



**T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DOKTORA TEZİ**

**ARKEOLOJİK ALANLARDA MANYETİK VE  
YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ UYGULAMALARI**

**Melda KÜÇÜKDEMİRCİ**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Jeofizik Mühendisliği Programı**

**Danışman**

**Prof.Dr.Niyazi BAYDEMİR**

**II.Danışman**

**Dr.Salvatore PIRO**

**Temmuz,2014**

**İSTANBUL**

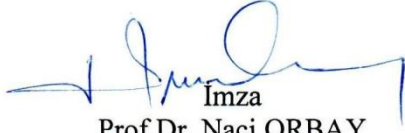
Bu çalışma 11/07/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı 'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi:**



İmza

Prof. Dr. Niyazi BAYDEMİR (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



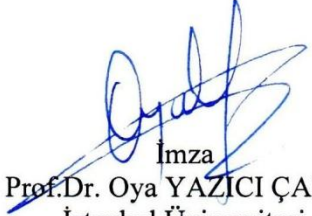
İmza

Prof. Dr. Naci ORBAY  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



İmza

Prof. Dr. Z. Mümtaz HISARLI  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



İmza

Prof. Dr. Oya YAZICI ÇAKIN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



İmza

Prof. Dr. Berkan ECBVİTOĞLU  
Anadolu Üniversitesi  
Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma  
Enstitüsü

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 12302 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Çalışma boyunca aynı zamanda 2214 TÜBİTAK-BİDEB Yurtdışı Doktora Araştırma Bursu ve TİNEL Vakfi bursundan yararlanılmıştır.

## ÖNSÖZ

Üniversitedeki Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarım boyunca bilgisini, deneyimlerini benimle paylaşan ve desteğini esirgemeyen, çalışma hayatımın son günlerine kadar kendisini yordüğüm danışman hocam Prof.Dr.Niyazi BAYDEMİR'e anlayışından dolayı teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek lisans döneminde arkeolojik prospeksiyon konusuna ilk adımı atmamı sağlayan Prof.Dr.Naci ORBAY'a eğitim hayatımın her dönemindeki desteği ve önerileri için teşekkür ederim. Yine yüksek lisans döneminden bu yana çalışmalarımın her sürecinde deneyimlerini ve bilgisini benimle paylaşan Prof.Dr.Z.Mümtaz HISARLI' ya desteği ve yardımları için teşekkür ederim.

Yurtdışında bulunduğum süreçlerde, bilgisinden ve bilimsel olanaklarından yararlandığım National Research Council of Italy, Institute of Technologies Applied to Cultural Heritage (ITABC-CNR)'dan Dr. Salvatore PİRO'ya teşekkür ederim.

Çalışmalar boyunca desteğini esirgemeyen Prof.Dr.Berkan ECEVİTOĞLU'na teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları boyunca desteğini esirgemeyen Aizanoi Antik Kenti kazı başkanı Prof.Dr. Elif ÖZER ve ekibine, Heraion Teichos Akropolü kazı başkanı Prof.Dr. Neşe ATİK'e ve ekibine çalışma alanlarının kapılarını bize açtıkları için teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan Yer radarı aletini temin ettiğimiz Jeofizik Mühendisi Mehmet BAŞ'a, ve manyetik aletin tedarikinde desteğini esirgemeyen Isparta Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden Doç.Dr. Zakir KANBUR'a, manyetik ölçümlerin alınmasında yardımcı olan Araş. Gör. Olcay ÇAKMAK'a ve yer radarı ölçümlerinde yardımlarından dolayı İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümü öğrencilerinden Engin ERÇETİN'e teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmada kullanılan yer radarı yazılımı ile ilgili her soruna çözüm bulan Dr.Dean GOODMAN'a teşekkür ederim. Eğitim öğrenim hayatım boyunca kendilerinden çok şey öğrendiğim bölüm hocalarım Prof.Dr. Zuhal DÜZGİT'e, Prof. Dr. Yıldız ALTINOK'a ve Doç. Dr. Nurdan SAYIN'a güler yüzlü desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Pozitif enerjileri ve her dönemdeki destekleri için Prof. Dr. Mustafa Kemal TUNÇER'e ve Prof. Dr. Oğuz ÖZEL'e teşekkür ederim. Çalışma hayatım boyunca desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Jeofizik Mühendisi Nurcan KAYA'ya, Araş. Gör. Hatice YEZİZ'e, Yard. Doç. Dr. Oya TARHAN BAL'a, Araş. Gör. Dr. Anisya B.TEKKELİ'ye, Araş. Gör. Berrak FIRAT'a, Araş. Gör. Gökhan KARCIOĞLU'na, Araş. Gör. Gülten ŞİMŞEK'e, Yard. Doç. Dr. Hakan ALP ve Yard.Doç.Dr.Savaş KARABULUT'a teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca heyecanıma ortak olan oda arkadaşım Araş.Gör.Hande AYKURT VARDAR'a sabrı ve desteği için teşekkür ederim. Hayatımın her döneminde bana hem ablalık hem de hocalık yapan Yard.Doç.Dr.Özlem MAKAROĞLU'na teşekkür ederim. Yurtdışında bulunduğum dönemde desteğini esirgemeyen Dr. Daniela ZAMUNER ve Daniele VERRECCHIA'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her güzel dönemlerini hep onlara borçlu olduğum AİLEM'e sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz,2014

Melda KÜÇÜKDEMİRCİ

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ .....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY .....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>4</b>
2.1. ARKEOLOJİK PROSPEKSİYON VE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ JEOFİZİK ÇALIŞMALAR.....	4
2.2.DÜNYADAN VE TÜRKİYE'DEN BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ JEOFİZİK ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER.....	8
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>13</b>
3.1. YER RADARI YÖNTEMİ.....	13
3.1.1.Yer Radarı Yönteminin Arkeolojik Alanlarda Uygulamaları.....	17
3.1.2. Yer Radarı Verilerinin Elde Edilmesi.....	18
3.1.3. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi .....	20
3.1.3.1. Radargramlar Üzerinde Uygulanan Veri İşlem Çalışmaları.....	20
3.1.3.2. 2 Boyutlu Zaman Dilimlerinin Hazırlanması ve Üzerinde Uygulanan Veri İşlem Çalışmaları .....	21
3.2. MANYETİK YÖNTEM.....	24
3.2.1. Manyetik Yöntemin Arkeolojik Alanlarda Uygulamaları .....	25
3.2.2.Arkeolojik Alanlarda Manyetik Anomalilerin Kaynağı .....	25
3.2.3. Manyetik Verilerin Elde Edilmesi .....	29
3.2.4. Manyetik Verilerin İşlenmesi.....	31
3.2.4.1.Uç değerlerin atılması (Despiking).....	31
3.2.4.2. Kutba indirgeme .....	32
3.2.4.3.Sentetik modellerin oluşturulması ve Kroskorelasyon .....	33

3.3. BÜTÜNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....	35
3.3.1. Veri Bütünleştirmede Matematiksel Yaklaşım .....	36
3.3.2. Veri Bütünleştirmede İstatistiksel Yaklaşım.....	37
3.3.2.1. <i>Temel bileşenler analizi (TBA) ve temel prensipleri</i> .....	37
3.4. ÇALIŞMA ALANLARI .....	40
3.4.1. Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü.....	43
3.4.2. Aizanoi Antik Kenti .....	44
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>46</b>
4.1. HERAION TEICHOS AKROPOLÜ YER RADARI VE MANYETİK YÖNTEM BULGULARI .....	46
4.1.1. Yer Radarı Yöntemi Sonuçları.....	48
4.1.2. Manyetik Yöntem Sonuçları .....	53
4.2. AIZANOI ANTİK KENTİ YER RADARI VE MANYETİK YÖNTEM BULGULARI .....	62
4.2.1. Yer radarı yöntemi sonuçları .....	63
4.2.2. Manyetik Yöntem Sonuçları .....	85
4.3. BÜTÜNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI BULGULARI.....	93
4.3.1. Sentetik veriler üzerinde bütünleştirme çalışmaları.....	93
4.3.2. Heraion Teichos Akropolü Bütünleştirme Sonuçları.....	98
4.3.3. Aizanoi Antik Kenti Bütünleştirme Sonuçları.....	115
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>123</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>127</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>136</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Şekil 3.1:</b> Zeus tapınağı çevresinde yer radarı çalışması (GSSI-SIR 3000 yer radarı sistemi ve 400 Mhz anten). .....	20
<b>Şekil 3.2:</b> Scintrex SM-5 Navmag Sezyum manyetometresi ile ölçüm alımı .....	30
<b>Şekil 3.3:</b> Heraion Teichos Akropolü güncel kazılarda tespit edilen arkeolojik yapılar .....	44
<b>Şekil 3.4:</b> Aizanoi Antik kentindeki arkeolojik yapılar .....	45
<b>Şekil 4.1:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü Yer radarı ve Manyetik yöntem çalışma alanlarının sunulduğu grid haritası .....	47
<b>Şekil 4.2:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü batı kısmı 0.50 metre derinliğe ait 2 boyutlu yer radarı anomali haritası .....	49
<b>Şekil 4.3:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü doğu kısmı 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimleri .....	50
<b>Şekil 4.4:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü doğu kısmı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu radarı zaman dilimleri .....	51
<b>Şekil 4.5:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü batı kısmı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimleri haritası.....	52
<b>Şekil 4.6:</b> a) Ham manyetik anomali haritası b) Uç değerlerin atılması sonrasında elde edilen manyetik anomali haritası c) Ham veriden atılan değerler .....	54
<b>Şekil 4.7:</b> a) Uç değerlerden arındırılmış manyetik anomali haritası b) Kutba indirgeme işleminden sonra elde edilen manyetik anomali haritası .....	55
<b>Şekil 4.8:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü uç değerlerin atılması ve kutba indirgenmesi işleminden sonra elde edilen tüm manyetik haritaların bir arada gösterimi. ....	56
<b>Şekil 4.9:</b> Otokorelasyon ve Kroskorelasyonda kullanılan örnek sentetik modeller. a) 30x30 boyutlarında düzenlenmiş 2 boyutlu sentetik anomali haritası b) 6x6 boyutlarında düzenlenmiş 2 boyutlu sentetik anomali haritası (parametreler: 0.003 SI süseptibilite kontrastı, 47000 nT manyetik alan değeri, 5° denklinasyon, 58° inklinasyon).....	58
<b>Şekil 4.10:</b> H4 gridinde elde edilen manyetik anomali haritaları a) ham veri b) Uç değerlerin atılması işleminden sonra elde edilen anomali haritası c) Kutba indirgeme işleminden elde edilen anomali haritası d) normalize edilmiş kross-korelasyon sonucu (0.0020 SI süseptibilite değeri ve 1 metre derinlik). ....	60
<b>Şekil 4.11:</b> Heraion Teichos Akropolü Kroskorelasyon sonuçları .....	61

<b>Şekil 4.12:</b> Aizanoi antik kenti topoğrafik ve arkeolojik yorum haritası.....	62
<b>Şekil 4.13:</b> Aizanoi antik kenti Zeus tapınağı hava fotoğrafı .....	63
<b>Şekil 4.14:</b> Zeus Tapınağı çevresi 0.40 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi..	64
<b>Şekil 4.15:</b> Zeus Tapınağı çevresi 0.60 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi..	65
<b>Şekil 4.16:</b> Zeus Tapınağı çevresi 0.80 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.	65
<b>Şekil 4.17:</b> Aizanoi Zeus Tapınağı altı .....	66
<b>Şekil 4.18:</b> Aizanoi Zeus tapınağı 0-0.67 metre derinlik aralığına karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	67
<b>Şekil 4.19:</b> Aizanoi Zeus tapınağı altı 3 boyutlu hacim modelleri gösterimi a) 3 boyutlu hacim modeli b) modele batı yönden bakış c) 2 boyutlu zaman/derinlik dilimi ve maksimum yansımaların bir arada sunulduğu hacim modeli .....	68
<b>Şekil 4.20:</b> Macellum ve Sütunlu Cadde alanı çalışma alanı.....	69
<b>Şekil 4.21:</b> Macellum alanı 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	70
<b>Şekil 4.22:</b> Macellum alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	71
<b>Şekil 4.23:</b> Macellum alanı 1.5 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	72
<b>Şekil 4.24:</b> Macellum (A anomalisi) 2 boyutlu yer radarı zaman dilimleri .....	73
<b>Şekil 4.25:</b> Macellum (A anomalisi) Yer radarı verilerinin 3 boyutlu yorumu .....	74
<b>Şekil 4.26:</b> Aizanoi Antik Kenti hamamı hava görüntüleri .....	75
<b>Şekil 4.27:</b> Hamam ve çevresi 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	76
<b>Şekil 4.28:</b> Hamam ve çevresi 0.75 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	77
<b>Şekil 4.29:</b> Hamam ve çevresi 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	77
<b>Şekil 4.30:</b> Nekropol çalışma alanı hava fotoğrafı .....	78
<b>Şekil 4.31:</b> Nekropol alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	79
<b>Şekil 4.32:</b> Nekropol alanı 0.75 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	79
<b>Şekil 4.33:</b> Nekropol alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi .....	80
<b>Şekil 4.34:</b> Torbau adı verilen alanda kente giriş kapısına ait olduğu düşünülen bloklar .....	81
<b>Şekil 4.35:</b> Torbau alanı 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.....	82
<b>Şekil 4.36:</b> Torbau alanı 0.75 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.....	83
<b>Şekil 4.37:</b> Torbau alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.....	84

<b>Şekil 4.38:</b> Aizanoi Tapınak AT4 gridi manyetik veriler a) Ham manyetik anomali haritası b) Uç değerlerin atılması işleminden sonra elde edilen anomali haritası .....	85
<b>Şekil 4.39:</b> Aizanoi tapınak AT4 gridi a) Uç değerlerden elimine edilmiş manyetik anomali haritası b) kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası .....	86
<b>Şekil 4.40:</b> Zeus Tapınağı çevresi manyetik anomali haritaları .....	87
<b>Şekil 4.41:</b> Torbau alanı manyetik anomali haritaları .....	88
<b>Şekil 4.42:</b> Torbau alanı manyetik yöntem kroskorelasyon sonuçları .....	91
<b>Şekil 4.43:</b> Zeus Tapınağı manyetik yöntem kroskorelasyon sonuçları .....	92
<b>Şekil 4.44:</b> Normalize edilmiş ve standardize edilmiş 2 boyutlu sentetik modeller a) Model 1 b) Model 2 c) Model 3 d) Model 4 .....	93
<b>Şekil 4.45:</b> Matematiksel bütünleştirme yaklaşımı a) Toplamlar b) Çarpımlar .....	94
<b>Şekil 4.46:</b> İstatistiksel bütünleştirme yaklaşımı (Temel Bileşen Analizi) .....	97
<b>Şekil 4.47:</b> İstatistiksel bütünleştirme yaklaşımı (Temel Bileşen Analizi) Bileşen 1 ve 2 nin toplamı .....	98
<b>Şekil 4.48:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü normalize edilmiş manyetik veriler ( uç değerler atılmış ve kutba indirgeme işlemi sonrası) .....	100
<b>Şekil 4.49:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü GPR 0 -1 metreyi temsil eden 3 adet zaman dilimlerinin toplamı (overlay) .....	101
<b>Şekil 4.50:</b> H2 gridi- normalize edilmiş manyetik anomali haritası b) 3 farklı derinliğe ait yer radarı verilerinin üst üste bindirilmiş ve normalize edilmiş anomali haritası c) Toplamlar d) Çarpımlar .....	103
<b>Şekil 4.51:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü –Tüm gridlere ait manyetik ve yer radarı verilerinin Toplamlar işleci ile elde edilen sonuçları .....	104
<b>Şekil 4.52:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü - Tüm gridlere ait manyetik ve yer radarı verilerinin Çarpımlar işleci ile elde edilen sonuçları .....	105
<b>Şekil 4.53:</b> H2 alanı için temel bileşenler analizi sonuçları a) Standardize edilmiş manyetik veri b) Standardize edilmiş Gpr123 c) 1. Bileşen .....	107
<b>Şekil 4.54:</b> Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü -Tüm gridlere uygulanan Temel Bileşen Analizi sonuçları -1. Bileşen .....	108
<b>Şekil 4.55:</b> H4 gridi için temel bileşenler analizi a) standardize edilmiş manyetik anomali haritası b) Standardize edilmiş yer radarı derinlik haritası (0.5 metre) c) Standardize edilmiş yer radarı derinlik haritası (1 metre) d) Standardize edilmiş yer radarı derinlik haritası (1.5 metre) e) 1. Bileşen f) 2. Bileşen g) 3. Bileşen h) 4. Bileşen .....	111
<b>Şekil 4.56:</b> Temel bileşen analizi H4 gridi a) 2. Bileşen b) 3. Bileşen c) 2. Bileşen ve 3. Bileşenin toplamı .....	112
<b>Şekil 4.57:</b> Heraion 1 mag-3Gpr Temel bileşen analizi sonuçları .....	114

<b>Şekil 4.58:</b> Heraion (1 mag-Gpr123) Temel bileşen analizi sonuçları .....	114
<b>Şekil 4.59:</b> Heraion (1 mag-Gpr123) toplamlar işleci sonuçları.....	114
<b>Şekil 4.60:</b> Aizanoi AG3 gridi a) Normalize edilmiş manyetik veri b) normalize edilmiş Gpr-123 (overlay) c) toplamlar d) Çarpımlar .....	116
<b>Şekil 4.61:</b> Torbau AG3 alanı a) normalize edilmiş manyetik veri b) normalize edilmiş Gpr123 c) 1.Bileşen.....	118
<b>Şekil 4.62:</b> Aizanoi AG3 gridi a) manyetik b) gpr-0.50 metre c) gpr-1 metre d) gpr-1.5metre	120
<b>Şekil 4.63:</b> Aizanoi AG3 gridi a) 2.Bileşen b) 3.Bileşen c) 2.ve 3.Bileşen toplamı ( % 48 varyans) .....	121
<b>Şekil 4.64:</b> Torbau alanı Manyetik ve yer radarı sonuçlarının bir arada sunumu.....	122

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 3.1:</b> Bazı malzemeler için radar parametresi değerleri (Milson,2003) .....	16
<b>Tablo 3.2:</b> Çalışma alanları ile ilgili bilgiler .....	42
<b>Tablo 4.1:</b> Sentetik model parametreleri.....	58
<b>Tablo 4.2:</b> Normalize edilmiş Kroskorelasyon sonuçları.....	59
<b>Tablo 4.3:</b> Otokorelasyon ve Kroskorelasyon işlemleri için oluşturulan model parametreleri .....	89
<b>Tablo 4.4:</b> Normalize edilmiş Kroskorelasyon sonuçları.....	90
<b>Tablo 4.5:</b> Veriler arasındaki kovaryans matrisi .....	95
<b>Tablo 4.6:</b> Temel Bileşen Analizi Sonuçları .....	95
<b>Tablo 4.7:</b> Bileşen skorları katsayıları .....	96
<b>Tablo 4.8:</b> Bileşenler ve Değişkenler arasındaki korelasyon değerleri .....	96
<b>Tablo 4.9:</b> Veriler arasındaki Kovaryans matrisi .....	106
<b>Tablo 4.10:</b> Temel bileşenler analizi sonuçları-H2 gridi.....	106
<b>Tablo 4.11:</b> Bileşen skorları katsayıları .....	107
<b>Tablo 4.12:</b> Veriler arasındaki Kovaryans matrisi .....	110
<b>Tablo 4.13:</b> Temel Bileşen analizi sonuçları –H4 gridi .....	110
<b>Tablo 4.14:</b> Bileşen skorları katsayıları .....	110
<b>Tablo 4.15:</b> Bileşenler ve Değişkenler arasındaki korelasyon değerleri .....	111
<b>Tablo 4.16:</b> Heraion Teichos Akropolü Temel bileşen analizi sonuçları.....	113
<b>Tablo 4.17:</b> Veriler arasındaki Kovaryans matrisi .....	117
<b>Tablo 4.18:</b> Temel Bileşen analizi sonuçları - AG3 gridi .....	117
<b>Tablo 4.19:</b> Bileşen Skorları katsayıları.....	117
<b>Tablo 4.20:</b> Veriler arasındaki Kovaryans matrisi .....	119
<b>Tablo 4.21:</b> Temel Bileşen analizi sonuçları – AG3 gridi .....	119

<b>Tablo 4.22:</b> Bileşen skorları katsayıları.....	119
<b>Tablo 4.23:</b> Bileşenler ve değişkenler arasındaki korelasyon .....	120

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b><i>B</i></b>	: Manyetik alan
<b><i>E</i></b>	: Elektrik alan
<b><i><math>\sigma</math></i></b>	: Elektriksel iletkenlik
<b><i><math>\mu_0</math></i></b>	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
<b><i><math>\epsilon</math></i></b>	: Dielektrik permitivite
<b><i>D</i></b>	: Elektriksel yerdeğiştirme
<b><i>J</i></b>	: Elektrik akım yoğunluğu
<b><i>v</i></b>	: Hız
<b><i><math>\alpha</math></i></b>	: Sönümlenme
<b><i><math>\omega</math></i></b>	: Açısal hız
<b><i><math>M_i</math></i></b>	: Tesirle mıknatıslanma
<b><i><math>M_r</math></i></b>	: Kalıntı mıknatıslanma
<b><i>Qn</i></b>	: Konisberger oranı
<b><i>F</i></b>	: Fourier dönüşümü
<b><i>T<sub>r</sub></i></b>	: Kutba indirgenmiş manyetik anomali
<b><i>T</i></b>	: Manyetik anomali

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>TBA</b>	: Temel Bileşenler Analizi
<b>GPR</b>	: Yer radarı (Ground Penetrating Radar)

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

#### ARKEOLOJİK ALANLARDA MANYETİK VE YER RADARI (GPR) YÖNTEMİ UYGULAMALARI

Melda KÜÇÜKDEMİRCİ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman :Prof. Dr.Niyazi BAYDEMİR

II.Danışman: Dr.Salvatore PIRO

Bu çalışmada, Aizanoi Antik Kenti ve Heraion Teichos Akropolü'nde sığ derinliklerde gömülü kalmış arkeolojik kalıntıların tespit edilebilmesi ve bunların fiziksel ve geometrik özelliklerinin tanımlanması için Manyetik ve Yer Radarı (GPR) yöntemleri uygulanmıştır. Her iki jeofizik yöntemle elde edilen veriler önce birbirinden bağımsız şekilde incelenmiştir. Her iki yöntemde de yeraltında kalıntılara ait temeller, duvarlar ve yol olabileceği düşünülen düzgün geometrik özelliklere sahip anomaliler gözlenmiştir. Çalışmanın esas amacı, bütünleştirme tekniklerinden yararlanarak gözlenen bu anomaliler hakkında daha net ve kesin bilgilerin elde edilmesidir. Bütünleştirme teknikleri kapsamında, matematiksel yaklaşımlar olan Toplamlar ve Çarpımlar işlemleri ve istatistiksel bir yaklaşım olan Temel Bileşen Analizi'nden yararlanılmıştır. Sentetik veriler ve arazi verilerine uygulanan bütünleştirme çalışmaları sonucunda, her bir bütünleştirme yaklaşımı ile yeraltındaki anomaliler ile ilgili birbirinden farklı ve önemli bilgiler elde edilmiştir. Temel bileşen analizi yaklaşımının diğer matematiksel işlemlere alternatif bir çözüm olabileceği sonucuna varılmıştır.

Temmuz, 2014, 149 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Arkeolojik Prospeksiyon, Manyetik Yöntem, Yer Radarı yöntemi (GPR), Bütünleştirilmiş Jeofizik, Temel Bileşenler Analizi

## **SUMMARY**

### **Ph.D THESIS**

#### **THE APPLICATION OF MAGNETIC AND GROUND PENETRATING RADAR (GPR) METHODS ON ARCHAEOLOGICAL SITES**

**Melda KÜÇÜKDEMİRÇİ**

**Istanbul University**

**Graduate School of Science and Engineering**

**Department of Geophysical Engineering**

**Supervisor : Prof.Dr.Niyazi BAYDEMİR**

**Co-Supervisor : Dr.Salvatore PIRO**

In this study, Magnetic and Ground penetrating radar (GPR) methods were applied to identify the geometric and physical properties of buried archaeological features under the ground in Aizanoi Ancient City and Heraion Teichos Acropole. Primarily, the magnetic and ground penetrating data were examined individually by the reference of archeological maps. Using two different geophysical methods, the anomalies which are related to possible walls, roads or foundations were identified. In order to have more clear informations about these anomalies, integration techniques were applied on both synthetic data and field data. For the integration process, mathematical approaches as Sums and Products and statistical approach as Principal Component Analysis are applied. The results of all integration approaches provided more details about the anomalies related to archaeological features. Particularly, the application of Principal Component Analyse is thought to be an alternative technique for mathematical approaches. By using all those applications, it is clear to obtain a complementary images about the archaeological relics under the ground.

July, 2014, 149 pages

**Keywords:** Archaeological Prospection, Ground Penetrating Radar (GPR), Magnetic method, Integrated Geophysics, Principal Component Analysis

## 1. GİRİŞ

Arkeoloji bilimi, doğası gereği çalışmalarının her sürecinde birçok bilim dalı ile ortaklaşa çalışır. Bu bilim dallarına; biyoloji, zooloji, antropoloji, botanik, coğrafya, sanat tarihi, felsefe, kimya, jeoloji ve jeofizik örnek olarak verilebilir. Arkeoloji bilimi bu açıdan diğer bilimler için adeta bir *zaman laboratuvarıdır* (Özdoğan, 2011).

Arkeoloji ile işbirliğindeki bu çalışmalar için ilk kullanılan terim olan *Arkeometri*; daha çok tarihleme teknikleri, malzeme analizi gibi fiziksel ve kimyasal ölçümleri kapsayan genel bir tanım olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tanım ilk olarak; “*çeşitli fen ve doğa bilim dallarının arkeolojik problemleri çözümede kullanılması*” anlamında Oxford Üniversitesi Arkeoloji ve Sanat Tarihi Araştırma Laboratuvarı tarafından 1958 yılında kullanılmıştır. Aslında Arkeometrinin başlangıcının 19. yüzyılın başlarına dayandığı söylenmektedir. Bazı heykel, sikke ve cam malzemeler üzerinde kimyasal analizlerin yapılması, yıllık ömürlü bitki kalıntılarında Varv analizinin uygulanması, dendrokronoloji adı verilen çalışmalarla uzun ömürlü ağaçların yatay kesitlerindeki halkaların sayılarak ağacın yaşının belirlenmesi, polinoloji adı verilen çalışmalarla çiçek tozlarının analizlerinin yapılması ve radyoaktif karbon 14’un ölçülmesi gibi bazı materyallerin mutlak yaş tayini ve kimyası ile ilgili araştırmaların Arkeometri adı altında yeni bir boyut kazandığı ve bugünkü konumuna kavuştuğu söylenmektedir. Bu gelişmeler ve sonuçları, arkeoloji biliminin diğer bilim dallarıyla birbirlerine olan karşılıklı bağımlı açığa ortaya koymaktadır. Bu tür ortak çalışmalar geçmişi, uygarlıkların sosyal ve kültürel yaşamlarını, çevreleriyle olan ilişkilerini, ekolojik yaşamı ve teknolojileri hakkındaki bilgileri daha kesin verilerle ortaya koymak için oldukça önemlidir (Esin,1985).

*Arkeoloji ve yerbilimleri* adına yapılan çalışmaların ilk adımları daha eskiye dayansa da terim olarak 1976’da Colin Renfrew tarafından *Arkeojeoloji* olarak kullanılmıştır. Avrupa’da arkeojeoloji terimi benimsenmişse de Kuzey Amerika’da o dönemlerde Arkeometri terimi daha çok benimsenmiştir (Herz ve Garrison,1998).

Günümüzde, çalışma konuları daha detaylandıkça bu çalışma alanları da alt dallara ayrılmakta ya da tek bir başlık altında toplanmaktadır. Arkeojeoloji terimi zaman zaman *Jeoarkeoloji* olarak kullanılabilmekte, hatta Biyoarkeoloji ve Jeoarkeoloji'yi kapsayan *Çevresel arkeoloji* konu başlığında daha genel bir çerçeveye alınmaktadır (Yamazaki, 2010).

Terimlerden de anlaşılacağı gibi başlarda yerbilimleri ve arkeoloji işbirliği, ağırlıklı olarak arkeolojik alanlardaki ya da arkeolojik malzemeler kullanılarak jeolojik problemlerin çözümüne yönelik çalışmalar olsa da alet ve yazılım teknolojisindeki gelişmelerle birlikte jeofizik çalışmalar başlamış ve literatüre ismini yazdırmıştır.

Jeofizik uygulamalar, gerek kazı öncesi prospeksiyon (*arama*) amaçlı çalışmalar, gerekse gün yüzüne çıkarılmış arkeolojik değere sahip materyaller üzerinde yapılan birçok laboratuvar çalışmalarıyla arkeolojik çalışmalara destek verebilmektedir. Bu çalışmalara; arkeosismoloji, arkeomanyetizma, arkeolojik prospeksiyon çalışmaları örnek olarak verilebilir.

Bu tez çalışmasının da önemli bir kısmını kapsayan ve kendi içerisinde birçok yöntemi barındıran prospeksiyon terimi; yeraltındaki gözle görülmeyen malzemelerin, yapıların, birimlerin belirlenmesi olarak tanımlanmıştır. Günümüzde evrensel literatürde prospeksiyon terimi direk olarak jeofizik yöntemlerle ilişkilendirilmektedir ve arkeolojik alanlardaki problemleri çözme amaçlı konuları içerdiğinde *arkeolojik prospeksiyon* adını almaktadır (Linford, 2006). Ülkemizde de bu çalışmalar arkeolojik prospeksiyon veya arkeojeofizik çalışmalar olarak kabul görmüştür. Bu tez çalışmasında ise arkeolojik prospeksiyon terimi benimsenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, arkeolojik ve tarihsel olarak büyük öneme sahip Aizanoi Antik Kenti ve Heraion Teichos Akropolü'nde, Manyetik ve Yer Radarı (GPR) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmanın amacı; bu arkeolojik alanlarda, yeraltında saklı kalmış olası arkeolojik kalıntıların jeofizik parametreler yardımıyla yerlerinin, derinliklerinin, uzanımlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, yeraltındaki olası arkeolojik yapı ile ilgili kesin ve daha net sonuçların elde edilmesi için jeofizik yöntemlerle elde edilen veriler, bütünleştirme tekniklerinden yararlanarak yorumlanmıştır.

Günümüzde, özellikle arkeologlarının yoğun ilgisi ve ortak çalışmalara verdikleri önem sayesinde ülkemizdeki arkeolojik prospeksiyon çalışmaları artmaya başlamıştır. Bu gelişme, jeofizik yöntem ve yeni yorumlama tekniklerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır. Yeni yorumlama tekniklerinin öğrenilmesi ve geliştirilmesi özellikle arkeolojik problemin çözülmesinde daha kesin sonuçların elde edilmesi olanağı sunmaktadır. Diğer yandan, jeofizik çalışmaların desteği ile gün yüzüne çıkarılacak arkeolojik alanların dolaylı olarak ekonomiye, turizme ve en önemlisi kültürel mirasın ortaya çıkarılması ve korunmasına çok büyük katkısının olduğu düşünülmektedir.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ARKEOLOJİK PROSPEKSİYON VE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Arkeolojik yapı ve malzemeleri içeren birçok kültürel katman, doğal jeolojik süreçler ve antropojenik etkiler sebebiyle yeraltında gömülü kalmıştır. Kazı öncesinde arkeolojik alanların sınırlarının belirlenmesi, yapıların ve malzemelerin tanımlanmasının yanı sıra kazının bu bulgulara göre yönlendirilmesi, çalışma programının oluşturulması, özellikle çalışma süresinin ve bütçesinin planlanabilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu noktada çalışma alanının şartlarına, aranılan yapı ve malzemelerin fiziksel özelliklerine uygun olarak seçilen jeofizik yöntemlerle yapılacak arkeolojik prospeksiyon çalışmalarıyla, yer altının sığ derinliklerinde gömülü kalmış arkeolojik yapılar/kalıntılar tespit edilebilmekte, fiziksel ve geometrik özellikleri tanımlanabilmektedir. Diğer bir deyişle; jeofizik çalışmalarla yeraltında gömülü kalmış arkeolojik değere sahip yapı ve malzemeler, onların ve ortamın fiziksel özelliklerinden yararlanarak görünebilir hale getirilmektedir (Drahor, 2005).

Arkeolojik prospeksiyon çalışmalarında en çok kullanılan jeofizik yöntemler; manyetik yöntem, elektrik öz direnç yöntemi, yer radarı, mikrogravite ve elektromanyetik yöntemleridir. Bunların yanında ihtiyaç duyulduğunda süseptibilite ölçümlerine, doğal potansiyel (SP) yöntemi, ısı kızılotesi, sismik kırılma ve yansıma gibi yöntemlere de başvurulabilmektedir. Jeofizikçiler, son dönemlerde hava fotoğrafı (aerial photography) ya da uzaktan algılama (remote sensing) yöntemlerine de sıklıkla başvurmaktadır.

*Manyetik prospeksiyon yöntemi*, arkeolojik alanlarda en sık kullanılan önemli bir pasif yöntemdir (Aitken, 1974; Weymouth, 1986; Gibson, 1986). Manyetik yöntem ile, yeraltındaki yapıların ve etrafındaki toprak malzeme arasındaki süseptibilite kontrastı ve yapıların şekil farklılıklarından kaynaklanan manyetik alan değişimleri ölçümlenmektedir. Bu yöntem, arkeolojik alanlardaki fırın, ocak, yanma çukurları, demir minerali içeren

malzemeler, özellikle pişmiş kilden yapılan su kanalları, tuğla, kiremit ve çanak çömlek gibi kalıntıların aranmasında oldukça etkilidir.

Arkeolojik alanlarda uygulanan diğer bir pasif yöntem ise *mikrogravitedir*. Yüksek duyarlılıklı gravimetreler kullanarak antropojenik malzemeler ve etrafındaki matriks arasındaki yoğunluk farkından yararlanarak boşluk, mezar odaları, duvarlar belirlenebilmekte ve fiziksel özellikleri tanımlanabilmektedir.

*Elektrik özdirenç yöntemi* de arkeolojik alanlardaki prospeksiyon çalışmalarında sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Yöntem, yeryüzündeki belirli bir noktadan yer içerisine büyüklüğü bilinen bir elektrik akımının verilmesi ve kullanılan elektrot dizilimi vasıtasıyla yer içerisinde oluşan gerilim farkının saptanması şeklinde uygulanmaktadır. Yeraltındaki gömülü yapılar ile onları çevreleyen toprak arasındaki özdirenç kontrastı oranı yapıların belirlenmesinde önemli etmendir. Mezarlar, hendekler ve ana kaya derinliğinin bulunması için etkin bir yöntemdir.

*Elektromanyetik yöntemler*, arkeolojik çalışmalarda hem iletkenliğin hem de manyetik süseptibilitenin ölçüldüğü bir yöntemdir. Elektromanyetik dalganın yeraltındaki yayılımı sırasında hedef yapıdan kaynaklanan ikincil alanlar ölçülmektedir. Bu yöntemle, metalik nesnelere, duvarlar, mezarlar, ocaklar ve fırınların yerleri belirlenebilmektedir.

*Yer radarı yöntemi* ise yakın yüzey araştırmaları için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik, jeofizik yöntemdir. Yer içinde ilerleyen elektromanyetik dalgalar, anomali verecek herhangi bir nesne ile karşılaştıklarında yansıma ve saçılmaya uğrayarak tekrar yüzeye ulaşırlar ve alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçı yardımıyla zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir ve yorumlanır. Yer radarı yöntemi, mezar, temel, duvar, boşlukların belirlenmesi için uygun bir yöntemdir.

Arkeolojik prospeksiyon çalışmalarında *Havadan fotoğraflama* ya da *uzakta algılama* çalışmaları da son dönemde önem kazanmıştır. Arkeolojik alanlarda, ışık-gölge kontrastı, zemindeki malzemedeki veya yükseklikte kaynaklanan tonal farklar ya da kontrastlar (*soil marks*) ve işlenmiş bitki örtüsünden kaynaklanan renk değişimleri (*crop marks*) gözlenmektedir. Dolayısıyla, yerleşimlerin olduğu yerler ya da arkeolojik yapılar bu yöntemlerle kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

Belirtildiği üzere, uygulanan her bir yöntem farklı parametrelere duyarlıdır ya da farklı parametreler aracılığıyla anomaliler elde edilmektedir. Bunların yanında yöntemin başarısını etkileyen ve göz ardı edilmemesi gereken birçok faktör vardır. Bunlar; aranılan *arkeolojik yapıların özellikleri* ve *çevresel etkiler* olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

*Arkeolojik yapıların özellikleri* diğer bir deyişle “doğası”, yapıların fiziksel ve geometrik özelliklerdir. Yukarıda bahsedilen arkeolojik alanlarda uygulanan tüm jeofizik yöntemler için, arkeolojik materyal ile onları çevreleyen matriks arasındaki bazı özelliklerin farklılığı yani *kontrast* kavramı çok önemlidir. Kalıntılar bazen sıkışma, nem tutma, dolgu içeriği, organik içerik, yanmışlık gibi özelliklerden dolayı kontrast yaratabilirler. Bu ayırt edici özellikler, manyetizma, elektrik özdirenç, radar enerjisini yansıtma özelliği gibi jeofiziksel özelliklerle ilişkilendirilebilmektedir (Scollar ve diğ., 1990). Kontrast kavramı, verilerde karşımıza anomali olarak çıkmaktadır. Jeofizik çalışmalar, bu anomalilerin tanımlanması ve yorumlanmasına dayanmaktadır. Anomaliyi oluşturan kontrast kadar bu anomalilerin belirli bir düzen içinde olması da bunların kültürel bir yapı yada arkeolojik değeri olan malzemeler olarak yorumlanabilmesi açısından önemlidir.

Diğer yandan, arkeolojik malzemenin kazıda çok belirgin bir şekilde varlığı/görünürlüğü, jeofizik anomalide yüksek kontrast ile tanımlanacağı anlamına gelmeyebilir. Benzer şekilde ölçümlerde çok belirgin, ayırt edilebilir gözükten anomaliler de elle tutulur, gözle görülür bir arkeolojik malzemeye ait olmayabilir. Örnek olarak manyetik yöntemde, aranılan yapı ile onu saran yapı arasında belirli bir süseptibilite kontrastı olmadığı durumlarda, olumlu sonuç almak zordur (Ernenwein ve Hargrave, 2007).

Anomalinin kaynağını tanımlayabilmek detaylı çalışma ve deneyimlere dayanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, arazi çalışması öncesinde, üzerinde çalışma yapılacak alan ve aranılan arkeolojik yapıların özellikleri, etraftaki bozucu etkiler ile ilgili ön bir çalışma yapılmalı, çalışmada uygulanacak en uygun yöntem seçilmelidir. Fakat bazen bu ön çalışmalar da yetersiz kalmaktadır. Şöyle ki; örnek olarak ülkemiz topraklarında yüzyıllar boyunca farklı dönemlerde birçok medeniyet yaşamış ve adeta yeraltında farklı dönemlere ait kültür katmanları oluşmuştur. Zaman zaman aranılan arkeolojik

kalıntılar, alışılmışın dışında yani yapıldıkları dönemde yaygın ve bölgesel olarak kullanılan malzemelerden farklı olarak devşirme malzeme kullanılarak da yapılabilmektedir. Bazen de aynı yapının farklı kısımlarında farklı malzeme kullanılmış olmaktadır. Bu durum hedeflenen yapının fiziksel özelliklerine göre seçilen jeofizik yöntemlerin sonuçlarını etkileyebilmekte, aranılan yapıyı bir bütün olarak görüntülemenize olanak vermemektedir.

*Çevresel etkiler ise;* yerin temelde elektrik ve manyetik özelliklerindeki değişimlerinden ve zaman zaman arazi şartlarından, uygulanacak yönteme ait aletlerin duyarlılığından ve ölçümler sırasında araştırmacıdan kaynaklanan etkilerdir. Örnek olarak; özellikle elektrik, iletkenlik ve yer radarı gibi elektrik özelliklere bağlı olan yöntemler, arazi çalışmasının yapıldığı ortamın nem oranı, tuzluluk, toprak tipi, iletkenlik gibi özelliklerinden çok fazla etkilenmektedir. Aynı şekilde, manyetik ve arazide yapılan süseptibilite ölçümleri ise özellikle ortamın manyetik özelliklerinden etkilenmektedir. Çalışma alanı üzerinde mağmatik kayaların varlığı, ya da yüzeyde küçük de olsa dağınık metalik objelerin bulunması, ana kayanın yüzeye yakın oluşu, modern alt yapıların varlığı, köstebek çukurları gibi hayvan yuvaları manyetik yöntem için bozucu etki yaratmaktadır ve gürültü kaynaklarıdır (Kvamme, 2001, 2006; Clay, 2001; Gaffney ve Gather, 2003).

Bu tür çalışmalarda en son akla gelen bu olsa da, üzerinde çalışma yapılacak alanın şartları da göz önünde bulundurulmalıdır. Etrafta bulunan demir çitler, duvarlar, yoğun bitki örtüsü ve ağaçlar çalışmaları zorlaştırmaktadır. Birçok alet, otomatik olarak belirlenmiş zaman ölçeğine ya da uzunluk aralıklarında düzenli olarak ölçü alacak şekilde düzenlenmiştir. Fakat bu tür bozucu etkiler veri toplama temposunu düşürmekte, çalışmayı aksatmakta ve yanlış ölçü alınmasına sebep olmaktadır.

Bölgesel değişimler de çalışmaların başarısını etkileyen önemli faktörlerdir. Örnek olarak; daha çok güney yarım küredeki geç prehistorik alanlar, genelde düşük nem oranına sahip, iri taneli toprak içeriği ile karakterize edilmiştir. Dolayısıyla, kuru toprak elektrik özdirenç yöntemi için çok uygun değilse de yer radarı yöntemi için elverişli bir ortamdır. Kuzey yarım küredeki geç prehistorik alanlar ise, daha çok yüksek nem oranına sahip killi toprak ile karakterize edilirler ve genelde geniş bir bitki örtüsüne sahiptir. Bu tip yerlerdeki arkeolojik alanlarda çok fazla taş ve kerpiç duvarlar

kullanılmamaktadır. Nemin ve iletkenliğin fazla olduğu bu bölgelerde, manyetik ve elektrik özdirenç yöntemleri için uygun olabilir ama yer radarı yönteminin uygulanması için elverişli değildir. Yine güneyde çok sık rastlanan sıcak iklim, baskın bir bitki örtüsü ve demir oksitlerce zengin toprak üzerine kurulan geç prehistorik dönem yerleşimlerinde evler genellikle örme duvarlarla karakterize edilmiştir ve manyetik yöntemle tespit edilebilmektedir (Ernenwein ve Hargrave, 2007).

İşte yukarıda bahsedilen çevresel etkiler ve aranılan yapıların özelliklerinden kaynaklanan problemlerin çözümü veya tek bir yöntemin yetersiz kaldığı düşünölen çalışmalarda daha net ve kesin sonuçların elde edilebilmesi için son yıllarda farklı jeofizik yöntemlerin nitel ve nicel yaklaşımlardan yararlanılarak bütünleştirilmesi (*integrated geophysics*) yoluna gidilmektedir.

Tez çalışması kapsamında, önce her bir yöntem kendi fiziksel parametreleri göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır. Daha sonra ise, bütünleştirme işlemleri için matematiksel yaklaşım tekniklerinden ve genelde uzaktan algılama çalışmalarında çok sık kullanılan ve çok boyutlu verilerin bütünleştirilmesi amacıyla uygulanan istatistiksel yaklaşım tekniklerinden yararlanılmıştır.

## **2.2.DÜNYADAN VE TÜRKİYE'DEN BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ JEOFİZİK ÇALIŞMALARDAN ÖRNEKLER**

Dünya literatüründe önceleri, arkeolojik problemlerden yola çıkarak, Weymouth (1986); Brizzolari ve diğ., (1992); La Penna ve diğ., (1992); Piro (1996)'nın araştırmalarında olduğu gibi birçok araştırmacı, daha doğru veri eldesi ve veri işleme tekniklerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bunun yanında, Doneus ve Neubauer, (1998); Bozzo ve diğ., (1994); Neubauer ve diğ.,(1997); Piro ve diğ., (1998) ise; arkeolojik alanlarda bütünleştirilmiş jeofizik çalışmalara öncülük etmişlerdir.

Dünyada ve Türkiye'de arkeolojik araştırmalarda bütünleştirilmiş jeofizik çalışmalar ile ilgili güncel örnekler aşağıda sunulmuştur.

Piro ve diğ., (2000)'de nicel bütünleştirme tekniklerini sentetik veriler ve arazi verileri üzerinde uygulamışlardır ve bütünleştirme tekniklerinin yapıların yerlerinin

uzanımlarının, derinliklerinin belirlenmesinde oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Neubauer ve diğ., (2002)'de yer radarı, manyetik ve elektrik özdirenç yöntemleriyle elde ettiği verileri karşılaştırmalı olarak yorumlamıştır. Verilerin bütünleştirilmesi işleminde nitel yaklaşımlardan yararlanarak Carnuntum arkeolojik alanındaki bir villanın tüm detayları tespit edilmiştir.

Kamei ve diğ., (2002)'de yer radarı, elektromanyetik yöntem ve manyetik yöntem verilerini karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

Kvamme, (2003)'de yaptığı çalışmasında dört ayrı arkeolojik alanda manyetik, elektrik, iletkenlik ve yer radarı yöntemleri ile elde ettiği verileri karşılaştırarak yorumlamıştır. 2006 ve 2008'de yaptığı çalışmalarda ise jeofizik verileri nicel bütünleştirme yoluna gitmiştir.

Murdie ve diğ., (2003)'de, Shrophire 'da arkeolojik alandaki hendeğin tespiti için manyetik, elektrik özdirenç yöntemi, yer radarı yöntemlerini uygulayarak bir arada yorumlamışlardır.

Ghazala ve diğ., (2003)'de, Tell Toukh El-Qaramous arkeolojik alanında, manyetik düşey gradiyent ve elektrik özdirenç yöntemini kullanarak çalışmalar yapmışlardır.

Maillol ve diğ., 2004 yılında Movila lui Deciov erken neolitik antik şehri kalıntılarının elektrik özdirenç ve manyetik yöntem ile tespit edilmesi üzerinde durmuşlardır.

Güney İtalya'nın Basilicata bölgesindeki Serra di Vaglio arkeolojik alanında, yer radarı, manyetik süseptibilite ölçümleriyle elde ettikleri verileri bütünleştirme tekniklerinden yararlanarak yorumlamışlardır (Chianese ve diğ., 2004). Bu çalışmada ayrıca yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknikleri kullanılmıştır.

Gaffney ve diğ., (2004)'te Forum Novum' da yer radarı, elektrik özdirenç ve manyetik yöntemlerden elde edilen verileri karşılaştırılmalı olarak yorumlayarak, yeraltında gömülü kalmış birçok arkeolojik malzemenin varlığını tespit etmişlerdir.

Vafidis ve diğ., (2005)'te, Yunanistan'da bulunan Itanos arkeolojik alanında elektrik özdirenç, manyetik ve yer radarı yöntemlerini uygulayarak bütünleştirilmiş bir şekilde yorumlamışlardır. Bu çalışmalarında, özellikle verilerin işlenmesi sürecinde kullandıkları algoritmalarından detaylı olarak bahsedilmektedir.

