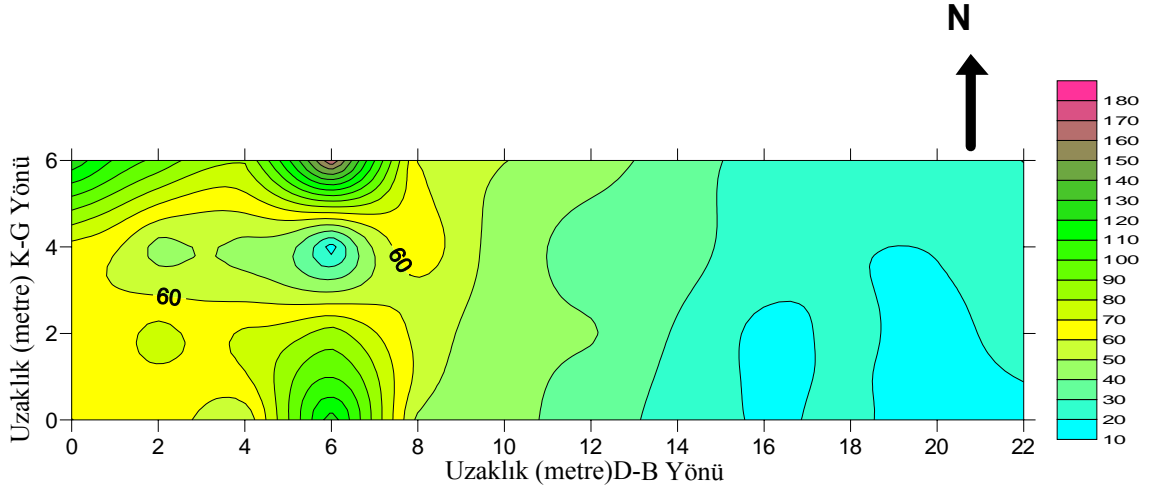
Şekil 4.1 $AB/2 = 1$ metre için seviye haritası

Şekil 4.1’de D-B yönünde 2-10 m, K-G yönünde 0-2 m arasında ve K-G yönünde 6 metrede yüksek görünür öz direnç değerleri görülmektedir.



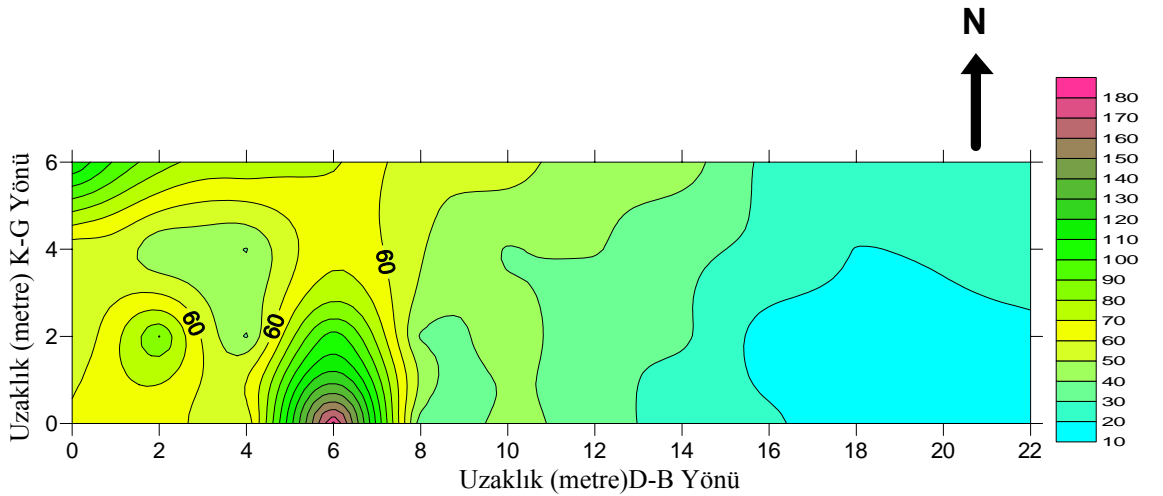
Şekil 4.2 $AB/2 = 1.5$ metre için seviye haritası

Şekil 4.2’de D-B yönünde 2 ve 6. metrelerde K-G yönünde 0-2 m arasında ve K-G yönünde 6 metrede yüksek görünür öz direnç değerleri görülmektedir.



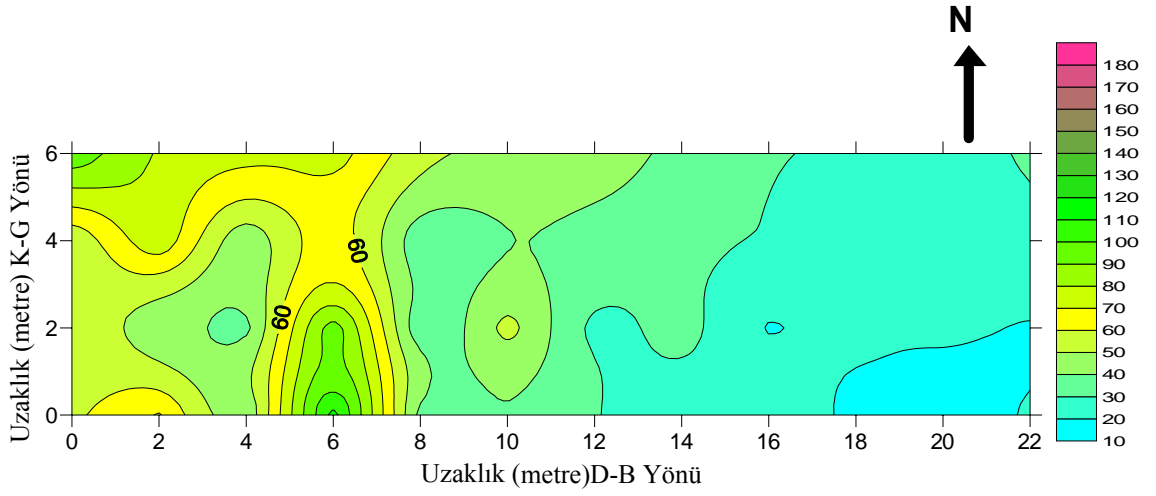
Şekil 4.3 AB/2= 2 metre için seviye haritası

Şekil 4.3’de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-2 m arasında ve K-G yönünde 6 metre de birbirinden ayrı yüksek görünür öz direnç değerleri ve bu değerler arasında düşük öz direnç değerleri görülmektedir. Bir önceki seviyede D-B yönünde 2 metrede gözlenen yüksek öz direnç değerlerinin kaybolduğu görülmektedir.



