T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİSİDİA ANTİOKHEİA ANTİK KENTİ AEDİCULUS BAZİLİKASI VE CİVARI ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMASI

Mehmet Metin ÜNYAY

Danışman
Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019

© 2019 [Mehmet Metin ÜNYAY]

TEZ ONAYI

Mehmet Metin ÜNYAY tarafından hazırlanan **"Pisidia Antiokheia Antik Kenti Aediculus Bazilikası ve Civarı Arkeojeofizik Araştırması"** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

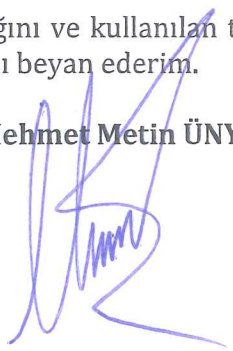
Danışman	**Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA** Süleyman Demirel Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA** Trakya Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Sedat YILMAZ** Süleyman Demirel Üniversitesi	.....

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

TAAHHÜTNAME

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

Mehmet Metin ÜNYAY



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. PİSİDİA ANTİOKHEİA ANTİK KENTİ	9
3.1. Yerleşim Alanı	9
3.2. Antiokheia Antik Kentin Tarihi Önemi	11
3.3.Pisidia Antiokheia Kazıları	12
3.4. Pisidia Antiokheia Antik Kenti Jeofizik Çalışmaları	13
4. JEOFİZİK YÖNTEMLER	15
4.1.Yer Radarı Yöntemi (Gorund-penetrating Radar, GPR)	15
4.1.1. Temel Çalışma Prensibi	15
4.1.2. EM Dalga Yayılımı	16
4.1.3. Düşey ve Yanal Ayrımlılık	18
4.1.4. Jeofizikte Yer Radarı Uygulamaları	20
4.2. Elektrik Özdirenç (EÖT)	21
4.2.1. Temel Prensipler	21
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	26
5.1. Çalışma Alanı	26
5.2. Alan 1 Sonuçları	28
5.3. Alan 2 Sonuçları	38
5.4. Alan 3 ve 4 Sonuçları	44
5.5. Alan 5 Sonuçları	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER (TARTIŞMA VE SONUÇLAR)	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	68

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PİSİDİA ANTİOKHEİA ANTİK KENTİ AEDİCULUS BAZİLİKASI VE CİVARI ARKEOJEOFİZİK ARAŞTIRMASI

Mehmet Metin ÜNYAY

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
JeoFizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

Bu tez kapsamında, Pisidia Antiokheia antik kentinin (Yalvaç, Isparta) yeni keşfedilen Aediculus Bazilikası içinde ve çevresinde yer alan beş küçük ölçekli araştırma alanında bir arkeojeofizik araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanlarında, arkeolojik alanlarda yaygın olarak kullanılan tahribatsız yer radarı (jeoradar) ve elektrik özdirenç tomografi (EÖT) yöntemleri uygulanmıştır. GPR araştırması, 90 profil boyunca 500 MHz frekanslı korumalı bir anten kullanılarak gerçekleştirmiş ve GPR veri kümeleri bir dizi temel veri işlem adımlarıyla değerlendirilmiştir. İki boyutlu (2B) EÖT veri kümeleri ise dipol-dipol elektrot dizilimi kullanılarak 25 profil üzerinde 1 m elektrot aralığı ile toplanmış ve hem iki hem de üç boyutlu (2B ve 3B) tomografik ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir. Çeşitli GPR ve EÖT görüntüleme tekniklerinden elde edilen bulgular, yeraltında düzenli geometriler gösteren insan yapımı arkeolojik kalıntılara atfedilebilecek çeşitli düzenli yapıların varlığını açıkça göstermektedir. Bu nedenle, bu tümleşik jeofizik araştırmadan elde edilen sonuçların doğrulanması için araştırma alanlarında arkeolojik deneme açmaları önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pisidia Antiokheia, Yalvaç, EÖT, GPR, Arkeoloji
2019, 68 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ARCHAEO-GEOPHYSICAL SURVEY OF AEDICULUS BASILICA AND ITS VICINITY IN THE PISIDIA ANTIOKHEIA ANCIENT CITY

Mehmet Metin ÜNYAY

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA

In this thesis context, an archaeo-geophysical survey has been conducted in the five small-scale investigation areas located in and around the newly discovered Aediculus basilica of Pisidian Antiokheia ancient city (Yalvaç, Isparta). Non-invasive ground-penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (EÖT) methods that are widely used at the archaeological sites were applied in the survey areas. The GPR survey was achieved using a 500-MHz shielded antenna along 90 profiles, and collected GPR scans were evaluated by a series of basic data processing steps. Two-dimensional (2D) EÖT data sets were collected along 25 profiles via dipole-dipole array at 1 m electrode spacing and were inverted using both two- and three-dimensional (2D and 3D) tomographic inversion schemes. The findings obtained from various GPR and EÖT imaging techniques clearly show the presence of various regular structures which can be attributed to the man-made archaeological remains that indicate regular geometries in the subsurface. Therefore, trial archaeological trenches were proposed in the survey areas to confirm the results of this integrated archaeo-geophysical survey.

Keywords: Pisidia Antioch, Yalvaç, EÖT, GPR, Archaeology
2006, 68 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA' ya teşekkürlerimi sunarım. Pisidia Antiokheia Antik Kentinde gerçekleştirdiğimiz jeofizik araştırmalar için her türlü kolaylık ve katkıyı sağlayan kazı başkanı Prof. Dr. Mehmet ÖZHANLI'ya teşekkürü bir borç bilirim. Literatür araştırmalarımda ve arazi koşullarında bilgi, birikimi ve emeğiyle yardımcı olan Öğr. Gör. Olcay ÇAKMAK'a, arazi çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Bessam KADI 'ya ve yüksek lisans eğitimime başlamak için beni teşvik eden ve destek olan Dr. Erdinç ÖKSÜM'e teşekkür ederim.

Araştırmanın yürütülmesinde makine, teçhizat ve personel desteği sağlayan, Süleyman Demirel Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi' ne teşekkür ederim.

FYL-2019-6959 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan başta eşim Halime ÜNYAY'a ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mehmet Metin ÜNYAY
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Pisidia Antiokheia üstten görünüşü 9
Şekil 3.2. a) Batı Kapısı b) Tiyatro ve Decumanus Maximus Caddesi c) Cardo Maximus Caddesi d) Nymphaeum anıtının ve Çeşme e) Roma hamamları f) Su Kemerleri g) Merkez Kilise h) Aziz Paul Kilisesi ı)Tiberius ve Agustus Meydan 10
Şekil 4.1. Yer radarı yönteminin genel çalışma sistemi b) Radargram..... 15
Şekil 4.2. Serbest ortamda EM dalga yayınımı 17
Şekil 4.3. Hava-yer arayüzeyi boyunca EM dalga yayınımı 17
Şekil 4.4. a-e) Çeşitli frekanslarda dalga boyunun değişimi f) Bir sinyal örneği..... 19
Şekil 4.5. Elektrik Özdirenç yöntemi şematik ölçüm gösterimi. 21
Şekil 4.6. a) Wenner-Schlumberger, b) Wenner alpha, c) Wenner beta d) Wenner gamma, e) Pol-Pol, f) Pol-Dipol ve g) Dipol-Dipol elektrot dizilimleri ve bu dizilimlerin geometrik faktörleri…….. 23
Şekil 4.7. Çok kanallı özdirenç ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları..... 25
Şekil 5.1. Pisidia Antiokheia Antik Kenti jeofizik (yer radarı ve elektrik özdirenç) çalışma alanları 26
Şekil 5.2. TOPCON Hiper Pro GPS sistemi 27
Şekil 5.3. GPS ölçümleriyle elde edilen çalışma alanı topoğrafik haritası. Ayrıca Alan 3 üzerinde K1-K2 doğrultusu için örnek bir Kesit görünümü…… 27
Şekil 5.4. Alan 1, yer radarı ölçüm profilleri 28
Şekil 5.5. Alan 1,, yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri 29
Şekil 5.6. Alan 1, profiller 1-6 için elde edilen EÖT kesitleri..... 32
Şekil 5.7. Alan 1, profiller 7-12 için elde edilen EÖT kesitleri..... 33
Şekil 5.8. Alan 1, profiller 13-18 için elde edilen EÖT kesitleri 34
Şekil 5.9. Alan 1, profiller 19-24 için elde edilen EÖT kesitleri 35
Şekil 5.10. Alan 1, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri..... 36
Şekil 5.11. a) 1.3-1.6 m yer radarı derinlik dilimi haritası b) EÖT verilerinin 3B ters çözümüyle elde edilen sonuçların 3B düzlemde hacimsel gösterimi ve c, d) Sırasıyla 1.5 ve 4.5 m derinlik seviyeleri için elektrik özdirenç haritaları 37
Şekil 5.12. Alan 1'de yapılan uygulamalardan bazı fotoğraflar. 37
Şekil 5.13. Alan 2, yer radarı ölçüm profilleri..... 39
Şekil 5.14. Alan 2, yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri. 40
Şekil 5.15. Alan 2, profiller 1, 2, 3, 4, 6 ve 8 için elde edilen EÖT kesitleri. ... 42
Şekil 5.16. Alan 2, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri..... 43
Şekil 5.17. Alan 2'de yapılan uygulamalardan bazı fotoğraflar. 43
Şekil 5.18. Alan 3 ve Alan 4 yer radarı ölçüm profilleri. 44
Şekil 5.19. Alan 3 ve Alan 4 yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri. 46
Şekil 5.20. Alan 3, profiller 1-6 için elde edilen EÖT kesitleri. 47
Şekil 5.21. Alan 3, profiller 7-12 için elde edilen EÖT kesitleri. 48

Şekil 5.22. Alan 3, profiller 13–18 için elde edilen EÖT kesitleri. 49
Şekil 5.23. Alan 3, profiller 19–22 için elde edilen EÖT kesitleri. 50
Şekil 5.24. Alan 3, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri..... 51
Şekil 5.25. Alan 3 için 3B EÖT değerlendirmesi..... 52
Şekil 5.26. Alan 4, profiller 1–5 için elde edilen EÖT kesitleri. 53
Şekil 5.27. Alan 4, profiller 6–9 için elde edilen EÖT kesitleri. 54
Şekil 5.28. Alan 4, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri..... 55
Şekil 5.29. Alan 3 için 3B EÖT değerlendirmesi..... 56
Şekil 5.30. Alan 3 ve Alan 4'de yapılan uygulamalardan bazı fotoğraflar..... 57
Şekil 5.31. Alan 5, yer radarı ölçüm profilleri..... 58
Şekil 5.32. Alan 5, yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri 59
Şekil 5.33. Alan 5 içinde yapılan uygulamadan bir kare 60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Merkez anten frekansı seçimine bağlı olarak yaklaşık derinlik 19
Çizelge 4.2. GPR Yöntemin uygulama alanları 20

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	Işık hızı
DES	Düşey Elektrik Sondajı
E	Elektrik Alan
f	Frekans
GPR	Ground-penetrating radar
GPS	Global Positioning System
H	Manyetik Alan
EM	Elektromanyetik
EÖT	Elektrik özdirenç tomografi
I	Akım
K	Geometrik faktör
IP	İndüklem Polarizasyonu
L	Uzunluk
m	Metre
P	Kayıp faktör
SP	Doğal Potansiyel
V	Gerilim
σ	Elektriksel iletkenlik
ε_r	Bağıl dielektrik katsayısı
μ_r	Bağıl manyetik geçirgenlik
ε	Elektriksel Geçirgenlik
λ	Dalga Boyu
ΔV	Gerilim farkı
ρ_a	Görünür özdirenç
Ω	Ohm

1. GİRİŞ

İnsanlık; yaratılışından günümüze kadar birçok tarihsel evreden (paleolitik, neolitik, …) geçmiş ve tarihte iz bırakmıştır. Her evrede savaşlar, doğal afetler ve hastalıklar yüzünden kavimler, topluluklar veya medeniyetler kaybolmuş, taşınmış ve üstü örtülmüştür. Yıllar sonra insanoğlu bu kayıplardan veya izlerden ders çıkarmak ve o dönem yaşananları anlamak için eski dönemlerin yapılarını, kalıntılarını incelemeye başlamıştır. Araştırmalar arttıkça bilimsel bir hale gelen bu konu arkeoloji biliminin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Arkeoloji bilimi sayesinde; eski medeniyetlerin kültürleri, yaşam tarzları, teknolojileri, savaş taktikleri ve hatta siyasi anlayışları tespit edilerek geçmişe ışık tutulmuştur.

Yeraltında gömülü yapı temellerini, yapıları çevreleyen duvarları, mimari yapıları, tünelleri, lahitleri, mezar odalarını, ocakları, fırınları ve diğer yanmış nesnelerden oluşan temelleri, kale duvarlarını, tiyatroları, stadyumları, tapınakları, büyük bina temellerini, caddeleri, sokakları ve ev kalıntıları gibi "tarihsel" temellerden oluşan derinliği ve büyüklüğü birkaç santimetre'den birkaç metre'ye kadar ulaşan yapıların tespitiyle ilgilenen bilim dalına arkeojeofizik denmektedir (Drahor, 1993). Kaya vd. (2013)'e göre ise arkeojeofizik ya da arkeoloji jeofiziği; yüzeyden uygulanan jeofizik yöntemlerle, araştırılan arkeolojik yapı kalıntılarına herhangi bir hasar vermeden ve olabilecek en kısa zaman sürecinde arkeolojik yapı kalıntısının yeri, derinliği ve durumunu belirleyerek arkeolojik kazının planlanmasına yön veren ve arkeolojik kazıya ekonomik kazanç sağlayan jeofizik dalıdır.

Jeofizik, dünya ve gezegenlerin içyapılarını (yeraltı), maddenin temel fiziksel özelliklerini kullanarak araştırma yapan bir bilim dalıdır. Maddenin elektrik iletkenliği, manyetik duyarlılığı, yoğunluğu gibi birçok özelliğini kullanarak yeraltı konusunda bilgi vermektedir. Örneğin elektrik özdirenç yöntemi ile yeraltı yapılarının elektriğe karşı direncini fark edip uygulayan ilk kişi Wenner'dir. Onu 1920 yılında Schlumberger takip etmiş ve Wenner'e göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Wenner ve Schlumberger'in oluşturduğu elektrod

açılımlarının kullanımı günümüzde yaygın olarak devam etmektedir. Teknoloji'nin gelişmesi makine teçhizat ve yazılım konularında çağ atlayarak, veri işlemede ve ters çözüm de büyük gelişme kat etmesini sağlamıştır. Bu sayede yeraltının Elektrik Özdirenç yöntemi ile bir boyutlu (1B), iki boyutlu (2B) ve üç boyutları (3B) haritaları hazırlanabilmektedir (Berge, 2002; Drahor vd., 2004).

Son dönemlerde sıklıkla kullanılan diğer bir yöntem ise yer radarıdır (ground-penetrating radar, GPR). Yer radarı yöntemi, yüksek frekanslı bir EM sinyalin (radar sinyali) bir verici antenden yere iletilmesi ve tabaka sınırlarından ve/veya gömülü nesnelerden yansıyarak/saçılarak geri gelen ve şekil değiştiren bu sinyalin alıcı antenler tarafından varış süresinin bir fonksiyonu olarak kaydedilmesi esasına dayanır. Böylece, radar dalgalarının gidiş-geliş sürelerinden (two-way travel time, twt) yararlanılarak yer içinin elektrik özelliklerindeki değişimlerini temsil eden bir görüntü (radar kesitleri) elde edilebilir (Balkaya ve Göktürkler, 2016). Yer radarı yöntemi ilk defa 1929'da Avusturya'nın buz kütlelerinin derinliğini bulmak için uygulanmıştır. Bu yöntemi ilk uygulayan Stern'dir (Stern, 1929, Stern ve Grundlagen, 1930). Stern bu çalışmasının ardından 1950 yılında buzul kalınlığının ölçülmesinde ve yeraltında değerli cevher veya madenlerin ana kayalarının sınırlarının tespiti ve haritalanmasında kullanmıştır. Daha sonraları yapılan çalışmalarda sığ yeraltı yapıların şekillerini yüksek ayrımlılıkta verdiği, arazide hızlı uygulanabildiği ve derinlik bilgisini doğrudan verdiği görülmüştür (Kaya, 2007). Bu yüzden yer radarı yöntemi son dönemlerde arkeolojide sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Türkiye'nin jeopolitik yapısı nedeniyle tarihte birçok kültüre ev sahipliği yapmış ülkemizin her köşesinde arkeolojik alanlar bulunmaktadır. Yakın geçmişimizde arkeojeofizik yöntemlerin yaygınlaşması ve eskiye nazaran gerekli jeofizik aletlerin bulunabilmesi bu yöndeki çalışmaların sayısında önemli bir artış sağlamıştır. Arkeojeofizik yöntemler Türkiye de ilk olarak 1960 yılında Nemrut Dağında bulunan tarihi mezarların araştırılması ve kurtarma kazıların yapılması için uygulanmıştır (Yaramancı, 1970).

Bu tez çalışması kapsamında ise Isparta İli Yalvaç İlçesi sınırları içerisinde bulunan Pisidia Antiokheia Antik Kenti'nde, Aediculus Bazilikası ve civarında yer radarı ve elektrik özdirenç tomografi (EÖT) yöntemleri kullanılarak bir arkeojeofizik çalışma gerçekleştirilmiştir. Yer radarı çalışması 500 MHz merkez frekanslı bir kapalı anten sistemi kullanılarak gerçekleştirilirken EÖT çalışmasında görünür özdirenç veri kümeleri dipol-dipol elektrot dizilimiyle elde edilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen ve düzenli bir geometri sunan bulgular gerek bazilika sınırları içerisinde ve gerekse bazilika civarında toprak altında arkeolojik yapı kalıntılarının varlığını göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında önerilen alanlarda gerçekleştirilecek arkeolojik deneme açmalarının sonuçları bu çalışmanın başarısını göstermesi açısından önem göstermektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Türkiye de arkeojeofizik yöntemlerin kullanımı ilk defa 1960 yılında Keban Barajı Kurtarma çalışması ile Tepecik ve Norşun Antik Kenti ve Ağın kalesinde gerçekleştirilirken çalışmalar elektrik özdirenç yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Yaramancı, 1970).

Tsokas vd. (1994), Yunanistan Yarımadası'nın kuzeyinde yer alan Europos Antik kentinde antik yapılarını yerlerin tespiti için elektrik özdirenç yöntemi ve yer yadarı yöntemlerini kullanmıştır. Yapılan arkeolojik kazı çalışmaları sonrası antik yapıların şekilleri ve büyüklükleri incelendiğinde Arkeojeofizik yöntemlerle hazırlanan kesitlerin birebir örtüştüğü saptanmıştır. Bu başarı jeofizik yöntemlere karşı güven tazelemiştir.

Erdoğan ve Gündoğdu (1995), İzmit Merkezine yaklaşık 3 km mesafede eski İstanbul yolu üzerinde bulunan Roma Dönemine ait olduğu düşünülen büyük tümülüste elektrik özdirenç profil çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan uygulama ile mezarların yapıları ve giriş çıkışları ile duvar yapısı ortaya çıkarılmıştır. Kazı sonuçları elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermiştir.

Batayneh vd. (2001), Ürdün'ün Al-Kharrar vadisinde, Tall Al-Kharrar antik alanında gerçekleştirdiği çalışmasında Elektrik Özdirenç yönteminin sonuçlarının desteklenmesi için aynı zamanda manyetik yöntem de uygulamıştır. Gerçekleştirilen kazılar ilke manyetik duyarlılığı olan metal eşyalar, duvarlar, mozaikler, su kanalları, taban yapısı ve bir ibadethane ortaya çıkarılmıştır.

Candansayar ve Başokur (2001), Alaca Höyük'te (Çorum) iki yönlü üç elektrot dizilimiyle toplanan görünür direnç verilerinin 2B ters çözümüyle, şehir surunun bir bölümünü ve gömülü küçük bir odanın bulunmasını sağlamıştır.

Ghazala vd. (2003) yılında, Mısır'ın doğu girişinde bulunan ve askeri kullanım amacı olarak inşa edilerek öncü birliklere verilen kalenin tespiti için Sharkiya

eyaleti, Abu Kebir in güneyinde Tell-Toukh El-Qaramousta Antik Kenti'nde manyetik ve elektrik özdirenç yöntemlerini uygulamıştır. Yapılan çalışma sonucu ortaya çıkan manyetik ve elektrik özdirenç haritaları incelenerek insan eliyle yapılan kalıntılar, tarihi tuğlalarla yapılan duvarlar ve bir kale keşfedilmiştir.

Drahor (2006), Manisa İli, Salihli İlçesi, Sart Beldesi sınırları içerisinde yer alan Demir Çağı Lidya Krallığının başkentidir olan Sardis Antik Kenti'nde manyetik, EÖT, VLF-R ve sismik yöntemlerini birlikte uygulamış ve bu yaklaşımın gömülü arkeolojik yapıların belirlenmesinde çok faydalı ve verimli olduğunu göstermiştir.

Negri ve Leucci (2006), Hierapolis Antik Kenti'nde bulunan ve temelleri geç Helenistik döneme tarihlenen Apollo Tapınağının altındaki yapıların belirlenebilmesi amacıyla EÖT ve yer radarı yöntemlerini uygulamışlardır. Ayrıca, bu yöntemlerin birlikte kullanılmasının tek bir yöntemden daha bilgilendirici sonuçlar ürettiği vurgulanmıştır.

Ekinci ve Kaya (2007), çalışmalarında Antik Parion (Biga, Çanakkale) nekropol alanında EÖT yöntemini uygulamışlar ayrıca elde edilen sonuçların görüntülenmesi amacıyla MATLAB tabanlı bir kod geliştirmişlerdir. Bu görselleştirme tekniği, inceleme alanında 0.25 ila 2.5 m arasında değişen derinliklerde arkeolojik kazı için umut verici yüksek özdirenç bölgelerini ortaya çıkarmışlardır.

Drahor vd., (2008), Zeugma arkeolojik alanı yakınlarında bulunan bir Roma askeri yerleşkesinde manyetik ve elektriksel özdirenç tomografi yöntemlerini içeren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tümleşik yorumdan belirlenen bir alanda gerçekleştirilen deneme açmasında duvarlar, borular, yollar, temeller ve ayrıca metalik objeler (Roma askeri kasklarının ve zırhlarının geniş bir topluluğu) gibi askeri yerleşimin ayırıcı unsurlarını keşfetmişlerdir.

Özyalın vd. (2010), yüzeye yakın arkeolojik yapıların belirlenmesi amacıyla İzmir'in yaklaşık 60 km güneydoğusunda ve Efes antik kentinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında yer alan Metropolis antik kentinde elektrik özdirenç tomografi, yer radarı ve sismik kırılma tomografi yöntemlerini içeren tümleşik bir arkeojeofizik çalışma gerçekleştirmişlerdir. İki-boyutlu (2B) elektrik özdirenç tomografi ölçümleri, GB-KD doğrultulu 11 paralel profilde Wenner elektrot dizilimi ile elde gerçekleştirilmiş ve değerlendirmede bloklu (L1-normu) ters çözüm yaklaşımı kullanmışlardır. Yer radarı ölçümleri, 500 MHz merkez frekanslı korumalı anten kullanılarak toplamışlardır. Bu çalışmanın sonunda, her üç yöntemden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinden sonra, arkeolojik bir yapı olması muhtemel bir belirtinin aydınlatılması için çalışma alanında bir arkeolojik sondaj yapılmasını önermişlerdir.

Berge ve Drahor (2011), Smyrna (İzmir) Antik Höyük'te tabakalı yapıyı belirleyebilmek için Wenner-alfa, Wenner-Schlumberger, dipol-dipol, pol-pol ve pol-dipol dizilimleriyle elektrik özdirenç tomografi çalışması gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar bu çalışmada kullanılan dizilimleri, değerlendirme tekniklerini ve ayrıca ölçüm doğrultusunun etkisini tartışmışlardır.

Ekinci vd. (2012), arkeolojik kazı çalışmalarına yön verilerek zaman ve maliyet kazancı sağlanması amacıyla Çanakkale'nin Biga ilçesine bağlı Kemer köyünde bulunan Parion Antik Kenti'nde bir EÖT çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma neticesinde elde edilen bulgular neticesinde, araştırılan alanın farklı bölümlerinde rastlanan ve yüksek özdirenç değerleri sunan anomalilerin arkeolojik kazılar için en umut verici yerler olduğu belirtilmiştir.

Üstol (2013), Pisidia Antik Kenti (Yalvaç, Isparta) kazı evinin batı tarafında bulunan ve olası gözetleme kulesi olduğu düşünülen bir yapının iki apsis ve bir duvardan oluşan ardışık arkeolojik yapı kalıntılarının bakışık karşılıklarının belirlenmesi amacıyla 70 x 22.5 m^2'lik bir alanda yer radarı ve elektrik özdirenç tomografi yöntemlerini içeren bir arkeojeofizik çalışma gerçekleştirmiştir. Yer radarı verileri; K-G doğrultusunda, 0.5 m aralıklı, 70 paralel profil boyunca ve 500 MHz merkez frekansına sahip kapalı anten sistemi kullanılarak elde

edilmiştir. Elektrik özdirenç tomografi verileri, yer radarı çalışmasının sonuçları dikkate alınarak çalışma alanının sadece küçük bir bölümünde (20 x 22.5 m^2) toplanmıştır. Veri, düzgünlük-kısıtlı algoritmaya dayalı iki- ve üç-boyutlu ters-çözüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Elektrik özdirenç tomografi çalışmasından elde edilen sonuçlar yer radarı çalışmasının sonuçlarıyla oldukça uyumludur ve elde edilen sonuçlar 0.5-3 m derinliğinde apsislerden birinin varlığını açıkça ortaya koymuştur. Balkaya vd. (2018) ise bu çalışma kapsamında toplanan veri kümelerini yeniden ve farklı görüntüleme teknikleri ile değerlendirmiş ve *quadriburgia* yapısıyla karakterize askeri karargâhın bir 3B görselleştirmesini (reconstruction) oluşturmuştur.