Diamanti ve diğ., (2005)'te, Yunanistan'da Europos arkeolojik alanında elektrik özdirenç ölçümlerine iki boyutlu ters çözüm uygulamaları yapmışlar ve toplam alan manyetik ölçümleriyle karşılaştırmışlardır.

Mısır'daki Al Zayyan tapınağı çevresinde yapılan çalışmada (Atya ve diğ., 2005) ise manyetik gradyometri ve yer radarı yöntemi ile elde edilen veriler, topoğrafik haritalar üzerinde tanımlanan arkeolojik verilere bağlı olarak yorumlanmıştır.

De Domenico ve diğ., (2006)'da İtalya'nın Sicilya bölgesinde bulunan Tindari arkeolojik alanında uygulamış olduğu sismik kırılma tomografisi ve 3 boyutlu elektrik özdirenç yöntemlerini karşılaştırmışlardır.

Papadopoulos ve diğ., (2006)'da, Poros antik kentinde, yer radarı, elektrik özdirenç ve manyetik yöntemleri karşılaştırılmalı olarak yorumlayarak yeraltındaki yapıları tespit etmişlerdir.

Meyer ve diğ., (2007)'de İspanya'nın Mungia bölgesinde yaptıkları çalışmada elektrik, IP ve yer radarı yöntemleri kullanarak bu şehrin surlarını ortaya çıkarmışlardır.

Finzi ve diğ.,(2007)'de yaptıkları çalışmada antik Montegrotto Termal alanında yer radarı, elektrik özdirenç ve manyetik yöntemleri yorumlayarak, kullandıkları yöntemlerin etkinliğini test etmeyi amaçlamışlardır.

Piro ve diğ., (2007), yer radarı ve lazer tarama yöntemleri kullanarak, Tarquina antik kentinde arkeojeofizik uygulamalar yapmışlardır.

Ciminale ve diğ., (2007) ve Gallo ve diğ.,(2009)'da Oblik hava fotoğrafları, topoğrafik haritalar ve manyetik ölçümlerden elde edilen verileri, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla bütünleştirmişlerdir.

Nuzzo ve diğ., (2009)'de, yer radarı, elektrik özdirenç ve manyetik ölçümler yaparak Hierapolis antik şehrinde yeraltında gömülü kalmış arkeolojik yapı ile ilgili yorumlamalar yapmışlardır.

İtalya'nın Tuscany bölgesinde Campana ve diğ., (2009) tarafından yapılan ve oblik hava fotoğraflama, manyetik, elektrik özdirenç ve yer radarı uygulamalarının birlikte uygulandığı bütünleştirilmiş jeofizik çalışmalara örnek olarak verilecek önemli bir çalışmadır.

Bazı jeofizik yöntemler sadece açık alanlarda değil, kilise, cami, katedral gibi kapalı yapıların içlerinde de uygulanmaktadır. İspanya'da bulunan Mallorca katedrali içinde ve etrafında yapılan yer radarı, elektrik özdirenç ve mikrotremör araştırmaları (Perez-Gracia ve diğ., 2009) bu tür çalışmaların güzel bir örneğidir.

Piro ve diğ., 2011 yılında Aquinum antik kentinde yaptıkları çalışmada ise yer radarı verileri ile oluşturulan 2 boyutlu anomali haritaları arkeolojik verilerle bütünleştirilmiştir.

De Clercq ve diğ., (2012)'de yaptıkları çalışmada hava veya uydu fotoğrafları ile görüntülenemeyen arkeolojik alanın tespitinde bütünleştirilmiş jeofizik yöntemlerden yararlanmışlardır.

İtalya'nın Bari kentinde bulunan St.Nicholas yer altı türbesindeki mozaiklerin yer radarı yöntemi ile tespiti ve bu mozaiklerden alınan örneklerin laboratuarda X-ray, ion kromotografi, kızılötesi spektroskopisi, termogravimetrik analizlerden geçirilerek incelenmesini kapsayan bir çalışma Calia ve diğ., (2013) tarafında yapılmıştır.

Yukarıda konu ile ilgili dünyanın birçok yerinde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Görüldüğü gibi çalışmalar çoğunlukla arkeolojik alan potansiyeline sahip İtalya, Almanya ve Yunanistan'dan araştırmacıların yaptığı çalışmalardır. Farklı kültürlere ve dönemlere ait birçok arkeolojik alan barındıran ülkemizde son dönemde gerek ulusal gerekse uluslararası araştırmacılar tarafından ilgiyle takip edilmekte ve arkeolojik prospeksiyon çalışmaları yapılmaktadır.

Ülkemizde arkeolojik problemi çözmek amacıyla tek bir yöntem kullanılarak yapılan birçok prospeksiyon çalışmaları vardır ve giderek artmaktadır. Son dönemde ülkemizde yapılan bütünleştirilmiş jeofizik çalışmalar ise şu şekildedir;

Tohon ve diğ., (2004)'te Sagalassos antik kentinde arkeosismoloji çalışmaları kapsamında elektrik özdirenç yönteminden yararlanılmış geçmişte yaşanan depremlerin izlerini takip etmeye çalışmışlardır.

Drahor, (2006)'da Sardis antik kentinde manyetik, elektrik, VLF ve sismik yöntemlerden yararlanarak karşılaştırmalı yorum yoluna gitmiştir. Drahor ve diğ., (2008)'de Zeugma 'da yaptığı çalışma da ise manyetik yöntem ve elektrik tomografi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu tür çalışmalar açık alanlarda olduğu kadar bina içlerinde de uygulanabilmektedir. Drahor ve diğ.,(2011)'de İzmir'de bulunan Agios Voukolos kilisesinde yaptıkları çalışma bunlara örnektir.

Arısoy ve diğ. (2007)'de Bayat'ta bulunan mezar yapılarının tespiti için yüksek çözünürlüklü manyetik verilerle, arkeolojik verileri karşılaştırmıştır.

Nuzzo ve diğ., (2009)'da yaptığı çalışmada Hierapolis antik kentinde yaptığı çalışmada yer radarı, elektrik tomografi ve manyetik yöntemleri bütünleştirilmiş bir şekilde sunmuştur.

Leucci ve diğ.,(2013)'te yaptığı çalışmada ise arkeolojik bilgilerle yer radarı verilerini bütünleştirerek yorumlamışlardır.

Kadıoğlu ve diğ.,(2013)'te yer radarı verilerinin yanı sıra polarize mikroskop ile elde edilen verileri bir arada yorumlamışlardır.

2000' li yıllarda başlayan ve günümüze kadar olan çalışmalar incelendiğinde bütünleştirilmiş çalışmalar son yıllarda oldukça artmıştır. Bütünleştirme tekniği bakımından ise; çalışmaların birçoğunun nitel bütünleştirme tekniklerinden yararlandıkları, nicel yaklaşımın ise daha az uygulandığı görülmektedir.

Bu çıkarımdan yararlanarak, nicel bütünleştirme tekniklerinin öğrenilmesi, geliştirilmesi ve verilere uygulanması bu tez çalışmasının önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Daha önce de bahsedildiği gibi arkeolojik alanlarda özellikle sığ derinlerdeki arkeolojik değere sahip kalıntıların yerleri, uzanımları ve derinlikleri hakkında bilgi edinmek için birçok jeofizik yöntem uygulanabilmektedir. Her bir jeofizik yöntemin, arkeolojik yapı özelliklerine ya da etrafındaki doğal matrisin özelliklerine bağlı olarak farklı cevapları, avantajları ya da sınırlamaları olabilmektedir. Uygulanan tüm yöntemler, kültürel kaynaklı olası arkeolojik yapıların tespit edilmesi amacıyla, jeolojik amaçlı uygulamaların aksine, belirlenen çalışma alanı içinde hem düşey hem de yatay değişimlerin incelenmesi noktasında bulunmaktadır ( Clark, 2000; Gaffney ve Gather, 2003).

Arkeolojik alanlarda uygulanacak en uygun ve etkin yöntemin seçimi çok önemlidir. Çalışmanın başarısını etkileyebilecek faktörler göze alınarak, farklı zamanlarda farklı aletlerin kullanıldığı ve farklı ölçüm tekniklerini içeren test çalışmaları sonucunda bu tez çalışmasında Yer radarı ve Manyetik yöntemin uygulanması uygun bulunmuştur.

#### 3.1. YER RADARI YÖNTEMİ

Yer radarı yöntemi, verici antenle yeraltına gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların, yer içinde yayılımı sırasında farklı elektrik ve manyetik özelliklere sahip süreksizliklerle karşılaştığında, yansıyan enerjinin bir kısmının yüzeydeki alıcı antende kaydedilmesi ve bu seyahat boyunca geçen ns (nanosaniye) mertebesindeki toplam sürenin ölçülmesine dayanmaktadır (van der Kruck ve diğ., 1999; Burge ve diğ., 2006; Witten, 2006).

Bilindiği gibi elektromanyetik dalga, birbirine ve yayılma doğrultusuna dik düzlemlerde belli bir frekansta salınan  $B$  manyetik ile  $E$  elektrik alanlarından ibarettir. Bir elektromanyetik dalgada manyetik alan ve elektrik alan vektörlerinin yayılımı sırasıyla,

$$\nabla^2 B = \mu_0 \sigma \frac{\partial B}{\partial t} + \mu_0 \varepsilon \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \quad (3.1)$$

$$\nabla^2 E = \mu_0 \sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \mu_0 \varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (3.2)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Bu bağıntılardaki  $\sigma$ ; elektriksel iletkenlik,  $\mu_0$  boşluğun manyetik geçirgenliği,  $\varepsilon$  ise dielektrik permitivitedir. 3.2 bağıntısının sol tarafı elektromanyetik dalganın  $E$  bileşeninin boşluktaki değişimi olarak tanımlanır. Aynı bağıntının sağ tarafı ise elektromanyetik dalganın  $E$  bileşeninin zaman ile değişimini ifade etmektedir. İlk terim bir iletkendeki elektriksel iletim ile ilgilidir. İkinci terim ise, akımın yerdeğiştirmesi (*deplasman*) ile ilgilidir. İyi iletken olmayan ortamlarda ve yüksek frekanslarda elektromanyetik dalga bağıntılarındaki iletim ile ilgili terim ihmal edilir.

Daha önce de belirtildiği gibi elektromanyetik dalgalar, zamanla değişen elektrik ve manyetik alan bileşenlerinden oluşmaktadır ve bu bileşenler içinden geçtikleri ortamın farklı dielektrik permitivite, elektriksel iletkenlik ve manyetik geçirgenlik gibi fiziksel özelliklerinden etkilenirler. Bu özellikler dalganın yayınımlarını olduğu kadar sönümünü de etkilemektedir. (Conyers, 2004; Conyers ve Goodman, 1997).

Dielektrik permitivite; birim elektrik alan başına düşen elektriksel yerdeğiştirme miktarının bir ölçüsüdür. Birimi farad/metre ya da Coulomb/volt.metredir. Dielektrik permitivite aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilir.

$$D = \varepsilon . E \quad (3.3)$$

Bağıntıda  $D$ ; elektriksel yerdeğiştirmeyi,  $\varepsilon$ ; dielektrik permitiviteyi,  $E$  ise elektrik alanı temsil etmektedir.

Dalga yayınımlarını etkileyen diğer bir parametre de elektriksel iletkenliktir. Elektrik alanının varlığında serbest yük akışını karakterize eder ve bir akım uygulandığında bir materyalin elektriği geçirme yeteneğine denir. Birimi Siemens/ m'dir.

Elektriksel iletkenlik, iletim akımı ile uygulanan alan arasındaki ilişkiden yola çıkılarak şu şekilde ifade edilir;

$$J = \sigma \cdot E \quad (3.4)$$

Bağıntıda  $\sigma$ ; elektrik iletkenliği,  $J$  ise elektrik akım yoğunluğunu,  $E$  ise elektrik alanı temsil etmektedir. Yüksek iletken ortamlarda elektromanyetik dalga çok çabuk sönümlenmektedir.

Manyetik geçirgenlik ise, esas atomik ve manyetik momentlerin manyetik alana nasıl tepki verdiğini tanımlar. Ortamın manyetik geçirgenliği demir içeren malzemeler dışında jeolojik birimlerle çok fazla değişim göstermeyen bir parametredir ve

$$B = \mu \cdot H \quad (3.5)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bağıntıda  $B$ ; manyetik akı yoğunluğunu,  $H$ ; manyetik alan şiddetini,  $\mu$  ise manyetik geçirgenliği temsil etmektedir.

Elektromanyetik dalgaların yer içindeki hareketlerinin anlaşılması için faz hızı ( $v$ ) ve sönümlenme ( $\alpha$ ) nin de açıklanmasında yarar vardır. Elektromanyetik teoride basit ortamlar olarak ifade edilen sabit dielektrik permitivite, elektrik iletkenli ve manyetik geçirgenliğe sahip ortamlarda dalga özelliklerinin hepsi benzer davranışlar gösterir ve frekans değerlerine bağlı olarak değişimler gösterir. Düşük frekanslarda tüm dalga özellikleri açısal frekansa ( $\sqrt{\omega}$ ) bağlıdır. Yüksek frekanslarda ise, dielektrik permitivite, elektriksel iletkenlik ve manyetik geçirgenliğin sabit olduğu durumlarda dalga özellikleri frekanstan bağımsızdır. Yüksek frekanslarda elektromanyetik dalgaların bu davranışı yer radarının en karakteristik özelliğidir.

Yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar ortam içinde dalgalar şeklinde yayınırlar. Tüm frekans bileşenleri aynı hızda seyahat eder ve aynı sönümlenmeden etkilenir. Bu durumda, elektromanyetik dalgaların ortam içindeki hızı;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (3.6)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Bağıntıdaki  $\mu$ ; ortamın manyetik geçirgenliğini,  $\epsilon$  ise dielektrik permitiviteyi temsil etmektedir.

Enerjinin yeraltında sönümlenmesi ise, elektromanyetik enerjinin artan derinlikle yer içinde daha büyük bir yüzey alanı üzerine yayılması ve yer içindeki iletkenlik kayıpları nedeniyle enerjideki soğrulması olarak tanımlanmaktadır. Sönümlenme,

$$\alpha = \frac{1}{2} \sigma \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (3.7)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Bağıntıdaki  $\alpha$ ; sönümlenmeyi,  $\sigma$ ; elektriksel iletkenliği,  $\mu$  ortamın manyetik geçirgenliğini,  $\epsilon$  ise dielektrik permitiviteyi temsil etmektedir.

Çoğu yer radarı uygulamalarında, elektrik iletkenlik ve dielektrik permittivitedeki değişimler, manyetik geçirgenlikteki değişimlere nazaran daha önemlidir ve yüksek frekans elektromanyetik teoride dielektrik ortamlarda manyetik geçirgenlik ihmal edilebilir. Tablo 3.1'de yer radarı yöntemi için önemli olan parametrelerin farklı malzeme türlerindeki değerleri sunulmuştur.

**Tablo 3.1:** Bazı malzemeler için radar parametresi değerleri (Milson,2003).

Malzeme	$\epsilon$ Dielektrik permitivite	$\sigma$ (mS/m) Elektrik iletkenlik	V (m/sn) Hız	$\alpha$ (dB/m) sönüm
Hava	1	0	0.30	0
Buz	3-4	0.01	0.16	0.01
Su	80	0.05	0.033	0.1
Tuzlu Su	80	3000	0.01	1000
Kuru Kum	3-5	0.01	0.15	0.01
Islak Kum	20-30	0.01-1	0.06	0.03-0.3
Şist ve Kil	5-20	1-1000	0.08	1-100
Silt	5-30	1-100	0.07	1-100
Kireçtaşı	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Granit	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Kuru Tuz	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1

### 3.1.1.Yer Radarı Yönteminin Arkeolojik Alanlarda Uygulamaları

Yer radarı yöntemi, son yıllarda, yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilmesi ve verilerin işlenmesinde kullanılan yazılımların gelişmesi ile sığ araştırmalarda oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır (Nishimura ve Goodman, 2000; Neubauer ve diğ., 2002; Linford, 2004; Conyers, 2004). Özellikle, çalışmalar sonucunda derinlik bilgisine ulaşılabilmesi, 2 ve 3 boyutlu görüntüleme teknikleriyle yeraltında gömülü kalmış arkeolojik kalıntılarla ilgili detaylı bilgiler sunulabilmesi yöntemin diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmesini sağlamıştır (Conyers ve diğ.,2007).

Araştırmacılar, 1970' li yıllarda yer radarı yönteminin yeraltındaki yapıları, sedimanları ve toprak tabakalarının tespit edilebileceği bilgisinden yola çıkarak, bu yöntemi arkeolojik alanlara adapte etmiştir. Arkeolojik amaçlı ilk uygulama, Chaco Kanyonu'nda Vickers ve Dolphin tarafından 1975'te yapılmıştır ve yerin 1 metre altındaki gömülü duvarlar tespit edilmiştir. Sonraki yıllarda yeraltındaki duvarlar, taş yapılar ve mahzenlerin tespit edilmesine yönelik çalışmalar devam etmiştir (Bevan ve Kenyon, 1975; Kenyon, 1977). O dönemde, radar ekosu (*yansıması*) olarak tanımlanan kayıtlar sadece kağıt çıktılara alınabilmektedir.

1980'lerde ise; birçok uygulama Japonya'da höyüklerde yapılmıştır (Imai ve diğ.,1987). 1993 ve sonrasında ise yine Japonya'da Goodman ve diğerleri tarafından yapılan başarılı çalışmalar mevcuttur (Goodman,1994;Goodman ve Nishimura,1993; Goodman ve diğ.,1994). Bu dönemde radar sisteminde dijital kayıtlar elde edilmeye başlanmıştır. Aynı şekilde bu dönemdeki bilgisayar teknolojindeki gelişmeler de yöntemin uygulanabilirliğini artırmıştır. Veri işlem konusunda, genlik dilimleri haritalarının oluşturulması, 2 boyutlu modeller ve yeraltındaki gömülü yapılarla ilgili 3 boyutlu rekonstrüksiyon çalışmaları ile ilgili ilk adımlar atılmaya başlanmıştır.(Goodman ve diğ.1994;1995;1998; Conyers ve Goodman,1997). Diğer önemli bir gelişme de teorik çalışmalar adına, yeraltını yansıtan sentetik modellerin oluşturulması ve sentetik veri üretimine olanak sağlayan programların geliştirilmesidir (Conyers,1995; Goodman, 1994).

2000' li yılların başlamasıyla birlikte gelişmeler hem veri işleme hem de arazide örnekleme ve doğru ölçü alımı tekniklerinin geliştirilmesi şeklinde devam etmiştir (Neubauer ve diğ., 2002, Conyers, 2004).

Yer radarı yöntemi son zamanlarda arkeolojik prospeksiyon çalışmaları yapan araştırmacılar tarafından rutin bir prosedür olarak uygulanmaktadır (Conyers, 2004; Conyers ve Goodman, 1997; Gaffney ve Gater, 2003). Çalışmalarla elde edilen veriler, kazı planlaması ve hatta arkeolojik olarak riskli bölgelerin belirlenmesi gibi konularda ön veri olarak aktif rol oynamaktadır. Nishimura ve Goodman, 2000; Kvamme 2001; Neubauer ve diğ., 2002; Piro ve diğ., 2003; Conyers, 2004; Gaffney ve diğ., 2004; Seren ve diğ., 2007; Campana ve diğ., 2009; Novo ve diğ., 2009, Goodman ve diğ.,2009; Burks ve Cook, 2011; Dalan ve diğ., 2011' de yöntemin arkeolojik alanlarda uygulanmasında ve gelişmesine büyük katkıda bulunan çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

### **3.1.2. Yer Radarı Verilerinin Elde Edilmesi**

Yer radarı ölçümleri ve çalışma sahasının düzenlenmesi, sinyal/gürültü oranını düşürecek veya gürültü kaynağı oluşturabilecek şartlar göz önüne alınarak planlanır. Arkeolojik çalışmalarda, ölçüm sahası, topoğrafik ölçümler yardımıyla gridlere ayrılır ve bu gridler içerisinde, aranılan yapının tahmini geometrik özelliklerine yani büyüklüklerine ve kalınlıklarına göre profil aralıkları belirlenir. Güncel alet teknolojisindeki gelişmelerle birlikte GPSlerin de dahil edildiği sitemlerle herhangi bir grid oluşturmadan ya da profil düzenlenmeden ölçümler hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Arkeolojik alanlarda yapılan klasik ölçümlerde profil aralıkları, 0.50 metre ve/veya daha az olarak düzenlenir.

Ölçüm yönünün belirlenmesi, araştırmacının deneyimlerine ve arkeologlardan elde edilen bilgilere ve olası arkeolojik yapının özelliklerine bağlıdır. Neubauer ve diğ., 2002'de yaptığı çalışmasında grid içerisinde değişik ölçüm profilleri ve örnekleme aralıkları kullanarak, çözünürlük için bu faktörlerin ne kadar önemli olduğu hakkında bilgi sahibi olmaya çalışılmıştır. Çalışmasında, profil yönlerini hem X hem de Y yönünde düzenleyerek aynı alanda iki ayrı radar ölçümleri yapmıştır. Sonuç olarak, eğer, verici antenden çıkan elektromanyetik alanın oryantasyonu, profil yönüne dik olarak konumlanmış yapılardan gelen yansımaları daha okunur bir şekilde yansıttığını gözlemlemiştir. Elbette ki her X ve Y verisini bir arada kullanıldığında veri çözünürlüğü açısından daha avantajlıdır fakat bu çok büyük zaman gerektirdiğinden özellikle büyük ölçekli çalışmalarda tercih edilmemektedir (Neubauer ve diğ.,2002).

Tez çalışması kapsamında, profil yönünü belirlemek üzere, çalışma sahalarının hemen hepsinde yakınlarında bulunan arkeolojik kazı açmalarından, yapıların olası yönleri göz önünde bulundurularak birçok profil üzerinde test çalışması yaparak karar verilmiştir.

Çalışmalarda kullanılan anten seçimi ise, yer radarı yönteminin başarısını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Radar enerjisinin hangi derinliğe nüfuz edeceği, yer içine gönderilen radar enerjisinin frekansı ile kontrol edilir. Nüfuz derinliği frekansa bağlı olduğu kadar ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine de göre de değişmektedir. Genel olarak anten frekansı ile araştırma derinliği ters orantılıdır. Düşük frekanslı antenler, yüksek frekanslı antenlere göre enerjiyi daha derine iletirler. Dalga boyundaki artış yani anten frekans değerinin düşmesi, yeraltı çözünürlüğünü azaltırken, gerekli araştırma derinliğinin artmasını sağlamaktadır.

Tez çalışması kapsamında GSSI SIR 3000 marka radar sistemi ve ilgilenilen derinlik göz önünde bulundurularak 400 Mhz anten kullanılmıştır (Şekil 3.1). 400 Mhz ve 500 Mhz antenler genelde arkeolojik çalışmalar gibi sığ aramacılıkta tercih edilen antenlerdir. Çalışmada 400 Mhz merkez frekansa sahip antenlerle arkeolojik alanlarda arzu edilen araştırma derinliğine ulaşılmıştır.

Yer radarı sistemleri ile sık ve yoğun ölçü tekniği ile yüksek çözünürlüklü ölçüler elde edilebilmektedir. Araştırma öncesinde de bu tip test çalışmaları yapılmalıdır. Yüksek çözünürlüklü verinin elde edilebilmesi için ölçüm yoğunluğu önemlidir. Veri kalitesini test etmek amacıyla ölçüm esnasında, 256, 512 ve 1024 örnekleme yoğunluğu (*sample/rate*) parametreleriyle test çalışmaları yapılmıştır. 512 örnekleme yoğunluğu değerinin çalışma için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Aynı şekilde çalışma alanlarında yapılan test çalışmalarına bağlı olarak ölçümler, 60-100 nanosaniye arasında değişen zaman pencereleri kullanılarak elde edilmiştir.



**Şekil 3.1:** Zeus tapınağı çevresinde yer radarı çalışması (GSSI-SIR 3000 yer radarı sistemi ve 400 Mhz anten).

### 3.1.3. Yer Radarı Verilerinin İşlenmesi

#### 3.1.3.1. Radargramlar Üzerinde Uygulanan Veri İşlem Çalışmaları

Arazide radargramlar olarak kaydedilen verilerin iyileştirilmesi için bazı veri işlem aşamalarından geçirilmesi gerekmektedir. Araştırmacı tarafından arazi çalışması sırasında herhangi bir filtre uygulanmadığı sürece veriler ham veri şeklinde kaydedilir. Ölçümler sırasında radargramlar üzerinde uygulanan veri işlem adımları aşağıda sunulmuştur.

*1. Kazanç Uygulaması:* Ham olarak kaydedilen verilere kazanç uygulaması yaparak, çok zayıf olarak kaydedilen sinyallerin güçlendirilmesi sağlanmaktadır. Genelde derinlerden gelen sinyaller sığ derinliklerden gelen sinyallere göre daha zayıf gözükmemektedir ve geç gelen sinyal izlerinin güçlendirilmesiyle veriler iyileştirilmiş olur. Bu durumda kazanç derine doğru exponansiyel olarak ya da lineer olarak artırılarak uygulanabilir. Sönümün az, ya da kullanılan zaman penceresinin anten frekansına göre küçük olduğu durumlarda, sığdan derine doğru her yere eşit uygulanacak sabit bir kazanç uygulamasının yapılmasında yarar vardır. Bu işlem zaman

zaman 0 derinliğine yakın sığ derinliklerde gözlenen doğru akım gürültüsünün (*DC drift noise*) artmasına yol açabilmektedir. Bu gürültü, daha sonra anlatılacak olan band geçişli filtreleme teknikleriyle giderilebilmektedir.

2. *Band geçişli filtreleme*: Band geçişli filtreleme, ham radargramdaki istenmeyen frekans değerlerinin veriden çıkarılması için uygulanır. Band geçişli filtreleme işlemi için verilere ait frekans spektrumu incelenir. Filtreleme için kullanılacak olan frekans aralıkları belirlenerek işlem yapılır.

3. *Background Removal filtresi*: Ham radargramlarda genelde sürekli ölçü alımından kaynaklanan bazı gürültüler gözlenebilmektedir. Bu tip gürültüler radargramlarda yatay bantlar, çizgisellikler halinde ortaya çıkmaktadır. Veri kalitesini etkileyen bu yatay çizgilerin giderilmesi için radargramlardan lokal ortalama gürültü sinyalinin hesaplanması ve her izden bu değer çıkarılması şeklinde uygulanan filtreleme işlemi yapılır (Bernabini ve diğ., 1992; Malagodi ve diğ., 1996). Bu tip filtreleri uygularken dikkatli olunmalıdır çünkü bu işlem, zaman zaman gürültü olarak düşünülen lineer yapılara ait anomalilerin de veriden atılmasına sebep olabilir.

4. *Tekrar örnekleme (Resampling)*: Çoğu radar sistemi uzunlukları bilinen profiller üzerinde zaman modunda sürekli olarak ölçü almaktadır ve birim zaman içinde radar sistemi sürekli bir tarama yapmaktadır. Ölçüm esnasında profil boyunca belirli aralıklarla işaretleme işleminin otomatik olarak yapılması gerekir. Çünkü zaman modunda sürekli olarak ölçü alınırken, radar sistemini kullanan araştırmacının hızında zaman zaman değişiklikler meydana gelebilmektedir. Dolayısıyla verilerin profil uzunluklarına bağlı olarak, doğru bir şekilde ağırlıklandırılabilmesi ve tekrar örneklenebilmesi için bu işaretleme önemlidir. Genelde bu işlemin herhangi bir veri işlem uygulanmadan yapılması önerilir.

### **3.1.3.2. 2 Boyutlu Zaman Dilimlerinin Hazırlanması ve Üzerinde Uygulanan Veri İşlem Çalışmaları**

Yer radarı çalışmalarında, eğer problem geniş bir alanı kaplamıyorsa ve fay aramaları, tabaka kalınlıkları, yeraltı suyu araştırmaları gibi düşeyde gözlenebilecek değişimlerle ilgileniliyorsa, sadece radargramların yorumlanması yeterli olabilmektedir. Fakat eğer

belirli bir alandaki düşey değişimler kadar yatay değişimlerle de ilgileniliyorsa bu tip gösterim ve yorum teknikleri yetersiz kalmaktadır. Özellikle arkeolojik prospeksiyon çalışmalarında, aranılan arkeolojik kalıntıların derinliği kadar uzanımları, kalınlıkları ve genişlikleri gibi bilgilerin elde edilmesi önemlidir. Radargramlarda gözlenen değişimlerin dağılımları ve konumları her hangi bir arkeolojik alandaki mimari öğeler veya kültürel yapılar gibi arkeolojik değere sahip malzemelerin varlığı ile ilişkilendirilecekse, kalıntıları takip edebilmek ya da daha iyi analiz edebilmek için yüksek çözünürlüklü haritalar elde etme yoluna gidilmelidir (Nishimura ve Kamei, 1990; Goodman, 1995; Malagodi ve diğ.,1996, Neubauer ve diğ.,2002; Conyers, 2004). Dolayısıyla elde edilen verilerin daha anlaşılabilir olması için bazı yeni tekniklerin geliştirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu işlem için, yer altını temsil eden üç boyutlu genlik hacim blokları oluşturulur. Bu genlik blokları, yatay ya da dikey olarak ya da istenilen yön ve kalınlıkta dilimlenebilir. Diğer bir deyişle 2 boyutlu genlik dilim haritaları elde edilir. Bu tür haritalar, arkeolojik malzemenin derinliği, şekli ve yeri ile bilgileri tespit etmek amacıyla kullanılır ve detaylı bilgi edinmeyi kolaylaştırmaktadır. Eğer çalışmada düşey eksen gidiş-geliş zamanı olarak belirtilmişse, bunlara zaman dilimleri, düşey eksen hız analizi yardımıyla derinlik parametresine çevrilmişse derinlik haritaları ya da kat haritaları da denilebilmektedir.

İki boyutlu zaman dilimleri, (X,Y) olarak tanımlanmış düzenli veya düzensiz bir gridteki belirlenmiş bir  $\Delta t$  zaman penceresinde, yansıyan radar dalgasının enerjisinin hesaplanmasıyla oluşturulur. Bu hesaplama;

$$A(x, y, z) = \sum_{t=z*\Delta t}^{(z+1)*\Delta t} |a(x, y, t)| \quad (3.8)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Yansıyan enerji,  $\Delta t$  zaman penceresinde sayısallaştırılmış dalgayı temsil eden  $( a(x,y,t) )$  nin mutlak genliklerinin üst üste toplanması ile hesaplanır. Sonuç olarak, genliklerin 3 boyutlu veri bloğu  $A(x,y,z)$  oluşturulur.

Tez çalışması kapsamında, arazi çalışmalarında radargramlar olarak elde edilen yer radarı verileri, 2 boyutlu zaman/derinlik dilimleri oluşturularak sunulmaktadır. Yer

radarı verilerin bu şekilde temsil edilmesi; farklı yöntemlerle elde edilen 2 boyutlu anomali haritalarıyla karşılaştırma olanağı da sunmaktadır. Tez çalışmasının esas amacı olan bütünleştirme işlemi için de verilerin bu şekilde düzenlenmiş olması gerekmektedir.

Her ne kadar radargramlar üzerinde uygulanan veri işlem teknikleriyle veriler iyileştirilmeye çalışıldıysa da 2 boyutlu zaman/derinlik dilimleri elde edildikten sonra da bir takım düzenlemelere ihtiyaç olabilir. Bu işlemler aşağıda açıklanmıştır.

*1. Staggering etkisinin giderilmesi;* Staggering etkisi, komşu profiller arasındaki offset yani başlama ve bitiş noktası ile ilgili farklılıklardan, aynı koordinatlara denk gelmesi gereken ölçümlerin farklı noktadaymış gibi kaydedilmesinden veya alıcı anten ve verici anten arasındaki uzaklığın ölçüm sırasında değişmesi gibi radar sisteminden de kaynaklanabilir. Bu tip gürültülere, özellikle zig-zag ölçüm tekniği ile yapıldığı ölçümlerde çok sık karşılaşılır. Bu gürültünün giderilmesi, tanımlanan sabit bir kaydırma miktarı ile düz ve ters profillerdeki ölçümlerin cüzi oranda kaydırılması ile mümkündür.

*2. Renklendirme (Colorization);* Zaman dilimlerinin gri skala dışında farklı renk tonlarıyla tanımlanması çoğu zaman anomalilerin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Veriyi renklendirmede en sık kullanılan yöntemlerden işlem genelde verinin histogramının incelenip, ortalamadan olan standart sapma değerine bağlı olarak renklerin veriye atanması işlemi ile yapılır. Standart sapmanın dışındaki renkler, histogramın iki tarafındaki en yüksek ve en düşük renk değerine atanır. Bu tip renklendirme işlemleriyle veride gözle görülmesi zor olan anomalilerin tanımlanmasını kolaylaştırmaktadır.

*3. Overlay Analizi:* İstenilen zaman aralığı ya da derinlik aralığına bağlı olarak düzenlenmiş olan 2 boyutlu anomali haritaları üst üste bindirilerek, tüm bilgiler bir arada sunulabilmektedir. İşlem tamamen her bir dilimdeki en güçlü sinyallerin-pixelerin binary formatta toplanması ile gerçekleşir. Bu işlem öncesinde, her bir zaman dilimi tek tek incelenir ve birbirinin devamı olabilecek ya da birbirini tamamladığı düşünülen anomalilerin bulunduğu dilimler seçilerek işleme koyulur.

4. *Eş yüzey genlik hacimlerinin oluşturulması*: Verinin 3 boyutlu sunumu için kullanılan tekniktir. Ölçümler birbirine çok yakın sıklıkta alındığında, çok detaylı bir 3 boyutlu hacim bilgisi oluşturulmuş olur. Amaç, 3 boyutlu bir hacim içerisinde eşit genlik değerlerine sahip yüzeylerin gösterilmesidir. 3 boyutlu hacim içerisinde yüzeyler hesaplanabilmekte ve hacim içerisinde maksimum genlikler %0 - %100 arasındaki istenilen ölçekte gösterilebilmektedir. %100 yüzey, hacim içindeki en güçlü genlikleri temsil eder, %0 ise en zayıf genlikleri temsil eder. Bu seçim tamamen kullanıcının isteğine bırakılmıştır ama genelde %70 oranında gösterim tekniği arzu edilen anomalilerin 3 boyutlu olarak gösterilmesinde uygun bir parametredir. Bu tip gösterim teknikleriyle elde edilen 3 boyutlu modeller, fiziksel bir parametreyi yansıtmamaktadır.

Yine 3 boyutlu hacim içerisinde verinin daha detaylı ve anlaşılabilir olması ya da canlandırılabilmesi için, radargramlar veya zaman dilimleri de bir arada sunulabilmektedir. Bu şekilde verinin yatay ya da düşeydeki görüntüleri de karşılaştırmalı olarak incelenebilmektedir.

### **3.2. MANYETİK YÖNTEM**

Manyetik yöntemle, yeraltındaki yapıların ve etrafındaki toprak malzeme arasındaki süseptibilite kontrastı ve yapıların şekil farklılıklarından kaynaklanan manyetik alan değişimleri ölçülmektedir. Bu ölçülerin amacı, yer altında bulunan mıknatıslanmaya (*manyetizasyona*) sahip kütlelerin konumlarını tesbit etmektir. Bu kütleler büyük ölçekte jeolojik yapılar olduğu gibi arkeolojik sahalardaki duvar, mezar vb. yapılar veya çanak-çömlek ve metalik kalıntılar da olabilir. Yöntemin, maden aramaları, fay hatlarının belirlenmesi, sediman kalınlık çalışmaları, temel kaya araştırmaları, kıtasal kayma ve deniz tabanı yayılmalarının incelenmesi gibi jeolojik araştırmalar ve boru hatlarının, kabloların belirlenmesi, petrol kuyuları araştırmaları, arkeolojik yapılar gibi gömülü yapıların aranması gibi birçok uygulama alanı vardır.

Tez çalışması kapsamında manyetik yöntem, arkeolojik alanlarda prospeksiyon amaçlı uygulandığından, bundan sonra yöntem bu açıdan ele alınacaktır.

### 3.2.1. Manyetik Yöntemin Arkeolojik Alanlarda Uygulamaları

Manyetik yöntem, arkeolojik alanlarda sık kullanılan önemli bir pasif yöntemdir. (Aitken, 1974; Weymouth, 1986; Gibson, 1986). Önceleri manyetik yöntem ile sadece yer manyetik alanın bileşenlerinin şiddeti ölçülebilmektedir. Fakat 1950'lerde arkeomanyetik tarihleme için kilden yapılmış çanak çömlekler kullanılarak yapılan çalışmalarda, yer manyetik alanının yönü ile ilgili de bilgilere ulaşılabileceği kanıtlanmıştır. O dönemde Oxford üniversitesinde proton manyetometresinin prensiplerine dayanan araştırmalar başlamış ve 1958 yılında Aitken tarafından ilk defa arkeolojide uygulanmıştır (Aitken ve diğ.,1958). Daha sonraki dönemlerde artık arkeolojide manyetik yöntem uygulamalarının modern dönemleri Almanya, Fransa ve Amerika'da başlamış ve devam etmiştir (Clark, 2000).

Son yıllarda, manyetik yöntemin arkeolojik amaçlı uygulamalarında gerek manyetometre ve gradyometrelerin geliştirilmesi gerekse veri işlem programlarının gelişmesiyle birlikte oldukça başarılı sonuçlar alınmaktadır. Eppelbaum ve diğ., (2000); Herwanger ve diğ., (2000); Linford ve Canti (2004), Ciminale (2003); Krivanek (2006) ; Shmidt ve Fazeli (2007); Arısoy ve diğ., (2007); Linford ve diğ., (2007); Büyüksaraç ve diğ., (2008); Di Mauro ve diğ., (2011); Boshi (2012); Simon ve diğ., (2012)'de arkeolojik alanlarda uygulanan manyetik yöntem çalışmalarına önemli katkıda bulunmuşlardır.

### 3.2.2.Arkeolojik Alanlarda Manyetik Anomalilerin Kaynağı

Arkeolojik yapılar ile manyetizma arasındaki ilişkiyi anlayabilmek ve yorumlamak çok da kolay değildir. Anomalinin kaynağının tanımlanması için arkeolojik bilgilerden, özellikle uygarlıkların sosyal ve kültürel yaşamları, çevreleriyle olan ilişkileri, ekolojik yaşam ve teknolojileri hakkındaki bilgilerin de öğrenilmesi ve incelenmesi gerekmektedir.

İnsanoğlu her dönemde yaşadığı çevreyi, genellikle üst toprağı, kendi ihtiyaçlarına göre şekillendirmektedir. Arkeolojik alanlarda gözlenen manyetik anomalilerin oluşumu, insanoğlunun davranışlarından kaynaklanan birçok farklı *doğal oluşumlara ve kültürel olaylara* bağlanmaktadır (Kvamme, 2005).

Doğal oluşumlar; ortamdaki manyetik süseptibilite farklılıklarıdır ve birçok materyal, sediman ya da toprakta gözlenmektedir. Bunun yanında, ayrışma gibi olayları içeren fiziksel ve kimyasal olaylar ve toprakta doğal olarak bulunun manyetotaktik bakterilerin yarattığı biyojenik olaylara bağlı olarak, üst toprağın oluştuğu kayaca göre manyetik açıdan daha zenginleşmesi doğal gelişen durumlardır.

Geçmişte yemek pişirme ve ısınma amacıyla ocak ve fırınların kullanımı, yanmış kilden imal edilen tuğlaların inşaat malzemesi olarak kullanımı, yine kilden imal edilmiş seramik çanak çömlek gibi araç gereçlerin bir arada bulunması ve bunların yanında insan etkisiyle oluşan yangınlar ise anomalilerin sık rastlanan kültürel kaynağını açıklamaktadır.

Bunların yanında, insanların yaşadığı üst toprakta tarımsal faaliyetlerde bulunmuş olması ya da üst toprağa çok fazla atık bırakması da manyetotaktik bakteriler gibi bazı bakterilerin oluşumuna neden olabilmektedir. Bu bakteriler, üst toprakta manyetit gibi manyetik bileşenleri yoğunlaştırmaktadır ve manyetik süseptibilitedeki bu gizli artış anomali oluşturmaktadır (Fassbinder ve diğ.,1990).

Arkeolojik alanlarda, manyetik olarak zengin topraklarla dolmuş boşluklar, saklama depoları hendekler, yüksek manyetik anomali oluşturabilmektedir. Diğer yandan, insanların inşaat yapımı öncesinde üst toprağı kaldırması, lokal olarak o alandaki manyetik anomaliyi azaltmakta ve genelde de negatif anomali oluşturmaktadır. Zaman zaman hendeklerin kazılması, ev zeminleri, kilerler ve bunların yanında kaçak kazılardan kalan çukurlar, manyetik olarak zengin olan toprağın yer değiştirmesinden dolayı, negatif kontrast oluşturabilmektedir. Aynı şekilde, tarım araçlarının oluşturduğu izler de genelde negatif anomali oluşturmaktadır.

İnsanlar zaman zaman, inşaat işlerinde kullanmak amacıyla başka yerlerden taş blokları veya kayaçları taşıyarak bunları binalarda, binaları oluşturan elemanlarda, veya yer döşemelerinde kullanmıştır. Bazı kayaçlar, özellikle volkanik olanlar, diğerlerine göre daha büyük manyetik anomaliler yaratır. Demir içerikli malzemeler kullanarak yapılan bazı arekolojik malzemeler de boyutlarına, şekillerine ve derinliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte manyetik yöntemle çok kolay tespit edilebilirler. Demirin bulunduğu yerlerde dipolar anomaliler gözlenir. Fakat traktörlerden, tarım

faaliyetlerinden geri kalan demir malzemeler genelde arkeolojik alanlarda elde edilen manyetik ölçümler için gürültü kaynağıdır.

Yukarıda, arkeolojik alanlarda gözlenen manyetik anomalilerin oluşumu, insanoğlunun davranışlarından kaynaklanan birçok farklı kültürel olaya ve doğal oluşuma bağlı olarak ifade edilmiştir fakat bu anomalilerin nasıl oluştuğunun kimyasal, biyolojik, fiziksel özellikle jeofiziksel parametreler yardımıyla tanımlanması gerekmektedir.

Bir kayacın manyetik anomali oluşturabilmesi için mıknatıslanma göstermesi gerekmektedir. Kayaç kütleleri mıknatıslanmalarını içindeki manyetik minerallerin kendine özgü manyetik yapılanmasına bağlı olarak iki şekilde gösterirler. Bunlardan biri  $M_i$  tesirle mıknatıslanma, diğeri ise  $M_r$  kalıntı mıknatıslanma şeklindedir.

*Tesirle mıknatıslanmada;* mıknatıslanabilen kayaç kütleleri, yermanyetik alanı altında, alan şiddeti ile orantılı bir mıknatıslanma kazanırlar. Orantı katsayısına  $\chi$  mıknatıslanma katsayısı adı verilir. Kayaç kütlelerinin mıknatıslanma doğrultusu, yermanyetik alan doğrultusuna paraleledir. Alan doğrultusu değişikçe, mıknatıslanma doğrultusu da değişir. Bu mıknatıslanma, uygulanan dış alan ortadan kaldırılırsa kaybolur.

Manyetik süseptibilitesi olan her materyal, yer manyetik alanı içerisinde tesirle mıknatıslanma kazanabilir. Materyalin mıknatıslanabilmesi manyetik süseptibilitesinin bir fonksiyonudur ve içerisinde bulunan mıknatıslanabilir minerallere bağlıdır. Hematit, manyetit ve maghemit mineralleri manyetizma için önemli minerallerdir. Manyetit ve maghemit, hematite göre daha manyetik bir mineraldir. Bazı toprak veya kayaçlar bu tip minerallerden çok az bir miktarını içeriyor olsalar bile, mıknatıslanmanın manyetometrelerle ölçülebilmesi mümkün olabilmektedir (Clark, 2000).

Genelde, çok manyetik olan volkanik kayaçlardan oluşan toprak tipleri haricindeki topraklar oluştukları kayaçlardan daha büyük manyetik süseptibiliteye sahiptirler (Kvamme, 2005). Bu durum birçok faktörden kaynaklanmaktadır. Bunlardan en önemlisi demir minerallerinin üst toprakta toplanma gibi doğal bir eğiliminin olmasıdır (Aitken, 1970). Diğer yandan, doğal ya da antropojenik sebeplerle oluşan yangınlarda, hematit manyetite ya da kimi zaman soğuma esnasında bir kısmını maghemite dönüştürür ve manyetik süseptibiliteyi artırır (Dabas ve Tabbagh, 2000).

Organik materyal içeren toprak ısıtıldığına ise; örneğin çalıkların yakılması ya da kamp ateşi esnasında, oksijen dışarı kaçar ve topraktaki hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), şiddetli bir manyetik süseptibilite artışıyla magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dönüşür. Soğutma esnasında, havada manyetitin bir kısmı re-okside olmakta ve maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dönüşmektedir. Dolayısıyla yüksek bir süseptibilite korunmuş olur.

Fermantasyon etkisi denilen durum gerçekleştiğinde ise; yerleşim alanlarında insanların bıraktıkları organik materyallerin içinde, çöplerde türeyen anaerobik bakterilerin varlığında hematitin manyetite indirgenmesi söz konusudur. Bu konudaki çalışmalar hala devam etmektedir. Bu durum, hidrojen iyonlarının aktivitesinin elektron aktivitesine oranı olarak tanımlanan Ph/Eh değerinin değişimi ile ilgili olduğu kadar, bu tür bakterilerin demiri elektron kaynağı olarak kullanıyor olmasından dolayı manyetik süseptibilite değerindeki artışa sebep olduğu düşünülmektedir (Linford, 2004).

*Kayaçlar kalıntı mıknatıslanmalarını ise; yine yermanyetik alanın etkisiyle kayaç oluşurken kazanırlar. Kalıntı mıknatıslanma kayaçlarda çok çeşitli yollarla meydana gelir. Bunlardan en önemlileri kayaç oluşurken sedimanter kayaçlarda meydana gelen çökel kalıntı mıknatıslanma ve volkanik kayaçlarda meydana gelen ısı kalıntı mıknatıslanmadır. Kayaçlardaki kalıntı mıknatıslanmanın doğrultusu günümüz yermanyetik alan doğrultusunda olmayabilir ve kayaç içindeki kalıntı mıknatıslanma, mıknatıslanmayı bozan bir etki olmadığı sürece muhafaza olur. Manyetik alanın yokluğunda sadece birkaç materyal mıknatıslanma gösterebilir. Mıknatıslanmanın kalıntı olması, mıknatıslanma gerçekleştikten sonra değişmemesi ve kalıcı halde devam etmesi anlamına gelmektedir.*

Arkeolojik alanlarda ise en sık rastlanan mıknatıslanma çeşidi; ısı kalıntı mıknatıslanmadır. Ferromanyetik ve ferrimanyetik maddeler Curie sıcaklığı üstündeki sıcaklıklarda sahip oldukları mıknatıslanmayı yitirirler. Kayaç içindeki ferromanyetik ve ferrimanyetik maddeler Curie sıcaklığından daha yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru soğumaya başladığında mineral içindeki atomların spin momentleri dış alan yönünde dizilirler. Bu şekilde kayaç o andaki dış alan yönünde kalıcı bir mıknatıslanma kazanır. Bu kayda değer mıknatıslanma manyetometrelerce tespit edilebilmektedir.

