

**DİVRİĞİ KALESİ ARKEOLOJİK ALANININ
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI**

FATİH İNAÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2014**

T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİVRİĞİ KALESİ ARKEOLOJİK ALANININ JEOFİZİK
YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

FATİH İNAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
YRD. DOÇ. DR. ÖZCAN BEKTAŞ

SİVAS
2014

ÖZET

DİVRİĞİ KALESİ ARKEOLOJİK ALANININ JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Fatih İNAÇ

Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ

2014, 68 sayfa

Arkeolojik kazılarda, zaman ve ekonomik kazanımların yanında yanlış kazı ile arkeolojik kalıntıların zarar görmemesi oldukça önemlidir. Yanlış yerden başlatılacak bir kazı, çalışmanın maliyetini arttıracak gibi arkeolojik kalıntıların zarar görmesine de yol açabilmektedir. Bu sorunların çözümünde jeofizik araştırmalar arkeoloji bilimine büyük katkı sağlamaktadır. Çalışma alanı Türkiye'nin doğusunda bulunan Sivas ili Divriği ilçesinde bulunmaktadır. Çalışma alanında beş farklı alanda manyetik, elektromanyetik iletkenlik ve yer radarı (GPR) yöntemlerini içeren jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Ham manyetik veriler gömülü nesneler hakkında bize fikir versede yeraltındaki gömülü yapıları daha iyi tanımlamak için manyetik verilere spektral yöntemler (RTP ve Analitik Sinyal) uygulanmıştır. Beş farklı alan için analitik sinyal haritaları oluşturulmuş ve muhtemel arkeolojik yapıların yerleri bu haritalar üzerinde tespit edilmiştir. Aynı alanlarda 250 MHz merkezi frekanslı korumalı anten ile donatılmış bir GPR sistemi kullanılarak 12 profil boyunca radar verisi toplanmıştır. Yer radarı sonuçları gömülü arkeolojik yapıların konum ve derinlikleri hakkında önemli bilgiler vermiştir. Muhtemel yapıların üst yüzey derinliği ortalama 0.5 m, alt yüzey derinliği ise 2-2.5 m civarındadır. Manyetik anomaliler ve GPR ölçümleri birbirleriyle iyi uyum göstermiştir. Elektromanyetik iletkenlik ölçümleri iki alanda yapılmıştır. İletkenlik ve inphase değerleri kaydedilmiştir. Ancak elektromanyetik iletkenlik yöntemine dayalı ölçümler yer altı yapılanması ile ilgili bulgu önerecek bir sonuç doğurmamıştır.

Anahtar kelimeler: Arkeoloji, Yer Radarı (GPR), EM İletkenlik, Manyetik Yöntem, Analitik Sinyal

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DIVRIGI CASTLE ARCHAEOLOGICAL AREA WITH GEOPHYSICAL METHODS

Fatih İNAÇ

Master of Science Thesis, Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ

2014, 68 pages

In archaeological excavations, it is rather important that time, economic and incorrect excavation with archeological remains shouldn't be damaged. An excavation which starts with the wrong place not only increases the cost of the study but also can cause the archeological remains of art to be damaged. Geophysical studies in the solution of this problem is a major contributor to the science of archeology. The location of the study area is situated near Divriği-Sivas in the east of Turkey. A geophysical survey including magnetic, electromagnetic conductivity and ground radar methods were carried out in five different areas. However view of the magnetic anomalies gives some ideas about buried objects in the subsurface, the advanced spectral methods (RTP and Analytical Signal) were applied to the magnetic data in order to better identify buried objects. Analytical signal was generated maps for five different areas and possible locations of archaeological structures have been identified on these maps. We collected 12 profiles using a GPR system equipped with two shielded antennas of 250 MHz central frequencies in four different areas. GPR results gives an idea about the depth and location of propable buried structures. The average depth of the upper surfaces of possible structures is 0.5 m and around the bottom surface is at a depth of 2- 2.5 m. There was a good correlation between magnetic anomalies and ground penetrating radar measurements. Electro Magnetic Conductivity measurements were made on the two areas. In these measurements, conductivity and inphase quantity values were recorded. However, based on the method of electromagnetic conductivity measurements suggest the findings related to the underground structure is not a result in.

Keywords: Archaeology, Ground Penetrating Radar (GPR), EM Conductivity, Magnetic Method, Analytic Signal

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında, bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım, her konuda desteğini ve yardımını esirgemeyerek bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ'a, ölçü alımı ve değerlendirme sırasında bana yardımcı olan arkadaşlarım Jeofizik Müh. Serdar FEYZİ ve Jeofizik Müh. Abdullah AYYILDIZ' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını ve güler yüzlerini esirgemeyen Arş. Gör. Hamdi ALKAN, Öğr. Gör. Sinan KOŞAROĞLU, Arş. Gör. Mahmut SARI, Jeofizik Müh. Naşit DARICI ve Önder ÖKSÜZTEPE'ye teşekkür ederim.

Değerli katkılarından dolayı Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne ve tüm Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları sırasında Divriği Kalesi kazı alanında kazı başkanı olarak görev yapan Cumhuriyet Üniversitesi Sanat Tarihi Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Erdal ESER'e verdiği destek için çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana her türlü desteği veren beni bu günlere getirip hayatımın her aşamasında destekleyen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışması Kültür ve Turizm Bakanlığının 14.05.2013 tarih 93244 sayılı izni ile gerçekleştirilmiştir.

Fatih İNAÇ

SİVAS 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. KULLANILAN YÖNTEMLER.....	5
3.1 Yer Radarı (GPR).....	5
3.1.1 Yöntemin Tanımı ve Çalışma İlkesi	5
3.1.2 Maxwell Denklemleri	6
3.1.3 Yer Radarı Ölçümlerini Etkileyen Faktörler.....	8
3.1.4 Penetrasyon derinliği	10
3.1.5 Yer radarı Verilerine Uygulanan Veri İşlem Aşamaları	13
3.1.5.1 İlk Zaman Filtresi (Move Start Time)	13
3.1.5.2 Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi).....	13
3.1.5.3 Enerji Geciktirme (EnergyDecay).....	13
3.1.5.4 Ortalama Değer Temizleme(SubtractingAverage).....	13
3.1.5.5 Band Pass Filtre	14
3.1.5.6 Göç İşlemi(Migration).....	14
3.2 Manyetik Yöntem.....	15
3.2.1 Yer Manyetik Alanı	16
3.2.2 Manyetik Yöntemde Kullanılan Parametreler ve Tanımlar	17
3.2.3 Kutba İndirgeme Dönüşümü (RTP).....	20
3.2.4 Analitik Sinyal Dönüşümü (AS).....	21
3.3. Elektromanyetik (Em) İletkenlik Yöntemi.....	22
3.3.1 EM İletkenlik Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	23
3.3.2 EM İletkenlik Yöntemi Kullanım Alanları	23
4. MATERYAL ve METOT	24
4.1 Çalışma Alanının Konumu	24
4.2 Çalışma Alanının Arkeolojik Geçmişi	25
4.3 Jeofizik Çalışmalar	27
4.3.1 Manyetik Çalışmalar	27
4.3.2 Elektromanyetik İletkenlik Çalışmaları	28
4.3.3 Yer Radarı Çalışmaları	28
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
5.1 Alan 1	31
5.2 Alan 2	36
5.3 Alan 3	39
5.4 Alan 4	47
5.5 Alan 5	55

6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
7.	KAYNAKLAR	64
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Genel hatlarıyla bir yer radarı düzeneği görünümü ve çalışma prensipleri (Knödel vd., 1997).....	6
Şekil 3.2 Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi (Moorman, 2001).....	11
Şekil 3.3 a) Ham yer radarı verisi b) Veri işlem adımları uygulanmış radar verisi	14
Şekil 3.4 Yer manyetik alanının elemanları (Etiz, 2007).....	16
Şekil 3.5 Bir manyetik belirtinin kutba indirgeme işleminden önceki ve sonraki hali (Blakely, 1995).....	20
Şekil 3.6 Analitik sinyal yönteminin şematik gösterimi (Roest vd., 1992).....	21
Şekil 3.7 Yer altının elektrik iletkenliği ile ilişkili elektromanyetik alan oluşumu (Sarı, 2012).....	23
Şekil 4.1 a) Divriği ve Divriği Kalesi genel görünümü. b) Kesdoğan Kalesinden Divriği Kalesinin genel görünümü.....	24
Şekil 4.2Tephrike (Divriği) ve çevresi. Antik detaylı konum haritası. Küçük Asya'nın klasik bir haritası (Büyüksaraç vd., 2011).(Ölçek-1: 2.000.000).....	25
Şekil 4.3 Çalışma alanında yapılan manyetik ölçülerin alınma düzeneği (Büyüksaraç vd., 2008).....	27
Şekil 4.4 Ramac GPR cihazı ve çalışma alanından bir görüntü	29
Şekil 4.5 GF Instrument EM iletkenlik cihazı ve çalışma alanından bir görüntü.....	29
Şekil 5.1 Divriği Kalesi kazı alanı ve jeofizik ölçü alanları	30
Şekil 5.2 a) Alan 1'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 1'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 1'e ait analitik sinyal haritası.....	32
Şekil 5.3 Alan 1'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.	33
Şekil 5.4 Alan 1 profil 1'e ait radar kesitleri a)İşlenmiş radar kesiti b)Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir	34
Şekil 5.5 Alan 1 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	35
Şekil 5.6 a) Alan 2'ye ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 2'ye ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 2'ye ait analitik sinyal haritası.....	37
Şekil 5.7 Alan 2'ye ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir.	38
Şekil 5.8 a) Alan 3'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 3'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 3'e ait analitik sinyal haritası	40
Şekil 5.9 Alan 3'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.	42
Şekil 5.10 Alan 3 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	43
Şekil 5.11 Alan 3 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	44

Şekil 5.12 Alan 3 profil 3'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler muhtemel arkeolojik yapıları göstermektedir.	45
Şekil 5.13 a) Alan 3'e ait elektromanyetik iletkenlik haritası b) Alan 3'e ait inphase haritası	46
Şekil 5.14 a) Alan 4'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 4'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 4'e ait analitik sinyal haritası	48
Şekil 5.15 Alan 4'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.	50
Şekil 5.16 Alan 4 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	51
Şekil 5.17 Alan 4 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler muhtemel arkeolojik yapıları göstermektedir.	52
Şekil 5.18 Alan 4 profil 3'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	53
Şekil 5.19 a) Alan 4'e ait elektromanyetik iletkenlik haritası b) Alan4'e ait inphase haritası	54
Şekil 5.20 a) Alan 5'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 5'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 5'e ait analitik sinyal haritası	56
Şekil 5.21 Alan 5'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.	58
Şekil 5.22 Alan 5 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	59
Şekil 5.23 Alan 5 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	60
Şekil 5.24 Alan 5 profil 3'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	61
Şekil 5.25 Alan 5 profil 4'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Bazı jeolojik birimlere ait dielektrik, iletkenlik, hız ve soğrulma degerleri (Wilchek, 2000).....	9
Çizelge 3.2 GPR parametreleri (dielektrik sabit, elektrik iletkenliği ve anten frekansı) arasındaki ilişki (Takahashi, 2004).	10
Çizelge 3.3 Frekansa bağlı penetrasyon derinliği (Öğretmen, 2012).	12
Çizelge 3.4 Bazı topraklar için EM iletkenlik ve öz direnç değerleri (Bevan, 1998).....	22

SİMGELER DİZİNİ

σ	İletkenlik
ω	Permittivite (Dielektrik sabit)
ϵ_r	Bağıl dielektrik geçirgenliği
∇	Nabla operatörü
A	Ara Yüzey
D	Elektrik yer değiştirme
E	Elektrik alan şiddeti
H	Manyetik alan şiddeti
Φ	Manyetik Akı
F	Manyetik Kuvvet
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
P	Kutup Şiddeti
J	Akım Yoğunluğu
M	Manyetik Moment
q	Elektrik alan yükü yoğunluğu
μ	Manyetik Geçirgenlik
I	Elektrik Akımı
Hz	Hertz
MHz	Mega Hertz
T	Toplam manyetik yoğunluğun büyüklüğü
k	Manyetik Duyarlılık (Suseptibilite)
$F[\psi_r]$	Kutba indirgeme dönüşümü uygulanmış anomalinin ters fourier dönüşümü

1. GİRİŞ

Arkeoloji insanlığın kültürel geçmişini, kültürlerin değişimini ve birbirleriyle olan ilişkilerini inceleyen bir bilim dalıdır. Yazının icadından önceki dönem tarihçiler tarafından prehistorya olarak adlandırılmaktadır. Bu dönem hakkında yalnızca insanlığın kullandığı aletler ve yaşadığı ortamlardan geriye kalan kalıntılar sayesinde bilgi edinilmektedir. Dolayısıyla insanlık tarihinin bu eski çağlarına ait bilgilere arkeoloji bilimi ile ulaşılmaktadır (Öztürk, 2004).

Arkeolojik araştırmalarda günümüze kadar genellikle klasik hendek açma, delgi yapma vb. yüksek maliyet ve insan gücü gerektiren araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Bu tür klasik yöntemler arkeolojik alanlar için zaman alıcı ve zarar verici nitelikte olmasının yanı sıra kimi zamanda başarısız sonuçlanabilmektedir.

Arkeolojik araştırmalarda gömülü arkeolojik yapılara ait kalıntıların konumlarının ve derinliklerinin belirlenmesi, bu yapıları ortaya çıkarmak için uğraş veren arkeologların en önemli sorunlarından birisidir. Hem yüksek maliyetli hem de kaynak bulma konusunda sıkıntı çekilen kazılarda gereksiz kazıdan kaynaklanan ekonomik sorunları en aza indirmek ve zaman kayıplarını önlemek için bu sorunların aşılması gerekmektedir. Bu sorunları aşmada arkeoloji bilimine yüzeyden yürütülerek antik yapı kalıntılarına hasar vermeyen, onların konumlarını ve derinliklerini en az hatayla belirlemeye çalışan jeofizik bilimi büyük katkı sunmaktadır (Kaya, 2007).

Görüntü işlemindeki ve elektronik-bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, grafik sunumunda da yüksek hız sağlamaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak jeofizik sonuçlarda yüksek çözünürlükte sunulabilmektedir. Jeofizik ölçüm sonuçları kazı planlaması öncesi alanın yeraltının görüntülenmesinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Jeofizik yöntemler, maliyeti, zamanı ve kazı riskini azaltır. Bu nedenle, jeofizik yöntemlerin, arkeolojik araştırmalarda kullanım alanı giderek artan bir şekilde genişlemektedir.

Bazı fiziksel değişimler, gömülü cisimlere ya da yapılara ait anomaliler olarak değerlendirilmektedir. Gömülü arkeolojik nesneler, yer manyetik alanında yerel bozulmalar meydana getirir ve yüksek duyarlıklılı manyetometrelerle ölçülür. Manyetik yöntemin etkisi ise manyetik duyarlılığa ya da gömülü arkeolojik özellikler ve çevre kayalar arasındaki mıknatıslanma uyumuna bağlıdır. Yeryüzünde saptanabilen manyetik anomalileri üreten en önemli arkeolojik nesneler pişirilmiş kilerdir. Kalıntı mıknatıslanma içeren tuğlalar, kilden yapılmış kaplar, testiler ve küp mezarlar manyetik

yöntem için çok yaygın nesnelerdir. Ayrıntılı ve yüksek hassasiyetli jeofizik araştırma yöntemleri arkeolojik alanlar için giderek daha önemli hale gelmektedir.

Gömülü durumdaki arkeolojik yapı kalıntılarının belirlenerek arkeoloji bilimine kazı açısından yön verilmesine yönelik uygulamalı jeofizik çalışmaları 1946 yılında başlamış ve 1990'lı yıllardan sonra önemini arttırarak devam etmiştir (Kaya vd., 1996).

1.1 Çalışmanın Amacı

Jeofizik ölçüm sonuçları, kazılar için yer belirleyici olarak kullanılmaktadır ve kazı planlaması için fikir vermektedir. Bu nedenle, jeofizik yöntemler arkeolojik alanlarda ve gömülü cisimlerin yerlerinin saptanmasında etkili ve oldukça kullanışlıdır. Kazı planlaması öncesi yeraltının görüntülenmesi büyük bir avantajdır. Arkeolojik kalıntılar, yeryüzünde jeofizik sinyal üretirler. Jeofiziksel veri, doğal ve yapay gömülü nesnelerin yerleri ve boyutları olduğu kadar fiziksel özelliklerinin dağılımı hakkında bilgi içermektedir. Divriği Kalesi arkeolojik alanında yer alan gömülü arkeolojik yapıların manyetik, yer radarı ve elektromanyetik iletkenlik yöntemlerine dayalı jeofizik yöntemlerle araştırılması, jeofizik araştırmalar sonucunda elde edilecek bilgiler ışığında gömülü arkeolojik yapıların ya da nesnelerin konumlarının belirlenebilmesi ve kazıya yön verilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Arkeolojik alanlardaki jeofizik çalışmalara ilk kez 2. Dünya savaşı sonrası yıllarda rastlanılmaktadır. Özellikle 1950'li yılların başında taşınabilir proton manyetometrelerinin yapılmasından sonra kullanım alanı hızlı bir şekilde artmıştır. Bu konu üzerine 1946 yıllarında Atkinson'un İngiltere'de yaptığı öz direnç uygulaması ve 1957'de J.C. Belshe'in taşınabilir proton manyetometresiyle yaptığı manyetik çalışma ilk çalışmalardır. 1970'li yıllarda yer radarı ölçümleri arkeolojik araştırma yöntemleri arasına katılmıştır (Drahor, 1991). 1990'lı yıllardan sonra jeofizik yöntemler arkeolojik alanlarda çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda ülkemizde de jeofizik çalışmalar arkeolojik çalışmalar için olmazsa olmaz bir çalışma haline gelmiştir.

Büyüksaraç vd., (2011), Divriği Kalesi'nde manyetik ve elektromanyetik iletkenlik araştırmalarını içeren bir arkeojeofizik çalışma yapmışlardır. Arkeologların önerileri doğrultusunda Divriği Kalesi'nde 8 alan jeofiziksel araştırmalar çerçevesinde incelenmiştir. Alanda 7-7.5 m. çapında iki dairesel anomali ve 9 m. uzunluğunda bir kanala ait olabilmesi muhtemel anomali saptanmıştır. Bu alan için bu yapılar kar kuyuları olarak yorumlanmıştır. Elektromanyetik iletkenlik profili ölçümleri iki alanda uygulanmış ve iletkenlik ve inphase değerleri kaydedilmiştir. Manyetik anomaliler ile iletkenlik ölçümleri arasında iyi bir korelasyon gözlenmiştir. Jeofizik araştırma ve kazı sonuçlarının korelasyonu, jeofiziksel verilerin gömülü arkeolojik nesneler hakkında mekansal bilgi toplamak için değerli araçlar olduğunu göstermiştir.

Yalçiner vd., (2008), Türkiye'nin batısında antik Nysa şehrinde gömülü arkeolojik nesnelerin görüntülenmesini ve tespit metodlarının potansiyelini değerlendirmek için belirli alanlarda yer radarı çalışması yapmışlardır. Hellenistik ve Roma dönemleri boyunca Ege'nin önemli bir eğitim ve kültür kenti olan Nysa şehri, son 100 yıl içerisinde arkeolojik araştırmaların odak noktası olmuştur. Geçmiş ve devam eden kazılarda tiyatro, amfiler, kütüphane ve mağazalar gibi büyük antik yapıların varlığı ortaya konulmuştur. Ancak, orijinal şehrin daha geniş ve büyük boyutlara ulaşmış olduğu tahmin edilmektedir. Ekipman olarak 250 ve 500 MHz merkez frekanslı bir GPR sistemi kullanarak 22 profil veri toplanmıştır. Toplanan verilerin işlenmesi sonrasında GPR sonuçları kütüphanenin 50 m batısında gömülü bulunan duvarların varlığı ortaya çıkarılmıştır. GPR profillerindeki karakteristik izler (hiperbol şeklinde nokta kaynak yansımaları) ile belli bir dereceye kadar yapının tarzı yeri, geometrisi,

boyutları tarif edilebileceğini belirtmişlerdir. Jeofizik çalışmadan sonra yapılan kazılar, çalışma sonuçlarını doğrulamış ve önceden bilinmeyen bir tapınak ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak, sıkı jeofizik araştırmaların Nysa şehrinin boyutlarını ve zenginliğini daha iyi karakterize etmek için arkeolojik bilgi toplama konusunda önemli derecede yardımcı olduğunu göstermişlerdir.

Chianese vd., (2008), tarafından önemli bir antik tapınak bulunan Rossano di Vaglio arkeolojik alanında yüksek çözünürlüklü bir jeofizik araştırma yürütülmüştür. Tanrıça Mephitis'e adanmış olan bu yapı milattan önce 4. yüzyılda inşa edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı Basilicata Bölgesi Arkeoloji İdaresi tarafından belirlenen bir alanda gömülü arkeolojik yapıların tespit edilmesi olarak belirtilmiştir. Çalışma yüksek çözünürlüklü jeofiziksel araştırmalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yüksek hassasiyetli ve arkeolojik yapılara zarar verici nitelikte olmayan jeofizik tekniklerden elektrik, manyetik ve yer radarı (GPR) yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Böylece, iki önemli sonuç elde edilmiştir. Birincisi, kazılan alanların sınırları hakkında değerli bilgiler arkeologlara sağlanmıştır. İkincisi ise jeofizik sonuçların güvenilirliği doğrulanmıştır. Çalışma sonuçları, aynı hedef için elde edilen GPR sonuçları ile çalışma alanında dört ana manyetik anomalinin uyumlu olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak inceleme alanında kısmi bir ön kazı testi vasıtasıyla ortaya çıkarılan gömülü bir bina kalıntısının yerinin jeofizik araştırmalarla tanımlanan anomaliyle uyduğu belirlenmiştir.

Arısoy vd., (2007), Afyon yakınlarında Türkiye'nin batısında yer alan Dedemezari nekropol alanında bir jeofizik çalışma yürütmüşlerdir. Arkeologların, Orta Tunç çağına ait olduğunu düşündükleri alanda yüksek çözünürlüklü manyetik araştırma yapılarak gömülü malzeme yüksek hassasiyetle tespit edilmiştir. Özellikle analitik sinyal yöntemiyle dönüştürülen anomaliler gözlemlenen manyetik anomalilere açıklık getirilmiştir. Manyetik ölçümler bu çalışmada, üç farklı alanda uygulanmıştır.

Analitik sinyal dönüşümü yapılmış manyetik anomali haritası ile A ve B açmalarındaki ön kazıların iyi sonuçlar sunduğunu belirtmişlerdir. Çalışma alanında iki tür mezar olduğunu ve birinin kilden yapılmış diğerinin ise kaya mezar şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Gömülü mezarların şekilleri ağırlıklı olarak silindirik ve eliptiktir. Manyetik anomaliler gömülü malzemenin şeklini çoğunlukla eliptik olarak yansıtmıştır. Gömülü mezarların manyetik yöntemle yerlerinin belirlenmiş olması gelecekte yapılacak kazıların daha kolay yürütülmesine imkan vereceği düşünülmüştür.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Yer Radarı (Gpr) Yöntemi

II. Dünya Savaşı'yla birlikte savunma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan radar sistemleri, radyo dalgalarından yararlanarak cisimlerin yerlerini ve uzaklıklarını belirleyebilen elektronik cihazlardır. Başlangıçta savunma amaçlı kullanılan bu elektronik aksamalar, daha sonra yeraltının fiziksel özelliklerini araştırmak amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır (Kurtulmuş, 2008).

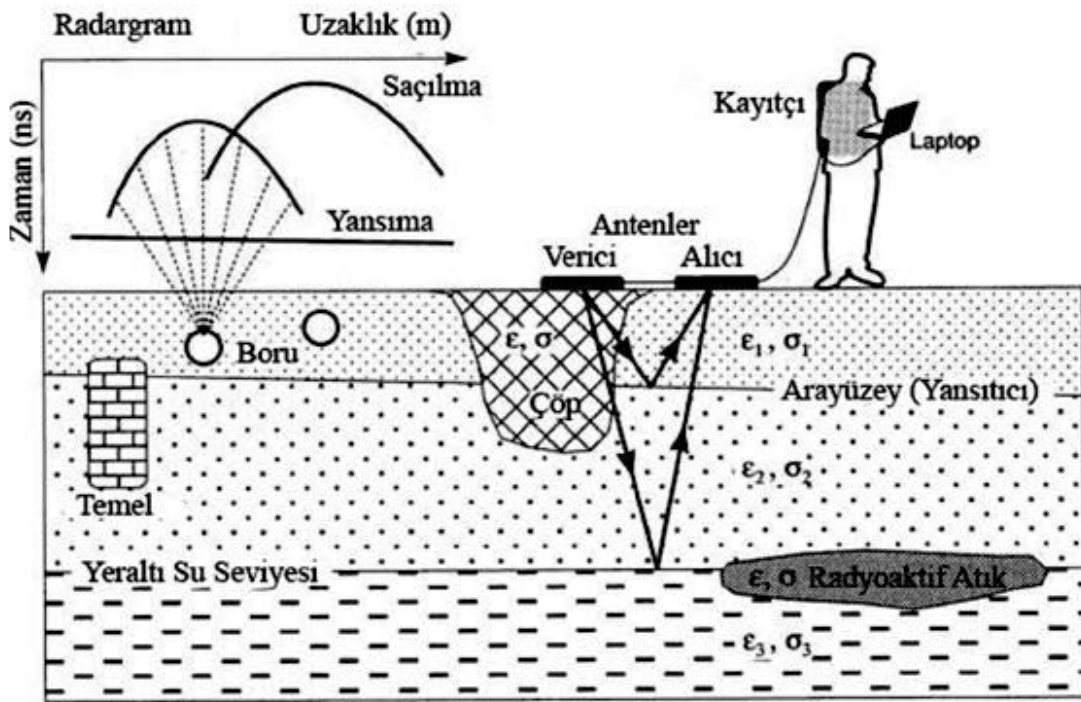
Ortam koşulları yer radarı ölçüleri için uygunsa, örneğin ortam yüksek oranda kil ve su içermiyorsa, uygun anten seçimleriyle santimetre boyutlarındaki hedef yapıların yerleri ve gömülü bulundukları derinlikler belirlenebilir. Yer radarı sistemleri bot, kızak ve tekerlekli araçlar gibi çeşitli tasarımlarla birçok alanda hızlı ve büyük boyutlu taramaları başarabilecek özelliktedir. Son yıllarda tomografik ölçümlere olanak sağlayacak anten düzeneklerinin ortaya çıkmasıyla, yer radarı sığ jeofizik aramacılıkta daha etkili bir yöntem durumuna gelmiştir (Kurtulmuş, 2008).