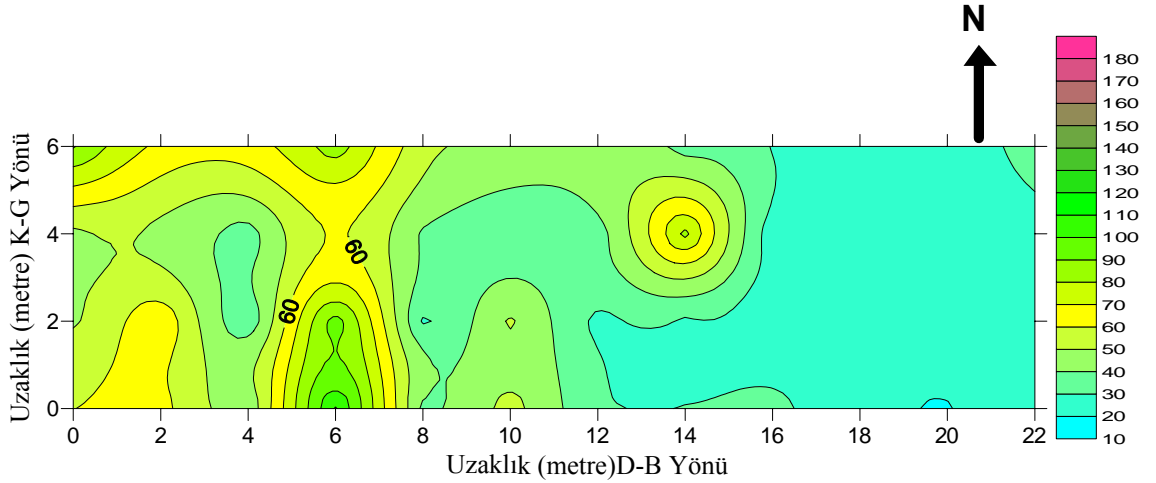
Şekil 4.4 AB/2 = 2.5 metre için seviye haritası

Şekil 4.4’de D-B yönünde 4-8 m de K-G yönünde 0-2 m arasında bir önceki seviyede gözlenen yüksek görünür öz direnç değerleri dikkat çekici bir belirginlik kazanmıştır. ve D-B yönünde 17-22 m arasında düşük öz direnç değerleri gözlenmektedir.



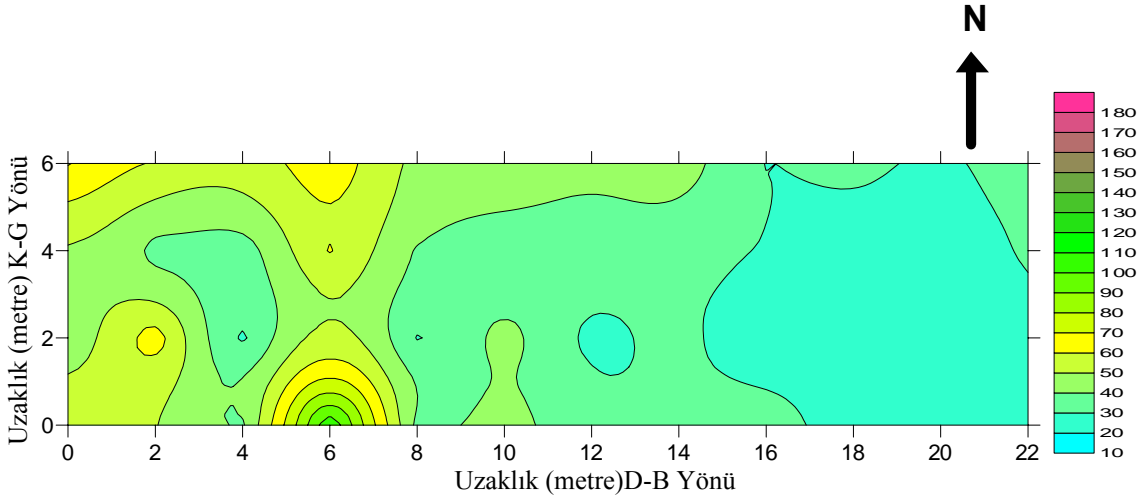
Şekil 4.5 AB/2 = 3 metre için seviye haritası

Şekil 4.5’de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-2 m arasında bir önceki seviyede gözlenen yüksek görünür özdirenç değerleri görülmektedir. D-B yönünde 12-22 m arasında düşük özdirenç değerleri görülmektedir. diğer seviyelerde K-G yönünde 6 metrede gözlenen yüksek görünür özdirenç değerleri kaybolduğu görülmektedir.



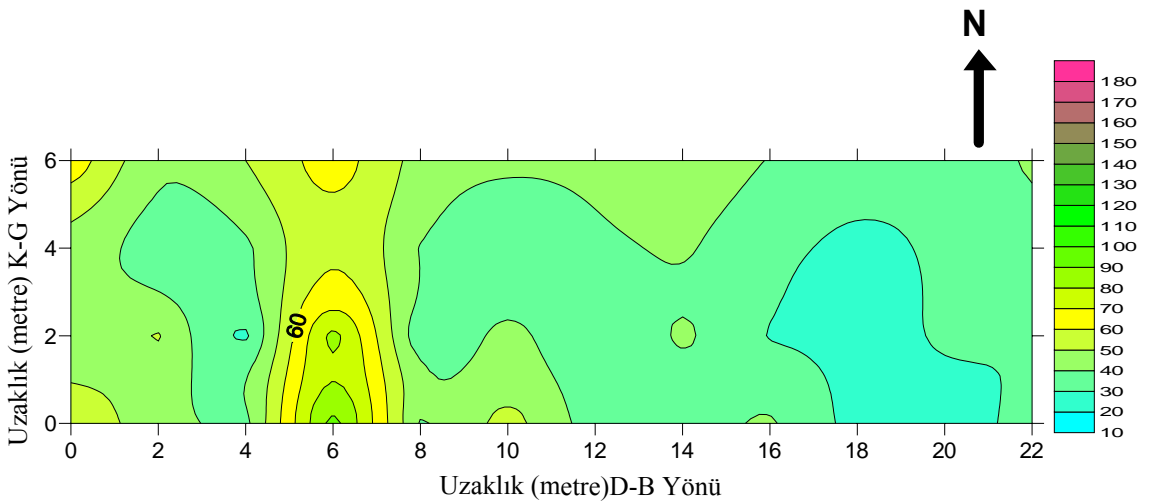
Şekil 4.6 AB/2 = 3.5 metre için seviye haritası

Şekil 4.6'da D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-2 m arasında ve D-B yönünde 14 m, K-G yönünde 3-5 m arasında yüksek görünür özdirenç değerleri görülürken D-B yönünde 13- 22 m arasında düşük özdirenç değerleri görülmektedir.