Arkeolojik materyallerde ise; fırınlar, ocaklar gibi kilden yapılmış tipik arkeolojik materyaller ısıtıldığında, magnetit ve maghemit çoğunlukla Curie sıcaklığını aşarlar. Bu tip demir oksitler genelde kil depozitlerinin içerisinde bulunur ve killer genelde arkeolojik malzemelerin yapımında kullanılır. Kil zayıf manyetik hematit veya geotit içeriyorsa bile ısıtma ve soğutma işlemi bunları ferrimanyetik demir oksitlere dönüştürebilir.

Manyetik yöntemde, manyetometrelerle ölçülen kalıntı mıknatıslanma ve tesirle mıknatıslanma arasında bir fark yoktur. Bu manyetometreler süseptibileden kaynaklanan tesirle mıknatıslanma ile her tür kalıcı mıknatıslanmanın toplamını ölçmektedir. Kayaç kütledeki  $M_t$  toplam mıknatıslanma, tesirle mıknatıslanma ile kalıntı mıknatıslanmanın vektörel toplamıdır. Kalıntı mıknatıslanmanın tesirle mıknatıslanma oranına  $Q_n$  Könisberger oranı adı verilir ( $Q_n = \frac{M_r}{M_i}$ ). Çalışmalarda ölçümlerde kaydedilen manyetizmanın büyük ölçüde tesirle mıknatıslanmadan kaynaklandığı varsayılır.

Arkeolojik malzemeyi tanımlamak için, haritalardaki anomalilerin kaynağının yanı sıra geometrileri de dikkate alınmalıdır. Yani küçük ölçekli lineer yapılar arkeolojik bir alan içerisindeki küçük bir odayı, evlerin temellerini, hendek kenarlarını veya yolları temsil edebilir. Daha büyük ölçekli düşünüldüğünde büyük yapılar çemberler, kareler, dikdörtgenler gibi geometrik yapılar şeklinde olacağı bilgisinden yararlanarak incelenmeli ve yorumlanmalıdır.

### 3.2.3. Manyetik Verilerin Elde Edilmesi

Arkeolojik araştırmalarda en sık kullanılan manyetometreler; proton manyetometresi, fluxgate manyetometreleri ve sezyum manyetometreleridir. İsimlerinden anlaşılacağı gibi ölçümler, bazı fiziksel ilkelere dayanmaktadır. Alet tipine göre değişmekle birlikte tek bir sensör kullanılarak, herhangi bir yerdeki toplam yer manyetik alanı ve/veya bileşenleri ölçülebilir. Toplam alan ölçümlerinde, iki ayrı manyetometre kullanılır ve bunların biriyle sabit baz istasyonunda zamana bağlı olarak manyetik alandaki değişimler kayıt edilir. Diğer manyetometre ile ise, arazide ölçümler alınır. Diğer yandan, iki sensörün farkının elde edildiği gradiometrik modda ölçümler yapılabilmektedir. Gradyometrelerle yapılan ölçümlerde, düşey olarak

konumlandırılmış olan iki sensör ile aynı anda ölçüm yapılmaktadır. Arkeolojik çalışmalarda sensörler, genelde 0.50 metre veya 1 metre aralıklarla düşey olarak konumlandırılmaktadır. Gradyometrik ölçümler arkeolojik amaçlı uygulamalar gibi daha çok sığ çalışmalar için uygundur. Günümüz teknolojisi ile üretilen manyetometreler veya gradyometrelerle oldukça hassas, hızlı ve yüksek çözünürlükte devamlı olarak ölçü alınabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında Aizanoi Antik Kenti'nde 0.01 nT hassasiyetli Scintrex SM-5 Navmag marka Sezyum manyetometresi kullanılmış ve düşey olarak yerleştirilmiş iki sensör ile gradyometrik modda ölçüm alınmıştır (Şekil 3.2). Heraion Teichos Akropolü'nde ise; Geometrics G 858 marka Sezyum manyetometresi ve yine düşey olarak konumlandırılmış iki sensör ile gradyometrik ölçümler yapılmıştır. Her iki ölçümde de, alt sensör ve üst sensör arasındaki mesafe 1 metre, alt sensörün yeryüzeyinden olan uzaklığı ise 0.50 metre olacak şekilde konumlandırılmıştır.



**Şekil 3.2:** Scintrex SM-5 Navmag Sezyum manyetometresi ile ölçüm alımı.

Manyetik çalışmalar için ölçüm gridi arazi şartlarına göre belirlenmektedir. Ölçümler bu gridler içerisinde birbirine paralel olarak düzenlenen profiller boyunca yapılır. Profil aralıkları aranılan arkeolojik yapıların boyutlarına ve çalışmanın ne kadar detaylı olarak yapılması gerektiğine göre belirlenir. Profil aralıkları arkeolojik çalışmalarda en fazla 0.50 metre aralıklı olmak üzere çalışmanın amacına göre daha sık da düzenlenebilir. Weymouth 1986'da yaptığı çalışmasında örneklemeler arasındaki mesafenin araştırılan yapı elemanlarının tahmini boyutlarının yarısından büyük olmaması gerektiğini belirtir. Manyetik çalışmalarda çalışmanın planlanması sırasında ve veri eldesi sırasında en sık karşılaşılan sorunlardan birisi çalışma sahasının koşullarıdır. Çalışma sahasında yüksek manyetik özelliğe sahip volkanik kayalardan oluşan mostranın ya da ana kayanın varlığı, arkeolojik alanda dipolar anomalilerin üst üste bulunmasına sebep olan küçük demir içerikli malzemelerin varlığı, şehir merkezlerine yakın çalışma alanlarındaki elektrik hatları, elektromanyetik alan kaynağı olabilecek radyo direkleri, otomobillerden kaynaklanan çevresel gürültüler, geziye açık arkeolojik alanlarda insanların yarattığı etkiler ve tarım faaliyetleri en sık karşılaşılan sorunlardır. Bu değişkenler sebebiyle araştırmacı çok dikkatli olmalı ve bütün bu etkenleri göz önünde bulundurmalıdır. Tez çalışması kapsamında her iki arkeolojik alanda da ölçümlere gürültü olarak yansiyabilecek tüm etkenler göz önünde bulundurularak, çalışma gridleri oluşturulmuştur. Çalışma gridleri içerisinde 0.50 metre aralıklı birbirine paralel profiller oluşturularak sürekli modda ölçümler yapılmıştır. Çalışmanın kolay ve hızlı ilerleyebilmesi için, zig-zag ölçüm alım tekniği uygulanmıştır.

### **3.2.4. Manyetik Verilerin İşlenmesi**

Aizanoi Antik kenti ve Heraion Teichos Akropolü'nde elde edilen manyetik veriler, üst sensör, alt sensör ve gradiyent ölçümler olarak kaydedilmiştir. Veriler öncesinde herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın incelenmiştir ve verilerin iyileştirilebilmesi daha detaylı bilgiler alınabilmesi için birçok veri işlem aşamasından geçirilmiştir. Çalışmada uygulanan veri işlem aşamaları aşağıdaki gibidir.

#### **3.2.4.1. Uç değerlerin atılması (Despiking)**

Veriler incelendiğinde, arazideki demir içerikli malzemelerden ya da sensörlerin birbiri ile uyumsuzluğundan kaynaklandığı düşünülen istenmeyen uç değerlerin varlığı tespit edilmiştir. Bu tür uç değerler verinin kalitesini düşürmekte, anomalilerin

tanımlanmasında engel teşkil etmektedir. Tabbagh (1999)'da yaptığı çalışmasında bahsedilen bu tip uç değerlerin Median Filtreleme işlemiyle temizlenebileceğini önermiştir. Ciminale ve Loddo (2001)'de ise daha objektif bir method olduğunu düşündüğü, Genelleştirilmiş Uç Student Sapma (Generalized Extreme Studentized Deviate-GESD) adını verdiği, tek değişkenli bir veri seti içerisinde aykırı değerlerin tespit edilmesine dayanan bir yöntem geliştirmiştir.

Uç değerler aykırı değerlerdir ve gözlem verisi içinde geri kalan diğer veri setiyle uyuşmayan bir alt veri seti olarak düşünülebilir ya da gözlenen veri setinden şüpheli bir şekilde oluşmuş ve değerlerden çok fazla sapan veri seti olarak düşünülebilir. Genelleştirilmiş Uç Student Sapmalarının tespit edilmesi işlemi tekrarlamalı olarak çalışmaktadır. Her bir iterasyon sonrasında gözlem değerlerinden elde edilen uç değerler veri setinden silinmektedir. Bu uç değerler, 3.9'de verilen bağıntıda elde edilen kritik değer ile karşılaştırılarak aykırı değer olarak saptanmış ve yerine yeni değer atanmış olur.

$$z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s} \quad (3.9)$$

Bu bağıntıda,  $z_1, z_2, z_3, z_4, \dots$  şeklinde tanımlanan değerler,  $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots$  olarak tanımlanan gözlem değerlerinin Z-Skorlarıdır.  $\bar{x}$  ; ortalama değeri,  $s$  ise standart sapmayı temsil etmektedir.

İşlemin yapılabilmesi için, verinin düzenli bir grid içinde olması istenmektedir (Ciminale ve Loddo, 2001). Veriler, paralel profiller üzerinde sürekli olarak kaydedilmiş olduğundan, ölçüler düzensiz bir şekildedir ve bu yüzden veriye öncesinde *kriging* gibi bir interpolasyon algoritması uygulanır. Bu şekilde veri eşit aralıklı olarak gridlenmiş olur. Bu işlemler sonrasında uç değerlerin atılması işleminin gerçekleştirilmesi kolaylaşır.

#### **3.2.4.2. Kutba indirgeme**

Manyetik anomali, kaynağı kadar yapı mıknatıslanması ve yermanyetik alan yönüne de bağlıdır. Bu nedenle yorum, manyetik anomalilerde karışıktır. Kutba indirgeme işlemi manyetik belirtideki kutuplanma yönlerinden kaynaklanan karışıklığı gidererek belirtileri yatay yönde kaynaklarının üzerine doğru kaydurmaktadır (Blakely, 1995).

Kutba indirgeme bağıntısı basit olarak Blakely (1995) tarafından fourier ortamında aşağıdaki şekilde verilir.

$$F[\Delta T_r] = F[\psi_r].F[\Delta T] \quad (3.10)$$

3.10'da verilen bağıntıda,  $F$ ; Fourier dönüşümünü,  $T$ ; Manyetik anomaliyi,  $T_r$ ; Kutba indirgeme dönüşümünden sonra elde edilen anomaliyi, ve  $\psi_r$  ise yer manyetik alanı ve manyetik anomaliye neden olan yapının mıknatıslanmasına bağlı bir dönüşüm katsayısını ifade etmektedir (Timur ve Sarı, 2010)

Kutba indirgeme işleminden sonra elde edilen anomaliler, sanki kuzey manyetik kutbunda ölçülmüş gibi olan anomalilerdir. Burada yermanyetik alan ve mıknatıslanma yönünün her ikisi birden düşey ve aşağı doğru olacaktır.

#### **3.2.4.3.Sentetik modellerin oluşturulması ve Kroskorelasyon**

Manyetik anomali şeklinde karşımıza çıkan arkeolojik yapıların yerlerinin, dağılımlarının ve sınırlarının belirlenmesi amacıyla bazı istatistiksel veri işlem tekniklerine başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biri de Kroskorelasyon işlemidir.

Eğer aranılan yapının şekli, boyutları ve fiziksel özellikleri ile ilgili aşağı yukarı bir tahmin varsa, en iyi filtreleme operatörü, yapının özellikleri kullanılarak elde edilen teorik modelin (*operatör*) kendisidir (Treitel ve Robinson, 1969). Bu işlem, hesaplanan sentetik anomali ile arazi verisinin kroskorelasyonu şeklinde uygulanmaktadır. Kroskorelasyon fonksiyonu, veriler arasındaki benzerliğin bir ölçütüdür. İki veri birbirine benziyorsa, kroskorelasyon genelde pozitif olur ve değerleri büyüktür. Aksi durumda ise, uyumun olmadığı söylenmektedir.

Manyetik çalışmalarda ölçümler belirlenen profiller üzerinde yapılmaktadır ve anomaliler her bir profilden seçilmektedir. Başlarda kroskorelasyon tekniği teorik modeller kullanılarak bu tek profildeki ölçümler üzerinde yapılmaktadır (Brizzolari ve diğ.,1993). Anomalinin kaynağı olan yapı, diğer profillerde de etkili olacağından bu işlemin tüm veriler üzerinde yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, anomaliler için 2 boyutlu sentetik modeller kullanarak 2 boyutlu kroskorelasyon

tekniki uygulanmalıdır. Böylelikle grid içerisindeki tüm veriler kroskorelasyon işlemine 2 boyutlu olarak tabi tutulmuş olur (Piro ve diğ.,1998).

2 boyutlu kroskorelasyon 3.11 denklemindeki gibi ifade edilmektedir.

$$C(x, y) = \sum_{k=-m_2}^{m_2} \sum_{s=-n_2}^{n_2} f(x+k; y+s) g(k+m_2+1; s+n_2+1) \quad (3.11)$$

Buradaki  $m_1$  ve  $n_1$  operatörün boyutlarıdır ve  $m_2 = \frac{m_1 - 1}{2}$  ve  $n_2 = \frac{n_1 - 1}{2}$  olarak ifade edilirler.

2 boyutlu kroskorelasyon işlemi için önce, sentetik manyetik modellerin hazırlanması gerekmektedir. Operatör olarak kullanılacak olan 3 boyutlu bir birim yapıya ait manyetik anomalinin hesaplanması için, derinlik ve fiziksel parametreler ile ilgili bilgilere karar vermek gerekir. Burada sentetik yapılar, birçok basit prizmanın toplamı olarak kabul edilmektedir. Farklı derinlik ve süseptibilite kontrastı değerleri ve yermanyetik alanın parametreleri kullanılarak oluşturulan modeller operatör olarak kullanılmaktadır.

Birçok çalışmadan teoride manyetizmanın kalıntı ve tesirle oluşan mıknatıslanmadan kaynaklandığı bilinmektedir. Fakat bu gibi durumlarda, mıknatıslanmanın tesirli mıknatıslanma olduğu varsayılır. Literatürde, bu tür sentetik anomalilerin oluşturulmasında kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Arkeolojik çalışmalarda hele ki yüksek çözünürlüğe ihtiyaç varsa, Talwani (1965) yada Linington (1972)'nin yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir ( Scollar ve diğ.,1990). Bu çalışmada, teorik modelin oluşturulması için Talwani tarafından önerilen eşitliklerden yararlanılmıştır Talwani (1965). Bu yöntemle oluşturulan 3 boyutlu yapının yüzeydeki her bir noktası için oluşturduğu yermanyetik alanın toplam ve diğer üç bileşenin değerleri hesaplanmaktadır. Sentetik modellerin oluşturulmasında ve kroskorelasyon çalışmalarında *ITABC-GRS Lab-Italya*'dan araştırmacılar tarafından oluşturulmuş, *MGE5.exe* ve *Quick Basic (QB)- CB32.bas* yazılımı kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında otokorelasyon ve kroskorelasyon işleminde kullanılmak amacıyla oluşturulan sentetik modeller, hem 30x30 luk grid düzeni, hem de operatör

olarak kullanılacak olan 6x6 lik grid düzeni için oluşturulmuştur. Bu çalışma hem üst sensör hem de alt sensör için hesaplanmıştır. Daha sonra bu operatörler, arazi verilerine uygulanmıştır.

Elde edilen korrelogramın daha iyi anlaşılabilmesi için, verilerin normalize edilmesinin yararı vardır (Alder, 1988). Bunun için otokorelasyon sonucunda elde edilen maksimum değer kullanarak, kroskorele edilen veriler bu değere bölünmesiyle yapılan normalizasyon işlemi en sık kullanılan yollardan biridir. Bu durumda veriler artık birimlerinden kurtarılmış olur.

### 3.3. BÜTÜNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Daha önce de bahsedildiği üzere, jeofizik yöntemlerin her biri, farklı fiziksel parametrenin ölçülmesi ve/veya bu parametrelerden kaynaklanan etkinin ölçülmesine dayanmaktadır ve her yöntem kendi içinde duyarlı olduğu parametreye bağlı olarak başarılı sonuçlar edebilir ya da edilemeyebilir. Dolayısıyla yeraltı ile ilgili daha kesin ve doğru bilgilere ulaşmak için, birbirinden farklı jeofizik yöntemlerin bir arada değerlendirilmesi önerilmektedir (Weymouth, 1986). Çoklu jeofizik yöntem araştırmalarıyla elde edilen verilerin, birbirini tamamladığı düşünülmekte, farklı yöntemlerle elde edilecek sonuçlarla adeta yapbozun (*puzzle*) parçaları bir araya toplanabilmektedir (Clay, 2001).

Arkeolojik prospeksiyon çalışmalarında, son dönemlerde sıklıkla başvuru alan bütünleştirilmiş jeofizik çalışmalar iki türlü uygulanmaktadır. Bunlar nitel (*qualitative*) yaklaşımlar ve nicel (*quantitative*) yaklaşımlardır. Nitel yaklaşımda farklı jeofizik yöntemlerle elde edilen anomaliler, koordinatlarına göre tek bir haritada gösterilmesi yoluyla yapılmaktadır. Farklı yöntemlerde gözlenen bu anomaliler, çizimler ve renklendirmeler yardımıyla bir arada sunulabilmektedir. Nicel yaklaşımda ise; toplamlar (*sums*), çarpımlar (*products*), farklı girdilerin oranları (*ratios of different inputs*) gibi matematiksel operatörler yardımıyla tek bir veri seti elde etmenin yanısıra yeni yaklaşımlar olan temel bileşenler analizi, faktör analizi, kümeleme analizi gibi istatistiksel çözümler yardımıyla bütünleştirme işlemleri uygulanabilmektedir (Ernenwein ve Kvamme, 2005).

Tez çalışması kapsamında verilerin bütünleştirilmesi için nicel yaklaşımlardan yararlanılmıştır. Bunlardan birisi Toplamlar ve Çarpımlar işleçlerini içeren matematiksel yaklaşım, diğeri ise Temel bileşen Analizi yardımıyla istatistiksel yaklaşımdır.

### 3.3.1. Veri Bütünleştirmede Matematiksel Yaklaşım

Bütün veri bütünleştirme çalışmalarında olduğu gibi matematiksel bütünleştirme yaklaşımının da amacı; farklı yöntemlerle elde edilen verilerin sayısal olarak bütünleştirilmesiyle, anomali ilgili detaylı bilgi edinmek ya da kesinliğini kontrol etmektir.

Matematiksel bütünleştirme çalışmaları kapsamında Toplamlar (*Sums*) ve Çarpımlar (*Products*) adı verilen işlemler uygulanabilmektedir.

Toplamlar adı verilen işleç, farklı veri setlerinde bulunan bilgilerin üst üste toplanması ve ortalamalarının alınması yoluyla yapılmaktadır.  $M$  adet veri seti olması durumunda, Toplamlar işleci 3.12’de verilen bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$\bar{F}(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{m_i}^M F_{m_i}(x, y) \quad (3.12)$$

Toplamlar işleciyle yapılan bütünleştirme işlemi sonucunda her iki yöntemden en az birinde gözlenen anomali kaynaklarının bir arada gösterimini sunmaktadır. Diğer değışle; normalize edilmiş veri kullanıldığında,  $\bar{F}_{(x,y)}$ ’nin 1’ e eşit olması, bu noktalarda anomali paterninin maximum olduğunu belirtmekte, 0 olması ise, bütün yöntemlerde aynı noktalarda anomalinin varlığının gözlenmediği anlamına gelmektedir.

Çarpımlar işleci ise, veri setlerinin matematiksel olarak çarpılması şeklinde uygulanmaktadır ve (3.13) denklemi ile ifade edilmektedir.

$$F^*(x, y) = \prod_{m_i}^M F_{m_i}(x, y) \quad (3.13)$$

Çarpımlar işleci ile elde edilen sonuçlarda sadece aynı noktada bütün yöntemlerde gözlemlenen anomaliler tespit edilmektedir. Normalize edilmiş değerler kullanıldığında,  $F^*$  in 1’e eşit olması durumunda, sadece bu noktalarda bütün yöntemlerde anomali paterni maximumdur, 0 olması durumunda ise; bu noktalarda

sadece tek bir yöntemde anomali gözlenmiştir, diğerlerinde gözlenmemiştir ya da hiçbir yöntemde gözlenmemiştir anlamı doğmaktadır (Piro ve diğ.,1998).

### **3.3.2. Veri Bütünleştirmede İstatistiksel Yaklaşım**

Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerde amaç, yapılan bir araştırmada değişimi incelenen değişkenleri veya değişkenleri etkileyen faktörleri ve bu faktörlerin ilişkilerini ortaya çıkararak çok boyutlu sistemi, orijinal değişkenlerin doğrusal birleşimi olan az sayıda bileşen ile özetlemektir.

Çok değişkenli istatistik birden çok özelliğin analizi ile ilgilendiğinden uygulamalarda değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bu amaçlar, birleştirme ve boyut indirgeme, birimlerin sınıflandırılması, bağımlılık yapısının incelenmesi veya sıralama ve ölçekleme gibi yeni hipotezler oluşturma amacıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla, farklı çalışma konularında da uygulanabilmektedir.

#### **3.3.2.1. Temel bileşenler analizi (TBA) ve temel prensipleri**

Temel bileşen analizi olarak bilinen tekniğin ilk tanımlarının Pearson (1901) ve Hotelling (1933) tarafından yapıldığı kabul edilmektedir. Hotelling “bileşenlerini”, toplam varyansa maksimum katkı sağlayacak düzeye getirerek seçer ve bu şekilde türetilen bileşenlere “temel bileşenler” adını vermektedir. Bileşenlerin bu şekilde elde edildiği tekniğe ise temel bileşenler analizi adı verilmektedir. Anderson (1963), Girshick (1939), Rao (1964), Gower (1966), Jeffers (1967), Mobley (1988), yaptığı çalışmalarla temel bileşenler analizi ile ilgili çalışmaların öncülerindedir. Günümüzde, temel bileşenler analizi, istatistik, kimya, meteoroloji, okyanus bilimi, psikoloji, eğitim, jeoloji, sosyoloji gibi birçok farklı alanda uygulanmaktadır.

Temel bileşenler analizi; değişkenlerden oluşan bir veri kümesinin varyans-kovaryans yapısını, bu değişkenlerin doğrusal birleşimleri yardımıyla açıklayarak, boyut indirgenmesi ve yorumlanmasını sağlayan çok değişkenli bir istatistik yöntemidir (Yaycı, 2006).

Birinci temel bileşen, verilerdeki maksimum varyansı açıklayacak şekilde türetilmektedir. İkinci temel bileşen ise, geriye kalan toplam varyansa maksimum

katkıda bulunmaktadır. Yani birinci temel bileşen en çok, diğer bileşenler ise gittikçe azalan miktarlarda toplam varyansa katkıda bulunurlar. Bu nedenle, az sayıda bileşenle toplam varyansın büyük bir kısmı açıklanabilmektedir. Maksimum olarak türetilebilecek temel bileşen sayısı orijinal değişken sayısına eşittir.

Temel bileşen analizi işlemi, sırasıyla  $n$  adet ölçümdeki  $p$  adet degiskene ait veri matrisleri standartlaştırılması, standartlaştırılmış veri matrisinin korelasyon matrisinin bulunması, korelasyon matrisinin eigen değerlerinin ve eigen vektörlerinin hesaplanmasıyla yapılır. Bu adımları matematiksel olarak açıklayacak olursak;

$X$ 'ile temsil edilen veri matrisinin,  $M$  adet  $N \times 1$  'lik gözlem vektöründen oluşan bir matris olduğu düşünülürse, her bir gözlem vektörü, görüntü matrisinin sütun vektörüne dönüştürülmesiyle oluşturulur. Veri matrisi 3.14 ve 3.15 deki matrislerle ifade edilir.

$$X = [x^1 | x^2 | \dots | x^M] \quad , \quad (N \times M) \quad (3.14)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^M \\ x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^M \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N^1 & x_N^2 & \dots & x_N^M \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Bu analiz kapsamında verilerin standartlaştırılması önerilmektedir. Bu standartlaştırma veri ortalaması 0'a çekilerek yapılır. Vektörlerinin ortalaması  $m$ , (3.16)'da verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$m = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x^i = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_N \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Hesaplanan ortalama vektör, her bir gözlem vektöründen çıkartıldığında değişkenler 0 ortalamalı olur ve ortalaması çıkarılmış veri matrisi  $\tilde{X}$  ile gösterilir. Ortalaması çıkarılmış gözlem vektörleri (3.17) ve (3.18) deki denklemlerle gösterilir.

$$\tilde{x}^i = x^i - m \quad , \quad \forall i \text{ için} \quad (3.17)$$

$$\tilde{X} = [\tilde{x}^1 | \tilde{x}^2 | \dots | \tilde{x}^M] \quad , \quad (NxM) \quad (3.18)$$

Sonrasında ise sıfır ortalamalı veri matrisi (3.19) şeklinde düzenlenmelidir.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} x_1^1 - m_1 & x_1^2 - m_1 & \dots & x_1^M - m_1 \\ x_2^1 - m_2 & x_2^2 - m_1 & \dots & x_2^M - m_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N^1 - m_N & x_N^2 - m_N & \dots & x_N^M - m_N \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Sıfır ortalamalı vektörün kovaryans matrisi (3.20) ile verilen bağıntı aracılığı ile hesaplanır ve 3.21'de verilen kovaryans matrisi oluşturulur.

$$C = \tilde{X} \cdot \tilde{X}^T = \frac{1}{M-1} (x^i - m)(x^i - m)^T \quad (3.20)$$

$$\begin{bmatrix} (x_1^1 - m_1)^2 & (x_2^1 - m_1)(x_2^1 - m_2) & \dots & (x_M^1 - m_1)(x_N^1 - m_N) \\ (x_2^1 - m_2)(x_2^1 - m_1) & (x_2^2 - m_2)^2 & \dots & (x_M^2 - m_2)(x_N^2 - m_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (x_N^1 - m_N)(x_1^M - m_1) & (x_N^2 - m_N)(x_2^M - m_2) & \dots & (x_N^M - m_N)^2 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Burada köşegen üzerinde bulunan katsayılar varyans, diğerleri kovaryans katsayılarıdır. Varyans diğer boyutlardan bağımsız olarak yalnızca bir boyuttaki verinin ortalama değere göre dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Kovaryans ise, bir boyutun diğer boyutlara bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği hakkında bilgi verir.

Değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin değeri artıyor, ya da biri azalırken diğeri de azalıyorsa iki değişken arasındaki kovaryans değeri pozitif olacaktır. Değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin değeri azalıyor ya da birinin değeri azalırken diğerinin değeri artıyorsa kovaryans değeri negatif çıkacaktır. Eğer değişkenler arasında belirgin bir ilişki yoksa, kovaryans sifıra yakın bir değer olur.

Temel bileşen analizinin bir sonraki adımı, kovaryans matrisinin eigen değeri ve eigen vektörlerinin hesaplanmasıdır. Bunun için  $C$ ,  $N \times N$  boyutlu bir matris,  $\lambda$  herhangi bir skaler ve  $X$  sıfırdan farklı bir sütun vektör olmak üzere; 3.22 bağıntısından yola çıkarak; 3.23 bağıntısında verilen determinant çözülür. Buradan eigen değerleri ve vektörleri hesaplanmaktadır.

$$Cv = \lambda v \quad (3.22)$$

$$([C] - \lambda[v]) = 0 \quad (3.23)$$

Bağıntıda ,  $\lambda$  sayısı  $C$ 'nin eigen değeri,  $v$  ise  $\lambda$  ile ilişkili eigen vektördür.

Son adım olarak, eigen değerlerinden, temel bileşenlerin toplam varyansı açıklama oranları incelendikten sonra her bir eigen vektörünün transpozesi ile standartlaştırılmış veri matrisinin transpozesi çarpılarak temel bileşen değerleri bulunmuş olur.

### 3.4.ÇALIŞMA ALANLARI

Arkeolojik prospeksiyon çalışmalarıyla başarılı sonuçlar elde etmek için arkeolojik alanın ve aranılan malzemelerin özelliklerinin iyi biliniyor olması gerekmektedir. Yıllar boyunca dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan bilimsel kazı sonuçlarında, bu önemli bilgiler genel çerçevede tanımlanmıştır. Arkeolojik alanların, antropojenik kaynaklı arkeolojik kalıntıları, floral ve faunal kalıntıları ve insan kalıntılarını içeren 3 boyutlu bir matriks olduğu kabul edilmektedir.

*Küçük buluntular*; insanların günlük işlerinde kullandığı, yeri çabuk değişebilen, sabit bir yeri olmayan çanak, çömlek, bıçak vb. kalıntılardır. *Büyük buluntular ise*; sabit bir

yerde kullanılan tuğla, fırınlar, yontulmuş taşlar vb. kalıntılardır. *Yapılar*; büyük ölçekli mimari yapılar, hendekler, mezarlar, konutlar, temeller, yollar gibi arkeolojik yapılarıdır. *Sedimanlar ve toprak*; kalıntıların içinde bulunduğu malzemelerdir. Çoğu doğal yollarla oluşmuşsa da bazıları da antropojeniktir diğer bir deyişle insan eliyle değiştirilmiştir. Bazıları, hayvan kalıntılarının olduğu çöplükler ya da kül birikintileri gibi bir araya toplanmış malzemeler olarak, ya da hendeklerin kazılmasıyla ortaya çıkan toprağın bir araya toplanması, bunların yanında mezar yapımı için üst üste konumlandırılmış topraklar şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Tarih öncesi dönemlerde kalıntılar daha çok bakır-demir gibi metalik türdedir. Ya da taşların işlenmiş bir şekilde kullanıldığı kalıntılar gözükmektedir. Tarihi dönemde ise; daha gelişmiş materyaller, yanmış tuğlalar, büyük taş bloklar kullanılmıştır ve yapılarda genelde geometrik şekiller söz konusudur. Aşağıdaki tabloda, ülkemizde bulunan iki önemli arkeolojik alanda jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Tablo 3.2'de çalışma alanları ve özellikleri ve jeofizik çalışmaların yapıldığı alanlar tanımlanmaya çalışılmıştır.

**Tablo 3.2:** Çalışma alanları ile ilgili bilgiler.

<b>Çalışma Sahası</b>		<b>Antik Dönem</b>	<b>Olası Arkeolojik Yapılar</b>
<p><b>AIZANOI</b></p> <p>Çavdarhisar Kütahya</p> <p>Enlem 39.193 Kuzey</p> <p>Boylam: 29.619 Doğu</p>	<p><b>Tapınak</b></p> <p><b>Nekropol</b></p> <p><b>Torbau</b></p> <p><b>Sütunlu cadde</b></p> <p><b>Borsa-Macellum</b></p>	<p>M.Ö 3000</p> <p>M.S.14 yy</p> <p>Helenistik</p> <p>Bizans</p> <p>Roma</p>	<p>Mezarlar</p> <p>Antik yollar</p> <p>Temeller</p> <p>Duvarlar</p>
<p><b>HERAION TEICHOS</b></p> <p>Karaevlialtı</p> <p>Tekirdağ</p> <p>Enlem: 41.037 Kuzey</p> <p>Boylam: 27.666 Doğu</p>	<p><b>Akropol</b></p>	<p>M.Ö 2000- M.S 13. yy</p> <p>Traklar</p>	<p>Temeller</p> <p>Duvarlar</p>

### 3.4.1. Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü

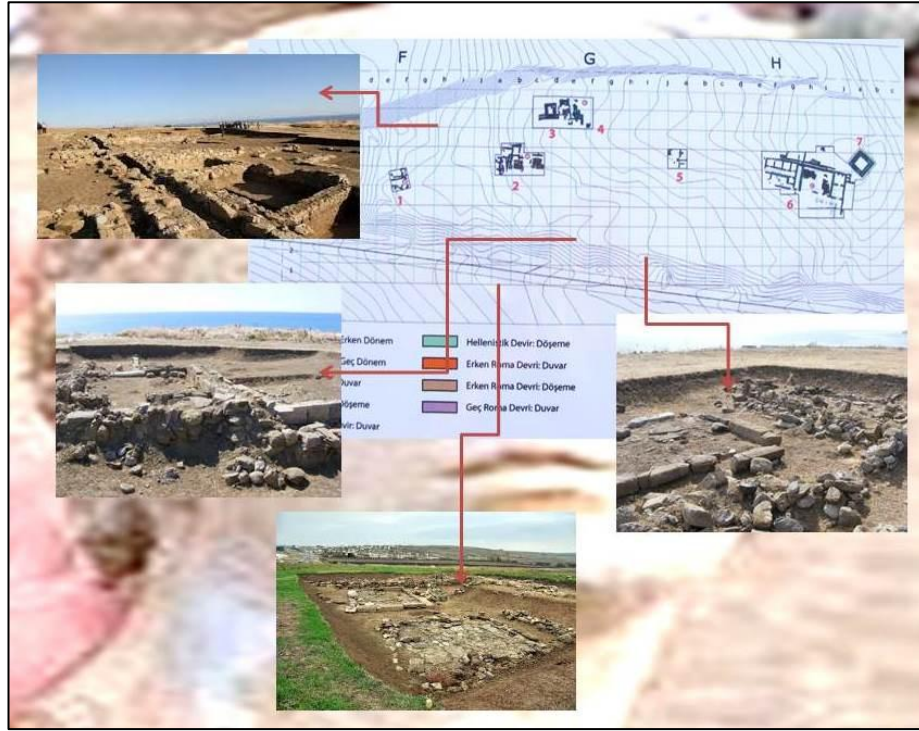
Tekirdağ ili, Karaevli altı mevkiinde bulunan Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü, Namık Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Arkeoloji Bölümü öğretim üyesi Prof.Dr. Neşe ATİK 'in başkanlığındaki ekip ve Tekirdağ Müzesi'nin desteği ile devam etmektedir.

Kentin akropolü İstanbul-Tekirdağ Karayolu üzerinde ve Karaevli altı mevkiinde bir tepenin üzerinde bulunmaktadır. Heraion Teichos Antik kenti, Anadolu'ya yerleştikleri Demir devrinde Traklar tarafından işgal edilmiş, Klasik ve Arkaik devirde parlak dönemini yaşamış ve varlığını Bizans döneminin sonlarına kadar sürdürmüştür. Kazı yapılan tüm alanlarda ele geçirilen Klasik Dönem-Erken Roma dönemine ait çanak çömleklerin bir kısmının burada üretildiği gözlenmiştir.

2000 yılında yüzey araştırmalarıyla başlayan çalışmalar, birkaç yıl aradan sonra Akropol'de sondaj şeklinde kazılarla devam etmiştir. Akropol sınırları içinde çift kuleli kuzey kapısı tespit edilmiştir. Bu sınırlarda yine surların olduğu düşünülmektedir. Alanda yapılan kazı çalışmalarında M.Ö.3 ve M.Ö.4.yy'a tarihlenen çanak-çömlekler sıkça bulunmuştur.

2004 yılında sürdürülen kazı çalışmalarında ise, Akropolün kuzey kapısının batı kapısı önünde avlulu yapı kompleksinde Arkaik-Helenistik devirlere ait sikkeler bulunmuştur. Yine burada, M.S.1.yy' a ait buluntuların yanısıra, Helenistik ve Klasik döneme ait kültür katmanları devam etmektedir. Kazılar sonucunda tespit edilen avlulu yapının tedavi ve kült merkezi olduğu düşünülmektedir. Kazı çalışmaları halen devam etmektedir (Atik, 2003; 2004).

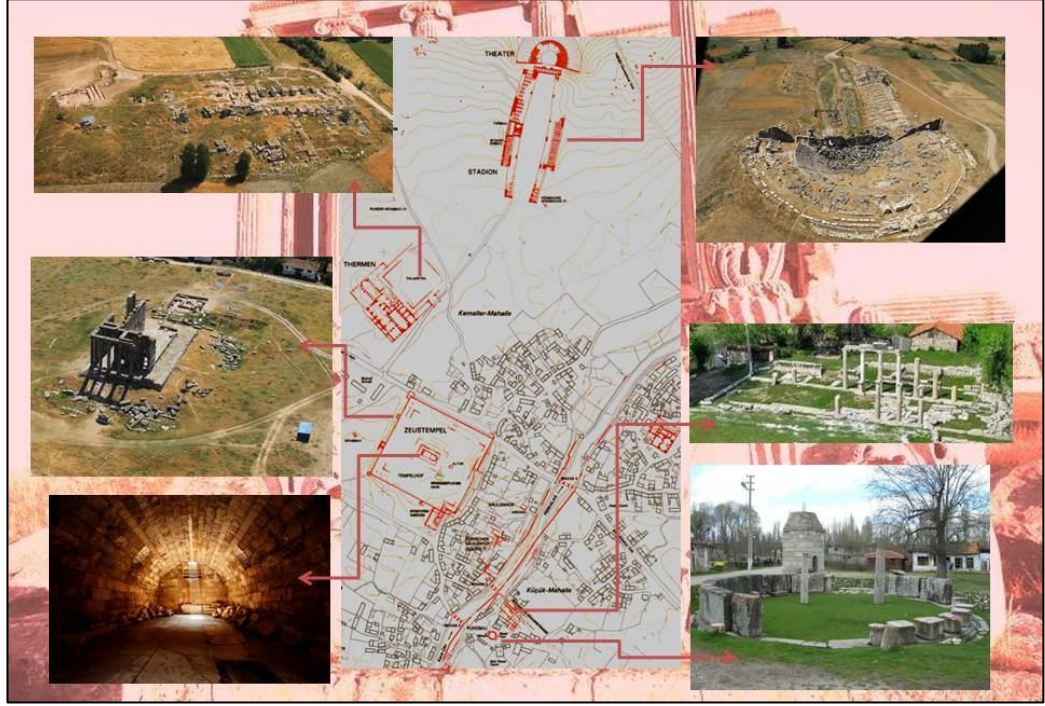
Şekil 3.3'de Heraion Teichos Akropolü, güncel kazılarda tespit edilen arkeolojik yapılar sunulmuştur.



Şekil 3.3: Heraion Teichos Akropolü güncel kazılarda tespit edilen arkeolojik yapılar.

### 3.4.2. Aizanoi Antik Kenti

Kütahya ili, Çavdarhisar İlçesi sınırları içinde bulunan Aizanoi Antik Kenti, uzun yıllar Alman arkeologlar tarafından incelenmiştir. Bilimsel kazılar, 2010 yılından bu yana Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Arkeoloji Bölümü öğretim üyesi Prof.Dr. Elif ÖZER kazı başkanlığındaki ekip ve Kütahya Müzesi'nin desteğiyle devam etmektedir. Antik kent 2012 yılında Unesco Dünya Miras Geçici Listesi'ne girmiştir. Şekil 3.4'de Aizanoi Antik kentindeki arkeolojik yapılar ve jeofizik çalışmaların yapıldığı alanları sunulmuştur.



**Şekil 3.4:** Aizanoi Antik kentindeki arkeolojik yapılar.

Aizanoi kentinin görkemli yapılarının inşaatı Zeus Tapınağı ile başlamıştır. Tapınağın yapımına M.S. 1. yy.'ın 2. çeyreğinde başlanmıştır ve bir kısmı günümüze kadar ulaşmıştır. Tapınağın hemen altında kehanet yeri veya depo işlevini gördüğü düşünülen bir alt yapı bulunmaktadır. Mimari açıdan incelendiğinde Anadolu'daki Roma mimarlık sanatında daha önce rastlanmamış özellikler barındırmaktadır. Antik kentteki diğer önemli bir yapı da Stadion-Tiyatro'dur. Stadion'da yapılan araştırmalar bu yerin inşaatının M.S. 160 yılından sonra başlanıp, aralıklarla M.S. 3 ncü yy.'ın ortalarına kadar devam ettiğini göstermektedir. Yapının, bu döneme kadar olan birçok depremden etkilendiği açıkça gözlenebilmektedir. Kentin kuzeydoğusunda ise yapımına M.S. 3. yy.'ın 2. yarısında başlandığı düşünülen ve büyük kalker bloklardan oluşan büyük bir hamam inşaa edilmiştir. Burada kazı çalışmaları hala devam etmektedir.

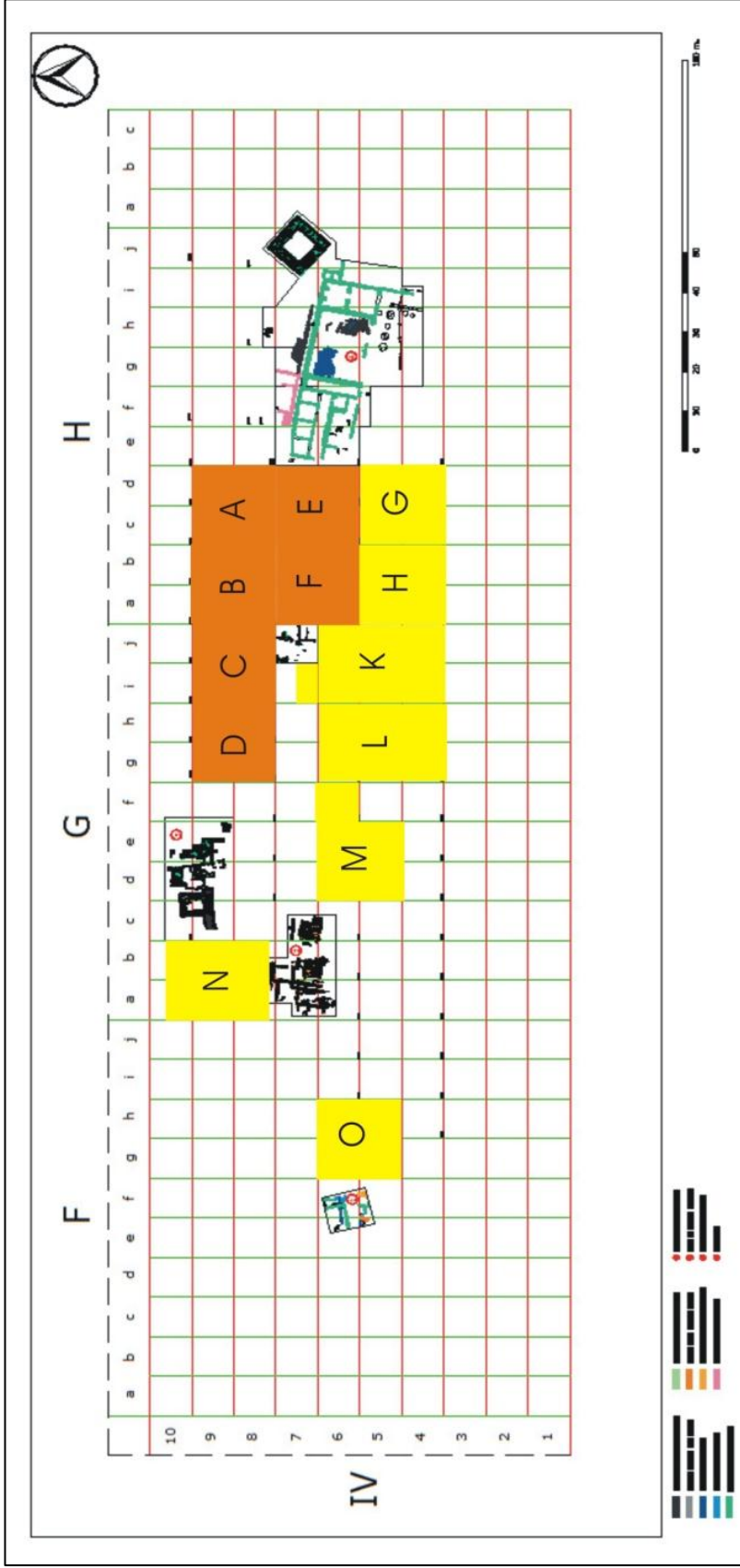
Kentteki Nekropol adı verilen mezarlık alanları çok dağınıktır. Bu durum kentin çok büyük olduğunun bir işaretidir. Nekropollerde, mezar odaları ve süslü lahit tipi mezarlar bulunmuştur. İlginç bir şekilde Tiyatro'nun hemen arkasında bulunan bu alanda güncel kazılar devam etmektedir. Diğer önemli bir yapı da, Macellum'dur. Bu yapının etrafı sütunlu bir pazar yeri ya da bir Borsa olduğu düşünülmektedir (Uçankuş,2002).

## **4. BULGULAR**

### **4.1. HERAION TEICHOS AKROPOLÜ YER RADARI VE MANYETİK YÖNTEM BULGULARI**

Farklı arkeolojik dönemlere ait kalıntıların bulunduğu Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü oldukça geniş bir alana sahiptir. Akropol'deki yer radarı ve manyetik çalışmaların birçoğu 20 x 20 metrelik gridler halinde düzenlenen 13 adet alan içerisinde ve 0.50 metre aralıklı düzenlenmiş profiller üzerinde yapılmıştır.

Şekil 4.1'de manyetik ve yer radarı ölçümlerinin yapıldığı alanlar grid haritası üzerinde sunulmuştur. Haritada turuncu ile belirtilen alanlarda hem manyetik hem yer radarı çalışmaları, sarı ile belirtilen alanlarda ise sadece yer radarı çalışmaları yapılmıştır. Bu haritada arkeologlar tarafından oluşturulmuş ve önceki kazılarda gözlenen kalıntılara ait mimari çizimler de bulunmaktadır. Jeofizik yöntemlerden elde edilen verilerin bu grid haritası üzerinde sunumu, anomalilerin çevredeki arkeolojik öğelerle ilişkisini de göz önünde bulundurularak yorumlanmasını sağlamıştır.



**Şekil 4.1:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü Yer radarı ve Manyetik yöntem çalışma alanlarının sunulduğu grid haritası.

