

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

**ARKEOLEJİK ALANLARDA JEOFİZİK  
PROSPEKSİYON: PİSİDİA MALLOS ANTİK KENTİ  
ÖRNEĞİ**

**Açelya SEVER**

**Danışman  
Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2019**




© 2019 [Açelya SEVER]

## TEZ ONAYI

**Açelya SEVER** tarafından hazırlanan "**Arkeolojik Alanlarda Jeofizik Prospeksiyon: Pisidia Mallos Antik Kenti Örneği**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

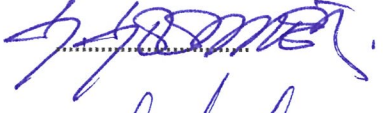
Danışman

**Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

.....  



Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Gökhan GÖKTÜRKLER**  
Dokuz Eylül Üniversitesi

.....  


Jüri Üyesi

**Doç. Dr. Osman UYANIK**  
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.

**Açelya SEVER**



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	6
3. PİSİDİA MALLOS ANTİK KENTİ .....	11
3.1. Pisidia Mallos Antik Kentinin Konumu .....	11
3.2. Pisidia Mallos Antik Kentinin Tarihi .....	12
3.3. Pisidia Mallos Antik Kentinde Bulunan Arkeolojik Yapılar .....	15
3.3.1. Kentin akropolü .....	15
3.3.2. Kentin nekropolü .....	15
3.3.3. Tapınak .....	15
3.3.4. Antik yol .....	16
3.3.5. Kaçak kazılar .....	17
3.3.6. Kilise .....	21
3.3.7. Merdivenler .....	22
3.3.8. Mekânlar ve teraslar .....	23
3.3.9. Kamusal alan .....	24
3.3.10. Surlar .....	25
3.3.11. Yollar .....	26
3.3.12. Pitoslar .....	26
3.3.13. Çatı kiremitleri .....	27
4. JEOFİZİK YÖNTEMLER .....	29
4.1. Yer Radarı Yöntemi .....	29
4.1.1. Temel prensipler .....	31
4.1.2. Temel veri işlem aşamaları .....	37
4.2. Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) Yöntemi .....	39
4.2.1. Temel prensipler .....	39
4.2.2. Elektrot dizilimleri ve ölçü alım teknikleri .....	42
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	47
5.1. Yer Radarı Çalışmasının Bulguları .....	47
5.2. EÖT Çalışmasının Bulguları .....	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	64
KAYNAKLAR .....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	72

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## ARKEOLOJİK ALANLARDA JEOFİZİK PROSPEKSİYON: PİSİDİA MALLOS ANTİK KENTİ ÖRNEĞİ

Açelya SEVER

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

Bu tez kapsamında, Pisidia Mallos Antik Kenti'nde (Eğirdir, Isparta) bir arkeojeofizik çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanlarında, arkeolojik alanlarda yaygın olarak kullanılan tahribatsız yer radarı (jeoradar) ve elektrik özdirenç tomografi (EÖT) yöntemleri uygulanmıştır. Yer radarı çalışması, 223 profil boyunca 500 MHz frekanslı korumalı bir anten kullanılarak gerçekleştirilmiş ve veri kümeleri bir dizi temel veri işlem adımlarıyla değerlendirilmiştir. İki boyutlu EÖT veri kümeleri ise Wenner-Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak 25 profil üzerinde 0.7 m elektrot aralığı ile toplanmış ve hem iki hem de üç boyutlu tomografik ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir. Çeşitli yer radarı ve ERT görüntüleme tekniklerinden elde edilen bulgular, yeraltında düzenli geometriler gösteren insan yapımı arkeolojik kalıntılara atfedilebilecek çeşitli yapıların varlığını açıkça göstermektedir. Bu nedenle, bu tümleşik jeofizik araştırmadan elde edilen sonuçların doğrulanması için araştırma alanlarında arkeolojik deneme açmaları önerilmiştir. Mallos Antik Kenti'nde yürütülen arkeolojik çalışmaların yüzey araştırmaları olarak devam ettiği düşünüldüğünde elde edilecek sonuçlar ileri dönemlerdeki kazı planlaması çalışmalarına rehberlik edecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Pisidia Mallos, ERT, GPR, Arkeoloji, Arkeojeofizik

**2019, 72 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **GEOPHYSICAL PROSPECTION IN ARCHEOLOGICAL AREAS: PİSİDİA MALLOS ANCIENT CITY EXAMPLE**

**Açelya SEVER**

**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 study has been conducted in the ancient city of Pisidia Mallos (Eğirdir, Isparta). Non-invasive ground-penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (ERT) methods that are widely used at the archaeological sites have been applied in the survey area. The GPR survey has been achieved using a 500 MHz shielded antenna along 223 profiles, and collected GPR scans have been evaluated by a series of basic data processing steps. Two-dimensional ERT data sets have been collected along 25 profiles via Wenner-Schlumberger array at 0.7 m electrode spacing and have been inverted using both two- and three-dimensional tomographic inversion schemes. The findings obtained from various GPR and ERT imaging techniques clearly show the existence of various structures that can be attributed to man-made archaeological remains that display regular geometries in the subsurface. Therefore, trial archaeological trenches have been proposed in the survey areas to confirm the results of this integrated archaeo-geophysical survey. Considering that the archaeological works carried out in the ancient city of Mallos continue as surface surveys, the results obtained will guide the excavation planning in the future.

**Keywords:** Pisidia Mallos, ERT, GPR, Archaeology, Archeogeophysics

**2019, 72 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı bana öneren, araştırma dönemim boyunca sabrı, tüm bilgisi ve yardımları ile beni en doğru şekilde yönlendiren değerli ve saygıdeğer hocam Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA'YA, Pisidia Mallos Antik Kentinde gerçekleştirdiğimiz arkeojeofizik araştırmalar için çalışmamda bilgi ve emekleriyle yardımcı olan Doç. Dr. Fikret ÖZCAN, Öğr. Gör. Olcay ÇAKMAK, Süleyman Demirel Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi ekibi ve Süleyman Demirel Üniversitesi Arkeoloji ekibine teşekkür ederim.

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

FYL-2019-6976 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında her türlü destekte bulunan annem Sezgin SEVER, babam Erdal SEVER, anneannem Hediye ÖZCAN'a, hayat arkadaşım Aykut AYDEMİR'e, tüm sevimliliğiyle kızım Vesta'ya, destek olduklarını bildiğim dostlarıma sonsuz sevgilerimi sunuyorum.

Ve bu teşekkürleri ve nicesini yapabilmemizi imkân haline getiren Mustafa Kemal Atatürk'e bir ömür teşekkür ederim.

Açelya SEVER  
ISPARTA, 2019

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Mallos Antik Kenti lokasyonu.....	11
Şekil 3.2. Mallos Antik Kenti ve yakın çevresi .....	12
Şekil 3.3. Kaya tapınağı ve alınan kesitlerin çizimi .....	16
Şekil 3.4. Kaçak kazı çukurlarının lokasyonları.....	17
Şekil 3.5. Mallos kaçak kazı çukuru – 1 içerisinde gözlemlenen duvar kalıntıları.....	18
Şekil 3.6. Kaçak kazı çukuru - 2 .....	19
Şekil 3.7. Kaçak kazı çukuru - 3 .....	19
Şekil 3.8. Kaçak kazı çukuru - 4 .....	20
Şekil 3.9. Kaçak kazı çukuru - 5 .....	21
Şekil 3.10. Kaçak kazı çukuru - 6.....	21
Şekil 3.11. Kilise yapısından bir görüntü .....	22
Şekil 3.12. Merdivenler.....	23
Şekil 3.13. Merdivenler ve kesit çizimi.....	23
Şekil 3.14. Yamaç mekânlara bir örnek .....	24
Şekil 3.15. Kentin kamusal alanından bir görüntü .....	25
Şekil 3.16. Kent surlarından bir görüntü .....	26
Şekil 3.17. Pitos parçalarından örnekler.....	27
Şekil 3.18. Çatı kiremitlerinden örnekler.....	28
Şekil 4.1. Yer radarı yönteminin genel çalışma sistemi.....	30
Şekil 4.2. Dielektrik sabitleri farklı ortam sınırlarında EM dalganın yansıma ve kırılması .....	35
Şekil 4.3. Ortak ofset, yansıma verileri için tipik veri değerlendirme aşamaları .....	38
Şekil 4.4. Genel dört elektrotlu dizilim için özdirenç ölçüm sistemi ..	40
Şekil 4.5. Numune özdirençinin ölçülmesi .....	41
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 .....	43
Şekil 4.7. Schlumberger elektrot dizilimi için bir DES eğrisi .....	43
Şekil 4.8. Duvar kalıntıları üzerinde kaydırma ölçüsü.....	44
Şekil 4.9. Sondaj-profil ölçüm tekniğinde veri toplama .....	45
Şekil 4.10. Mallos Antik Kenti EÖT çalışması veri toplama Aşamasından görüntüler.....	45
Şekil 4.11. EÖT ekipmanı.....	46
Şekil 4.12. EÖT ekipmanının çalışma alanına taşınması.....	46
Şekil 5.1. Mallos Antik Kenti agora alanı ve 2017 yılında gerçekleştirilen yer radarı çalışma alanı sınırları .....	47
Şekil 5.2. Yer radarı ölçüm profilleri .....	48
Şekil 5.3. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 0-0.2 m b) 0.2-0.4 m c)0.3-0.6 m d) 0.6-0.9 m e) 0.8-1.0 m .....	49
Şekil 5.4. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 1.0-1.2 m b) 1.1-1.4 m c)1.3-1.5 m d) 1.4-1.7 m e) 1.6-1.9 m .....	50
Şekil 5.5. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 1.8-2.0 m b) 1.9-2.2 m c)2.1-2.3 m d) 2.3-2.5 m e) 2.4-2.7 m .....	51
Şekil 5.6. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 2.7-3.0 m b) 2.9-3.1 m c)3.1-3.3 m d) 3.4-3.6 m e) 3.7-3.9 m .....	52

Şekil 5.7. a) 1.0-1.2 m derinlik seviyeleri için elde edilen kesit ve b) bukesitte görülen 3 numaralı belirti üzerinde elde edilen radargram.....	53
Şekil 5.8. a) 1.0-1.2 m derinlik seviyeleri için elde edilen kesit ve b) bukesitte görülen dört numaralı belirti üzerinde elde edilen radargram.....	54
Şekil 5.9. EÖT çalışma alanı. Ölçüm profilleri 1.4 m aralıklarla çizdirilmiştir.....	55
Şekil 5.10. 1-7. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters çözümünden elde edilen tomogramlar .....	56
Şekil 5.11. 8-14. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters Çözümünden elde edilen tomogramlar .....	57
Şekil 5.12. 15-21. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters Çözümünden elde edilen tomogramlar .....	58
Şekil 5.13. 22-25. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters Çözümünden elde edilen tomogramlar .....	59
Şekil 5.14. EÖT çalışma alanında ilk 13 profil için elde edilen tomogramların ardışık sunumu.....	60
Şekil 5.15. EÖT çalışma alanında son 12 profil için elde edilen tomogramların ardışık sunumu .....	60
Şekil 5.16. EÖT veri kümelerinin 3B ters çözümünden elde edilen sonuçların 3B düzlemde hacimsel gösterimi .....	61
Şekil 5.17. 2B elektrik özdirenç profillerininin 3B ters çözümünden elde edilen özdirenç derinlik kesitleri a) 0.2 m b) 0.5 m c) 1.0 m d) 1.5 m.....	62
Şekil 5.18. Mallos Antik Kenti yer radarı (a) ve EÖT (b) çalışmasından elde edilen sonuçların bir karşılaştırması .	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Yer radarı yönteminin genel uygulama alanları .....	31
Çizelge 4.2. Bazı malzemelerin 100 MHz frekansında ölçülen elektriksel iletkenlik, hız ve sönümlenme değerleri .....	33
Çizelge 4.3. EM alanın frekansa bağlı nüfuz derinlikleri .....	36
Çizelge 4.4. Merkez anten frekansı seçimine bağlı olarak yaklaşık derinlik.....	37



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Mutlak hata yüzdesi
CMP	Common midpoint
CO	Common offset
CR	Common receiver
CS	Common unit
DES	Düşey elektrik sondaj
EM	Elektromanyetik
EÖT	Elektrik öz direnç tomografi
f	frekans
FM	Frequency modulation
GHz	GigaHertz
GB	Güneybatı
GPR	Ground-penetrating radar
GPS	Global positioning system
I	Yere uygulanan akım
IP	Induced polarization
KD	Kuzeydoğu
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
L	Uzunluk
MHz	MegaHertz
MÖ	Milattan önce
MS	Milattan sonra
Ns	Nanosaniye
R	Direnç
RMS	Root mean square
S	Saniye
SP	Self potential
UTM	Universal transverse mercator
v	Elektromanyetik dalga'nın faz hızı
W-S	Wenner-Schlumberger
$\eta$	Elektromanyetik dalga'nın sönümü
$\rho$	Yoğunluk
$\Delta$	Fark
1B	Bir Boyutlu
2B	İki Boyutlu
3B	Üç boyutlu
$\Omega$	Ohm
$\pi$	Pi sayısı
%	Yüzdelik dilim
C°	Centigrade celsius

## 1. GİRİŞ

Jeofizik; yerküreyi, merkezinden atmosferin son noktasına kadar, fizik kuralları ışığında inceleyen bir bilim dalıdır. Jeofizik mühendisliği ise; yeraltında bilinmeyen sığ derinlikleri fizik kurallarına göre inceleyip, aydınlatır ve yeryüzünün jeolojik gözlemsel çalışmalarla saptanamayan ve yer için görünmeyen derinliklerinin her türlü; jeolojik, yapısal, litolojik, fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerini cihazlarla ölçerek, ölçü verilerini grafikleyerek veya haritalayarak ve onları matematiksel olarak değerlendirip aydınlatarak ortaya koyan mühendislik dalıdır. Bu bakımdan, yer içi yapısını ve derinliklerini ortaya koyan üç boyutlu tanımı, Jeofizik Mühendisliği ortaya koyar (Keçeli, 2012).

Arkeoloji; eski uygarlıkların incelenmesini konu alan bir bilim dalıdır ve toplum bilimlerinden de biridir. Tarihte yaşamış eski canlılar ve onlardan kalma gereçleri incelemektedirler. Arkeoloji, oldukça geniş kültürel miras ve çevresel verileri kapsayarak inceleyen bir bilim dalıdır. Yaklaşık olarak 3 milyon yıllık bir zaman dilimini, yani insanoğlunun ortaya çıkışından günümüze kadar uzanan dönemi içine alır. Bu 3 milyonluk dönem kapsayan ve arkeoloji bilimi için yegâne mühim olan şey, bu dönemden günümüze kadar olan kalıntıların bulgularıdır (Grolier Incorporated, 1993).

Arkeoloji araştırmalarında, 20. Yüzyıl boyunca, arkeolojiden ayrı bir dal gelişmiş ve "arkeoloji araştırması" diye adlandırılmıştır. Bu dalın ise en önemli özelliği, belirli bir alan içinde sistemli keşfin yapılabilmesidir. Bu alanda hava fotoğraflığı devrim yapmıştır (Grolier Incorporated, 1993).

Bilinen arkeolojik çalışmalarda, çalışma yapılmak istenen alanlar belirlenir ve bu alanlarda belirli araç ve gereçler kullanılarak kazı çalışması yapılır. Bu çalışmalar yapılırken zaman, insan gücü ve maliyet açısından oldukça yüksek giderler söz konusudur. Ayrıca, kazı yapılmadan önce, çalışılacak alanda, toprağın altındaki arkeolojik yapıların varlığı ve konumunun bilinmesi, yapılacak çalışmada elde edilecek başarı açısından önem taşımaktadır. Büyük alanlarda aranan ve yapılan kazı çalışmaları açısından özellikle alanın taranması gereklilik gösterir. Bu yapılacak tarama işlemi de

klasik arkeolojik araştırmalar ile olanak dâhilinde değildir ve tabi ki araştırma alanındaki üzeri örtülü arkeolojik yapıların görüntüsünü görmek, tek başına arkeolojik kazı çalışması ile de olanaksızdır. Olanaklı kılmak için ise arkeolojik araştırma alanında, jeofizik yöntemler kullanılması gereklidir. Jeofizik yöntemler, arkeolojik araştırmalarda 1940'lı yıllardan itibaren kullanılmaktadır (Candansayar, 2013).

Arkeologlar, arkeolojik çalışma yapılacak kazı alanında uygulanan jeofizik çalışmaları şu tanımlar ile adlandırmaktadırlar: "Arkeolojik uzaktan algılama", "arkeojeofizik" veya "arkeolojik araştırmalar". Ülkemizde ise daha çok "arkeojeofizik" ve "arkeoloji jeofiziği" terimleri kullanılmaktadır (Candansayar, 2013).

Bir arkeolojik bir nesneyi tarihlendirmek ya da o nesnenin tarihçesine, kökenine, geçmişine inerek araştırma yapmak ile o nesnenin belirlenen tarihlerdeki ticaret ve haberleşme açısından bilgiler edinilmesini sağlamaktadır. Belirlenen bir alanda, kurtarma ya da koruma önlemleri alınarak, o alandaki arkeolojik yapıların hızlı bir şekilde belirlenmesi adı altında yapılan çalışmalara ise "Kurtarma Arkeolojisi" adı verilmektedir. Bu tip kurtarma arkeolojisi adı altında gerçekleştirilen çalışmalarda, kurtarılan tarihi yapının yer, boyut, derinlikleri hakkında bilgiler edinilir. Bu kurtarma çalışmalarının beraberinde jeofizik yöntemler uygulanması dâhilinde, bu çalışmalar daha önce de bahsedildiği üzere, hızlı, ekonomik ve benzeri avantajlı durumlar ile çalışmaya önemli katkılar sağlamaktadır (Candansayar, 2013).

Buna bağlı olarak da hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri, arkeolojik çalışmalarda önemli katkılar sağlamaktadır. Drahor (2005), arkeoloji amaçlı ilk hava fotoğrafı çalışmasının 1919'da başladığını ve bunun arkeolojik prospeksiyonun başlangıcı olduğunu belirtmiştir. Arkeolojik prospeksiyon, arkeolojik alanlarda kullanılan ve alana bozucu etkisi olmayan yöntemlerin genelini kapsar. Hava fotoğrafları; alınan fotoğraftaki kent sınırlarını, höyük veya tümölüsü ve benzeri tüm görsel tanımları ortaya koymada yararlı sonuçlar ortaya koyarak, çalışma yapılan arkeolojik alanın altındaki mimari yapı, kültürel iz hakkında izlenimlere ulaşmak için

yetersiz kalmaktadır. Hava fotoğraflarına bağılı veya değil, yzey araştırmaları, yetersiz kalınan arkeolojik alan çalışmasında yararlı sonuçlara ulaştırmaktadır. Tek başına, jeofizik prospeksiyon yzntemleri olmaksızın yapılan çalışmalarda karşılaşılacak sorun veya sorunları en aza indirmek ve/veya tamamen ortadan kaldırmak adına da çalışma sonucunda elde edilen doğruya en yakın sonuçlar olarak "jeofizik" bilim dalı katkı da bulunmaktadır.

Ülkemiz, her gün gelişme ve kentleşme süreci gerçekleşen bir konumdadır. Bu sebeple, yol, baraj, fabrika, yeni oluşturulan yerleşim yerleri ve benzeri gibi mühendislik yapılarının inşaası her an gerçekleşmektedir. "Uygarlıklar Beşiği" olarak tanımlanan ölkemizde, gelişerek kentleşme sürecindeki mühendislik yapılarının inşaası sırasında, bilinçsizce yürütülen arkeolojik kazı çalışmaları ve rastgele yapılan uygulamalar, yeraltındaki tarihi ve antik yapılara ciddi zararlar vermektedir. Ülkemizde bu çalışmalar adı altında yapılan bilinçsizce işlemler sonucunda, yeraltı arkeolojik yapıları, ciddi tahribatlara maruz kalmaktadır. Bilinçli bir şekilde define aramacılığı adı altında yapılan illegal kazılarda da aynı şekilde tahribat ve talan durumları söz konusu olmaktadır.

Bunu önlemek için, antik yapı kalıntılarının yerlerinin tayin edilmesi ve bir an önce koruma altına alınması gerekmektedir. Bunun en önemli şartı da arkeolojik çalışmalar olmalıdır. Arkeolojik kazılarda ekonomik kayıpları en aza indirmek için; son teknolojik gelişmeler yardımcı ile hızlı ölçü alan alet ve donanımlarla ortaya çıkacak maliyetin düşürülmesi gerekir. Türkiye'de ise Türk akademisyenler veya arkeologların yürüttüğü, ayrıca müzelerin de kazı çalışmalarının tamamına yakınının sadece devlet desteği ile yürütüldüğü düşünülürse, arkeoloji jeofiziği araştırmalarının önemi vurgulanmış olur.

Arkeolojik kazı çalışmalarında zaman değerlidir, kazı sürecini hızlandırmak için de büyük yatırımların sürdürüldüğü ölkemizde baraj, metro, inşaat gibi projelerin yapıldığı alanlardaki mühendislik araştırma ve çalışmaları ile denetlenmesinin yanı sıra sit alanı olup olmadığının da bilinmesi veya sit alanı ise de yapı kalıntılarının yerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu

zaman ile rekabet içerisinde olmak anlamına gelir. Doğal olarak yüzeyden yürütülen çalışmalarda, yapılara hasar vermeyen jeofizik yöntemler, teknolojinin ilerlemesi ve gelişmesi ile hızlı veri toplama ve veri işleme yeteneği ile çalışma yapılan alandaki kalıntıların yer ve derinliklerinin belirlenerek, kazıda harcanan zamanı kısaltır.

Çalışılacak alanın çekilmiş hava fotoğrafları üzerinde jeofizik araştırma sonuçlarının eklenmesi ile arkeolojik alanın, çalışma planını ortaya koymada önemli katkılar sağlar. Sit alanlarının belirlenmesi için de yeraltındaki arkeolojik yapı kalıntılarını korumayı hedefleyen devlet, müzelerin kurtarma kazılarını ve akademisyen veya arkeologların yürüttüğü kazıların %100'üne yakın oranını T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı aracılığı ile destek vermektedir.

Sit alanları belirlenmiş olsa bile gömülü haldeki antik yapı kalıntılarının sınırları bilinmemektedir. Bu şartlar altında sit alanlarının sınırlarını belirlemek için de arkeoloji jeofiziği uygulamalarına gerek duyulmaktadır.

Antik eser kaçakçılığının önüne geçmek için, jeofizik yöntemler önemli katkılar sağlamaktadır. Arkeologların görüşlerine göre, Dünya'daki höyük ve tümülüslerin büyük bölümü ülkemizde varlığını korumaktadır.

Dedektör veya farklı arama uygulamaları ile yapılan gizli ve kaçak kazılar ile kaçakçılık artmakta ve ülkemizdeki değerli antik yapılar yurt dışına maddi kazanç için kaçırılmaktadır. Yurt dışına kaçırılan bu yapıların geri alımı içinde ciddi maddi giderler söz konusu haline gelmektedir. Buna bağlı olarak gereklilik ve önüne geçmek adına höyük ve tümülüslerin aranıp, çalışması gerçekleştirilip koruma altına alınması gereklidir. Zaman ve maddi açıdan hızlı bir sonuç elde etmek için de daha önce belirtildiği üzere jeofizik yöntemler kullanılması önemlidir (Kaya, 2007).