Ekinci vd. (2014), Bizans yerleşkesi olan Amorium'un antik kentinde (Emirdağ, Afyon) olası arkeolojik yapı kalıntılarının lokasyonu, uzanımı kalınlık ve derinliklerini belirleyerek mevcut kazı çalışmalarına yön verebilmek amacıyla manyetik ve elektrik özdirenç yöntemlerini birlikte uygulamışlardır. Alandaki Bazilika'nın ana eksenine oldukça yakın bir bölgede gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen jeofizik bulgular ve çevredeki arkeolojik yapı kalıntıları yeraltı yapı kalıntılarının da varlığını göstermiştir

Tong vd. (2013), Tayvan'da bulunan Peinan Nekropollerinde elektrik özdirenç, yer radarı ve manyetik yöntemlerini kullanarak tarihi şehrin sınırlarını belirlemiştir.

Di Maio vd. (2016), Ege'den komşumuz ve yakın geçmişte Osmanlı topraklarının içinde yer alan Yunanistan'ın Girit adasındaki tarihi Phaistos alanını ve altındaki platoyu araştırmak için elektromanyetik, manyetik ve elektrik özdirenç tomografi (EÖT) uygulamalarını gerçekleştirmiştir. Bu uygulamalar sonucunda çalışılan saha içinde oldukça belirgin bir duvar yapısı anomalisi tespit edilmiştir.

Yılmaz vd. (2018), Kılıç (Isparta) Ören yerinin kaçak bir kazı alanında gerçekleştirdikleri yer radarı, manyetik ve elektrik özdirenç çalışmasıyla alandaki yapı kalıntılarının varlığı ve uzanımı konusunda başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Akca vd. (2019), antik/erken Bizans dönemine ait Side'nin piskoposluk alanı yakınında bulunan görece büyük bir alanın tasarımı veya kullanımı ile ilgili bilgilerin elde edilmesi amacıyla EÖT ve yer radarı yöntemlerini uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, görece yüksek direnç ve yüksek EM dalga yansıma genliği ile karakterize gömülü antropojenik yapıların belirgin izlerini ortaya koymuştur.

Yukarıda değinilen ve genel olarak manyetik, EÖT ve yer radarı uygulamalarını ve sonuçlarını içeren çalışmalar haricinde, arkeolojik alanlarda Doğal Uçlaşma yönteminin ilk uygulaması Corwin (1973) tarafından gerçekleştirilirken, elektromanyetik (EM) yöntemleri ilk defa 1962 de Scollar uygulamıştır (Scollar, 1962). IP (indüklem polarizasyonu) yöntemini Aspinall ve Lynam (1986) ilk uygulayan araştırmacıdır. Gömülü antik yapıların mevcut gravite değerlerini fazla etkilemeyeceği bilinse de arkeoloji de uygulama alanı bulmuştur (Linington, 1966).

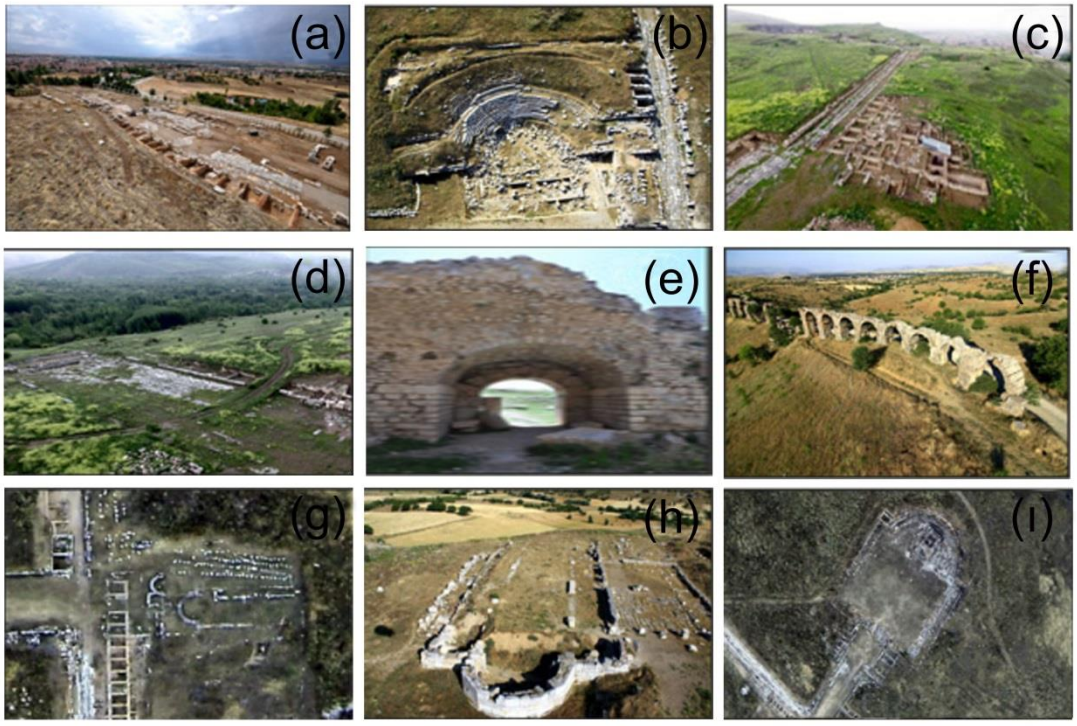
3. PİSİDİA ANTİOKHEİA ANTİK KENTİ

3.1 Yerleşim Alanı

Pisidia Antiokheia, güneybatı Anadolu'da yer alan Isparta şehrinin Yalvaç ilçesinin 1 km kuzeyinde bulunur. Yerleşim yeri, kuzey-güney doğrultusunda uzanan Sultan Dağlarında bulunan Anthios Vadisine hâkim 129 m yüksekliğindeki bir tepede kurulmuştur. Şehrin en üst noktasındaki ana kayaya oyulmuş benzersiz tapınağı, tepe yamacını kaplayan tiyatrosu, 15.000 kişilik stadyumu, meclis binası, meydanları, anıtsal giriş kapıları, her sokaktaki çeşmeleri, mükemmel kanalizasyon sistemi ve geniş Hristiyan kiliseleri dolayısıyla tarih boyunca Pisidia Antiokheia, Anadolu'nun en gelişmiş şehirlerinden biri olmuştur.



Şekil 3.1. Pisidia Antiokheia üstten görünüşü



Şekil 3.2. a)Batı Kapısı b) Tiyatro ve Decumanus Maximus Caddesi c) Cardo Maximus Caddesi d) Nymphaeum anıtının ve Çeşme e) Roma hamamları f) Su Kemerleri g) Merkez Kilise h) Aziz Paul Kilisesi ı) Tiberius ve Agustus Meydan

Tepenin havadan görünüşü ve hâlihazırdaki durumu tabloda görülebilir (Şekil 3.1.). Tepenin doğu, kuzey ve güney yamaçları çok dik olduğu için Milet Hippodamus'un başarılı bir ızgara planını yansıtan şehrin ana giriş kapısı batı kapısıdır (Şekil 3.2a). Tiyatro sahnesi dikdörtgen planlıdır ve şehir merkezine yakın bir tepenin batı eteğinde yer alır (Şekil 3.2b). Ne yazık ki, tiyatro resimde görüldüğü şekliyle korunamamıştır Şekil 3.2b. Birbiriyle dik olarak kesişen Decumanus Maximus ve Cardo Maximus (Şekil 3.2b, c) şehrin en iyi bilinen caddeleridir (Şekil 3.2a). Ayrıca her ikisi de yoğun yağışların sebep olacağı sellerden korunmayı sağlayan drenaj sistemine sahiptir. Milattan sonra birinci ve ikinci yüzyıllara ait çeşitli dükkân kalıntıları da bu iki yolun her iki tarafında yer almaktadır. Cardo Maximus yolunun kuzey bitişi geniş bir u şeklinde tasarlanmış nymphaeum anıtının temellerine ve anıtsal çeşmelere açılmaktadır (Şekil 3.2d). Antioch kalıntılarının arasında Roma hamamları şehrin kuzeybatı tarafında yer almakta ve resimde görüldüğü üzere iyi korunmuş yapılardır (Şekil 3.2e). Su kaynaklarından nymphaeum anıtına su dağıtan su kemerleri ise şehrin yaklaşık 9,7 km kuzeyinde bulunmaktadır. (Şekil 3.2f). Tiyatronun

kuzeyinde küçük bir merkez kilisenin bulunduğu (Şekil 3.2g) ve Anadolu'nun en eski kiliselerinden birinin de şehrin batı kısmında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 3.2h). Tiberius ve Agustus isimleriyle anılan iki ana meydan ise şehrin doğu tarafında inşa edilmiştir (Şekil 3.2ı). Ayrıca şehrin kuzeyinde bir palaestra gözükmektedir (Şekil 3.2b). Kelsey Arkeoloji Müzesi ve Michigan Üniversitesi Pisidia Antiokheia ile ilgili olarak 13 Ocak–24 Şubat 2006 tarihleri arasında "Building a New Rome: The Imperial Colony of Pisidian Antioch" başlıklı bir sergi sunmuşlardır (Kelsey University, 2019).

3.2 Antiokheia Antik Kentinin Tarihi Önemi

Tarih boyunca Helen, Roma ve Bizans gibi eski büyük uygarlıklar batıdan doğuya ve kuzeyden güneye uzanan ana yolların çakıştığı verimli topraklar üzerine büyük şehirler kurmuşlardır. M.Ö. 330-280 yıllarında Seleucid Hanedanlığı'nın kurucusu Seleucus I Nicator, Büyük İskender'in ölümünden sonra Pisidia'nın kontrolünü aldı ve Anadolu'da yaklaşık 60 şehir kurdu. Pisidiya Pisidia Antiokheia'sının ilk sakinleri, Antik bir Yuanan Kenti olan İyonya'da bulunan Magnesia'dan getirilen yerleşimcilerdir ve bu dönemde en büyük nüfus Yahudilerden oluşmaktaydı [Turkish Archaeological News (TAN), 2017]. Bu dönemde ele geçirilen şehirlerin Helenizasyon süreci başlamış ve güçlendirilmiş şehirler de stratejik açıdan önemli noktalara inşa edilmiştir. Şehrin ekonomik refahı, bu dönemde basılan madeni paralara da yansımıştır. Roma ve Antiochus III (M.Ö. 192-188) arasındaki savaşın sonucu olarak şehir bağımsızlığını kazanmış olsa da, Amyntas'ın ölümünden sonra MÖ 25 (TAN, 2017) İmparator Augustus Antiokheia'yı Pisidia'daki sekiz Roma kolonisinden biri yaptı. Bunlardan ötürü, Pisidia Antiokheia, Sezar unvanına layık görülen tek şehirdi ve büyük olasılıkla daha önce bahsedilen stratejik konumu nedeniyle Ius Italicum hakkına sahipti (Levick, 1967). İmparator Diocletian döneminde ise, yeni kurulan Pisidia eyaletinin başkenti oldu (MS 295) (Padfield, 2008). Kilise kayıtlarına göre Antiokheia, Pisidia piskoposlarının beşinci yüzyıl Bizans döneminde yaşadığı önemli yerleşim yerlerinden biriydi. Ne yazık ki, MS 518 ile MS 529 yılları arasında meydana gelen depremler ve altıncı yüzyılın ortasında ortaya çıkan bir salgın dolayısıyla şehrin önemi ve konumu zayıflamıştır.

Sonraki yedinci ve sekizinci yüzyıllarda, şehir sırasıyla Pers istilasının ve Arap baskınlarının tehdidi nedeniyle eski ihtişamını yitirmiştir. Türk kabileleri ise on birinci yüzyılda bölgeye ulaştıktan sonra Selçuklular, Antiokheia kalıntılarını yeniden inşa etmek yerine yoğun tarım yapmak amacıyla Yalvaç adında yeni bir şehir kurmuştur (TAN, 2017).

Pisidian Antiokheia, aynı zamanda Pavlus'un misyonerinin ana duraklarından biri olmuştur. Pavlus antik kenti Barnabasla birlikte ilk misyoner yolculuğunda ziyaret etti (bkz. Şekil 3.1.) ve ilk kaydedilen vaazını MS 46-48'da vaaz etti (Padfield, 2008). Bu nedenle şehir, M.Ö. 325'te Nicaea kentinde (şu an İznik ili, Türkiye) toplanan ilk konsey tarafından bir hac merkezi ilan edildi. St. Paul'un Perga ve Pisidiya Antiokheia'sı arasındaki ilk yolculuğu hala tartışmalıdır ve araştırmacılar tarafından önerilen üç alternatif yol vardır (Wilson, 2009). Ayrıca, Antiochus'un adına onurlandırılan 16 antik kent olmasına rağmen yalnızca Pisidia Antiokheia'sı ve Suriye Antiokheia'sı Hristiyanlığın erken dönemlerinde tarihi ve kutsal öneme sahip olmuştur (Padfield, 2008).

3.3 Pisidia Antiokheia Kazıları

Türkiye Cumhuriyeti Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın sağladığı bilgilere göre, 2017 yılında hem Türk (118) hem de yabancı (32) arkeolog tarafından 150 kazı çalışması yapılmıştır. Pisidia Antiokheia'sı, ilk olarak Francis V.J. Arundell (bir İngiliz antika ve din adamı) tarafından tespit edilmiştir. İlk kazılar ise yirminci yüzyılın başlarında (yani 1913, 1914 ve 1924 yıllarında), Michigan ve Johns Hopkins Üniversitelerinden gelen W.M. Ramsay (bir İskoç arkeolog), F.W. Kelsey ve D.M. Robinson (Amerikan arkeologlar) adlı uzmanlardan oluşan bir takımla gerçekleştirilmiştir. Ramsay ve Robinson arasındaki anlaşmazlığa bağlı olarak kısa ömürlü Amerikan kazılarından sonra (1924–1927), ilk sistematik kazılar 1980'lerde Yalvaç Müzesi müdürü Mehmet Taşlıalan tarafından başlatılmıştır. 2008'den bu yana ise Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Arkeoloji Bölümünün eski başkanı Mehmet Özhanlı tarafından kazılara devam edilmektedir (Özhanlı, 2009).

Bu tez çalışması kapsamında çalışılan Pisidia Antiokheia tarihi kenti, güneybatı Anadolu'da yer alan Isparta şehrinin Yalvaç ilçesinin 1 km kuzeyinde bulunur. Yerleşim yeri, kuzey-güney doğrultusunda uzanan Sultan Dağlarında bulunan Anthios Vadisine hâkim 129 m yüksekliğindeki bir tepede kurulmuştur. Şehrin en üst noktasındaki ana kayaya oyulmuş benzersiz tapınağı, tepe yamacını kaplayan tiyatrosu, 15.000 kişilik stadyumu, meclis binası, meydanları, anıtsal giriş kapıları, her sokaktaki çeşmeleri, mükemmel kanalizasyon sistemi ve geniş Hristiyan kiliseleri dolayısıyla tarih boyunca Antioch, Anadolu'nun en gelişmiş şehirlerinden biri olmuştur. Tarihsel olarak çok büyük öneme sahip olan antik kentin çok küçük bir bölümünün arkeolojik olarak çalışıldığını ve daha büyük bir alanın yer altında beklediğini söyleyebiliriz.

Şehrin kuzeyinde bulunan kilisenin etrafında olduğu düşünülen yapıların tespiti için arkeojeofizik yöntemlerden Elektrik Tomografi ve GPR (Yer Radarı yöntemi) uygulanmıştır. Elektrik Tomogfi ölçü profilleri birbirlerine paralel 1m aralıklarla GPR yönteminde ise 0.5 m profillerle ölçüler alınmıştır. Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 de her iki yöntem uygulanmış olup Alan 5 de yani kilisenin içinde sadece GPR yapılmıştır. Bu ölçülerden iki ve üç boyutlu modellemeleri yapılmıştır.

Yapılan bu ölçümlerle kilisenin; yönelimi, kaç metrede gömülü oldukları, etrafının nasıl şekillendiği, varsa çevresindeki yapıların günümüzdeki şekli ve boşlukların tespiti ortaya konmaya çalışılmıştır. Ölçülen veriler gürültülerden elemine edilip filtrelenmiş ve ters çözüm yöntemleri uygulanarak yeraltı haritaları ortaya çıkarılmıştır. Gerek sahada gerekse bilgisayar başında veri işlem aşamasında çok titiz davranılmış ve ortaya güzel sonuçlar çıkarılmış ve yorumlanmıştır.

3.4 Pisidia Antiokheia Antik Kenti Jeofizik Çalışmaları

Pisidia antik kentinde ilk jeofizik çalışma, wenner elektrod dizilimi ile elektrik özdirenç yöntemini uygulayan Kaya v.d (1997) tarafından yapılmıştır. Daha sonra 2001 yılında yapılan manyetik çalışmayla Roma hamamları ve

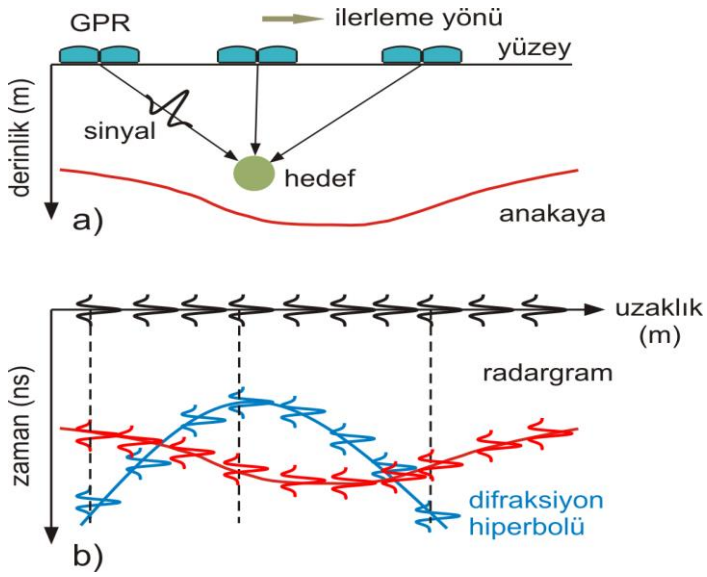
nymphaeum ile bazilika arasında net bir plan belirlendi (Smekalova, Voss, & Smekalov, 2005). İlerleyen yıllarda pisidia antiokheia da başarılı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları sırasıyla şöyledir; Öztürk Akça (2011), Erek (2011) ve Üstol (2013).

4. JEOFİZİK YÖNTEMLER

4.1. YER RADARI YÖNTEMİ (Ground-penetrating Radar, GPR)

4.1.1 Temel Çalışma Prensibi

Yer radarı (ground penetrating radar, GPR), yüksek frekanslı (10-1500 MHz) elektromanyetik (EM) dalgaları kullanarak, sığ yeraltını, yüksek ayrımlılıkta görüntüleyebilen, jeofiziğin veri kazanımı hızlı ve kolay uygulanabilir yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, EM radar sinyali (chirp), bir verici antenden yere iletilir. Tabaka sınırlarından veya gömülü nesnelerden yansıyarak ve saçılarak şekil değiştiren sinyal, alıcı antenler tarafından varış zamanının bir fonksiyonu olarak kaydedilir (Şekil 4.1.). Böylece, radar dalgalarının gidiş-geliş zamanlarından (two-way travel time) yararlanılarak, elektrik özelliklerin değiştiği yerin derinliği belirlenir. Yer radarı ölçümleri, teknolojinin son yıllardaki hızlı gelişimi neticesinde nanosaniye (10-9 s) duyarlılığında gerçekleştirilebilmektedir (Balkaya, 2014). Kaynak dalgası için belirlenen merkez frekans, bu değerin %50 altı ve %50 üstünü kapsayan bir frekans aralığında kullanılabilmektedir (Milsom, 2003).



Şekil 4.1. a) Yer radarı yönteminin genel çalışma sistemi b) Radargram (Grégoire vd. (2003)'ten Balkaya (2014) tarafından düzenlenmiştir)

4.1.2 EM Dalga Yayılımı

Yeraltındaki jeolojik malzemenin EM özellikleri, onların bileşimi ve su içeriği ile doğrudan ilişkilidir. EM dalgaların, yeraltındaki, yayınım hızını ve sönümlenmesini bu iki parametre belirler. Herhangi bir ortam içerisinde radyo dalgalarının hızı, serbest ortamdaki ışığın hızına ($c \cong 0.2998$ m/ns), bağıl dielektrik katsayısına (ε_r), elektriksel iletkenliğe (σ) ve bağıl manyetik geçirgenliğe (manyetik olmayan malzemeler için μ_r: 1) bağlıdır (Reynolds, 1997). EM dalga yayılımı, izleyen bir-boyutlu dalga denklemi ile verilebilir (Daniels, 2004).

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \mu\varepsilon_r \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \qquad (4.1.)$$

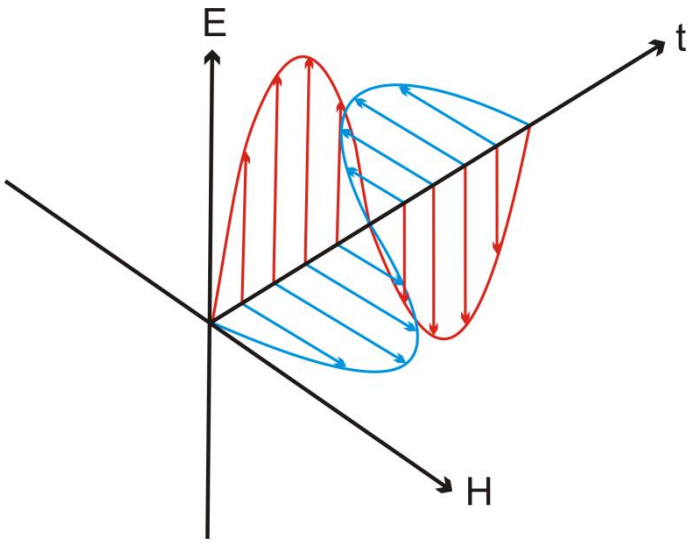
EM dalga yayılımı düşey eksen (-z) boyuncadır ve elektrik alan (E) ile manyetik alan (H) birbirine diktir (Şekil 4.1.). Yayılımın hızı ise,

$$v_m = c/\{(\varepsilon_r\mu_r/2)[(1+P^2)+1]\}^{1/2}, \qquad (4.2)$$
$$P = \sigma/\omega\varepsilon, \quad \omega = 2\pi f, \quad \varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0,$$

Eşitliği ile verilir. Burada, P, kayıp faktörü (loss factor), f, frekans ve ε, elektriksel geçirgenlik ve ε_0 ise serbest havanın elektriksel geçirgenliğidir (8.854×10^{-12} F/m). Düşük kayıplı malzemelerde, $P \approx 0$ olur, bu durumda radyo dalgalarının hızı ise,

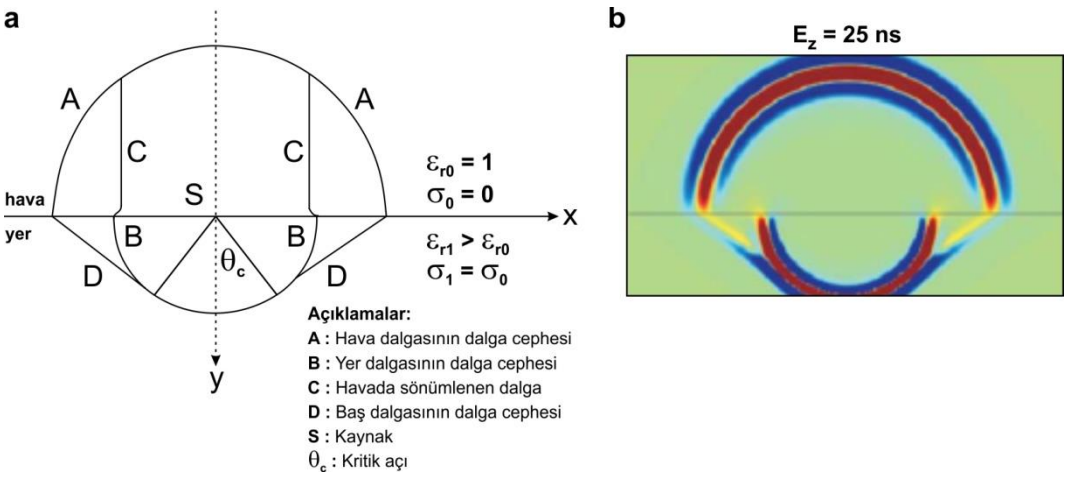
$$v_m = c/\sqrt{\varepsilon_r} \qquad (4.3)$$

Eşitliği ile verilir.



Şekil 4.2. Serbest ortamda EM dalga yayınımı (Daniels (2004)'ten Balkaya (2010) tarafından düzenlenmiştir)

EM dalganın hava ve yer arayüzeyi boyunca yayınımı sonucu genel olarak hava (A), yer (B) ve baş dalgalarına (D) ait olmak üzere üç tip dalga cephesi oluşur (Şekil 4.3.). Arayüzey yakınında küresel yer dalgası havada arayüzeyden uzaklaştıkça genliği yükseklikle üstel olarak azalan bir dalga (C) olarak gözlemlenir (evanescent air wave). Şekil 4.3b ise hava-yer arayüzeyi için zaman ortamı sonlu farklar sayısal modellemesiyle merkez frekansı 200 MHz olan bir anten ve kaynak olarak Ricker dalgacığı kullanılarak elde edilen t = 25 ns anındaki görüntüyü göstermektedir (Annan v.d, 1975).



Şekil 4.3. Hava-yer arayüzeyi boyunca EM dalga yayınımı (Liu ve Arcone (2003)'ten Balkaya (2014) tarafından düzenlenmiştir).

Radyo dalgalarının yer içerisindeki iletimi, yer radarı yönteminin başarısını etkiler. Örneğin, kutuplardaki buzlar EM dalgalar için saydam bir ortam gibidir ve dalga yayınımını neredeyse hiç etkilemezken, suya doygun kil ve deniz suyu bu dalgaları ya soğurur ya da yansıtırlar (Reynolds, 1997). Ayrıca, iki jeolojik birim arasındaki yüksek bağıl dielektrik katsayı zıtlığı, EM dalganın, arayüzeyden daha büyük bir oranda yansımasını sağlar. Yansıma ve iletim katsayıları, EM alanların genliklerinin, dielektrik özellikleri farklı iki malzeme arasındaki arayüzeyde nasıl değiştiğini gösterir. EM dalganın geliş açısı, yansıma açısına eşittir. Kırılma açısı ise, geliş açısı ile ilgilidir (Snell kanunu) (Balkaya, 2010).