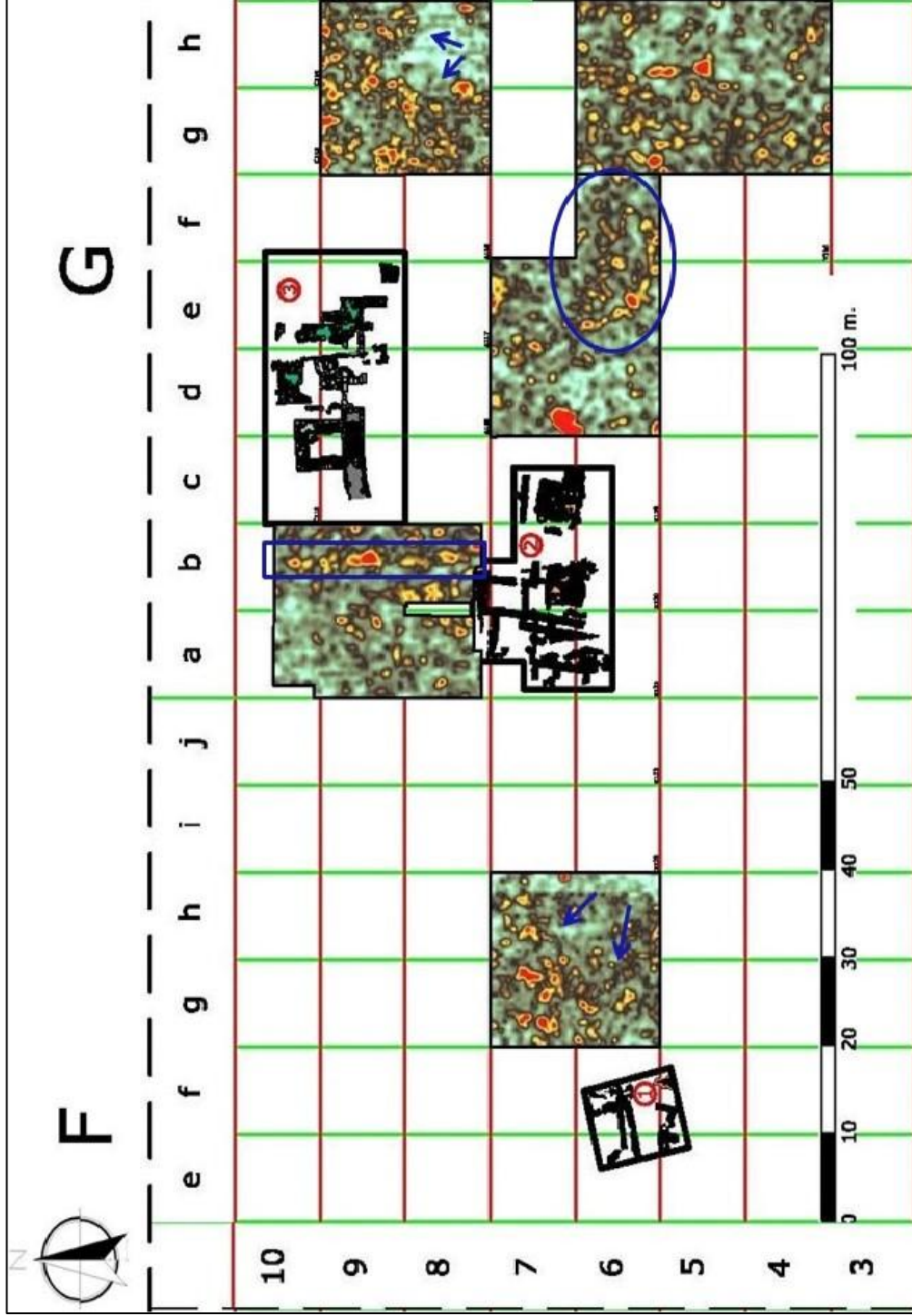
#### 4.1.1.Yer Radarı Yöntemi Sonuçları

Heraion Antik Kenti Akropolünde yapılan yer radarı çalışmalarının sonuçları bu kısımda sunulmaya çalışılmıştır. Elde edilen radargramlardan yararlanarak oluşturulan 2 boyutlu zaman/derinlik dilimleri tüm gridler için tek bir haritada gösterildiğinde anomaliler çok net tanımlanamaktadır. Bu yüzden Akropol'deki yer radarı sonuçları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te, doğu ve batı kısım olarak iki parça halinde sunulmuştur.

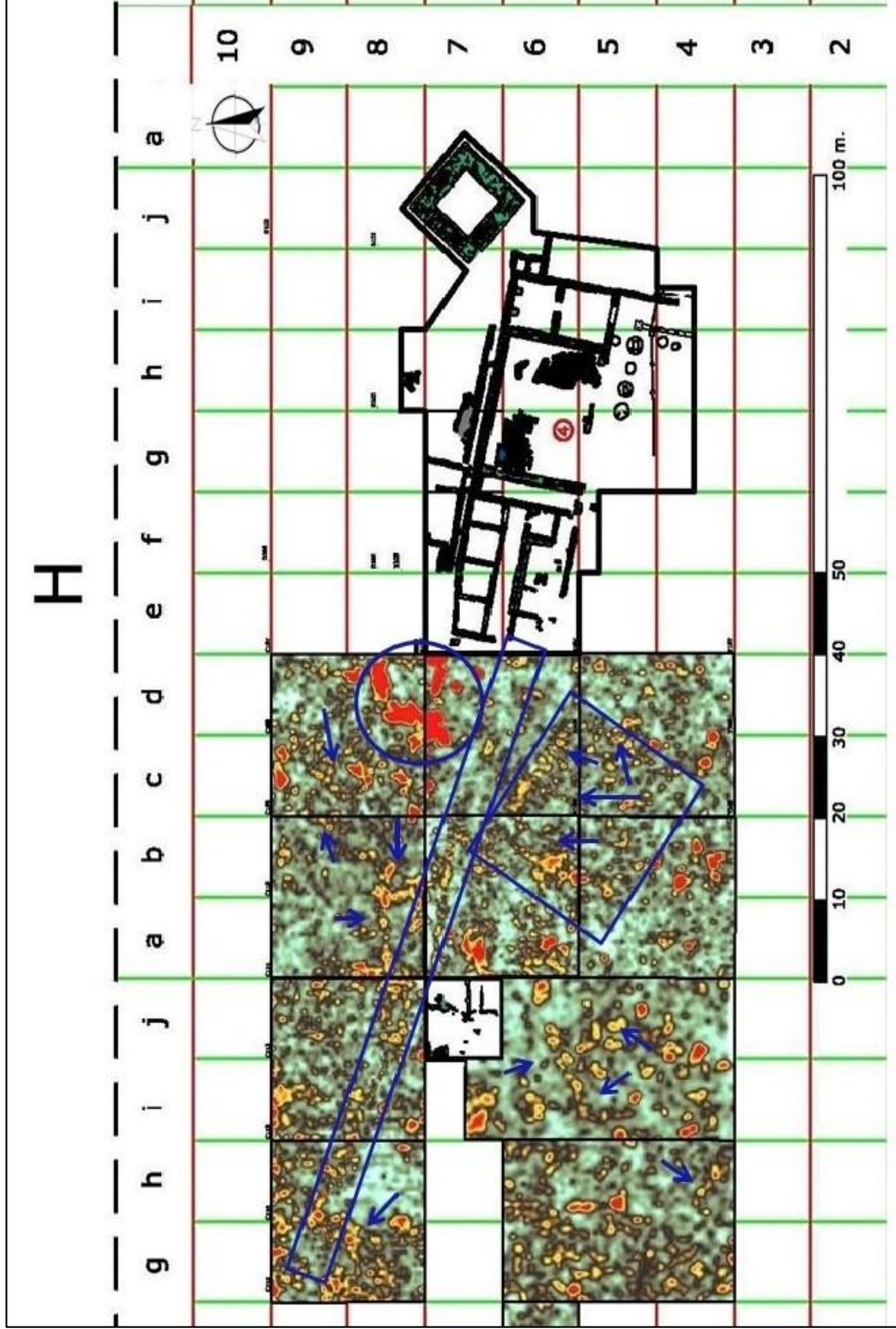
Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te sunulan 0.50 metre derinliğe karşılık gelen zaman dilimleri incelendiğinde oklarla belirtilmiş ve çerçeve içine alınmış kısımlarda olası arkeolojik yapılara ait olduğu düşünülen izler gözlenmiştir. Şekil 4.2'de,  $G_{10-9-8,a-b}$  gridinde çerçeve içine alınmış olan kısımda yaklaşık 25 metre kuzeye doğru devam eden anomaliler gözlenmiştir. Bu anomaliler,  $G_{7-6,a-b}$  gridindeki arkeolojik kazılarda tespit edilen yapıların devamı niteliğindedir.  $G_{7-6,e-f}$  gridinde ise; 10 metre yarıçaplı yarım daire niteliğinde bir anomali gözlenmiştir.

Şekil 4.3'te  $G_{9-8,g-h}$  gridinde başlayan ve  $H_{7-6,c-d}$  gridine kadar devam eden lineer bir anomali söz konusudur. Çerçeve içine alınmış olan bu anomali zaman zaman kesintiye uğramaktadır. Bu anomalinin uzanımı ve boyutları incelendiğinde  $H_{7-6,e-j}$  sınırları içindeki arkeolojik çizimler ile uyum içersinde olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla Akropoldeki arkeolojik yapıların batıya doğru devam ettiği düşünülmektedir.  $H_{8-7,i-j}$  gridinde ise; sınırları belirgin ve büyük genlikli bir anomali söz konusudur. Bu anomali, boyutları itibariyle  $H_{9-8,c-d}$  gridindeki arkeolojik öge ile benzerlik göstermektedir. Şekilde  $H_{7-6-5,b-c-d}$  gridi sınırları içinde dikdörtgen çerçeve içine alınmış olan anomaliler detaylı olarak incelendiğinde birbirini dik kesen ve yaklaşık 15 metre uzunluklu olası duvarlara ait olduğu düşünülmektedir.

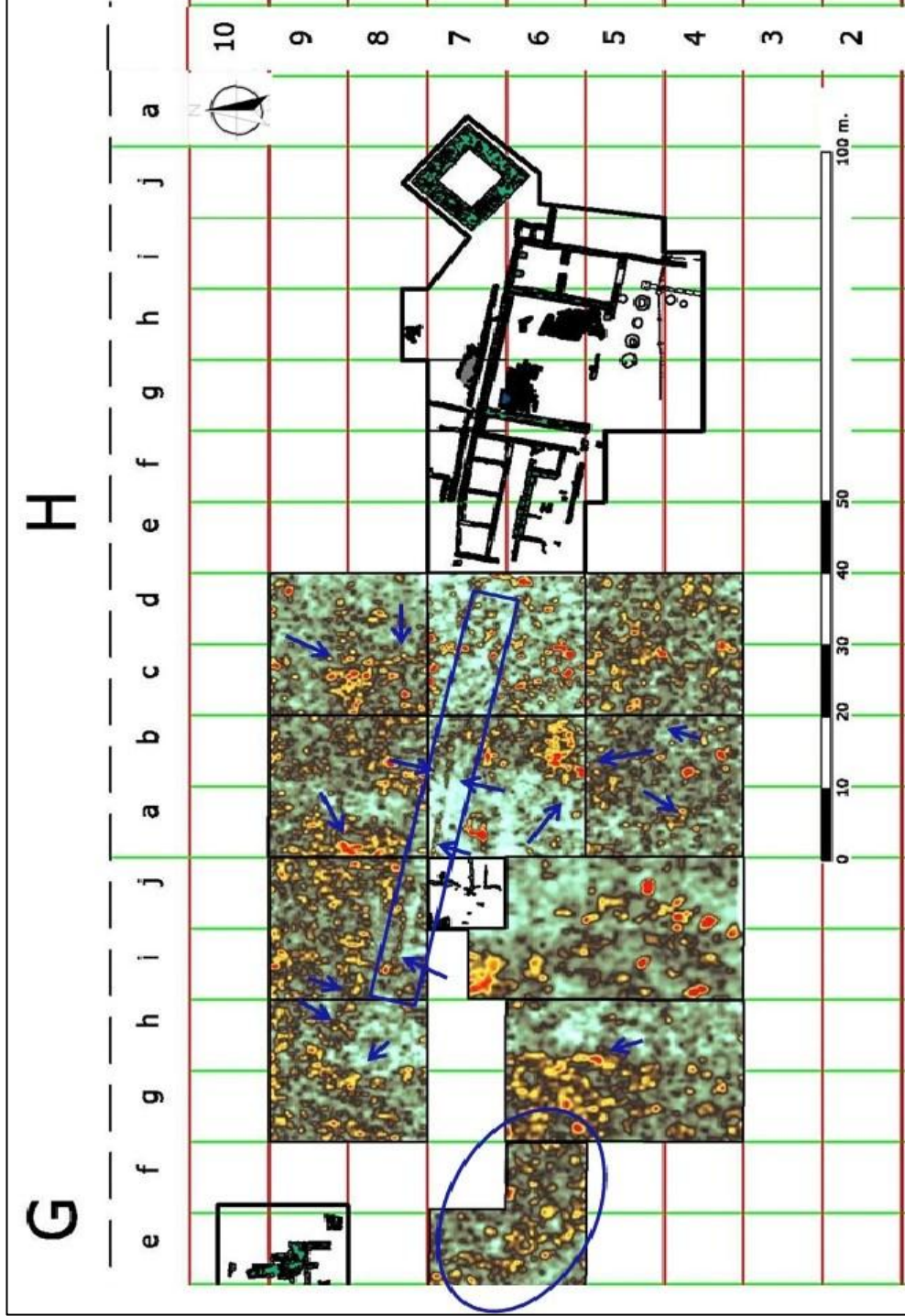
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te, Akropolün batı ve doğu kısmı ve 1 metre derinliğe karşılık gelen zaman dilimleri sunulmuştur. Burada belirtilen anomalilerin birçoğu 0.50 metre derinlikteki anomalilerin devam niteliğindedir. Dolayısıyla gözlenen anomalilerin yaklaşık 0.50 metre derinlikten 1 metreye kadar devam ettiği söylenebilir. Farklı olarak, Şekil 4.5'teki  $G_{10-9-8,a-b}$  gridinde ise, 0.5 metrede devam eden 25 metrelik anomali kaybolmuştur. Bu grid içerisindeki anomaliler oklarla gösterilmeye çalışılmıştır. 1 metre derinlikten sonraki zaman dilimlerinde arkeolojik kalıntı olarak tanımlanacak herhangi bir anomali gözlenmemiştir.



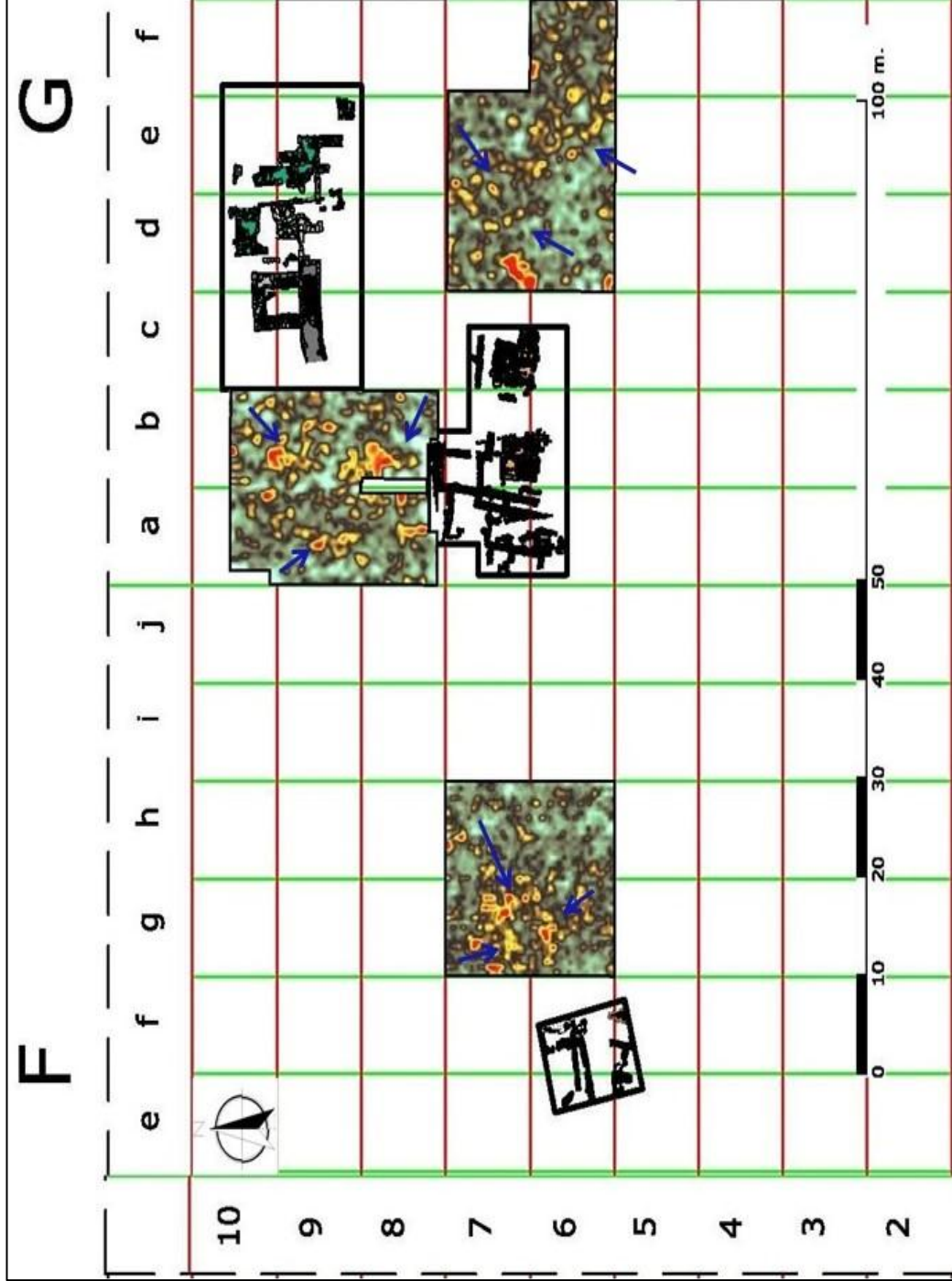
Şekil 4.2: Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü batı kısmı 0.50 metre derinliğe ait 2 boyutlu yer radarı anomali haritası.



**Şekil 4.3:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü doğu kısmı 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimleri.



**Şekil 4.4:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolisü doğu kısmı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu radarı zaman dilimleri.



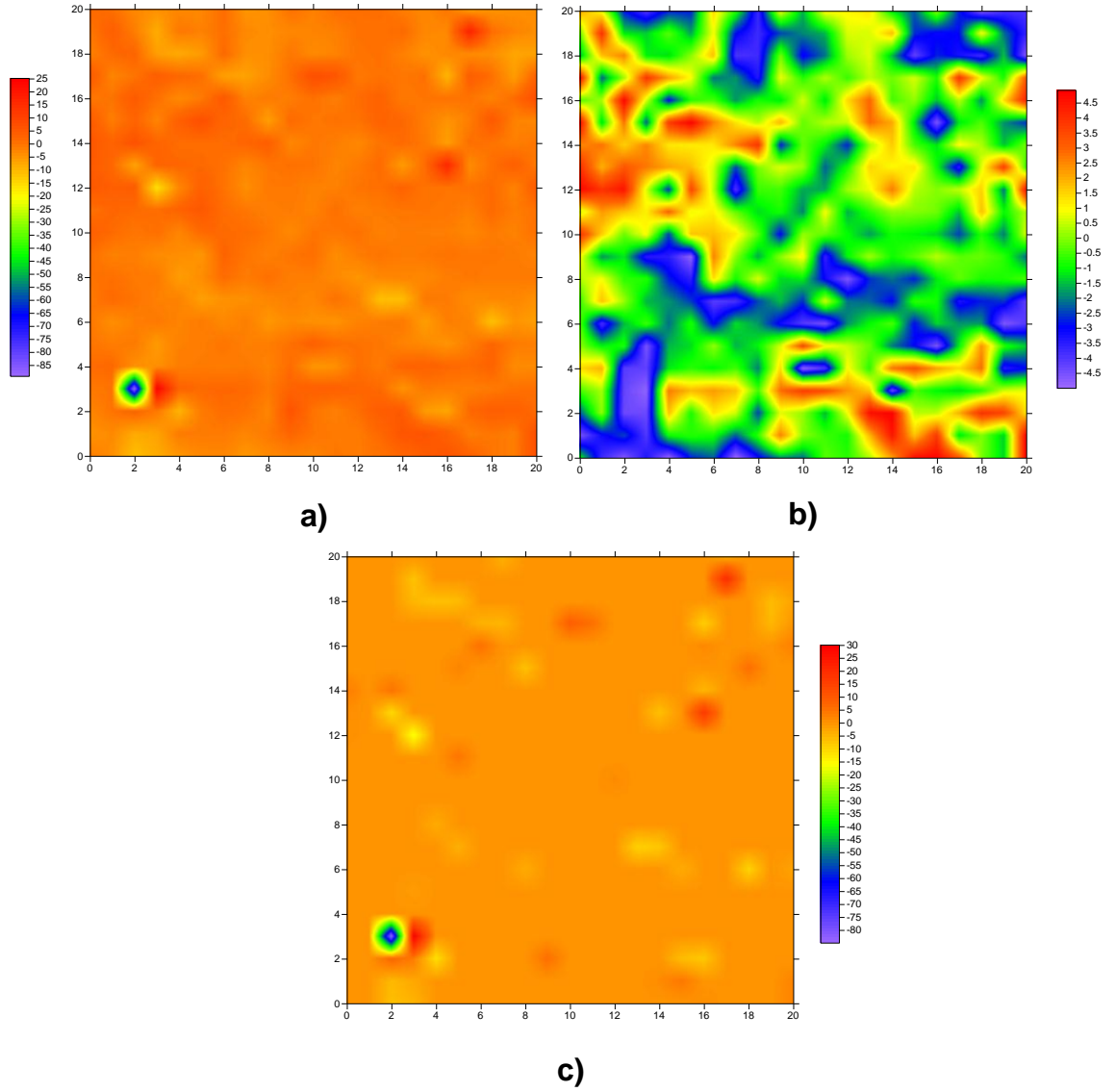
Şekil 4.5: Heraion Teichos Antik Kenti Akroplolu batı kısmı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimleri haritası.

#### 4.1.2. Manyetik Yöntem Sonuçları

Heraion Teichos Akropolünde 20 x 20 metrelik gridlere ayrılmış 6 ayrı alanda manyetik yöntem çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada, Geometrics G858 marka Sezyum manyetometresi kullanılmıştır. Ölçümler esnasında, alt sensör ve üst sensör arasındaki uzunluk 1 metre, alt sensörün yer yüzeyinden olan uzaklığı ise 0.50 metre olarak düzenlenmiştir. Çalışmada manyetik veriler, üst sensör, alt sensör ve gradiyent ölçümler olarak sistemde kaydedilmiştir. Tez çalışması kapsamında gradyometrik veriler sunulmaktadır.

Veriler incelendiğinde, arazideki demir içerikli malzemelerden ya da sensörlerin birbiri ile uyumsuzluğundan kaynaklandığı düşünülen istenmeyen uç değerlerin (*spike*) varlığı tespit edilmiştir. Bu tür uç değerler verinin kalitesini düşürmekte ve anomaliler rahatça tanımlanamamaktadır. Uç değerlerin atılması (*Despiking*) işlemi ile istenmeyen bu değerler verilerden arındırılmıştır.

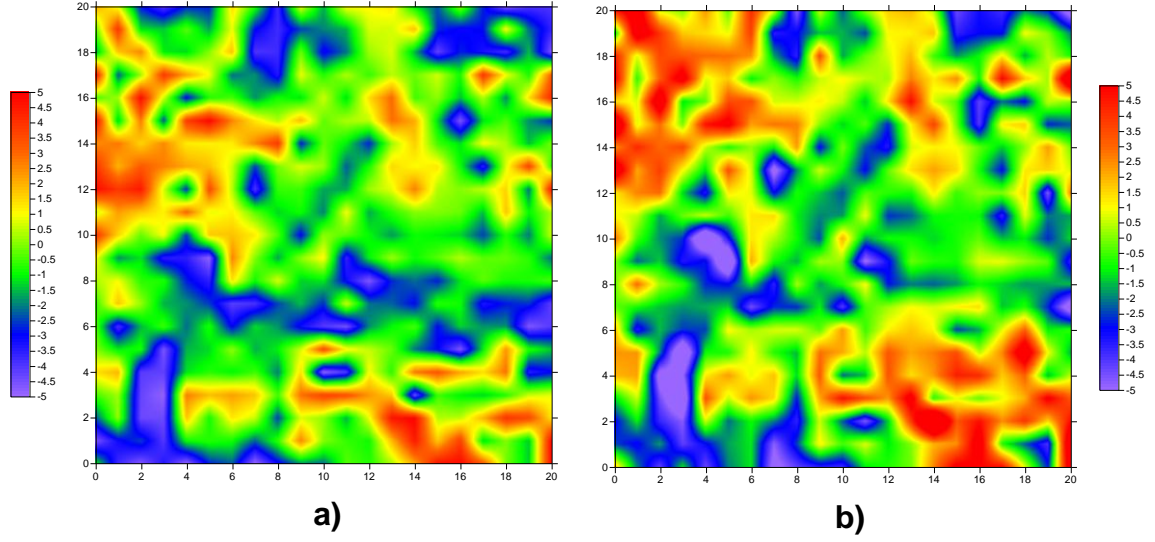
Şekil 4.6a.'da araziden elde edilen ham manyetik anomali haritası, Şekil 4.6b'de uç değerlerin atılması işleminden sonra elde edilen manyetik anomali haritası, Şekil 4.6c'de ise veriden atılan değerler örnek olarak sunulmuştur. Bu işlem, Heraion Teichos Akropolü'nde elde edilen 6 ayrı grid için uygulanmıştır.



**Şekil 4.6:** a) Ham manyetik anomali haritası. b) Uç değerlerin atılması sonrasında elde edilen manyetik anomali haritası. c) Ham veriden atılan değerler.

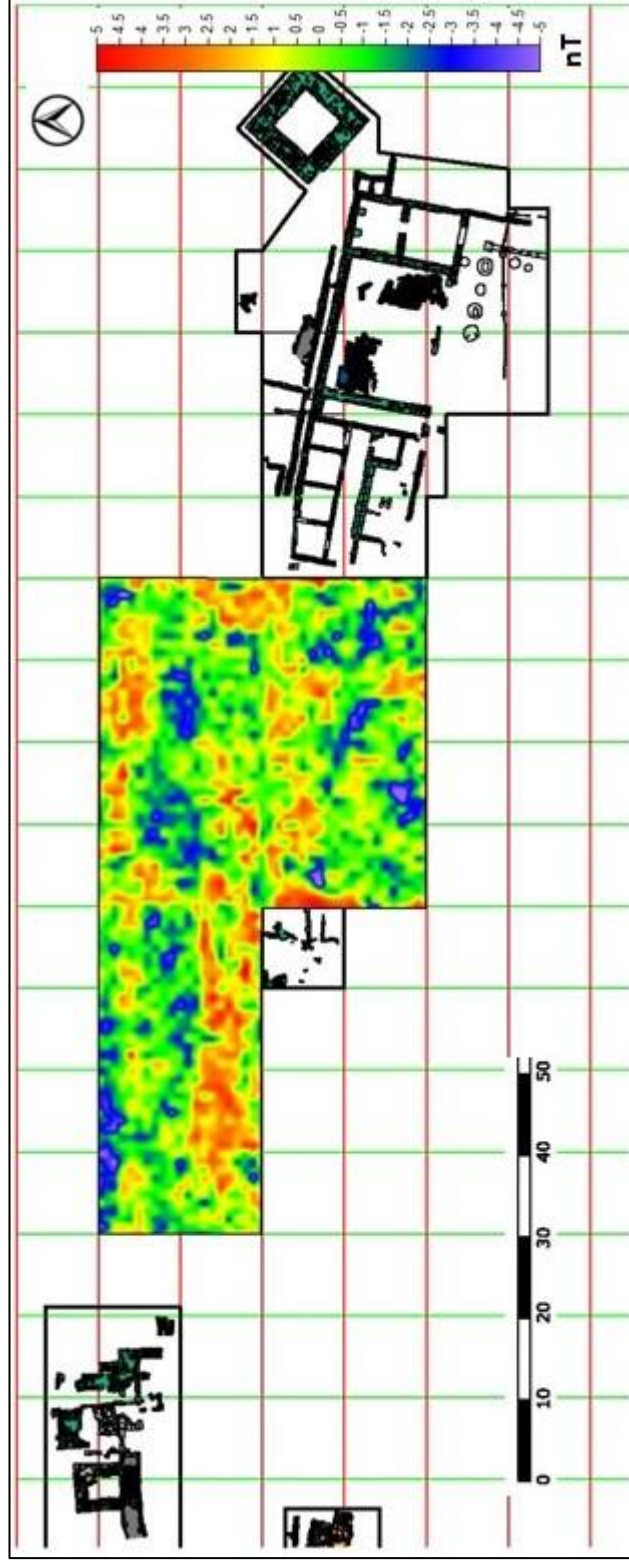
Uç değerlerin atılması işleminden sonra, manyetik anomaliye neden olan kütlenin mıknatıslanma vektörünün doğrultusundan kaynaklanan karışıklığın giderilmesi için veriye Kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır. Kutba indirgeme işleminin ayrıca farklı yöntemlerle elde edilen 2 boyutlu anomali haritalarının karşılaştırılabilmesi ve bütünleştirme işlemi için de gerekli olduğu düşünülmüştür.

Kutba indirgeme işleminden sonra elde edilen örnek bir anomali haritası Şekil 4.7’de sunulmuştur. Bu işlem Heraion Teichos Akropolü’nde elde edilen 6 ayrı grid için uygulanmıştır.



**Şekil 4.7:** a) Uç değerlerden arındırılmış manyetik anomali haritası. b) Kutba indirgeme işleminden sonra elde edilen manyetik anomali haritası.

Şekil 4.8’de Heraion Teichos Akroplü’nde elde edilen veriler, uç değerlerin atılması işlemi ve kutba indirgeme işleminden sonra arazideki koordinatlarına göre tekrar düzenlenmiş ve tüm manyetik anomali haritaları bir arada sunulmuştur. Bu harita incelendiğinde, tüm çalışma alanı boyunca devamlılığı söz konusu olan lineer anomaliler açıkça gözlenmektedir. Yer altındaki olası arkeolojik yapıları çalışma alanının batısına doğru devam etmektedir.



**Şekil 4.8:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü uç değerlerin atılması ve kutba indirgenmesi işleminden sonra elde edilen tüm manyetik haritaların bir arada gösterimi.

Tez çalışması kapsamında manyetik verilere uygulanan diğer bir veri işlem adımı da 2 boyutlu kroskorelasyon işlemidir. Kroskorelasyon işlemi, yapıların merkezlerinin (*body-center*) tespitinin yanı sıra, manyetik veriler hakkında derinlik bilgisi elde etmek amacıyla da uygulanmıştır. Yer radarı yöntemiyle farklı derinlikleri temsil eden zaman dilimleri oluşturulabilmektedir. Diğer yandan manyetik anomali haritaları ise, çalışma alanındaki yüzeyden derine kadar toplam etkiyi-değişimleri temsil etmektedir. Bu yüzden manyetik anomaliyi oluşturan kaynakların derinlik bilgisinin tespit edilmesi, yer radarı verileriyle karşılaştırılabilmesi için önemlidir.

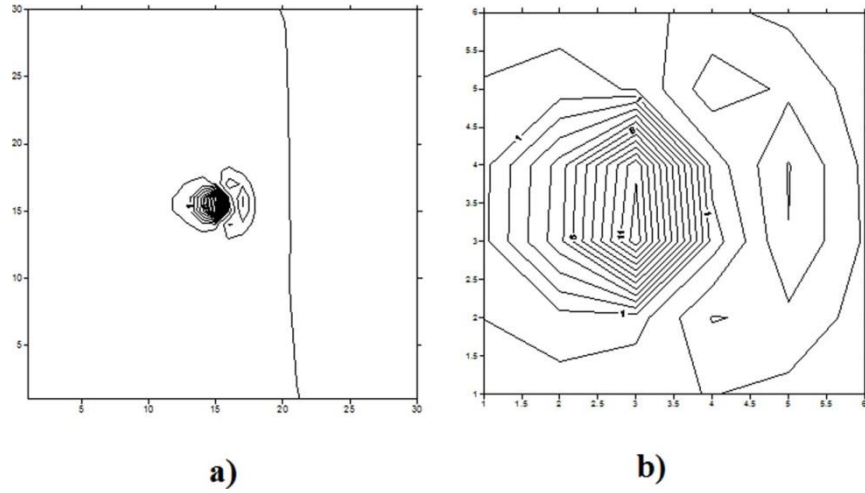
Otokorelasyon ve kroskorelasyon işleminde kullanılmak amacıyla, hem 30x30 luk grid düzeninde, hem de operatör olarak kullanılacak olan 6x6 lik grid düzeninde 1x1x1 birim küp şeklindeki bir yapının oluşturacağı 2 boyutlu sentetik anomali haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar oluşturulurken, yapıların yüzeyden olan derinlik bilgisine, süseptibilite değerlerine ve lokal manyetik alan ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada oluşturulan sentetik model parametreleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

2 boyutlu sentetik manyetik anomali haritaları, birim yapının yüzeyden 0.5, 1 ve 1.5 metrede olması durumları ve 0.001 ile 0.0032 SI arasında değişen süseptibilite değerlerine sahip olması durumuna göre hesaplanmıştır. Çalışma alanına ait yer manyetik alanı ile ilgili parametreler olan inklınasyon, denklinasyon ve şiddet değerleri Uluslararası Yer Manyetik Referans Alanı (*International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*)’ den yararlanarak hesaplanmıştır. Heraion Teichos alanı için bu değerler, Yermanyetik alan; 47000, inklınasyon 58 °, denklinasyon ise 5° olarak belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak hazırlanan modeller, hem üst sensör hem de alt sensör için hesaplanmıştır.

Sentetik modellelerin oluşturulmasında *MGE5.exe software (ITABC-GRS Lab)* adlı yazılım kullanılmıştır. Otokorelasyon ve kroskorelasyon işlemleri ise *Quick Basic (QB) CB32.bas (ITABC-GRS Lab)* yazılımları kullanılarak uygulanmıştır (Piro ve diğ.,1998). Şekil 4.9’da Otokorelasyon ve Kroskorelasyonda kullanılan örnek bir sentetik model sunulmuştur.

**Tablo 4.1:** Sentetik model parametreleri.

<i>Çalışma sahası</i>	<i>Derinlik (m)</i>	<i>Süseptibilite Kontrastı (SI)</i>	<i>Yer Manyetik alan şideeti-İnklinasyon-Denklinasyon-</i>
<b>Heraion Teichos ( 7 Grid )</b>	0.5 1 1.5	0.001	Yermanyetik alan: 47000 nT Denklinasyon: 5° İnklinasyon : 58 °
		0.002	
		0.0007	
		0.0017	
		0.0025	
		0.0028	
		0.0030	
		0.0032	



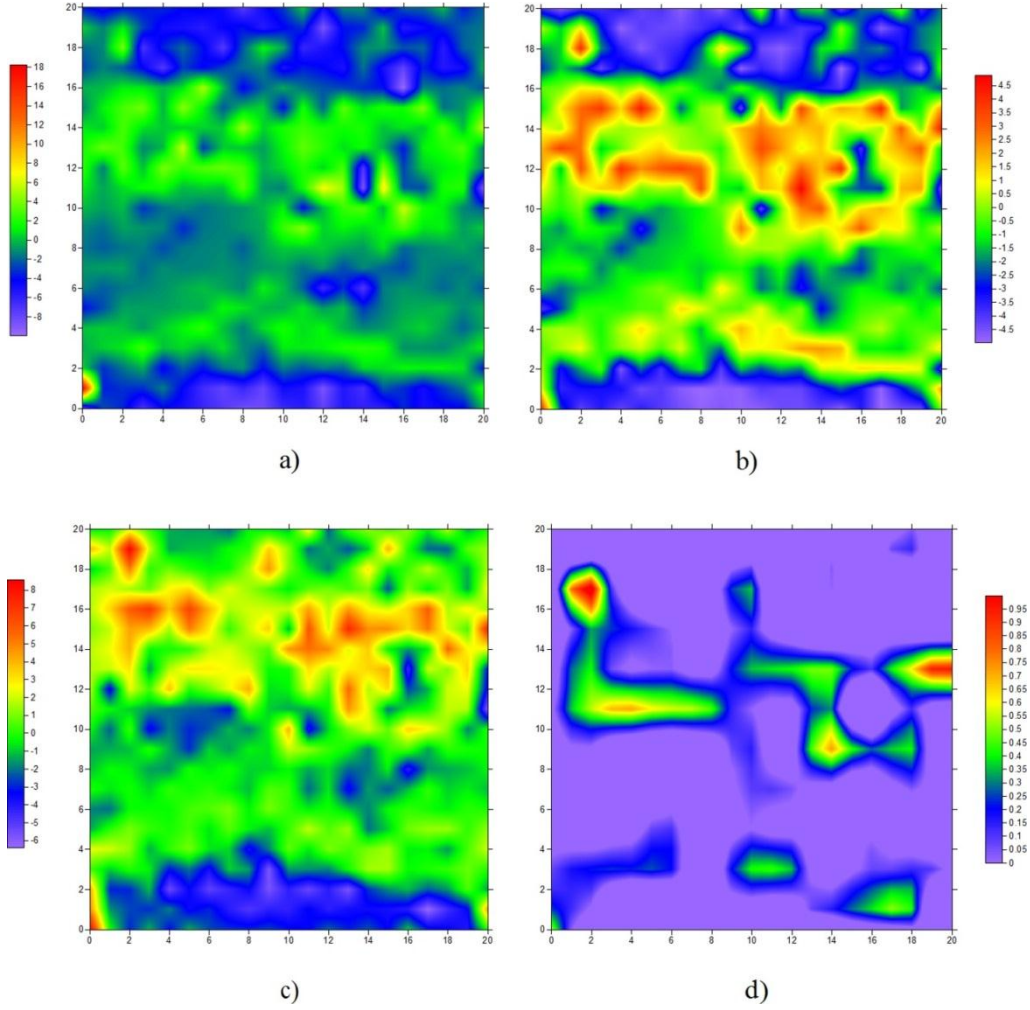
**Şekil 4.9.** Otokorelasyon ve Kroskorelasyonda kullanılan örnek sentetik modeller. a) 30x30 boyutlarında düzenlenmiş 2 boyutlu sentetik anomali haritası. b) 6x6 boyutlarında düzenlenmiş 2 boyutlu sentetik anomali haritası. (parametreler: 0.003 SI süseptibilite kontrastı, 47000 nT manyetik alan değeri, 5° denklinasyon, 58° inklinasyon)

Tablo 4.2’de farklı derinlik, süseptibilite değerleri ve bölgeye ait yermanyetik alanı, inklinasyon ve denklinasyon değerleriyle elde edilen modeller yardımıyla uygulanan kroskorelasyon işlemi sonuçları normalize edilerek sunulmuştur. Normalizasyon işlemi, verilerin, sentetik modellerin otokorelasyonu sonucunda elde edilen maksimum değere bölünmesiyle elde edilmiştir. Dolayısıyla 1 ve 1’e yakın olan kroskorelasyon sonuçları, kullanılan model parametreleri ve arazi verilerinin uyumunu temsil eden değerlerdir. Tablo 4.2’de, kırmızı ile belirtilen değerler süseptibilite değerlerini, parantez içindeki değerler ise normalize edilmiş kroskorelasyon sonuçlarını temsil etmektedir. Kros korealasyon sonuçları 1 ve 1’e yakın olan model parametreleri seçilerek manyetik anomali haritaları oluşturulmuştur. Tablo 4.2 incelendiğinde Heraion Teichos Akropolü’nde çalışılan 6 adet gride H1 ve H2 alanı 1 metre derinlik ve 0.0025 SI süseptibilite değeriyle, H3 ve H4 alanları 1 metre derinlik ve 0.0020 SI süseptibilite değeri ile; H5 alanı; 0.5 metre derinlik ve 0.0010 SI süseptibilite değeri, H6 alanı ise; 0.5 metre derinlik ve 0.0025 SI süseptibilite değerleri kullanıldığında Kroskorelasyon sonucunda maximum 1 değerine veya yakın değerlere ulaşmıştır.

**Tablo 4.2:** Normalize edilmiş Kroskorelasyon sonuçları.

HERAION	H1	H2	H3	H4	H5	H6
0.5 m derinlik	0.0017 (0.90) 0.0020 (0.80)	0.0017 (0.80) 0.0020 (0.94) 0.0025 (0.80)	0.0017 (0.90)	0.0017 (0.8)	0.0010 (0.93)	0.0025 (1.00)
1 m derinlik	0.0025 (1.00)	0.0025 (1.00)	0.002 (0.94) 0.0025 (0.80)	0.002 (0.90)		
1.5 m derinlik			0.002 (0.75)			

Şekil 4.10'de H4 gridi için elde edilen kroskorelasyon sonucu örnek olarak sunulmuştur. Tablo 4.2'de yüksek korelasyon sonuçlarını temsil edilen değerler sarı ile belirtilmiştir ve kutucuk içerisine alınmıştır. Bu değerler kullanılarak tüm araziyi temsil eden anomali haritaları Şekil 4.11'te bir arada sunulmuştur.

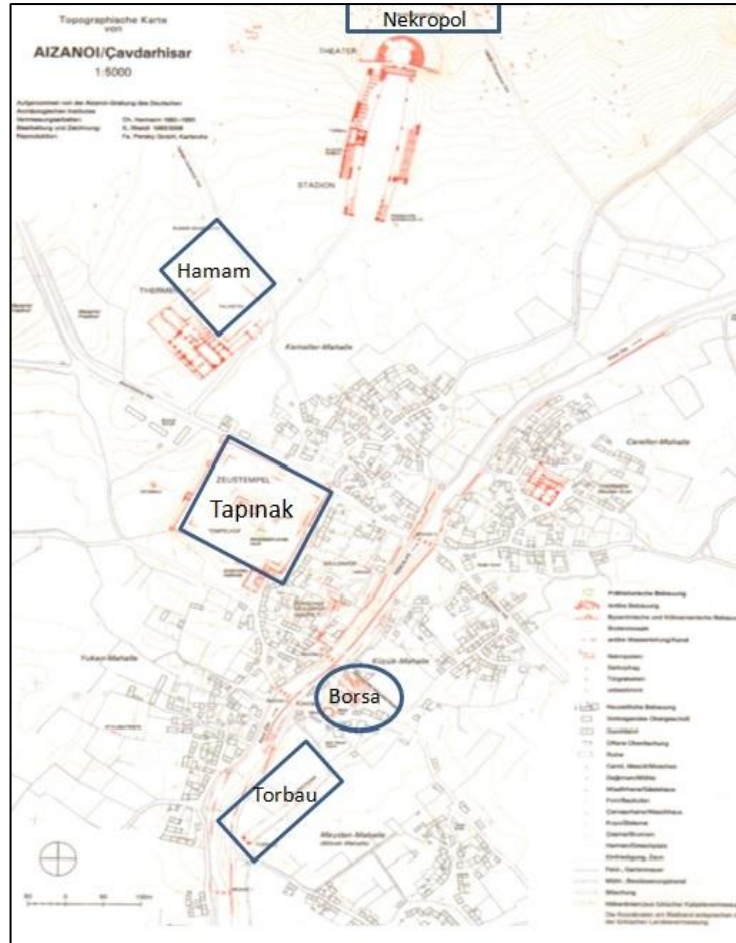


**Şekil 4.10:** H4 gridinde elde edilen manyetik anomali haritaları. a) ham veri. b) Uç değerlerin atılması işleminden sonra elde edilen anomali haritası. c) Kutba indirgeme işleminden elde edilen anomali haritası. d) normalize edilmiş kross-korelasyon sonucu (0.0020 SI süseptibilite değeri ve 1 metre derinlik).



#### 4.2.AIZANOI ANTİK KENTİ YER RADARI VE MANYETİK YÖNTEM BULGULARI

Aizanoi Antik Kenti'nde Tapınak çevresinde 5 ayrı alanda, Borsa ve Sütunlu cadde-Macellum'da, Torbau'da 3 ayrı alanda, Nekropol kısmında 2 alanda, Hamam'da iki ayrı alanda Tapınak altında olmak üzere 15 ayrı alanda yer radarı çalışması yapılmıştır. Yine Tapınak çevresinde 2 alanda, Torbau'da 2 ayrı alanda manyetik çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanları Şekil 4.12 'de sunulmuştur.



Şekil 4.12: Aizanoi antik kenti topoğrafik ve arkeolojik yorum haritası.

#### 4.2.1.Yer radarı yöntemi sonuçları

##### *Tapınak*

Genelde bu tip yapıların etrafında, yapıyı çevreleyen ve koruma amaçlı inşa edilen kalın duvarların varlığı sıkça gözlenmektedir. Kentteki Zeus Tapınağı etrafında da, bu özellikte duvarların olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan tapınak çevresindeki güncel kazılardan elde edilen bilgilere göre, tapınak inşa edilmeden önce daha erken döneme ait dükkan, ev temellerine ait duvar kalıntıları gözlenmiştir.

Tapınak ve çevresi, yaklaşık 100x100 metre karelik bir alanı kaplamaktadır. Henüz kazısı yapılmamış olan kısımlardaki olası arkeolojik yapıların yerleri, sınırları ve derinliklerinin tespit edilmesi ve bunun yanında olası kültür katmanları hakkında bilgi edinebilmek için yer radarı ve manyetik çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.13’de Aizanoi Antik Kenti Zeus Tapınağı’nın hava fotoğrafı sunulmuştur. Fotoğrafta da görüldüğü gibi kenar kısımlarda kazı çalışmalarında tespit edilen kalıntılar gözlenebilmektedir.



Şekil 4.13: Aizanoi antik kenti Zeus tapınağı hava fotoğrafı.



ise 40 metre boyunca devam etmektedir. Haritalar incelendiğinde duvara ait izlerin 0.60-0.80 metre derinliklerde devamlılığı söz konusudur.



**Şekil 4.15:** Zeus Tapınağı çevresi 0.60 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.



**Şekil 4.16:** Zeus Tapınağı çevresi 0.80 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

### *Tapınak Altı*

Zeus Tapınağı'nın alt kısmında, nadiren rastlanan geniş bir bodrum tipi bir alan mevcuttur (Şekil 4.17). Mimari açıdan incelendiğinde Anadolu'daki Roma mimarlık sanatında daha önce rastlanmamış özellikler barındırmaktadır.



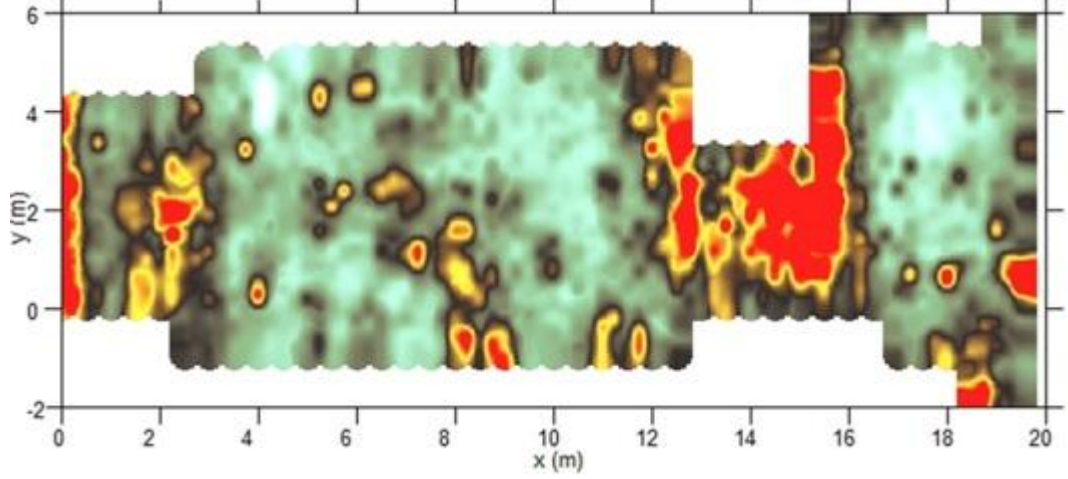
Şekil 4.17: Aiznaoi Zeus Tapınağı altı.

Çalışma alanında yer radarı ölçümleri 0.50 metre aralıklarla düzenlenen farklı uzunluklu profiller üzerinde yapılmış ve toplam 41 adet radargram elde edilmiştir.

