

**DÜŞEY VE YATAY MANYETİK GRADIENT VERİLERİN
3-BOYUTLU MODELLENMESİ
VE TERS ÇÖZÜMÜ**

Muzaffer Özgü ARISOY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2007

**DÜŞEY VE YATAY MANYETİK GRADİENT VERİLERİN
3-BOYUTLU MODELLENMESİ
VE TERS ÇÖZÜMÜ**

Muzaffer Özgü ARISOY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2007

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Yrd. Doç. Dr. Funda BİLİM

Üye Yrd. Doç. Dr. Ünal DİKMEN

Üye Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

24/05/2007

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Halil GÜRİSOY

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

Bu Tez çalışması, CÜBAP komisyonunun M-285 no' lu projesi kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. MANYETİK YÖNTEM.....	3
2.1. Yer Manyetik Alanı.....	3
2.2. Yer Manyetik Alanının Elemanları.....	4
2.3. Kayaçların Mıknatıslanması.....	6
2.3.1. Toplam Mıknatıslanma Şiddeti.....	7
3. ELDEKİ PROBLEM ve TEZDEN BEKLENTİLER.....	9
4. MANYETİK GRADIOMETRE YÖNTEMİ.....	12
4.1. Temel Esaslar ve Arazide Ölçü Alımı.....	13
4.2. Manyetik Gradiometre Yönteminin Kullanım Alanları.....	15
4.2.1. Arkeolojik Alanlarda Manyetik Gradiometre Yönteminin Kullanımı.....	16
4.3. Yöntemin Üstün ve Zayıf Yanları.....	20
5. 3-BOYUTLU PRİZMATİK YAPILARDAN KAYNAKLANAN YATAY VE DÜŞEY MANYETİK GRADİENT BELİRTİ DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ.....	22
5.1. 3-Boyutlu Düz Çözüm Algoritması.....	30
6. 3-BOYUTLU PRİZMATİK YAPILARDAN KAYNAKLANAN DÜŞEY VE YATAY MANYETİK GRADİENT VERİLERİNİN TERS ÇÖZÜMÜ.....	65
6.1. Marquardt Ters Çözümü (Sönümlü En-Küçük Kareler Ters Çözümü).....	67
6.2. Cholesky Ayırıştırma Yöntemi (Cholesky Decomposition Method).....	69
6.3. MARQ Programının Algoritması.....	71
6.4. Uygulamalar.....	72
6.4.1. Uygulama 1.....	73
6.4.2. Uygulama 2.....	75
6.4.3. Uygulama 3.....	78
6.4.4. Uygulama 4.....	80
6.4.5. Uygulama 5.....	86
7. SONUÇLAR.....	94
8. KAYNAKLAR.....	96
9. ÖZGEÇMİŞ.....	100
10. EKLER.....	101

10.1. Ek 1.....	101
10.1. Ek 2.....	103
10.1. Ek 3.....	106

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****DÜŞEY VE YATAY MANYETİK GRADIENT VERİLERİN
3-BOYUTLU MODELLENMESİ
VE TERS ÇÖZÜMÜ**

Muzaffer Özgü ARISOY

Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA

Endüstri ve teknolojideki gelişmelerle birlikte günümüzde manyetik ölçümler daha hızlı ve duyarlı hale gelmiştir. Son yıllarda gradient ölçümleri arkeolojik amaçlı araştırmalarda, gömülü metal nesnelerin araştırılmasında ve diğer yakın yüzey araştırmalarında toplam alan ölçümlerine kıyasla daha popüler hale gelmiştir. Bu tez çalışması kapsamında sığ yeraltı yapılarının araştırılmasında kullanılan manyetik gradiometre yönteminde farklı alıcı yönelimleri ve farklı alıcı aralıkları incelenmiştir. Rao ve Babu (1993) tarafından verilen manyetik modelleme alt programları, her alıcı yönelimi ve her alıcı aralığı için manyetik gradient verilerinin sentetik olarak üretilebilmesi için değiştirilerek kullanılmıştır. Bununla birlikte, düşey ve yatay (hem x hem de y yönlerinde) gradient verileri arazi çalışmalarında doğrudan ölçülmüştür. Arazide ölçüm sonucunda haritalanan manyetik gradient belirtilerine neden olan yüzeye yakın yapılara ait parametrelerin bulunması ise doğrusal olmayan Marquardt ters çözüm algoritması kullanılarak yapılmıştır. Tez çalışmasında, düşey ve yatay manyetik gradient belirtilerinin, gelişigüzel miktatsızlanmış ve yönlendirilmiş 3-B prizmatik yapılardan kaynaklandığı varsayımı yapılmıştır. Kuramsal ve arazi çalışmalarının sonuçları, alıcı yönelimleri ve alıcı aralıklarının aranan yapının derinliğine, boyutlarına, gürültü seviyesine ve arazi şartlarına bağlı olarak seçilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik gradiometre, düşey manyetik gradient, hatta dik manyetik gradient, hatta paralel manyetik gradient, 3-B prizmatik yapı, 3-B düz çözüm, 3-B ters çözüm

SUMMARY**MsC Thesis****3-DIMENSIONAL MODELING AND INVERSION OF
VERTICAL AND HORIZONTAL MAGNETIC GRADIENT DATA**

Muzaffer Özgü ARISOY

Cumhuriyet University
Graduate School of Natural
and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Cemal KAYA

The Earth magnetic measurements are now faster and more sensitive together with the industrial and technological developments. Nowadays, gradient measurements are more popular than total field measurements in archaeological researches, research of buried metal materials and other subsurface researches. In this thesis, different receiver orientations and different receiver separations have been considered for the method of magnetic gradiometer used for the research of shallow underground structures. The magnetic modelling subroutines given by Rao and Babu (1993) have modified and have used for producing magnetic gradient data synthetically for every receiver orientation and separation. However, vertical and horizontal (in both x and y directions) gradient data were directly measured in the field survey. Nonlinear Marquardt inversion algorithm was used for estimation of subsurface structures parameters that caused magnetic gradient anomalies which was mapped after field studies. In this thesis, the assumption was done by, vertical and horizontal gradient anomalies are caused by arbitrary magnetized and oriented 3-D prismatic structures. The field and theoretical studies results show that receiver orientations and receiver separations must be chosen according to target structure depth, its dimensions, noise level and terrain conditions.

Key words: Magnetic gradiometer, vertical magnetic gradient, magnetic gradient , magnetic gradient perpendicular to line, magnetic gradient parallel to line, 3-D prismatic model, 3-D forward solution, 3-D inversion

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans tez danışmanlığımı yapan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Cemal KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam başta olmak üzere her konuda desteklerini üzerimden eksik etmemiştir. Farklı fikirleri ile tez çalışmasının olgunlaşmasında çok büyük katkıları olmuştur.

Lisans eğitimimden bu yana üzerimde emeği çok büyük olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Emin U. ULUGERGERLİ'ye (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü) teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamın her safhasında vaktini benden esirgememiş ve daima beni cesaretlendirmiştir.

Tez çalışmamın başlamasından önceki yıllarda bana iş imkanı sunup bir çok arkeolojik alanda ölçü almamı sağlayan sayın Yrd. Doç. Dr. Yücel ŞENYURT' a (Gazi Üniversitesi Arkeolojik Çevre Değerleri Araştırma Merkezi), arazi çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı tüm Gazi Üniversitesi ARÇED çalışanlarına ve BTC Ham Petrol Boru Hattı Arkeolojik Kurtarma Kazıları Projesi çerçevesinde BOTAŞ' da çalışan tüm arkeologlara teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın alt yapısının kurulmasında ve tezde kullanılan yöntem ile ilgili gerekli deneyimleri kazanmamda bu proje bana çok şey kazandırmıştır.

Değerli fikirleri ile tez çalışmamın olgunlaşmasında çok büyük katkıları olan ve arazi çalışmalarında karşılaşılan güçlüklerle çözüm üretmemde yardımcı olan sayın Greg Hollyer' a (Communication Manager of GEM Advanced Magnetometers Inc.) teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmasını beğenip web sitelerinde yayımlayan ve düzenledikleri bir yarışmada çalışmayı ödüle laik görüp maddi olarak destekleyen GEM Advanced Magnetometers şirketine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını dinleyip özellikle ileriki aşamalarda neler yapılabileceği hakkında fikirlerini aldığım ve tezin bir kısmında kullandığım arazi verilerini almamda bölümlerindeki GEM marka gradiometreyi kullanmama izin veren sayın Prof. Dr. Bülent TEZKAN (Universität zu Köln Institut für Geophysik und Meteorologie) ve sayın Dr. Stefan Helwig (Universität zu Köln Institut für Geophysik und Meteorologie)' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında eleştirilerini ve desteğini üzerimden eksik etmeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını dinleyip kritik noktalarda değişik fikirler veren, özellikle terminoloji konusunda bilgilerinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Gregorios N. Tsokas' a (Aristotle University of Thessaloniki Department of Geophysics) teşekkür ederim.

Tez çalışmamın bir kısmında kullandığım arazi verilerinin alınmasındaki katkılarından dolayı sayın Doç. Dr. Özdemir KOÇAK' a (Konya Üniversitesi Eski Çağ Tarihi Bölümü); arazi verilerinin toplanmasında tecrübelerinden yararlandığım sayın Seyit TOSUN' a, Uğur AKIN' a, Mustafa KÜÇÜK' e (Maden Tetkik Arama Enstitüsü); teşekkürü bir borç bilirim.

Mesai arkadaşlarım Arş. Gör. K. Mert ÖNAL' a ve Arş. Gör. Özcan BEKTAŞ' a çalışmam sırasındaki katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına maddi olarak destek sağlayan Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı' na (CÜBAP Proje No: M-285) teşekkür ederim.

Lisans eğitimim zamanında ve akademisyenlik hayatıma ilk adımdan bu yana üzerimde emeği en büyük olan sevgili eşim Ebru ARISOY teşekkürlerin en büyüğüne layıktır.

Muzaffer Özgü ARISOY, Mart 2007

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1- Dış etkiler olmaksızın yer manyetik alanının dipol alanı ve kuvvet çizgileri (Lindford, 2004).....	3
Şekil 2.2- Yer manyetik alanının elemanları.....	4
Şekil 2.3- Yer manyetik alanının eğim açısının yer yüzeyindeki dağılımı (IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005).....	5
Şekil 2.4- Yer manyetik alanının sapma açısının yer yüzeyindeki dağılımı (IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005).....	5
Şekil 2.5- Yer manyetik alan vektörünün toplam bileşeninin yer yüzeyindeki dağılımı (IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005).....	6
Şekil 2.6- Toplam mıknatıslanma vektörü ve bileşenleri (L, M, N) (Talwani, 1965).....	7
Şekil 2.7- Doğada çok sık görülen minerallerin ve kayaçların suseptibilite değerleri (Shearer, 2005).....	8
Şekil 3.1- a) Yeraltında gelişigüzel mıknatıslanma gösteren bir prizmatik cisim ve konumu. b) Bu cismin neden olduğu manyetik belirti. c) Yeraltında gelişigüzel mıknatıslanma gösteren birden çok prizmatik cisim ve konumları. d), e) Manyetik belirtiye neden olacak sığ ve derin yeraltı yapıları ve konumları. f) Sığ yeraltı yapılarını temsil eden prizmatik modellere ait parametrelerin bulunması g) Tezin amacı, yatay ve düşey manyetik gradient belirtilerine neden olan sığ yeraltı yapılarını temsil eden modellerin konumlarını, boyutlarını, toplam mıknatıslanma şiddetlerini belirlemektir (http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/iag/tutorials/invn-theoryintro/index.htm).....	11
Şekil 4.1- Arazide manyetik düşey gradient ölçülerinin alınması ve farklı alıcı aralıklarının gösterimi.....	14
Şekil 4.2- Arazide hatta dik manyetik gradient ölçülerinin alınması ve farklı alıcı aralıklarının gösterimi.....	15
Şekil 4.3- Arazide hatta paralel manyetik gradient ölçülerinin alınması ve farklı alıcı aralıklarının gösterimi.....	15
Şekil 4.4- Erzurum ili Tasmasor Nekropolisi üzerinde yapılan manyetik gradiometre ölçümlerine ait düşey manyetik gradient kontur haritası (alıcı aralığı 1m.).....	17
Şekil 4.5- Kazı sonrası görüntü. a) Beyaz kesikli çizgi ile gösterilen duvar Şekil 1' deki düşey manyetik gradient haritasında aynen beyaz kesikli çizgi ile gösterilmiştir. b) Şekil 1' deki düşey manyetik gradient kontur haritasında siyah kesikli çizgiler ile gösterilen alanlarda kazı sonrası çıkarılan büyük seramik yığılımları.....	17
Şekil 4.6- Maraş İli Çinçin Tepe mevkiinde bulunan askeri gözetleme kulesi üzerinde yapılan manyetik gradiometre ölçümlerine ait düşey manyetik gradient kontur haritası (alıcı aralığı 1m.).....	18
Şekil 4.7- Ölçü sahası ve askeri gözetleme kulesine ait görüntü.....	18