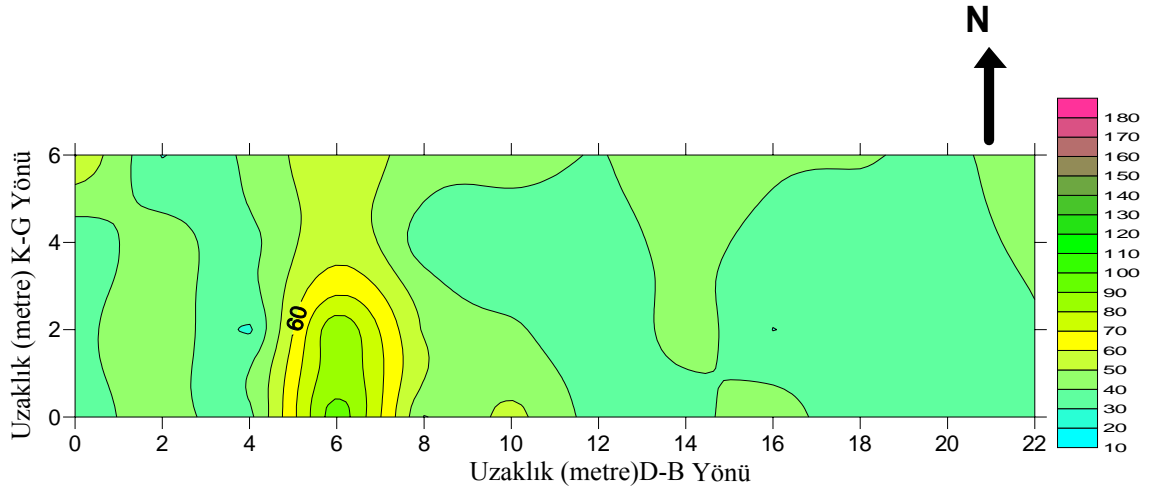
Şekil 4.7 AB/2 =4 metre için seviye haritası

Şekil 4.7'de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-2 m arasında önceki seviyede devam eden yüksek görünür özdirenç değerleri görülürken, D-B yönünde 14 metrede görülen yüksek görünür özdirenç değerlerinin kaybolduğu gözlenmiştir. D-B yönünde 17-22 m arasında düşük özdirenç değerleri görülmektedir.



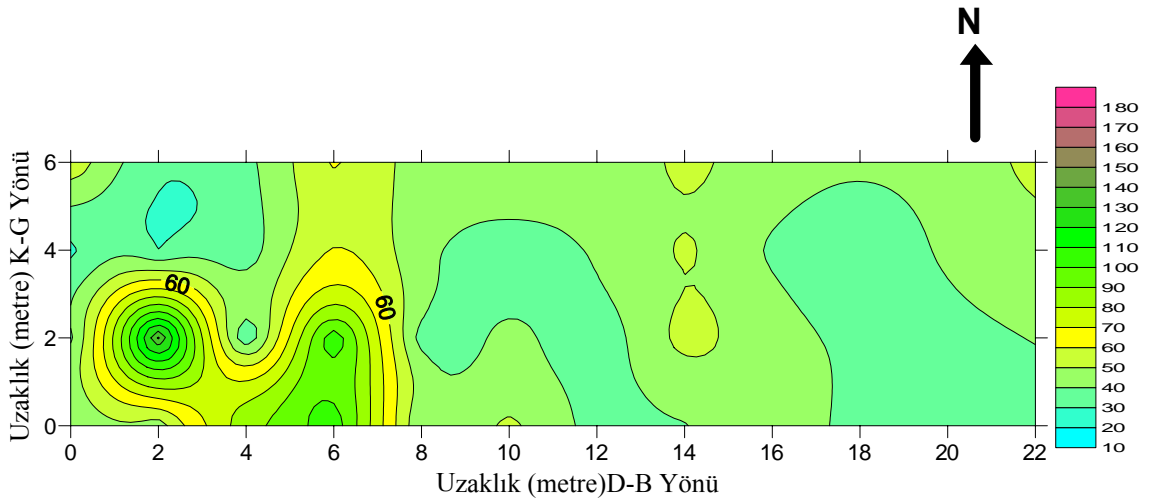
Şekil 4.8 AB/2 = 5 metre için seviye haritası

Şekil 4.8'de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-2 m arasında D-B yönünde 12 metreden başlayan düşük öz direnç değerleri görülmektedir.



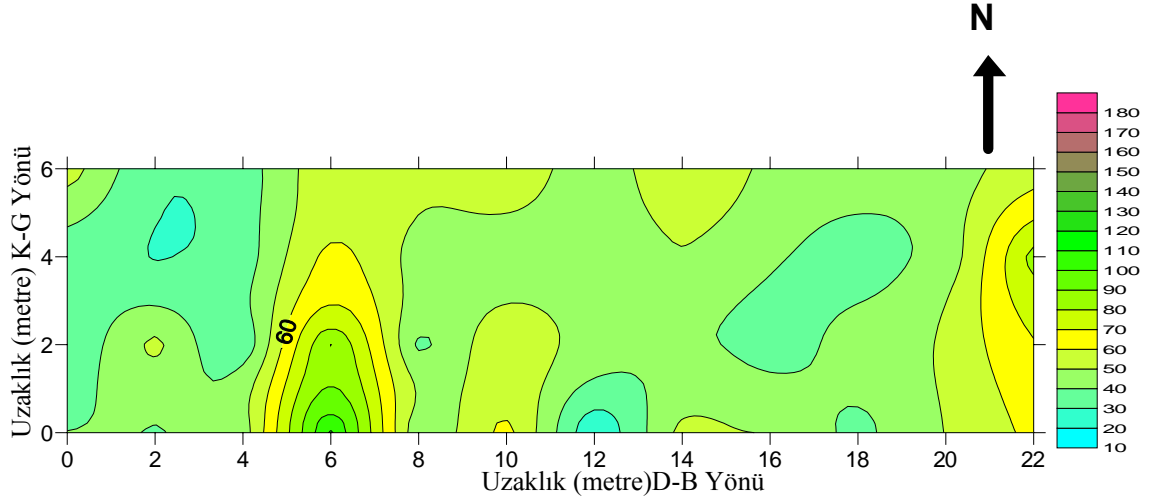
Şekil 4.9 AB/2 = 6 metre için seviye haritası

Şekil 4.9'da D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-2 metre arasında yüksek öz direnç değerleri gözlenmektedir.