4.1.3 Düşey ve Yanal Ayrımlılık

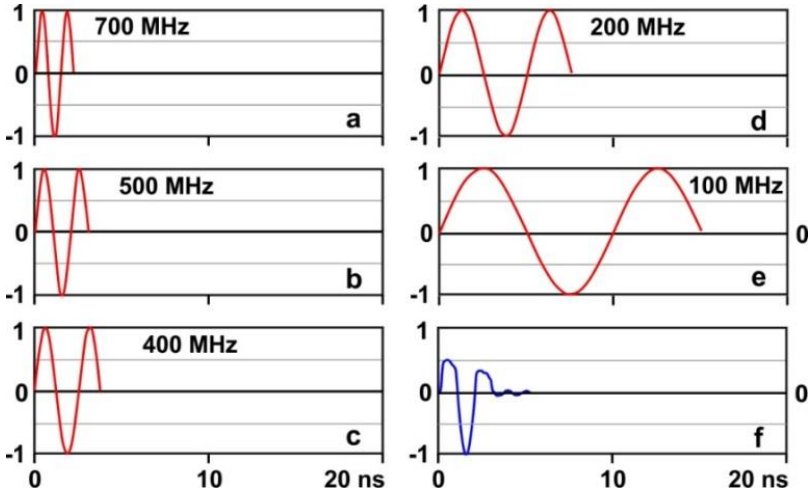
Düşey ayrımlılık, zaman ortamında, birbirine komşu iki sinyal arasındaki farklılıkların bir ölçümüdür (Reynolds, 1997). Daha basit bir tanımlama ile düşey ayrımlılık, frekansın bir fonksiyonudur ve dalga boyu (λ) ile kontrol edilir.

$$\lambda = v/f \tag{4.4}$$

Frekans değeri büyüdükçe; dalga boyu azalır (bk. Şekil 4.4) ve düşey ayrımlılık artar. Yer radarı sistemlerinde, her bir anten belirli bir frekans aralığında (bandwidth) çalışmaktadır. 100 MHz'lik bir anten için merkez frekans ta 100 MHz'dir. Çizelge 4.1. çeşitli uygulama alanlarında kullanılması önerilen öncelikli ve ikincil anten tercihlerini ve bu antenler kullanılarak yaklaşık olarak hedeflenen araştırma derinlik bilgilerini göstermektedir.

Çizelge 4.1. Merkez anten frekansı seçimine bağlı olarak yaklaşık derinlik (Leucci vd., 2012'den düzenlenmiştir)

Yaklaşık derinlik [m]	Öncelikli anten tercihi [MHz]	İkincil anten tercihi [MHz]	Genel uygulama alanı
0 – 0.5	1600	900	Yapısal beton, Otobanlar ve köprüler
0 – 1	900	400	Beton, sığ zeminler, arkeojeofizik
0 – 9	400	200	Sığ jeolojik çalışmalar, kamu hizmetleri, arkeojeofizik
0 – 9	200	100	Jeoloji ve çevre problemleri arkeojeofizik
0 – 30	100	Penetrasyonu yüksek antenler (Subecho 40 gibi)	Derin jeolojik ve jeoteknik çalışmalar
> 30	Düşük frekanslı antenler (16, 20, 32, 40, 80 gibi)		Derin jeolojik ve jeoteknik çalışmalar



Şekil 4.4. a-e) Çeşitli frekanslarda dalga boyunun değişimi f) Bir sinyal örneği (Goodman (2009)'dan Balkaya (2010) tarafından düzenlenmiştir).

4.1.4 Jeofizikte Yer Radarı Uygulamaları

Yer radarı yöntemi son 20 yılda yazılım ve alet teknolojisindeki hızlı gelişme neticesinde oldukça geniş bir yelpazede ve özet olarak Çizelge 4.2.'de değinilen uygulama alanlarında yüksek ayrımlılıklı çözümler üretmektedir.

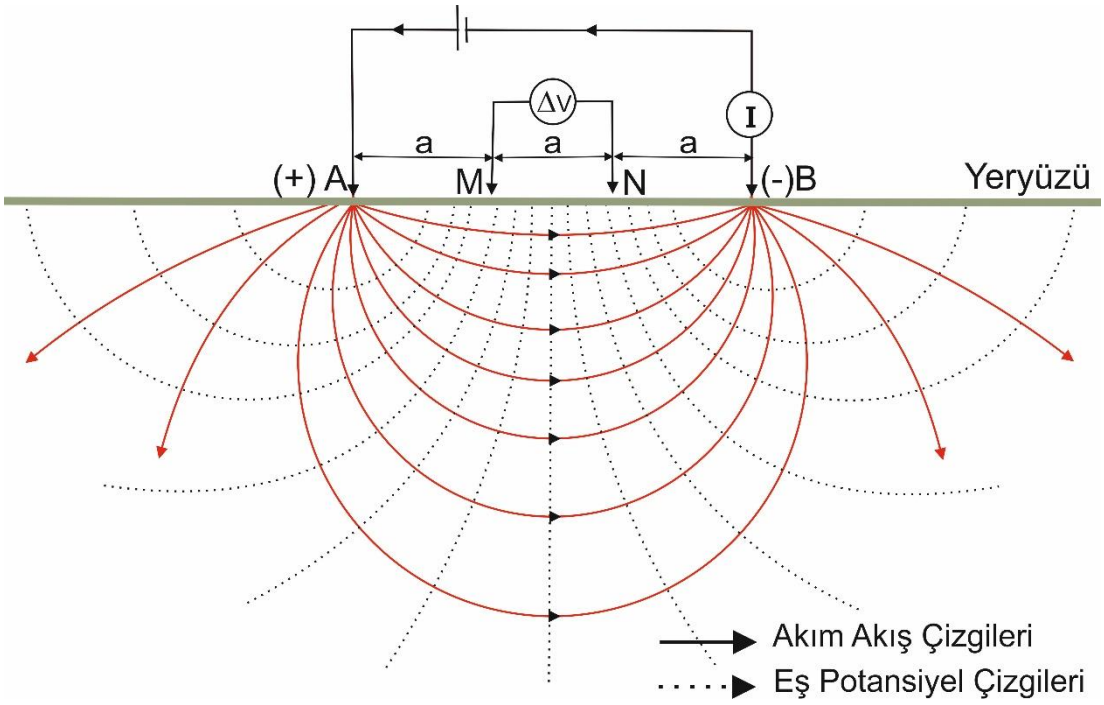
Çizelge 4.2. Yöntemin uygulama alanları (Özürlan ve Ulugergerli (2005)'ten düzenlenmiştir)

Uygulama Alanı	Araştırma konusu
Çevre Araştırmaları	• YAS ve YAS kirliliği araştırmaları • Hidrokarbon kirliliği araştırmaları • Gömülü katı atık depolarının araştırılması • Gömülü yakıt tanklarının araştırılması • Buzul araştırmaları • Endüstriyel atık, sızıntı, araştırmaları • Su ve kanalizasyon yollarından kaynaklanan kaçak ve sızıntıların belirlenmesi • Katı atık boşaltım alanlarının yer seçimi amaçlı yer araştırmaları • Altyapı boru hatlarının (kanalizasyon, su yolu, kanal, sığınak, elektrik ve telefon hatları) bulunması
Jeolojik Araştırmalar	• Jeolojik yapı araştırmaları • Kırık/süreksizlik ve sokulumların araştırılması • Kil mercekleri ve buz kamalarının araştırmaları • Heyelan araştırmaları • Karstik boşluk ve mağara araştırmaları • Buzul araştırmaları • Eski nehir yataklarının araştırılması • Masif kayaçlar içinde kırık, çatlak ve fissürlerin araştırılması
Mühendislik Araştırmaları	• Yol, havaalanı, baraj, su kanalı ve santrallerin yapımında yerleşim alanı yer araştırmaları • Tünel ve yapı araştırmaları • Demiryolu, karayolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerisi araştırmaları • Tavan, taban ve duvarların incelenmesi • Restorasyon amaçlı araştırmalar • Yapı, duvar ve tabanlarındaki nemliliğin araştırılması
Maden Araştırmaları	• Yüzeye yakın madenlerin aranması • Yeraltı galerilerinin araştırılması • Rezerv geliştirme • Galeri sürülerek yapılan maden (kömür) araştırmaları • Göçük ve maden kazalarında ilk yardım amaçlı çalışmalar
Arkeojeofizik Araştırmalar	• Antik şehir, tapınak, mezar, duvar, temel, dehliz vb. tarihi kalıntıların bulunması • Yeraltı şehirlerinin araştırılması

4.2 ELEKTRİK ÖZDİRENÇ (EÖT) YÖNTEMİ

4.2.1. Temel Prensipler

Jeofizik yöntemler içinde en yaygın ve en çok kullanılan yöntem elektrik yöntemidir. Bu yöntemin çalışma prensibi, yeraltının elektriğe karşı gösterdiği direnç değerini (özdirenç) ölçülmesine dayanmaktadır. Yeraltında bulunan yeraltı suyunu tutan akifer yapısını, formasyonlar arasındaki geçişleri, maden yataklarının tespitini, petrol yataklarını ve konumlarını, fayları, boşlukları ve son dönemde GPR yöntemiyle beraber arkeolojik yapıların bulunmasında başlıca yöntem olarak kullanılmaktadır. Elektrik özdirenç yöntemi uygulaması, iki elektrot (A, B) ile yeraltına elektrik akımı gönderip farklı uzaklardaki iki potansiyel elektrotu (M, N) ile bu akımın meydana getirdiği potansiyel farkın (voltaj) dağılımının yeryüzünde yapılan ölçümlerle belirlenmesidir (Candansayar, 2014). Bu yöntemde, yere çakılan akım elektrotları ile yeraltına elektrik akımı uygulanır ve diğer noktadaki potansiyel elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Elektrik Özdirenç yöntemi şematik ölçüm gösterimi. Kesikli çizgiler eş potansiyelleri düz çizgiler akımları göstermektedir.

Yere verilen akımın potansiyel elektrotlardan ölçülen gerilimin farkı, tüm elektrotlar arasındaki mesafeye ve ortamın jeolojisine bağlıdır. Yere veilen elektrik akımın derinliği elektrotlar arasındaki uzaklık açılımı arttıkça artmaktadır.. Bundan yararlanarak yer içinin birkaç metre derinliğinden birkaç bin metre derinliklerine kadar incelenmesi yapılabilmektedir. Elektrik özdirenç yöntemi yer içinin görünür özdirenç değerini saptayıp yeraltında bulunan yapının gerçek özdirençlerini, kalınlıklarını ve kesitlerini elde edip derinlik sondajı şeklinde işlev yapan bir yöntemdir. Bu okunan görünür özdirenç değerleri işlenerek gerçek özdirenç değerleri tespit edilip ters çözüm ve filtreleme işlemleri yapılarak yeraltı haritaları oluşturulur (Başokur, 1994).

Elektrik özdirenç yönteminde okunan değerdeki büyüklük gerilim farkıdır. Fakat veri yorumu için gerilim farkı fiziksel bir büyüklük olan özdirence dönüştürülür. Bu dönüştürme işlemi,

$$\rho_a = k\frac{\Delta v}{I} \tag{4.5}$$

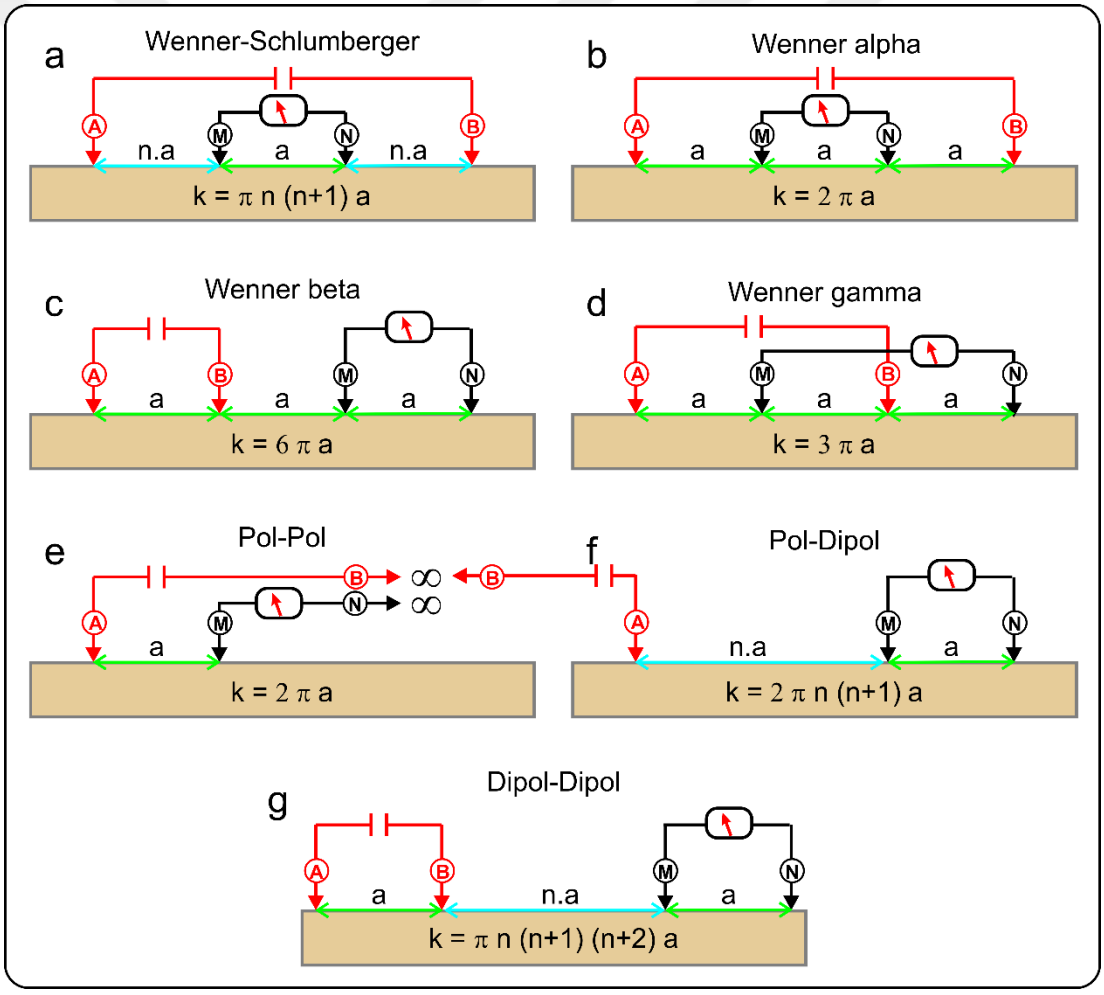
Şeklinde çözülebilir. Burada k, elektrotların konumuna bağlı geometrik faktördür. I, yere uygulanan akım ve ΔV, ölçülen gerilim farkıdır. Bu bağıntı homojen ve izotrop bir ortam için geçerlidir. Gerçekte yer homojen değildir ve bu bağıntıdan hesaplanan özdirenç, görünür özdirenç (ρ_a) olarak adlandırılır (Başokur, 1994).

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}} \tag{4.6}$$

Görünür özdirenç, yeraltında bulunan yapının şekline, özdirencine ve kullanılan elektrot dizilim yöntemine bağlıdır. Görünür özdirenç tanımlamasına göre; ortam homojen ve izotrop ise ölçülen görünür özdirenç, ortamın özdirencine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda görünür özdirenç eğrisi AB/2'nin küçük değerleri için birinci tabakanın özdirencine, AB/2'nin büyük değerleri için son

tabakanın özdirencine asimtot olmalıdır. Ayrıca görünür özdirenç, AB/2'nin ara değerlerinde de ara tabakaların özdirencine yakın olmalıdır (Başokur, 1994).

Elektrik özdirenç yönteminin dizilimlerinin uygulamasında 4 elektrottan oluşan dizilimler kullanılmaktadır. Bunlardan iki tanesi dışarıdan yere verilen akım elektrotları A ve B hafleriyle temsil edersek diğer ikisi de bu akımların potansiyel değişimini okuduğumuz potansiyel elektrotlarıdır ve bunlarda M v N harfleriyle temsil edilir. Bu elektrotların yüzeydeki dağılımlarının ve birbirlerine göre olan uzaklıklarının değiştirilmesi ile farklı şekillerde dizilimler elde edilebilmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. a) Wenner-Schlumberger, b) Wenner alpha, c) Wenner beta d) Wenner gamma, e) Pol-Pol, f) Pol-Dipol ve g) Dipol-Dipol elektrot dizilimleri ve bu dizilimlerin geometrik faktörleri.

Geleneksel elektrod dizilimleri, elektrodların bir simetri merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner, dipol- dipol ve pole-dipol dizilimleridir (Candansayar, 2014). Şekil 4.6 'da bu dizilimler kullanılan elektrotların yüzeydeki konumları, dizilim katsayıları (k) ile birlikte verilmektedir. Burada ilk üç dizilim 4 elektrotu birden ölçümlerde aktif olarak kullanılırken, pol-pol diziliminde bir akım ve bir potansiyel elektrotunun, pol-dipol diziliminde ise bir akım elektrotunun sonsuzda olduğu varsayılarak sabit pozisyonda tutulmaktadır. Ölçü uygulamalarında sonsuz mesafesi olarak en büyük elektrot aralığının 20 katı kadar bir mesafede seçilmektedir. Elektrotlar arası mesafe gösteren "a" ve "n" değerleri değiştirilerek farklı derinlik seviyelerinden görünür özdirenç verisinin ölçülmesi sağlanmaktadır (Berge, 2011).

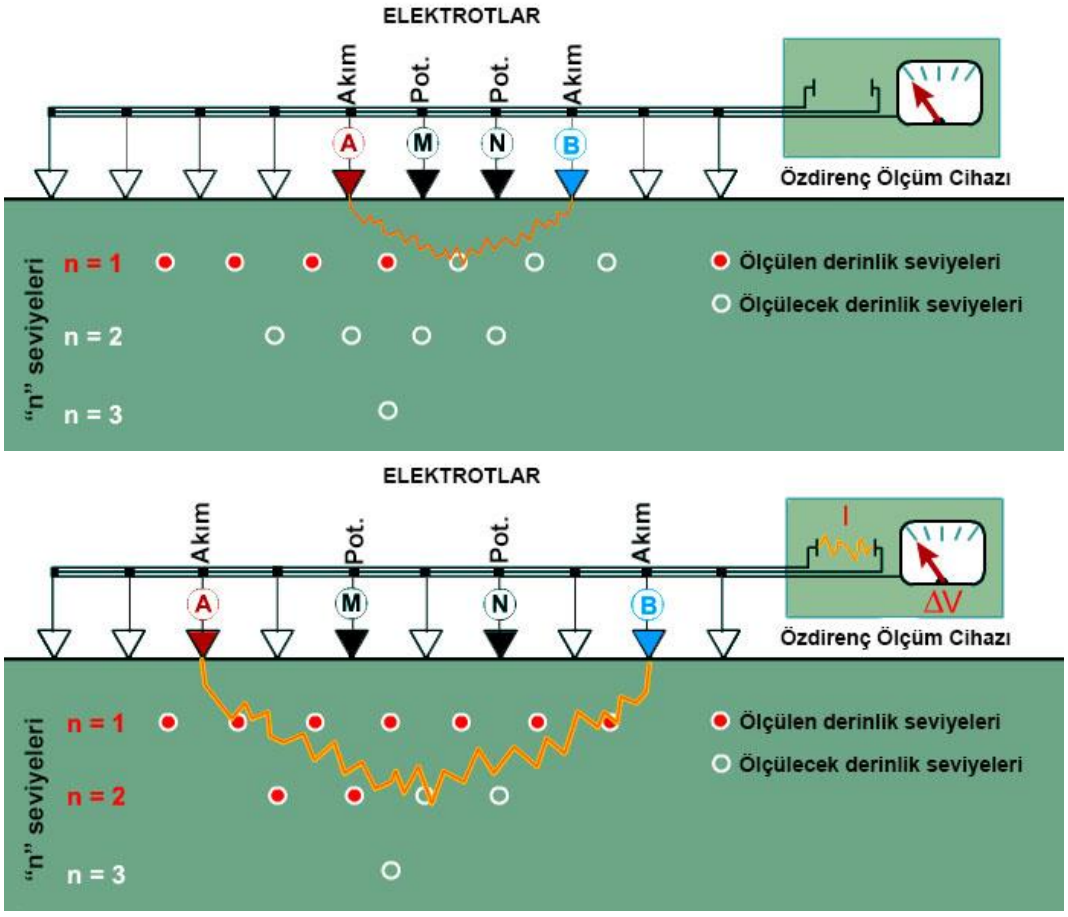
Elektrik özdirenç yönteminde 3 farklı ölçü toplama tekniği, genel olarak, Sondaj, Profil ve Sondaj–Profil Ölçüsü şeklinde gerçekleştirilir. Bunlardan ilk ikisinde toplanan görünür özdirenç veri kümeleri sondaj ve profil eğrileri şeklinde Sondaj–Profil tekniğinde ise yapma kesitler şeklinde sunulur (Candansayar, 2014).

Sondaj ölçüsü; Düşey Elektrik Sondajında noktasal bir merkez belli olacak şekilde, herbir ölçüm sonucunda bu noktanın iki tarafında elektrotların bir hat boyunca açılmasıyla uygulanır. Böylece yeraltında düşey yöndeki özdirenç değişimi incelenmeye çalışılır. Yöntemin isminin ''Düşey Elektrik Sondajı'' (DES) (vertical electrical sounding) olmasının nedeni budur (Bhattacharya ve Patra, 1968). Yeraltı yapısı homojen bir yapıya sahip olmadığından dolayı verilen akımlar sonucu okunan özdirenç değerleri gerçek özdirenç değil görünür özdirenç değerleridir. DES 'in amacı görünür özdirenç değerlerinden gerçek özdirenç değerlerini bulmaktır.

Profil ölçüsü; yeraltında yanal süreksizlikleri belirleyebilmek için yapılmaktadır. Burada belirli bir derinliğe bağlı olarak elektrodlar arası mesafe araştırılan derinliğe bağlı olarak sabit tutulur. Bu şekilde bir hat boyunca araştırılmak istenen derinliğe bağlı olarak belirlenen sabit bir örnekleme aralığı kullanılarak

profil ölçümleri tamamlanır. Bu ölçü tekniği daha çok arkeolojik yapı araştırılmalarında, ana kaya kırık çatlakların belirlenmesinde ve fay yapılarının uzanım ve doğrultularının belirlenmesinde kullanılır (Candansayar, 2014).

Sondaj–Profil ölçüsü tekniği ise Şekil 4.7 'den de görüldüğü gibi sondaj ve profil ölçülerinin birlikte uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu nedenle ölçülen verilerden her bir AB/2 seviyesi için profil eğrisi ve her bir merkez ölçüm noktası için bir sondaj eğrisi elde edilebilir. Ayrıca, toplanan tüm veri kümeleri kullanılarak yapma kesitler elde edilir. Günümüzde teknolojinin oldukça hızlı değişimine bağlı olarak geliştirilen çok-elektrodlu ölçüm cihazları uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta ve veri kazanımını oldukça kolaylaştırmaktadır (Şekil 4.7.). Alan uygulamalarından elde edilen görünür özdirenç verileri genel olarak iki ve üç boyutlu ters çözüm yaklaşımlarıyla değerlendirilerek yeraltı görüntüleri elde edilir.

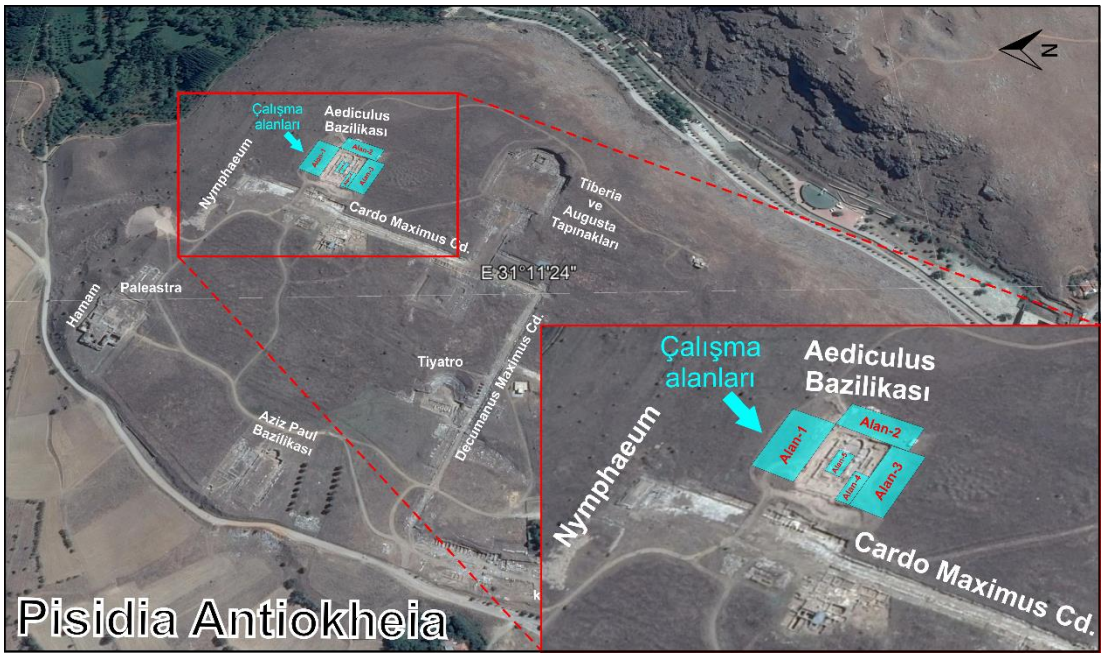


Şekil 4.7. Çok kanallı özdirenç ölçü sistemi ve ölçüm aşamaları

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1 Çalışma Alanı

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen jeofizik uygulamalar, Pisidia Antiokheia Antik Kentinin kuzeydoğusunda bulunan ve Aediculus Bazilikası olarak adlandırılan yapının kuzey, güney ve doğu cepheleri ile bazilikanın merkez nefini kapsayan toplam 5 alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1.). Uygulamada, manyetik yöntemden sonra arkeolojik alanlarda en yaygın olarak kullanılan yer radarı ve elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Yaklaşık olarak B-D doğrultusunda uzanan bazilikanın, kuzeyinde kalan alan Alan 1, doğusunda kalan alan Alan 2 ve batısında kalan alanlar ise Alan 3 ve Alan 4 olarak tanımlanmıştır. Bazilikanın içerisindeki çalışma alanı ise Alan 5 olarak adlandırılmıştır. İlk dört alan içerisinde hem GPR hem de elektrik özdirenç yöntemleri uygulanmıştır. Bazilika içerisindeki son alanda ise elektrotların çakılması esnasında yer yer lokal mozaik döşemenin varlığının anlaşılması nedeniyle elektrik özdirenç yöntemi uygulanmamıştır.