41 adet radargramın interpolasyonu ile elde edilen 2 boyutlu zaman dilimleri incelendiğinde yaklaşık 0 ile 0.67 metre derinlik arasında yeraltındaki olası arkeolojik yapılardan kaynaklandığı düşünülen yansımalar gözlenmektedir.

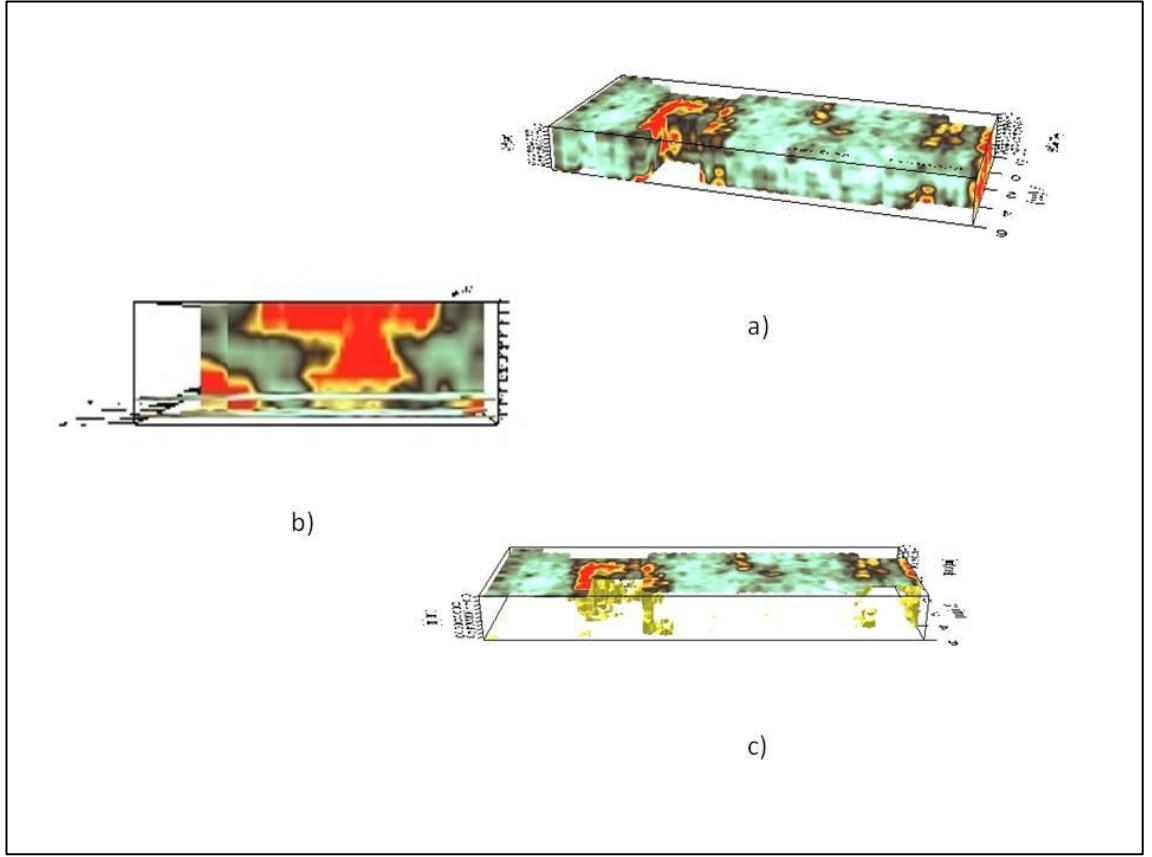
Bu derinlik aralığına karşılık gelen tüm zaman dilimleri incelenerek, tüm yapıyı tanımlayabilmek ve daha kalın bir derinlik dilimi ile veriyi sunabilmek için 0-0.67 metre derinliği temsil eden tüm dilimler üst üste bindirilerek *Overlay* analizi yapılmıştır (Şekil 4.18). Sonuçlar incelendiğinde tapınağın hemen altında, x ekseninde 12.5 ile 16.

metreler arasında y ekseninde ise 0.50 ile 5 metre arasında dikdörtgen görünümlü bir yapıya ait olabileceği düşünülen anomaliler gözlenmektedir.



**Şekil 4.18:** Aizanoi Zeus tapınağı 0-0.67 metre derinlik aralığına karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

Verilerin yorumlaması aşamasında yararlanılabilecek diğer bir teknik ise verilerin 3 boyutlu hacim modelleri şeklinde gösterilmesidir. Bu tip gösterim teknikleri arkeologlara jeofizik verileri daha kolay ve anlaşılabilir şekilde sunma olanağı sağlamaktadır. Şekil 4.19’de 3 boyutlu hacim modeline farklı yönlerden bakılarak sunulmaya çalışılmıştır. 3 boyutlu gösterim teknikleri ve maksimum genliklerin bir arada gösterimi şeklinde oluşturulan hacimlerde yapıların şekilleri ve derinlikle değişimleri hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.



**Şekil 4.19:** Aizanoi Zeus tapınağı altı 3 boyutlu hacim modelleri gösterimi. a) 3 boyutlu hacim modeli. b) modele batı yönden bakış. c) 2 boyutlu zaman/derinlik dilimi ve maksimum yansımaların bir arada sunulduğu hacim modeli.

### ***Macellum (Borsa-Sütunlu Cadde )***

Günümüze kadar yapılan arkeolojik çalışmalara göre dünyanın ilk Borsa'sı olduğu düşünülen Macellum alanı ile Sütunlu Cadde'de yer radarı çalışmaları yapılmıştır. O dönemde ticaretin yoğun olduğu düşünülen kentin bu kısmında, Borsa alanı yakınlarında dükkanların ve yerleşim yerlerinin olduğu düşünülmektedir.

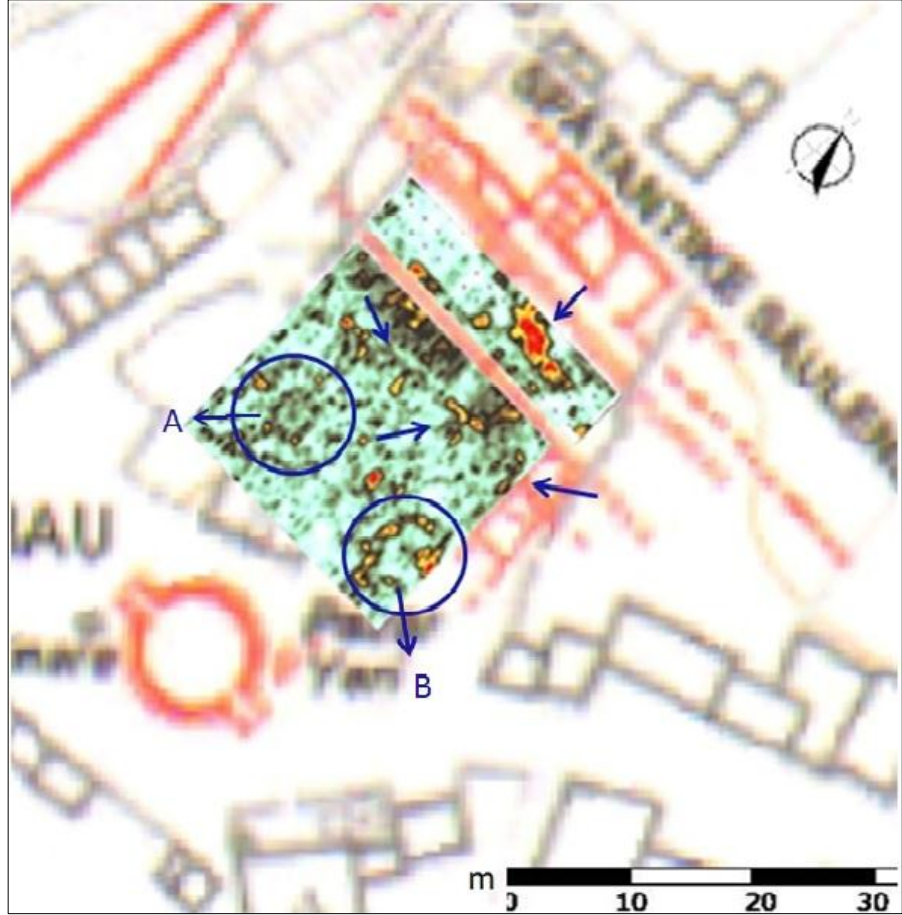
Aynı zamanda, yine arkeologlardan elde edilen bilgilere göre, bu alanda kolonlu cadde inşa edilmeden önce, daha erken döneme ait bir Artemis Tapınağı'nın olduğu düşünülmektedir. Bu bilgiler ışığında, Sütunlu Cadde sınırları içinde ve dışında olabileceği düşünülen olası tapınağa ait izlerin tespit edilmesi amacıyla yer radarı ölçümleri yapılmıştır. Macellum alanı içinde 30x30 metrelik karelej içerisinde 61 adet profil üzerinde yer radarı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20:** Macellum ve Sütunlu Cadde alanı çalışma alanı.

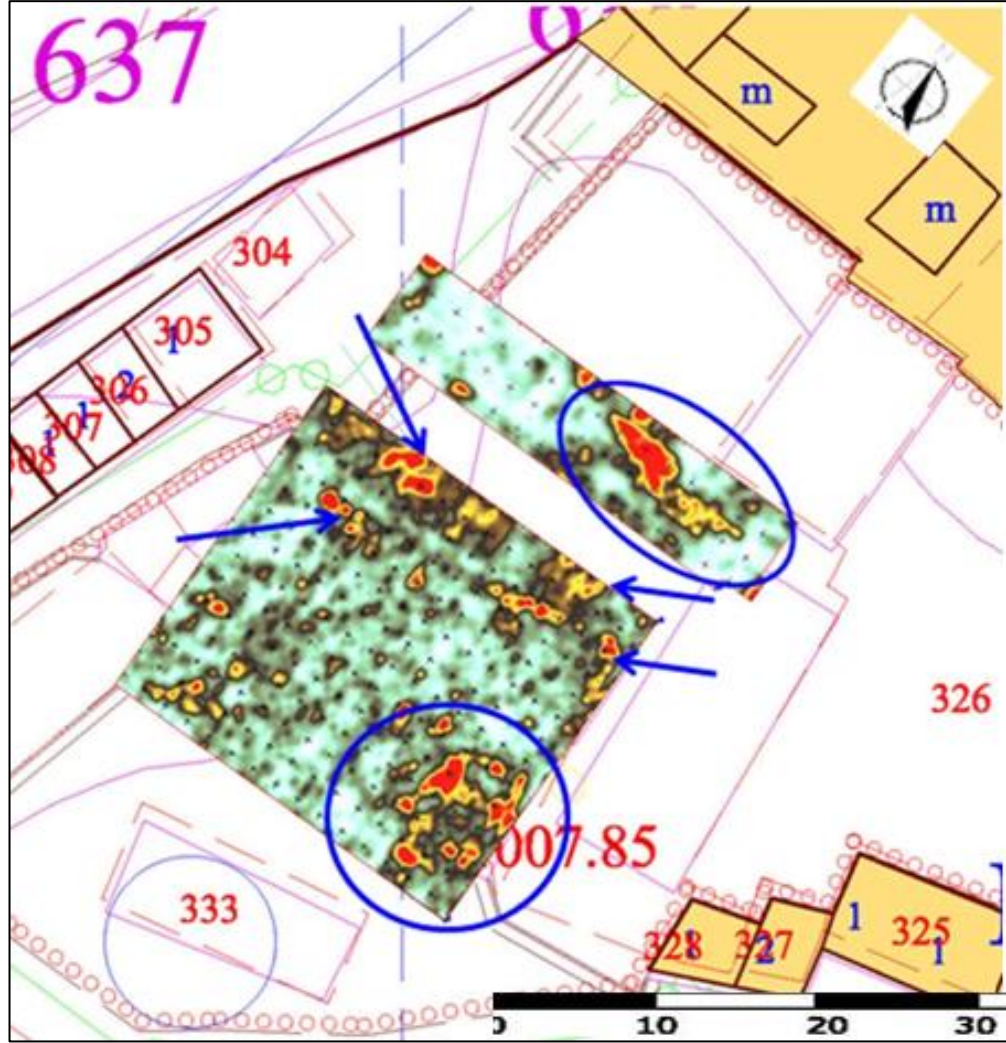
Elde edilen radargramların tümü kullanılarak 2 boyutlu zaman dilimleri oluşturulmuştur. Şekil 4.21'de 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi incelendiğinde olası arkeolojik yapılara ait olduğu düşünülen bazı lineer ve geometrik anomaliler gözlenmektedir. Şekil'de A harfi ile belirtilmiş olan ve

diğerlerine göre düşük genlikli, yaklaşık 2.5 metre yarıçaplı yuvarlak bir yapı söz konusudur. B harfi ile tanımlanan anomali ise, bu alandaki bir dükkanın temellerine ait olduğu düşünülmektedir.



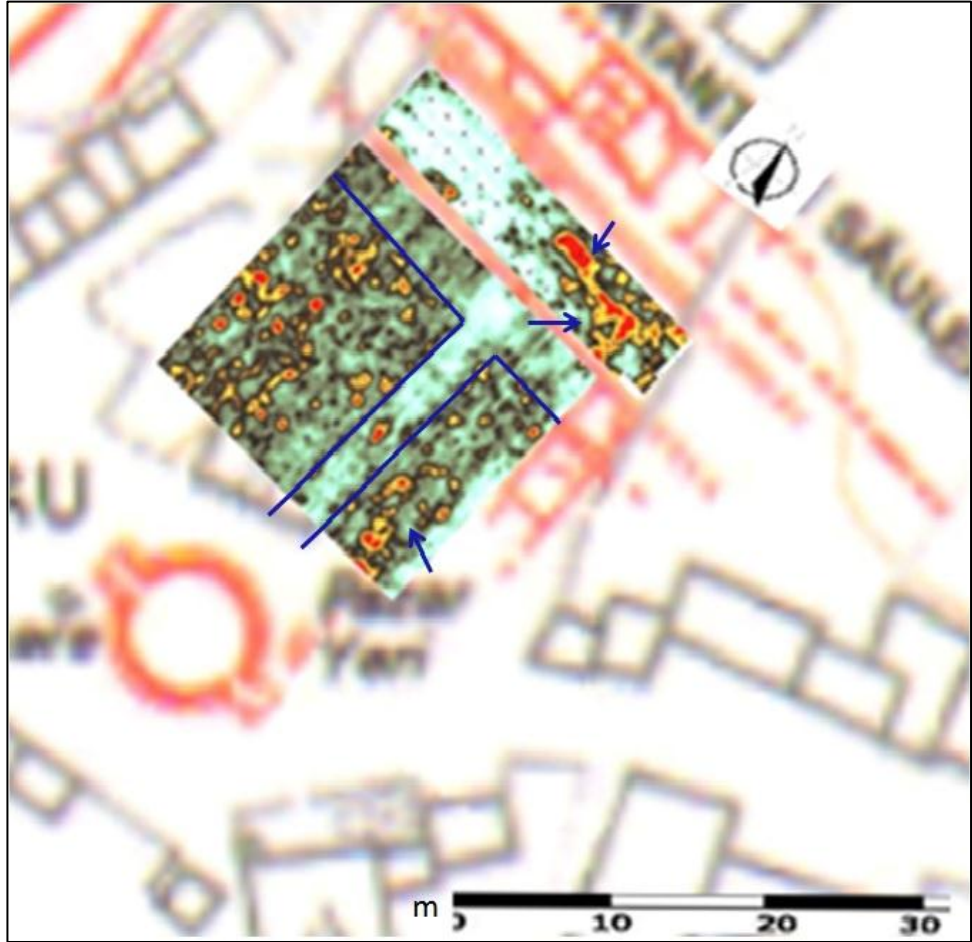
**Şekil 4.21:** Macellum alanı 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

Şekil 4.22’de 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi sunulmuştur. Yuvarlak içine alınan anomalilerin Borsa alanı ile bağlantılı olan dükkan ya da yerleşim yerlerine ait temeller olduğu düşünülmektedir.



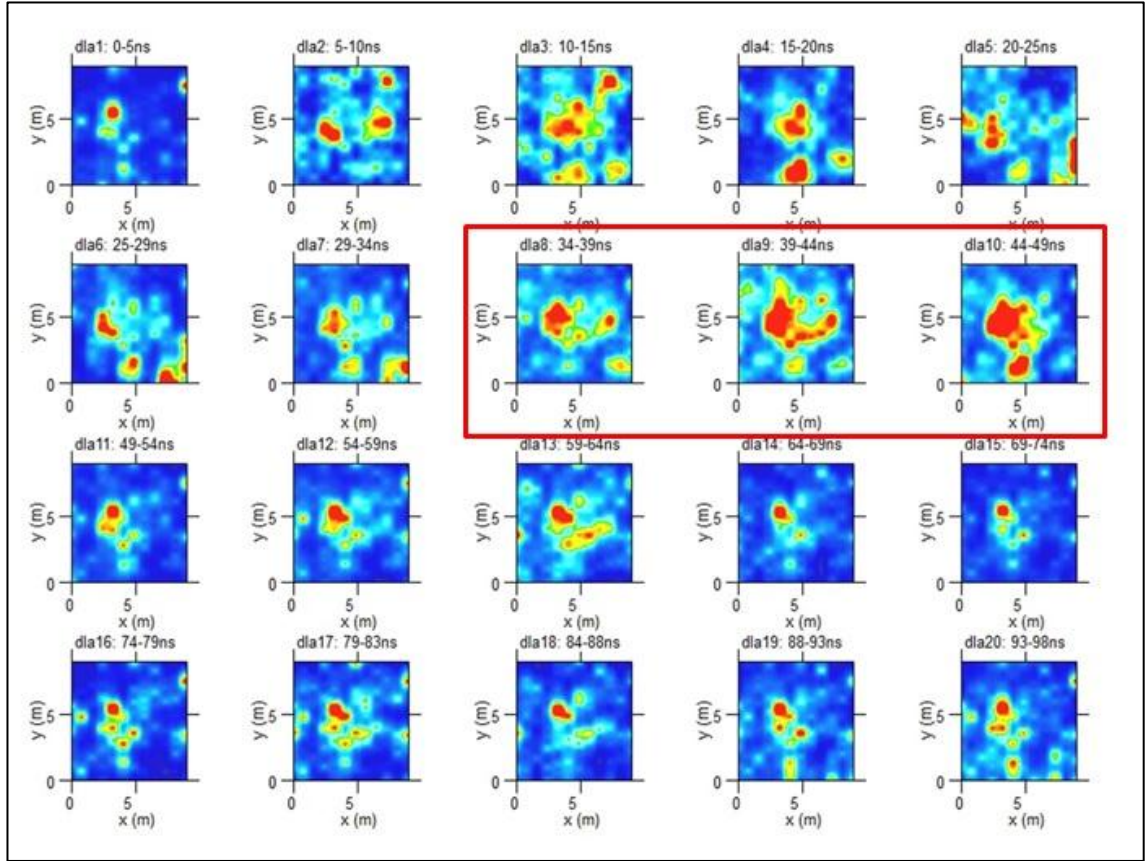
Şekil 4.22: Macellum alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

Şekil 4.23'te ise 1.5 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi sunulmuştur. Burada üst derinliklerden farklı bir şekilde kuzey güney doğrultulu düşük genlikli bir alan gözlenmektedir. Keskin sınırları olan bu alanın, arkeolojik verilerden de yola çıkarak, sütunlu cadde kurulmadan önce bu alanda bulunan farklı bir yapıyla ilişkili olan bir yol olabileceği düşünülmektedir.



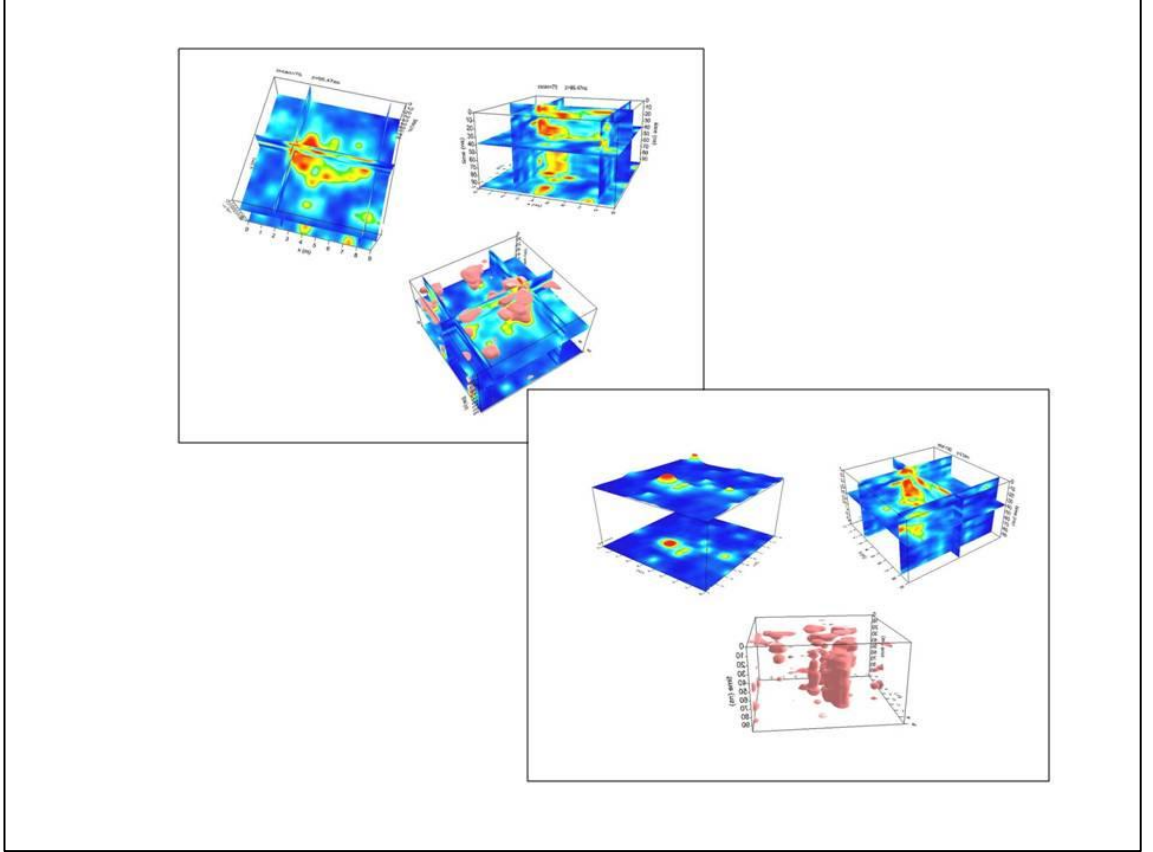
Şekil 4.23: Macellum alanı 1.5 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

Şekil 4.21'deki tespit edilen ve A ile temsil edilen anomali ile ilgili detaylı bilgi edinebilmek için bu yuvarlak yapıyı içine alacak şekilde 10x10 metrelik bir karelajda tekrar yer radarı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen radargramlar kullanılarak farklı derinliklere ait 20 adet zaman dilimleri oluşturulmuştur (Şekil 4.24). 2 boyutlu zaman dilimleri incelendiğinde yaklaşık 34 ile 49 ns deki zaman dilimlerinde (8, 9 ve 10. zaman diliminleri) bahsedilen yapının detayları görülmektedir. Hiperbola analizi ile elde edilen hız parametresi yardımıyla zaman, derinlik bilgisine dönüştürüldüğünde bu zaman dilimleri yaklaşık 0.84-1 metre derinliği ifade etmektedir. Daha sonraki derinliklerde anomalinin kaybolduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.24: Macellum (A anomalisi) 2 boyutlu yer radarı zaman dilimleri.

Bu küçük kareyaj içinde yapılan yer radarı ölçümlerinden yararlanılarak yine farklı bir bakiş açısıyla bilgi edinebilmek adına 3 boyutlu hacim modelleri elde edilmiştir (Şekil 4.25). Bu tip gösterim teknikleri, yapının derinliği ve detayları ile ilgili bilgilerin elde edilmesinde yararlı olmuştur.



Şekil 4.25: Macellum (A anomalisi) Yer radarı verilerinin 3 boyutlu yorumu.

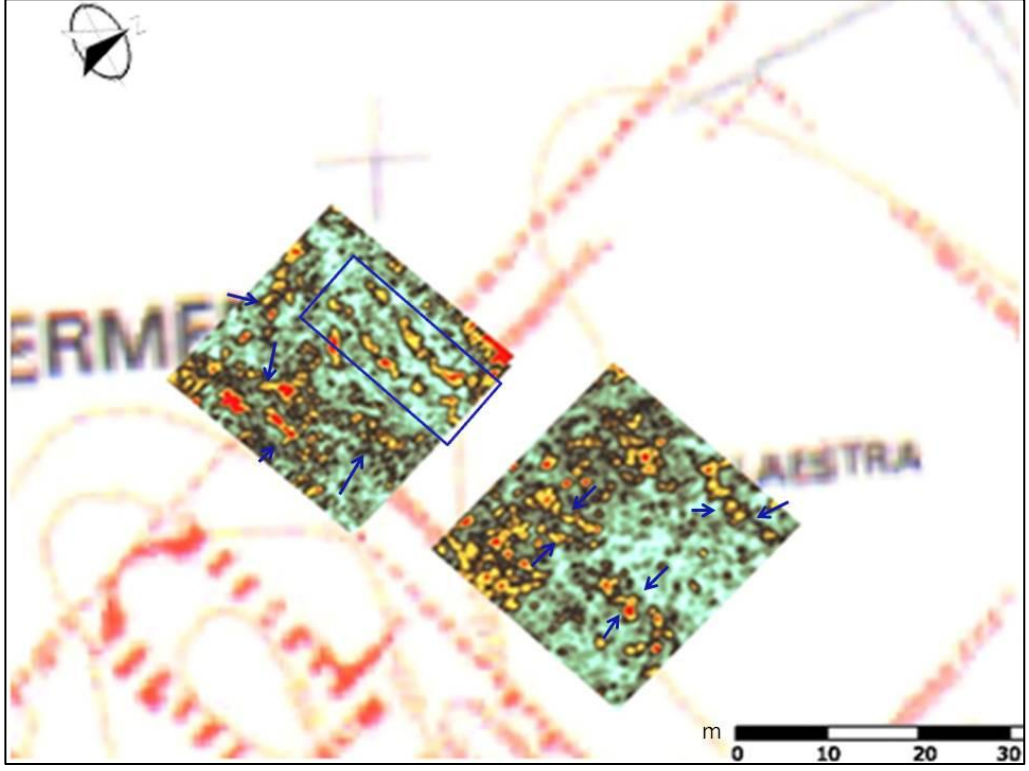
### *Hamam*

Hamam alanı çevresinde Palestra adı verilen ve hamamın dış bahçesinin sınırlarına ait duvarların olduğu tahmin edilmektedir. Hamam çevresinde, arkeolojik duvar kalıntılarının tespit edilmesi amacıyla iki ayrı gride yer radarı çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.26'de Hamam ve çevresindeki arkeolojik yapıların yüzeyde olan kısımlarının görüldüğü hava fotoğrafı sunulmuştur.



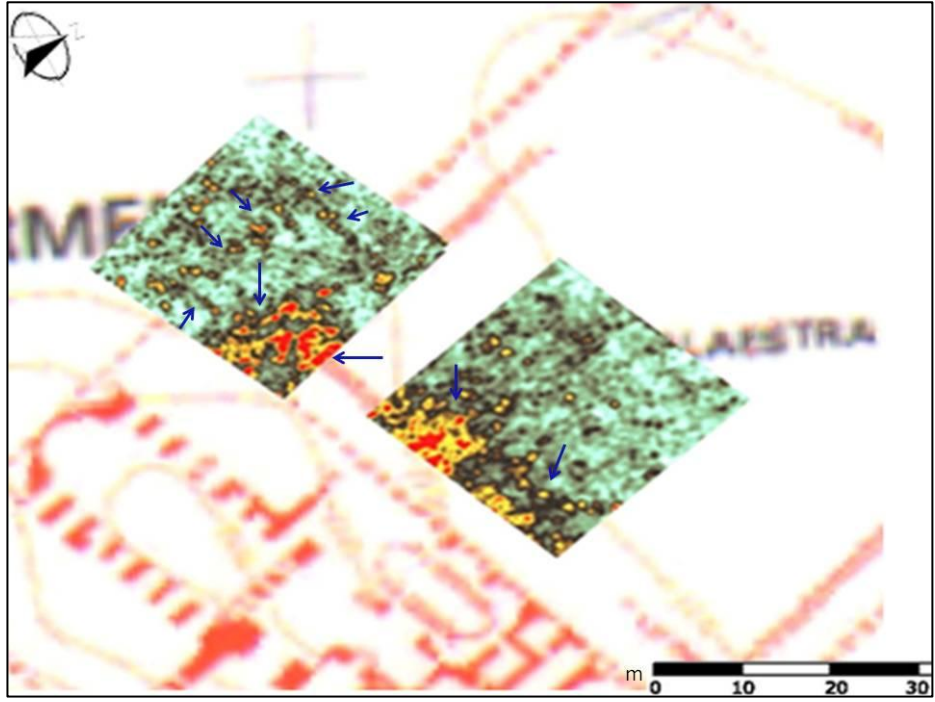
**Şekil 4.26:** Aizanoi Antik Kenti hamamı hava görüntüleri.

Şekil 4.27, 0.50 metre derinlik, Şekil 4.28, 0.75 metre derinlik ve Şekil 4.29 ise, 1 metre derinliğe karşılık gelen zaman dilimlerini temsil etmektedir. Şekillerde, oklarla temsil edilen anomaliler hamam çevresindeki olası arkeolojik yapılara ait belirtileri temsil etmektedir.

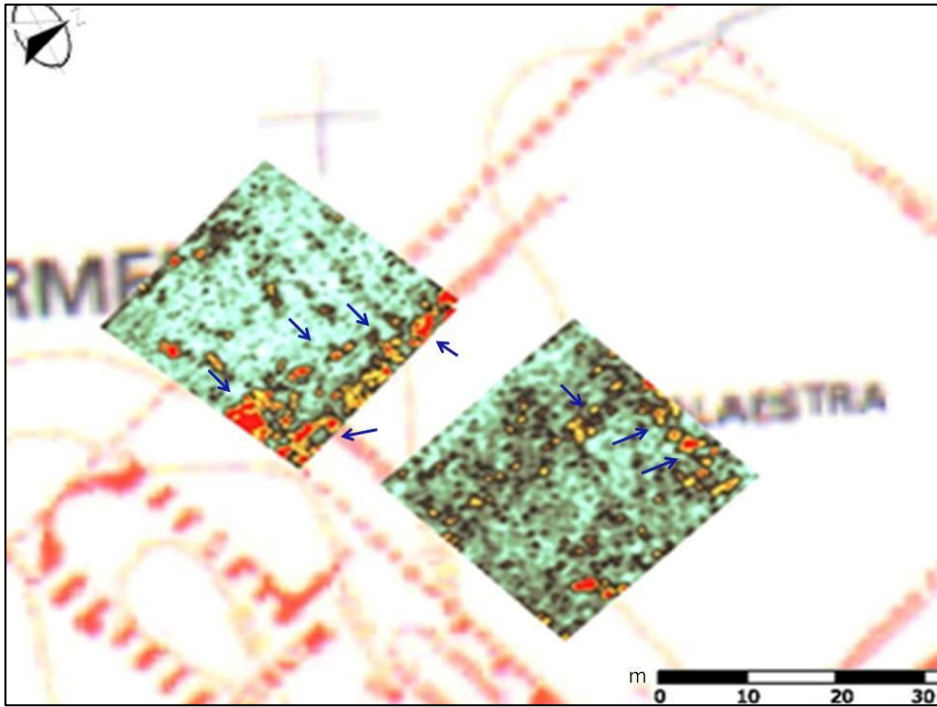


**Şekil 4.27:** Hamam ve çevresi 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

Daha derine indildikçe 0.75 metreye karşılık gelen zaman dilimi incelendiğinde birbirinin üzerine binen bazı saçılmış anomaliler gözlenmiştir (Şekil 4.28). Şekil 4.29'da ise, yaklaşık 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman diliminde gözlenen anomalilerin, Palestra'nın iç kısımlarındaki olası duvarlara ait olduğu düşünülmektedir.



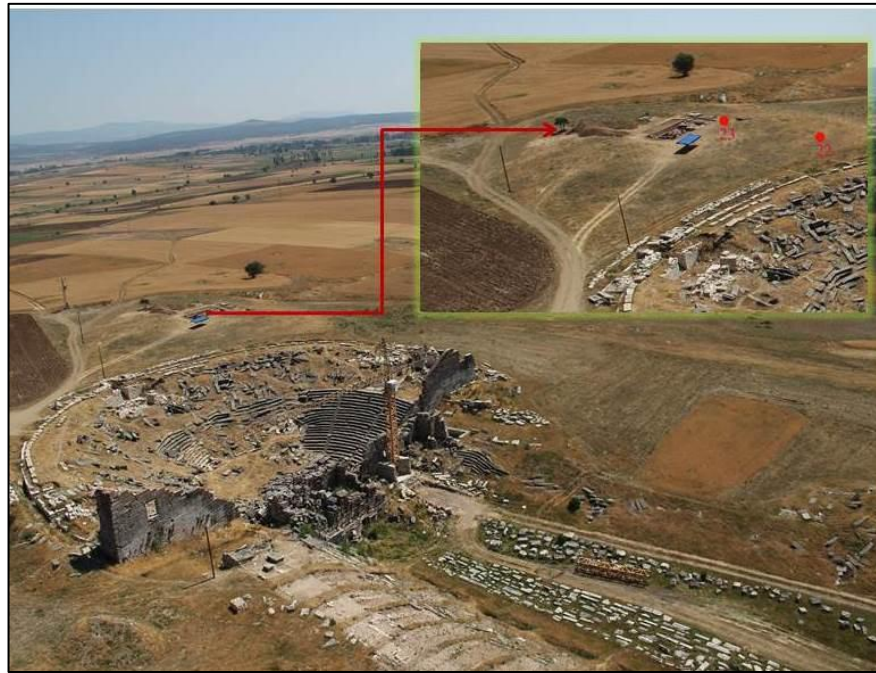
Şekil 4.28: Hamam ve çevresi 0.75 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.



Şekil 4.29: Hamam ve çevresi 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

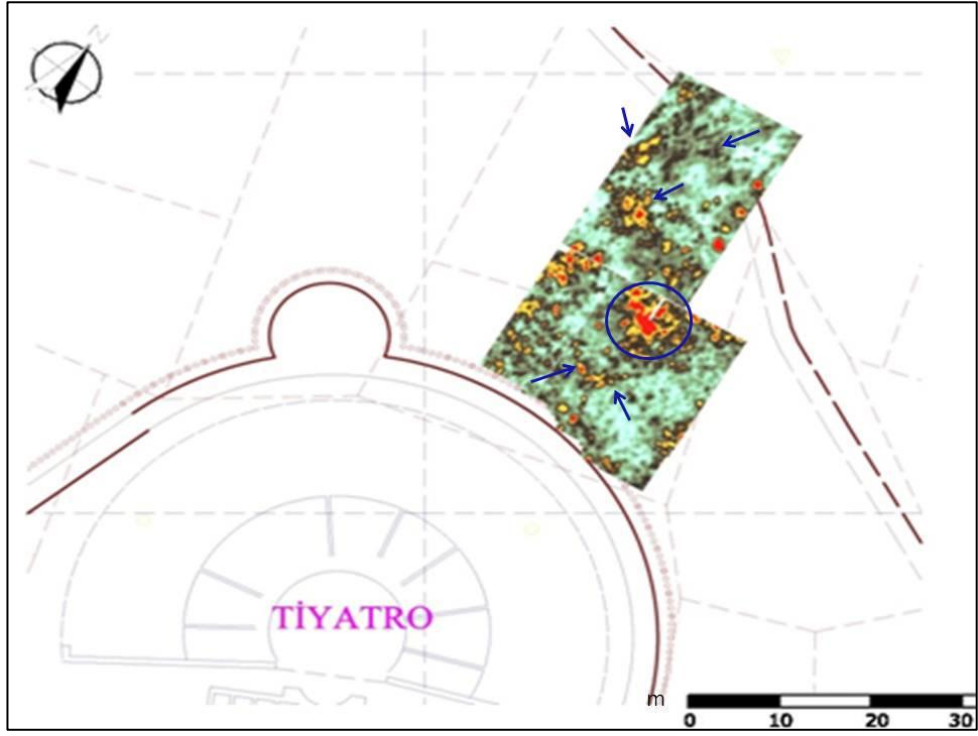
### *Nekropol*

Tiyatronun hemen arkasında bulunan ve mezarlık alanı olarak adlandırılan Nekropol alanında iki ayrı gride yer radarı çalışması yapılmıştır. Bu alanda devam eden kazı çalışmalarında mezar odası ve lahit tipinde mezarlar söz konusudur. Çalışma sahası içerisinde bu tip mezar yapılarının tespit edilmesi amacıyla yer radarı çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.30'daki hava fotoğrafında tiyatronun ve hemen arkasında yer radarı çalışmalarının yapıldığı Nekropol alanı görülmektedir.

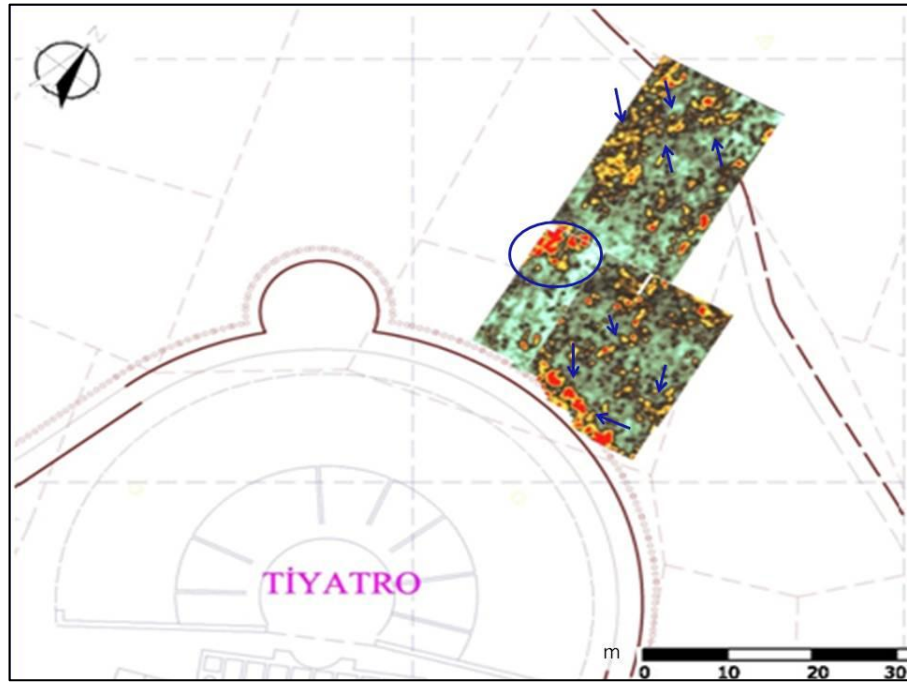


**Şekil 4.30:** Nekropol çalışma alanı hava fotoğrafı.

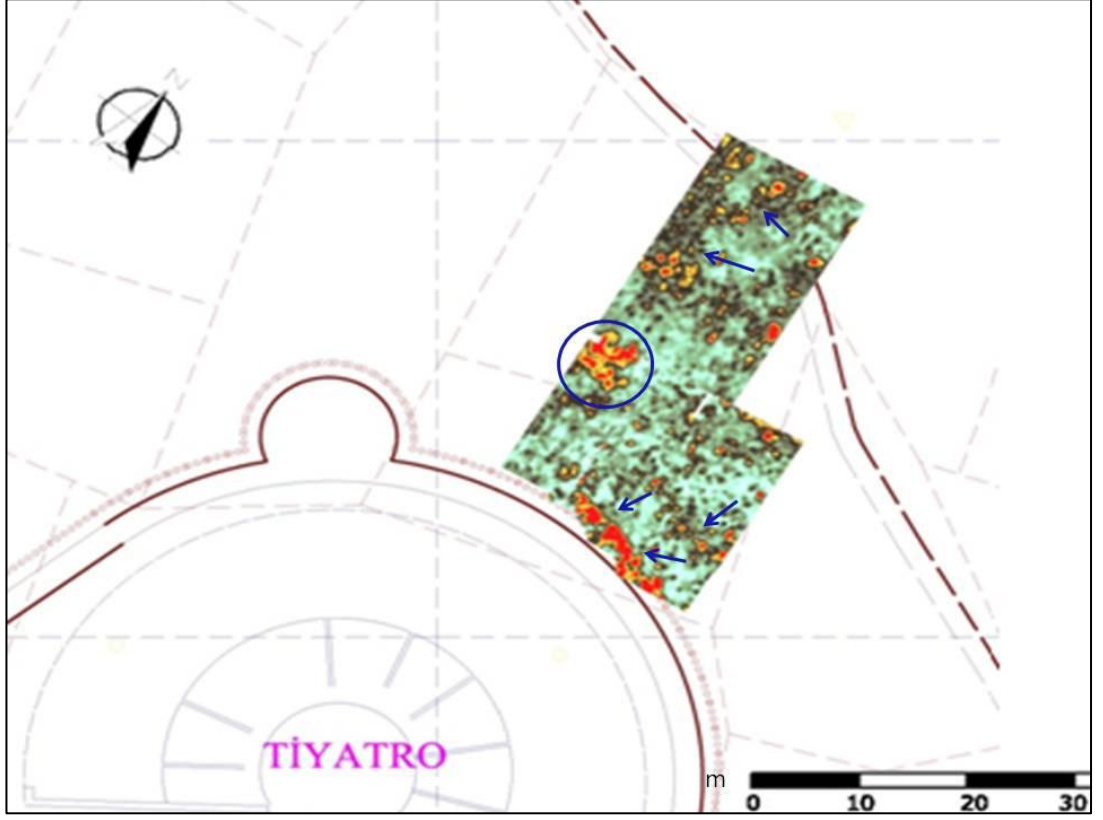
Şekil 4.31'de Nekropol alanına ait 0.50 metre derinlikteki anomali bilgisini içeren zaman dilimleri sunulmuştur. Üst derinliklerde oklarla gözlenen alanlarda bir saçılmış anomaliler gözlenmektedir. 0.75 metre derinliğe karşılık gelen zaman dilimi incelendiğinde ise tiyatronun son basamağı olduğu düşünülen anomaliler söz konusudur (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33). Koordinatlarına göre anomali haritaları arkeolojik bilgi içeren haritaların üzerine konumlandırıldığında, tespit edilen anomaliler ile tahmini arkeolojik çizimlerin örtüştüğü düşünülmektedir.



Şekil 4.31: Nekropol alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.



Şekil 4.32: Nekropol alanı 0.75 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.



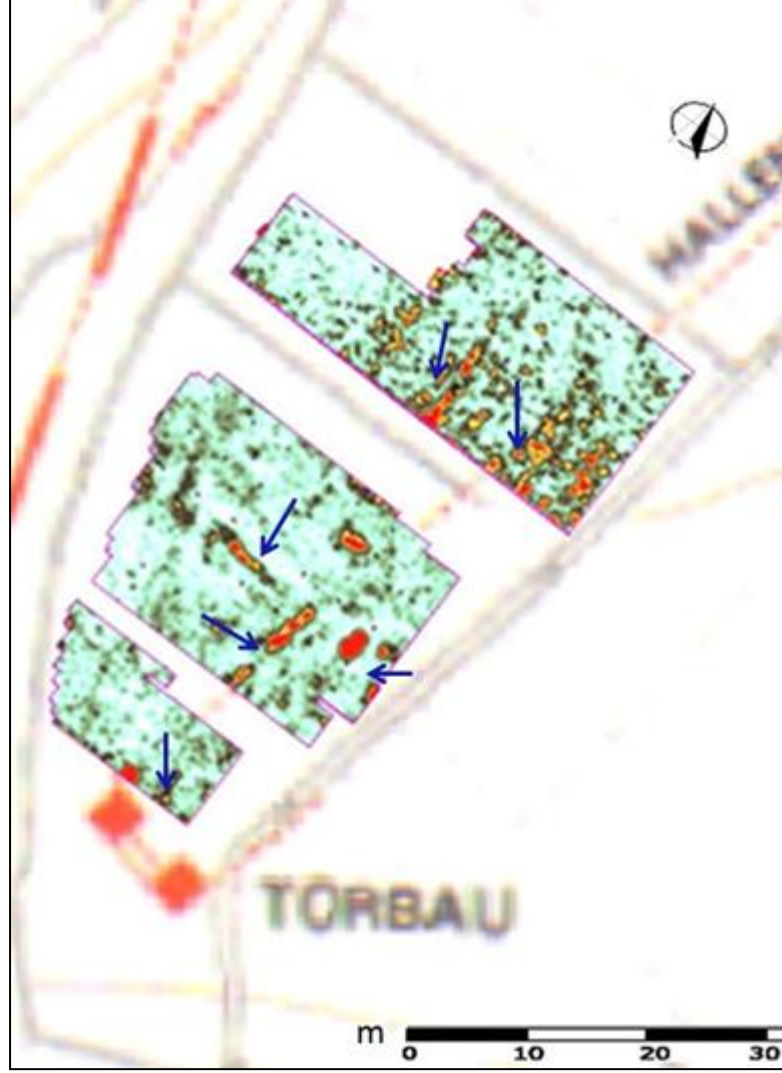
Şekil 4.33: Nekropol alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

### *Torbau*

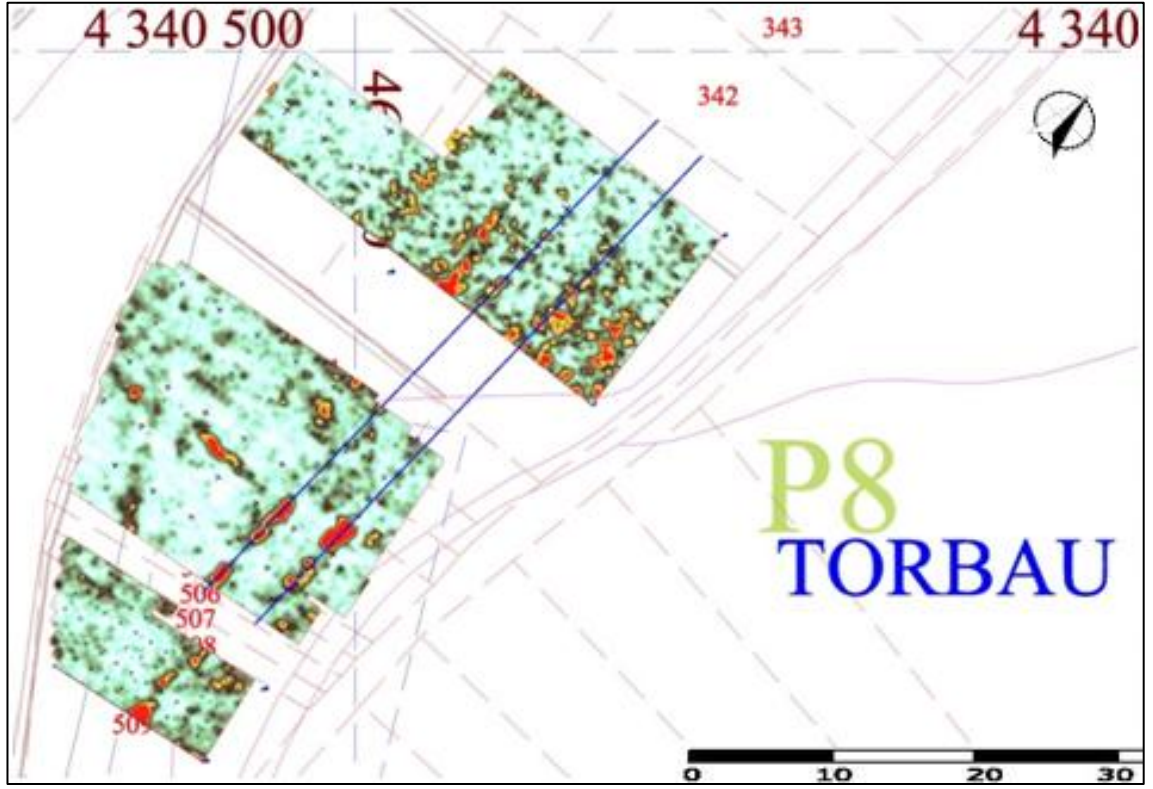
Torbau adı verilen alanda iki adet devasa büyüklükte yıkılmış blokların varlığı söz konusudur (Şekil 4.34). Arkeologlar bu blokların, kentin giriş kapısına ait olduğunu düşünmektedirler. Bu durumda, yakınlarında bu kapı ile bağlantılı olarak bir caddenin ya da yolun olabileceği düşünülmektedir. Problemin çözümü için, Torbau'da 3 ayrı alanda, yer radarı ve manyetik çalışmalar yapılmıştır. Şekil 4.35'de 0.50 metre derinliğe karşılık gelen zaman dilimi sunulmuştur. 3 farklı derinliğe ait yer radarı verileri incelendiğinde kapı olma ihtimali üzerinde durulan blokların ardında lineer anomaliler olduğu gözlenmiştir. Bu çizgisel anomalilerin kapı ile ilişkili olan bir Roma yolu olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.36 ve Şekil 4.37).