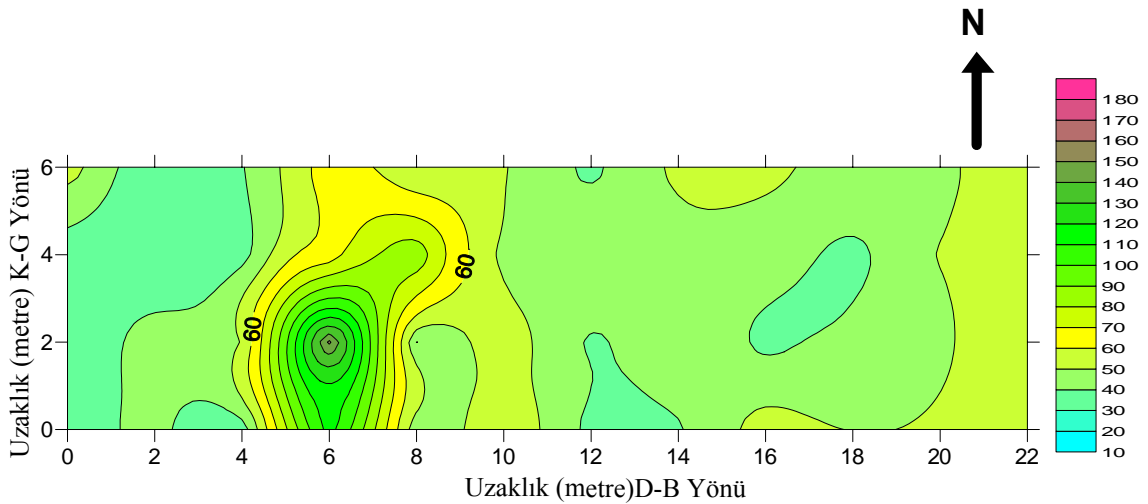
Şekil 4.10 AB/2 = 7 metre için seviye haritası

Şekil 4.10' da D-B yönünde 2, 4, 8 m, K-G yönünde 0-2 metre arasında yüksek görünür özdirenç değerleri gözlenmektedir.



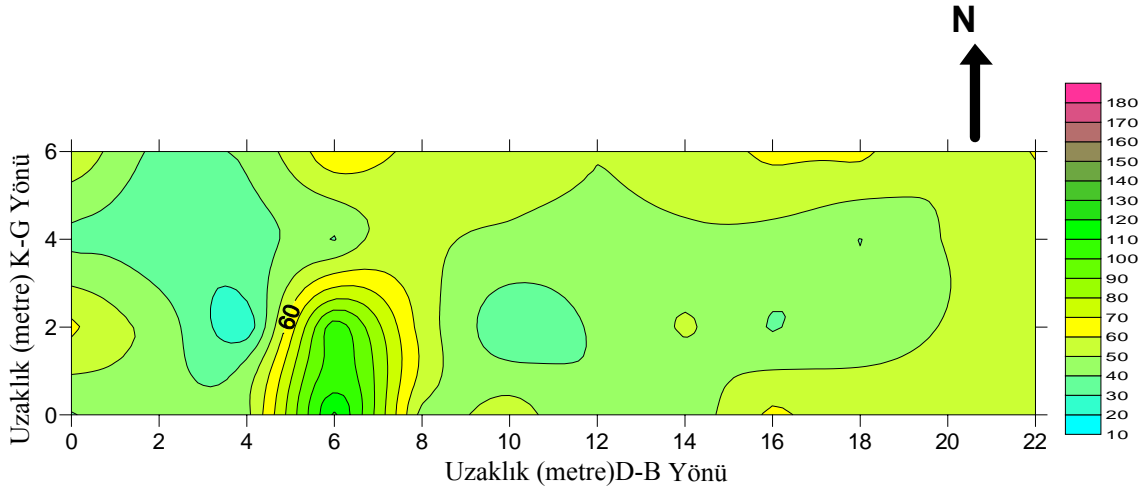
Şekil 4.11 AB/2 = 8 metre için seviye haritası

Şekil 4.11' de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-4 metre arasında yüksek görünür özdirenç değerleri gözlenmektedir. Bir önceki seviyede D-B 2 m, K-G 2 metrede gözlenen yüksek görünür özdirenç değerleri kaybolduğu görülmektedir.



Şekil 4.12 AB/2 = 9 metre için seviye haritası

Şekil 4.12’de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-4 metre arasında yüksek görünür öz direnç değerleri gözlenmektedir.