Şekil 4.8- Adana ili Sarımazi Köyü' nde bulunan bir nekropolis üzerinde yapılan manyetik gradiometre ölçümlerine ait düşey manyetik gradient kontur haritası (alıcı aralığı 1m.).....	19
Şekil 4.9- Kazı sonrası kurtarılan bir kaya mezarına ait görüntü. Şekil 4' de kesikli çizgi ile gösterilen alanda bulunmuştur.....	19
Şekil 5.1- 3-Boyutlu prizmatik yapı modeli (Rao ve Babu, 1991).....	23
Şekil 5.2- 3-Boyutlu prizmatik yapı üzerinde düşey manyetik gradient ölçümü (Rao ve Babu, 1993' den değiştirilerek alınmıştır).....	27
Şekil 5.3- 3-Boyutlu prizmatik yapı üzerinde hatta dik manyetik gradient ölçümü (Rao ve Babu, 1993' den değiştirilerek alınmıştır).....	28
Şekil 5.4- 3-Boyutlu prizmatik yapı üzerinde hatta paralel manyetik gradient ölçümü (Rao ve Babu, 1993' den değiştirilerek alınmıştır).....	29
Şekil 5.5- 3-Boyutlu düz çözüm algoritması.....	31
Şekil 5.6- 2 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) derinlik-y düzlemine izdüşümleri.....	34
Şekil 5.7- 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	35
Şekil 5.8- 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	36
Şekil 5.9- 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	37
Şekil 5.10- 1. modelde K-G yönlü 12. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	38
Şekil 5.11- 1. modelde D-B yönlü 10. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	38
Şekil 5.12- 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası.....	39
Şekil 5.13- 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası.....	40
Şekil 5.14- 4 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) derinlik-y düzlemine izdüşümleri.....	42

Şekil 5.15- 4 prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	43
Şekil 5.16- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	44
Şekil 5.17- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	45
Şekil 5.18- 2. modelde K-G yönlü 12. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	46
Şekil 5.19- 2. modelde K-G yönlü 9. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	46
Şekil 5.20- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası.....	47
Şekil 5.21- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası.....	48
Şekil 5.22- 4 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) 1, 2, 4 nolu prizmaların derinlik-y düzlemine izdüşümleri c) 1, 3, 4 nolu prizmaların derinlik-x düzlemine izdüşümleri.....	50
Şekil 5.23- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	51
Şekil 5.24- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	52
Şekil 5.25- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	53
Şekil 5.26- 3. modelde K-G yönlü 12. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	54
Şekil 5.27- 3. modelde D-B yönlü 4. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	54

Şekil 5.28- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası.....	55
Şekil 5.29- 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası.....	56
Şekil 5.30- 5 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) 1, 3, 5 nolu prizmaların derinlik-y düzlemine izdüşümleri c) 2, 4, 5 nolu prizmaların derinlik-x düzlemine izdüşümleri.....	58
Şekil 5.31- 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	59
Şekil 5.32- 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	60
Şekil 5.33- 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası.....	61
Şekil 5.34- 4. modelde K-G yönlü 13. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	62
Şekil 5.35- 4. modelde D-B yönlü 9. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi.....	62
Şekil 5.36- 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası.....	63
Şekil 5.37- 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası.....	64
Şekil 6.1- Tek prizmatik yapıdan kaynaklanan kuramsal manyetik gradient haritaları ve prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları. a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası.....	74
Şekil 6.2- Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.).....	75

Şekil 6.3- Tek prizmatik yapıdan kaynaklanan kuramsal manyetik gradient haritaları ve prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları. a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası.....	76
Şekil 6.4- Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.).....	77
Şekil 6.5- 3 adet prizmatik yapıdan kaynaklanan kuramsal manyetik gradient haritaları ve prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları. a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası.....	79
Şekil 6.6- Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.).....	80
Şekil 6.7- Çalışma alanının konum haritası ve milattan önce 2000' li yıllarda Anadolu' daki başlıca yerleşimler.....	81
Şekil 6.8- Çalışma alanı ve açılan 2 açmanın çalışma alanındaki yerleri.....	82
Şekil 6.9- A açmasının kazı sonrası görüntüsü.....	82
Şekil 6.10- B açması üzerinde ölçülen toplam manyetik alan verilerine ait kontur haritası ve kazı sonucunda bulunan 3 kaya mezarı modelini temsil eden prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları.....	83
Şekil 6.11- Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.).....	84
Şekil 6.12- B açmasının kazı sonrası görüntüsü.....	85
Şekil 6.13- B açması üzerinde ölçülen toplam manyetik alan verilerine ait kontur haritası ve kazı sonucunda bulunan Pitos mezar modelini temsil eden prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları.....	85
Şekil 6.14- Pitos mezar modeli için amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.).....	86
Şekil 6.15- Ölçü sahasının a) plan görüntüsü ve test ölçülerinde kullanılan prizmatik modelin ölçü sahası üzerindeki yatay koordinatları. c) kullanılan prizmatik modelin derinlik-y düzlemindeki düşey koordinatları.....	87
Şekil 6.16- Düşey manyetik gradient verilerinin farklı alıcı aralıkları a) 0.5 m. b) 1 m. c) 1.5 m. için ölçülmesi.....	88
Şekil 6.17- KG yönlü 3.5 nolu profil üzerinde farklı alıcı aralıkları için ölçülen düşey manyetik gradient değerlerinin değişimi.....	89
Şekil 6.18- 0.5 m. alıcı aralığı için a) düşey manyetik gradient verilerinin ölçülmesi. b) hatta dik manyetik gradient verilerinin ölçülmesi. c) hatta paralel manyetik gradient verilerinin ölçülmesi.....	90

Şekil 6.19- Ölçü alanında ölçülen a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası. Ölçü alanına yerleştirilen taşıma çantasını temsil eden prizmatik modelin başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları.....91

Şekil 6.20- Taşıma çantası modeli için amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi. a) düşey manyetik gradient. b) hatta dik manyetik gradient. c) hatta paralel manyetik gradient. (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.).....93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yer manyetik elemanlarının yer yüzeyinde gösterdiği dağılımlar (McLean vd., 2004).....	6
Çizelge 5.1. 2 adet prizmatik yapıya ait model parametreleri.....	33
Çizelge 5.2. 4 adet prizmatik yapıya ait model parametreleri.....	41
Çizelge 5.3. 4 adet prizmatik yapıya ait model parametreleri.....	49
Çizelge 5.4. 5 adet prizmatik yapıya ait model parametreleri.....	57
Çizelge 6.1. Tek prizmatik yapıya ait model parametreleri.....	73
Çizelge 6.2. Tek prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri.....	75
Çizelge 6.3. Tek prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri.....	77
Çizelge 6.4. 3 adet prizmatik yapıya ait model parametreleri.....	78
Çizelge 6.5. Üç adet prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri.....	80
Çizelge 6.6. Üç adet prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri.....	84
Çizelge 6.7. Pitos mezarı modeline ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri.....	86
Çizelge 6.8. Taşıma çantasını temsil eden prizmatik modele ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri.....	92

SİMGELER DİZİNİ

- A_T : Alıcının hassasiyeti
- a_1 ve a_2 : Prizma yüzeyinin koordinat merkezinden x eksenine olan yatay uzaklıkları
- b_1 ve b_2 : Prizma yüzeyinin koordinat merkezinden y eksenine olan yatay uzaklıkları
- B: Yer manyetik alan şiddeti
- B : Bilinmeyen ve çözülmesi gereken parametre düzeltme değerlerini içeren sütun dizey
- B_x : Yer manyetik alan vektörünün x bileşeni
- B_y : Yer manyetik alan vektörünün y bileşeni
- B_z : Yer manyetik alan vektörünün z bileşeni
- C: Yer manyetik alanının çalışılan bölgedeki şiddeti
- $\partial\Delta T/\partial x$: Yer manyetik alanının toplam bileşeninin x yönündeki türevi
- $\partial\Delta T/\partial y$: Yer manyetik alanının toplam bileşeninin y yönündeki türevi
- $\partial\Delta T/\partial z$: Yer manyetik alanının toplam bileşeninin z yönündeki türevi
- $\partial\Delta T/\partial P_i$: P_i ' e bağlı olan manyetik gradient belirtisinin türevleri
- dP_k : k ' nıncı parametrenin başlangıç değerine eklenecek olan parametre düzeltme değeri
- D: Yer manyetik alanının sapma açısı (deklınasyon açısı)
- D : Kuramsal verinin ön-kestirim parametrelerine göre olan türevlerini kapsayan dizey
- D_0 : Mıknatıslanma vektörünün deklınasyon açısı
- d^{kur} : Hesaplanan kuramsal veri
- $d^{ölç}$: Ölçülen veri
- dx : x yönündeki ölçü istasyonu aralıkları
- dy : y yönündeki ölçü istasyonu aralıkları
- dT/dr_c : Yer manyetik alanının kaynaktan olan uzaklığa göre türevi
- EI: Toplam mıknatıslanma şiddeti
- EI_i : İndüklem mıknatıslanma şiddeti
- EI_k : Kalıcı mıknatıslanma şiddeti
- F: Düz çözüm operatörü
- F^{-1} : Ters çözüm operatörü
- f_1 : En-küçüklenecek amaç fonksiyonu
- Δf : Ölçülen ve kuramsal manyetik gradient verisi arasındaki fark
- h_{alt} : Alt alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliği
- $h_{üst}$: Üst alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliği
- h_i : Toplam manyetik alan ölçümlerinde kullanılan alıcının yerden yüksekliği
- h_1 : prizmanın üst yüzeyinin x-y yatay düzlemine göre derinliği
- h_2 : prizmanın alt yüzeyinin x-y yatay düzlemine göre derinliği

- H: Yer manyetik alanının yatay bileşeni
 I: Yer manyetik alanının eğim açısı (inklinasyon açısı)
 I_0 : Mıknatıslanma vektörünün inklinasyon açısı
 k: Suseptibilite
 L: Toplam mıknatıslanma vektörünün x bileşeni
 L: Köşesinde pozitif değerler bulunan bir alt üçgensel dizey
 λ : Sönüm katsayısı
 M: Toplam mıknatıslanma vektörünün y bileşeni
 M_x : x yönündeki ölçü noktası sayısı
 M_y : y yönündeki ölçü noktası sayısı
 m^* : Ters çözüm sonucu iyileştirilmiş model
 N: Toplam mıknatıslanma vektörünün z bileşeni
 N_b : Prizma sayısı
 N_x : Ölçü alanının x yönündeki uzunluğu
 N_y : Ölçü alanının y yönündeki uzunluğu
 p: Yer manyetik alan vektörünün x bileşeni
 P : Bilinen elemanları içeren sütun dizey
 P_1 : 1. bilinmeyen parametre
 r: Yer manyetik alan vektörünün z bileşeni
 r_c : Alıcı ile kaynak arasındaki mesafe
 δ_{kl} : Kronecker delta
 ΔT : Yer manyetik alanının toplam bileşeni
 $\Delta T(x,y,0)$: (x,y,0) noktasındaki toplama manyetik alan değeri
 $\Delta T_{göz}(i,j)$: Gözlemlenen düşey ve yatay manyetik gradient değerleri
 $\Delta T_{hes}(i,j)$: Hesaplanan düşey ve yatay manyetik gradient değerleri
 q: Yer manyetik alan vektörünün y bileşeni
 Y: D dizeyinin ayrıştırılması sonucu elde edilen elemanları içeren dizey
 $y_{sağ}$: Sağ alıcının y eksenini üzerindeki konumu
 y_{sol} : Alt alıcının y eksenini üzerindeki konumu
 x_{arka} : Arka alıcının x eksenini üzerindeki konumu
 $x_{ön}$: Ön alıcının x eksenini üzerindeki konumu
 θ : Prizmatik yapının coğrafik kuzeyle yaptığı açı

1. GİRİŞ

Son yıllarda özellikle gelişen bilgisayar teknolojisine paralel olarak jeofizik problemler hızlı ve verimli bir biçimde çözülmeye başlamıştır. Özellikle kullanılan jeofizik yöntemin türüne göre sayıca milyonlara ulaşan veri-kümelere ile günümüzde modelleme ve veri-işlem çalışmaları hızlı bir biçimde yapılabilmektedir. Bununla birlikte son yıllarda üretilen jeofizik cihazları; özellikle ham-veri toplama adına oldukça hızlı, yeni tasarımlarla oldukça hafif ve oldukça duyarlıdır.

Manyetik yöntemler jeofizikte kullanılan en eski yöntemlerdir. Petrol ve doğal gaz aramaları gibi derin kaynaklı yapıların incelenmesinden, özellikle arkeoloji gibi yakın yüzey araştırmalarına kadar arama derinliği oldukça geniş bir aralıkta değişen yöntemlerdir. Yani arazi çalışmaları sonucunda ölçülen manyetik veriler yeryüzünden çekirdeğe kadar olan tüm yapıların etkilerini beraberinde getirir. Bu nedenle manyetik belirtilere neden olan sonsuz sayıda yeraltı yapısı bulunabilir. Manyetik yöntemde veriyi oluşturan yapıların parametrelerinin çözümü, yeterli ön bilgi varsa sınırlandırılabilir ve kabul edilebilir bir çözüme ulaşılabilmektedir.

Yer manyetik alanının düşey ve yatay yöndeki türevleri kuramsal modeller üzerinde bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Henderson ve Zietz, 1949; Affleck, 1958; Barango, 1985). Yer manyetik alanının yatay türevleri aranan yapının ölçü alanı üzerindeki dağılımının araştırılmasında, düşey türevleri ise derin etkilerin veriden süzülüp yüzeye yakın yapıların etkilerinin ön plana çıkartılmasında kullanılmaktadır. Kuramsal modeller üzerinde bu çalışmaların yapılmasından sonra bir çok araştırmacı yer manyetik alanının hem yatay hem de düşey türevlerinin arazide ölçülmesini sağlayabilmek için çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların sonucunda manyetik cihazlar ailesine “manyetik gradiometre” adı verilen yeni bir cihaz kazandırılmıştır. Manyetik gradiometreler yer manyetik alanının toplam bileşenini iki farklı alıcı (manyetometre, sensor) ile eş-zamanlı olarak ölçmektedir. Daha sonra bu değerlerin farkının iki alıcı arasındaki mesafeye bölünmesiyle manyetik gradient değerlerine ulaşılmaktadır.