Yer radarı yöntemi yapısal araştırmalarda toprak stratigrafisinin ortaya çıkarılmasında, sığ jeolojik birimlerin belirlenmesinde, fay, kırık ve çatlakların haritalanmasında, yeraltı karstik boşluklarının aranmasında kullanılmaktadır. Son yıllarda çok yaygın olarak arkeolojik çalışmalarda tapınak, mezar, duvar, temel ve benzeri tarihi kalıntıların bulunmasında, metalik cisim arama çalışmalarında yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının bulunmasında, zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde de rahatlıkla kullanılmaktadır.

3.1.1 Yöntemin Tanımı ve Çalışma İlkesi

Yer radarı (GPR) yöntemi, yakın yüzey araştırmaları için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir. Bir yer radarı verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Yer radarı (Ground penetrating radar) yöntemi, verici anten yoluyla yeraltına gönderilen 10 ile 2000 MHz arasında değişen yüksek merkez frekanslı elektromanyetik radar dalgalarının yer içinde yayınımları sırasında karşılaştıkları farklı elektriksel ve manyetik özelliklere sahip süreksizliklerden, enerjilerinin bir bölümünün geriye yansiyarak yüzeydeki alıcı anten yoluyla kaydedilmesi ve bu yayılım boyunca geçen toplam sürenin ölçülmesi ilkesine dayanır

(Van Der Kruk vd., 1999). Verici anten (transmitter) yatay doğrultuda elektrik alan vektörüne sahiptir ve birkaç nanosaniyeli bir elektromanyetik sinyal üretir. Yer içinde ilerleyen dalgalar anomali verecek herhangi bir nesne ile karşılaştıklarında yansıma veya saçılmaya uğrayarak tekrar yukarı çıkarlar ve yüzeydeki alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımı ile zamanın bir fonksiyonu olarak kayıt edilir (Şekil 3.1). Buna radar izi adı verilir. Zaman birimi nanosaniyedir. Ölçümler genellikle bir profil üzerinde, önceden belirlenmiş ölçüm noktalarında alınır. Her ölçüm noktasındaki izler yan yana getirilerek radargram adı verilen radar kesitleri elde edilir (Kadıoğlu, 2003).



Şekil 3.1. Genel hatlarıyla bir yer radarı düzeneği görünümü ve çalışma prensipleri (Knödel vd., 1997).

3.1.2 Maxwell Denklemleri

Elektromanyetik dalgaların yayılımı ve sönümlenmesini anlamak için elektrik ve manyetik alan vektörleriyle ilişkili Maxwell Eşitlikleri kullanılabilir.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3.1)$$

Burada;

E elektrik alan şiddetini, B manyetik akı yoğunluğunu, ∇ nabla operatörünü ifade etmektedir.

Bu ifade Faraday Kanununun matematiksel ifadesidir ve 3.1 bağıntısı ile verilmektedir. Zamanla değişen bir manyetik alan ortamdaki elektrik yüklerin hareket etmesine ve bu yük hareketiyle, kapalı döngüsel bir elektrik alan oluşmasına neden olur. Elektrik alan, indüklenen elektromanyetik alanın manyetik akı değişiminin negatif işaretlisidir ve vektörel bir büyüklüktür.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.2)$$

Burada;

D elektrik akı yoğunluğunu, H manyetik alan şiddetini, J akım yoğunluğunu ifade etmektedir.

Maxwell'in ikinci eşitliği bir elektrik akımının uzayda bir manyetik alanın vektörel kaynağını oluşturduğunu ve oluşan bu manyetik alanın bölgedeki iletkenlik (yük akışı) ve elektrik yüklerinin zamanla yer değiştirmesinden kaynaklanan toplam akıma orantılı olduğunu ifade eden Amper Kanununun matematiksel ifadesidir ve 3.2 bağıntısı ile verilmektedir. Bunun fiziksel olarak en basit örneği, iletken bir çubuktan geçen elektrik akımının etrafında oluşan manyetik alan ve bu manyetik alanın varlığını ispat eden telin etrafındaki kağıt düzleminde manyetik alanın şeklini alan demir tozlarıdır.

Doğada elektrik alanın iki kaynağı bulunmaktadır. Elektrik alanın skaler kaynağı, ya maddeler içerisindeki serbest elektrik yük yoğunluğu ya da elektrik alanın noktasal yüklerde sonlanması ile oluşur ki, bu Gauss Yasası olarak bilinir. Bir diğer elektrik alan kaynağı olan indükleme olgusu meydana geldiğinde, elektrik yükleri salınım yaparak zamanla değişim gösteren elektrik alanları (yani yüklerin hareketlenmesi) ile kapalı döngü şeklinde oluşturur. Genelde zamanla değişen sinyaller bu iki farklı kaynaktan ortaya çıkan elektrik alanın toplamından oluşur.

$$\nabla \cdot \vec{D} = q \quad (3.3)$$

Burada, q elektrik yük yoğunluğunu ifade etmektedir.

Doğada manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketlenmesiyle oluşan akım akışı sayesinde oluşur. Bu nedenle, manyetik alanlar sadece eşitlik 3.4' te ifade edilen kapalı döngüde oluşacaktır (ya da diğer bir deyişle hep kendi üzerinde sonlanır) ve manyetik alanın skaler kaynağı yoktur. Bu durumda herhangi bir kapalı yüzeyde oluşan manyetik alanın akısı sıfırdır (Kurtulmuş, 2007).

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3.4)$$

3.1.3 Yer Radarı Ölçümlerini Etkileyen Faktörler

Elektromanyetik alanlar zamanla değişen elektrik (E) ve manyetik (H) alan bileşenlerinden oluşmaktadır ve bu bileşenler içinden geçtikleri ortamların farklı fiziksel özelliklerinden etkilenmektedirler. Bu değişim, bu alanların ortamda yayılım ve sönümlenmelerini etkilemektedir. Verici anten tarafından yeraltına gönderilen elektromanyetik dalgaların yer içinde ilerleme hızı, ilerlediği ortamın dielektrik sabitine ve manyetik duyarlılığına; dalga'nın ulaşabileceği maksimum derinlik ise, dalga'nın frekansına ve ilerlediği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır (Weeds, 1994). Yer radarı ölçümlerini etkileyen en önemli iki faktör elektriksel iletkenlik ve dielektrik geçirgenliktir.

Yüksek elektriksel iletkenlik radar çalışmalarını sınırlayan en önemli faktörlerden biridir. Yüksek iletkenlikli zemin (yüksek kil içerikli zemin) düşük iletkenli zeminden (kuru kum) daha fazla enerji soğurur (Griffin vd., 2002). Yüksek iletkenlikli ortamlar, iletilen sinyalin soğurulmasına ve derinliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yer radarı çalışmalarında çalışılan ortamın iletkenliğinin düşük olması istenir (Aloğlu, 2006).

Bir diğer önemli fiziksel özellikte bağlı dielektrik geçirgenliktir. Dielektrik (ϵ) ifadesi elektriksel yalıtkanlıkla eş anlamlıdır ve dielektrik bir madde, elektrik akımına yüksek derecede direnç gösteren madde olarak tanımlanmaktadır. Dielektrik ortamlar, elektromanyetik enerjinin büyük bir kısmının saçılmadan geçişine izin verir. Radar dalgasının yeraltındaki bir yansıtıcıdan yansıyabilmesi için ortamlar arasında elektriksel bir zıtlığa gereksinim vardır. Bu olgu bağlı dielektrik anlamında düşünüldüğünde, ortaya çıkacak zıtlık artışı ara yüzeylerden kaynaklanacak yansımaların genliklerinin büyümesine neden olacaktır. Böylece ara yüzey daha belirgin olarak görülebilecektir (Kurtulmuş ve Drahor, 2008). Ortamların dielektrik geçirgenlikleri; onların bileşimleri, nem içeriği, hacim yoğunluğu, gözeneklilik, sıcaklık ve fiziksel yapılarına bağlıdır (Olhoeft, 1981).

Bu iki parametre (dielektrik geçirgenlik, elektrik iletkenlik) sudan önemli bir şekilde etkilenmektedir, bundan dolayı su GPR'ın çalışma performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir (Griffin ve Pippet, 2002). Çizelge 3.1' de bazı jeolojik malzemelere ait dielektrik sabit, iletkenlik, yayılma hızı ve soğrulma değerleri verilmiştir. Elektriksel özelliklerdeki farklılaşmayla kıyaslandığında, manyetik değişim çok zayıf kalmaktadır. Ancak yer radarı yanıtlarını etkileyebilecek manyetik özellikli ortamların bulunduğu da göz ardı edilmemelidir (Kurtulmuş, 2007).

Çizelge 3.1 Bazı jeolojik birimlere ait dielektrik, iletkenlik, hız ve soğurulma değerleri (Wilchek, 2000).

MALZEME	Bağıl Dielektrik Sabiti, $\epsilon_r(\epsilon/\epsilon_0)$	İLETKENLİK $\sigma, (mS/m)$	Yayılm Hızı, $V, (m/nsn)$	Soğurulma, Soğurulma Sabiti, α
Hava	1	0	0,3	0
Buz	3-4	0,01	0,16	0,01
Su(taze)	80	0,5	0,033	0,1
Su(tuzlu)	80	3000	0,01	1000
TOPRAKLAR				
Kil	5-40	2-1000	0,06	1-300
Toprak(kum)	3-5	0.01	0,15	0,01
Toprak(doygun)	20-30	0,1-1.0	0.06	0,03-0,3
Silt	5-30	1-100	0,07	1-100
MİNARELLER				
Kalsit	7,8-8,5	$5*10^{-10}$	0,11	$3*10^{-10}$
Kuars	4,2-5	$3*10^{-4}-5*10^{-12}$	0,13-0,15	$2*10^{-8}-4*10^{-12}$
Tortul Kayalar				
Kireç taşı	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1,0
Tuz(kuru)	5-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Kumtaşı	4<7-12	$1*10^{-5}-0.7$	0,09-0,14	$5*10^{-8}-0,6$
Şeyl	5-15	1-100	0,09	1-100
Magmatik Kayalar				
Bazalt	12	$8*10^{-6}-0.025$	0,09	$4*10^{-6}-0,01$
Dasit	6.8-8.2	0,05	0,12	0,03
Diyabaz	10,5-34,5	$2*10^{-5}-50$	0,05-0,09	$1*10^{-2}-26$
Diyarit	6	0,0002-0,002	0,12	0,0001-0,001
Gabro	8,5-40	0,001-1	0,05-0.10	$3*10^{-4}-0,6$
Granit	4.6	0,01-1	0,13	0,01-1
Norit	61	0,02-1	0,04	0,004-0,2
Obsidiyen	5,8-10,4	n/a	0,11	n/a
Peridotit	8,6	0,15-0,33	0,10	n/a
Metamorfik Kayalar				
Gnays	8,5	0,0003-0,02	0,10	n/a
Arjilit	n/a	1-100	n/a	n/a
Kuarsit	n/a	$5*10^{-6}-100$	n/a	n/a

Yer radarı çalışmalarına etki eden diğer bir faktörde kullanılan anten frekansıdır. Uygulamalarda kullanılan anten frekansları genellikle 25 MHz ile 1000 MHz arasında değişmektedir. Bu frekans uygulama derinliğine bağlı olarak değişmektedir. GPR dalgalarının derinliği ve çözünürlüğü kullanılan anten frekansına bağlıdır (Çizelge 3.2) (Takahashi, 2004). Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar düşük frekanslı elektromanyetik dalgalara göre daha fazla detay ve yüksek ayrımlılık elde edilmesine olanak verir. Fakat yüksek frekanslar çok hızlı emildiği için penetrasyon derinlikleri düşük frekanslar kadar mükemmel değildir (Griffin ve Pipet, 2002). Kısacası, frekans ile ayırım arasında doğru orantı; frekans ile derinlik arasında ters orantı vardır (Aloğlu, 2006).

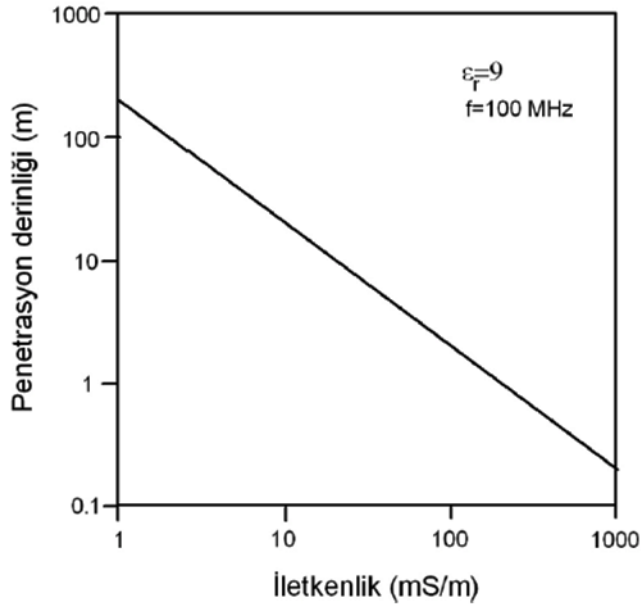
Çizelge 3.2 GPR parametreleri (dielektrik sabit, elektrik iletkenliği ve anten frekansı) arasındaki ilişki (Takahashi, 2004).

GPR Parametreleri	Dielektrik Sabit		Elektrik İletkenlik		Anten Frekansı	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yayılma Hızı	Yüksek	Düşük				
Penetrasyon	Kısa	Uzun	Uzun	Kısa	Uzun	Kısa
Dalga Boyu	Uzun	Kısa			Uzun	Kısa
Çözünürlük	Düşük	Yüksek			Düşük	Yüksek

3.1.4 Penetrasyon Derinliği

Radar yansımalarını oluşturan ara yüzeylerin sayısı ve her ara yüzeydeki dielektrik farklılık; yer içinde seyahat eden sinyalin sönümlenme oranı ve kullanılan antenin merkez frekansı ile yer radarının yeraltını görüntüleyebilme yeteneğinin yanı sıra, yer içinde ilerleyen radar dalgalarının penetrasyon derinliğini de etkiler. Radar dalgaları her bir ara yüzeye ulaştığında, dalgaların bir kısmı yüzeye geri dönerken, geri kalan kısım daha derindeki katman ya da katmanların içlerine doğru ilerlemeye devam edebilir. Ara yüzeylerin sayısı arttıkça, derinlere doğru yayılım gösteren enerji miktarında azalma meydana gelir. Özellikle çökel tabakalardaki dielektrik farklılıklar, karmaşık yansımalar oluşturulabilir. İlgilenilen yansımalar bu karmaşık yapı nedeniyle maskelenebilir ve bunun sonucunda araştırma derinliği azalabilir (Moorman, 2001).

Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği arttığında, enerji çok hızlı şekilde sönümlenir ve bu nedenle elektromanyetik enerjinin penetrasyon derinliği azalır. Bu yüzden, yer radarı sinyalinin içerisinde geçtiği maddenin iletkenliği sinyalin nüfuz edeceği derinlik üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Moorman, 2001). Enerjinin penetrasyonu ile elektrik iletkenlik arasındaki ilişki Şekil 3.2’ de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, ortamın iletkenliğinin artması radar dalgalarının penetrasyon derinliğinin azalmasına yol açmaktadır.



Şekil 3.2 Elektromanyetik enerjinin yayıldığı ortamın elektrik iletkenliği ile enerjinin penetrasyon derinliği ilişkisi (Moorman, 2001).

Kullanılan antenin frekansı, penetrasyon derinliğini etkileyen bir diğer önemli faktördür (Çizelge 3.3). Daha düşük merkez frekanslı antenler daha uzun dalga boylu sinyaller üretir. Bunun sonucu olarak iletkenlik kayıpları ve ortamda bulunan küçük boyutlu yapılardan kaynaklanan saçılmanın azalması nedeniyle, daha az sönümlenme gerçekleşir ve dolayısıyla, radar dalgaları yerin daha derin kısımlarına ulaşabilir. Ancak düşük frekanslı dalga boyları kullanmanın en büyük dezavantajları, yeraltındaki küçük nesnelerin belirlenememesi ve ince tabaka kalınlıklarının ölçülememesinin yanı sıra, çalışılan anten boyutlarının artmasıdır. Bu durum, yeraltının çözünürlüğünü azaltır ve alanda pratik şekilde çalışmayı zorlaştırır (Conyers ve Goodman, 1997).

Eğer d derinliğe bağlı çözünürlüğü temsil ederse uygun frekans;

$$f = 150/d\sqrt{\epsilon} \text{ MHz} \quad (3.5)$$

ile bulunur. Burada derinlik çözünürlüğü hedeflenen derinliğin %25 i olarak alınır. Çözünürlük ölçütü ve nüfuz derinliği koşulları genelde karmaşa yaratır. Uygulamada buna dikkat edilmelidir. Çözünürlük iz aralığından da etkilenir. Sabit aralıklı profillerde iki iz arası uzaklık (Dx), dalga boyunun ¼'ünden daha büyük ise tanımlanabilir hedefler belirlenemez. Bu koşul yaklaşık olarak;

$$D_x = 75/f\sqrt{\epsilon} \quad (\text{m}) \quad (3.6)$$

ile verilebilir. Diğer bir yaklaşımla her iki işlemde Dx'in en fazla araştırma derinliğinin 1/8'i kadar veya daha az olması gerektiği görülebilir. Anten dizilimleri genelde yan yana olarak yapılmasına rağmen uygulamada uç uca konularak da kullanılmaktadır. Jeolojik uzanımın bilinmesi durumlarında antenler yapıya paralel olarak tutulmalıdır. Uygulamalarda anten aralığı (D_{anten}) araştırma derinliğinin 1/5 veya daha azı alındığında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Derinliğe bağlı olarak ampirik bağıntı ise

$$D_{\text{anten}} = (2 \text{ derinlik})/\sqrt{(\epsilon - 1)} \quad (\text{m}) \quad (3.7)$$

ile verilir. Örnekleme frekansının seçiminde örnekleme kuramı göz önünde tutulmalıdır. GPR da kullanılan en yüksek frekans merkezi frekansın 1.5 katı olduğuna göre örnekleme aralığı merkezi frekansın en az 3 katı olmalıdır. Sağlıklı ölçüm için 2 katsayısının da kullanımı önerilir (Öğretmen, 2012).

Çizelge 3.3 Frekansa bağlı penetrasyon derinliği (Öğretmen,2012).

Frekans	Çözünürlük	Toprak(m)	Kaya ortamı (m)
25	1.1000	35-40 arası	50-60 arası
50	0.500	20-25 arası	30-40 arası
75	0.375	12-20 arası	25-30 arası
100	0.250	10-12 arası	20-25 arası
150	0.200	6-10 arası	15-20 arası
250	0.100	4-6 arası	12-15 arası
500	0.050	3.5-4 arası	5-7 arası
750	0.040	1.5-3 arası	3-4 arası
800	0.030	1-2 arası	3
1200	0.020	1	2

3.1.5 Yer Radarı Verilerine Uygulanan Veri İşlem Aşamaları

Ölçümlerden elde edilen ham yer radarı kesitleriyle yeraltının yorumunu yapmak oldukça zordur. Ham radar verilerine birçok veri işlem aşaması uygulanarak sinyal/gürültü oranının artırılması ve verilerin daha seçilebilir olması sağlanır (Şekil 3.3). Böylece yorumcunun işi kolaylaştırılmış olur. Bu çalışmada yer radarı verilerine profil yönlerinin düzenlenmesinden sonra sırasıyla aşağıdaki veri işlem aşamaları uygulanmıştır.

3.1.5.1 İlk Zaman Filtresi (Move Start Time): Bu filtre her iz için ayrı ayrı uygulanarak hava boşlukları en aza indirgenir ve diğer filtrelemeler için ön hazırlık yapılır (Yalçiner ve Gündoğdu, 2011).

3.1.5.2 Dewow (Düşük Frekansların Giderilmesi): Bu filtre her iz için ayrı ayrı uygulanır. Bu seçenek ile tüm izlerden ortalama olarak DC akım ile oluşmuş etkiler temizlenir (Yalçiner, 2009). Düşük frekansların giderilmesini (Dewow) amaçlayan süzgeçleme yöntemi veriden gürültüyü uzaklaştırmak ve doğru radar yansımalarını korumak amacıyla uygulanmaktadır. Bu süzgeçleme yöntemi ile veriden düşük frekanslı olaylar uzaklaştırılmaktadır. Bu süzgeçleme tekniğinde her bir izin her bir değeri için hareketli ortalama değer hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu hareketli ortalama merkez noktasından çıkarılmaktadır. Süzgeç parametresi olarak, hareketli ortalama değer hesaplanması için zaman penceresi için bir zaman değeri girilmelidir.

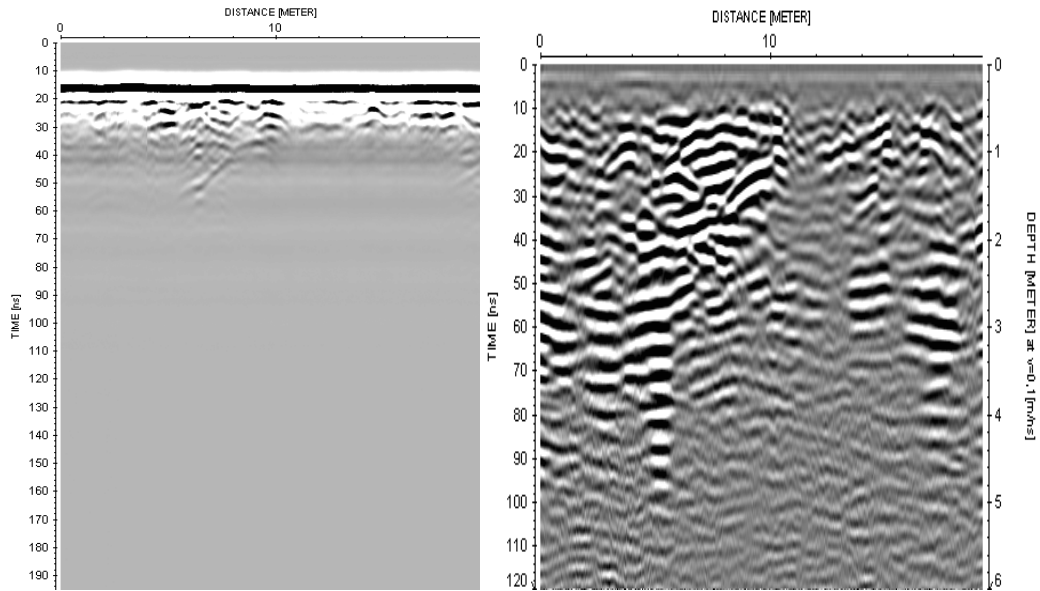
3.1.5.3 Enerji Geciktirme (Energy Decay): Bu filtre her iz için ayrı ayrı uygulanır. Filtre aktivitesi ile seçilen artış eğrisi “y” ekseninde tüm profile uygulanır ve enerjideki gecikmeler ortaya çıkartılır. Tüm gerçek değerler tabi ki kayıp edilir. Ancak tüm profile uygulanan bu artış ve azalış toplamda gerçekçiliği etkilememekte sadece görünürlüğü arttırmaktadır. Tüm işlemler sonucunda izlerdeki enerjiler sabit bir değer ile çarpılır (Yalçiner, 2009).

3.1.5.4 Ortalama Değer Temizleme (Subtracting average): Bu filtre belirlenen izlere uygulanır. Filtre her seferinde seçilen belirli bir sayıda iz üzerinde işletilir. Aynı zamanda bu filtre kaydırmalı arka plan filtresi olarak da adlandırılır. Belirlenen sayıdaki iz üzerine uygulanan filtrede belirlenen değer toplam olarak izlere uygulanır ortada bulunan iz sabit tutularak diğerlerine yayılır. Görsel olarak bir çerçeve içerisinde kalan izlerin ortasındakine göre değer almalarına dayanır (Yalçiner, 2009).

3.1.5.5 Band Geçişli Filtre: GPR'ın şehir ve yerleşim alanlarında karşılaşılan diğer bir sorun, askeriye ve polis telsizi, radyo yayınları, mobil telefonlar ve diğer yayını yapan ve frekans gürültüsüne neden olan faktörlerdir. Ana frekanstan farklı olan bu tarz frekanslarda profillerde istenmeyen yansımalar neden olabilir. Bu tür gürültüler band-geçişli filtre ile aşılabilir. Bu filtre için 4 farklı frekans seviyesi seçilir. İlk nokta alt kesim frekansını tanımlar, ikinci nokta alt frekans düzleminin başlangıcını belirtir. Bu iki nokta arasında filtre bir kosinüs eğrisi ile temsil edilir. Üçüncü nokta ise frekans düzlemin bittiği noktadır ve dördüncü nokta ise yüksek frekans kesim noktasıdır. Üçüncü ve dördüncü noktalarda da frekans kosinüs eğrisi ile temsil edilir. Birinci noktanın altında ve dördüncü noktanın üzerinde kalan frekans değerleri sıfır kabul edilir. Seçilecek değerlere göre band geçişi düşük geçiş veya yüksek geçiş olarak kullanılabilir (Yalçiner, 2009).

3.1.5.6 Göç İşlemi (Migrasyon)

Radar verilerindeki saçılmış genlikleri düzenleme amaçlı göç işlemi uygulanır. Bu bize yer altının yorumlanmasında daha iyi yer tespitlerinin yapılmasında ve yapının daha belirgin bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olur (Sarı, 2012).



Şekil 3.3 a) Ham yer radarı verisi b) Tüm veri işlem adımları uygulanmış radar verisi

3.2 Manyetik Yöntem

Manyetik yöntem jeofizik araştırmalarda kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Doğal potansiyel bir yöntem olan manyetik yöntemin temel ilkesi yerin manyetik alanındaki değişimlerin incelenmesidir. Manyetik yöntemler kullanılarak yer manyetik alanının düşey, yatay ve toplam bileşenleri ya da şiddetindeki değişimler ölçülür (Drahor, 1998). Yeraltında bulunan bir cismin manyetik anomali verebilmesi için cismin manyetik duyarlılığının çevresindeki kayalarından farklı olması gerekmektedir. Manyetik yöntem hava, kara ve deniz ortamlarında uygulanabilmektedir.