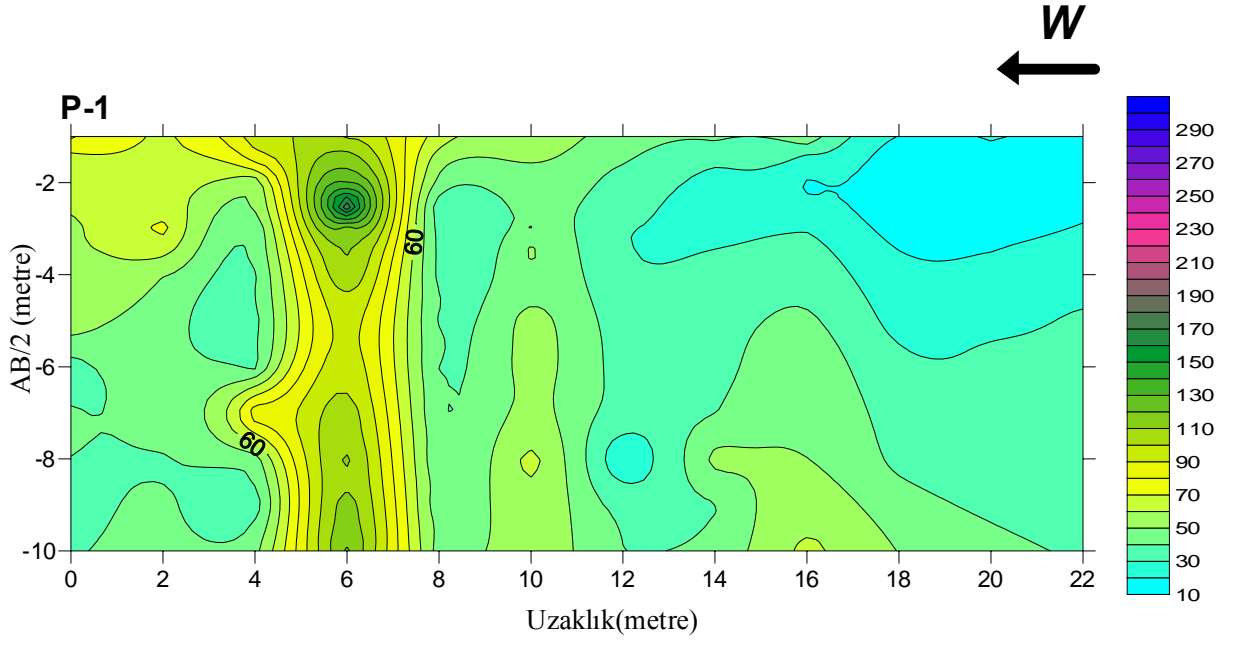


Şekil 4.13 AB/2 = 10 metre için seviye haritası

Şekil 4.13’de D-B yönünde 4-8 m, K-G yönünde 0-3 metre arasında yüksek görünür öz direnç değerleri gözlenmektedir.

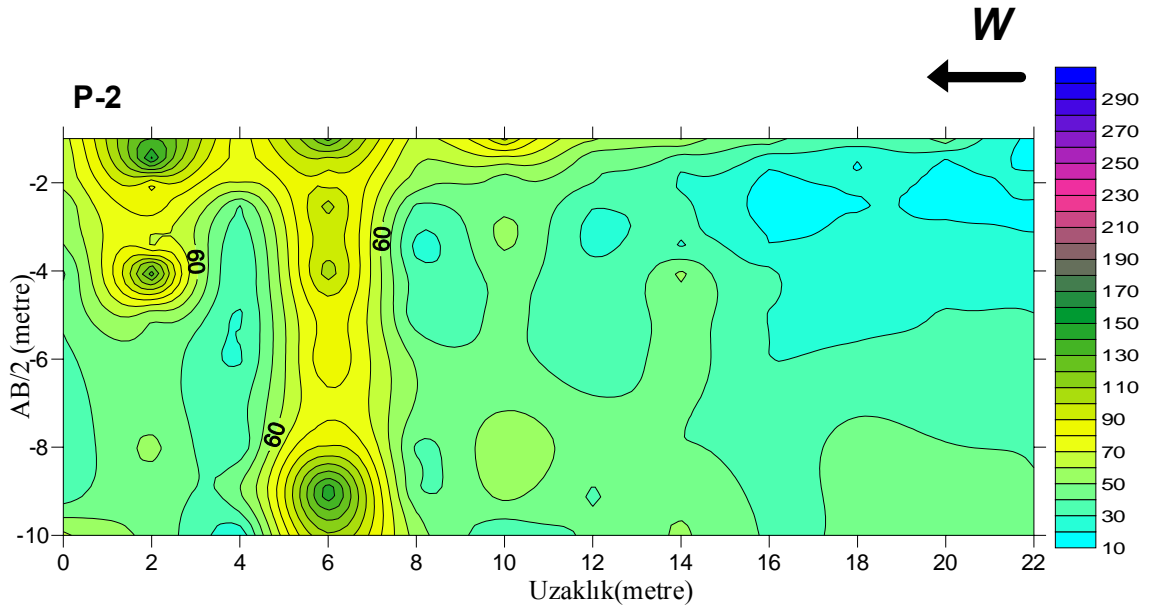
4.2 Profil Haritaları

Her bir profil üzerinde ölçülen görünür öz direnç değeri düşey ekseninde tekabül ettiği elektrot açılım mesafesine yerleştirip eş kontur eğrileri çizilerek profil haritaları oluşturulmuştur. D-B yönünde oluşturulan seviye haritalarında 4-8 m arasında K-G yönlü bir uzanım gösteren yüksek görünür öz direnç değerleri, bu istikamet üzerinde oluşturulan profil haritalarında 1 ve 2.’nci profillerde de gözlenmiştir. Kuzey güney yönlü açılımda ise 5 profilinde mozaik zeminden kaynaklandığı düşünülen oldukça yüksek görünür öz direnç değerleri gözlenmiştir.



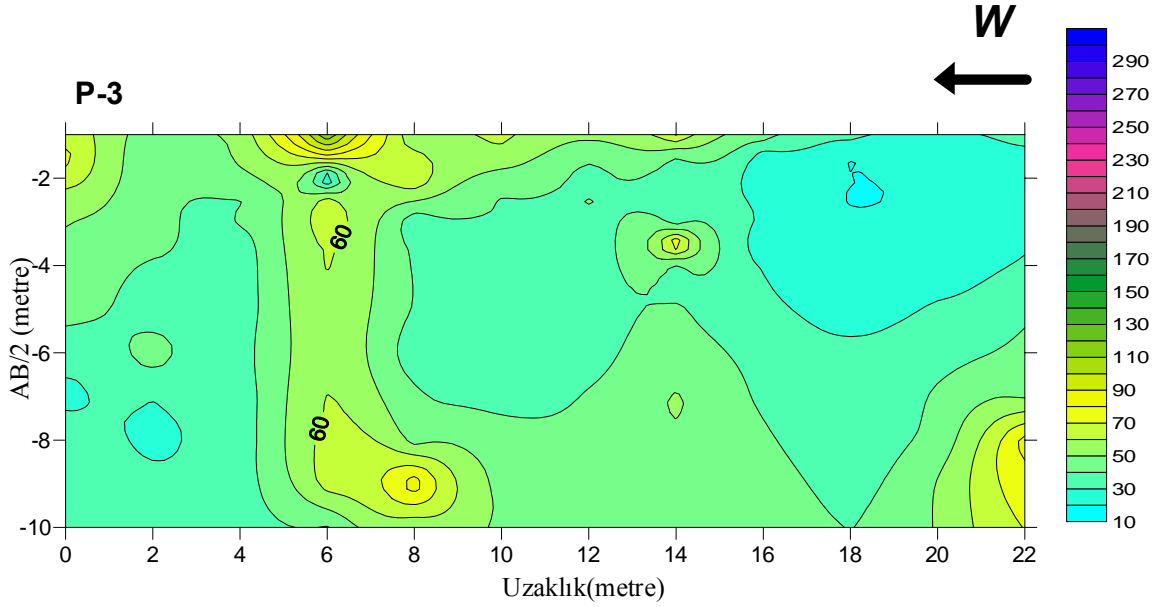
Şekil 4.14 Doğu-Batı profil haritası-1

Şekil 4.14'de 4-8 metreler arasında K-G uzanımlı yüksek görünür öz direnç değerleri görülmektedir.