Bu tez çalışması kapsamında; Türkiye, Isparta ili, Eğirdir ilçesi, Sarıdris kasabası sınırları içerisinde yer alan "Pisidia Mallos" Antik kenti sınırları içerisinde bulunan bir alanda, arkeolojik yapı kalıntılarının belirlenmesi amacıyla uygulamalı jeofizik yöntemlerden; yer radarı/jeoradar (ground-

penetrating radar, GPR) ve elektrik özdirenç tomografi (EÖT) yöntemleri uygulanmıştır. Bu alandaki ilk arkeoloji jeofiziği çalışması, Isparta Müzesi işbirliği ile 1996 yılında Kaya tarafından manyetik yöntem uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir (Kaya ve Özyalın, 1999). Yer radarı çalışması, 500 MHz merkez frekanslı bir kapalı anten sistemiyle yaklaşık 110 m × 25 m büyüklüğünde bir alanda gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık B-D doğrultulu toplam 223 profil üzerinde toplanan veri kümelerinin (4745 m) değerlendirilip görselleştirilmesiyle araştırma alanında düzenli geometriler sunan ve insan yapımı yapı kalıntılarının izleri olacak bulgular belirlenmiştir. Bunlar arasında en dikkat çekici olan belirti, alanın 35-46. metreleri arasında elde edilmiştir. Bu belirtiyi ortalayan ve alanın yaklaşık olarak 25-60. metreleri arasında konumlanan sınırlı bir alanda Wenner-Schlumberger (W-S) elektrot dizilimiyle bir elektrik özdirenç tomografi çalışması gerçekleştirilmiştir. Ölçüm profilleri ve elektrotlar arası mesafe 0.7 m olan GB-KD doğrultulu toplam 25 profil üzerinde toplanan görünür özdirenç veri kümeleri iki ve üç boyutlu ters çözüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Değerlendirmede, ani değişimlerin ve keskin sınırların olduğu arkeolojik alanlar için daha uygun olan L1 normu (bloklu) yaklaşımı kullanılmıştır. EÖT çalışmasıyla elde edilen bulgular yer radarı çalışmasının sonuçlarıyla oldukça uyumludur ve yaklaşık 30 cm derinlik seviyesinden 2.7 m derinlik seviyesine değin uzanan düzgün geometrili gömülü arkeolojik yapı kalıntılarının varlığını açıkça ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, kaçak kazıların yoğun gerçekleştiği bu alanda elde edilen bu bulgular ışığında deneme açmaları önerilmiştir. Arkeolojik bulguların Pisidia Mallos Antik Kenti'nin agorası olduğu düşünülen bu alanını aydınlatılacağı düşünülmektedir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bugünümüzden geçmişe bakış atmak ve öğrenmek için artık sadece kazı yapmak mecburiyeti kalkmıştır. Başlıca kazı alanlarını bulmakta kullanılan öncelikli yöntemlerin başında uzaktan algılama ve yeryüzü ölçüm ve incelemeleri gelmektedir. Uzaktan algılamada en yaygın yöntem ise hava fotoğraflarıdır. Başka zaman görünmez olan şeylerin, hava fotoğrafları ile ortaya çıkmasının sebebi; ekin izleri ve düşey çizgileridir. "Ekin izleri"nden kastedilen, belirli bölgelerde, özellikle tarım alanlarında, bitkilerin büyümesi ve renk farklılıklarının oluşturduğu desenlerdir. Aynı bakış açısı ile taş duvarların üzerindeki toprak daha kuru kalacağından, yetişen ekin kısa saplı veya kökleri seyrek olacaktır, özellikle eski toprak bölümü ve bunu görmemizi sağlayan jeofizik yöntemler sayesinde birçok yerleşim merkezi ortaya çıkarılmıştır (Yazır, 1983-1984).

Jeofizik yöntemlerin arkeolojik alanlarda uygulamaları dikkate alındığında; Aitken (1946), arkeolojik yapı kalıntılarının araştırılmasında elektrik özdirenç yöntemini ilk uygulayan kişi olarak aletli prospeksiyon çalışmasını başlatmıştır. Aitken (1958)'un İngiltere'de uygulanan manyetik çalışması da tarihte yer almaktadır. Wynn (1986)'a göre, sismik kırılma yöntemi Carson (1962) ve Carabelli (1966) tarafından uygulanmıştır. Scollar (1962)'a göre de elektromanyetik yöntemlerin ilk uygulaması da bu yıllardadır. Linington (1966), ilk Gravite yöntemini uygulanmıştır. Ancak antik yapıların alanını çok az değiştireceği sebebi ile uygulama olarak sınırlı kalmıştır. Aspinall ve Lynam (1968), IP yöntemini arkeoloji jeofiziği için ilk uygulayan araştırmacılarıdır. Corwin (1973), SP yönteminin ilk uygulamasını gerçekleştirmiştir. Ülkemizdeki araştırmacıların arkeoloji jeofiziği uygulamaları ilk olarak 1960'larda Keban kurtarma kazıları ile başlamıştır. Yaramancı (1970), ODTÜ destekli kurtarma kazı çalışmalarında Tepecik ve Norşun Höyüğü ile Ağın Kalesinde elektrik özdirenç yöntemiyle çalışmalar gerçekleştirmiştir (Kaya vd., 2013).

Kaya vd. (1997), Isparta ili, Yalvaç İlçesi sınırları içerisinde bulunan Pisidia Antiokheia Antik Kenti'nde ilk jeofizik uygulamayı Wenner dizilimi kullanarak özdirenç yöntemiyle gerçekleştirmiştir.

Ekinci ve Kaya (2006), özellikle jeolojik amaçlı jeofizik çalışmalarda sıklıkla kullanılan sınır analizi yönteminin, arkeolojik amaçlı sığ çalışmalarda ne tür yanıtlar vereceğini irdelemiştir. Çalışmalar sırasında; gömülü arkeolojik yapıların vereceği belirtiler kuramsal olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar görece sığ derinlikte gömülü, düzgün bir geometri ve güçlü manyetik özelliğe sahip yapı sınırlarının belirlenebilmesinde sınır analizi yönteminin yararlı olabileceği, böylece elde edilen sonuçların araştırmacı için hızlı bir yorumlama olanağı sağlayabileceğini göstermiştir.

Ekinci ve Kaya (2007), Çanakkale İli, Biga İlçesi, Kemer Köyü sınırları içerisinde bulunan Parion Antik Kenti'nde ilk arkeojeofizik çalışmayı Nekropol alanında EÖT tekniği ile gerçekleştirmiştir. W-S elektrot dizilimiyle 1 m elektrot aralığı kullanılarak paralel profiller boyunca toplanan veri kümeleri düzgünlük kısıtlı en küçük kareler tekniği kullanılarak değerlendirilmiş ve 0.25-2.5 m derinlik seviyeleri arasında yüksek özdirenç gösteren alanlar arkeolojik kazı için umut verici bulgular olarak elde edilmiştir.

Drahor vd. (2008a), Gümüşhane İl sınırları içerisinde konumlanan ve doğu Roma'daki son büyük akere merkezlerden biri olan Satala'da manyetik ve elektrik özdirenç yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar tümleşik çalışmanın gömülü arkeolojik yapıların varlığının anlaşılabilirliğinin arttırdığını göstermiştir.

Drahor vd. (2008b), Zeugma arkeolojik alanı yakınlarında bulunan bir Roma askeri yerleşkesinde manyetik ve EÖT yöntemlerini içeren bir çalışma gerçekleştirmiştir. Manyetik görüntüleme alanda düzenli yapıları ortaya koyarken bu alanların tümleşik yorumdan belirlenen bir alanda gerçekleştirilen EÖT çalışması bu yapıların yüzeye oldukça yakın olduğunu göstermiştir. Umud verici alanlarda gerçekleştirilen deneme açmalarında duvar, boru, yol, temeller ve ayrıca metalik objeler (Roma askeri kasklarının ve zırhlarının geniş bir topluluğu) gibi askeri yerleşimin ayırıcı unsurları ortaya çıkarılmıştır.

Rizzo vd. (2010), Dünya üzerindeki en büyük tören merkezi olan Cahuach, Peru'daki arkeolojik kalıntıların belirlenmesi amacıyla yer radarı ve manyetik (gradiyometre) yöntemleri kullanmıştır. Çalışma alanı, arkeolojik özelliklerin kum ve alüvyon malzeme ile kaplandığı bir çöl ortamıdır. Yer radarı çalışması ile belirlenen belirtiler manyetik çalışma ile doğrulanırken yer radarı bulgularında görülmeyen bazı belirtiler de elde edilmiştir. Kazı sonuçları bunların bir sunak ve değerli arkeolojik malzemeler olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, çöl ortamındaki kerpiç arkeolojik kalıntıları tespit etmek, araştırmak ve belgelemek için manyetik ve GPR tekniklerinin yüksek potansiyelini açıkça ortaya koymuştur.

Özyalın vd., (2010), İzmir İli, Torbalı İlçesinin 12 km güneybatısında ve Efes Antik Kenti'nin de yaklaşık 10 km kuzeybatısında bulunan Metropolis Antik Kenti'nde, sıg arkeolojik yapıların jeofizik yöntemler ile belirlenmesi amacıyla EÖT, yer radarı ve sismik kırılma tomografi yöntemlerini içeren tümleşik bir jeofizik çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, söz konusu bu yöntemlerden elde edilen veri kümeleri değerlendirilerek arkeolojik bir yapı kalıntısı olması muhtemel ortak bir belirtinin aydınlatılması için çalışma alanında bir arkeolojik sondaj önerilmiştir.

Ekinci vd. (2012), Parion Antik Kenti'nde arkeolojik kazı çalışmalarına yön vermek amacıyla EÖT çalışması gerçekleştirmiştir. Pol-dipol elektrot dizilimiyle toplanan görünür öz direnç veri kümeleri 2B ve 3B ters çözüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Arkeolojik açmalar görece yüksek öz direnç gösteren belirtiler ile arkeolojik yapılar arasındaki uyumu açıkça ortaya koymuştur.

Ekinci vd. (2014), bir Bizans yerleşkesi olan Amorium'da (Emirdağ, Afyon) olası arkeolojik yapı kalıntılarının lokasyonu, uzanımı kalınlık ve derinliklerini belirlemek ve mevcut kazı çalışmalarına yön verebilmek amacıyla manyetik ve elektrik öz direnç 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.

Gündoğdu vd. (2017), Batman İli'nin 14 km güneyinde, Oymataş Köyü'nün 1.1 km güneybatısında yer alan, birbirine yaklaşık 70 m uzaklıktaki iki tepeden oluşan Kuriki Höyük alanında bir EÖT çalışması gerçekleştirmiştir. 3B modelleme çalışması sonucu belirlenen anomalilere karşılık gelen alanlarda gerçekleştirilen kazılarda höyüğe ait duvar ve çukurlar bulunmuştur.

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

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 m × 22.5 m büyüklüğünde bir alanda yer radarı ve elektrik özdirenç tomografi yöntemlerini içeren bir arkeojeofizik çalışma gerçekleştirmiştir.

Balkaya vd., (2018a), Pisidia Antiokheia Antik Kenti'nin (Yalvaç, Isparta) Cardo Maximus Caddesinin kuzeydoğusunda konumlanan bir alanda 152 profil üzerinde 500 MHz merkez frekanslı korumalı bir anten kullanarak bir yer radarı çalışması gerçekleştirmiştir. İşlenmiş yansıma verileri ile yeraltında üç nefden oluşan bir bazilikanın varlığı açıkça belirlenmiştir. Bulgular dikkate alındığında, Aediculus olarak adlandırılan bazilikanın olası bir 3B görselleştirmesi oluşturulmuştur. Bu nedenle, yer radarının sadece gömülü arkeolojik yapıların belirlenmesinde değil aynı zamanda 3B görselleştirmesine de yönlendirebilen oldukça yararlı bir araç olduğu ortaya konmuştur.

Balkaya vd. (2018b), Üstol (2013)'ün tez çalışması kapsamında toplanan yer radarı veri kümelerini yeniden ve farklı görüntüleme teknikleri ile

değerlendirmiş ve bir *quadriburgia* yapısıyla karakterize askeri karargâhın bir 3B görselleştirmesini (reconstruction) oluşturmuşlardır.

Kaya vd., (2018), Antalya ilinde, Kalkan'a 16 kilometre, Kaş'a ise 42.5 kilometre uzaklıktaki Patara antik kentinde daha önceki çalışmalarda arkeolojik olarak meclis binası buluntusuna erişilmiştir. Bunun üzerine jeofizik yöntemlerden yararlanılmak istenmiş ve bir sezon içerisinde 900 hat boyunca 20.000 m<sup>2</sup> kadar alan taranmıştır. Jeofizik yöntemlerden elektrik ve yer radarı yöntemi kullanılan alanda arkeolojik duvar kalıntıları ve apsis şeklinde yapılar ile karşılaşmıştır.



### 3. PİSİDİA MALLOS ANTİK KENTİ

#### 3.1. Pisidia Mallos Antik Kenti'nin Konumu



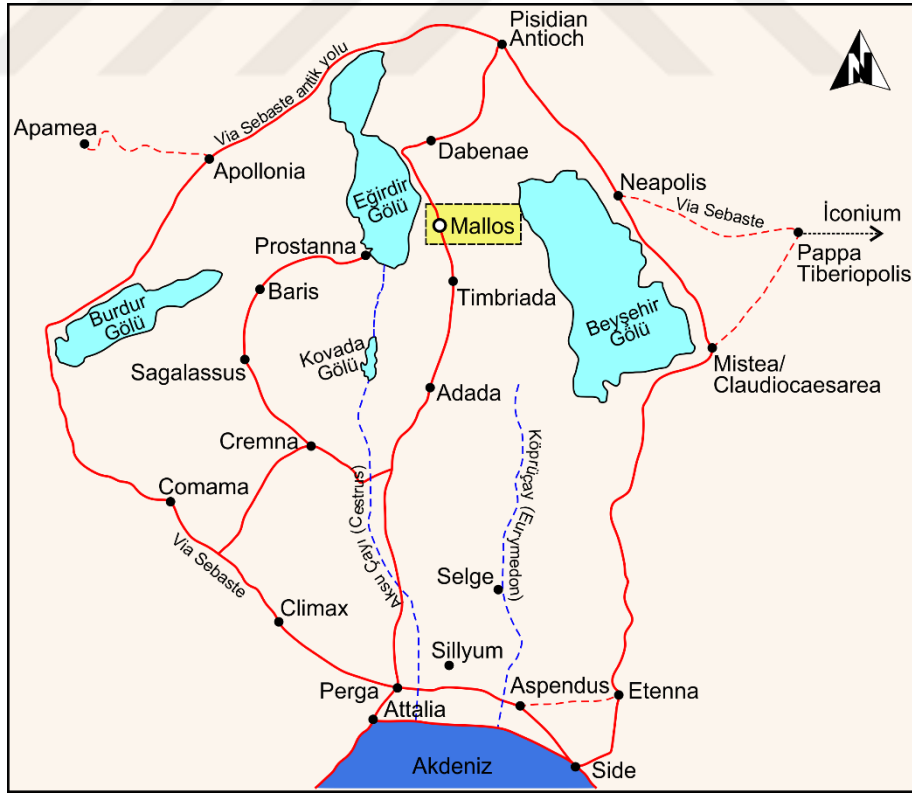
Şekil 3.1. Mallos Antik Kenti lokasyonu (Digital Atlas of the Roman Empire, Ahlfeldt, 2013)

Yüksek Hellenistik Roma Dönemi'nden itibaren bir statü kazanan ve o dönemlerde sikke de basmış olan "Mallos" antik kenti; Isparta İli, Sarıdris Kasabası'nın 3 km kuzeydoğusunda ve Eğirdir Gölü'ne 18 km uzaklıkta

(37.952967°, 31.029946°) yer almaktadır (Şekil 3.1). Mallos Antik Kenti savaşa karşı kaygılardan dolayı, savunmaya yönelik K-G doğrultusunda uzanan bir tepe üzerine kurulmuştur. Doğu cephesinde Göynücek Yaylası, güneydoğu cephesinde Erenler ve İkiztepe dağları, güneybatısında Sarıidris kasabası ve yakın çevresinde Eğirdir ilçesi yer almaktadır. Kentin batısında Eğirdir Gölü, kuzeyinde Kaz Deresi ve Göynücek Deresi ile yakın çevresinde Eleksi Tepesi yer almaktadır.

### 3.2. Pisidia Mallos Antik Kentinin Tarihi

Kent akropolü Helenistik ve Roma dönemi surlarla çevrilidir ve Göynücek Gediği mevkiinde bir tepe üzerinde yer almaktadır. Kuruluş tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte takriben M.Ö. 1. yüzyılda kurulduğu öngörülmektedir. Kentin 13. yüzyılda terk edildiği tahmin edilmekle birlikte, Türkler'in ele geçirmesi ile tamamen boşaltılmıştır. Şekil 3.2, Mallos Antik Kenti ve yakın çevresini göstermektedir.



Şekil 3.2. Mallos Antik Kenti ve yakın çevresi (Wilson, 2009'dan düzenlenmiştir)

Pisidia Mallos Antik Kenti'nin merkezi ulaşım ağında yer almaması nedeniyle doğrudan saldırılara maruz kalmamıştır. Kentin ana arter ulaşım yollarından uzakta yer alması, Roma İmparatorluk Dönemi'nde kendi kaderlerine terkedildiğini düşündürmekle birlikte bu durumun gerçekten uzak olduğu; gerek kaçak kazılar sonucunda ortaya çıkan antik yapılardan, gerekse M.S. 4. yüzyıla ve sonraki dönemlere tarihlenen yazıtlardan anlaşılabilir. Ancak kentin, Tymbriada gibi kentler ile bağlantısının olması, Limanai'ye (Eğirdir) ulaşımı sağlayan bir yolunun bulunması ve kara içlerinde oldukça büyük bir territoriumu (bölge) denetleyebilmesi, Mallos'un M.S. 11 ve 12. yüzyıla dek varlığını sürdürebilmesini sağlamıştır.

Kentin agorasının (meydan), daha sonralarda Roma Erken ve Yüksek İmparatorluk Dönemi'ndeki formunu ve asıl strüktürünü koruduğunu göstermektedir. Açık hava toplantı yerinin tam karşısında, doğu-batı doğrultusunda, kentin en büyük kilisesinin inşa edilmesi suretiyle kamusal alana, dinsel alan niteliği kazandırılmıştır. Sivil yerleşkenin bir kısmı da buradaki kilisenin, tahmini 30 m kuzeyinden itibaren, kentteki yerleşmenin sınırlarını oluşturan dereye kadar devam etmektedir ve bu yerleşim alanı ağırlıklı olarak Geç Antik-Erken Bizans Dönemi'ne aittir.

Karstik bir yapıya sahip olan bölgenin o dönemlerde yüksek ağaçlarla çevrili olduğu düşünülmektedir. Karstik yapıdan dolayı, su çok yükseklerden ve belli kaynaklardan bölgeye ulaşabilmekteydi. Böylece insanlar, bölgede, yaklaşık 1500-1700 m'lerde su ihtiyaçlarını karşılayabilmekteydiler. Suyu erişimin kolay olması, tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi nedeniyle bölgenin daha elverişli yaşam koşullarına sahip olmasını sağlıyordu (Fikret Özcan, kişisel görüşme, 14 Ağustos 2018). Kentin kuzeydoğusunda dere yatağı yer almakta ve bu dere yatağına da yakın bir yerde, ana kaya üzerinde yer almış su kanalları bulunmaktadır. Dolayısıyla, Mallos'un içme suyunu kentin güneydoğusundaki bir kaynaktan sağladığı anlaşılmaktadır. Bu su yolu da güneyde yer alan yamaçtan kuzeybatıya ve dereye doğru bir güzergâh üzerinde ilerlemekte ve ana kayaya yapılmış çift kanaldan geçerek, batıya yani Mallos'a yönelmektedir. Su güzergâhı kuzeybatı istikametinde tahmini 2 km kent agorasına doğru izlenebilmektedir. Kentin doğu tarafındaki vadi yamaçlarına yapılmış, ayrı ayrı ve tek tek yapıların

işlevlerine anlam verilememekle birlikte bunlardan birisinin tapınak olduğu tahmin edilmektedir (Özcan, 2017).

Yağmur ve sel sularıyla yamaçlardan toprak inmesi ve yamaç eteklerini de örtmesi sebebiyle, Kentin Roma ve Geç Antik Dönem’de önemli bir nüfusa sahip olduğu başlarda anlaşılmamıştır. Kent mezarlıklarının büyüklüğü, birden fazla kilisenin varlığı ve kentin minimum orta büyüklükte bir yerleşim yeri olduğu fikrini akıllara getirmekle beraber, doğa olayları sebebiyle yerleşmenin büyük bir kısmının toprak altında kalması, farklı bir algı yaratmaktadır. Bu algının yıkımı, kaçak kazılar sonucunda, yerleşim yeri merkezine uzak güneydoğu ve doğu yamaçlarında yoğun seramiğe rastlanması ile yerleşmenin akropol ve yakın çevresi ile sınırlandırılmaması gerektiğini göstermiştir (Özcan, 2017).

Kent, Hellenistik Dönem’de ve M.S. 8. yüzyıldan itibaren Arap saldırılarına maruz kaldığı için akropolisin yamaç bölgeleri yerleşme yerleri olarak tercih edilmiştir. Bu yamaç bölgelerinin batı tarafının zirveden başlayarak eteklere kadar en yoğun yerleşim yeri olduğu görülmektedir ve günümüzde bakıldığında en az on bir teras izlenebilmektedir. Ayrıca, akropolisin batı yamacında, dosdoğru herhangi bir yapıya ulaşım sağlamayan lakin dağıtım sistemi olarak nitelendirebileceğimiz yol ağları da yer almaktadır. Bu dağıtım yol ağları izlendiği takdirde de G-K doğrultuları arası farklı kotlarda ulaşımın mümkün olabildiği görülmektedir. Yerleşim üzerinde ve ulaşım-dağıtım ağları üzerinde, yeri geldiğinde basamak oluşturulmuş, teras ile genişletilmiş ve/veya ana kayanın düzleştirilmesi neticesinde yol ve ikamet yerleri oluşturulmuştur. Akropolisin batı yamacında ve bu yamaçların eteklerinde duvar örgü tarzı yoluyla Hellenistik Dönem’e ait, asıl yerleşim strüktürü Geç Antik-Orta Bizans Dönemi’ne kadar sistematik bir şekilde genişletilmiştir. Akropolün zirve noktalarında da bazı kayaçların içlerine oyuklar yapılarak, gelecek olası saldırılara maruz kalınmaması için savunma amaçlı alanların yaratıldığı görülmektedir. Özellikle akropol yerleşim yerinin iskân düzeninin en minimal şekilde oluşturulması ve daha çok olası saldırılara karşı savunma için alanlar yaratılmasının sebebi olarak da korunma kaygılarının oldukça yüksek olduklarını göstermektedir (Özcan, 2017).

### **3.3. Pisidia Mallos Antik Kenti'nde Bulunan Arkeolojik Yapılar**

#### **3.3.1 Kentin akropolü**

KG yönünde, Kuruca Boğazı'ndan güneye doğru uzanmaktadır. Akropolün kuzeyi düz olmayıp, güneydoğu burnundan yükselerek ortada en tepe noktasına ulaşmaktadır. Batı yönü uçurum olup, sarp kayalarla çevrelenmiştir (Çakmak vd., 1998).

#### **3.3.2. Kentin nekropolü**

Kentin güney cephesinde, Beleni Mezarlığı olarak adlandırılan tepenin üstü ve yamaç kısımları geniş olmakla birlikte mezarlık olarak kullanılmıştır. Bu kısım, Kocayatak Tepesi'nin arka yamaçlarına kadar uzanmaktadır. Toprak yüzeyinden mezarlık alanının kiremit örtüler kullanılarak oluşturulduğu anlaşılmaktadır (Çakmak vd., 1998).

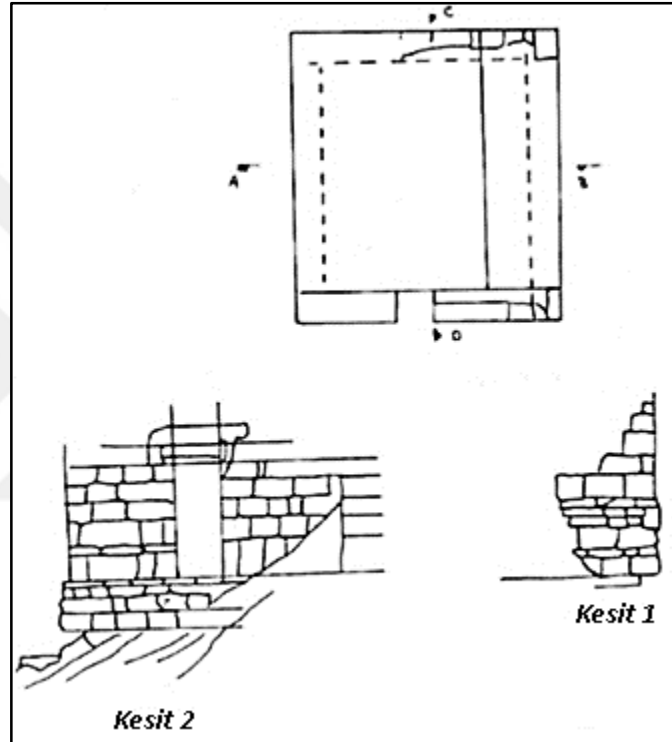
Bir diğer nekropol alanı ise, Göynücek Deresi'ne kadar uzanan akropolün kuzeydoğusundaki yamaçta bulunmaktadır. Burada üç tarafı moloz taşlarla çevrili, taş bloklarla kapatılmış kare planlı mezar odaları görülmektedir. Ayrıca bu nekropol alanında beyaz grenli mermer lahit parçaları bulunmuş ve lahdin üzerindeki kabartmaların stilistik özelliklerinden M.S. 2. yüzyıla ait olduğu anlaşılmıştır (Çakmak vd., 1998).