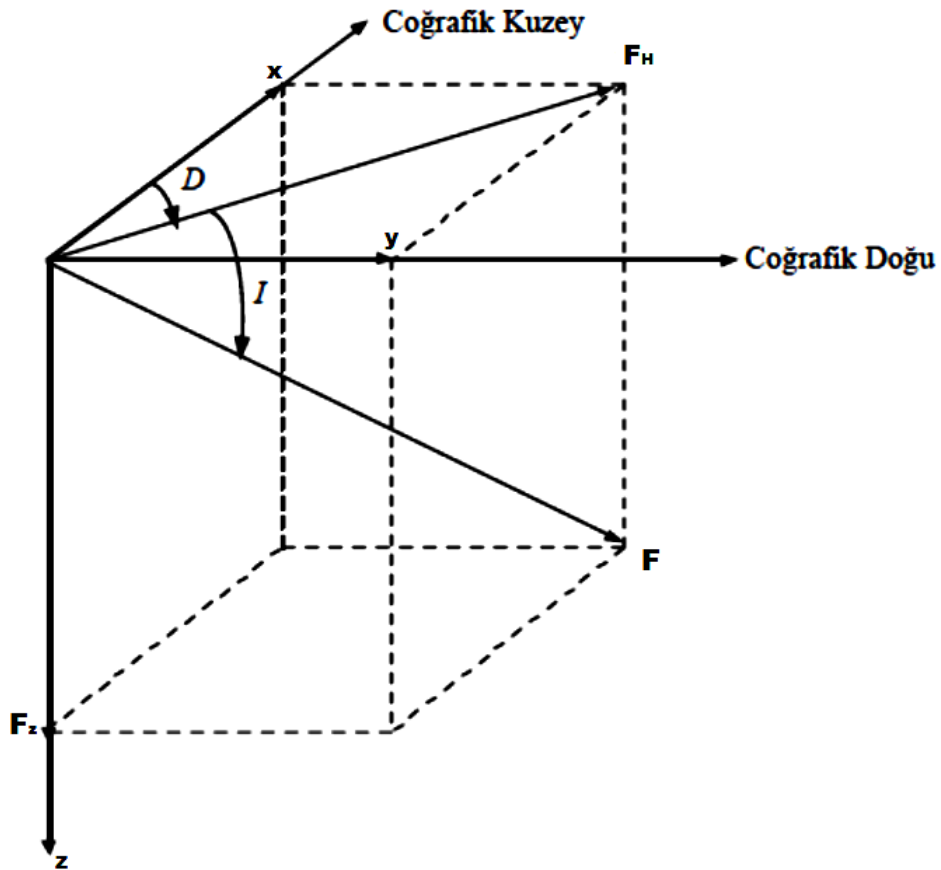
Arkeojeofizikte ilk manyetik çalışmalar, 1956'da İngiltere'de bir çanak, çömlek ocağında Belshe'nin manyetik alan şiddeti ölçümlerini ilk kez uygulaması ve bu tür ocakların üretmiş olduğu güçlü anomalileri kaydetmesiyle başlamıştır. Bu çalışmayı Oxford Üniversitesi'nden Aitken vd., (1958) ve Aitken (1974)'in yaptığı çalışmalar izlemiştir (Sayın, 1995). Bu tarihlerden sonra birçok araştırıcı bu sonuçlardan etkilenererek arkeolojik araştırmalarda manyetik yöntemi başarı ile uygulamıştır.

Arkeojeofizik çalışmalarda ısı kalıcı mıknatıslanma manyetik nesnelerin belirlenmesindeki en temel özelliktir. Arkeolojik alanlarda yaygın olarak bulunan seramik, kiremit tuğla gibi yapılar kilden yapılmıştır. Bu yapılar fırınlanarak pişirilme esnasında yanma süresine bağlı olarak manyetik özellik kazanır. Bu yanma işlemi sırasında kil içinde var olan manyetik minerallerdeki atomlar hareket ederek gelişigüzel bir yönlenme kazanır. Daha sonra soğumaya bırakılan bu nesnelerdeki manyetik atomlar o günkü yer manyetik alanı doğrultusunda bir yönelim kazanır. Böylece ısı kalıcı mıknatıslanma yoluyla mıknatıslanmış nesnelerin, etkin manyetik verilerinin elde edilmesiyle mıknatıslanamayan cisimlerin birbirinden ayırt edilmesi sağlanır (Altunkaynak, 2005). Bunun yanı sıra arkeolojik alanlarda bulunan metal içerikli nesnelerde manyetik belirtiyi oluşturabilecek bir diğer husustur. Bu ve benzeri malzemelerin insanlık tarihi boyunca kullanıldığı bilindiğine göre herhangi bir arkeolojik alanda bulunma olasılığı yüksektir. Bu da manyetik yöntemi, arkeolojik alanlarda en çok uygulanan yöntem durumuna getirmiştir. Manyetometrelerin taşınabilir olması, arazi çalışmalarını hızlandırmış ve çalışmaların az sayıda personel ile yürütülmesi de arkeolojik araştırmalarda manyetik yöntemin tercih nedeni olmuştur.

Gömülü antik yapı kalıntısının oluşturacağı manyetik belirti, yapının boyutlarına, şekline, mıknatıslanma şiddetine, derinliğine, yer manyetik alanı ve kaynak manyetizasyonunun eğim ve sapma açısına göre değişmektedir.

3.2.1 Yer Manyetik Alanı

Esas olarak yer manyetik alanı yer içinden ve yer dışından gelen etkiler ile meydana gelmiştir. Yer dışından gelen etkilerin yer manyetik alanının oluşumundaki etkileri oldukça azdır. Yer içinden gelen etkiler dipol olan alan ve dipol olmayan alandan meydana gelir. Yer manyetik alanının oluşumundaki asıl etken olan dipol alan, dünyanın merkezinde olduğu kabul edilen ve coğrafik eksenle $11,5^\circ$ lik açı yapan dipolden oluşur. Dipol olmayan alan ise yeraltında bulunan ve mıknatıslanma özelliği gösteren yapılar tarafından oluşturulur (Arısoy, 2007). Şekil 3.4 yer manyetik alanının elemanlarını temsil etmektedir.



Şekil 3.4 Yer manyetik alanının elemanları (Etiz, 2007).

$$x = F_H \cdot \cos D \quad (3.8)$$

$$y = F_H \cdot \sin D \quad (3.9)$$

$$F_H^2 = x^2 + y^2 \quad (3.10)$$

$$F^2 = F_H^2 + F_Z^2 \quad (3.11)$$

$$F_Z = F_H \cdot \tan(I) \quad (3.12)$$

$$I = \tan^{-1} \frac{F_Z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (3.13)$$

$$D = \sin^{-1} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (3.14)$$

Burada;

F toplam bileşen, H yatay, Z düşey bileşendir. D sapma açısı ve I eğim açısıdır. D sapma açısı coğrafik kuzey ile manyetik kuzey arasındaki açıdır. Kuzeyden doğuya doğru ölçüldüğünde pozitif, kuzeyden batıya doğru ölçüldüğünde ise negatiftir. I eğim açısı yatay bileşen ile toplam bileşen arasındaki açıdır. Yönü aşağıya doğru ise işareti pozitif ve ölçümün yapıldığı yer kuzey yarım küredir. Eğer I eğim açısının yönü yukarı doğru ise işareti negatif ve ölçümün yapıldığı yer güney kutbunda yer almaktadır. $I = 0^\circ$ olduğu yer manyetik ekvator olarak isimlendirilir ve bazen coğrafik ekvatorun üstünden bazen de altından geçer. $I = \pm 90^\circ$ olduğu yerler manyetik eğim kutbu olarak adlandırılır. Yer manyetik alan şiddetindeki değişim nanoTesla (nT) olarak ifade edilir. $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ Tesla}$, ayrıca $1 \text{ nT} = 10^{-5} \text{ Gauss}$ olarak da belirtilebilir (Etiz, 2007).

3.2.2 Manyetik Yöntemde Kullanılan Parametreler Ve Tanımlar

Manyetik Kutup: Bir mıknatıs çubuğun manyetik özelliğinin toplandığı uç kısımlara manyetik kutup denir. Çubuğun pozitif ucu yeryuvarının kuzey kutbunu ve negatif ucu ise güney kutbunu gösterir. Çubuk etrafındaki kuvvet çizgileri pozitif kutuptan negatif kutba doğrudur.

Kutup Şiddeti (p): Kendisinden 1 cm uzaklıkta bulunan ve aynı şiddete sahip bir kutba 1 dyn'lik bir kuvvet uygulayan kutba birim kutup adı verilmektedir. Buna göre kutup şiddeti, bir kutbun kendisinden 1 cm uzakta bulunan bir birim kutba uyguladığı kuvvete eşittir.

Manyetik Moment (M): Kutup şiddeti (p) ile iki kutup arasındaki uzaklığın (L) çarpımına eşittir (Eşitlik 4.8). Cgs-emb sisteminde manyetik momentin birimi “kutup şiddeti x cm” veya “kutup-cm” dir.

$$M = p \times L \quad (3.15)$$

Manyetik Kuvvet (F): Manyetik kuvvet şekil olarak Newton kanununa çok benzeyen Coloumb Kanunu yardımı ile tanımlanabilir (Eşitlik 3.16)

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{P_1 * P_2}{r^2} \quad (3.16)$$

Burada,

P_1 ve P_2 : Manyetik kutupların şiddeti

r : Kutuplar arasındaki mesafe (cm)

F : P_2 kutbu üstüne etki eden manyetik kuvvet

μ : Manyetik kutuplar içinde bulunduğu ortamın manyetik geçirgenliği (Havanın manyetik geçirgenliği $\mu = 1.0$) (Sanver ve İşseven, 2007).

p_1 ve p_2 kutup şiddetleri aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak birbirlerine kuvvet uygularlar.

Manyetik Alan (H): Kutup şiddeti p olan bir kutbun kendisinden r uzaklığındaki bir P noktasında meydana getireceği alan (Eşitlik 3.17) ile verilmektedir. Birimi Oersted' dir.

$$H = \frac{F}{M} = \frac{1}{\mu} \frac{P}{r^2} \quad (3.17)$$

Burada F manyetik kuvveti, M manyetik momenti temsil etmektedir.

Manyetik Akı (Φ): Manyetik bir cisim bir alan içinde bulunduğu zaman mıknatıslanır ve cisim içinde manyetik bir akı oluşur (Eşitlik 3.18). Akı diğer bir şekilde indüksiyon çizgilerinin sayısı olarak da tanımlanır.

$$\Phi = BA \quad (3.18)$$

Burada B manyetik indüksiyonu, A ara yüzeyi temsil etmektedir.

Mıknatıslanma Şiddeti (J): Birim hacimdeki manyetik momenttir. Diğer bir deyişle bir ara yüzeydeki akı yoğunluğunun büyüklüğüdür (Eşitlik 3.19).

$$J = \frac{M}{A} \quad (3.19)$$

Burada M manyetik momenti, A ara yüzeyi temsil etmektedir.

Manyetik İndüksiyon (B): Birim alanındaki akı yoğunluğudur. Birimi c.g.s sisteminde Gauss' tur. Manyetik yöntemde Gauss' un yüzde biri olan Gamma (γ) kullanılır. Uluslararası birim sistemine göre ise manyetik indüksiyonun birimi Tesla'dır.

Manyetik Geçirgenlik (μ): Şiddeti H olan düzgün bir manyetik alan içerisinde bulunan, birim kesitten geçen kuvvet çizgilerinin sayısının havada aynı kesitten geçen kuvvet çizgileri sayısına oranı olarak tanımlanır ve birimsizdir (Eşitlik 3.20).

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (3.20)$$

Burada B manyetik indüksiyonu, H ise manyetik alan şiddetini ifade etmektedir.

Manyetik Duyarlılık (Susebtibilite) (k): Cisimlerin mıknatıslanmaya karşı gösterdiği duyarlılıktır. Formül olarak, bir cisimde oluşan mıknatıslanma şiddetinin cismi etkileyen manyetik alan şiddetine oranıdır (Eşitlik 3.21).

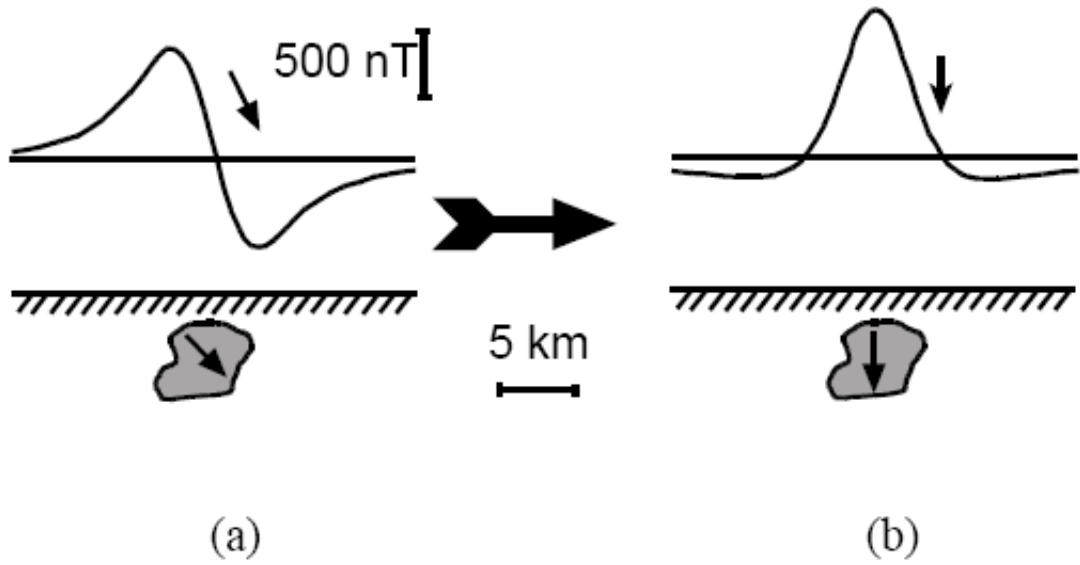
$$k = \frac{J}{H} \quad (3.21)$$

Burada J mıknatıslanma şiddetini, H ise manyetik alan şiddetini ifade etmektedir.

3.2.3 Kutba İndirgeme Dönüşümü (RTP)

Manyetik anomali haritalarında maksimumların, anomaliye sebep olan yer altı yapılarının düşeyinde bulunmaması nedeniyle, anomali haritasının daha doğru yorumlanması açısından Baranov, (1957) tarafından geliştirilen kutba indirgeme yöntemi manyetik anomalideki mıknatıslanma yönlerinden kaynaklanan karışıklığı giderir ve anomalileri yatay yönde kendi kaynaklarının üzerine doğru kaydırır.

Manyetik anomalilere RTP uygulanarak yer manyetik alanının eğim açısından kaynaklanan bozucu etkiler kaldırılır. Şekil 3.5'te bir manyetik belirtinin kutba indirgeme işleminden önceki ve sonraki hali temsil edilmiştir.



Şekil 3.5 Bir manyetik belirtinin kutba indirgeme işleminden önceki ve sonraki hali (Blakely, 1995).

Fourier ortamında bir anomalinin kutba indirgeme dönüşümü Blakely, (1995) tarafından verilmiştir (Eşitlik 3.22).

$$F(\Delta T_r) = F[\Psi_r]F(\Delta T) \quad (3.22)$$

Burada $F(\Delta T_r)$ kutba indirgenmiş anomalinin Fourier dönüşümü, $F(\Delta T)$ manyetik alanın Fourier dönüşümüdür. $F[\Psi_r]$ kutba indirgeme dönüşümü uygulanmış anomalinin ters Fourier dönüşümüdür. Yer manyetik alanının eğim ve sapma açıları yapıların manyetik anomalilerinin karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durumun düzeltilmesi onların sanki kutup pozisyonundaymış gibi değerlendirilmelerine bağlıdır. Bu nedenle manyetik anomalilerin kutba indirgenmesi gerekmektedir (Ateş ve Kearey, 1993).

3.2.4 Analitik Sinyal Dönüşümü (AS)

Analitik sinyal manyetik anomalinin yatay ve düşey türev toplamlarından oluşur. Analitik sinyal yapının lokasyonlarına bağlı olduğu için yapı sınırlarının belirlenmesinde çok sık kullanılan bir yöntemdir. Yöntem ilk olarak Nabighian (1972, 1974) tarafından geliştirilmiştir. Roest vd., (1992) AS yöntemini 3 boyutlu yapılara uygulamıştır (Bilim, 2005).

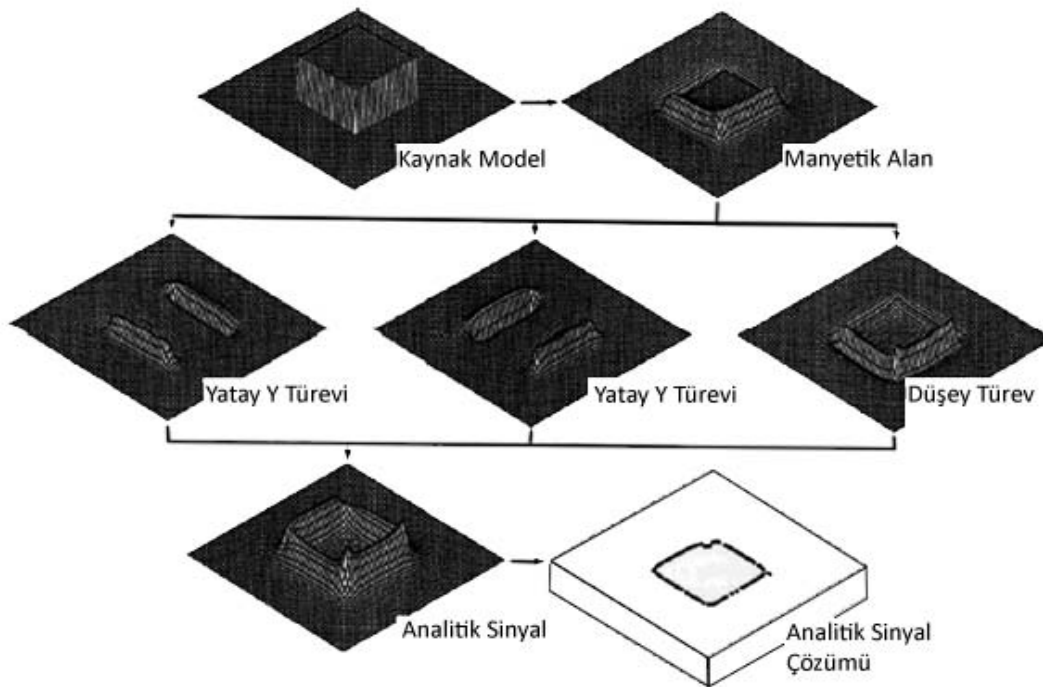
Üç boyutlu durumda analitik sinyal genliği bağıntısı aşağıdaki şekilde ifade edilir (Roest vd., 1992).

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (3.23)$$

Burada,

T=Toplam manyetik alan şiddeti (Birimi MKS birim sistemine göre Tesla'dır.).

Analitik sinyal dönüşümü arkeojeofizikte yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Analitik sinyal dönüşümü mıknatıslanma kontrastı üzerinde maksimumları belirler, böylece maksimum yerleri manyetik kaynakların ana hatlarının haritalanmasında yardımcı olur. Analitik sinyalin genliğinin maksimum değeri yapının kenarları üzerinde bulunur. Şekil 3.6'da analitik sinyal yönteminin şematik bir gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.6 Analitik sinyal yönteminin şematik gösterimi (Roest vd., 1992).

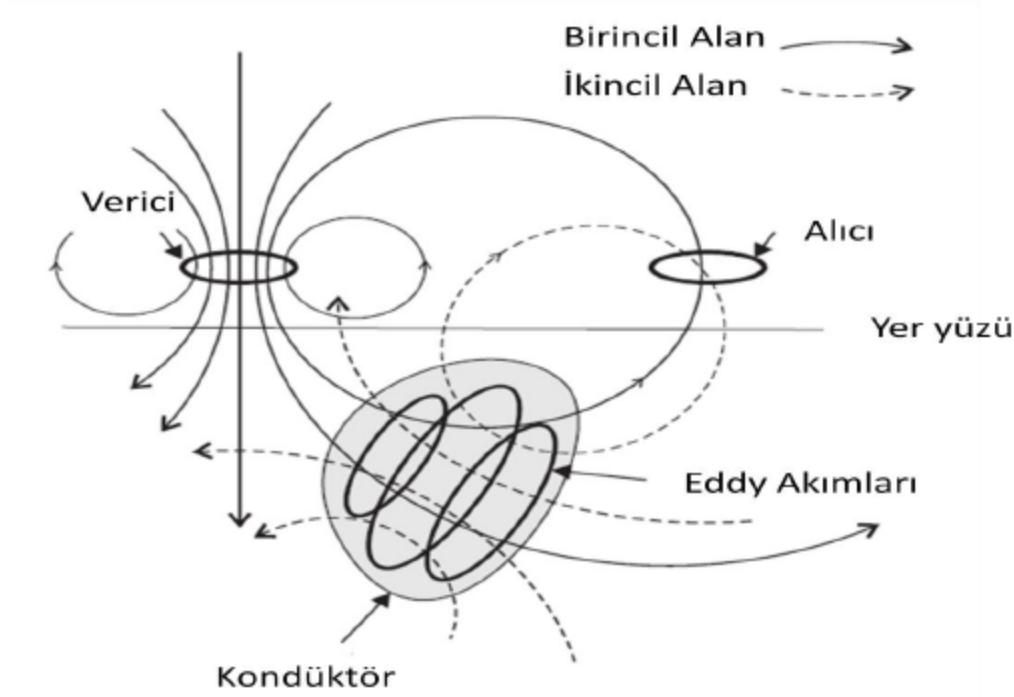
3.3 EM (Elektromanyetik) İletkenlik Yöntemi

EM iletkenlik topraktaki elektrik akımının iletimini ölçer. Birimi Siemens (S) olup Ohm'un tersidir (Bevan, 1983). Elektromanyetik metot esas alınarak elektromanyetik dalganın manyetik bileşeni tarafından elektrik akımının indüksiyonu toprak içersinde oluşturulur. Alternatif akım değişken frekanslı verici bir bobin aracıyla aktarılır. Bu işlem birincil manyetik alanı meydana getirir. Böylece yere çok küçük Eddy akımları indüklenir. Bu akımın büyüklüğü bobinin çevresindeki yerin iletkenliği ile doğrudan orantılıdır. Bu Eddy akımları daha sonra ikincil bir manyetik alan meydana getirir. Birincil ve ikincil manyetik akış ile alıcı bobinler arasındaki etkileşim mS/m olarak ifade edilen yer altının elektrik iletkenliği ile ilişkili bir voltaj meydana getirir (Şekil 3.7) (Sarı, 2012).

Elektromanyetik dalga boyundaki farklılık, yerin iletkenliği ile orantılıdır. Yerin iletkenliğini etkileyen birkaç etken vardır. Bunlardan en önemlisi, topraktaki nemlilik miktarıdır. Daha yüksek nem içeriği durumunda doğal olarak iletkenlik daha yüksek oranda etkilenecektir. Diğer önemli bir etken de yerin gözenekliliğidir. Bu etki doğrudan iletkenliği ve dolaylı olarak da nem içeriğini etkiler. Farklı topraklar farklı EM iletkenlik ve öz direnç değerlerine sahiptir. Bazı topraklar için EM iletkenlik ve öz direnç değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Diğer etkenler ise çözelti içerisinde çözünmüş şekilde bulunan elektrolitlerin yoğunluğu ki özellikle killi ortamlar için oldukça önemlidir, sıcaklık ve topraktaki nemin bulunduğu faz durumudur. Ölçü aleti, aynı anda iki veriyi ölçebilmektedir. İletkenlik, mSiemens /metre biriminde ölçülür ve inphase ölçüsü ise tıpkı manyetik duyarlılık gibi birimsiz bir ölçü türüdür.

Çizelge 3.4 Bazı topraklar için EM iletkenlik ve öz direnç değerleri (Bevan, 1998).

Toprak	Özdirenç(ohm.m)	İletkenlik(mS/m)
Kum-Çakıl	1000-10000	0.1-1
Siltli Kum	200-1000	1-5
Verimli Toprak	80-200	5-25
Silt	40-80	12.5-25
Kil	10-40	25-100
Tuzlu Toprak	5-10	100-200



Şekil 3.7 Yer altının elektrik iletkenliği ile ilişkili elektromanyetik alan oluşumu (Sarı, 2012).

3.3.1 EM İletkenlik Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

EM iletkenlik yönteminin avantajları;

- Kısa zamanda ölçüm alınarak hemen yorumlanma imkanı sağlar.
- Diğer jeofizik tekniklere nazaran her zeminde rahatlıkla uygulanabilir.
- Kuru ve ıslak zeminlerde de uygulanabilir.
- İletkenliğin yanı sıra manyetik duyarlılığı da ölçebiliriz.

EM iletkenlik yönteminin dezavantajları;

- Metallere çok duyarlıdır bu yüzden ölçüm yapılan alanda metal olmamasına dikkat edilir.
- Hedefler arasında derinlik ayrımı yapmada güçlüklerle karşılaşılır.
- Belli başlı elektromanyetik frekanslardan parazit oluşturabilir (Sarı, 2012).