Düşey manyetik gradient ölçüm tekniği günümüzde en çok kullanılan tekniktir. Arazi çalışmalarında ise alıcı aralığı genellikle 1m seçilmektedir. Tez çalışması kapsamında düşey manyetik gradient ölçümlerinin dışında hem kuramsal hem de arazi çalışmalarında kullanılmak üzere hatta dik ve hatta paralel gradient ölçümleri önerilmiştir. Her ölçü tekniği için alıcı aralıkları 0.5 m, 1m ve 1.5 m olarak seçilmiştir.

Yöntemlerin kuramsal modeller üzerinde denenmesi aşaması Rao ve Babu (1993) tarafından verilen ANOM alt programı kullanılarak yapılmıştır. Rao ve Babu (1993) gelişigüzel mıknatıslanmış ve yönlenmiş 3-B prizmatik yapılardan kaynaklanan bir toplam manyetik alan belirti denklemi önermişlerdir. Tez çalışması kapsamında bu denklem hem düşey hem de yatay manyetik gradient belirtilerinin farklı alıcı aralıklarına göre üretilebilmesi için yeniden düzenlenmiştir. Elde edilen sonuçlar görüntü haritaları şeklinde sunulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

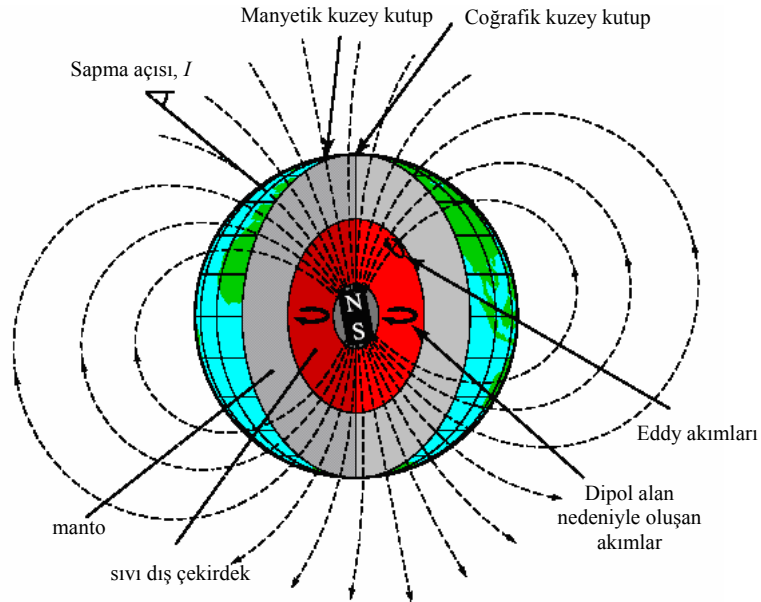
DüŖey ve yatay manyetik gradient belirtilerinin ters çözümleri ise Rao ve Babu (1993) tarafından verilen (MARQ) alt programı kullanılarak yapılmıŖtır. Arazi verileri olarak üzerinde metal parçaları bulunan bir taŖıma çantasının üzerinde ve arkeolojik bir saha üzerinde alınan manyetik gradient verileri kullanılmıŖtır. MARQ alt programı Marquardt (1963) algoritmasının doğrusal olmayan en-iyileme tekniği üzerine kurulmuŖtur. Prizmatik yapılara ait kısmi türevler analitik olarak Rao ve Babu (1993) tarafından verilen DER alt programı kullanılarak hesaplanmıŖtır. Kısmi türevler dizeyinin tersinin sayısal olarak hesaplanma aŖaması Cholesky AyrıŖtırma (Cholesky Decomposition) yöntemi kullanarak yapılmıŖtır. Ters çözümler sonucunda gerçek yeraltı modeline yaklaŖtırılmıŖ yakın yüzey prizmatik modellere ait parametreler sunulmuŖ ve gerçek yeraltı modelleriyle karşılaŖtırılmıŖtır.

2. MANYETİK YÖNTEM

Manyetik yöntemler jeofizik araştırmalarda kullanılan en eski yöntemlerden biridir ve bu yöntemlerin kullanılmasındaki amaç: yer yuvarının manyetik alanında meydana gelen değişimlerin belirlenmesidir. Manyetik yöntemler ile: genellikle metalik maden aramaları, petrol ve doğalgaz aramaları, jeotermal alanların araştırılması gibi derin kaynaklı yapılar incelendiği gibi arkeolojik araştırmalar ve gömülü metal nesnelerin araştırılması gibi yüzeye çok yakın yapıların araştırılması da mümkündür.

2.1. Yer Manyetik Alanı

Yer yuvarı çevresinde bir manyetik alanın varlığı, bu alanın hangi etkenler tarafından oluşturulduğu uzun yıllardan beri birçok araştırıcının uğraşı alanını oluşturmuştur. Esas olarak yer manyetik alanı yer içinden gelen ve yer dışından gelen etkiler ile meydana gelmiştir. Yer içinden gelen etkiler dipol olan alan ve dipol olmayan alandan meydana gelir. Yer manyetik alanının oluşumdaki asıl etken olan dipol alan, dünyanın merkezinde olduğu kabul edilen ve coğrafik eksenlerle $11^{\circ}5'$ lik açı yapan dipolden oluşur (Şekil 2.1). Dipol olmayan alan ise yeraltında bulunan ve mıknatıslanma özelliği gösteren yapılar tarafından oluşturulur. Yer dışından gelen etkilerin yer manyetik alanının oluşumdaki etkileri oldukça azdır.



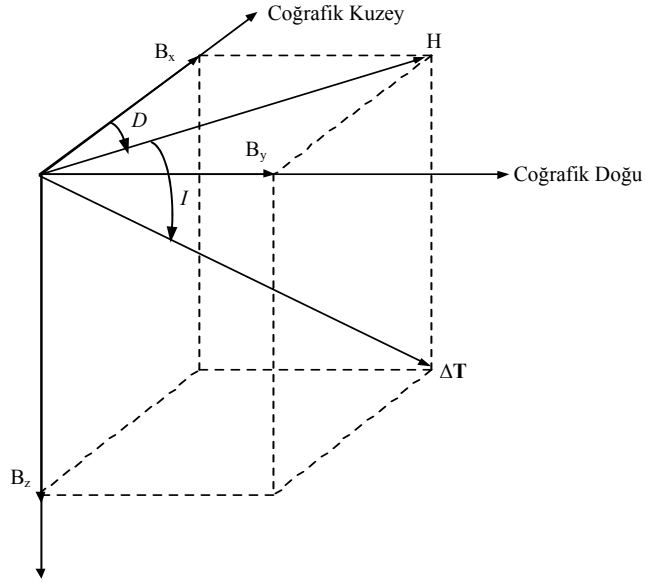
Şekil 2.1. Dış etkiler olmaksızın yer manyetik alanının dipol alanı ve kuvvet çizgileri (Lindford, 2004)

1955' de Bullard yer manyetik alanının kökenini dinamo teorisine göre açıklamıştır. Dinamo teorisine göre, sıvı haldeki demir ve nikel karışımından oluşan yerin dış çekirdeğindeki termal konveksiyon hareketlerinin oluşturduğu elektrik akımı yerin asıl manyetik alanını

oluşturmaktadır. Bu alan ortamda daha önce var olduğu farz edilen başlangıç alanını güçlendirmekte ve yenilemektedir.

2.2. Yer Manyetik Alanının Elemanları

Yeryüzünde her hangi bir noktadaki manyetik alan vektörünün, B , iki bileşeni mevcuttur. Bunlar yatay (H) ve toplam (ΔT) bileşenleridir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Yer manyetik alanının elemanları (Açıklamalar Çizelge 2.1' de verilmiştir.)

Yer manyetik alan vektörünün yatay bileşeninin (H) şiddeti,

$$H = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (2.1)$$

bağıntısıyla gösterilmektedir.

Yer manyetik alan vektörünün toplam bileşeninin (ΔT) şiddeti,

$$\Delta T = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (2.2)$$

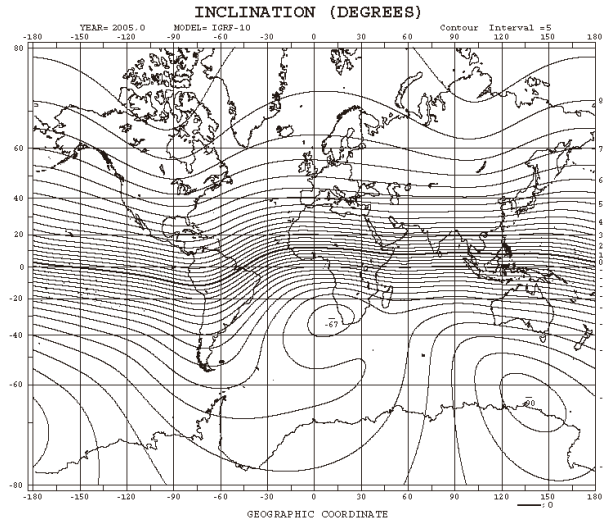
bağıntısıyla gösterilmektedir.

Yer manyetik alan vektörü ile yatay düzlem arasındaki düşey açı (ΔT ile H arasındaki açı) yer manyetik alanının eğim açısı veya inklinasyon açısı olarak adlandırılır. Yer manyetik alanının eğim açısının yer yüzeyi üzerindeki dağılımı Şekil (2.3)' de verilmiştir.

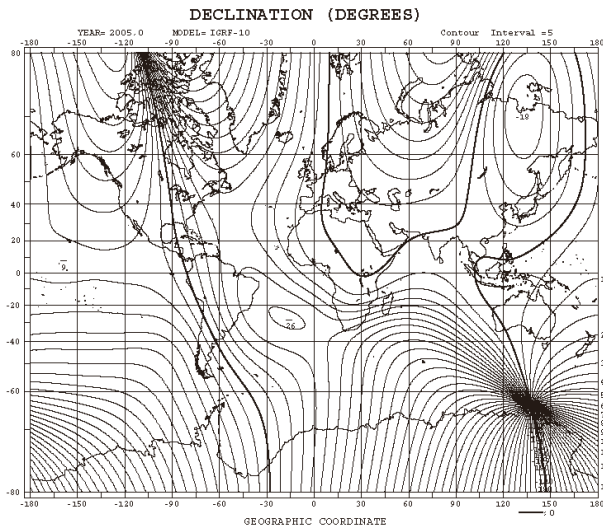
$$I = \arctan \frac{B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} \quad (2.3)$$

Coğrafi kuzey ile yer manyetik alan vektörünün yatay bileşeni arasındaki açı ise yer manyetik alanının sapma açısı veya deklinasyon açısı olarak adlandırılır. Yer manyetik alanının sapma açısının yer yüzeyi üzerindeki dağılımı Şekil (2.4)' de verilmiştir.

$$D = \arctan \frac{B_y}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} \quad (2.4)$$

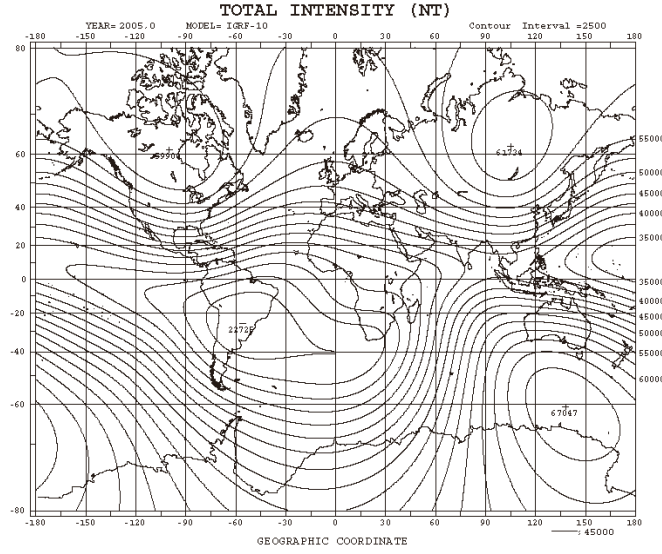


Şekil 2.3. Yer manyetik alanının eğim açısının yer yüzeyindeki dağılımı (IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005)



Şekil 2.4. Yer manyetik alanının sapma açısının yer yüzeyindeki dağılımı (IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005)

Günümüzde yapılan manyetik ölçümlerin birçoğunda yer manyetik alanının toplam bileşenindeki değişimler incelenmektedir. Yer manyetik alan vektörünün toplam bileşeninin (I_T) yer yüzeyindeki dağılımı Şekil (2.5)' de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Yer manyetik alan vektörünün toplam bileşeninin yer yüzeyindeki dağılımı (IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005)

Yukarıda anlatılan yer manyetik alanının tüm elemanları ve yer yüzeyinde yapılacak olan ölçümlerde alabilecekleri en düşük ve en yüksek değerleri Çizelge (2.1)'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yer manyetik elemanlarının yer yüzeyinde gösterdiği dağılımlar (McLean ve diğ., 2004)

Eleman	İsim	Yer yüzeyindeki dağılım		
		Minimum	Maksimum	Birim
B_x	Kuzey bileşen	-17,000	42,000	nT
B_y	Doğu bileşen	-18,000	18,000	nT
B_z	Düşey bileşen	-67,000	61,000	nT
H	Yatay Şiddet	0	42,000	nT
ΔT	Toplam şiddet	22,000	67,000	nT
I	İnklinasyon	- 90	90	derece
D	Deklinasyon	- 180	180	derece

2.3. Kayaçların Mıknatıslanması

Yeryüvarı üzerinde görülen kayaçlar mıknatıslanmalarına göre incelendiğinde iki tür mıknatıslanmanın varlığından söz edilir. Bunlardan ilki indüklem (indüksiyon) mıknatıslanmadır. Bu mıknatıslanma, yer manyetik alanının kayaçlarda oluşturduğu mıknatıslanma türüdür ve yönü yer manyetik alanı ile aynı yöndedir. İndüklem mıknatıslanmasının şiddeti de yer manyetik alanı

ile orantılıdır. Uygulanan dış alan ortadan kalkarsa bu mıknatıslanma da kaybolur. Diğer mıknatıslanma türü de kalıcı (remanent) mıknatıslanmadır. Kalıcı mıknatıslanma önceki zamanlarda kayacın o zamandaki yer manyetik alanı doğrultusunda kazandığı ve o alanın etkisinin kalkmasına karşın durumunu koruduğu mıknatıslanmadır.