**Şekil 4.34:** Torbau adı verilen alanda kente giriş kapısına ait olduğu düşünülen bloklar.



**Şekil 4.35:** Torbau alanı 0.50 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.



Şekil 4.36: Torbau alanı 0.75 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

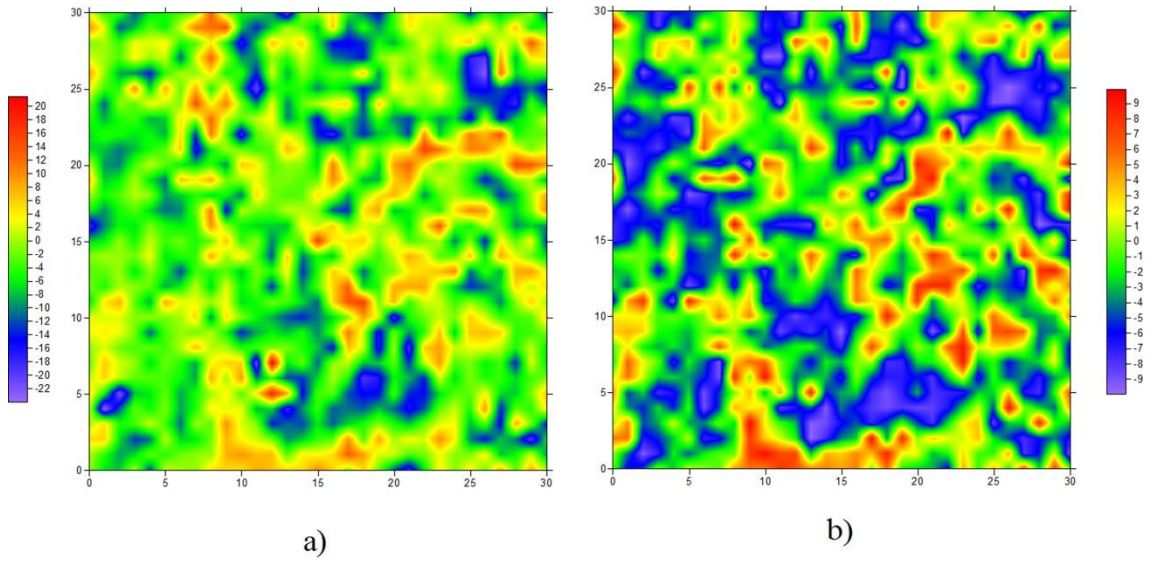


Şekil 4.37: Torbau alanı 1 metre derinliğe karşılık gelen 2 boyutlu zaman dilimi.

#### 4.2.2. Manyetik Yöntem Sonuçları

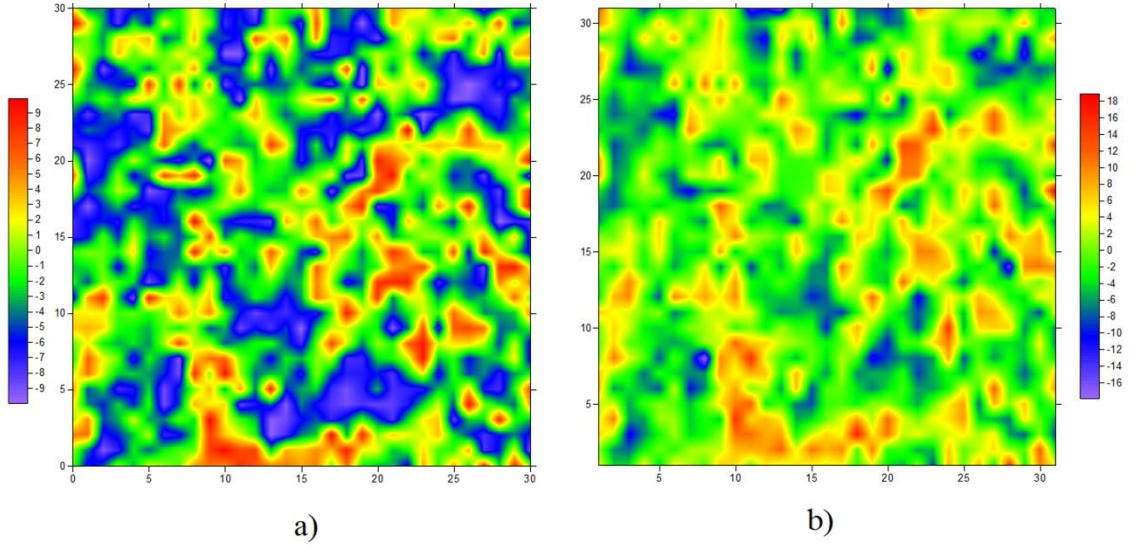
Tez çalışması kapsamında Aizanoi Antik Kenti'nde 0.01 nT hassasiyetli Scintrex SM-5 Navmag adlı marka Sezyum manyetometresi kullanarak, düşey olarak yerleştirilmiş iki sensör ile gradyometrik modda ölçüm alınmıştır. Aizanoi antik kentinde Tapınak çevresinde iki ayrı gride ve Torbau alanında iki ayrı gride manyetik ölçümler yapılmıştır. Yine bu alanda da manyetik ölçümler 0.5 metre aralıklı birbirlerine paralel hatlar boyunca yapılmıştır. Ölçümler zig-zag ölçüm tekniği kullanarak elde edilmiştir.

Elde edilen verilerdeki uç değerlerden arındırılmış ve sonrasında Kutba İndirgeme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.38'da Tapınak AT4 adlı gride elde edilen manyetik veri ve uç değerlerden arındırılması işleminden sonra elde edilen anomali haritası örnek olarak sunulmuştur.



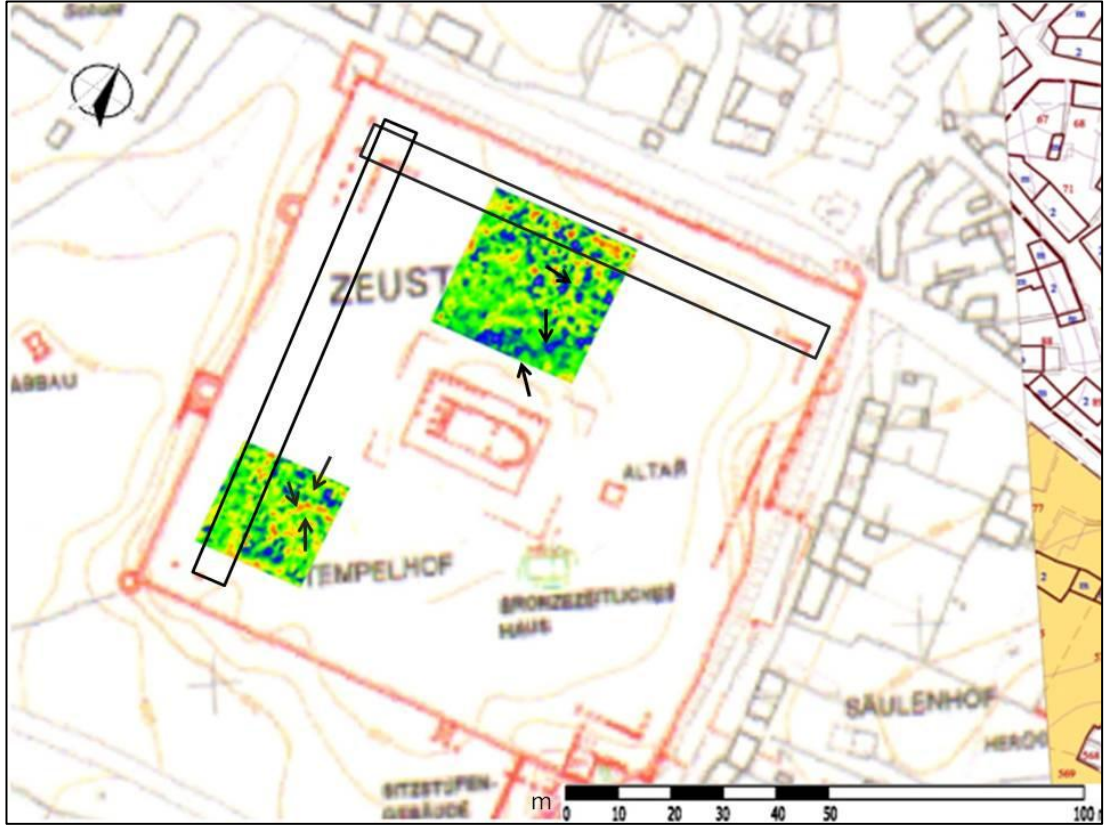
**Şekil 4.38:** Aizanoi Tapınak AT4 gridi manyetik veriler. a) Ham manyetik anomali haritası. b) Uç değerlerin atılması işleminden sonra elde edilen anomali haritası.

Kutba indirgeme işlemi tüm manyetik verilere uygulanmıştır. Şekil 4.39'da uç değerler veriden arındırılmış manyetik anomali haritasına uygulanan Kutba indirgeme işlem sonuçları örnek olarak sunulmuştur.



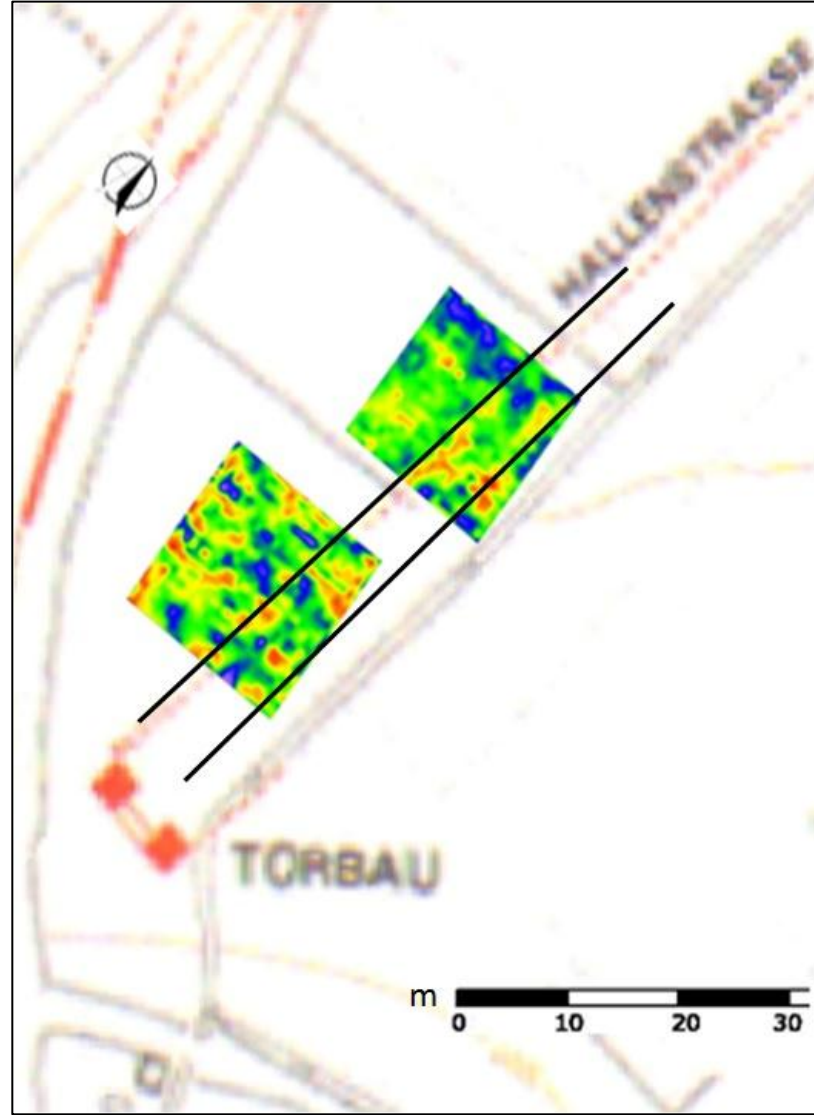
**Şekil 4.39:** Aizanoi tapınak AT4 gridi. a) Uç değerlerden elimine edilmiş manyetik anomali haritası. b) Kutba indirgenmiş manyetik anomali haritası.

Tapınak çevresindeki iki ayrı alanda elde edilen manyetik veriler, Şekil 4.40'de koordinatlarına göre konumlandırılmıştır. Manyetik anomali haritaları incelendiğinde, radar verilerinde gözlenen koruma duvarlarına ait anomaliler gözlenmektedir.



Şekil 4.40: Zeus Tapınağı çevresi manyetik anomali haritaları.

Aizanoi Antik Kenti'nde manyetik çalışmaların yapıldığı diğer bir alan ise; Torbau adı verilen alandır. Şekil 4.14'te bu alanda elde edilen manyetik anomali haritaları sunulmuştur. Manyetik yöntem sonuçları yer radarı yöntemi ile karşılaştırıldığında, benzer lineer anomalilerin varlığı gözlenmektedir. Diğer yandan manyetik yöntem sonuçları bu alanda daha belirgin sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.41: Torbau alanı manyetik anomali haritaları.

Aizanoi Antik Kenti'nde elde edilen manyetik verilere uygulanan Kroskorelasyon işlemi öncesinde bu bölgenin ve aranılan yapıların özelliklerini yansıtan sentetik modeller oluşturulmuştur. Model parametreleri Tablo 4.3'de sunulmuştur. Model parametrelerinde 0.007 SI ile 0.0085 SI süseptibilite değerleri ve 0.5, 1 ve 1.5 metre olarak 3 farklı derinlik değeri kullanılmıştır. IGRF'den yararlanarak Yermanyetik alan; 46900, İnklinasyon 57 °, Denklinasyon ise 5° olan lokal parametreler kullanılmıştır. Teorik modelin boyutları 1x1x1 lik bir küp olarak planlanmıştır. Farklı derinlik ve farklı süseptibilite değerleri kullanılarak birçok model üretilmiş ve Kroskorelasyon sonuçları normalize edilerek 1 ve 1'e en yakın kroskorelasyon değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

**Tablo 4.3:** Otokorelasyon ve Kroskorelasyon işlemleri için oluşturulan model parametreleri.

<i>Çalışma sahası</i>	<i>Derinlik (m)</i>	<i>Süseptibilite Kontrastı (SI)</i>	<i>Yer Manyetik alan-İnklinasyon-Denklinasyon-</i>
<b>Aizanoi (4Grid)</b>	0.5 1 1.5	0.0007	Yermanyetik alan: 46900 nT Denklinasyon: 5° İnklinasyon : 57 °
		0.0010	
		0.0030	
		0.0035	
		0.0040	
		0.0070	
		0.0085	

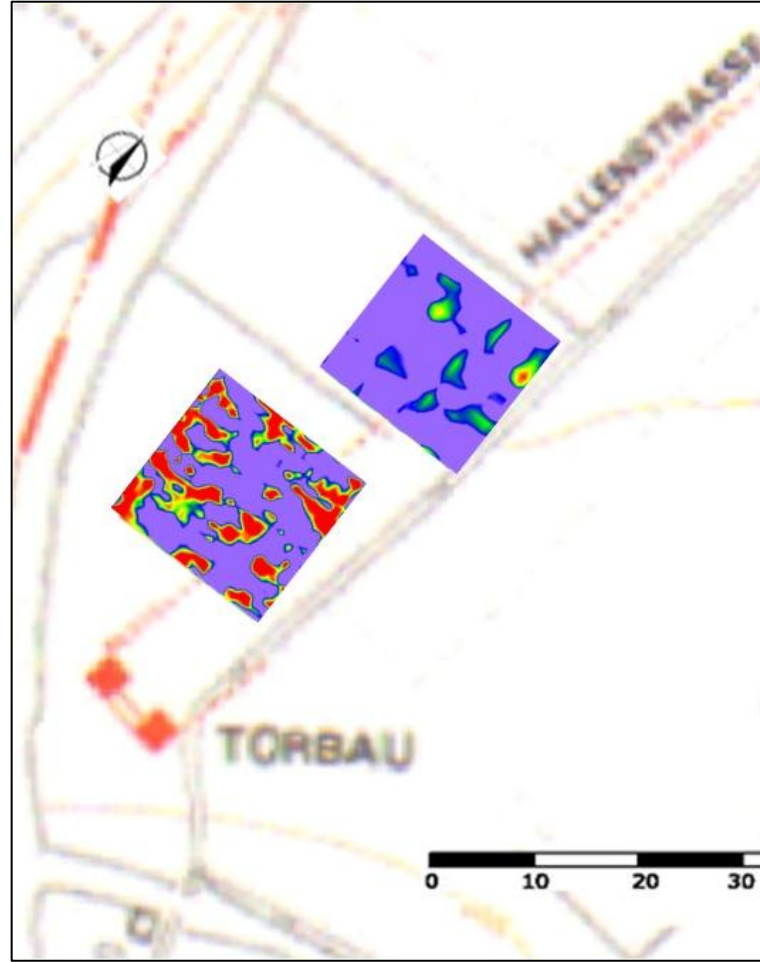
**Tablo 4.4:** Normalize edilmiş Kroskorelasyon sonuçları.

<b>AIZANOI</b>	<b>AT1</b>	<b>AT4</b>	<b>AG2</b>	<b>AG3</b>
<b>0.5</b>	0.007 (0.70)	0.003 (0.86)  0.0040 (0.70)  0.0035 (0.76)		0.003 (0.80)
<b>1</b>	0.007 (0.86)  <b>0.0085</b> (1.00)	<b>0.007</b> (1.00)	<b>0.0085</b> (1.00)	0.003 (0.91)  <b>0.0035</b> (1.00)  0.0040 (0.90)
<b>1.5</b>		0.007 (0.95)		

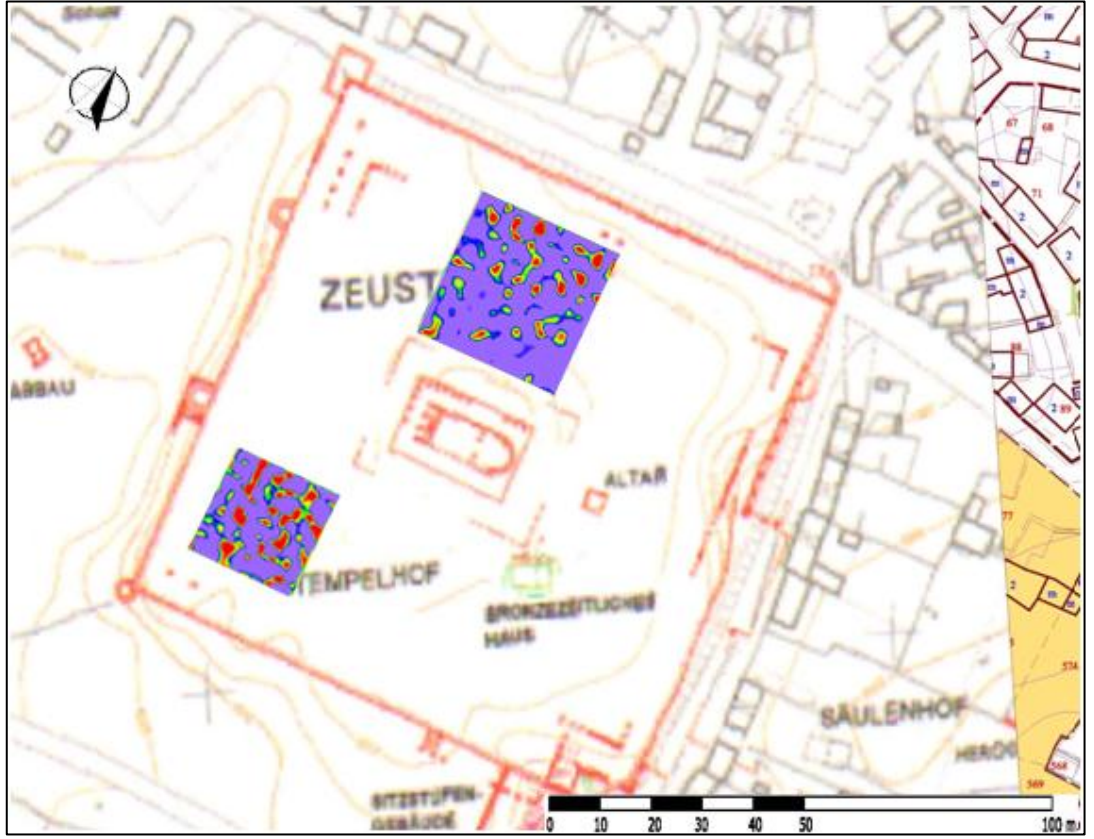
Aizanoi alanı içinde çalışılan 4 ayrı griddede; AT1 ve AG2 gridleri; 1 metre derinlik ve 0.0085 SI süseptibilite değeriyle, AT4 gridi; 1 metre derinlik ve 0.007 SI süseptibilite değeriyle, AG3 ise; 1 metre derinlik ve 0.0035 SI süseptibilite değeri kullanılarak oluşturulan modeller ve kroskorelasyon sonucunda olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kroskorelasyon sonuçlarından yola çıkılarak yapıların merkezlerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Bunun yanında Aizanoi Antik Kenti'nde manyetik yöntem uygulanan tüm gridlerdeki anomalilerin kaynaklarının 1 metre derinlikte olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu bilgi bütünleştirme çalışmalarında da göz önünde bulundurulacaktır.

Şekil 4.42'de Torbau 2 (AG2) gridi ve Torbau 3 (AG3) gridi için, Şekil 4.43'te ise Tapınak 1 (AT1) ve Tapınak 4 (AT4) alanlarındaki manyetik verilere uygulanan normalize edilmiş kroskorelasyon sonuçları sunulmuştur.



Şekil 4.42: Torbau alanı manyetik yöntem kroskorelasyon sonuçları.

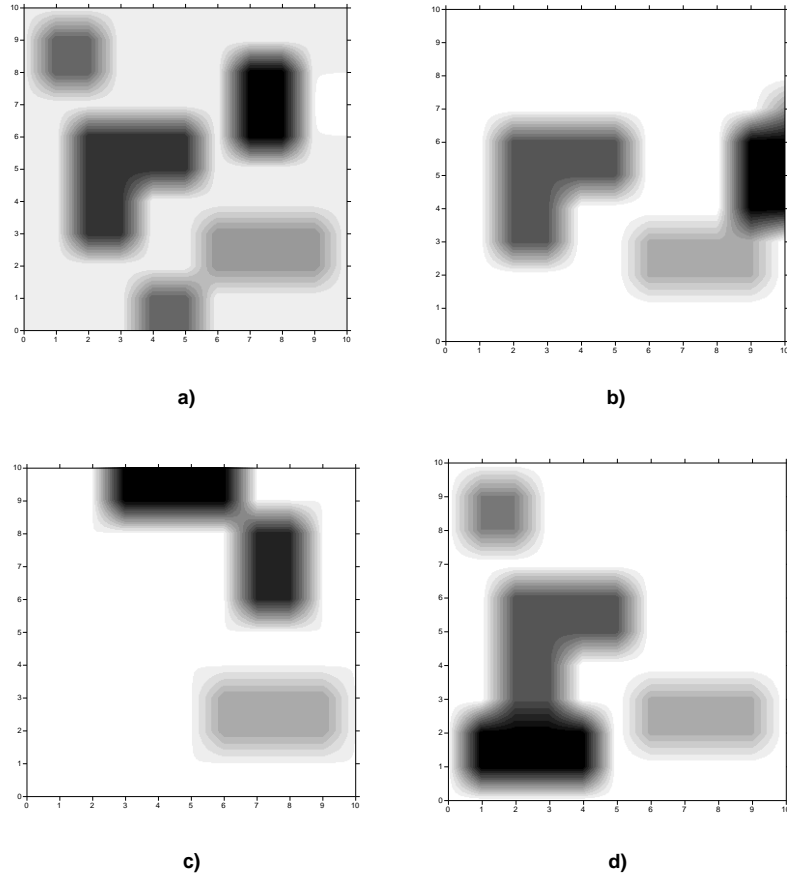


Şekil 4.43: Zeus Tapınağı manyetik yöntem kroskorelasyon sonuçları.

### 4.3 BÜTÜNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI BULGULARI

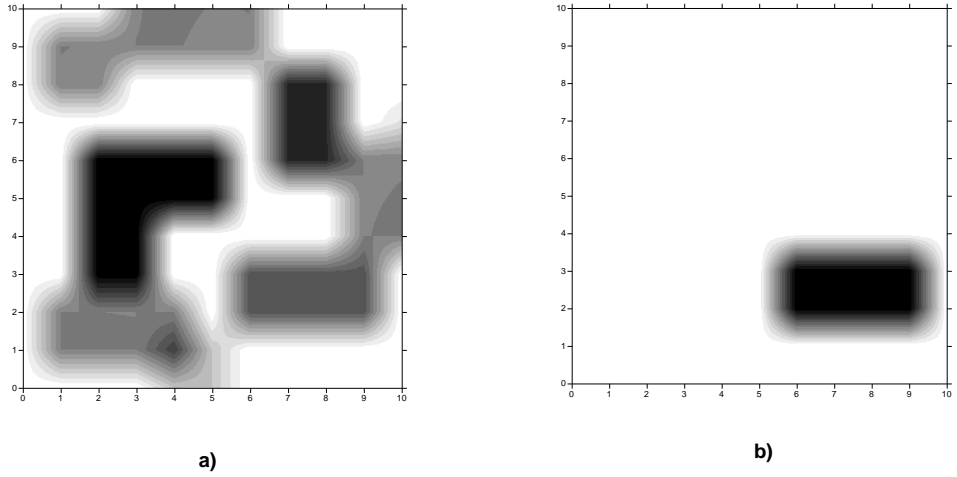
#### 4.3.1. Sentetik veriler üzerinde bütünleştirme çalışmaları

Tez çalışması kapsamında uygulanan bütünleştirme çalışmalarının anlaşılabilmesi için 4 adet sentetik model üretilmiştir. Bütünleştirme işlemleri için verilerin fiziksel parametrelerden arındırılmış olması gerekmektedir. Oluşturulan modeller herhangi bir fiziksel parametreden bağımsız, anomalinin varlığı veya yokluğunu ifade eden ve değerleri 0 ile 1 arasında değişen dijital resim formatında olduğu düşünülerek hazırlanmıştır. Veriler aynı şekilde, ortalamalarının çıkarılması ve standart sapma değerlerine bölünerek standardize edilmiştir. Sentetik modeller Şekil 4.44'de sunulmuştur.



**Şekil 4.44:** Normalize edilmiş ve standardize edilmiş 2 boyutlu sentetik modeller.  
a) Model 1 b) Model 2 c) Model 3 d) Model 4

Bütünleştirme çalışmaları kapsamında matematiksel teknikler olan Toplamlar ve Çarpımlar işleçleri ve istatistiksel bütünleştirme tekniği olan Temel Bileşen Analizi oluşturulan sentetik veriler üzerinde uygulanmıştır. Şekil 4.45’de toplamlar ve çarpımlar işleçleri yardımıyla elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Toplamlar işleci ile, oluşturulan bütün sentetik verilerdeki bilgilerin bir arada sunulabilmesi sağlanmıştır. Çarpımlar işleci ile ise, sadece her bir veri setinde ortak olan bilgiler sunulmuştur.



**Şekil 4.45:** Matematiksel bütünleştirme yaklaşımı. a) Toplamlar b) Çarpımlar

Aynı sentetik veriler üzerine istatistiksel bütünleştirme tekniği olan Temel Bileşen Analizi uygulanmıştır. Sentetik modeller standartlaştırılmış, kovaryans matrisleri hesaplanmıştır. Kovaryans matrislerinin eigen değerleri ve standartlaştırılmış eigen vektörleri hesaplanmıştır. Eigen değerlerinden temel bileşenlerin varyansı açıklama oranları elde edilmiştir ve her bir eigen vektörün transpozesi ile standartlaştırılmış veri matrisinin transpozesi çarpılarak temel bileşen değerleri bulunmuştur. Tablo 4.5 ‘de veriler arasındaki korelasyonunu ifade eden değerler sunulmuştur ve kovaryans matrisi oluşturulmuştur. Bu değerler incelendiğinde birbiriyle diğerlerine göre yüksek korelasyona sahip olan modellerin Model 1 ve Model 4 olduğu tespit edilmiştir. Kovaryans matrisinden yararlanarak elde edilen eigen değerleri ve eigen vektörlerinin analizi ile elde edilen Temel Bileşen analizi sonuçları Tablo 4.6’de sunulmuştur. Temel bileşen analizinde 1 ve 1’den büyük eigen değerlerine sahip bileşenler ana bileşen olarak kabul edilmektedir. 4 adet model kullanılarak

uygulanan Temel Bileşen analizi sonuçlarına bakıldığında 2 adet ana bileşen ile bütün verilerin temsil edilebileceği düşünülmüştür. Tablo 4.7’de elde edilen bileşenlerdeki modellerin bileşen skorları sunulmuştur. Bu skorlar yardımıyla temel bileşenler oluşturulmuştur. Bütün bu işlemlerin sonunda Tablo 4.8’de sunulan bileşenler ve modelleri temsil eden değişkenler arasındaki korelasyon incelenmiştir. Tablo 4.8’deki değerler incelendiğinde, 1.Bileşen; Model 1, Model 2 ve Model 4’ün katkısıyla oluşmuştur. 2. Bileşen ise; Model 1 ve Model 3’ün katkısıyla oluşmuştur. Diğer bileşenler ise göz ardı edilebilir sonucuna varılmıştır.

**Tablo 4.5:** Veriler arasındaki kovaryans matrisi.

<b>Kovaryans</b>	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>	<b>Model 4</b>
<b>Model 1</b>	1,000	0,366	0,248	0,419
<b>Model 2</b>	0,366	1,000	-0,123	0,312
<b>Model 3</b>	0,248	-0,123	1,000	-0,160
<b>Model 4</b>	0,419	0,312	-0,160	1,000

**Tablo 4.6:** Temel Bileşen Analizi Sonuçları.

<b>Bileşenler</b>	<b>Eigen Değerleri</b>		
	<b>Değer</b>	<b>% of Varyans</b>	<b>Kümülatif</b>
<b>1</b>	<b>1,734</b>	<b>43,338</b>	<b>43,338</b>
<b>2</b>	<b>1,171</b>	<b>29,276</b>	<b>72,614</b>
<b>3</b>	<b>0,693</b>	<b>17,318</b>	<b>89,932</b>
<b>4</b>	<b>0,403</b>	<b>10,068</b>	<b>100,00</b>

**Tablo 4.7:** Bileşen skorları katsayıları.

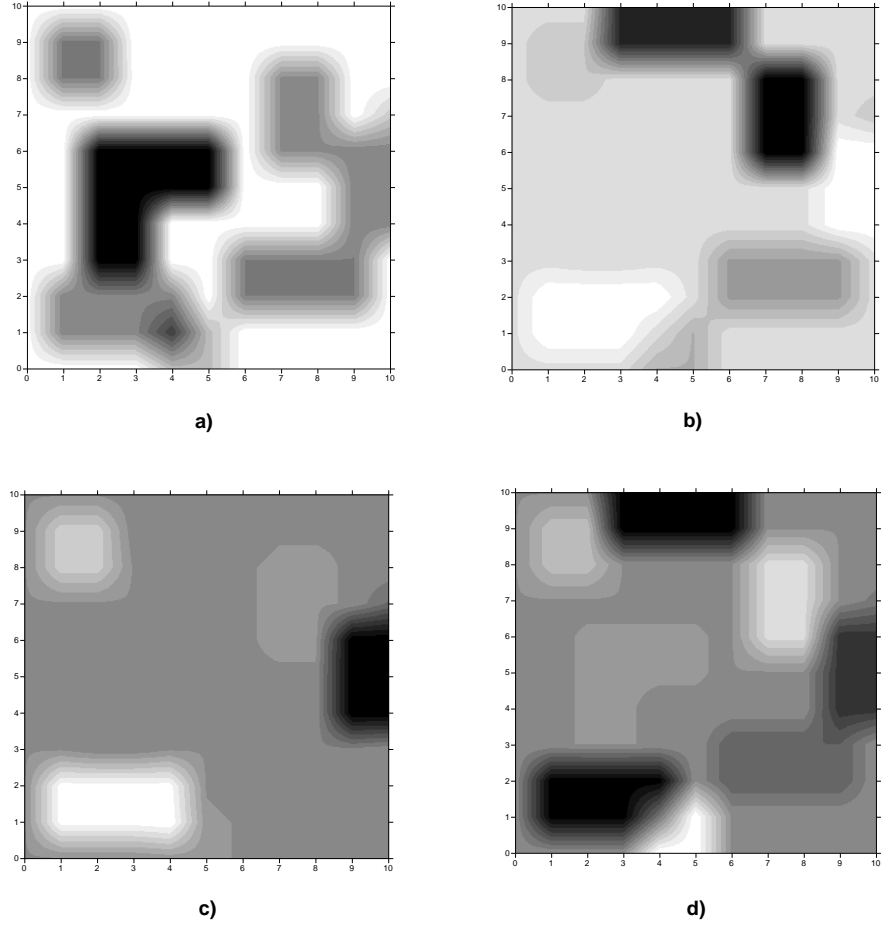
	<b>Bileşenler</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Model 1</b>	<b>0,456</b>	-0,167	-0,105	-1,094
<b>Model 2</b>	<b>0,417</b>	<b>-0,167</b>	<b>0,921</b>	<b>0,439</b>
<b>Model 3</b>	<b>-0,012</b>	<b>0,814</b>	<b>0,058</b>	<b>0,741</b>
<b>Model 4</b>	<b>0,441</b>	<b>-0,189</b>	<b>-0,762</b>	<b>0,737</b>

**Tablo 4.8:** Bileşenler ve Değişkenler arasındaki korelasyon değerleri.

<b>Korelasyon</b>	<b>1.Bileşen</b>	<b>2.Bileşen</b>	<b>3.Bileşen</b>	<b>4.Bileşen</b>
<b>Model 1</b>	0,791	0,418	-0,072	-0,440
<b>Model 2</b>	0,723	-0,195	0,438	0,176
<b>Model 3</b>	-0,020	0,950	0,039	0,298
<b>Model 4</b>	0,764	-0,221	-0,527	0,296

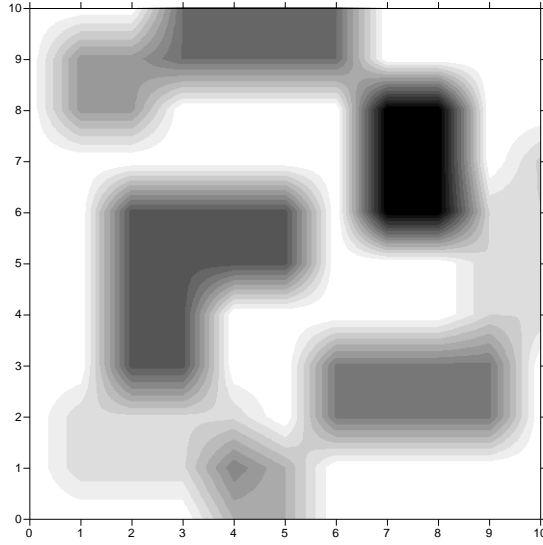
Şekil 4.46'da Temel Bileşen analizi ile elde edilen bileşenlerin tümü sunulmuştur. Bileşenler incelendiğinde ve Tablo 4.8 göz önünde bulundurulduğunda tüm veriyi temsil edecek olan bileşenlerin 1.Bileşen ve 2. Bileşen olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda yüksek eigen değerine sahip iki bileşen de verileri temsil ettiğinden 1. ve 2. Bileşenin toplamıyla arzu edilen ana bileşenin temsil edilebileceği düşünülmüştür (Şekil 4.47). Bu iki bileşenin toplamının, birbiri arasında yüksek korelasyon bulunan

anomalileri temsil ettiği düşünölmektedir. Bu ana bileşenin toplam veri seti içindeki varyasyona katkısı % 72,614 dir.



**Şekil 4.46:** İstatistiksel bütünleştirme yaklaşımı (Temel Bileşen Analizi).

a) 1. Bileşen b) 2. Bileşen c) 3. Bileşen d) 4. Bileşen



**Şekil 4.47:** İstatistiksel bütünleştirme yaklaşımı (Temel Bileşen Analizi) Bileşen 1 ve 2 nin toplamı.

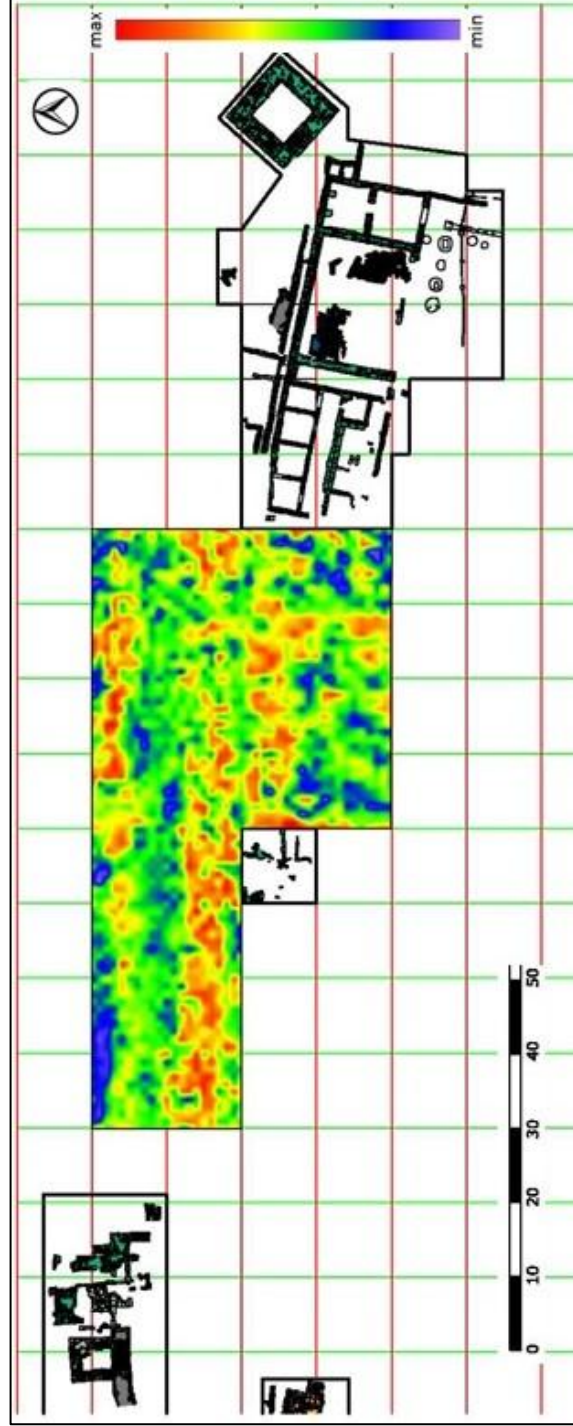
Çalışma kapsamında her iki arazi çalışma alanı için temsili olarak 2 ayrı grid üzerinde bütünleştirme çalışmaları yapılmıştır. İki farklı bütünleştirme sonuçları karşılaştırılarak yorumlama yoluna gidilmiştir.

#### **4.3.2.Heraion Teichos Akropolü Bütünleştirme Sonuçları**

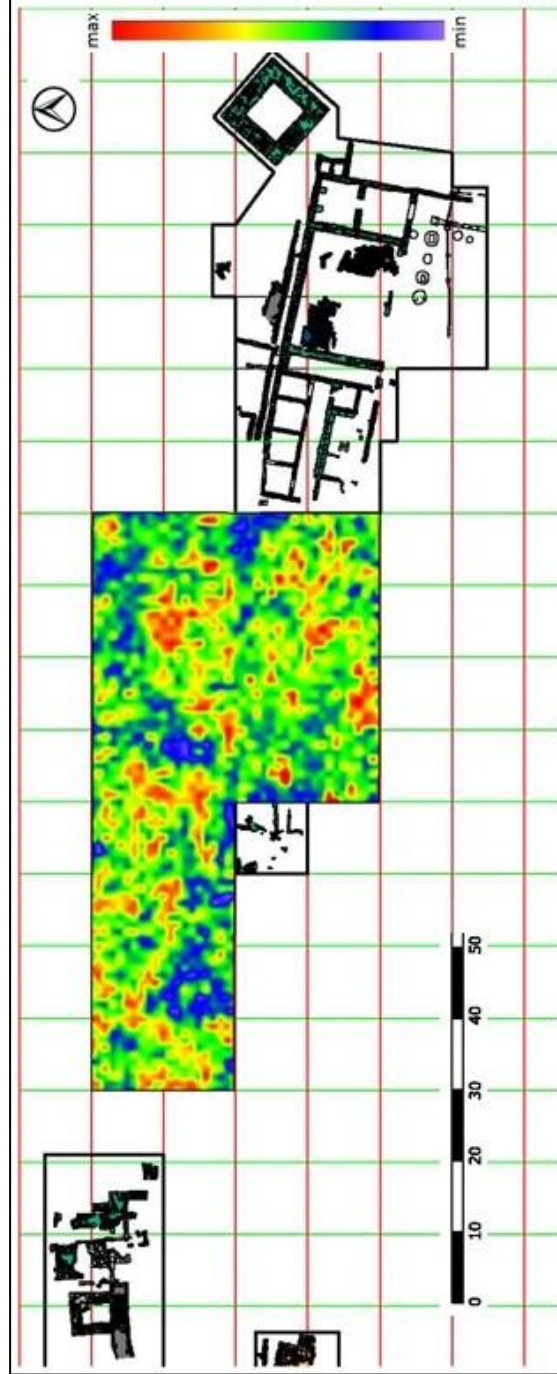
Daha önce de belirtildiği gibi, farklı jeofizik yöntemlerle elde edilen veriler, yöntemin ve aranılan yapıların özelliklerine duyarlıdır ve yöntem sonuçları bireysel olarak yorumlanır. Yöntemlerin karşılaştırılabilmesi ya da bütünleştirilebilmesi için verilerin aynı formatta ve eşit aralıklı olarak gridlenmiş olması gerekmektedir. Bu amaçla verilerin sayısal olarak da incelenebilmesi amacıyla Gpr Slice programıyla elde edilen her bir gride ait yer radarı verileri *Surfer grd.* formatına dönüştürülmüş ve yine aynı formattaki manyetik verilerle bütünleştirme olanağı sağlanmıştır. Verilerin bütünleştirilmesi çalışmaları için yapılması gereken diğer bir işlem, her iki yöntem ile elde edilen sonuçların fiziksel parametrelerinden arındırılması yani normalize edilmesidir. Çalışma kapsamında hem karşılaştırma hem de bütünleştirme işlemlerinde kullanılmak üzere tüm gridler için yer radarı ve manyetik yöntemle elde edilen veriler normalize edilmiş ve eşit aralıklı olarak gridlenmiştir. Şekil 4.48'de bütün arazide elde

edilen manyetik verilerin, uç değerleri ve kutba indirgeme işlemi sonuçları normalize edilerek sunulmuştur. Aynı şekilde aynı formatta hazırlanan yer radarı verileri şekil 4.49’de sunulmuştur.

Manyetik verilere uygulanan kroskorelasyon sonuçlarından anomalilerin kaynağının yaklaşık 0-1 metrede olduğu tahmin edilmiştir. Dolayısıyla görsel karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla, yer radarı verileri de, yüzeyden 1 metre derinliğe kadar olan 3 adet 2 boyutlu zaman/derinlik dilimleri st üste bindirilerek (*overlay*) yeni bir anomali haritası oluşturulmuştur. Bu şekilde her iki yöntemde de yüzeyden 1 metre derinliğe kadar olan bilgiler karşılaştırılmaktadır.