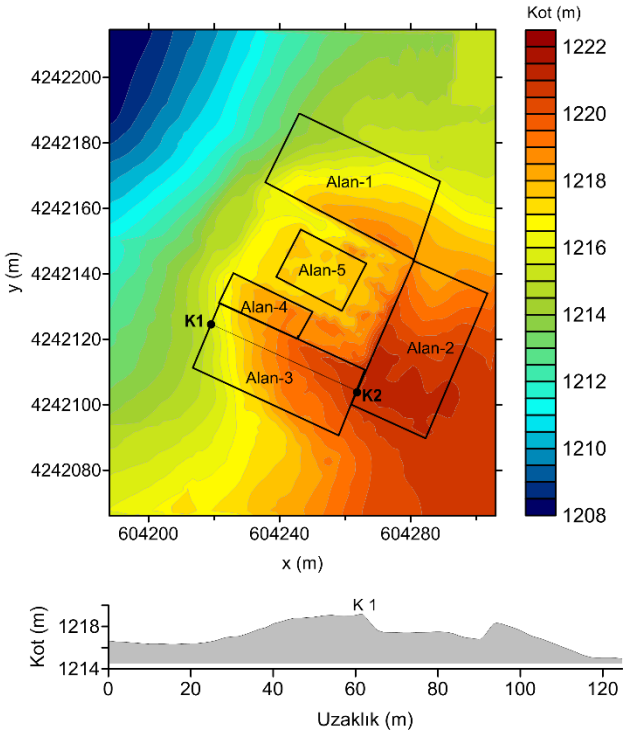


Şekil 5.1. Pisidia Antiokheia Antik Kenti jeofizik (yer radarı ve elektrik özdirenç) çalışma alanları

Uygulama alanlarının belirlenmesi ve sınırlarının tespit edilmesi için bir küresel yer belirleme sistemi (*Global Positioning System, GPS*) kullanılmıştır. GPS ile oldukça hassas olarak her bir alanın köşe koordinatları ve ölçü profillerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmiştir. Çalışma alanı genel olarak eğimli bir yapıya sahip olduğu için alanın ayrıca bit topoğrafik haritası da yükseklik ölçümlerinden oluşturulmuştur. Şekil 5.2. bu çalışmada kullanılan TOPCON firmasının Hiper Pro model GPS sistemini ve Şekil 5.3. ise alanın topoğrafik haritasını göstermektedir.



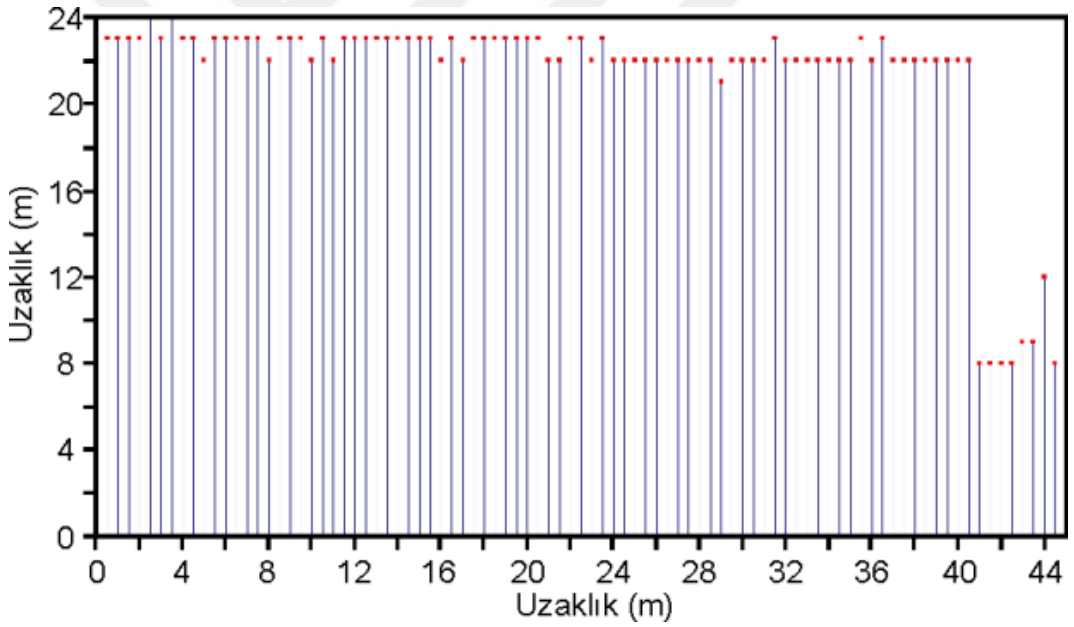
Şekil 5.2. TOPCON Hiper Pro GPS sistemi



Şekil 5.3. GPS ölçümleriyle elde edilen çalışma alanı topoğrafik haritası. Ayrıca Alan 3 üzerinde K1-K2 doğrultusu için örnek bir kesit gösterilmiştir.

5.2 Alan 1 Sonuçları

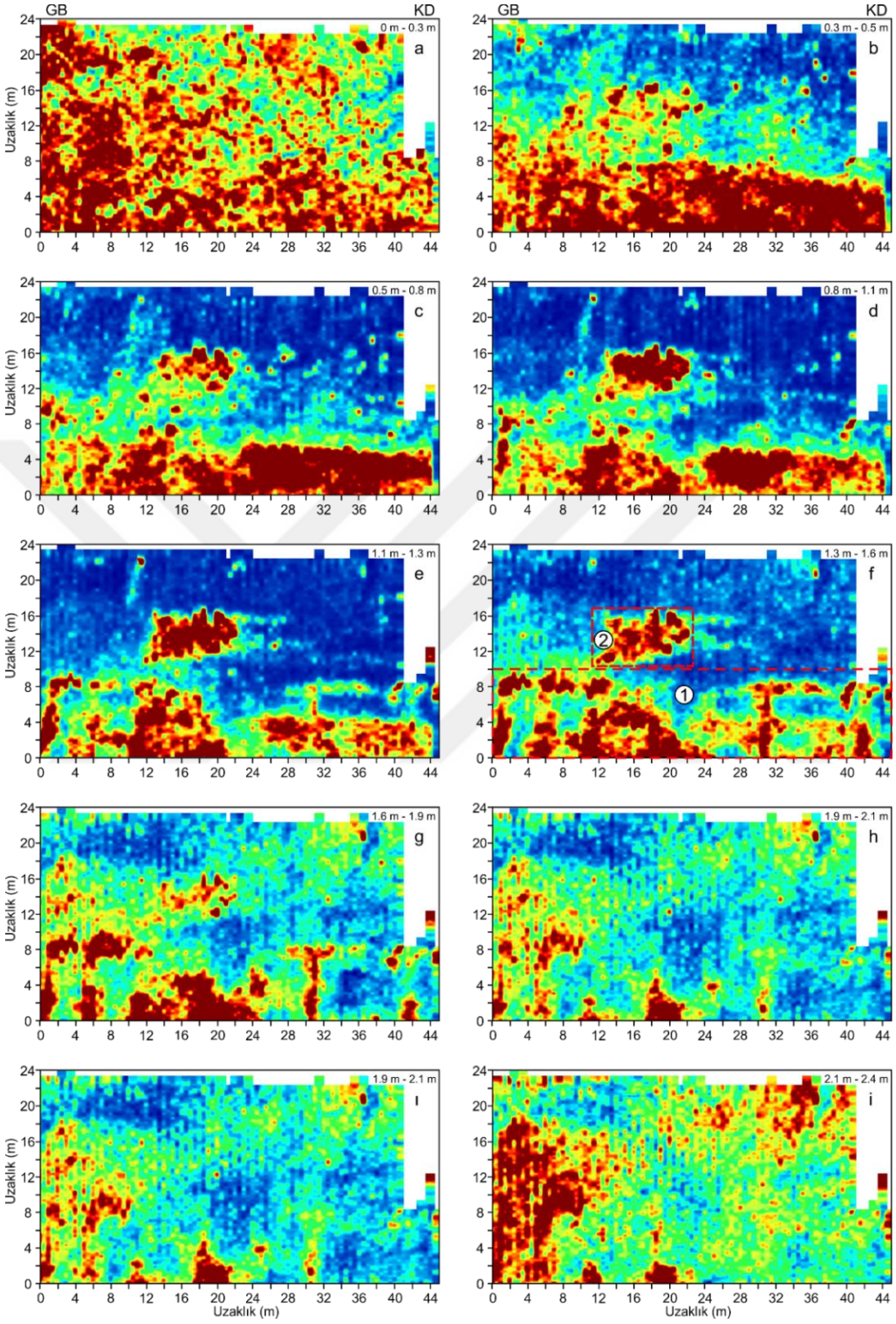
Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi, Aediculus Bazilikasının kuzeyinde konumlanan Alan 1 yaklaşık olarak 950 m^2'lik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 5.4. bu alanda gerçekleştirilen yer radarı çalışmasının ölçüm profillerini göstermektedir. Çalışma, yaklaşık GB-KD doğrultulu 90 profil üzerinde gerçekleştirilirken toplamda 1916 m uzunluğunda yansıma kaydı alınmıştır. Toplanan veri kümeleri 500 MHz merkez frekansına sahip kapalı bir anten sistemi kullanılarak profiller arası 0.5 m, iz aralığı 5 cm ve zaman penceresi ise 80 ns olacak şekilde toplanmıştır. Değerlendirmede kazanç, bant geçişli süzgeç (200–830 MHz) ve arka plan etkisinin giderilmesi gibi temel veri işlem teknikleri uygulanmıştır (GPR-SLICE v7.0).



Şekil 5.4. Alan 1 yer radarı ölçüm profilleri. Yeşil ve kırmızı noktalar sırasıyla profil başlangıç ve bitişlerini göstermektedir.

Şekil 5.5, genel olarak 0–2.4 m arasında değişen derinlikler için elde edilen yeraltı görüntülerini sunmaktadır. Buna göre, alan içerisindeki en dikkat çekici belirtiler Şekil 5.5f'de sunulan 1.3–1.6 m derinlik seviye görüntüsü üzerinde gösterilmiştir. Burada, kırmızı renkli kesikli çizgiler arasında 45 m × 10 m boyutlarındaki 1 numara ile gösterilen alanda görülen belirli bir geometri sunan

düzenli ve kuvvetli yansımalar olası arkeolojik yapı kalıntılarının (oda, duvar vb.) varlığını göstermektedir.



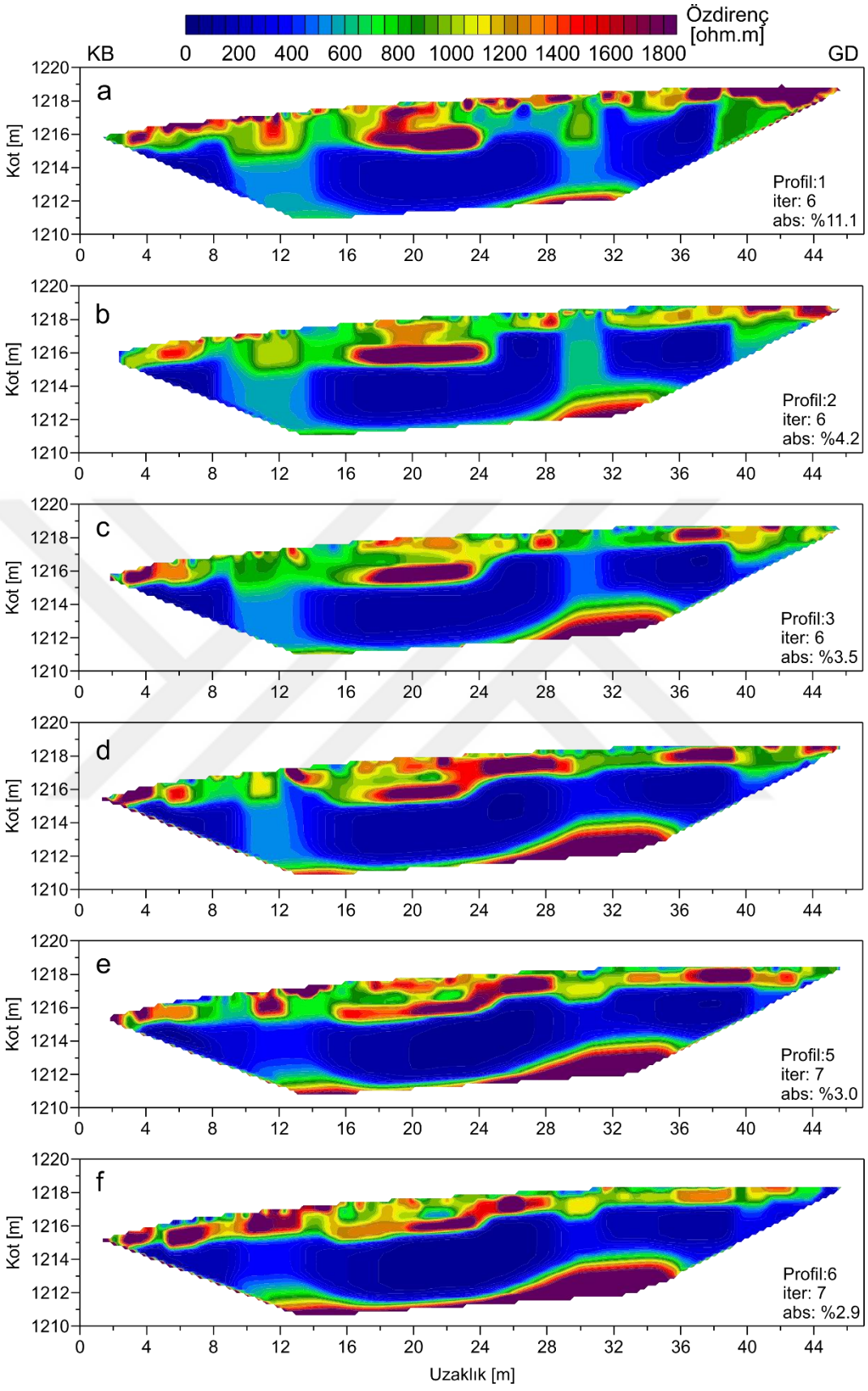
Şekil 5.5. Alan 1 yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri a) 0–0.3 m b) 0.3–0.5 m c) 0.5–0.8 m d) 0.8–1.1 m e) 1.1–1.3 m f) 1.3–1.6 m g) 1.6–1.9 m h) 1.9–2.1 m ı) 2.1–2.4 m i) 2.4–2.7 m

Bu alan, şekilden de görüleceği gibi Aediculus bazilikasının sınırında bulunmaktadır. Ayrıca, bu alanın dışında, 2 numara ile etiketlenen ve kırmızı kesikli çizgiler arasında (11.8 m – 22.7 m, x yönünde; 10 m – 17.3 m, y yönünde) kalan yaklaşık olarak 77 m^2 büyüklüğünde bir alanı kapsayan belirti de dikkat çekicidir.

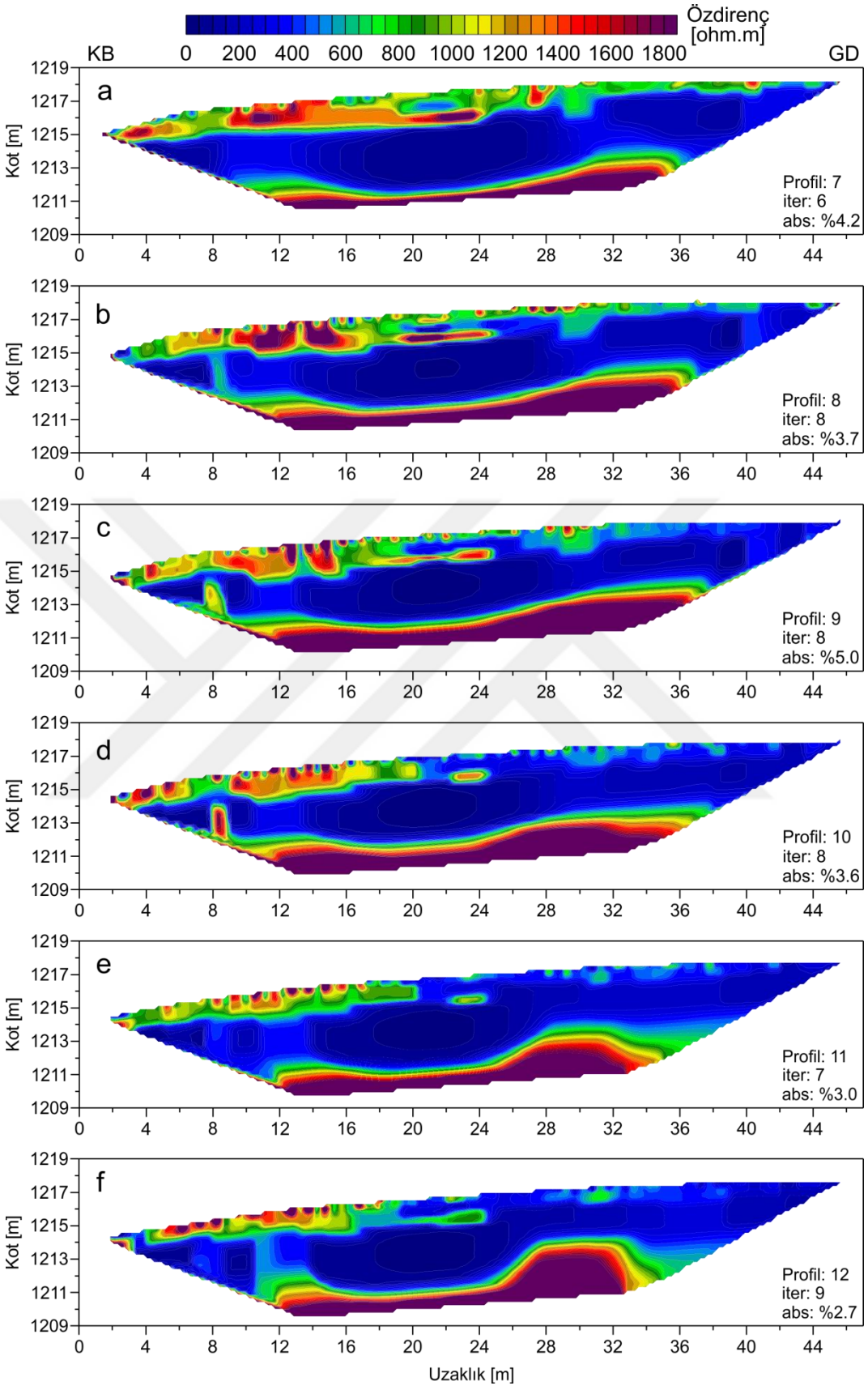
Elektrik özdirenç çalışmasında sondaj-profil ölçüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Görünür özdirenç verileri dipol-dipol elektrot dizilimiyle KB-GD doğrultulu 25 profil üzerinde toplanmıştır. Dipol-Dipol elektrot dizilimi, genel olarak, yanal yöndeki değişimlere daha duyarlıdır ve ayrıca uygulamada diğer dizilimlere göre görece daha fazla ölçüm noktası dikkate alınır. Bu nedenle, arkeoloji jeofiziği çalışmalarında en çok tercih edilen dizilimlerin başında gelmektedir. Diğer taraftan, bu dizilimin en büyük eksikliği S/G oranının düşük olmasıdır. Uygulamada elektrotlar ve profiller arası uzaklık 1 m olarak seçilmiştir. Veri toplama aşaması dört farklı seviye için (n=1-4) en fazla 6 dipol aralığı (a) seçilerek gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler L1 normu (robust) dikkate alınarak iki ve üç boyutlu (2B ve 3B) ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir (Geotomo software 2006a, b). Elde edilen elektrik özdirenç tomografi kesitleri sırasıyla profiller 1–6 için Şekil 5.6, profiller 7–12 için Şekil 5.7, profiller 13–18 için Şekil 5.8, profiller 19–24 için ise Şekil 5.9 'da sunulmuştur. Elektrik özdirenç tomografi kesitleri %1.7 ile %11.1 arasında değişen mutlak hata yüzdeleri (absolute, abs) ile 5-9 iterasyon arasında elde edilmiştir. Durdurma ölçütü olarak ardışık iki iterasyon arasındaki %5 hata yüzdesi dikkate alınmıştır.

Sunulan elektrik özdirenç tomografi kesitleri dikkate alındığında, Alan 1, genel olarak 50–3500 ohm.m arasında değişen özdirenç dağılımı göstermektedir. Tomogramlar ise 50–1800 ohm.m arasında değişen bir renk skalasında sunulmuştur. Buna göre, bu alan için >1000 ohmm ile temsil edilebilecek arkeolojik yapı kalıntıları <400 ohm.m özdirenç dağılımına sahip bir ortam içerisinde bulunmaktadır. Tomogramlarda yüksek özdirenç gösteren belirtiler genel olarak 3 m derinlikte ve bazilika yapısına yakın olan bölgede gözlemlenmektedir. İlk 6 EÖT kesitinde bu belirtiler tüm profil boyunca

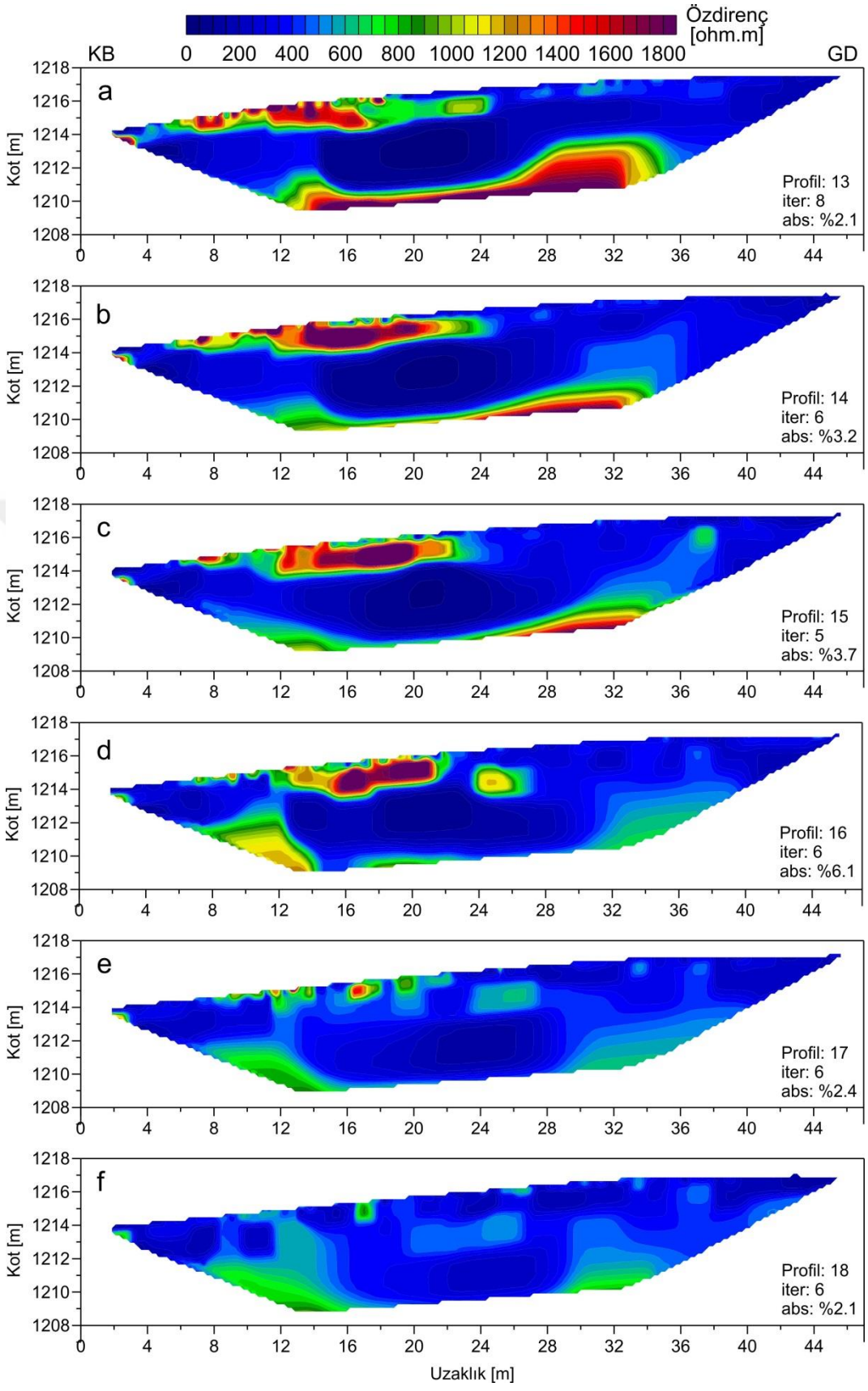
gözlemlenirken 6–16 arasındaki profillerde ise bu belirtiler yaklaşık olarak profillerin başlangıcından 16–23 m uzunluğundaki bir bölgede gözlemlenmektedir. Bu belirtiler, 14–16 profillerinde ise 12–23 m'ler arasında ve görece daha yüksek özdirenç değerleri göstermektedir. EÖT kesitlerinde gözlemlenen bir diğer önemli belirti ise 16–23 profilleri arasında 7 m genişliğindedir ve yukarıda değinilen belirtilere göre görece daha düşük özdirenç değerleri (~800–1300 ohm.m) ile temsil edilmektedir. Genel olarak profillerin son 1–3 m derinliklerindeki taban seviyelerinin ise ortam kayaçlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira, Aediculus Bazilikası antik kentin Cardo Maximus Caddesinin doğusunda bulunan tepe üzerine inşa edilmiştir. Şekil 5.10 ise tüm profiller dikkate alınarak elde edilen EÖT kesitlerini göstermektedir. Böylece, değinilen yapıların, GD–KB yönündeki uzanımlarını da gözlemlemek mümkündür.