#### **3.3.3. Tapınak**

Kapılı kaya şeklinde isimlendirilen kutsal mekân, kentin 1 km kuzeybatısındaki Eleksi Tepesi üzerinde yer almaktadır. Kutsal mekâna, Göynücek Deresi'nden çıkılarak, yamaçtan yaya bir şekilde patika yolla ulaşılabilir. Kutsal mekâna yaklaşıldığında, niş şeklinde ana kayaya oyulmuş mekanlar dikkat çekmektedir (Çakmak vd., 1998).

Tapınak içerisinde herhangi bir savunma amaçlı oluşturulmuş bir ize veya bir mekâna rastlanılmamakta ve yer yer tarım terasları göze çarpmaktadır (Özcan, 2017).

Üç basamaklı bir merdiven ulaşılan tapınak kare şekilli olarak tasvir edilebilir. Tapınak girişi oldukça dardır ve içeriye girildiğinde doğu cephesinde bir niş yer almaktadır. Doğu duvarı ortasındaysa bir kapı görülmektedir. Düzgün kesimli bosajlı dikdörtgen bloklardan oluşan tapınağın podyum kısmının dört sırası ayaktadır. Bu kısımdan sonra pseudo isodom duvar örgüsü yer almaktadır. Doğu duvarında yer alan kapı lentosunun üzeri iç bükey ve yatak silmelerle profillenmiş, köşeler motiflerle süslenmiştir (Çakmak vd., 1998).



Şekil 3.3. Kaya tapınağı ve alınan kesitlerin çizimi (Çakmak vd., 1998'den düzenlenmiştir)

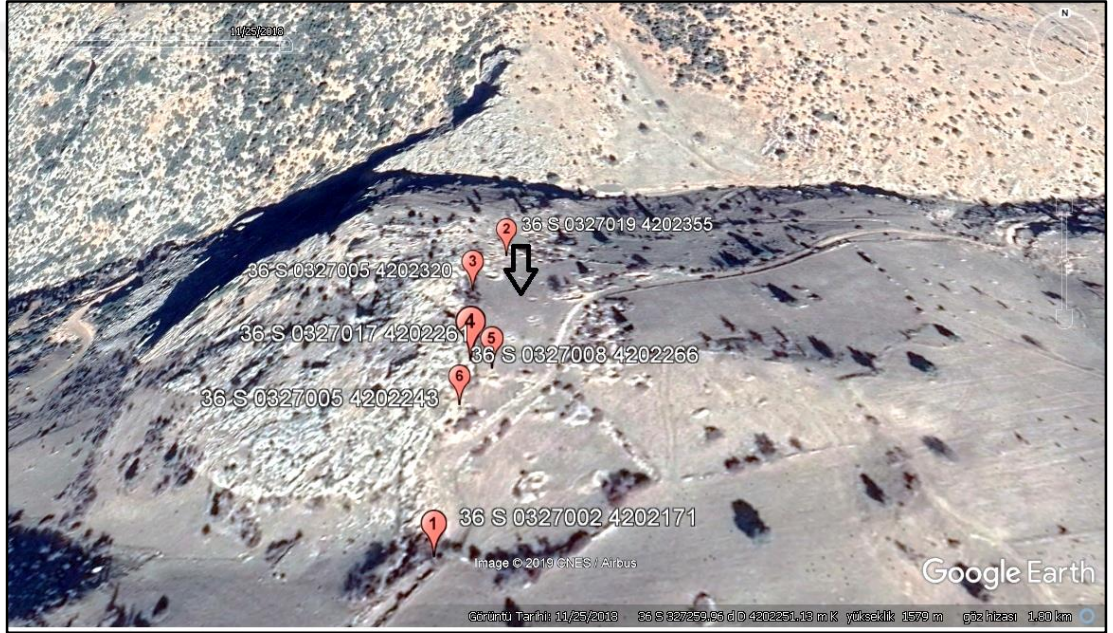
### 3.3.4. Antik yol

Tapınak ile akropolün yer aldığı tepeleri ayıran Göynücek Deresi'nin kuzey yamacında batıya doğru uzanan antik yol, Eleksi Tepesi'nin güney yamacındadır. Varlığını koruyan 10 m uzunluğundaki kısım, ana kayanın olmadığı yerde 3 m yüksekliğinde moloz taşlarla ve beyaz harçlarla harmanlanarak istinat duvarı oluşturulduktan sonra, farklı ölçülerde kesme taşlarla düzenlenmiştir. 2 m genişliğinde olan yol; Mallos'tan, kuzeyde

Natiochia'ta, güneyde Taymbriad'a, Adada üzerinden, Aksu Vadisi'yle Perge'ye kadar uzanmaktadır (Çakmak vd., 1998).

### 3.3.5. Kaçak kazılar

Mallos Antik Kenti ve civarında kentin konumu nedeniyle denetlenemeyen çok sayıda kaçak kazı gerçekleştirilmektedir. Bunlardan 6 tanesinin lokasyonları Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekil içerisindeki ok, bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen arkeojeofizik çalışmanın lokasyonunu göstermektedir.



Şekil 3.4. Kaçak kazı çukurlarının lokasyonları. Siyah ok arkeojeofizik çalışma alanını göstermektedir.

İlk kaçak kazı çukuru (Şekil 3.5), Akrapolün güneydoğu yamacında ve güncel yolun takriben 5 km kuzeybatısında yer almaktadır. Bu çukurda, 3 m uzunluk ve 2.4 m yüksekliğinde bir duvar sırası yer aldığı görülmektedir. Ayrıca kazı içerisinde az sayıda nitelikli seramik ve çok sayıda amorf yapıda pişmiş toprak seramik parçaları da tespit edilmiştir (Özcan, 2017).



Şekil 3.5. Kaçak kazı çukuru-1 içerisinde gözlemlenen duvar kalıntıları (Özcan, 2017)

Şekil 3.6'da görülen ve kentin Agorasındaki basamaklı yapının 10 m doğusundaki ikinci kaçak kazı çukuru içerisinde, Hellenistik veya Roma İmparatorluk Dönemi'ne ait olduğu düşünülen bir mekân ve dağınık halde künk ve bronz parçaları bulunmuştur. Bu mekânın doğu tarafında bir açıklık gözlemlenmektedir ve ayrıca mekânın tüm cepheleri kesme blok taşların altında moloz taşlar kullanılarak oluşturulmuştur. Mekânın doğu tarafında 0.72 m genişliğinde, 0.4 metre yüksekliğinde postament veya heykel olduğu düşünülen mimari bir yapı keşfedilmiştir (Özcan, 2017).

Agorada bulunan basamaklı yapının 10 metre güneyindeki üçüncü kaçak kazı çukurunda (Şekil 3.7), moloz taşlar, çatı kiremidi ve Geç Antik Döneme karşılık gelen günlük kullanım kap parçaları bulunmuştur. Çukur bir ana kaya ile sonlanmaktadır. Çukurun batı tarafında ise yerin 1.7 m alt kotuna denk gelen kısımda 7.5 cm kalınlık ve 1.4 m uzunlukta bir beyaz harç tabakasına rastlanmıştır (Özcan, 2017).



Şekil 3.6. Kaçak kazı çukuru-2 (Özcan, 2017)



Şekil 3.7. Kaçak kazı çukuru-3 (Özcan, 2017)

Şekil 3.8, dördüncü kaçak kazı çukurunu göstermektedir. Agora giriş kısmının 40 m batısında, çukurun batı cephesinde ana kayanın ön tarafında tuğla kullanılarak duvar örgüsü meydana getirilmiştir. Ana kaya ile duvar arasında 0.1 m kalınlığında moloz taşları ile beyaz harç kullanıldığı görülmüştür. Ana kayada 2.6 m yüksekliğinde yapının üst kısmını taşıyan

7.2 m uzunluk ve 0.3 m genişliği olan bir yatak bulunmaktadır. Güney yönünde ise taşların üzeri tıraşlanarak bir duvar yatağı oluşturulduğu gözlemlenmiştir (Özcan, 2017).



Şekil 3.8. Kaçak kazı çukuru-4 (Özcan, 2017)

Beşinci kaçak kazı çukurunun (Şekil 3.9) güneyinde, 3.3 m uzunluğunda, beyaz harç kullanılarak oluşturulmuş bir duvar örgüsü yer almaktadır. Alanın doğu kısmında kuzey-güney yönlü 0.9 m uzunluğunda bir duvar yer almaktadır. Güney cephesindeki duvarın 1.1 m ön tarafında ve aynı uzantıda 1.3 m uzunluğunda ikinci bir duvar hattı yer almaktadır. Alanda hypokaust sisteminde tuğla, günlük kullanıma tâbi kap parçalarına ve ayrıca cam ve cüruf parçalarına rastlanmıştır (Özcan, 2017).

Şekil 3.10'da görülen alandaki son kaçak kazı çukurunun güneyinde 0.59 m × 0.94 m boyutlarında iri moloz taşlar üzerine, aralarında beyaz harç kullanılarak oluşturulan kesme bir blok taş bulunmaktadır. Batı cephesinde ana kaya üzerinde 0.13 m × 0.18 m boyutlarında ve 7 cm derinliğinde hatıl yuvası ile 1.25 m uzunluğunda 0.19 cm yüksekliğinde bir duvar yatağı yer almaktadır. Bu yatağın üstünde 7 cm derinliğinde, 0.2 m yüksekliğinde ikinci bir duvar yatağı da bulunmaktadır. Ayrıca, alanda çatı kiremidi ve moloz taşlarının varlığı görülmektedir (Özcan, 2017).



Şekil 3.9. Kaçak kazı çukuru-5 (Özcan, 2017)



Şekil 3.10. Kaçak kazı çukuru-6 (Özcan, 2017)

### 3.3.6. Kilise

Kentin Agorasında bulunan basamaklı yapının takriben 50 m doğusunda, kaçak kazı sonucu yüzeye çıkmış bir kilise ile karşılaşmıştır. Kilisenin apsisi doğu yönündedir ve genişliği 4.5 m, derinliği de 2 m'dir. Kilisenin

duvarında, duvar elemanlarını bağlamak amacıyla beyaz harç kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca yapı içerisinde de yoğun olarak şipolyen (devşirme) malzeme ve kırık kireçtaşlarından yapılmış bir boğa heykeli parçası görülmektedir. Gövdesi sağlam olarak duran heykelin kafa kısmı kopmuş, kuyruk ve bacakları da tahrip olmuştur. Heykelin genişliği 0.34 m, uzunluğu 0.4 metre ve derinliği ise 0.18 m'dir. Heykelin sırt kısmında 3.5 cm yüksekliğinde ve 8 cm uzunluğunda bir çıkıntı yer almaktadır. Heykelin sağ ayağı arkada ve sol ayağı önde olmak üzere, heykele adımlıyormuşçasına bir duruş kazandırılmıştır (Özcan, 2017).



Şekil 3.11. Kilise yapısından bir görüntü

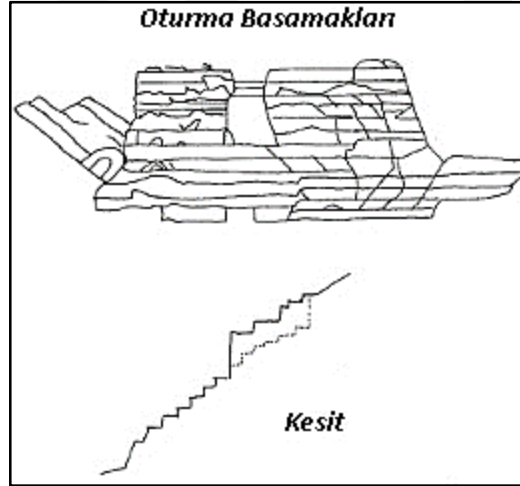
### 3.3.7. Merdivenler

Akropolün doğu yamacında, ana kaya oyularak oluşturulan merdivenler (Şekil 3.12) bulunmaktadır ve bu merdivenlerin basamakları akropolü batıdan güneyine doğru bir hat izleyerek çevrelemektedir (Özcan, 2017).

0.85-1.7 m'ler arasında farklı genişliklerde olan merdiven basamaklarının 22 tanesi sağlam durumdadır (Çakmak vd., 1998). Bu merdivenlerin agoranın yapıları ile bir bağlantısı olduğu düşünülmektedir (Özcan, 2017). Şekil 13, oturma basamaklarını ve bir kesitini göstermektedir.



Şekil 3.12. Merdivenler



Şekil 3.13. Merdivenler ve kesit çizimi (oturma basamakları) (Çakmak vd., 1998'den düzenlenmiştir)

### 3.3.8. Mekânlar ve teraslar

Akropolün batı, güney ve güneybatı yamaçlarında toplamda dokuz adet oyulmuş mekân tespit edilmiştir. Bu mekânların bir bölümünün de ana

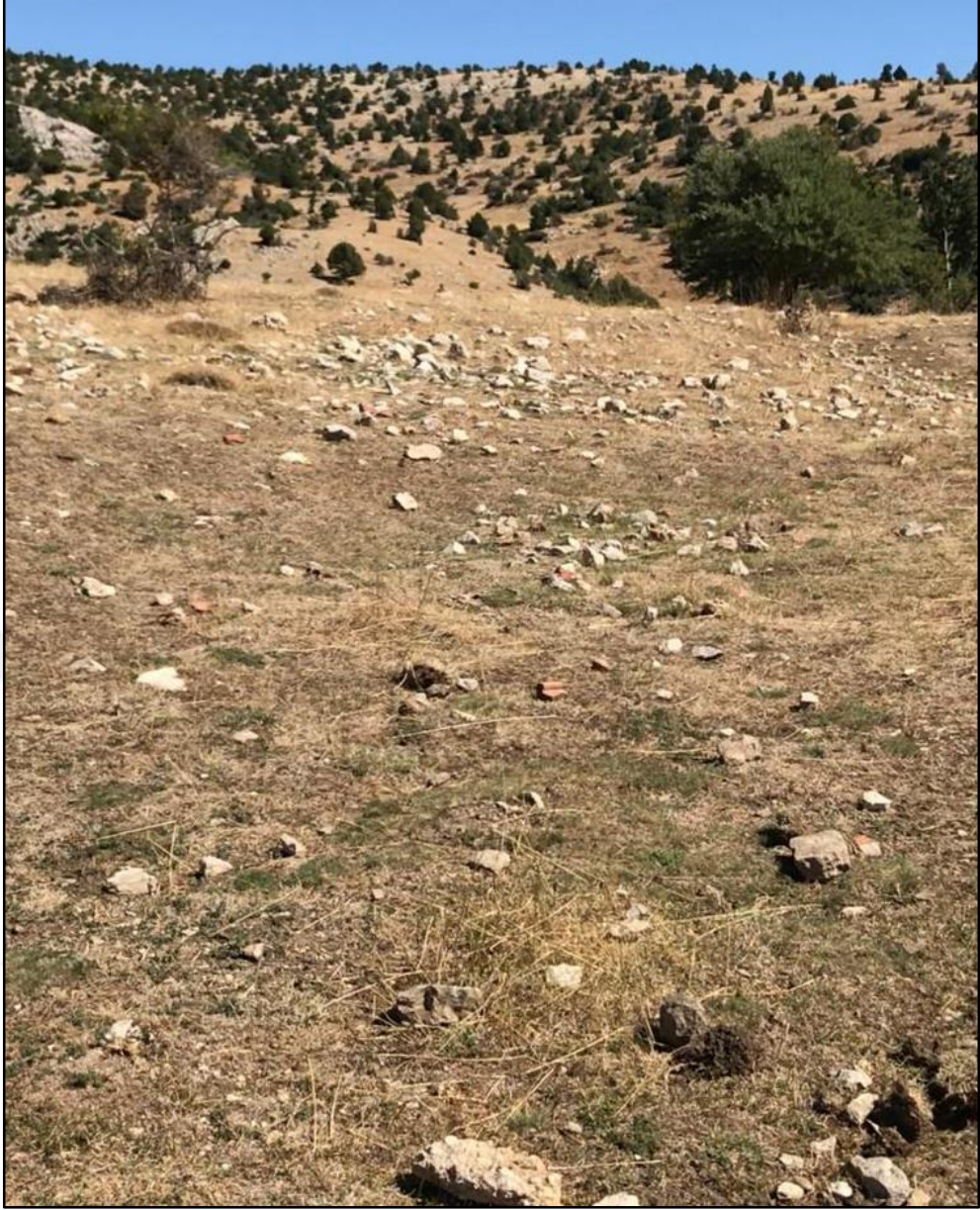
kayaya oyularak oluşturulduğu görülmüştür (Şekil 3.14). Konumsal olarak farklı yerlerde yer alan mekânlar, biçimsel olarak ise genel olarak tek odalı ve minimal boyutlarda oluşturulmuştur. Akropolün güneybatısında antik dönemden günümüze kadar değişime uğramış ve kullanılmış beş adet yapı veya tarım terasları bulunmuştur (Özcan, 2017).



Şekil 3.14. Yamaç mekânlarına bir örnek (Özcan, 2017)

### 3.3.9. Kamusal alan

Şehrin en prestijli yeri olarak görülen bu alan, devlete ait olan genel bir alandır. Burada, dükkânlar ve resmi yapılar yer almaktadır. Bu alanlara yakın olmakla birlikte, üst tarafında yer alan yapılar ise agoraya yakın olmaları nedeniyle yaşam alanı olarak en kıymetli alanlardır (Fikret Özcan, kişisel görüşme, 14 Ağustos 2018). Şekil 3.15, bu alandan bir görüntüyü göstermektedir.



Şekil 3.15. Kentin kamusal alanından bir görüntü

### 3.3.10. Surlar

Kentin giriş kısmında yer alan surlar, Geç Antik Dönemde, M.S. 4. yüzyıldan sonra kentin içerilerine doğru çekilerek kent sınırları daraltılmıştır. Şekil 3.16, bu surlardan bir görüntüyü göstermektedir. Kent alanı daraltıldıktan sonra, halk, akropolisin batı yamacına yerleşmiştir. Akropolisin güneybatı köşesinden, düzleştirilmiş kaya kullanılarak seyirtim yolu ile 12 terasa halk dağıtılmış ve oradaki alanlarda bir yerleşke oluşturulmuştur. Bu yamaç ve

kayalarda takriben 1000 kişinin yaşayabileceği bir iskân alanı oluşturulmuştur (Fikret Özcan, kişisel görüşme, 14 Ağustos 2018).



Şekil 3.16. Kent surlarından bir görüntü

### **3.3.11. Yollar**

Kentin akropolisinin çevresinde en az üç adet yol vardır. Mümkün olduğu kadar kısa bir güzergâh oluşturacak şekilde düzenlenen bu yollar Isparta ve Antalya'ya kadar uzanmaktadır. Halk, bu yollar ile birtakım ihtiyaçlarını karşılarken göller gibi su alanlarına da ulaşım sağlayabiliyorlardı (Fikret Özcan, kişisel görüşme, 14 Ağustos 2018).

### **3.3.12. Pitoslar**

Günümüzde, bu bölgede yoğun olarak pitos parçaları bulunmaktadır (Şekil 3.17). Topraktan yapılan pitosların kalınlıkları 10-15 cm'dir. Bunlar 500

litre kadar büyüklükte katı ve sıvı tarım ürünlerini depolamakta kullanılan küplerdir ve antik dönemde toprağa gömülerek kullanılmıştır. Yerleştirilen küplerin etrafı kil ve balçık ile çevrelenmiştir. Böylece, toprağın sabit ısısından dolayı nem, güneş, zararlı böcek ve bitkilerden korunmaktaydı. Toprağın altında muhafaza edilen pitoslar içerisinde saklanan gıdalar, hava izolasyonu da sağlandığı için, takriben 15-17 C° sıcaklığında yaz ve kış aylarında da korunuyordu (Fikret Özcan, kişisel görüşme, 14 Ağustos 2018).



Şekil 3.17. Pitos parçalarından örnekler

### 3.3.13. Çatı kiremitleri

Bölgede bulunan kiremit parçalarının günümüzde olduğu gibi oyuk kısmından yağmur, çamur gibi dış etkenlere maruz kalıp deformasyona uğramaması için tasarlandığı görülmektedir (Şekil 3.18). Böylece, kiremidin düz kısımlarının bir deformasyona maruz kalmadan daha uzun

ömürlü bir malzeme olarak kullanılması sağlanmıştır (Fikret Özcan, kişisel görüşme, 14 Ağustos 2018).



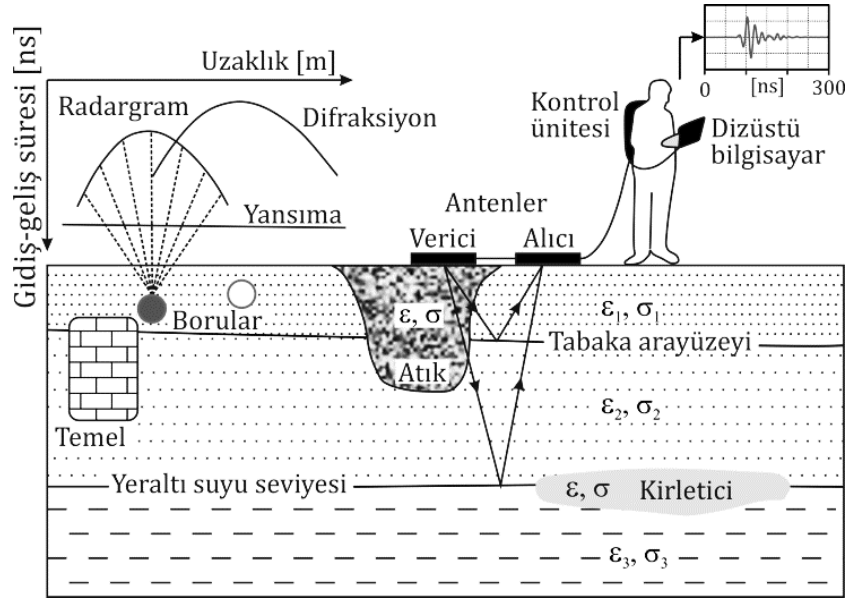
Şekil 3.18. Çatı kiremitlerinden örnekler

## 4. JEOFİZİK YÖNTEMLER

### 4.1. Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı sıg yeraltının ve yeraltındaki metalik/metalik olmayan hedeflerin (ör., metalik ve plastik borular) yüksek çözünürlükte görüntülenmesinde kullanılan girişimsel olmayan (noninvasive), tahribatsız (nondestructive) bir uygulamalı jeofizik yöntemdir. Yöntem günümüzde; buzul, boşluk, düden araştırmaları ve mağaraların olası uzanımlarının belirlenmesi (ör., Murray vd., 2007; Gizzi vd., 2010; Singh vd., 2010; Şeren vd., 2012; Nouioua vd., 2013), arkeolojik prospeksiyon (ör., Conyers, 2006; Piro ve Campana, 2012; Balkaya vd., 2018b), sedimantoloji (ör. Neal, 2004), zemin su içeriği ve porozitenin belirlenmesi (ör., Huisman vd., 2003; Turesson, 2006), inşaat mühendisliği ve çevre problemleri uygulamaları (ör., Knight, 2001; Daniels, 2004; Porsani vd., 2014; Benedetto ve Pajewski, 2015) gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte yöntem; adli araştırmalar ile kültürel ve mimari mirasın korunması ve restorasyonuna yönelik çalışmalar (ör., Novo vd., 2011; Capizzi vd., 2012; Kadioglu, 2013; Pérez-Gracia vd., 2013) ve ağaç köklerinin, kök biyokütlesinin ve ağaçlardaki çürümenin belirlenmesinde de (ör., Nicolotti vd., 2003; Butnor vd., 2012; Zhu vd., 2014) son zamanlarda etkin kullanım alanı bulmuştur (Balkaya ve Göktürkler, 2016).

Yer radarı yöntemi, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, yüksek frekanslı bir EM sinyalin (radar sinyali) bir verici antenden yere iletilmesi ve tabaka sınırlarından ve/veya gömülü nesnelere yansiyarak/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 yararlanılarak yer içinin elektrik özelliklerindeki değişimlerini temsil eden bir görüntü (radar kesitleri) elde edilebilir (Balkaya ve Göktürkler, 2016).