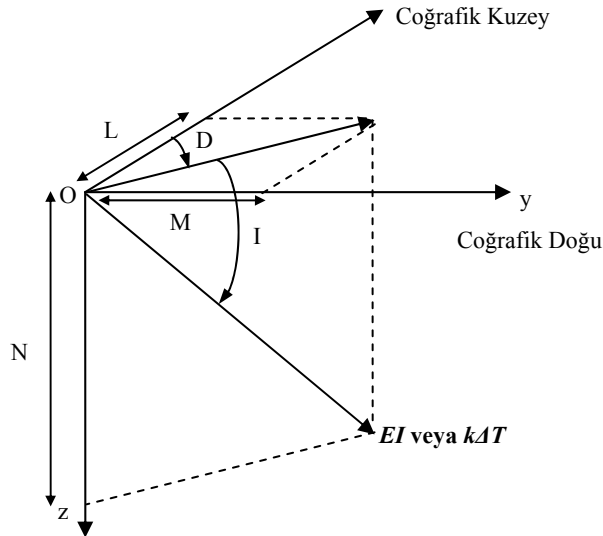
2.3.1. Toplam Mıknatıslanma Şiddeti

Kayaçlarda görülen toplam mıknatıslanma şiddeti yukarıda anlatılan indüklem ve kalıcı mıknatıslanma vektörlerinin toplamı şeklinde ve

$$EI = EI_i + EI_k \quad (2.5)$$

bağıntısıyla ifade edilir. (2.5) bağıntısında EI_i ; indüklem mıknatıslanmayı ve EI_k ; kalıcı mıknatıslanmayı simgelemektedir.

Toplam mıknatıslanma vektörünün yer manyetik alan vektörü ile aynı yönde olduğu varsayılırsa, (Şekil 2.6), mıknatıslanma vektörünün bileşenleri veya doğrultu kosinüsleri aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilebilir.



Şekil 2.6. Toplam mıknatıslanma vektörü ve bileşenleri (L, M, N) (Talwani, 1965)

$$L = EI \cos I \cos D \quad (2.6)$$

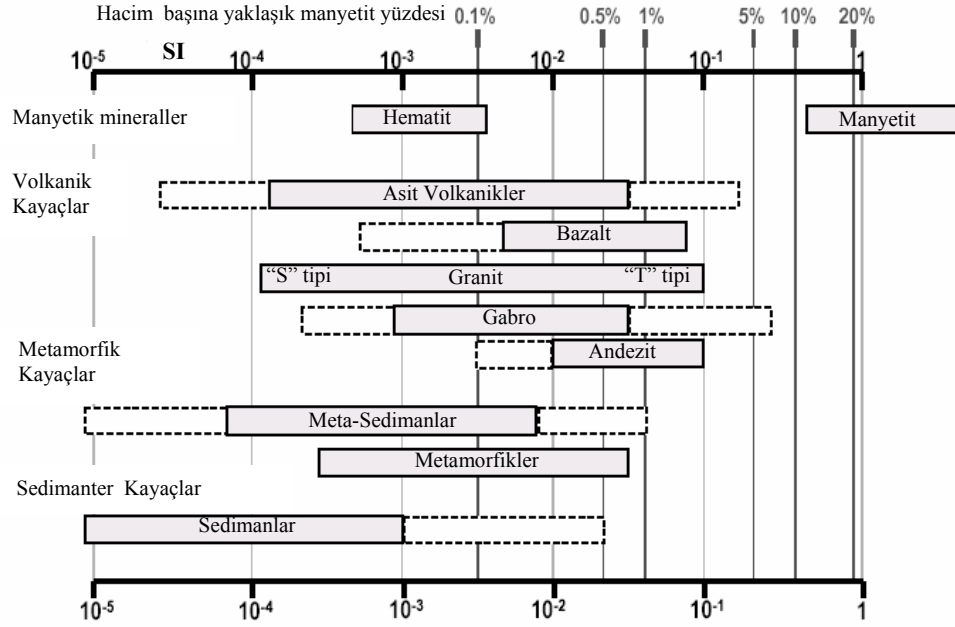
$$M = EI \cos I \sin D \quad (2.7)$$

$$N = EI \sin I \quad (2.8)$$

Eğer mıknatıslanma yer manyetik alanının indüklemesi ile oluşmuş ise, mıknatıslanma yer manyetik alanının toplam bileşeni ile suseptibilite, k , (cismin mıknatıslanmaya karşı göstermiş olduğu duyarlılık) değerinin çarpımına eşittir (Talwani, 1965).

$$EI = k\Delta T \quad (2.9)$$

Yaygın olarak bilinen mineral ve kayaçların suseptibilite değerleri Şekil (2.7)' de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Doğada çok sık görülen minerallerin ve kayaçların suseptibilite değerleri (Shearer, 2005)

3. ELDEKİ PROBLEM ve TEZDEN BEKLENTİLER

Bu tez çalışması kapsamında özellikle arkeolojik alanlar üzerinde alınan yatay ve düşey gradiometre verilerinde, yatay ve düşey gradient belirtilerine neden olan sığ yapıların yeraltındaki konumları, boyutları ve manyetik özellikleri (toplam mıknatıslanma şiddeti, EI) araştırılmıştır.

Bir jeofizik belirtisine neden olan yapının bilinen bir modele benzeştirilmesi işlemine modelleme adı verilir. Jeofizikte, modellemeye ait çözüm iki yönlüdür. Bunların ilkinde seçilen bir modelin belirli bir fiziksel durumuna karşılık gelen kuramsal veri veya model yanıtı bulunmaya çalışılır. Bu yaklaşıma düz çözüm (forward solution) adı verilir. İkinci yaklaşım ise düz çözümün tersi olan yaklaşımdır. Burada ölçülen veride belirtiyeye neden olan yapı bir modele benzetilerek bu modele ait parametreler elde edilmeye çalışılır. Bu yaklaşıma da ters çözüm (inverse solution) adı verilir. 3-B prizmatik yapıların neden olduğu manyetik gradient belirtisinin modellenmesi yukarıda bahsedildiği gibi iki aşamada sürdürülmüştür.

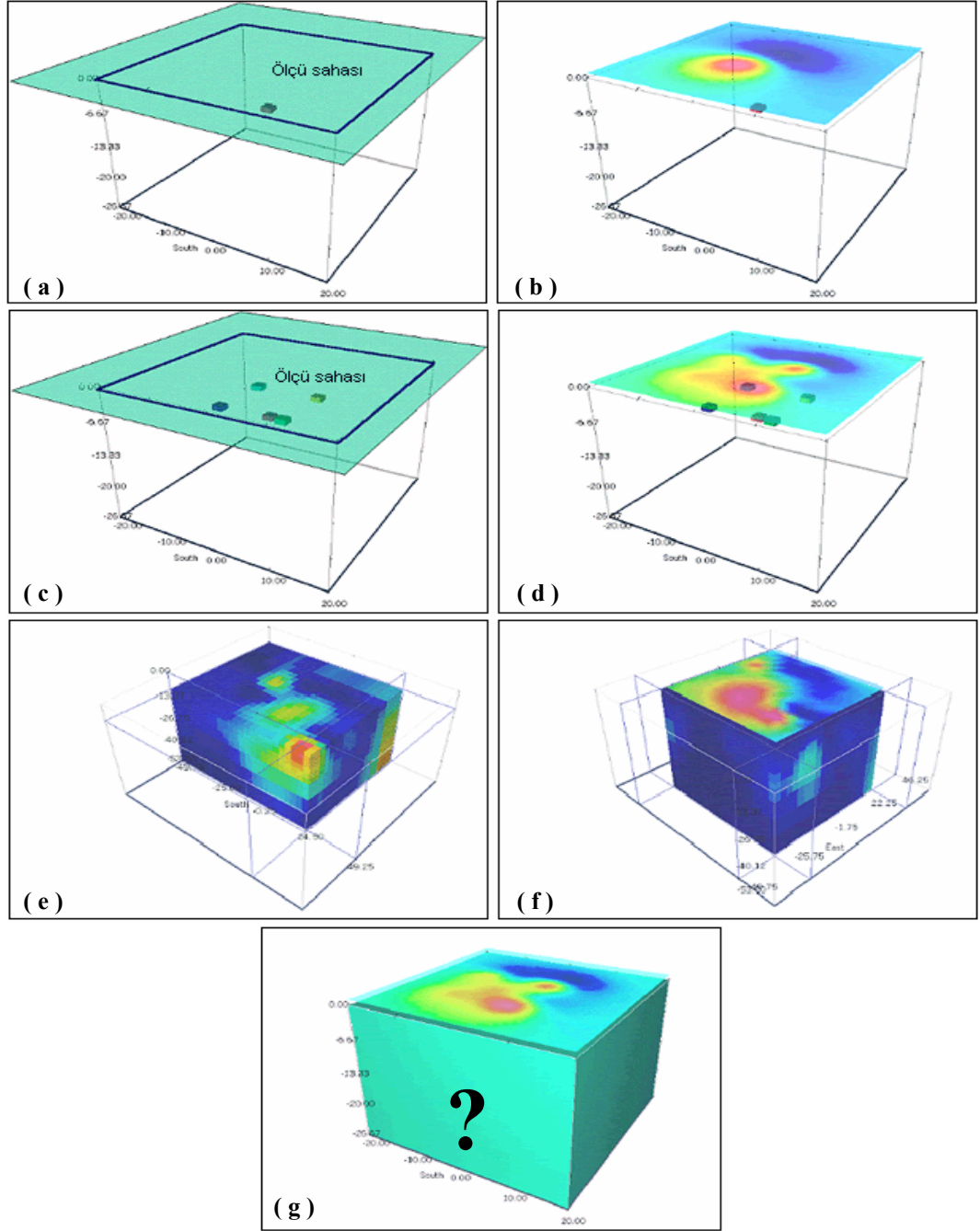
Bunlardan ilki, 3-B prizmatik yapıların belirli bir konumu ve fiziksel özelliği (toplam mıknatıslanma şiddeti, EI) için kuramsal veri veya model yanıtının saptanmasıdır. Bunun için başlangıç modeline ait (initial model) parametrelerin belirli durumları için, Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen 3-B prizmatik yapıların neden olduğu toplam manyetik alan belirti denklemi yardımıyla model yanıtı hesaplanmıştır. Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen toplam manyetik alan denklemi, prizmatik yapıların neden olduğu toplam manyetik alan belirtilerini uzayda ($x, y, z=0$) koordinatlarında hesaplamaktadır. Tezde, 3-B prizmatik yapıların neden olduğu yatay ve düşey gradient belirtilerini hesaplayabilmek için; Rao ve Babu (1991) önerdiği denklem ile alıcıların x, y ve z düzlemlerindeki konumlarına göre toplam manyetik alan verileri kuramsal olarak hesaplanmış ve iki farklı konumda hesaplanan toplam manyetik alan verileri birbirlerinden çıkartılarak alıcı aralıklarına bölünmüştür.

İkinci aşamada ise, arazide ölçülen yatay ve düşey gradiometre verileri, oluşturulan kuramsal veri ile karşılaştırılıp iki veri kümesi arasında yeterli çakışmayı sağlayan yapıya ait parametrelerin bulunması amaçlanmıştır.

Mevcut bilginin tipine ve miktarına göre çeşitli ters çözüm teknikleri bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında yatay ve düşey gradiometre verileri üzerinden yapıya ait toplam mıknatıslanma şiddeti (EI), yapının yeraltındaki konumu ve boyutları ile ilgili parametrelerin ters çözümü üzerine odaklanılmıştır.

Yeraltında 3-B prizmatik bir şekle sahip olan ve gelişigüzel mıknatıslanmış bir sığ yapının neden olduğu toplam manyetik alan belirtisi yeryüzünde yapılan manyetik ölçümler ile belirlenebilir (Şekil 3.1a, b). Ancak yeraltında çok sayıda prizmatik yapı olduğu varsayılırsa bu yapılardan kaynaklanan toplam manyetik alan belirtileri içi içe olacaktır ve bu belirtilerin ayrımının yapılması daha da güçleşecektir (Şekil 3.1c, d). Fakat gerçek yeraltı durumu yukarıda bahsedilen gibi değildir. Toplam manyetik alan belirtisine neden olacak sonsuz sayıda sığ ve derin prizmatik yapı mevcut olabilir (Şekil 3.1e, f). Bu tezdeki amaç ise, yeryüzünde yapılan yatay ve

düŖey gradiometre ölçümleriyle toplam manyetik alan deęiŖimlerini yatay ve düŖey konumlarda ölçüp farklarını almak suretiyle; sığ yeraltı yapılarının konumlarını, boyutlarını, toplam mıknatıslanma Ŗiddetlerini belirlemektir (Ŗekil 3.1 g).