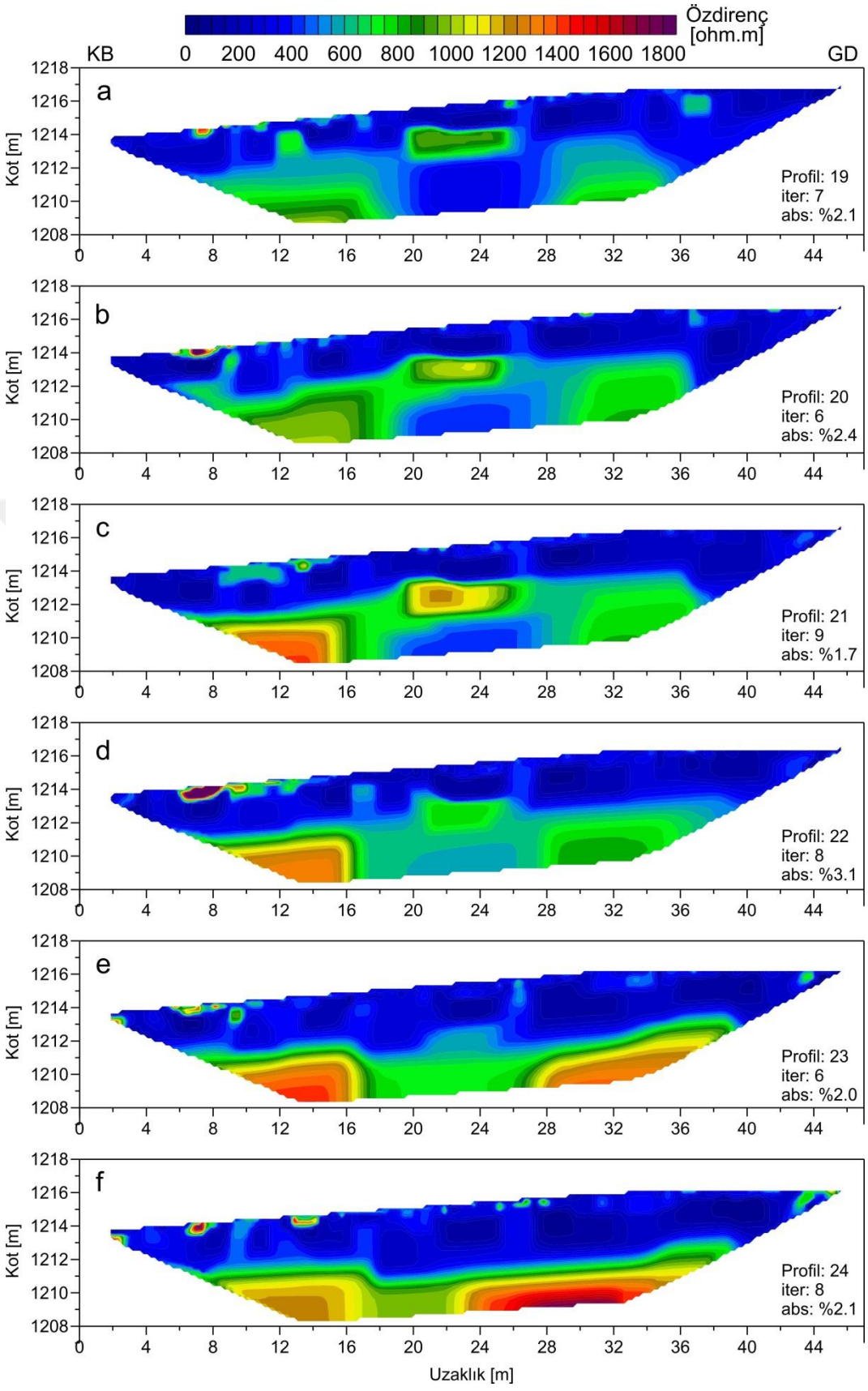
Şekil 5.6. Alan 1, profiller 1-6 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



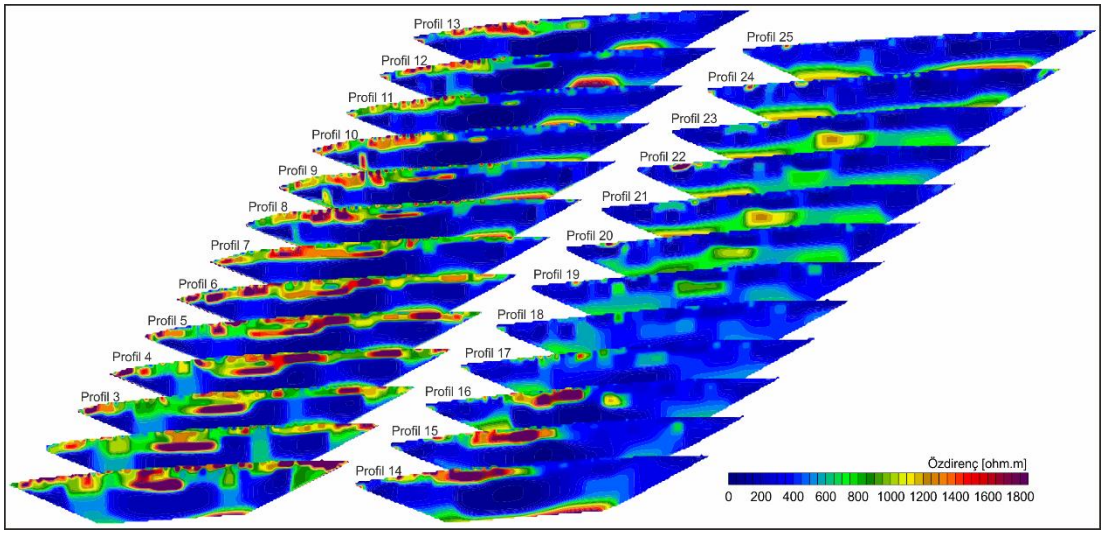
Şekil 5.7. Alan 1, profiller 7-12 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Alan 1, profiller 13-18 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.

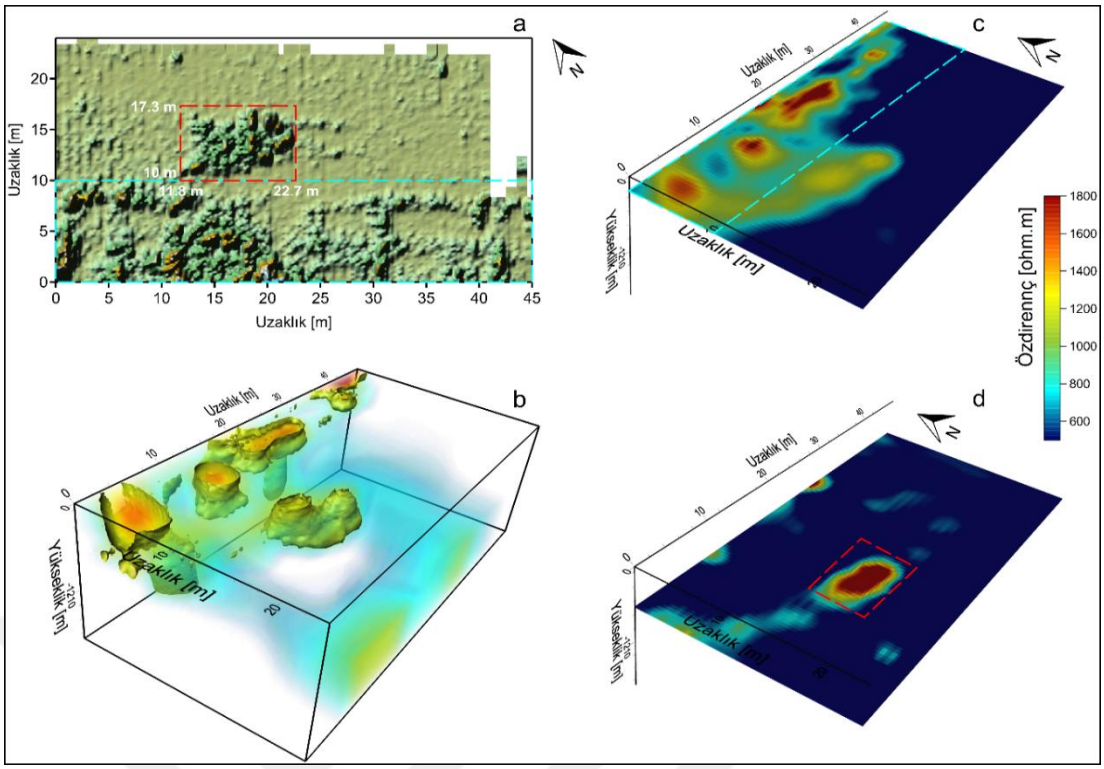


Şekil 5.9. Alan 1, profiller 19-24 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Alan 1, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri

Şekil 5.11, genel olarak, Alan 1 üzerinde gerçekleştirilen yer radarı ve EÖT çalışmalarından elde edilen sonuçların bir karşılaştırmasını göstermektedir. Bu bağlamda, Şekil 5.11a 1.3–1.6 m derinlik seviyesi için yer radarı sonuçlarının gölgeli kabartma şeklinde bir sunumunu göstermektedir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi, bu gösterim, yukarıda da değinildiği gibi alanın ilk 10 m'sinde gözlemlenen ve insan eli yapımı belli bir geometri sunan arkeolojik yapıları çok daha belirgin bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, yaklaşık olarak yatay yönde 10–20 m ve düşey yönde ilk 5 m arasında yüksek genlik değerleri ile gözlemlenen bir apsis yapısı da Şekil 5.11a 'da gözlemlenmiştir. Şekil 5.11b'de verilen ve EÖT verilerinin 3B ters çözümüyle elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulan görüntü (Voxler v4 deneme sürümü (Golden Software, 2019).) yer radarı sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Benzer olarak yer radarı derinlik dilimi haritasında yatay yönde 11.3–22.7 ve düşey yönde 10–17.3 m'ler arasındaki dikdörtgen şeklindeki yapı da Şekil 5.11c ve Şekil 5.11d'de verilen 1.5 m ve 4.5 m derinlik seviye haritalarında da gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, genel olarak, farklı fiziksel parametrelere duyarlı olan her iki yöntem de Alan 1 için birbirini destekleyen sonuçlar üretmiştir. Bu sonuçlar ışığında, Aediculus bazilikasının yaklaşık olarak KB'sında konumlanan bu alan için oldukça ümit verici sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.12). Doğal olarak, elde edilen sonuçlar ve bu alanda gerçekleştirilecek arkeolojik sondaj çalışmaları bu yapıların mevcut bazilika yapısı ile ilgisini ortay çıkaracaktır.



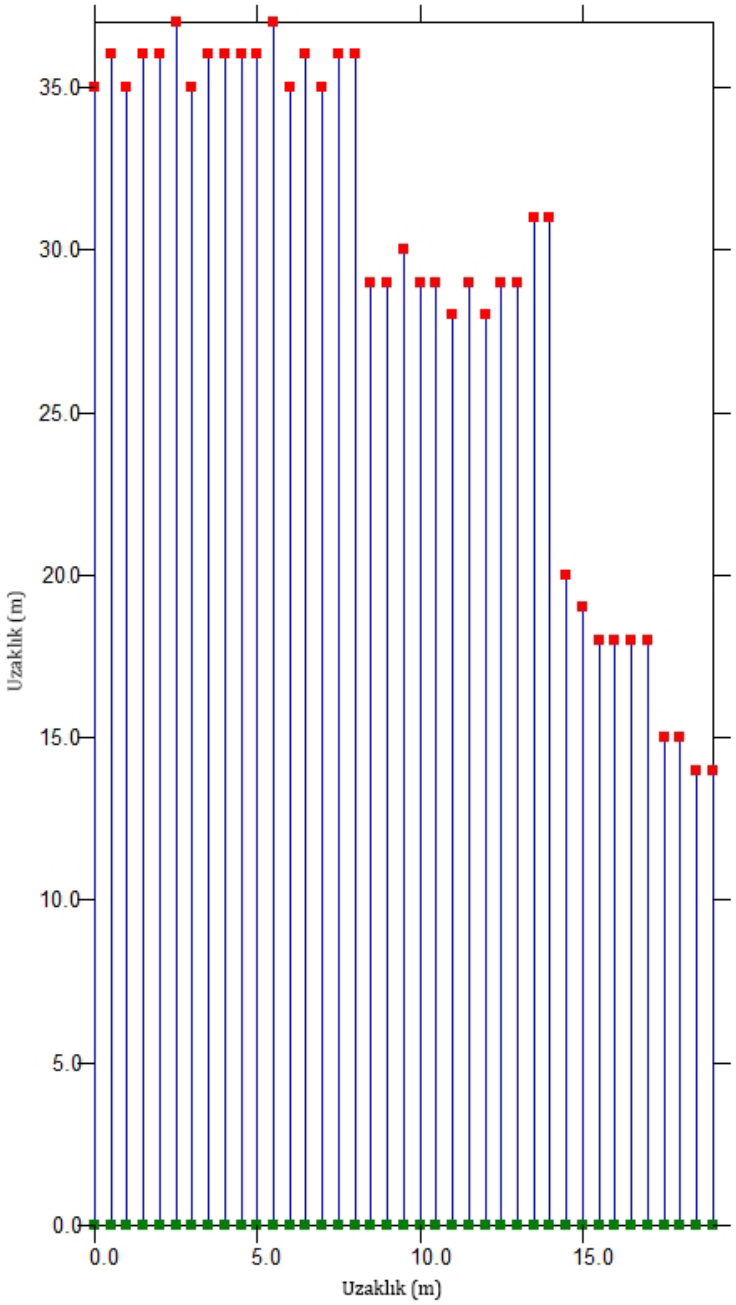
Şekil 5.11. a) 1.3-1.6 m yer radarı derinlik dilimi haritası b) EÖT verilerinin 3B ters çözümüyle elde edilen sonuçların 3B düzlemde hacimsel gösterimi ve c, d) Sırasıyla 1.5 ve 4.5 m derinlik seviyeleri için elektrik özdirenç haritaları



Şekil 5.12 Alan 1'de yapılan uygulamalardan bazı fotoğraflar

5.3 Alan 2 Sonuçları

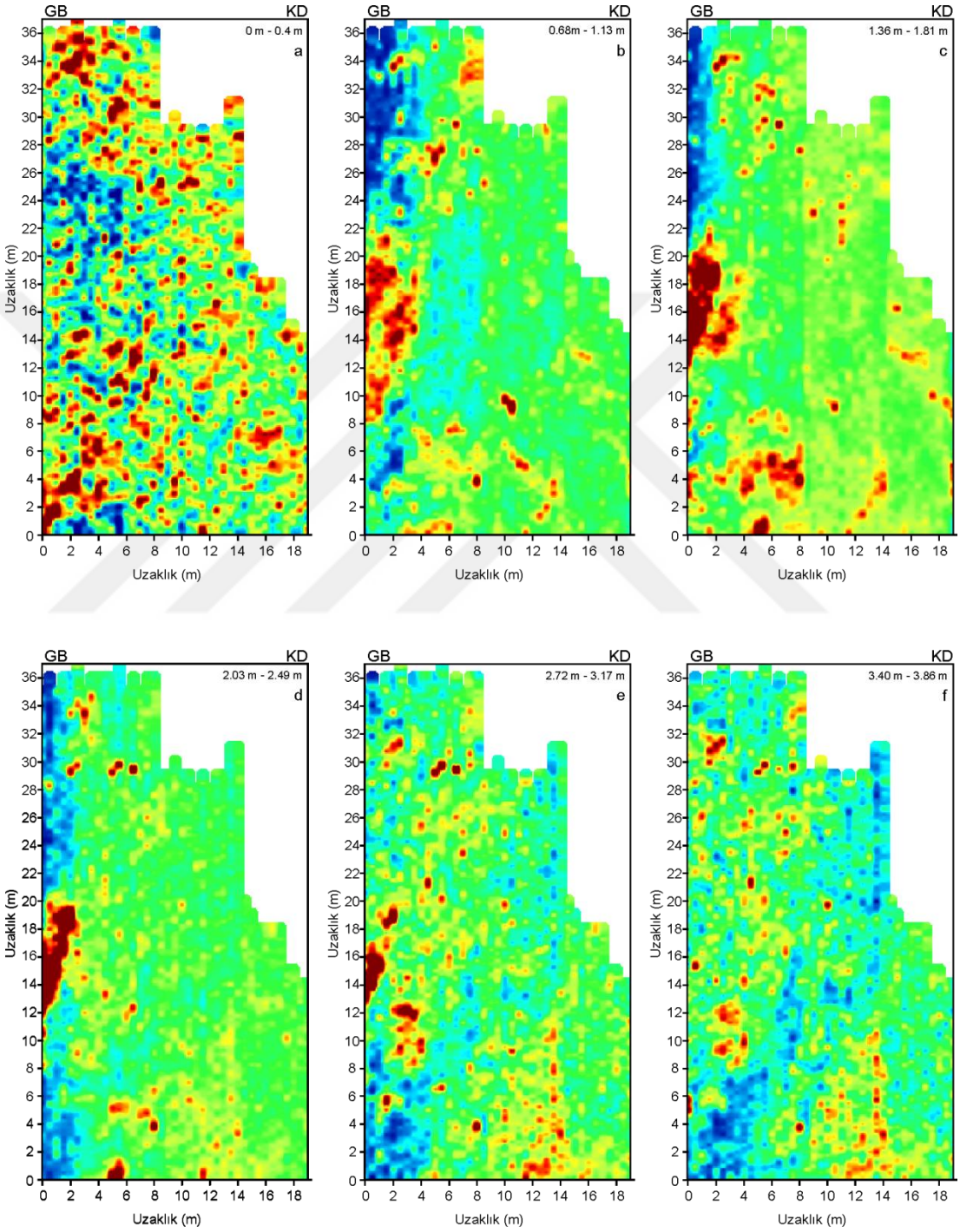
Alan 2, çalışma alanı, Aediculus Bazilikasının doğusunda konumlanmış ve yaklaşık olarak 500 m²'lik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 5.13'de bu alanda gerçekleştirilen yer radarı çalışmasının ölçüm profillerini göstermektedir. Çalışma, yaklaşık GB-KD doğrultulu 40 profil üzerinde gerçekleştirilirken, ilk 17 profilde 595 m, sonraki 12 profilde 360 m ve son 11 profilde de 180 m uzunluğunda yansıma kaydı alınmıştır. Yani toplam yansıma kaydı yaklaşık olarak 1135 m'dir. Toplanan veri kümeleri 500 MHz merkez frekansına sahip kapalı bir anten sistemi kullanılarak profiller arası 0.5 m, iz aralığı 5 cm ve zaman penceresi ise 80 ns olacak şekilde toplanmıştır. Değerlendirme yapılırken arka plan etkisinin giderilmesi gibi temel veri işlem tekniklerinden kazanç, bant geçişli süzgeç (200–830 MHz) filtreleri uygulanmıştır (GPR-SLICE v7.0).



Şekil 5.13 Alan 2 yer radarı ölçüm profilleri. Yeşil ve kırmızı noktalar sırasıyla profil başlangıç ve bitişlerini göstermektedir.

Şekil 5.14, genel olarak 0 – 3,5 m arasında değişen derinlikler için elde edilen yeraltı görüntülerini sunmaktadır. Çalışma alanına bakıldığında Şekil 5.14b 'de görüldüğü gibi bazilikayla sınır profillerinde 0.68 – 1.13 m derinliğinde yaklaşık boyu 10 m, eni ise yaklaşık 3 m büyüklüğünde dirençli bir ortam gözükmektedir. Bu dirençli ortam 0.70 m den başlayıp 2.70 m kadar devam

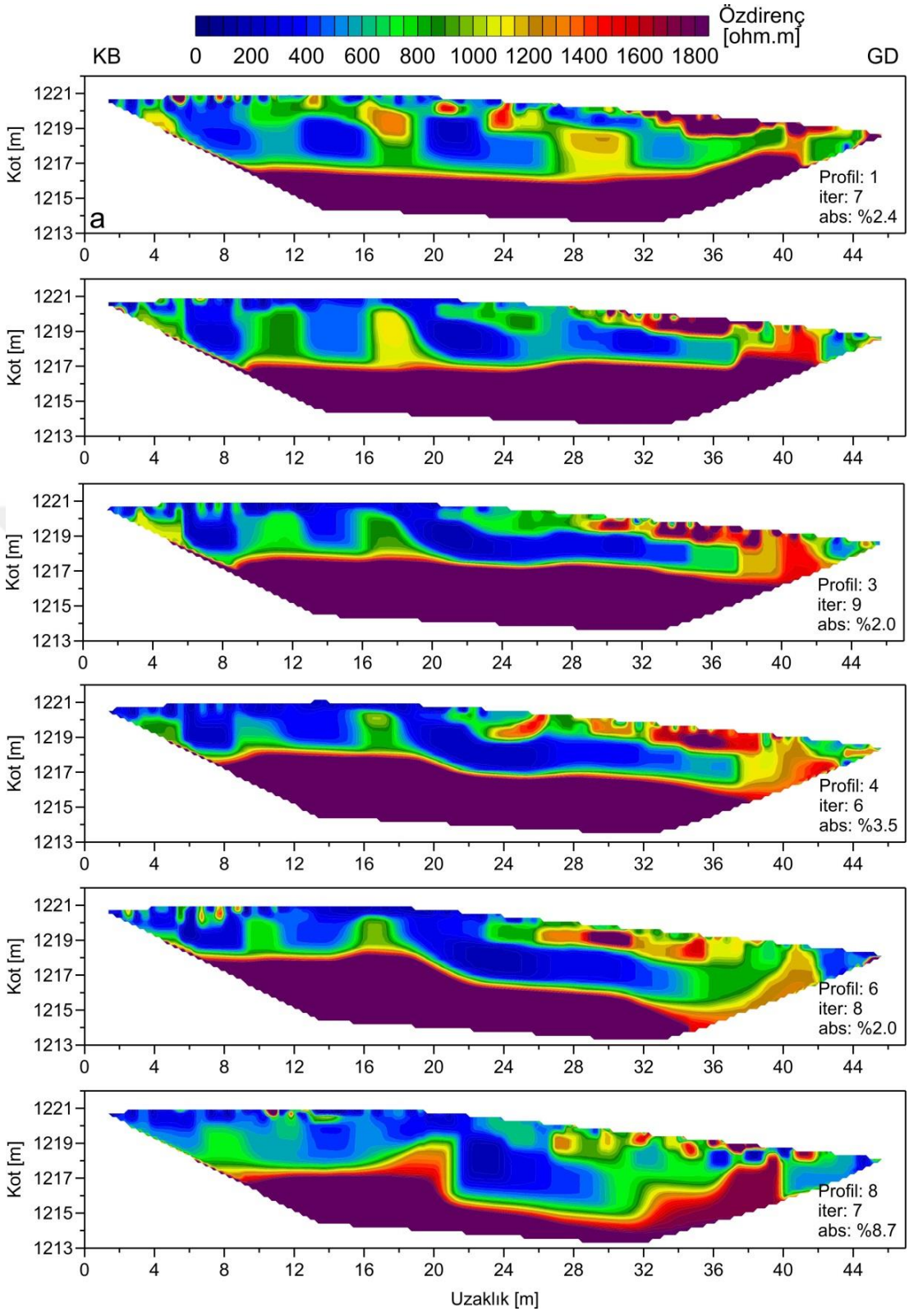
ettiği düşünüldüğünde ve ayrıca bazilikaya yakın olduğu görüldüğünde bunun bazilikanın olası arkeolojik yapı kalıntılarının (oda, duvar vb.) bir parçası olduğu varsayılabilir. Ayrıca Şekil 5.14c'de güney tarafta 1.36 m – 1.81 m derinlikte dikkat çekici belirtiler vardır.



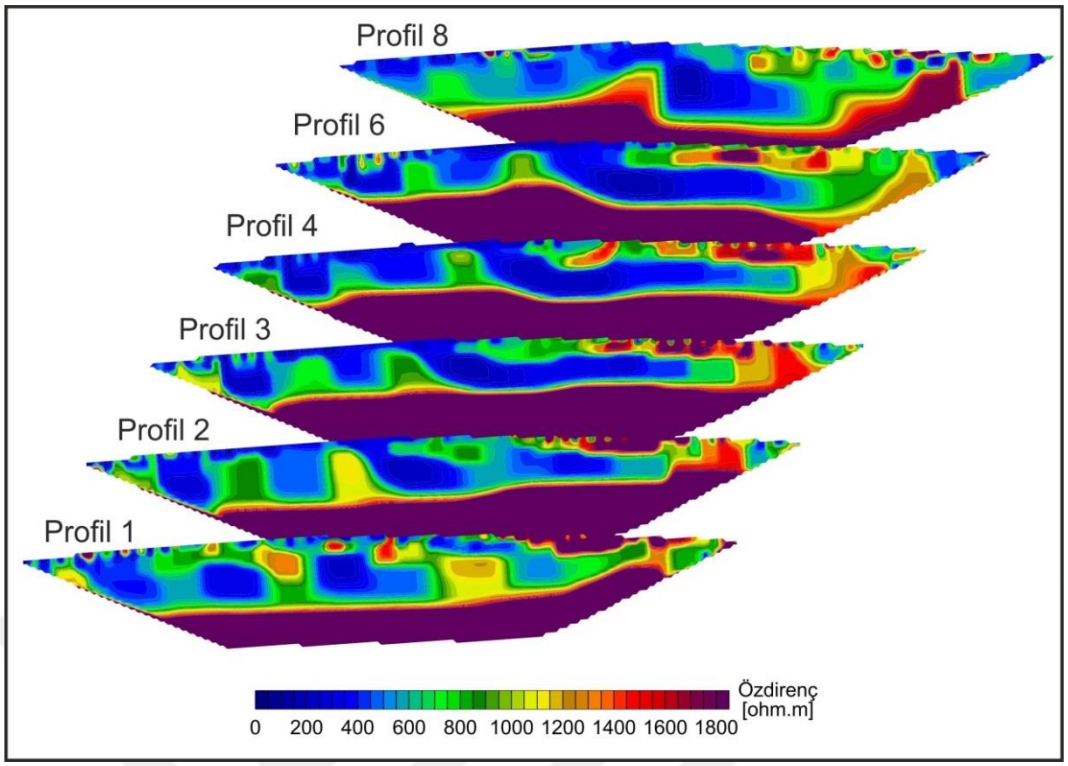
Şekil 5.14. Alan 2 yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri a) 0–0.4 m b) 0.6–1.1 m c) 1.3–1.8 m d) 2.0–2.3 m e) 2.7–3.1 m f) 3.4–3.8 m

Bu alanda elektrik özdirenç çalışmasında sondaj-profil ölçüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Görünür özdirenç verileri Dipol-Dipol elektrot dizilimiyle KB-KD doğrultulu 6 profil üzerinde toplanmıştır. Dipol-Dipol elektrot dizilimi, genel olarak, yanal yöndeki değişimlere daha duyarlı olduğundan daha fazla ölçüm noktası dikkate alınır. Bu yüzden, arkeoloji jeofiziği çalışmalarında en çok tercih edilen dizilim çeşitidir. Uygulamada elektrotlar ve profiller arası uzaklık 1 m olarak seçilmiştir.4. profilden sonra arazi koşulları nedeniyle 2 profil arası mesafe 2 m alınmıştır. Toplanan veriler L1 normu (robust) dikkate alınarak iki (2B) ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir (Geotomo software 2006a, b). Elde edilen elektrik özdirenç tomografi (EÖT) kesitleri sırasıyla profiller 1–6 için Şekil 5.15'de sunulmuştur. EÖT kesitleri %1.8 ile %8.7 arasında değişen mutlak hata yüzdeleri (absolute, abs) ile 6-8 iterasyon arasında elde edilmiştir. Durdurma ölçütü olarak ardışık iki iterasyon arasındaki %5 hata yüzdesi dikkate alınmıştır.

