

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİSİPLİNLERARASI ARKEOMETRİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARKEOMANYETİK VERİLER İÇİN
TÜREV TABANLI
ALGORİTMALAR VE UYGULAMALARI

Veysi DEMİR

EKİM 2019

DİSİPLİNLERARASI ARKEOMETRİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARKEOMANYETİK VERİLER İÇİN
TÜREV TABANLI
ALGORİTMALAR VE UYGULAMALARI

Hazırlayan
Veysi DEMİR

Danışman
Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
Doç. Dr. İsmail AKKAYA
Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ

EKİM 2019

ONAY

Veysi DEMİR tarafından hazırlanan “**Arkeomanyetik Veriler için Türev Tabanlı Algoritmalar ve Uygulamaları**” adlı tez çalışması 15/10/2019 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Arkeometri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
(Başkan)

Doç. Dr. İsmail AKKAYA
(Üye)

Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ
(Danışman)

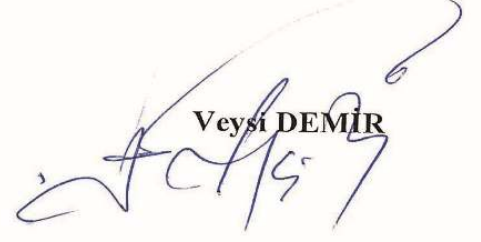
İmza

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 16./12/2019 gün ve 62/26 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK
Enstitü Müdür V.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Arkeomanyetik Veriler için Türev Tabanlı Algoritmalar ve Uygulamaları**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 10/12/2019


Veysi DEMİR

ÖZET

ARKEOMANYETİK VERİLER İÇİN TÜREV TABANLI ALGORİTMALAR VE UYGULAMALARI

Veysi DEMİR

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Disiplinlerarası Arkeometri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ

Ekim 2019, 55 sayfa

Arkeolojik alanlara, jeofizik yöntemlerin uygulanmasıyla gömülü yapı kalıntılarının yerlerinin tespit edilmesi ve koruma altına alınması kolaylaşmıştır. Arkeojeofizik yöntemler yardımıyla yapılan arkeolojik çalışmalar, bilinçsiz olarak yapılan uygulamalardaki yapı tahribatlarını engellemekte ve arkeolojik kalıntının yer, derinlik ve durumunun belirlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca arkeolojik kazılar konusunda planlama yapılması ve kazıya yön vermesi bakımından büyük avantajlar sağlamaktadır. Arkeolojik alanlarda en sık uygulanan jeofizik yöntemlerden biri de manyetik yöntemdir. Matematiksel doğası gereği birçok veri işlem tekniklerini bünyesinde barındıran manyetik yöntem uygulamalarında sınır/kenar belirleme teknikleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, Afyon ili Emirdağ ilçesinde bulunan Amorium antik kentinde gradient ölçümleriyle toplanan manyetik veriler kullanılmıştır. Manyetik verilere yönsel türev tabanlı teknikler uygulanarak olası yapı sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, gerçek veri uygulamaları öncesinde kuramsal modeller yardımıyla üretilen verilere de bu teknikler uygulanmıştır. Düşey türev, ikinci düşey türev, toplam yatay türev, analitik sinyal, profil eğimi, tilt açısı, teta açısı ve normalize edilmiş standart sapma gibi yapı sınırı belirleme tekniklerinin birbirlerine göre üstünlükleri araştırılmıştır. Uygulamalarda öncelikle manyetik veriler yapay gravite verilerine dönüştürülmüş ve ardından yönsel türev tabanlı operatörler uygulanmıştır. Kuramsal çalışmada toplam yatay türev, profil eğimi, teta açısı ve normalize edilmiş standart sapma belirti haritalarında model yapılar a ait sınırların daha başarılı bir şekilde belirlendiği gözlenirken, gerçek veri uygulamalarında ise en başarılı sonuçların toplam yatay türev

operatörü ile elde edildiği belirlenmiştir. Belirti haritalarında gözlemlenen yüksek genlikli belirtilerin arkeolojik yapı kalıntısı olabileceği düşünölmektedir ve bu alanlarda deneme kazılarının yapılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Arkeojeofizik, Manyetik Yöntem, Amorium Antik Kenti, Yönsel Türev Tabanlı Sınır Belirleme Teknikleri



ABSTRACT

DERIVATIVE BASED ALGORITHMS AND THEIR APPLICATIONS FOR ARCHAEOLOGICAL DATA

Veysi DEMİR

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Interdisciplinary Archaeometry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yunus Levent EKİNCİ

October 2019, 55 pages

The application of geophysical methods to archaeological sites has made it easier to locate and protect the buried remains. Archaeological studies conducted with the help of archaeogeophysical methods prevent unintentional damages to the remains and provide to determine the location, depth and status of the archaeological remains. In addition, it provides great advantages in terms of planning and guiding the archaeological excavations. One of the most frequently applied geophysical methods in archaeological sites is the magnetic method. Due to its mathematical nature, boundary/edge determination techniques play an important role in the application of magnetic method which includes many data processing techniques. In this study, magnetic data collected by gradient measurements in Amorium ancient city in Emirdağ district of Afyon were used. Directional derivative based techniques were applied to magnetic data to determine possible structure boundaries. In addition, these techniques were applied to the data produced with the help of theoretical models before the real data applications. The advantages of edge determination techniques such as vertical derivative, second vertical derivative, total horizontal derivative, analytical signal, profile curvature, tilt angle, theta angle and normalized standard deviation were investigated. In the applications, firstly magnetic data were transformed to pseudogravity data and then directional derivative based operators were applied. In the theoretical study, it was observed that the boundaries of the model structures were determined more successfully in total horizontal derivative, profile curvature, theta angle and normalized

standard deviation anomaly maps, while the most successful results were obtained through the total horizontal derivative operator in the real data applications. It is thought that the high amplitude traces observed in the resultant anomaly maps may be the remains of archaeological structures and archaeological excavations are recommended in these areas.

Keywords: Archaeogeophysics, Magnetic Method, Amorium Ancient Site, Directional Derivative Based Edge Determination Techniques



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ'ye şükranlarımı sunarım.

Tez savunma jürimde bulunan ve çalışmamın son haline gelmesinde önemli önerileriyle katkı sağlayan hocalarım sayın Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ'a ve Doç. Dr. İsmail AKKAYA'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.



ÖNSÖZ

Amorium antik kentinde aşağı şehir sınırları içerisinde kalan bir alanda önceden gerçekleştirilen arkeojeofizik araştırmalarla manyetik veriler toplanmıştır. Bu araştırmalarda gradient ölçüm tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmada ise önceden toplanan bu veri setlerinden bir kısmı kullanılmış ve yeniden değerlendirilmiştir. Toplanan manyetik verilere türev tabanlı sınır belirleme operatörleri uygulanmış ve bunların birbirine göre üstünlükleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Amorium antik kenti arkeomanyetik verileri için en uygun olabilecek sınır belirleme operatörü belirlenmiştir. Arkeolojik alanlarda kazı öncesinde yapılan arkeojeofizik uygulamalarda gerçekleştirilecek bu tarz çalışmalar olası gömülü yapıların zarar görebilme riskini azaltabilecek ve ayrıca daha kısa sürede ve doğru yönde kazı çalışmalarının devam etmesine imkân sunabilecektir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1. Amorium Antik Kenti	9
2.2. Yer Manyetik Alanın Özellikleri ve Ölçümleri	14
2.3. Arkeolojik Alanlarda Manyetik Ölçümler	19
2.4. Amorium Arkeomanyetik Verileri	21
2.5.1. Üç Boyutlu Prizmatik Yapıların Manyetik Belirtilerinin Hesaplanması	22
2.5.2. Yapay Gravite Dönüşümü	26
2.5.3. Türev Tabanlı Teknikler	29
2.5.3.1. Düşey Türev	29
2.5.3.2. İkinci Düşey Türev	29
2.5.3.3. Toplam Yatay Türev	30
2.5.3.4. Analitik Sinyal	30
2.5.3.5. Profil Eğim Yöntemi	31
2.5.3.6. Tilt Açısı	31
2.5.3.7. Teta Açısı	32
2.5.3.8. Normalize Edilmiş Standart Sapma	32

3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1. Kuramsal Çalışma.....	33
3.2. Amorium Antik Kenti Manyetik Belirtileri	40
4. SONUÇLAR.....	46
5. KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

3.1. Kuramsal modellere ait parametreler.	34
--	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

2.1. Amorium antik kentinin harita üzerinde gösterimi (Ekinci vd., 2014'ten düzenlenmiştir) ...	10
2.2. Amorium antik kentinin bulunduğu Hisarköy'den görünüm (Ekinci, 2005)	11
2.3. Amorium'un kent yerleşim ve topoğrafik planı (Ekinci vd., 2014'ten yeniden düzenlenmiştir)	12
2.4. Yukarı Şehir'den Emirdağ dağlarına bir bakış (www.amoriumexcavations.org/Photos/Photos2005/)	13
2.5. Aşağı Şehir'den bir görünüm (https://amoriumexcavations.org/site/)	14
2.6. Yer manyetik alanının şematik gösterimi	15
2.7. Yer manyetik alan bileşenlerinin Kartezyen koordinatlar üzerinde gösterimi	16
2.8. 2010 yılına göre yerküre üzerinden geçen inklinasyon açıları (http://www.ngdc.noaa.gov adresinden düzenlenmiştir)	18
2.9. 2010 yılına göre yerküre üzerinden geçen deklinasyon açıları (http://www.ngdc.noaa.gov adresinden düzenlenmiştir)	18
2.10. 2010 yılına göre toplam manyetik alan şiddeti (http://www.ngdc.noaa.gov adresinden düzenlenmiştir)	19
2.11. Amorium antik kentinde kullanılan gradiometreden bir görünüm (Yiğit, 2005)	21
2.12. Amorium antik kentinde gradiometre ölçümlerinden elde edilen belirti haritası (Yiğit, 2005'den yeniden düzenlenmiştir)	22
2.13. Üç boyutlu prizmatik yapı (Rao ve Babu, 1991)	23
2.14. Manyetik ve yapay gravite belirtileri (Blakely 1995)	27
3. 1. Kuramsal manyetik belirti haritası	35
3. 2. Kuramsal yapay gravite belirti haritası	35
3. 3. Kuramsal düşey türev belirti haritası	36
3. 4. Kuramsal ikinci düşey türev belirti haritası	36
3. 5. Kuramsal toplam yatay türev belirti haritası	37
3. 6. Kuramsal analitik sinyal belirti haritası	37
3. 7. Kuramsal profil eğimi belirti haritası	38
3. 8. Kuramsal tilt açısı belirti haritası	38
3. 9. Kuramsal teta açısı belirti haritası	39
3. 10. Kuramsal normalize edilmiş standart sapma belirti haritası	39
3. 11. Amorium yapay gravite belirti haritası	41

3. 12. Amorium düşey türev belirti haritası.....	41
3. 13. Amorium ikinci düşey türev belirti haritası.....	42
3. 14. Amorium toplam yatay türev türev belirti haritası	42
3. 15. Amorium analitik sinyal belirti haritası.....	43
3. 16. Amorium profil eğimi belirti haritası	43
3. 17. Amorium tilt açısı belirti haritası.....	44
3. 18. Amorium teta açısı belirti haritası	44
3. 19. Amorium normalize edilmiş standart sapma belirti haritası.....	45
3. 20. Çalışma alanında arkeolojik kazılar için önerilen lokasyonlar.....	45



SİMGELER DİZİNİ

F	Manyetik alanın toplam bileşenini
F _h	Manyetik alanın yatay bileşenini
F _z	Manyetik alanın düşey bileşenini
x	Manyetik alanın yatay kuzey bileşenini
y	Manyetik alanın yatay doğu bileşenini
D	Deklinasyon açısı veya sapma açısını
I	İnklınasyon açısı veya eğim açısını
nT	Yer manyetik alan şiddetindeki değişim
G	Gauss
EI	Manyetizasyonun şiddeti
L	Manyetizasyon vektörünün doğrultman kosinüsleri
M	Manyetizasyon vektörünün doğrultman kosinüsleri
N	Manyetizasyon vektörünün doğrultman kosinüsleri
p	Yer manyetik alanın doğrultman kosinüslerinin sabiti
q	Yer manyetik alanın doğrultman kosinüslerinin sabiti
r	Yer manyetik alanın doğrultman kosinüslerinin sabiti
a ₁	Prizma yüzeyinin x ve y eksenlerine olan uzaklıkları tanımlanır
a ₂	Prizma yüzeyinin x ve y eksenlerine olan uzaklıkları tanımlanır
b ₁	Prizma yüzeyinin x ve y eksenlerine olan uzaklıkları tanımlanır
b ₂	Prizma yüzeyinin x ve y eksenlerine olan uzaklıkları tanımlanır
h ₁	Prizmatik yapının üst derinlik
h ₂	Prizmatik yapının alt derinlik
I	Yer manyetik alanın eğim açısı
D	Yer manyetik alanın sapma açısı
I ₀	Manyetizasyon vektörünün eğim açısı
D ₀	Manyetizasyon vektörünün sapma açısı
C	Rejyonal alan sabitini
C _m	Oransallık (ilişki) sabitidir
ρ	Yoğunluk
M	Manyetizasyon şiddeti
ŉ	Manyetizasyon yönü

$g_m \hat{m}$	Manyetizasyon yönündeki gravite alanı
γ	Newton'un gravitasyonel sabiti
$ k $	Radyal dalga sayısı
$\hat{f}$	Manyetik alan yönündeki birim vektör
$\hat{m}$	Manyetizasyon yönündeki birim vektör
g	Yer çekimi alanı,
e	Üstel fonksiyon
F	Hızlı Fourier dönüşümünü



KISALTMALAR DİZİNİ

nT	Nano Tesla
1 nT	10^{-9} Tesla
1 nT	10^{-5} Gauss
VD	Düşey Türev
THD	Toplam Yatay Türev
AS	Analitik Sinyal
PCR	Profil Eğim Yöntemi
TA	Tilt Açısı
TM	Teta Açısı
NSTD	Normalize Edilmiş Standart Sapma

1. GİRİŞ

Arkeoloji kelimesinin etimolojisi: antik Yunanca'daki "arkhaios" (eski) ve "logos" (bilim) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Kabaca "Eskinin bilimi" olarak Türkçeleştirilebilir (Saltuk, 1993; Sevin, 1999).

Arkeoloji eski kültür ve medeniyetlerin, günümüze ulaşabilmiş maddi kalıntılarını araştıran, inceleyen ve yeniden tanımlamaya çalışan bilim dalıdır. Sınırlı sayıdaki yazılı kaynaklarla belirlenenler dışındaki 'maddi kültür varlıkları' ibaresiyle anılan ve sanat kaygısı taşıyan ya da taşımayan, geçmişte insan ya da insanlar tarafından meydana getirilen tüm nesneleri araştırıp değerlendiren ve bunlara dayanarak geçmişi açıklamaya ve yorumlamaya çalışan bilimsel çalışmalar arkeolojik çalışmaların kapsamındadır (Sevin, 1999; Drahor, 2007). Arkeoloji biliminin amacı, geçmişe ışık tutarak insanlık tarihinin geçmişini aydınlatmak ve insanların tarih süreci boyunca gerçekleştirdiği yapıtları, günümüz insanlarına derinlemesine tanıtabilmek ve anlamasına yardımcı olabilmektir (Ekinci, 2005). Bu amaçla, eski kültürlerin kalıntılarını arkeolojik kazılar ile bulup ortaya çıkarıp, tanımlayıp ve geçmişteki aslına uygun bir biçimde tekrar kurgulayıp geçmiş kültürleri yorumlayıp aydınlatmaya çalışır. Geleneksel

olarak yapılan arkeolojik kazı uygulamalarında, belirlenen küçük alanlarda (örn.10m × 10m) gridleme yaparak, mala ve fırça ile kazı yapılmaktadır. Bu tür uygulamalar, çok fazla insan gücü gerektiren, zaman ve maliyeti yüksek uygulamalardır (Candansayar, 2013). Kazıya başlamadan önce, kazı yapılacak bölgede yer alan, toprak altındaki yapıların bilinmesi kazı çalışmasının olumlu sonuçlanması için büyük önem arz etmektedir ve arkeolojik alanda yapılacak kazılara tam olarak nereden başlanacağı konusunda bazen soru işaretleri doğurabilmekte, bunun yanında arkeolojik kazı esnasında yapıların zarar görebilme riski yüksek ve sarf edilen onca emeğin sonunda sonuç alamama ihtimali de bulunabilmektedir (Ekinci ve Kaya, 2006; Candansayar, 2013; Zorluoğlu, 2013). Ayrıca bilinçsiz olarak yapılan çalışmalarda, antik yapı kalıntılarının tahrip edilerek yok edilmesinin önüne geçmek, yerlerinin tespit edilip ve koruma altında tutulması gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı arkeolojik çalışmalarda, jeofizik bilimine ihtiyaç duyulmuş olup ve 'Arkeometri' ya da 'Arkeometri Bilimi' başlığı altında toplanmış olan diğer bilim dalları gibi de jeofizikte sahip olduğu teknolojik imkânlar ve diğer avantajlardan dolayı Arkeometri biliminde yer edinmiştir. Bütün bunlar dikkate alındığında arkeoloji jeofiziğinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Ekinci ve Kaya, 2006; Candansayar, 2013).

Jeofizik yöntemlerin Arkeolojik alan çalışmalarına uygulanmasının sağladığı avantajlar sürekli olarak artmakta ve hızla da yaygınlaşmaktadır. Arkeolojik alanlarda yapılan yüzey araştırmalarının kazı çalışmalarına başlamadan önce, yer altındaki arkeolojik kültür varlıklarının

bulundukları yerdeki konumlarının, büyüklüklerinin ve sahip oldukları özelliklerin bilinmesi kazı çalışmasında büyük önem taşımakta ve kazı çalışmalarını büyük ölçüde yönlendirmektedir (Zorlu, 2017).

Arkeolojik kazılarda ekonomik kayıpları en aza indirmek için; Drahor (1991)'e göre 350 hektar bir alanda 10 yıllık arkeolojik kazı ve arkeoloji jeofiziği uygulaması karşılaştırıldığında; arkeoloji jeofiziği araştırmasının, ilk yatırım masraflarını da içererek, kazı harcamalarının ancak %2,1'i kadar olduğu hesaplanmıştır. Teknolojinin gelişip ve ilerlemesiyle daha kısa sürede ölçüm yapabilen alet ve ekipmanlarla fazla maliyetlerin azalması gerekmektedir. Türkiye'de özellikle gerek Türk akademisyenlerin (arkeologların) yürüttüğü gerekse müzelerin kazı çalışmalarının %100'e yakın bir oranda sadece devlet desteği ile yürütüldüğü düşünülürse arkeoloji jeofiziği araştırmaların önemi bir kez daha vurgulanmış olur (Kaya, 2006).

Arkeolojik kazılarda zaman çok değerlidir, kazı sürecini hızlandırmak için; büyük yatırımların yapıldığı ülkemizde baraj, metro, yeni yerleşim alanlarındaki gibi büyük inşaat projelerine ait çalışmaların yapıldığı alanlarında aslında mühendislik uygulamalarıyla kontrol edilip ayrıca sit alanı olup olmadığının da belirlenmesi ve sit alanı ise arkeolojik yapıların yerlerinin belirlenmesi (Zeugma-Antep gibi) gerekmektedir. Bu durum ise; bizlerin zamana karşı yarışması demektir. Yüzeyden yapılan ve arkeolojik kalıntılara herhangi bir zarar vermeyen jeofizik yöntemler, teknolojinin gelişip ve ilerlemesiyle de daha hızlı ölçüm ve veri toplama ile birlikte veri işleme süreci ile arkeolojik yapı kalıntılarının oldukları yerleri ve derinliklerine ait durumu belirleyerek kazı süresini azaltmaktadır. Aynı kazı alanı için hava fotoğrafları üzerine jeofizik araştırma sonuçlarını eklenmesi arkeolojik alanın kazısını planlamada da katkı koymaktadır (Kaya, 2007).

Sit alanlarının belirlenmesi için; sit alanları daha önce belirlenmiş olsa da gömülü durumdaki arkeolojik kalıntılara ait sınırlar bilinmemektedir. Böyle bir durumda ise sit alanlarının sınırlarının belirlenmesinde arkeoloji jeofiziği uygulamalarına gereksinim vardır. Özellikle güncel yerleşmelerin olduğu alanlarda antik yapı kalıntılarını jeofizik yöntemlerle belirlenmektedir (Kaya, 2006).

Antik eser kaçakçılığının önlenmesi için; arkeologların yaptıkları araştırmalara göre, dünyada bulunan, höyük ve tümülüslerin büyük bir kısmı Türkiye'de yer almaktadır. Detektörler ya da başka usullerle yapılan kaçak kazılarla kaçakçılık artmakta ve ülkemizdeki paha biçilemez antik yapılar, yasal olmayan yollarla yurt dışına götürülmektedir. Bilindiği üzere, yasal olmayan yollarla yurt dışına kaçırılan antik eserler yüksek harcamalar yapılarak geri getirilmeye çalışılmakta ve bu durum ise ülke ekonomisine önemli giderler yüklemektedir. Bu durumdan

anlaşılacağı üzere höyük ve tümülüslerin belirlenip koruma altına alınması arkeoloji jeofiziği araştırmaları ile mümkün olabilir (Kaya, 2006).

Arkeolojik alanı yeniden yapılandırmak için; son yıllarda yapılan jeofizik çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre arkeolojik yorumla beraber kazı alanında bulunan kalıntılara ait yer ve derinlik durumları dışında aynı zamanda elde edilen verilerden, geçmiş döneme ait olduğu düşünülen görüntülere de ulaşılmaya çalışılmaktadır (Kaya, 2007).

Kısaca; Arkeojeofizik ya da arkeoloji jeofiziği, yerin yüzeyinden yapılan jeofizik yöntemlerle, araştırılacak arkeolojik yapı alanındaki kalıntı ya da kalıntılara herhangi bir zarar vermeden ve en kısa süre zarfında arkeolojik kalıntı/kalıntılarının, yer/yerleri, derinliği/derinlikleri ve durum/durumları belirlenip arkeolojik kazının nasıl olacağı konusunda planlama yapılmasına ve kazıya yön vererek ayrıca arkeolojik kazı/kazılara fayda sağlayan jeofiziğin bir alt dalıdır (Kaya, 2007; Zorlu, 2017).

Arkeolojik yapı kalıntılarının kendilerini saran jeolojik ortam koşulunda yan yana ve dağınık bir şekilde bulunmaları ve ayrıca arkeolojik yapı kalıntılarının bir kısım fiziksel özellikleri ile jeolojik ortamın fiziksel özellikleriyle de aynı özellikte olmaları, yapılan arkeolojik araştırmanın başarısını önemli ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı araştırılacak olan arkeolojik kalıntıların daha net bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için kullanılacak olan jeofizik yöntemlerin seçimine büyük önem verilmelidir (Ekinci vd., 2014).

Gelişi güzel yani rastgele yöntem uygulanması, arkeolojik alandan toplanacak olan jeofizik verinin iyi bir şekilde analiz edilip yorumlanmasını güçleştirip ve hedeflenen sonucun iyi bir şekilde neticelenmesine mâni olacaktır ve istenilen başarıyı düşürecektir. Bu yüzden araştırılan arkeolojik yapı kalıntısının fiziksel özelliklerinin en iyi şekilde belirlenebileceği jeofizik yöntemin seçilmesi gerekmektedir. Bu ayrıca arkeolojik kalıntı ile jeofizik yöntemin ilişkisi olarak da bilinmektedir (Kaya, 1997). Jeofizik; arkeoloji biliminin ışığında, yeraltının fiziksel özelliklerindeki değişimi belirler. Son yıllarda yapılan arkeolojik araştırmalarda bir tek yöntem yerine birkaç yöntemin uygulanması ile daha doğru yani kesin sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir. Birkaç yöntemin birlikte uygulanması arkeoloji jeofiziği araştırmalarının başarısını yükseltmiştir (Zorlu, 2017). Jeofizik yöntemler, bilinen arkeolojik alanlarda ya da daha yeni keşfedilecek arkeolojik alanlardaki çalışmaları kolaylaştırmak için önemli rol oynamaktadır. Jeofizik Yöntemler, 1946'dan bu yana arkeolojik araştırmalar için kullanılmıştır (El-Qady vd., 2018).

Arkeojeofizik yapı kalıntılarının araştırılması ilk olarak 1940'lı yılların ortasına denk gelmektedir. Bununla ilgili bilinen ilk çalışma; Atkinson tarafından 1946 yılında İngiltere'de yapılan özdirenç çalışmasıdır (Atkinson, 1952). Arkeojeofizik olarak yapılan ikinci çalışma, 1958

yılında İngiltere'deki manyetik çalışmadır. Carson (1962) ve Carabelli (1966) tarafından arkeojeofizikte sismik kırılma yöntemini kullanmıştır. Arkeojeofizikte elektromanyetik yöntemlerin uygulamaları da yine aynı yıllara denk gelmektedir (Scollar, 1962). Gravite yöntemi ilk olarak Linington (1966) tarafından uygulanmış olsa da arkeolojik yapılarının oluşturacağı gravite alanının, normal gravite alanına göre çok az değişim gösterdiğinden uygulanması çok olmamıştır. IP yöntemini arkeojeofizikte ilk kullananlar Aspinall ve Lynam (1968) adlı araştırmacılarıdır. Doğal Uçlaşma (SP) yönteminin ilk uygulayıcısı Corwin (1973) dir.

Arkeolojik yapı araştırmalarında manyetik ve öz direnç yöntemlerinden sonra kullanılan yöntem yerradarı (GPR) dır. Bu yöntem son yıllarda uygulamada kullanılan yöntem olmasına rağmen diğer yöntemlere göre: araştırma alanında bulunan arkeolojik yapıların durumunu en iyi gösteren yöntem olup ve uygulamada daha fazla kullanılmaya başlanılmıştır (Vaughan, 1986).

Arkeojeofizik; Türkiye'de ilk olarak 1960'lı yıllarda Keban kurtarma çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Öz direnç yöntemi; Ağin kalesi, Tepecik ve Norşun höyüğünde arkeojeofizik çalışmalarında uygulanmıştır (Yaramancı, 1970).

Ülkemizde, arkeolojik alanlara jeofizik yöntemlerin uygulanmaya başlanması Avrupa'ya göre yaklaşık olarak 15 yıllık gecikmeyle başladığı ve 1960'lı yılların başlarında uygulandığı görülmeye başlanmıştır. Ülkemizde uygulanan ilk yöntem öz direnç yöntemi olmakla beraber 1970'li yıllardaki teknolojik ilerlemeler ve kuramsal çalışmaların hız kazanmasıyla diğer jeofizik yöntemlerinde arkeolojik alanlara uygulanmasına başlanmıştır. Bu gelişmeler sonucunda arkeolojik alanlara jeofizik yöntemlerin uygulanmasında büyük bir artış görülmüş ve Anadolu'daki arkeolojik çalışmalarda artış olmuştur. Özellikle, Gaziantep-Zeugma, Çorum-Boğazköy, Konya-Çatalhöyük gibi, eski dönemlerdeki büyük yerleşim yerleri olan alanların kazı öncesi taranması gerekmektedir. Arkeolojik alandaki birçok kalıntı üzerinde bulunan toprak ya da başka bir örtü nedeni ile yerlerinin belirlenmesi çok zordur. Bu tarama işlemleri ise bilinen klasik arkeolojik araştırmalarla yapılması olanaksızdır. Kazı işlemi yapılmadan, yeraltındaki antik kalıntıların görüntüsü ancak arkeojeofizik uygulamalarla belirlenebilir. Örneğin, manyetik ölçümler ile 25.000 m² alan 1m x 1m metre grid aralıkları ile bir günden daha kısa bir sürede taranabilir.

Menekşe Çatağı Höyüğünde yapılan arkeojeofizik çalışmalarda manyetik gradiometre ve doğal gerilim ölçümleri yapılmıştır. Manyetik haritalarda dikkati çeken belirtileri belirginleştirmek için kesme frekansı 0.25 devir/m olan alçak geçişli filtre uygulanmış ve seçilen profiller ters çözüm tekniği ile modellenmiştir. Yorumlanması sonucunda, sahada fırın ve duvar kalıntılarının olabileceği belirtilmiş ve bu sonuç daha sonra yapılan kazı ile de desteklenmiştir (Sayın vd., 1995).

K hl y k   Anadolu Bölgesinde Ankara-Haymana  l esinin Oyaca kasabasında Hitit  mpartorluğu dönemi için yapılan jeofizik çalışmalarda elektromanyetik, elektrik, VLF, manyetik, yerradarı, yapay uçlaşma (IP), doğal gerilim ve radyometrik yöntemler kullanılmıştır. Jeofizik araştırmalar, arkeolojiye kazı zamanını ve giderini azaltma yönünde yararlı olmuştur (Ercan vd., 1998).

Denizli-Eğmir Helenistik (Lidya) dönemi t m l s nde yapılan araştırmalarda elektrik, elektromanyetik (VLF), radyometrik, manyetik ve yerradarı kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerden elde edilen verilerin sonuçlarına göre bazı noktalarda tümülüsün i inin toprak ile dolu olduğu ve kenardaki dirençli kesimlerin duvar olabileceği belirlenmiştir (Ercan, 1999).

Mersin ilinin Ayd ncık  l esinde bulunan Kelenderis limanının batısında, hamamın güneyinde yer alan Agora'da kazı çalışması yapılmadan önce, gömülü olan olası yapı kalıntılarının varlığını belirlemek amacıyla doğru akım özdirenç yöntemi kullanılmıştır. Önerilen alandaki araştırma çukurunda yıkılmış duvar kalıntıları bulunmuştur ( zt rk, 2004).

Burdur ilinin G lhisar  l esine bağlı olan Yusuf a kasabasının yaklaşık 4 km batısında belirlenen alanda elektrik özdirenç, yerradarı ve manyetik yöntemleri uygulanarak veriler toplanmıştır. Kilisenin giriş kısmı olan batı kesiminden itibaren mozaiklerin devam edebileceği ayrıca yine batı kısmında kuzey yönüne uzanan bir yapının olabileceği bildirilmiştir (Altunkaynak, 2005).

Afyon ilinin Emirdağ  l esindeki Amorium antik kentindeki arkeojeofizik çalışma aşağı şehirdeki askeri kışlanın bulunduğu bölümdeki bir alanda manyetik yöntem kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen verilere kutba indirgeme yöntemi uygulandıktan sonra sınır analizi yönteminde kullanılan yapma gravite dönüşümü, yatay gradientlerin bulunması, maksimum gradient noktalarının belirlenmesi, maksimum gradient noktalarının genlik değerlerinin hesaplanması gibi işlemler uygulanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda araştırma alanındaki yapı kalıntılarının yanal yöndeki sınırları belirlenmiştir. Ayrıca derinlik ve kalınlık gibi bilgilerinin belirlenebilmesi için üç boyutlu ters  z m tekniği uygulanmıştır (Ekinci, 2005).

Yine Afyon ilinin Emirdağ  l esindeki Amorium antik kentinde gerçekleştirilen arkeojeofizik araştırmada manyetik veriler toplanmıştır ve bu yolla arkeolojik yapı kalıntıları belirlenmeye çalışılmıştır. Manyetik verilere sınır analizi yöntemi uygulanmış ve yüksek genlikli belirtiler belirlenmiştir ve derinlik bilgilerinin elde edilebilmesi için alınan profil verilerine de ters  z m tekniği uygulanmıştır (Yiğit, 2005).

Adremytteion antik kentinde (Balıkesir-Burhaniye- ren) manyetik ve elektrik yöntemler kullanılmıştır. Elde edilen verilere ters  z m yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma alanında antik çağa ait olduğu düşünülen bir yapıya rastlanılmıştır (Sünbül, 2007).

Antandros antik kenti Balıkesir ilinin Altınoluk ilçesinde bulunmaktadır. Manyetik yöntem, nekropol alanında uygulanmıştır. Modelleme çalışmalarıyla gömülü olan olası arkeolojik yapıların derinlikleri ve boyutları ortaya konmuştur (Küçükdemirci, 2008).

Afyon ili sınırları içerisinde bulunan Dede mezarı nekropol alanında gömülü mezar yerlerinin belirlenebilmesi amacıyla arkeomanyetik çalışma gerçekleştirilmiştir. Toplam alan manyetik verilerine bazı sınır belirleme operatörleri uygulanmış ve belirti haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında önerilen arkeolojik kazılarla antik mezar kalıntıları gün ışığına çıkarılmıştır (Büyüksaraç vd., 2008).

Samsun ili Baruthane bölgesinde iki tümülüsün bulunması için elektrik özdirenç yöntemi uygulanmıştır. Farklı doğrultuda olan 64 profilde toplanan verilere ters çözüm tekniği uygulanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen yer elektrik kesitlerinden gömülü yapılara ait belirtiler ortaya konmuştur. Kazı sonuçlarında, iki tümülüsü birbirinden ayıran bölgede bir duvar ve birbirinden bağımsız iki mezar odası bulunmuştur (Akça vd., 2010).

Balıkesir ili, Burhaniye ilçesi, Ören mevkiinde sit alanında bulunan ve üstü örtülü olduğu varsayılan Adramytteion antik kentine ait yapıların belirlenebilmesi amacıyla, manyetik ve elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Toplanan veriler ışığında, dairesel formda bir yapı bulunmuştur. Bu arkeolojik yapının bir seramik pişirme fırını olduğu saptanmıştır (Kocacık, 2010).

Aydın Kuşadası-Kadıkalesi (Anaia) arkeojeofizik çalışmalarında yerradarı ve manyetik yöntem kullanılmıştır. Arkeojeofizik çalışmadaki amaç; kilise kalıntısı düşülen yapıya ait apsisin olup olmadığını anlamak ve yapılacak kazılara yön vermek olmuştur. Kiliseye ait apsis, duvar, lâhit vb. kalıntıların yerleri ve geometrileri belirlenmiştir (Yüksel vd., 2011).

Sinop Balatlar Kilisesi arkeojeofizik çalışmalarında manyetik araştırma yapılmıştır. Yapılan jeofizik çalışmalar sonucunda elde edilen manyetik haritalarda tespit edilen belirtilerin arkeolojik kazı çalışması yapılarak kontrol edilmesi önerilmiştir (Yüksel vd., 2011).

Enez (Ainos) antik kenti su terazisi bölgesinde yapılan arkeojeofizik çalışmalarda manyetik ve yerradarı yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda arkeolojik alandaki gömülü mimarî yapılara ait temeller, mezarlar ve lâhitler bulunmuştur (Yüksel vd., 2011).

Amasya Terziköy Roma Hamamı arkeojeofizik çalışmalarında yerradarı yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanı çeşitli bölgelere ayrılarak toplamda 240 profile ait ölçümler yapılmıştır. Değişik doğrultuda iki boyutlu radargram kesitleri oluşturulmuş ve çalışılan alanda belirli bir mimari plan görünümüne sahip yapılar belirlenmiştir (Yıldız vd., 2011).

Smyrna antik kenti İzmir ilinin Bayraklı ilçesinde bulunur ve bu antik kentte 30m x 30m'lik bir alanında manyetik yöntem uygulanmıştır. Manyetik veriler üzerinde yapılan

Çalışmalarda ters süzgeçleme ve ters çözüm yöntemlerinin birleşik kullanıldığında arkeolojik yorumlamaya çok büyük faydalar sunacağı belirtilmiştir (Alpaslan, 2011).

Parion, Truva şehrinin merkezi olan tarihi Biga yarımadası bölgesinde yer alan en önemli yerleşim yerlerinden biridir. Bugüne kadar Helenistik ve Roma dönemine ait birçok dikkate değer ve kıymetli arkeolojik kalıntılar gün yüzüne çıkarılmıştır. Bu arkeojeofizik çalışmada yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilebilmesi için Elektrik zdiren Tomografi (ERT) yöntemi uygulanmıştır. Pole-Dipole elektrot dizilimi kullanılarak 11 hat boyunca toplanan görünür özdirenç verileri ters çözüm teknikleri ile değerlendirilmiş ve olası arkeolojik yapıların yerleri belirlenmiştir (Ekinci vd., 2012).

İstanbul ili, Küçükçekmece'de bulunan Bathonea antik kentinde jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Jeofizik uygulamalar doğru akım özdirenç ve yerradarı yöntemleridir. Doğru akım özdirenç verileri çok elektrotlu sistem ile alınmıştır. Jeofizik verilerinin yorumuna göre kazı yerleri önerilmiştir. Kazılan bölgelerde jeofizik belirtilerle uyumlu antik yapı kalıntıları bulunmuştur. (Pekşen vd., 2013).

Muğla İli, Fethiye İlçesi, Kumluova Beldesi sınırları içerisinde, Eşen ayı'nın batısında yer alan Letoon antik kentinde yapılan arkeojeofizik çalışmalarda elektrik özdirenç yöntemi kullanılmıştır. Jeofizik etüt sonucuna göre, gömülü kültür varlıklarının göstergesi olabilecek yüksek özdirençli belirti alanları belirlenmiş ve bu alanlarda kazı yapılması önerilmiştir (Ergüder vd., 2013).

Gelibolu Yarımadası'nda Ağadere Mezarlığı'ndaki gömülü mezar yerlerini belirleyebilmek için jeofizik araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada yerradarı, ERT ve manyetik uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Her üç yöntem sonuçları da benzerlikler göstermiştir (Büyüksaraç vd., 2014).

Amorium (Emirdağ, Afyon) antik kentinde yapılan arkeojeofizik çalışmada elektrik özdirenç ve manyetik yöntemler kullanılmıştır. Elde edilen haritalarda büyük benzerlikler belirlenmiş ve bu alanlarda deneme kazıları önerilmiştir (Ekinci vd., 2014).

Olba (Silifke, Mersin) antik kentinde elektrik özdirenç yöntemi uygulanmıştır. Bu alışmada, Dipol-Dipol elektrot dizilimi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, gömülü yapıların olduğu tahmin edilen bölgeler belirlenmiştir (Zorlu, 2017).

Pisidian (Yalvaç, Isparta) antik kentinde gerçekleştirilen arkeojeofizik çalışmalar kapsamında ERT ve yerradarı uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Veri işlem aşamalarından sonra uygulanan üç boyutlu görüntüleme teknikleri olası arkeolojik yapı kalıntısı olabilecek yerlerin belirlenmesinde oldukça başarılı sonuçlar üretmiştir (Balkaya vd., 2018).

Side (Antalya) antik kentinde yerradarı ve ERT çalışması sonucunda gerçekleştirilen veri işlem çalışmaları ile birbirine oldukça uyumlu belirti haritaları elde edilmiş ve arkeolojik kazı yerleri belirlenmiştir (Akça vd., 2019).

Isparta ili sınırları içinde bulunan Kılıç köyü antik kentinde gerçekleştirilen arkeojeofizik çalışmada ERT ve yerradarı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Uygulanan veri işlem teknikleri sonucunda apsis, nef ve geçit gibi birçok arkeolojik yapı kalıntısı belirtileri elde edilmiş ve bu lokasyonlar arkeolojik kazı için önerilmiştir (Yılmaz vd., 2019).



2. MATERYAL VE YÖNTEM

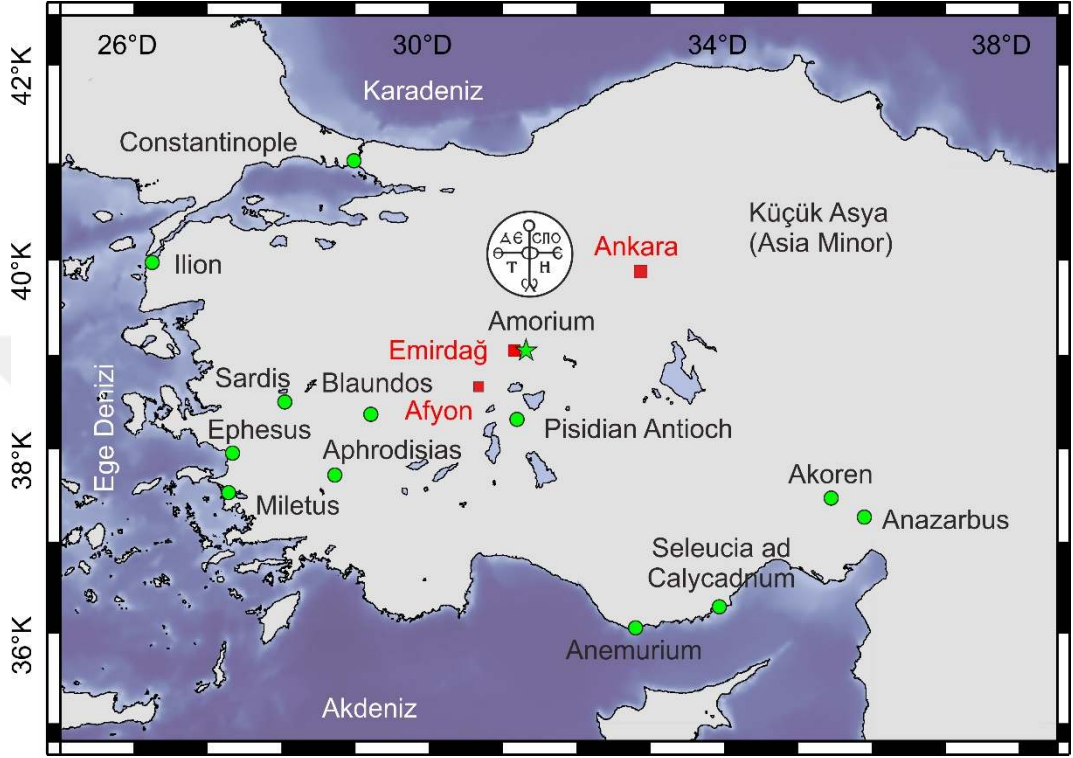
Bu bölümde tez kapsamında çalışılan Amorium antik kenti, yer manyetik alanın özellikleri ve ölçümleri, antik kentten elde edilen toplam manyetik alan gradient verileri sunulmuştur. Ayrıca tez çalışmasında kullanılan yönsel türev tabanlı teknikler, kuramsal çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için kullanılan üç boyutlu düz çözüm algoritması ve doğrusal bir dönüşüm olan yapay gravite dönüşümü izleyen başlıklarla yine bu bölümde sunulmuştur.

2.1. Amorium Antik Kenti

Amorium antik kentinin tarihi en azından Erken Tunç Çağına kadar dayanır, ancak kent Bizans dönemlerindeki önemi ile tanınmaktadır (Ekinci vd., 2014). Kent doğu Frigya bölgesinde bulunmakta ve Ankara'nın yaklaşık 170 km güneybatısındadır (Şekil 2.1). Günümüzde, Amorium antik kenti üzerinde Afyon iline bağlı Emirdağ ilçesinde bulunan Hisarköy yerleşimi bulunmaktadır (Şekil 2.2). Antik kent sınırlarında prehistorik dönemden kalma büyük bir höyük, sağlamlaştırılmış bir aşağı şehir ve de oldukça geniş bir nekropol (mezarlık) bulunmaktadır (Şekil 2.3). İnsanlar tarafından yerleşimin Erken Tunç Çağına kadar gittiği bilinmektedir ve Frig, Helenistic ve Roma dönemlerinde de devam etmiştir (Ekinci vd., 2014). Ancak Amorium antik kenti en büyük önemini büyük bir il merkezi ve askeri karargâh olduğu MS 7. ve 11. yüzyıllarda kazanmıştır (Lightfoot ve Lightfoot, 2006). Amorium antik kentindeki birçok yapılaşmanın bu dönemde gerçekleştirildiği bilinmektedir. Lightfoot (1994)'a göre kentten bahsedilen ilk antik kaynak Roma İmparatoru Augustus zamanında yaşamış olan Strabon'un eseridir. Hititlerin döneminde ise bu kent, "Aura" diye adlandırılmıştır ve Amorium ismi ise kentin, klasik çağdaki adıdır. Bizans İmparatorlarından Amorium'un ailesi bu kentte yetişmiştir (İlaslı ve Uyan, 2001). Ancak, Anadolu'nun erken tarihinde kentin ne önemde olduğu hakkında henüz bir bilgi bulunmamaktadır.

Günümüzde de devam eden arkeolojik kazılar, kentin Anadolu'da Bizans'a bağlı olarak gelişmeye devam eden az sayıdaki şehirden biri olduğuna dair geniş kanıtlar sunmaktadır. Lightfoot ve Lightfoot (2006)'ya göre kent aynı zamanda MS 9. yüzyılda yaşamış bazı Bizans imparatorlarının memleketidir (Michael II, Theophilus ve Michael III). Kent tarihinin en ünlü olaylarından biri MS 838 yılında gerçekleşmiştir. Theophilus'un hükümdarlığı sırasında gerçekleşen bu olayda, on iki günlük bir kuşatmanın ardından kent Harun el-Rashid'in en küçük oğlu Abbasî Halifesi el Mu'tasim liderliğindeki Arap kuvvetleri tarafından saldırıya uğramış ve yağmalanmıştır (Lightfoot ve Lightfoot, 2006). Buna karşın kent daha sonraları Bizanslılar

tarafından yeniden iskân edilmiştir. MS 10. ve 11. yüzyıllarda kentte biraz hareketlenme gözlenmiş olsa da asla eski önemini kazanamamıştır (Yiğit, 2005). Anadolu'ya giren Selçuklular Bizanslıları yenerek kenti ele geçirmişlerdir ve daha sonraları da kent Osmanlı hâkimiyetine geçmiştir (Ekinci, 2005). Şimdiki Hisarköy'ün ise ilk olarak 1892 yılında kurulduğu bilinmektedir.



Şekil 2.1. Amorium antik kentinin harita üzerinde gösterimi (Ekinci vd., 2014'ten düzenlenmiştir)

Yukarı şehir (Şekil 2.4) yani kentin çekirdeğini oluşturan büyük höyük modern köyün (Hisarköy) kuzeyinde bulunmaktadır. Oval bir şekle sahiptir, yaklaşık beş hektarlık bir alanı kaplamakta ve çevresindeki zemin seviyesinden yaklaşık 15-20 m yüksekte durmaktadır (Lightfoot ve Lightfoot, 2006). Yukarı şehir, izleri hala höyüğün kenarlarında görülebilen bir sur duvarı ile çevrilmiştir (Lightfoot, 1994). Bu savunma yapılarının kesin tarihi henüz belli değildir, ancak arkeolojik kazıların tespit edildiği iki ayrı duvar bulunmaktadır (Ekinci vd., 2014). Büyük ölçüde Roma kentinden ve mezarlıklarından gelen devşirme yapı malzemelerinden inşa edilen eski devre duvarı, birçok çıkıntılı kare kuleyle güçlendirilmiştir ve burada bir zamanlar birkaç kapı/geçit varmış gibi görünmektedir. Höyüğün kuzey-doğu ve güney-batı köşelerinde, bu yukarı şehir duvarı, aşağı şehir (Şekil 2.5) surlarına bağlanmaktadır (Ekinci vd., 2014). Ancak ikincisi MS 838'de yıkılmış ve aşağı şehri Bizans döneminin ortasında (10. ve 11. yüzyıllar) açık bir yerleşim yeri olarak bırakmıştır. Diğer taraftan, yukarı şehir, yeni bir perde duvarla yenilenmiş ve

höyüğün güneyindeki ve kuzey tarafındaki siperlerdeki kısımları düzenli aralıklarla iç payandalarla güçlendirilmiştir (Gill, 2002). Buradan da anlaşılacağı üzere, yukarı şehrin, Bizans kentinin ortasının en önemli bölümünü oluşturduğu ve büyük binaların bulunduğu bir yönetim merkezi olarak işlev gördüğü açıktır (Ekinci vd., 2014).



Şekil 2.2. Amorium antik kentinin bulunduğu Hisarköy'den görünüm (Ekinci, 2005)

Aşağı şehir, günümüzde izleri hala alanın etrafından gözlenebilen devasa bir sur duvarı ile çevriliydi. Ancak bu savunma yapılarının sadece küçük bir kısmı kazılabilmektedir. Buna karşın, arkeolojik kazılar neticesinde sadece perde duvarının bir kısmı değil, aynı zamanda da şehir kapılarından biri ve büyük bir üçgen kule gün yüzüne çıkarılmıştır. Diğer kapılar ve kulelerin muhtemelen sur çevresinde olduğu tahmin edilmektedir (<https://amoriumexcavations.org/site/>). MS 8. yüzyılın başlarında aşağı şehir surlarının çoktan terk edildiği ve yalnızca yukarı şehrin güçlendirildiği iddia edilmektedir. Duvarların içinde, aşağı şehir üç ayrı bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler günümüz köyü, doğu ve güneydoğu kısımlarda hala günümüzde de ekilen tarım alanları ve alanın güney kesiminde Davulga yolundan uçurumun güneybatısına kadar uzanan büyük bir açık arazi alanıdır (Lightfoot, 1994). Sadece otlatmak için kullanılan benzer bir alan, tüm alanın merkezine yakın aşağı şehir kilisesinin kuzeybatısına yerleştirilmiştir. Bu bölgelerde çok sayıda bina ve cadde izleri belirlenmiştir (<https://amoriumexcavations.org/site/>). Bazı büyük kamu binasının varlığı, duvar sıralarında ve yüzeyde kolaylıkla görülen duvar parçalarından da anlaşılabilir (Lightfoot ve Lightfoot, 2006). Bir diğer önemli özellik ise aşağı şehir

Lightfoot başkanlığında çalışmalara devam edilmiştir. 2013 yılında Amorium kazı çalışmaları T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı onayı ile Afyonkarahisar Müzesi başkanlığında Prof. Dr. Zeliha Demirel Gökalp'e verilmiştir. 2014 yılından itibaren ise kazı çalışmaları Bakanlar Kurulu'nun kararı ile Prof. Dr. Zeliha Demirel Gökalp'in başkanlığında devam etmektedir (http://amoriumkazisi.com/TR_tarihce.html). Amorium antik kentinde yapılan ilk jeofizik çalışmalar ise Kaya ve Drahor tarafından 1997 yılında başlatılmıştır. Süre gelen araştırma, 2002 yılında aşağı şehir (Şekil 2.5) ve büyük bina olmak üzere iki farklı alanda yürütülmüştür. Aşağı şehirde bulunan F11 alanının içinde bulunan bir alanda (20m × 40m) sadece direnç ölçümleri yapılmıştır, kazılar da burada yapıldığı için civardaki metalik yapıların bozucu etkisinden dolayı manyetik yöntem uygulanmamıştır ve büyük bina olarak tanımlanan ve Hisarköy'ün güneyinde bulunan kalıntıların doğu kenarında bulunan bir alanda (60m × 80m) hem direnç hem de manyetik araştırmalar yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında da sözü edilen manyetik veriler kullanılmıştır. Şekil 2.3'te verilen sarı yıldız ölçüm alanını göstermektedir.



Şekil 2.4. Yukarı şehirden Emirdağ dağlarına bir bakış

(www.amoriumexcavations.org/Photos/Photos2005/)

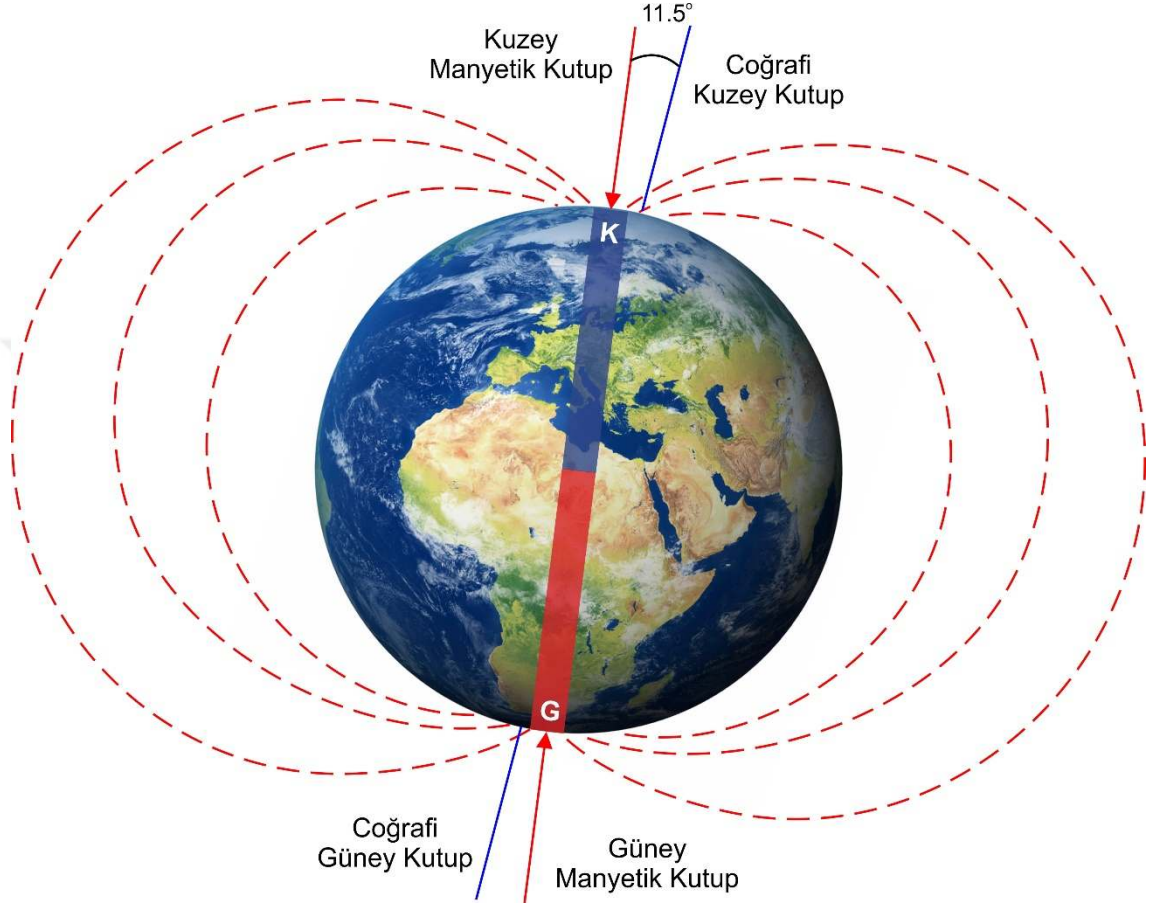


Şekil 2.5. Aşağı şehirden bir görünüm (<https://amoriumexcavations.org/site/>)

2.2. Yer Manyetik Alanın Özellikleri ve Ölçümleri

Yerküre büyük bir mıknatısa benzemektedir. Güney kutup noktası civarından çıkan manyetik alan çizgileri dünyayı bir meridyen boyunca çevreleyerek kuzey kutup noktası civarında son bulmaktadır (Şekil 2.6). Yer manyetik alanını tanımlamaya en uygun olan ve yerin merkezinde bulunan bir manyetik dipolün ekseninin uzantılarının yeryüzünü kestiği noktalara “Jeomanyetik kutup” denir. Dünyamızı saran manyetik alan, yer küre merkezine yerleştirilmiş ve dönme eksenini ile 11.5° açı yapan bir dipolün alanı gibi düşünülebilir (Şekil 2.6). Yer küre üzerindeki herhangi bir noktada manyetik alan şiddeti vektörel olarak ölçülmektedir. Yer manyetik alan bileşenleri Şekil 2.7’de verilmiştir. Burada; F, manyetik alanın toplam bileşenini; F_h , manyetik alanın yatay bileşenini; F_z , manyetik alanın düşey bileşenini; x, manyetik alanın yatay kuzey bileşenini; y, manyetik alanın yatay doğu bileşenini; D, deklinasyon açısı veya sapma açısını; I ise inklınasyon açısı veya eğim açısını temsil etmektedir. Deklinasyon açısı coğrafi kuzey ile manyetik kuzey arasındaki açı olarak tanımlanır. F ile manyetik kuzey arasındaki açı ise inklınasyon (eğim) açısıdır ve I ile gösterilmiştir. Yer manyetik alan şiddetindeki değişim nano Tesla (nT) olarak ifade edilmektedir. $1 \text{ nT} = 10^{-9}$ Tesla, ayrıca $1 \text{ nT} = 10^{-5}$ Gauss (G) olarak da belirtilebilir. Coğrafi kuzey ile manyetik kuzey arasında kalan açı olan deklinasyon açısı kuzeyden doğuya doğru ölçüldüğünde artı, kuzeyden batıya doğru ölçüldüğünde eksidir (Sanver ve İşseven, 2007). Yatay bileşen ile toplam bileşen arasındaki açı olan inklınasyon açısının ucu aşağıya doğru ise işareti artı ve ölçü yapılan yer kuzey yarım küredir, ucu yukarı ise işareti eksi ve ölçü yapılan yer güney yarım küredir. Inklınasyon açısının 0° olduğu yer manyetik ekvator olarak adlandırılır ve bazen coğrafik

ekvatorun üstünden bazen de altından geçer. İnklinasyon açısının $\pm 90^\circ$ olduğu yerler ise manyetik eğim kutbu olarak isimlendirilir (Sanver ve İşseven, 2007). Yer manyetik alanının 2000 yılına göre inklinasyon ve deklinasyon açıları ve de toplam manyetik alan şiddeti sırasıyla Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Yer manyetik alanının şematik gösterimi

Yer manyetik alan bileşenleri arasında en çok kullanılan bağıntılar izleyen denklemlerle verilmiştir (Akçığ ve Pınar, 1994; Ateş, 1995).

$$x = Fh \cos D \quad (2.1)$$

$$y = Fh \sin D \quad (2.2)$$

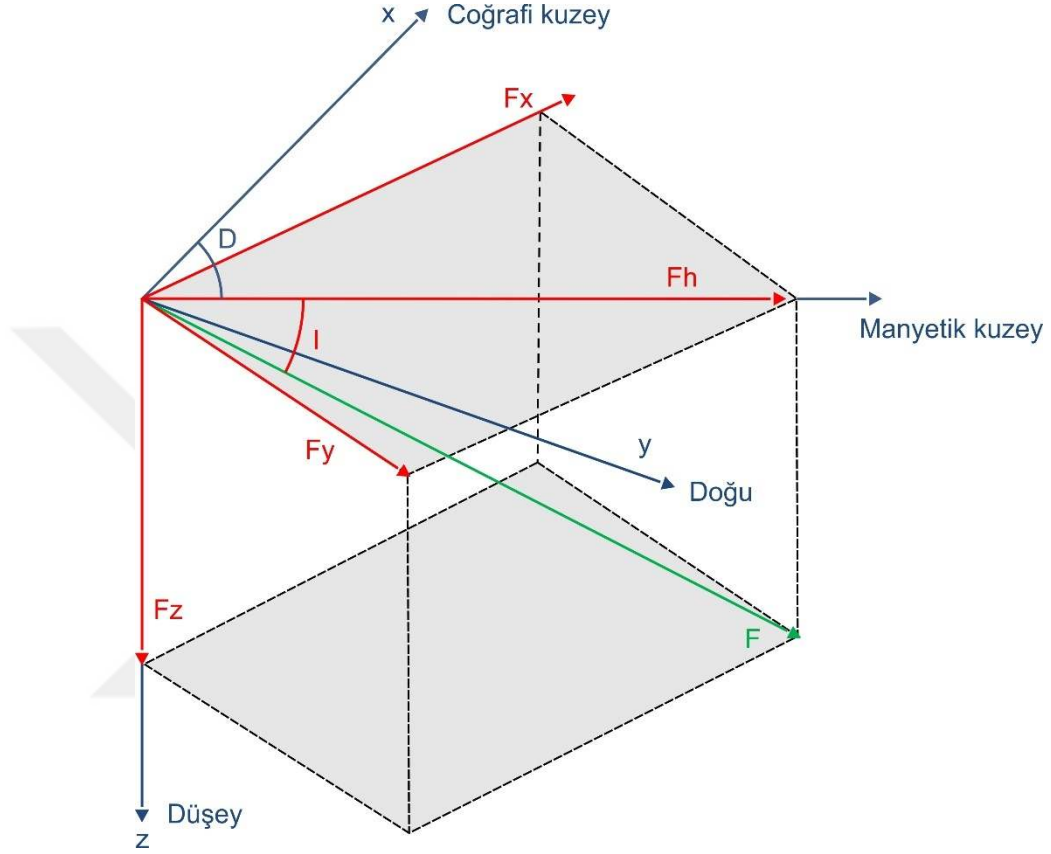
$$Fh^2 = x^2 + y^2 \quad (2.3)$$

$$F^2 = Fh^2 + Fz^2 \quad (2.4)$$

$$Fz = Fh \tan(I) \quad (2.5)$$

$$I = \arctan \frac{F_z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.6)$$

$$D = \arcsin \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.7)$$



Şekil 2.7. Yer manyetik alan bileşenlerinin Kartezyen koordinatlar üzerinde gösterimi

Manyetik ölçümler hem karada hem havada hem de denizde yapılabilir. Ölçüm nerede yapılırsa yapılsın o noktada mutlaka yer manyetik alanı da bulunmaktadır. Manyetik ölçümlerde manyetik alan vektörünün veya bileşenlerinden birinin şiddeti ölçüldüğünde, üç alanın veya bileşenlerinin bileşkesi ölçülmektedir (Sanver ve İşseven, 2007). Bunlar; yer manyetik alanı, yer içinde bulunan kütlelerin indüksiyon mıknatıslanması nedeniyle yeryüzünde oluşturduğu manyetik alan ve yer içinde kütlelerin kalıcı mıknatıslanmaları nedeniyle yeryüzünde oluşturdukları manyetik alandır (Sanver ve İşseven, 2007).

Yerkabuğu içinde bulunan mıknatıslanabilen kütlelerin manyetik belirtilerini belirleyebilmek için her noktada ölçülen değerden yer manyetik alan vektörünün veya ilgilenilen bileşenin büyüklüğünün giderilmesi gerekmektedir (Sanver ve İşseven, 2007). Bunun için yer manyetik alanın vektörel bir bileşen olduğunun bilinmesi gerekir. Özetlenecek olursa bu üç

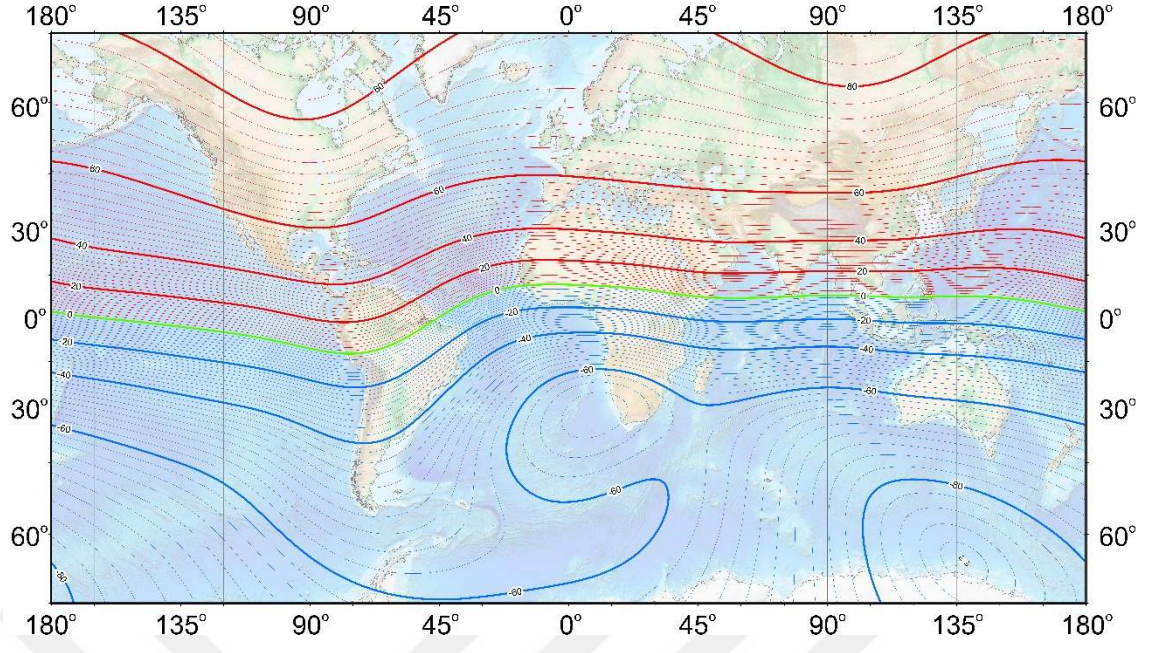
bileşen; esas alan, değişken alan ve belirti alanlarıdır. Esas alanın zaman içindeki değişimi çok yavaştır ve köken olarak yerin sıvı dış çekirdeğinden kaynaklanmaktadır (Sanver ve İşseven, 2007). Değişken alanın şiddeti ise esas alana göre oldukça düşüktür. Periyodu 1 sn den küçük değişimlerden başlayarak periyodu 11 yılı aşan değişimlere kadar çeşitli değişimleri içerir. Genlikleri oldukça farklı olabilen bu değişimlerin ortak noktası kökenlerinin katı yerkürenin dışında olmasıdır (Sanver ve İşseven, 2007).

Belirti alanlarının yeri ve şiddeti zaman içinde hemen hemen sabittir ve belirti alanlarının kökeni yerkabuğunun üst kısımlarındaki cevher yatakları ve magmatik kayalardır (Sanver ve İşseven, 2007). Bilinmesi gereken yer yüzünden derinlere doğru giderken sıcaklığın artması ve Curie sıcaklığı denilen yaklaşık 580°C eşik değerini aşıldığında yer yüzünde manyetik belirti ölçülemeyeceğidir.

Diğer taraftan, yer manyetik alanının değişimleri iç kaynaklı (seküler) değişimler, yere bağlı değişimler ve küçük değişimler (günlük değişimler ve yüksek frekanslı değişimler) olmak üzere üç başlık altında da incelenebilir (Ateş, 1995). Seküler değişimler yer manyetik alanının uzun süreli değişimleri olarak da adlandırılır. Yıllık ortalama değişim yaklaşık 25 gamma mertebesindedir. İç kaynaklı alanın araştırılmasında yardımcı olur. Dipol alanının yüzyılda %5 azalması, yer manyetik alanın yılda 0.2 derece batıya kayması ve eksenel dipolün kuzeye kayması seküler değişimlerin nedenleri olarak gösterilmektedir (Akçığ ve Pınar, 1994).

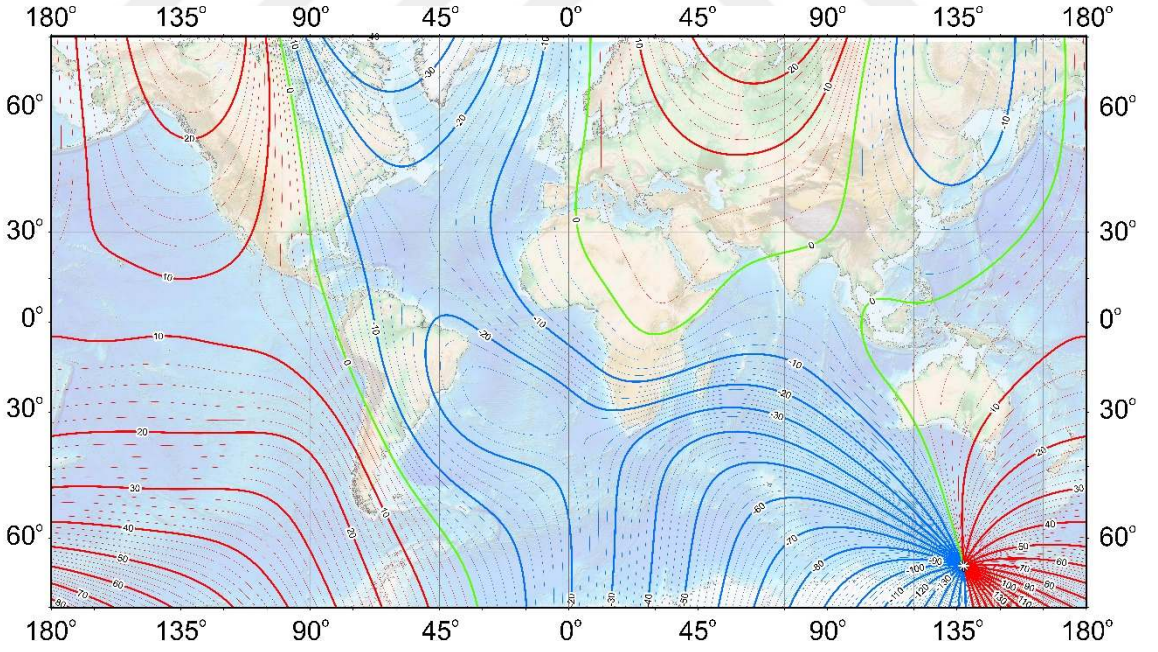
Günlük değişimler rasathane kayıtlarında ani değişimlerin olmadığı günlük olarak gözlenen düzenli değişimlerdir. Bunlar güneş ve ay kökenlidir. Güneş kökenli olanlar solar'dan gelmek üzere S simgesi ile, ay kökenli olanlar ise lunar'dan gelmek üzere L ile gösterilir (Akçığ ve Pınar, 1994). Ay kökenli değişimler kayıtlardan gözle görülmezler ancak özel analiz yöntemleri ile saptanırlar. L'nin değişimi S'nin değişiminin 1/15'i kadardır. Düzgün değişim görülen günlere sakin gün, düzgün olmayan değişimlerin görüldüğü günlere ise sakin olmayan gün denir. Sakin günlerdeki değişimler dengeli, düzgün ve düşük genliklidir. Aya ve güneşe ait günlük değişimler de bu sakin günlük değişimin içindedir. Sakin günlük değişimler maksimum 40 gamma (γ), ortalama 25 gamma (γ) düzeyindedir (Akçığ ve Pınar, 1994).

Yüksek frekanslı değişimlerin ise genlikleri 1 gammadan yüzlerce gammaya kadar ulaşır. Bu gruba giren değişimler manyetik fırtına, manyetik körfez, manyetik çengel ve manyetik pülsasyonlardır (Akçığ ve Pınar, 1994).



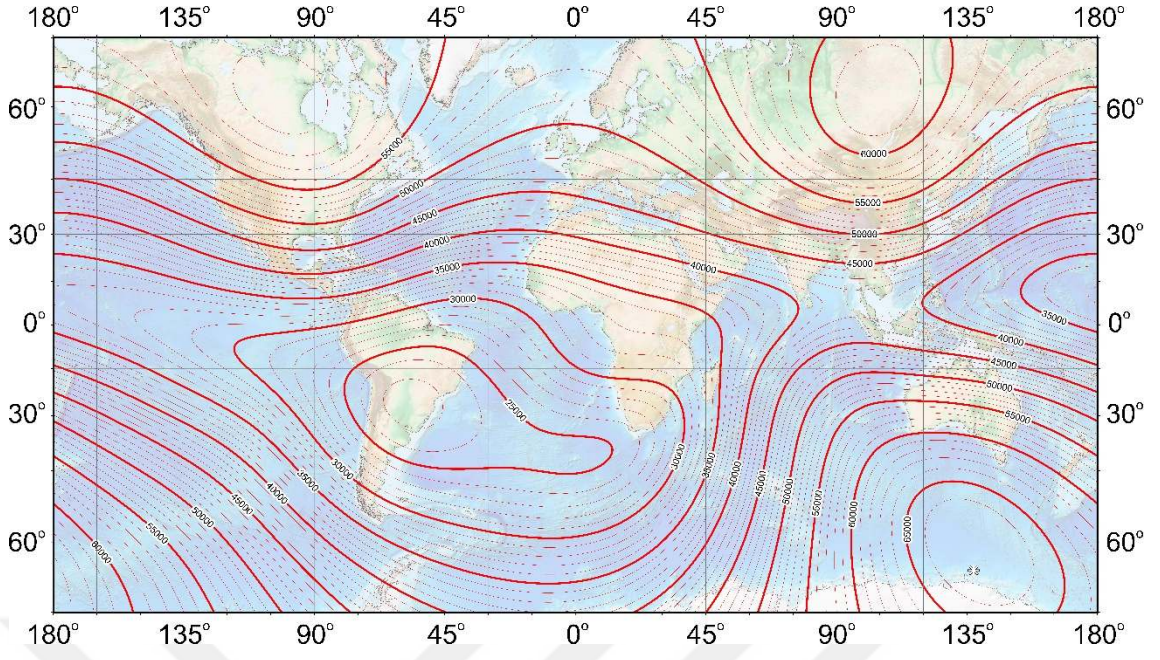
Şekil 2.8. 2010 yılına göre yerküre üzerinden geçen inklınasyon açıları

(<http://www.ngdc.noaa.gov> adresinden düzenlenmiştir)



Şekil 2.9. 2010 yılına göre yerküre üzerinden geçen deklinasyon açıları

(<http://www.ngdc.noaa.gov> adresinden düzenlenmiştir)



Şekil 2.10. 2010 yılına göre toplam manyetik alan şiddeti (<http://www.ngdc.noaa.gov> adresinden düzenlenmiştir)

2.3. Arkeolojik Alanlarda Manyetik Ölçümler

Arkeolojik alanlarda gömülü yapı kalıntılarının aranmasında kullanılan en yaygın jeofizik yöntemlerden biri manyetik yöntemdir (Ekinci vd., 2014). Yöntem yeraltında farklı mıknatıslanma şiddeti değerlerine sahip yapıların belirlenebilmesi amacıyla yüzeyden yapılan ölçümlerle belirti haritalarının elde edilmesi esasına dayanır. Yeraltında izole olmuş herhangi bir jeolojik birim veya insan yapımı bir yapı kalıntısının oluşturacağı manyetik belirtinin genliği kaynak yapının boyutuna ve geometrisine, mıknatıslanma şiddetine ve konumlandığı derinliğine bağlı olarak değişebilmektedir (Lowrie, 2007). Manyetik yöntem gravite yöntemi ile çok büyük benzerlikler göstermektedir. Ancak, gravite ölçümlerinde yalnızca yerin yerçekimi ivmesinin düşey bileşeni ölçülürken, manyetik ölçümlerde yer manyetik alanın düşey, yatay veya toplam bileşenleri ölçülebilir. Yeraltında bulunan bir cismin manyetik anomali verebilmesi için cismin manyetik duyarlılığının çevresindeki kayalardan farklı olması gerekir.

Arkeolojik sahalarda pişmiş kilden yapılmış yapı kalıntılarının oldukça fazla olmasından dolayı en sık rastlanan manyetizasyon çeşidi ısıl kalıcı manyetizasyondur. Bu manyetizasyon çeşidi demir minerali içeren kil minerallerinin yüksek bir ısıya uğradıklarında, içerdikleri demir mineralinin kristal yapısı içindeki manyetik domenlerin hareket ederek, önce gelişigüzel bir yönelme kazanmaları ve onu izleyen soğuma sırasında da yer manyetik alanı yönünde bir yönelme kazanmasıyla ortaya çıkar (Ekinci, 2005). Bu nedenle pişmiş kilden yapılmış gömülü

yapı kalıntıları ölçülebilir manyetik belirtiler üretirler. Manyetik ölçümlerde yapılan düzeltmeler üç ayrı kısım altında toplanmaktadır (Ateş, 1995). Bunlar; ölçülerde kullanılan aletlerin özelliklerinden ileri gelen düzeltmeler, ölçü hatalarından ileri gelen düzeltmeler ve son olarak yer manyetik alanının yere ve zamana bağlı değişimlerinden ileri gelen düzeltmelerdir. Aletlerin özelliklerinden gelen düzeltmeler alet firmaları tarafından verilen değişim değerleri ile, ölçü hatalarından ileri gelen düzeltmeler ise, analitik olarak çözümlenir. Bu düzeltmelerden önemli olanı yer manyetik alanının yere ve zamana bağlı değişimlerinden ileri gelen düzeltmelerdir. Bu düzeltmelere normal düzeltmelerde denilir. Bu düzeltmelerin yapılması için etüt sahasında ölçülerin yapıldığı günlerdeki yer manyetik alanın değişimi ya rasathanedeki kayıtlardan alınır ya da bizzat ölçüler ile birlikte kayıt edilir. Ölçüler ile birlikte yer manyetik alanının değişiminin tespiti, ya ayrı bir manyetometre kullanarak belli zaman aralıklarında ölçü almak sureti ile ya da tek bir manyetometre kullanıldığında belirli zamanlarda (bir saatlik zaman aralığını geçmemek üzere) baz noktasına dönmek sureti ile baz noktasında alınan ölçülerden tespit edilir. Böylece tayin edilen günlük değişim, zamana uygun olarak ölçülerden çıkarılarak gerekli düzeltme yapılmış olur. Ayrıca ölçü istasyonunun bulunduğu yerin koordinatlarının da bilinmesi gereklidir. Ölçü noktalarının koordinatları yani enlem ve boylamında getirdiği düzeltmenin yapılmasına gerek vardır. Ülkemizde alınan ölçülerde, değerler; kuzeye doğru 3.21 nT / km artmakta, doğuya doğru ise 1.36 nT / km artmaktadır. Özellikle arkeojeofizik çalışmalarında, pratikte en çok karşılaşılan gürültülerden birisi, arkeolojik alana atılan ve manyetik özellik sunan atıklardır. Araştırma öncesi yapılacak incelemelerle alandan bu gibi maddelerin temizlenmesi verilerin kalitesini arttıracaktır. Ayrıca alanın telle çevrili olması durumunda tele yakın alınan ölçüler yüksek miktarda gürültü içermektedir. Manyetik ölçümler sırasında, ölçüm yapan kişinin metal içeren giysiler giymesi ve yanında manyetik özellik sunabilecek malzeme bulundurması sonucu oluşacak etkiler, veriye gürültü olarak eklenmektedir. Gibson (1986)'a göre dikkate alınması gereken diğer hususlardan biriside yüzey jeolojisinin manyetik belirtiyi saptırdığı durumlardır ve bu olaya sıklıkla rastlanabilmektedir. Eğer bu tip bir durum söz konusu ise doğru veriyi elde etme teknikleri kullanılmalıdır. İşte böyle bir ortamda, en pratik çarelerden birisi, her istasyonda farklı algılayıcı yükseklikleri için çoklu (multi) okumalar yapılmasıdır, ayrıca küçük ve yüzeye yakın hedeflerin etkilerini arttırmak için gradient yöntemi kullanılmalıdır. Algılayıcı yüksekliklerinin seçimi oldukça önemlidir. Amaca yönelik algılayıcı yükseklikleri belirleyebilmek için bir dizi test ölçümlerinin yapılmasında fayda vardır, çünkü eğer aranan hedefler farklı derinliklerde gömülü iseler, bu hedefler höyük gibi ortamlarda farklı değerlerde manyetize olurlar ve bu tip gömülü yapıları belirlemede algılayıcı yüksekliği önemlidir (Drahor ve Kaya, 2000). Arkeolojik alanlardaki sığ yapıların araştırılmasında uygulanan gradiometrik manyetik ölçü alma

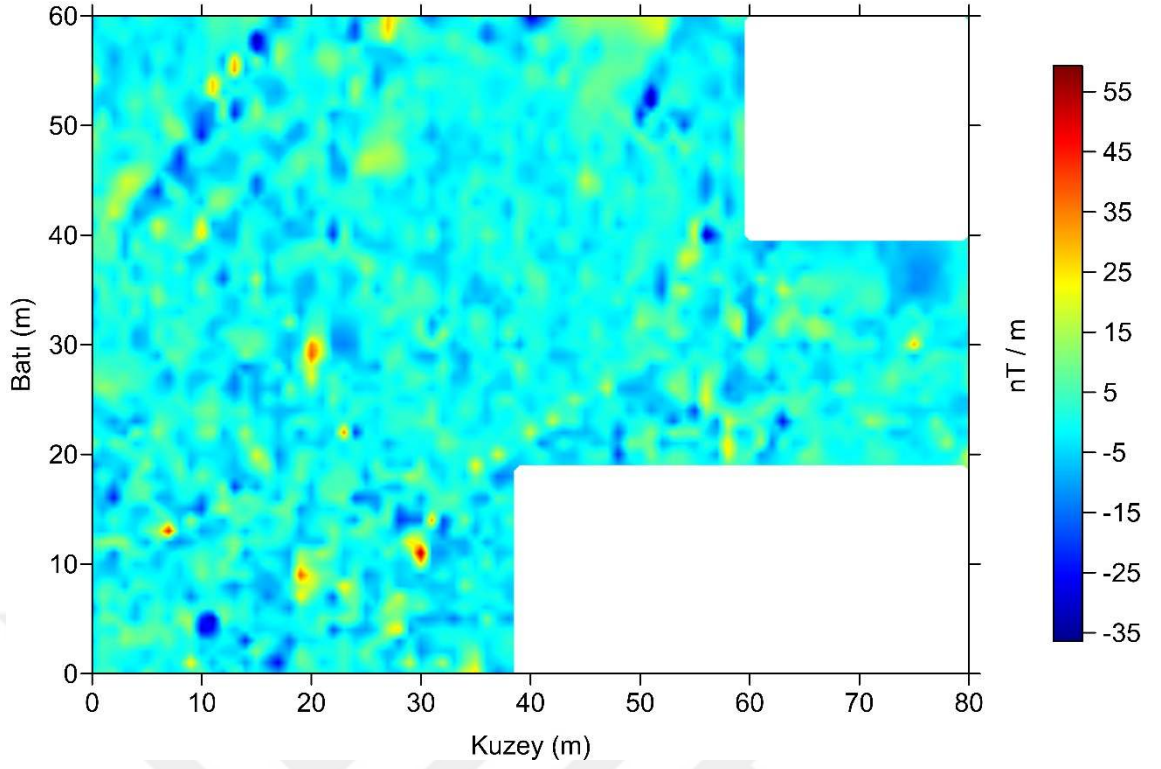
tekniki oldukça etkindir. Bu teknikte, iki farklı seviyede bulunan algılayıcılar yardımı ile okumalar yapılmakta ve bu okumaların farkları alınarak algılayıcı aralığına bölünmektedir. Bu yaklaşım sonucunda doğrudan doğruya rezidüel anomali değeri yani sığ yapı etkileri daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Böylece zamana bağlı değişimde giderilmiş olur.

2.4. Amorium Arkeomanyetik Verileri

Kentin güney bölümünde yer alan ve büyük bina olarak adlandırılan yapının doğu sınırından başlayarak, olası arkeolojik yapıların konum ve doğrultularını belirlemek amacıyla yönelik, gradiometrik ölçüler alınmıştır (Yiğit, 2005). Ölçümler 50 cm sensör aralığı olacak şekilde 0.1 nT duyarlılığında, 1 m profil, 1 m örnekleme aralığında gerçekleştirilmiştir. Geoscan FM 36 fluxgate gradiometresi (Şekil 2.11), sığ derinlikteki yer altı yapılarının, kültürel kalıntıların özellikle de ocak, fırın, kil gibi yanmış yapıların belirlenmesinde kullanımı tercih edilen bir alettir. Bu faydalarından dolayı Amorium antik kentinde manyetik ölçümler Geoscan FM 36 Fluxgate Gradiometresi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Yiğit, 2005; Kaya vd., 2007). Kullanılan ekipman metrede 8 ölçüyü hızlı bir şekilde alabilmektedir ve hassasiyeti ise 0.05 nT'ya kadar yükselebilmektedir. Aynı zamanda 16000 okumayı da hafızasına alabilmekte olup 25° C'de 10 yıl boyunca bu verileri saklayabilmektedir (Yiğit, 2005). Alınan ölçüler aletin hafızasına kayıt edilip, RS232 ara bağlantı kablosu ile bilgisayara aktarılmıştır. Bu aktarım esnasında Geoplot paket programı kullanılmıştır (Yiğit, 2005). Bu tez çalışması kapsamında yeniden değerlendirilen gradiometrik veri Şekil 2.12'de sunulmuştur.



Şekil 2.11. Amorium antik kentinde kullanılan gradiometreden bir görünüm (Yiğit, 2005)



Şekil 2.12. Amorium antik kentinde gradiometre ölçümlerinden elde edilen belirti haritası (Yiğit, 2005'den yeniden düzenlenmiştir)

2.5. Matematiksel Temeller

2.5.1. Üç Boyutlu Prizmatik Yapıların Manyetik Belirtilerinin Hesaplanması

Rao ve Babu (1991) tarafından yeraltında bulunan herhangi bir düşey konumlu prizmatik yapının (Şekil 2.13) manyetik alan belirtisi izleyen bağıntıyla verilmiştir.

$$T(x, y, o) = G_1F_1 + G_2F_2 + G_3F_3 + G_4F_4 + G_5F_5 \quad (2.8)$$

Yukarıda verilen ifade içindeki sabitler ise,

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (2.9)$$

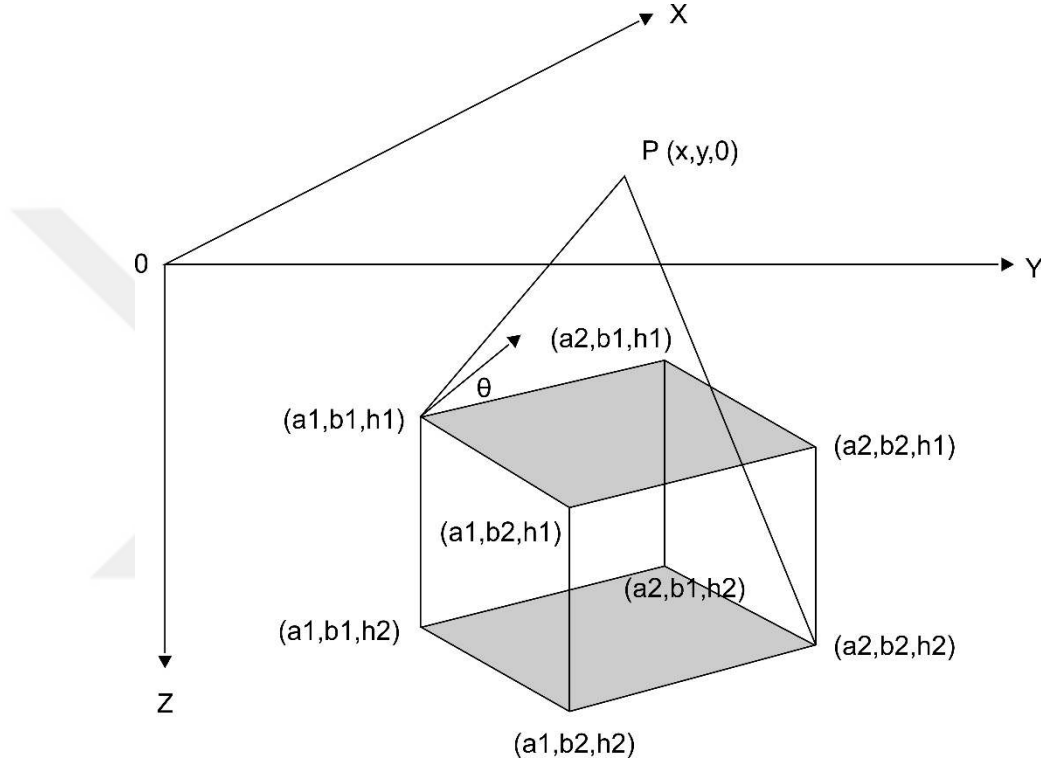
$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (2.10)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (2.11)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (2.12)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (2.13)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, manyetizasyonun şiddeti EI ; manyetizasyon vektörünün doğrultman kosinüsleri L, M, N ; yer manyetik alanın doğrultman kosinüsleri ise p, q, r sabitleridir. 8 nolu bağıntının diğer değişkenleri ise sırasıyla,



Şekil 2.13. Üç boyutlu prizmatik yapı (Rao ve Babu, 1991)

$$F_1 = \ln \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2)(R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2)(R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (2.14)$$

$$F_2 = \ln \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_1)(R_5 + \beta_2)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_1)(R_6 + \beta_2)(R_7 + \beta_2)} \quad (2.15)$$

$$F_3 = \ln \frac{(R_2 + h_2)(R_3 + h_1)(R_5 + h_1)(R_8 + h_2)}{(R_1 + h_1)(R_4 + h_2)(R_6 + h_2)(R_7 + h_1)} \quad (2.16)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_8 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_6 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_4 \beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_2 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_7 \beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_5 \beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_3 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_1 \beta_1} \quad (2.17)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_8 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_6 \alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_4 \alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_2 \alpha_1} - \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_7 \alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_5 \alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_3 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_1 \alpha_1} \quad (2.18)$$

olarak ifade edilir, bu bağıntılardaki ifadeler ise izleyen bağıntılarla hesaplanır.

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_1^2} \quad (2.19)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_2^2} \quad (2.20)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_1^2} \quad (2.21)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_2^2} \quad (2.22)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_1^2} \quad (2.23)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_2^2} \quad (2.24)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_1^2} \quad (2.25)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_2^2} \quad (2.26)$$

$$\alpha_1 = a_1 - x \quad (2.27)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x \quad (2.28)$$

$$\beta_1 = b_1 - y \quad (2.29)$$

$$\beta_2 = b_2 - y \quad (2.30)$$

Prizma yüzeyinin x ve y eksenlerine olan uzaklıkları sırasıyla a_1 , a_2 ve b_1 , b_2 olarak tanımlanır. h_1 ve h_2 ise prizmatik yapının sırasıyla alt ve üst derinlikleridir (Şekil 2.13). Eğer prizma yeraltında coğrafi kuzeye göre açılı bir şekilde konumlanmışsa bir koordinat dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Sözü geçen koordinat dönüşümleri ise izleyen bağıntılarla gerçekleştirilir.

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.31)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2.32)$$

I ve D yer manyetik alanın eğim ve sapma açılarıdır ve yer manyetik alan vektörünün doğrultman kosinüsleri,

$$p = \cos I \cos(D - \theta) \quad (2.33)$$

$$q = \cos I \sin(D - \theta) \quad (2.34)$$

$$r = \sin I \quad (2.35)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. I_0 ve D_0 manyetizasyon vektörünün eğim ve sapma açılarıdır ve manyetizasyon vektörünün doğrultman kosinüsleri ise,

$$L = \cos I_0 \cos(D_0 - \theta) \quad (2.36)$$

$$M = \cos I_0 \sin(D_0 - \theta) \quad (2.37)$$

$$N = \sin I_0 \quad (2.38)$$

olarak ifade edilir. Eğer yeraltında belirtiyi neden olan birden fazla kaynak yapı bulunuyorsa herhangi bir ölçüm noktasında toplam yer manyetik alan belirtisi, C rejyonel alan sabitini ifade edecek şekilde izleyen bağıntı ile hesaplanır.

$$\Delta T(x, y, o) = \sum_{k=1}^{Nb} \Delta T_k(x, y, o) + C \quad (2.39)$$

Herhangi bir noktadaki manyetik belirtiyi hesaplamak 1 no'lu bağıntının tekrarlı kullanımını içerdiği için büyük bir hesaplama zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hesaplama zamanını azaltabilmek için Rao ve Babu (1991) kaynak prizmayı çizgi kütle olarak algılayıp hesaplayan yeni bağıntılar geliştirmişlerdir. Burada bir çizgi kütle olarak varsayılan prizmatik yapının neden olduğu manyetik alan belirtisi yaklaşık olarak izleyen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Rao ve Babu 1991).

$$\Delta T(x, y, 0) = A \left[(G_1\beta + G_2\alpha) \left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3} \right) + \frac{G_3 C_1 \alpha \beta}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_4 (C_1 \beta^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_5 (C_1 \alpha^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \quad (2.40)$$

Bu bağıntıdaki değişkenler ise,

$$A = (a_2 - a_1) (b_2 - b_1) \quad (2.41)$$

$$\alpha = \frac{a_1 + a_2}{2} - x' \quad (2.42)$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2} - y' \quad (2.43)$$

$$R_1 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + h_1^2} \quad (2.44)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + h_2^2} \quad (2.45)$$

$$C_1 = \left[\frac{h_2}{R_2^3} - \frac{h_1}{R_1^3} - \frac{2C_2}{\alpha^2 + \beta^2} \right] \quad (2.46)$$

$$C_2 = \left[\frac{h_1}{R_1} - \frac{h_2}{R_2} \right] \quad (2.47)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Kaynak yapı koordinatlarından uzak mesafedeki grid noktalarında bu bağıntılar kullanarak hesaplama zamanı azaltılır.

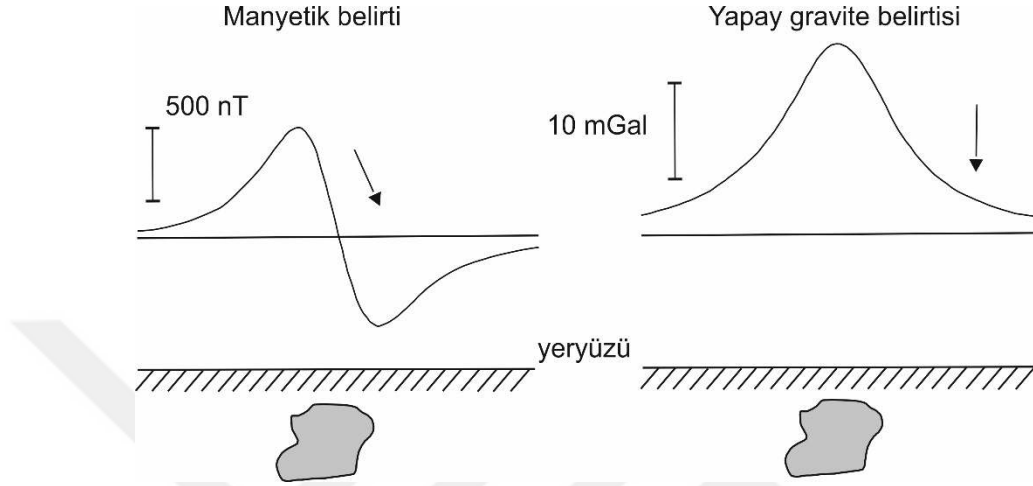
2.5.2. Yapay Gravite Dönüşümü

Yapay gravite dönüşümü doğrusal bir süzgeçtir ve genellikle Fourier dönüşümüyle dalga sayısı ortamında yapılmaktadır (Blakely ve Simpson, 1986). Böylece yer manyetik alanın ve manyetizasyonun düşey olarak yönlendirmediği durumlarda, yapay gravite dönüşümü ile belirtinin en yüksek genlikleri kaynak yapı üzerine çekilmektedir (Şekil 2.14). Ayrıca, dönüşüm ile belirtideki uzun dalga boylu etkiler arttırılırken kısa dalga boylu etkiler ise bastırılmaktadır. Bu yönüyle yapay gravite dönüşümü yukarı analitik uzanım işlemine benzemektedir.

Yapay gravite belirtisinin hesaplanmasında manyetik alan ile gravite alanı arasındaki ilişkiyi tanımlayan Poisson denkleminin (2.48) yararlanılmakta ve Baranov (1957) tarafından geliştirilen teknik kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} V &= -\frac{C_m}{\gamma} \frac{M}{\rho} \hat{m} \nabla p U \\ &= -\frac{C_m}{\gamma} \frac{M}{\rho} g_m \end{aligned} \quad (2.48)$$

Burada; C_m oransallık (ilişki) sabitidir ve farklı birim sistemlerini birbirine göre dengelemede kullanılmaktadır (örn. emu, SI), ρ yoğunluk, M manyetizasyon şiddeti, $\hat{m}$ manyetizasyon yönü, g_m $\hat{m}$ manyetizasyon yönündeki gravite alanı, γ Newton'un gravitasyonel sabiti ifadelerinin tanımlamaktadır.



Şekil 2.14. Manyetik ve yapay gravite belirtileri (Blakely 1995)

Dönüşüm yapılırken ρ ile M 'nin sabit olduğu varsayılır (Blakely, 1995). Yapay gravite dönüşümü dalga sayısı ortamında daha kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir. Denklem 2.48'in Fourier dönüşümü ise,

$$F[g_m] = -\frac{\gamma}{C_m} \frac{\rho}{M} F[V] \quad (2.49)$$

ile hesaplanmaktadır. Manyetik ve gravite alanları arasındaki ilişki,

$$F[g_m] = -\frac{\gamma}{C_m |k| \Theta_f} \frac{\rho}{M} F[\Delta T] \quad (2.50)$$

ile verilmekte ve burada $|k|$ radyal dalga sayısı olup x- ve y- düzlemindeki dalga sayısı koordinatları ile,

$$|k| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (2.51)$$

hesaplanmaktadır. Θ_f değişkeni ise,

$$\Theta_f = \hat{f}_z + i \frac{\hat{f}_x k_x + \hat{f}_y k_y}{|k|} \quad (2.52)$$

ile ifade edilir. Ancak denklem 2.50 toplam manyetik alandan manyetizasyona paralel olan gravite alanının bileşenini hesaplamada kullanılmaktadır. Gravite alanının düşey bileşeninin hesaplanabilmesi için denklemin her iki tarafının Θ_m 'e bölünmesi ile,

$$F[\Delta T_{psg}] = F[\Delta T] F[\psi_{psg}] \quad (2.53)$$

elde edilmektedir (Blakley, 1995), burada,

$$F[\psi_{psg}] = -\frac{\gamma}{C_m |k| \Theta_m \Theta_f} \frac{\rho}{M}, \quad |k| \neq 0 \quad (2.54)$$

ile verilmekte ve yoğunluk (ρ) ile manyetizasyon şiddeti (M) oranının her gözlem noktasında sabit olduğu varsayımı yapılmaktadır. Burada,

$$\Theta_m = \hat{m}_z + i \frac{\hat{m}_x k_x + \hat{m}_y k_y}{|k|} \quad (2.55)$$

ile hesaplanmakta ve kullanılan değişkenler; $\hat{f}$ ve $\hat{m}$, manyetik alan ve manyetizasyon yönündeki birim vektörler olup,

$$\hat{f} = (\hat{f}_x, \hat{f}_y, \hat{f}_z) \quad (2.56)$$

$$\hat{m} = (\hat{m}_x, \hat{m}_y, \hat{m}_z) \quad (2.57)$$

ifadeleriyle hesaplanmaktadır. Fourier dönüşümü yapılmış toplam manyetik alan verisinin yapay gravite süzgeci ile çarpımının ters Fourier dönüşümü yapay gravite belirtisini vermektedir.

2.5.3. Türev Tabanlı Teknikler

Bu bölümde düşey türev, ikinci düşey türev, toplam yatay türev, analitik sinyal, profil eğim yöntemi, tilt açısı, teta açısı ve normalize edilmiş standart sapma tekniklerinin kısaca tanıtımları ve bağıntıları verilmiştir.

2.5.3.1. Düşey Türev

Düşey türev belirti haritalarında; derin olmayan kaynak sınırlarını belirlemede yardımcı olur. Düşey türev belirtisi haritasında sıfır değerine yakın kontur değerleri, kaynak sınırlarını gösterebilir (Xu vd., 2011). Hesaplama işlemi, hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak dalga sayısı ortamında gerçekleştirilir. İlk olarak, potansiyel alan verilerinin hızlı Fourier dönüşümü gerçekleştirilir. İkinci aşamada, dönüştürülmüş veriler düşey türev filtresi ile çarpılır. Son adımda ise, çarpım sonucuna ters hızlı Fourier dönüşümü uygulanır. Blakely (1995) tarafından düşey türev tanımı aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\begin{aligned} F\left[\frac{\partial g}{\partial z}\right] &= \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{F(g) - F(g)e^{-|k|\Delta z}}{\Delta z} \\ &= \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-|k|\Delta z}}{\Delta z} F(g) \end{aligned} \quad (2.58)$$

burada, g yer çekimi alanı, e üstel fonksiyon ve F hızlı Fourier dönüşümünü simgeler. Böylece, birinci mertebeden düşey türev, aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır (Blakely, 1995):

$$VD(x, y) = \frac{\partial g(x, y)}{\partial z} = F^{-1}\{|k|F(g)\} \quad (2.59)$$

F^{-1} ters Fourier dönüşümü, $|k|$ k_x ve k_y düzleminde grid kesişim noktalarındaki radyal dalga sayısıdır.

2.5.3.2. İkinci Düşey Türev

İkinci düşey türev kısmen daha derin kaynak yapıların sınırlarını belirlemede kullanılır.

Hesaplama aşamasında yukarıda verilen düşey türev adımları kullanılır ve sadece radyal dalga sayısının üstel ifadesi değişir (Blakely, 1995).

$$VD(x, y) = \frac{\partial g(x, y)}{\partial z} = F^{-1} \left\{ |k|^2 F(g) \right\} \quad (2.60)$$

2.5.3.3. Toplam Yatay Türev

Potansiyel alan verilerin toplam yatay türev genlikleri kaynak sınırlarında maksimum değer eğilimi gösterir (Cordell and Grauch, 1985; Blakely and Simpson, 1986; Blakely, 1995). Bu nedenle toplam yatay türev tekniği, kaynak sınırlarının yanal sınırlarını bulmak için kullanılır. Gridlenmiş veriler için yatay türevler için aşağıdaki formül kullanılır (Blakely, 1995).

$$THD(x, y) = \left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.61)$$

burada, grid düzlemi boyunca her iki doğrultudaki yatay türevler basit sonlu farklar tekniği ile izleyen şekilde hesaplanır (Blakely, 1995).

$$\frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \approx \frac{g_{i+1,j} - g_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (2.62)$$

$$\frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \approx \frac{g_{i,j+1} - g_{i,j-1}}{2\Delta y} \quad (2.63)$$

Burada i ve j grid noktalarını Δx ve Δy ise örnekleme aralıklarını temsil eder.

2.5.3.4. Analitik Sinyal

Analitik sinyal genliği hem yatay türevler hem de düşey türev hesaplanması ilkesine dayanmaktadır. Belirtiye neden olan kaynak yapıların sınırlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılır. Roest vd, (1992) tarafından analitik sinyal genliği için aşağıdaki denklem önerilmiştir.

$$AS(x, y) = \left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.64)$$

2.5.3.5. Profil Eğim Yöntemi

Son yıllarda bazı jeofizik veri setlerine eğim analizi teknikleri uygulanmıştır (Blumentritt vd., 2006; Phillips vd., 2007; Cooper, 2009; Lee vd., 2013; Ekinci vd., 2013). Profil eğim tekniği gridlenmiş veri setleri için farklı formlarda tanımlanabilir ve bu çalışmada ise Mitsova ve Hofierka (1993) tarafından önerilen tanımlama kullanılmıştır.

$$PCR(x, y) = \frac{\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x} \right)^2 + 2 \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial y} \frac{\partial g}{\partial x} \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2}{\left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 \right]^{3/2}} \quad (2.65)$$

Burada ikinci dereceden yatay türevler aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Carnahan vd., 1969).

$$\frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} \approx \frac{g_{i-1,j} - 2g_{i,j} + g_{i+1,j}}{(\Delta x)^2} \quad (2.66)$$

$$\frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} \approx \frac{g_{i,j-1} - 2g_{i,j} + g_{i,j+1}}{(\Delta y)^2} \quad (2.67)$$

Bu operatör eğimin en hızlı gradyan yönündeki değişim hızını ölçer (Cooper, 2009). Operatör kaynak kenarında sıfır kontur değeri ya da kaynak üzerinde yerel bir maksimum veya minimum üretir (Lee vd., 2013).

2.5.3.6. Tilt Açısı

Tilt açısı operatörü, kısaca normalize edilmiş düşey türev genlikleri olarak açıklanabilir. Arctanjant trigonometrik fonksiyonun doğası nedeniyle, değerler $-\pi/2$ ile $\pi/2$ arasında sınırlıdır. Tilt açısı operatörü, grid düzleminde kaynak yapı sınır konumlarını belirleyebilmek için sıfır değerlerini kullanır (Waynin vd., 2009). Bu operatör türevlerin oranına dayalı olduğundan hem

büyük hem de küçük genlikleri iyi bir şekilde arttırır (Cooper ve Cowan, 2008). Operatörünün hesaplanması için izleyen ifade kullanılır (Miller ve Singh, 1994).

$$TA(x, y) = \tan^{-1} \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial z} \right)}{\left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.68)$$

2.5.3.7. Teta Açısı

Bu operatör yatay türev değerlerini normalize etmek için analitik sinyal genliklerini kullanır. Kaynak yapıların sınırlarının belirlenebilmesi amacıyla tilt açısına benzer şekilde trigonometrik fonksiyon kullanılır. Üretilen haritalarda açı değerleri 0 ve $\pi/2$ arasındadır. Bu operatörün hesaplanabilmesi için aşağıda ifade kullanılır (Wijns vd., 2005).

$$TM(x, y) = \cos^{-1} \frac{\left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}}{\left[\left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.69)$$

2.5.3.8. Normalize Edilmiş Standart Sapma

Bu operatör grid düzleminde sürekli hareket ettirilen bir pencere içinde birinci derecen yatay ve düşey türev değerlerinin istatistiki olarak inceler. (Cooper ve Cowan, 2008). Verilerin her üç doğrultuda türevleri hesaplanır ve standart sapması alınır. Genliklerdeki ani değişimlerin harita üzerinde bariz görünebilmesi sağlanır ve kaynak yapı yatay sınırları belirlenebilir. Bu operatör izleyen şekilde hesaplanır (Cooper ve Cowan, 2008).

$$NSTD(x, y) = \frac{\sigma \left(\frac{\partial g}{\partial z} \right)}{\sigma \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right) + \sigma \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right) + \sigma \left(\frac{\partial g}{\partial z} \right)} \quad (2.70)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada hem kuramsal verilerin hem de Amorium antik kentine ait gerçek arazi verilerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bütün veri işlem uygulamaları GMINTERP (Ekinci, 2010; Ekinci ve Yiğitbaş, 2012; 2015) adlı MATLAB tabanlı açık kaynak bir paket program kullanılarak yapılmıştır.

3.1. Kuramsal Çalışma

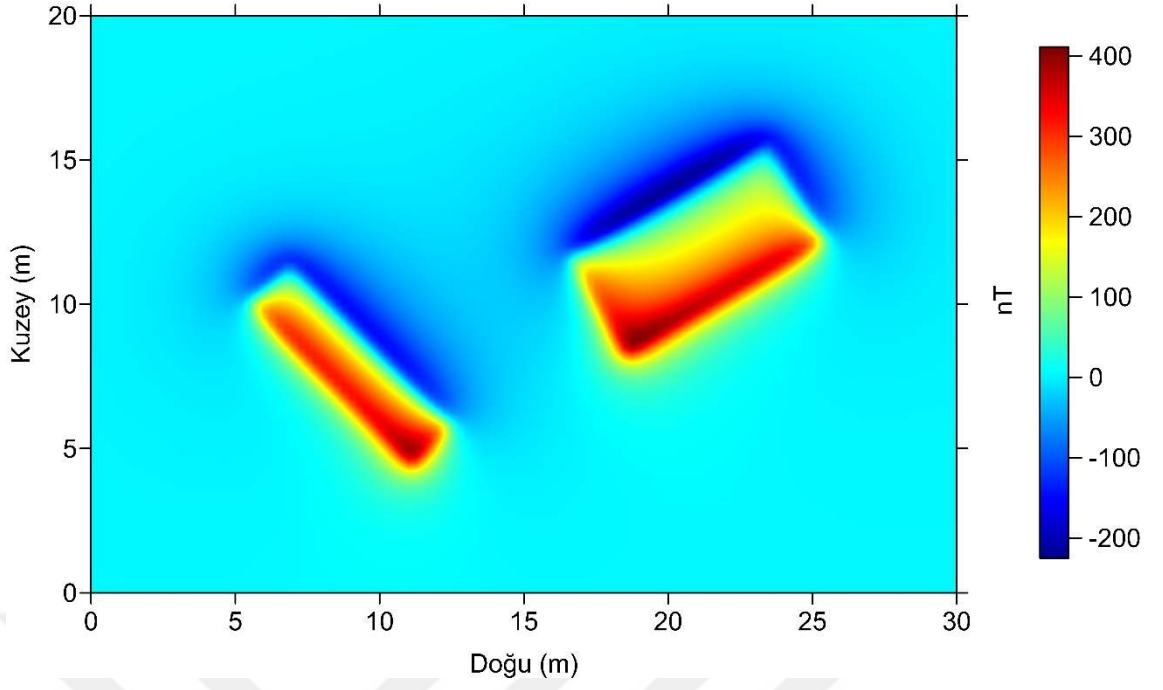
Bu kapsamda matematiksel temelleri önceden detaylı bir şekilde verilen üç boyutlu düz çözüm algoritması yardımıyla kuramsal toplam alan manyetik belirtileri hesaplanmıştır. İşlemlerin gerçekçi olabilmesi bakımından arkeolojik bir alanda oda veya benzeri şekilde mimarı yapıları temsil edebileceği düşünülen birbirinden bağımsız olarak konumlanmış iki farklı kuramsal yapı modeli kullanılmıştır. Bu kuramsal yapılara ait model parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kuramsal çalışmada yapılan hesaplamalar için yer manyetik alanın inklinasyon ve deklinasyon açıları sırasıyla 60 ve 0 derece olacak şekilde alınmıştır. Manyetizasyon vektörünün yer manyetik alan vektörüne paralel olacak şekilde yönlendiği yani yapılara ait kalıntı mıknatıslanma etkisinin bulunmadığı varsayımı yapılmıştır. Ayrıca, toplam manyetik alan değeri 5 nT ve veri örnekleme aralıkları ise 0.25 m olacak şekilde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.1’de kuramsal olarak hesaplanan toplam alan manyetik belirti haritası sunulmuştur. Her iki yapıya ait yüksek genlikli belirtiler şekil üzerinde kolaylıkla görülebilmektedir. Ancak yüksek belirti genliklerinin şekillerinde önceki bölümlerde belirtildiği üzere yer manyetik alanın ve manyetizasyonun inklinasyon ve denklinasyon açılarından kaynaklanan bozukluklar da bulunmaktadır. Manyetik belirti genliklerindeki bu şekilsel bozuklukların giderilebilmesi amacıyla doğrusal bir dönüşüm olan yapay gravite dönüşümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Öncelikle dalga sayısı ortamında gerçekleştirilen bu dönüşümün matematiksel doğasından kaynaklanabilecek olası kenar etkileri giderilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, iki boyutlu dış değer bulma (ekstrapolasyon) tekniği ile üretilen yapay veriler gerçek verinin üst (kuzey) ve sağ (doğu) tarafına kolon bantları olarak eklenmiş ve ardından yapay gravite dönüşüm uygulanmıştır. İşlem sonucunda, eklenen yapay veriler belirti haritasından atılmıştır. Bu aşamadan sonra yönsel türev tabanlı sınır belirleme operatörleri yapay gravite belirtilerine sırasıyla uygulanmıştır. Sınır belirleme operatörlerinin ürettiği belirti haritaları sırasıyla Şekil 3.3-3.10’da sunulmuştur.

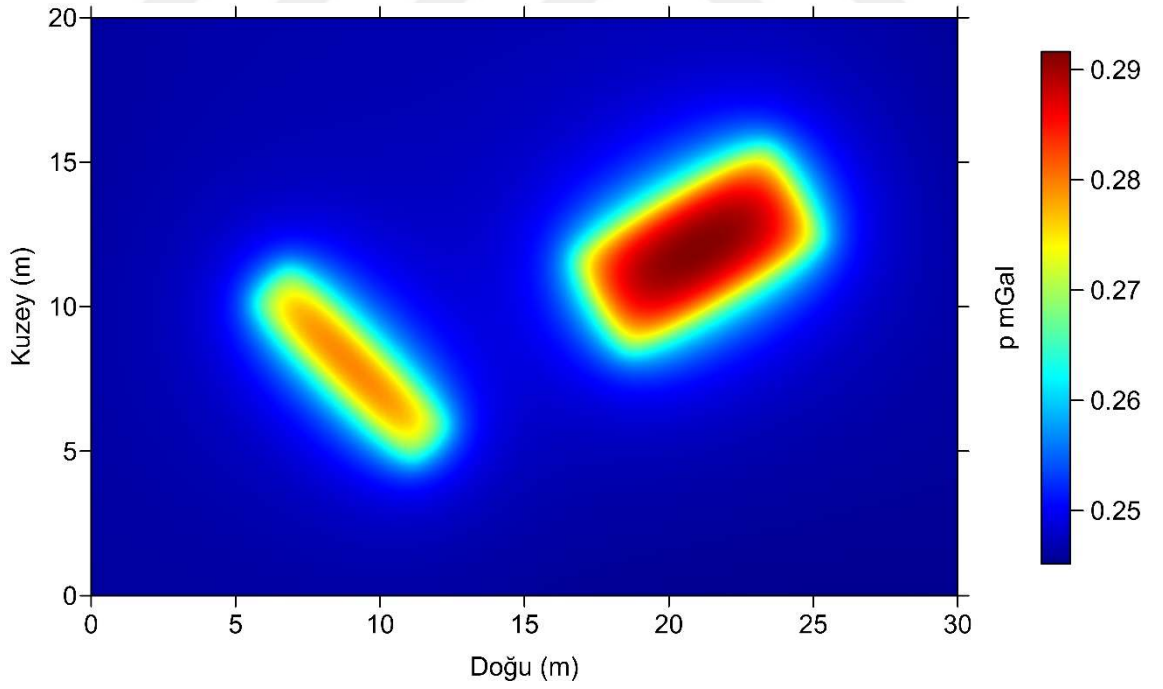
Yapay gravite belirti haritasında daha düşük genlik değerleriyle karakterize edilen ve harita düzleminde daha batıda konumlanmış yapının genliklerinin düşey türev haritasında (Şekil 3.3) biraz daha belirginleştiği görülmektedir. Ayrıca her iki yapıya ait belirtilerin daha keskin geçişler sunduğu belirlenmiştir. Buna karşın gerçek yapı sınırlarında en yüksek genlik değerleri elde edilememiştir. Ancak elde edilen bu belirtilerin Şekil 3.4'te verilen ikinci düşey türev belirtilerinden daha belirgin olduğu kolaylıkla göze çarpmaktadır. Bu sonuçlara göre her iki düşey türev operatöründen de verimli sonuçlar alınamadığı söylenebilir. Şekil 3.5'te ise toplam yatay türev belirti haritası sunulmuştur. Kuramsal yapı sınırlarında en yüksek genlik değerlerinin yapı kenarlarında elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle sınırların başarılı bir şekilde ortaya konduğu belirlenmiştir. Analitik sinyal operatörü (Şekil 3.6) ise düşey türev belirti haritasına oldukça yakın belirtiler üretmiştir ve yapı sınırlarında ani ve keskin geçişler gösteren belirgin genlik değerleri elde edilememiştir. Profil eğimi belirti haritasında ise (Şekil 3.7) kaynak yapı sınırlarının belirgin belirtiler ürettiği görülmüştür. En düşük ve en yüksek genlik değerlerinin sınırları yapı sınırlarını vermektedir. Tilt açısı belirti haritası Şekil 3.8'de verilmiştir. Beklentinin aksine yapı sınırlarında herhangi bir şekilde belirleyici genlik değerleri üretilmemiştir. Yine trigonometrik fonksiyonların kullanıldığı teta açısı operatörü (Şekil 3.9) tilt açısına göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir ve yapı sınırlarında belirleyici olabilecek genlik değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.10'da sunulan normalize edilmiş standart sapma belirti haritasında ise yapı sınırları açık bir şekilde ortaya konmuştur. Ancak yapı sınırları en yüksek genlik değerleriyle temsil edilmemiştir. Bunun sebebi ise grid düzlemi üzerinde yatay ve düşey eksen boyunca kuramsal yapılarla ilgisi olmayan yapay yüksek genlik değerlerinin oluşmuş olmasıdır. Kuramsal modellerle yürütülen bu simülasyon çalışmalarında toplam yatay türev, profil eğimi, teta açısı ve normalize edilmiş standart sapma belirti haritalarında her iki yapıya ait sınırların daha başarılı bir şekilde belirlendiği gözlenmiştir. Bu dört operatör arasında ise en başarılı sonuçların toplam yatay türev operatörü ile elde edildiği ortaya konmuştur.

Çizelge 3.1. Kuramsal modellere ait parametreler

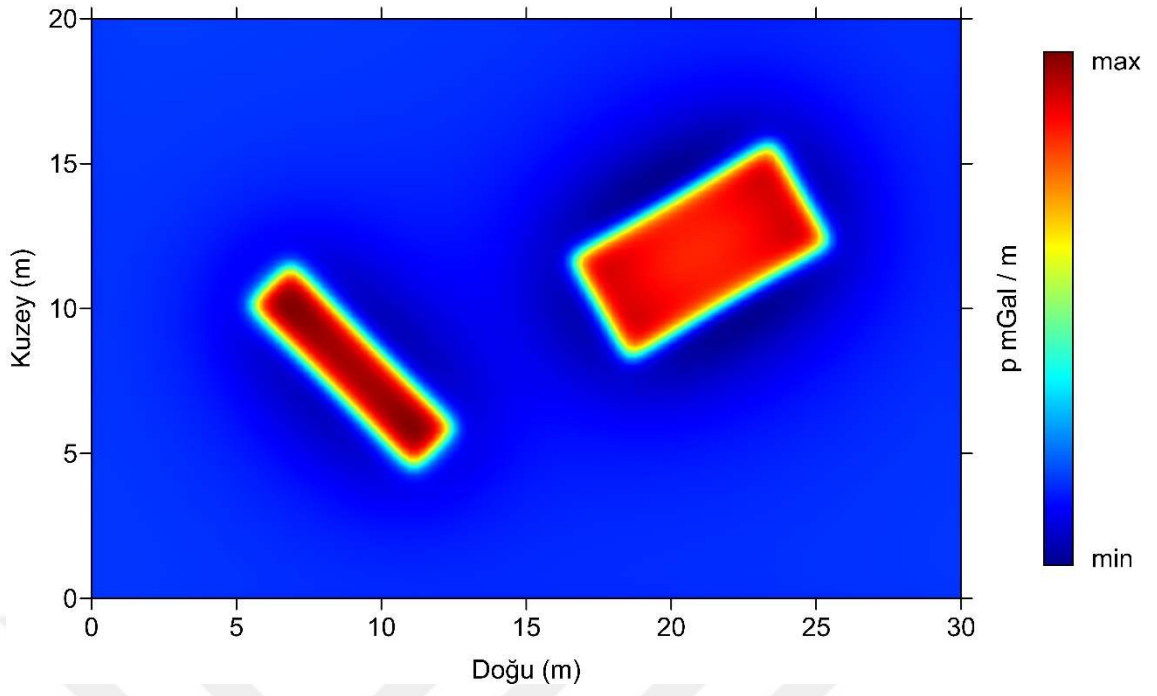
a1 (m)	a2 (m)	b1 (m)	b2 (m)	h1 (m)	h2 (m)	I ₀ (°)	D ₀ (°)	SI	Θ (°)
19	23	8	16	0.3	2	60	0	1	60
8	10	4	12	0.3	2	60	0	1	-45



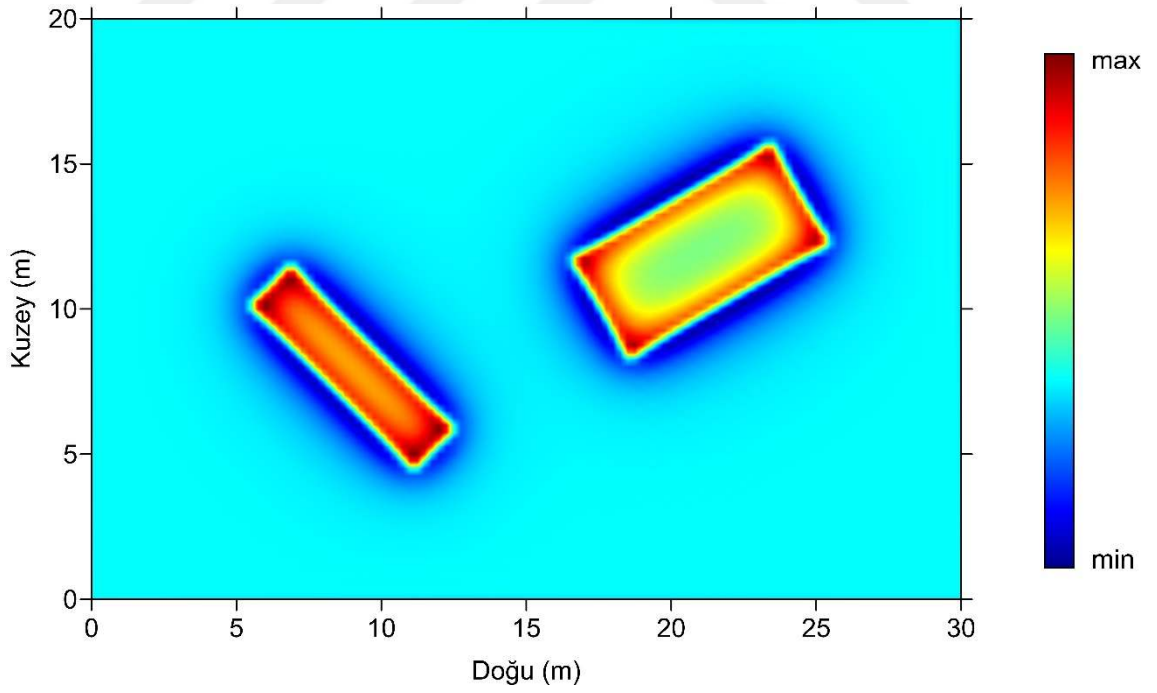
Şekil 3.1. Kuramsal manyetik belirti haritası



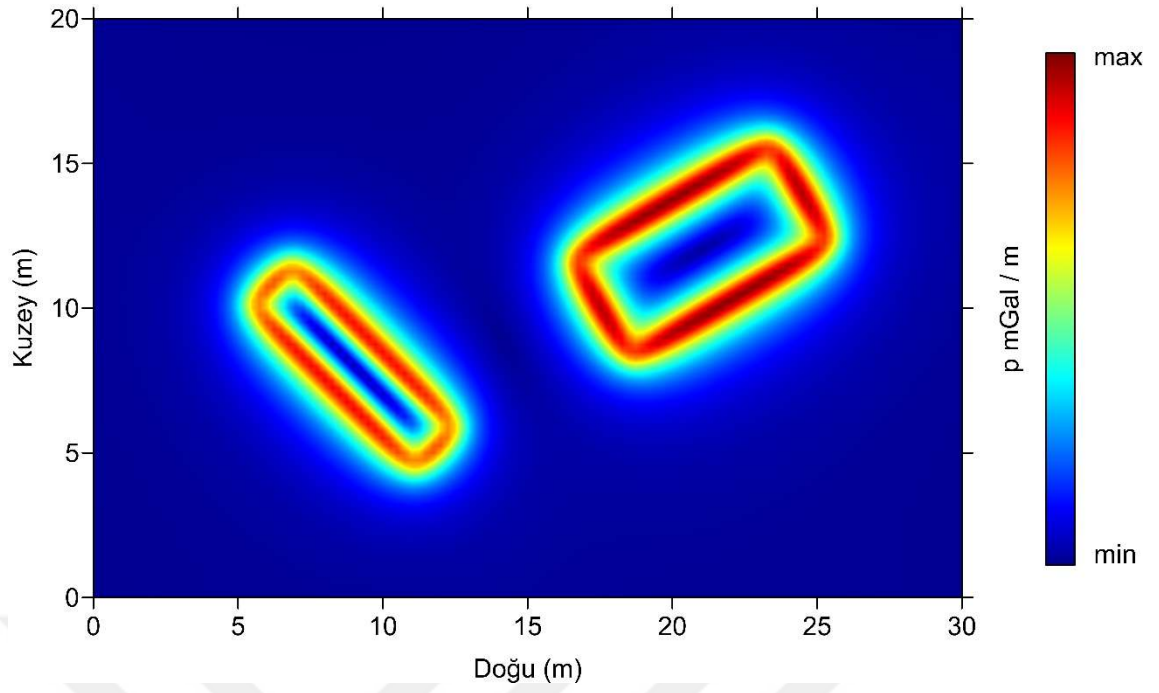
Şekil 3.2. Kuramsal yapay gravite belirti haritası



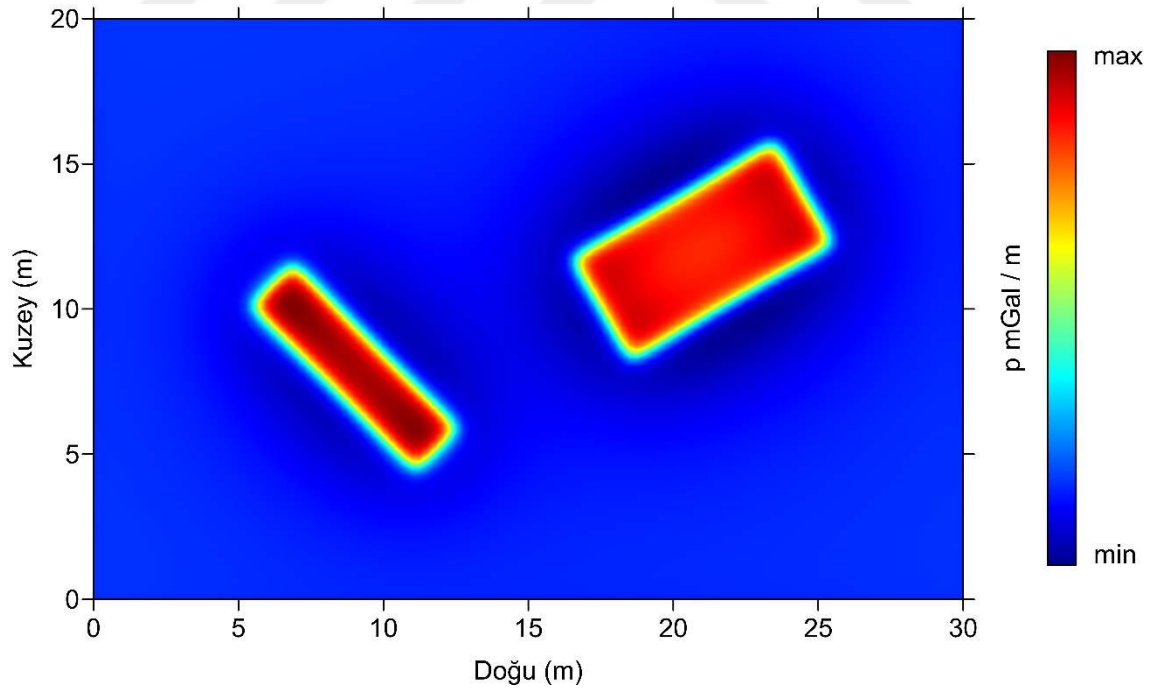
Şekil 3.3. Kuramsal düşey türev belirti haritası



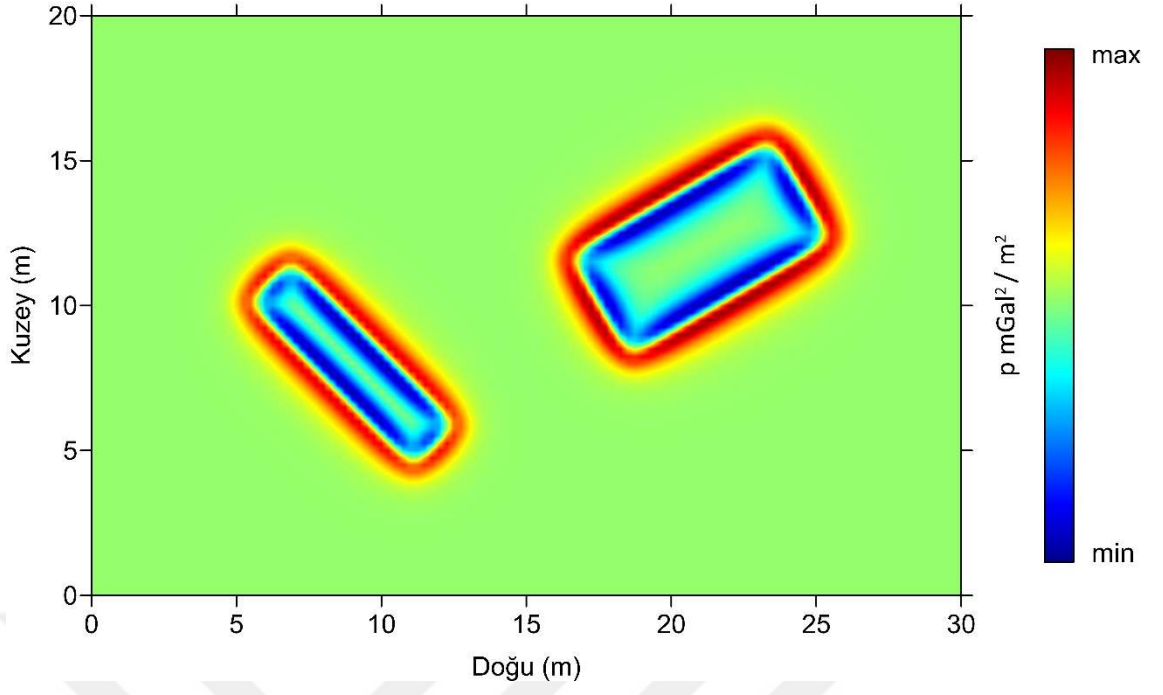
Şekil 3.4. Kuramsal ikinci düşey türev belirti haritası



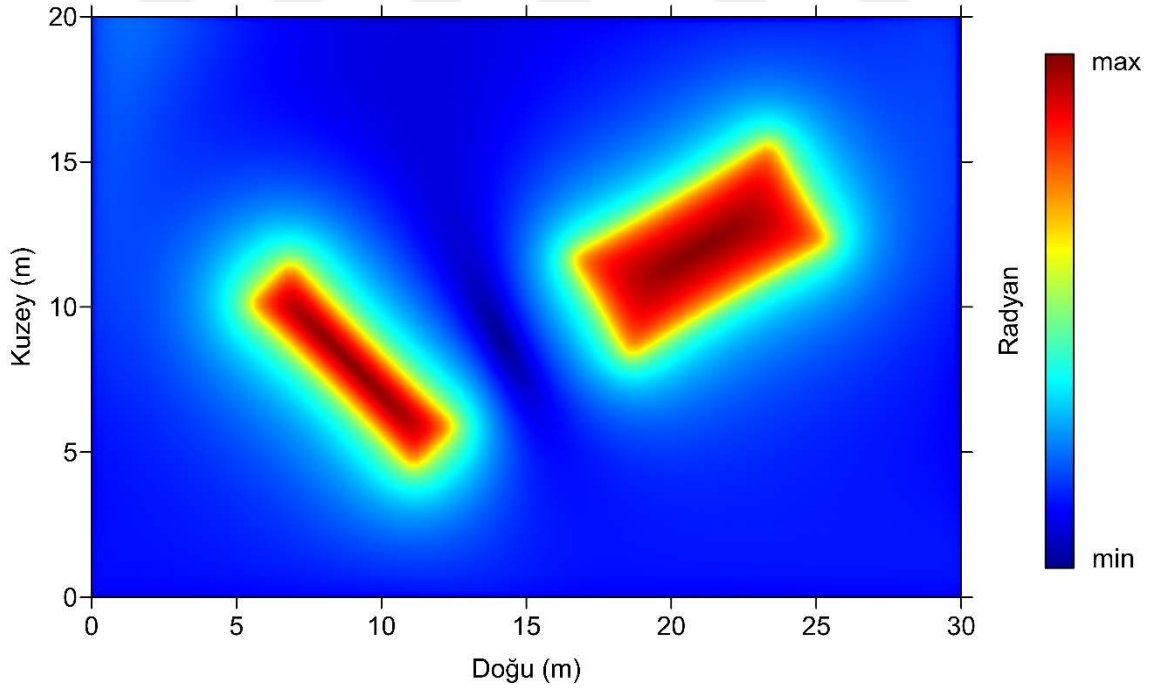
Şekil 3.5. Kuramsal toplam yatay türev belirti haritası



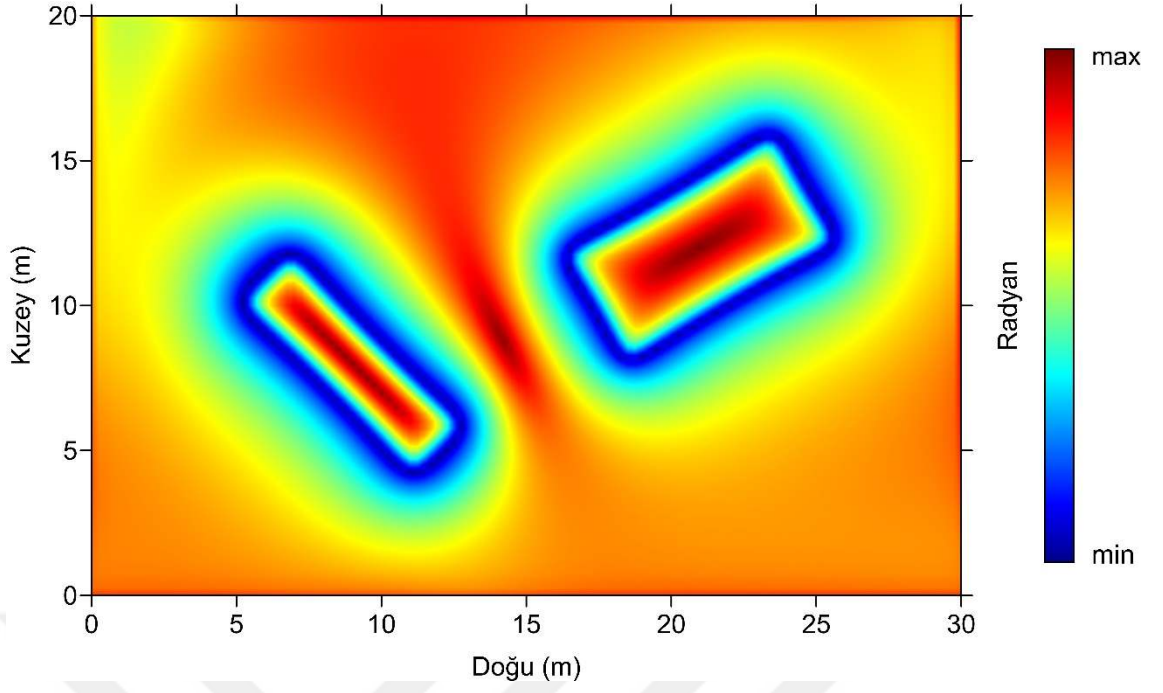
Şekil 3.6. Kuramsal analitik sinyal belirti haritası



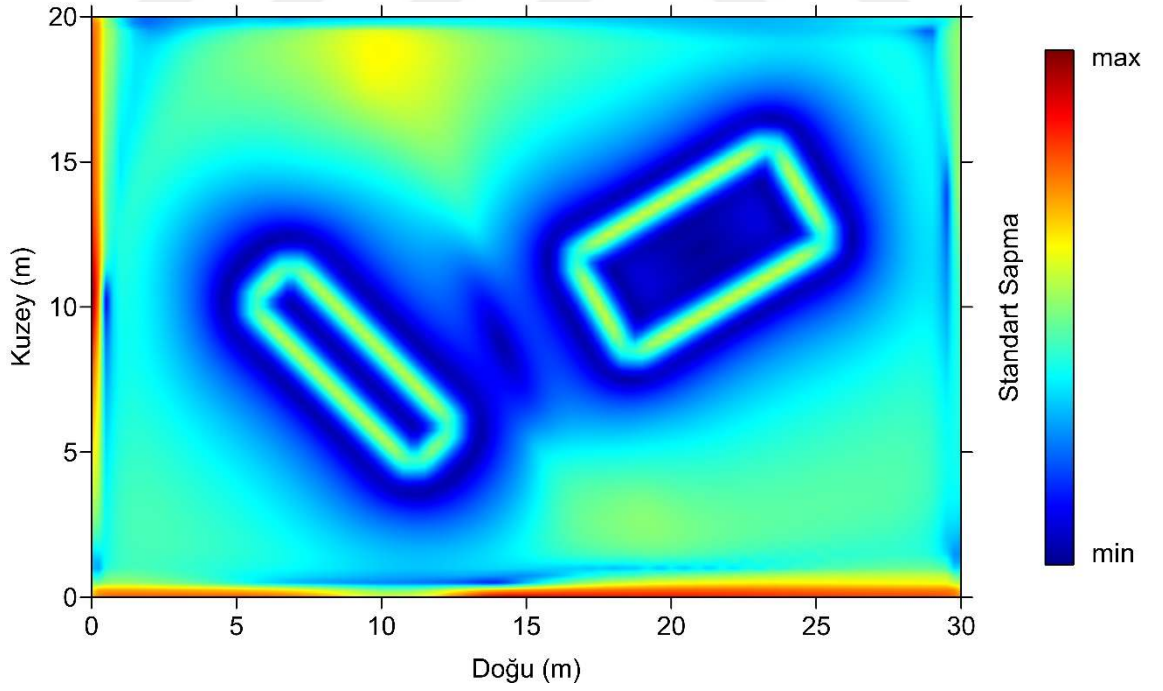
Şekil 3.7. Kuramsal profil eğimi belirti haritası



Şekil 3.8. Kuramsal tilt açısı belirti haritası



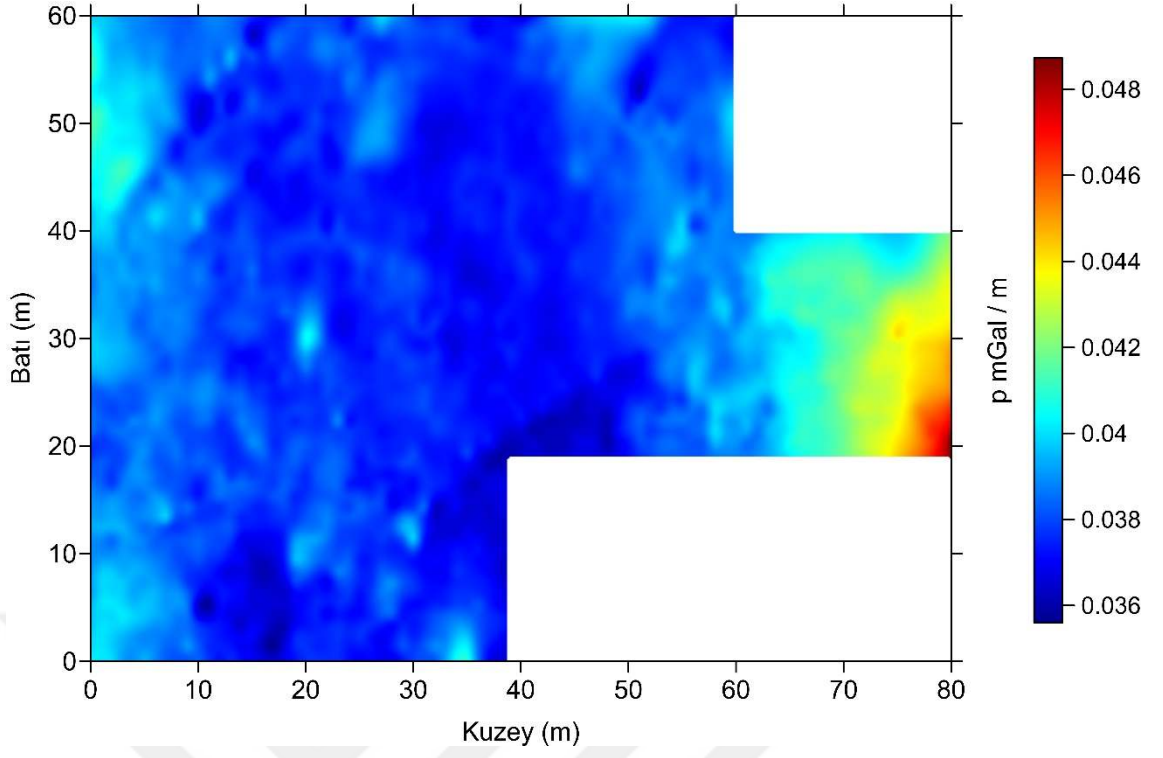
Şekil 3.9. Kuramsal teta açısı belirti haritası



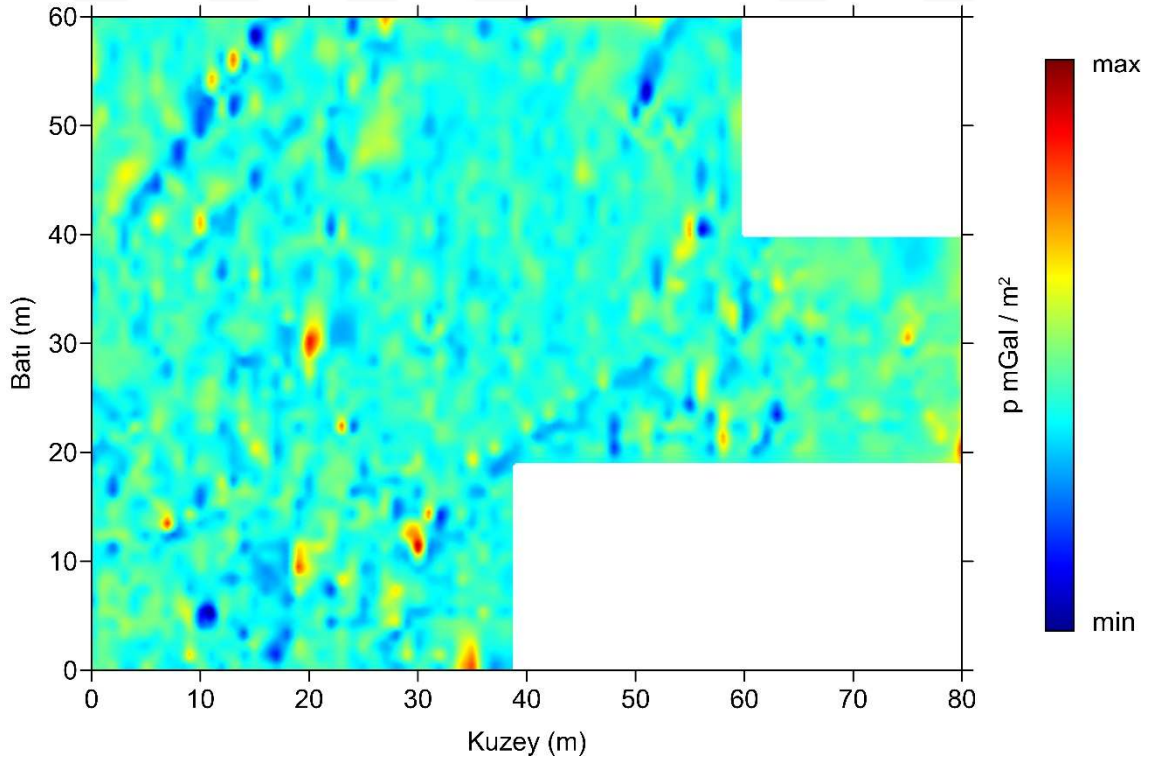
Şekil 3.10. Kuramsal normalize edilmiş standart sapma belirti haritası

3.2. Amorium Antik Kenti Manyetik Belirtileri

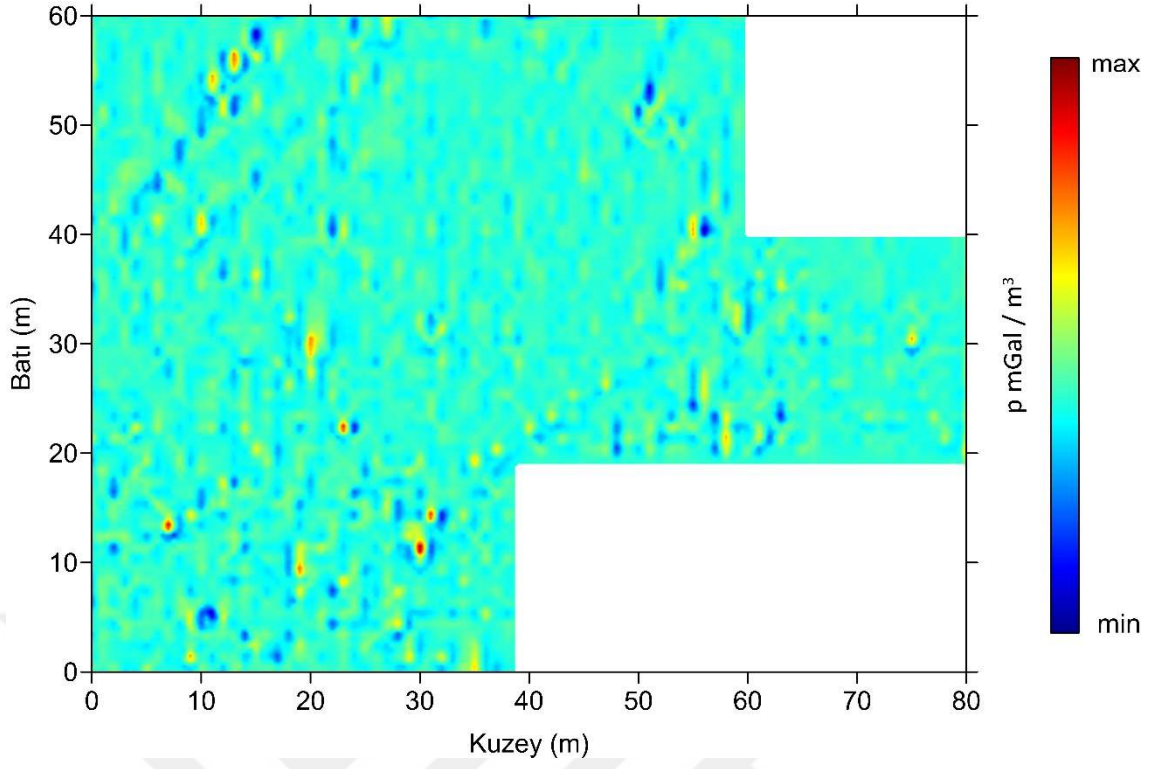
Amorium antik kentinde gradiometre ölçümleriyle gerçekleştirilen arkeomanyetik çalışma sonucunda elde edilen belirti haritası önceki bölümlerde Şekil 2.12’de verilmişti. Anlaşılacağı gibi arazi üzerinde hem bitki örtüsü hem de yığılı yapı malzemelerinin bulunmasından dolayı sözü geçen kısımlarda gerçek belirtileri maskeleyecek gürültü içeriği olabileceği düşüncesiyle ölçü alınmamıştır. Elde edilen ham gradiometre verilerine kuramsal model çalışmasında kullanılan veri işlem basamakları uygulanmıştır. Veri işlem aşamasında, en yüksek belirti genliklerini belirti üzerine çekebilmek için yapay gravite dönüşümü yapılmıştır. Bu dönüşüm işlemi için yer manyetik alanın inklinasyon ve deklinasyon açıları sırasıyla 55 ve 5 derece olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Burada kalıntı mıknatıslanma etkilerinin bulunmadığı ve kaynak manyetizasyon vektörünün yer manyetik alana paralel olarak yönlendiği varsayımı yapılmıştır. Kuramsal çalışma esnasında uygulanan dış değer bulma işlemleri burada da uygulanmış ve yapay veri bantları kullanılarak hızlı Fourier dönüşümü esnasında oluşabilecek kenar etkileri en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Elde edilen yapay gravite belirti haritası Şekil 3.11’de verilmiştir. Gradiometre haritasına göre belirti genliklerinin daha yumuşak geçişler gösterdiği görülebilmektedir. Yukarı analitik uzanım tekniğine benzer bir karakter gösteren yapay gravite dönüşümü ile olası gürültü içeriğinin de bastırıldığı düşünülmüştür. Alanın kuzey kısımlarında gözlemlenen yüksek genlikli belirtilerin önceden de bahsedilen yığılı yapı malzemelerinden kaynaklandığı düşünülmüş ve dikkate alınmamıştır. Bir sonraki aşamada yapay gravite belirtilerine kenar belirleme operatörleri uygulanmıştır. Elde edilen düşey türev, ikinci düşey türev, toplam yatay türev, analitik sinyal, profil eğimi, tilt açısı, teta açısı ve normalize edilmiş standart sapma belirti haritaları sırasıyla Şekil 3.12-3.19’da sunulmuştur. Kuramsal çalışmalarda elde edilen sonuçların aksine normalize edilmiş standart sapma operatörünün anlamlı bir sonuç üretmediği gözlemlenmiştir. Yine benzer şekilde teta ve tilt açıları operatörleri de oldukça başarısız sonuçlar üretmiştir. Düşey türev haritalarında da dikkate değer belirti genliklerine rastlanamamıştır. Analitik sinyal operatörü matematiksel doğası gereği düşey türev haritalarına benzer karakterde belirti genlikleri üretmiştir. Bu operatörlerin aksine toplam yatay türev ve profil eğimi haritalarında bazı belirtilerin genliklerinin daha belirginleştiği gözlenmiş ve en başarılı sonuçların bu operatörlerin kullanımıyla elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu belirti haritaları sonuçlarına göre çalışma alanında gömülü arkeolojik yapı kalıntısı olabilecek lokasyonlar belirlenmiş ve harita düzlemi üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 3.20).



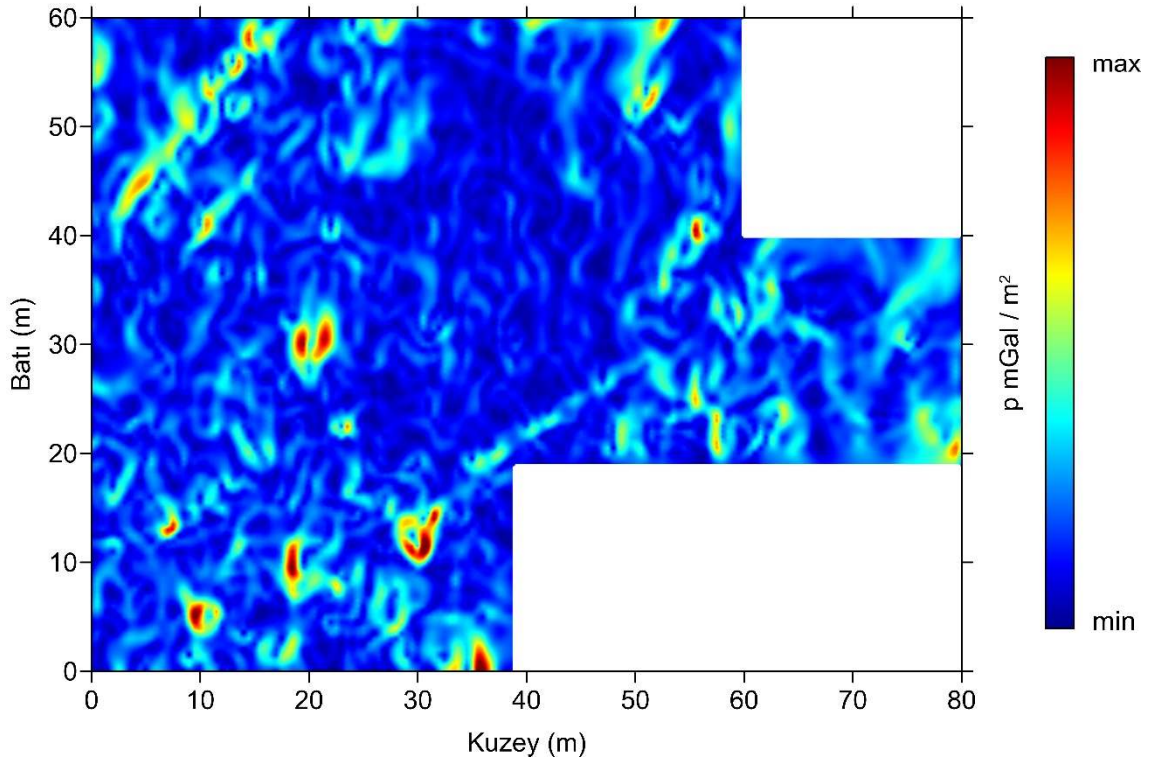
Şekil 3.11. Amorium yapay gravite belirti haritası



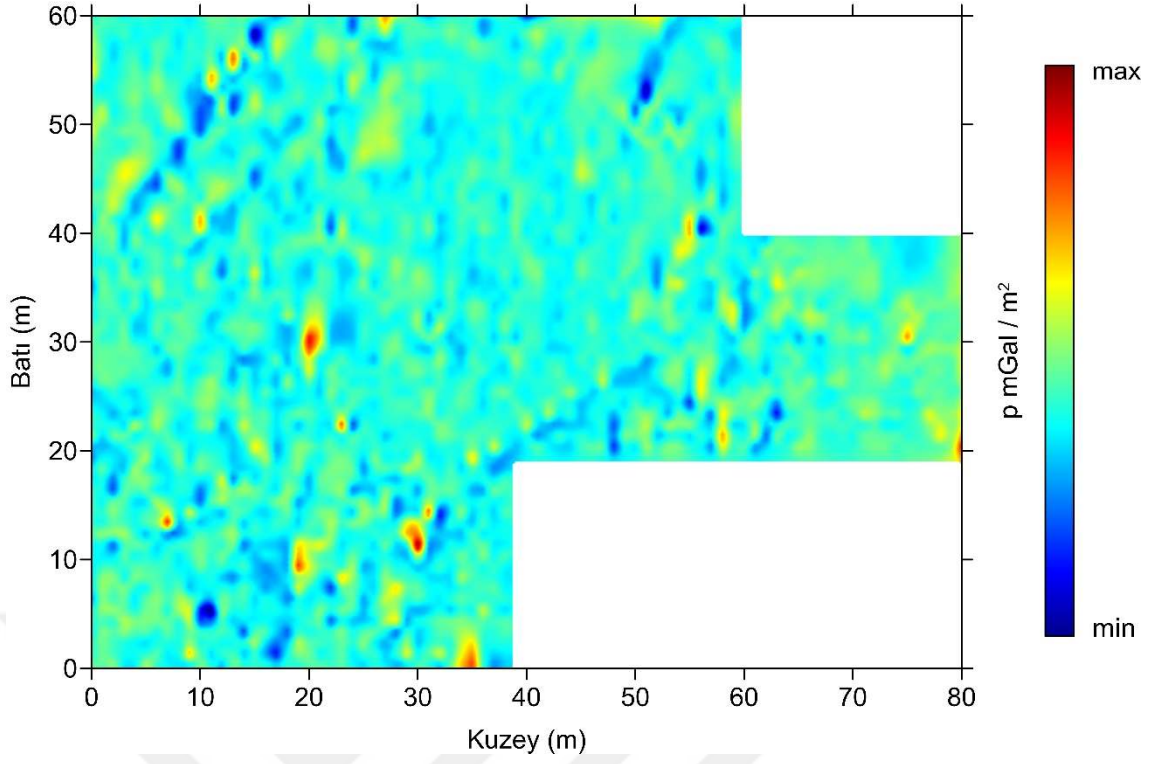
Şekil 3.12. Amorium düşey türev belirti haritası



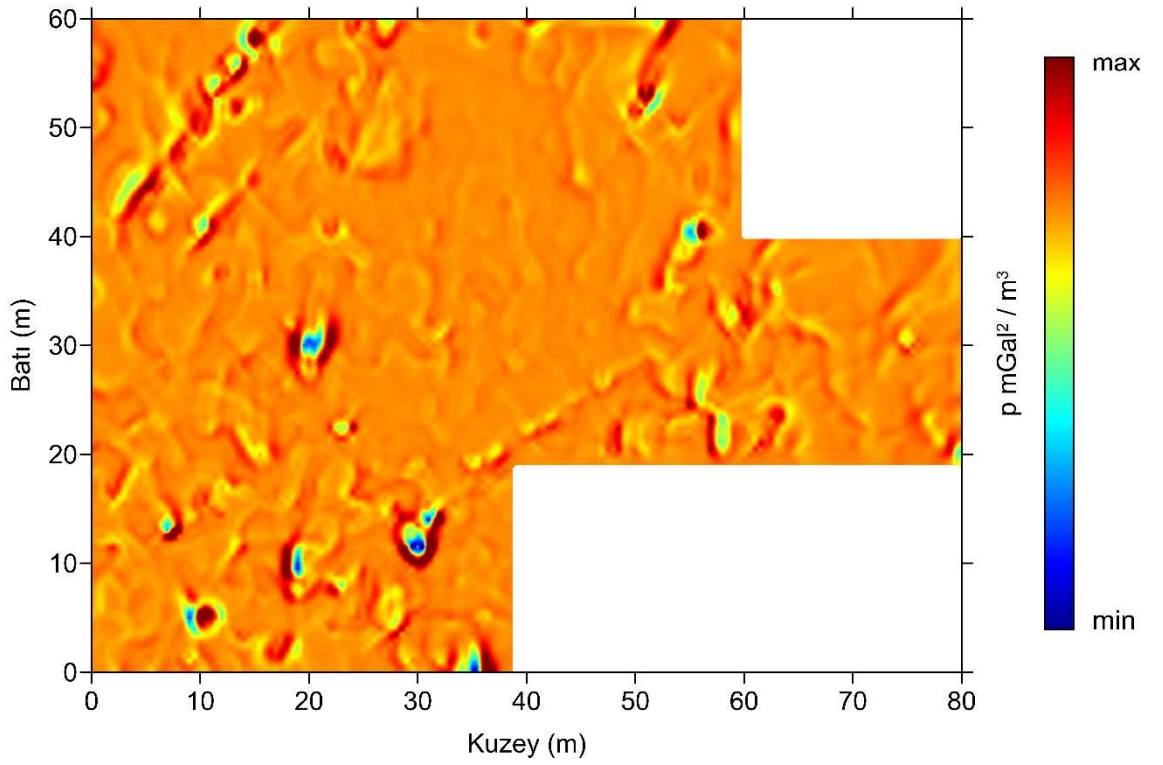
Şekil 3.13. Amorium ikinci düşey türev belirti haritası



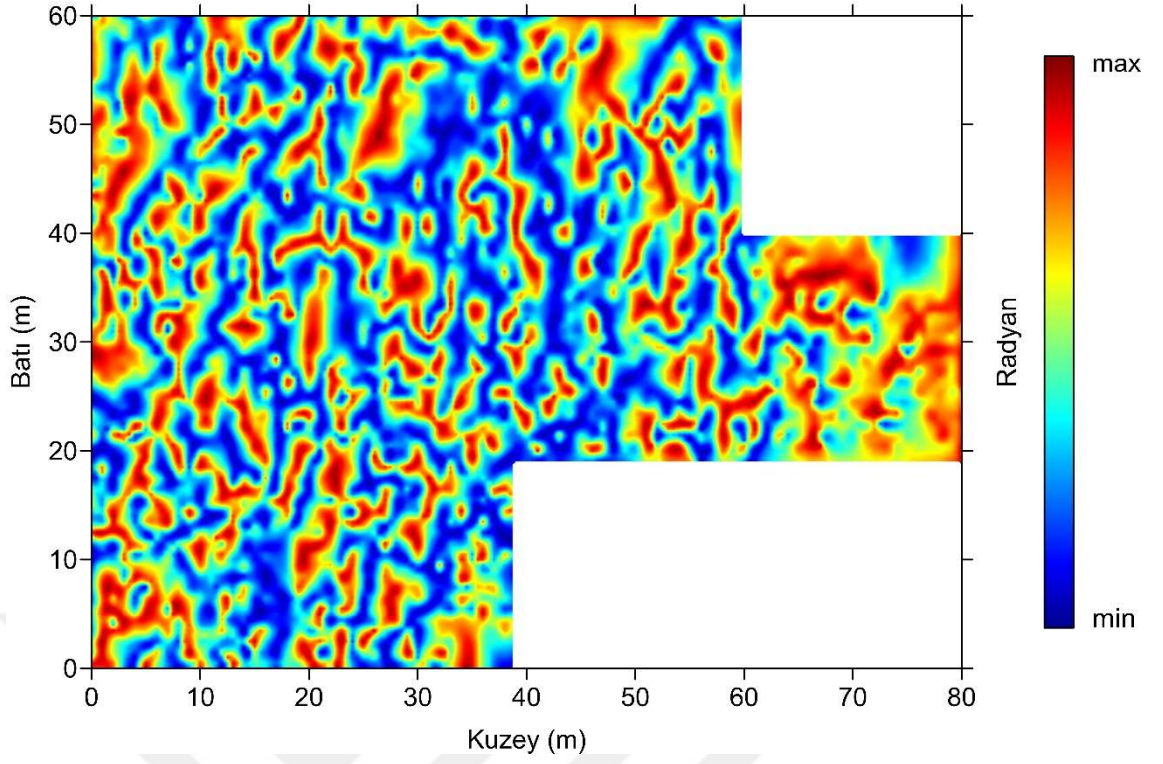
Şekil 3.14. Amorium toplam yatay türev türev belirti haritası



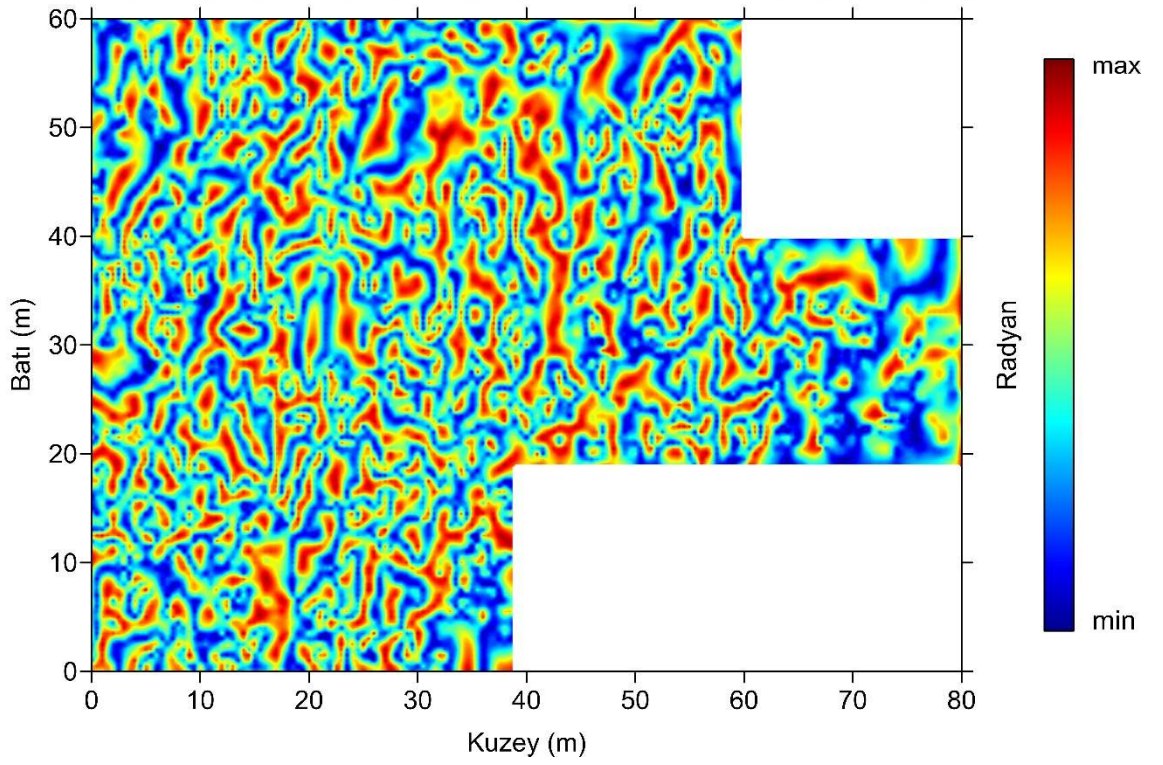
Şekil 3.15. Amorium analitik sinyal belirti haritası



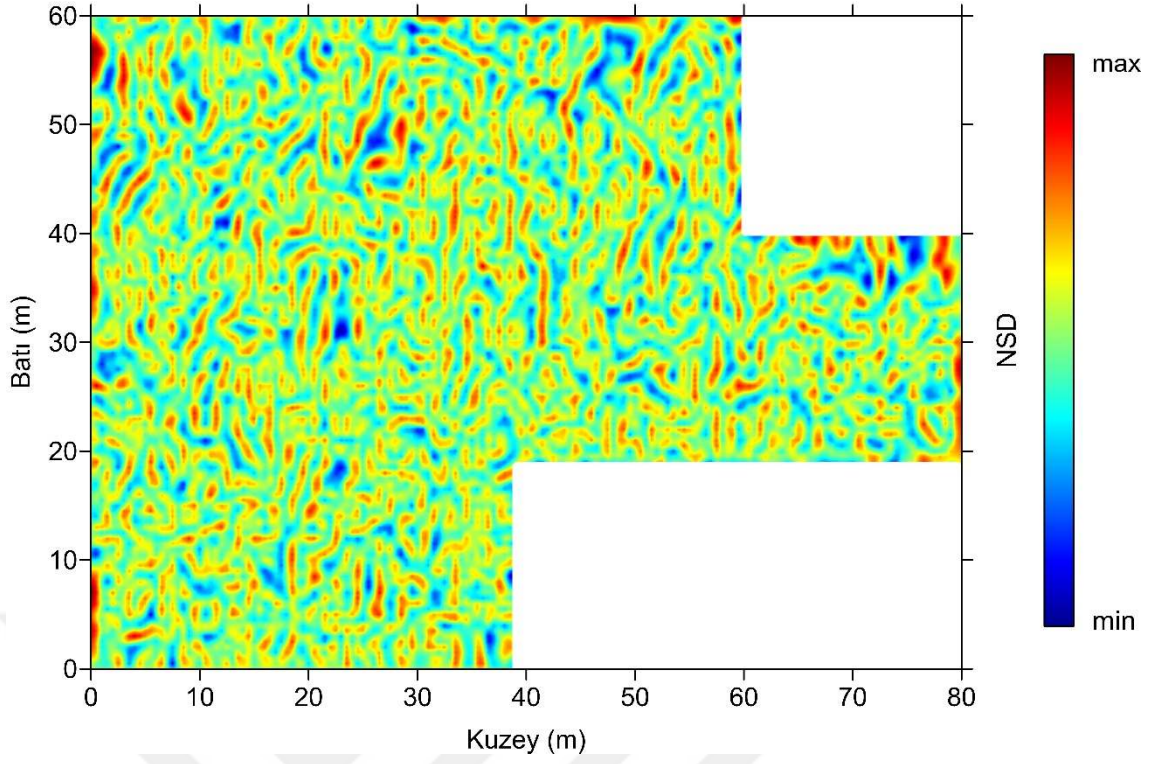
Şekil 3.16. Amorium profil eğimi belirti haritası



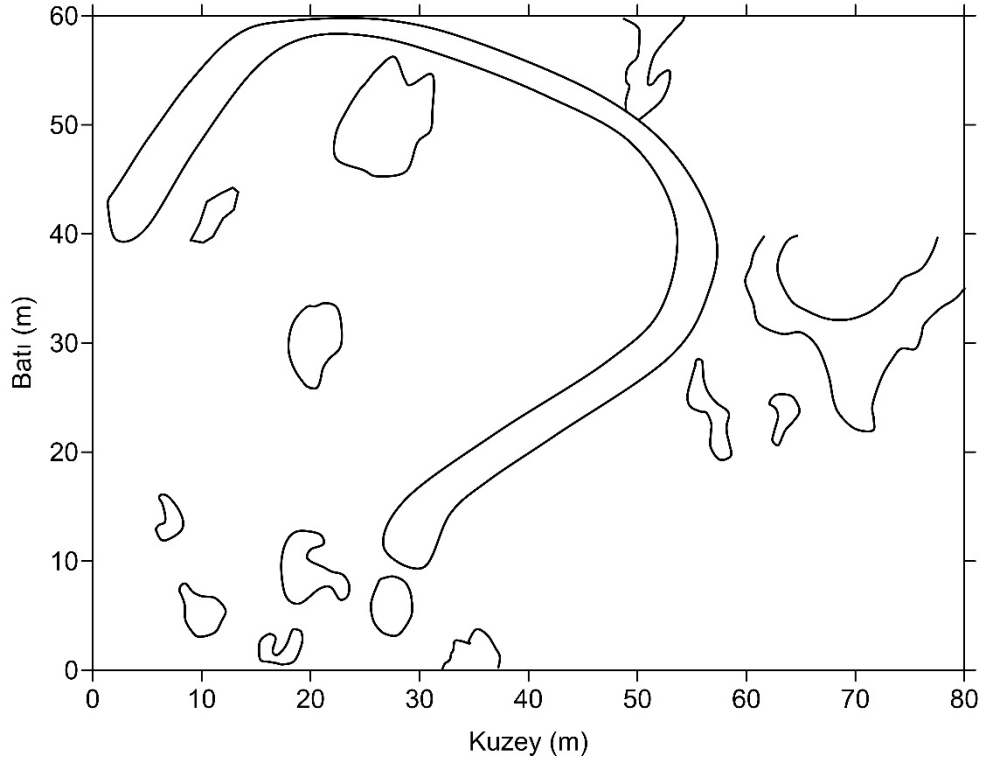
Şekil 3.17. Amorium tilt açısı belirti haritası



Şekil 3.18. Amorium teta açısı belirti haritası



Şekil 3.19. Amorium normalize edilmiş standart sapma belirti haritası



Şekil 3.20. Çalışma alanında arkeolojik kazılar için önerilen lokasyonlar

4. SONUÇLAR

Gömülü arkeolojik kalıntılarının bulunduğu alanlarda uygulamalı jeofizik yöntemlerinin sık bir şekilde kullanılmasının en önemli nedeni bu yöntemlerin gömülü arkeolojik yapı kalıntılarına herhangi bir zarar vermeden uygulanabilmeleridir. Ayrıca jeofizik yöntemlerin bilinçli olarak uygulanmaları durumunda elde edilen sonuçlar, arkeolojik çalışmaları olumlu bir şekilde yönlendirebilmektedir. Bu nedenle, gömülü arkeolojik yapı kalıntılarının yeri, derinliği, kalınlığı ve uzanımı gibi önemli parametreler uygulamalı jeofizik yöntemlerle başarılı bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Bununla birlikte insan gücü gerektiren, zaman ve maliyet giderleri açısından yüksek olan deneme kazıları/sondajları gibi geleneksel yöntemlere nazaran hızlı sonuç veren jeofizik uygulamalarla yeraltına ait iki veya üç boyutlu görüntü haritaları kolaylıkla üretilmekte ve böylece hem ekonomik anlamda hem de harcanan zaman anlamında kazançlar elde edilebilmektedir. Özellikle son yirmi yılda teknolojik ilerlemelere bağlı olarak geliştirilen jeofizik ölçüm alma sistemleri, kapsamlı veri işlem ve modelleme algoritmaları ve de yüksek kapasiteye sahip bilgisayarlar daha güvenilir yeraltı görüntülerinin ortaya çıkarılabilmesine olanak sağlamıştır. Uygulama kolaylığı ve çözüm gücü bakımından arkeolojik alanlarda en sık kullanılan uygulamalı jeofizik yöntemler ise yerradarı, manyetik ve elektrik öz direnç yöntemleridir. Bu yöntemler ve oldukça etkili veri işlem teknikleri yardımıyla hem dünya genelinde hem de ülkemiz sınırları içerisinde başarılı bir şekilde sonuçlandırılmış birçok arkeojeofizik araştırma bilimsel çalışmaya dönüştürülmüş ve literatürdeki yerini almıştır. Bilindiği üzere dünyamız üzerinde bulunan höyük ve tümülüsler gibi arkeolojik alanların büyük bir çoğunluğu birçok medeniyete ve uygarlığa ev sahipliği yapmış ülkemiz coğrafyasında bulunmaktadır. Bu zenginliğinden dolayı ülkemiz adeta bir açık hava arkeoloji müzesini andırmaktadır. Ülkemizde, günümüze kadar ayakta kalmayı başarmış veya detaylı çalışmalarla gün yüzüne çıkarılmış arkeolojik yapı/eser miktarı kadar, hâlen yeraltında bulunan ve varlıklarından henüz haberdar olmadığımız birçok arkeolojik yapı kalıntısının bulunduğu düşünülmektedir. Bu nedenle ülkemizin dört bir tarafında yeni arkeolojik kazı çalışmaları başlatılmış ve yukarıda değinilen avantajlarından dolayı arkeojeofizik araştırmaların da önemi oldukça artmıştır. Eski kuşaklar tarafından yapılmış ve aynı zamanda evrensel değerler taşıyan bu kültürel mirasımızın ortaya çıkarılması konusunda jeofizik bilimine ve dolayısıyla arkeojeofizik araştırmalara büyük bir iş ve sorumluluk düşmektedir. Yapılan arkeojeofizik uygulamalardan en iyi sonucu alabilmek için çalışma alanına en uygun jeofizik yöntemin ve de uygulanacak veri işlem tekniklerinin belirlenmesi gerekmektedir. En iyi yöntem seçiminin başarısı gömülü arkeolojik yapı kalıntısı ve onun etrafını saran jeolojik ortamın özelliklerinin iyi bilinmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu amaçla, çalışma gerçekleştirilecek alanda

önceden gün yüzüne çıkarılmış arkeolojik yapı kalıntılarının fiziksel özellikleri hakkındaki bilgilere arkeologlar aracılığıyla erişilebilir. Ayrıca, alanda deneme ölçümleri de yapmak yöntem tercihi konusunda iyi bir fikir verebilmektedir. Burada unutulmaması ise jeofizik yöntemlerinin başarılı olabilmesi için gömülü yapı kalıntısı ve onun etrafını saran jeolojik ortam arasında jeofiziksel olarak ölçülebilir bir farklılık/zıtlık (örn. dielektrik sabiti, mıknatıslanma şiddeti, görünür öz direnç) bulunmasının gerektiğidir. En uygun veri işlem tekniğinin belirlenebilmesindeki başarı ise çalışmayı gerçekleştiren jeofizik mühendisinin tecrübesi ve aynı zamanda sahip olduğu teorik bilgisiyle ilişkili olduğu söylenebilir. Araştırma alanına hâkim arkeologlardan alınacak ön bilgiler yardımıyla kapsamlı bir şekilde gerçekleştirilebilecek kuramsal jeofizik çalışmalar en uygun veri işlem tekniğinin veya tekniklerinin seçiminde oldukça yararlı olabilecek bilgiler sunacaktır. Yukarıda değinilen konulara örnek olabilmesi bakımından bu yüksek lisans tezi çalışmasında hem teorik olarak gerçekleştirilen çalışmalara hem de gerçek arazi verisi uygulamalarına yer verilmiştir. Çalışmada gömülü arkeolojik yapı kalıntılarının belirlenebilmesinde en sık kullanılan jeofizik yöntemlerden biri olan manyetik yöntem ve sık kullanılan bazı veri işlem teknikleri üzerinde durulmuştur. Potansiyel alan yöntemlerinin matematiksel doğasının uygunluğu gereği birçok veri işlem tekniği ölçülen veri setlerine kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu teknikler arasında önemli bir yere sahip olan yönsel türev tabanlı (her iki yatay yön ve düşey yön) kenar/sınır belirleme operatörleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda düşey türev, ikinci düşey türev, toplam yatay türev, analitik sinyal, profil eğimi, tilt açısı, teta açısı ve normalize edilmiş standart sapma operatörlerinin olumlu ve olumsuz yönleri hem kuramsal modellerden elde edilen teorik veriler üzerinde hem de gerçek arazi verileri üzerinde sınanmıştır. Gerçek arazi verileri için Afyon ilinin Emirdağ ilçesinde bulunan Amorium antik kentinin (günümüz adıyla Hisarköy) bir kısmında (Aşağı şehirde bulunan büyük bina yakınlarında) elde edilen manyetik gradient verileri kullanılmıştır. Kuramsal çalışmalarda ise birbirinden bağımsız temsili iki yapı modeli kullanılmıştır. Yapı modellerinin derinlikleri, kalınlıkları ve geometrileri gibi parametreler arkeolojik yapı kalıntılarına uygun olabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu modellerin yeryüzünde oluşturacağı teorik toplam alan manyetik belirtiler üç boyutlu düz çözüm algoritması yardımıyla elde edilmiştir. Hesaplanan bu kuramsal manyetik verilere sözü geçen sınır/kenar belirleme operatörleri uygulanmıştır. Toplam yatay türev, profil eğimi, normalize edilmiş standart sapma ve teta açısı operatörlerinin ürettiği belirti haritalarında her iki kuramsal yapıya ait yatay sınırların diğerlerine oranla daha başarılı bir şekilde belirlenebildiği gözlenmiştir. Model yapı sınırlarının başarılı bir şekilde belirlenebilmesine rağmen normalize edilmiş standart sapma belirti haritası kenarlarında muhtemelen algoritmanın doğası gereği bazı istenmeyen etkiler (gürültü) oluşmuştur. Bu nedenle gürültü içeriğinin yüksek

olabileceği alanlarda bu yapay etkilerin çok daha fazla oluşabileceğın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu dört operatör arasında ise en başarılı sonuçların toplam yatay türev operatörü ile elde edildiğı belirlenmiştir. Beklentilerin aksine analitik sinyal, birinci ve ikinci düşey türev ve tilt açısı operatörleri kullanılan veri setinde gürültü içeriğı olmamasına rağmen model yapı sınırlarını başarılı bir şekilde belirleyememiştir.

Amorium antik kentinde toplanan gradiometrik manyetik alan verileriyle gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda ise toplam yatay türev ve profil eğimi tekniklerinin diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar ürettiğı gözlenmiştir. Düşey türev, ikinci düşey türev ve analitik sinyal haritalarında bariz olmamakla birlikte bazı yüksek genlik değerleri elde edilmiştir. Buna karşın, trigonometrik fonksiyonları kullanan operatörler anlamlı belirtiler üretememiş ve belirti haritalarında istenmeyen etkiler belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Bunun sebebi ise kullanılan ikinci dereceden türevlerin gürültü genliklerini oldukça artırmaları olabilir. Diğer taraftan, normalize edilmiş standart sapma operatörü yüksek dereceden türev kullanmamasına rağmen oldukça gürültülü bir belirti haritası üretmiştir. Bu nedenle etkili bir sınır/kenar belirleme operatörü olmadığı sonucuna varılmıştır. İkinci dereceden türev bilgilerini daha fazla bir şekilde kullanan profil eğimi operatörü ise gürültü genliklerini trigonometrik operatörler kadar yükseltmemiştir. Bu nedenle başarılı bir sınır belirleme tekniğı olduğu söylenebilir. Bütün sonuçlar ele alındığında sadece birinci dereceden yatay türev bilgilerini (hem kuzey hem de doğu yönünde) kullanan toplam yatay türev tekniğinin en başarılı yapı sınırı belirleme operatörü olduğu kolaylıkla söylenebilir. Burada çıkarılan sonuçlardan birisi de herhangi bir dereceden düşey türev bilgisini kullanmayan bu toplam yatay türev ve profil eğimi operatörlerinin gürültü içeriğine daha duyarsız bir karakter sergilemiş olmalarıdır. Bu nedenle bu çalışmada değinilen diğer tüm operatörlerin hesaplanması aşamasında kullanılan düşey türev işleminin belirti genliklerinde istenmeyen etkilerin oluşabilmesine neden olduğu belirlenmiştir. Gürültü içeriğı olabilecek ya da düzensiz genlik geçişlerinin belirgin olduğu potansiyel alan veri setleriyle yapılan çalışmalarda sınır belirleme işlemleri için düşey türev işlemlerinin kullanılmaması önerilmektedir. Diğer taraftan literatürde daha birçok sınır belirleme tekniğı bulunduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle bu çalışmada kullanılmayan operatörlerinde gerçekleştirilecek araştırmalarda göz önüne alınıp deneme çalışmalarının yapılması önerilmektedir. Bu çalışmanın diğer bir sonucunda ise toplam yatay türev ve profil eğim haritalarında düzgün bir geometri sunan yüksek genlikli belirtilerin gömülü arkeolojik yapı kalıntılarına ait olabileceğı düşünülmektedir. Bu lokasyonlar üretilen bir harita düzlemi üzerinde işaretlenmiştir ve bu harita dikkate alınarak arkeolojik kazı çalışmalarının gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Akça İ, Gündoğdu NY, 2010. Samsun-Baruthane Tümülslerinin Doğru Akım Özdirenc Yöntemi ile İncelenmesi. *Yerbilimleri*, 31 (3): 205–215.
- Akça İ, Balkaya Ç, Pülz A, Alanyalı HS, Kaya MA, 2019. Integrated Geophysical Investigations to Reconstruct the Archaeological Features in the Episcopal District of Side (Antalya, Southern Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 163: 22–30.
- Akçığ Z, Pınar R, 1994. Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No. 249, İzmir.
- Alpaslan N, 2011. Arkeolojik Aramalarda Manyetik Modelleme ve Veri İşlem Yorumlaması. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Altunkaynak Ö, 2005. Elektrik Özdirenc ve Manyetik Yöntemler ile Arkeolojik Yapıların Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Aspinall A, Lyman JT, 1968. Induced Polarization as a Technique for Archaeological Surveying. *Prospection Archaeology*, 3: 91–93.
- Ateş A, 1995. Gravite ve Manyetik Yöntemler Ders Notu ve Uygulamaları. Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Döner Sermaye İşletmesi Yayınları. No: 22, Ankara.
- Atkinson RJC, 1952. Methodes Electriques de Prospection en Arceologie, A. Lamining (Ed.), *La Dècouverte du Passè*, Picard, 59–70.
- Balkaya Ç, Kalyoncuoğlu ÜY, Özhanlı M, Merter G, Çakmak O, Güven İT, 2018. Ground Penetrating Radar and Electrical Resistivity Tomography Studies in the Biblical Pisidian Antioch City, Southwest Anatolia. *Archaeological Prospection*, 25: 285–300.
- Baranov V, 1957. A New Method for Interpretation of Aeromagnetic Maps: Pseudo-Gravimetric Anomalies. *Geophysics*, 22: 359–383.
- Blakely RJ, Simpson RW, 1986. Approximating Edge of Source Bodies from Magnetic or Gravity Anomalies. *Geophysics*, 51: 1494–1498.
- Blakely RJ, 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Pres.
- Blumentritt CH, Marfurt KJ, Sullivan EC, 2006. Volume-Based Curvature Computations Illuminate Fracture Orientations-Early to Mid-Paleozoic, Central Basin Platform, West Texas. *Geophysics*, 71: B159–B166.

- Büyüksaraç A, Arısoy MÖ, Bektaş Ö, Koçak Ö, and Çay T, 2008. Determination of Grave Locations in Dedemezari Necropolis (Western Turkey) Using Magnetic Field Derivatives. *Archaeological Prospection*, 15, 267–283.
- Büyüksaraç A, Yalçiner CÇ, Ekinci YL, Demirci A, Yücel MA, 2014. Geophysical Investigations at Agadere Cemetery, Gallipoli Peninsular, NW Turkey. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 46 (1): 111–123.
- Candansayar ME, 2013. Arkeoloji Jeofiziği, *Jeofizik Bülteni*, 6–9.
- Carabelli E, 1966. A New Tool for Archaeological Prospection–The Sonic Spectroscope for Dedection of Cavities. *Prospection Archaeology*, 21: 25–35.
- Carnahan B, Luther HA, Wilkes JO, 1969. *Applied Numerical Methods*, New York, Wiley.
- Carson HH, 1962. A Seismic Survey at Harpers Ferry. *Archaeometry*, 5: 119–122.
- Cooper GRJ, Cowan DR, 2008. Edge Enhancement of Potential-Field Data Using Normalized Statistics. *Geophysics*, 73 (3): H1–H4.
- Cooper GRJ, 2009. Balancing Images of Potential-field Data. *Geophysics*, 74 (3): L17–L20.
- Cordell L, Grauch VJS, 1985. Mapping Basement Magnetization Zones from Aeromagnetic Data in The San Juan Basin, New Mexico, In Hinze, W.J., ed., *The utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps: Soc. Exploration Geophysics*, Tulsa, Oklahoma, 181–197.
- Corwin RF, 1973. *Offshore Applications of Self–Potential Prospecting*, Ph. D. Dissertation, Uni. of California, Berkeley.
- Drahor MG, 1991. Arkeolojik Alanlarda Jeofiziksel Prospeksiyonun Önemi. 9. Araştırma Sonuçları Toplantısı, 235-250, 27–31, Çanakkale.
- Drahor MG, Kaya MA, 2000. A Large Scala Geophysical Prospection in the Acemhöyük, the Site of the Assyrian Trade Colony Period. *Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi*, 3: 85–107.
- Drahor MG, 2007. Arkeolojik Alan İncelemelerinde Elektrik Özdirenç Prospeksiyonu. *Arkeoloji ve Sanat*, 124: 115–140.
- Ekinci YL, 2005. Amorium Antik Kenti’nin Manyetik Yöntem ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale
- Ekinci YL, Kaya MA, 2006. Manyetik Verilerde Sınır Analizi Yöntemi Kullanılarak Gömülü Arkeolojik Yapı Sınırlarının Tanımlanması. *Yerbilimleri*, 27 (2): 97–107.
- Ekinci YL, 2010. A Matlab-Based Interactive Data Processing and Interpretation Software Package for Gravity and Magnetic Anomalies: GMINTERP. The 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey.

- Ekinci YL, Kaya MA, Başaran C, Kasapoğlu H, Demirci A, Durgut C, 2012. Geophysical Imaging Survey in the South Necropolis at the Ancient City of Parion (Kemer - Biga), Northwestern Anatolia, Turkey: Preliminary Results. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 12 (2): 145–157.
- Ekinci YL, Yiğitbaş E, 2012. A Geophysical Approach to the Igneous Rocks in the Biga Peninsula (NW Turkey) Based on Airborne Magnetic Anomalies: Geological Implications. *Geodinamica Acta*, 25: 267–285.
- Ekinci YL, Ertekin C, Yiğitbaş E, 2013. On the effectiveness of Directional Derivative Based Filters on Gravity Anomalies for Source Edge Approximation: Synthetic Simulations and a Case Study from the Aegean Graben System (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Geophysics and Engineering*, 10(3): 035005.
- Ekinci YL, Balkaya Ç, Şeren A, Kaya MA, Lightfoot CS, 2014. Geomagnetic and Geoelectrical Prospection for Buried Archaeological Remains on the Upper City of Amorium, a Byzantine City in Midwestern Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11(1): 015012.
- Ekinci YL, Yiğitbaş E, 2015. Interpretation of Gravity Anomalies to Delineate Some Structural Features of Biga and Gelibolu Peninsulas, and Their Surroundings (North-West Turkey). *Geodinamica Acta*, 27: 300–319.
- El-Qady G, Metwaly M, Drahor MG, 2018. Geophysical Techniques Applied in Archaeology. *Archaeogeophysics: State of the Art and Case Studies*. (eds: El-Qady G, Metwaly M). Springer International Publishing.
- Ercan A, Temizsöz İ, 1998. 10 x 10 Metrelik Birim Kazı Peteğinde, Jeofiziğin Arkeolojik Kazıya Kılavuzluğu: Hitit İmparatorluğu Dönemi, Külhöyük, Ankara. *Jeofizik*, 12: 35–51.
- Ercan A, 1999. Eğmir Helenistik (Lidya) Dönemi Yatırında (Tümölüs) Arkeojeofizik Araştırmalar Denizli-Türkiye. *Jeofizik*, 13: 31–49.
- Ergüder İ, Babayiğit E, Korkmaz SA, 2013. Muğla Letoon Antik Kenti Özdirenç Uygulamaları. *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Jeofizik Bülteni*, 57–64.
- Gibson TH, 1986. Magnetic Prospection on Prehistoric Sites in Western Canada. *Geophysics*, 51: 553–560.
- Gill MAV, 2002. Amorium Reports, Finds I: The Glass (1987–1997). BAR International Series 1070, Archaeopress. Oxford..
- İlaslı A, Uyan M, 2001. Afyonkarahisar'ın Tarihi Eserleri. <http://www.haber.aku.edu.tr/273-294.pdf>
- Kaya MA, 1997. Yorumlama 2 Ders Notları. Süleyman Demirel Üniversitesi (Yayınlanmamıştır).

- Kaya MA, 2006. Arkeojeofizik Araştırmalar. Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Kaya MA, Ekinci YL, Yiğit P, Lightfoot CS, 2007. Magnetic investigation at the Amorium archaeological site, Emirdağ, Afyon, Turkey. Journal of The Balkan Geophysical Society, 10 (1): 1–7.
- Kaya MA, 2007. Arkeoloji Jeofiziği. Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Kocacık MS, 2010. Bergama Allionai Antik Kentinde Çoklu Elektrot Sistemi Kullanılarak Gömölü Arkeolojik Yapıların Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Küçükdemirci M, 2008. Manyetik Yöntemle Antandros Antik Kenti Mezar Yapılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee M, Morris W, Leblanc G, Harris J, 2013. Curvature Analysis to Differentiate Magnetic Sources for Geologic Mapping. Geophysical Prospecting, 61: 572–585.
- Lightfoot CS, 1994. Amorium Rehberi. Bilkent Üniversitesi Yayınları.
- Lightfoot C, Lightfoot M, 2006. A Byzantine City in Anatolia Amorium an Archaeological Guide. Homer, İstanbul.
- Linington RE, 1966. Test Use of a Gravimeter on Etruscan Chamber Tombs at Cerveteri. Prospection Archeology, 1: 37–41.
- Lowrie W, 2007. Fundamentals of Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Miller HG, Singh V, 1994. Potential Field Tilt-A New Concept for Location of Potential Field Sources. Journal of Applied Geophysics, 32 (2-3): 213–217.
- Mitasova H, Hofierka J, 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis. Mathematical Geology, 25: 667–669.
- Öztürk C, 2004. Kelenderis Antik Kentindeki Arkeolojik Yapıların Özdirenç Yöntemiyle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Pekşen E, Yas T, Kaplanvural İ, Livaoğlu H, Barış ř, Aydınđün ř, 2013. İstanbul Küçükekmece Göl Havzası Antik Bathonea Kenti Arkeojeofizik alışmalarından İlk Sonuçlar. The 20th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey.
- Phillips JD, Hansen RO, Blakely RJ, 2007. The Use of Curvature in Potential-Field Interpretation. Exploration Geophysics, 38: 111–119.
- Rao BD, Babu NR, 1991. A Rapid Method for Three-Dimensional Modeling of Magnetic Anomalies. Geophysics, 56(11): 1729–1737.

- Roest RW, Verhoef J, Pilkington M, 1992. Magnetic Interpretation Using the 3-D Analytic Signal. *Geophysics*, 57(1):116–125.
- Sanver M, İşseven T, 2007. Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri, Nobel Yayın Dağıtım. Ankara.
- Saltuk S, 1993. Arkeoloji Sözlüğü. İnkilap kitabevi, İstanbul.
- Sayın N, Tuncer MK, Orbay N, Özdoğan M, Özdoğan A, Özçep F, Hisarlı M, 1995. Menekşe Çatağı Höyüğünde Yapılan Arkeojeofizik Çalışmalar. *Jeofizik*, 9 (10): 25–29.
- Scollar İ, 1962. Electromagnetic Prospecting Methods in Archaeology. *Archaeometry*, 5:146–153.
- Sevin V, 1999. Arkeolojik Kazı Sistemi El Kitabı. Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- Sünbül F, 2007. Balıkesir-Burhaniye-Ören'deki Bergaz Tepe Adremytteion Antik Alanının Arkeojeofizik Yöntemlerle Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Vaughan CJ, 1986. Ground–Penetrating Radar Surveys Used in Archaeological Investigations. *Geophysics*, 51 (3): 595–604.
- Wanyin W, Yu P, Zhinyun Q, 2009 A New Edge Recognition Technology Based on the Normalized Vertical Derivative of the Total Horizontal Derivative for Potential Field Data. *Applied Geophysics*. 6: 226–233
- Wijns C, Perez C, Kowalczyk P, 2005. Theta Map: Edge Detection in Magnetic Data. *Geophysics*, 70 (4): L39–L43.
- Xu Y, Hao T, Zhao B, Lihong Z, Zhang L, Li Z, Huang S, 2011. Investigation of Igneous Rocks in Huanghua Depresion, North China, from Magnetic Derivative Methods. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8 (1): 74–82.
- Yaramancı A, 1970. Keban Projesi Jeofizik Araştırmaları Ön Raporu, ODTÜ Keban Projesi Yayınları, Seri: 1, Yayın: 1, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara s: 13–19.
- Yiğit P, 2005. Amorium Antik Kenti Arkeoloji Jeofiziği Çalışmaları. Yüksek Lisans Tezi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Yıldız MŞ, Yüksel FA, Dönmez Ş, 2011. Amasya Terziköy Roma Hamamı Arkeojeofizik Çalışmaları. 27. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Malatya.
- Yılmaz S, Balkaya Ç, Çakmak O, Oksum E, 2019. GPR and ERT Explorations at the Archaeological Site of Kılıç Village (Isparta, SW Turkey). *Journal of applied Geophysics*, 170: 103859.
- Yüksel FA, Hoşkan NS, Yıldız MŞ, Mercangöz Z, 2011. Kuşadası-Kadıkalesi (Anaia) Arkeojeofizik Çalışmaları 2010. 27.Arkeometri Sonuçları Toplantısı Malatya.

- Yüksel FA, Köroğlu G, 2011. Sinop Balatlar Kilisesi 2010 Arkeojeofizik Çalışmaları. 27. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Malatya.
- Yüksel FA, Hoşkan NS, Uçar Çakan FB, Başaran S, Kurap G, 2011. Enez (Ainos) Antik Kenti Suterazisi Bölgesi 2010 Arkeojeofizik Çalışmaları, 27. Arkeometri Sonuçları Toplantısı Malatya, s: 73–90.
- Zorlu K, 2017. Arkeojeofizik Yöntemlerle Gömülü Arkeolojik Yapıların Belirlenmesi (Olba, Mersin, Türkiye), Cumhuriyet Science Journal Supplement, 184–192.
- Zorluoğlu KL, 2013. Arkeolojinin Doğuşu ve Kuramsal Gelişimi Konusunda Bir Deneme. Jeofizik Bülteni, 66–69.



ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Batman’da doğdum. İlköğretimi Cengiz Topel İlköğretim Okulu’nda ve liseyi Batman Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’nde tamamladım. 2009 yılında kazandığım İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldum. 2016’da Bitlis Eren Üniversitesi Disiplinlerarası Arkeometri Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladım. 2018 Nisan Ayından itibaren Turkish Petroleum International Company’de Log Mühendisi olarak çalışmaktayım. Ekim 2019’te yüksek lisansımı tamamladım. Yabancı dilim İngilizce’dir.

Veysi Demir