Şekil 3.1. a) Yeryüzünde gelişigüzel mıknatıslanma gösteren bir prizmatik cisim ve konumu. b) Bu cismin neden olduğu manyetik belirti. c) Yeryüzünde gelişigüzel mıknatıslanma gösteren birden çok prizmatik cisim ve konumları. d), e) Manyetik belirtiyne neden olacak sığ ve derin yeraltı yapıları ve konumları. f) Sığ yeraltı yapılarını temsil eden prizmatik modellere ait parametrelerin bulunması. g) Tezin amacı, yatay ve düşey manyetik gradient belirtilerine neden olan sığ yeraltı yapılarını temsil eden modellerin konumlarını, boyutlarını, toplam mıknatıslanma şiddetlerini belirlemektir (<http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/iag/tutorials/invn-theoryintro/index.htm>)

4. MANYETİK GRADIOMETRE YÖNTEMİ

Yer manyetik alanı, doğal (iyonosfer veya manyetosferdeki elektrik akımları) ve yapay (endüstriyel aktiviteler vb.) kaynaklara bağlı olarak zamana göre hızlı değişimler göstermektedir. Bu tür değişimleri çözümlenmenin iki yolu bulunmaktadır. İlk yol; 2 alıcı ile ölçülen yer manyetik alanındaki değişimlerin farkını almaktır. Bu durumda, ilk alıcı her ölçü noktasında ölçü alırken diğeri de önceden belirlenen bir noktada (baz noktası) ölçü almaktadır. İkinci ve en kullanışlı yol ise; birbirine yakın tutulacak şekilde 2 alıcı ile eş-zamanlı ölçümler almaktır (Tabbagh ve diğ., 1997).

Jeofizik literatüründe manyetik gradiometrenin tanımı ilk kez Haalck (1925) tarafından verilmiştir. Haalck (1925), manyetik gradient ölçümlerini hızlı ve verimli bir biçimde gerçekleştiren iki bobinli bir manyetik indükleyici önermiştir. Ancak bu fikri teoride kalıp uygulamaya koyamamıştır. Roman ve Sermon (1934) iki bobinli manyetik indükleyici geliştirip bazı test ölçümleri sonucunda yatay manyetik gradient ölçümlerini de almayı başarmışlardır. Ancak ölçü sonuçlarından geliştirilen aygıtın duyarlılığını tespit etmek oldukça zordu. Chapman (1936), baz ve ölçü noktalarında kullandığı manyetometrelerin ölçtüğü toplam manyetik alan değerlerini analog olarak birbirinden çıkararak manyetik düşey gradient değerlerini elde etmiştir. Nelson (1956) ise Chapman (1936)' in önerdiği bu yöntemi biraz daha geliştirerek iki alıcı ile ölçtüğü toplam manyetik alan değişimlerini eş-zamanlı olarak bir osilograf üzerine kaydederek manyetik düşey gradient değerlerini elde etmiştir (Hood ve McClure, 1965).

Aitken (1961), gradiometre ölçümlerini aynı düzencek üzerinde almayı önermiştir. Bir düzencek üzerine yerleştirdiği 2 proton manyetometresi ile eş-zamanlı ölçümler gerçekleştirmiştir.

Rikitake ve Tanaoka (1960), Japonya' daki Mihara Dağı' nda volkanik aktiviteden kaynaklanan yer manyetik alanındaki değişimleri gözlemlemek için bir manyetometreyi volkan üzerinde ölçü alacak şekilde, diğeri de bir baz istasyonunda ölçü alacak şekilde kullanarak; iki proton manyetometresi ile eş-zamanlı ölçümler almışlardır.

İngiltere' de arkeolojik kalıntıların aranması amacıyla gradiometre yöntemi ilk kez (Aitken, 1961; Aitken ve Tite, 1962) tarafından kullanıştır. Aitken ve Tite (1962) aynı zamanda ölçü esnasında beat frekansını bir kulaklıktan duyabilecekleri ve ismini de "bleeper" verdikleri bir cihaz geliştirmişlerdir.

Daha sonraki yıllarda manyetik gradient ölçümleri diğeri araştırmacılar tarafından daha ayrıntılı bir biçimde incelenip uygulamaya konmuştur (Wickerham, 1954; Glicken, 1955; Hartman ve diğ., 1971). Bu makalelerde çoğunlukla toplam manyetik alanının birinci-yatay türevi, ($\partial\Delta T/\partial x$), ve havadan manyetik ölçümlerde kullanımı konusuna değinilmiştir (Hood ve McClure, 1965).

Manyetik gradiometre yöntemi, arazide kullanışlı, özellikle manyetik düşey gradient değişimlerinin kuramsal modeller (düşey dokanak, dayk, nokta kutup, sonlu dipol) üzerinde denenmesi, toplam manyetik alan belirtilerine göre farklılıkları ve üstün yanları birçok araştırmacı

tarafından incelenmiştir (Keating ve Pilkinton, 1990; Barango, 1985; Hood, 1965; Hood ve McClure, 1965).

Günümüzde ise saniyede 20 ölçü alabilen ve bu durumda 0.001 nT hassasiyet sunan gradiometreler üretilebilmektedir. Böylelikle veri toplama aşaması oldukça hızlı ve verimli bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir.

4.1. Temel Esaslar ve Arazide Ölçü Alımı

Manyetik gradiometre yönteminin esası birbirinden farklı yükseklikte bulunan iki manyetometre ile her ölçüm noktasında yer manyetik alanının toplam bileşenini ölçmeye dayanmaktadır. Farklı yüksekliklerde ölçülen yer manyetik alanının toplam bileşenlerinin farkının, ΔT , manyetometreler arasındaki mesafeye bölünmesiyle manyetik gradient değeri elde edilir. Bir manyetometrenin hassasiyeti A_T , alıcılar arasındaki mesafe Δr ise, manyetik gradient aşağıdaki denklemle ifade edilir (Breiner, 1999).

$$\frac{A_T}{\Delta r} \approx \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{T_r - T_{r+\Delta r}}{\Delta r} = \frac{dT}{dr_c} \quad (4.1)$$

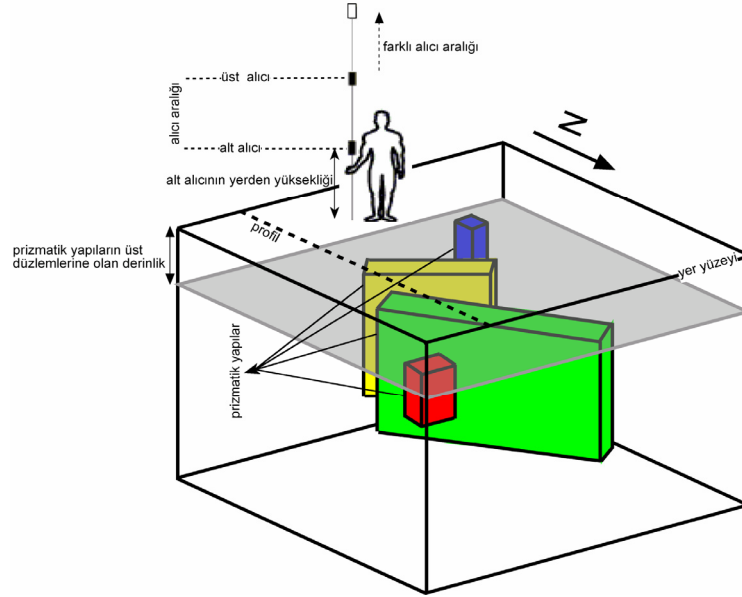
Burada; $\Delta T = T_r - T_{r+\Delta r}$ aralığı Δr olan iki alıcı ile ölçülen yer manyetik alanının toplam bileşenlerinin farklarını, dT/dr_c yer manyetik alanının toplam bileşeninin (T) gradientini veya kaynaktan olan uzaklığa (r_c) göre türevini göstermektedir. Teoride bir gradiometre alıcı aralığının orta noktasında gradient değerini ölçmektedir. Bu nedenle yöntem diferansiyel manyetometre yöntemi olarak da bilinmektedir.

Arazi çalışmalarında ise ölçümler amaca göre belirlenen K-G doğrultulu hatlar boyunca ve genellikle sürekli kayıt şeklinde gerçekleştirilmektedir. Daha sonra ölçü değerleri sayısallaştırılarak ölçüm noktaları arasına dağıtılır (Arısoy ve Ulugergerli, 2005).

Kısaca manyetik düşey gradient; her ölçüm noktasında alt alıcı ile ölçülen toplam manyetik alan değerinden üst alıcı ile ölçülen toplam manyetik alan değerinin farkının iki alıcı arasındaki mesafeye oranı olarak verilmektedir (Şekil 4.1). Bu durumda (Breiner, 1999) tarafından önerilen bağıntı biraz daha sadeleştirilirse,

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial h_t} = \frac{\Delta T_{alt\ alıcı} - \Delta T_{üst\ alıcı}}{h_{üst} - h_{alt}} \quad (4.2)$$

elde edilir. Bu bağıntıda h_{alt} ; alt alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliğini, $h_{üst}$; üst alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliğini simgelemektedir.



Şekil 4.1. Arazide manyetik düşey gradient ölçülerinin alınması ve farklı alıcı aralıklarının gösterimi

Manyetik düşey gradient değişimlerinin incelenmesi, günümüzde hem teorik hem de arazi uygulamaları açısından en sık kullanılan tekniktir. Manyetik yatay gradient (x ve y yönlerinde) değişimleri ise genellikle analitik çözümleme teknikleri ile elde edilmektedir.

Manyetik yatay gradient değişimlerinin arazide ölçülmesi iki farklı ölçüm yöntemini beraberinde getirmektedir. Bunlardan ilki hatta dik manyetik gradient ölçümleridir. Bu ölçüm tekniğinde alıcıların içinde bulunduğu gradiometre düzeneği seçilen hatta dik şekilde ilerletilerek ölçümler alınır (Şekil 4.2).

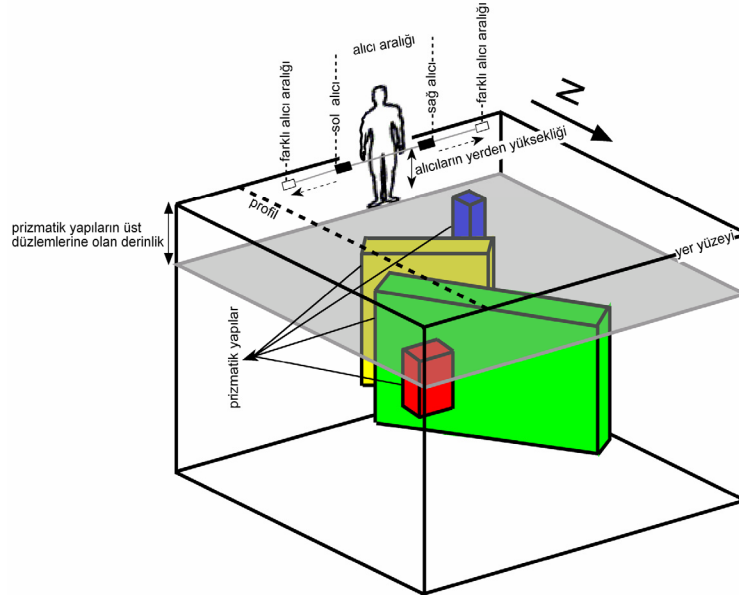
$$\frac{\partial \Delta T}{\partial y_t} = \frac{\Delta T_{\text{sağ alıcı}} - \Delta T_{\text{sol alıcı}}}{y_{\text{sağ}} - y_{\text{sol}}} \quad (4.3)$$

Bu bağıntıda $y_{\text{sağ}}$; sağ alıcının y eksenindeki konumunu, y_{sol} ; alt alıcının y eksenindeki konumunu simgelemektedir. Bu ölçü tekniğinde her iki alıcının da yer yüzeyinden olan yükseklikleri aynıdır.

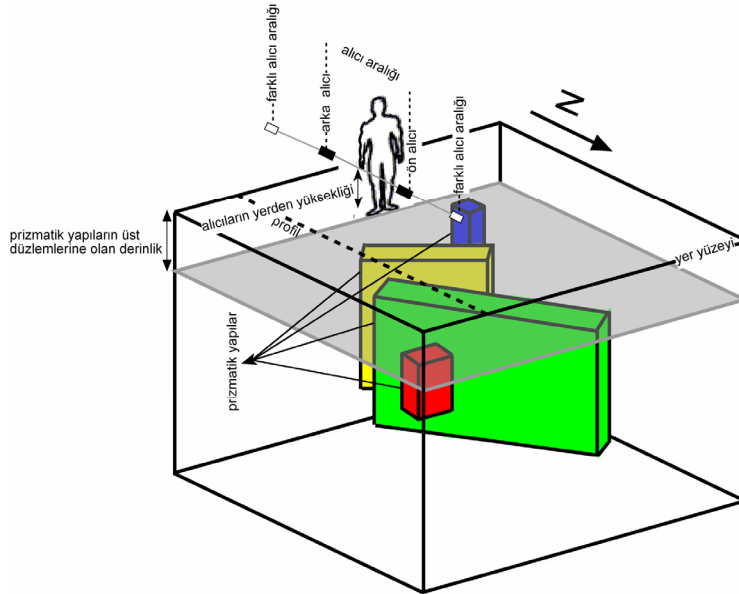
İkinci ölçü tekniği ise hatta paralel manyetik gradient ölçümleridir. Bu ölçüm tekniğinde alıcıların içinde bulunduğu gradiometre düzeneği seçilen hatta paralel şekilde ilerletilerek ölçümler alınır (Şekil 4.3).