Sunulan EÖT kesitleri dikkate alındığında, Alan 1, genel olarak 50–3500 ohm.m arasında değişen özdirenç dağılımı göstermektedir. Tomogramlar ise 50–1800 ohm.m arasında değişen bir renk skalasında sunulmuştur. Buna göre, bu alan için >1500 ohmm ile temsil edilebilecek arkeolojik yapı kalıntıları <800 ohm.m özdirenç dağılımına sahip bir ortam içerisinde bulunmaktadır. Tomogramlarda yüksek özdirenç gösteren belirtiler genel olarak 3 m derinlikte ve bazilika yapısına yakın olan bölgede gözlemlenmektedir. İlk 2 EÖT kesitinde bu belirtiler tüm profil boyunca gözlemlenirken 1 ve 2. profillerde ise bu belirtiler yaklaşık olarak profillerin başlangıcından 16–20 m uzunluğundaki bir bölgede gözlemlenmektedir. EÖT kesitlerinde gözlemlenen bir diğer önemli belirti ise 3, 4 v 6. profillerde 8m genişliğindedir ve yukarıda değinilen belirtilere göre görece daha yüksek özdirenç değerleri (~1500–1800 ohm.m) ile temsil edilmektedir. Genel olarak, diğer çalışma alanlarına göre Alan 2 de farklılık gösteren anolmaliler daha az gözlenmiştir. Şekil 5.16'da görüldüğü üzere profillerin tümünde yüksek özdirenç sahip bir yapı taban seviyeleri görülmüştür. Taban seviyeleri ortam kayaçlarından oluştuğu ve yaklaşık olarak 4 m derinlikte olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.15. Alan 2, profiller 1, 2, 3, 4, 6 ve 8 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



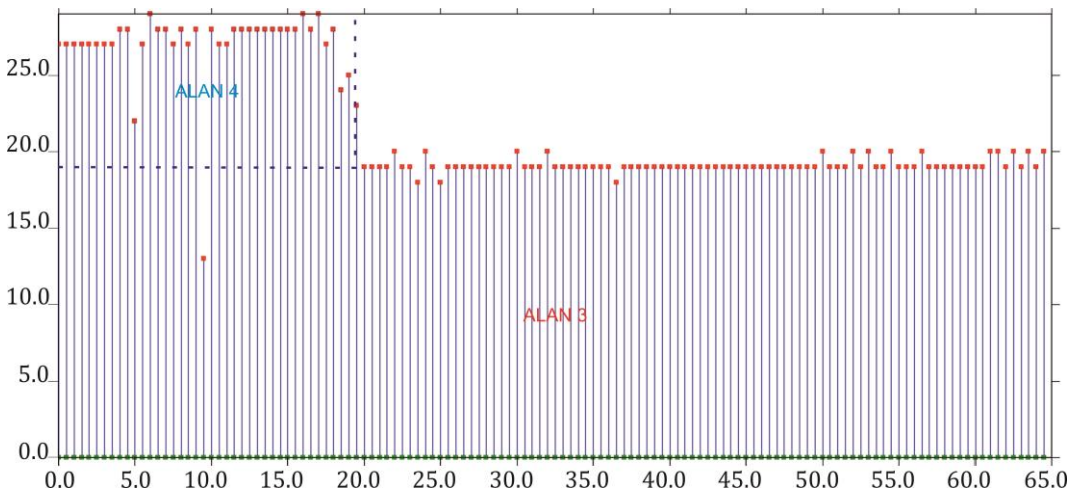
Şekil 5.16. Alan 2, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri



Şekil 5.17. Alan 2'de yapılan uygulamalardan bazı fotoğraflar

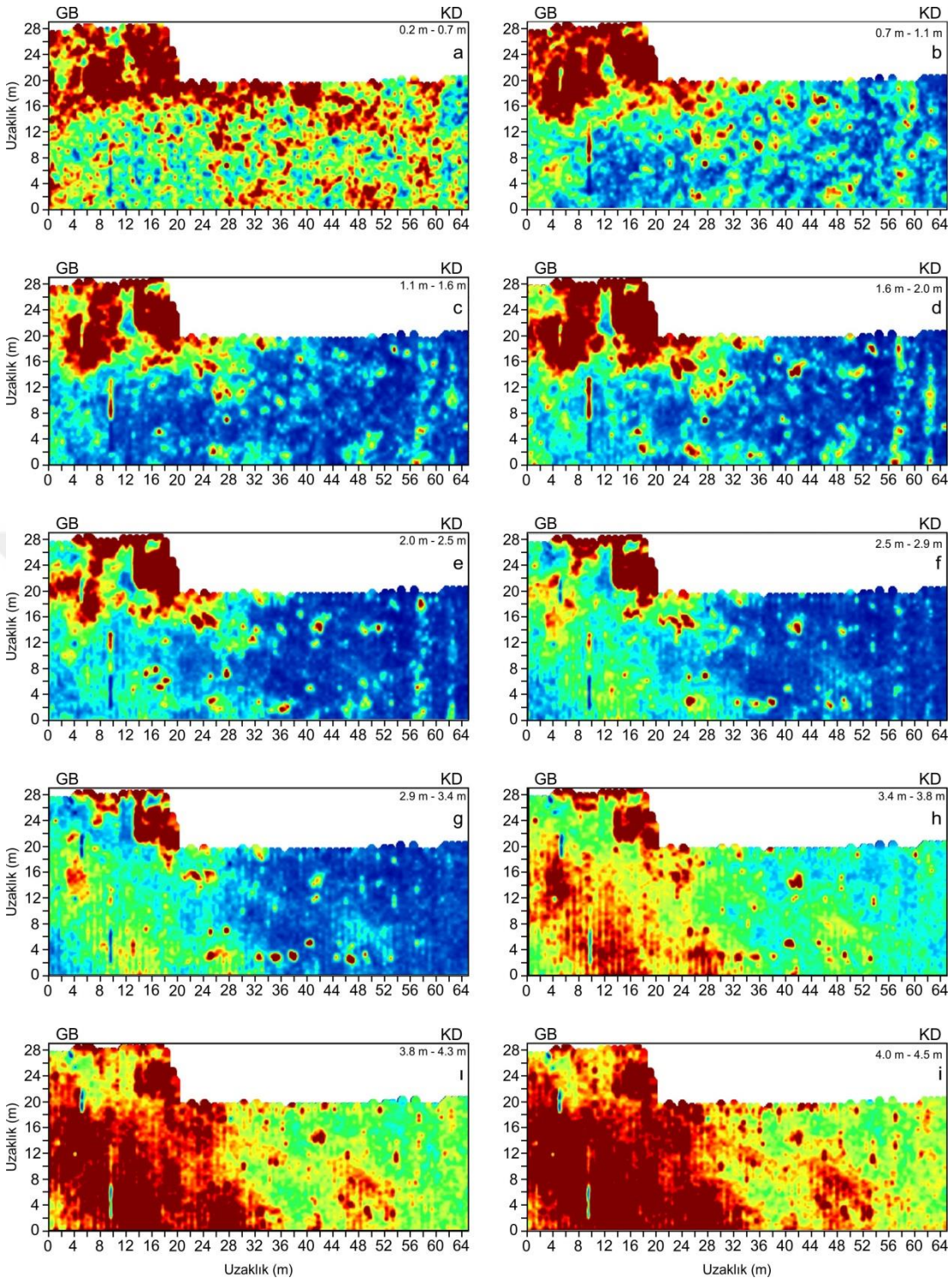
5.4 Alan 3 ve Alan 4 Sonuçları

Alan 3 ve Alan 4, çalışma alanı, Aediculus Bazilikasının doğusunda konumlanmış ve yaklaşık olarak 1350 m2'lik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 5.18'de bu alanda gerçekleştirilen yer radarı çalışmasının ölçüm profillerini göstermektedir. Çalışma, yaklaşık GB-KD doğrultulu 130 profil üzerinde gerçekleştirilirken, ilk 40 profilde 1120 m, sonraki 90 profilde 1600 m uzunluğunda yansıma kaydı alınmıştır. Toplam yansıma kaydı yaklaşık olarak 2720 m'dir. Yer radarı çalışmaları EÖT çalışmalarına göre arazi koşullarında daha kolay uygulanabilmektedir. Buna binaen yer radarı uygulamasında Alan 3 ve Alan 4 ü birleştirerek tek bir alanmış gibi değerlendirme yapılmıştır. EÖT çalışmasında ise profil boylarının farklı olmasından dolayı kesit üzerinde değerlendirme yapılması daha kolay olacağı düşünüldüğünden alanlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Şekil 5.18'de mavi renkli kesikli çizgili kısım Alan 4 olarak değerlendirmeye alınmıştır. Alan 3 ve Alan 4 deki ölçüm profilleri Şekil 5.18'de gösterilmektedir. Yer radarında toplanan veri kümeleri 500 MHz merkez frekansına sahip kapalı bir anten sistemi kullanılarak profiller arası 0.5 m, iz aralığı 5 cm ve zaman penceresi ise 80 ns olacak şekilde toplanmıştır. Değerlendirme yapılırken arka plan etkisinin giderilmesi gibi temel veri işlem tekniklerinden kazanç, bant geçişli süzgeç (200–830 MHz) filtreleri uygulanmıştır (GPR-SLICE v7.0).

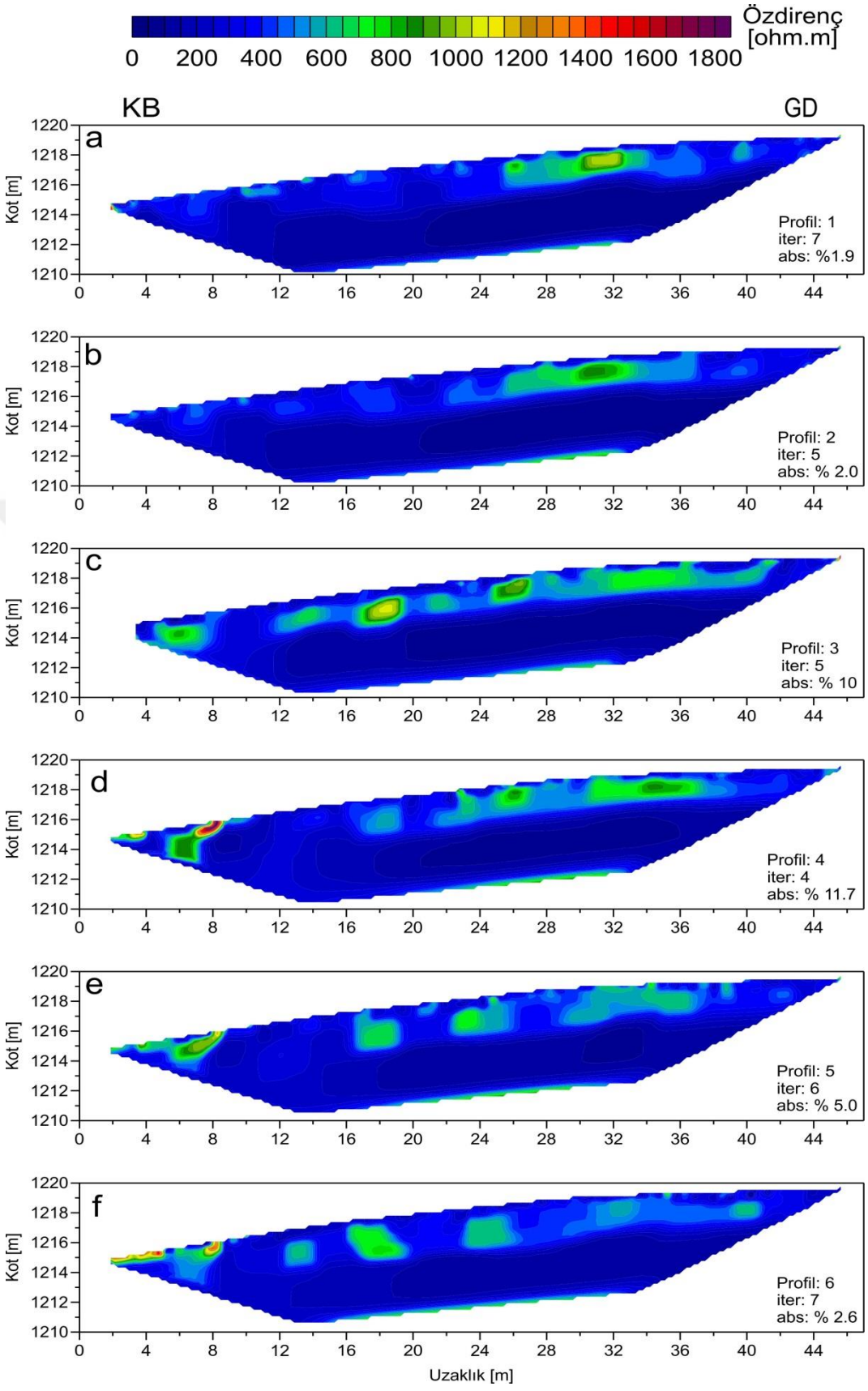


Şekil 5.18. Alan 3 ve Alan 4 yer radarı ölçüm profilleri. Yeşil ve kırmızı noktalar sırasıyla profil başlangıç ve bitişlerini göstermektedir.

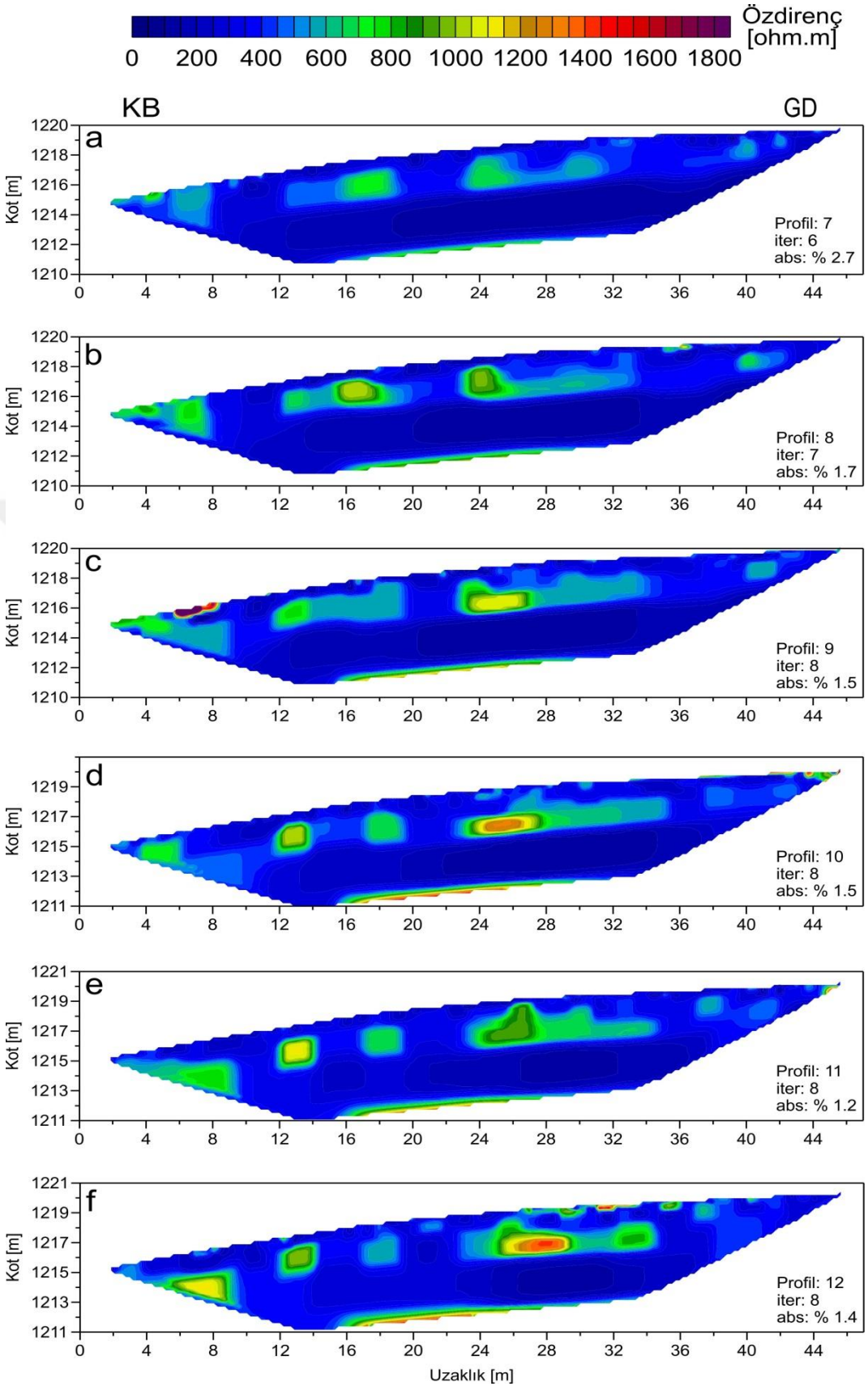
Alan 3 ve Alan 4 değerledirildiğinde Şekil 5.19'daki yer radarı kesitlerinde görüldüğü gibi 0 – 4 m arasında değişen derinlik kesitleri elde edilmiştir. Şekil 5.19a 'da 0.2 – 0.7 m derinlik kesitine bakılığında ilk 40 profilinin 16 – 28 m arası çok yoğun anomali gözlenmektedir. Bazilikanın güney sınırıyla anomaliler Şekil 5.19b, Şekil 5.19c ve Şekil 5.19d kesitinde de görüldüğü üzer 0.2 – 2 m derinliğe kadar devam etmektedir. Diğer dikkat çekici bir alan ise 56. ile 62. Profiller arasında güney-kuzey isitikametli birbirine parel 2 yapı göze çarpmaktadır. Şekil 5.19c de gösterilen 1.1 m –1.8 m derinlik kesiti ile Şekil 5.19e'de gösterilen 2.0 m – 2.5 m derinlik kesitinde de izler görülmektedir. Genel olarak yer radarı görüntülerine bakıldığında her iki alan içerisinde de olası arkeolojik yapı kalıntılarının (oda, duvar vb.) bir parçası olduğu varsayılabilir. Bu verilerden anlaşılacağı üzere bazilika ya yakın kısımlarda belirtiler daha net ve yoğundur.



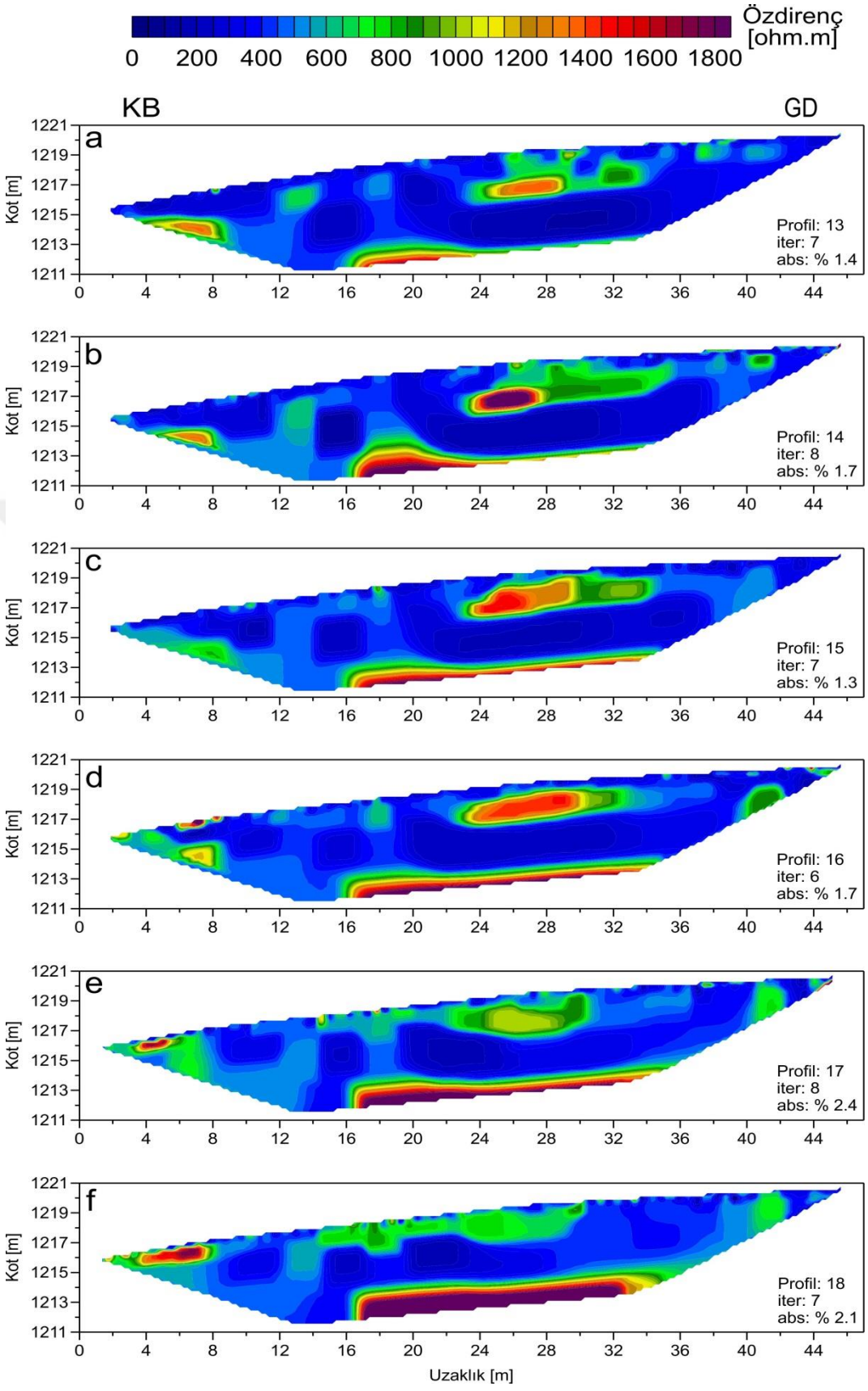
Şekil 5.19. Alan 3 ve Alan 4 yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri a) 0.2–0.7 m b) 0.7–1.1 m c) 1.1–1.6 m d) 1.6–2.0 m e) 2.0–2.5 m f) 2.5–2.9 m g)2.9–3.4 m h) 3.4–3.8 m ı) 3.8–4.3 m ı) 4 –4.5 m



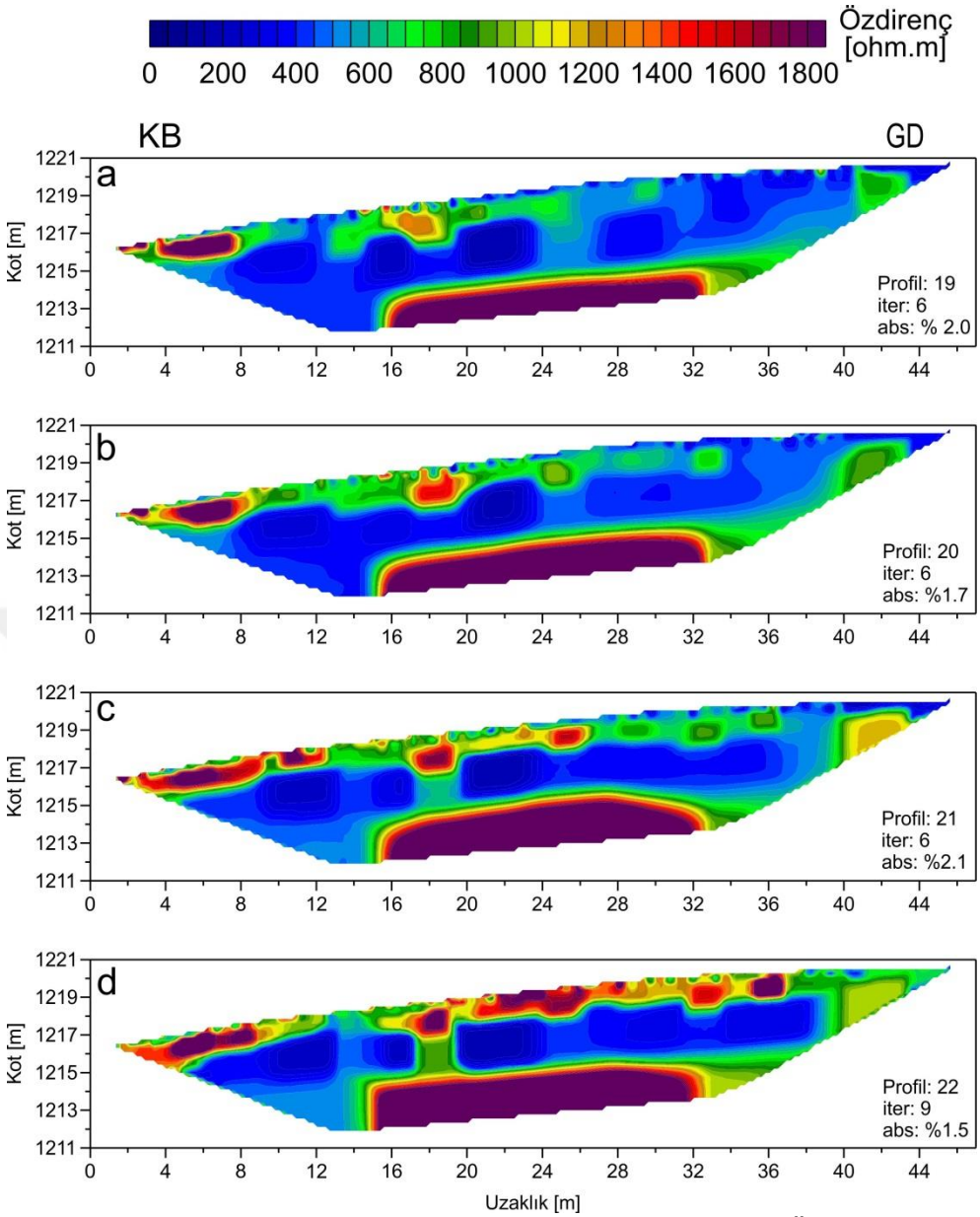
Şekil 5.20. Alan 3, profiller 1-6 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Alan 3, profiller 7-12 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Alan 3, profiller 13-18 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.