3.3.2 EM İletkenlik Yönteminin Kullanım Alanları

EM iletkenlik yöntemi; jeoloji, mühendislik araştırmaları, tarım ve ormancılık yeraltı suyu kirlenmesinin izlenmesi, arkeoloji metal nesnelerin algılanması, tabaka kalınlıklarının belirlenmesi, gömülü yapıların aranması ve haritalamada su dolu kırıkların ve çatlakların izlenmesinde kullanılır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Çalışma Alanının Konumu

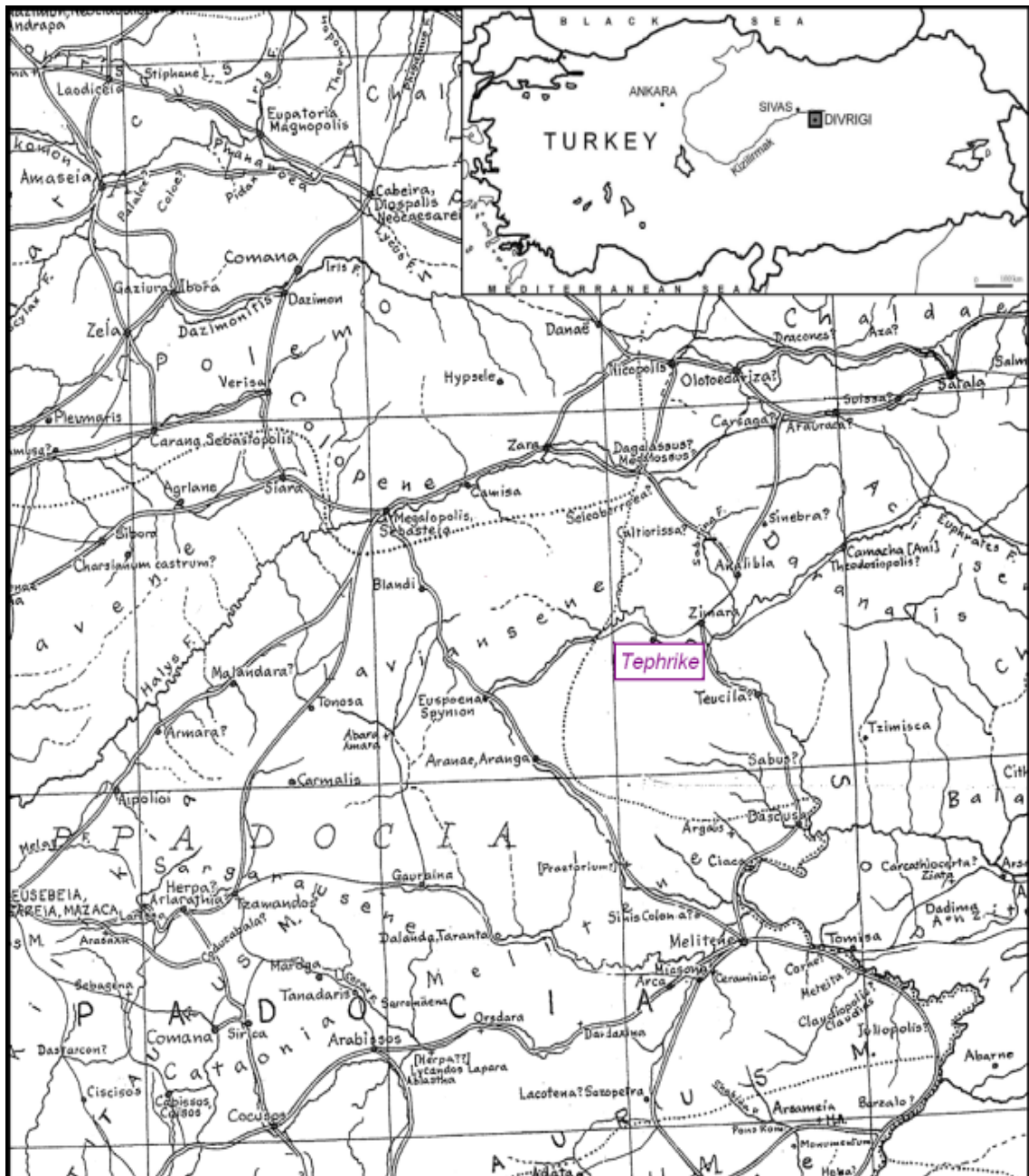
Divriği Kalesi, Türkiye'nin doğusunda Sivas'ın Divriği ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. 400 m uzunluğunda ve 200 m genişliğindedir. Ayrıca iç ve dış duvarlara sahiptir (Şekil 4.1a). Dış duvarlar 1000 m uzunluğunda, 5-8 m yüksekliğinde ve iki girişi vardır. Kale içerisinde tepe üzerinde restore edilmiş bir cami ve iki kilisenin kalıntıları görülebilir. Kalenin batı ve kuzey bölümü çok diktir ve kale kuzey ve doğudan Çaltı çayı tarafından çevrelenmiştir (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1 (a) Divriği ve Divriği Kalesi genel görünümü. (b) Kesdoğan Kalesinden Divriği Kalesinin genel görünümü (Büyüksaraç vd., 2011).

4.2 Çalışma Alanının Arkeolojik Geçmişi

Divriği şehri coğrafik olarak Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde. Divriği ve çevresi M.Ö. 2000 yılından beri farklı uygarlıklar (Hititler, Persler, Makedonyalılar, Romalılar, Sasaniler, Pavlikanlar, Bizanslılar, Selçuklular ve Osmanlılar) tarafından idare edilmiştir. Şehrin farklı dönemlerdeki kültürel miras şehrin o dönemlerdeki isimlerine de yansımıştır: 'El Abrid' (Arap), 'Tephrica' (Bizans), 'Difrigi' (Selçuklu), 'Divrik' veya 'Divrigi' (Osmanlı) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Tephrike (Divriği) ve çevresi. Antik detaylı konum haritası. Küçük Asya'nın klasik bir haritası (Büyüksaraç vd., 2011).(Ölçek-1: 2.000.000)

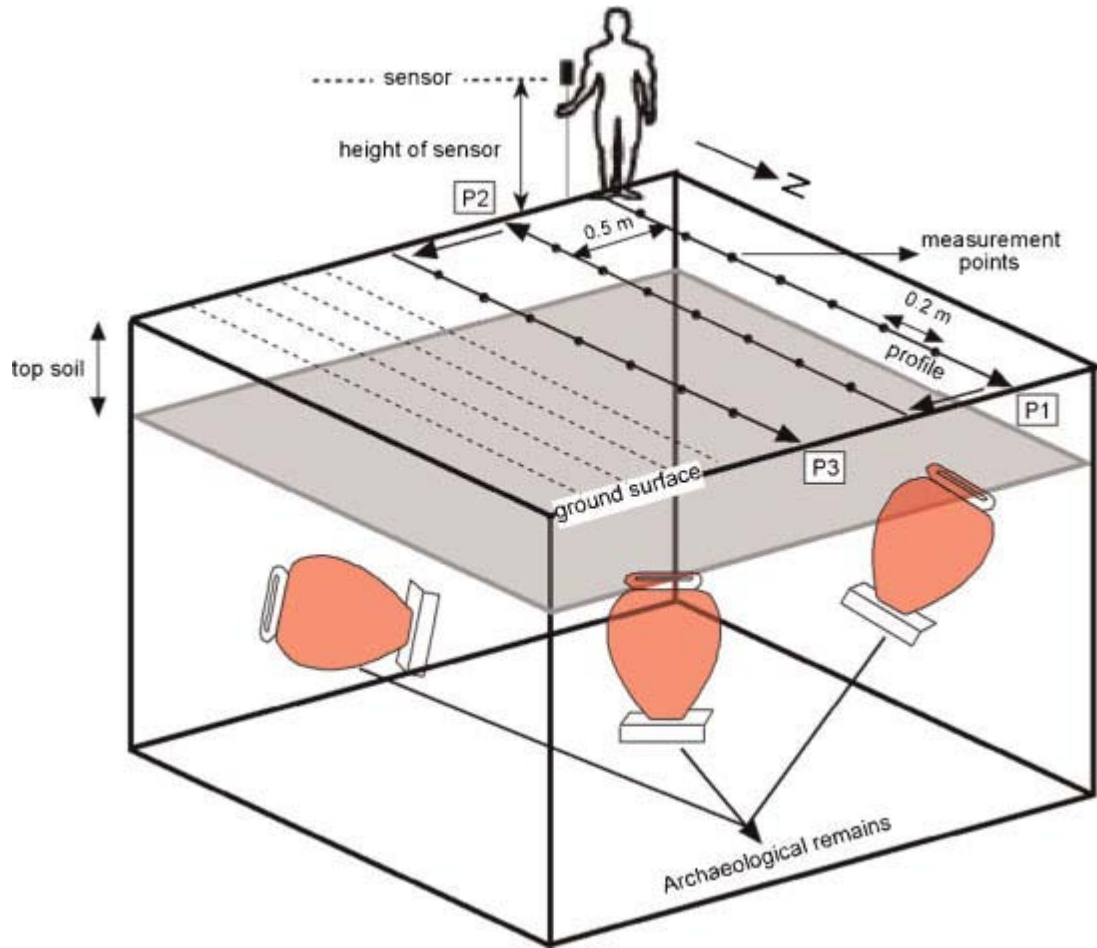
Şehir Makedon, Roma, Sasani, Bizans ve Arap toprakları arasında bir sınır bölgesi olarak işlev görmüştür. 9. yüzyılda bölgeye Pavlikanlar hakimdir. Tephrike önderleri Sergius ve oğlu Karbeas döneminde inşa edilmiştir (Garsoian, 1971). Pavlikanlar, Bizans merkezi otoritesi tarafından sapkın olarak görülmüştür ve kiliseler, ritüeller, din adamları ve vaazlar Pavlikanlara karşı olmuşlardır. Bu da Araplarla Pavlikan ittifakını kolaylaştırmıştır. Onlar Bizans'a karşı Araplarla birlikte savaşmıştır. Pavlikanların lideri Sergius, Divriği kayalıkları üzerine kurulmuş olan Tephrike (Divriği) Kalesi'nde surları ve su yollarını onarmıştır. Pavlikanların bir kısmı Malatya önderinin desteğini alabilmek için İslamiyete geçmiştir. Karbeas döneminde Tephrike(Divriği) Bizans topraklarının en doğusunda ve Arap topraklarının en batısı arasında bir tampon bölge olmaya devam etmiştir. Pavlikanların gücü 872'de kırılmıştır. 868 yılında Basileos imparator olduktan sonra bir kartal yuvasını andıran Tephrike (Divriği) Kalesini, fethetmeyi başarmış ve destekleyici Arap kuvvetlerini silmiştir (Arpee, 1906; Garsoian, 1971).

1071 Malazgirt savaşından önce Türkler'in Divriği bölgesinde yaşadığına dair tarihsel bir veri yoktur. Ancak savaştan sonra Mengücek Gazi ve oğulları bölgeyi fethederek oraya yerleşmeye karar vermişlerdir (Sakaoğlu, 1971; Turan, 1981). 1142'de Mengücekliler Erzincan ve Divriği adında iki kola ayrılmışlardır. Divriği kolunun lideri Süleyman Şah ile Divriği başkent olmuştur. Divriği milattan sonra 1277'de Memlükler tarafından ele geçirilmiştir. Memlükler'den sonra Moğol Abaka Han Divriği'ye gelmiş ve duvarları yıkın emrini vermiştir (Sakaoğlu, 1971; Turan, 1981; Sümer, 1997). Divriği, 1516 yılının 24 Ağustosundaki Mercidabık zaferinden sonra, Yavuz Sultan Selim döneminde Osmanlı İmparatorluğu sınırlarına girmiştir (Büyüksaraç vd., 2011).

4.3 Jeofizik Çalışmalar

4.3.1 Manyetik Çalışmalar

Çalışma alanında yapılan manyetik ölçüler, mevcut kazı alanı içerisinde 5 farklı alanda gerçekleştirilmiştir. Ölçüler sırasında Scintrex Smartmag manyetometre kullanılmıştır. Bu manyetometreler, 0.01 nT duyarlıkla ölçü yapabilmektedir. Çalışma alanında yapılan manyetik ölçülerde manyetik alanın toplam bileşeni ölçülmüştür. Manyetik ölçülerin alınması sırasında tek manyetometre kullanılmıştır. Manyetik ölçüler, profiller boyunca Kuzey-Güney yönünde alınmıştır. Profiller arası 1 m olarak seçilmiştir. Ölçümler her 1 metrede bir ölçü şeklinde alınmıştır. Ölçü düzeneğinin önemli bir parçası olan sensör, yerden 0.5 m yukarıda tutularak ölçüler alınmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Çalışma alanında yapılan manyetik ölçülerin alınma düzeneği (Büyüksaraç vd., 2008).

Kaydedilen manyetik ölçüler, öncelikle düzenlenerek alanlar boyunca birleştirilmiş ve Kriging yöntemi kullanılarak Surfer bilgisayar yazılımıyla gridlenmiştir. Verilerin sunumu sırasında GEOSOF T Oasis Montaj adlı yazılım kullanılmıştır. 2013 yılı çalışmaları sırasında 5 farklı alanda manyetik ölçümler yapılmıştır. Kutupsal kayma olarak tanımlanan hatalar, manyetik anomalilerde oluşabilir. Bu nedenle manyetik ölçülere kutba indirgeme (RTP) işlemi uygulanmıştır. Kutba indirgenmiş manyetik anomalilere, belirtilerin genliklerinin daha belirgin hale getirilmesi amacıyla Analitik Sinyal dönüşümü uygulanmıştır.

4.3.2 Elektromanyetik İletkenlik Çalışmaları

Elektromanyetik iletkenlik yöntemi kullanılarak, yeraltında gömülü yapılar hakkında nitelik ve yapısal bilgiler elde edilebilir. Çalışma alanında iki alanda (Alan 2 ve 5) elektromanyetik iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Ölçüler bir GF-031 marka aletle yapılmıştır. Ölçü aleti, bir adet verici ve bir adet alıcı bobinden oluşmaktadır. Alıcı ve verici bobinler arasında 4.05 m mesafe vardır. Vericiden Eddy akımları içeren sinyal yere gönderilir. Bu akımlar, ikinci bir elektromanyetik alana dönüşür ve ölçü aletinin alıcı bobinince kaydedilir. Çalışma kapsamında yapılan ölçüler, sürekli modda alınmıştır. Profiller doğrultusunda yapılan ölçüler daha sonra surfer programında birleştirilerek, alan haritaları oluşturulmuştur.

4.3.3 Yer Radarı Çalışmaları

Yer radarı çalışması, manyetik ölçümlerin yapıldığı toplam 5 alanın 4'ünde (Alan 1, 3, 4, 5) uygulanmıştır. Yer radarı ölçümleri Ramac marka cihaz ile yapılmış olup ölçü alınırken 250 Mhz'lik korumalı anten kullanılmıştır. Radar profillerinin uzunlukları arazinin ölçü alımına uygunluğuna göre değişim göstermiştir. Alınan ölçüler reflexw yazılımında değerlendirilmiş ve bölüm 3.5'te verilen veri işlem adımları sırasıyla uygulanarak yoruma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.4 Ramac GPR cihazı ve çalışma alanından bir görüntü

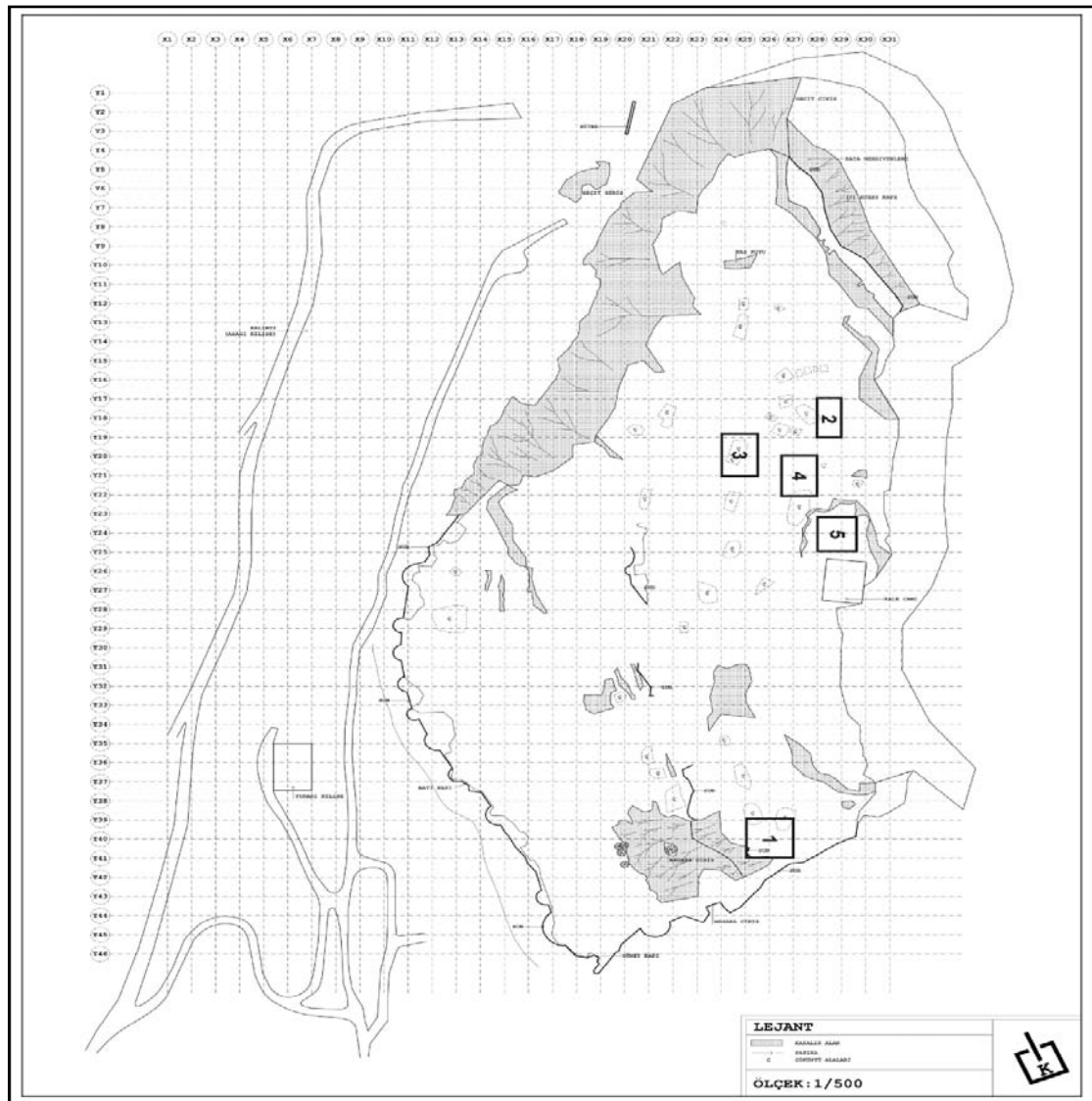


Şekil 4.5 GF Instrument EM iletkenlik cihazı ve çalışma alanından bir görüntü

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Divriği Kalesi arkeolojik alanında yeraltında gömülü arkeolojik yapıların tespit edilmesi amacıyla jeofizik yöntemlerden manyetik, yer radarı (GPR) ve elektromanyetik iletkenlik yöntemleri kullanılmıştır. Jeofizik yöntemlerin uygulanacağı alanların belirlenmesinde temel olarak daha önce yapılan yüzey araştırması gözlemleri ve arkeolojik kaynaklarda değinilen, özellikle yaşamsal etkinliklere ait bilgilerin günümüzde ortaya çıkarılması etken olmuştur.

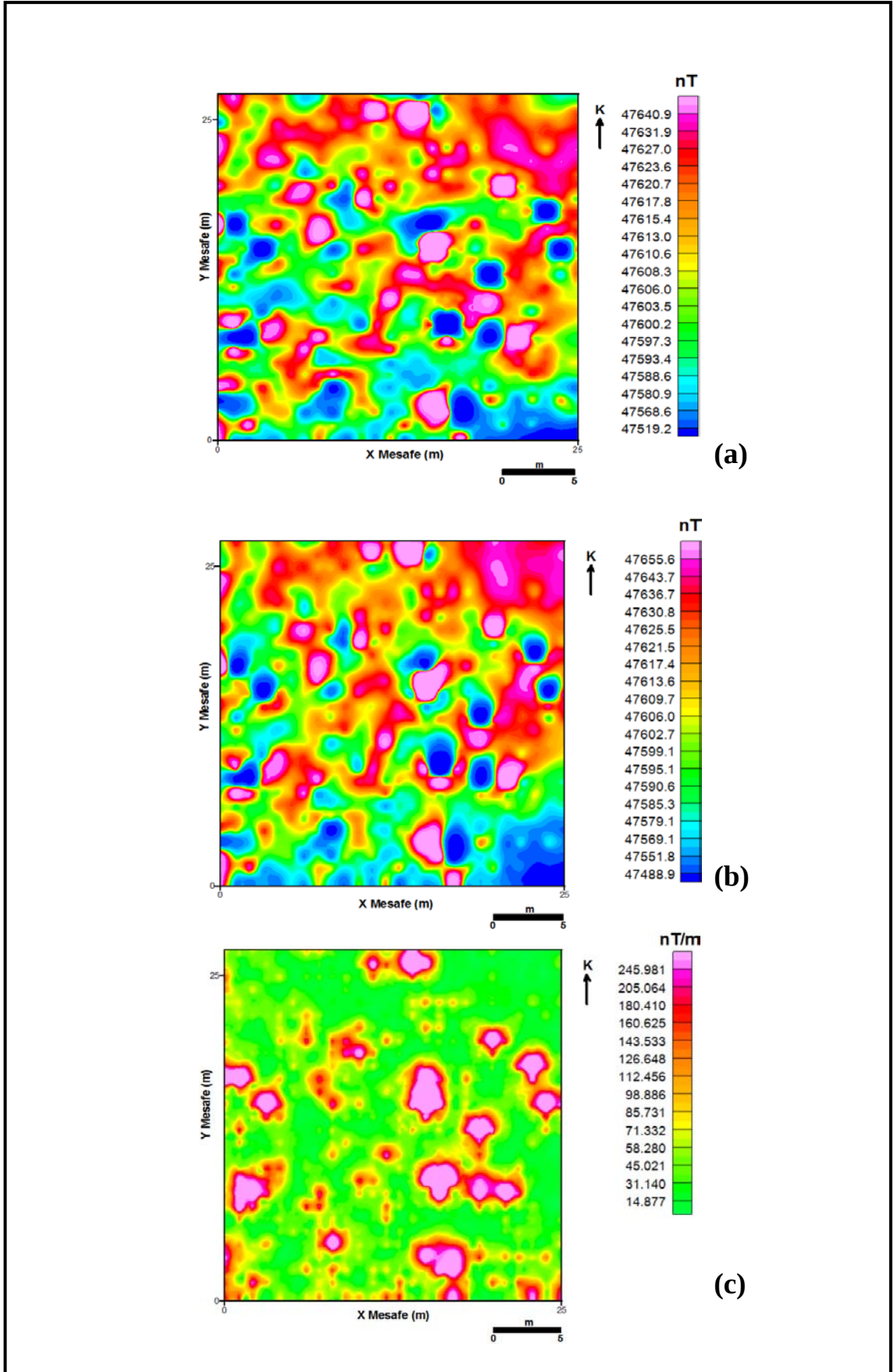
Tez kapsamında kazı alanı ve yakın çevresinde 5 farklı alanda jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu alanlardan Alan 1, 25×27m, Alan 2, 38×30m, Alan 3, 23×31m, Alan 4, 22×31m ve Alan 5 ise 20×29m boyutlarındadır. Şekil 5.1’de bu alanların çalışma alanındaki konumları verilmiştir.



Şekil 5.1 Divriği Kalesi kazı alanı ve jeofizik ölçü alanları

5.1 Alan 1

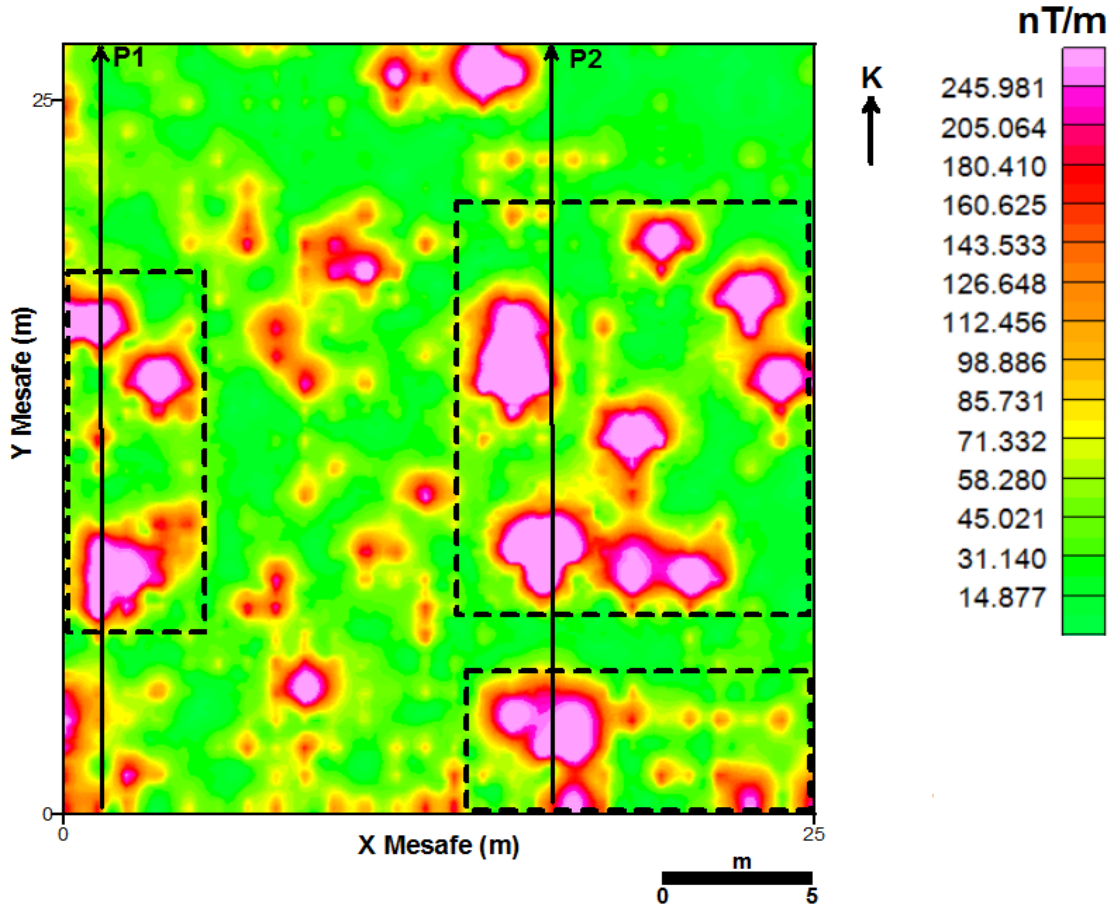
Şekil 5.1’de verilen 1 nolu alanda ilk olarak 25×27 m.’ lik bir karelaj oluşturulmuş ve 1 metre aralıkla 675 adet manyetik ölçü alınmıştır. Manyetik veriler gridlenerek manyetik anomali haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.2a). Manyetik veriler kutupsal kaymalardan meydana gelen hataları gidermek için kutba indirgenmiş ve kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 5.2b). Daha sonra kutba indirgenmiş veriye analitik sinyal metodu uygulanarak analitik sinyal haritası elde edilmiştir (Şekil 5.2c). Analitik sinyal haritasında olası gömülü arkeolojik yapıların sınırları tespit edilmeye çalışılmıştır. Analitik sinyal haritasında bazı alanlardaki yüksek genlikli belirtilerin arkeolojik yapı kalıntılarıyla ilişkili olduğu düşünülerek bu alanlar kesikli çizgilerle dörtgen içerisine alınmış ve bu alanların gelecek dönem kazı çalışmalarında kazı alanı olarak önerilmesi planlanmıştır (Şekil 5.3).