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial x_t} = \frac{\Delta T_{\text{arka alıcı}} - \Delta T_{\text{ön alıcı}}}{x_{\text{arka}} - x_{\text{ön}}} \quad (4.4)$$

Bu bağıntıda x_{arka} ; arka alıcının x eksenindeki konumunu, $x_{\text{ön}}$; ön alıcının x eksenindeki konumunu simgelemektedir. Bu ölçü tekniğinde her iki alıcının da yer yüzeyinden olan yükseklikleri aynıdır.



Şekil 4.2. Arazide hatta dik manyetik gradient ölçülerinin alınması ve farklı alıcı aralıklarının gösterimi



Şekil 4.3. Arazide hatta paralel manyetik gradient ölçülerinin alınması ve farklı alıcı aralıklarının gösterimi

4.2. Manyetik Gradiometre Yönteminin Kullanım Alanları

Manyetik gradiometre yöntemi günümüzde çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Gradiometre çalışmaları havada, karada ve denizde yapılan ölçümler ile 3 ayrı kısımda yürütülmektedir. Havadan (uçak, helikopter) yapılan çalışmalara son zamanlarda oldukça rastlanmaktadır. Özellikle yöntem ile; metalik mineral aramaları, yüzeye yakın gömülü fayların aranması son zamanlarda oldukça fazla araştırmacının uygulamalarında görülmektedir. (Hood, 1965; Slack ve diğ., 1967; Hardwick, 1984; Barongo, 1985; Marcotte ve diğ., 1992). Denizde

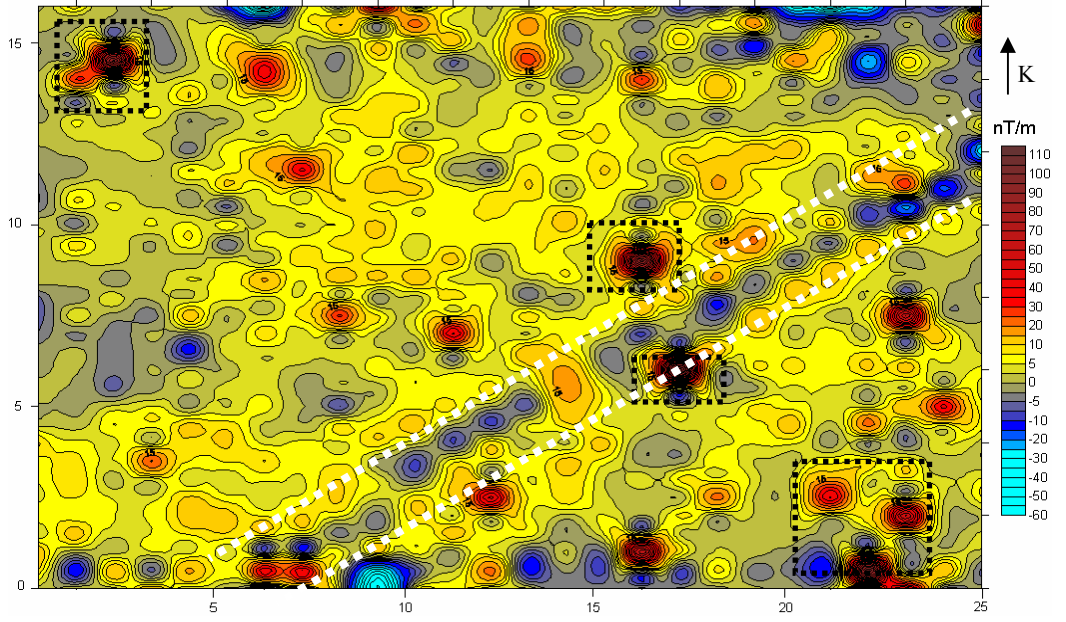
yapılan manyetik gradiometre çalışmaları ise batık gemilerin, mayınların tespitinde ve sualtı arkeolojisinde kullanımına da rastlanmaktadır (Eggers ve Thompson, 1984; Kumar ve diğ., 2006). Karada yapılan çalışmalar ise yakın yüzey araştırmaları çerçevesinde, arkeolojide, gömülü metal nesnelerin araştırılmasında, askeri amaçlı çalışmalarda, kimyasal atıkların araştırılmasında, metalik mineral aramalarında ve yüzeye yakın gömülü fayların tespitinde karşımıza çıkmaktadır (Hood ve McClure, 1965; Jeng ve diğ., 2003; Hrvoic ve Hollyer, 2005). Yöntem özellikle arkeoloji amaçlı araştırmalarda en çok kullanılan jeofizik yöntem haline gelmiştir. İzleyen kısımda manyetik gradiometre yönteminin arkeolojide kullanım alanları ile ilgili örnekler verilmiştir.

4.2.1. Arkeolojik Alanlarda Manyetik Gradiometre Yönteminin Kullanımı

Günümüzde, manyetik gradiometre yöntemi arkeolojik alanlarda en sık kullanılan yöntemdir. Bunun en önemli nedenleri yüksek duyarlıklı aletlerin üretilmesi, yöntem ile oldukça hızlı ve kaliteli veri toplanabilmesi, kısa sürede oldukça büyük alanların araştırılabilmesi, hızlı sonuç üretmesidir.

Arkeolojik amaçlı çalışmalarda özellikle manyetik özellik sunan duvarlar, temel yapıları, yanma çukurları, çöplük alanları, büyük seramik yığılımları, metal malzemeler, mezar yerleri kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bilgisayar ortamında çeşitli veri-işlem ve görüntü işleme teknikleri ile manyetik özellik sunan gömülü yapıların çalışma alanındaki yerleri kazı öncesi bilinmektedir. Ayrıca çeşitli analitik çözümleme ve modelleme çalışmaları ile gömülü yapıların manyetik özellikleri ve derinlikleri hakkında bilgilere ulaşılabilmektedir.

Yöntemin arkeolojik alanlarda uygulanması çerçevesinde; Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Arkeolojik Kurtarma Kazıları Projesi çerçevesinde toplanan manyetik gradient verilerine ait kontur haritaları ve kazı sonuçları ile karşılaştırılması ile ilgili 3 örnek Şekil (4.4, 4.5a-b, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9)' da verilmiştir.



Şekil 4.4. Erzurum ili Tasmator Nekropolisi üzerinde yapılan manyetik gradiometre ölçümlerine ait düşey manyetik gradient kontur haritası (alıcı aralığı 1m.)

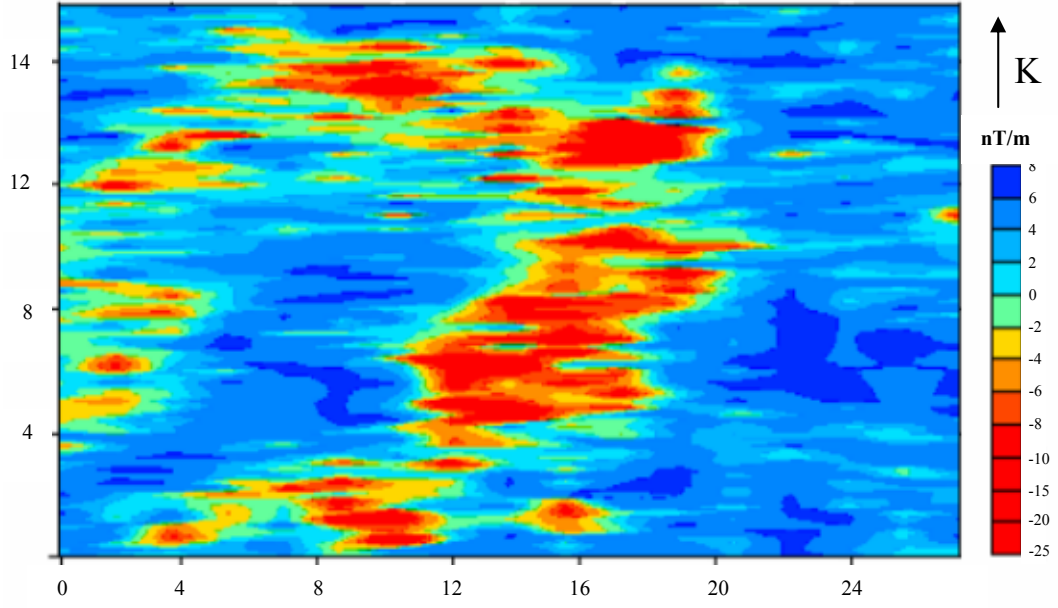


a)



b)

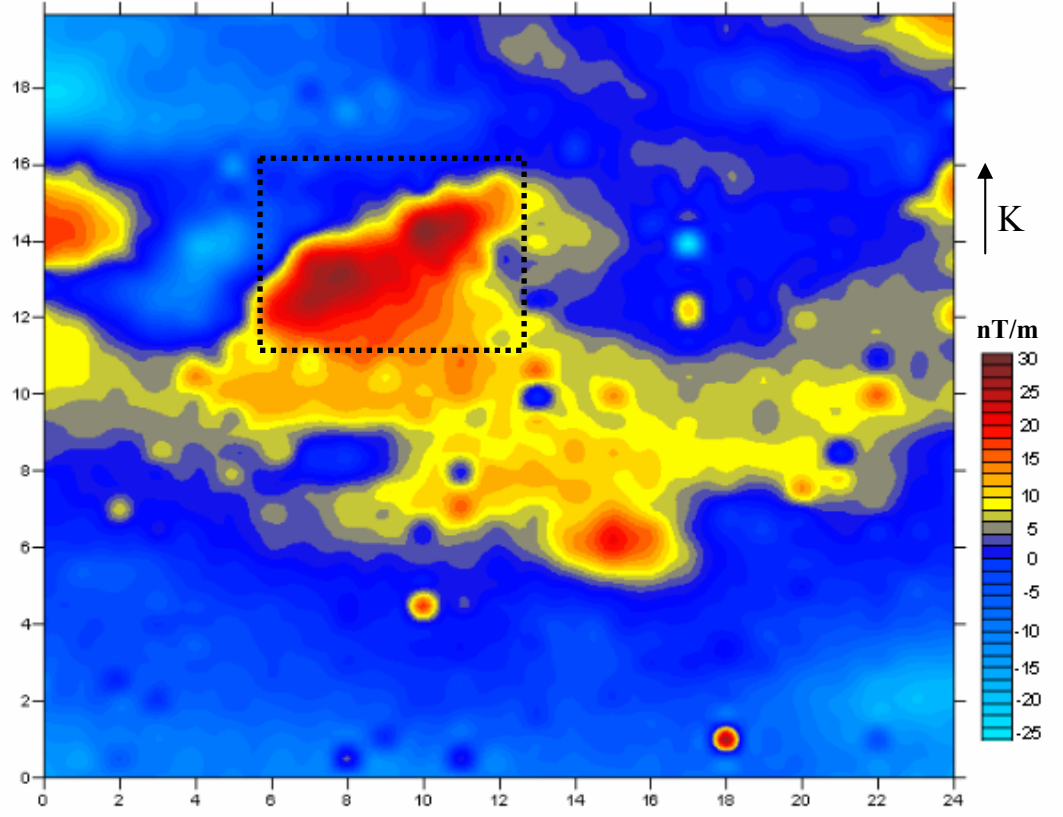
Şekil 4.5. Kazı sonrası görüntü. a) Beyaz kesikli çizgi ile gösterilen duvar Şekil 4.4' deki düşey manyetik gradient haritasında aynen beyaz kesikli çizgi ile gösterilmiştir. b) Şekil 4.4' deki düşey manyetik gradient kontur haritasında siyah kesikli çizgiler ile gösterilen alanlarda kazı sonrası çıkarılan büyük seramik yığışmaları



Şekil 4.6. Marş İli Çiğin Tepe mevkiinde bulunan askeri gözetleme kulesi üzerinde yapılan manyetik gradiometre ölçümlerine ait düşey manyetik gradient kontur haritası (alıcı aralığı 1m.)



Şekil 4.7. Ölçü sahası ve askeri gözetleme kulesine ait görüntü



Şekil 4.8. Adana ili Sarımaçı Köyü' nde bulunan bir nekropolis üzerinde yapılan manyetik gradiometre ölçümlerine ait düşey manyetik gradient kontur haritası (alıcı aralığı 1 m.)



Şekil 4.9. Kazı sonrası kurtarılan bir kaya mezarına ait görüntü. Şekil 6.8' de kesikli çizgi ile gösterilen alanda bulunmuştur

Özellikle son yıllarda yöntemin arkeolojik alanlarda kullanılması ile ilgili olarak (Odah ve diğ., 2005), (Bartington ve Chapman, 2004), (Cımılane, 2003), (Tabbagh, 2003), (Hounslow ve Chroston, 2002), (Gaffney ve diğ., 2000), (Tabbagh ve diğ., 1997)'e bakılabilir.