Şekil 4.1. Yer radarı yönteminin genel çalışma sistemi (Balkaya ve Göktürkler (2016) tarafından Blindow vd. (2007)'den düzenlenmiştir)

Yer radarı ölçümleri, teknolojinin günümüze kadar gelişimi itibariyle nanosaniye ( $10^{-9}$  s) duyarlılığında gerçekleştirilebilmektedir. Kaynak dalgası için belirlenen merkez frekans, bu değerin %50 alt ve %50 üstünü kapsayan bir frekans aralığında kullanılabilir (Milsom, 2003). Bir yer radarı çalışmasında kullanılan elektromanyetik dalganın frekansına bağlı olarak yeraltındaki cisimlerin derinlikleri, uzanımları ve geometrilerinin santimetre hassasiyetinde tespit edilebilmesi nedeniyle, yöntemin sığ derinlikli jeofizik araştırmalar için en uygun jeofizik ölçüm yöntemi olduğu söylenebilir. Yer radarı yöntemi son 20 yılda yazılım ve alet teknolojisindeki hızlı gelişme neticesinde oldukça geniş bir yelpazede ve özet olarak Çizelge 4.1.'de değinilen uygulama alanlarında yüksek ayrımlılıklı çözümler üretebilmektedir.

Yer radarı yönteminin en önemli avantajları; ekipmanının kolay taşınabilir olması, ortam ve çevre için tahribatsız bir karakteristik göstermesi, görece hızlı veri toplanabilmesi ve yüksek çözünürlüklü yeraltı görüntüleri üretebilmesidir. Bununla birlikte, kil, su ve tuz gibi elektriksel iletkenliği yüksek ortamlarda EM dalganın derinlere penetre olamaması ve düşük frekanslarda çözünürlüğün azalması dezavantajdır. Bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanıp sonuç vermesi için aranan nesne/yapı ile bunu

çevreleyen jeolojik birim/malzeme arasında yeterli bir elektriksel zıtlığın olması gerekir.

Çizelge 4.1. Yer radarı yönteminin genel uygulama alanları (Özürkan ve Ulugergerli (2005)'ten düzenlenmiştir)

Uygulama Alanı	Araştırma konusu
<b>Mühendislik Araştırmaları</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yol, havaalanı, baraj, su kanalı ve santrallerin yapımında yerleşim alanı yer araştırmaları</li><li>• Tünel ve yapı araştırmaları</li><li>• Demiryolu, karayolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerisi araştırmaları</li><li>• Tavan, taban ve duvarların incelenmesi</li><li>• Restorasyon amaçlı araştırmalar</li><li>• Yapı, duvar ve tabanlarındaki nemliliğin araştırılması</li></ul>
<b>Jeolojik Araştırmalar</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Jeolojik yapı araştırmaları</li><li>• Kırık/süreksizlik ve sokulumların araştırılması</li><li>• Kil merccekleri ve buz kamalarının araştırılması</li><li>• Heyelan araştırmaları</li><li>• Karstik boşluk ve mağara araştırmaları</li><li>• Buzul araştırmaları</li><li>• Eski nehir yataklarının araştırılması</li><li>• Masif kayalar içinde kırık, çatlak ve fissürlerin araştırılması</li></ul>
<b>Çevre Araştırmaları</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• YAS ve YAS kirliliği araştırmaları</li><li>• Hidrokarbon kirliliği araştırmaları</li><li>• Gömülü katı atık depolarının araştırılması</li><li>• Gömülü yakıt tanklarının araştırılması</li><li>• Buzul araştırmaları</li><li>• Endüstriyel atık, sızıntı, araştırmaları</li><li>• Su ve kanalizasyon yollarından kaynaklanan kaçak ve sızıntıların belirlenmesi</li><li>• Katı atık boşaltım alanlarının yer seçimi amaçlı yer araştırmaları</li><li>• Altyapı boru hatlarının (kanalizasyon, su yolu, kanal, sığınak, elektrik ve telefon hatları) bulunması</li></ul>
<b>Arkeojeofizik Araştırmalar</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Antik şehir, tapınak, mezar, duvar, temel, dehliz vb. tarihi kalıntıların bulunması</li><li>• Yeraltı şehirlerinin araştırılması</li></ul>
<b>Maden Araştırmaları</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüzeğe yakın madenlerin aranması</li><li>• Yeraltı galerilerinin araştırılması</li><li>• Rezerv geliştirme</li><li>• Galeri sürülerek yapılan maden (kömür) araştırmaları</li><li>• Göçük ve maden kazalarında ilk yardım amaçlı çalışmalar</li></ul>

#### 4.1.1. Temel prensipler

Elektrik veya manyetik akım kaynakları olmayan, fakat elektrik veya manyetik alan enerjisini absorbe eden materyallere sahip olabilen bir alanın, bir bölümü dikkate alınarak ve MKS birim sistemi kullanılarak, zamana bağlı Maxwell denklemleri diferansiyel formda; Faraday ve Amper, elektrik ve manyetik alan için ise Gauss kanunları ile verilebilir (Taflove ve Hagness, 2005). Zamanla değişen manyetik alan, elektrik alanının varlığını

açıklayan elektrik yüklerinin hareket etmesine neden olur. Dolayısıyla, bir elektrik alan meydana gelir (Faraday kanunu) (Balkaya, 2014).

Yer radarı için elektrik ve manyetik özellikler önemlidir. Maxwell denklemleri ortamların özelliklerini belirlerken matematik olarak EM alanların fiziksel özelliklerini açıklar. Bu nedenle yöntemde, fiziksel özellikler oldukça önemlidir ve anahtar parametredir. Dalga yayılım sabiti veya EM dalga yayılım katsayısı olan "k" birimi şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$k^2 = \epsilon\mu\omega^2 + i\mu\sigma\omega = \alpha + i\beta \quad (4.1)$$

Burada,  $\sigma$  elektrik iletkenlik (S/m),  $\epsilon$  dielektrik geçirgenlik ve  $\mu$  manyetik geçirgenliktir (H/m).  $\omega=2\pi f$  olmak üzere  $f$  uygulanan alternatif manyetik alanın frekansı ve  $i = \sqrt{-1}$ 'dir.  $\alpha$  ise yer değiştirme akımı ile  $i\beta$  ise iletkenlik akımı ile ilgilidir.

Görece yüksek bir frekans bandına sahip yer radarı yönteminde uygulanan EM alanın frekansı 10MHz-2GHz arasında olası nedeniyle,

$$k = \epsilon\mu\omega^2 \text{ olur.} \quad (4.2)$$

$\sigma$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$  özellikleri sabit bir ortamda ve düşük frekanslarda ortamın özellikleri  $\omega^{1/2}$ 'ye bağlıdır. Yer radarı yönteminde EM alanındaki gibi yüksek frekanslarda ortamın özellikleri frekansa bağımlı olmamaktadır. Eşitlik 4.1'de, dielektrik geçirgenlik  $\epsilon$  önemli bir parametre olmaktadır. Göreceli dielektrik geçirgenlik veya dielektrik sabiti ise,

$$\epsilon^* = \epsilon/\epsilon_0 \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\epsilon_0$  serbest ortamın dielektrik geçirgenliğidir ve değeri  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m'dir.

Yeraltındaki jeolojik malzemelerin EM özellikleri, onların bileşimi ve su içeriği ile doğrudan ilişkilidir. EM dalgaların, yeraltındaki yayılım hızını ve sönümlenmesini bu iki parametre belirlemektedir. Herhangi bir ortam içerisinde radyo dalgalarının hızı, serbest ortamdaki ışığın hızına ( $c \cong 0.2998$  m/ns), bağlı dielektrik katsayısına, elektriksel iletkenliğe ve bağlı manyetik geçirgenliğe bağlıdır (Reynolds, 1997). Bazı malzemeler için dielektrik katsayısı ve iletkenlik değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bazı malzemelerin 100 MHz frekansında ölçülen elektriksel iletkenlik, hız ve sönümlenme değerleri (Annan, 2004)

Malzeme	$\sigma$ (mS/m)	$V$ (m/ns)	$\alpha$ (dB/m)
Hava	0	0,3	0
Damıtılmış su	0.01	0.033	0.002
Tatlı su	0.5	0.033	0.1
Deniz suyu	309	0,01	103
Kuru kum	0.01	0.15	0.01
Suya doymun kum	0.1-1	0.06	0.03-0.3
Kireçtaşı	0.5-2	0.12	0.4-1
Şistler	1-100	0.09	1-100
Siltler	1-100	0.07	1-100
Killer	2-1000	0,06	1-300
Granit	0.01-1	0.13	0.01-1
Kuru tuz	0.01-1	0.13	0.01-1
Buz	0.01	0.16	0.01

EM dalga yayılımı, izleyen bir boyutlu dalga denklemi ile verilebilir (Daniels, 2004). Dalga boyu  $\lambda$  izleyen eşitlik ile tanımlanabilir.

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{v}{f} = \frac{2\pi}{\omega(\mu\varepsilon)^{1/2}} \quad (4.4)$$

Burada,  $v$  EM dalganın faz hızıdır. Yukarıdaki eşitlikte gerekli sadeleştirmeler yapılırsa dalga hızı  $v$  ve dalga uzunluğu  $k$  sırasıyla

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \quad (4.5)$$

$$k = \frac{1000c}{f\sqrt{\epsilon^*}} \quad (4.6)$$

olarak elde edilir. Dielektrik ortamlarda manyetik geçirgenlik  $\mu$  değişimleri ihmal edilebilmektedir. EM alanın bir ortamda dispersiyona uğramadan yayılması durumunda EM dalganın hızı:  $v$ , sönümü:  $\eta$ ,

$$f(x, t) = f(x \pm vt)e^{+Ax} \quad (4.7)$$

fonksiyon ifadesi ile verilir. Burada  $\chi$  yayılım doğrultusundaki mesafe ve  $A$  (dB/m) attenüasyondur ve

$$A = 1635\sigma/\epsilon^* \text{ şeklinde tanımlanır.} \quad (4.8)$$

Dalga parametreleriye izleyen şekilde tanımlanır:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon^*}} \quad (4.9)$$

$$A = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z_0 \frac{\sigma}{2\sqrt{\epsilon^*}} \quad (4.10)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (4.11)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon^*}} \quad (4.12)$$

Burada  $c$  ışık hızıdır ve değeri  $c=300000 \text{ km/s} = 0.3 \text{ m/ns}$ 'dir.

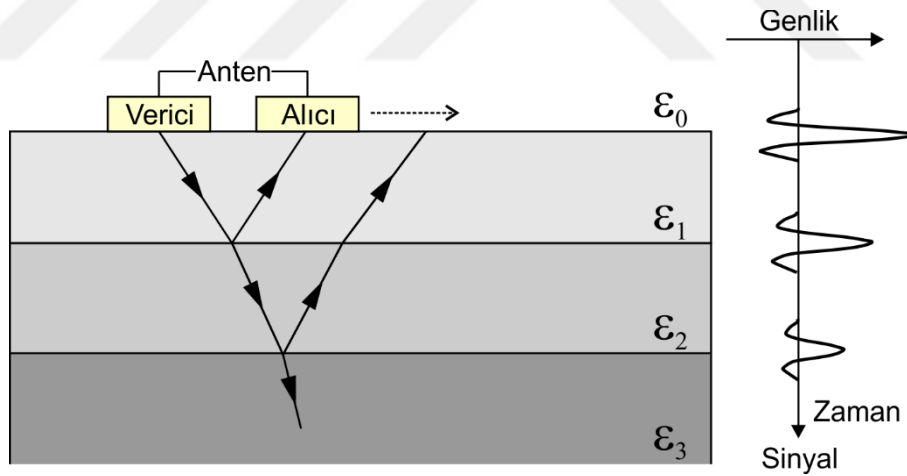
$$\frac{1}{A} = \delta = \left(\frac{2}{A}\right) \left(\frac{\epsilon}{\mu_0}\right)^{1/2} \quad (4.13)$$

EM alanın iletken kütle içeren bir ortamda yansımaları, kırılması ve iki farklı özelliğe sahip lokasyon sınırından geçiş özellikleri sismik yöntemde görülen Snell kanununa göre oluşmaktadır. Bu anlamda yer radarı yöntemi sinyalin kaydedilen yansımalarına ve saçılmasına bağlıdır. Yansıma özellikleri, alanın geliş açısına ve frekansına da bağlıdır. Düzlemsel sınırlar sağlıklı bir kayıt elde etmek için en basit modeldir. Yer radarı yönteminde yansıma katsayısı ( $RC$ ) (reflection coefficient), iki farklı dielektrik özelliğe sahip iki ortam sınırında aşağıdaki gibi tanımlanır (Keçeli, 2012).

$$RC = \frac{\sqrt{\epsilon_1^*} - \sqrt{\epsilon_2^*}}{\sqrt{\epsilon_1^*} + \sqrt{\epsilon_2^*}} = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} \quad (4.14)$$

$\epsilon_1^*$  ve  $\epsilon_2^*$  yansıtıcı sınırın birinci ve ikinci ortamın dielektrik sabitleri,  $v_1$  ve  $v_2$  radar hızlarıdır. Penetrasyon katsayısı,  $R$  ise:

$$R = 1 - RC \text{ olarak tanımlanır (Keçeli, 2012).} \quad (4.15)$$



Şekil 4.2. Dielektrik sabitleri farklı ortam sınırlarında EM dalganın yansıma ve kırılması

EM dalganın yansıma katsayısı ( $RC$ ), şekil 4.2'de de görüldüğü gibi, jeolojik birimlerin dielektrik sabitleri arasındaki farklılıklara bağlıdır.  $RC$  yansıma katsayısı dalganın yüzde kaçının yansıtacağını ve yüzde kaçının yer içine nüfus edeceğini gösterir (Keçeli, 2012).

Yansıyan dalganın şiddeti profil boyunca kaydedilir ve şiddetin büyüklüğü dik eksende gösterilir. Alıcı antene yakın yansıma yüzeyinde gelen sinyal uzaktakinden daha önce gelir. Yansıma şiddeti farklı renklerde görülür. Bir pulsun bütün alınan yansımalarının kaydı tarama (scan) olarak adlandırılır. Bir profil boyunca yapılan işlem bir taramadır. Bir taramada profil, yatay eksen, zaman, nano saniye olarak, derinlik ( $h$ ), dikey eksenle gösterilir. Derinlik bilgisi izleyen eşitlikte verildiği gibi elde edilir:

$$h = \frac{vt}{2}, \quad (4.16)$$

burada  $h$  anten ve yeraltındaki yansıma yüzeyi arasındaki uzaklık, yani derinlik,  $t$  ise giden ve gelen dalga zamanları arasındaki gidiş-geliş süresidir. Yer radarı nüfuz derinliği ise

$$d = \frac{\rho}{30} \quad (4.17)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Çizelge 4.2, EM alanın frekansa bağlı nüfuz derinliklerini, çizelge 4.3'de ise çeşitli uygulama alanlarında kullanılması önerilen öncelikli ve ikincil anten tercihlerini ve bu antenler kullanılarak yaklaşık olarak hedeflenen araştırma derinlik bilgilerini göstermektedir. Aranılan hedefin/yapının ve ortamın özellikleri, araştırma derinliği ve hedefin boyutuna uygun bir merkez frekansa sahip anten tercih edilmelidir.

Çizelge 4.3. EM alanın frekansa bağlı nüfuz derinlikleri (Keçeli, 2012'den düzenlenmiştir)

<b>Frekans (MHz)</b>	<b>Derinlik (m)</b>
1000	0.5
500	1.0
200	2.0
100	5.0
50	10.0
25	30
10	50.0

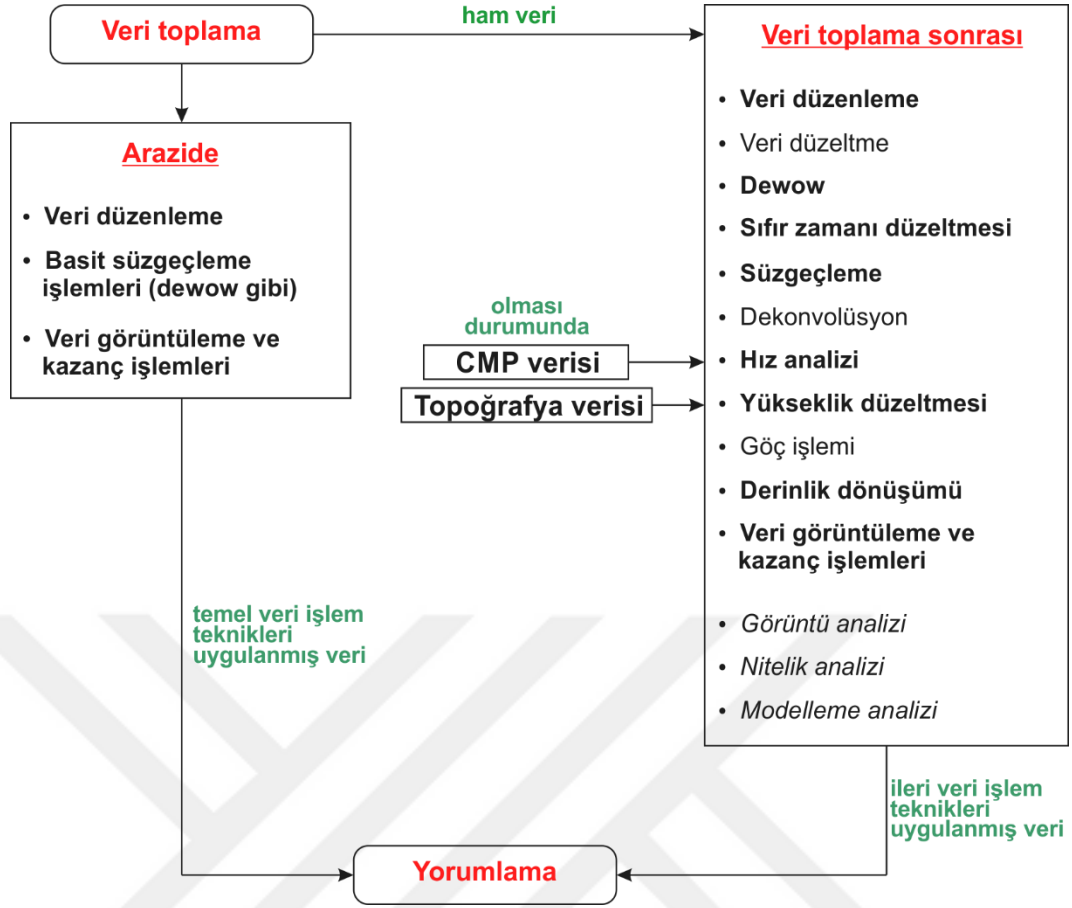
Çizelge 4.4. Merkez anten frekansı seçimine bağlı olarak yaklaşık derinlik (Leucci vd., 2012'den düzenlenmiştir)

Yaklaşık derinlik [m]	Öncelikli anten Tercih [MHz]	İkincil anten Tercih [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

#### 4.1.2. Temel veri işlem aşamaları

Bir yer radarı çalışmasından toplanan verilere, yeraltı görüntüsüne en yakın sonuca ulaşmak için çeşitli filtre ve teknikler yardımıyla çeşitli veri-işlem uygulanır. Bu işlemler özet olarak Şekil 4.3'de bir akış diyagramı şeklinde sunulmuştur. Bunlar arasında süzgeçleme, genlik kazanç uygulaması ve derinlik dönüşümünde kullanılacak hız analizi oldukça önemlidir.

Çalışma alanından alınan yer radarı verilerinde, çok düşük frekanslı gürültüler gerçek olayları örtmektedir. Bu duruma "wow" etkisi denir. Wow etkisini gidermek amacıyla yapılacak süzgeçlemeye de "dewow" adı verilmektedir. Bunların haricinde, yapılacak araştırmanın amacına göre, en basit olarak alçak geçişli ve yüksek geçişli veya band geçişli süzgeçleme yapılabilir. Alçak geçişli süzgeçleme, kısa dalga boylu olayları baskın hale getirmek amacıyla yapılmaktadır. Genellikle saçılma verilerini düzgün ve yavaş şekilde değişen olaylar üzerinde belirginleştirmek amacıyla uygulanmaktadır. Band geçişli filtreleme ise, baskın olan belli bir frekans aralığının veride korunması ve buna ek fazla düşük ve fazla yüksek frekanslı olayların atılması amacıyla uygulanmaktadır (Kadioğlu, 2004).



Şekil 4.3. Ortak ofset, yansıma verileri için tipik veri değerlendirme aşamaları (Cassidy, (2009)'dan, Balkaya 2014 tarafından düzenlenmiştir)

Çalışma alanından alınıp, işlenen yer radarı verisi zamanla çok hızlı sönümlendiği için, derinlerden gelen genlik bilgisi yüzeye yakın bölgelere göre daha zayıf olmaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek için de veriye genlik kazanç düzeltmesi uygulanmaktadır. Kazanç fonksiyonunun seçiminin yorumcuya göre değiştiği bilinmelidir (Kadioğlu, 2004). Radar verisi üzerindeki hiperbolik şekillerden yararlanarak, hiperbol çakıştırma işlemi ile saçılmayı meydana getiren olayın hızı hesaplanarak zaman-derinlik dönüşümleri gerçekleştirilmelidir.

## 4.2. Elektrik Özdirenç Tomografi (EÖT) Yöntemi

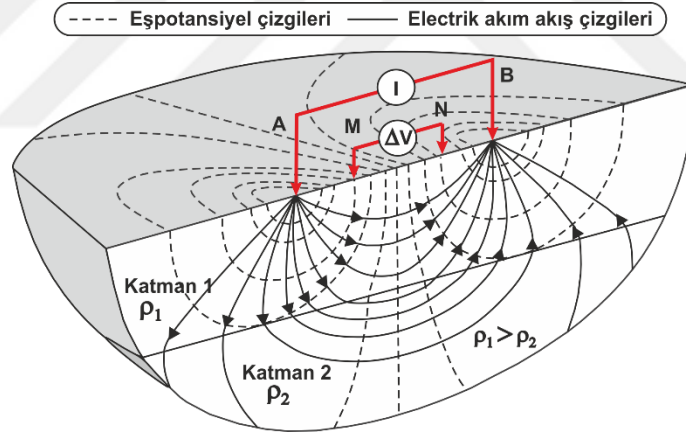
### 4.2.1. Temel Prensipler

Jeofizik yöntemlerin başlıcalarından olan "Elektrik Özdirenç Yöntemi", jeolojik birimlerin elektrik özdirençlerinin saptanması ile yer içinin özelliklerinin öğrenilmesini amaç edinmektedir. Yöntem, uygulamalı jeofizik yöntemler arasında en eskilerden biridir ve genel olarak metal alaşım hapseden maden yataklarının aranması, fay ve kırık hatlarının belirlenmesinde, yeraltı boşluklarının aranması, yeraltı sularının aranması, petrol yataklarının aranması, yeraltı jeolojik yapılarının aydınlatılması, baraj rezervuarındaki sızıntılarının tespit edilmesi, depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarında ve arkeolojik yapıların araştırılmasında başarıyla kullanılmaktadır (Keçeli, 2012). Ayrıca elektrik özdirenç yöntemi, manyetik ve yer radarı yöntemleriyle birlikte arkeoloji jeofiziğinde en yaygın kullanılan yöntemdir (Kaya, 2007).

1940'lı yılların ikinci yarısından itibaren arkeolojik araştırmalarda kullanılmaktadır. Ancak veri toplama aşamasının zor ve uzun olması yöntemin gelişiminde önemli bir dezavantaj oluşturmuştur. Teknolojinin gelişimiyle özellikle 1970'li yıllardan itibaren yöntem, geniş alanların araştırılmasında kullanılmaya başlamıştır. 1990'lı yıllarla birlikte mikroişlemci teknolojisindeki gelişim, çok kanaldan ölçüm yapabilen aletlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ayrıca, sayısal çözüm yöntemlerinin modellemede kullanılması, etkili ters çözüm modellemesine olanak sağlamıştır. Günümüzde, daha hızlı ölçüm alabilen aletlerin ortaya çıkması ve tomografi çalışmalarının bu aletlerle daha kolay yapılabilmesi, geniş ölçekli arkeolojik aramacılıkta özdirenç yönteminin önemini arttırmaktadır (Berge, 2019).