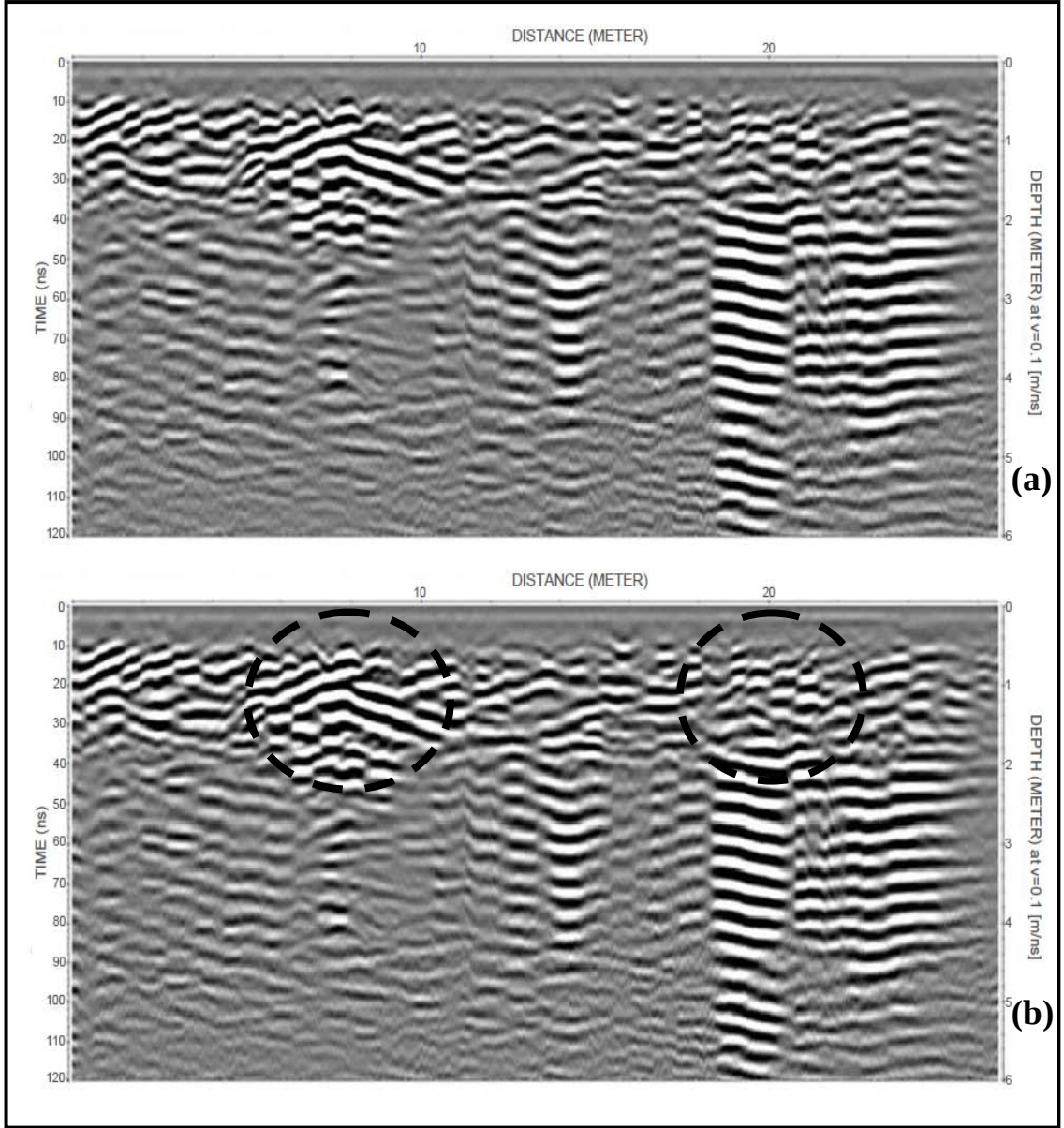
Şekil 5.2 a) Alan 1'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 1'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 1'e ait analitik sinyal haritası

Alan 1’de ayrıca manyetik yönteme ek olarak Şekil 5.3’te verilen analitik sinyal haritasında gösterilen iki profil (P1,P2) boyunca K-G doğrultusunda yer radar ölçüleri alınmıştır. Radar profilleri analitik sinyal haritasında bir yapıyı temsil etmesi olası anomaliler istikametinde alınmıştır. Şekil 5.4a 1 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. Şekil 5.4b 1 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasındaki X:2 ve Y:(7-10) metreleri arasındaki yüksek genlikli belirti 1 nolu radar profilinde de belirgin şekilde gözlenmiştir. Olası yapının başlangıç derinliği yaklaşık 0.5 m taban derinliği ise 2 m civarındadır (Şekil 5.4b). Yine aynı radar profilinde yaklaşık 19. metre civarındaki belirgin yansılarda analitik sinyal haritasında aynı noktadaki anomaliye karşılık gelmektedir (Şekil 5.4b).

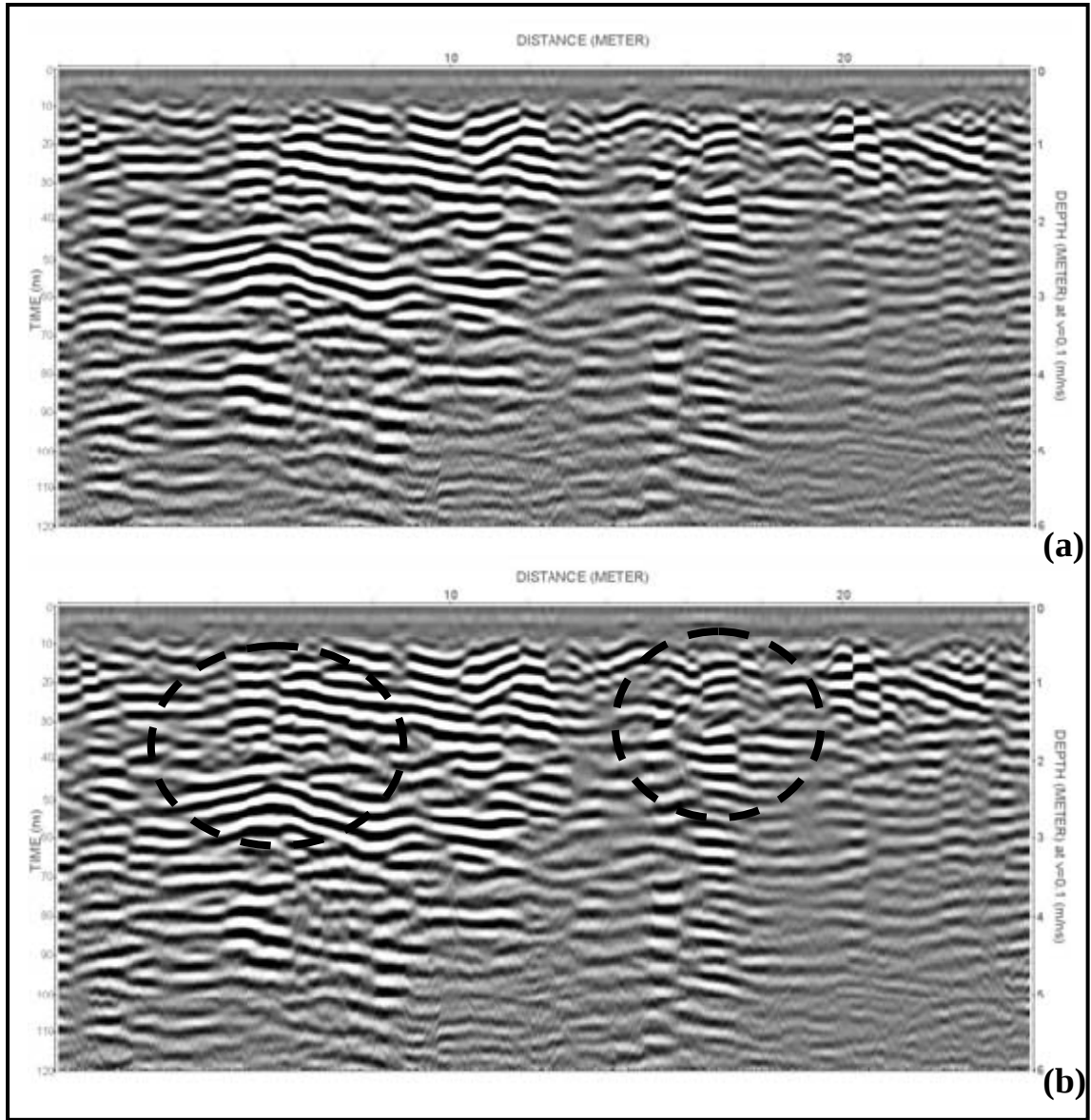
Şekil 5.5a 2 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. Şekil 5.5b 2 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X:(14-18) ve Y:(2-4) ve (7-11) metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 2 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansılarda eşleşmiştir. Olası arkeolojik yapıların maksimum derinliği 2.5 m olarak belirlenmiştir (Şekil 5.5b).



Şekil 5.3 Alan 1’e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.



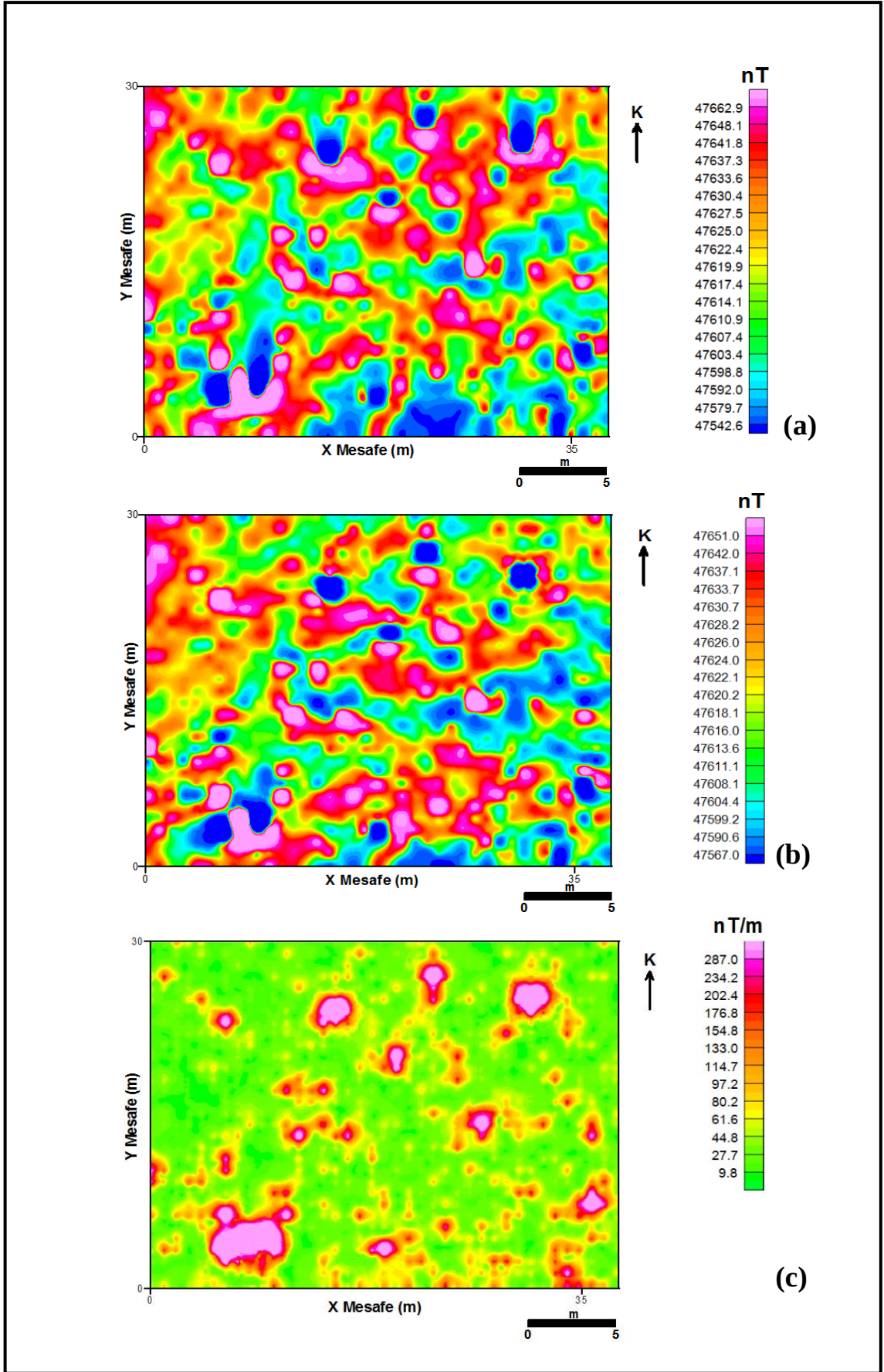
Şekil 5.4 Alan 1 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



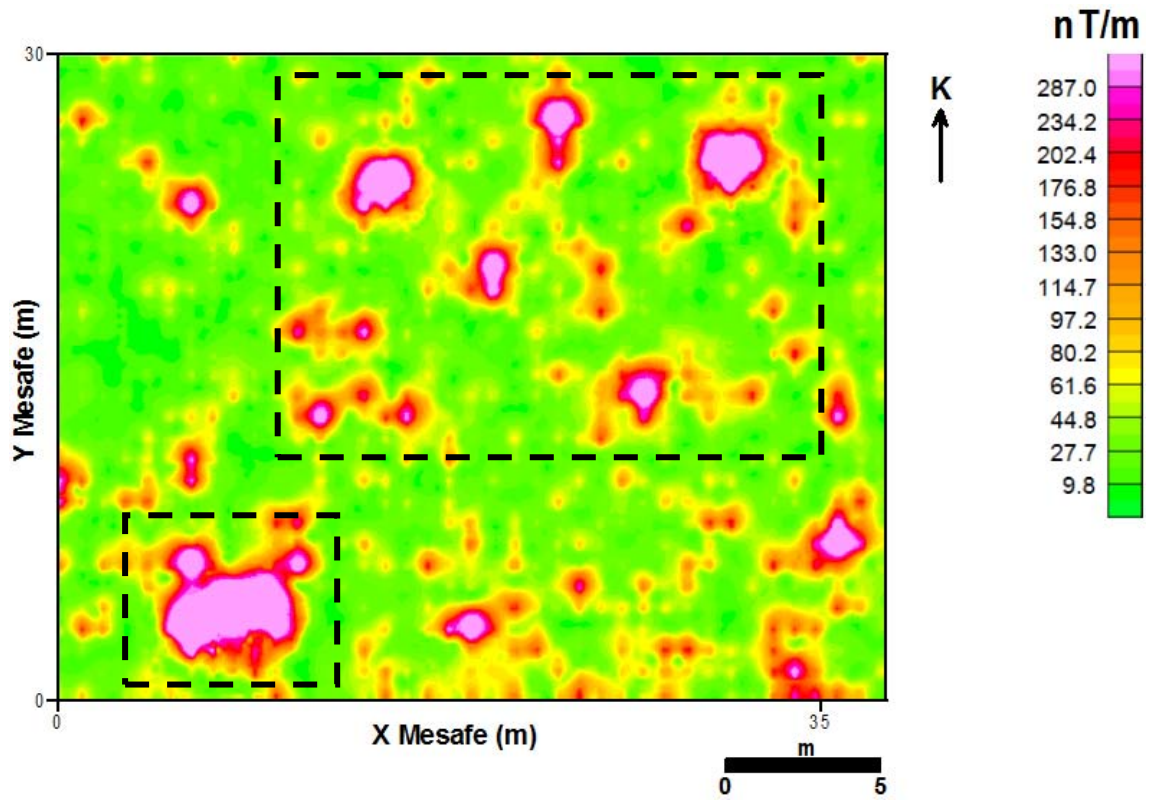
Şekil 5.5 Alan 1 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.

5.2 Alan 2

Şekil 5.1’de verilen 2 nolu alanda ilk olarak 38×30 m’lik bir karelaj oluşturulmuş ve 1 metre aralıkla 1140 adet manyetik ölçü alınmıştır. Manyetik veriler gridlenerek manyetik anomali haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.6a). Manyetik veriler kutupsal kaymalardan meydana gelen hataları gidermek için kutba indirgenmiş ve kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 5.6b). Daha sonra kutba indirgenmiş veriye analitik sinyal metodu uygulanarak analitik sinyal haritası elde edilmiştir (Şekil 5.6c). Analitik sinyal haritasında olası gömülü arkeolojik yapıların sınırları tespit edilmeye çalışılmıştır. Analitik sinyal haritasında bazı alanlardaki yüksek genlikli belirtilerin arkeolojik yapı kalıntılarıyla ilişkili olduğu düşünülerek bu alanlar kesikli çizgilerle dörtgen içerisine alınmış ve bu alanların gelecek dönem kazı çalışmalarında kazı alanı olarak önerilmesi planlanmıştır (Şekil 5.7).



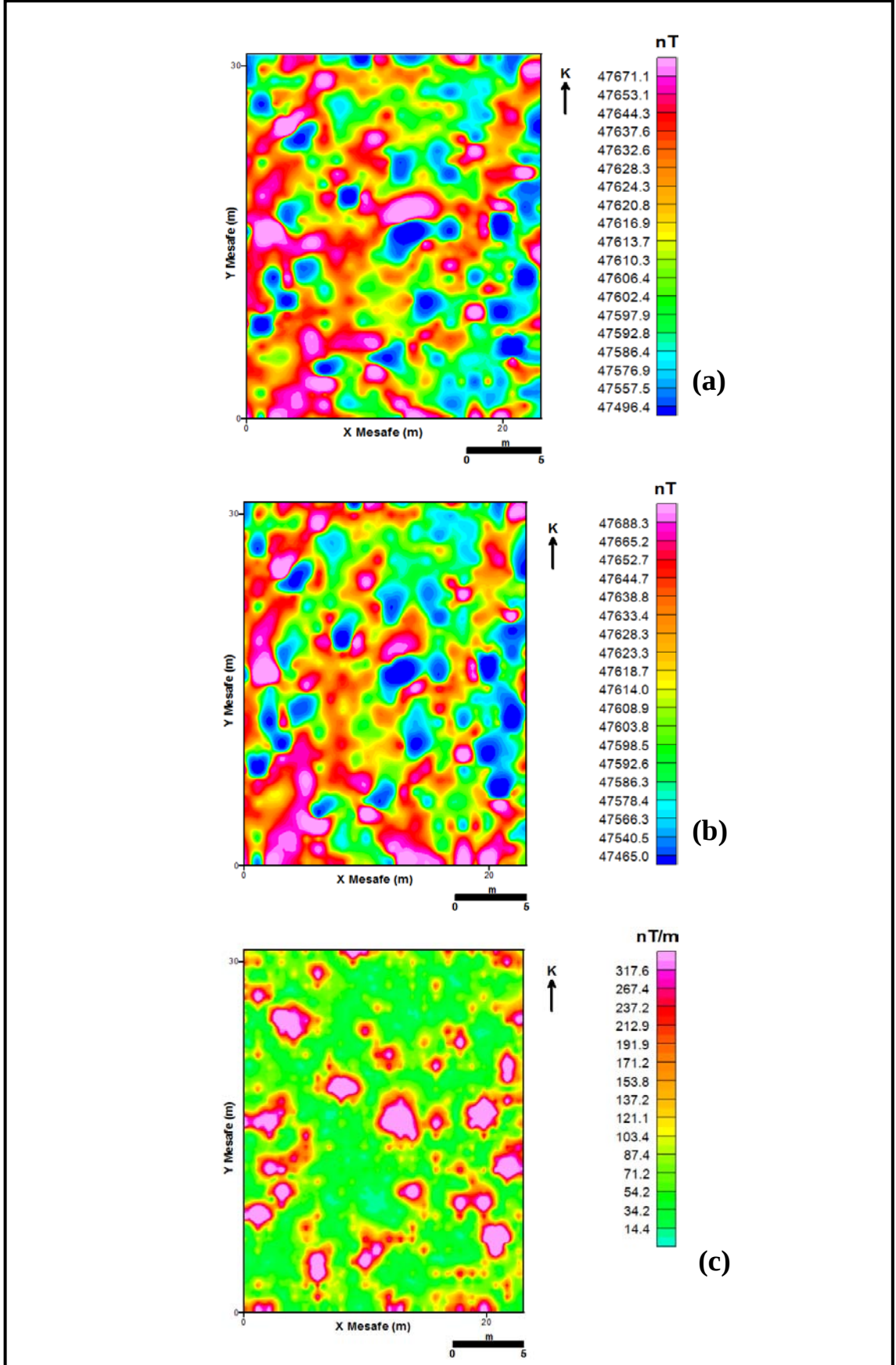
Şekil 5.6 a) Alan 2'ye ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 2'ye ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 2'ye ait analitik sinyal haritası



Şekil 5.7 Alan 2'ye ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir.

5.3 Alan 3

Şekil 5.1’de verilen 3 nolu alanda ilk olarak 23×31 m’lik bir karelaj oluşturulmuş ve 1 metre aralıkla 713 adet manyetik ölçü alınmıştır. Manyetik veriler gridlenerek manyetik anomali haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.8a). Manyetik veriler kutupsal kaymalardan meydana gelen hataları gidermek için kutba indirgenmiş ve kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 5.8b). Daha sonra kutba indirgenmiş veriye analitik sinyal metodu uygulanarak analitik sinyal haritası elde edilmiştir (Şekil 5.8c). Analitik sinyal haritasında olası gömülü arkeolojik yapıların sınırları tespit edilmeye çalışılmıştır. Analitik sinyal haritasında bazı alanlardaki yüksek genlikli belirtilerin arkeolojik yapı kalıntılarıyla ilişkili olduğu düşünülerek bu alanlar kesikli çizgilerle dörtgen içerisine alınmış ve bu alanların gelecek dönem kazı çalışmalarında kazı alanı olarak önerilmesi planlanmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.8 a) Alan 3'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 3'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 3'e ait analitik sinyal haritası

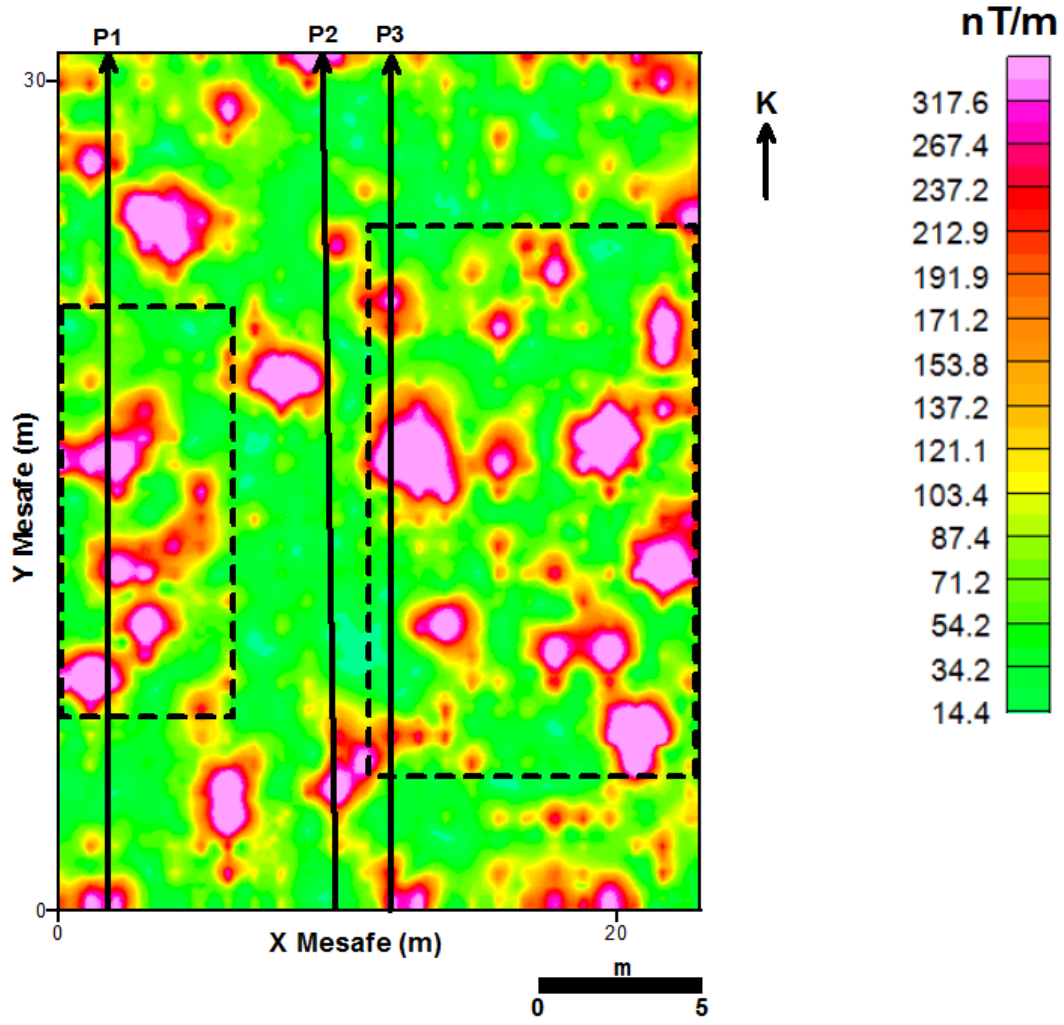
Alan 3'te ayrıca manyetik yönteme ek olarak Şekil 5.9' da verilen analitik sinyal haritasında oklarla gösterilen üç profil (P1, P2, P3) boyunca K-G doğrultusunda yer radarı ölçüleri alınmıştır. Radar profilleri analitik sinyal haritasında bir yapıyı temsil etmesi olası anomaliler istikametinde alınmıştır.

Şekil 5.10a 1 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. Şekil 5.10b 1 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasındaki X:2 ve Y:(7-10-14) metreleri arasındaki yüksek genlikli belirti 1 nolu radar profilinde de belirgin şekilde gözlenmiştir. Olası yapıların başlangıç derinliği yaklaşık 0.8 m taban derinliği ise 2 m civarındadır (Şekil 5.10b).