4.3. Yöntemin Üstün ve Zayıf Yanları

Manyetik gradiometre yönteminin üstün yanları sırasıyla anlatılacak olunursa,

- Yöntemde iki alıcı (sensör) ile eş zamanlı ölçüler alındığından zaman düzeltilmesi yapılmasına gerek yoktur. Ancak toplam manyetik alan ölçümleri zaman düzeltmesini gerektirmektedir.

- Toplam manyetik alan ölçümlerinde veri seti, hem bölgesel hem de yapısal etkilere ait değerler içermektedir. Manyetik gradiometre yönteminde iki alıcı kullanıldığı için bölgesel etkiler veriden otomatik olarak veriden temizlenmiş olur. Bu nedenle yöntem ile alınan veriler üzerinde bölgesel-yapısal ayrımının yapılmasına gerek yoktur.

- Manyetik yöntemlerde manyetik belirtiye neden olan yapının sığ mı yoksa derin mi olduğu tayini oldukça zordur. Bu nedenle manyetik yöntemlerde ters çözüm aşamaları yapının tahmini derinliğini (geniş bir aralıkta) de içine alan bir takım kısıtlamalar (constraints) altında yapılır. Ancak manyetik gradient verilerinin ters çözümlerinde yapının tahmini derinlik aralığı geniş olmadığından ters çözüm çalışmaları daha başarılı sonuçlanmaktadır.

- Ölçüm sonucunda elde edilen veri, seti sayısal manyetik gradient verisinin dışında 2 ayrı yükseklikte ölçülmüş toplam manyetik alan sayısal verisini de içermektedir. Verinin yorumuna ışık tutması açısından bu 3 veri seti de yorumlanabilir.

- Çevresel gürültülerin fazla olduğu ortamlarda yöntem başarılı bir şekilde kullanılabilir.

- Manyetik gradiometre yöntemi; yüzeye yakın, zayıf manyetik belirti sunan, küçük boyutlu cisimler için toplam manyetik alan belirtilerine göre daha yüksek çözünürlük sunar.

- Teknolojideki gelişimlerle birlikte saniyede 10 ölçü alabilen gradiometreler üretilmektedir. Bu sayede ölçü noktaları aralığı sürekli ölçü alma konumunda 5 cm' e kadar düşmektedir.

- Ölçüm işleminin hızlı olması, büyük alanların diğer yöntemlere göre daha hızlı yorumlanabilmesi ve yukarıda anlatılan diğer nedenlerden dolayı yöntem; arkeolojik alanlarda, gömülü metal nesnelerin aranmasında ve diğer yakın yüzey araştırmalarında kullanılan en yaygın yöntem haline gelmiştir.

Manyetik gradiometre yönteminin zayıf yanları sırasıyla anlatılacak olunursa,

- Yöntem ile ölçülen verilerde derinlik bilgisi yoktur. Manyetik gradient belirtisine neden olan yapının derinliğinin belirlenebilmesi bir takım analitik çözümlene veya modelleme çalışmasını gerektirir.

- Ölçü sahasında bulunan metal nesnelere, çitler, boru hatları, binaların ölçülere etkileri çoğu zaman yanıltıcı olabilir.
- Aranan yapının manyetik özelliği çevresini saran kayalardan ve diğer örtü birimlerinden farklı değilse yöntem etkili bir biçimde kullanılamaz.

5. 3-BOYUTLU PRİZMATİK YAPILARDAN KAYNAKLANAN YATAY VE DÜŞEY MANYETİK GRADİENT BELİRTİ DENKLEMLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Geleneksel olarak potansiyel alan verilerinin modellenmesinde düz çözüm ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Ters çözüm aşamaları ise ancak alan hakkında yeterli ön bilgi varsa yararlı olmaktadır (Barbosa and Silva, 1994; Barbosa et al, 1997; Boulanger and Chouteau, 2001).

Literatürde çok sayıda toplam manyetik alan verilerinin modellenmesi ile ilgili bilgisayar yazılımı bulunmaktadır. Çok sayıda araştırmacı gibi toplam manyetik alan belirtilerini bilinen modeller için incelemişlerdir (Bhattacharya, 1980; Wang ve Hansen, 1990; Rao ve Babu, 1993).

Öte yandan, literatürde çok az sayıda manyetik gradiometre verilerinin modellenmesi ile ilgili bilgisayar yazılımı bulunmaktadır. Bunun en önemli nedeni özellikle arkeoloji amaçlı çalışmalar vb. araştırmalarda öncel amaç; derinlik bilgisinden çok aranan yapının ölçüm alanı üzerindeki yeri ve fiziksel özelliğinin dağılımının belirlenmesidir. Bununla birlikte çoğu araştırmacı manyetik gradiometre verilerinin görsel sunumlarından önce veriye çeşitli matematik ve istatistiksel yöntemleri uygulayarak; gürültü seviyesini azaltmak, veriyi düzgünleştirmek, manyetik gradient belirtilerini keskinleştirmek amacıyla birçok araştırma yapmıştır (Fedi ve Florio, 2001; Ginzburg, 2002; Jeng ve diğ., 2003; Frumkis ve diğ., 2005).

Yüksek lisans tezinde düşey ve yatay manyetik gradient belirtilerinin gelişigüzel mknatislanmış ve yönlenmiş prizmatik yapılardan kaynaklandığı varsayımı yapılmıştır. Bu varsayım için, Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen toplam manyetik alan belirti denklemi kullanılmıştır. Rao ve Babu (1991) 3-B prizmatik yapının yatay kenarlarının koordinat eksenlerine paralel olmaması durumunda yani prizmanın coğrafik kuzeyle bir θ açısı yapacak şekilde döndüğü durumda yeni bir manyetik belirti bağıntısı önermiştir. Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen bu bağıntı izleyen kısımda detaylı bir biçimde anlatılmıştır.

x - y yatay düzlemi üzerinde gözlemlenen toplam manyetik alan belirtilerinin gelişigüzel mknatislanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılar tarafından oluşturulduğunu varsayalım (Şekil 5.1). Prizma yüzeylerinin koordinat merkezinden x ve y eksenlerine olan yatay uzaklıkları sırasıyla (a_1, a_2) ve (b_1, b_2) , prizmanın üst ve alt yüzeylerinin x - y yatay düzlemine göre derinlikleri ise (h_1, h_2) olarak tanımlansın. Eğer prizmanın yatay kenarları koordinat eksenine paralel değilse, prizmanın yatay kenarlarının coğrafik kuzeyle bir θ açısı yaptığı düşünülerek (x', y') gibi yeni bir koordinat sistemine geçilir. Böylece prizmanın yatay kenarları yeni seçilen (x', y') koordinat sistemine paralel olur ve

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (5.1)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (5.2)$$

biçimine dönüştürülür. I ve D yer manyetik alanının inklinasyon ve deklinasyon açılarını temsil etmek üzere, yer manyetik alan vektörünün doğrultman kosinüsleri;

$$p = \cos I \cos (D - \theta) \quad (5.3)$$

$$q = \cos I \sin (D - \theta) \quad (5.4)$$

ve

$$r = \sin I \quad (5.5)$$

olarak tanımlanır. Miknatıslanma vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açılarını sırasıyla I_θ ve D_θ temsil etmek üzere, yer manyetik alanının doğrultman kosinüsleri ise,

$$L = \cos I_\theta \cos (D_\theta - \theta) \quad (5.6)$$

$$M = \cos I_\theta \sin (D_\theta - \theta) \quad (5.7)$$

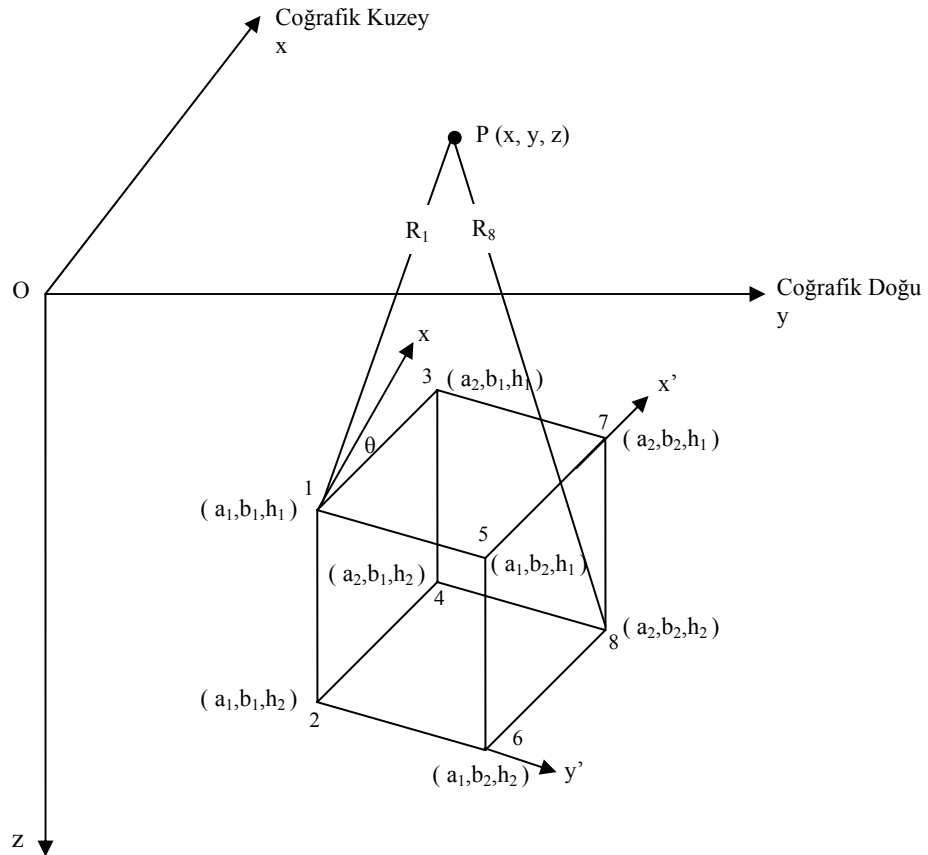
$$N = \sin I_\theta \quad (5.8)$$

olarak tanımlanır.

Eğer gözlemlenen toplam manyetik alan belirtileri, N_b sayıda prizma nedeniyle oluşmuş ise herhangi bir (x, y, θ) noktasındaki manyetik belirti bağıntısı, C rejyonel alan sabiti olmak üzere Rao ve Babu (1991) tarafından

$$\Delta T(x, y, \theta) = \sum_{k=1}^{N_b} \Delta T_k(x, y, \theta) + C \quad (5.9)$$

bağıntısıyla verilmiştir.



Şekil 5.1. 3-Boyutlu prizmatik yapı modeli (Rao ve Babu, 1991)

Şekil (5.1) ile verilen 3-B prizmatik modele ait xoy düzlemi üzerinde gözlemlenen toplam manyetik alan belirti denklemi

$$\Delta T(x, y, 0) = G_1 \ln F_1 + G_2 \ln F_2 + G_3 \ln F_3 + G_4 \ln F_4 + G_5 \ln F_5 \quad (5.10)$$

şeklindedir.

(5.10) bağıntısında verilen değişkenler,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (5.11)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (5.12)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + h_1)(R_3 + h_2) + (R_5 + h_1)(R_8 + h_2)}{(R_1 + h_1)(R_4 + h_2) + (R_6 + h_1)(R_7 + h_2)} \quad (5.13)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_8 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_6 \beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2 h_2}{R_4 \beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1 h_2}{R_2 \beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_7 \beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_5 \beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2 h_1}{R_3 \beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1 h_1}{R_1 \beta_1} \quad (5.14)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_8 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2 h_2}{R_6 \alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_4 \alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1 h_2}{R_2 \alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_7 \alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2 h_1}{R_5 \alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_3 \alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1 h_1}{R_1 \alpha_1} \quad (5.15)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (5.16)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (5.17)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (5.18)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (5.19)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (5.20)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_1^2} \quad (5.21)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_2^2} \quad (5.22)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_1^2} \quad (5.23)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + h_2^2} \quad (5.24)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_1^2} \quad (5.25)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + h_2^2} \quad (5.26)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_1^2} \quad (5.27)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_2^2} \quad (5.28)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (5.29)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (5.30)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (5.31)$$

$$\beta_2 = b_2 - y' \quad (5.32)$$

olarak verilmiştir.

Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen (5.10) bağıntısının bilgisayarda programlanması kolaydır ve hesaplama zamanı oldukça kısadır.