Yöntemin genel uygulanışı, paslanmaz çelikten üretilen dört elektrotun yeryüzü veya yer içine çeşitli aralıklarla yerleştirildikten sonra, akımın elektrot çiftlerinin biri aracılığıyla uygulanması ve diğer elektrot çiftinden ise oluşan potansiyel farkının ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilir. Yer içine gönderilen akım; yer içindeki metalik ortamda elektron, sıvı ortamda ise

iyon ya da hem metalik hem sıvı ortamın birlikte olduğu durumlarda ise de elektron ve iyonlarla taşınmaktadır. İki akım elektrotu aracılığı ile yere gönderilen elektrik akımına, elektrotların açıklığına ve gönderilen akımın yer içindeki iletim özelliğine göre, yine yer içinde ve yeryüzünde bir elektrik potansiyeli (voltaj) dağılımı oluşmaktadır. Bu oluşan elektrik potansiyeli, diğer iki elektrot tarafından ölçülmektedir (Şekil 4.4). Homojen bir yer modeline elektrik akımı uygulandığında, gönderilen akımın akışı küresel bir biçimdedir. Ancak yer hava ile sınırlanmıştır ve havanın özdirenci sonsuz olduğu için, yerdeki akım akışı, homojen bir ortam için, yarım küre şeklindedir. Ölçümler sonucunda, uygulanan elektrik akım miktarı ile elektrotlar arasındaki ilişki, ortalama özdirenci ifade eden özdirenç değerine dönüştürülmektedir. Yere uygulanan akımın derinliği, elektrotlar arasındaki uzaklıkla paralel bir şekilde, açılım arttıkça artmaktadır. Yöntemin bu nitelikli özelliğinden dolayı, yer içini birkaç metreden, birkaç bin metre derinliğe kadar incelemeleri yapılabilmektedir (Keçeli, 2012).



Şekil 4.4. Genel dört elektrotlu dizilim için özdirenç ölçüm sistemi (Seidel ve Lange (2007)'den düzenlenmiştir)

Yeryüzüne yakın kayaçların elektrik iletkenlikleri; basit olarak, metalik ortamlarda elektron, bunun dışındaysa iyonların taşınmasına bağlıdır. Kayaçların iletkenliği çoğunlukla birbirine bağlı gözeneklerde, tane sınırları boyunca, kırıklarda, faylarda, ezilme bölgelerinde sıvıya, onun içindeki iyon türüne ve konsantrasyonuna bağlıdır. Elektrik akımının akışını sağlayan iyonlar su içindeki tuzların çözünmesiyle oluşur. Dolayısıyla kayaçların iletkenliği içlerinde taşıdıkları çözünmüş iyon konsantrasyonu ile artar.

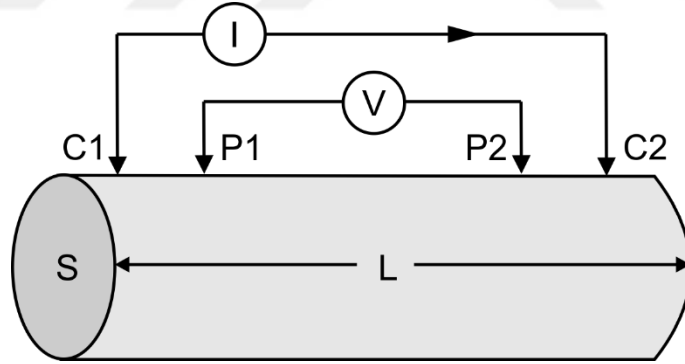
Kayaçların elektrik özelliklerini incelemek için, elektrik özdirençlerinin Ohm Kanunu'na dayanarak saptanması gerekmektedir. Ohm Kanunu; bir elektrik devresinden doğru akım ( $I$ , amper) geçerken, elektrik devresindeki direnç ( $R$ , ohm) elemanı üzerinde oluşan gerilimin ( $U$ , volt) azalmasının, o direnç elemanından, geçen akım miktarı oranına sabit olması esasına dayanır (Keçeli, 2012).

$$R = \frac{V}{I} \quad (4.18)$$

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, elektrik devresinde direnç elemanı yerine, " $S$ " taban alanlı ve " $L$ " uzunluklu bir prizmatik homojen izotrop " $\rho$ " elektrik özdirençli bir numune olması durumunda " $R$ " direnci,

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (4.19)$$

eşitliği ile hesaplanır.



Şekil 4.5. Numune özdirençinin ölçülmesi

Elektrik özdirenç ile elektrik iletkenlik arasında, ters bir ilişki mevcuttur,  $\rho = \frac{1}{\sigma}$ 'dir. Ohm kanunu deneysel bir kanun olup, en önemli yanı lineer olmasıdır (Keçeli, 2012). Özdirenç, yere verilen akım ve ölçülen gerilim farkına bağlı olarak hesaplanmaktadır (Kaya, 2007).

$$\rho_a = \left( \frac{\Delta v}{I} \right) * K \quad (\Omega m, \text{ohm.m}) \quad (4.20)$$

Burada "K", geometrik faktör olup, akım ve gerilim elektrotlarının konumuna bağlıdır ve izleyen eşitlik ile hesaplanabilir.

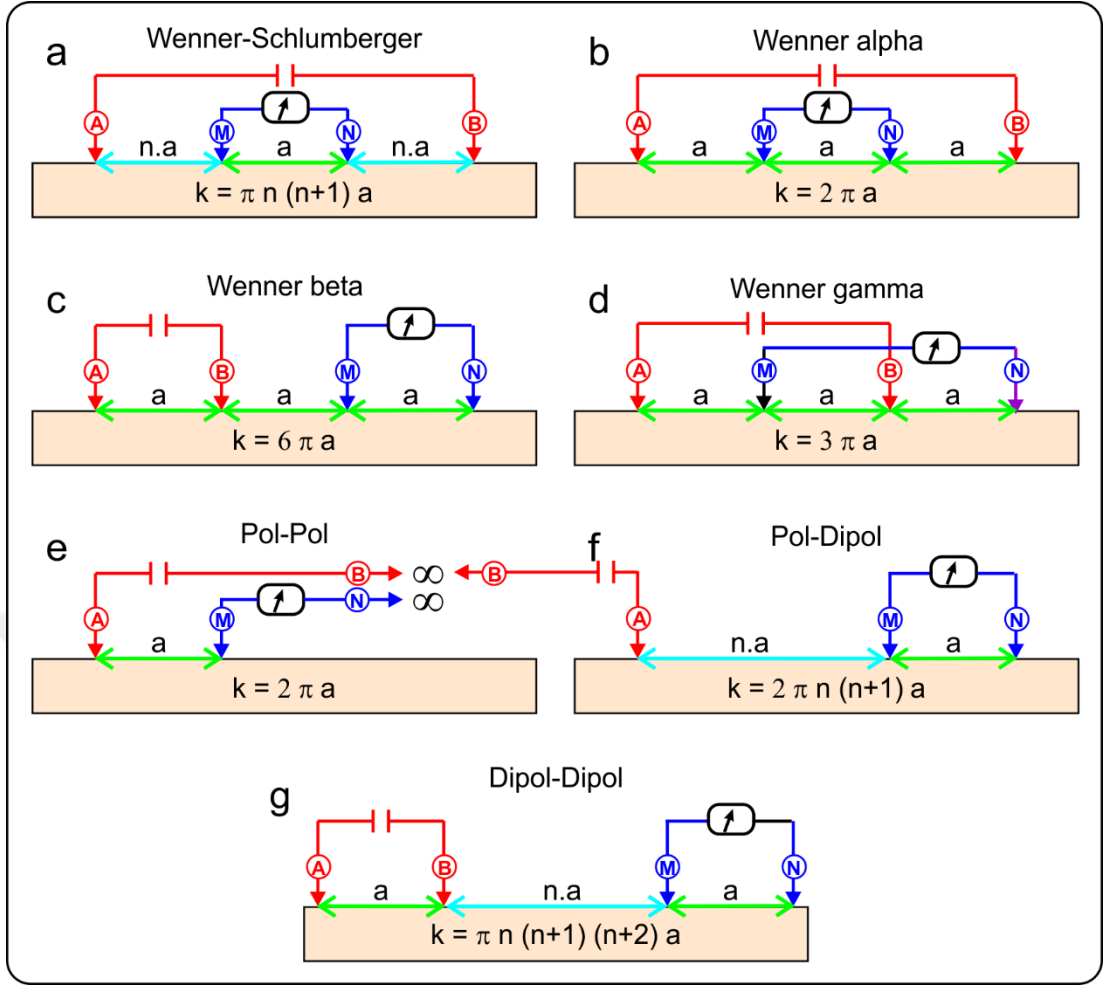
$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}} \quad (4.21)$$

Burada  $A$  ve  $B$  akım,  $M$  ve  $N$  ise potansiyel elektrotlarını temsil etmektedir. Eşitlik 4.20 ile hesaplanan özdirenç "görünür özdirenç" olarak tanımlanır ve homojen ortamlar için gerçek özdirence karşılık gelmektedir. "K" geometrik faktör; açılım türüne bağlı olup, heterojen yer modeli için, aynı bir model üzerinde farklı açılımlarla farklı özdirenç hesaplanacağı açıktır (Kaya, 2007).

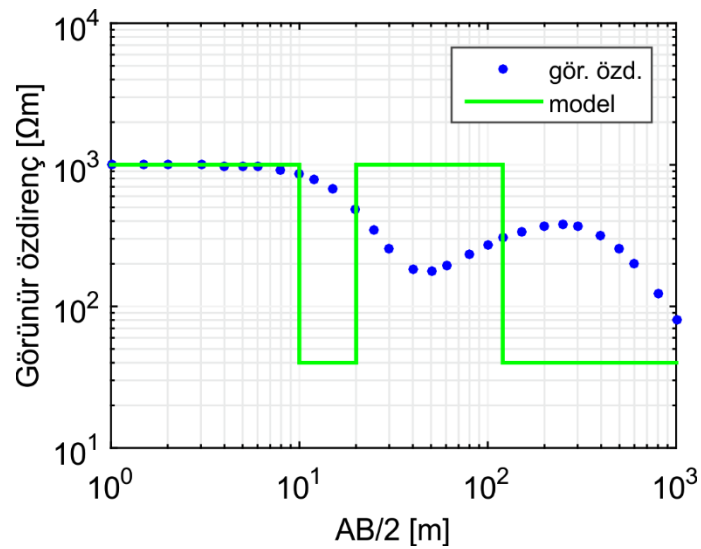
#### 4.2.2. Elektrot dizilimleri ve ölçü alım teknikleri

Elektrotların konumuna göre geliştirilen ölçü alma teknikleri "Elektrot açılımları" olarak adlandırılmaktadır. Akım ve potansiyel elektrotlarının yüzey konumlarına ve birbirlerine olan uzaklıklarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir. Bu dizilimler uygulamanın amacına göre belirlenmektedir. Örneğin, derin araştırmalarda Schlumberger ve Wenner kullanılırken yanal süreksizliklerin belirlenmesinde pol-dipol dizilimi daha başarılıdır (Candansayar, 2014). Şekil 4.6'da, uygulamada yaygın olarak kullanılan elektrod dizilimleri gösterilmektedir.

Elektrik özdirenç yönteminin uygulaması amaca göre değişmektedir. Eğer yatay katmanlı ortamların araştırılması isteniyorsa, bir simetri merkezine göre akım elektrotları sürekli açılarak ve bu elektrot açma işlemi ile daha derinlere akım gönderilmesi sağlanarak, ölçü alınmakta ve "Düşey Elektrik Sondaj (DES)" olarak tanımlanmaktadır. Hesaplanan özdirenç değerleri, uzaklığın fonksiyonu olarak grafiklenmektedir (Şekil 4.7) ve değerlendirme teknikleri kullanılarak, o yer modeli için katmanların gerçek özdirenç ve kalınlığı bulunmaktadır (Kaya, 2007).

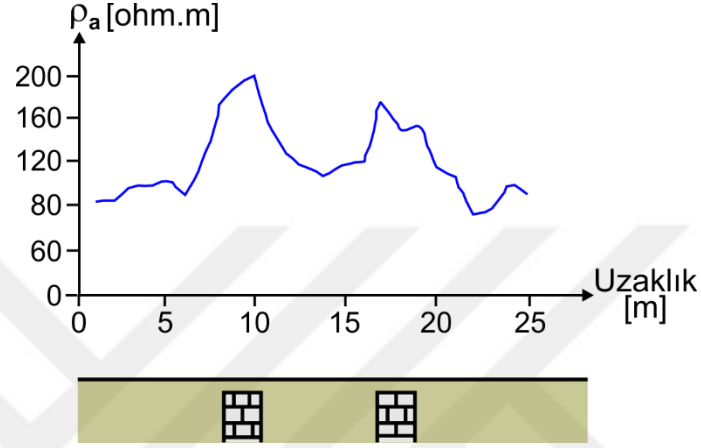


Şekil 4.6. a) Wenner-Schlumberger, b) Wenner alpha, c) Wenner beta d) Wenner gamma, e) Pol-Pol, f) Pol-Dipol ve g) Dipol-Dipol elektrot dizilimleri ve bu dizilimlerin geometrik faktörleri (Ünyay, 2019).



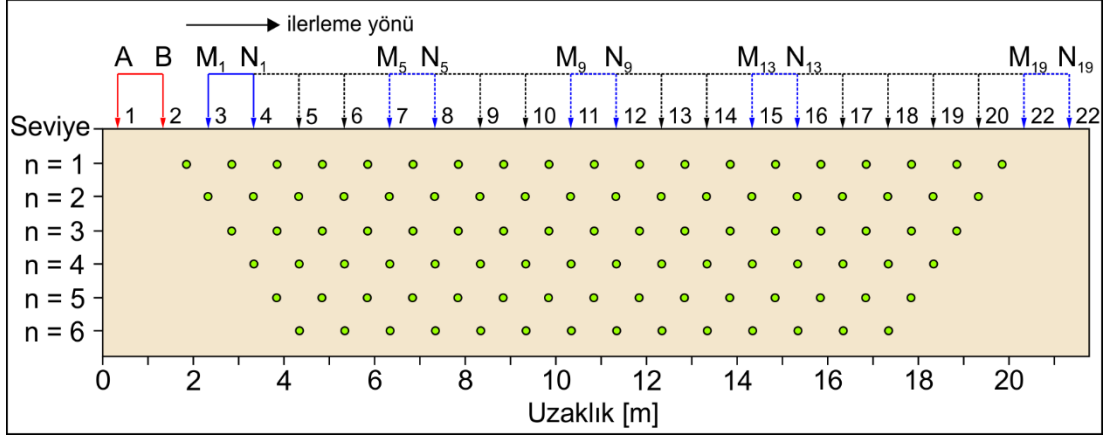
Şekil 4.7. Schlumberger elektrot dizilimi için bir DES eğrisi

Eğer fay, duvar gibi yanal süreksizlikler araştırmak istenirse de, bir doğrultu hattı boyunca elektrot aralıkları sabit olmak kaydıyla, tüm elektrotlar hareketlidir. Bu tanımsal olarak "Yatay Kayma" veya "Kaydırma (Profiling)" olarak bilinmektedir (bk. Şekil 4.8). Bu durumda, görünür öz direnç, yatay uzaklığın fonksiyonu olarak grafiklenmektedir (Kaya, 2007).



Şekil 4.8. Duvar kalıntıları üzerinde kaydırma ölçüsü (Pattantys, 1986)

Son yıllarda DES ve kaydırma teknikleri (sondaj-profil tekniği) birlikte uygulanarak bir hat boyunca hem yanal hem de düşey değişimlerin görüntülenmesi sağlanmıştır (Şekil 4.9). Çok elektrotlu ölçü aletlerinin gelişimi ile özellikle arkeoloji jeofiziği ve çevre jeofiziğinde, en yaygın kullanılan çalışma tekniği durumuna geçmiştir. Bu sistemler sayesinde alan uygulamalarında zaman ve maliyet açısından çok büyük ölçüde kazanç sağlanmakta (Van Overmeeren ve Ritsema, 1988; Dahlin,1996) ve toplanan görünür öz direnç veri kümeleri 2B ve 3B olarak değerlendirilebilmektedir. Şekil 4.10, Pisidia Mallos Antik Kenti'nde W-S elektrot dizilimiyle gerçekleştirilen EÖT uygulamasından görüntüler görülmektedir. Çalışma alanına bir araç ile ulaşmak mümkün olmadığı için EÖT uygulaması oldukça zahmetli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.11'de, EÖT ekipmanını ve Şekil 4.12'de ise ekipmanın çalışma alanına taşınması sırasında çekilen birer fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Sondaj-profil ölçüm tekniğinde veri toplama



Şekil 4.10. Mallos Antik Kenti EÖT çalışması veri toplama aşamasından görüntüler



Şekil 4.11. EÖT ekipmanı



Şekil 4.12. EÖT ekipmanının çalışma alanına taşınması

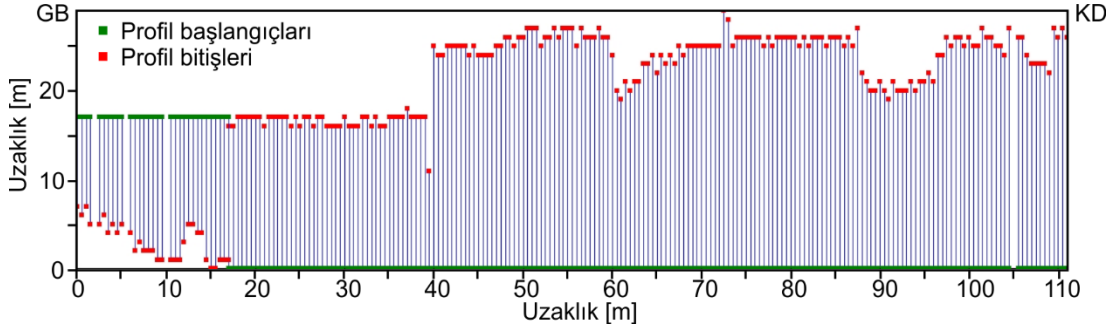
## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 5.1. Yer Radarı Çalışmasının Bulguları

Pisidia Mallos Antik Kenti arkeojeofizik çalışması 2017 yılında yer radarı ve 2018 yılında EÖT çalışması şeklinde kentin agora alanında gerçekleştirilmiştir. Yer radarı çalışması 500 MHz merkez frekanslı kapalı bir anten sistemi kullanılarak zik-zak ölçümler şeklinde yaklaşık D-B doğrultulu 223 profil üzerinde gerçekleştirilmiştir. Toplam 4745 m uzunluğunda yer radarı verisi toplanmıştır. Şekil 5.1. yer radarı çalışma alanını göstermektedir. Uygulamada ölçüm profilleri arası 0.5 m, iz aralığı 5 cm ve zaman penceresi ise 80 ns olarak belirlenmiş, değerlendirmede ise kazanç, arka plan etkisinin giderilmesi, medyan filtre, bant geçişli süzgeç (150-800 MHz) ve migrasyon (0.09 m/ns) gibi temel veri işlem teknikleri uygulanmıştır (GPR-SLICE v7.0). Şekil 5.2, yer radarı çalışması ölçüm profillerini göstermektedir.

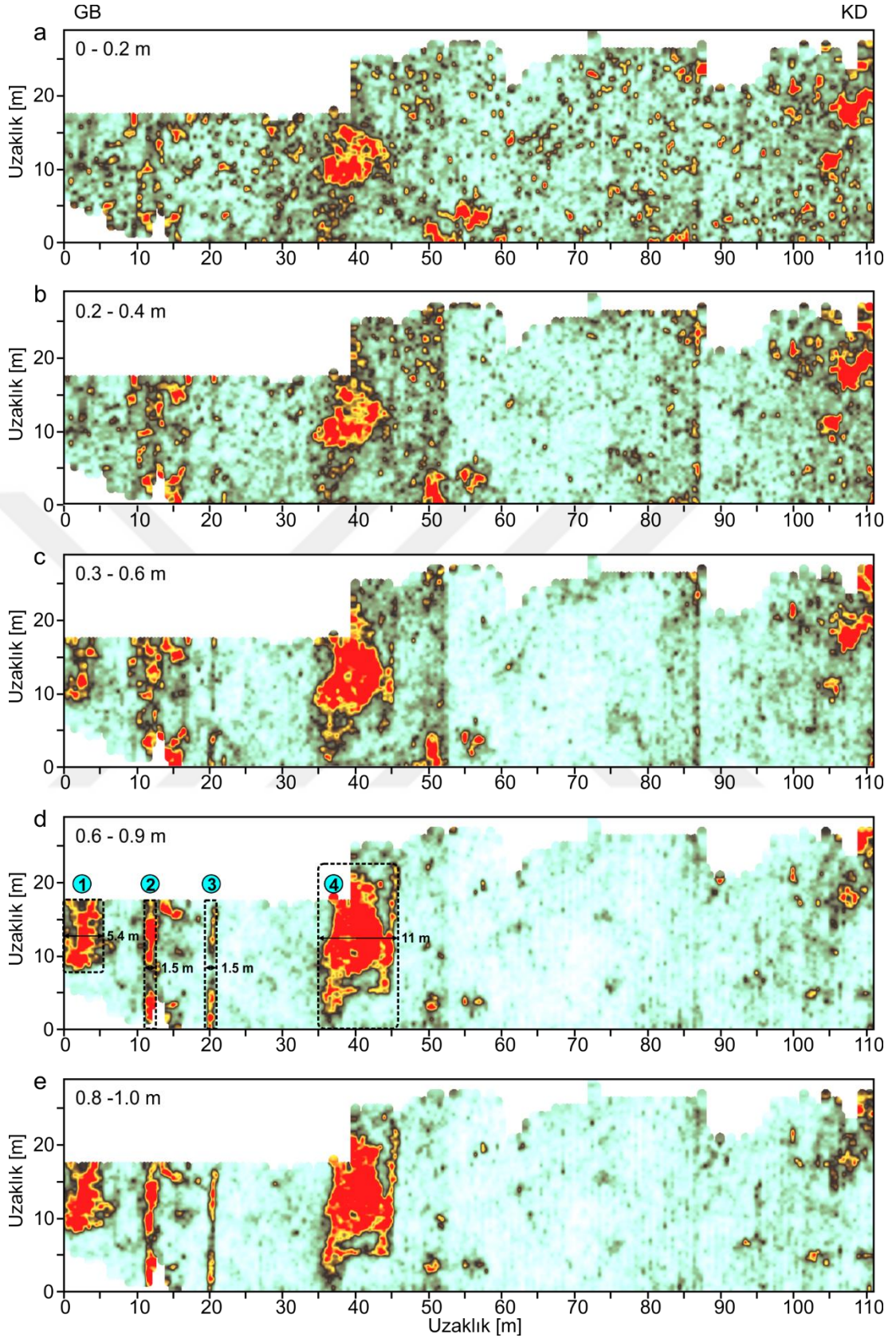


Şekil 5.1. Mallos Antik Kenti agora alanı ve 2017 yılında gerçekleştirilen yer radarı çalışma alanı sınırları