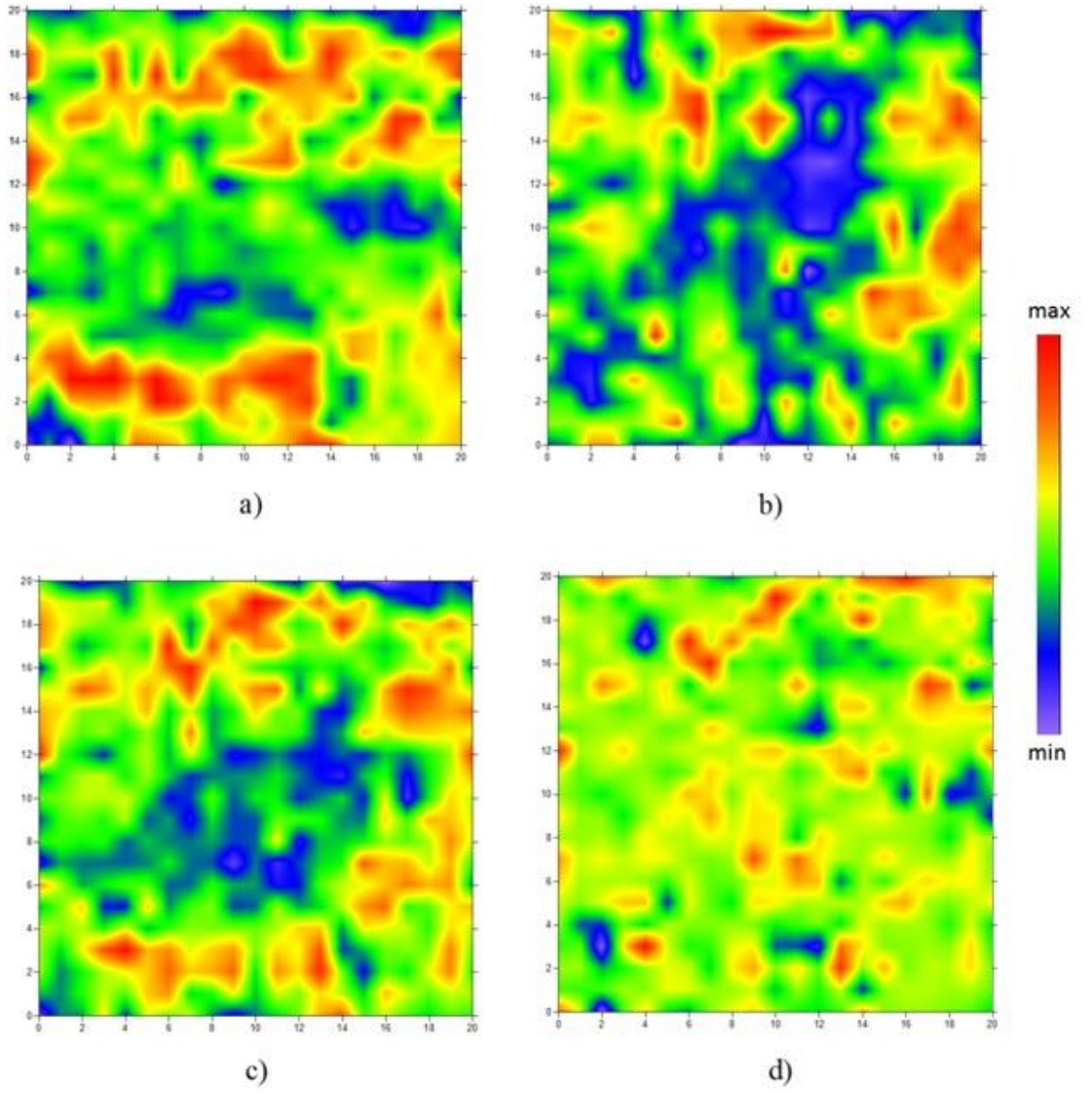
**Şekil 4.48:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü normalize edilmiş manyetik veriler ( uç değerler atılmış ve kutba indirgeme işlemi sonrası).



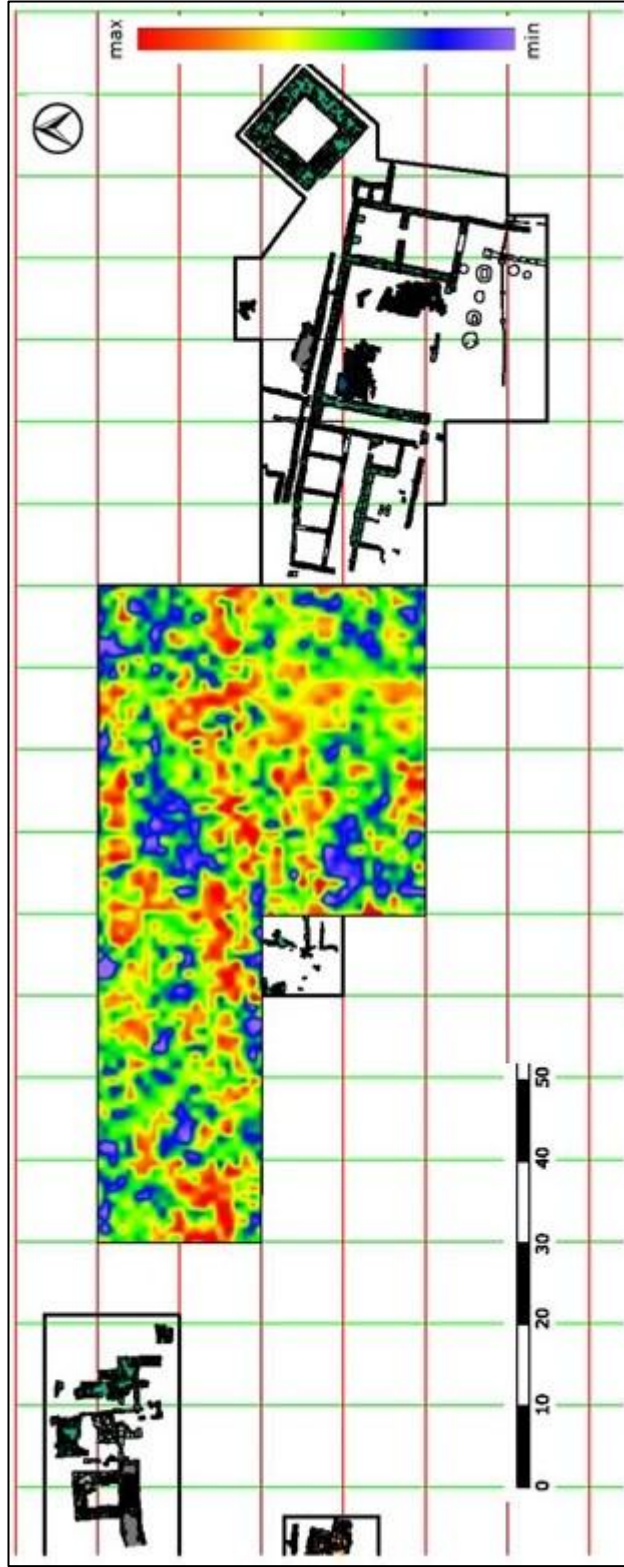
**Şekil 4.49:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolis GPR 0 -1 metreyi temsil eden 3 adet zaman dilimlerinin toplama (overlay).

Matematiksel bütünleştirme yaklaşımı uygulaması ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Fiziksel özelliklerinden arındırılmış ve eşit aralıklı olarak gridlenmiş veriler Toplamlar işleciyle üst üste bindirilmış ve ortalamaları alınarak aynı skala ölçeğinde değerlendirilmiştir. Çarpımlar işleci ise, her iki yönteme ait değerler birbirleriyle çarpılmıştır.

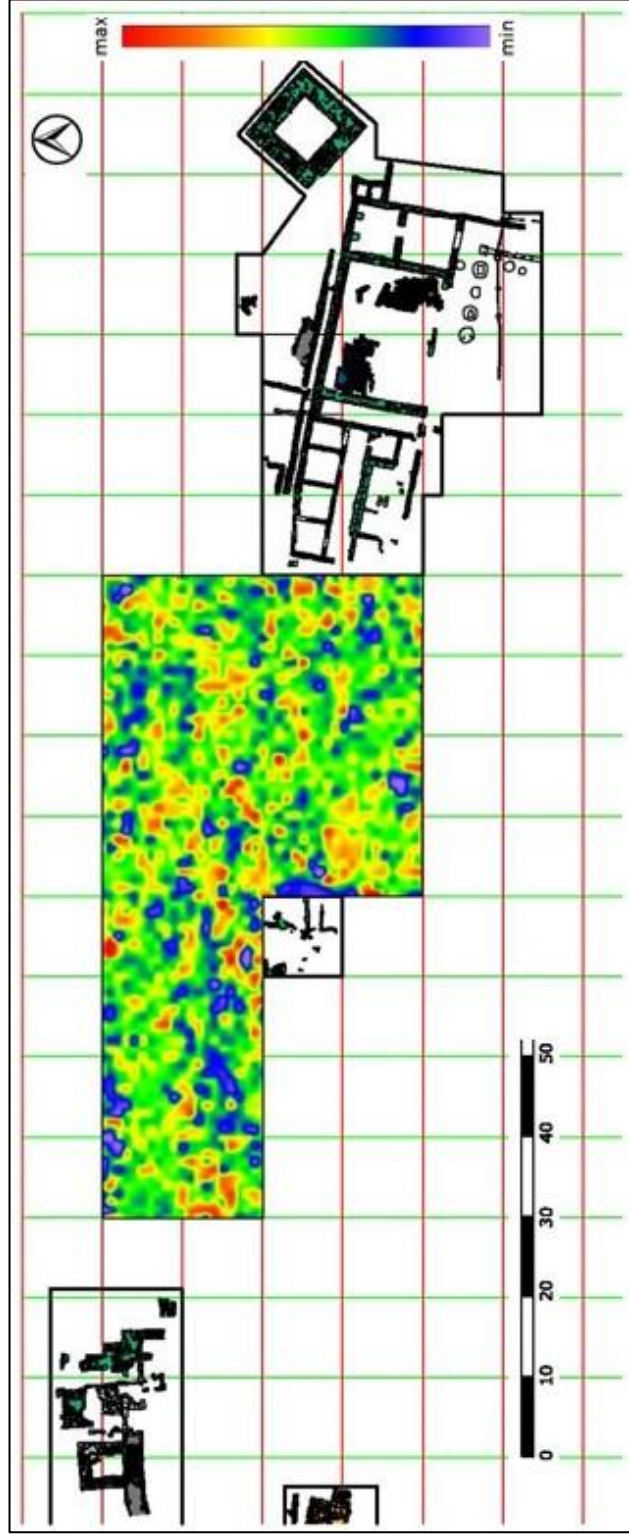
şekil 4.50'te H2 gridi için elde edilen Matematiksel bütünleştirme işlemleri sonuçları örnek olarak sunulmuştur. Bu işlem aynı şekilde Heraion Teichos Akropolünde elde edilen 6 grid için de uygulanmıştır ve şekil 4.51'de toplamlar işleci ile elde edilen tüm gridlere ait sonuçlar, şekil 4.52'de ise çarpımlar işleci ile elde edilen tüm gridere ait sonuçlar bir arada sunulmuştur.



**Şekil 4.50:** H2 gridi- normalize edilmiş manyetik anomali haritası. b) 3 farklı derinliğe ait yer radarı verilerinin üst üste bindirilmiş ve normalize edilmiş anomali haritası. c) Toplamlar d) Çarpımlar



**Şekil 4.51:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü –Tüm gridlere ait manyetik ve yer radarı verilerinin Toplamlar işleci ile elde edilen sonuçları.



**Şekil 4.52:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü - Tüm gridlere ait manyetik ve yer radarı verilerinin Çarpımlar işlemi ile elde edilen sonuçları.

İstatistiksel bir bütünleştirme yaklaşımı olan Temel bileşenler analizi ise, 2 farklı şekilde kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. İlk analiz, kroskorelasyon sonuçları ile tahmin edilen ve 0-1 metre derinlikteki anomalileri temsil ettiği düşünülen manyetik anomali haritası ve yine 0-1 metre derinlikleri arasından seçilmiş 3 adet 2 boyutlu yer radarı zaman dilimlerinin üst üste bindirildiği (*overlay*) ve tek bir veri olarak temsil edilen yer radarı anomali haritası kullanarak gerçekleştirilmiştir.

Analiz öncesinde, iki ayrı veri seti standartlaştırılmıştır. Sonrasında ise kovaryans matrisleri hesaplanmıştır. Kovaryans matrislerinin eigen değerleri ve standartlaştırılmış eigen vektörleri hesaplanmıştır. Eigen değerlerden temel bileşenlerin varyansı açıklama oranları elde edilmiştir ve her eigen vektörün transpozesi ile standartlaştırılmış veri matrisinin transpozesi çarpılarak temel bileşen değerleri bulunmuştur. Tablo 4.10'da sunulan temel bileşen analizi sonuçları incelendiğinde, eigen değeri 1'den büyük olan tek bir bileşen ile iki veri setinin temsil edilebileceği görülmektedir. Şekil 4.53'te H2 gridi için temel bileşen analizi sonuçları sunulmuştur. Bu işlem tüm gridler için uygulanmış ve sonuçları ise Şekil 4.54'te bir arada sunulmuştur.

**Tablo 4.9:** Veriler arasındaki Kovaryans matrisi.

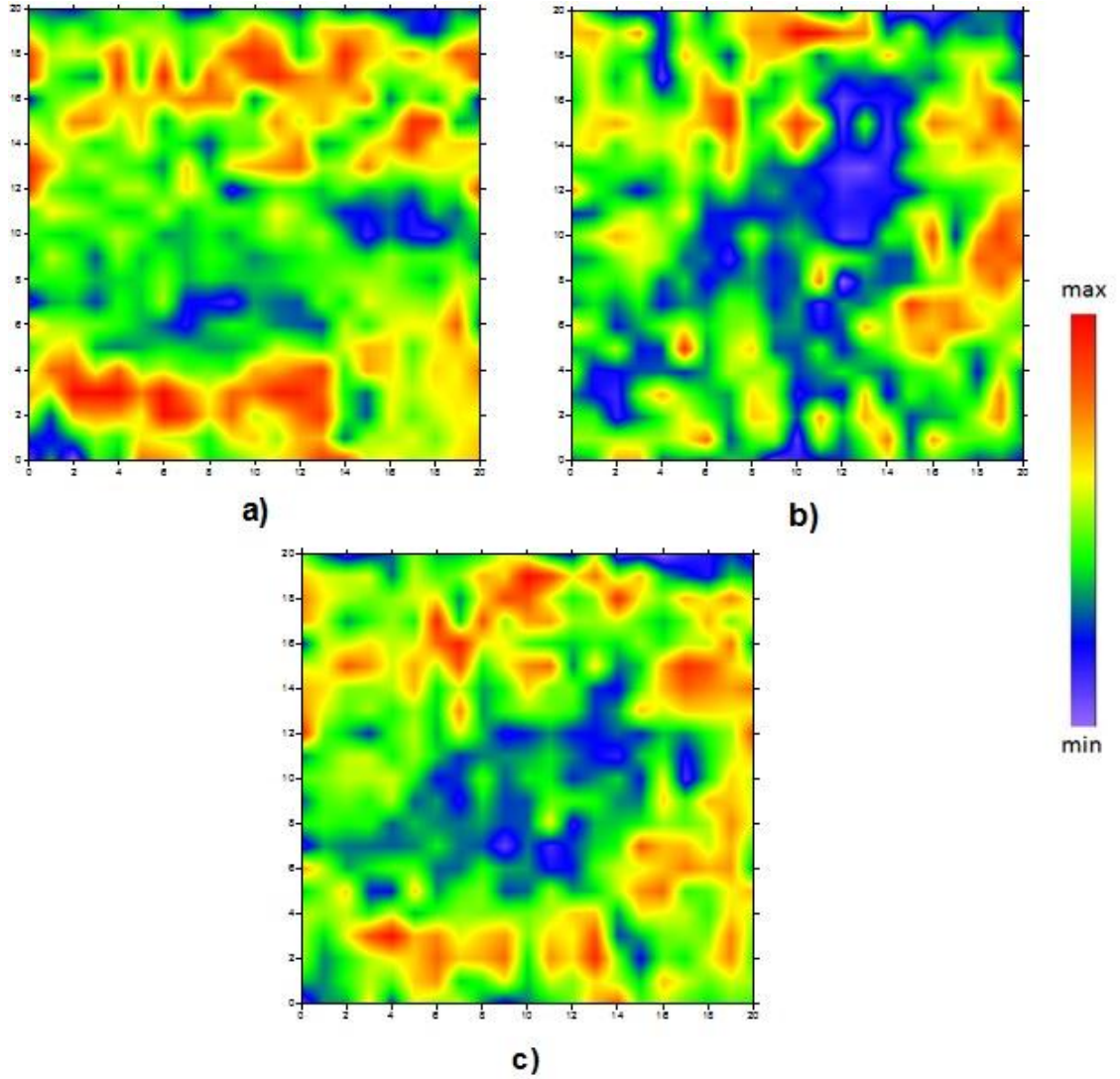
Kovaryans	Mag-H2	Gpr123-H2
Mag-H2	1.000	0.046
Gpr123-H2	0.046	1.000

**Tablo 4.10:** Temel bileşenler analizi sonuçları-H2 gridi.

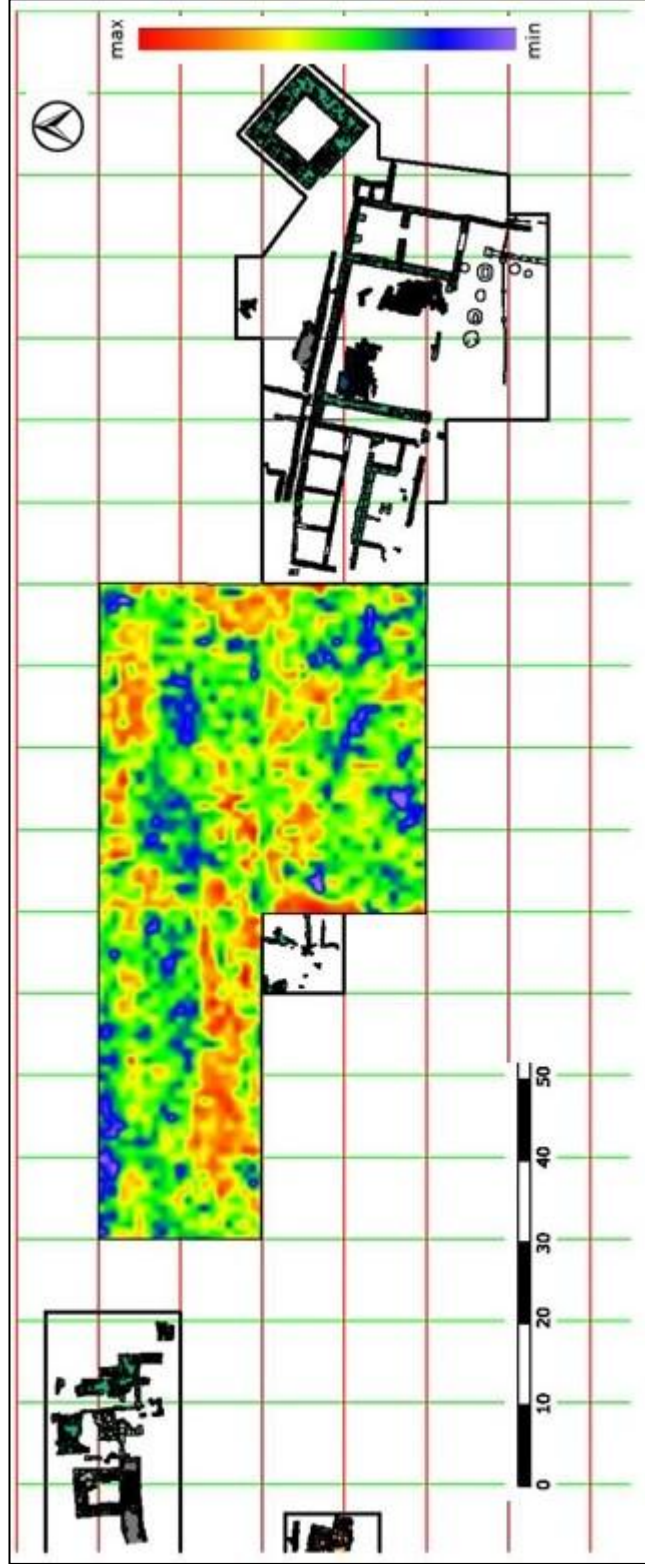
Bileşenler	Eigen Değerleri		
	Değer	% Varyans	% Kümülatif
1	1,046	52,296	52,296
2	0.954	47,704	100,000

Tablo 4.11: Bileşen skorları katsayıları.

Skorlar Katsayıları	Bileşenler	
	1	2
Mag-H2	0,691	0,724
Gpr123-H2	0,691	-0,724



Şekil 4.53: H2 alanı için temel bileşenler analizi sonuçları. a) Standardize edilmiş manyetik veri. b) Standardize edilmiş Gpr123 c) 1. Bileşen



**Şekil 4.54:** Heraion Teichos Antik Kenti Akropolü -Tüm gridlere uygulanan Temel Bileşen Analizi sonuçları -  
1. Bileşen.

İkinci analiz ise manyetik veri ve 3 ayrı yer radarı zaman dilimini temsil eden 4 adet veri seti arasında yapılmıştır. Bu durumda manyetik verinin hangi derinliğe ait yer radarı verisiyle örtüştüğü konusunda da araştırmaların yapılması hedeflenmiştir.

Sunulan örnekte, kovaryans katsayıları incelendiğinde, Gpr-1 ile Gpr-1.5 olarak isimlendirilen veri setleri arasında yüksek korelasyonun olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın amacı, manyetik veri ile yer radarı verisi arasında yüksek korelasyon aramaktır. Veriler bu açıdan incelendiğinde manyetik veri ile Gpr-0.5 arasında göreceli olarak daha yüksek korelasyon olduğu söylenebilmektedir. Bu durumda manyetik veri ile Gpr-0.5 in matematiksel toplamları şeklinde bir bütünleştirme düşünülebilir. Fakat manyetik veri ile diğer derinliklere ait yer radarı verileri arasında düşük de olsa bir korelasyon söz konusudur dolayısıyla bu yer radarı verilerinin bütünleştirme işlemi için katkısı önemsiz bulunmamalı ve daha detaylı bir araştırma yoluna gidilmesi gerekliliği doğmuştur.

Tablo 4.13'te sunulan Temel Bileşen Analizi sonuçları incelendiğinde Eigen değerleri 1 ve 1'den büyük olan iki bileşen bizim için değerlidir ve veri bütünleştirme için kullanılabilir gözükmektedir. Fakat değişkenler ve bileşenler arasındaki Korelasyon incelendiğinde 1. Bileşen daha çok Gpr-1 ile Gpr-1.5 in katkısı ile oluşmuştur ve tüm verilerdeki % 42 varyasyonu temsil etmektedir. 2. Bileşen; Gpr-0.5 ve manyetik verinin katkısıyla oluşmuştur ve verinin % 27 varyasyonu temsil etmektedir. 3. Bileşen; Gpr-1 ile manyetik verinin katkısıyla oluşmuştur ve toplam varyasyonun %18 ini ifade etmektedir. 4. Bileşen ise sadece %11 lik bir varyasyonu ifade etmektedir. Amaç, bütünleştirme kapsamında manyetik ve yer radarı verisinin bütünleştirilmesi olduğundan aslında 1. Bileşen olarak kabul edilmesi gereken veri bu durumda 2. Bileşendir. Bunun yanında yine 3. Bileşen de temel bileşen olarak kabul edilebilir. Tablo 4.13 incelendiğinde, bu iki bileşenin toplam varyansa katkısı %50 dir. Bu durumda bu iki temel bileşenin matematiksel olarak toplamı bütünleştirme sonucu olarak ana bileşen olarak kabul edilebilir.

**Tablo 4.12:** Veriler arasındaki Kovaryans matrisi.

Kovaryans	Gpr-0.5	Gpr-1	Gpr-1.5	Mag
<b>Gpr-05</b>	1,000	-0,011	0,030	0,179
<b>Gpr-1</b>	-0,011	1,000	0,548	-0,225
<b>Gpr-1.5</b>	0,030	0,548	1,000	-0,211
<b>Mag</b>	0,179	-0,225	-0,211	1,000

**Tablo 4.13:** Temel Bileşen analizi sonuçları – H4 gridi.

Bileşenler	Eigen Değerleri		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
<b>1</b>	1,692	42,303	42,303
<b>2</b>	1,111	27,766	70,069
<b>3</b>	0,747	18,666	88,736
<b>4</b>	0,451	11,264	100,000

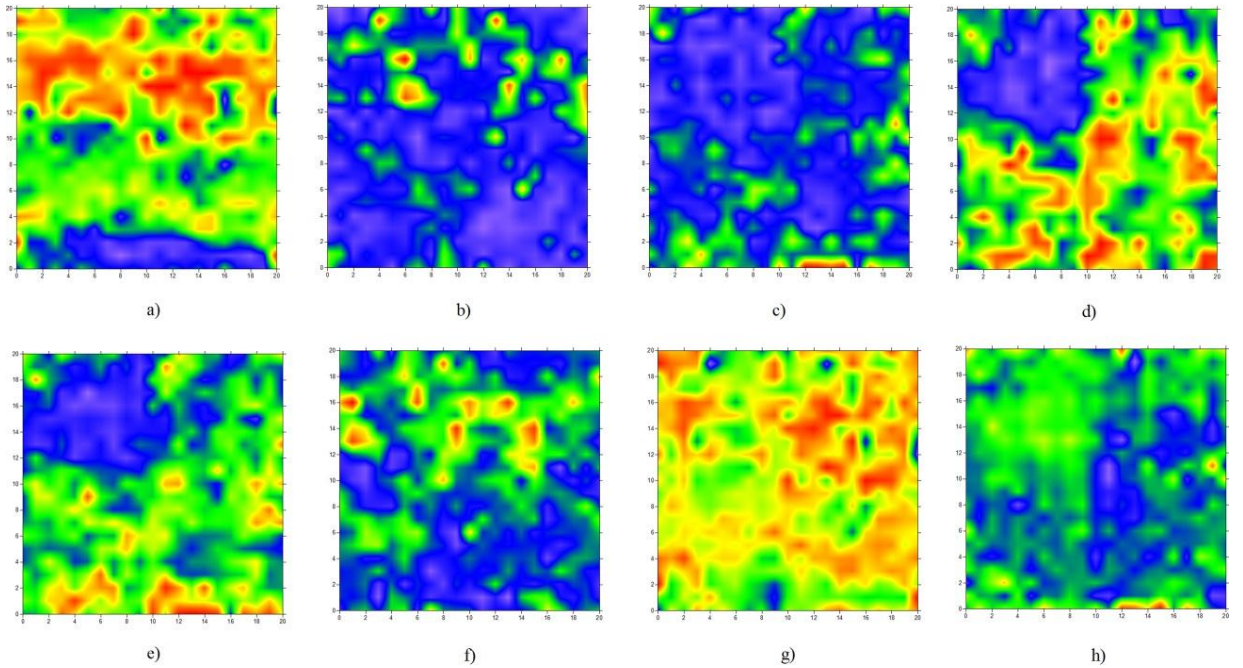
**Tablo 4.14:** Bileşen skorları katsayıları.

	Bileşenler			
	1	2	3	4
<b>Gpr-05</b>	-0,071	0,780	-0,647	0,078
<b>Gpr-1</b>	0,492	0,178	0,274	1,051
<b>Gpr-1.5</b>	0,486	0,237	0,227	-1,052
<b>Mag</b>	-0,327	0,451	0,891	0,001

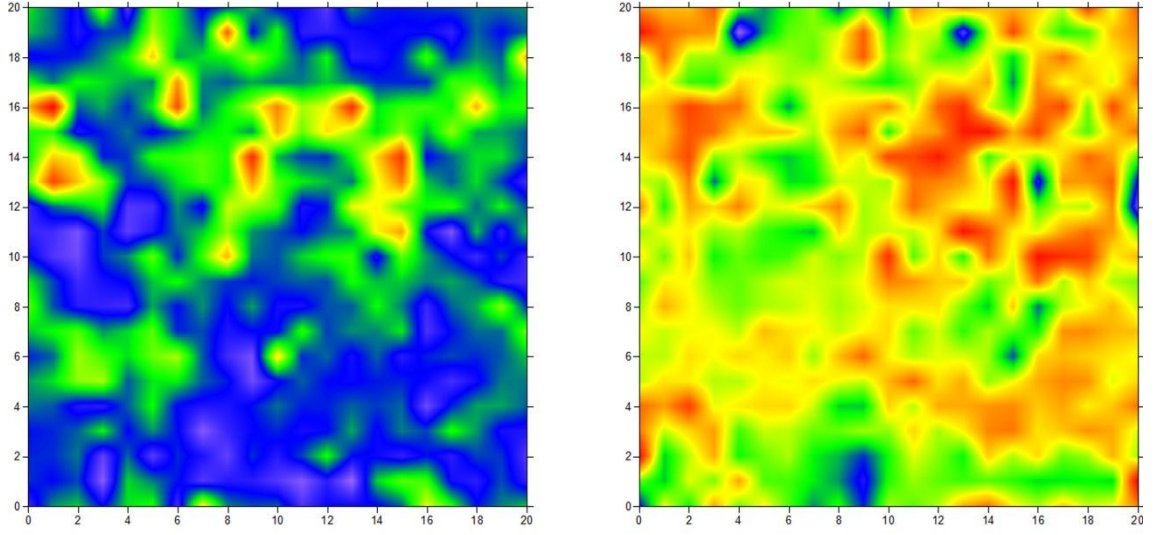
**Tablo 4.15:** Bileşenler ve Değişkenler arasındaki korelasyon değerleri.

Korelasyon	1. Bileşen	2. Bileşen	3. Bileşen	4. Bileşen
<b>Gpr-05</b>	-0,119	0,866	-0,483	0,035
<b>Gpr-1</b>	0,833	0,197	0,204	0,473
<b>Gpr-1.5</b>	0,823	0,262	0,169	-0,474
<b>Mag</b>	-0,553	0,501	0,665	0,005

H4 gridine uygulanan bu analizin sonuçları Şekil 4.55'te sunulmuştur. Yukarıda bahsedildiği gibi tüm veriler 2.bileşen ve 3. Bileşen ile temsil edilebilir. Bu iki bileşenin toplamı Şekil 4.56'da sunulmuştur.

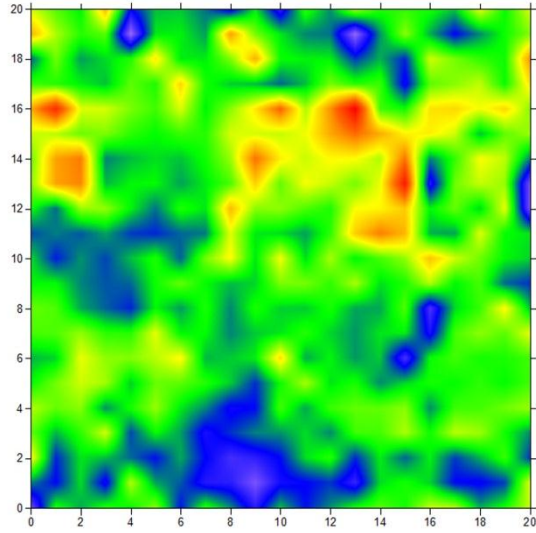


**Şekil 4.55:** H4 gridi için temel bileşenler analizi. a) standardize edilmiş manyetik anomali haritası. b) Standardize edilmiş yer radarı derinlik haritası (0.5 metre). c) Standardize edilmiş yer radarı derinlik haritası (1 metre). d) Standardize edilmiş yer radarı derinlik haritası (1.5 metre). e) 1. Bileşen f) 2. Bileşen g) 3. Bileşen h) 4. Bileşen



a)

b)



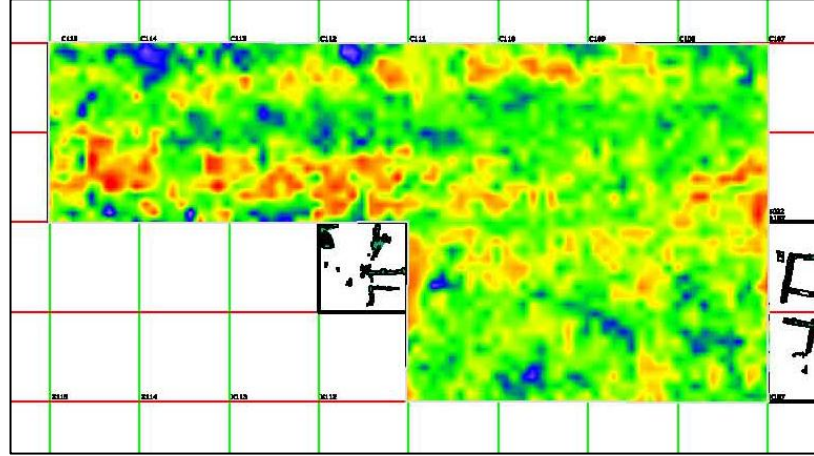
c)

**Şekil 4.56:** Temel bileşen analizi H4 gridi. a) 2. Bileşen b) 3. Bileşen c) 2.Bileşen ve 3. Bileşenin toplamı

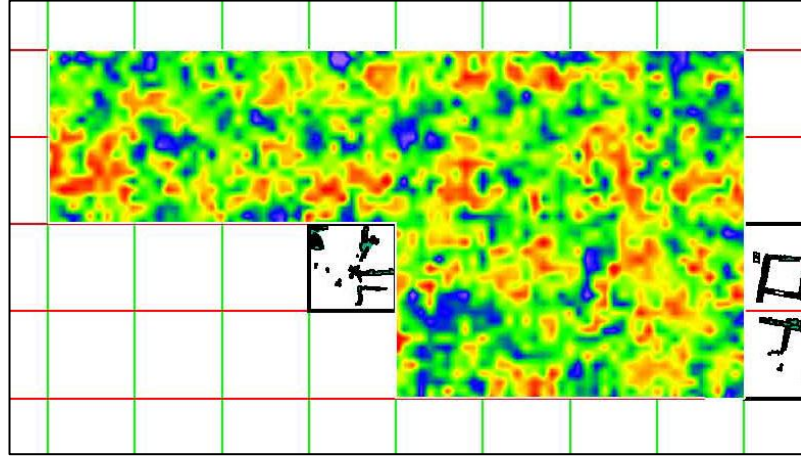
Temel bileşen analizi Heraion Teichos da elde elde edilen 6 grid için uygulanmış ve bütünleştirme sonuçları elde edilmiştir. Tablo 4.16’de değişkenler ve bileşenler arasındaki korelasyonun incelenmesiyle oluşturulan, 3 ayrı yer radarı verisi ve 1 manyetik verinin bütünleştirilmesinde kullanılan bileşenler ve toplam veri varyasyonundaki değerler tüm gridler için elde edilmiştir. Burada tespit edilen bileşenler göz önüne alınarak, Şekil 4.57’de tüm gridlere ait temel bileşen analiz sonuçları sunulmuştur. Genel çerçevede aralarındaki farkın yorumlanabilmesi için Şekil 4.58’de 1 manyetik ve 3 yer radarı verisinin overlayi arasında uygulanan temel bileşen analizi sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.59’de ise, toplamlar işlecinin tüm gridler üzerindeki sonuçları sunulmuştur.

**Tablo 4.16:** Heraion Teichos Akropolü Temel bileşen analizi sonuçları.

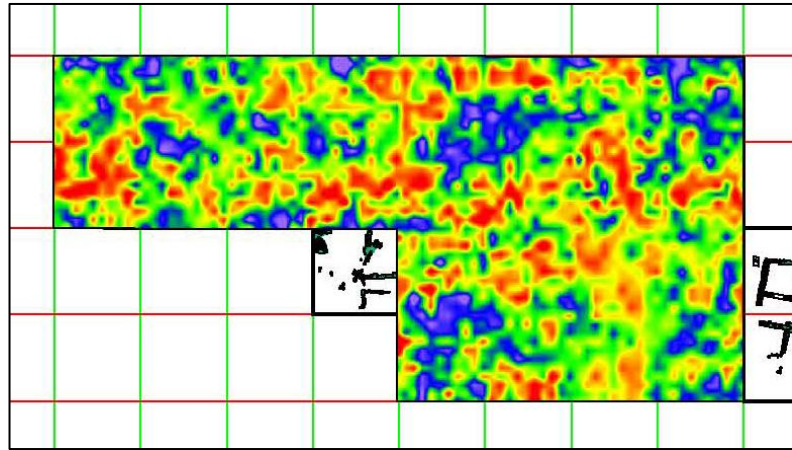
	<b>Bileşen</b>	<b>Varyans</b>
<b>H1 gridi</b>	2.Bileşen + 3.Bileşen	% 47
<b>H2 gridi</b>	1.Bileşen + 2.Bileşen	% 78
<b>H3 gridi</b>	2.Bileşen + 3.Bileşen	% 46
<b>H4 gridi</b>	2.Bileşen +3.Bileşen	% 50
<b>H5 gridi</b>	2. Bileşen	% 48
<b>H6 gridi</b>	1. Bileşen	% 52



Şekil 4.57: Heraion 1 mag-3Gpr Temel bileşen analizi sonuçları.



Şekil 4.58: Heraion (1 mag-Gpr123) Temel bileşen analizi sonuçları.



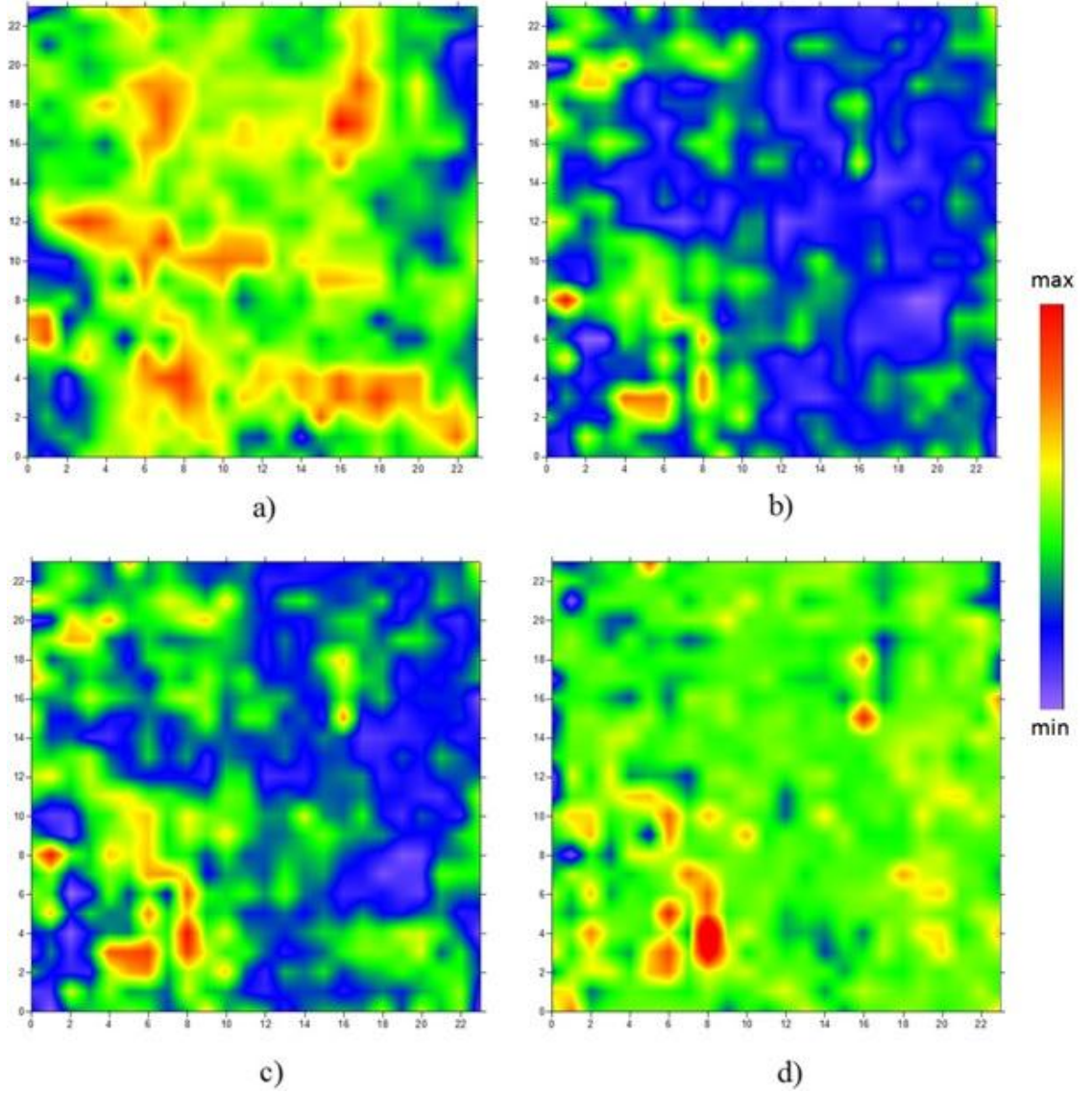
Şekil 4.59: Heraion (1 mag-Gpr123) toplamlar işleci sonuçları.

Bütünleştirme işlemi için uygulanan matematiksel bir bütünleştirme tekniği olan Toplamlar işleci ve İstatistiksel bütünleştirme tekniği olan Temel Bileşen analizi sonuçları karşılaştırıldığında; Toplamlar ile elde edilen sonuçlar, birbiri arasında herhangi bir korelasyon ya da uyum söz konusu olan veya olmayan tüm verilerin değerlerinin üst üste topladığından daha fazla bilgi içermektedir. Fakat istatistiksel bir yaklaşım olan Temel bileşen analizi ile elde edilen sonuçlar, birbiri ile yüksek korelasyon içeren verilerin ağırlıklı olarak temsil edildiği resimler olduğundan daha duyarlı sonuçlar elde etme imkanı sunmuştur.

#### **4.3.3.Aizanoi Antik Kenti Bütünleştirme Sonuçları**

Aizanoi antik kentinde elde edilen manyetik ve yer radarı verileri sadece Torbau bölgesinden elde edilen bir grid için mümkün olmuştur. Bütünleştirme işlemleri aynı grid içinde ölçümleri alınmış ve boyutları aynı olan haritalar üzerinde yapılmıştır.

Bütünleştirme işlemi ilk olarak yine Matematiksel bütünleştirme işlemleri olan Toplamlar ve Çarpımlar işlemlerinden yararlanılmıştır. Aizanoi antik kentinde Torbau alanı (AG3 gridi) den elde edilen manyetik veri ve 0-1 metre derinliği temsil eden yer radarı verilerinin üstüste bindirilerek oluşturulduğu tek bir yer radarı verisi kullanarak, yani 1 adet manyetik 1 adet Gpr verisi kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 4.60).



**Şekil 4.60:** Aizanoi AG3 gridi. a) Normalize edilmiş manyetik veri. b) Normalize edilmiş Gpr-123 (overlay). c) Toplamlar d) Çarpımlar

Temel bileşenler analizi de yine aynı şekilde bu grid için iki şekilde gerçekleştirilmiştir. 1 manyetik ve 0-1 metreyi temsil eden 2 veri seti arasında uygulanan Temel Bileşen Analizinin sonuçları aşağıdaki gibidir. Temel bileşen analizi sonuçları ve Şekil 4.61 incelendiğinde 1. Bileşenin bütünleştirme işlemi için uygun bir harita olduğu gözlenmektedir. Sonuçlar, Şekil 4.61’de sunulmuştur.

**Tablo 4.17:** Veriler arasındaki Kovaryans matrisi.

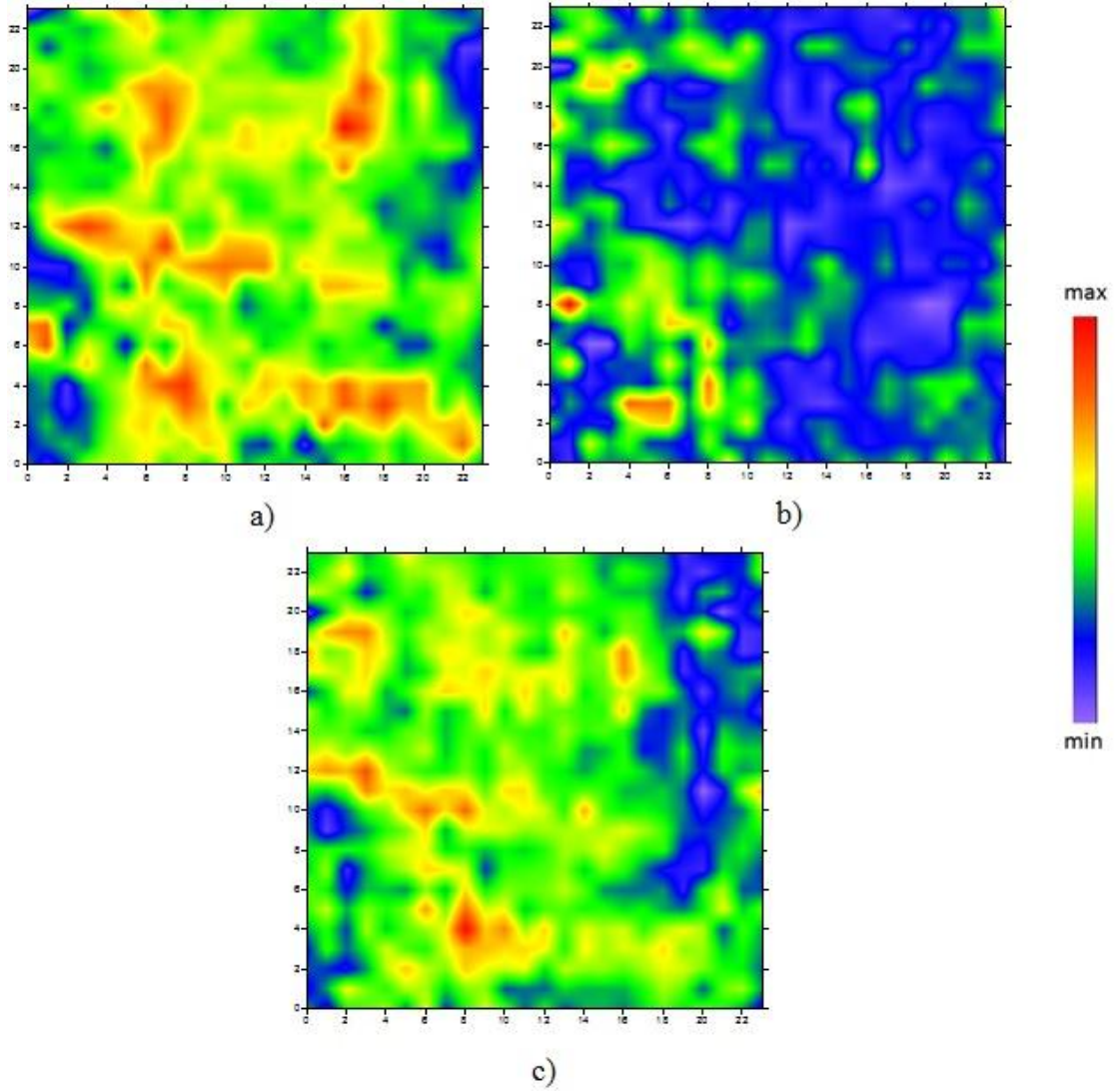
<b>Kovaryans</b>	<b>Mag-AG3</b>	<b>Gpr123-AG3</b>
<b>Mag-AG3</b>	1.000	0.038
<b>Gpr123-AG3</b>	0.038	1.000

**Tablo 4.18:** Temel Bileşen analizi sonuçları - AG3 gridi.

<b>Bileşenler</b>	<b>Eigen Değerleri</b>		
	<b>Toplam</b>	<b>% Varyans</b>	<b>% Kümülatif</b>
<b>1</b>	1,038	51,902	51,902
<b>2</b>	0.962	48,098	100,000

**Tablo 4.19:** Bileşen Skorları katsayıları.

<b>Skorlar Katsayıları</b>	<b>Bileşenler</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Mag-AG3</b>	0,694	0,721
<b>Gpr123-AG3</b>	0,694	-0,721



**Şekil 4.61:** Torbau AG3 alanı. a) Normalize edilmiş manyetik veri. b) Normalize edilmiş Gpr123. c) 1.Bileşen

AG3 gridi için aynı zamanda 1 manyetik veri ve 3 farklı derinliğe ait 3 adet yer radarı verisi kullanılarak uygulanmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen veriler tablolar halinde sunulmuştur. AG3 gridi için elde edilen temel bileşen analizi sonuçlarında 4 veri setinin eigen değeri 1'den yüksek olan iki bileşen ile temsil edilebileceği düşünülmüştür. Fakat bileşenler ve değişkenler arasındaki korelasyon incelendiğinde, 1. Bileşen; Gpr 1 ve Gpr-1.5'un katılımıyla, 2. Bileşen ise; Gpr-05 ve manyetik verinin katılımıyla, 3. Bileşen; Gpr-1 ve Manyetik verinin katılımıyla oluşmuştur. Bu durumda, manyetik ve yer radarı verilerinin bütünleştirilmesi hedeflendiğinden, çoğunlukla 2. Bileşen ana bileşenimiz gibi gözükse de 3. Bileşen de fena bir korelasyon

içermemektedir. Bu durumda 2. Bileşen ve 3. Bileşenin matematiksel toplamının bu alan için uygun bütünleştirme sonucunu temsil edeceği düşünülmüştür.