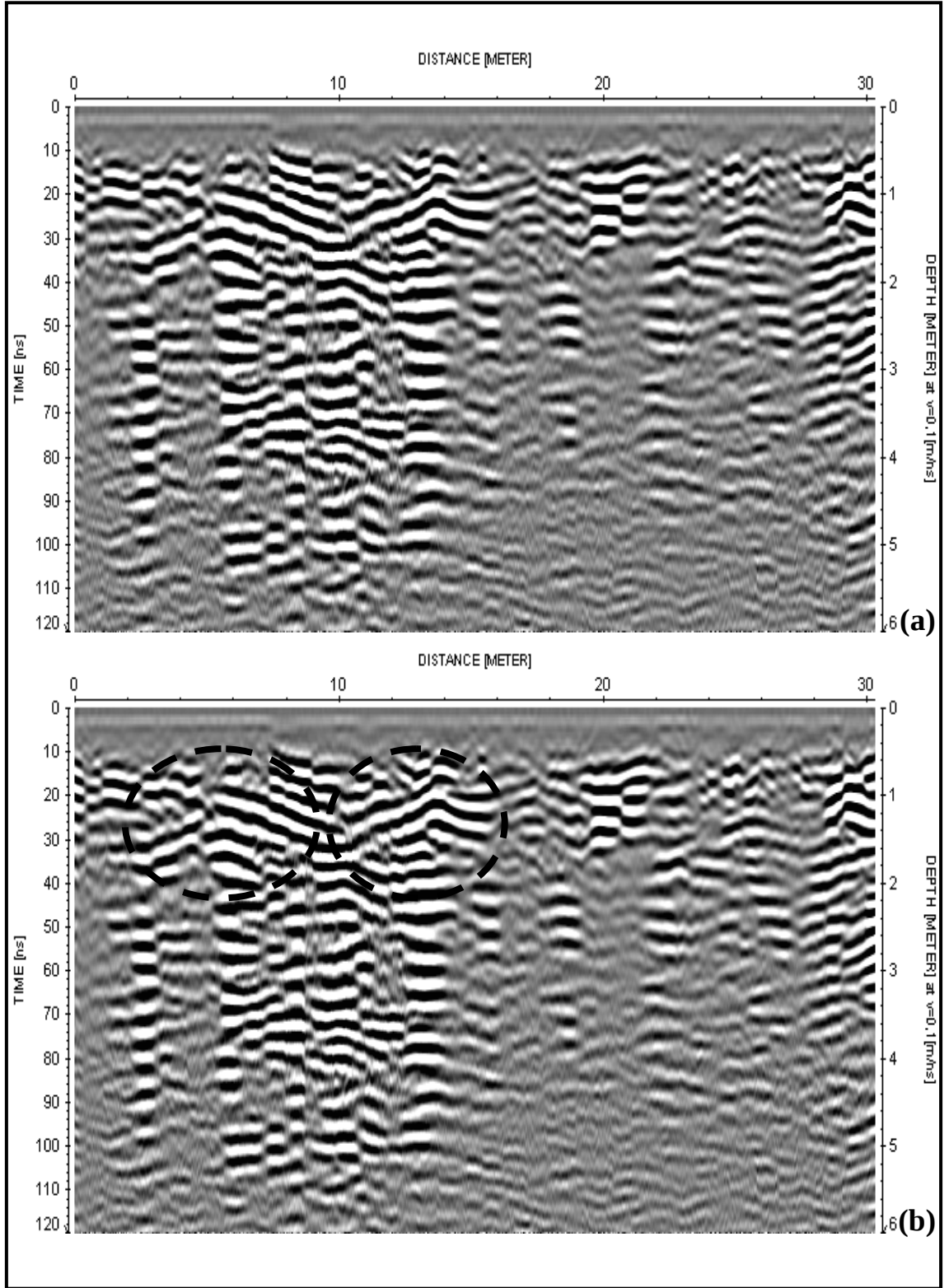
Şekil 5.11a 2 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. Şekil 5.11b 2 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X:(8-12) ve Y:(4-6) ve Y:20 ve Y:31 metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 2 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir. Olası arkeolojik yapıların maksimum derinliği 2 m olarak belirlenmiştir (Şekil 5.11b).

Şekil 5.12a 3 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. Şekil 5.12b 2 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X:(12-15) ve Y:(0-2) ve Y:(14-15) metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 2 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir. Olası arkeolojik yapıların maksimum derinliği 1.5 m olarak belirlenmiştir (Şekil 5.12b).

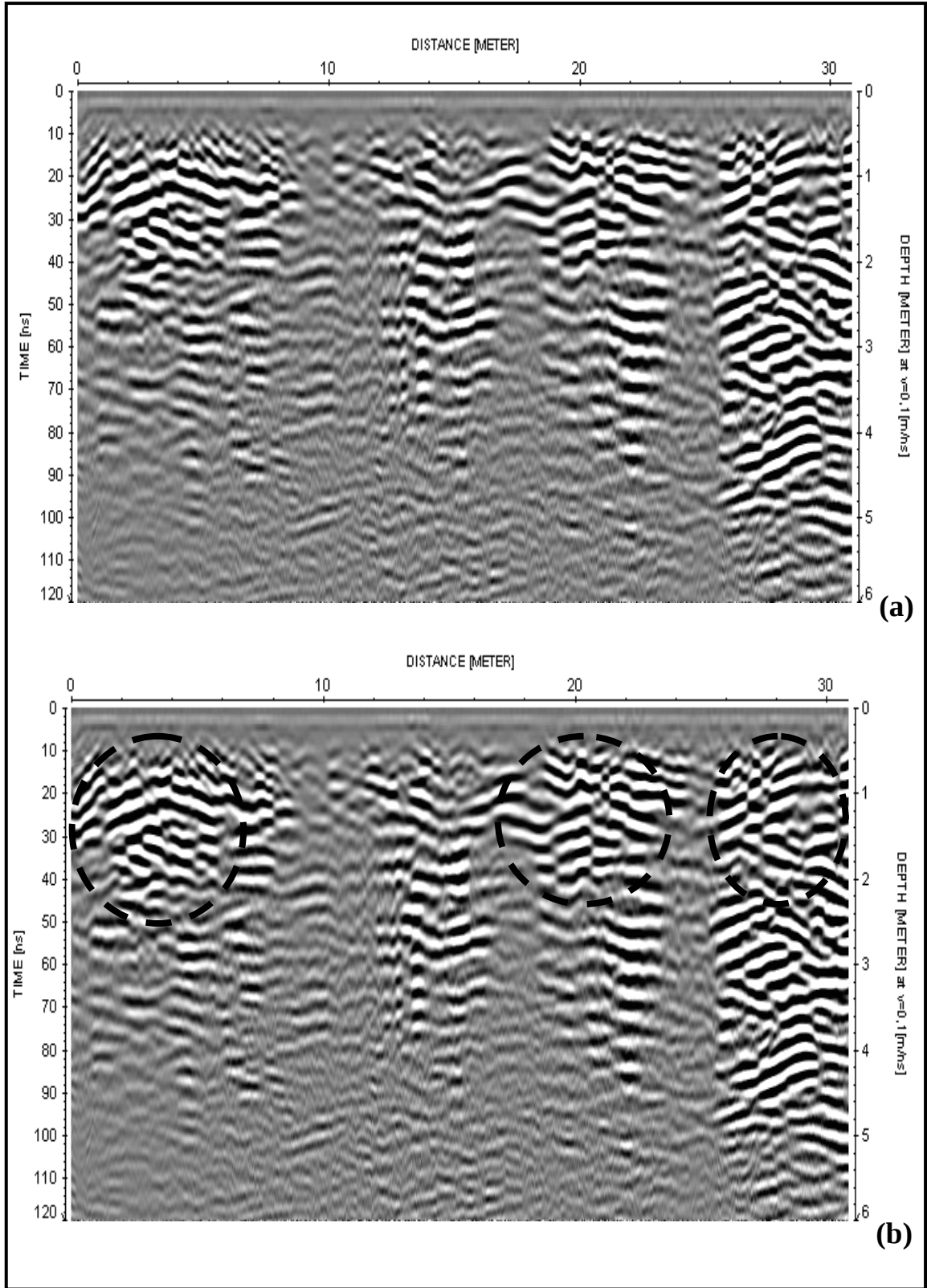
Alan 3'te manyetik ve radar yöntemlerine ek olarak 23×30 m'lik bir karelaj içerisinde ölçüm ve profil aralıkları 1 metre olarak 690 tane elektromanyetik iletkenlik ölçüsü alınmıştır. Alınan veriler surfer programında işlenerek alana elektromanyetik iletkenlik haritası ve inphase haritası elde edilmiştir (Şekil 5.13). Ancak elektromanyetik iletkenlik yöntemine dayalı ölçümler yer altı yapılanması ile ilgili bulgu önerecek bir sonuç doğurmamıştır.



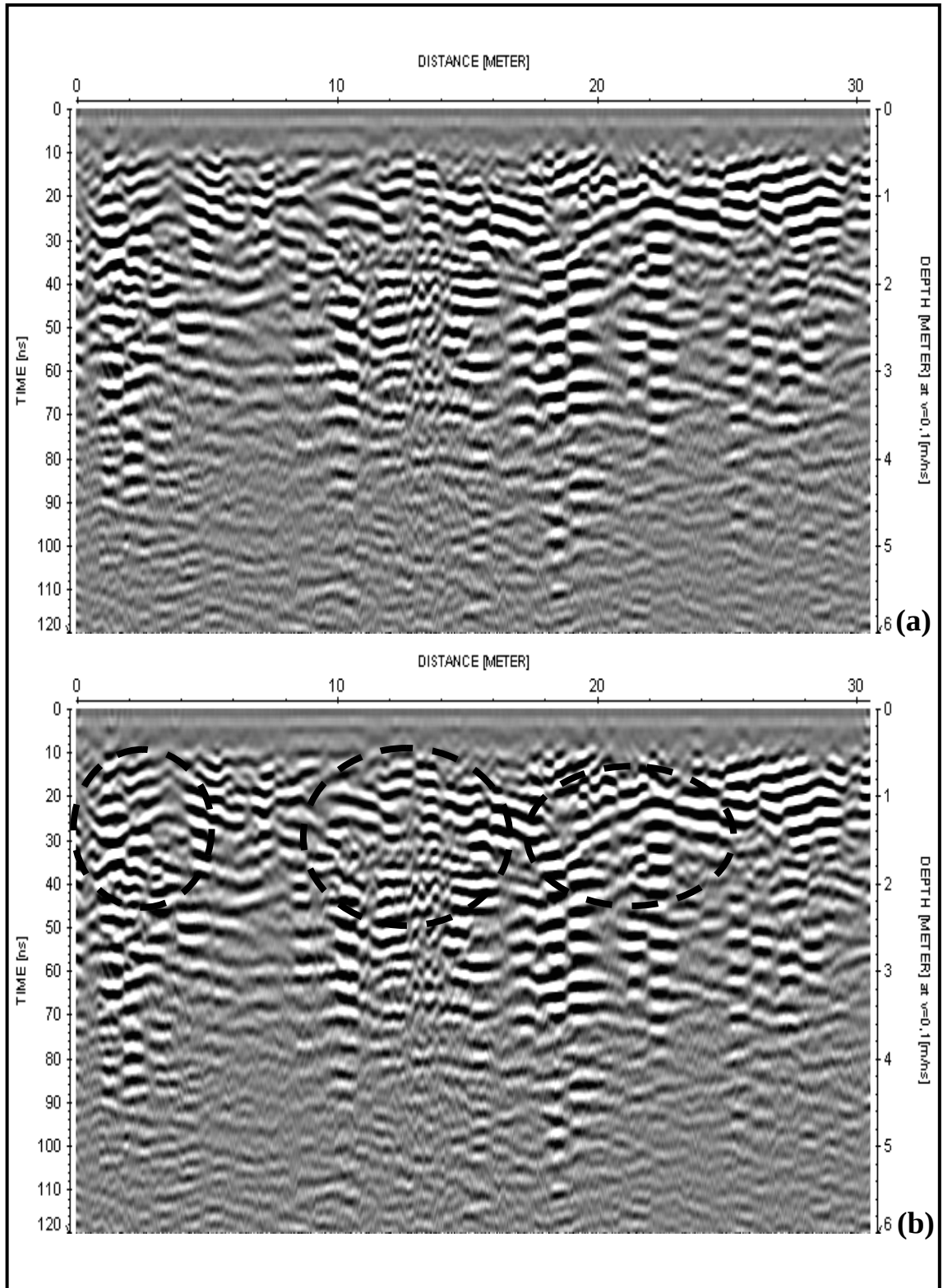
Şekil 5.9 Alan 3'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.



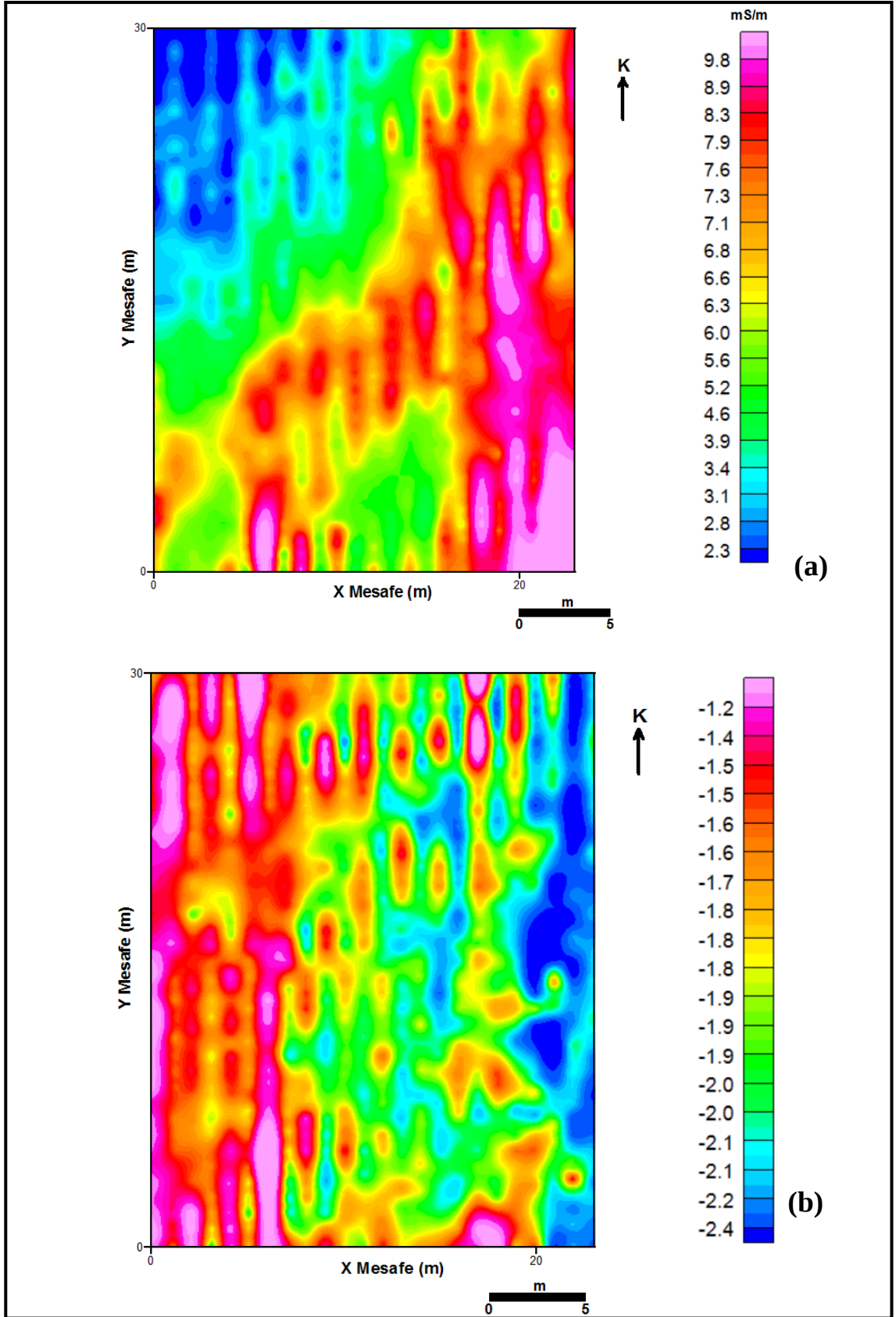
Şekil 5.10 Alan 3 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.11 Alan 3 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



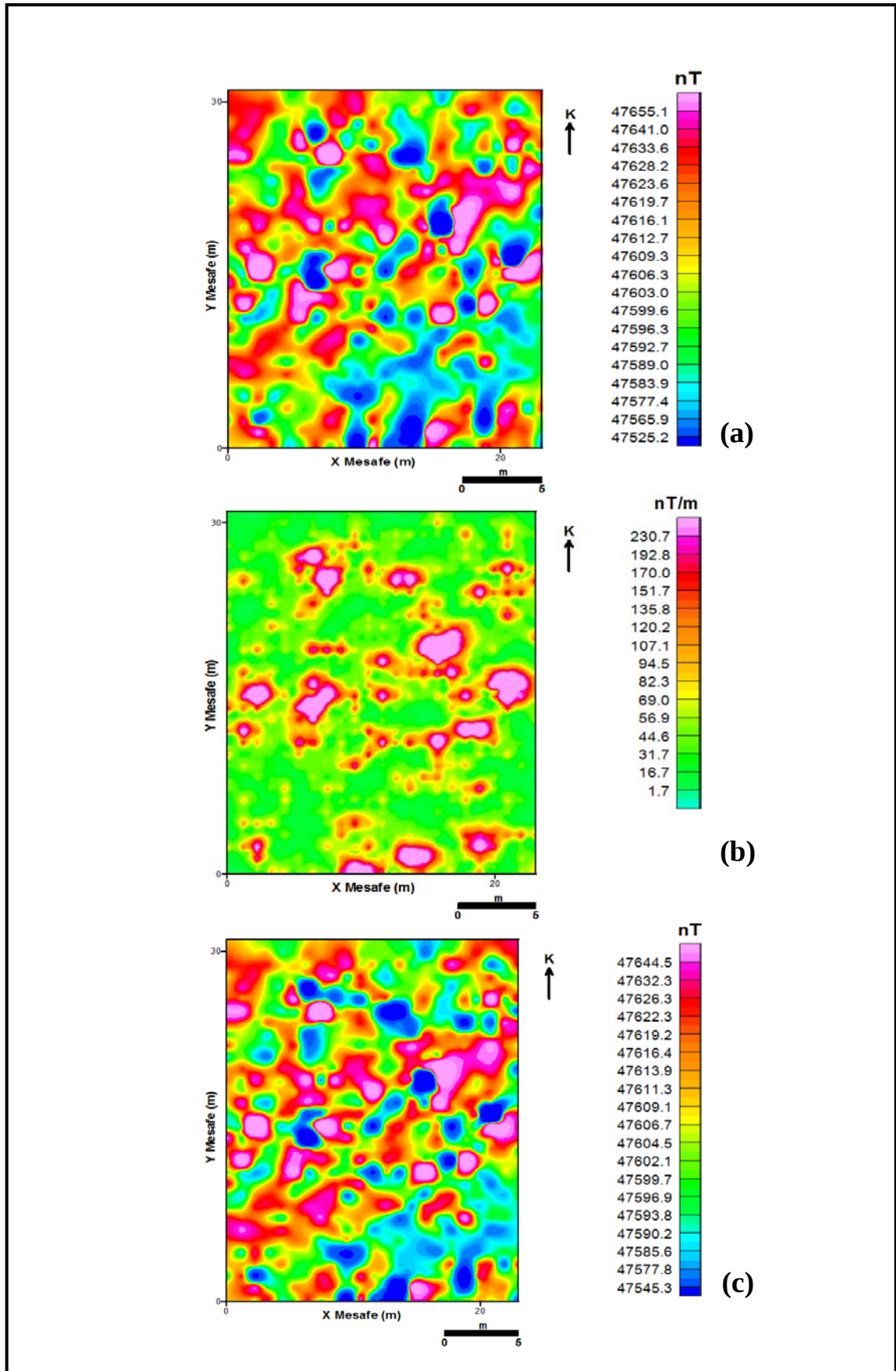
Şekil 5.12 Alan 3 profil 3'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.13 a) Alan 3'e ait elektromanyetik iletkenlik haritası b) Alan 3'e ait inphase haritası

5.4 Alan 4

Şekil 5.1’ de verilen 4 nolu alanda ilk olarak 22×31 m’lik bir karelaj oluşturulmuş ve 1 metre aralıkla 682 adet manyetik ölçü alınmıştır. Manyetik veriler gridlenerek manyetik anomali haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.14a). Manyetik veriler kutupsal kaymalardan meydana gelen hataları gidermek için kutba indirgenmiş ve kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 5.14b). Daha sonra kutba indirgenmiş veriye analitik sinyal metodu uygulanarak analitik sinyal haritası elde edilmiştir (Şekil 5.14c). Analitik sinyal haritasında olası gömülü arkeolojik yapıların sınırları tespit edilmeye çalışılmıştır. Analitik sinyal haritasında bazı alanlardaki yüksek genlikli belirtilerin arkeolojik yapı kalıntılarıyla ilişkili olduğu düşünülerek bu alanlar kesikli çizgilerle dörtgen içerisine alınmış ve bu alanların gelecek dönem kazı çalışmalarında kazı alanı olarak önerilmesi planlanmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.14 a) Alan 4'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 4'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 4'e ait analitik sinyal haritası

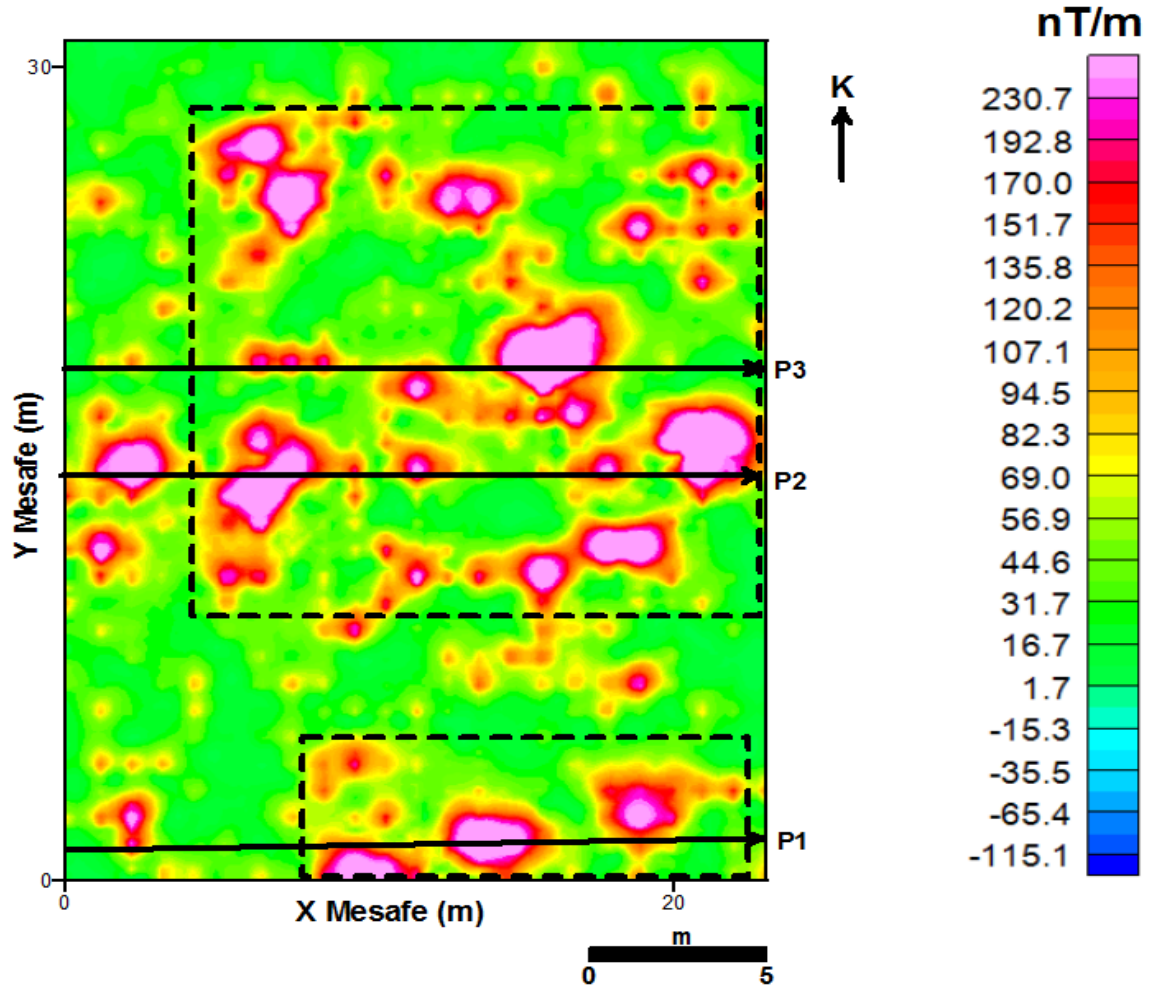
Alan 4'te ayrıca manyetik yönteme ek olarak analitik sinyal haritasında gösterilen 3 profil (P1, P2, P3) boyunca D-B doğrultusunda yer radarı ölçüleri alınmıştır. Radar profilleri analitik sinyal haritasında bir yapıyı temsil etmesi muhtemel anomaliler istikametinde alınmıştır.

şekil 5.16a 1 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.16b 1 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasındaki X: (8-10), (12-15) ve Y:(17-21) metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 1 nolu radar profilinde de belirgin yansımalar şeklinde gözlenmiştir. Olası yapının başlangıç derinliği yaklaşık 0.5 m taban derinliği ise 2 m civarındadır (şekil 5.16b).