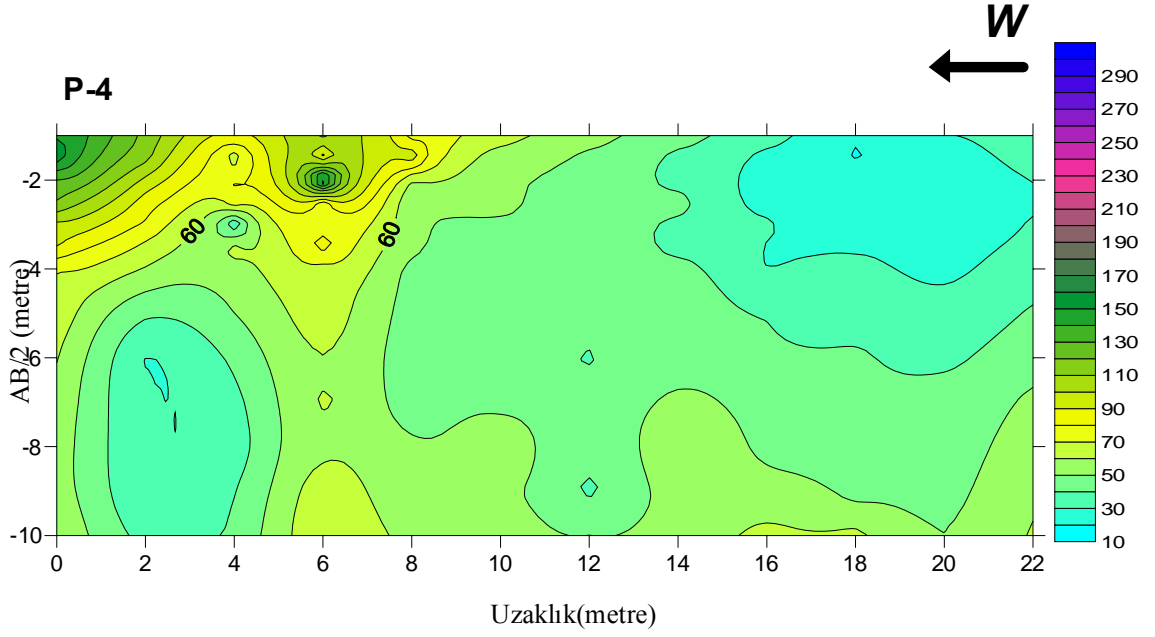
Şekil 4.15 Doğu-Batı profil haritası-2

Şekil 4.15’de 2,4,8 metreler arasında K-G uzanımlı yüksek görünür özdirenç değerleri görülmektedir



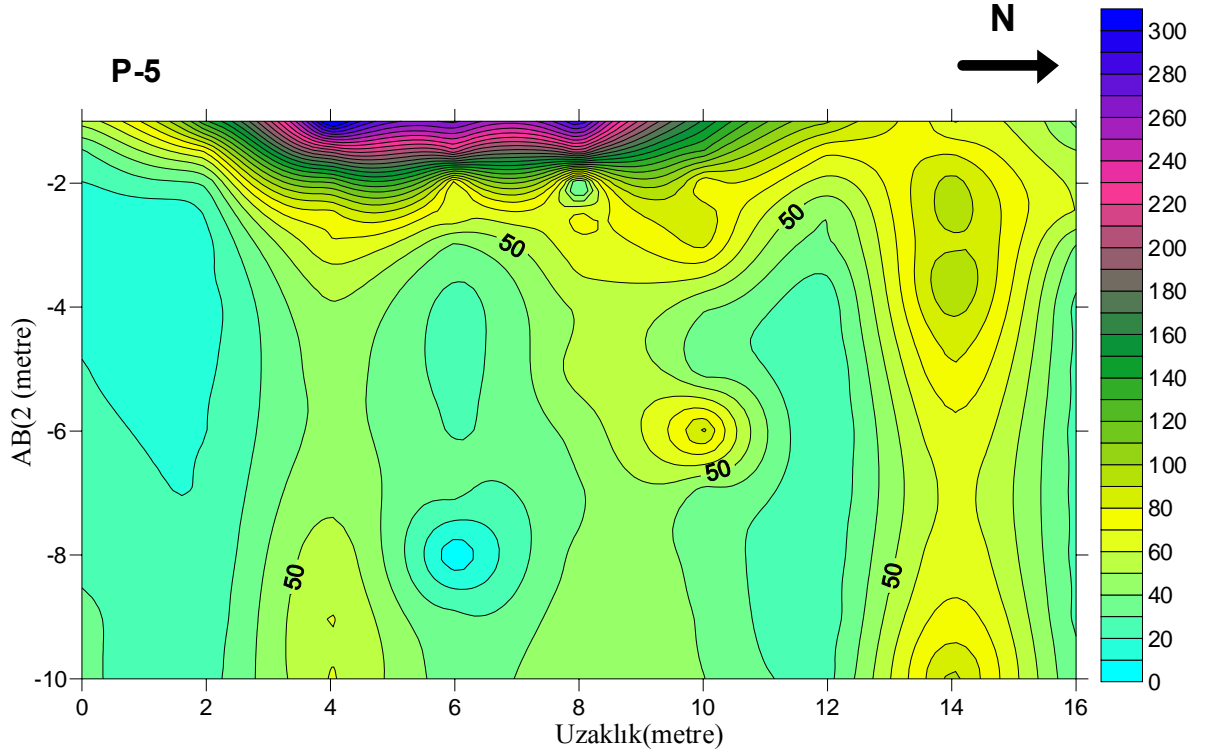
Şekil 4.16 Doğu-Batı profil haritası-3

Şekil 4.16’da bir önceki profillerde gözlenen K-G uzanımlı yüksek görünür öz direnç değerlerinin kaybolduğu görülmektedir.