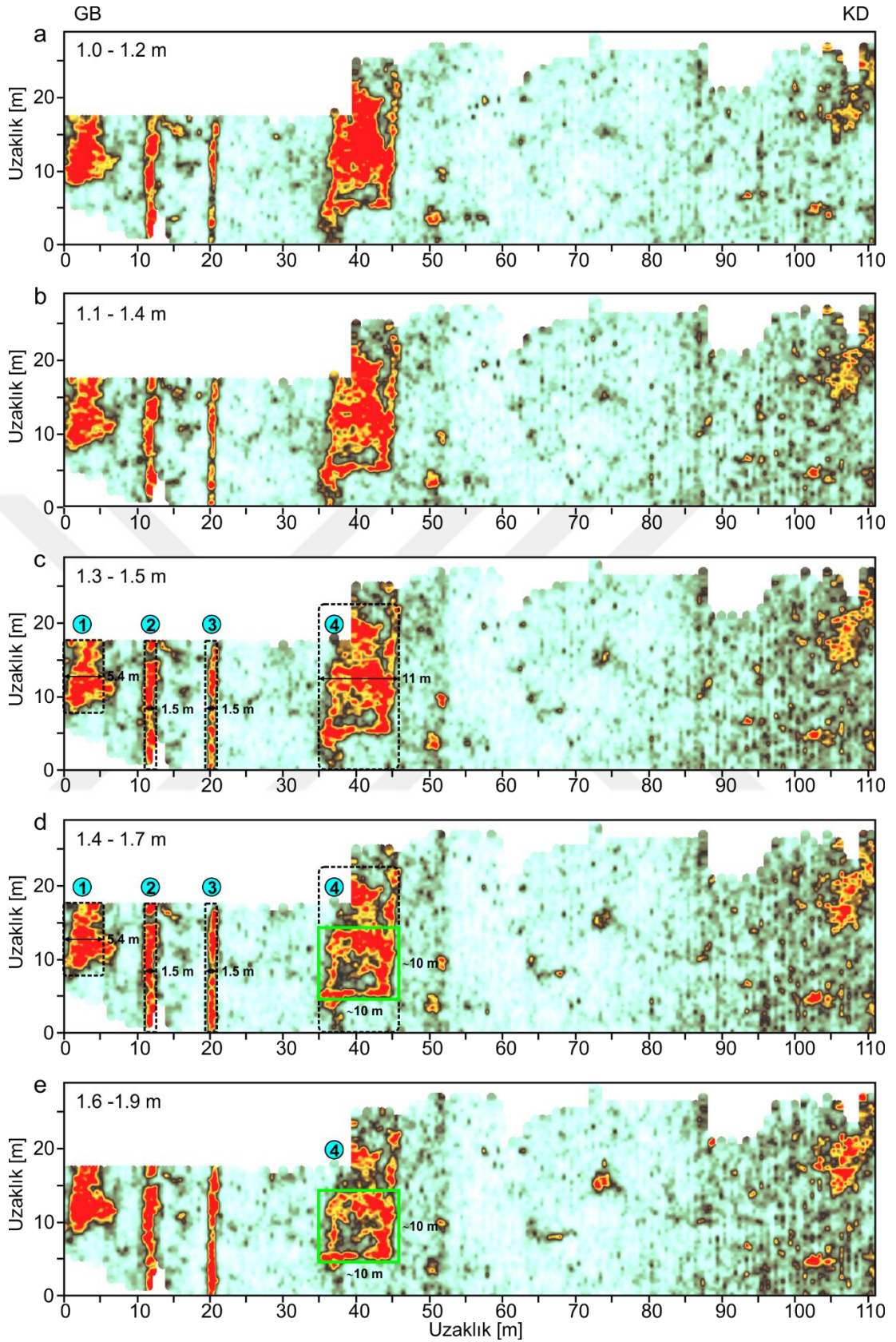


Şekil 5.2. Yer radarı ölçüm profilleri

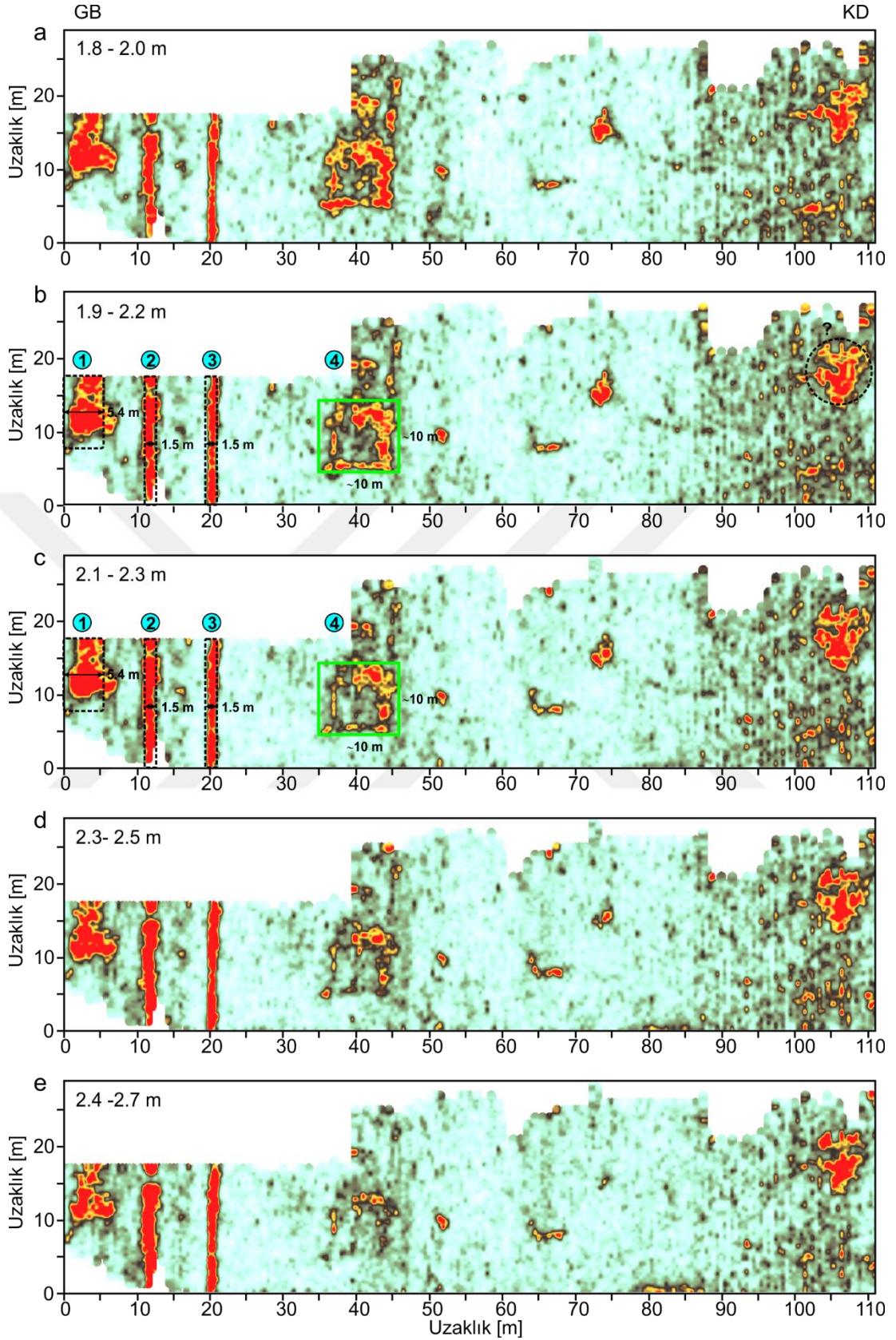
Yer radarı veri kümelerinin değerlendirilmesiyle yüzeyden 3.9 m derinlik seviyesine kadar kesitler elde edilmiştir. Şekil 5.3a-e, 0-1.0 m arasındaki derinlik seviyeleri için elde edilen kesitleri göstermektedir. Bu kesitler irdelendiğinde 0.2 m derinlik seviyesinden itibaren belirli bir geometrik forma sahip belirtilerin elde edildiği görülmektedir. Bu belirtiler, çalışma alanının güneybatısından itibaren 1-4 arasında rakamlarla numaralandırılmış ve siyah kesikli çizgiler arasında 0.6-0.9 m derinlik kesiti üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.3d). Bunlar arasında 1 numara ile gösterilen ve çalışma alanının en güneyinde belirlenen belirti 5.4 m, kentin sur duvarları olduğu düşünülen ve 2, 3 numaralarla görülen belirtiler 1.5 m, 4 numaralı belirti ise 11 m genişliğindedir. 1-1.9 m arasındaki derinlik seviyeleri için elde edilen kesitler Şekil 5.4a-e'de verilmiştir. Burada, 1.3-1.5 m derinlik seviye kesiti incelendiğinde 1 m seviyesine kadar belirlenen belirtilerin izlerinin devam ettiği görülmektedir. Bununla birlikte, Şekil 5.4d ve 5.4e'de verilen 1.4-1.9 m derinlik seviyelerine ait kesitlerde 4 numaralı ve dikdörtgen şeklinde bir yapı sunan belirtinin yaklaşık 10 m × 10 m (düz yeşil çizgi) boyutlarında kare şeklinde bir yapı şeklinde izlenmeye başladığı görülmektedir. Şekil 5.5a-e, 1.8-2.7 m arasındaki derinlik seviyeleri için elde edilen kesitleri göstermektedir. Bu kesitlerde kare şeklindeki yapının izlerinin giderek azaldığı görülürken ilk üç belirti izlenmeye devam etmiştir. Çalışma alanının kuzeydoğusunda, 102-110 m'ler arasında kesikli daire içinde görülen ve belirli bir geometri sunmayan belirtinin ise mevcut kaçak kazı çukurundan kaynaklandığı düşünülmektedir (bk. Şekil 5.5b). Şekil 5.6'da sunulan 2.7-3.9 m derinlik seviye kesitleri dikkate alındığında sadece 2 ve 3 numaralı sur duvarı olduğu düşünülen belirtiler izlenmektedir.



Şekil 5.3. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 0-0.2 m b) 0.2-0.4 m c) 0.3-0.6 m d) 0.6-0.9 m e) 0.8-1.0 m



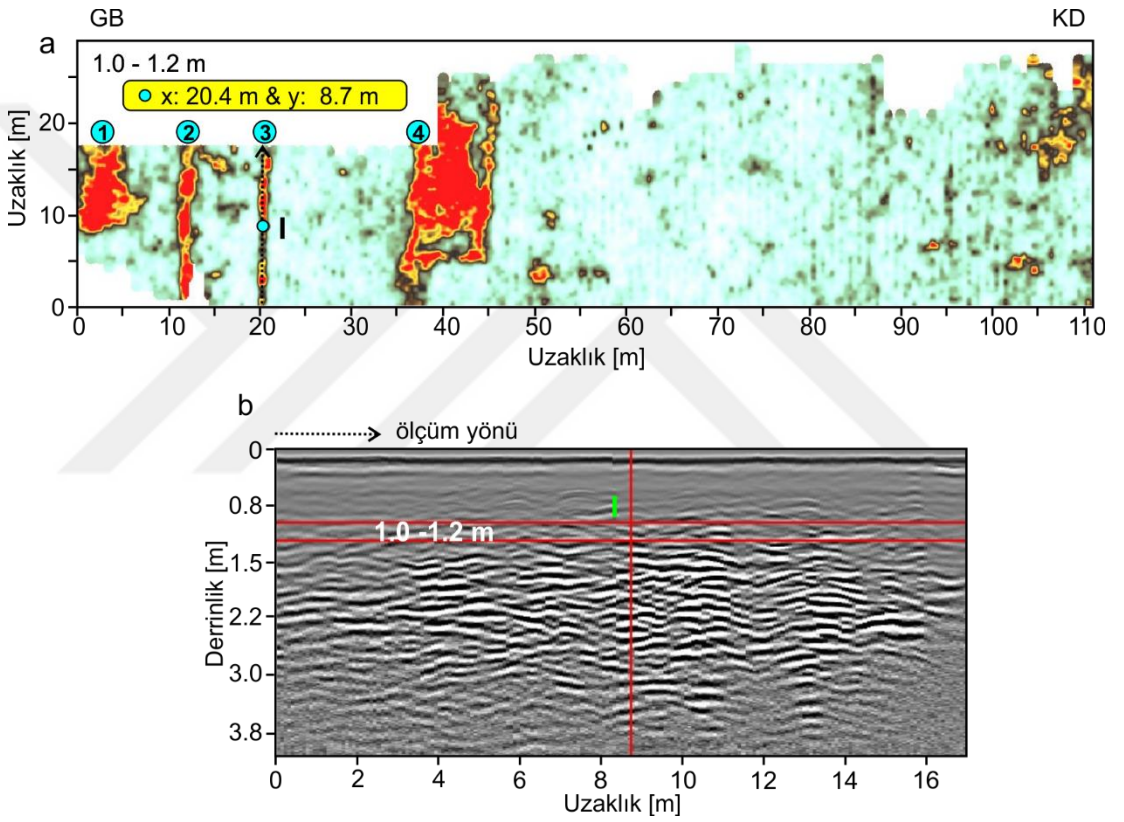
Şekil 5.4. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 1.0-1.2 m b) 1.1-1.4 m c) 1.3-1.5 m d) 1.4-1.7 m e) 1.6-1.9 m



Şekil 5.5. Yer radarı derinlik seviye kesitleri a) 1.8–2.0 m b) 1.9–2.2 m c) 2.1–2.3 m d) 2.3–2.5 m e) 2.4–2.7 m



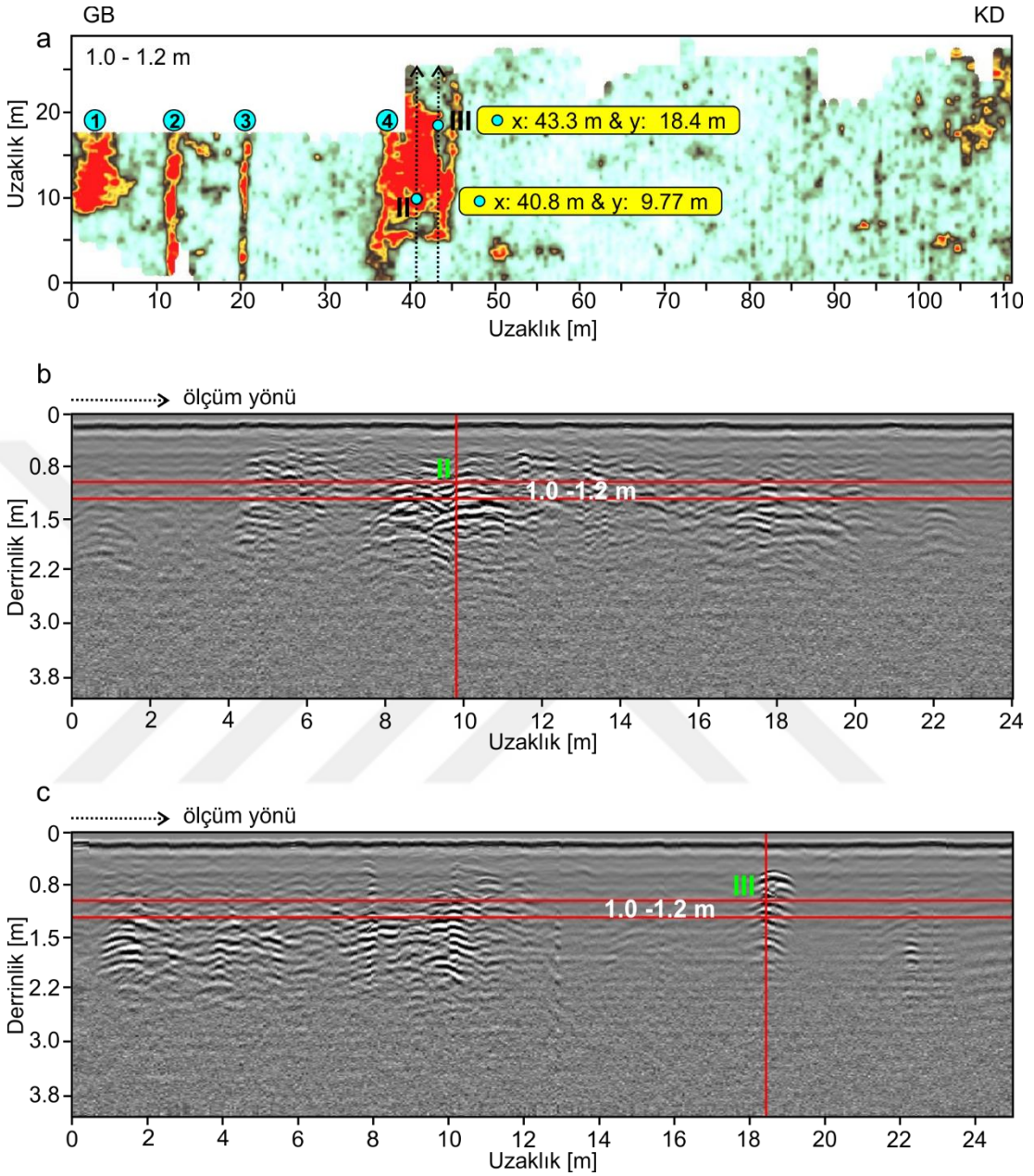
Şekil 5.7a, 1.0-1.2 m derinlik seviyesi için elde edilen kesiti göstermektedir. Şekil 5.7b ise 3 numaralı belirti üzerinde ölçülen veri kümesinin değerlendirilmesiyle elde edilen radargramı göstermektedir. Kesit üzerinde, I ile gösterilen ve x-yönünde 20.4 m ve y-yönünde 8.7 m konumundaki siyah çizgili ve turkuaz renk dolgulu noktaya karşılık gelen yansımalar ilgili radargram üzerinde düz kırmızı çizgilerin kesim noktasına karşılık gelmektedir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi, bu doğrultu boyunca 3.9 m derinlik seviyesine değin oldukça güçlü yansımalar elde edilmiştir.



Şekil 5.7. a) 1.0-1.2 m derinlik seviyeleri için elde edilen kesit ve b) bu kesitte görülen 3 numaralı belirti üzerinde elde edilen radargram.

Benzer şekilde, 1.0-1.2 m derinlik seviye kesitinde (Şekil 5.8a) 4 numaralı belirtiyi kesen iki ölçüm profili üzerinde elde edilen radargramlar sırasıyla Şekil 5.8b ve 5.8c'de verilmiştir. Bu doğrultular üzerinde II ile gösterilen nokta x-yönünde 40.8 m ve y-yönünde 9.77 m ve III ile gösterilen noktaysa x-yönünde 43.3 m ve y-yönünde 18.4 m konumlarındadır. İlgili radargramları incelediğimizde, 4 numaralı belirtiyi oluşturan güçlü

yansımalarla birlikte II ve III noktalarına karşılık gelen güçlü yansımalar açıkça izlenmektedir.

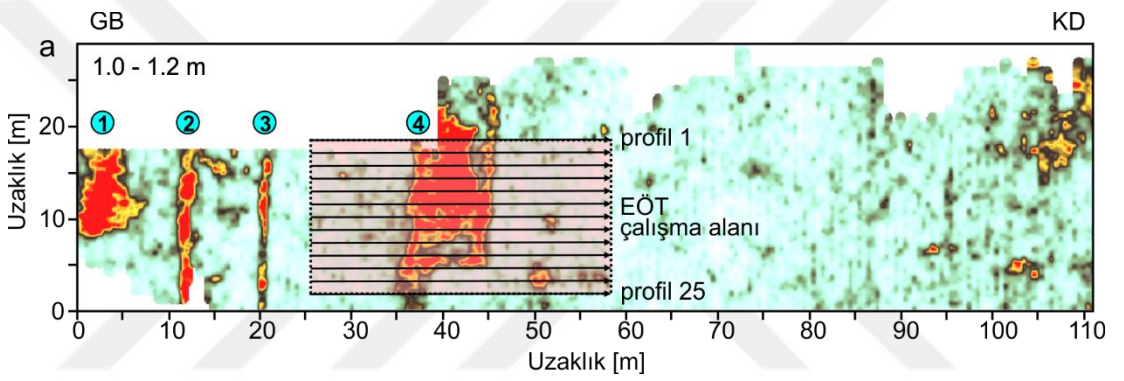


Şekil 5.8. a) 1.0-1.2 m derinlik seviyeleri için elde edilen kesit ve b) bu kesitte görülen dört numaralı belirti üzerinde elde edilen radargram.

## 5.2. EÖT Çalışmasının Bulguları

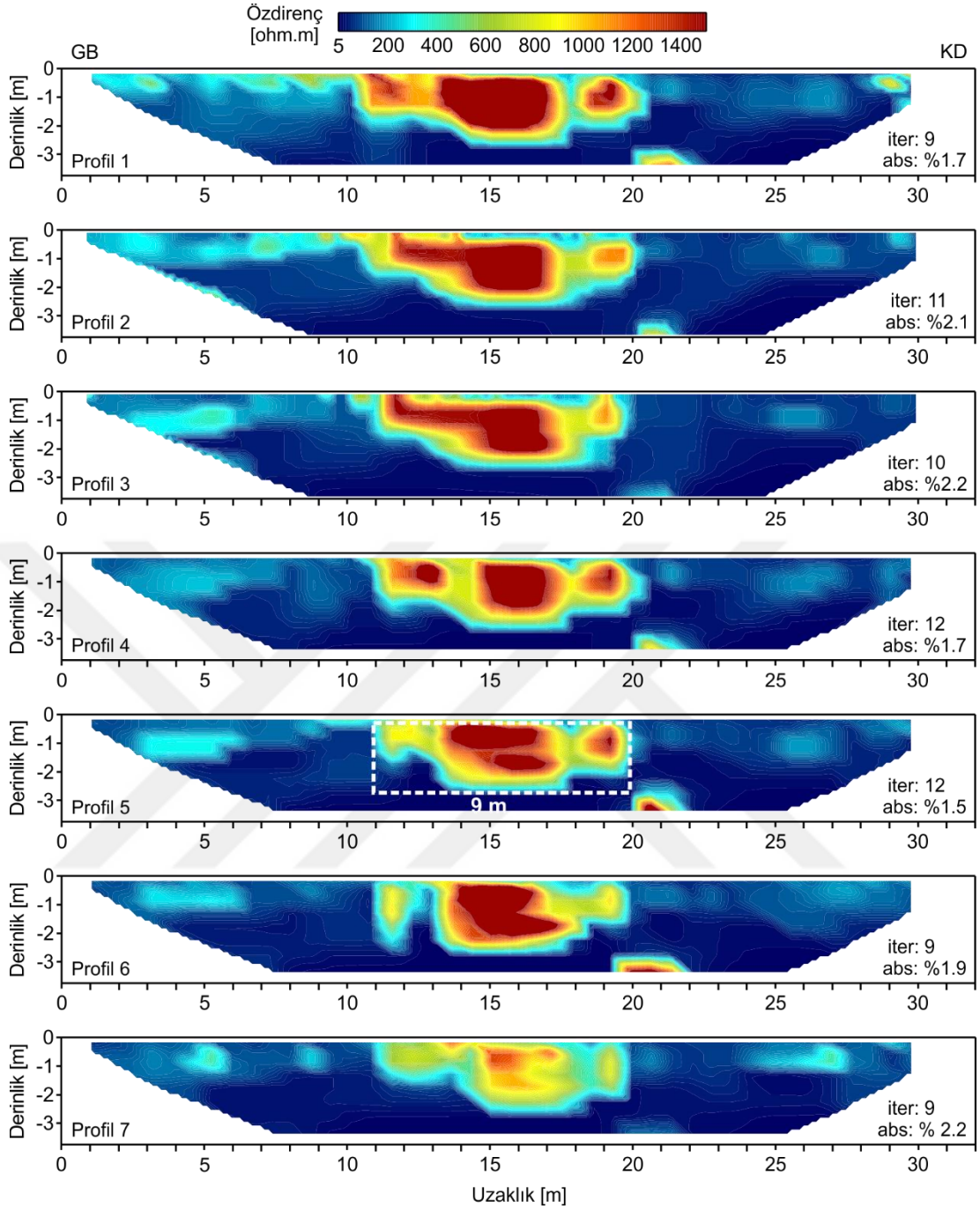
EÖT çalışması, yer radarı çalışmasının sonuçları dikkate alınarak çalışma alanının 35-46. metreleri arasında elde edilen 4 numaralı belirtiyi kapsayan bir alan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu belirtiyi ortalamayan ve alanın

yaklaşık olarak 25-60. metreleri arasında konumlanan sınırlı bir alanda Wenner-Schlumberger (W-S) elektrot dizilimiyle gerçekleştirilen uygulamada ölçüm profilleri ve elektrotlar arası mesafe 0.7 m olarak belirlenmiştir. Görünür özdirenç veri kümeleri GB-KD doğrultulu ve ilgili belirtiyi dik kesen toplam 25 profil üzerinde (822.5 m) ölçülmüştür. Şekil 5.9, 1.0-1.2 m derinlik seviyesi için elde edilen yer radarı kesiti üzerinde, EÖT çalışma alanının konumunu göstermektedir. Toplanan veri kümeleri iki ve üç boyutlu ters çözüm teknikleriyle (Geotomo software 2006a, b) değerlendirilmiştir. Değerlendirmede, ani değişimlerin ve keskin sınırların olduğu arkeolojik alanlarda genel olarak tercih edilen L1 normu (bloklu) yaklaşımı kullanılmıştır.