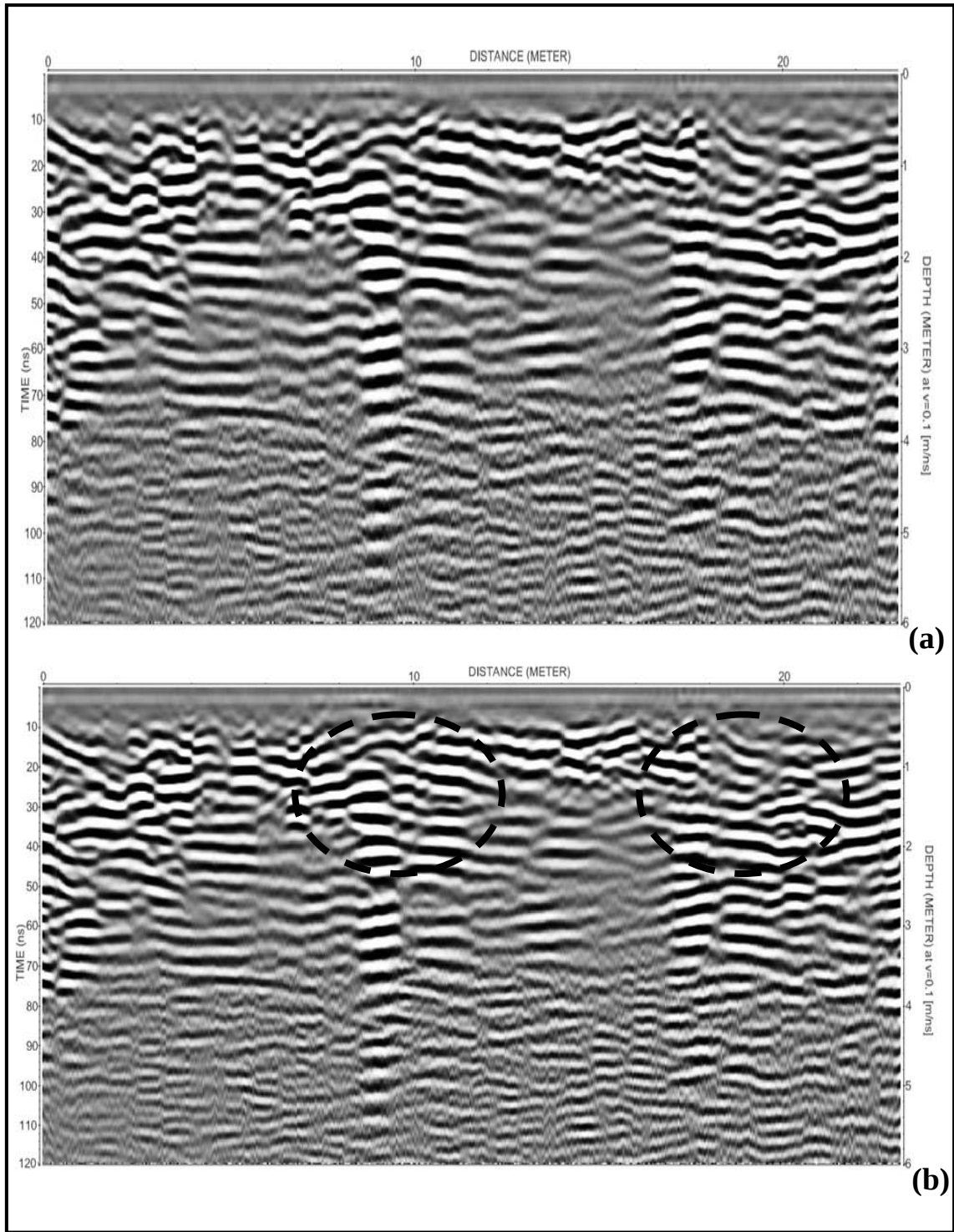
şekil 5.17a 2 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.17b 2 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X: (2-4), (6-10), (18-21) ve Y:15 metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 2 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir. Olası arkeolojik yapıların başlangıç derinliği 70 cm, maksimum derinliği 2 m olarak belirlenmiştir (şekil 5.17b).

şekil 5.18a 3 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.18b 3 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X: (10-18) ve Y:19 metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 3 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir.

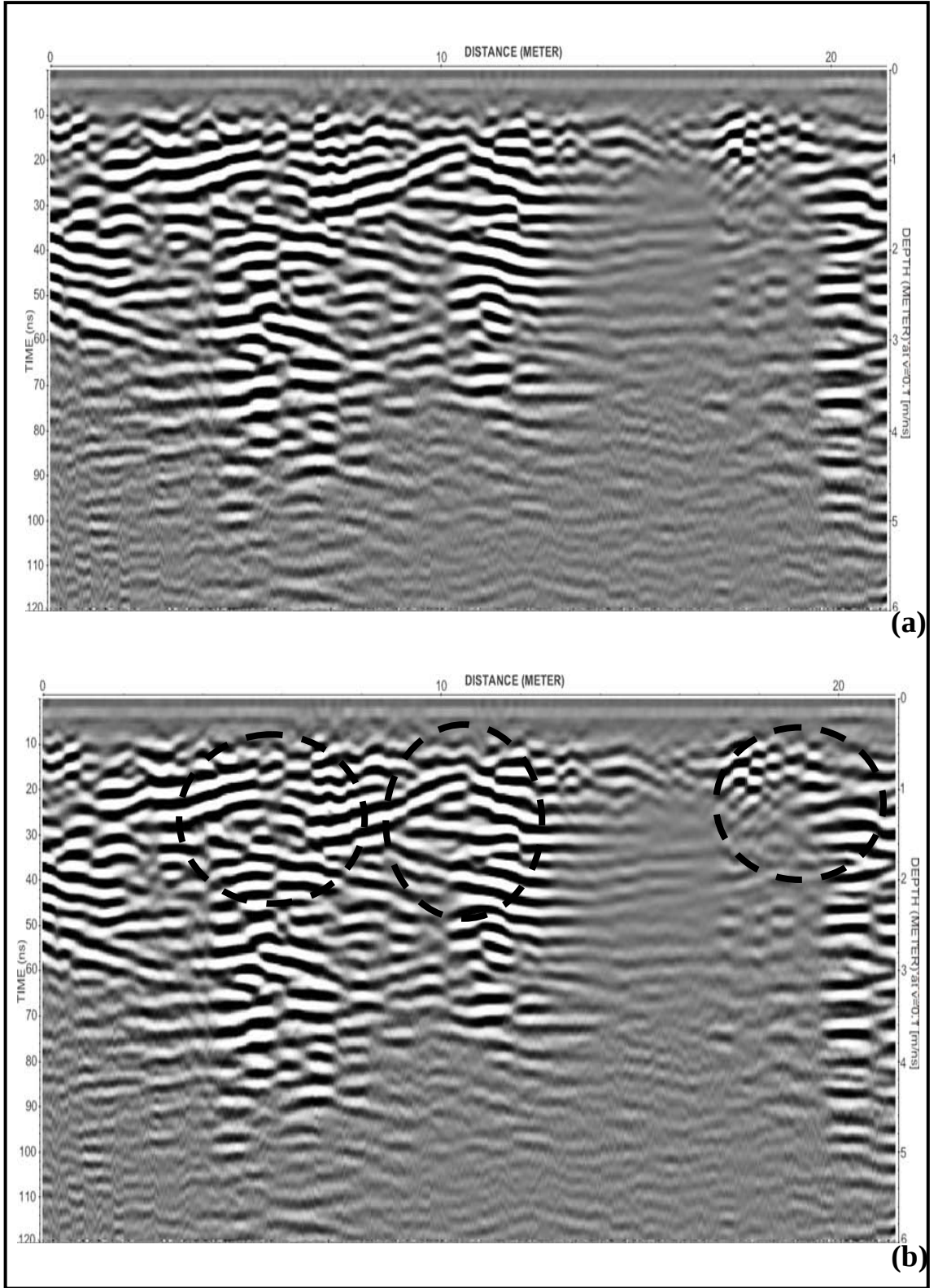
Alan 4'te manyetik ve radar yöntemlerine ek olarak 22×30 m'lik bir karelağ içerisinde ölçüm ve profil aralıkları 1 metre olarak 660 adet elektromanyetik iletkenlik ölçüsü alınmıştır. Alınan veriler surfer programında işlenerek alana ait elektromanyetik iletkenlik haritası ve inphase haritası elde edilmiştir (şekil 5.19). Ancak elektromanyetik iletkenlik yöntemine dayalı ölçümler yer altı yapılanması ile ilgili bulgu önerecek bir sonuç doğurmamıştır.



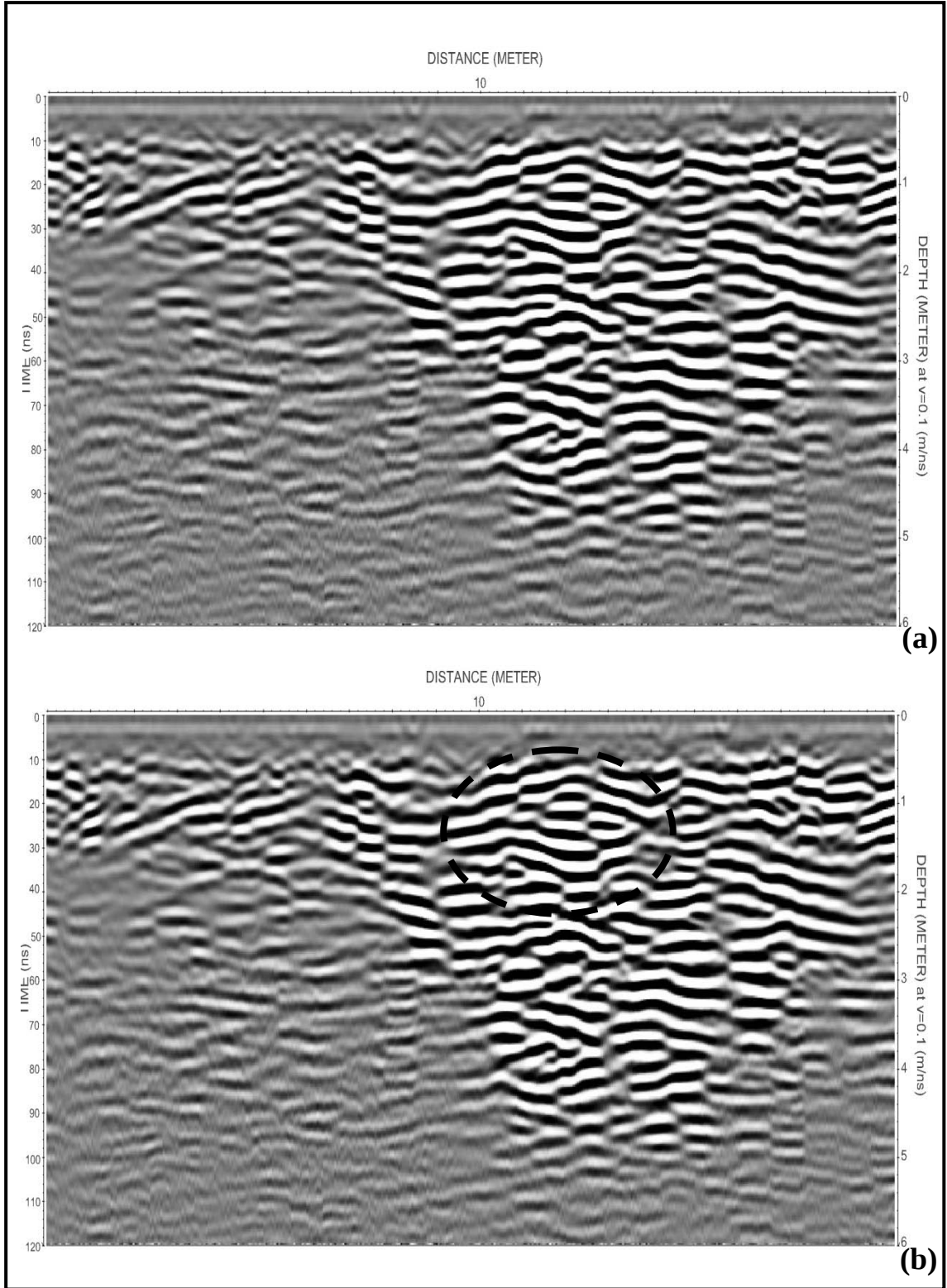
Şekil 5.15 Alan 4'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.



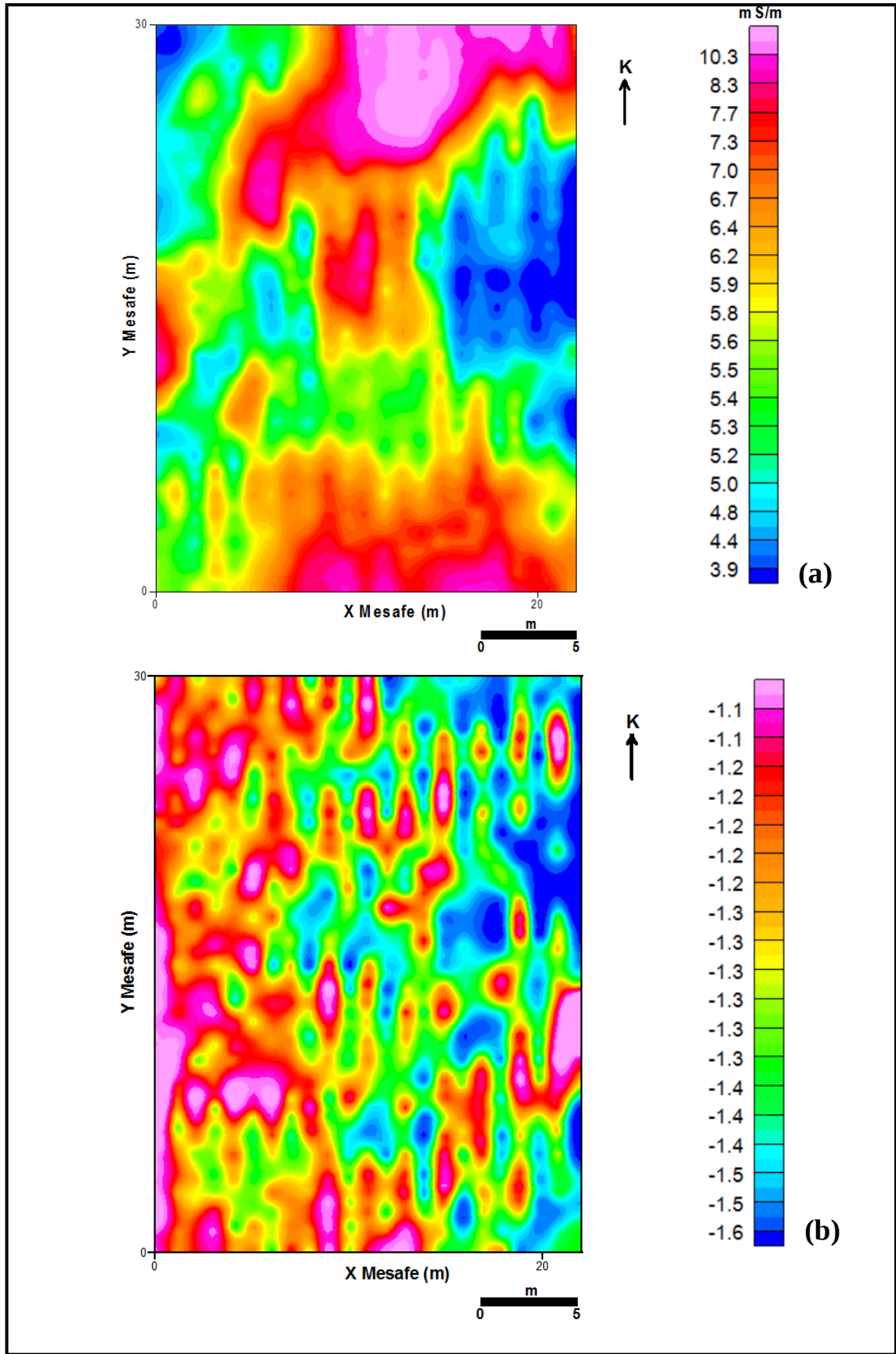
Şekil 5.16 Alan 4 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.17 Alan 4 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



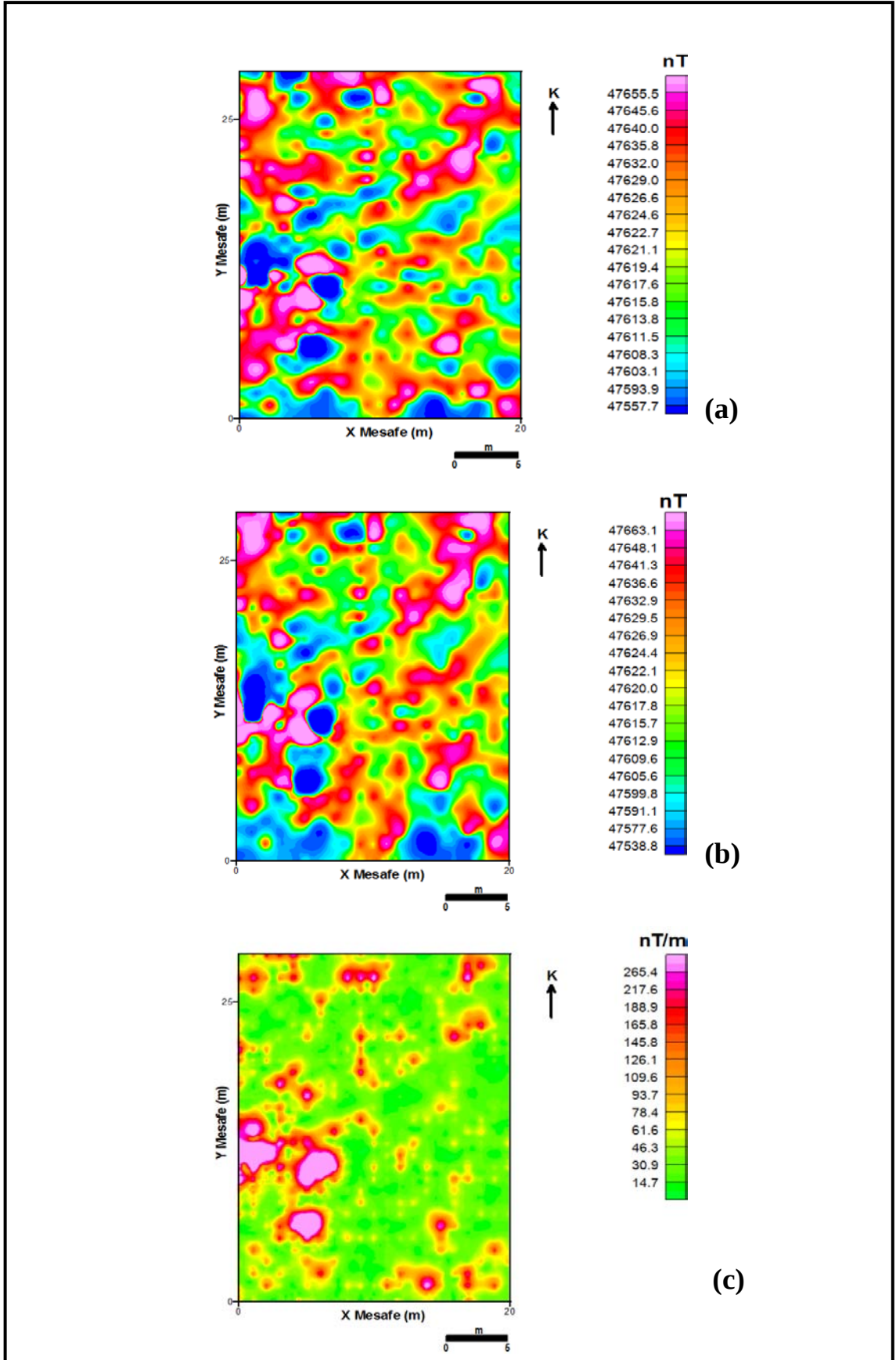
Şekil 5.18 Alan 4 profil 3'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.19 a) Alan 4'e ait elektromanyetik iletkenlik haritası. b) Alan 4'e ait inphase haritası.

5.5 Alan 5

Şekil 5.1’de verilen 5 nolu alanda ilk olarak 20×29 m’lik bir karelaj oluşturulmuş ve 1 metre aralıklarla 580 adet manyetik ölçü alınmıştır. Manyetik veriler gridlenerek manyetik anomali haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.20a). Manyetik veriler kutupsal kaymalardan meydana gelen hataları gidermek için kutba indirgenmiş ve kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 5.20b). Daha sonra kutba indirgenmiş veriye analitik sinyal metodu uygulanarak analitik sinyal haritası elde edilmiştir (Şekil 5.20c). Analitik sinyal haritasında olası gömülü arkeolojik yapıların sınırları tespit edilmeye çalışılmıştır. Analitik sinyal haritasında bazı alanlardaki yüksek genlikli belirtilerin arkeolojik yapı kalıntılarıyla ilişkili olduğu düşünülerek bu alanlar kesikli çizgilerle dörtgen içerisine alınmış ve bu alanların gelecek dönem kazı çalışmalarında kazı alanı olarak önerilmesi planlanmıştır (Şekil 5.21).



Şekil 5.20 a) Alan 5'e ait ham manyetik anomali haritası b) Alan 5'e ait kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası c) Alan 5'e ait analitik sinyal haritası

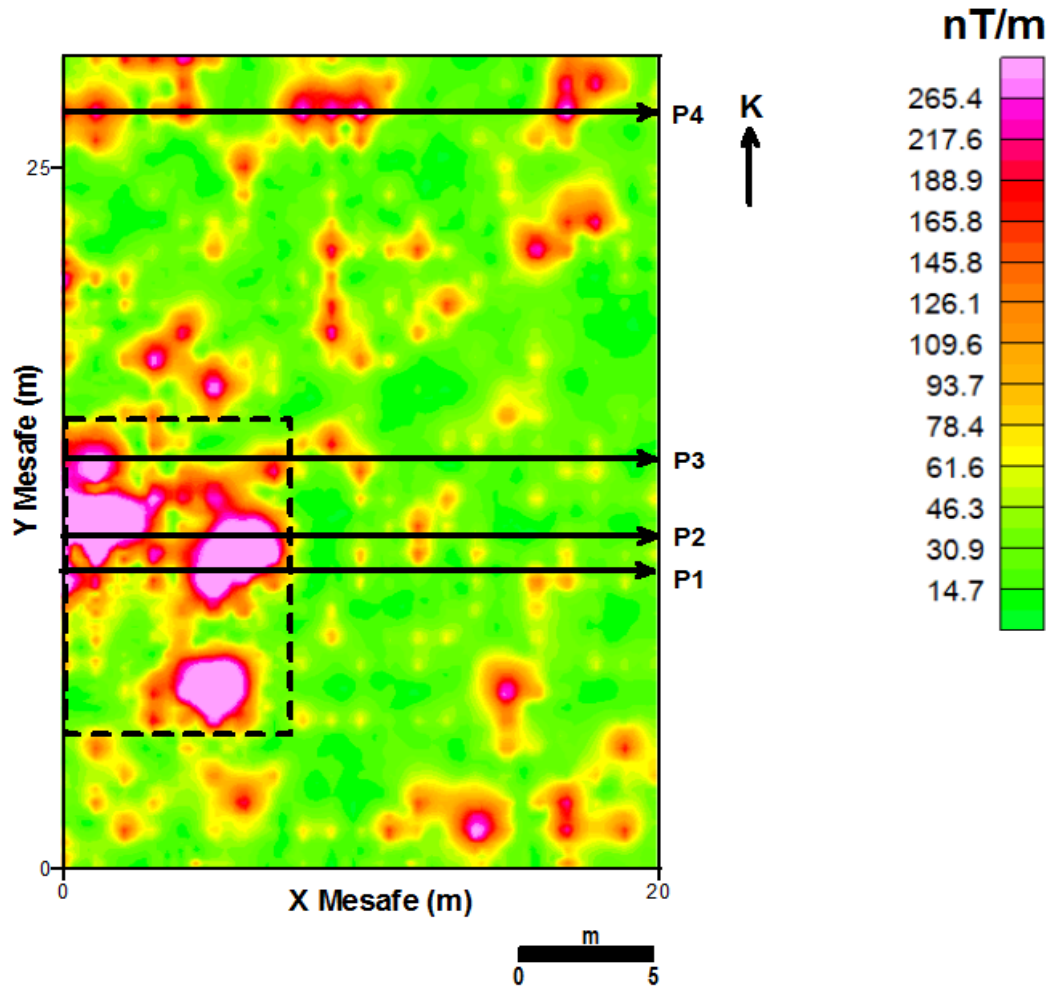
Alan 5' te ayrıca manyetik yönteme ek olarak analitik sinyal haritasında gösterilen 4 profil (P1, P2, P3, P4) boyunca D-B doğrultusunda yer radarı ölçüleri alınmıştır. Radar profilleri analitik sinyal haritasında bir yapıyı temsil etmesi olası anomaliler istikametinde alınmıştır.

şekil 5.22a 1 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.22b 1 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasındaki X:11 ve Y:(5-8) metreleri arasındaki yüksek genlikli belirti 1 nolu radar profilinde de belirgin şekilde gözlenmiştir. Olası yapının başlangıç derinliği yaklaşık 70 cm taban derinliği ise 2.2 m civarındadır (şekil 5.22b).

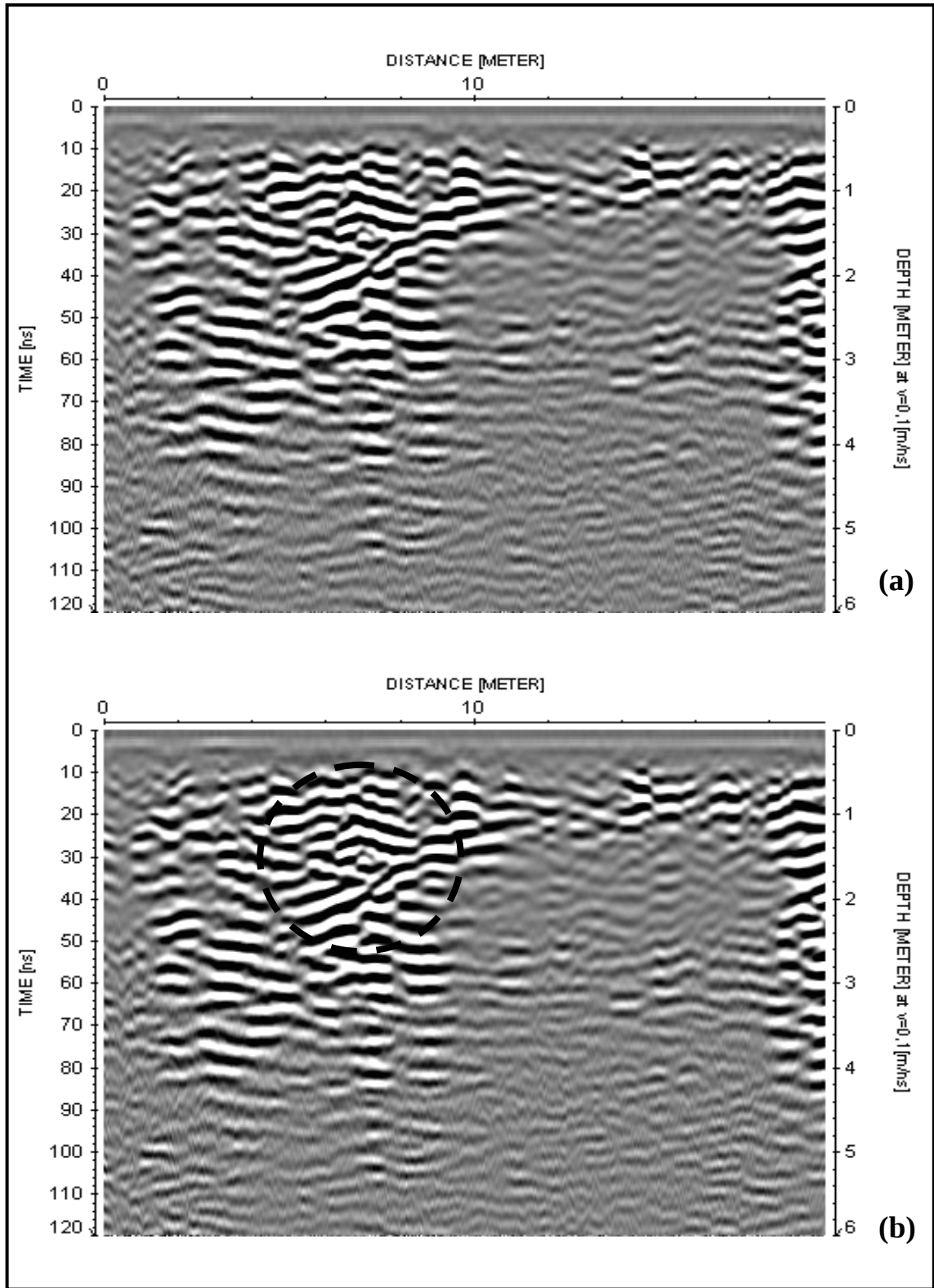
şekil 5.23a 2 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.23b 2 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X:(0-8) ve Y:12 metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 2 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir. Olası arkeolojik yapıların maksimum derinliği 2 m olarak belirlenmiştir (şekil 5.23b).