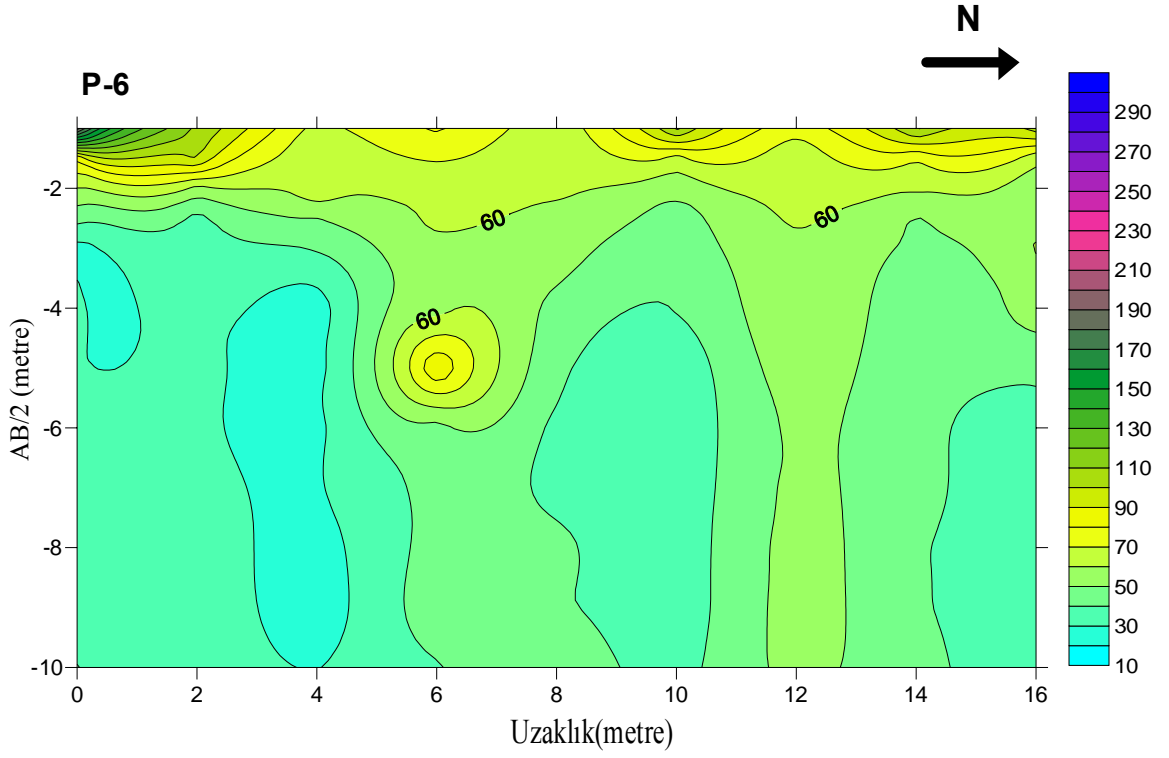
Şekil 4.17 Doğu-Batı profil haritası-4

Şekil 4.17’de $AB/2 = 2$ ve 4 m seviyesinde yüksek öz direnç değerleri, 2 , 12 , 20 metre arasında düşük öz direnç değerleri görülmektedir.



Şekil 4.18 Kuzey-Güney profil haritası-5

Şekil 4.18'de 2-10 m arasında $AB/2 = 1$ metreden başlayan 300 ohm.m değerine ulaşan görünür özdirenç değerleri gözlenmiştir. Bu değerlerin mozaik zeminden kaynaklandığı düşünülerek kazı alanı olarak önerilecektir

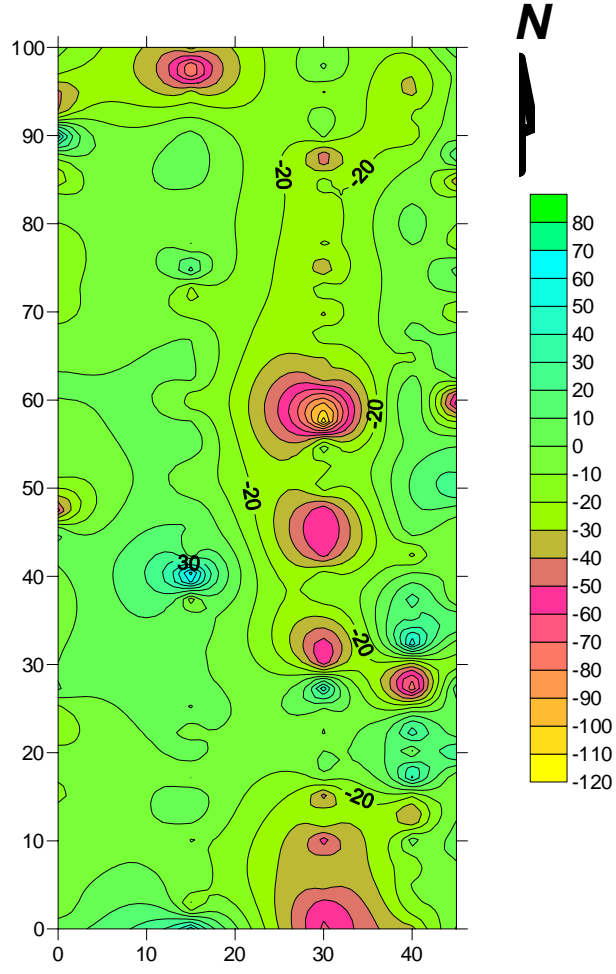


Şekil 4.19 Kuzey-Güney profil haritası-6

Şekil 4.19'da $AB/2 = 1$ ve 2 metre seviyesinde görülen yüksek öz direnç değerlerinin derinlere doğru azalmakta olduğu gözlenmektedir.

4.3 Manyetik Harita

Genel bir etüt amacıyla yapılan manyetik çalışmada kuzey güney istikametli 5 profilde 2.5 m aralıklarla 45 noktada alınan gradyent ölçü değerleri haritalanmıştır.



Şekil 4.20 Manyetik anomali haritası

Şekil 4.20’de özellikle kilise çevresinde yoğunlaşan anomalilerin kilisenin temel inşasında kullanılan traki-andezitlerden kaynaklandığı düşünülmüştür.

5- TARTIŞMA VE SONUÇ

Burdur ili Gölhisar ilçesi Yusufça kasabasında Burdur müze müdürlüğünce yapılan çalışmalarda bulunan ve MS'a 3'y.y'a ait olduğu düşünülen kilise kalıntısında zeminde yer alan mozaik yapının devamlılığını araştırmak ve eğer varsa başka yapıları belirlemek amacıyla jeofizik çalışmalar yapılmıştır.

Arkeolojik kazı öncesi yapılan bu jeofizik araştırma, kazının planlanmasında yol gösterici olmuştur. Ayrıca zaman ve maliyet yönünden kazı kurtarma çalışmalarına önemli katkı sağlamıştır.