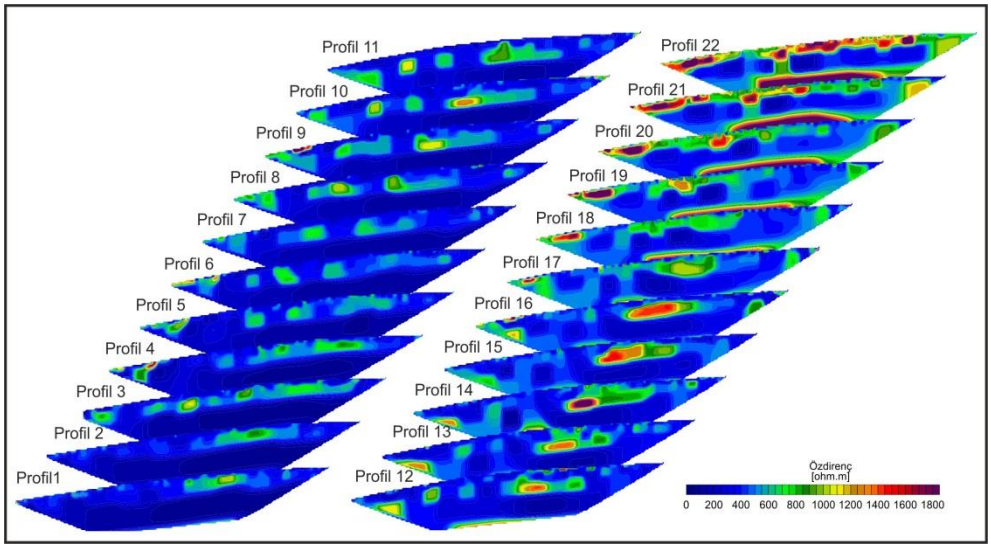


Şekil 5.23. Alan 3, profiller 19–22 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.

Alan 3 de elektrik özdirenç çalışmasında diğer alanlarda olduğu gibi burada da sondaj-profil ölçüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Görünür özdirenç verileri Dipol-Dipol elektrot dizilimiyle KB-GD doğrultulu 22 profil üzerinde toplanmıştır. Elektrot dizilimi Dipol-Dipol olarak alınmıştır. Uygulamada elektrotlar ve profiller arası uzaklık 1 m olarak seçilmiştir. Profil boyu ise 47 m dir. Veri toplama aşaması dört farklı seviye için (n=1-4) en fazla 6 dipol aralığı seçilerek gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler L1 normu (robust) dikkate alınarak iki ve üç boyutlu (2B ve 3B) ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir (Geotomo software 2006a, b). Elde edilen elektrik özdirenç tomografi (EÖT)

kesitleri sırasıyla profiller 1–6 için Şekil 5.20'de sunulmuştur. EÖT kesitleri %2.0 ile %11.7 arasında değişen mutlak hata yüzdeleri (absolute, abs) ile 4-7 iterasyon arasında elde edilmiştir. Durdurma ölçütü olarak ardışık iki iterasyon arasındaki %5 hata yüzdesi dikkate alınmıştır.

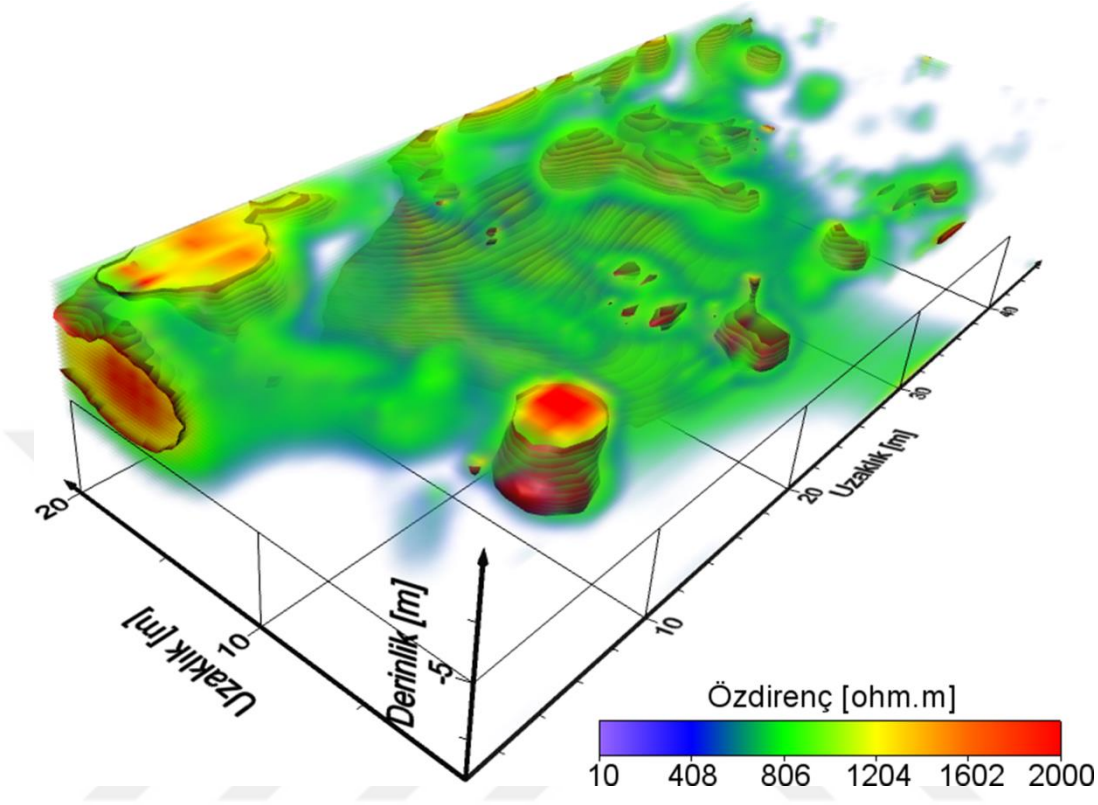
Gösterilen EÖT kesitleri dikkate alındığında, Alan 3, genel olarak 50–3000 ohm.m arasında değişen özdirenç dağılımı göstermektedir. Tomogramlar ise 50–1800 ohm.m arasında değişen bir renk skalasında sunulmuştur. Buna göre, bu alan için >2000 ohmm ile temsil edilebilecek arkeolojik yapı kalıntıları <700 ohm.m özdirenç dağılımına sahip bir ortam içerisinde bulunmaktadır. Tomogramlarda yüksek özdirenç gösteren belirtiler genel olarak 1.5–2 m derinlikte gözlemlenmektedir. Şekil 5.20'de profil 1–4 EÖT kesitinde belirtiler profil başından 32 m ile 36 m arasında özdireci yüksek değerler okunmaya başlanmıştır. İlginç bir anomali de Şekil 5.21a'da 7.profilde 24 m de göze çarpmaktadır. Bu anomali Şekil 5.22'de görüldüğü gibi 17.profil'e kadar devam etmektedir. Şekil 5.23 incelendiğinde profillerde yüksek özdirenç değerlerinin de görüldüğü gözlenmektedir. Düzgün yapıya sahip bu değerler ortam kayaçlarının oluşturduğu taban yapı da olabilir, arkeolojik yapı kalıntılarının (oda, duvar vb.) bir parçası olduğu varsayılabilir.



Şekil 5.24. Alan 3, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri

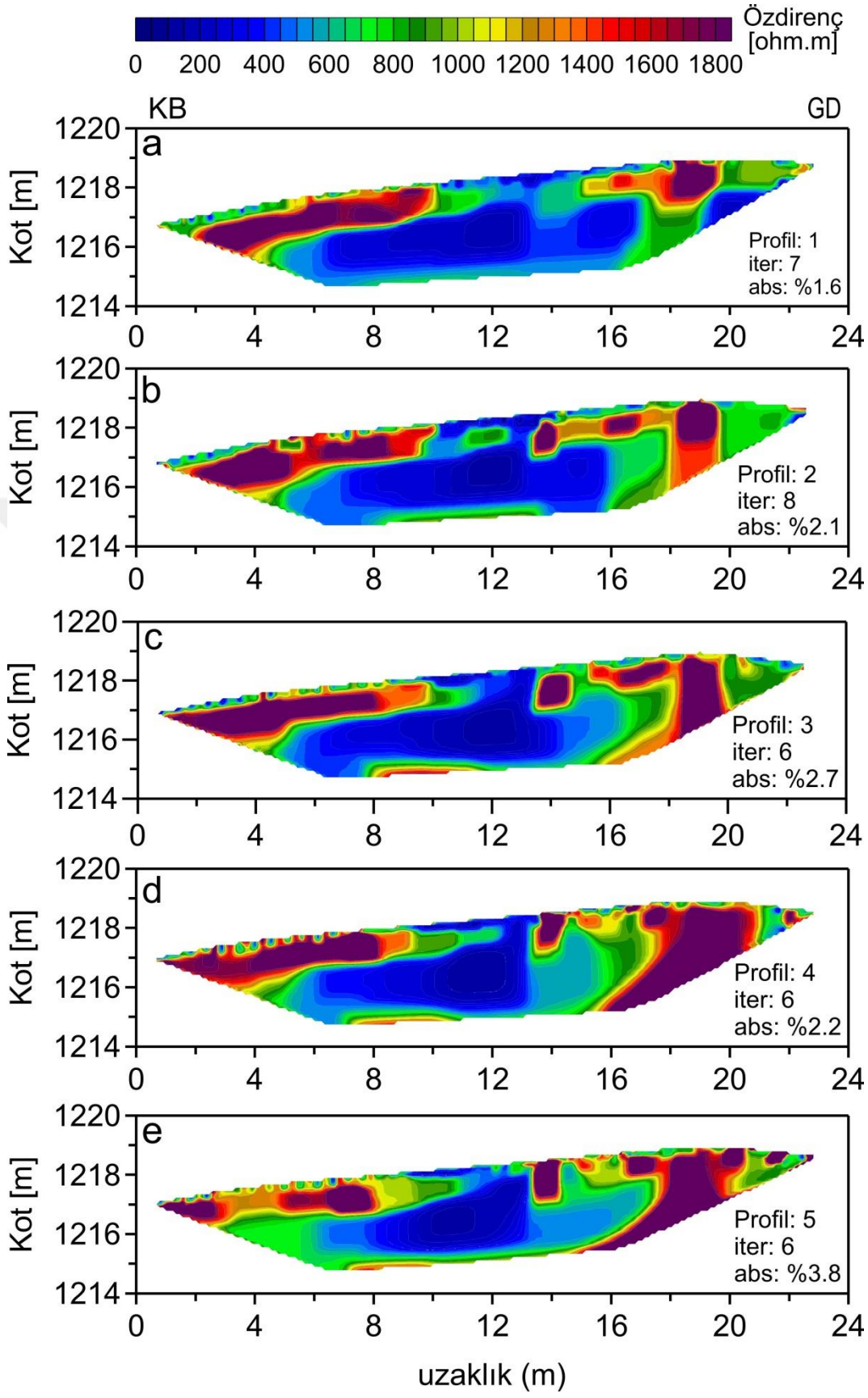
Şekil 5.24'de gösterildiği gibi profiller sırayla bazilikaya doğru yaklaşmakta ve yaklaştıkça özdirenci yüksek değerler ve ortamlar görülmektedir. Sonuç olarak

bazilikanın yakın kısımlarda bazilika'ya ait olduğunu düşünülen arkeolojik yapı kalıntılarının (oda, duvar, havuz, anıt vb.) olduğu varsayılabilir.

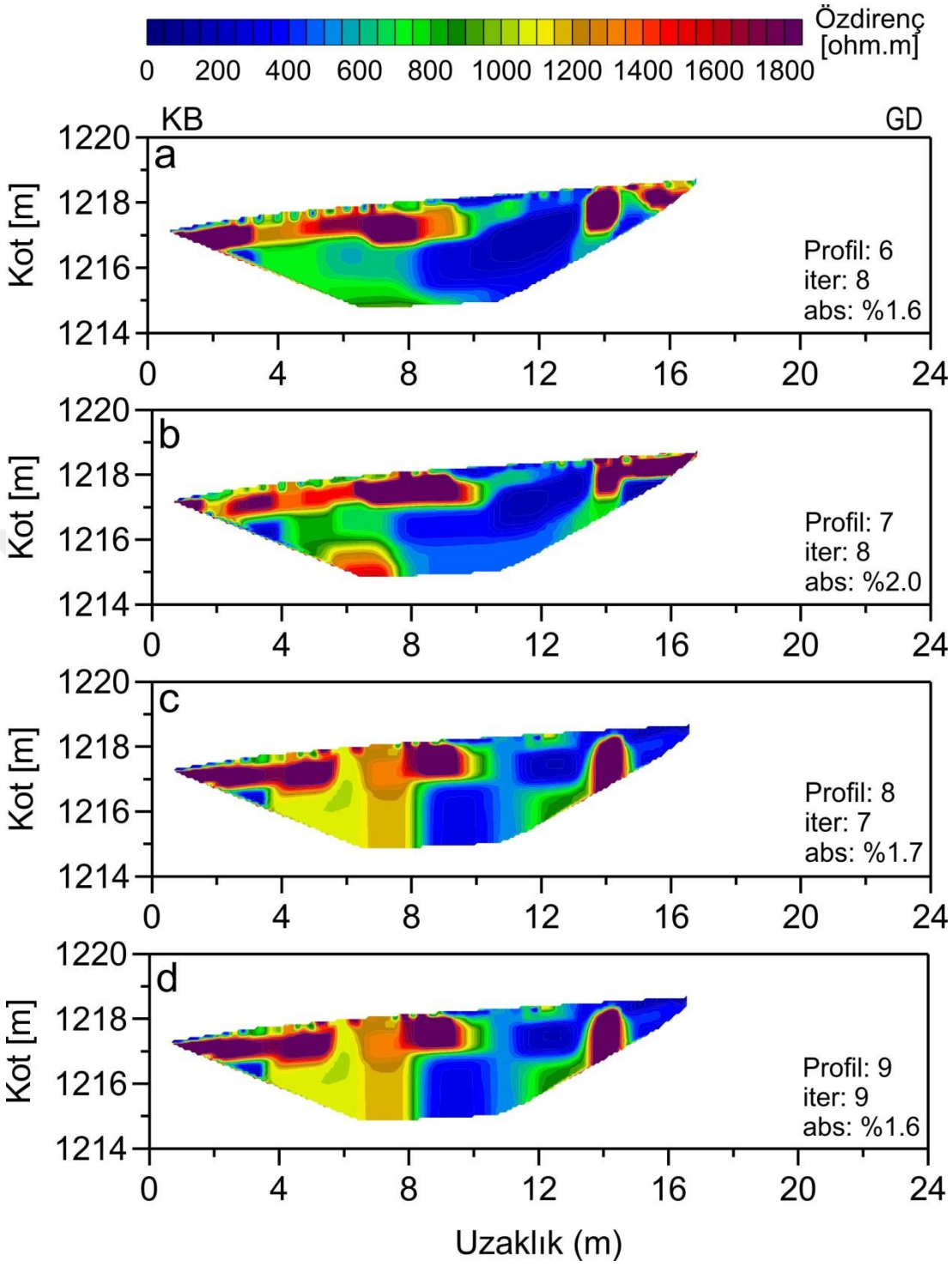


Şekil 5.25. Alan 3 için 3B EÖT değerlendirmesi

Alan 3 EÖT verilerinin 3B ters çözümüyle elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulan görüntü (Voxler v4, deneme sürümü) yer radarı sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Benzer olarak yer radarı derinlik dilimi haritasında da Alan 3 'ün bazilika kısımlarına yakın görülen değişimler Şekil 5.25 de EÖT verisinde görülmektedir. Ayrıca 3B EÖT değerlendirmesinde yataydan 12 m ve düşeyden 10 m görülen silindir şeklinde bir yapı gözükmektedir.



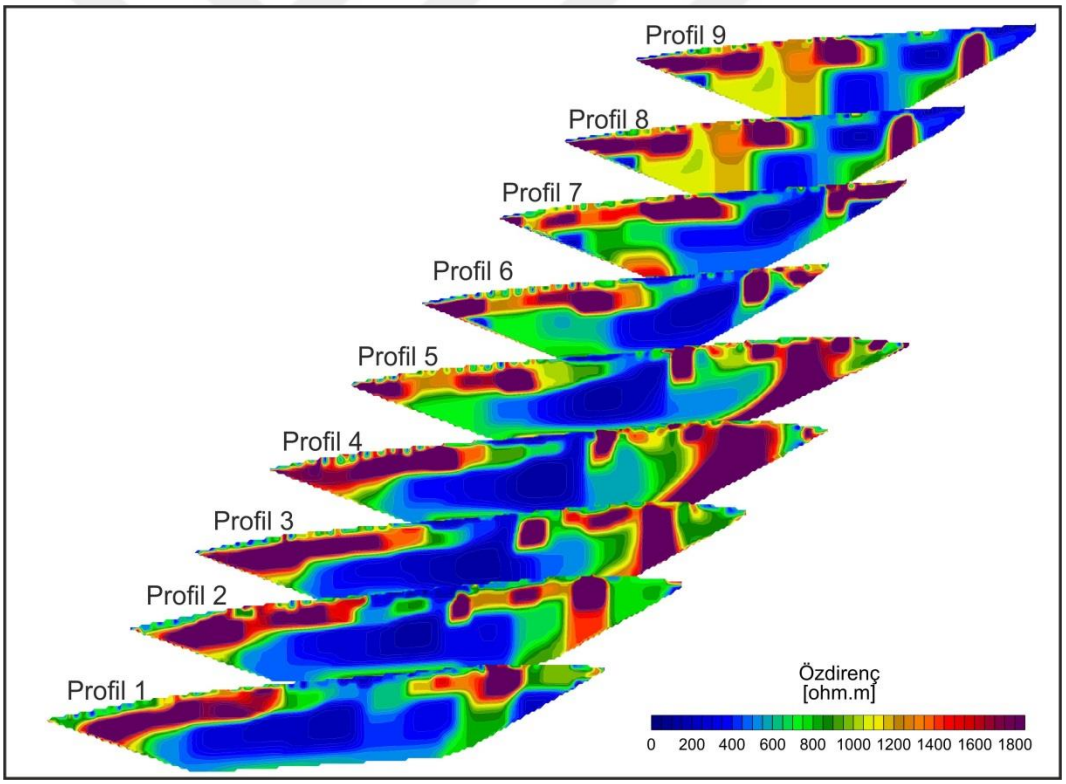
Şekil 5.26. Alan 4, profiller 1-5 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Alan 4, profiller 6-9 için elde edilen EÖT kesitleri. Her bir tomogramın sağ alt köşesinde ters çözüm iterasyon sayıları ve abs (%) değerleri gösterilmiştir.

Alan 4 de elektrik özdirenç çalışmasında diğer alanlarda olduğu gibi burada da sondaj-profil ölçüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Görünür özdirenç verileri Dipol-Dipol elektrot dizilimiyle KB-GD doğrultulu 9 profil üzerinde toplanmıştır.

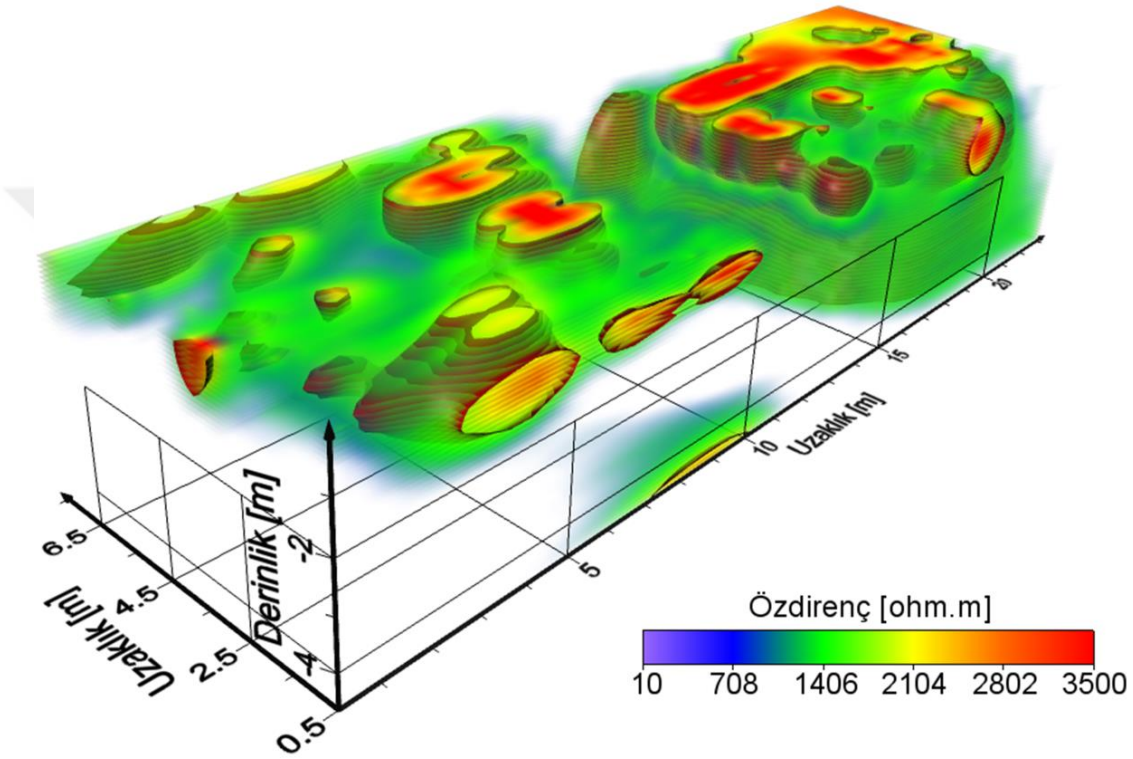
Elektrot dizilimi Dipol-Dipol olarak alınmıştır. Uygulamada elektrotlar ve profiller arası uzaklık 1 m olarak seçilmiştir. Profil boyu ise 1 ile 5. Profiller arası 24 m, 6 ile 9 profiller arası 16 m dir. Toplanan veriler L1 normu (robust) dikkate alınarak iki ve üç boyutlu (2B ve 3B) ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir (Geotomo software 2006a, b). Elde edilen elektrik özdirenç tomografi (EÖT) kesitleri sırasıyla profiller 1–5 için Şekil 5.26'da sunulmuştur. EÖT kesitleri %1.6 ile %38 arasında değişen mutlak hata yüzdeleri (absolute, abs) ile 6-8 iterasyon arasında elde edilmiştir. Durdurma ölçütü olarak ardışık iki iterasyon arasındaki %5 hata yüzdesi dikkate alınmıştır. Aslında Alan 4, Alan 3 ün devamı gibidir. Veri işlem aşamasında düzgün değerlendirme yapılması 2B ve 3B boyutlu düzgün bir değerlendirme yapılabilmesi için ayrılmıştır.