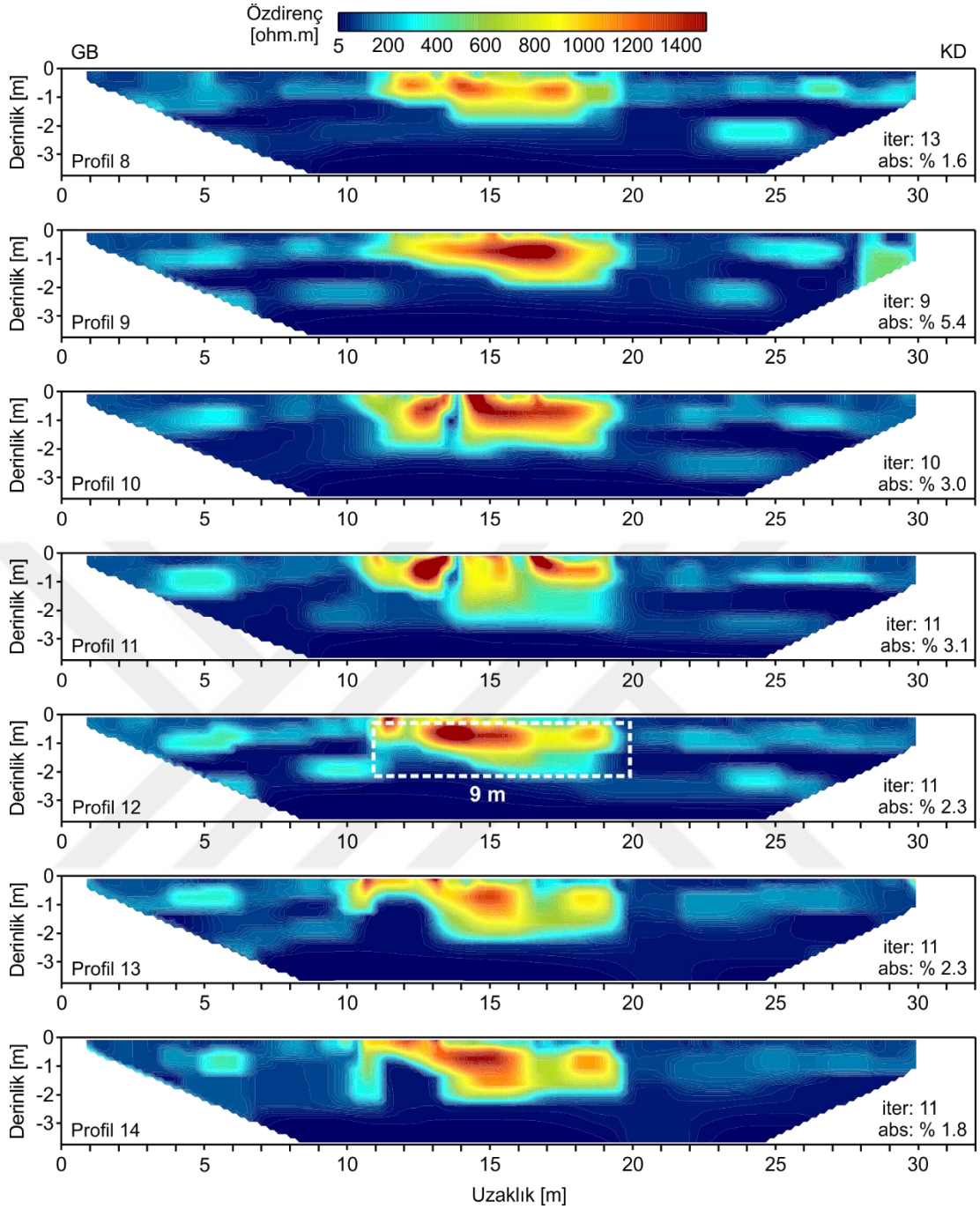
Şekil 5.9. EÖT çalışma alanı. Ölçüm profilleri 1.4 m aralıklarla çizdirilmiştir.

EÖT çalışmasında her bir profil için toplanan görünür özdirenç veri kümelerinin 2B ters çözümüyle elde edilen tomogramlar Şekiller 5.10-5.13'te gösterilmiştir. Tüm profiller dikkate alındığında, ortalama en küçük özdirenç değeri 6 ohm.m ve en büyük özdirenç değeri ise 1690 ohm.m'dir. Düşük özdirenç değeri ortamdaki zeminin kil içeriğinden kaynaklanmaktadır. 8-13 arasında değişen yinelemelerde ve %1.0-%5.4 arasında abs hatalarıyla elde edilen tomogramlar 5-1500 ohm.m arasında bir renk skalasında çizdirilmiştir.



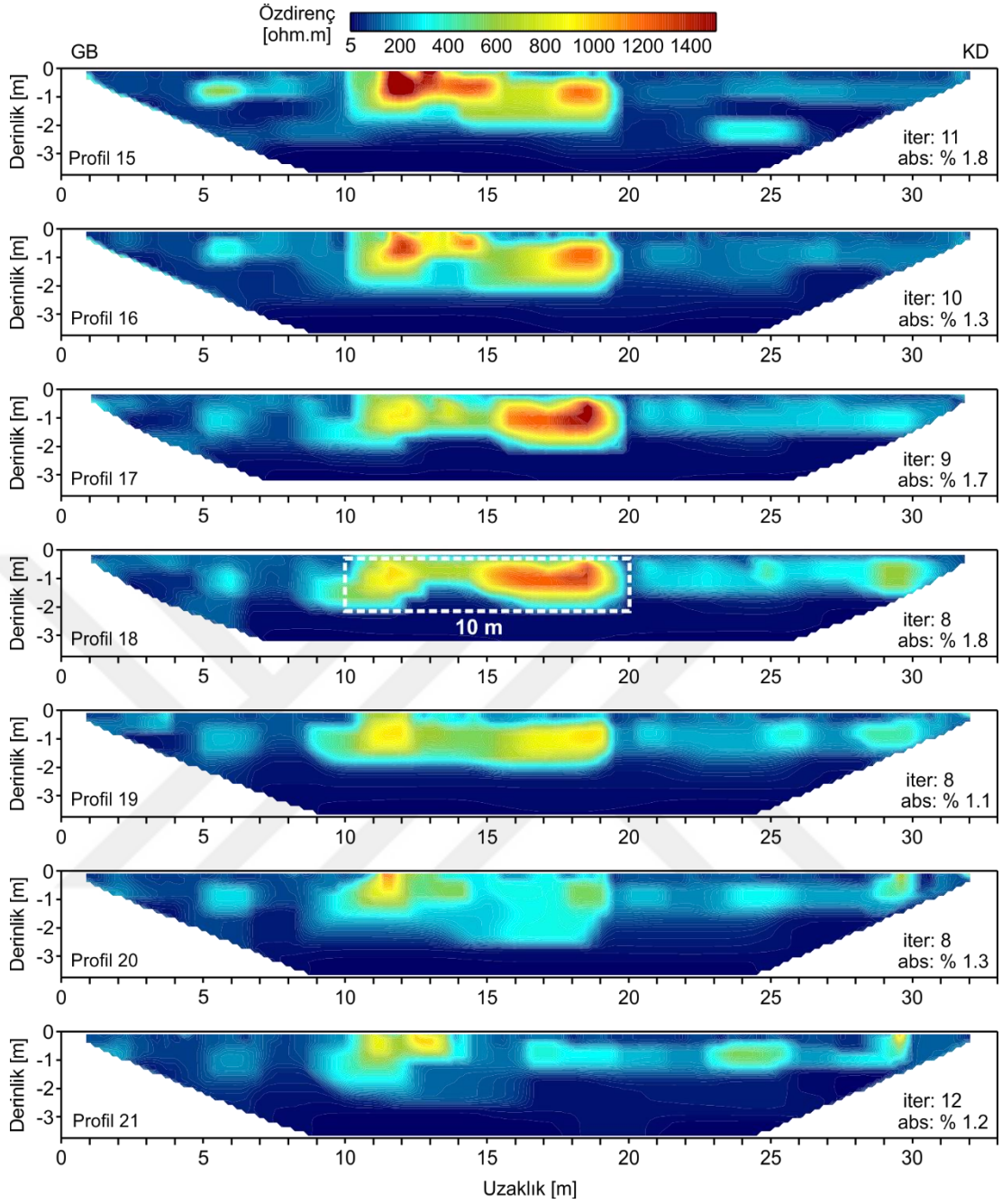
Şekil 5.10. 1-7. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters çözümünden elde edilen tomogramlar

Şekil 5.10'da ilk 7 ölçüm profili için sunulan tomogramlarda genel olarak 11 ve 20. metreler arasında 9 m genişliğinde ve yüzeyden yaklaşık olarak 2.8 m derinlik seviyesine değin uzanan görece yüksek özdirenç değerleri sunan bir yapı belirtisi gözlemlenmektedir (bk. Profil 5). Yapının içerisinde bulunduğu ortam 10 ohm.m'den küçük özdirenç değerleri sunduğu için yapının sınırları tomogramlarda kolaylıkla izlenebilir durumdadır.



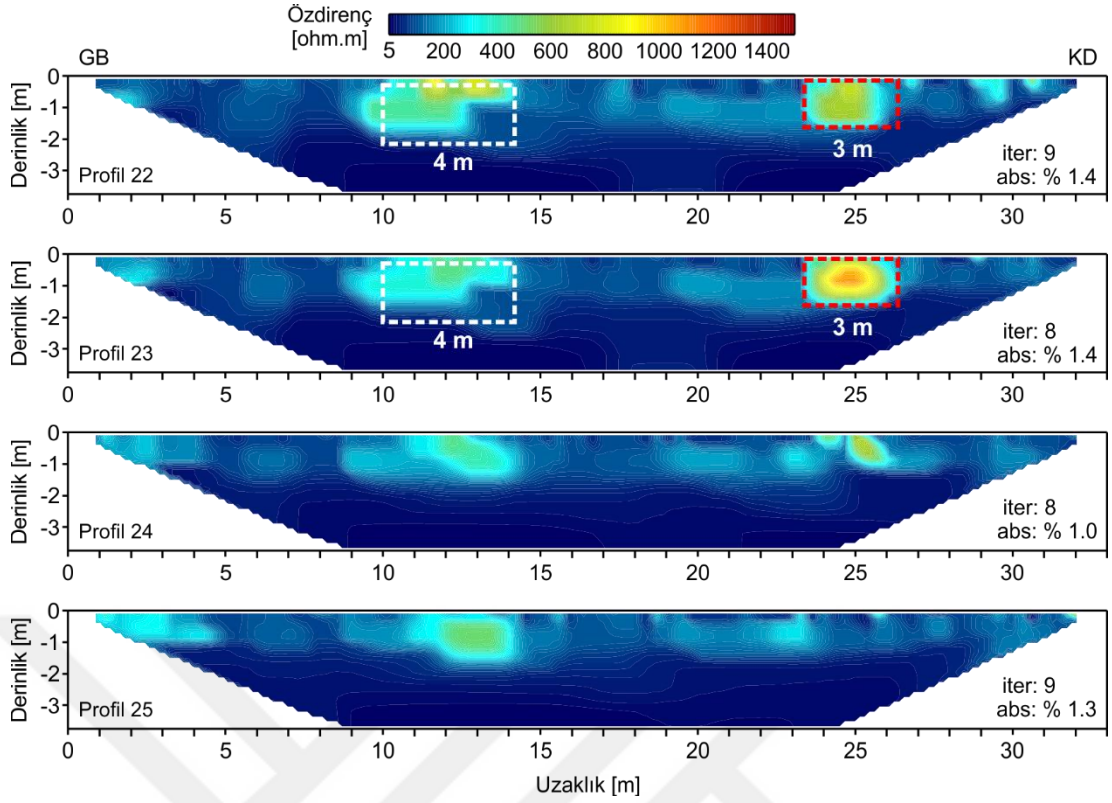
Şekil 5.11. 8-14. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters çözümünden elde edilen tomogramlar

Profiller 8-14 için elde edilen tomogramlar incelendiğinde, çalışma alanının doğusuna doğru bu yapının derinliğinin 2.2 m seviyelerine gerilediği dolayısıyla kalınlığının azaldığı görülmektedir (bk. Profil 12).



Şekil 5.12. 15-21. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters çözümünden elde edilen tomogramlar

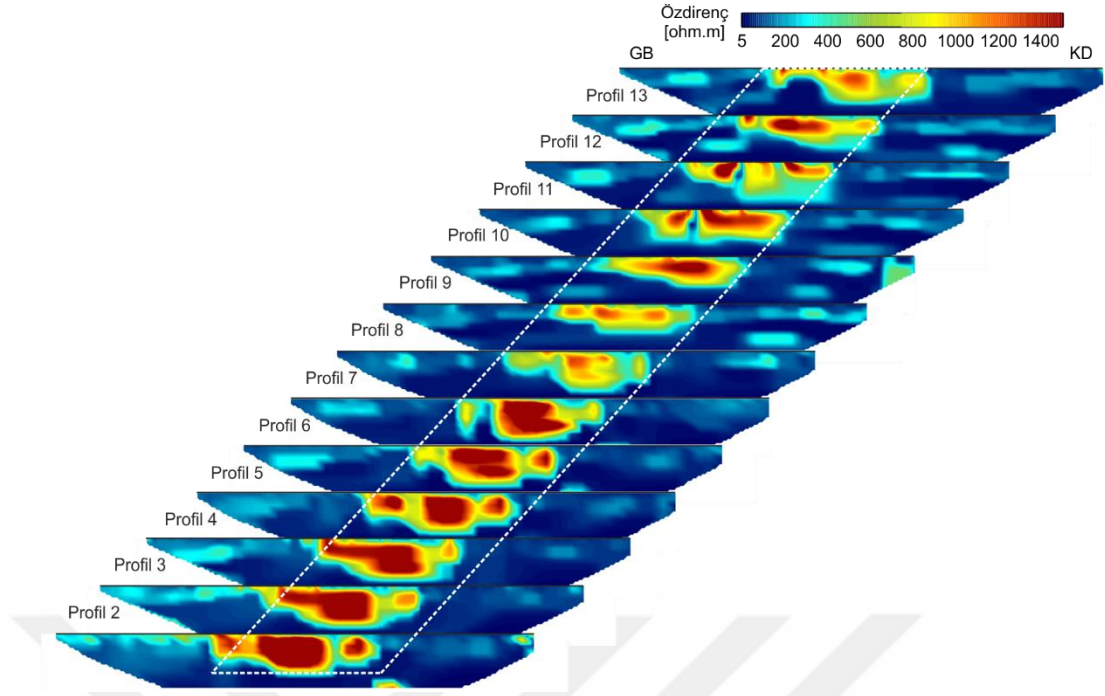
Profiller 15-21 için elde edilen tomogramlar Şekil 5. 12’de sunulmuştur. 15-18 arasındaki profillerin tomogramları, Şekil 5.11’de sunulan tomogramlarla genel olarak benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, Profil 19 için sunulan tomogramdan da görüldüğü üzere ilgili yapının öz direnci 900 ohm.m değerine kadar azalmakta ve izleyen iki profilde de belirtisi izlenemez duruma gelmektedir.



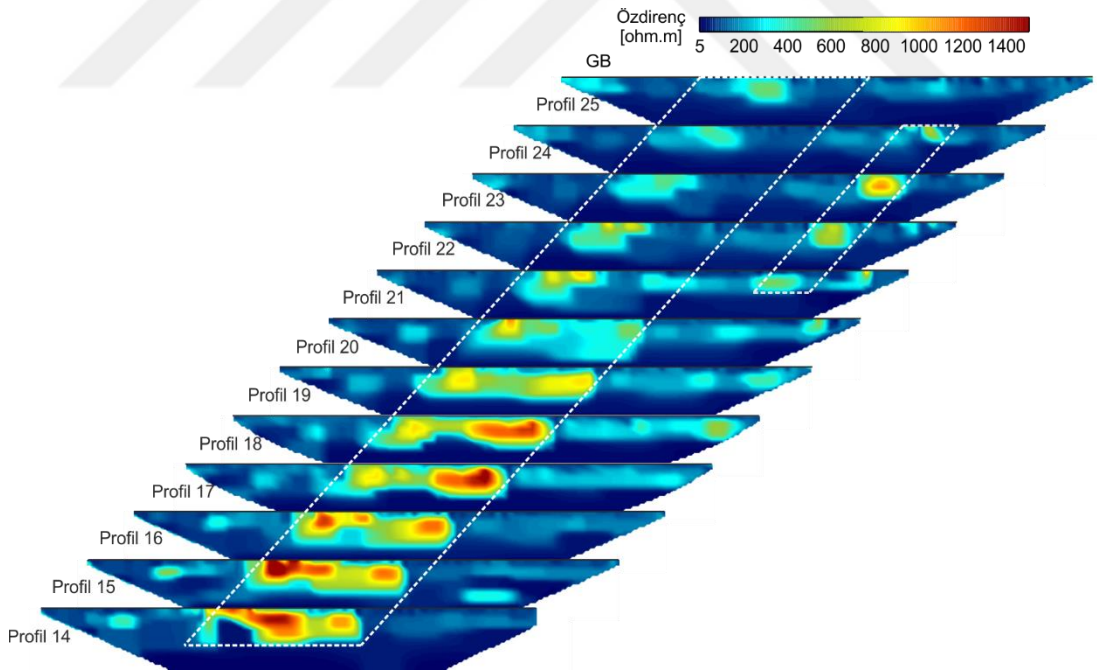
Şekil 5.13. 22-25. Profiller için EÖT veri kümelerinin 2B ters çözümünden elde edilen tomogramlar

Şekil 5.13, EÖT çalışmasının son 4 profili (22-25) için 2B ters çözümünden elde edilen tomogramları göstermektedir. İlk 19 profil sonuçlarına göre 9 m genişliğinde bir belirti sunan yapı profiller 22 ve 23'te 4 m genişliğinde ve alanın güneybatı kısmına daha yakın bir bölgede 400-500 ohm.m özdirenç değerlerinde izlenmektedir. Bu profillerde dikkat çeken bir diğer belirti ise 23.5-26.5 m'ler arasında kesikli kırmızı çizgiler arasında 600-1000 ohm.m özdirenç değerleriyle izlenmektedir. Son iki profilde ise bu belirtiler giderek azalmaktadır.

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 sırasıyla ilk 13 ve son 12 profilin art arda sıralanmasıyla elde edilen görüntüleri göstermektedir. Bu şekiller, yukarıda değinilen belirtilerin profiller üzerinde uzanımlarını göstermektedir. Tomogramlar üzerindeki düz beyaz kesikli çizgiler arasında kalan alanlar incelendiğinde bu belirtilerin profillerdeki uyumları da açıkça izlenebilmektedir.

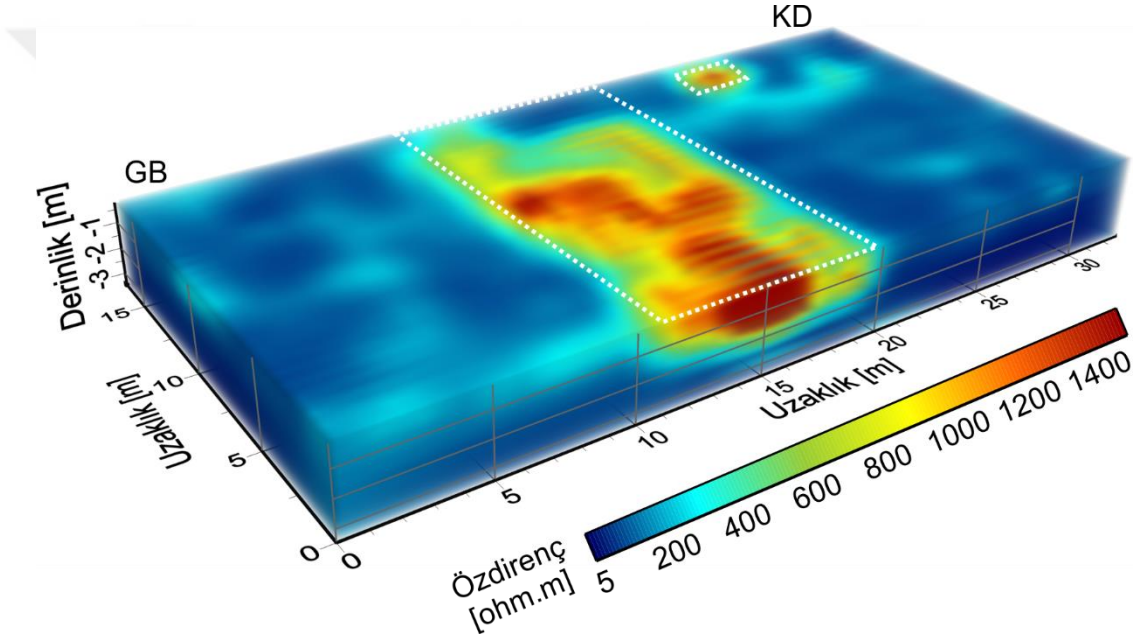


Şekil 5.14. EÖT çalışma alanında ilk 13 profil için elde edilen tomogramların ardışık sunumu.



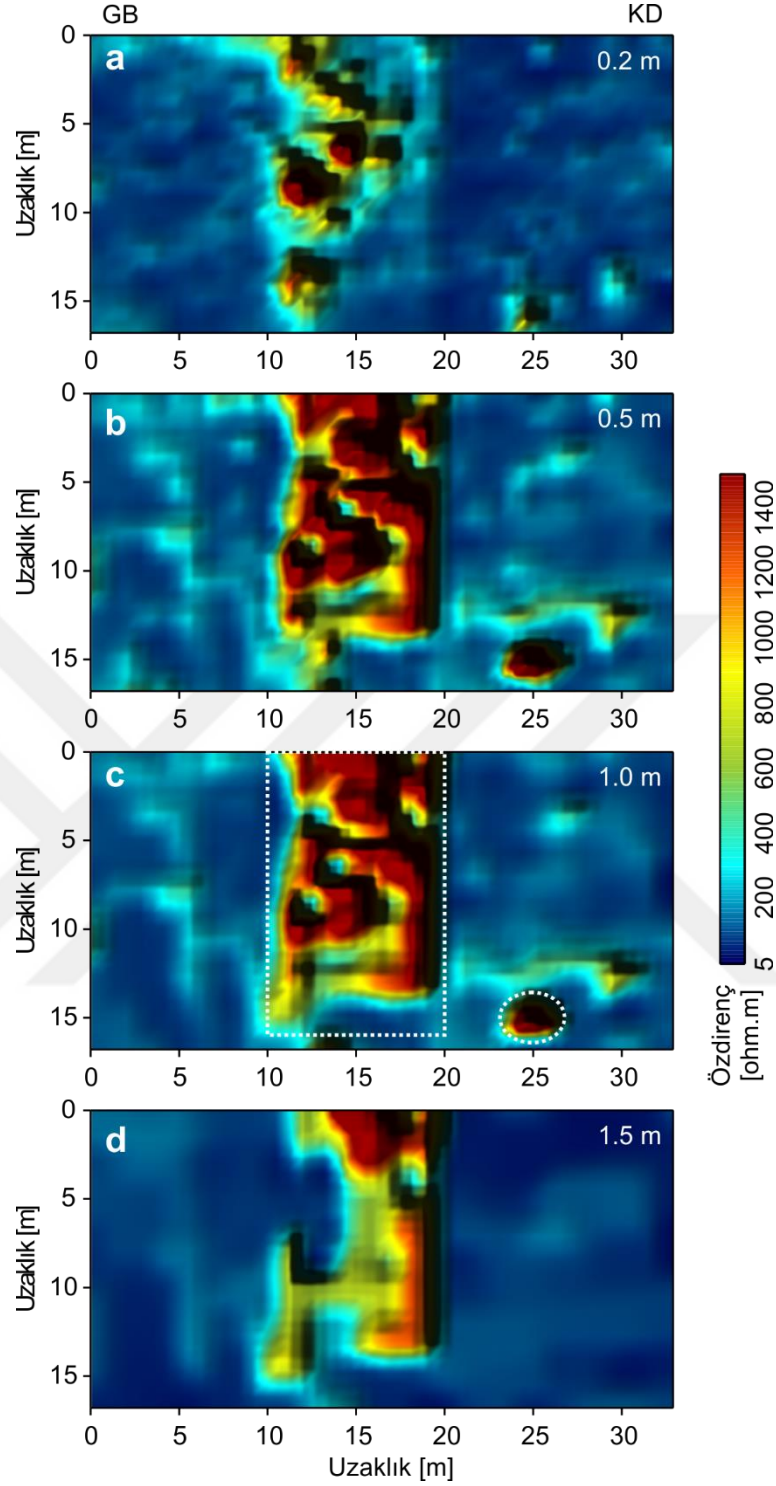
Şekil 5.15. EÖT çalışma alanında son 12 profil için elde edilen tomogramların ardışık sunumu.

Şekil 5.16, EÖT çalışmasından elde edilen görünür öz direnç veri kümelerinin 3B ters çözümünden elde edilen sonuçların hacimsel düzlemde bir sunumunu göstermektedir. 3B ters çözüm, 2B olarak toplanan ve birbirine paralel 25 profil dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil üzerinde belirgin olarak gözlemlenen iki belirtinin yüzey izdüşümleri kesikli beyaz çizgilerle gösterilmiştir. Yeraltı görüntüsü, 7 yinelemenin sonunda %2.8 abs hatayla elde edilmiştir. 2B ters çözüm sonuçlarına göre (1690 ohm.m) görece daha yüksek öz direnç değeri (2240 ohm.m) elde edilmiştir. Bununla birlikte, sonuçlar 2B tomogramlarda kullanılan öz direnç skala aralığında çizdirilmiştir.