şekil 5.24a 3 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.24b 3 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X:(0-3) ve Y:15 metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 3 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir.

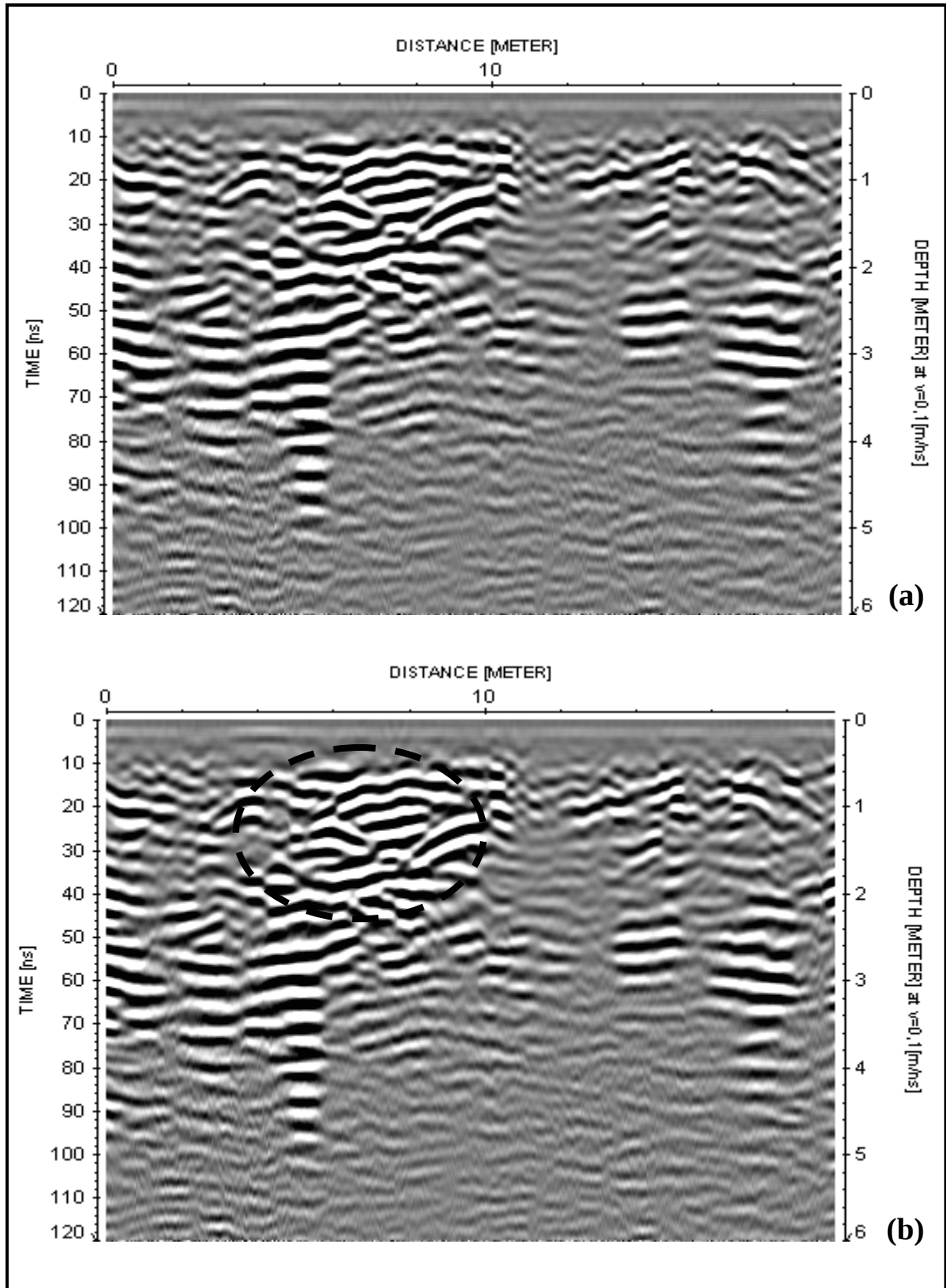
şekil 5.25a 4 nolu profile ait işlenmiş radar kesitini göstermektedir. şekil 5.25b 4 nolu profilin yorumlanmış radar kesitini göstermektedir. Analitik sinyal haritasında X: (0-4)-(8-11) ve Y:27 metreleri arasındaki yüksek genlikli belirtiler 4 nolu radar profilinde de aynı mesafelerde ki belirgin yansımalarla eşleşmiştir.



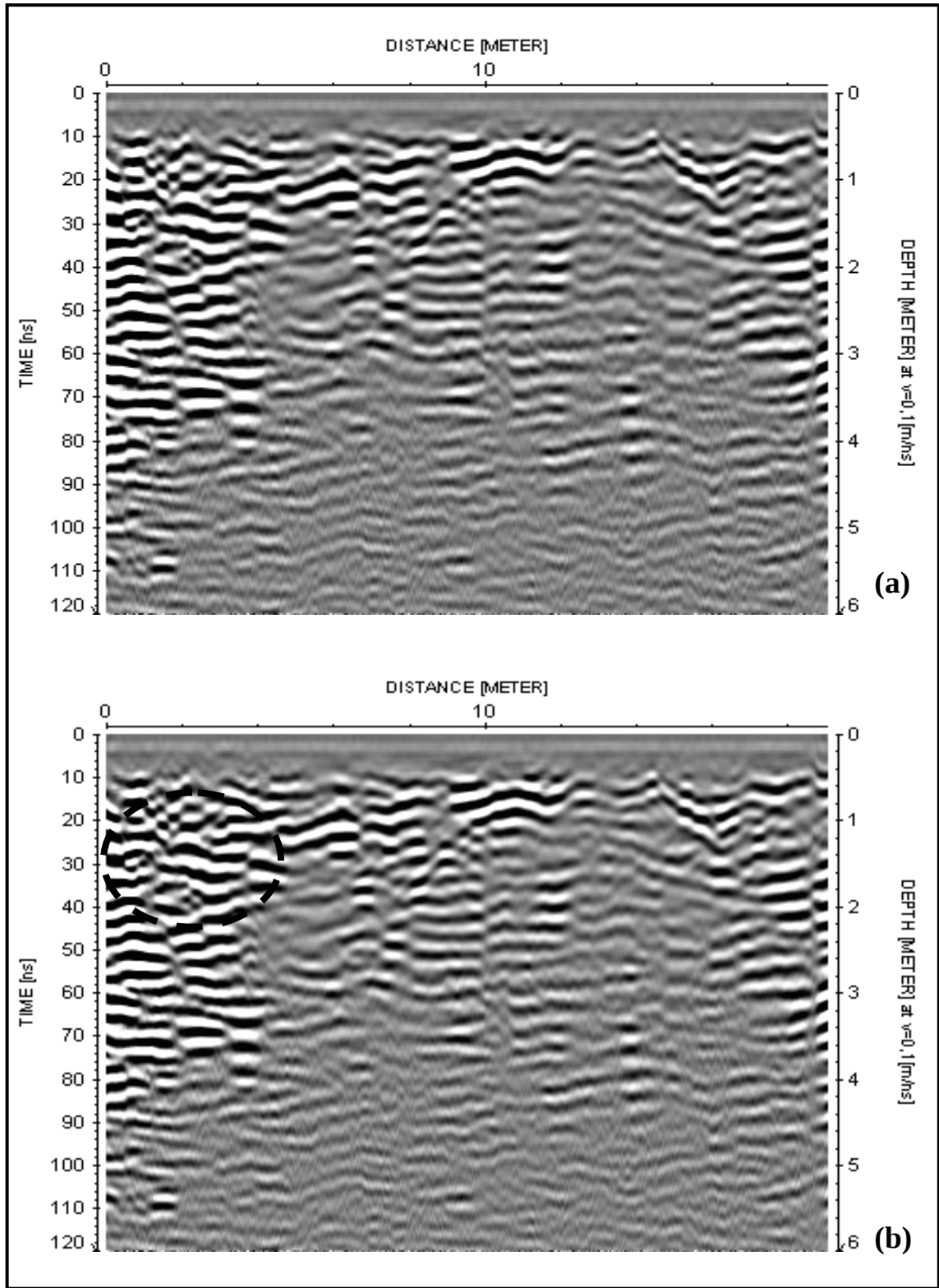
Şekil 5.21 Alan 5'e ait yorumlanmış analitik sinyal haritası. İşaretli alanlar olası arkeolojik yapıların yerlerini belirtmektedir. Oklar radar profillerini göstermektedir.



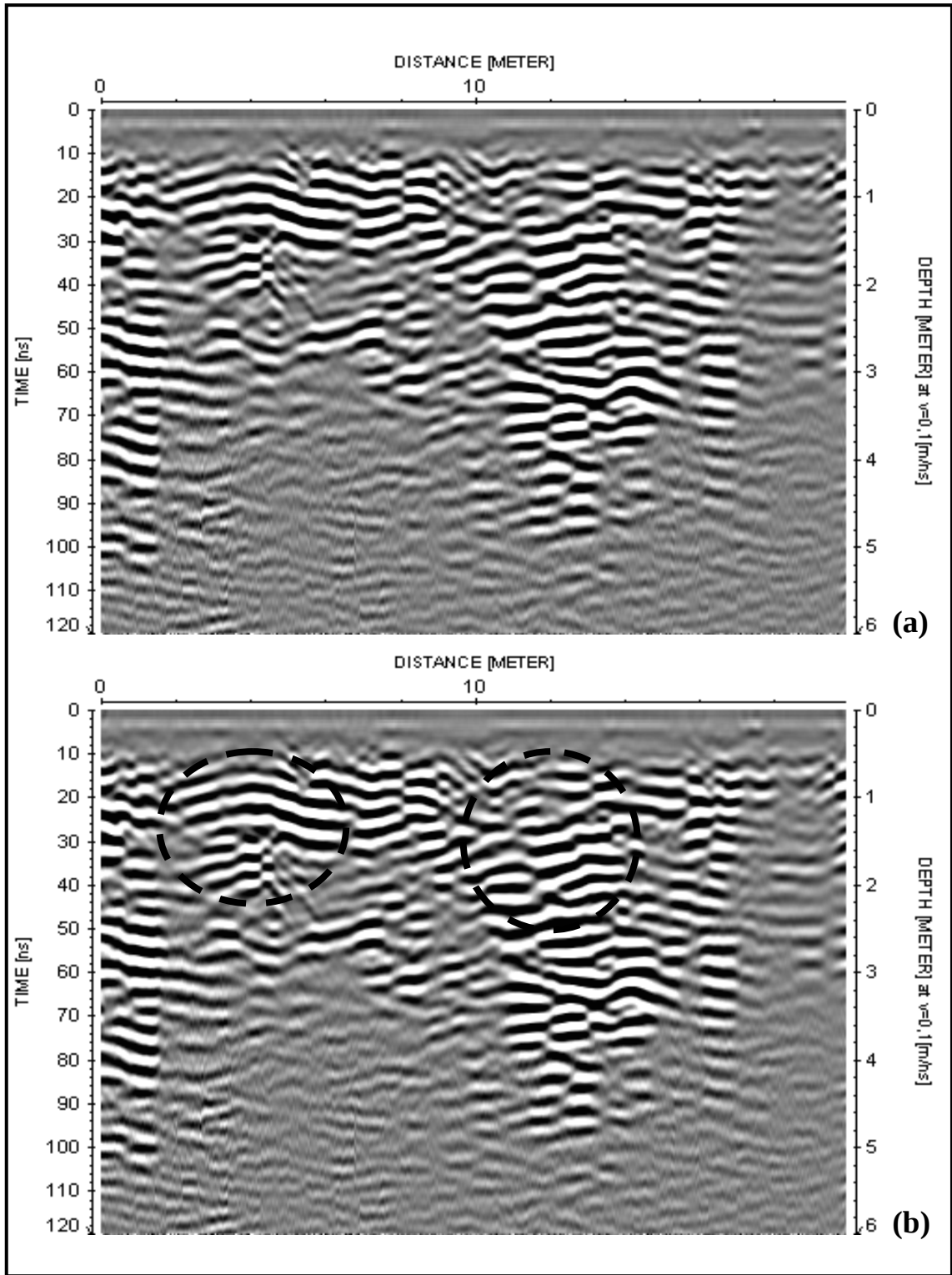
Şekil 5.22 Alan 5 profil 1'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.23 Alan 5 profil 2'ye ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.24 Alan 5 profil 3'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.



Şekil 5.25 Alan 5 profil 4'e ait radar kesitleri a) İşlenmiş radar kesiti b) Yorumlanmış radar kesiti. Daire içine alınmış kesimler olası arkeolojik yapıları göstermektedir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Sivas ili, Divriği İlçesi sınırları içerisinde kalan Divriği Kalesi Arkeolojik Alanında birbirinden bağımsız 5 farklı alanda manyetik, yer radarı ve elektromanyetik iletkenlik yöntemlerine dayalı jeofizik çalışmalar yapılmıştır.

Manyetik yöntemle toplam 5 farklı alanda yaklaşık 3678 m² lik alan taranmış ve toplam manyetik alan değerleri ölçülmüştür. Manyetik çalışmalar sonucu elde edilen manyetik alan haritası ve manyetik verilere uygulanan analitik sinyal metodu sonrası elde edilen analitik sinyal haritası ile yeraltındaki manyetik anomalileri oluşturan muhtemel yapılar büyük ölçüde ortaya konmuştur. Manyetik çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra her bir çalışma alanına ait yeraltındaki manyetik anomali veren bölgeler tespit edilmiş ve analitik sinyal haritalarında yerleri belirtilmiştir. Bütün alanlara ait analitik sinyal haritalarındaki kesikli çizgilerle dörtgen şeklinde sınırladığımız alanlar, anomalilerin yoğun olarak görüldüğü bölgelerdir ve gelecekte yapılması düşünülen bir kazıda öncelik verilmesi gereken alanları göstermektedir (Şekiller 5.3, 5.7, 5.9, 5.15 ve 5.21).

Manyetik verilerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 4 alanda (Alan 1,3,4,5) yer radarı ölçümleri yapılmıştır. Alan 1' de 2, Alan 3' te 3, Alan 4' te 3 ve Alan 5' te 4 adet olmak üzere toplamda 12 adet radar profili analitik sinyal haritalarındaki olası arkeolojik yapıları temsil ettiği düşünülen yüksek genlikli alanlar üzerinden alınmıştır (Şekiller 5.4, 5.5, 5.10, 5.11, 5.12, 5.16, 5.17, 5.18, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25).

Radar profillerindeki belirgin yansımalar olası gömülü arkeolojik nesneler hakkında yararlı bilgiler vermiştir. Olası yapıların üst yüzey derinliğinin ortalama 0.5 m, alt yüzey derinliğinin ise 2-2.5 m civarında değiştiği gözlenmiştir.

Yer radarı yöntemi ile araştırılan 4 alana ait radar kesitleri, aynı alanlara ait manyetik sonuçlar ile karşılaştırılarak yeraltında bulunan yapılar daha sağlıklı yorumlanmaya çalışılmıştır. Sonuçlar dikkatli incelendiğinde her iki yöntemle ait bulguların birbirlerini destekler nitelikte olduğu görülmektedir.

Çalışma sahasında ayrıca iki alanda (Alan 3 ve Alan 4) elektromanyetik iletkenlik ölçümü yapılmıştır (Şekil 5.13, 5.19). Ancak elektromanyetik iletkenlik yöntemine dayalı ölçümler yer altı yapılanması ile ilgili bulgu önerecek bir sonuç doğurmamıştır. Bu nedenle diğer 3 alanda uygulanmasına gerek duyulmamıştır.

7. KAYNAKLAR

- Aloğlu S., 2006. Zemin Etüdü Sondaj Bulgularının Sismik ve Yer Radarı Gibi Tekniklerle Karşılaştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Annan, A.P., 1996. Transmission dispersion and GPR. The Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2, 125-136.
- Annan, A.P., 2000. Ground penetrating radar workshop notes. Sensors and Software Inc., Canada.
- Annan, A.P., 2001. Ground penetrating radar workshop notes. Mississauga, Ontario: Sensors and Software Inc.
- Akın, U., Şerifoğlu B. I., Duru, M., 2011. Gravite Ve Manyetik Yöntemlerde Tilt Açısının Kullanılması, MTA Dergisi, 143, 1-12, 2011
- Altunkaynak, Ö., 2005. Elektrik özdirenç ve manyetik yöntemler ile arkeolojik yapıların saptanması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Isparta.
- Arısoy, M. Ö., 2007. Düşey Ve Yatay Manyetik Gradient Verilerin 3-Boyutlu Modellenmesi ve Ters Çözümü, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Ateş, A. ve Kearey, P., 1993. Deep structure of the East Mendip Hills from gravity, aeromagnetic and seismic reflection data, Journal of the Geological Society, London, 150, 1055-1063.
- Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies: Geophysics, 22, 359-383.
- Bevan and Bruce., 1983. Electromagnetics for Mapping Buried Earth Features Journal of Field Archaeology 10:47-54.
- Bevan and Bruce., 1998. Geophysical Exploration for Archaeology: An Introduction to Geophysical Exploration Midwest Archaeological Center Special Report 1.
- Bilim, F., Ateş, A., 2005. Analitik Sinyal Yöntemlerinin Manyetik Model Verileri Üzerinde Karşılaştırılması Ve Arazi Örneği, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 18, S. 2, Ss. 151-162.
- Blakely, R.J. 1995. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, 1st Edition, ISBN: 0-521-57547-8. 439 p. New York.
- Büyüksaraç, A., Arısoy, M.Ö., Bektas, Ö., Kocak, O., Çay, T., 2008. Determination of Grave Locations in Dedemezari Necropolis using Magnetic Field Derivatives. Archaeological Prospection. 15, 267-283.
- Büyüksaraç, A., Eser E., Bektaş Ö., Akay B., Koşaroğlu S., 2013. Surface Geophysical Investigations And Preliminary Excavations at the Divriği Citadel, Sivas (Turkey) Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 13, No. 2, pp. 129-138.
- Conyers, L.B. and Goodman, D., 1997. Ground-penetrating radar: An introduction for archaeologists. California: Altamira Press.
- Davis, J. L. & Annan, A. P., 1989. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37, 531-551.
- Drahor, M.G., 1991. Arkeolojik Alanlarda Jeofiziksel Prospeksiyonun Önemi, IX. Araştırma Sonuçları Toplantısı Kitabı, T.C Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 235-250, Ankara.
- Drahor, M. G., 1998. Arkeoloji Jeofiziği: Arkeojeofizik-I, Arkeoloji ve Sanat, 87, 16-25.

- Elsürer, İ., 2007. Yer radari yöntemiyle karstik boşlukların araştırılması. Ulusal Mühendislik ve Eğitim Sempozyumu, Kocaeli Üniversitesi, İzmit.
- Etiz, A., 2007. Trakya Bölgesinin Havadan Magnetik Anomalilerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Isparta.
- Fairhead J.D., Williams S.E., 2006. Evaluating normalized magnetic derivatives for structural mapping. SEG 2006 New Orleans, Extended Abstract.
- Fedi M, Florio G., 2001. Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method. Geophysical Prospecting 49: 40–58.
- Gordon R. J. Cooper and Duncan R., 2008. Cowan Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics GEOPHYSICS, VOL. 73, NO. 3 MAY-JUNE 2008; P. H1–H4, 3 FIGS. 10.1190/1.2837309
- Griffin, S. ve Pipet, T., 2002. Ground Penetrating Radar. Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration, 144, 80-89.
- Kadioğlu, S. and Daniels, J. J., 2002. A Hybrid 2D/3D Ground Penetrating Radar (GPR) Survey of Brownfield Site Along Lake Street in Chicago, Illinois (USA), International Conference on Earth Sciences and Electronics-2002 (ICESE-2002), Vol.2, P. 255-261.
- Kadioğlu, S., 2003. 3D Ground Penetrating Radar-Data Acquisition, Processing, and Interpretation, 14th International Petroleum Congress and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, Ankara-TURKEY, Proceedings, p.485-486.
- Kadioğlu, S., 2004. Yer radarı yöntemi ile karstik boşlukların belirlenmesi, Konferans, DSİ Genel Müdürlüğü.
- Kaya, M.A., Başokur, A.T., Ateş, A., Peşken, E., ve Candansayar, E., 1996. “Göndürle-1 Höyük Mezarlığının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması” TÜBİTAK YDABÇAĞ-142 no’lu Proje Raporu.
- Kaya, M.A., 2007. “Arkeojeofizik Araştırmalar”, Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları-2.
- Kesemen, O., 2007. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesinde Yeni Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Knödel, E., Krummel, M., Lanke, J., 1997. “Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten/BGR” Bd.3 Geophysik Springer-Verlag, Berlin- Heidelberg.
- Kurt, B., 2009. Zaman Ortamında Sonlu Farklar Teoremiyle İki Boyutlu Yer Radarı Modellemesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kurtulmuş, T.Ö., 2007. Sığ Jeofizik Aramacılıkta Yer Radarı Modellemesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Kurtulmuş, T.Ö. ve Drahor, M.G., 2008. Yerbilimleri/Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 29(2):37-52.
- Mala Geoscience, 2003. Basic Radar Theory, fundamentals of Ground Penetrating Radar(CD), Sweden.
- Miller, H.G. ve Singh, V., 1994. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. Journal of Applied Geophysics, 32: 213-217.
- Moorman, B. J., 2001. Ground-penetrating radar applications in paleolimnology. In W. M. Last and J. P. Smol, (Ed.). Tracking environmental change using lake sediments: Physical and chemical techniques (23-47). Boston: Kluwer Academic Publishers.

- Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of twodimensional magnetic bodies with polygonal crosssection: its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, 37, 507-517.
- Nabighian, M.N., 1974. Additional comments on the analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section, *Geophysics*, 39, 85-92.
- Olhoeft, G. R., 1981. Electrical properties of rocks.in Y. S. Touloukian, W. R. Judd, and R. F. Roy, (Ed.). *Physical properties of rocks and minerals* (257-330). NY: McGraw-Hill.
- Öğretmen, Z., 2012. Bayburt Kıratlı Traverten sahasında jeofizik yöntemlerle kırık çatlak sistemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Öztürk, C., 2004. Kelenderis Antik Kentindeki Arkeolojik Yapıların Özdirenc Yöntemiyle Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Isparta.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using 3D analytic signal, *Geophysics*, 57, 116-125.
- Sanver, M., İşseven, T., 2007. Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN: 978-9944-77-168-9, 368 sayfa, İstanbul.
- Sarı, M., 2012. Jipslerin Jeofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi (Sivas Örneği), Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Sayın, N., 1995. Menekşe (Tekirdağ) Yöresinin Arkeolojik Yerlerinin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Sensors and Software, 1996. PulseEKKO100 User's Guide, V1.2, technical manual 25, Canada.
- Sensors & Software, 2001. Win_EKKO User's Guide.
- Takahaski, T., 2004. Suggested Methods for Land Geophysics in Rock Engineering Rock Mechanics and Mining Science, 41, 885-914.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., & Keys, D. A., 1976. *Applied geophysics*. NY: Cambridge University Press.
- Van der Kruk, J., Slob, E. C., & Fokkema, J. T., 1999. Background of ground penetrating radar measurements. *Geologieen Mijnbouw*, 77, 177-188.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. ve MacKenzie, C., 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, 23, 116-119.
- Von Hippel, A. R., 1954. *Dielectric materials and applications*. NY: John Wiley and Sons.
- Yalçın, C.Ç., Bano, M., Kadioğlu, M., Karabacak, V., Meghraoui M., Altunel, E., 2008. New temple discovery at the archaeological site of Nysa (western Turkey) using GPR method. *Journal of Archaeological Science* 36 : 1680–1689.
- Yalçın, C.Ç., Gündoğdu, E., 2011. Yeraltı radarı (Gpr) yöntemi ile krom cevherinin yüzde değerinin tespiti. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt : XXIV, Sayı : 2*.
- Yalçın, C.Ç., 2009. Gömülü Yapıların Yeraltı Radarı (GPR) Yöntemi ile Araştırılması: Büyük Menderes Grabeni'nde Paleosismolojik ve Arkeosismolojik Uygulamalar, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Weeds, R.D., 1994. *Geophysical Characterization of Sites*. Rotterdam: AA. Balkema, p.69-79.

- Wijns, C., Perez C., Kowalczyk, P., 2005. Theta map: edge detection in magnetic data. *Geophysics* 70: L39–L43.
- Wilchek, L., 2000. Ground Penetrating Radar for Detection of Rock Stucture. M.S. Thesis, Alberta University, Canada.

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı : Fatih İNAÇ
Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya, 08/12/1989
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dil : İngilizce
İletişim: fatihinanc44@hotmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 2004-2007 Malatya Cumhuriyet Lisesi
Lisans : 2007-2011 Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü

İş Tecrübesi:

Kastamonu İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Jeofizik Mühendisi, 2013-