Şekil 5.28. Alan 4, tüm profiller için elde edilen EÖT kesitleri

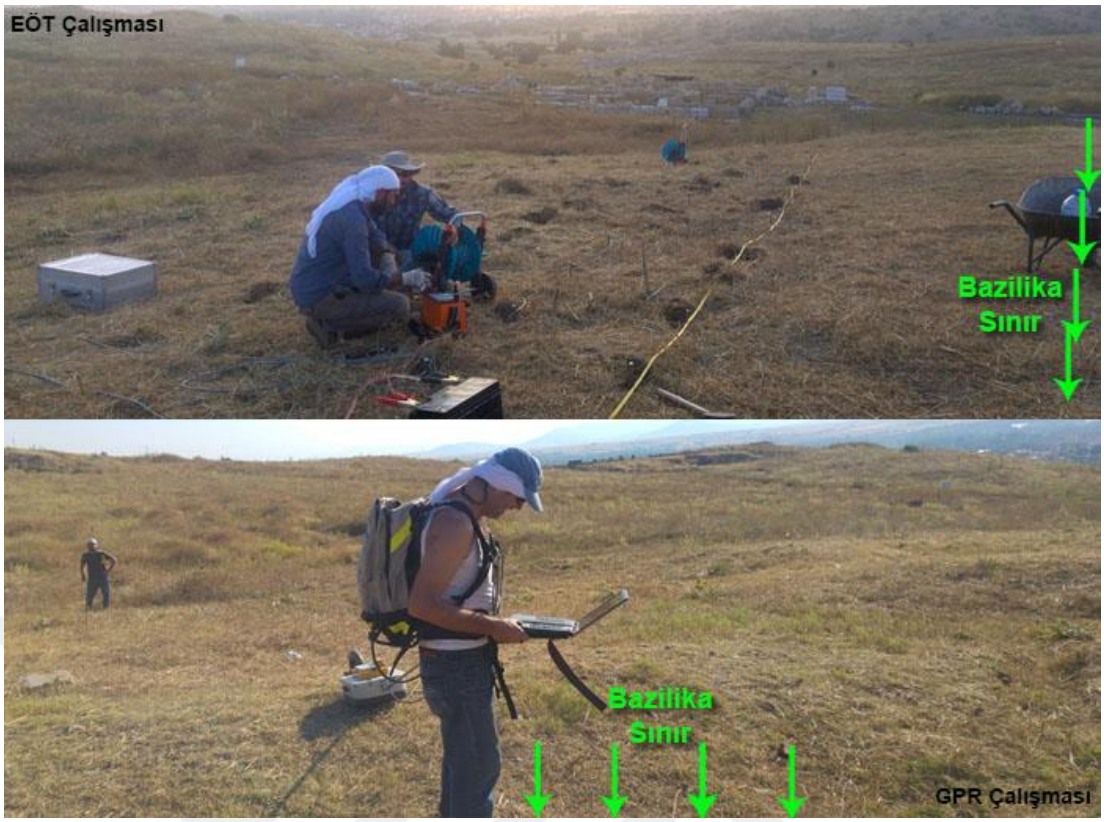
Gösterilen EÖT kesitleri dikkate alındığında, Alan 4, genel olarak 50–4000 ohm.m arasında değişen özdirenç dağılımı göstermektedir. Tomogramlar ise 50–1800 ohm.m arasında değişen bir renk skalasında sunulmuştur. Buna göre, bu alan için >2000 ohmm ile temsil edilebilecek arkeolojik yapı kalıntıları

<700ohm.m özdirenç dağılımına sahip bir ortam içerisinde bulunmaktadır. Şekil 5.27'deki tüm kesitlerde görüldüğü gibi profillerde yatay düzlemde 0 – 10 m kadar kısımda yaklaşık olarak 2 m derinliklerde net olarak özdirenç değeri yüksek okunan veriler bulunmaktadır. Bu verilerden oluşurulan 3B değenlendirilmeye bakıldığında bunların düzgün yapıların arkeolojik kalıntıları olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 5.29. Alan 3 için 3B EÖT değerlendirmesi

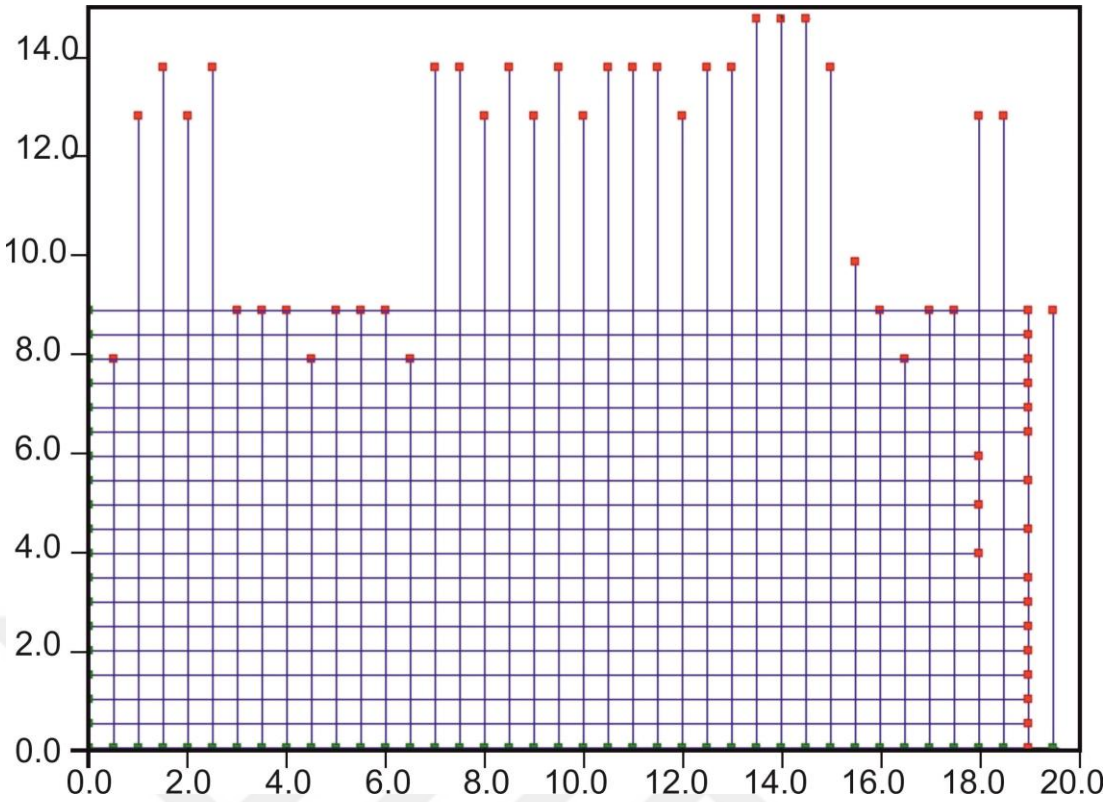
Alan 4 de dikkat çeken diğer veri ise profillerde yatay yönde 14 m görülen (Şekil 5.26a,b,c,d,e ve Şekil 5.27a,b,c,d) yüzeyden başlayıp derine doğru yaklaşık 2 m giden diğer bir yapı olduğu görülmektedir. Şekil 5.19'da gösterilen yer radarı c,d ve e derinlik kesitine bakıldığında görülen yapıların Şekil 5.29 EÖT 3B modellemesindeki yapılarla örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.30. Alan 3 ve Alan 4'de yapılan uygulamalardan bazı fotoğraflar

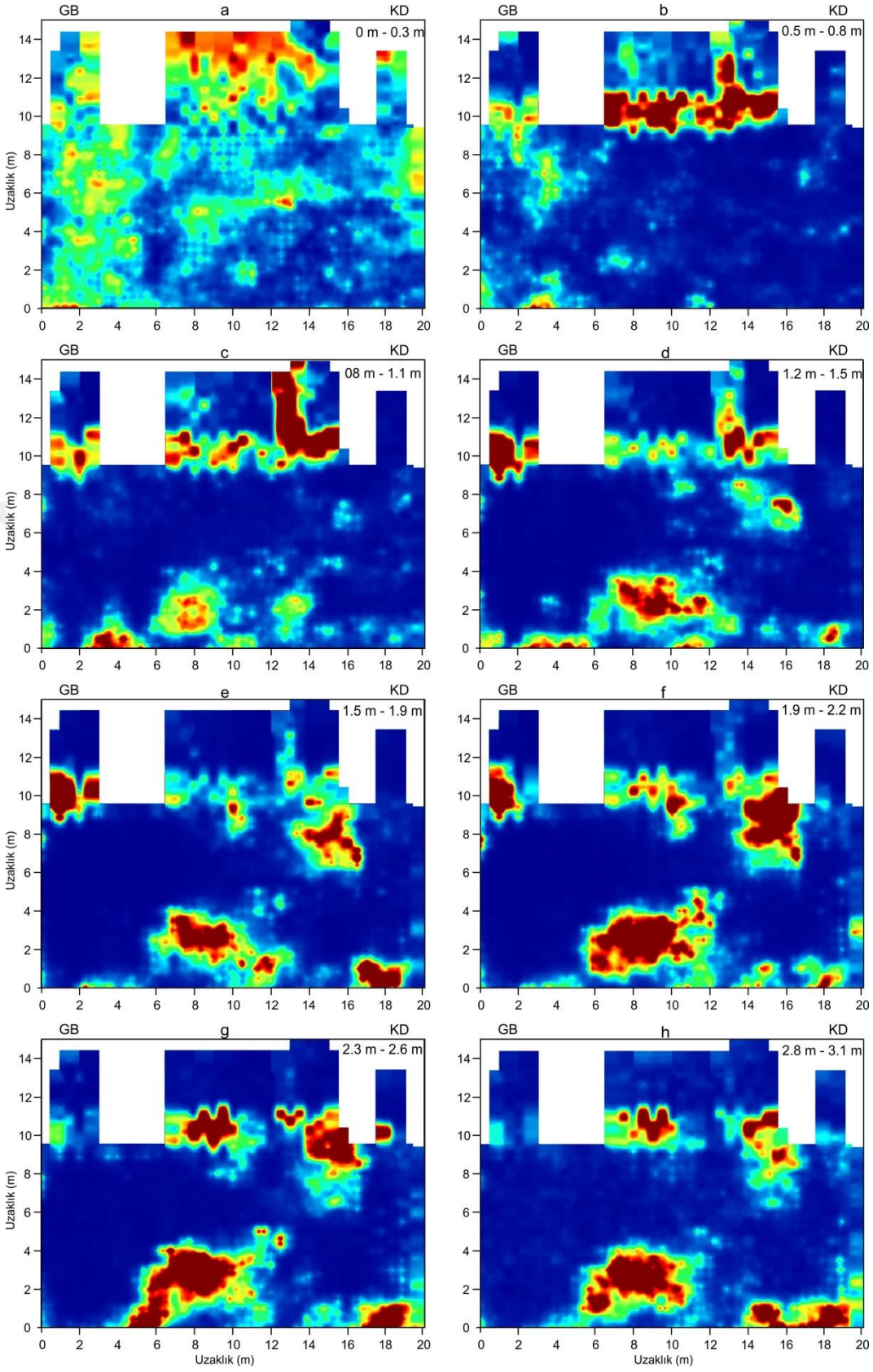
5.5 Alan 5 Sonuçları

Alan 5 çalışma alanı, Aediculus Bazilikasının tam içinde konumlanmış ve yaklaşık olarak 140 m2'lik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 5.31'de bu alanda gerçekleştirilen yer radarı çalışmasının ölçüm profillerini gösterilmektedir.



Şekil 5.31. Alan 1 yer radarı ölçüm profilleri. Yeşil ve kırmızı noktalar sırasıyla profil başlangıç ve bitişlerini göstermektedir.

Çalışma, yaklaşık GB-KD doğrultulu ve KB-GD doğrultulu olarak 58 profil üzerinde gerçekleştirilirken, ilk 40 profilde 560 m, sonraki 18 profilde 280 m ve uzunluğunda yansıma kaydı alınmıştır. Yani toplam yansıma kaydı yaklaşık olarak 840 m dir. Toplanan veri kümeleri 500 MHz merkez frekansına sahip kapalı bir anten sistemi kullanılarak profiller arası 0.5 m iz aralığı 5 cm ve zaman penceresi ise 80 ns olacak şekilde toplanmıştır. Değerlendirme yapılırken arka plan etkisinin giderilmesi gibi temel veri işlem tekniklerinden kazanç, bant geçişli süzgeç (200–830 MHz) filtreleri uygulanmıştır (GPR-SLICE v7.0).



Şekil 5.32. Alan 5 yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle elde edilen derinlik dilimleri a) 0.0–0.3 m b) 0.5–0.8 m c) 0.8–1.1 m d) 1.2–1.5 m e) 1.5–1.9 m f) 1.9–2.2 m g)2.3–2.6 m h) 2.8–3.1 m



Şekil 5.33. Alan 5 içinde yapılan uygulamadan bir kare

Şekil 5.32, genel olarak 0.0 – 3.1 m arasında değişen derinlikler için elde edilen yeraltı radar görüntülerini sunmaktadır. Veri işlemden geçirilmiş kesitlere göre Aediculus bazilikasının çevresinde olduğu gibi iç kısımların altında da bariz belli başlı yapılar gözlenmektedir. Şekil 5.32b derinlik kesitinde görüldü üzere profil başlangıcından düşey yönde 10 m' de, yatay yön de uzunluğu yaklaşık 16 m olan arkeolojik insan yapımı bir yapıya rastlanmıştır. Ayrıca profil başlangıcından düşey yönde 2 m ve yatay yönde 10 m olan noktada 1.2 – 1.5 m (Şekil 5.32d) derinlik kesitinde başlayıp 2.8 – 3.1 m derinlik kesitinde devam eden bir anomali gözükmektedir. Bu anomali boyut olarak 2m eninde 4 m boyunda olduğu tahmin edilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan jeofizik çalışma, Isparta'nın Yalvaç ilçesinde bulunan Pisidia Antiokheia antik kentinde gerçekleştirilmiştir. Antik kentin kuzeyinde yer alan Aediculus Bazilikası'nın kuzeyinde, güneyinde, doğusunda ve içinde olmak üzere 5 alan da yer radarı ve EÖT çalışması yapılmıştır. Yer radarı uygulamalarında 500 MHz merkez frekansına sahip MALA marka kapalı bir anten sistemi kullanılarak profiller arası 0.5 m, iz aralığı 5 cm ve zaman penceresi ise 80 ns olacak şekilde veriler toplanmıştır. Ayrıca EÖT uygulaması profiller ve elektrotlar arası mesafe 1 m olarak Dipol-Dipol elektrot dizilimi ile gerçekleştirilmiştir.

Bazilika'nın kuzeyinde kalan Alan 1'de yer radarı uygulamasında 90 profil üzerinde gerçekleştirilirken toplamda 1916 m yansıma kaydı alınmıştır. Aynı alan üzerinde EÖT çalışması 48 m uzunluğunda 24 profil ile yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonrası ölçülen değerler veri işlem aşamasından geçip 2B ve 3B görselleri hazırlanmıştır. Bu sonuçlara göre Alan 1 içinde yer radarı 1.3-1.6 m derinlik kesitinde görülen kuvvetli ve düzenli yansımalar bazilika'ya yakın kısımda 45 m × 10 m ebatlarında olası arkeolojik yapı kalıntılarının belirtilerini göstermektedir. Aynı alan içinde gerçekleştirilen elektrik özdirenç çalışmasından elde edilen sonuçlar incelendiğinde yer radarı çalışmasının sonuçlarını desteklediği açıkça görülmüştür.

Bazilika'nın doğusunda kalan Alan 2'de yer radarı uygulamasında 40 profil üzerinde yaklaşık 1135 m yansıma kaydı alınmıştır. EÖT çalışması ise 6 profil üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı fiziksel temele dayanan her iki yöntemden elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, bu alanın Aeidiculus bazilikasının apsisine yakın bölgelerinde yüksek genlik ve özdirenç değerleri sunan belirtiler elde edilmiştir. Bu belirtiler, yer radarının araştırma sonuçlarına göre yaklaşık olarak 1 m derinlik seviyelerinden başlamakta ve 3 m derinlik seviyesine değin uzanmaktadır (bkz. Şekil 5.14b). EÖT kesitleri de yer radarı sonuçlarını desteklemektedir.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen alanlar arasında Bazilika'nın güney kısmında yer alan Alan 3 ve Alan 4 de de umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle Alan 4'te hem yer radarı hem de EÖT kesitlerinde düzenli bir geometri sunan belirtilerin insan yapımı arkeolojik yapılar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Alan 3'te her iki yöntemin de bazilikaya yakın bölgelerinde elde edilen belirtiler dikkat çekicidir. Bu bağlamda, özellikle çalışma alanlarının bazilikaya yakın bölgelerinde belirlenen belirtilerin bazilika yapısıyla ilgisinin arkeolojik açmalarla ortaya konması gerekmektedir.

Sonuç olarak, Pisidia Antiokheia Antik Kenti'nde yer radarı ve elektrik özdirenç yöntemleriyle tümleşik olarak gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar kentin bu bölümünün de arkeologlar tarafından önemle üzerinde durulması ve kazı çalışmalarıyla aydınlatılması gerekliliğini açıkça ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

Akca İ., Balkaya Ç., Pülz A., Alanyalı H.S., Kaya M.A., "Integrated geophysical investigations to reconstruct the archaeological features in the episcopal district of Side (Antalya, Southern Turkey)", JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS, vol.163, pp.22-30, 2019

Annan, A.P., Waller, W.M., Strangway, D.W., Rossıter, J.R., Redman, J.D., And Watts, R.D., 1975, The Electromagnetic Response Of A Low-Loss, 2-Layer, Dielectric Earth For Horizontal Electric Dipole Excitation. Geophysics, Vol. 40, No. 2, 285-298.

Aspinall, A. and Lynam, J., T., 1986. Induced Polarızation as Technique for Archaeological Surveying. Archaeological Prospection, 3, 91-93.

Atkinson, R.J.C., 1952. Methodes electriques de prospection en arceologie. A. Lamining (ed.), La Decoverte Du Passe, Picard, pp.59-70.

Balkaya Ç., 2010. Karşılıklı kuyu yer radarı verisinin iki boyutlu seyahat zamanı tomografisi. Doktora Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği ABD.

Balkaya, Ç., 2014. Yer radarı yöntemi prensipleri değerlendirme ve uygulamaları. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Kurs Notu, 55 s.

Balkaya Ç., Göktürkler G., 2016. Karşılıklı kuyu yer radarı verilerinin modellenmesi, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 22(6), 581-596

Balkaya Ç., Kalyoncuoğlu Ü.Y., Özhanli M., Merter G., Çakmak O., Güven İ.T., "Ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography studies in the biblical Pisidian Antioch city, southwest Anatolia", ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION, vol.25, pp.285-300, 2018

Başokur, A.,T., 1994. Definitions of Appearent Resistivity for the Presentation of Magneotelluric Sounding Data. Geophysical Prospecting, 42(2), 141-150.

Bhattacharya, P.K. and Patra, H.P., 1968. Direct current geoelectric sounding principles and interpretation. Elsevier Publishing Company (AmsterdamLondon-New York)

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.

Berge, M., A., 2002. Sığ Aramacılıkta Sonlu Farklar Yöntemi ile İki Boyutlu Düz Çözüm Özdirenç Modellemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisans Tezi, 57s, İzmir.

Berge, M.A., Drahor, M.G., 2011. Electrical resistivity tomography investigations of multilayered archaeological settlements: part II - a case from Old Smyrna Höyük, Turkey. Archaeological Prospection, 18, 291-302.

Berge, M.A. ,2011. Elektrik Özdirenç Ters-Çözüm Çok Katmanlı Arkeolojik Yerleşmelerin Görüntülendirilmesi. Doktora Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği ABD, 169s.

Candansayar, M.E. and Basokur, A.T., "Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey", Geophysical Prospecting, 49, 40–58 (2001).

Candansayar, M., E., 2014. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi ve DAÖ Yönteminde Çok Elektrodlu Ölçü Sistemi ile Veri Toplama 2B/3B Ters Çözüm Uygulamaları. Ankara Üniversitesi, JFM316 Elektrik Yöntemler Lisans Notları, 70 s, Ankara.

Corwin, R., F., 1973. Offshore Applications of Self-Potential Prospecting, Ph. D. Dissertation, Uni. of California, Berkeley.

Daniels, J.J., 2004. Ground Penetrating Radar Fundamentals. Appendix to a report to the U.S. EPA, Region V. Ohio State University.

Davis, J. L., and Annan, A. P., 1989. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical prospecting, 37 531-551.

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., 1993*, Arkeolojik Alanların Özdirenç Ve Doğal Gerilim (SP) Yöntemleri İle Araştırılması,* Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

Drahor, M., G., Göktürkler, G., Berge, M., A., Kurtulmuş, Ö., T., 2004. Dört farklı Elektrot Dizilimine Göre Bazı Üç Boyutlu Sığ Yeraltı Yapılarının Görünür Özdirenç Modellemesi. Yerbilimleri, 30 , 115-128.

Drahor, M.G., 2006, Integrated geophysical studies in the upper part of Sardis archaeological site, Turkey. Jornal of Applied Geophysics, 59, 205-223.

Drahor, M.G., Berge, M.A., Kurtulmuş, T.Ö., Hartmann, M., Speidel, M.A., 2008. Magnetic and electrical resistivity tomography investigations in a Roman legionary camp site (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey. Archaeological Prospection, 15, 159-186.

Ekinci, Y.L., and Kaya, M.A., 2007. Three Dimensional Resistivity Imaging of Buried Tombs at the Parion Necropolis (NW Turkey). Journal of the Balkan Geophysical Society, 10 (2), 1-8

Ekinci, Y.L., Kaya, M.A., Başaran, C., Kasapoğlu, H., Demirci, A., and Durgut, C., 2012. Geophysical Imaging Survey in the South Necropolis at the Ancient City of Parion (Kemer-Biga), Northwestern Anatolia, Turkey: Preliminary Results. Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 12 (2), 145-157.

Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Şeren, A., Kaya, M.A., Lightfoot, C., 2014. Geomagnetic and geoelectrical prospection for buried archaeological remains on the upper city of Amorium, a Byzantine city in Midwestern Anatolia, Turkey. Journal of Geophysics and Engineering, 11 (1), 015012.

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

Erek, Y. (2011). Geophysical studies in archeological areas: In example Pisidia Antiocheia (MSc thesis). Isparta, Turkey (in Turkish): Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences.

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.

Golden Software Co, 2019. Voxler V4 Deneme Sürümü Erişim Tarihi 27.08.2019. https://www.goldensoftware.com/products/voxler/trial

Goodman, D., 2009. GPR methods for archaeology. In S. Campana and S. Piro (Eds.). Seeing the Unseen - Geophysics and LandscapeArchaeology, pp. 229-244.

Grégoire, C., Halleux, L., Vervoort, A., 2003. Application of ground penetrating radar in a mining environment. In Mining and Mineral Processing, Sofia, p. 179-183.

Kaya, M. A., Keçeli, D. A., Özyalın, Ş., Uyanık, O., Çınar, K., & Kalyoncuoğlu, Ü. Y. (1997). Archaeogeophysics and an application example: Pisidia Antiocheia. In *Proceedings of the 1st Pisidia Antiocheia Symposium* (pp. 51–68). Turkey: Yalvaç. (in Turkish)

Kaya, M., A., 2007. Arkeoloji Jeofiziği, Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları-2. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 107s, Ankara.

Kaya, M. A., Özürlan, G. and Balkaya, Ç., Determination of Seawater Intrusion by 2D inversion of VES Data: Case of Çanakkale City, 20. The International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey, 25-27 November, (2013).

Kelsey University, 2019. Building a New Rome: The Imperial Colony of Pisidian Antioch. Erişim Tarihi: 09.07.2019. http://www.lsa.umich.edu/kelsey/antioch/

Linington, R., E., 1966. Test Use of a Gravimeter on Etruscan Chamber Tombs at Cerveteri. Archaeological Prospection, 1, 37-41.

Liu, L., Arcone, S.A., 2003. Numerical simulation of the wave-guide effect of the near-surface thin layer on radar wave propagation. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 8, 53-61.

Leucci, G., 2012. Ground penetrating radar: A useful tool for shallow subsurface stratigraphy characterization. In Ö. Elitok (Ed). Stratigraphic Analysis of Layered Deposits, pp. 61-86.

Milsom, J., 2003. Field geophysics (3rd ed.). John Wiley & Sons Ltd., England.

Negri, S. and Leucci, G., 2006. Geophysical İnvestigation of The Temple of Apollo (Hierapolis, Turkey). Journal of Archaeological Science, 33, 11, 1505-1513.

Özhanlı, M. (2009). Excavations at Pisidian Antioch in 2008. ANMED 2009-7, News of archaeology from Anatolia's Mediterranean areas. (pp. 70–74). Istanbul, Turkey: Suna & İnan Kıraç Research Institute on Mediterranean civilizations.

Öztürk Akca, C. (2011). Geoarcheological and new archaeogeopyhsical methods applied at ancient settlements: Psidia Antiocheia example (PhD thesis). Isparta, Turkey: Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences. (in Turkish)

Özürlan, G., Ulugergerli, E.U., 2005. Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler. İstanbul: Birsen Yayın Evi.

Özyalın, Ş., Balkaya Ç. ve Erhan, Z., 2010, Metropolis Antik Kentindeki Tümleşik Jeofizik Çalışmalar: Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara.

Padfield, D. (2008). The Biblical City of Antioch of Pisidia. In Antioch of Pisidia. Retrieved 20 October 2017 from http://www.padfield.com/2008/antioch-of-pisidia.html

Reynolds, J.M, 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Scollar, İ., 1962. Electromagnetic Prospecting Methods in Archaeology. Archaeometry, 5, 146-153.

Smekalova, T. N., Voss, O., & Smekalov, S. L. (2005). Antioch – Roman capital of Pisidia and a biblical town. In T. N. Smekalova, O. Voss, & S. L. Smekalov (Eds.), Magnetic surveying in archaeology. More than 10 years of using the Overhauser GSM-19 gradiometer (pp. 37–39). Saint Petersburg, Russia: Polytechnic University.

Stern, W., 1929. Versuch Einer Electrodynamischer Dickenmessung von Gletschereis, Ger. Beitrzur Geophysic, 23, 292-333.

Stern, W., Grundlagen, U., 1930. Methodik und Bisherige Ergebnisse Elektrodynamischer Dickenmessung von Gletschereis, Z. Gletscherkunde, 15, 24-42.

Turkish Archaeological News (TAN). (2017). Antioch of Pisidia. Retrieved 20 October 2017 from http://turkisharchaeonews.net/site/antioch-pisidia

Tsokas, G.N., Giannopoulos, A., Tsourlos, P., Vargemezis, 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.

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.

Turkish Archaeological News (TAN). (2017). Antioch of Pisidia. Retrieved 20 October 2017 from http://turkisharchaeonews.net/site/antioch-pisidia

Yaramancı, A., 1970. Keban Projesi Jeofizik Araştırmaları Ön Raporu, 1968 Yaz Çalışmaları, ODTÜ Keban Projesi Yayınları, 1(1), Türk Tarih Kurumu Basımevi, 13-19, Ankara.

Yilmaz S., Öksüm E., Cakmak O., Doğan O., Tekelioğlu E., "Preliminary results of an integrated archaeo-geophysical survey on the basis of ancient finds unearthed by an illegal excavation at Kılıç Ören site (Isparta, Turkey)", ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION, vol.25, pp.197-207, 2018

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.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Mehmet Metin ÜNYAY

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1980

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : metinunyay@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise İzmir Hoca Ahmet Yesevi Lisesi, 1998

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği

Mesleki Deneyim

SDÜ Bilgi İşlem	1999-2002
3M Grafik	2002-2004
Isparta Jeoteknik	2017-…….. (halen)

Yayınlar

Ünyay, M.M., Balkaya, Ç., Çakmak, O., Kalyoncuoğlu, Ü.Y. ve Özhanlı, M. 2018 Yılı Pisidia Antiokheia (Yalvaç, Isparta) Arkeojeofizik Araştırmaları. 7. Yer Elektrik Çalıştayı, Eğirdir (Isparta), Mayıs 2018, s. 133-136.

Ünyay, M.M., Balkaya, Ç., Çakmak, O., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., Özhanlı, M., 2019. Pisidia Antiokheia Antik Kentinde Jeofizik Çalışmalar. 41.Uluslararası Kazı, Araşrıma ve Arkeometri Sempozyumu, 17 – 21 Haziran 2019, Diyarbakır (Basımda).