**Tablo 4.20:** Veriler arasındaki Kovaryans matrisi.

Kovaryans	Gpr0.5-AG3	Gpr1-AG3	Gpr1.5-AG3	Mag-AG3
Gpr0.5-AG3	1,000	0,063	0,138	0,041
Gpr1-AG3	0,063	1,000	0,719	0,027
Gpr1.5-AG3	0,138	0,719	1,000	0,108
Mag-AG3	0,041	0,027	-0,108	1,000

**Tablo 4.21:** Temel Bileşen analizi sonuçları – AG3 gridi.

Bileşenler	Eigen Değerleri		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	1,749	43,734	43,734
2	1,040	25,997	69,730
3	0,947	23,669	93,399
4	0,264	6,601	100,000

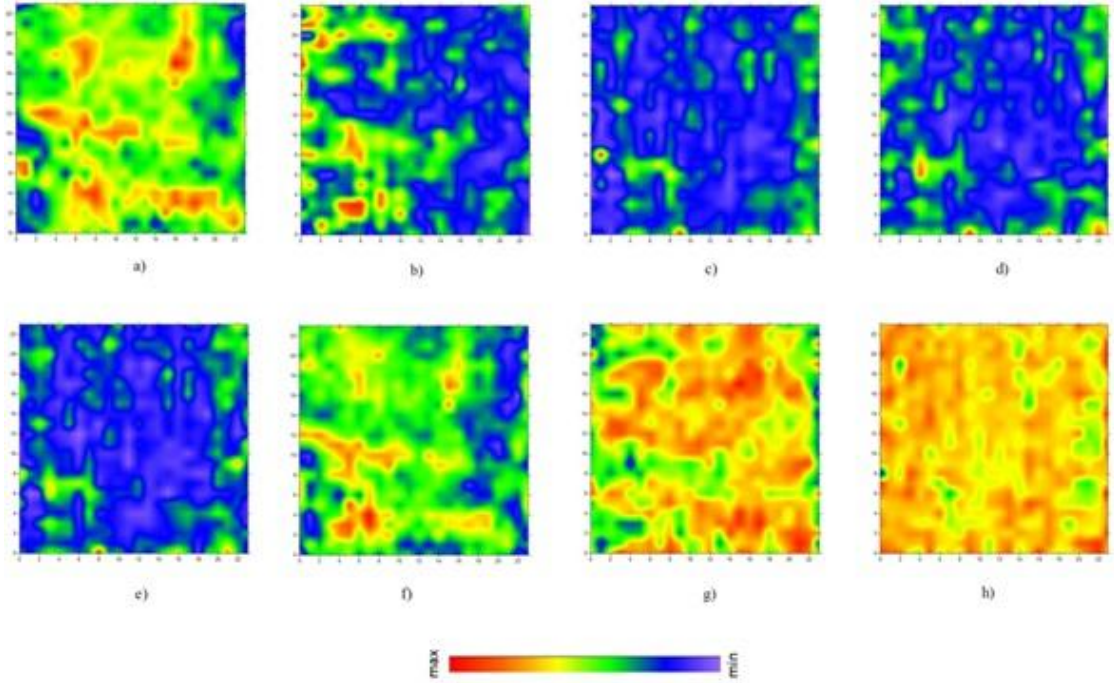
**Tablo 4.22:** Bileşen skorları katsayıları

	Bileşenler			
	1	2	3	4
Gpr0.5-AG3	0,139	0,562	-0,817	-0,158
Gpr1-AG3	0,518	0,008	0,241	-1,341
Gpr1.5-AG3	0,530	-0,079	0,033	1,377
Mag-AG3	-0,050	0,800	0,375	0,260

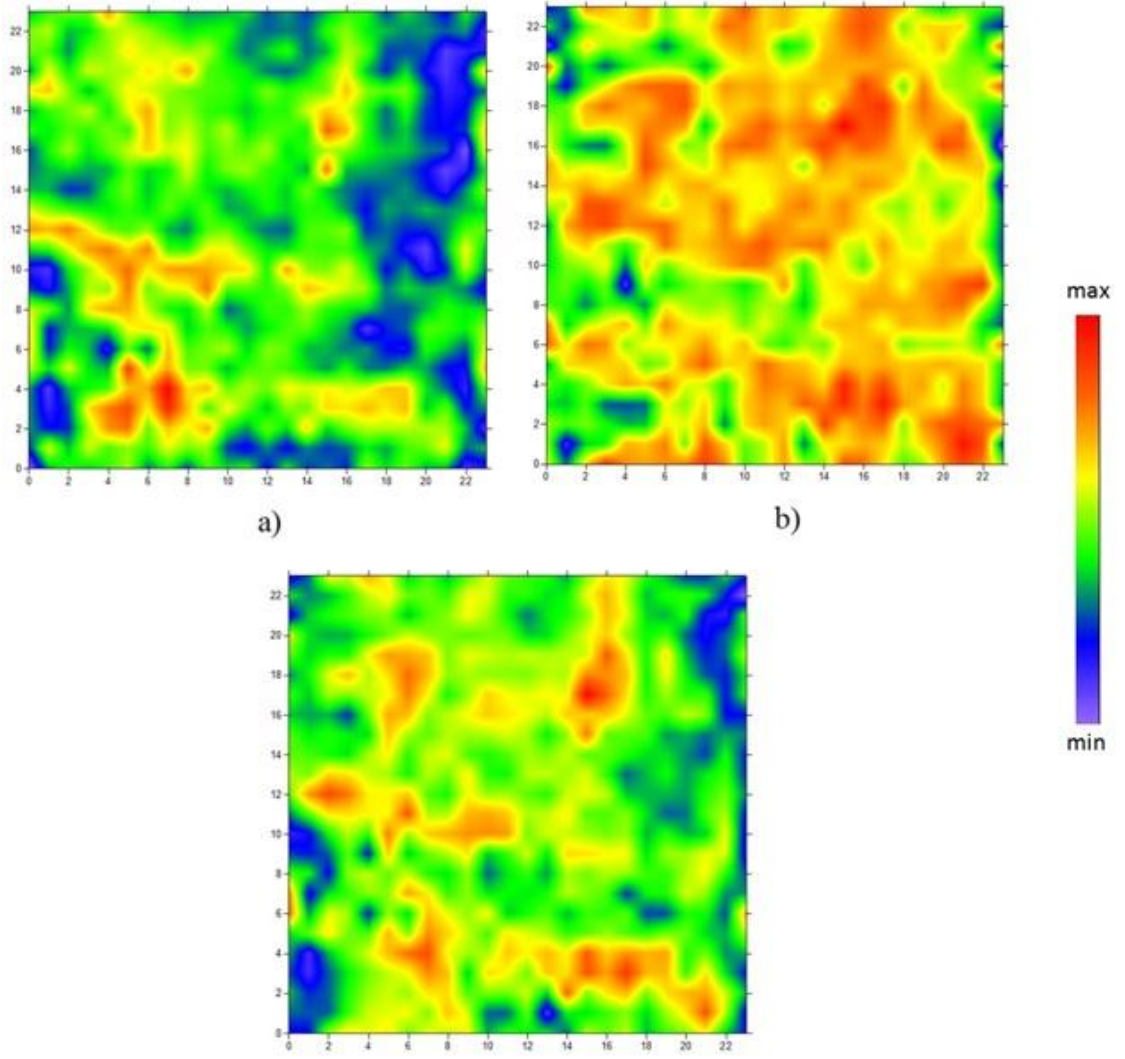
**Tablo 4.23:** Bileşenler ve değişkenler arasındaki korelasyon.

	1.Bileşen	2.Bileşen	3.Bileşen	4.Bileşen
<b>Gpr0.5-AG3</b>	0,052	0,339	-0,297	-0,053
<b>Gpr1-AG3</b>	0,261	-0,066	0,015	0,008
<b>Gpr1.5-AG3</b>	0,272	-0,115	-0,115	0,121
<b>Mag-AG3</b>	-0,128	0,399	0,349	-0,015

Analiz sonuçları Şekil 4.62 ve Şekil 4.63'te sunulmuştur.

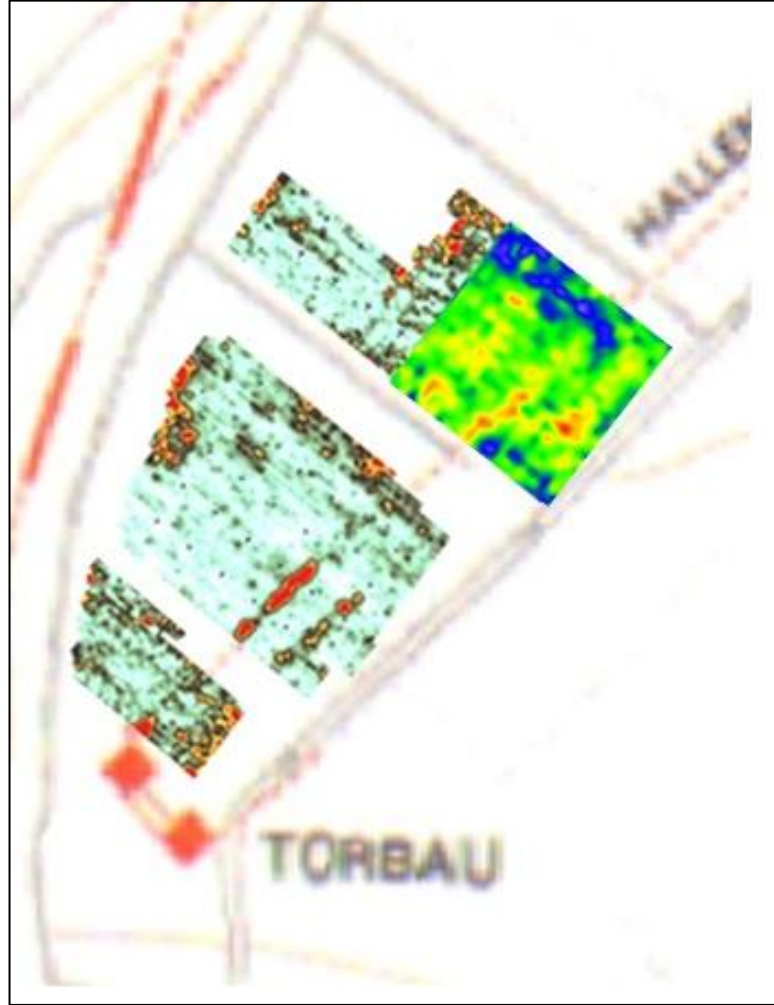


**Şekil 4.62:** Aizanoi AG3 gridi. a) Manyetik b) Gpr-0.50 metre c) Gpr-1 metre  
d) Gpr-1.5metre e) 1.Bileşen f) 2.Bileşen g) 3.Bileşen h) 4.Bileşen



**Şekil 4.63:** Aizanoi AG3 gridi. a) 2.Bileşen b) 3.Bileşen c) 2.ve 3.Bileşen toplamı ( % 48 varyans).

Genel bir örnek olarak Şekil 4.64'te, AG3 gridi için istatistiksel bütünleştirilmiş yaklaşım sonuçları, yer radarı sonuçları ile bir arada sunulduğunda daha önce yer radarı sonuçlarıyla çok net bilgi edinilemeyen bu alanda, bütünleştirme sonuçlarının daha net olduğu gözlenmektedir. Bütünleştirme sonuçlarının hem aynı grid için hem de yan gridi olan AG2 gridi için tamamlayıcı olduğu açıktır. Bu durumda anomaliler incelendiğinde bu alanda Roma dönemine ait yolun devam ettiği düşüncesi daha netleşmiştir.



**Şekil 4.64:** Torbau alanı Manyetik ve yer radarı sonuçlarının bir arada sunumu.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında Aizanoi Antik Kenti ve Heraion Teichos Akropolü'nde uygulanan yer radarı ve manyetik yöntemlerle elde edilen veriler, anomalilerin daha iyi tanımlanması için bazı veri işlem aşamalarından geçirilmiş ve arkeolojik öğelerle ilişkilendirilebilmesi için 2 boyutlu ve 3 boyutlu sunum tekniklerinden yararlanılmıştır.

Yer radarı çalışmaları kapsamında, radargramlar ve 2 boyutlu zaman dilimleri üzerinde uygulanan veri işlem çalışmaları, verinin kalitesinin artırılması ve anomalilerin tespit edilmesinde oldukça yararlı olmuştur. Çalışmada verilerin, farklı zaman/derinlik haritaları şeklinde sunulması, anomalilerin yüzeyden derine doğru santimetre bazında değişiminin incelenmesini sağlamıştır. Diğer yandan radargramlar ve 2 boyutlu zaman/derinlik dilimlerinin bir arada sunumu ve maksimum yansımaların gözlenebildiği 3 boyutlu hacim modellerinden yararlanılması, jeofizik verilerin arkeologlara aktarılması açısından oldukça etkili olmuştur.

Aizanoi Antik Kenti'nde uygulanan yer radarı çalışmalarında, Zeus Tapınağı çevresinde arkeologlar tarafından koruma amaçlı inşa edildiği düşünülen duvarlara ait anomaliler tespit edilmiştir. Borsa-macellum alanında, üst derinliklerde bölgedeki dükkanların temellerine ait olduğu düşünülen anomaliler gözlenmiştir. Daha derinlerde ise Sütunlu cadde inşa edilmeden önce bu alanda varolduğu düşünülen Artemis Tapınağı'na ait giriş yolu tespit edilmiştir. Nekropol alanında, oda tipi mezarlara ait olabileceği düşünülen bazı anomaliler gözlenmiştir. Tiyatronun hemen arkasında olan bu çalışma alanında daha derinlerde tiyatronun son basamağına ait izler tespit edilmiştir. Torbau alanında, çalışma alanının yakınlarında bulunan ve kente girişin sağlandığı kapıya dik yönde anomaliler gözlenmiştir ve bu anomalilerin kapı ile bağlantılı olan bir yol olabileceği düşünülmektedir. Hamam çalışma alanında ise Palestra adı verilen bahçe içerisinde olası arkeolojik yapılara ait anomaliler gözlenmiştir. Genel çerçevede, Aizanoi Antik Kenti'nde elde edilen yer radarı verileri arkeolojik yorum haritalarıyla birlikte değerlendirildiğinde birbirleriyle uyumludur.

Heraion Teichos alanında elde edilen yer radarı verileri ise, her grid için çok net tanımlanamamaktadır. Radargramlarda da gözlenen ve 2 boyutlu zaman dilimlerine yansıyan bu karmaşıklığın, (arkeolojik alandaki güncel kazılar da göz önünde bulundurulduğunda), yeraltındaki yapıların zaman içindeki deformasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Herbir çalışma gridinden elde edilen 2 boyutlu zaman dilimleri tek tek incelendiğinde Akropoldeki kült merkezi ile ilişkili olduğu düşünülen arkeolojik yapılara ait izlerin takibi daha kolaylaşmaktadır. Diğer yandan karşılaştırma işlemi için, 2 boyutlu zaman dilimleri, Surfer grd formatına dönüştürüldüğünde yapı sınırlarının daha net tanımlandığı gözlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, manyetik verilere uygulanan uç değerlerin atılması işlemi ile veriler oldukça iyileştirilmiş ve anomalilerin tanımlanması kolaylaşmıştır. Verilere uygulanan Kutba indirgeme işlemi ile yapıların mıknatıslanma vektörü doğrultusundan kaynaklanan karışıklık giderilmiştir. Uygulanan Kroskorelasyon çalışmaları ile, anomaliyi oluşturacak yapının sınırları hakkında bilgi edinilmiştir. Bu işlem, manyetik anomaliler ile yer radarı verilerinin karşılaştırılmasında göz önünde bulundurulması gereken derinlik bilgisinin tespiti için de yararlı olmuştur.

Aizanoi antik kentinde Tapınak çevresinde elde edilen manyetik verilerde, koruma duvarına ait anomaliler gözlenmiştir. Torbau alanında da, alanda kalıntıları bulunan kapı ile ilişkili olduğu düşünülen ve antik döneme ait bir yol olduğu düşünülen anomaliler tespit edilmiştir. Heraion Teichos Akropolü'nde elde edilen manyetik verilerin yine olası kült merkezine ait duvarlara ait olduğu düşünülen anomaliler gözlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, aynı grid içinde uygulanan yer radarı ve manyetik yöntem ile elde edilen veriler karşılaştırıldığında daha çok yapıların fiziksel parametrelerine duyarlı olan manyetik yöntem ile elde edilen anomaliler, daha çok arkeolojik yapıların geometrisini yansıtan yer radarı verilerinden elde edilen anomalilere göre daha belirgindir. Fakat yapıların sınırlarının tespit edilmesi açısından yer radarı yönteminin daha duyarlı olduğu gözlenmiştir.

Karşılaştırmalar şeklinde yapılan yorumlardan sonra bütünleştirme tekniklerinden yararlanarak yorumlama yoluna gidilmiştir. Tez çalışması kapsamında, matematiksel bütünleştirme şeklindeki yaklaşım teknikleri ve istatistiksel yaklaşım tekniklerinden

yararlanılmıştır. Sentetik veriler ve arazi verilerine uygulanan bütünleştirme sonuçları incelendiğinde, her bir bütünleştirme yaklaşımının, yeraltındaki olası arkeolojik yapılara ait anomaliler hakkında birbirinden farklı ve önemli bilgiler içerdiği sonucuna varılmıştır. Matematiksel yaklaşım teknikleri kapsamında uygulanan toplamlar işleci, birbirleri arasındaki ilişkiye bakılmaksızın tüm anomalilerin üst üste bindirilerek bir arada gözlemleyebilme imkanı sunmaktadır. Bu işlemde, veri seti sayısı arttıkça üst üste gelen anomaliler de artış göstereceğinden yorumlamada bazı karışıklılara neden olabileceği düşünülmektedir.

Çarpımlar işleci sonuçlarında, anomalinin doğruluğu test edilmiş olmaktadır ve kesin bir anomalinin varlığından bahsedilebilmektedir. Sadece bu sonuçlara dayanarak, diğer yöntemlerle farklı noktalarda gözlenen anomalilerin anlamsız olduğu anlamı çıkarılmamalıdır.

İstatistiksel bütünleştirme yaklaşımı kapsamında uygulanan Temel Bileşen Analizi'nde ise birbiriyle korelasyon dereceleri göz önünde bulundurularak bütünleştirme yapıldığından, toplamlar ve çarpımlar şeklindeki yaklaşımlara ek olarak uygulanabilecek alternatif bir yaklaşım tekniği olabileceği sonucuna varılmıştır.

Tez çalışması kapsamında sadece iki jeofizik yöntemden elde edilen verilerin karşılaştırılması ve bütünleştirilmesi imkanı bulunmuştur. Özellikle istatistiksel bütünleştirme yaklaşımının çoklu veri setini temsil eden tek bir veri setine dönüştürülmesi amaçlandığından, daha çok veri seti kullanarak uygulandığında esas amacına ulaşacağı düşünülmektedir.

Çalışma sonuçları incelendiğinde, manyetik yöntemde derinlik bilgisi hakkında da fikir verebileceği düşünülerek uygulanan kroskorelasyon sonuçları, manyetik veri ve 3 farklı derinlik/zaman dilimi kullanılarak uygulanan temel bileşen analizi sonuçları ile karşılaştırıldığında, derinlik bilgilerinin tutarlı olduğu gözlenmiştir. Bu durumda yapılan Kroskorelasyon işlemi kullanılan parametrelerin doğruluğu da kontrol edilmiştir.

Arkeolojik araştırmalarda, jeofizik yöntemlerle elde edilen iki boyutlu anomali haritalarının, etraftaki arkeolojik yapılarla ilişkilendirilebilmesi için kadaströ bilgileriyle desteklenmesi gerekmektedir. Dünyada bu tür çalışmada coğrafi bilgi sistemlerinden

yararlanılması zorunlu hale gelmiştir. Çalışma kapsamında, bu bilgilerin yanında daha önceden düzenlenmiş arkeolojik yorum haritalarının da incelenmesi, verilerin yorumlanmasında oldukça yararlı olmuştur.

## KAYNAKLAR

- Aitken, M., Webster, G., Rees, A., 1958, Magnetic prospecting, *Antiquity* 32, 270–271.
- Aitken, M.J., 1970, Magnetic Location, *In Science in Archaeology*, edited by D. Brothwell and E. Higgs, pp., 681–694, Praeger, New York.
- Aitken, M. J., 1974, *Physics and Archaeology*, Oxford Clarendon Press, 286.
- Alder, M.J., 1988, Locating archaeological features in magnetic data by Cross correlation, *Archaeometry* 30, 141-154, Great Britain.
- Anderson, T.W., 1963. Asymptotic Theory For Principal Component Analysis, *The Annals Of Mathematical Statistics I*.
- Arısoy, M.Ö., Koçak, Ö., Büyüksaraç, A., Bilim, F., 2007, Images of buried graves in Bayat, Afyon (Turkey) from high-resolution magnetic data and their comparison with preliminary excavations, *Journal of Archaeological Science* 34, 1473-1484.
- Atya, M.A., Kamei, H., Abbas, A.M., Shaaban, F.A., Hassaneen, A. Gh., Abdalla, M.A., Soliman, M.N., Marukawa, Y., Ako, T. And Kobayashi, Y, 2005, Complementary Integrated Geophysical Investigation around Al-Zayyan Temple, Kharga Oasis, Al-Wadi Al-Jadeed (New Valley), *Egypt, Archaeological Prospection* 12, 177-189.
- Atik, N ve Işın, M.A., 2004, Tekirdağ/Karevlialtı 2000, 2002, 2004 yılları Kazı Çalışmaları, *T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları*, Yayın no: 115-1, syf: 47-58.
- Atik, N, 2003, Tekirdağ Karaevli (Antik Heraion Teichos) Hellenistik Devir Çanak Çömlekleri, *III. Uluslararası Eskişehir Toprak Sempozyumu*, Eskişehir, s. 298-305.
- Bernabini, M, Pettinelli, E, Pierdicca, N, Piro, S, Versino, L, 1992 Field experiments for characterization of GPR antenna and pulse propagation, *Journal of Applied Geophysics, special issue on GPR* 33, 63–76.
- Bevan, B., and Kenyon, J, 1975 Ground-Penetrating Radar for Historical Archaeology. *MASCA Newsletter* 11(2), 2–7.
- Blakely, R. J., 1995, *Potential theory in gravity and magnetic applications.*, by Blakely, R. J.. Cambridge University Press, Cambridge (UK), 1995, XIX + 441 p., ISBN 0-521-41508-X.
- Boschi, F., 2012, Magnetic Prospecting for the Archaeology of Classe (Ravenna), *Archaeological Prospection* 19, 219–227.

- Bozzo, E., Lombardo, S., Merlanti, F. and Pavan, M., 1994, Integrated geophysical investigations at an Etrurian settlement in Northern Apennines (Italy). *Archaeological Prospection 1*, 19–35.
- Brizzolari, E., Ermolli, F., Orlando, L., Piro, S. And Versino, L., 1992, Integrated geophysical methods in archaeological surveys, *Journal of Applied Geophysics 29*: 47±55.
- Brizzolari, E., Cardarelli, S., Piro, S., Versino, L., 1993, Detection of subsurface magnetic anomalies of archaeological interest: computation of tridimensional magnetic anomalies and interpretation using bidimensional cross-correlation, *Theory and Practice of Applied Geophysics Vol.7*, 3-16.
- Burge, H. R., Sheehan, A. F and Jones, C. H., 2006, Introduction to Applied Geophysics, *Exploring the Shallow Subsurface*, W. W. Norton & Company, New York.
- Büyüksaraç, A., Arısoy, M. Ö., Bektaş, Ö., Koçak, Ö., Çay, T., 2008, Determination of grave locations in Dedemezarı Necropolis (Western Turkey) using Magnetic field derivatives, *Archaeological Prospection 15*, 267-283.
- Campana, S., Dabas, M., Marasco, L., Piro, S., Zamuner, D., 2009, Integration of Remote Sensing geophysical surveys and Archaeological Excavation for the study of a Medieval Mound (Tuscany, Italy), *Archaeological Prospection 16*, 167-176.
- Calia, A., Lettieri, M., Leucci, G., Matera, L., Persico, R., Sileo, M., 2013, The mosaic of crypt of St. Nicholas in Bari (Italy): Integrated GPR and laboratory diagnostic study. *Journal of Archaeological Science 40*, 4162-4169.
- Chianese, D., D'Emilio, M., Di Salvia, S., Lapenna, V., Ragosta, M and Rizzo, E., 2004, Magnetic mapping, ground penetrating radar surveys and magnetic susceptibility measurements for the study of archaeological site of Seea di Vaglio (southern Italy), *Journal of Archaeological Science 31*, 633-643.
- Ciminale, M., and Loddo, M., 2001, Aspects of Magnetic Data Processing, *Archaeological Prospection*, 8, pp. 239-246. ISSN: 1075-2196.
- Ciminale, M., 2003, A high resolution magnetic mosaic at the Kyme Archeological site (Turkey), *Archaeological prospection*, 10, 119-130.
- Ciminale, M., Becker, H., Gallo, D., 2007, Integrated Technologies for Archaeological Investigation; the Celone Valley Project, *Archaeological Prospection 14*, 167-181
- Clark, A. ,1990, *Seeing beneath the soil*. Batsford: London.
- Clark, A. J., 2000, *Seeing Beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology*. Reprinted. Routledge, London. Originally published 1990, B. T. Batsford, London.

- Clay, R. B., 2001, Complementary geophysical techniques: why two ways are always better than one, *Southeastern Archaeology* 20(1),31-43.
- Conyers, L.B., 1995, The use of ground-penetrating radar to map the buried structures and landscape of the Ceren site, El Salvador, *Geoarchaeology* 10(4),275–299.
- Conyers, L.B. and Goodman, D., 1997, Ground Penetrating Radar, *An Introduction for Archaeologists*, Altamira Press: Walnut Creek.
- Conyers, L.B., 2004, *Ground penetrating radar for archaeology*. Alta Mira Press/Sage, Walnut Creek, California. ISBN 0-7591-0773-4.
- Conyers, L.B. and Connell,S., 2007, The applicability of using ground-penetrating radar to discover and map buried archaeological sites in Hawaii: *Hawaiian Archaeology Journal* 11, 62-77.
- Dabas, M., and Tabbagh,A., 2000, *Magnetic Prospecting*. In *Archaeological Method and Theory: An Encyclopedia*,edited by Linda Ellis, pp. 335–339. Garland, New York.
- Dalan,R.A.,Bevan,B.W,Goodman,D.,Lynch,D.,DeVore,S.,Adamek,S.,Martin,T.,Holley, G. And Michlovic,M., 2011, The Measurement and Analysis of Depth in Archaeological Geophysics: Tests at the Biesterfeldt Site, USA, *Archaeological Prospection* 18, 245–265.
- DeClercq,W.,DeSmedt,P.,DeReu,J.,Herremans,D.,Masters,P.,Saey,T.,Stichelbaut,B.and Van Meirvenne,M.,2012, Towards an Integrated Methodology for Assessing rural Settlement landscapes in the Belgian Lowlands. *Archaeological Prospection* 19,141-14 .
- DeDomenico,D.,Giannino,F.,Leucci.G.,Bottari.C., 2006, Integrated geophysical surveys at the archaeological site of Tindari (Sicily, Italy), *Journal of Archaeological Science* 33, 961-970.
- Diamanti,N.G.,Tsokas,G.N.,Tsourlos,P.I and Vafidis,A., 2005, Integrated Interpretation of Geophysical Data in the Archaeological Site of Europos (NorthernGreece), *Archaeological Prospection* 12, 79-91.
- Di Mauro,D.,Alfonsi,L.,Sapia,V.,Nigro.,L and Marchetti,M., 2011, First Field Magnetometer Investigation at the Phoenician Island of Mozia (Trapani), Northwestern Sicily: Preliminary Results, *Archaeological Prospection* 18, 215–222.
- Doneus,M. and Neubauer,W.,1998, 2D combination of prospection data. *Archaeological Prospection* 5,29-56.
- Drahor,M.G., 2005, *Arkeolojik Prospeksiyon*, Arkeoloji ve Sanat 119, 114-123.
- Drahor,M.G., 2006, Integrated geophysical studies in the upper part of Sardis archaeological site, Turkey. *Journal of Applied Geophysics* 59, 205– 223.

- Drahor, M.G., Berge, M.A., Kurtulmuş, T.O., Hartmann, M. and Speidel, A., 2008, Magnetic and Electrical Resistivity Tomography Investigations in a Roman Legionary Camp Site (Legio IV Scythica) in Zeugma, Southeastern Anatolia, Turkey. *Archaeological Prospection* 15, 159-186.
- Drahor, M.G., Berge, M.A., Öztürk, C., 2011, Integrated geophysical surveys for the subsurface mapping of buried structures under and surrounding of the Agios Voukolos Church in İzmir, Turkey, *Journal of Archaeological Science*, Volume 38, Issue 9, 2231–2242.
- Ernenwein, E.G. and Hargrave, M.L., 2007, *Archaeological geophysics for field use: a guide for new and novice users*, Notes.
- Ernenwein, E.G., and K.L. Kvamme, 2005, Geophysical Data Fusion: Combining Sensor Outputs through Graphical, Mathematical, and Statistical Approaches. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference (CAA), Tomar, Portugal.
- Esin, U., 1985, Arkeolojide Kullanılan Arkeometrik Araştırmalara Genel Bir Bakış 1. *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, Ankara.
- Eppelbaum, L.V., Itkis, S.E., Khesin, B.E., 2000, Optimization of magnetic investigations in the archaeological sites in Israel. In *International Issue of Prospezioni Archeologiche 'Filtering, Modeling and Interpretation of Geophysical Fields at Archaeological Objects'*: Lezici Prospezione Archeologiche di Roma, Rome, Italy; 65–92.
- Fassbinder, J.W.E. Stanjek, H., Vali, H., 1990, Occurrence of magnetic bacteria in soil. *Nature*, 343, pp. 161-163.
- Finzi, E., Praticelli, N., Vettore, L. and Zaja, A., 2007, Multi-temporal Geophysical survey of Roman Bath complex in Montegrotto Terme (Padova, Northern Italy). *Archaeological Prospection* 14, 182-190.
- Gaffney, C. and Gater, J., 2003, *Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists*. Tempus, Stroud, Gloucestershire.
- Gaffney, V., Patterson, H., Piro, S., Goodman, D., and Nishimura, Y., 2004, Multimethodological Approach to Study and Characterize Forum Novum (Vescovio, Central Italy), *Archaeological Prospection* 11, 201-212.
- Gallo, D., Ciminale, M., Becker, H., Masini, N., 2009, Remote sensing techniques for reconstructing a vast Neolithic settlement in Southern Italy, *Journal of Archaeological Science* 36, 43-50.
- Ghazala, H., El-mahmoudi, A.S. and Abdallatif, R.F. , 2003, Archaeogeophysical Study on the Site of Tell Toukh El-Qaramous, Sharkia Governorate, East Nile Delta, Egypt, *Archaeological Prospection* 10, 43-55.

- Gibson,T., 1986, Magnetic prospection on prehistoric sites in western Canada, *Geophysics* 51, 553–560.
- Girshick,M.A, 1939, On the sampling theory of roots of determinant equations,*Ann.math,statistics* 10, 203-224.
- Goodman, D., and Y. Nishimura ,1993, A Ground-Radar View of Japanese Burial Mounds,*Antiquity* 67,349–354.
- Goodman, D., Nishimura,Y., Uno,N., and Yamamoto,T., 1994, A Ground Radar Survey of Medieval Kiln Sites in Suzu City, Western Japan. *Archaeometry* 36(2),317–326.
- Goodman, D., 1994, Ground-Penetrating Radar Simulation in Engineering and Archaeology, *Geophysics* 59,224–232.
- Goodman, D., Nishimura,Y., and Rogers, J. D., 1995, GPR Time-Slices in Archaeological Prospection, *Archaeological Prospection* 2,85–89.
- Goodman, D., Nishimura,Y., Hongo,H., and Maasaki,O., 1998, GPR Amplitude Rendering in Archaeology. *In Proceedings of the Seventh International Conference on Ground-Penetrating Radar*, pp. 91–92. Radar Systems and Remote Sensing Laboratory, University of Kansas, Lawrence.
- Gower,J.C, 1966, Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis, *Biometrika*, 53,325.
- Herwanger,J.,Maurer,H.,Green,A.G and Leckebusch,J., 2000, 3D inversion of magnetic gradiometer data in archaeological prospecting: possibilities and limitations,*Geophysics* Vol 65,849-860.
- Herz,N., and Garrison, E.G., 1998, *Geological Methods for Archaeology*. New York Oxford • Oxford University Press.
- Hotelling, H., 1933, Analysis Of A Complex Of Statistical Variables Into Principal Components, *Journal Of Educational Psychology*,24, 417-441 And 498-520.
- Imai, T.,Sakayama,T. and Kanemori.T, 1987, Use of Ground-Probing Radar and Resistivity Surveys for Archaeological Investigations, *Geophysics* 52,137–150.
- Jeffers, J.N.R., 1967, Two Case Studies In The Application Of Principal Component Analysis. *Applied Statistics*.
- Kadioğlu,S.,Kadioğlu,M., Kadioğlu Y.K.,2013, Identifying of buried archaeological remains with ground penetrating radar, polarized microscope and confocal Raman spectroscopy methods in ancient city of Nysa, Aydin-Turkey, *Journal of Archaeological Science* 40, 3569-3583.
- Kamei,H.,Atya,M.A.,Abdallatif,T.F.,Mori,M. and Hemthavy,P., 2002, Ground-penetrating Radar and Magnetic Survey to the West of Al-Zayyan Temple,

- Kharga Oasis, Al-Wadi Al-Jadeed (New Valley), Egypt, *Archaeological Prospection* 9,93-104.
- Kenyon, J. L.,1977, Ground-Penetrating Radar and Its Application to a Historical Archaeological Site, *Historical Archaeology* 11,48–55.
- Krivanek,R.,2006, Magnetometric Prospection of various types of large ditched enclosures in Bohemia, *Archaeological Prospection* 13, 25-43.
- Kvamme, K.L., 2001, Current Practices in Archaeogeophysics: Magnetics, Resistivity, Conductivity, and Ground Penetrating Radar. *In Earth Sciences and Archaeology*, edited by P. Goldberg, V. T. Holliday and C. R. Ferring, pp. 353-384. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York.
- Kvamme,K.L.,2003, Multidimensional Prospecting in North American Great Plains Village Sites, *Archaeological Prospection* 10,131-142.
- Kvamme,K.L.,2005, *Magnetometry:Nature's gift to Archaeology*,Lecture Notes.
- Kvamme,K.L., 2008, Archaeological Prospecting at the Double Ditch State Historic Site, North Dakota, USA, *Archaeological Prospection* 15, 62-79.
- La penna, V., Mastrantuono, M., Patelle, D., Di Bello, G.,1992, Magnetic and geoelectric prospecting in the archaeological area of Selinunte (Sicily, Italy),*Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* vol. XXXIV, 134±135.
- Leucci,G.,Digiacomo,G.,Ditaranto,I.,Miccoli,I.And Scardozi,G., 2013, Integrated Ground-penetrating Radar and Archaeological Surveys in the Ancient City of Hierapolis of Phrygia (Turkey), *Archaeological Prospection*, DOI: 10.1002/arp.1461.
- Linington,R.E., 1972, A summary of simple theory applicable to magnetic prospecting in archeology, *Prospezioni archeologiche* 7,9-60.
- Linford, N.T., and Canti, M.G., 2001, Geophysical evidence for fires in antiquity: preliminary results from an experimental study, *Archaeological Prospection* 8, 211-225.
- Linford, N.T, 2004, Magnetic Ghosts:Mineral Magnetic Measurements on Roman and Anglo-SaxonGraves, *Archaeological Prospection* 11, 167-180.
- Linford,N., 2006, *The application of geophysical methods to archaeological prospection*, Institute of Physics Publishing, 2205–2257, doi:10.1088/0034-4885/69/7/R04.
- Linford,N.,Linford,P.,Martin,L.,Payne,A.,2007, Recent results from the English Heritage Caesium magnetometer system in comparison with recent fluxgate gradiometers, *Archaeological Prospection* 14, 151-166.

- Maillol, J.M., Ciobotaru, D.L., and Moravetz, I., 2004, Electrical and Magnetic response of archaeological Features at the Early Neolithic Site of Movila lui Deciov, Western Romania, *Archaeological Prospection* 11, 213-226.
- Malagodi, S., Orlando, L., Piro, S., Rosso, F., 1996, Location of archaeological structures using GPR method: three-dimensional data acquisition and radar signal processing, *Archaeological Prospection* 3, 13-23.
- Mardia, K.V., Kent, J.T., and Bibby, J.M. (1979), *Multivariate Analysis*, London, UK: Academic Press.
- Meyer, C., Ullrich, B., Barlieb, Christophe D.M., 2007, Archaeological Questions and Geophysical Solutions: Ground Penetrating Radar and Induced Polarization Investigations in Mungia, Spain, *Archaeological Prospection* 14, 202-212.
- Milsom, J. 2003, *Field Geophysics*, J. Wiley 3rd ed. England.
- Mobley C. D., 1988, A numerical model for the computation of radiance distributions in natural waters with wind-roughened surfaces, part 2: *Users' guide and code listing*, NOAA Tech. Memo, ERL PMEL-8 1 (NTIS PB88-24687 1).
- Murdie, R.E., Goulty, N.R., White, R.H., Barratt, G., Cassidy, N.J. and Gaffney, V., 2003, Comparison of Geophysical Techniques for Investigating an Infilled Ditch at Bury Walls Hill Fort, Shropshire, *Archaeological Prospection* 10, 265-276.
- Neubauer, W. and Eder-Hinterleitner, A., 1997, Resistivity and Magnetics of the Roman Town Carnuntum, Austria: an Example of Combined Interpretation of Prospection Data, *Archaeological Prospection* 4, 179-189.
- Neubauer, W., Eder-Hinterleitner, A., Seren, S. and Melichar, P., 2002, Georadar in the Roman Civil Town Carnuntum, Austria: An Approach for Archaeological Interpretation of GPR data, *Archaeological Prospection* 9, 135-156.
- Nishimura, Y., and Goodman, D., 2000, Ground penetrating radar survey at Wroxeter. *Archaeological Prospection* 7, 101-105.
- Nishimura Y. and Kamei, H., 1990, A study in the application of geophysical survey, *Pernifka, E. and Wagner, G., eds., Proceedings, Archaeometry '90 conference*, Hedeberg April, 757-765.
- Novo A, Sala R, Garcí'a E, Tamba R, Muñoz F, Solla M, Lorenzo H., 2009, From Celtiberians to Romans: combined geophysical (3D GPR and fluxgate gradiometer) prospection for the archaeological characterization of Castro de la Magdalena (Leon, Spain). In: *ArchaeoSciences, Memoire de sol, espace de hommes*, pp 121-124. ISBN 978-2-7535-0943-6.
- Nuzzo, N., Leucci, G. and Negri, S., 2009, GPR, ERT and Magnetic Investigations Inside the Martyrium of St Philip, Hierapolis, Turkey, *Archaeological Prospection* 16, 177-192.

- Özdoğan, M., 2011, *50 Soruda Arkeoloji*, 7 renk Basım Yayım ve Filmcilik Ltd.Şti, İstanbul, 978-605-5888-19-0.
- Özdamar, K. (2004) *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi (Çok Değişkenli Analizler)*, Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- Pearson, Karl, 1901. On Lines And Planes Of Closest Fit To Systems Of Points In Space, *Philosophical Magazine*, Series 6, Vol. 2, No. 11, 559-572.
- Papadopoulos,N.G.,Sarris,A.,Kokkinou,E.,Wells,B.,Penttinen,A.,Savini,E.,Tsokas,G.N., and Tsourlos,P.,2006,Contribution of Multiplexed Electrical Resistance and Magnetic Techniques to the Archaeological Investigations at Poros,Greece, *Archaeological Prospection* 13,75-90.
- Perezgracia,V.,Caselles,J.O.,Clapes,J.,Osorio,R.,Martinez,G.,Canas,J.A.,2009,Integrated near-surface geophysical survey of the Cathedral of Mallorca, *Journal of archaeological Science* 36, 1289-1299.
- Piro, S. ,1996, Integrated geophysical prospecting at Ripa Tetta Neolithic site (Lucera, Foggia, Italy),*Archaeological Prospection* 3,81-88.
- Piro,S.,Samir,A.,Versino,L., 1998, Position and spatial orientation of magnetic bodies from archaeological magnetic survey, *Annali di Geophysica*,Vol 41, 343-358.
- Piro,S.,Maueriello.,P. and Cammarano.,F.,2000, Quantitative Integration of Geophysical methods for Archaeological Prospection, *Archaeological prospection*.7, 203-213.
- Piro,S.,Peloso,D. and Gabrielli,R., 2007, Integrated Geophysical and Topographical Investigation in the Territory of Ancient Tarquinia (Viterbo, Central Italy). *Archaeological Prospection* 14,191-201.
- Piro,S.,Ceraudo,G., and Zamuner,D., 2011, Integrated Geophysical and archaeological Investigations of Aquinum in Frosinone, Italy. *Archaeological Prospection* 18,127-138.
- Rao, C.R., 1964, *The Use And Interpretation Of Principal Component Analysis In Applied Research*. Sankhya A.
- Seren S, Eder-Hinterleitner, A., Neubauer, W., Locker, K., Melichar, P. ,2007, Extended comparison of different GPR systems and antenna configurations at the Roman site Carnuntum, *Near Surface Geophysics* 5,389–394.
- Schmidt, A. and Fazeli,H., 2007, Tepe Ghabristan: a ChalcolithicTell Buried in Alluvium, *Archaeological Prospection* 14, 38–46 .
- Scollar, I., Tabbagh,A.,Hesse, A. and Herzog,I., 1990, *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Simon,F.,Koziol,A.,thiesson,J.,2012,Investigating magnetic ghosts on an early middle age settlements : comparison data from stripper and non-stripper areas, *Archaeological Prospection* 19, 191-200.
- Tabbagh J., 1999, *Non-Destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology*. Pasquinucci M, Trément F (eds). Oxbow Books: Oxford.
- Talwani,M.,1965, Computation with the help of a digital computer of magnetic anomalies caused by bodies of arbitrary shape, *Geophysics* 30,797-817.
- Timur,E.,Sarı,C., 2010, Agora (Magnesia-Aydın) manyetik verilerinin kenar belirleme işlemleri ve 3 boyutlu ters çözümle modellenmesi,*Yerbilimleri* 31,64-82.
- Tohon,D.Vanneste, K.,Sintubin, M.,Mucchez,P. and Waelkens,M., 2004, Two-dimensional Resistivity Imaging: a Tool in Archaeoseismology. An Example from Ancient Sagalassos (Southwest Turkey), *Archaeological Prospection* 11, 1-18.
- Treitel,S. and Robinson,E.A.,1969,Optimum digital filters for signal to noise ratio enhancement, *Geophysical Prospection* 17,248-293.
- Uçankuş,H.T., 2002, *Ana Tanrıça Kibele'nin ve Kral Midas'ın ülkesi Phrygia*, Kültür Bakanlığı yayınları,Ankara, ISBN: 975-17-2975-0.
- Vafidis,A.,Economou,N.,Ganiatsos,Y.,Manakou,M.,Poulioudis,G.,Sourlas.G.,Vrontaki, E.,Sarris,A.,Guy,M.,Kalpaxis,T., 2005, Integrated geophysical studies at ancient Itanos (Greece), *Journal of Archaeological Science* 32, 1023-1036.
- van der Kruk,J., Slob,E.C.,Fokkema,J.T, 1999, Background of ground penetrating radar measurements, *Geologie en Mijnbouw* 77, 177-188.
- Vickers, R. S., and Dolphin,L.T, 1975 , *A Communication on an Archaeological Radar Experiment at Chaco Canyon*, New Mexico. MASCA Newsletter 11(1):6-8.
- Weymouth, J. W. ,1986, Geophysical methods of archaeological site surveying. *In Advances in Archaeological Method and Theory*, Vol. 9. Academic Press, 311-395.
- Witten, A. J.,2006, *Handbook of Geophysics and Archaeology*, Equinox Publishing, London.
- Yamazaki,T.,2010, *Introduction to environmental archaeology*, Asia-Pacific Region Cultural Heritage Preservation training course notes.
- Yaycılı, A. O., 2006, *Temel bileşenler analizi için robust algoritmaları*, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 56 s.

## ÖZGEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Melda Küçükdemirci
Uyruğu	TC
Doğum tarihi, Yeri	13.02.1983
E-mail	meldakd@istanbul.edu.tr
Web adres	<a href="http://aves.istanbul.edu.tr/meldakd">http://aves.istanbul.edu.tr/meldakd</a>

### Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Doktora	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı /	2014
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2008
Lisans	Mühendislik Fakültesi /Jeofizik Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesi	2001

### Makaleler / Bildiriler

Piro S., Ceraudo G., Zamuner D., **Küçükdemirci M.**,2013, Integrated Geophysical Investigations Of Ancient Aquinum Roman Town (Frosinone, Italy)., *4th EARSEL Workshop on Cultural and Natural Heritage*, pp.6-7

**Küçükdemirci M.**, 2013, The Ground Penetrating Radar Survey On Heraion Teichos Acropolis ( Tekirdag-Turkey), *10 th Interational Conference on Archaeological Prospection*, pp.333

Link R., Bilefelt R., Fassbinder J., Koch J., **Küçükdemirci M.**, 2013,3d Gpr Prospection In Pompeopolis- A Metropolis In The Paphlagonia, *10 th International*

*Conference on Archaeological Propection*, pp.336.

Link R., Fassbinder J., Koch J., **Küçükdemirci M.**, 2012, "Monumentalbauten In Pompeiopolis – Mit Bodenradar In Der Hauptstadt Der Ehemaligen Römischen Provinz Paphlagonien", *Denkmalpflege Informationen*, pp.67-69

Piro S., Zamuner D., Ceraudo G., **Küçükdemirci M.**, 2011, Multimethodological Approach To Study The Ancient Aquinum Roman Town (Frosinone, Italy)., *9th International Conference on Archaeological Propection*, pp.33

Piro S., Zamuner D., **Küçükdemirci M.**, 2011, Integration Of Ground Remote Sensing Methods For Archaeological Propections, *Europian Geosciences Union General Assemlby 2011*, vol.Vol. 13, no.7886, pp.7886

Piro S., Zamuner D., **Küçükdemirci M.**, 2011, High-Resolution Gpr Surveys For The Study And Characterisation Of The archaeological Site In Urban Area. The Case Of Palatino Hill (Rome, Italy), *European Geosciences Union General Assembly 2011*, AVUSTURYA, vol.Vol 13, no.7953, pp.7953

**Küçükdemirci M.**, 2009, A Case Study The Necropole Area Of Antandros Ancient City (Turkey) By Magnetic Propection , *Mémoire du sol, espace des hommes- The 8th International Conference on Archaeological Propection and the 7th colloque de GEOFCAN*, vol.33, pp.online