Manyetik ölçümlerde elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan haritada kilise çevresinde sıklaşan anomalilerin kilise inşasında kullanılan traki-andezitlerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Sonuca gidilmede özdirenç verileri oldukça başarılı olmuştur. K-G yönlü açılımda oluşturulan profil 5 haritasında gözlenen yüksek özdirenç değerleri dikkate alınarak, mozaiklerin, kilisenin giriş kısmı olan batı kesiminde devam edebileceğini ve D-B yönlü açılımda oluşturulan seviye ve profil haritaları göz önünde bulundurularak batı kısmından kuzeye doğru uzanan bir yapının olabileceğini düşündürmüştür. Bunun üzerine önerilen alanda eylül 2004 tarihinde başlatılan bir haftalık kazı çalışmaları sonucunda kilise girişinde devam eden mozaik yapı, giriş duvarları, ve vaftiz havuzu bulunmuştur. Arkeolojik açıdan önemli diğer bir sonuçta, kilise tabanını kaplayan mozaikler üzerinde, Güneydoğu-Kuzeybatı istikametinde gözlenen deformasyon yapının MS. 417 deki depremden etkilendiğini göstermektedir. Buda, yapının sanıldığı gibi MS. 3. y.y.'a değil 5 y.y'a olduğunu ortaya çıkarmıştır.

6-KAYNAKLAR

- Akçığ, Z., Pınar, R., 1992. Arkeolojide Jeofizik Yöntemler, VIII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, T.C. Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 13, 37s, Ankara.
- Akçığ, Z., Pınar, R., 2000. Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 249, 167s, İzmir.
- Başokur, A.T., 1984, Düşey Elektrik Sondajı, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, 261s, Ankara.
- Başokur, A.T., 2002. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemlerin Ters Çözümü, Tmmob, Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, No:4 166s, Ankara.
- Batayneh, A., Al-Zoubi, A., Tobasi, U., And Haddadin, G., 2001. Evaluation Of Archaeological Site Potential On The Tall Al-Kharrar Area (Jordan) Using Magnetic And Resistivity Methods, 41, 1-10, Environmental Geology.
- Candansayar, M.E., 1997. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi, [www. Jeofizik.org.tr](http://www.Jeofizik.org.tr), JFMO.
- Canitez, N., 1997. Jeofizikte Modelleme, Yönmat Matbaası, No:14, 368s. İstanbul.
- Dizioğlu M.Y., Keçeli A.D., 1981. Elektrik ve Elektromanyetik Prospeksiyon Yöntemleri, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No :157, 425s, İstanbul.
- Drahor, M.G., 1991. Arkeolojik Alanlarda Jeofiziksel Prospeksiyonun Önemi, IX. Araştırma Sonuçları Toplantısı Kitabı, T.C Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 235-250, Ankara.
- Drahor, M.G., Hesse, A., Kaya, M.A., 1995. Sinop Amfora Atölyeleri Üzerinde Manyetik Çalışmalar, Jeofizik, Tmmob Jeofizik Mühendisleri Odası, 10, 1-2, 7-12, İstanbul.
- Drahor, M. G., 1998. Arkeoloji Jeofiziği: Arkeojeofizik-I, Arkeoloji ve Sanat, 87, 16-25.

El-Gamalı, M.M., El-Mahmoudı, A.S., Osman, S.SH., Hassaneen, And Metwaly, M.A., 1999. Geoelectric Resistance Scanning On Parts Of Abydos Cemetry Region, Sohag Governorate, Upper Egypt, 6, 225-239, Archaeological Propection.

Ercan, A., Kenar, Ö., 1998. Doğu Roma (Bizans) Büyük İmparatorluk Sarayının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, Jeofizik, Tmmob Jeofizik Mühendisleri Odası, 12, 1-2, 53-73, İstanbul.

Erdoğan, A., Gündoğdu, O., 1995. Kocaeli Üçtepeler Tümülüsünde Jeofizik Araştırma, Jeofizik Dergisi, Tmmob Jeofizik Mühendisleri Odası, 10, 1-2, 13-17, İstanbul.

Ergüder, İ., 2004. Tki-Geli Eskişehir Ocağında Antik Yapıların Jeofizik Yöntemlerle Bulunması, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü Etüt Proje ve Tesis Daire Başkanlığı, Ankara.

Ghazala, H., El-Mahmoudı, A. S., and Abdallatif, T. F., 2003, Archaeogeophysical Study On The Site Of Tell Toukh El-Qaramous, Sharkia Governorate, East Nile Delta, Egypt, 10, 43-55, Archaeological Propection.

Groiler International Americana Encyclopedia 1993, ISBN 0- 7172-9646-6 (set), ISBN 0-7172-9647-4 (vol.1).

Çeber, K, Erdoğan F, Köse, N, Özcan, K, Tunç, K, Ermumcu, M, Akkoç, O, 2004, Gölhisar, ISBN 975-585-424-x, İstanbul.

IPI2win Resistivity Sounding Interpretation, Version, 2.2, Moscow State University.

Koefoed, O., 1968. The Application Of The Kernel Function İnterpreting Geoelectric Resistivity Measurement, 12 , 2, 111 , Geoexploration Monographs.

Koefoed, O., 1969. An Analysis of Equivalance in Resistivitiy Sounding, 17, 327-335, Geophysical Prospecting.

Koefoed, O., 1970. A Fast Method For Determining The Layer Distribution From The Raised Kernel Function İn Geoelectrical Sounding, 18, 564-570, Geophysical Prospecting.

Komatina S., Timotijevic, Z., 1999. Some Case Studies Of Geophysical Exploration Of Archaeological Sites In Yugoslavia, 41, 205-213, Journal Of Applied Geophysics.

Meju, M.A., 1994, Geophysical Data Analysis: Understanding Inverse Problem Theory, 296 pp, Department of Geology, University Of Leicester.

Öztürk, C., 2004. Kelenderis Antik Kentindeki Arkeolojik Yapıların Özdirenç Yöntemiyle Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Isparta.

Telford, W.M., Geldart, L.P., And Sheriff, R.E., 1990. Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.

Yaramancı, A., 1970. Keban Projesi Jeofizik Araştırmaları Ön Raporu, Odtü Keban Projesi Yayınları, 1, 13-19, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem ALTUNKAYNAK

Doğum Yeri : Batman

Doğum Yılı : 1978

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve akademik Durumu:

Lise : 1993-1995 Batman Lisesi

Lisans : 1998-2002 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık
Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce