

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

**KEÇİBORLU KILIÇ (İSPARTA) ARKEOLOJİK SİT
ALANINDAKİ GÖMÜLÜ YAPILARIN JEOFİZİK YÖNTEMLER
İLE ARAŞTIRILMASI**

Onur DOĞAN

**Danışman
Doç. Dr. Sedat YILMAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSPARTA-2017**



© 2017 [Onur DOĞAN]

TEZ ONAYI

Onur DOĞAN tarafından hazırlanan " **Keçiborlu Kılıç (Isparta) Arkeolojik Sit Alanındaki Gömülü Yapıların Jeofizik Yöntemler İle Araştırılması** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Sedat YILMAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut OKYAR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hakan ALP
İstanbul Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Onur DOĞAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kılıç Bölgesinin Arkeolojisi.....	4
1.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
3. MATERYAL VE METOD	12
3.1.Elektrik Öz direnç Tomografi (ERT) Yöntemi	12
3.1.1. ERT yöntemine giriş.....	12
3.1.2. 2-B öz direnç araştırma için Wenner-Schlumberger dizilimi.....	15
3.2. Yer Radarı (GPR) Yöntemi	18
3.2.1. GPR yöntemine giriş.....	18
3.2.2. Yer radarının çalışmasına etki eden faktörler	19
3.2.3. Yer radarı veri toplama	20
3.2.4. Yer radarı verilerinin analizi.....	23
3.2.4.1. Süzgeçleme	24
3.2.4.2. Düşük frekansların giderilmesi (Dewow)	24
3.2.4.3. Energy decay (enerji azalımı, kazanç)	25
3.2.4.4. Background removal	25
3.2.4.5. Sıfır kayma zamanı düzeltilmesi	26
3.2.5. Yer radarı veri sunumu	26
3.3. Manyetik Yöntem.....	26
3.3.1. Manyetik yönteme giriş	27
3.3.2. Manyetik ölçülerde yapılan düzeltmeler.....	27
3.3.3. Manyetik yöntemde genel veri işlem aşamaları	28
3.3.3.1. Manyetik verilerin kutba indirgenmesi	28
3.3.3.2. Birinci ve ikinci türevler	29
3.3.3.3. Trend analizi (rejyonal ve rezidüel ayrımı).....	30
3.3.4. Manyetik yöntem sınır analizi yöntemleri	31
3.3.4.1. Analitik sinyal	31
3.3.4.2. Hiperbolik tilt açısı.....	32
3.3.4.3. Yatay türevlerin analitik sinyali	32
3.3.4.4. Toplam yatay türev	33
3.3.4.5. Teta haritası	33
3.3.4.6. Normalleştirilmiş standart sapma yöntemi	34
3.3.5. Teorik modeller için manyetik modelleme.....	34
4. ARAZİ ÇALIŞMASI VE BULGULAR.....	39
4.1. Araştırma Planı	39
4.2. ERT Araştırma Bulguları	43
4.3. Yer Radarı Araştırma Bulguları	47
4.4. Manyetik Yöntem Araştırma Bulguları.....	50

4.5. ERT, GPR ve Manyetik Verilerin Birlikte Değerlendirilmesi	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
6. KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	67



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KEÇİBORLU KILIÇ (ISPARTA) ARKEOLOJİK SİT ALANINDAKİ GÖMÜLÜ YAPILARIN JEOFİZİK YÖNTEMLER İLE ARAŞTIRILMASI

Onur DOĞAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sedat YILMAZ

Arkeoloji, her ülke insanının geçmişini, kültürünü ve her medeniyetin kendine özgü değerlerinin belirlenmesini sağlayan önemli bir bilim dalıdır. Arkeolojik çalışmalar oldukça zaman alan ve hassas çalışılması gereken bir süreç gerektirmektedir. Arkeolojik çalışmalar ile gömülü halde bulunan kalıntıların gün yüzüne çıkarılması hedeflenmektedir. Arkeolojik araştırmalarda kazılardan önce başvurulacak yöntem aletsel arkeojeofizik ölçümlerdir. Bu ölçümler yeraltında gömülü kalıntıların yer, biçim, uzanım ve derinlik özelliklerini iki ve üç boyutta veren en etkin yöntemlerdir. Jeofizik uygulamalarla antik yapı kalıntısının yeri, derinliği ve durumu ile ilgili bilgilerin edinilmesi, kısıtlı zaman ve ekonomik olanaklar ile yürütülen arkeolojik kazıların planlanması ve yürütülmesi aşamasında katkı sağlamaktadır. 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.

Bu çalışma, Türkiye'de Isparta'nın kuzeyinde bir arkeolojik alanda (Kılıç Öreniçi Mevkii) birleşik bir jeofizik araştırması sunmaktadır. Burada kaçak bir kazı yapılmış ve Roma mimarisine ait olduğu düşünülen anıtsal bir kalıntı ortaya çıkmıştır. Bu temelde, kazı etrafında arkeolojik gömülü kalıntıların varlığını ve sürekliliğini belirlemek için, arkeolojik araştırmalarda en sık kullanılan elektrik öz direnç tomografi (ERT), manyetik haritalama ve yer radarı (GPR) yöntemleri ile, yaklaşık iki dekarlık bir alan araştırılmıştır. Saha ERT verilerinin ters çözümü için robust ters çözüm tekniğini esas alan bir algoritma kullanılmıştır. Toplam manyetik alan haritası, ölçülen manyetik alan değerlerine gerekli filtreleme ve kutba indirgeme işlemi yapılarak elde edilmiştir. Ölçülen GPR verilerinin yorumu için ise, genel veri-işlem adımlarını kapsayan bir yazılım kullanılmıştır. Bu üç jeofizik yöntemden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi ile, inceleme alanındaki muhtemel gömülü kalıntıların yerleri, uzanımları ve sınırları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arkeojeofizik, ERT, GPR, , Isparta, manyetik yöntem, Türkiye.

2017, 81 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF BURIED STRUCTURES IN ARCHAEOLOGICAL SITE, KEÇİBORLU KILIÇ (ISPARTA) USING GEOPHYSICAL METHODS

Onur DOĞAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sedat YILMAZ

Archaeology is an important discipline which enables to define the past of each country's people, culture and the values peculiar to each civilization. Archaeological studies require a process which entails a great deal of time and a work of delicate kind. The archaeological fieldworks aim to unearth the buried remains. The method used in archaeological researches before excavating is the instrumental archeogeophysical measurements. These measurements are the most efficient ways to take three and two dimensional properties such location, depth and size of ruins. The predicted parameters obtained by the applied geophysical methods assists in terms of time needed and lowering the cost of excavation studies. In archaeological excavations, it is rather important that time, economy and incorrect excavation with historical foundings should not be harmed. An excavation which starts with the wrong place not only increases the cost of the study but also can cause the historical arts to be harmed. Thus, geophysical surveys will help the archaeological studies considerably in this way.

This study presents a combined geophysical survey at an archaeological site (Kılıç Öreniçi Site) north of Isparta in Turkey. Here, an illegal excavation revealed a monumental relic which is thought to belong to the Roman architecture. On this basis, on three sectors around the excavation has been investigated to determine the existence and continuity of possible buried remains of archaeological interest by the electrical resistivity tomography (ERT) with the assistance of magnetic mapping and ground-penetrating radar (GPR), which are the most frequently used in archaeological prospecting. An algorithm based on the robust inversion technique was used to invert all field ERT data. The total field magnetic map was obtained by interpolating the data set after filtering and pole reduction transformation procedures. The general GPR data processing steps using an algorithm were applied for enhancing the visualization of the measured reflections. The results of the combined geophysical survey revealed further possible locations, extensions and borders of buried structures in coherence with a regular architectural plan.

Keywords: Archeogeophysics, ERT, GPR, Isparta, magnetic method, Turkey.

2017, 81 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Sedat YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında ve çalışmamın veri-işlem aşamalarında, tez yazım ve düzenlemelerimde bana yardımcı olan, bilgi ve önerilerini benimle paylaşmaktan hiç çekinmeyen Arş. Gör. Dr. Erdiç ÖKSÜM'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarım sırasında ölçümlerin alınmasında yardımlarından ve bilgileri ile beni aydınlattığından dolayı Okutman Olcay ÇAKMAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde yardımlarını gördüğüm jeofizik mühendisi Erkan TEKELİOĞLU, Gökhan AKTAN ve Burak PEKÖZ'e teşekkür ederim.

4786-YL1-16 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi' ne teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Onur DOĞAN
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası. A, B ve C çalışma alanı içerisindeki bölümleri göstermektedir.....	3
Şekil 1.2. Kaçak kazı sonucu açığa çıkan mimari kalıntılar.	5
Şekil 1.3. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası.....	7
Şekil 3.1. Elektrik özdirenç yönteminin genel esası	12
Şekil 3.2. Bir yer elektrik kesitinin veri noktalarıyla birlikte blok diyagramı	14
Şekil 3.3. Çok-elektrotlu özdirenç ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları	15
Şekil 3.4. 2-B Wenner Schlumberger diziliminde ölçüm prensibi ve veri noktalarının düzlemdeki konumları.....	16
Şekil 3.5. Wenner Schlumberger dizilimi için 2-B duyarlılık kesitleri.....	17
Şekil 3.6. a) Yer radarı yönteminin genel çalışma sistemi b) Radargram.....	19
Şekil 3.7. Yer radarı ölçümlerinde kullanılan çeşitli anten kombinasyonları	21
Şekil 3.8. Sabit aralıklı yansıma hız sondajı uygulaması usulü derinlik kesiti (a) ve zaman kesiti (b)	21
Şekil 3.9. Tx-Rx aralığı sabit iken yer radarı yansıma kesitinin elde edilmesinin şematik gösterimi	22
Şekil 3.10. Ortak orta nokta uygulaması usulü derinlik kesiti (a), zaman kesiti (b).....	23
Şekil 3.11. Teorik modellere ait hesaplanan manyetik anomali haritası.....	35
Şekil 3.12. Teorik modelin kutba indirilmesi	36
Şekil 3.13. Teorik modele ait manyetik anomali haritasının a) kuzey Y- yönünde yatay türev, b) doğu X- yönünde yatay türev, c) düşey türev haritaları	36
Şekil 3.14. Teorik model üzerinde uygulanarak elde edilmiş sınır analiz tekniklerinin sonuçları.....	38
Şekil 4.1. Arkeojeofizik çalışma için araştırma düzeni, saha A,B ve C olmak üzere 3 alana ayrılmıştır	39
Şekil 4.2. Ölçüm hatlarının belirlenmesine ait fotoğraflar.....	40
Şekil 4.3. Saha çalışmasında kullanılan GF Instruments 48 kanallı çok elektrotlu elektrik özdirenç sistemi.....	41
Şekil 4.4. a) Saha çalışmasında kullanılan Mala ProEx radar sistemi, b) radar ölçüsü uygulamasına ait saha görüntüsü.....	42
Şekil 4.5. a) Manyetik yöntem ölçü alma tekniği b) manyetik ölçümlerde kullanılan Scintrex SM-5 Navmag sezyum manyetometresi	42
Şekil 4.6. “A” alanındaki 9 hat (profil) boyunca 2-B özdirenç kesitlerin birleştirilmiş görüntüsü.....	44
Şekil 4.7. “B” alanındaki 11 hat (profil) boyunca 2-B özdirenç kesitlerin birleştirilmiş görüntüsü.....	46
Şekil 4.8. a) A alanı ve b) B alanı için 0.77 m, 1.35 m, 1.99 m, 2.69 m ve 3.46 m özdirenç kat haritaları	47
Şekil 4.9. a) B bölgesinin 15 nolu profiline ait veri işlem öncesi ve b) B bölgesinin 15 nolu profiline ait veri işlem sonrasına ait radargram	48
Şekil 4.10. A, B ve C alanlarındaki GPR verilerinin birleştirilmesi ile elde edilen 3-B gösterim	49
Şekil 4.11. GPR verilerinin belirli aralıklarla alınan yatay zaman kesitleri.....	50
Şekil 4.12. Çalışma sahasına ait a) toplam alan manyetik anomali haritası, b) rejyonel manyetik anomali haritası ve c) kutba indirgenmiş rezidüel manyetik anomali haritası	52

Şekil 4.13. Çalışma sahasına ait manyetik anomali haritasının a) doğu (x) yönünde yatay türev, b) kuzey (y) yönünde yatay türev, c) düşey türev haritaları	53
Şekil 4.14. Çalışma sahasına ait a) analitik sinyal b) tilth açısı c) TDX d) HGAS e) teta f) NSTD manyetik yöntem sınır analizi haritaları.....	54
Şekil. 4.15. ERT, GPR ve manyetik araştırma sonuçlarının ortak yorumu	56



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Teorik model parametreleri.....	35
Çizelge 4.1. Arkeojeofizik araştırma için yöntem, cihaz, veri toplama teknikleri, veri işlem ve veri sunum teknikleri.....	41



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

f	Frekans
I	Yere uygulanan akım
J	Akım Yoğunluğu
k	Geometrik katsayı
ns	Nanosaniye
R	Direnç
S	Alan
V	Gerilim
ρ	Elektrik özdirenç
ρ_a	Görünür özdirenç
σ	Elektrik iletkenlik
Ωm	Ohm metre
ε	Dielektrik geçirgenlik
μ	Manyetik geçirgenlik
v	Elektromanyetik dalganın faz hızı
λ	Elektromanyetik dalga boyu
η	Elektromanyetik dalganın sönümü
ΔV	Gerilim elektrotları arasındaki gerilim farkı

1. GİRİŞ

Arkeoloji, her ülke insanının geçmişini, kültürünü ve her medeniyetin kendine özgü değerlerinin belirlenmesini sağlayan önemli bir bilim dalıdır. Arkeolojik çalışmalar oldukça zaman alan ve hassas çalışılması gereken bir süreç gerektirmektedir. Arkeolojik çalışmalar ile gömülü halde bulunan kalıntıların gün yüzüne çıkarılması hedeflenmektedir. Kazı öncesinde yeraltındaki gömülü arkeolojik yapı kalıntılarını ortaya çıkarmak için uğraş veren arkeologların en önemli sorunlarından birisi, bu yapı kalıntılarının yerlerinin ve derinliklerinin tam olarak bilinmemesidir. Masraflı ve zaman kaybına neden olan kazılarda, ekonomik sorunları en aza indirmek ve son derece duyarlı ve hasarsız kazı gerektiren, uzun zaman alan kazıların zaman kayıplarını önlemek için bu sorunların aşılması gerekmektedir. Özellikle hasar görmemesi gereken tarihsel yapıların ortaya çıkartılması büyük bir titizlik gerektiren çalışmalardır.

Arkeolojik çalışma yapılacak alanda kalıntının gömülü olması ve çoğu zaman yüzeyde herhangi bir belirtinin olmayışı, kazıya nereden başlanacağı konusunda ciddi sıkıntılar yaşatmaktadır. Bu tür çalışmalar çok büyük emek, zaman ve para gerektirdiğinden, yapıya ait parametrelerin önceden bilinebilmesi arkeolojik çalışmalara çok büyük yarar sağlayacaktır. İşte bu çalışma süresini kısaltmak, daha kısa sürede daha fazla araştırma yapabilmek ve hem bilime hem de insanoğluna daha fazla bilgi sunabilmek için, arkeoloji ve jeofizik bilimlerinden “arkeojeofizik” doğmuştur. Arkeolojik araştırmalar yeraltında gömülü kalıntıların yer, biçim, uzanım ve derinlik özelliklerini iki- ve üç- boyutta (2-B ve 3-B) verdiği arkeolojik kazıların planlanması ve yürütülmesi aşamasında katkı sağlamaktadır. Buna bağlı olarak, kazı maliyeti, zaman kaybı ve kazı sırasında antik yapı kalıntısının görebileceği olası hasarların önüne geçilebilmektedir (Küçükdemirci, 2008).

Arkeolojik aramalarda farklı jeofizik yöntemlerin birlikte kullanımı, hem gömülü kalıntıları oluşturan malzeme ve onu çevreleyen zeminin özelliklerinden kaynaklanan sorunların üstesinden gelmeyi hem de sonuçların doğrulanmasını sağlamaktadır (Cardarelli ve Flippo, 2009).

Arkeolojik araştırmalar için elektrik özdirenç tomografi (ERT), yer radarı (GPR) ve manyetik haritalama yöntemleri hızlı bir şekilde kullanılmaktadır ve gömülü yapı kalıntılarının görüntüsünü veya haritasını elde etmek için uygun verileri sağlamaktadır. Böylece, bu yöntemleri kullanan arkeojeofizik araştırmalar son on yılda artmıştır (Drahor, 2006; Piro vd. 2007; Cardarelli ve Filippo, 2009; Nuzzo ve Negri, 2009; Leopold vd., 2010; Novo vd., 2010; Porsani vd., 2010; Drahor vd., 2011; Novo vd., 2013; Tong vd., 2013; Zhao vd., 2013; Zheng vd., 2013; Apostolopoulos vd., 2014; Urban vd., 2014; Martinez vd., 2015; Di Maio vd., 2016).

Bu tez çalışmasında, Kılıç renii mevkiindeki (Isparta, Türkiye) (şekil 1.1) bir kaçak kazı alanında ortaya çıkmış ve muhtemel gömülü arkeolojik kalıntılar jeofizik yöntemler ile araştırılmıştır. Bu arkeolojik kalıntıların Roma Dönemi' ne ait olduğu yapılan yüzey araştırmalarından (zsait, 2011) bilinmektedir. Bu kalıntılar etrafında olası arkeolojik yapıları araştırmak için, jeofizik tekniklerden ERT, GPR ve manyetik haritalama yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen verilerin birlikte yorumu ile inceleme alanındaki mevcut kalıntıların varlığını, muhtemel yapı kalıntılarının yerlerini tespit etmek ve kurtarma kazısına yön vermek amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası. A, B ve C çalışma alanı içerisindeki bölümleri göstermektedir

1.1. Kılıç Bölgesinin Arkeolojisi

Antik dönemde Pisidia sınırları içerisinde yer alan Keçiborlu ve Kılıç köyünde Özsait (1980) tarafından yapılan yüzey araştırmalarında erken kalkolitik çağdan itibaren bölgenin yerleşim gördüğü tespit edilmiştir. Özsait 1983 yılında yaptığı araştırmalarda Kılıç köyünün kuzeyinde yer alan Yenice mevkiinde bir höyük tespit etmiştir. 1984 yılı araştırmalarında Gölbaşı, Kılıç ve Keçiborlu arasındaki kesime odaklanarak Kılıç köyünün 5.5 km. doğusunda Tilkilik mevkiinde bir höyük tespit edilmiş, 2010 yılı araştırmalarında Ören mevkiinde 4 oda mezar ile ilk tunç çağ yerleşimi tespit etmiştir. Bunun yanı sıra köyün 3,5 km. doğusunda Bozyer mevkiinde bir höyük daha tespit etmiştir. Ağırlıklı olarak tarih öncesi yerleşimler üzerinde durmuştur (Hürmüzlü-Korholt, 2015).

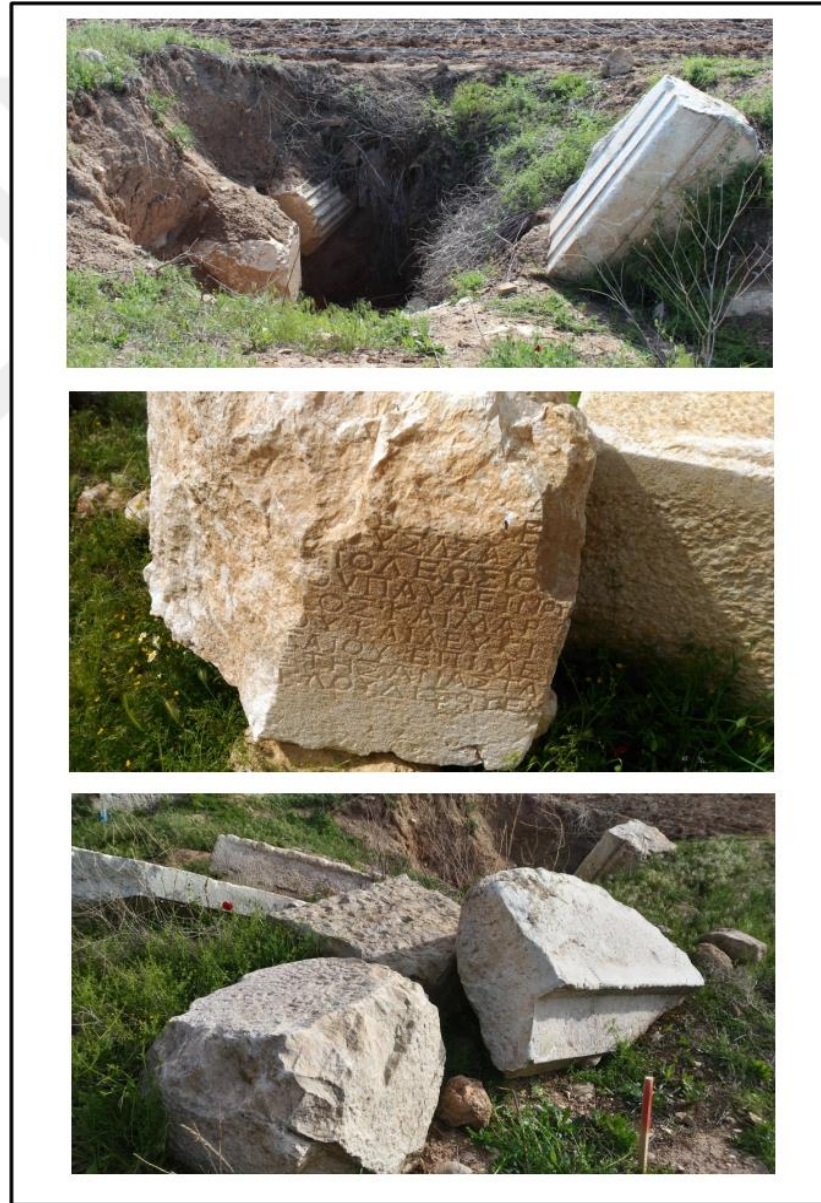
Pisidia Bölgesi'nin Hellenistik, Roma ve Geç dönemiyle ilgili kaynakları yine Prof. Dr. M. Özsait derleyerek 'İlk Çağda Pisidia' ve 'Hellenistik ve Roma Döneminde Pisidia' adlı iki ciltlik çalışmasında yayınlamıştır. Araştırmacıların bölge antik kentlerinin isimlerini lokalize etme konusundaki fikir ayrılıklarına rağmen genel olarak Pisidia'nın kuzey batısında Frigya sınırına yakın olan anaua (Acı göl) ve Askania (Burdur Gölü) gölü arasındaki arazide kalan Baris (Fari) antik kenti bugünkü Kılıç köyü yakınlarındadır. Kentin kuruluş tarihi hakkında herhangi bir bilgi yoktur. Baris kentinin adı Ptolomaios ve Hierokles'de geçmektedir (Özsait, 1980).

Robert (1948), bulduğu bir kitabeyle antik kentin Kılıç kasabası yakınındaki Fari'de olduğunu belirtmiştir. Hellenistik (MÖ 334-30) dönemden Roma dönemi sonuna kadar sikke basan kentten herhangi bir kalıntı olmamakla birlikte, Kılıç kasabası içindeki çeşme inşaatında kullanılmış olan Roma Dönemi mimari parçaları, Isparta müzesine nakledilen kapaksız lahit ve yunanca kitabe dışında kasaba civarındaki kayaya oyulmuş tekne ve oda mezarların bulunmasından civarda bir kent kalıntısının olduğunu gösteren eşsiz buluntulardır.

Kılıç Köyü, Öreniçi Mevkii'nde, I. derece arkeolojik sit alanında ovanın büyük bir kısmına yayılmış olan yüzey verilerinin; Baris Antik Kenti'ne ait olabileceğini

düşündürmektedir. Seramik popülasyonu güçlü bir yerleşimin varlığına işaret etmektedir. Ancak mimari bir kalıntıya rastlanılmamıştır (Özsait 2011).

Bölgede yapılan kaçak kazılar ile Roma Dönemi'ne ait olduğu düşünülen anıtsal bir yapıya ait mimari bloklar (10 adet mimari parça ve 1 adet onur yazıtı) ortaya çıkmıştır (Şekil 1.2). Bunlardan bazıları; 80 cm. çapında, kesit nedeniyle boyu bilinmeyen sütun parçası, kireç taşından, 26 yivli, monoblok olarak işlenmiştir. Arşitrav köşe bloğu, aslan çörtenli, yumurta dizisi ve rozet bulunan yarısı toprak altında olan ve sütunla aynı dizide yer alır (Özsait, 2011).



Şekil 1.2. Kaçak kazı sonucu açığa çıkan mimari kalıntılar.

Dönemin önemli kent merkezlerinde görülebilecek nitelikteki işçilikleriyle dikkati çeken mimari bloklar ve kaçak kazı çukur derinliği, antik kentin kalıntılarının bu noktada ve derinde olabileceğini göstermektedir. Kent dokusu, arkeojeofizik veriler ve arkeolojik kazılarla anlaşılabilir. Öncelikle kaçak kazı noktasındaki yapılaşmayı anlamayı hedef alan bir arkeojeofizik çalışması bu nedenle önemsenmektedir.

1.2. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

İnceleme alanı ve çevresinin jeolojisi Şenel, (1997)' den basitleştirilerek Şekil 1.3' de verilmiş ve aşağıda kısaca özetlenmiştir.

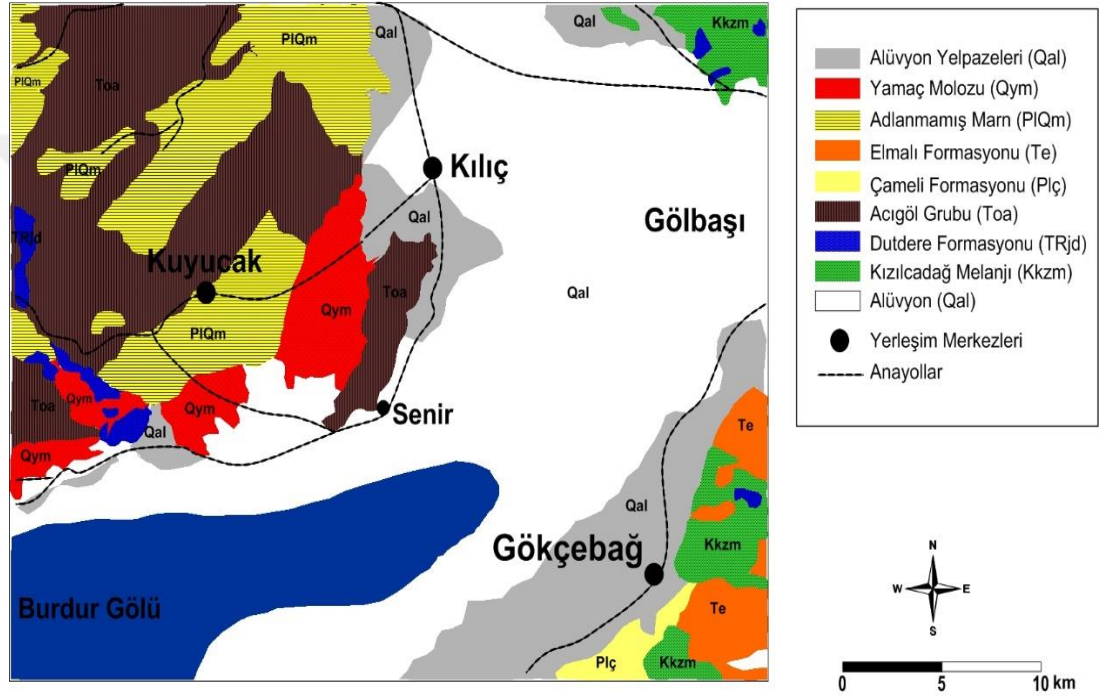
Çalışma alanının da içinde bulunduğu Kılıç Köyü ve doğusu Burdur Gölü'nün üst ve çevresinde, nehir yataklarında, düzlüklerde ve göl kenarlarında ki çakıl, kum ve çamur birimlerinden oluşmaktadır. Kılıç Köyü'nün güney doğusu ve Burdur Gölünün doğu kısmına düşen bölgelerde gölsel tortulları temsil eden Çameli Formasyonu, ofiyolitli melanj ve olitostromla temsil edilen Kızılcadağ, melanj ve olistostromu, kumtaşı ve şeyllerden oluşan Elmalı Formasyon'u bulunmaktadır.

Çameli Formasyonu, ince-orta-kalın tabakalı, beyaz, kirli beyaz, kirli sarı, açık gri, yeşil ve benzeri renklerde kil taşı, kumtaşı, marn, konglemera ve silt taşlarından oluşur. Birim içerisinde yer yer tüf ve tüfit düzeyleri bulunur.

Kızılcadağ, melanj ve olistostromu; serpantin, serpantinleşmiş harzburgit, dunit ve benzeri kaya türlerinden oluşur. Genelde bazit volkanit, neritik kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, radyolarit, çört, dolomit ve benzeri blokludur. Yer yer ofiyolitli melanjdan ayırtlanamayan olistostramlar da birim içerisinde bulunmaktadır.

Elmalı formasyonu ise; ince-orta-kalın tabakalı gri, koyu gri, bej, yeşilimsi gri, yeşil, kahve ve benzeri renklerde kumtaşı ve şeyllerden oluşur. Birim içinde kumlu-killi kireçtaşı, kalkarenit vb. seviyeler bulunur. Bunlar aşırı deformasyonla makaslanmış ve çoğu blok görünümü kazanmıştır.

Kılıç Köyü'nün güney-batı bölümlerinde yamaç molozu ve birikinti konileri bulunmaktadır. Dağ yamaç ve eteklerinde bulunan bu birim çakıl ve blok birikintilerinden oluşmakla beraber yer yer tutturulmuş, çoğun gevşek haldedir. Bölgenin güney-batı ve batı bölümlerine yayılmış olarak bulunan Acıgöl Grubu ise kalın konglomeralardan meydana gelmektedir. Acıgöl Grubu masif veya kalın tabakalı polijenik konglomeralardan oluşur. Birim içinde yer yer kumtaşı ve çamur taşları izlenir. Bölgenin büyük bir bölümü ise adlanmamış Plio-kuvaterner, marn, silttaşı, kilitaşı ve çamurtaşından meydana gelmektedir.



Şekil 1.3. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (Şenel, 1997'den değiştirilmiştir).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Jeofizik yöntemlerin her birinin farklı fiziksel özelliklere duyarlı olduğu göz önüne alındığında birden fazla yöntemin bir arada kullanılması sonuçların daha kolay yorumlanmasını ve daha kesin sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

Tsokas vd. (1994), kuzey Yunanistan'da bulunan Europos antik kentindeki birçok mimari yapının yerini yer radarı ve elektrik öz direnç verilerinin ters-çözümü ile ortaya koymuşlardır. Benzer bir çalışmayı Shaaban ve Shaaban (2001) Mısır'ın antik başkentinin araştırılmasında uygulamışlardır.

Batayneh vd. (2001), Ürdün nehrinin doğusunda Al-Kharrar vadisinde Tall Al-Kharrar arkeolojik alanında manyetik ve elektrik öz direnç tomografi çalışmaları yürütülmüşlerdir. Bu çalışmada gömülü yapıların haritalanması, insan yapımı nesnelerin yerlerinin belirlenmesi ve bu sayede araştırmanın maliyetinin azaltılmasını amaçlamışlardır. Bu bölgede toplam manyetik alan ve pole-dipol dizilimi kullanılarak öz direnç ölçümleri alınmıştır. Sonuç olarak, 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 yapıları eşyalar, kanallar ve bir kilise sahası ortaya çıkarılmıştır.

Ghazala vd. (2003), Sharkiya eyaleti, Abu Kebir in güneyinde Tell-Toukh El-Qaramousta arkeolojik alanları belirlemek için 2003 yılında manyetik ve elektrik öz direnç çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada öncelikli olarak Mısır'ın 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 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.

Drahor (2006), Batı Avrupa'nın en önemli arkeolojik alanlarından biri olan Sardis antik kentinde yaptığı çalışmada manyetik, elektrik öz direnç tomografi ve sismik yöntemleri birlikte kullanarak çalışma yapmıştır. Manyetik veriler gradyan ölçüm tekniği kullanılarak veriler farklı sinyal ve görüntü işleme teknikleri ile değerlendirmiştir. Elektrik öz direnç yönteminde ölçüler wenner ve pol-pol dizilimleri kullanılarak almış ve ters çözümleri yapmıştır. Buna ek olarak, sismik yöntemin arkeolojik problemler üzerindeki tepkisini gözlemlemek için test profilleri almıştır. Birbirleriyle bağlantılı birçok jeofizik tekniğin kullanımının gömülü arkeolojik yapıları belirlemek için çok yararlı ve etkili olduğunu göstermiştir.

Tong vd. (2013), Tayvan'da Peinan arkeolojik alanı, kayrak tabutu mezar kompleksleri etrafında gerçekleştirdikleri çalışmada elektrik öz direnç tomografi, elektromanyetik, manyetik ve yer radarı yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Antik köy dağılımını gösteren güvenilir bir veri yoktur ve bu sitede daha önce hiçbir jeofizik araştırma yapılmamıştır. Üç paralel profil boyunca ölçüm almışlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Buna göre tüm alanı araştırmak için en uygun maliyetli ve sahaya en uygun yöntemlerin manyetik ve elektromanyetik olduğu belirlenmiştir. Elektrik öz direnç ve yer radarı yöntemlerini daha sonra ki detay çalışmalarında kullanılmasını ön görmüşlerdir.

Zheng vd. (2013), Jinsha bölgesinde bir arkeojeofizik çalışma yapmışlardır. Jinsha bölgesi, geç dönem neolitik çağda, erken tunç çağında, eski Shu devletinin kalıntılarını içermektedir. Arazinin arkeolojik araştırması, özellikle bu dönemin herhangi bir yazılı kaydı olmadığı için Shu kültürü çalışması için önemlidir. Bu çalışmada, sahadaki eski arkeolojik kalıntıları bulmak için tahribatsız jeofiziksel yöntemleri kullanmışlardır. Jeofizik yöntemlerden elektrik öz direnç tomografi, yer radarı, IP yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuçların birlikte değerlendirilmesi ile arkeolojik kalıntıların yerlerini tespit etmişlerdir.

Drahor vd. (2015), Sapinuwa arkeolojik alanındaki kutsal bir alanın jeofizik çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Sapinuwa, Hitit İmparatorluğu'ndaki önemli şehirlerden biriydi. Sapinuwa'nın arkeolojik alanı Orta Anadolu'nun Çorum ilçesinde bulunmaktadır. Bu çalışma ile kutsal Taşdöşem alanı (Taşdöşem, "taş döşeme" anlamına gelir) içindeki gömülü yapıları, jeofizik yöntemleri kullanarak ortaya

çıkarmayı amaçlamışlardır. Bu amaca yönelik olarak bu alana manyetik, yer radarı, elektrik özdirenç tomografi, sismik tomografi ve yüzeysel dalga tomografisinin çok kanallı analizini uygulamışlardır. Alan içindeki mezarlar hakkında daha detaylı ve kapsamlı yorumlar elde etmek için, tek tek jeofizik araştırmaların sonuçlarını üst üste getirerek değerlendirmişlerdir. Elektrik özdirenç tomografi derinlik kesitleri, Taşdöşem alanına gömülmüş önemli bir yapının varlığını ortaya koymuştur. Şaşırtıcı bir şekilde, yüzey dalga tomografisinin çok kanallı analizinin derinlik kesitlerinde gözlemlenen V_s hız değişimleri, yapı karakteri hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Buna ek olarak sismik refraksiyon tomografi ve derinlik kesitleri yapıların aynı lokasyonlarda varlığını doğrulamıştır. Yer radar araştırmasının sonucu, olası derin yapılara ilişkin olarak kesin bir bilgi sunmamış, manyetik ise yakın yüzeydeki yapılar hakkında bazı bilgiler vermiştir. Sonuç olarak jeofizik yöntemlerin birlikte kullanımı ile gömülü yapıların yerlerini tespit etmişlerdir.

Di Maio vd. (2016), Phaistos'un daha az kazılan tepelerini ve altındaki platoyu araştırmayı amaçlayan uluslararası bir araştırma projesi kapsamında Girit'in Yunan adasındaki arkeolojik Phaistos alanında bir jeofizik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında manyetik, elektromanyetik ve elektrik özdirenç tomografi yöntemleri uygulanmıştır. Özellikle, gözlemlenen elektrik ve manyetik ölçümlerinin sonuçları, kireçli materyalden yapılmış bir duvar yapısı ile mükemmel bir uyum göstermişlerdir.

Günümüzde ülkemizde gerçekleştirilen arkeojeofizik çalışmalarında gömülü arkeolojik yapı kalıntılarının derinlikleri, uzanımları ve dağılımlarının belirlenmesi amacıyla jeofizik yöntemlerin birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Sardis (Drahor, 2006), Hierapolis (Negri ve Leucci, 2006), Satla (Drahor vd., 2008a), Zeugma (Drahor vd., 2008b) ve Metropolis (Özyalın vd., 2010) gibi antik kentlerde gerçekleştirilen ve elektrik özdirenç tomografi, manyetik, yer radarı, sismik kırılma tomografi gibi yöntemleri kapsayan çalışmalarda oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Yine ülkemizde uygulanıp başarılı sonuçlar elde edilen arkeojeofizik çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir, Erdoğan ve Gündoğdu (1995), Kocaeli Üçtepeliler Tümülsünde Roma Dönemi'ne ait olduğu tahmin edilen büyük tümülüste jeoelektrik

yöntemlerinden elektrik özdirenç profil çalışmaları yapmışlardır. Araştırmacılar homojen ortam içerisinde bulunan üç boyutlu yapının (mezar ve giriş kısmının) geometrik konumunu saptamışlardır. Bu arkeojeofizik incelemeler sonrasında yapılan kazı çalışmalarından elde edilen bulgular, jeofizik verilerinin doğruluğunu ıspatlamışlardır. Yüksel vd. (2007), Sinop iline bağlı Boyabat ilçesinde sismik kırılma ve rezistivite yöntemlerini kullanarak yaptığı arkeojeofizik çalışma sonucunda kale içerisinde boşluk ve tünel yapılarını belirlemiştir. Özel vd. (2007), Erzincan Üzümlü Altıntepe Urartu Kalesi arkeolojik alanında manyetik yöntemi kullanarak 8 farklı yerde arkeolojik bulguya rastlamışlardır. Üstol vd. (2013), Yalvaç ilçesi yakınlarında bulunan Pisidia Antiokheia antik kentinde yaptığı çalışmada yer radarı ve elektrik özdirenç yöntemlerini uygulayarak araştırma alanında L şeklinde bir duvarın varlığını tespit etmişlerdir. Hoşkan vd. (2014), Yer radarı yöntemi ile Muğla ili Tios Antik Kenti' nde yapmış olduğu çalışma sonucunda iki-boyutlu (2-B) ve üç-boyutlu (3-B) yer altı görüntüleri elde ederek çalışma sahasının arkeolojik vaziyet planına katkı sağlamışlardır. Hazel (2014), yer radarı (GPR) yöntemi ile İstanbul, Vezneciler caddesinde ayrıntılı arkeolojik yapı geometrilerini ortaya çıkarmıştır.

Çalışma alanı olarak belirlenen Isparta Kılıç Köyü Öreniçi mevkiinde herhangi bir arkeojeofizik çalışma yoktur ve bu tez çalışması ilk olacaktır.

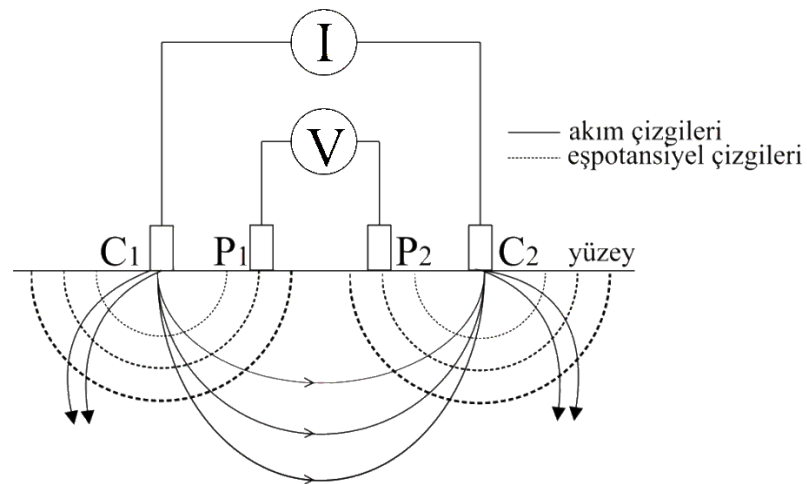
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Elektrik Özdirenç Tomografi (ERT) Yöntemi

3.1.1. ERT yöntemine giriş

Özdirenç yöntemi dünyada en yaygın kullanılan yapay kaynaklı elektrik yöntemidir. Özellikle yöntemin ekonomik olması ve kullanım kolaylığı nedeniyle birçok jeolojik problemin çözümü için tercih edilmektedir. Gömülü fayların konumlarının bulunmasında, yeraltı suyu aramalarında, zemin etütlerinde, baraj çalışmalarında, heyelan alanların saptanmasında, kum ocakların bulunmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Elektrik özdirenç yöntemi yapay bir enerji kaynağı kullanılarak iki elektrot ile yere akım verilmesi ve diğer iki elektrot arasındaki potansiyel farkın ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 3.1). Görünür özdirenç, akımın tesir ettiği bütün toprak ve kayaların ortalama özdirencidir. Bu özdirenç, ölçülen potansiyel farkın yere verilen akıma oranının elektrot konumları ile ilişkili bir geometrik katsayı ile çarpılmasından hesaplanır (denklem 3.1 ve denklem 3.2). Özdirenç aramalarında gözlemlenen görünür özdirenç verilerinin yorumundan, yeraltının gerçek özdirenç ve formasyon kalınlıklarının bulunması amaçlanır.



Şekil 3.1. Elektrik özdirenç yönteminin genel esası. Yüzeyde C1- C2 akım ve P1-P2 potansiyel elektrotlarına karşılık yarı sonsuz ortamdaki akım (düz çizgi) ve eş potansiyel çizgileri (kesikli çizgi)

$$\rho_a = k \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (3.1)$$

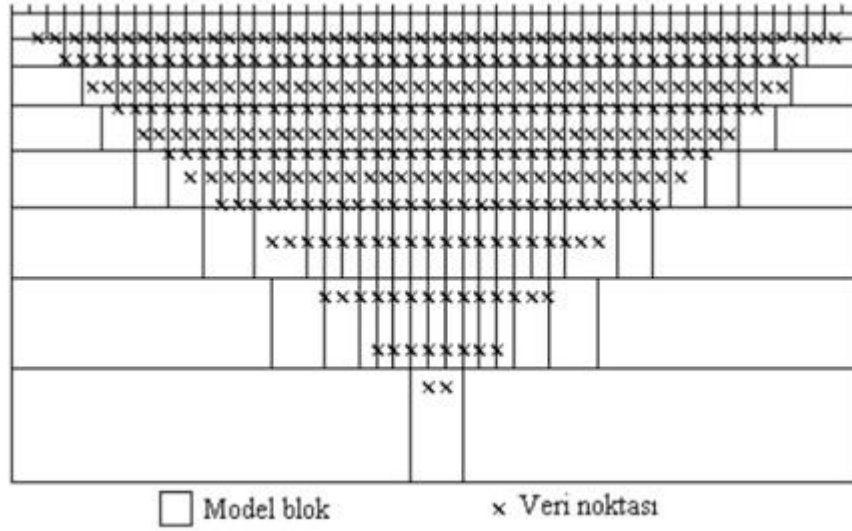
Burada ΔV potansiyel elektrotlar arasındaki fark, I yere verilen akım ve k ise geometrik katsayıdır.

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{C_1 P_1}\right) - \left(\frac{1}{C_2 P_1}\right) - \left(\frac{1}{C_1 P_2}\right) + \left(\frac{1}{C_2 P_2}\right)} \quad (3.2)$$

ERT yöntemi, jeofizik sorunların çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yerin elektriksel özelliklerinin hem yatay hem de düşey değişimlerini ortaya koyar ve iki-boyutlu (2-B) öz direnç ölçüm yöntemi ile yapının tanımlanması ve gömülü yapıların derinliklerinin belirlenmesinde nitelikli yorumlar sağlamaktadır. 2-B öz direnç veri toplama arkeojeofizik, hidrojeolojik, çevre ve jeoteknik araştırmalar için oldukça faydalı olmaktadır (Griffiths ve Barker, 1993; Dahlin ve Owen, 1998; Beauvais vd., 2004; Drahor, 2006).

Yeraltının gerçek öz direnç değişimini elde etmek için, görünür öz direnç verilerinin bir ters çözümü yapılır. Bu yönde geliştirilen ters çözüm algoritmaları yeraltının tomografik görüntülerinin iki- ve üç- boyutta elde edilmesine olanak sağlamaktadır. ERT ters çözümünde amaç sınırlı sayıdaki görünür öz direnç verisinden yeraltı modeli olan öz direnç dağılımına ulaşmaktır.

Bu tez çalışmasında araziden elde edilen görünür öz direnç değerlerinin ters çözümü Res2dinv (Geotomo 2006a, 2006b) yazılımı ile yapılmıştır. Program, alınan ölçümlerden sonra yeraltının 2-B görüntüsünü otomatik olarak hesaplar. 2-B öz direnç görüntüyü elde etmek için algoritma tarafından kullanılan 2-B yer modeline örnek Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Model dörtgen bloklardan oluşur ve ölçülen verilerin tümünü kapsar.

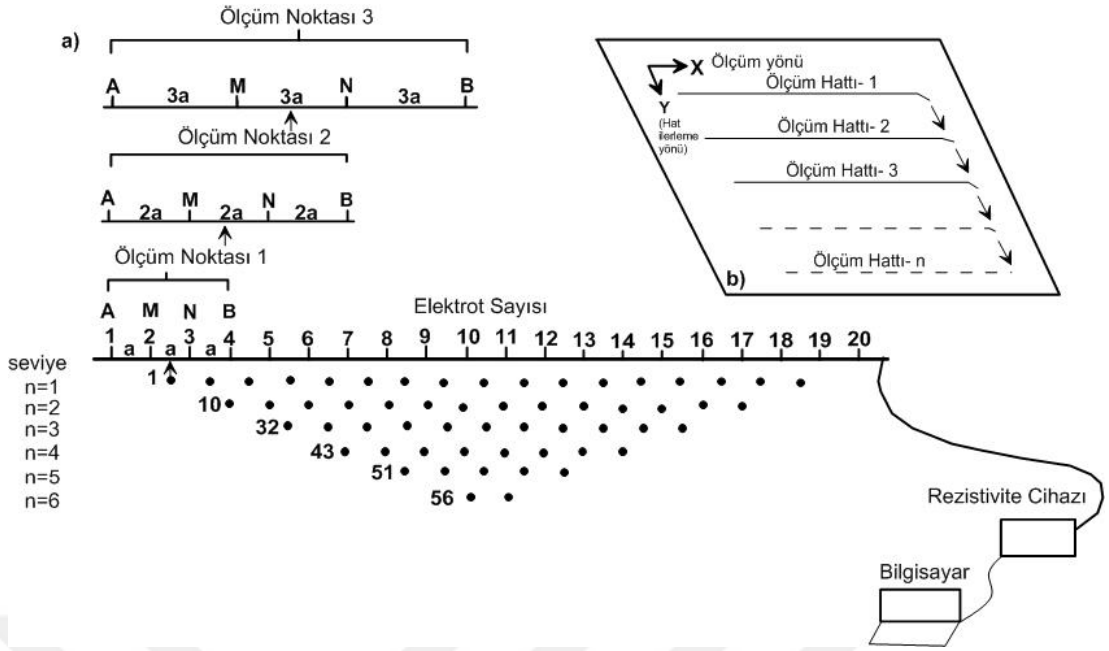


Şekil 3.2. Bir yer elektrik kesitinin veri noktalarıyla birlikte blok diyagramı (Loke vd., 2003)

Günümüzde geliştirilen çok elektrotlu düzenekler sayesinde ölçü alımı kolay ve hızlı hale getirildiğinden birleşik sondaj-profil ölçüleri alınabilmekte ve ölçüler 2-B ve 3-B değerlendirilmektedir. Sığ yapıların araştırılmasında genellikle, çok elektrotlu öz direnç ölçüm tekniği kullanılır. Bu teknikte; seçilen elektrot dizilimine bağlı olarak, değişik görünür derinlik düzeyleri için, yeraltının görünür öz direnç yapma kesitleri elde edilir. Son yıllarda, kısa sürede duyarlı veri elde etmeyi sağlayan çok-kanallı ölçüm cihazları, sığ yapıların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Çok-elektrotlu öz direnç sistemi, öz direnç cihazı, bilgisayar, elektrot kabloları, bunların bağlantıları ve elektrotlardan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Elektrot sayısı, çalışma amaç ve kapsamına göre değişiklik göstermektedir. Kullanılan elektrotlar ise eski düzeneklerde kullanılan paslanmaz çelik elektrotlardır.

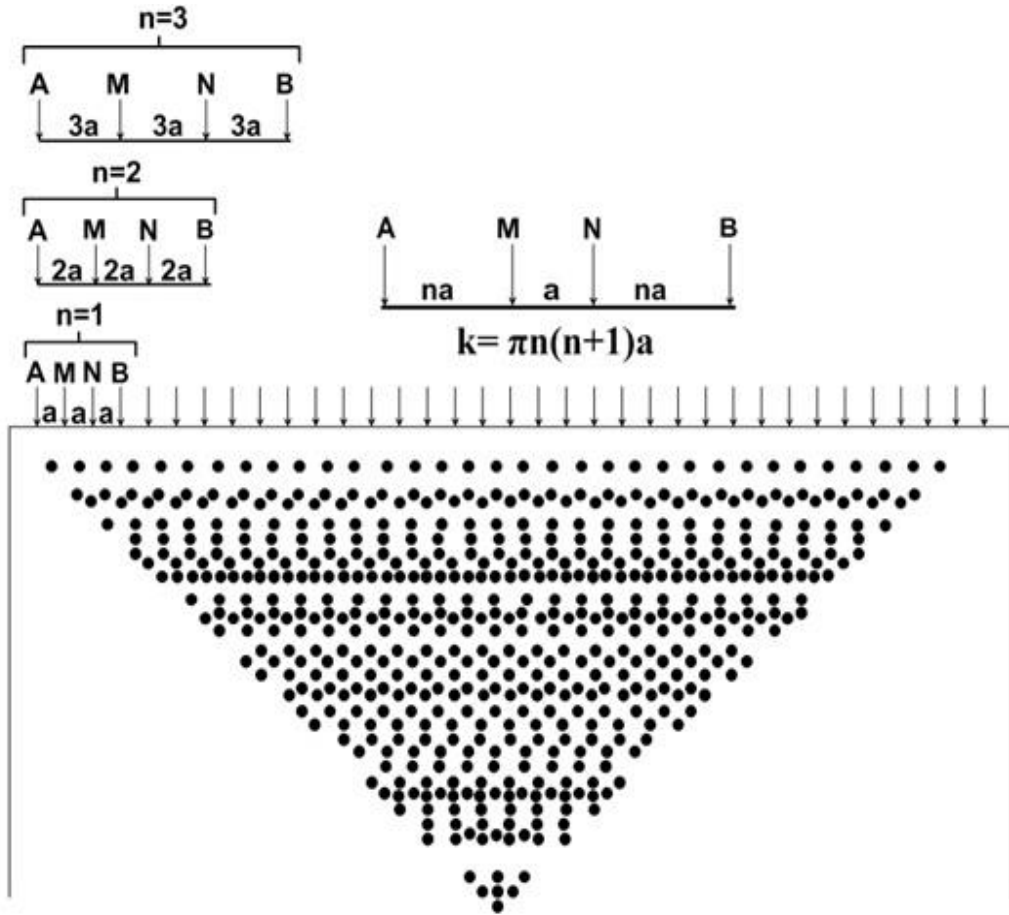
Öz direnç ölçü aleti içinde, bu elektrotların önceden tanımlanan ölçü alım sıralamasına göre (akım ve gerilim elektrotlarının belirlenen bir sistemde numaralandırıldığı bir dosya) değiştiren ve saklayan bir hafızası vardır. Akım (A, B) ve gerilim (M, N) elektrotlarının çeşitli kombinasyonları ile karmaşık bir 2-B öz direnç kesiti, kablonun toplam boyuna bağlı olan en büyük araştırma derinliği ile elde edilmektedir.



Şekil 3.3. Çok-elektrotlu öz direnç ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları (Griffiths ve Barker, 1993'ten düzenlenmiştir.)

3.1.2. 2-B öz direnç araştırma için Wenner-Schlumberger dizilimi

Bu dizilim son yıllarda 2-B elektrik öz direnç araştırmalarında yaygın olarak kullanılmakta ve Wenner ve Schlumberger dizilimlerinin karşımından ortaya çıkmıştır. Wenner-Schlumberger dizilimi orta noktaya göre simetrik olup, elektrot aralıkları belli bir “n” (ölçüm seviyesi) faktörüne göre seçilmektedir (Şekil 3.4). Dikkat edileceği gibi “n=1” olması durumunda Wenner dizilimi elde edilmektedir. Ölçülen görünür öz direnç değerinin dizilimin orta noktasına atandığı bu elektrot düzeninde, “a” ve “n” ayrı ayrı veya birlikte arttırılarak derin seviyelerden bilgi alınabilmektedir. Wenner-Schlumberger diziliminin duyarlılık kesitleri Şekil 3.5’te verilmektedir. Dizilim merkezinin altındaki en yüksek pozitif duyarlılık bölgesi “n” katsayısı yükseldikçe P1-P2 elektrotları altında daha fazla yoğunlaşmaktadır. Medyan araştırma derinliğindeki çizim noktasının yeri yakınında duyarlılık konturları dizilimin merkezinin altında ince bir düşey bükülmeye sahiptir. n=6’ da P1-P2 elektrotları altındaki yüksek pozitif duyarlılık lobu C1 ve C2 elektrotları yakınındaki yüksek pozitif duyarlılık değerlerinden daha fazla ayrılmış olur. Bu dizilim hem yataya (düşük “n” değerleri için) hem de düşey yapılara (yüksek “n” değerleri için) kısmen duyarlı olduğu anlamına gelir. Bu durum dizilimin hem yatay hem de düşey süreksizliklere karşı duyarlı olduğunu göstermektedir (Loke, 2013).



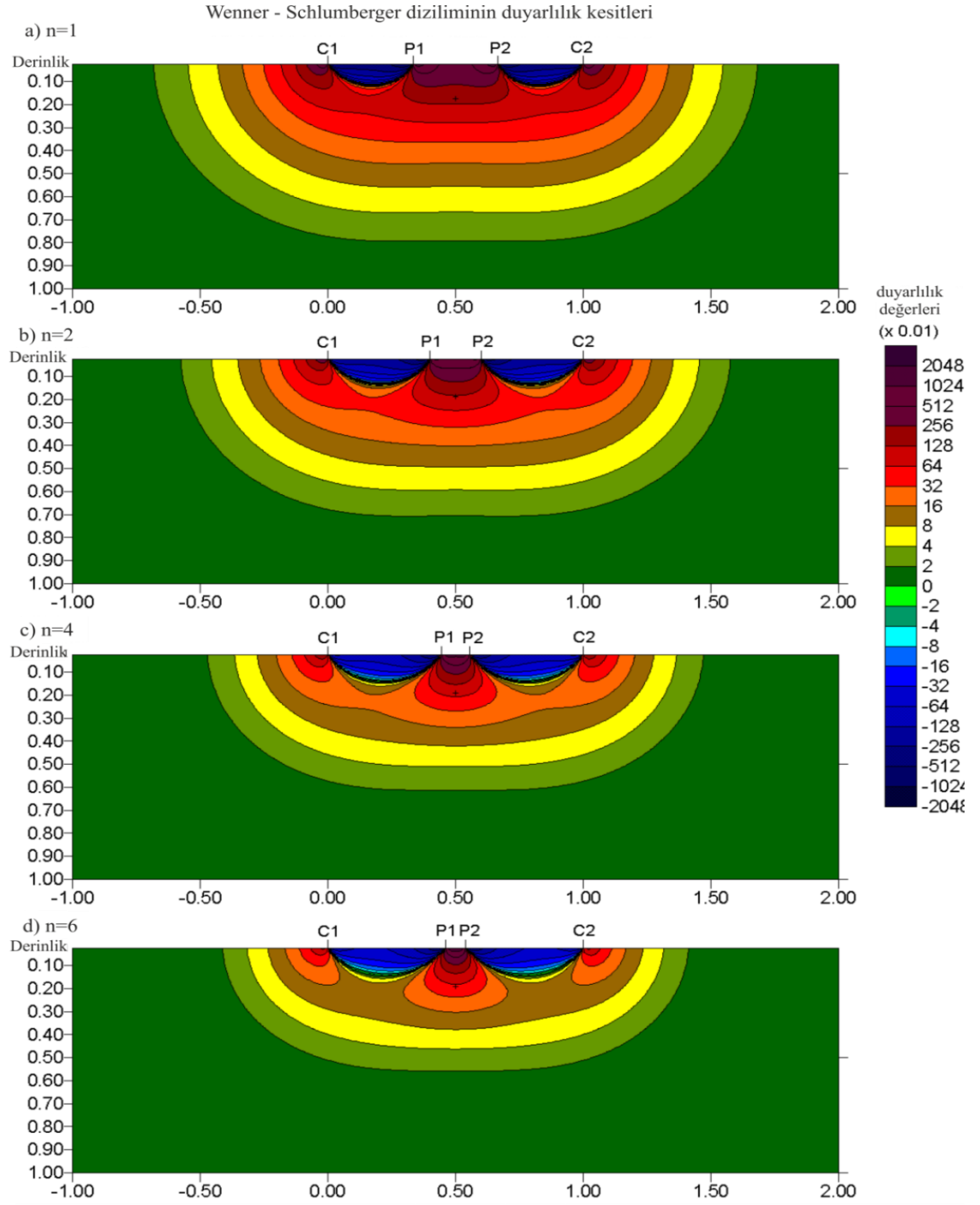
Şekil 3.4. 2-B Wenner-Schlumber diziliminde ölçüm prensibi ve veri noktalarının düzlemdeki konumları.

Wenner-Schlumberger elektrot dizilimi için görünür öz direnç denklem 3.3 ile verilirken, geometrik katsayı ise denklem 3.4 ile verilir.

$$\rho_a = R \cdot k \quad (3.3)$$

$$k = \pi n (n + 1) a \quad (3.4)$$

Burada, ρ_a görünür öz direnci, R direnci ($R = \Delta V / I$; ΔV potansiyel farkı, I ise verilen akımdır), a elektrotlar arasındaki mesafeyi, n ($n=1,2,3,\dots$) ise ölçüm seviyelerini temsil etmektedir.



Şekil 3.5. Wenner Schlumberger dizilimi için 2-B duyarlılık kesitleri. a) $n=1$, b) $n=2$, c) $n=4$, d) $n=6$ (Loke, 2013)

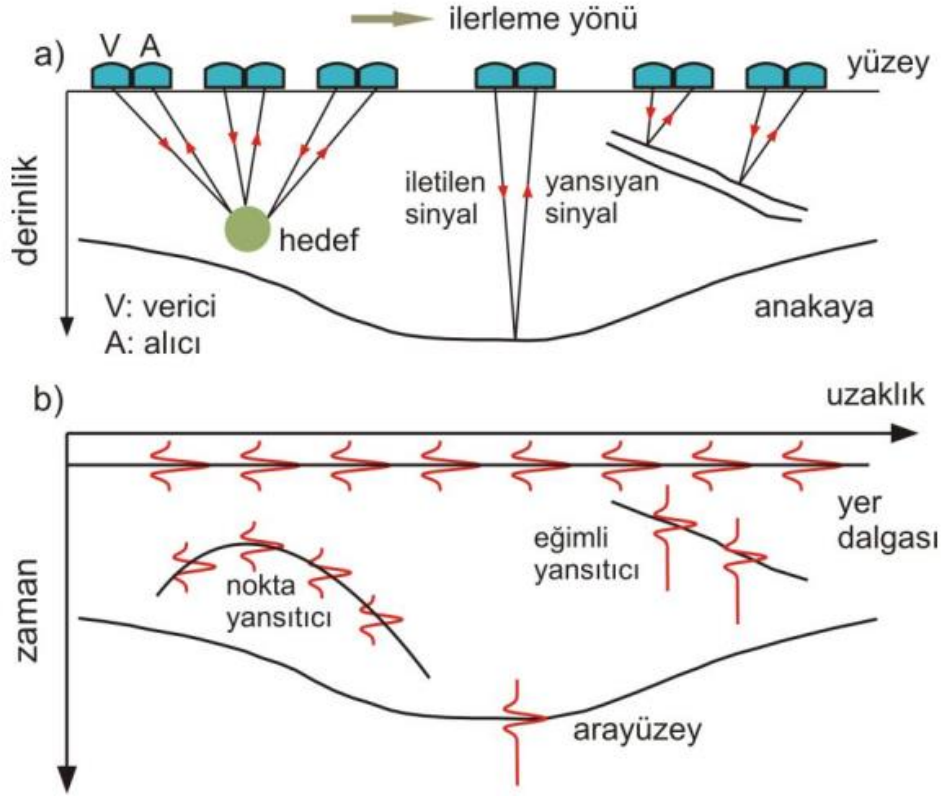
3.2. Yer Radarı (GPR) Yöntemi

3.2.1. GPR yöntemine giriş

Yer radarı yöntemi bir verici anten yardımıyla yer içine gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yer altındaki farklı elektriksel özelliklere sahip yapılardan yansiyarak alıcı anten tarafından kaydedilmesi ilkesine dayanır (Şekil 3.6a).

Jeofizik yöntemlerden yer radarında kaynak olarak elektromanyetik dalgalar verici antenler ile yeraltına gönderilir. Yeraltına gönderilen dalgalardan bazıları farklı jeolojik yapıların ara yüzeylerinden veya karşılaştıkları yapılardan yansiyarak alıcı anten tarafından işlem ünitesine iletilirler. Bir kısmı da daha derinlere ilerlemeyi sürdürürler. Bütün bu işlemler saniyenin milyonda biri gibi kısa bir sürede gerçekleşir (Çataklı, 2003). Yer radarı yönteminin temeli elektromanyetik dalga teorisine dayanmaktadır. Elektromanyetik dalga, verici anteninden yayılarak aynı ortam boyunca aynı hızla ilerlediği varsayılır. Verici anten ile yeraltına gönderilen elektromanyetik dalgaların yer içinde ilerleme hızı, ortamın dielektrik sabitine ve manyetik duyarlılığına bağlıdır. Dalganın ilerleyebileceği en yüksek derinlik ise, dalganın frekansına ve ilerlediği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır (Weeds, 1994).

Aşağıya doğru yayılan dalgalar yer içinde farklı özellik de bir ara yüzeye veya yapıya çarptıklarında ikiye ayrılırlar, bir tanesi yansiyarak yukarı dönerken diğeri yoluna devam eder. Yansiyarak geri dönen dalga alıcı anten ile algılanır, daha sonra yorumlanmak ve işlenmek için elektronik ortamda sayısal sinyale dönüştürülerek kayıt edilir (Daniels, 1996). Bir noktadaki ölçüm, zamanın fonksiyonu olarak alıcı antene ulaşan elektromanyetik dalgaya ait genlik değerleridir. Bu olay elektromanyetik dalga alanı veya radar izi olarak adlandırılır (Şekil 3.6b). Radar üzerindeki genlikler kolay yorum yapabilmek için büyüklüklerine göre renklendirilirler. Yüksek genlikli saçılmış ve yansımış dalgalar, fay ve kırıkların, tabaka sınırlarının gömülü yapı veya nesneleri işaret etmektedirler (Kadioğlu ve Demirci, 2012).



Şekil 3.6. a) Yer radarı yönteminin genel çalışma sistemi b) Radargram (Grégoire vd., 2003'ten düzenlenmiştir)

3.2.2. Yer radarının çalışmasına etki eden faktörler

Yer radarı araştırmalarında yüzeysel özelliklerin belirlenmesinde en önemli iki faktör dielektrik sabit ve zemin iletkenliğidir (Ulriksen,1982). Bu iki parametre sudan büyük oranda etkilenmektedir ve bu nedenle su yer radarı çalışmaları üzerinde büyük etkiye sahiptir (Griffin ve Pipet, 2002).Yer radarı çalışmalarını etkileyen bir diğer faktörde yüksek iletkenliktir. Yüksek iletkenlik değerine sahip zeminin (yüksek kil içerikli zemin) düşük iletkenlik değerine sahip zeminden (kuru kum) daha fazla enerji soğurduğu görülmektedir (Griffin ve Pipet, 2002). Yer radarı araştırmalarında ortamın iletkenliğinin düşük olması istenmektedir. Çünkü iletkenliği yüksek ortamlar, iletilen sinyalin soğurulmasına ve derinliğin azalmasına neden olmaktadır. Zemin yapısı, zemindeki tuz miktarı, zeminin yoğunluğu ve zeminin içerisindeki suyun hacimsel değişiklikleri de yer radarı sinyallerini etkilemektedir (Bristow ve Jol, 2003).

Ortamın dielektrik sabiti elektromanyetik dalganın yayılma hızını belirlemektedir. Dielektrik sabit ile yayılma hızı arasında ters orantı vardır. Yer içine gönderilen elektromanyetik dalganın hızı, dielektrik sabitinin ani düşmesi sonucu olarak artar. Dielektrik sabitin arttığı ortamlarda ise (kil gibi su içeriğinin yüksek olduğu ortamlar), dalga hızı azalır ve enerji kaybına uğrar. Bu nedenle bu tür ortamlarda yer radarı araştırmaları oldukça zordur (Weeds, 1994).

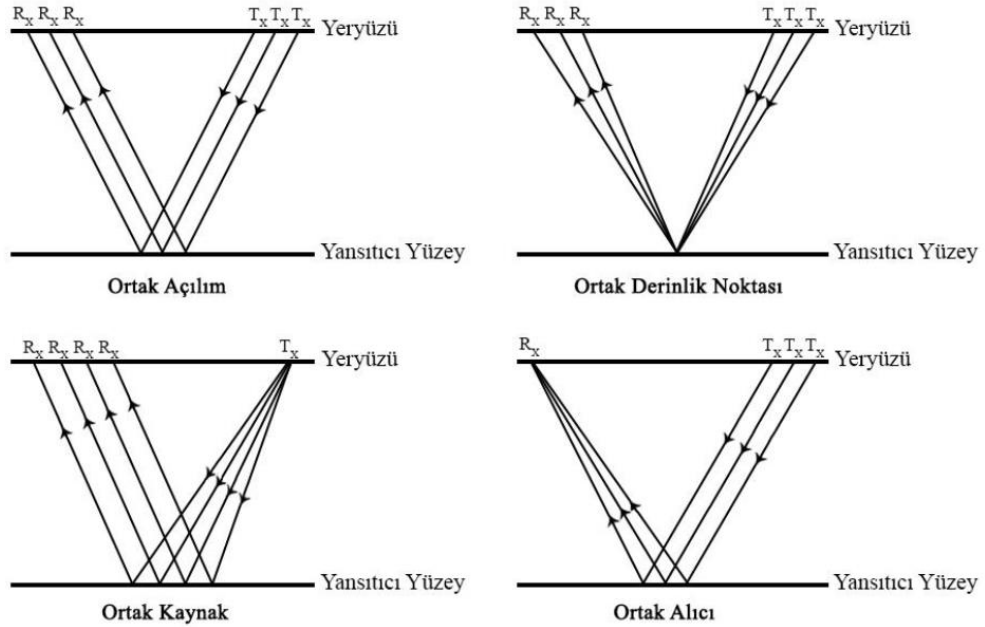
Yer radarı araştırmalarını etkileyen faktörlerden biride kullanılan anten frekansıdır. Araştırma derinliğine bağlı olarak kullanılan anten frekansları 25 MHz ile 3000 MHz arasında değişiklik göstermektedir. Antenin fiziksel boyutu iletilen dalgaların frekansını etkiler (Griffin ve Pipet, 2002). Yer radarı çalışmalarında, kullanılan anten frekansına bağlı olarak dalgalarının derinliği ve çözünürlüğü farklılık göstermektedir (Takahashi 2004). Frekansı yüksek elektromanyetik dalgalar düşük frekanlı olanlara göre daha fazla detay ve çözünürlük elde edilmesine imkan sağlarlar, fakat yüksek frekanslar çok hızlı emildiği için penetrasyon derinlikleri düşük frekanslar kadar mükemmel değildir (Griffin ve Pipet, 2002).

3.2.3. Yer radarı (GPR) veri toplama

Yer radarı yönteminde farklı uygulamalar için çeşitli anten kombinasyonları kullanılmaktadır. Birbirlerinden belirli bir uzaklıkta tutulan alıcı ve verici antenler araştırma doğrultusu üzerinde ilerletilir. Yer radarı çalışmalarında ortak açılım (CO, Common Offset), ortak orta nokta (CMP, Common Mid Point), ortak kaynak (CS, Common Source) ve ortak alıcı (CR, Common Receiver) açılımları kullanılır (Şekil 3.7).

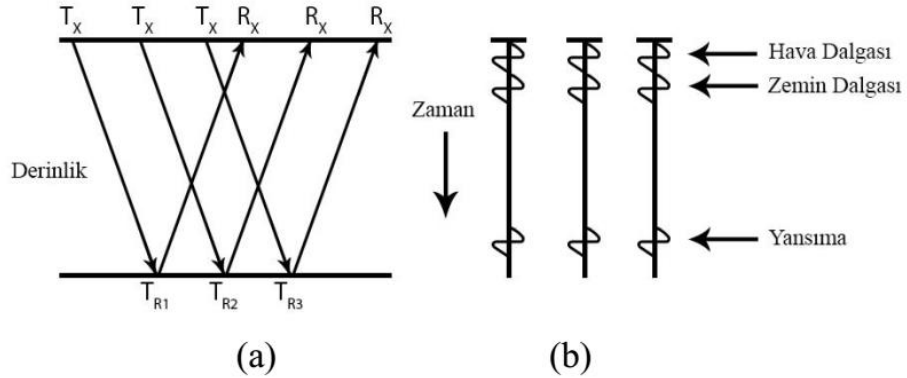
Yer radarı çalışmalarında çoğu zaman sabit anten aralığı yani ortak açılım (CO, Common Offset) kullanılır. Diğer sıkça kullanılan açılım ise ortak orta nokta (CMP, Common Mid Point) açılımıdır ve bu açılım genellikle hız ölçümleri için tercih edilir. Genelde ortak açılım ölçü düzeneği yeraltındaki nesneleri bulmak veya yeraltındaki süreksizlikleri belirlemek için kullanılır. Ölçümler, sistemin bir doğrultu boyunca sabit bir aralıkla kaydırılmasıyla yarı sürekli bir şekilde alınır ve aynı işlem tekrarlanarak doğrultu boyunca ölçüm alınır. Bu yöntem hızlı olduğundan dolayı ucuzdur. Fakat bu yöntemin temel eksikliği, ölçümlerde elde edilecek veriden

yeraltındaki dalga hızı bilgisinin belirlenmesindeki zorluktur. Yine de, yeraltında bir nesne olduğunda veride bir saçılma hiperbolu oluşmaktadır. Bu hiperboldan yeraltındaki dalga hızı kestirilebilir (Kruk vd., 2001, Kesemen, 2007).



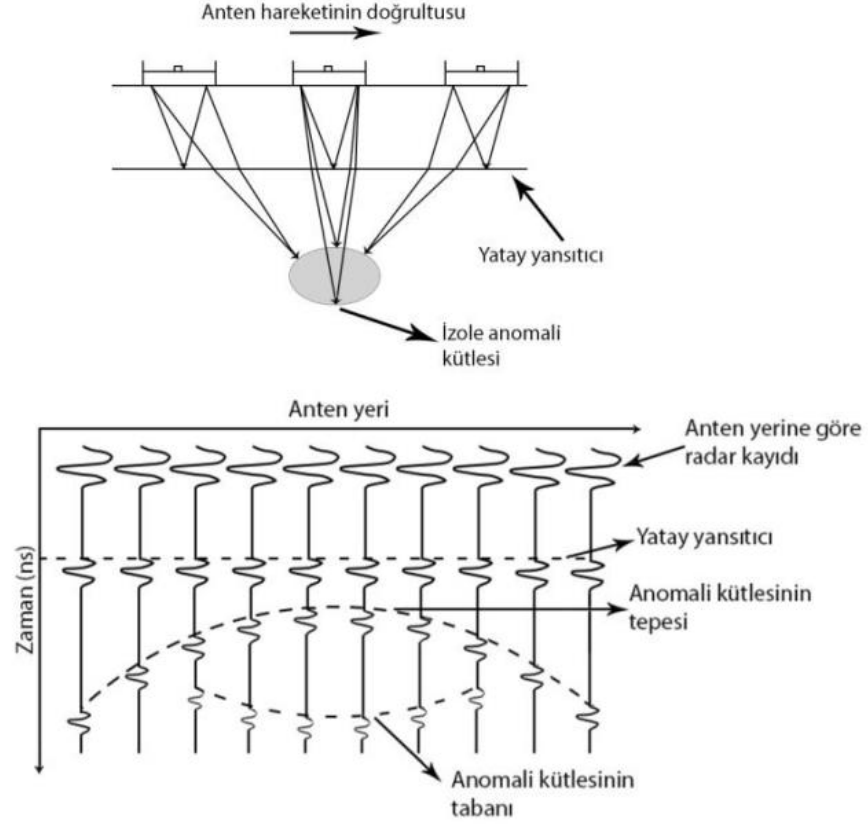
Şekil 3.7. Yer radarı ölçümlerinde kullanılan çeşitli anten kombinasyonları (Daniels, 1996'dan düzenlenmiştir)

Ortak açılım arazi uygulaması Şekil 3.8, verici (transmitter) T_x , alıcı (receiver) R_x arasının sabit (fixed offset) olduğu derinlik kesitini (a) ve çoklu uzaklıklı (multi offset) olduğu zaman kesitini (b) göstermektedir.



Şekil 3.8. Sabit aralıklı yansıma hız sondajı uygulaması usulü derinlik kesiti (a) ve zaman kesiti (b) (Keçeli, 2009'dan düzenlenmiştir)

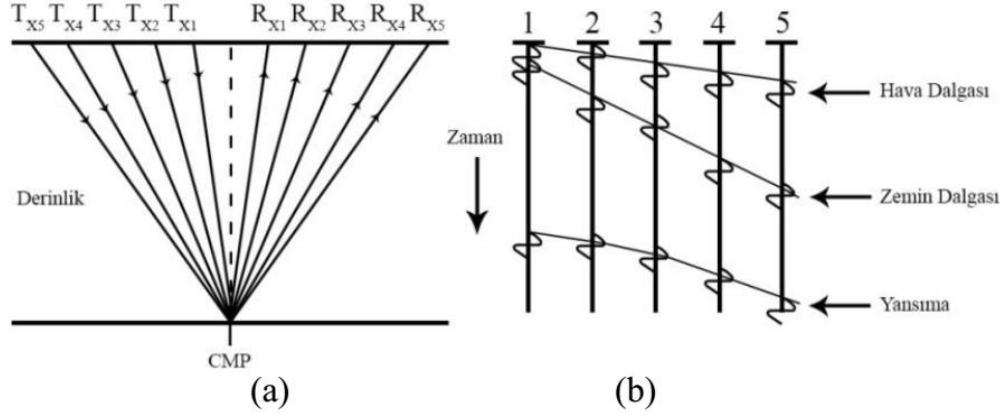
Şekil 3.9 ise, sabit $T_x - R_x$ aralığı için, yansıtıcı bir kütleden kaynaklanan elektromanyetik dalgaların (üstte) oluşturduğu yer radarı yansıma kesitini (altta) göstermektedir.



Şekil 3.9. T_x - R_x aralığı sabit iken yer radarı yansıma kesitinin elde edilmesinin şematik gösterimi (Neelambari, 2004'ten düzenlenmiştir)

Ortak nokta (CMP) çalışmalarında, sismik yönleme benzer biçimde, açılıma bağlı olarak oluşan yansımalarından elde edilen değişimler kullanılarak EM dalga hızları belirlenmektedir. Bu yöntem uygulanması zor olduğundan çalışmalarda sadece hız tespiti amaçlı uygulanmaktadır. Yer radarında da sismik yansımada olduğu gibi verici ve alıcı arasındaki mesafe değiştirilerek, şekilde görüldüğü gibi sinyal gidiş ve yansıyan sinyalin geliş zamanındaki değişimler saptanır. Ortak orta nokta usulü her bir ölçü noktası için tekrarlanır. Sismik yansımaya benzer hız düşey kesiti elde edilir (Şekil 3.10). Hız ölçümlerini mümkün olduğunca doğru yapabilmek için ölçümler, arazinin bir noktası yerine birkaç farklı noktasında yapılmalıdır. Bu çalışmalar sonucunda araştırılan tabaka, yapı veya objenin derinliği tespit edilebilmektedir.

Ancak, bu yapıların konumları gerçek anlamda sondaj ve kazı çalışmalarıyla belirlenebilmektedir (Daniels, 1996; Kesemen, 2007; Keçeli, 2009).



Şekil 3.10. Ortak orta nokta uygulaması usulü derinlik kesiti (a), zaman kesiti (b) (Keçeli, 2009'dan düzenlenmiştir)

3.2.4. Yer radarı verilerinin analizi

Yer radarı çalışmalarında amaca en uygun görüntüye ulaşmak için önemli kısımlardan biri olan veri işlem aşamalarında çeşitli süzgeç ve teknikler kullanılmaktadır. Arkeojeofizik çalışmalarda nitelikli bir arkeolojik yoruma ulaşmanın yolu da, belirli zaman aralıklarında zaman kesitlerinin elde edilmesi ve bu zaman kesitlerinden yararlanarak üç boyutlu radar görüntülerine ulaşılmasıdır. Bu işlemin ilk aşamasını değişik zaman kesitlerinin iki boyutlu olarak çizilmesi ve bunların birbirleri ile karşılaştırılması ve böylece bir anlamda yeraltının zaman dilimlerine ayrılarak bu zaman dilimleri içindeki ortamsal değişimlerin izlenmesini oluşturmaktadır. Böylece yüzeyden başlayarak belirli bir zaman penceresi içinde tüm zamanlar istenilen zaman kesitlerinin elde edilmesi yoluyla izlenebilmekte ve aranan arkeolojik hedeflerin hangi zaman kesitlerinde görüldükleri belirlenebilmektedir. Daha sonra yapılacak hız analizleri ve bunlardan elde edilecek hız değerleri yardımıyla da ortamların derinlik kesitlerini oluşturmak mümkün olacaktır. Burada en önemli olgu doğru hız değerlerine ulaşmaktır. Aksi durumlarda aranan hedefler yanlış derinliklerde tanımlanabilir (Drahor, 2007).

Yer radarı çalışmalarıda veri toplandıktan sonra elde edilen ham veriler genellikle gürültülüdür ve belirli veri işlem aşamalarından geçmeleri gerekmektedir. Yer radarı verilerine uygulanan veri işlem aşamaları aşağıda anlatılmıştır.

3.2.4.1. Süzgeçleme

Süzgeçleme işleminde alçak geçişli, yüksek geçişli ve bant geçişli süzgeçler kullanılmaktadır. Bu işlem ile sistemden veya insan kaynaklı çevresel bozucu etkiler veriden çıkartılarak, verilerin görsel kalitesi arttırılmaktadır (Jol, 2009).

Alçak geçişli süzgeçler, genelde derin etkileri ortaya çıkarmak ve gürültüleri filtrelemek için kullanılır. Uzun dalga boylu olayları veride tutularak, belli bir frekanstan daha alçak frekanslı değişimler geçirilip, diğer frekanslı değişimleri süzülür. Bu süzgeçleme işlemi genellikle yatay uzanan olayları baskın hale getirmek için kullanılır (Jol, 2009).

Yüksek geçişli süzgeçleme, belli bir frekanstan daha yüksek değişimleri geçirip, diğer frekanslı değişimleri süzer. Bu süzgeçleme sisteminde sinyal sapması ve düşük frekanslar ortadan kaldırılmaktadır. Dalga boyu kısa olan olayları daha belirgin hale getirmek amacıyla yapılır (Jol, 2009).

Band geçişli süzgeçleme, hem yüksek hem de alçak geçişli süzgeçleme kombinasyonundan oluşur. Burada birgeçiş bölgesi tanımlanır ve belirli iki frekans arasındaki değişimler geçirilip bu alanın dışındakiler süzülür. Bu sayede fazla düşük veya fazla yüksek frekanslı olaylar veriden atılmış olur (Jol, 2009).

3.2.4.2. Düşük frekansların giderilmesi (Dewow)

GPR verilerinde çok düşük frekanslı gürültüler gerçek olayları örtmektedir. Buna ‘wow’ etkisi denir. Bu etkiyi gidermek amacıyla yapılan süzgeçlemeye “dewow” adı verilir. “Wow” etkisine, kaydedilen sinyalde ilk gelenlerin neden olduğu aşırılaşma ve doygunluk etkileri neden olmaktadır ve sinyalden doğru akım etkisinin atılmasını gerektirir. Ayrıca daha etkin düzeltme için alçak-geçişli ve medyan süzgeçlemesi de kullanılabilir (Gerlitz vd., 1993; Fisher vd., 1994). Dewow veriyi ortalama-

sıfır seviyesine indirgemedi önemli bir adımdır ve bu yüzden, kayıt edilmiş izlerde kullanılmak üzere pozitif-negatif renk dolgusuna izin vermektedir. Bu işlem yanlış uygulandığında veri, tüm izin spektrumunu bozan azalan alçak-frekans bileşenine sahip olacaktır. Bu da sonraki spektral veri işleme süreçlerini örneğin kesitin doğal görünümünü etkileyebilir (Gerlitz vd.,1993).

3.2.4.3. Enerji azalımı, kazanç (energy decay)

Elektromanyetik dalganın yayıldığı ortamda uzaklığa bağlı olarak genlikteki azalımı geri kazanmak için uygulanan bir süzgeçleme işlemi olarak gerçekleştirilirken ölçü profilindeki tüm izlerden bir enerji azalımı oranı hesaplanmaktadır. Daha sonra bu azalım eğrisi ile her bir noktanın genlik değeri bölünerek her bir izin genlik ayarlaması yapılmaktadır. Bu süzgeç, iz üzerinde aşağıya doğru ilerledikçe genliklerde belirli bir büyümeye sebep olmaktadır. Çünkü elektromanyetik dalgalar daha uzak mesafelere ilerledikçe ortam içerisinde daha fazla enerji kaybetmektedirler (Kadıoğlu, 2003).

3.2.4.4. Arka plan gürültülerin atılması (background removal)

Yer radarı verilerinde genellikle uyumlu gürültünün genel bir türü olan “titreşim etkisi” görülmekte veradargramlardaki sinyaller olumsuz olarak etkilenmektedir. Titreşim etkisi, GPR verilerinde uyumlu gürültünün genel tiplerindendir. Bu tarz bir uyumlu gürültü kuvvetli ise ve uygunca atılmamış ise, derin yapılar tamamen örtülebilir. Titreşim, hemen hemen yanal ve periyodik olaylar olarak görülür ki bu da veri işlemi ile gürültünün atılmasına olanak sağlayan en önemli özelliklerdir. GPR verisi şiddetli titreşim gürültüsüne maruz kaldığında, araştırma derinliği dahada sığlaşır çünkü kuvvetli ringing derinden gelen zayıf yansımaları maskeleymektedir. Bu işlem yüksek geçişli süzgeçler kullanılarak yapılmaktadır. Bu izlerin uzaklaştırılması ile yer altından gelen yansımaların daha görünür hale gelmesini sağlamaktadır (Wilchek, 2000).

3.2.4.5. Sıfır kayma zamanı düzeltmesi

Kablo uzunluğu ve türü, elektronik duraysızlık ve termal değişimler nedeniyle elektromanyetik dalga havadan yere geçerken kayıt üzerinde bir gecikme gözlenir. Bu gecikme sıfır-zaman gecikmesi olarak adlandırılır. Buna göre gecikme zamanı radargram üzerinden belirlenir ve bu bölüm veriden atılarak başlangıç zamanı zaman ekseninin başlangıcına taşınır.

3.2.5. Yer radarı veri sunumu

2-B veri-işlem aşamaları tamamlanmış verilerin profil başlangıç ve bitiş noktaları düzenlenip arka arkaya sıralanmasıyla 3-B görüntü elde edilir. İstenirse 3-B blok alt bloklara ayrılabilir veya yastık bloklar oluşturulabilir. Bunun yanında zaman dilimleri, iz dilimleri ve profil dilimleri görüntülenebilir (Kadıoğlu ve Daniels, 2002; Kadıoğlu, 2003).

Yer radarı verilerinin 3-B olarak gösterilmesi yorum aşamasına önemli katkılar sağlamaktadır. Anomalilerin takibinde profillerin kontrollerini, başlangıç ve bitiş zamanını tam olarak belirlemede büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Kısacası anomalinin yatay konumunu ve zamanla değişimini veya hız analizi sonucu bulunan derinlikle değişimini kontrol etmek 3-B görüntüleme ile kolaylaştırılır.

3.3. Manyetik Yöntem

3.3.1. Manyetik yönteme giriş

Yermanyetik alanını, etüt alanlarında oluşturulan istasyon noktalarında manyetometre ile ölçen jeofizik araştırma yöntemidir. Yeryuvarının bir mıknatıs gibi davrandığı yaklaşık üç asırdan fazla bir süreden beri bilinmektedir. Manyetik araştırmalar yerden yapılabildiği gibi gemiden ve havadan (uçak veya helikopter ile) amaca uygun belirli yüksekliklerden ölçü alınarak yapılmaktadır. Yerden, havadan ve denizden yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar haritalara aktarılarak çalışılan yörenin manyetik haritaları elde edilir. Elde edilen sonuçların ve jeolojik verilerin

ışığında, manyetik haritalardan kesitler alınarak, yeraltının olası yapısına ilişkin yorumlar da yapılır.

Yeraltında bulunan bir cismin manyetik anomalisi, o cismin manyetik suseptibilitesinin (duyarlılık) civarındakilerden farklı olması durumunda belirlenebilir. Kayaçlar içindeki mineraller, yerin mıknatıslanma kuvvetine bağlı olarak manyetik özellikler kazanırlar. Kayaçlardaki bu farklı mıknatıslanma nedeniyle manyetik haritalardaki farklılıklar önem kazanmaktadır. Haritalardaki bu farklılıklar araştırılarak yeraltı yapısıyla ilgili model oluşturulmaya çalışılır. Bu yöntem eski yerleşim yerleri, mezarlar veya gömülü duvarlar gibi arkeolojik yapıların araştırılmasında başarılı olarak kullanılmaktadır.

3.3.2. Manyetik ölçülerde yapılan düzeltmeler

Manyetik araştırmalarda yer manyetik alanının; yatay bileşeni (H), düşey bileşeni (Z), günümüzde ise toplam alan şiddeti (T) manyetometre ile ölçülmektedir. Bu ölçülen değerlerden anomali bulunan yerler tespit edilir. Hedef kütlelerden ileri gelen değerlerden başka olan diğer bütün etkileri ortadan kaldırmak için bir takım düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

Arazi çalışmalarında güneşten kaynaklanan manyetik fırtınalar sonucu gelişen günlük değişimlerin düzeltilmesi gerekir. Bunun için tek bir manyetometre kullanıldığında bir bazdan başlanır ve bir saat aralıkla aynı baza dönerek ölçümler yapılır. Ya da arazide sabit bir istasyon kurulur ve bu istasyonda belirli zaman aralıklarında kayıtlar alınır. Elde edilen bu manyetik veriler günün saatlerinin bir fonksiyonu olarak çizilerek günlük değişim grafiği elde edilir. Bu eğriden yararlanarak gün içinde çalışma sahasında ölçü alınan saat, günlük değişim grafiğinde de bulunarak aynı saatteki günlük değişim değeri okunur. Bu işlem saha çalışmaları sırasında elde edilen tüm manyetik verilerden çıkarılarak günlük değişim düzeltmeleri yapılmış olur.

Türkiye’de yaklaşık olarak toplam alan değerleri kuzeye doğru ortalama 2.5 nT/km, doğuya doğru 1.5 nT/km artmaktadır. Saha çalışmalarında ölçülen manyetik değerlerin enlem ve boylamdan ileri gelen değişim miktarları hesaplanarak yapılacak düzeltmeler ile giderilmesi gerekir. Bunun için etüt sahası içinde belirlenen bir

noktaya bütün ölçüler indirgenir. Bir başka deyişle bütün ölçüler bu noktada ölçülmüş gibi düşünülür.

Güneşte oluşan siyah lekelerin durumuna göre arz manyetik alanında değişimler olur. Şayet manyetik etüt uzun zaman aralığında yapılmış ise (2 yıl veya daha fazla zaman) bu düzeltmeninde günlük değişim düzeltmesi gibi yapılması gerekir.

3.3.3. Manyetik yöntemde genel veri işlem aşamaları

3.3.3.1. Manyetik verilerin kutba indirgenmesi

Genelde manyetik anomalilerin yorumlanmasında karşılaşılan sorunlardan biri manyetik cisim ile anomali arasında açık bir ilişki gözlenememesidir. Bunun en önemli nedeni ise, anomalinin maksimumunun cismin düşeyinde bulunmamasından kaynaklanmaktadır (Blakely, 1995).

Baranov (1957), mıknatıslanma vektörünün toplam yer manyetik alan vektörü yönünde olduğunu kabul ederek, düşey ve toplam alan manyetik anomalileri ile kutba indirgenmiş anomali ve türevleri arasındaki ilişkileri göstermiş ve yöntemi, yarı sonsuz düşey bir prizmanın ve kürenin oluşturduğu anomalilere uygulayarak doğruluğunu ispatlamıştır.

Gravite (U) ve manyetik (V) potansiyelleri arasındaki ilişki Poisson bağıntısı (3.5),

$$-\vec{J} \cdot \text{grad } \vec{u} = f \cdot \sigma \cdot V \quad (3.5)$$

ile ifade edilir. Bu bağıntı yazılırken yapılan tek varsayım anomaliyi veren bozucu kütlelerin gravite ve manyetik bakımından homojen olmasıdır. Burada; $-\vec{J}$ anomali cisminin mıknatıslanma vektörü, f gravitasyon sabiti, σ ise yoğunluğu göstermektedir. Ayrıca V toplam mıknatıslanma yönünde birim vektör olmak üzere,

$$\begin{aligned} |J| &= f \cdot \sigma \\ -\vec{J} &= |J| \cdot \vec{V} \end{aligned} \quad (3.6)$$

olarak ifade edileceğinden denklemler (3.5) ve (3.6)'dan yararlanılarak

$$V = \vec{V} \cdot \text{grand } \vec{U} = \frac{\partial U}{\partial V} \quad (3.7)$$

bağıntısı elde edilir.

Herhangi bir doğrultuya sahip mıknatıslanma vektörünün oluşturduğu gravite ve manyetik potansiyeller arasındaki ilişki denklem (3.8) de verilmiştir.

$$U = \int_V V \cdot ds \quad (3.8)$$

Böylece denklem (3.8)'den U potansiyelinin bir çeşit manyetik potansiyel olduğu görülür. U manyetik potansiyeli, aynı anomali cisminin düşey doğrultuda mıknatıslanması durumunda meydana getireceği potansiyeldir. Bu nedenle Baranov (1957)' un çalışmasında, U potansiyeli 'pseudo-gravimetrik' potansiyel olarak adlandırılırken, daha sonraki çalışmalarda (Baranov ve Naudy, 1964) söz konusu potansiyel, kutba indirgenmiş manyetik potansiyel olarak adlandırılmıştır (Öksüm, 2006).

3.3.3.2. Birinci ve ikinci türevler

Herhangi kütlenin oluşturduğu potansiyel alan anomalisinden istenilen doğrultuda türevleri alınabilir. Potansiyel alan anomalisinin yatay düzlemde herhangi bir yöndeki türevin o anomalinin yatay türevi olarak ifade edilir. Düşey yönündeki türevine ise anomalinin düşey türevi denir.

Birinci düşey türev alçak geçişli filtre gibidir. Birinci türevin değerinin sıfır (0) olduğu nokta cismin tepe noktasına denk gelmektedir. Birinci yatay türev verilerin her hangi bir doğrultuda türevi alınabilir. Bu da bize süreksizliklerin (fay,formasyon sınırı v.s) inceleme olanağı vermektedir. Çok sık olmayan etkileri görebilmek için birinci türev, çok sık etkileri için ikinci türev yöntemleri kullanılır (Erden, 1979). İkinci türev yöntemleri ile haritalarda ve anomali profilleri üzerinde gözle rahatlıkla görülemeyen anomaliler belirgin hale getirilebilir (Sanver ve İşseven, 2007). İkinci düşey türev ise daha derindeki kütlelerin etkisini azaltarak yüzeyde ki kütlelerin etkisini arttırır.

Yatay türev haritaları genel olarak bozucu kütlelerin sınırları hakkında bilgi vermektedir. Dolayısıyla türev yöntemleri diğer bir ifade ile anomalilere uygulanan süzgeçler olarak da tanımlanabilir. Diğer yandan türev yöntemleri bir ayırım yöntemi gibi de düşünülebilir. Bütün türev haritalarında azda olsa bir rejyonal tesir görülür. Türev almakla lokal anomaliye yaklaşırız. Birinci türev haritalarının istenilene tam cevap veremediği görülmüş, rejyonel etki birinci türev haritalarından tamamen kaldırılamamış ve ikinci türev haritalarına ihtiyaç duyulmuştur.

3.3.3.3. Trend analizi (rejyonal ve rezidüel ayırımı)

Trend analizinin kullanım alanı çok geniş ve yaygındır. Genel olarak verinin düzgün değişen kısmının matematiksel bir yüzey olarak gösterilmesidir. Böyle bir yüzeyi tanımlamak ise En Küçük Kareler olarak adlandırılan istatistiksel yöntem kullanılarak başarılabılır. Yüzeyin tanımlanması ise uygun trendi gösteren polinomun kat sayılarının elde edilmesi demektir. Bir diğer deyişle, verilerdeki derece sırasını göstermek için veri noktalarını bir analitik yüzeye uydurmak, çakıştırmak anlamındadır. Bunun karşısı uymayan, hatalı veriler rezidüeli verir. Amaç, verilerdeki eğilimi (trend) analiz etme olarak açıklanabilir. Bunun altında yatan varsayım verilerin düşük dereceli düzgün bir yüzeyle gelişigüzel gürültü bileşenlerine ayrılabilceğidir. Analitik yüzeydeki bağımsız değişkenlerin sayısı, veri noktaları sayısından az olmalıdır (%10 veya daha az) (Şapçioğlu, 1980).

Trend analizinde en uygun trend diye birşey yoktur. En iyi trend sonuçta verinin kendisidir. Jeofizikte kullanma alanı çoğunlukla potansiyel veriler (gravite ve manyetik) içindir. Bu verilerin yeraltındaki uzak ve yakın tüm kaynakların bileşenlerinin toplamı olmasından dolayı elde edilen trendi amacımıza uygun rejyonal olarak tanımlayabiliriz. Amaca uygun trend yüzeyinin tek olma diye bir koşulu yoktur. Bu durum sürekli göz önünde bulundurulmalıdır (Şapçioğlu, 1980).

Trend analizi, arazide yapılan gözlemlerden elde edilmiş ve eğer varsa üzerinde gereken düzeltmeler yapıldıktan sonra haritalanmış verileri ‘Trend’ ve ‘Rezidüel’ diye terimlendirilebilen iki bileşene ayıran metoda verilen isimdir. Bu metot tamamen istatistiksel teoriye dayanmaktadır. Yöntem esas olarak iki bağımsız değişken içeren çeşitli derecelerden polinomların sırasıyla harita verilerine

uydurulmasından oluşmaktadır. Yapılan istatistikî testler sonucunda veriye en iyi uyan polinomun temsil ettiği düzlem bizim rejyonal trendimizi, trendden olan sapmalar ise rezidüellerimizi temsil eder (Şapçioğlu, 1980).

3.3.4. Manyetik yöntem sınır analizi yöntemleri

Jeofizik potansiyel alan verilerinin yorumunda, gömülü yapıların sınırlarının belirlenmesi oldukça önemli bir yere sahiptir. Anomaliye neden olan gömülü yapı sınırlarını belirlemek için, potansiyel alan vektör bileşenlerinin yatay ve düşey türevlerine ve bunların farklı kombinasyonlarına dayanan pek çok yöntem tanımlanmıştır (Nabighian, 1984; Nelson, 1986, 1988; Roest vd., 1992). Söz konusu bu yöntemlerin birçoğu yatay ve düşey türevlerin veya bunların kombinasyonu ile sonuçlanan değerlerinin aşırı tanım veya sıfır noktalarına ait konumlarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Wanyin vd., 2009). Buna göre genel olarak potansiyel alan verilerinin düşey türev değerleri kaynak yapı üzerinde pozitif, yapı sınırında sıfır ve yapı dışında negatif değerler ile karakterize olur. Potansiyel alan verilerinin yatay türevleri ise yapı kenarlarında pik değerler verirken yapı üzerinde sıfır değerleri ile gözlenir. Araştırmacılar, yatay ve düşey türev değerlerini genel olarak birlikte kullanarak anomaliye sebep olan yapıların sınırlarının belirlenmesine yönelik farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Nabighian (1972) potansiyel alan verilerinin yatay ve düşey türevlerini kullanarak analitik sinyal ifadesini tanımlamış ve sinyalin genliklerine ait maksimumlarının gömülü yapı sınırlarına karşılık geldiğini göstermiştir. Potansiyel alan verilerinden yapı sınırlarının belirlenmesine yönelik sıklıkla kullanılan diğer yöntemler ise toplam yatay türev, tilt açısı (Miller ve Singh, 1994), teta haritası (Wijns vd., 2005), genlik stabilize toplam yatay türev (Cooper ve Cowan, 2006), yatay türevlerin analitik sinyalidir.

3.3.4.1. Analitik sinyal

Potansiyel alan verisi üzerine analitik sinyal uygulamaları ve teorisi, bugüne kadar literatürde birçok yazar tarafından verilmiştir (Nabighian 1972; Mohan ve Anand Babu, 1995; Jeng vd., 2003). Analitik sinyal (AS) yöntemi yeraltındaki yapıların sınırlarını belirlemek için manyetik anomalilerin yatay ve düşey türevlerinin

alınmasıyla uygulanmaktadır. Analitik sinyalin genlik fonksiyonu Roest vd. (1992) tarafından denklem (3.9)' de

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Türevlerden dolayı, değişimin olduğu yerler, en büyük genlikle ifade edilmektedir. Buradaki ifadede yapının kaynak kısmının ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Çoklu yapılar kaynak kütleye indirgendiğinde artık jeolojik yapı sınırları haline geldiğinden daha fazla ayrıştırılamamaktadır (Ansari ve Alamdar, 2011).

3.3.4.2. Hiperbolik tilt açısı

Hiperbolik tilt açısı (Tilth), Cooper ve Cowan (2006) tarafından denklem (3.10) ile tanımlanmıştır.

$$Tilth = \Re\left(\operatorname{arctanh} \frac{\left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)}{\left(\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right) \quad (3.10)$$

Tilth süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pikler vermekte olup, yapı sınırlarını belirlemede iyi sonuçlar vermektedir (Cooper ve Cowan, 2006).

3.3.4.3. Yatay türevlerin analitik sinyali

Yatay türev analitik sinyal (HGAS) yapıların sınırlarını hassas bir şekilde tespit etmek için kullanılmaktadır. Bournas ve Baker (2001) bu yöntem ile yapıların sınırlarının belirleme de analitik sinyal yönteminden daha iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir ve yöntemi (3.11-13) denklemleri ile tanımlanmıştır.

$$|A_h(x, y)| = \sqrt{|A_{Sx}(x, y)|^2 + |A_{Sy}(x, y)|^2} \quad (3.11)$$

$$A_{sx}(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial Mx}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Mx}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial Mx}{\partial z}\right)^2} \quad (3.12)$$

$$A_{sy}(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial My}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial My}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial My}{\partial z}\right)^2} \quad (3.13)$$

Burada, Mx ve My potansiyel alan verisinin x ve y yönlerinde alınan türevleridir.

3.3.4.4. Toplam yatay türev

Toplam yatay türev, manyetik alan anomalilerinin yatay türevlerinin karelerinin toplamının karekök fonksiyonu olarak denklem (3.14)'deki gibi tanımlanır (Cooper ve Cowan, 2008).

$$TDX = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (3.14)$$

TDX süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pozitif pikler vermekte olup, sık yapıların pikleri daha belirgindir.

3.3.4.5. Teta haritası

Wijns vd. (2005), analitik sinyal tabanlı teta haritası sınır belirleme süzgecini denklem (3.15) ile tanımlamışlardır.

$$TETA = \cos \frac{\sqrt{TDX}}{\sqrt{AS}} \quad (3.15)$$

TETA süzgeçlemesi, gömülü yapı sınırlarında pikler vermektedir.

3.3.4.6. Normalleştirilmiş standart sapma yöntemi

Sayısal bir görüntünün pencerelenmiş standart sapma değeri, görüntünün yerel değişimini gösteren bir ölçüsüdür. Buna göre bir görüntünün düzgün değişen yumuşak sınırlarında standart sapma değeri düşük değerler gösterirken daha keskin köşe sınırlarda yüksek değerler gösterir. Cooper ve Cowan (2008) bu ölçütü potansiyel alan verilerinin analizinde bir sınır analizi tekniği olarak kullanmışlardır. Buna göre araştırmacılar sayısal verideki küçük ve büyük genlikli sınırların ayırtılmasında normalleştirilmiş standart sapma (NSTD) oranını önermektedirler. Potansiyel alan verilerinin sınır analizinde veriye ait boyutu belirlenen her bir pencerenin normalleştirilmiş standart sapma değeri denklem (3.16) ile ifade edilmiştir.

$$NSTD = \frac{\sigma\left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)}{\sigma\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) + \sigma\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) + \sigma\left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)} \quad (3.16)$$

Burada $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$, $\frac{\partial f}{\partial z}$ sırasıyla potansiyel alan verilerinin yatay ve düşey türevleridir. σ ise ilgili pencere verisinin standart sapmasını ifade etmektedir.

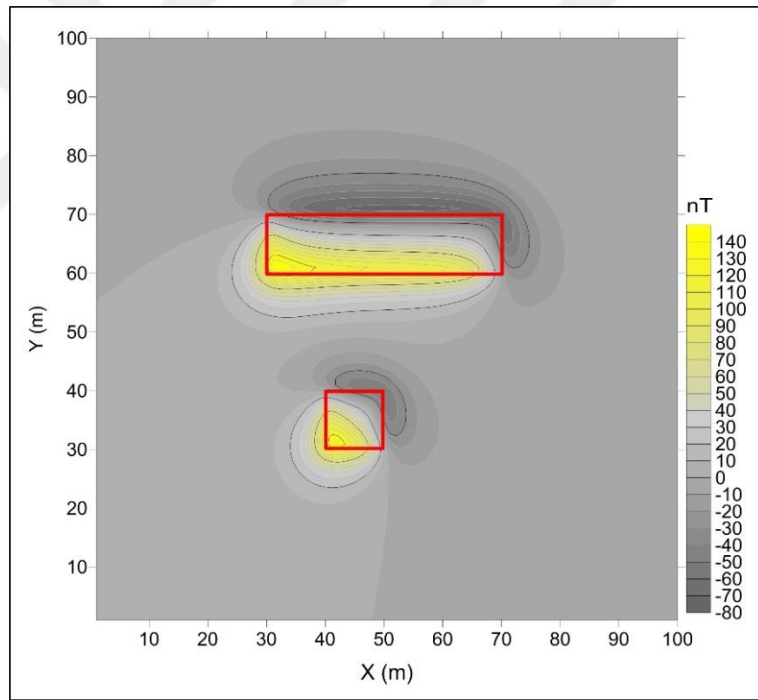
Yöntemin uygulanmasında pencere boyunun büyük seçilmesi veri içerisinde ki gürültüye daha az hassasiyet gösterirken diğer taraftan pencere boyundan daha küçük sınır etkilerini bulanık hale getirmektedir. Dolayısıyla NSTD yönteminin sınır analiz tekniği olarak uygulanmasında pencere boyunun amaca uygun seçilmesi gerekmektedir.

3.3.5. Teorik modeller için manyetik modelleme

Sınır analiz yöntemlerini test etmek amacıyla, prizma şeklinde iki modelin birleşik manyetik anomalisi hesaplanmış ve sınır analiz yöntemleri ile model yapı sınırları test edilmiştir. Teorik anomalinin oluşturulmasında kullanılan modellerin geometrik ve mıknatıslanma parametreleri Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

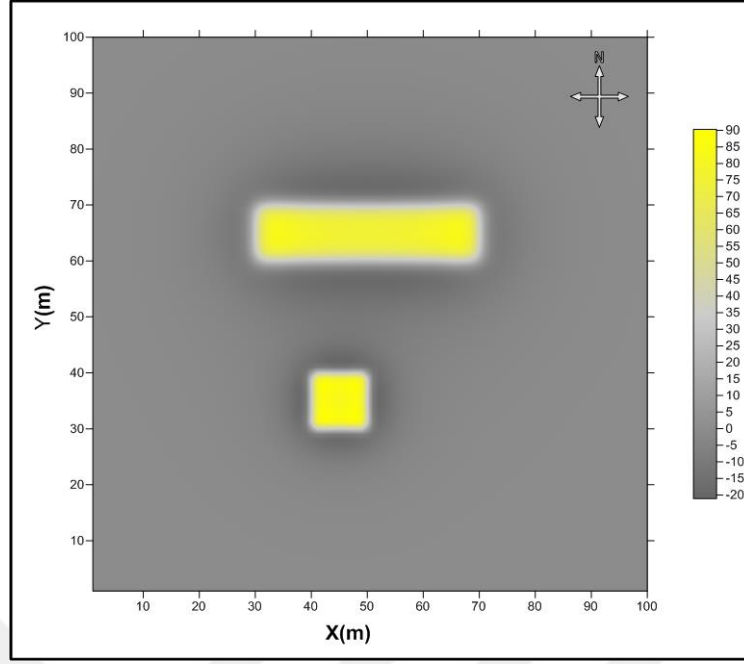
Çizelge 3.1. Teorik model parametreleri

Parametreler	Prizma 1	Prizma 2
Doğuya ve kuzeye grid veri sayısı	100,100	
Grid örnekleme aralığı	1 m × 1 m	
Yer manyetik alan şiddeti	45000 nT	
Yer manyetik alan inklinasyon açısı	50°	
Yer manyetik alan denklinasyon açısı	40°	
Yapı inklinasyon açısı	50°	50°
Yapı denklinasyon açısı	40°	40°
Prizmanın x eksenini izdüşüm noktaları	30,70	40,50
Prizmanın y eksenini izdüşüm noktaları	60,70	30,40
Prizmanın alt ve üst derinlikleri	2-10 m	2-10 m
Prizmanın suseptibilitesi	0.001	0.001



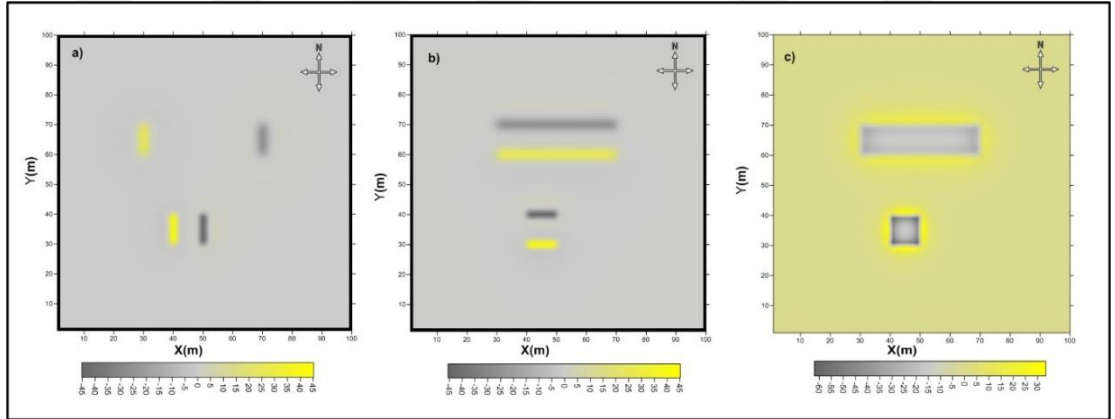
Şekil 3.11. Teorik modellere ait hesaplanan manyetik anomali haritası. Kırmızı çizgiler model yapıların sınırlarını göstermektedir

Belirlenen model parametreleri ile oluşturulan toplam manyetik alan haritası Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Sınır analiz yöntemlerini uygulaması kutba indirgenmiş manyetik harita (Şekil 3.12) üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Teorik modelin kutba indirilmesi

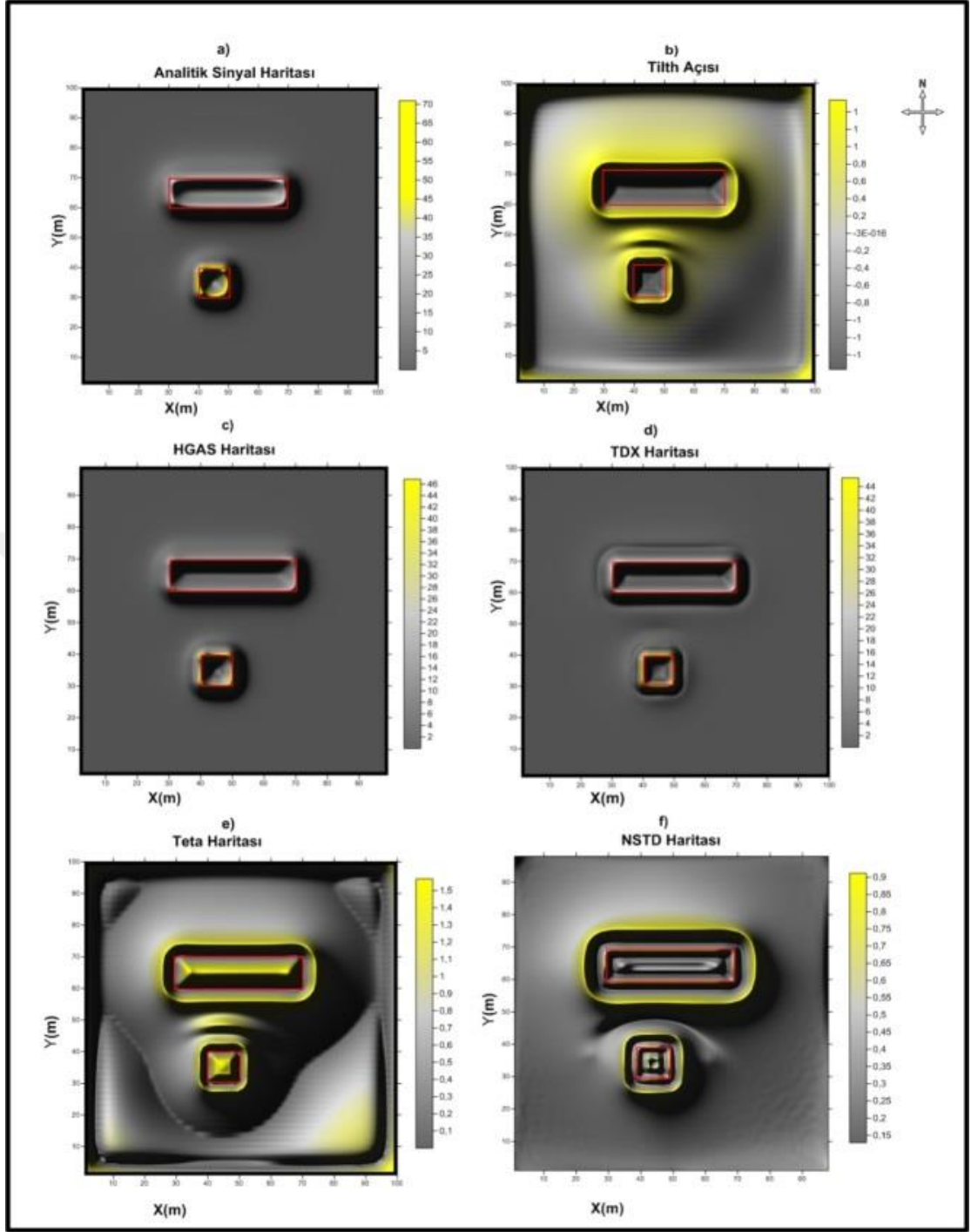
Sınır analiz yöntemlerinde kullanılmak üzere olan yatay ve düşey türev haritaları Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Teorik modele ait manyetik anomali haritasının a) kuzey -Y yönünde yatay türev, b) doğu -X yönünde yatay türev, c) düşey türev haritaları

Daha sonra hesaplanan bu yatay ve düşey türev haritaları, sınır analiz yöntemlerinde ifade edilen eşitliklerde kullanılarak farklı sınır analiz yöntemlerinin sonuçları elde edilmiş (Şekil 3.14) ve teorik sınırlar ile karşılaştırılarak irdelenmiştir. Buna göre yöntemlerin uygulaması sonucu elde edilen yapı sınırları teorik model sınırları ile uyumluluk göstermekte fakat karşılaştırmalı olarak ele alındığında bazı farklılıkların da bulunduğu gözlenmektedir. Örneğin analitik sinyal haritasında (3.14a) prizma

modeli 1 için elde edilen sinyal genliklerinin yapının sınır koordinatları üzerinde olduğu fakat prizma modeli 2' ye göre daha düşük genlikte oldukları görülmektedir. Prizma modeli 2'ye ait analitik sinyal genlikleri ise yapı üzerinde daha büyük genlikte oldukları görülmekte fakat yapının köşe koordinatlarında daha yumuşak geçişler göstermiştir. Benzer durum HGAS (Şekil 14c) ve TDX (Şekil 14d) haritasında da görülmektedir. Hiperbolik tilt açısı (Tilth) haritasında göre elde edilen anomali değerlerine bakıldığında sıfır kontürünün teorik yapı sınırını oldukça yakın olarak takip ettiği görülmektedir. Şekil 14e'de verilen teta haritasında ise yüksek genliklerin teorik yapı sınırlarını çevreleyecek şekilde hemen dışında ve aynı zamanda yapı üzerinde de olduğu, bunların arasında kalan alandaki düşük genlikli değerlerin ise teorik yapı sınırlarına karşılık gelmektedir. NSTD yöntemi ile belirlenen sınır anomali haritasında (Şekil 14f) ise yüksek genlikli değerlerin teorik yapı sınırlarını çevrelediğini, fakat yapı sınırları üzerinde belirgin bir ayırt edici izler oluşturmadığı tespit edilmiştir.

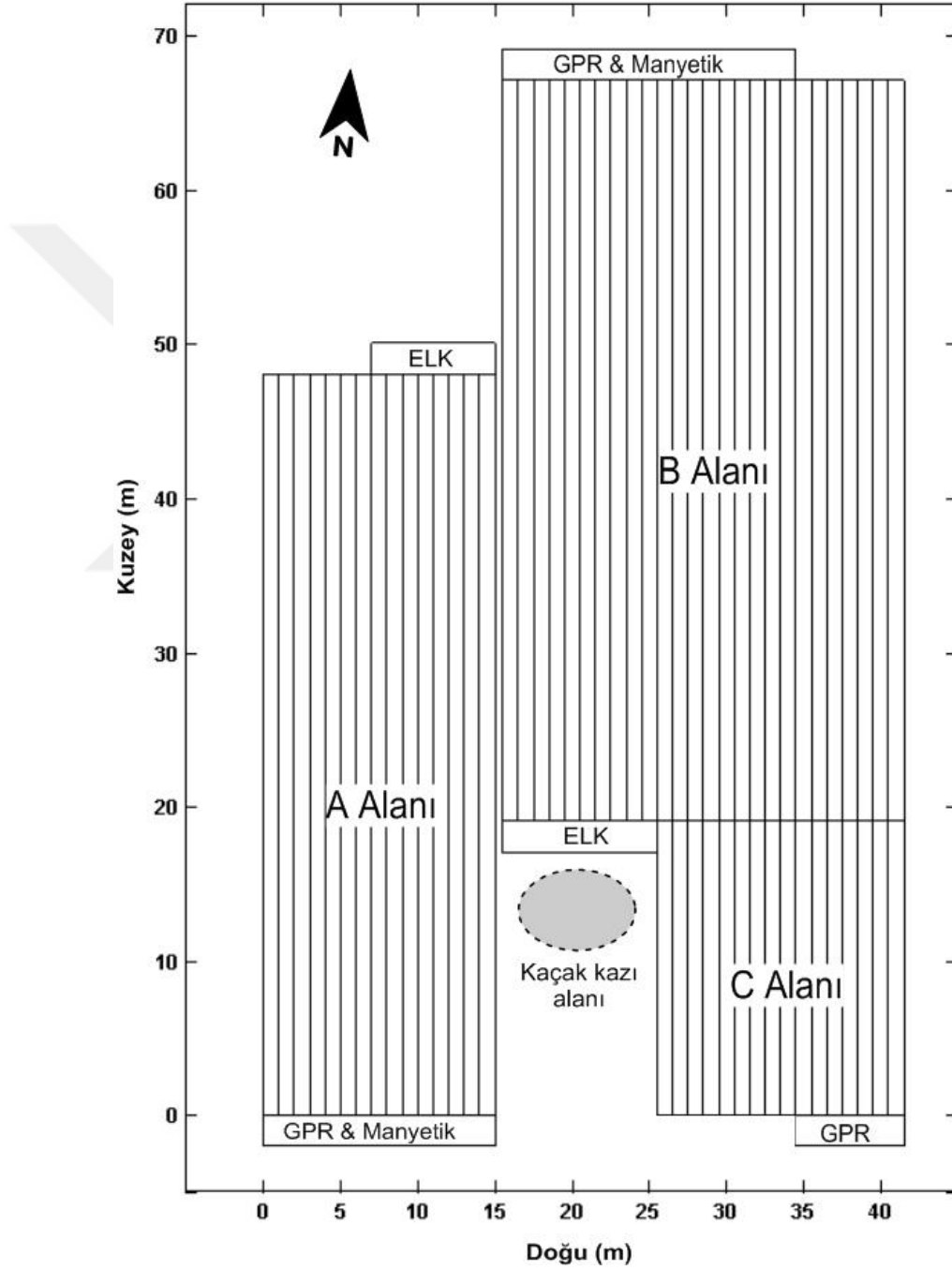


Şekil 3.14. Teorik model üzerinde uygulanarak elde edilmiş sınır analiz tekniklerinin sonuçları

4. ARAZİ ÇALIŞMASI VE BULGULAR

4.1. Araştırma Planı

Çalışma alanı, kaçak kazı alanının batısı, kuzeyi ve doğusunu kapsayacak şekilde farklı boyutlarda A, B ve C alanlarına ayrılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Arkeojeofizik çalışma için araştırma düzeni, saha A,B ve C olmak üzere 3 alana ayrılmıştır

Çalışma alanlarının köşe koordinatları GPS (Global Positioning System: Küresel Konumlandırma Sistemi) ölçümleriyle belirlendikten sonra saha içerisinde ölçüm hatlarının birbirine paralel olmasını sağlamak ve bir koordinat referansı oluşturmak amacıyla tüm alanda ip çekme yöntemiyle düzenli bir ölçüm ağı oluşturulmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Ölçüm hatlarının belirlenmesine ait fotoğraflar

Arazi çalışması kapsamında arkeojeofizik yöntemlerin en yaygın olanlarından elektrik özdirenç, yer radarı ve manyetik yöntemleri kullanılmıştır. Çizelge 4.1, kullanılan yöntemlere ait ekipmanları, veri toplama tekniklerini, veri değerlendirme yöntemlerini ve veri sunum şekillerini özetlemektedir.

Arazi çalışma süresi kapsamında, cihaz ve zaman kaynaklı kısıtlamalardan dolayı elektrik özdirenç yöntemi çalışma alanı olarak belirlenen bölgelerin tümüne uygulanamamıştır. Buna göre elektrik özdirenç araştırması 48 m uzunluğunda ve 1 m aralıklı paralel profiller boyunca A alanında toplam 9 ve B alanında toplam 11 olmak üzere sırasıyla 8 m x 48 m ve 10 m x 48 m alanlarda uygulanmıştır. ERT ölçümleri Wenner-Schlumberger dizilim tekniği ile çok kanallı rezistivite cihazı (GF Instruments) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3). Wenner-Schlumberger elektrot dizilimi genellikle diğer elektrot dizilimlerine göre daha yüksek genlikli

sinyale sahip ve derinliğe bağlı özdirenç değişimlerine daha duyarlı (Dahlin ve Zhou, 2004) olduğu için tercih edilmiştir.

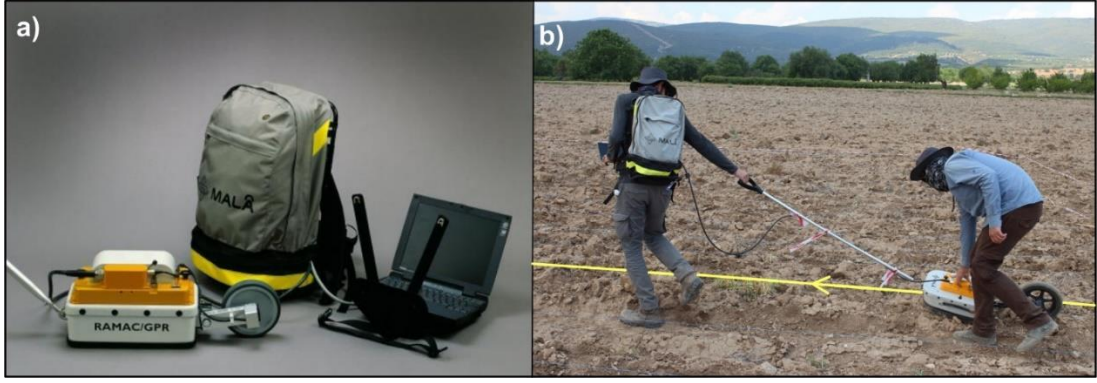
Çizelge 4.1. Arkeojeofizik araştırma için yöntem, cihaz, veri toplama teknikleri, veri işlem ve veri sunum teknikleri

Yöntem	Kullanılan cihaz	Veri toplama	Veri işlem	Veri sunumu
Elektrik Özdirenç Tomografi (ERT)	GF ARES	Wenner-Schlumberger Elektrot Aralığı: 1 m A ve B bölgelerinde toplam 20 profil	Res2Dinv Robust ters çözüm	Özdirenç ve derinlik kesitleri
Yer Radarı (GPR)	Mala Pro-Ex Ramac	Merkez Frekansı: 500 MHz Toplam zaman penceresi: 85 ns Zaman örnekleme aralığı: 0.1461 ns İz artımı: 0.0494 m A,B ve C bölgelerinde toplam 60 profil	GPR-Slice v7 De-wow Bandpass filters Background Removal Automatic Gain Control	Zaman kesitleri ve hacimsel sunum
Manyetik Haritalama	Scientrex SM-5	Tek yönlü sürekli ölçüm A,B ve C bölgelerinde toplam 46 profil	Alçak ve yüksek geçişli filtre Yüzey filtreleme Kutba indirgeme Sınır analiz yöntemleri	2-B haritalar



Şekil 4.3. Saha çalışmasında kullanılan GF Instruments 48 kanallı çok elektrotlu elektrik özdirenç sistemi

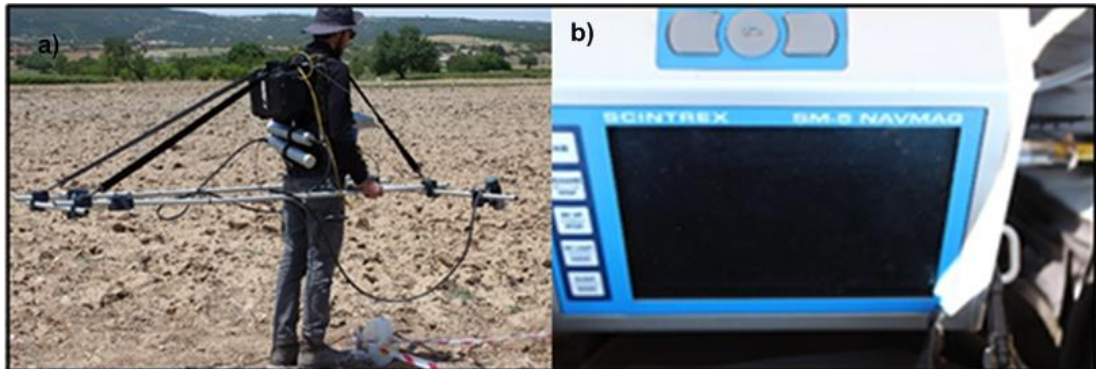
Radar ölçümleri 500 Mhz antene sahip Mala ProEx RAMAC marka cihaz kullanılarak yine 1m aralıklarla birbiri ile paralel çeşitli uzunlukta hatlar boyunca toplam 60 profil de gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4). Veri toplama aşamasında verilerde görülebilecek istenmeyen gürültüleri azaltmak için ‘yığma (stacking)’ işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.4. a) Saha çalışmasında kullanılan Mala ProEx radar sistemi, b) radar ölçüsü uygulamasına ait saha görüntüsü

Manyetik ölçümler ise Scintrex SM-5 sezyum manyetometresi kullanılarak 1 m aralıklarla birbirine paralel toplam 46 profil boyunca sürekli veri alma modunda toplam manyetik alan ölçülerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5). Genel olarak gidiş-dönüş modunda yapılan manyetik ölçümlerde hatlar arasında göreceli konum sapmaları nedeniyle anomalilere yansıyan ve düzeltilmesi gereken çizgisel etkiler oluşmaktadır. Bu çalışmada söz konusu bu etkilerden kaçınmak için manyetik ölçümler hatlar boyunca tek yönlü olarak alınmıştır.

Arazi çalışması kapsamında ölçü değerleri her bir profil için sabit bir hızla yürünerek alınmış ve profil başlangıç bitiş koordinatları arasına konumlandırılmıştır. Ölçüm işlemleri sabahın erken saatlerinde yürüme modunda toplam 2 saatlik bir süreçte gerçekleştirilmiştir. Bu süreç içerisinde ölçü değerlerinde olabilecek düşük orandaki yer manyetik alanı günlük değişim etkilerinin düzeltilmesi ihmal edilmiştir.



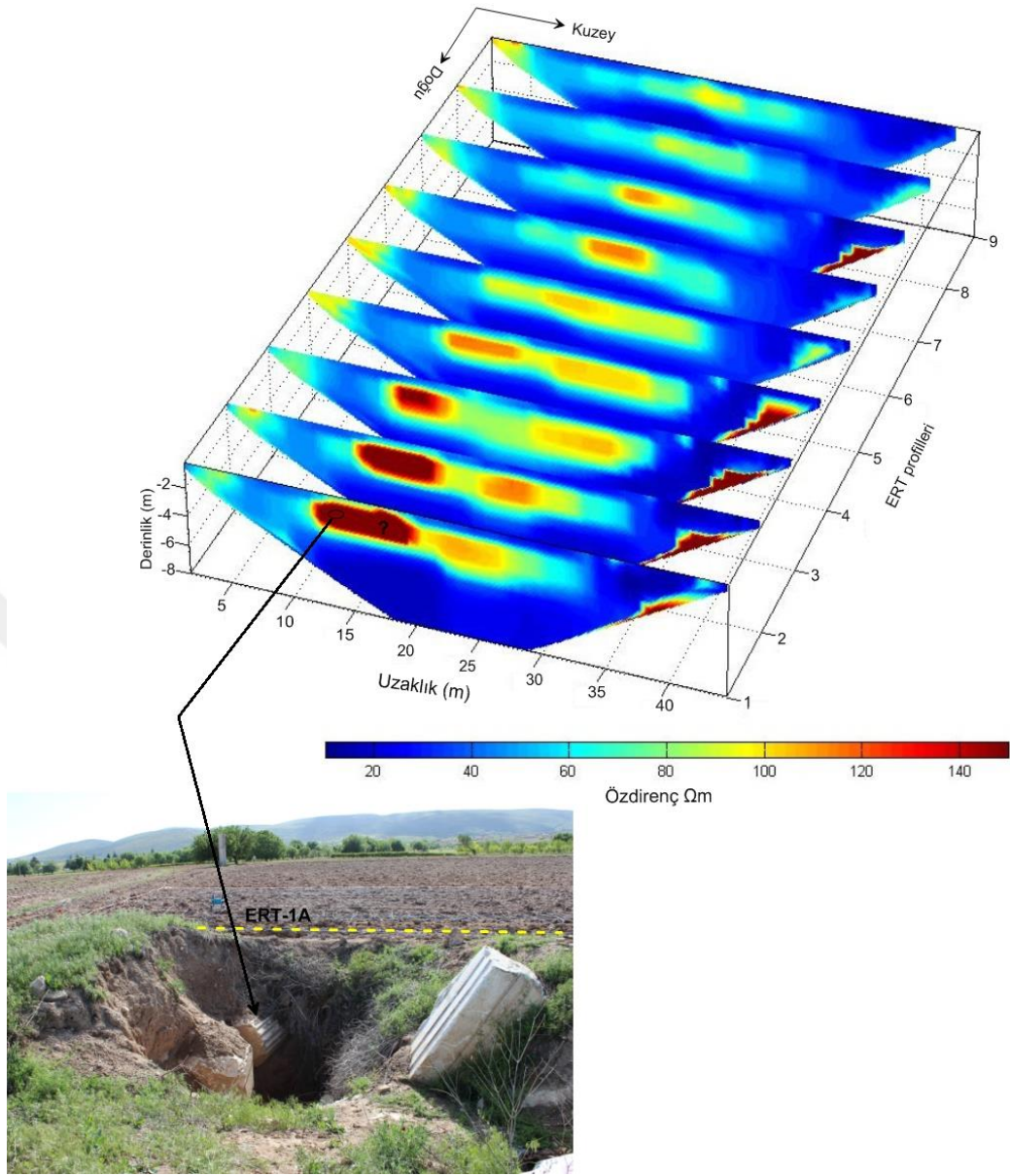
Şekil 4.5. a) Manyetik yöntem ölçü alma tekniği b) manyetik ölçümlerde kullanılan Scintrex SM-5 Navmag sezyum manyetometresi

4.2. ERT Araştırma Bulguları

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen görünür öz direnç veri setlerinin ters çözümleri Res2Dinv yazılımı (Loke ve Barker, 1996) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve 2-B öz direnç kesitleri elde edilmiştir. Bu yazılım, sahada ölçülen veriler ile model verileri arasındaki farkları en küçüklemek için düzgünlük-kısıtlı en-küçük kareler ve robust ters çözüm yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Robust ters çözüm yöntemi (Loke vd., 2003), yeraltı materyallerinin elektrik iletkenlikleri arasında büyük farklar olduğunda, yeraltı modelindeki keskin sınırları ortaya çıkarmada daha iyi sonuçlar vermektedir (Olayinka ve Yaramancı 2000). Bu çalışmada öz direnç verilerinin ters çözümü için Robust yöntemi kullanılmıştır. Genel olarak 4-5 yenileme adımında ulaşılan çözümlerin mutlak hata oranları %2.64 ile %4.97 arasında değişim göstermiştir.

Çalışma alanının iki sahasından elde edilen 20 adet ERT (ERT-1A-9A ve ERT-1B-11B) kesitleri sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Elde edilen bu kesitler ile 8 m derinliğe kadar olan öz direnç dağılımı görülmektedir. Buna göre öz direnç değerlerinin saha genelinde 5 Ω m ile 400 Ω m arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Söz konusu bu yüksek öz direnç değişim aralığı yeraltında heterojen bir yapı dağılımını işaret etmektedir.

A alanının kaçak kazı bölgesine en yakın olan ERT-1A kesitinde yüksek öz direnç değerleri (>150 Ω m) profilin 12. metresi ve 19. metrelerinde görülmektedir (Şekil 4.6). Gözlemsel olarak kaçak kazı sonucu görülen sütun yapısının yeraltındaki devamı yaklaşık olarak bu profilin 13-14 metrelerinde yer almaktadır. Dolayısıyla kesitin bu mesafesinde 1.4 m derinliğinde görülen yüksek öz direnç değeri, söz konusu bu sütun yapısından ileri gelmektedir. Buna göre aynı profilin 17-18’inci metrelerinde görülen yine yüksek öz direnç değerleri, profilin bu konumunda da benzer malzemeden kaynaklı farklı bir kalıntının varlığını göstermektedir. Kesitin 20-30 m yatay uzaklığında kısmen daha düşük değerlere sahip, fakat ortalama öz dirençlerden yine daha yüksek öz direnç belirtisinin (yaklaşık olarak 110 Ω m) görüldüğü yerler, yine muhtemel yapı kalıntılarından ileri gelmektedir.



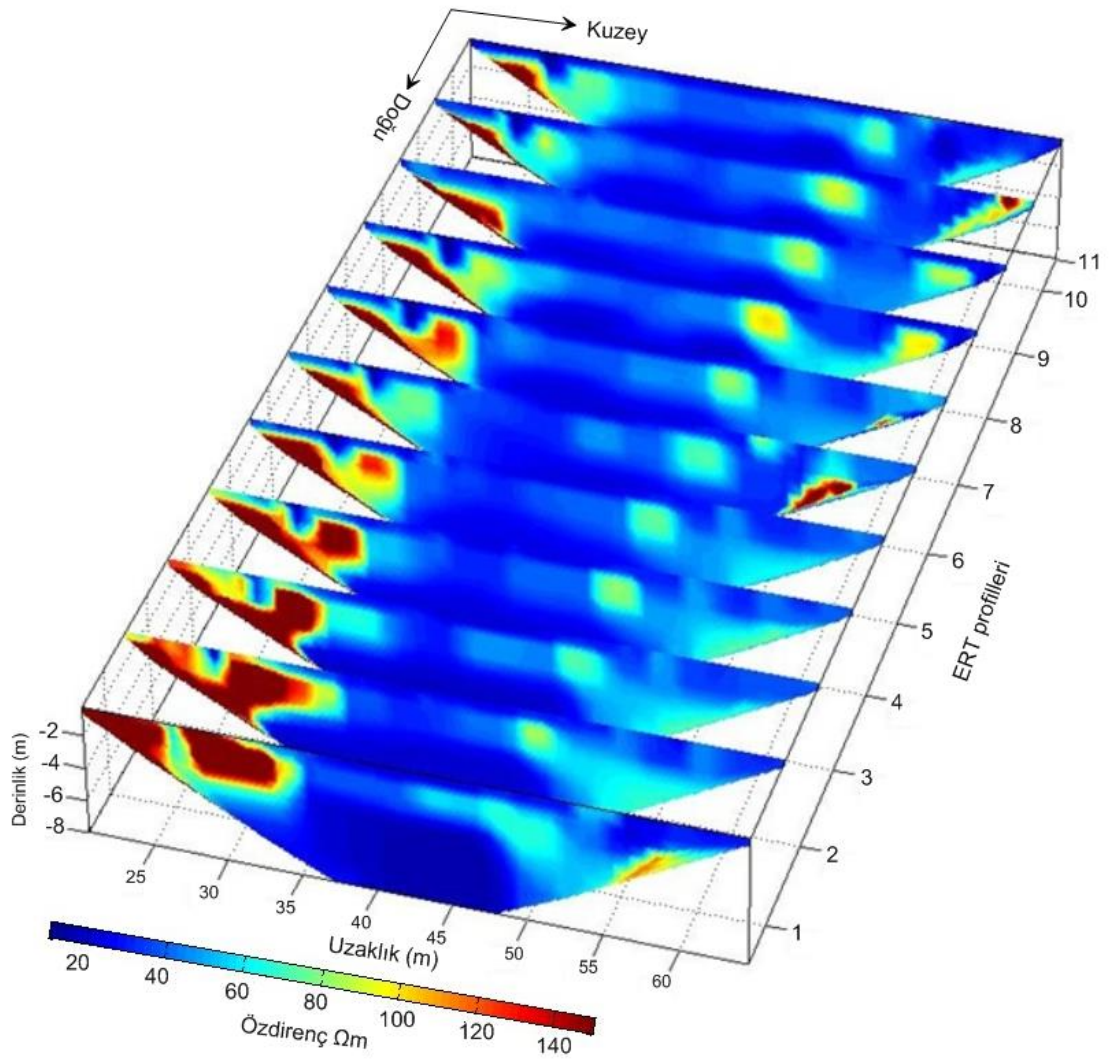
Şekil 4.6. “A” alanında 9 hat (profil) boyunca 2-B özdirenç kesitlerin birleştirilmiş görüntüsü

ERT-1A profilinde görülen anomaliler A alanındaki diğer profillerde de benzerlik göstermektedir (Şekil 4.6). Buna göre ERT-2A ve ERT-3A kesitlerinde görülen yüksek özdirenç anomalileri yine ERT-1A da belirlenen aynı arkeolojik kalıntıyı temsil etmektedirler. Kesitlerin orta kısımlarında görülen orta büyüklükteki anomaliler (50-150 Ωm arası) batı doğrultusunda azalım göstermektedir. Diğer taraftan tüm profillerin ilk metrelerinde görülen orta yükseklik derecesinde ki özdirenç anomalileri yine yer altında doğu-batı istikametinde süreklilik arz eden gömülü bir yapıyı işaret etmektedir. Kesitlerdeki 30 Ωm ve daha düşük özdirenç

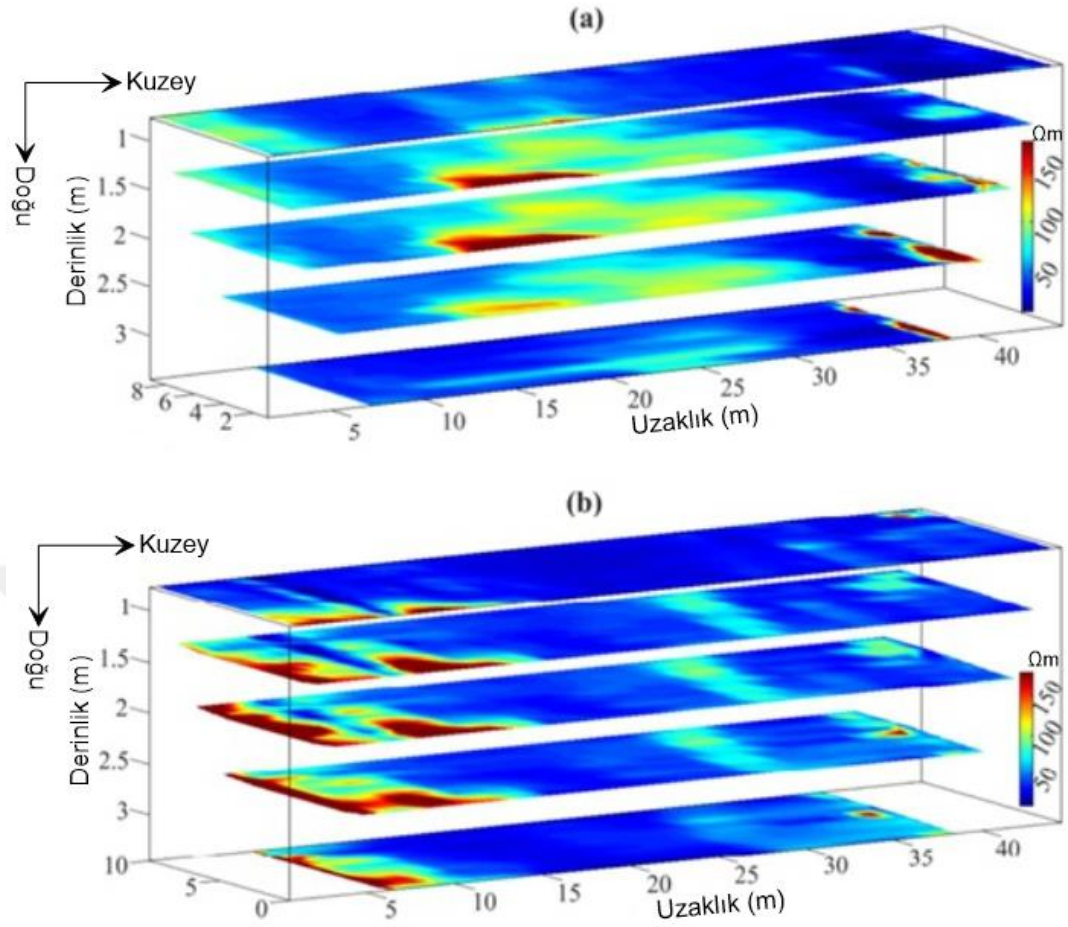
değerlerine sahip bölgeler yapı kalıntılarını çevreleyen toprak birimleri temsil etmektedir.

B alanına ait tüm kesitlerin (ERT-1B-11B) birleşik görüntüsü Şekil 4.7' de gösterilmiştir. Buna göre kesitlerin başlangıç mesafelerinde doğu batı uzanımlı yüksek öz direnç ($>150 \Omega m$) sahip bir alan görülmektedir. Tüm kesitlerde görülen bu yüksek öz direnç değerleri burada gömülü önemli bir arkeolojik yapının varlığına işaret etmektedir. Diğer taraftan yine kesitlerin sağ taraflarında görülen orta dereceli öz direnç (60-110 Ωm arası) değerlerine sahip kısımlar bu alanda ki diğer bir doğu-batı istikametinde yer alan arkeolojik yapının varlığını göstermektedir. A alanında olduğu gibi B alanında da 30 Ωm ve daha küçük öz direnç dağılımı gösteren kısımlar herhangi bir arkeolojik yapının bulunmadığı alanlar olarak yorumlanabilir.

A ve B alanlarında elde edilen ERT verilerinin birleştirilmesiyle farklı derinliklere ait öz direnç kat haritaları, muhtemel yapı belirtilerini daha ayrıntılı olarak ortaya koymada başarılı olabilir. Bu sebeple, ERT verileri birleştirilmiş ve anomali yoğunluğu fazla olan derinlikler için öz direnç kat haritaları çizilmiştir (Şekil 4.8). ERT kesitlerinde görülen öz direnç değerlerinin, 0.77 m, 1.35 m, 1.99 m, 2.69 m ve 3.46 m derinlikler için yatay düzlemdeki dağılımlarını göstermektedir. A bölgesi derinlik kesitlerinde (Şekil 4.8a) görülen 0.77 m ile 2.69 m derinlikler arasında görülen yüksek öz direnç değerlerine sahip anomaliler kaçak kazı neticesiyle bilinen sütun yapısı ve hemen kuzeyinde yer alan olası diğer bir arkeolojik yapıdan ileri gelmektedirler. Burada yine kesitlerin güneyinde 0.77 m-1.35 m derinlik aralığında ve kesitlerin orta kesimlerinde 1.35 m-2.69 m derinliklerinde görülen orta büyüklükteki öz direnç anomalileri olası arkeolojik kalıntıların yatay düzlemdeki dağılımlarını göstermektedir. Şekil 4.8b' de verilen derinlik kesitlerinde B sahasının güney kısımlarında görülen yüksek anomali değerleri burada doğu-batı istikametinde fakat doğu yönünde sıklaşan arkeolojik bir yapının varlığını göstermektedir. Diğer taraftan bölgenin orta kesimlerinde ki doğu batı yönlü orta büyüklükteki öz direnç anomalileri burada yer alan olası kalıntının 1.35 m-2.69 m arasında yer aldığını göstermektedir.



Şekil 4.7. “B” alanında ki 11 hat (profil) boyunca 2-B özdirenç kesitlerin birleştirilmiş görüntüsü



Şekil 4.8. a) A alanı ve b) B alanı için 0.77 m, 1.35 m, 1.99 m, 2.69 m ve 3.46 m öz direnç kat haritaları

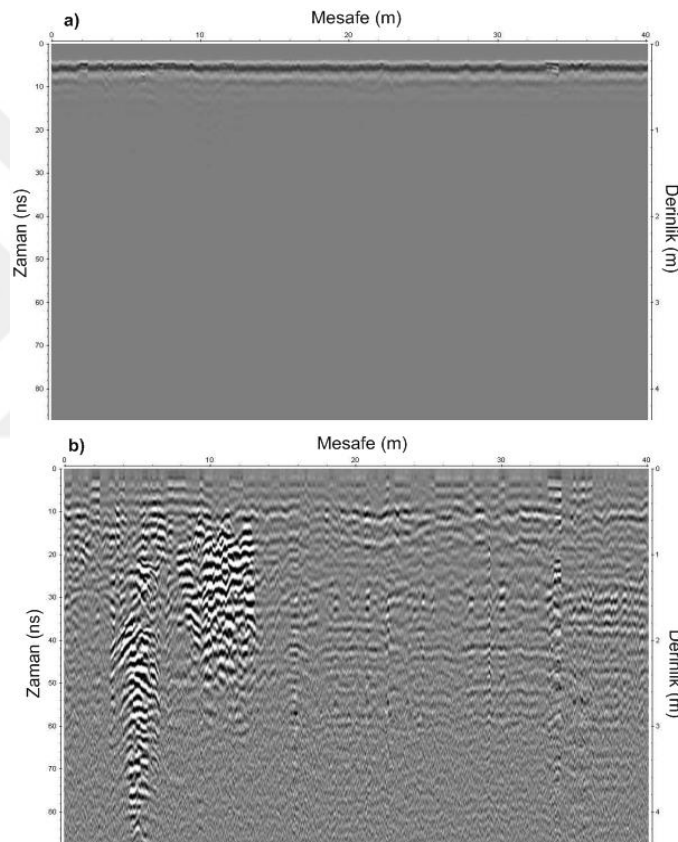
4.3. Yer Radarı Araştırma Bulguları

Yer radarı verileri anlaşılabilir görüntü formatlarında sunulduğunda daha kullanışlı olmaktadır (Daniels vd.,1988). Bu amaç doğrultusunda araziden elde edilen ham verilerin yorumlanabilmesi için yer radarı profillerine Reflexw (Sandmeier, 2005) ve GPR-Silice v7 (Goodman ve Piro, 2013) programları yardımıyla çeşitli veri işlem aşamaları uygulanmıştır. Buna göre gerçekleştirilen ana veri işlem aşamaları aşağıda özetlenmiştir.

Elde edilen işlenmemiş radar verilerine sırasıyla; düşük frekans etkisinin giderilmesi (dewow), enerji azalım kazancı (energy decay gain), istenmeyen düşük ve yüksek frekansların süzgeçlenmesi amacıyla band geçişli süzgeç (200-800 Mhz) ve ortam

temizleme (background removal) veri işlem filtreleri uygulanarak yorum aşamasına hazır hale getirilmiştir.

Yer radarı için belirlenen çalışma sahası küçük boyutlarda olduğundan topoğrafya düzeltmesine gereksinim duyulmamıştır. Zaman derinlik dönüşümü için alüvyon zeminlerde kabul edilen 0.09 m/ns hız değeri kullanılmıştır. Yapılan veri işlem aşamalarını temsilen B alanının 15 nolu profiline ait veri işlem öncesi ve sonrası radargramları sırasıyla gösterilmiştir (Şekil 4.9). Buna göre veri işlem aşaması sonucu elde edilen radargram izleri belirgin olarak ayırt edilebilmektedir.

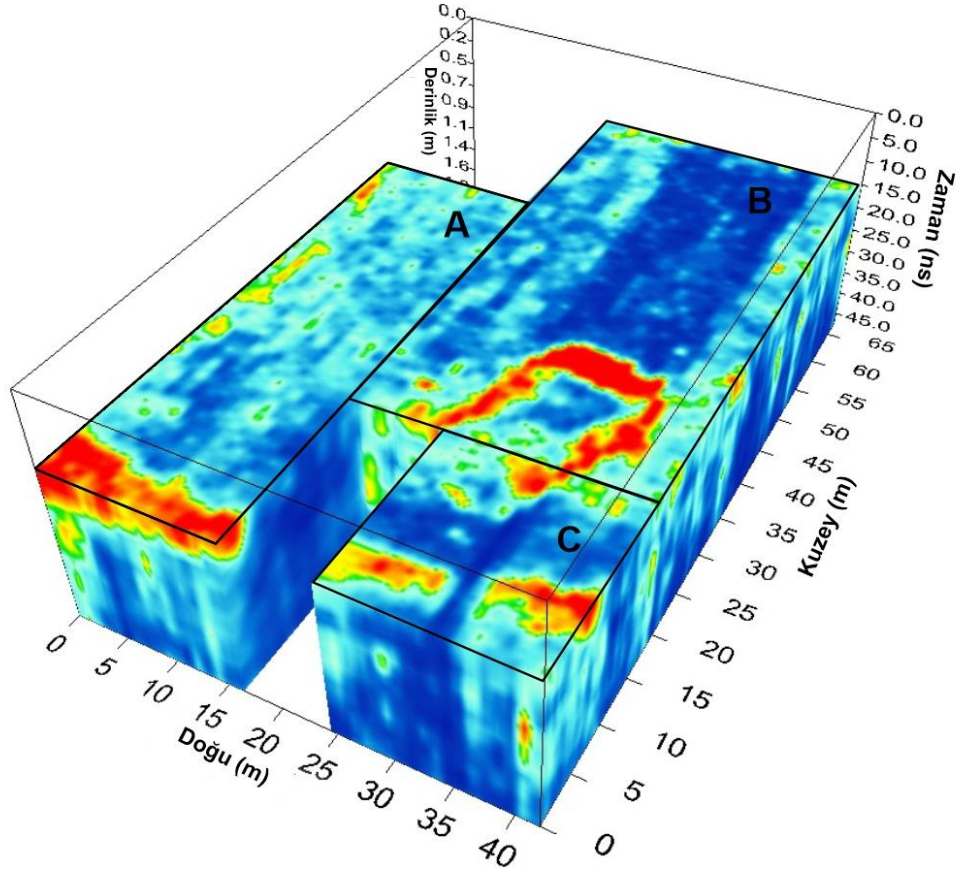


Şekil 4.9. a) B alanının 15 nolu profiline ait veri işlem öncesi ve b) B alanının 15 nolu profiline ait veri işlem sonrasına ait radargram

Burada veri işlem aşaması gerçekleştirilmiş radargramın ilk 10 metresinde yüksek yansıma genlikleri belirlenirken veri işlem uygulanmamış radargramda bu yansımalar gözle görülür belirginlikte değildir.