Şekil 5.16. EÖT veri kümelerinin 3B ters çözümünden elde edilen sonuçların 3B düzlemde hacimsel gösterimi

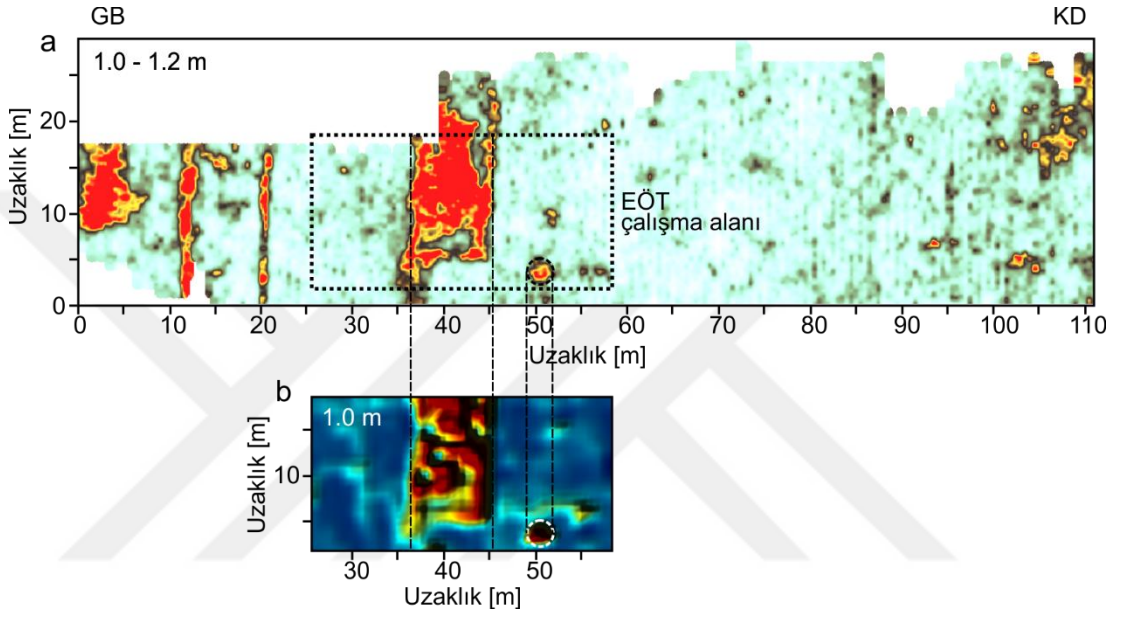
Şekil 5.17a-d, sırasıyla 0.2 m, 0.5 m, 1.0 m ve 1.5 m derinlik seviyelerinin öz direnç kesitlerini göstermektedir. Şekil 5.16'da kesikli beyaz çizgiler arasında tanımlanan belirtiler, 1 m derinlik seviye kesitinde gösterilmiştir. Bu belirtiler, görece düşük öz dirençli ortam (<20 ohm.m) içerisinde yüksek öz direnç değerleriyle (>1000 ohm.m) kolayca ayırt edilmektedir. Bu belirtilerin geometrik şekilleri dikkate alındığında bunların insan yapımı arkeolojik yapılarla ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.17. 2B elektrik özdirenç profillerinin 3B ters çözümünden elde edilen özdirenç derinlik kesitleri a) 0.2 m b) 0.5 m c) 1.0 m d) 1.5 m

Şekil 5.18, Mallos Antik Kenti agora alanında gerçekleştirilen yer radarı ve EÖT çalışmalarından elde edilen sonuçların bir karşılaştırmasını göstermektedir. Karşılaştırmada, yer radarınının 1.0-1.2 m seviyelerine ait kesit, EÖT için ise 1.0 m derinlik seviye kesiti kullanılmıştır. Buradan da

açıkça görüldüğü gibi, farklı fiziksel temele dayanan iki yöntemin de bulguları birbiriyle oldukça uyumludur. Bu nedenle, kesikli çizgiler arasında izlenen ve düzgün bir geometri sunan bu bulgular yeraltında gömülü antropojenik yapıların varlığına işaret etmektedir. EÖT derinlik kesitinin, yer radarı kesitinde görülene yakın yüksek ayrımlılıkta bir çözüm sunmasında elektrotlar ve profiller arası mesafenin (0.7 m) görece küçük seçilmesinin de önemli ölçüde bir etkisi bulunmaktadır.



Şekil 5.18. Mallos Antik Kenti yer radarı (a) ve EÖT (b) çalışmasından elde edilen sonuçların bir karşılaştırması

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeofizik yöntemler, yeraltına fiziksel bir müdahale bulunmadan, dolayısıyla yeraltındaki nesne veya yapıya zarar vermeden, görece büyük bir alandan daha kısa bir süre ve maliyette yüksek doğrulukla bilgi edinme potansiyeli sağlayan verimli bir araçtır. Bu nedenle, diğer arkeolojik yöntemlere göre, arkeolojik alanlarda özellikle koruma, kamulaştırma ve kazı planlama çalışmalarında kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Bu bağlamda, bu tez çalışması kapsamında, günümüzde Isparta ili, Eğirdir İlçesi, Sarıdris Kasabası sınırları içerisinde kalan Mallos Antik Kenti agora alanındaki olası yapı kalıntılarının yeri, derinliği ve uzanımlarının belirlenerek antik dokusunun ortaya çıkarılması amacıyla arkeolojik alan araştırmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden ikisi olan, yer radarı ve elektrik özdirenç çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yer radarı çalışması, antik kentin agora alanında düzgün geometriler sunan 4 belirtinin belirlenmesini sağlamıştır. Bu belirtilerden ilki, alanın güneybatısında dikdörtgen formda ve yaklaşık olarak 5.5 m × 7.5 m boyutlarındadır. İki ve üçüncü belirtiler, aralarında yaklaşık 6 m kadar bir uzaklık bulunan 1.5 m genişliğinde ve 17.5 m uzunluğunda olan yapılardır. Bu yapıların akropolü koruyan dış ve iç surlar olduğu düşünülmektedir. Özcan'a (kişisel görüşme) göre bu sur duvarlarından daha güneyde olan dış sur Hellenistik Dönem, iç sur ise kent sınırlarının daraltıldığı Geç Antik Dönem'e ait olmalıdır. Son belirti ise iç sur duvarından yaklaşık 15 m uzaklıkta ve yer radarı derinlik kesitlerinde yüzeyin 20 cm altından itibaren gözlemlenen 11 m genişliğinde dikdörtgen şekilli bir yapıdır. Bu yapı, 1.5 m derinliğine kadar kendini korurken bu derinlik seviyesinden sonra ~10 m × ~10 m boyutlarında iç kısmı boş kare şeklinde bir yapıya dönüşmekte ve 2.5 m derinlik seviyesine kadar izlenmektedir. Bu yapının agora alanında bulunan bir işliçe (atölye) ait olduğu düşünülmektedir. İşliğin temeli 2.5 m olarak düşünülürse, yer radarı kesitlerinde 3.9 m derinlik seviyesinde bile yüksek genlik değerleriyle gözlemlenen sur duvarları yaklaşık 1.5 m daha derinde konumlandırılmış olmalıdır.

Yer radarı çalışmasından elde edilen sonuçlar ışığında, alandaki en umut verici bulgu olan 4 numaralı belirtiyi kapsayan 32.9 m × 16.8 m boyutlarında bir alanda elektrik özdirenç çalışması EÖT tekniği uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Görünür özdirenç veri kümelerinin 2B ve 3B ters çözümlerinden elde edilen tomogram ve kesitler yer radarı bulgularını desteklemiş ve arkeojeofizik çalışma alanınının 35-46. metreleri arasında 11 m genişliğindeki bu dikdörtgen şekilli yapının varlığını açıkça ortaya koymuştur. Bu yapı, kil içeriği nedeniyle düşük özdirenç değerleri (<10 ohm.m) sunan bir ortam içerisinde görece yüksek özdirenç değerleri (>1500 ohm.m) sunmaktadır. Uygulamada, görece küçük seçilen elektrot ve profiller arası uzaklık (0.7 m) EÖT çalışmasının da yer radarı çalışmasından elde edilen bulgularla oldukça uyumlu sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, yer radarı yöntemi 1.5 m derinlik seviyesinden sonra gözlenen kare şeklindeki yapının sınırlarını çok daha yüksek ayrımlılıkta belirlemiştir. Bu yapının 5 m kuzeydoğusunda yaklaşık 3.5 m × 3.5 m boyutlarında ve radar kesitlerinde 0.5-1.9 m seviyeleri arasında izlenebilen belirti de dikkat çekicidir.

Yer radarı ve elektrik özdirenç çalışmasının bu umut verici bulguları ışığında özellikle 4 numaralı belirtinin gözlemlendiği alanda bir arkeolojik deneme açması önerilmektedir. Mallos Antik Kenti'nde yürütülen arkeolojik çalışmaların yüzey araştırmaları olarak devam ettiği düşünüldüğünde elde edilecek sonuç ileri dönemlerdeki kazı planlaması çalışmalarına rehberlik edecektir.

## KAYNAKLAR

- Akca, İ., Balkaya, Ç., Pülz, A., Alanyalı, H.S., Kaya, M.A., 2019. Integrated Geophysical Investigations to Reconstruct the Archaeological Features in the Episcopal District of Side (Antalya, Southern Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 163, 22-30.
- Annan, A.P., 2004. *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications*. Sensors & Software Inc., 293p, Mississauga, On, Canada.
- Aspinall, A., Lynam, J.T., 1968. Induced Polarization as a Technique for Archaeological Surveying. *Prospezioni Archeologiche*, 3, 91 – 93.
- Balkaya, Ç., 2014. Yer Radarı Yöntemi Prensipleri Değerlendirme ve Uygulamaları. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Kurs Notu.
- Balkaya, Ç., Göktürkler, G., 2016. Karşılıklı Kuyu Yer Radarı Verilerinin Modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (6), 581-596.
- Balkaya, Ç., Çakmak, O., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., Özhanlı, M., Balkaya, E., 2018a. 2018 Yılı Pisidia Antiokheia Aediculus Bazilikasının Ortaya Çıkarılması. 7. Yer Elektrik Çalıştayı, Mayıs 2018, Eğirdir (Isparta), 82-85.
- Balkaya, Ç., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., Özhanlı, M., Merter, G., Çakmak, O., Güven, İ.T., 2018b. Ground-Penetrating Radar and Electrical Resistivity Tomography Studies in the Biblical Pisidian Antioch City. *Archaeological Prospection*, 25, 285-300.
- Benedetto, A., Pajewski L., 2015. *Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar*. Springer International Publishing, 371, Switzerland.
- Berge, M.A., 2019. Jeofizik Yöntemler Elektrik Özdirenc Yöntemi, Dokuz Eylül Üniversitesi MTS 3004 Ders Notları.
- Blindow, N., Eisenburger, D., Illich, B., Petzold, H., Richter, T., 2007. *Ground Penetrating Radar*. Knödel, K., Lange, G., Voight, H-J. (Eds.), *Environmental Geology* (283-335), Springer Berlin Heidelberg New York, 1357, Hannover-Germany.
- Butnor, J.R., Barton, C., Day, F.P., Johnsen, K.H., Mucciardi, A.N., Schroeder, R., Stover, D.B., 2012. Using Ground-Penetrating Radar to Detect Tree Roots and Estimate Biomass. Mancuso, S. (Ed.), *Measuring Roots* (213-245), Springer Berlin Heidelberg, 382, Berlin-Germany.
- Candansayar, M. E., 2013. Arkeoloji Jeofiziği (Archaeogeophysics). *Jeofizik Bülteni*, 72, 6-9.
- Candansayar, M. E., 2014. Elektrik Yöntemler: Doğru Akım Özdirenc Yöntemi ve DAÖ Yönteminde Çok-Elektrodlü Ölçü Sistemi ile Veri Toplama 2B/3B Ters Çözüm ve Uygulamaları, Ankara Üniversitesi JFM 316 Ders Notları.

- Capizzi, P., Martorana, R., Messina, P., Cosentino, P.L., 2012. Geophysical and Geotechnical Investigations to Support the Restoration Project of the Roman 'Villa del Casale', Piazza Armerina, Sicily, Italy. *Near Surface Geophysics*, 10(2), 145-160.
- Carabelli, E., 1966. A New Tool for Archaeological Propection–The Sonic Spectroscope for the Dedection of Cavities. *Prosp. Arch.*, 1, 25 – 35.
- Carson, H.H., 1962. A Seismic Survey at Harpers Ferry, *Archaeometry*, 5(1), 119-122.
- Cassidy, N.J., 2009. Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis. Jol, H.M. (Ed.), *Ground Penetrating Radar Theory and Applications* (141-176), Elsevier, 524p, Amsterdam.
- Conyers, L.B., 2006. Innovative Ground-Penetrating Radar Methods for Archaeological Mapping. *Archaeological Prospection*, 13(2), 139-141.
- Corwin, R.F., 1973. Offshore Applications of Self–Potential Prospecting, Ph. D. Dissertation, Uni. Of California, Berkeley.
- Çakmak, H., Bayram, F., Kaymaz, F., Tarlan, N., Özme, A., Kaya, N.N., Dönmez, H., Demir, M., Uyaniker, M., 1998. Malos Antik Kenti Temizlik Çalışması. VIII. Müze Kurtarma Kazıları Semineri, 7-9 Nisan, Kuşadası-Aydın, 303-321.
- Dahlin, T., 1996. 2D Resistivity Surveying for Environmental and Engineering Applications. *First Break*, 14(7), 275-283.
- Daniels, D.J., 2004. *Ground Penetrating Radar* (2nd ed.). The Institute of Electrical Engineers, 734, London United Kingdom.
- Drahor, M.G., Kurtulmuş, T.Ö., Berge, M.A., Hartmann, M., Speidel, M.A., 2008a. Magnetic Imaging and Electrical Resistivity Tomography Studies in a Roman Military Installation Found in Satala Archaeological Site, Northeastern Anatolia, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, 35(2), 259-271.
- Drahor, M.G., Berge, M.A., Kurtulmuş, T.Ö., Hartmann, M., Speidel, M.A., 2008b. Magnetic and Electrical Resistivity Tomography Investigations in a Roman Legionary Camp Site (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey. *Archaeological Prospection*, 15(3), 159-186.
- Ekinci, Y.L., Kaya, M.A., 2006. Manyetik Verilerde Sınır Analizi Yöntemi Kullanarak Gömülü Arkeolojik Yapı Sınırlarının Tanımlanması, Hacettepe Yerbilimleri, 27(2), 97-107.
- Ekinci, Y.L., Kaya, M.A., 2007. 3D Resistivity Imaging of Buried Tombs at the Parion Necropolis. *Journal of the Balkan Geophysical Society* (NW, Turkey), 10(2), 1-8.

- Ekinci, Y.L., Kaya, M.A., Başaran C., Kasapoğlu H., Demirci A., Durgut C., 2012. Geophysical Imaging Survey in the South Necropolis at the Ancient City of Parion (Kemer-Biga), Northwestern Anaotolia, Turkey: Preliminary Results. *Mediterranean Arhaeology and Archaeometry*, 12(2), 145-157.
- Geotomo software, 2006a. RES2DINV – Manual. Retrieved from <http://www.geotomosoft.com/>
- Geotomo software, 2006b. RES3DINV – Manual. Retrieved from <http://www.geotomosoft.com/>
- Gizzi, F.T., Loperte, A., Satriani, A., Lapenna, V., Masini, N., Proto, M., 2010. Georadar Investigations to Detect Cavities in a Historical Town Damaged by an Earthquake of the Past. *Advances in Geosciences*, 24, 15-21.
- GPR-SLICE v7.0. Ground-penetrating Radar Imaging Software. <https://www.gpr-survey.com/>
- Grolier Incorporated, 1993. Grolier International Americana Encyclopedya, Medya Holding, 414s, İstanbul.
- Gündoğdu, N.Y., Candansayar, M.E., Genç, E., 2017. Rescue Archaeology Application: Investigation of Kuriki Mound Archaeological Area (Batman, SE Turkey) by Using Direct Current Resistivity and Magnetic Methods. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 22(2), 177-189.
- Huisman, J.A., Hubbard, S.S., Redman, J.D., Annan, A.P., 2003. Measuring Soil Water Content with Ground Genetrating Radar: A Review. *Vadose Zone Journal*, 2(4), 476-491.
- Kadioğlu, S., 2004. Yer radarı (GPR) Yöntemi, Ankara Üniversitesi. Ders Notları.
- Kadioglu, S., 2013. Transparent 2d/3d Half Bird’s-Eye View of Ground Penetrating Radar Data Setin Archaeology and Cultural Heritage. Kharfi F. (Ed.), *Imaging and Radioanalytical Techniques in Interdisciplinary Research-Fundamentals and CuttingEdge* (107-138), Intech, 192p, Rijeka-Croatia.
- Kaya, M.A., Keçeli, D.A., Özyalın, Ş., Uyanık, O., Çınar, K., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., 1997. Arkeojeofizik ve Bir Uygulama Örneği: Pisidia Antiocheia. 1. Pisidia Antiocheia Sempozyumu, 2-4 Temmuz, Yalvaç-Isparta. 51-67.
- Kaya, M.A, Özyalın, Ş., 1999. Malos Antik Kentinin Manyetik Yöntemle Araştırılması. *Arkeoloji ve Jeofizik Çalıştayı*, 22-25 Eylül, İzmir.
- Kaya, M.A., 2007. Arkeojeofizik Araştırmalar. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 107s, Ankara.
- Kaya, M.A., Balkaya, Ç., Ekinci Y.L., Demirci, A., 2013. Kültür Mirasımız, Torunlarımızın Emaneti için Arkeojeofizik Neden, Nereye? *Jeofizik Bülteni*, 72, 29-45.

- Kaya, M. A., Akca, İ., Işık, H., Çakmak, O. ve Balkaya, Ç., 2018. Patara Antik Kenti (GB Anadolu) Arkeojeofizik Araştırmalarının Ön Sonuçları. 7. Yerelektrik Çalıştayı, 7-9 Mayıs, Eğirdir (Isparta), 71-75 sf.
- Keçeli, A., 2012. Uygulamalı Jeofizik (2. Baskı). JFMO Eğitim Yayınları, 564s, Ankara.
- Knight, R., 2001. Ground Penetrating Radar for Environmental Applications. Annual Review of Earth Planetary Sciences, 29, 229-255.
- Leucci, G., 2012. Ground Penetrating Radar: A Useful Tool for Shallow Subsurface Stratigraphy Characterization. In Ö. Elitok (Ed.), Stratigraphic Analysis of Layered Deposits, 61-86.
- Linington, R.E., 1966. Test Use of a Gravimeter on Etruscan Chamber Tombs at Cerveteri. Prospezioni Archeologiche, 1, 37-41.
- Milsom, J., 2003. Field geophysics-The geological field guide series (3rd ed.). John Wiley & Sons Ltd., 232p, England.
- Murray, T., Booth, A., Rippin, D.M., 2007. Water-content of glacier-Ice: Limitations on Estimates from Velocity Analysis of Surface Ground-Penetrating Radar Surveys. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 12(1), 87-99.
- Neal A., 2004. Ground-penetrating Radar and Its Use in Sedimentology: principles, problems and progress. Earth-Science Reviews, 66(3-4), 261-330.
- Nicolotti, G., Socco, L.V., Martinis, R., Godio, A., Sambuelli, L., 2003. Application and Comparison of Three Tomographic techniques for Detection of Decay in Trees. Journal of Arboriculture, 29(2), 66-78.
- Nouioua, I., Boukelloul, M.L., Fehdi, C., Baali, F., 2013. Detecting Sinkholes Using Ground Penetrating Radar in Drâa Douamis, Cherea Algeria: A Case Study. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 18, 1337-1349.
- Novo, A., Lorenzo, H., Rial, F.I., Solla, M., 2011. 3D GPR in Forensics: Finding a Clandestine Grave in a Mountainous Environment. Forensic Science International, 204(1-3), 134-138.
- Özcan, F., 2017. 40. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu, 07-11 Mayıs 2018, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, 1-170.
- Özürlan, G., Ulugergerli, E.U., 2005. Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler. Birsen Yayın Evi, 250s, İstanbul.
- Özyalın, Ş., Balkaya, Ç., Erhan, Z., 2010. Metropolis Antik Kentindeki tümleşik jeofizik çalışmalar. Türkiye 19. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, 23-26 Kasım, Ankara.

- Pattantyus, M., 1986. Geophysical Results in Archaeology in Hungary. *Geophysics*, 51(3),561-567.
- Pérez-Gracia, V., Caselles, J.O., Clapés, J., Martinez, G., Osorio, R., 2013. Non-destructive Analysis in Cultural Heritage Buildings: Evaluating the Mallorca Cathedral Supporting Structures. *NDT & E International*, 59, 40-47.
- Piro, S., Campana, S., 2012. GPR Investigation in Different Archaeological Sites in Tuscany (Italy). Analysis and Comparison of the Obtained Results. *Near Surface Geophysics*, 10, 47-56.
- Porsani, J.L., Filho, W.M., Elis, V.R., Shimeles, F., Dourado, J.C., Moura, H.P., 2004. The Use of GPR and VES in Delineating a Contamination Plume in a Landfill Site: A Case Study in SE Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, 55(3-4), 199-209.
- Reynolds, J.M., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Chichester: John Wiley & Sons, 796p, England.
- Rizzo, E., Masini, N., Lasaponara, R., Orefici, G., 2010. Archaeo-Geophysical Methods in the Templo Del Escalonado, Cahuachi, Nasca (Peru). *GPR in Archaeology*, 8, 433-439.
- Scollar, I., 1962. Electromagnetic Prospecting Methods in Archaeology. *Archaeometry*, 5(1), 146-153.
- Seidel, K., Lange, G., 2007. Direct Current Resistivity Methods. Knödel, K., Lange, G., Voight, H-J. (Eds.), *Environmental Geology-Handbook of Field Methods and Case Studies (205-237)*, Springer, 1357, Hannover-Germany.
- Singh, K.K., Kulkarni, A.V., Mishra, V.D., 2010. Estimation of Glacier Depth and Moraine Cover Study Using Ground Penetrating Radar (GPR) in the Himalayan Region. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(1), 1-9.
- Şeren, A., Babacan, A.E., Gelişli, K., Öğretmen, Z., Kandemir, R., 2012. An Investigation for Potential Extensions of the Karaca Cavern Using Geophysical Methods. *Carbonates Evaporites*, 27(3), 321-329.
- Turesson, A., 2006. Water Content and Porosity Estimated from Ground-Penetrating Radar and Resistivity. *Journal of Applied Geophysics*, 58(2), 99-111.
- Ünyay, M.M., 2019. Pisidia Antiokheia Antik Kenti Aediculus Bazilikası ve Civarı Arkeojeofizik Araştırması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Isparta.
- Üstol, G., 2013. Pisidia Antiokheia Antik Kenti Gözetleme Kulesi Arkeojeofizik (Yer Radarı ve Elektrik Özdirenc) Araştırması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 130s, Isparta.

- Taflove, A., Hagness, S.C., 2005. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method (3rd ed.). Artech House Publishers, 1006, London.
- Van Overmeeren, R.A., Ritsema, I.L., 1988. Continuous Vertical Electrical Sounding. *First Break*, 6(10), 313-324.
- Wilson, M., 2009. The Route of Paul's First Journey to Pisidian Antioch, *Cambridge University Press*, 55(4), 471-483.
- Wynn, J.C., 1986. Archaeological Prospection: An Introduction to The Special Issue, *Geophysics*, 51, 553-537.
- 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.
- Yazır, R., 1983-1984. Görsel Bilim ve Teknik Ansiklopedisi. Görsel yayınlar, 448s, İstanbul.
- Zhu, S., Huang, C., Su, Y., Sato, M., 2014. 3D Ground Penetrating Radar to Detect Tree Roots and Estimate Root Biomass in the Field. *Remote Sensing*, 6(6), 5754-5773.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Açelya Sever  
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1987  
Medeni Hali : Bekâr  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : acelyaswr@hotmail.com



## Eğitim Durumu

Lise : Karşıyaka Lisesi, 2004  
Ön Lisans : OMÜ, Boyabat Meslek Yüksek Okulu, Harita Teknikerliği, 2007  
Ön Lisans : AÜ, Açık Öğretim Fakültesi, Laborant ve Veteriner Sağlık, 2009  
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 2015

## Mesleki Deneyim

Ortaköy Mühendislik A.Ş. 2015  
Assystem Envy Enerji ve Çevre Yatırımları A.Ş. 2016-2017  
Cadde Patent 2018-2019