Yer radarı verilerinin 3-B ortamda incelemenin en sık kullanılan yolu zaman kesitleri haritalarıdır (Conyers, 2004). Dolayısıyla veri işlem aşamaları uygulanmış GPR

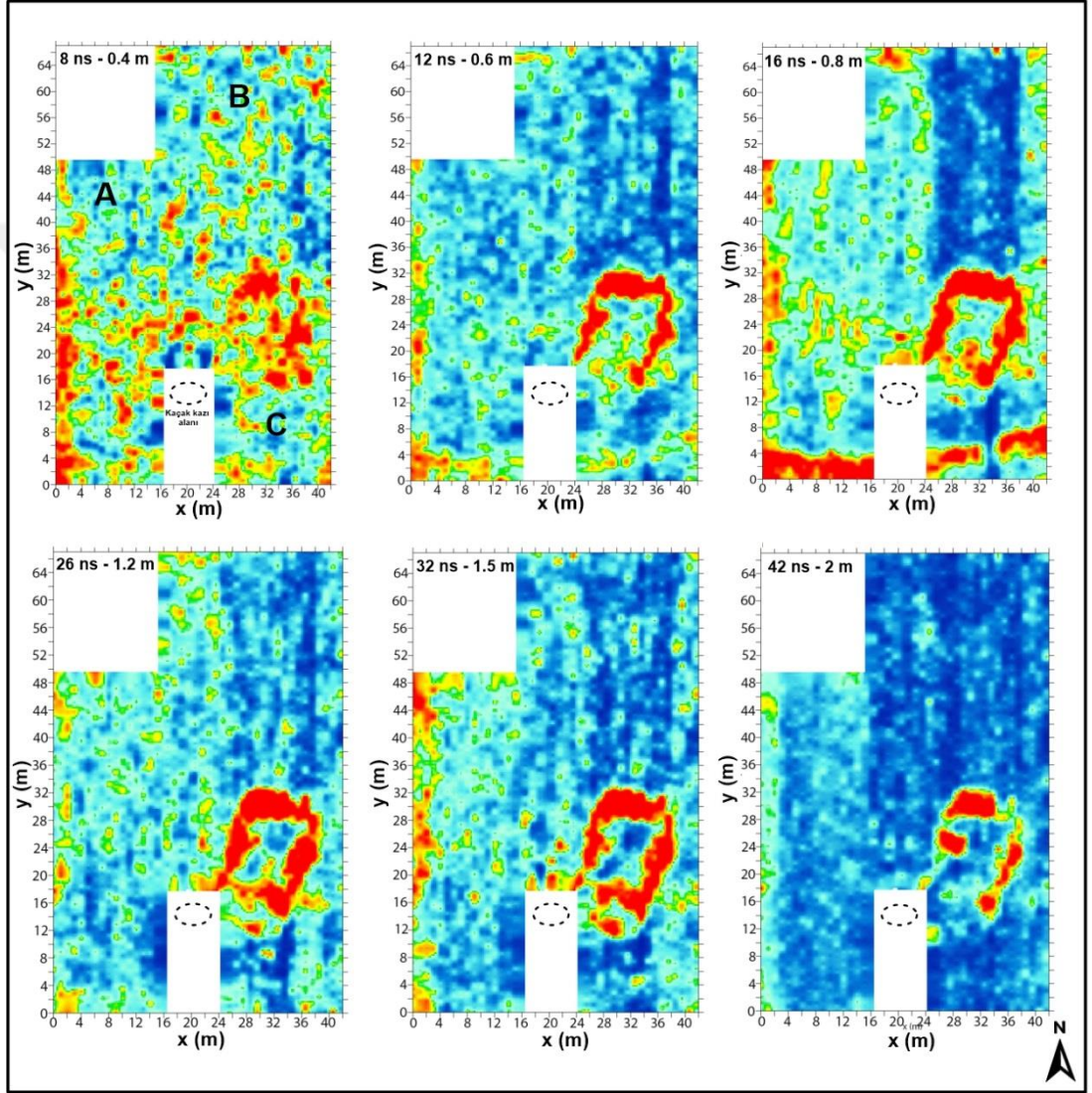
verilerinden hacimsel bir gösterim ve derinlik kesitleri elde edebilmek için birbirine paralel profil verilerinin enterpolasyonu GPR-Silice v7 (Goodman ve Piro 2013) programı ile yapılmıştır. Şekil 4.10'da araziden elde edilen GPR verilerinin 0.7 m-1.9 m derinlik arası hacimsel gösterimi verilmiştir. Burada görülen şiddetli yansımalar açıkça dikdörtgen biçimli ve geometrik uzanım gösteren gömülü yer altı yapılarını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.10. A, B ve C alanlarındaki GPR verilerinin birleştirilmesi ile elde edilen 3-B gösterim

Hacimsel görüntü içerisinde kalan anomalilerin daha ayrıntılı bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla çeşitli derinlikler için GPR zaman kesitleri elde edilmiştir (Şekil 4.11). Buna göre 12-32 ns derinlik kesitlerinde görülen yüksek yansımalar kazı alanının kuzeydoğusunda kare biçimine benzer geometrik bir iz oluşturmaktadır. Diğer taraftan 12-16 ns arası kesitlerinde yine belirgin yüksek yansımalar çalışma sahasının güneyinde görülmektedir. Bu yansımaların düşey ve yatay dağılım izleri, burada kalınlığı 20-30 cm ve yaklaşık 3m genişliğinde doğu-batıuzanımlı bir yapının varlığını göstermektedir. Zaman kesitlerinde bu izin kısa bir mesafe için belirgin

olması, burada ki verinin antik bir yoldan kaynaklanmış olabileceğini düşündürmektedir. 8 ns için elde edilen zaman kesitinde A alanının en doğusunun yaklaşık 12. metresinde görülen GPR yansıması kaçak kazı alanında kısmen görülebilen sütun yapısına karşılık gelmektedir. Buna bağlı olarak genelde A alanının orta kesimlerinde yoğunlaşmış olan bu gibi daha zayıf yansımalar, buralarda ki sığ derinlikte yer alan diğer olası küçük arkeolojik kalıntıları karakterize etmektedirler.

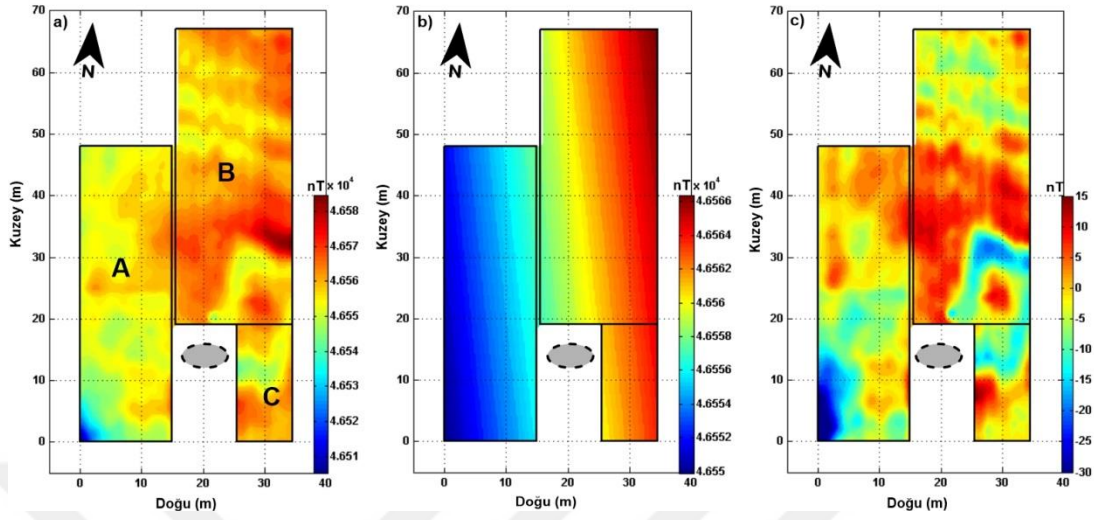


Şekil 4.11. GPR verilerinin belirli aralıklarla alınan yatay zaman kesitleri

4.4. Manyetik Yöntem Araştırma Bulguları

Ölçümlerden elde edilen manyetik alan değerleri ortak bir koordinat sistemine indirgenerek birleştirilmiş ve 0.5 m örnekleme aralığında gridlenerek tüm sahayı temsil eden tek bir manyetik anomali haritası elde edilmiştir. Bu haritada, manyetik ölçümler A, B ve C alanlarında ayrı ayrı alınıp daha sonra ortak bir koordinat sisteminde birleştirildiği için, komşu saha sınırları boyunca çizgisel anomaliler oluşmuştur. Benzer şekilde yürüme modunda alınan ölçümlerde profiller arası küçük zaman kaymaları yine benzer çizgisel anomalilere neden olmuştur. Söz konusu bu “ölçüm düzeni” kaynaklı çizgisel anomalileri gidermek amacıyla ölçü değerleri, 3×3 ‘lük pencerelerde ortalaması alınarak filtrelenmiştir (Şekil 4.12a). Böylece elde edilen filtrelenmiş haritada ölçüm düzeninden kaynaklı çizgisel belirtilerin etkileri minimize edilmiş fakat yine de tamamen yok edilemeyerek yorumlama aşamasında göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre çalışma sahası içerisinde yer manyetik toplam alan değerlerinde yaklaşık olarak 30 nT (min 46545 nT/ max 46575 nT) bir değişimin olduğu gözlemlenmiştir. Bu değişim içerisinde elde edilen anomali haritasında kazı alanının batısı, doğusu ve haritanın kuzey kesimlerindeki çizgisel süreklilik gösteren anomali desenlerinin yer altında mıknatıslanma farkı yaratan kalıntı yapılardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Saha genelinde elde edilen ortalama değerlerin dışında A bölgesinin güneybatısında gözlenen düşük anomali değerleri çalışma sahasının bu kesiminde yer alan metal bir çit yapısından ileri gelmektedir. Dolayısıyla verinin bu kesimi sonraki yorum aşamalarında gürültü olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen manyetik anomali haritasına etki eden derin kaynaklı verilerin (rejyonel etkiler) anomali değerlerinden çıkartılması ve dolayısıyla sığ derinlikteki lokal anomalilerin daha ayrıntılı görüntülenmesi amacıyla birinci dereceden bir yüzey geçirilmesi yöntemiyle rejyonel-rezidüel ayrımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12b ham manyetik anomalisine geçirilen birinci dereceden bir polinomunun haritasını göstermektedir. Diğer bir genel veri işlem aşaması olarak Baranov (1957), manyetik anomali haritalarında maksimumların anomaliye sebep olan yer altı yapılarının düzeyinde konumlandırılması ve toplam alan anomali haritasının daha doğru yorumlanması için kutba indirgeme yöntemini önermiştir. Şekil 4.12c rezidüel manyetik anomalisinin kutba indirgenmiş haritasını göstermektedir. Kutba indirgeme işlemi FFTFIL (Hildenbrand, 1983) programı

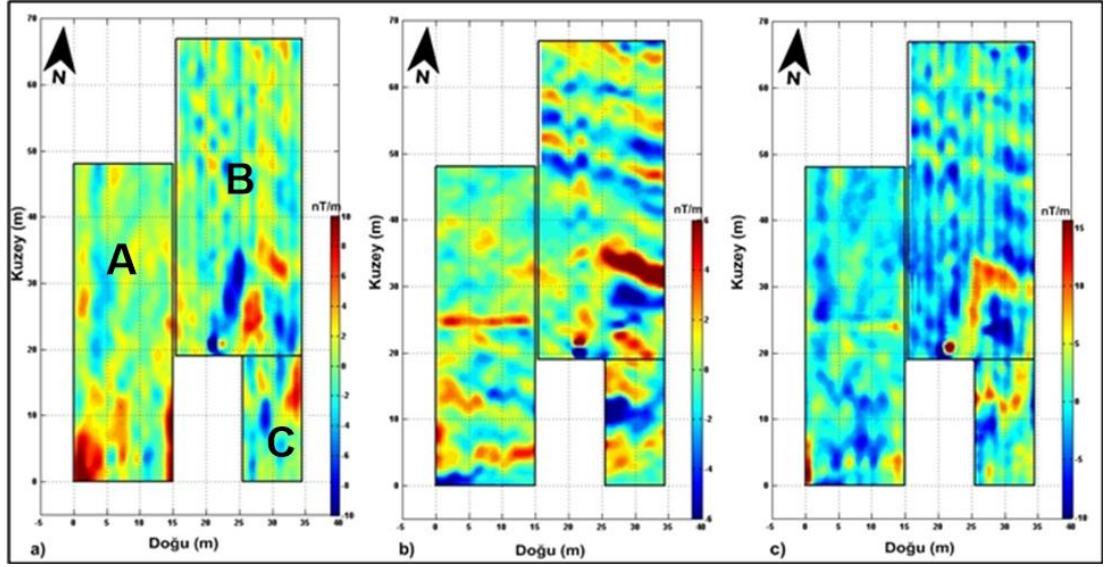
kullanılarak yapı ile yer manyetik alanı manyetizasyonunun aynı yönde olduğu varsayımı ile yapılmıştır ($I=57^\circ$ $D=4^\circ$).



Şekil 4.12. Çalışma sahasına ait a) toplam alan manyetik anomali haritası, b) rejyonal manyetik anomali haritası ve c) kutba indirgenmiş rezidüel manyetik anomali haritası

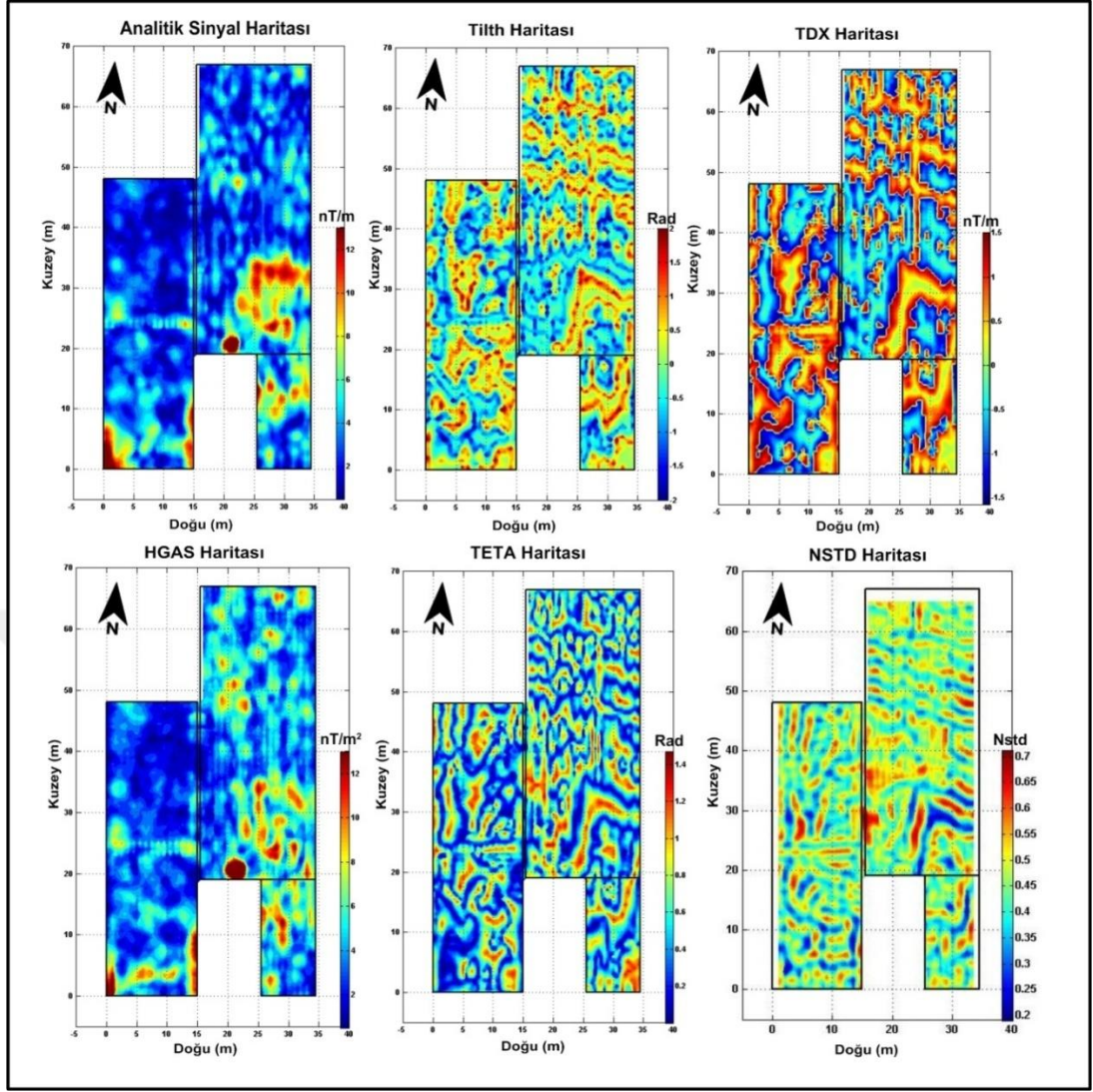
Manyetik anomalilerden yapı sınırlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere elde edilen yatay ve düşey türevlerinin haritaları Şekil 4.13'te verilmiştir. Buna göre manyetik anomali haritasında yatay türev doğrultusunda ani anomali değişimlerinin bulunduğu alanlar ve düşey türev ile de lokal anomalilerin genlikleri daha belirgin hale getirilmiştir. Elde edilen bu türev haritalarından faydalanılarak yapı sınır haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.14).

Arazi çalışmasından elde edilen manyetik verilere farklı sınır analiz yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen haritaların aynı konumlarında benzer çizgisel değişimlerin olduğu gözlenmektedir. Ancak yine de elde edilen sınır analizleri haritaları ile yatay ve düşey türev manyetik anomali haritaları karşılaştırıldığında yapı sınırlarını en iyi ortaya koyan yöntemin hiperbolik tilth açısı olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.13. Çalışma sahasına ait manyetik anomali haritasının a) doğu yönünde (x) yatay türev, b) kuzey yönünde (y) yatay türev, c) düşey türev haritaları

Elde edilen manyetik anomali haritaları ve bunlardan türetilen türev ve yapı sınırı haritalarına bakıldığında süreklilik arz eden çizgisel değişimlerin genel olarak B bölgesinin güneyinde ve ayrıca kuzeyinde, C bölgesinin kuzeyinde ve saha genelinin en güneyinde gözlenmektedir. Kaçak kazı alanının kuzeybatısı ve batısında süreklilik gösteren çizgisel değişimler yer radarı verilerinde olduğu gibi kare şeklinde bir geometrik şekil oluşturmaktadırlar. Diğer yandan B bölgesinin kuzey kesimlerinde görülen doğu-batı yönlü çizgisel değişimler ise ERT yönteminde belirlenen anomaliler ile de uyum göstermektedirler. Sahanın en güneyinde gözlenen doğu-batı uzanımlı çizgisel değişim ise hem yer radarı verileri ile hemde kısmi olarak elektrik özdirenç verileriyle de uyum gösterdiği anlaşılmaktadır. Kaçak kazı alanının batı kesiminde ise manyetik anomalilerin çizgisel özellik göstermesinden ziyade kendi içinde daha çok küçük lokal kapanımlar sergilediği gözlenmektedir.



Şekil 4.14. Çalışma sahasına ait a) analitik sinyal b) tilth açısı c) TDX d) HGAS e) teta f) NSTD manyetik yöntem sınır analizi haritaları

4.5. ERT, GPR ve Manyetik Verilerin Birlikte Değerlendirilmesi

ERT, GPR ve manyetik haritalamayla kaydedilen jeofizik anomaliler Şekil 4.15'te karşılaştırılmıştır. Burada, farklı tekniklerle oluşturulan haritalarda en belirgin anomalileri gösteren desenler siyah elipslerle işaretlenmiştir. Şekil üzerinde kaçak kazı alanının kuzeydoğusunda yer alan manyetik anomali grubu (M-1) ile yüksek yansıma değerleri gösteren yer radarı izleri (G-1) arasında, her iki veride de belirgin olan kare şeklinde geometrik bir desenin uyumu görülmektedir. Belirlenen bu yapısal geometrinin batı kenarını kesen (E-1) konumunda yüksek öz direnç değerleri elde edilmiştir. Söz konusu kare desenini oluşturan anomali modelinin saha içerisindeki

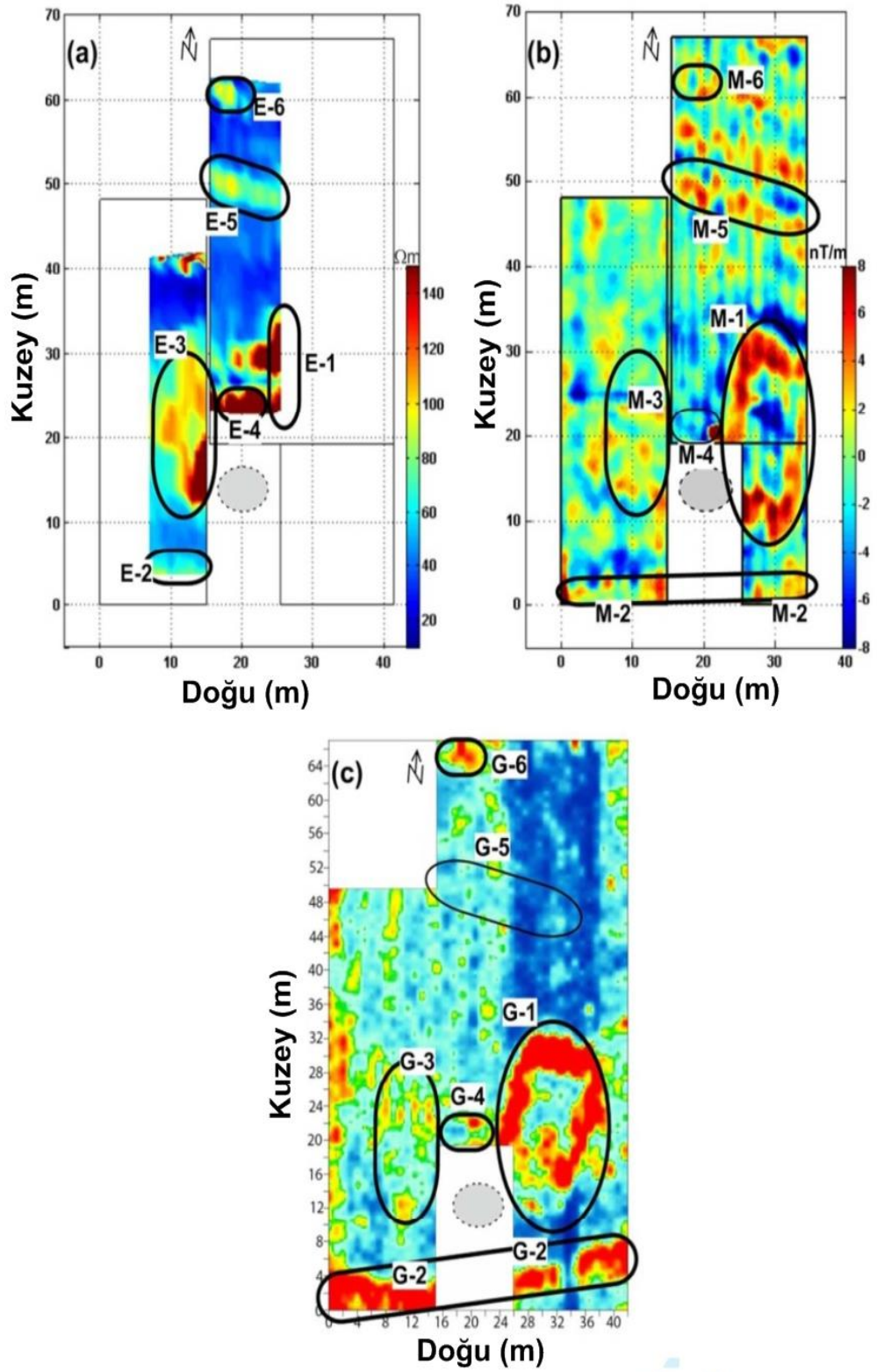
boyutları dikkate alındığında ($\sim 10\text{m} \times 15\text{m}$), incelenen alanın en önemli yapılarından biri olduğu görülmektedir.

Çalışma alanının güney kenarında gözlenen anomaliler (E2, M2 ve G2) birbirleri ile uyumludur. ERT ve GPR derinlik kesitlerinden elde edilen anomalilerin uzanım ve kalınlık bilgisi göz önünde bulundurulduğunda söz konusu bu anomaliler 0.5 m derinliğinde gömülü antik bir yolun varlığı ile ilişkilendirilebilir.

Çalışma sahasının E-3, M-3 ve G-3 ile sınırlanan alanlarından elde edilen anomaliler arasında da genel bir uyum görülmektedir. Burada, yüksek öz direnç değerleri ile yer radarının yüksek yansımaya izleri, kaçak kazı ile kısmen gözlemlenebilen kolon yapısına ve bunun bir kaç metre kuzeyindeki muhtemel yapı kalıntısına karşılık gelmektedirler. Her ne kadar söz konusu sütun yapısı üzerinde manyetik anomalilerin şiddetinde kısmi bir düşüş gözlenmiş olsa da belirgin yüksek bir ayırım elde edilememiştir.

ERT ve GPR verileri arasında dikkat çeken diğer bir uyum da (E-4 ve G-4) kaçak kazı alanının kuzey sınırında görülebilmektedir. Dolayısıyla bu alanda gömülü arkeolojik bir kalıntı yapısının olması muhtemeldir.

Diğer yandan B alanının kuzeyindeki E-5 ve M-5 alanlarında elde edilen ERT ve manyetik veriler burada doğu-batı uzanımlı süreklilik arz eden antik bir kalıntının varlığını göstermektedir. Çok belirgin olmamakla birlikte çalışma sahasının en kuzeyinde işaretlenen anomali grupları (E-6, M-6 ve G-6) yer altında küçük ölçekde antik bir duvarın kalıntısı ile ilişkilendirilebilir. Bunların yanı sıra, çalışma alanında birçok arkeolojik kalıntıya işaret eden çok sayıda küçük GPR ve manyetik anomali grupları mevcuttur.



Şekil. 4.15. ERT, GPR ve manyetik araştırma sonuçlarının ortak yorumu. Belirgin anomaliler elipsler ile işaretlenmiştir ve karşılıklı olarak numaralandırılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Isparta ili Keçiborlu İlçesi Kılıç köyü Öreniçi mevkiinde bulunan I. derece arkeolojik sit alanı içerisinde kaçak kazı sonucu açığa çıkan arkeolojik kalıntı bulgularının jeofizik yöntemlerle yer altındaki geometrilerinin ortaya konulmasını ve devamlılıklarının araştırılmasını amaçlamıştır. Bu kapsamda çalışma takvimi süresinde kaçak kazı alanını çevreleyecek şekilde oluşturulan A, B ve C alanlarında ERT, manyetik haritalama ve GPR yöntemleri olmak üzere üç yöntem ile jeofizik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerden elde edilen saha verilerinin değerlendirilmesi ve görselleştirilmesi ile jeofizik haritalar oluşturulmuştur. Elde edilen bu haritaların yorumlanması ile çalışma alanındaki mevcut kalıntıların devamlılığı ve yeni olası yapı kalıntılarının yerleri belirlenmiştir. Kazı alanının kuzeydoğu, kuzeyi ve güneyinde çeşitli anomaliler bulunmuştur ve bu anomaliler detaylı bir kazı için öncelikli hedefleri temsil etmektedir. Bunların yanı sıra, çalışma alanında birçok arkeolojik kalıntıya işaret eden çok sayıda küçük anomaliler de bulunmaktadır. Tüm bu bilgiler bölgede antik bir kentin varlığını işaret etmektedir.

ERT yönteminde arkeolojik yapılar, doğal olarak çevre ortamına göre daha yüksek öz direnç belirtiler vermektedir. Ölçülen verilerin değerlendirme sonuçlarına göre, öz direnç kesitlerinde, öz direnç değişim aralığı 5 Ω m ve 400 Ω m arasındadır. Kaçak kazı sonucu ortaya çıkmış bilinen arkeolojik sütun yapısının uzanım doğrultusu A alanı içinde yer almaktadır. Sütun uzanım doğrultusunu yaklaşık dik kesen en yakın ERT profil kesitinin bu konumunda (ERT-1; 12-19 m aralığında) ve 1.4 m derinlikte 150 Ω m'den daha büyük öz direnç değerleri elde edilmiş olup bilinen sütun yapısının varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Buna göre, aynı profilin 17-18 m aralığında görülen oldukça yüksek öz direnç değerleri de olası gömülü bir yapının varlığına işaret etmektedir. Aynı profilin devamında yaklaşık 20-30 m yatay uzaklığında kısmen daha düşük değerlerde fakat, ortalama öz dirençlerden yine daha yüksek öz direnç belirtisinin (yaklaşık olarak 110 Ω m) görüldüğü yerler yine muhtemel yapı kalıntılarından ileri gelmektedir.

Kaçak kazı alanının kuzeyinde yer alan B alanındaki öz direnç kesitlerinde, profilin başlangıcından 13 m uzaklığa kadar olan yüksek öz direnç belirtiler ve 32 m ve 42 m uzaklıklarında ise, nispeten yüksek öz dirençli bölgeler gömülü kalıntı yapıların

varlığını göstermektedir. A ve B alanları içinde yer alan sırasıyla 9 ve 11 adet öz direnç kesitlerinin bir arada gösterimleri, her iki alan içindeki gömülü kalıntı yapıların D-B ve K-G yönlerindeki yanal ve düşey değişimlerinin ortaya çıkarılmasını sağlamıştır. ERT verilerinin birleştirilmesiyle elde edilen belirli derinlikler için kat haritalarında da görülen yüksek öz direnç değerlerine sahip anomaliler, kaçak kazı neticesiyle bilinen sütun yapısı ve hemen kuzeyinde yer alan olası diğer bir arkeolojik yapıdan ileri gelmektedir.

A, B ve C alanlarında elde edilen manyetik alan değerleri ortak bir koordinat sistemine indirgenerek birleştirilmiş ve 0.5 m örnekleme aralığında gridlenerek tüm sahayı temsil eden tek bir manyetik belirti haritası elde edilmiştir. Buna göre çalışma sahası içerisinde yer manyetik toplam alan değerlerinde yaklaşık olarak 30 nT bir değişimin olduğu gözlemlenmiştir. Bu değişim içerisinde elde edilen anomali haritasında, kazı alanının batısı, doğusu ve haritanın kuzey kesimlerindeki çizgisel süreklilik gösteren anomaliler, yer altında mıknatıslanma farkı yaratan kalıntı yapılardan ileri gelmektedir. Elektrik öz direnç araştırma sonuçları ile karşılaştırıldığında, elektrik verilerine göre gömülü kalıntı yapıların olduğu varsayılan yerlerde manyetik alan değerlerinde genel olarak azalma eğilimli çizgisel süreklilik gösteren belirtiler görülmektedir. Bu ise yer altında gömülü halde bulunan yapıların çevresine göre daha düşük mıknatıslanma şiddetine sahip olmalarından kaynaklanabilir. Elde edilen manyetik alan haritası incelendiğinde, kaçak kazı alanının doğu-kuzey doğu kesiminde kare şeklinde algılanan belirgin bir anomali deseni görülmektedir. Söz konusu bu kare alanın kuzey sınırının geometrisi ve konumu, bu alanda yapılan radar verilerinden elde edilen geometri ile de örtüşmektedir. Ayrıca söz konusu bu kuzey sınırın batı kesimi ile kesişen 11 nolu elektrik kesitindeki sıkı derinlikteki yüksek öz direnç değerleri yine muhtemel aynı yapıdan ileri gelmektedir. Yapılan sınır analiz yöntemlerinden elde edilen haritaların tümü ortak çizgisel değişim göstermektedir ve bu çizgisel değişim yeraltındaki yapılardan kaynaklanmaktadır. Sınır analiz haritaları ile de kare yapının sınırları belirlenmiş ve radar verileriyle sonuçlar örtüşmektedir.

Ölçüm planında belirlenen alanlarında yer radarı ölçümleri alınıp gerekli veri işlem aşamaları uygulandıktan sonra 2-B ve 3-B haritalar elde edilmiştir. Elde edilen haritalarda kaçak kazı alanının kuzey doğusunda kalan B alanında ve C alanının bir

kısmında kare şeklinde bir oda yapısına rastlanmıştır. Söz konusu bu kare alana manyetik haritalarında ve elektrik öz direç verilerinin son profillerinde açık olarak görülmektedir. Ayrıca A ve C alanlarının başlangıç noktalarında da bir antik yol olduğu radar verilerinden elde edilen 3-B haritada saptanmıştır.

Sonuç olarak, jeofizik yöntemlerin birlikte kullanımı ve değerlendirilmesi ile inceleme alanında gömülü arkeolojik yapı kalıntıları tespit edilmiştir. Dolayısıyla, birleşik jeofizik araştırmanın önemli sonuçları, bu alanda bir kurtarma kazısının yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca jeofizik araştırma sonuçları, gömülü yapıların yerleşik olduğunu ve belirlenen inceleme alanı dışında da çalışmaların sürdürülmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

6. KAYNAKLAR

- Ansari A.H. and Alamdar, K., 2011. A New Edge Detection Method Based on The Analytic Signal of Tilt Angle (ASTA) for Magnetic and Gravity Anomalies, Iranian Journal of Science and Technology, IJST A2, 81-88.
- Apostolopoulos, G., Pavlopoulos, K., Goiran, J.P. and Fouache, E., 2014. Was The Iraeus Peninsula (Greece) A Rocky Island Detection of Pre-Holocene Rocky Relief with Orehole Data and Resistivity Tomography Analysis. J. Archaeol. Sci. 42, 412-421.
- Baranov V., 1957. A New Method for Interpretation of Aeromagnetic Maps, Pseudo Gravimetric Anomalies, Geophys 22, 359-383.
- Baranov, V. and Naudy, H., 1964. Numerical Calculation of The Formulate of Reduction to The Magnetic Pole. Geophysics, 29, 67-79.
- 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, Environmental Geology, 41, 1-10.
- Blakely, R.J., 1995. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambrigde University Press, 1st Edition, New york, ISBN, 0-521-57547-8, 439.
- Bournas, N., and Baker, H.A., 2001. Interpretation of Magnetic Anomalies Using The Horizontal Gradient Analytic Signal, Ann. Geophys. 44, 3, 505-526, DOI, 10.4401/ag-3572.
- Bristow, C.S. and Jol, H.M., (Ed.), 2003. Ground Penetrating Radar in Sediments. Geological Society Special Publications, London, 211, 191-198.
- Cardarelli E. and Filippo G.D., 2009. Integrated Geophysical Methods for The Characterisation of an Archaeological Site (Massenzio Basilica-Roman forum, Rome, Italy). Journal of Applied Geophysics 68, 508-521.
- Conyers, L.B., 2004. Ground-penetrating Radar for Archaeology. Altamira Press, Walnut Creek, CA.
- Cooper, G.R.J., and Cowan, D.R., 2006. Enhancing Potential Field Data Using Filters Based on The Local Phase. Computers & Geosciences, 32(10), 1585-1591.
- Cooper, G.R.J., and Cowan, D.R., 2008. Edge Enhancement of Potential-Field Data Using Normalized Statistics. Geophysics, 73(3), H1-H4.
- Çataklı, A., 2003. Sığ Yeraltının Görüntülenmesinde Yer Radarı Yöntemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Trabzon.

- Dahlin, T. and Zhou, B., 2004. A Numerical Comparison of 2-D Resistivity Imaging with 10 Electrode Arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, 379-398.
- Daniels, D.J., 1996. *Surface-Penetrating Radar*, IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics, 6, London.
- Daniels, D.J., Gunton, D.J. & Scott, H.F. 1988. Introduction to Subsurface Radar, IEE Proceedings, 135 part F (4), August 1988, 278-320.
- Di Maio, R., La Manna, M. and Piegari, E., 2016. 3D Reconstruction of Buried Structures from Magnetic, Electromagnetic and ERT Data: Example from The Archaeological Site of Phaistos (Crete, Greece). *Archaeological Prospection* 23, 3-13.
- Drahor M.G., 2006. Integrated Geophysical Studies in The Upper Part of Sardis Archaeological Site, Turkey. *Journal of Applied Geophysics* 59, 205-223.
- Drahor, M.G., 2007. Arkeolojik Alan İncelemelerinde Yer Radarı Uygulamaları, *Arkeoloji ve Sanat*, 125, 107-138.
- Drahor, M.G., T.Ö., Kurtulmuş, M.A. Berge, M., Hartmann and M.A. Speidel, 2008a, Magnetic Imaging and Electrical Resistivity Tomography Studies in a Roman Military Installation Found in Satala Archaeological Site, Northeastern Anatolia, Turkey. *Journal of Archaeological Sciences*, 35, 259–271.
- Drahor, M.G., M.A. Berge, T.Ö. Kurtulmus, M. Hartmann, and M.A. Speidel, 2008b, Large-Scale Magnetic and Resistivity Imaging Investigations in A Roman Military Installation Area (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey: *Archaeological Prospecting*, 15, 159–186.
- Drahor M.G., Berge MA. and Öztürk C., 2011. Integrated Geophysical Surveys for The Subsurface Mapping of Buried Structures Under and Surrounding of The Agios Voukolos Church in İzmir, *Journal of Archaeological Science* 38, 2231-2242.
- Drahor M.G., Berge M.A., Öztürk C. and Ortan B., 2015. Integrated Geophysical Investigations at A Sacred Hittite Area in Central Anatolia, Turkey. *Near Surface Geophysics* 13, 523- 543.
- Erden, F., 1979. *Uygulamalı Gravite*, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Ankara, 21.
- Erdoğan, A. ve Gündoğdu, O., 1995. Kocaeli Üçtepeler Tümülüsünde Jeofizik Araştırma. *Jeofizik Dergisi*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 10, 1-2, 13-17.
- Fisher, C.S., Stewart, R.R. and Jol, H.M., 1994. Processing Ground Penetrating Radar Data. *Proceedings of the 5th International Conference on Ground Penetrating Radar Canada*, 661–675.

Geotomo, 2006a. RES2DINV Software, ver. 3.5. <http://www.geoelectrical.com>.

Geotomo, 2006b. RES3DINV Software, ver. 3.5. <http://www.geoelectrical.com>.

Gerlitz, K., Knoll, M.D., Cross, G.M., Luzitano, R.D. and Knight, R., 1993. Processing Ground Penetrating Radar Data to Improve Resolution of Near-Surface Targets. Proceedings of The Symposium on The Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, San Diego, USA, 561–575.

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

Goodman, D. and Piro, S., 2013. GPR Remote Sensing in Archaeology. Geotechnologies and The Environment, 9. Springer Science, New York.

Grégoire, C., Halleux, L. and Vervoort, A. 2003. Application Of Ground Penetrating Radar in A Mining Environment. in Mining and Mineral Processing, Sofia, p. 179-183.

Griffin, S., and Pipet, T., 2002. Ground Penetrating Radar. Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration, 144, 80-89.

Griffiths, D.,H. and Barker, R.,D., 1993. Two Dimensional Resistivity İmaging and Modeling in Areas of Complex Geology. Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.

Hazel D., 2014. Kent Arkeolojisinde Arkeolojik Uygulamaları: Genç Roma Dönemi Beyazıt Vezneciler Bazilika Alanı, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Hildenbrand T.G., 1983. FFTFIL-A Filtering Program Based on Two-Dimensional Fourier Analysis. U.S. Geological Survey Open-File Report 83, 237, 29.

Hoşkan, N., Yüksel, F.A., Avcı, K., Ergüven, K. ve Korkut, T., 2014. Tios Antik Kenti Stadion Alanında Jeoradar (GPR) Çalışmalar, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 432-435.

Hürmüzlü-Korholt, B., 2015. Isparta İli ve İlçeleri Yüzey Araştırması Sonuç Raporu, M. Özsait, Burdur ve Çevresi Prehistorik Araştırmalar AST I, 1983,7-13, M.Özsait, Burdur ve Isparta Çevresi Prehistorik Araştırmalar, AST 2, 1984, 205-221, M.Özsait,- N. Özsait, 2010 Yılı Isparta ve Burdur İlleri Yüzey Araştırmaları, AST 29, 2012,281-305.

Jeng, Y., Lee Y.L., Chen, C.Y. and Lin, M.J., 2003. Integrated Signal Enhancements in Magnetic Investigation in Archaeology, J. of Appl. Geop. 53, 31-48.

Jol, H.M., 2009. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. Elsevier, Amsterdam.

- Kadioğlu, S. and Daniels, J., 2002. A Hybrid 2D/3D Ground Penetrating Radar (GPR) Survey of Brownfield Site Along Lake Street in Chicago, Illinois (USA), International Conference on Earth Sciences and Electronics.
- Kadioğlu, S., 2003. 3D Ground Penetrating Radar-Data Acquisition, Processing, and Interpretation, 14th International Petroleum Congress and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey. Proceedings, Ankara, 485-486.
- Kadioğlu, S. ve Demirci, B., 2012. Yapı Denetim Sektöründe Yer Radarı Yöntemi. Jeofizik Bülteni, 31-40.
- Keçeli, A., 2009. Uygulamalı Jeofizik. JFMO Eğitim Yayınları, , Ankara, 9, 479.
- Kesemen, O., 2007. Yer Radarı (GPR) Verilerinin İşlenmesinde Yeni Yaklaşımlar. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Trabzon, 212.
- Kruk, J., Wapenaar, C. and Fokkema, J., 2001, Comparison of Resolution Functions of 3-D Multicomponent with 3-D Single-Component Imaging Algorithms for Ground Penetrating Radar Data. Proceedings 5th SEGJ International Symposium-Imaging Technology-The Society of Exploration Geophysicists of Japan (SEGJ), Tokyo, Japan, 229–236.
- Küçükdemirci M., 2008. Manyetik Yöntemle Antandros Antik Kenti Mezar Yapılarının Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1.
- Loke, M.H., Acworth, I. and Dahlin, T., 2003. A Comparison of Smooth and Blocky Inversion Methods in 2-D Electrical Imaging Surveys. Expl Geophys 34, 182-187.
- Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996. Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections By A Quasi-Newton Method. Geophys Prospect 44, 131-152.
- Loke, M. H., 2013. Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys. Erişim Tarihi: 05.04.2017. <http://www.geotomosoft.com/coursenotes.zip>
- Leopold, M., Plöckl T., Forstenaicher, G. and Völkel, J., 2010. Integrating Pedological and Geophysical Methods to Enhance the Informative Value of An Archaeological Prospection-The Example of a Roman Villa Rustica Near Regensburg, Germany. Journal of Archaeological Science 37, 1731-1741.
- Martínez, J., Rey, J., Gutiérrez, L.M., Novod, A., Ortiz, A.J., Alejo, M. and Galdóne, J.M., 2015. Electrical Resistivity Imaging (ERI) and Ground-Penetrating Radar (GPR) Survey at The Giribaile Site (Upper Guadalquivir Valley; Southern Spain). Journal of Applied Geophysics 123, 218–226.
- Miller, H.G. and Sing, V. 1994. Potential Field Tilt, A New Concept For Location of Potential Field Sources. Journal of Applied Geophysics, 32, 213-217.

- Mohan, N.L. and Anand Babu., L., 1995. An Analysis of 3-D Analytic Signal, *Geophysics*, 60, 531-536.
- Nabighian, M.N., 1972. The Analytic Signal of Two Dimensional Magnetic Bodies With Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use For Automated Interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.
- Nabighian, M.N., 1984. Toward A Three Dimensional Automatic Interpretation of Potential Field Data Via Generalized Hilbert Transforms: Fundamental Relations. *Geophysics*, 49, 780-786.
- Neelambari S., 2004. Ground Penetrating Radar Technique to Locate Coal Mining Related Features, Case Studies in Texas. A & M University, Texas.
- Negri, S. and Leucci, G., 2006. Geophysical Investigation of The Temple of Apollo (Hierapolis, Turkey). *Journal of Archaeological Science*, 33, 11, 1505-1513.
- Nelson, J.B., 1986. An Alternate Derivation of The Three-Dimensional Hilbert Transform Relations From First Principles. *Geophysics*, 51, 1014-1015.
- Nelson, J.B., 1988. Calculation of The Magnetic Gradient Tensor From Total Field Gradient Measurements and Its Application to Geophysical Interpretation, *Geophysics*, 53, 957-966.
- Novo, A., Lorenzo, H., Rial, F.I. and Solla, M., 2010. Three-Dimensional Ground Penetrating Radar Strategies Over an Indoor Archaeological Site: Convent of Santo Domingo (Lugo, Spain). *Archaeol. Prospect.* 17, 213–222.
- Novo, A., Solla, M., Montero Fenollós, J.L. and Lorenzo, H., 2013. Searching for The Remains of an Early Bronze Age City at Tell Qubr Abual-'Atiq (Syria) Through Archaeological Investigations and GPR Imaging. *J. Cult. Herit.*
- Nuzzo L., Leucci G. and Negri S., 2009. GPR, ERT and Magnetic Investigations Inside The Martyrium of St Philip, Hierapolis, Turkey. *Archaeological Prospection* 16, 177-192.
- Olayinka, A.I. and Yaramanci, U., 2000. Use of Block Inversion in The 2-D Interpretation of Apparent Resistivity Data and Its Comparison with Smooth Inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 45, 63-81.
- Öksüm, E., 2006. Van Gölü Civarının Havadan Mağnetik Verilerinin Kantitatif Yorumu, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 86.
- Özel, S., Kaya, C. ve Can, B., 2007. Altıntepe Urartu Kalesi Arkeojeofizik Çalışmaları, Kocaeli.
- Özsait, M., 2011. Surveys in Burdur and Isparta in 2010. *News of Archaeology from Anatolia's Mediterranean Areas (ANMED)* 9, 164-173.

- Özsait, M., 1980. İlk Çağ Tarihinde Pisidia, İstanbul, 16.
- Özyalın, Ş., Balkaya Ç. ve Erhan, Z., 2010, Metropolis Antik Kentindeki Tümleşik Jeofizik Çalışmalar: Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara.
- Piro, S., Sambuelli L., Godio A. and Taormina R., 2007. Beyond Image Analysis in Processing Archaeomagnetic Geophysical Data: Case Studies of Chamber Tombs With Dromos. Near Surface Geophysics 5, 405-414.
- Porsani, J.L., de Matos Jangelme, G. and Kipnis, R., 2010. GPR Survey at Lapa do Santo Archaeological Site, Lagoa Santa Karstic Region, Minas Gerais State, Brazil. J. Archaeol. Sci. 37, 1141–1148.
- Robert, L., 1948. Deux Texes Inulitises Sur Perge et Side, Hellenica, 5, 64-69.
- Roest, W. R., Verhoef, J. and Pilkington, M. 1992. Magnetic Interpretation using the 3-D analytic Signal Geophysics, 1, 116-125.
- Sandmeier, K.J., 2005. ReflexW Manual ver. 3.5, Sandmeier Scientific Software, Karlsruhe, Germany.
- Sanver, M. ve İşseven, T., 2007. Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul, ISBN, 978-9944-77-168-9.
- Shaaban, F.F. and Shaaban, F.A., 2001. Use of Two-Dimensional Electric Resistivity and Ground Penetrating Radar for Archaeological Prospecting at The Ancient Capital of Egypt. Journal of African Earth Sciences, 33, 3, 661- 671.
- Şapçıoğlu, C., 1980. Trend Analizi Yöntemiyle Ege-İzmir Bölgesi Bouguer Anomali Haritasının Değerlendirilmesi, Diploma Çalışması, Ege Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 2-15.
- Şenel, M., 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları Isparta J10 paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Takahaski, T., 2004. Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering. Rock Mechanics and Mining Science, 41, 885-914.
- Tong, L.T., Lee, K.H., Yeh, C.K., Hwang, Y.T. and Chien, J.M., 2013. Geophysical Study of The Peinan Archaeological Site, Taiwan. Journal of Applied Geophysics 89, 1-10.
- Tsokas, G.N., Giannopoulos, A., Tsourlos, P., Vargemesis, G., Tealby, J.M., Sarris, A. and Papazachos, C.B., 1994. A Large Scale Geophysical Survey in The Archaeological Site of Europos (Northern Greece). Journal of Applied Geophysics, 32, 85-98.
- Ulriksen, C., P., F., 1982. Application of Impulse Radar to Civil Engineering, Ph. D. Thesis, University Technology, Lund, Sweden.

- Urban, T.M., Rowan, Y.M. and Kersel, M.M., 2014. Ground-Penetrating Radar Investigations at Marj Rabba, A Chalcolithic Site in The Lower Galilee of Israel. *J. Archaeol. Sci.* 46, 96–106.
- Üstol, G., Balkaya, C. and Kalyoncuoglu, U.Y., 2013. First Results of Ground Penetrating Radar and Electrical Resistivity Tomography Surveys in the Pisidia Antiokheia Ancient City (Yalvaç, Isparta). *The 20th Int Geophys Cong & Exh Turkey*, May 25-27, Antalya, Turkey.
- Wanyin, W., Yu, P. and Zhiyun, Q. 2009. A New Edge Recognition Technology Based on The Normalized Vertical Derivative of The Total Horizontal Derivative for Potential Field Data Appl. *Geophys.* 6 226–33
- Weeds, R.D., (Ed.), 1994. *Geophysical Characterization of Sites*. Rotterdam, A.A. Balkema, 69-79.
- Wilcheck, L., 2000. *Ground Penetrating Radar for Detectiton of Rock Structure*, M. Sc. Thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Canada.
- Wijns, C., Perez, C. and Kowalczyk, P., 2005. Theta Map: Edge Detection in Magnetic Data. *Geophysics*, 70, 39-43.
- Yüksel, F.A., Boşca, F. ve Dereli, F., 2007. Boyabat Kalesi Arkeojeofizik Etüdü, *Uluslararası Deprem Sempozyumu Kocaeli*, 747.
- Zheng, W., Li, X., Lam, N., Wang, X., Liu, S., Yu, X., Sun, Z. and Yao, J., 2013. Applications of Integrated Geophysical Method in Archaeological Surveys of The Ancient Shu Ruins. *Journal of Archaeological Science*, 40, 166-175.
- Zhao, W., Forte, E., Pipan, M. and Tian, G., 2013. Ground Penetrating Radar (GPR) Attribute Analysis for Archaeological Prospection. *J. Appl. Geophys.* 97, 107–117.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur DOĞAN

Doğum Yeri ve Yılı : Ankara, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : onurdogann06@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Ankara Başkent Lisesi, 2009

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği

Mesleki Deneyim

MTA, Jeofizik Yöntem Uygulamaları/Stajyer

Eksen Mühendislik, Jeolojik ve Jeofizik Zemin Etüt Çalışmaları/ Stajyer

Yayınları

Doğan, O., Yılmaz, S., Oksum, E., 2017. A Combined Geophysical Survey for Determining Buried Remains in Kılıç Archaeological Site (Isparta, Turkey). Icocee-Cappadocia 2017, Nevşehir, 1620.

Doğan, O., Tekelioğlu, E., Oksum, E., Yılmaz, S., 2017. A Multi Edge Detection Tool for Potential Field Data Interpretation. Icocee-Cappadocia 2017, Nevşehir, 1633.