Herhangi bir noktadaki toplam manyetik alan belirtisini ve kısmi türevlerini hesaplarken (5.9) bağıntısının yinelemeli olarak kullanılması gerekir. Gözlem noktası sayısının çok fazla arttığı durumlarda toplam manyetik alan belirtisini hesaplamak için gereken zaman artacaktır. Bu durumlarda bilgisayarda hesaplama zamanını azaltmak amacıyla Rao ve Babu (1991), hem türev hesaplamaları hem de belirtinin hesaplanması için prizmatik yapıların çizgi kütle olarak düşünüldüğü ve Kunaratnam (1981) tarafından üretilen yaklaşık manyetik belirti bağıntısını,

$$\Delta T(x, y, 0) = A \int_{h_1}^{h_2} \left(G_1 \frac{\partial^2}{\partial h \partial \beta} + G_2 \frac{\partial^2}{\partial h \partial \alpha} + G_3 \frac{\partial^2}{\partial \beta \partial \alpha} - G_4 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} + G_5 \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \right) \times \frac{1}{R} dh \quad (5.33)$$

yeniden düzenlemişlerdir. Burada,

$$R = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + h_2^2} \quad (5.34)$$

ve

$$A = (a_2 - a_1)(b_2 - b_1) \quad (5.35)$$

şeklinde verilmiştir. (5.33) bağıntısında, h' ye göre integralin alınması sonucunda yaklaşık toplam manyetik alan belirti denkleminde ulaşılır.

$$\Delta T(x, y, 0) = A \left[(G_1 \beta + G_2 \alpha) \left(\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3} \right) + G_3 C_1 \frac{\alpha \beta}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_4 (C_1 \beta^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{G_5 (C_1 \alpha^2 + C_2)}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \quad (5.36)$$

burada,

$$\alpha = \frac{a_1 + a_2}{2} - x' \quad (5.37)$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2} - y' \quad (5.38)$$

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_1^2} \quad (5.39)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + h_2^2} \quad (5.40)$$

$$C_2 = \left[\frac{h_1}{R_1} - \frac{h_2}{R_2} \right] \quad (5.41)$$

$$C_1 = \left[\frac{h_2}{R_2^3} - \frac{h_1}{R_1^3} - \frac{2C_2}{(\alpha^2 + \beta^2)} \right] \quad (5.42)$$

olarak verilmiştir. (5.36) bağıntısı, aşağıda verilen bağıntılarda belirtilen aralıklar (bu aralıklar prizmatik yapıya yakın olan bölgeleri ifade etmektedir) hariç her gözlem noktasında geçerlidir.

$$(a_2 + 2) > x > (a_1 - 2) \quad (5.43)$$

ve

$$(b_2 + 2) > y > (b_1 - 2) \quad (5.44)$$

(5.36) bağıntısının logaritmik ve arctanjantlı terimler içermemesi nedeniyle, toplam manyetik alan belirtisinin hesaplanması daha az bilgisayar zamanını gerektirir. Prizma üzerinde ya da yakın civarında belirtiyi hesaplamak için de (5.10) bağıntısının kullanılması gerekir.

Düşey manyetik gradient ölçü tekniği, Bölüm 4' de anlatıldığı gibi arazi uygulamalarında en çok kullanılan yöntemdir. Bu ölçüm tekniğinde genellikle alıcı aralığı 1m. seçilmektedir. Tez çalışması kapsamında hem yatay hem de düşey manyetik gradiometre arazi çalışmalarında hem de kuramsal çalışmalarda alıcı aralıkları 0.5 m., 1 m. ve 1.5 m. olarak seçilmiştir. Özellikle düşey manyetik gradient verilerinin arazide toplanmasında alıcı aralıklarının seçiminin ne kadar önemli olduğu özellikle izleyen kısımda verilen kuramsal model çalışmalarında açıkça ortaya konmuştur.

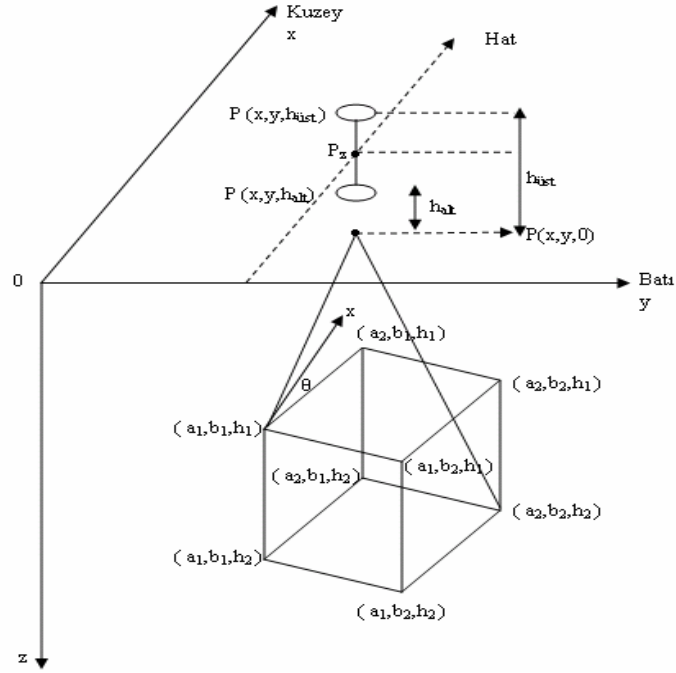
Simgesel olarak sırasıyla, h_{alt} ; alt alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliğini, $h_{üst}$; üst alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliğini göstermek üzere düşey manyetik gradient aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir (Arısoy ve Ulugergerli, 2005).

$$\frac{\Delta T_{(x,y,h_{alt})} - \Delta T_{(x,y,h_{üst})}}{h_{üst} - h_{alt}} = \left. \frac{d\Delta T}{dz} \right|_{P_z} \quad (5.45)$$

Düşey manyetik gradient belirtilerinin gelişigüzel miktanslanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılar tarafından oluşturulduğu varsayılınsın (Şekil 5.2). Bu durumda düşey manyetik gradient belirti denklemi için Rao ve Babu, 1991 tarafından önerilen ve (5.9) bağıntısı ile ifade edilen toplam manyetik alan denklemi değiştirilirse,

$$\Delta T(x, y, h_{üst} - h_{alt}) = \sum_{k=1}^{N_p} \frac{\Delta T_{(x,y,h_{alt})} - T_{(x,y,h_{üst})}}{h_{üst} - h_{alt}} \quad (5.46)$$

elde edilir. (5.46) bağıntısının elde edilebilmesi için (5.10) bağıntısı alıcıların farklı düşey konumlarına (z) göre iki kere kullanılmıştır ve bu bağıntıdaki değişkenler de alıcıların farklı konumlarına göre yeniden düzenlenmiştir. Bu bağıntılar Ek 1' de verilmiştir.



Şekil 5.2. 3-Boyutlu prizmatik yapı üzerinde düşey manyetik gradient ölçümü (Rao ve Babu, 1991' den değiştirilerek alınmıştır)

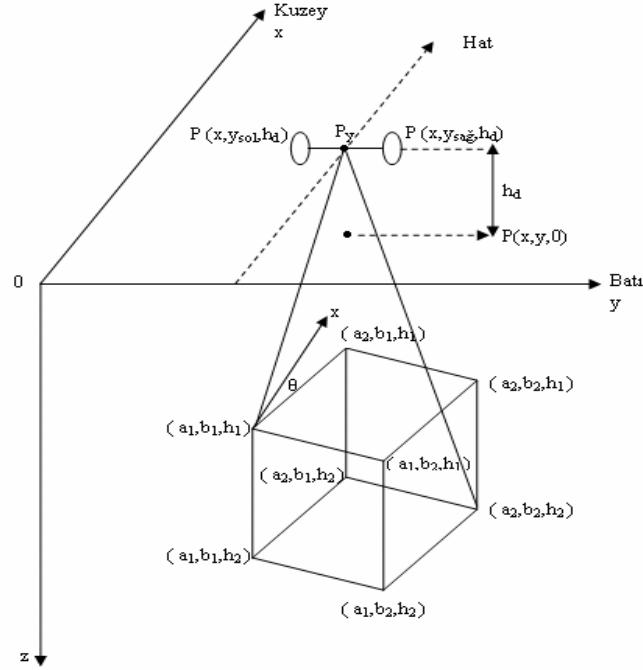
Simgesel olarak sırasıyla, $y_{sağ}$; sağ alıcının y eksenini üzerindeki konumunu, y_{sol} ; sol alıcının y eksenini üzerindeki konumunu göstermek üzere hatta dik manyetik gradient aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir (Arısoy ve Uluggerli, 2005).

$$\frac{\Delta T_{(x, y_{sağ}, h_d)} - \Delta T_{(x, y_{sol}, h_d)}}{y_{sağ} - y_{sol}} = \left. \frac{d\Delta T}{dy} \right|_{P_y} \quad (5.47)$$

Bu ölçü yönteminde iki alıcının da yer yüzeyinden olan yükseklikleri aynı olacak şekilde ölçüler alınmaktadır. (5.47) denkleminde h_d hatta dik manyetik gradient ölçülerinde her iki alıcının da yer yüzeyinden olan yüksekliklerini simgelemektedir. Hatta dik manyetik gradient belirtilerinin gelişigüzel mknatıslanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılar tarafından oluşturulduğu varsayılımsın (Şekil 5.3). Bu durumda hatta dik manyetik gradient belirti denklemi için Rao ve Babu, 1991 tarafından önerilen ve (5.9) bağıntısı ile ifade edilen toplam manyetik alan denklemi değiştirilirse,

$$\Delta T(x, y_{sağ} - y_{sol}, h) = \sum_{j=1}^{N_p} \frac{\Delta T_{(x, y_{sağ}, h)} - T_{(x, y_{sol}, h)}}{y_{sağ} - y_{sol}} \quad (5.48)$$

elde edilir. (5.48) bağıntısının elde edilebilmesi için (5.10) bağıntısı alıcıların farklı yatay konumlarına (y) göre iki kere kullanılmıştır ve bu bağıntıdaki değişkenler de alıcıların farklı konumlarına göre yeniden düzenlenmiştir. Bu bağıntılar Ek 2' de verilmiştir.



Şekil 5.3. 3-Boyutlu prizmatik yapı üzerinde hatta dik manyetik gradient ölçümü (Rao ve Babu, 1991' den değiştirilerek alınmıştır)

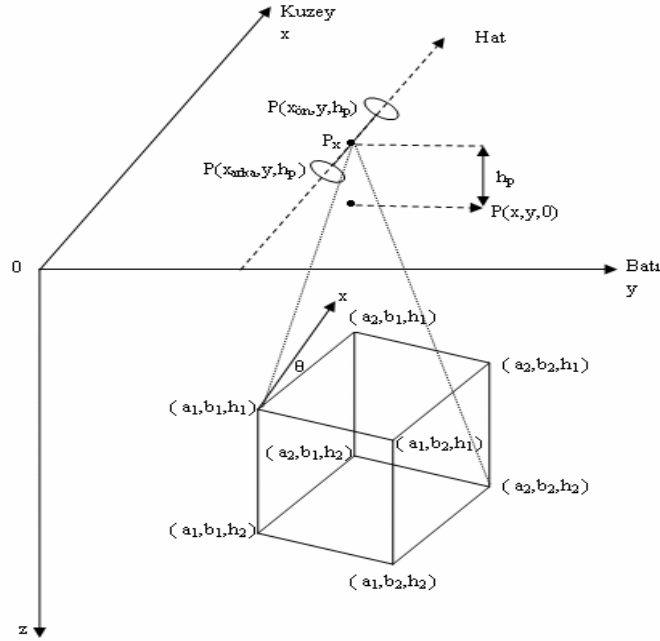
Simgesel olarak sırasıyla, x_{arka} ; arka alıcının x eksenindeki konumunu, $x_{ön}$; ön alıcının x eksenindeki konumunu göstermek üzere hatta paralel manyetik gradient aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir (Arısoy ve Uluggerli, 2005).

$$\frac{\Delta T_{(x_{arka}, y, h_p)} - \Delta T_{(x_{ön}, y, h_p)}}{x_{arka} - x_{ön}} = \left. \frac{dT}{dx} \right|_{P_x} \quad (5.49)$$

Bu ölçü yönteminde iki alıcının da yer yüzeyinden olan yükseklikleri aynı olacak şekilde ölçüler alınmaktadır. (5.49) denkleminde h_p hatta paralel manyetik gradient ölçülerinde her iki alıcının da yer yüzeyinden olan yüksekliklerini simgelemektedir. Hatta paralel manyetik gradient belirtilerinin gelişigüzel miktatsızlanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılar tarafından oluşturulduğu varsayalım (Şekil 5.4). Bu durumda hatta paralel manyetik gradient belirti denklemi için Rao ve Babu, 1993 tarafından önerilen ve (5.9) bağıntısı ile ifade edilen toplam manyetik alan denklemi değiştirilirse,

$$\Delta T(x_{arka} - x_{ön}, y, h_p) = \sum_{j=1}^{N_p} \frac{\Delta T_{(x_{arka}, y, h_p)} - T_{(x_{ön}, y, h_p)}}{x_{arka} - x_{ön}} \quad (5.50)$$

elde edilir. (5.50) bağıntısının elde edilebilmesi için (5.10) bağıntısı alıcıların farklı yatay konumlarına (x) göre iki kere kullanılmıştır ve bu bağıntıdaki değişkenler de alıcıların farklı konumlarına göre yeniden düzenlenmiştir. Bu bağıntılar Ek 3' de verilmiştir.



Şekil 5.4. 3-boyutlu prizmatik yapı üzerinde hatta paralel manyetik gradient ölçümü (Rao ve Babu, 1991' den değiştirilerek alınmıştır)

Yukarıda açıklanan bağıntılar Rao ve Babu (1993) tarafından önerilen tam manyetik belirti bağıntısının manyetik gradient verilerini üretmesi için değiştirilmiş halidir. Ayrıca (5.36) ile önerilen yaklaşık manyetik belirti bağıntısı da manyetik gradient verilerinin sentetik olarak üretilmesi için değiştirilmiştir.

Yukarıda anlatıldığı gibi düşey manyetik gradient ölçü tekniği yer manyetik alanının toplam bileşeninin z yönündeki türevini ölçmektedir. Düşey manyetik gradient ölçü tekniğinde farklı alıcı aralıklarının seçilmesiyle elde edilecek düşey manyetik gradient değerlerinin, yapıların yeraltındaki farklı konumlarına ve mıknatıslanma şiddetlerine göre nasıl değiştiği kuramsal modeller üzerinde ilerleyen bölümde sınanacaktır. Düşey manyetik gradient ölçü tekniğinde farklı alıcı aralıklarının seçiminin ne kadar önemli bu kuramsal modeller üzerinde gösterilmiştir.

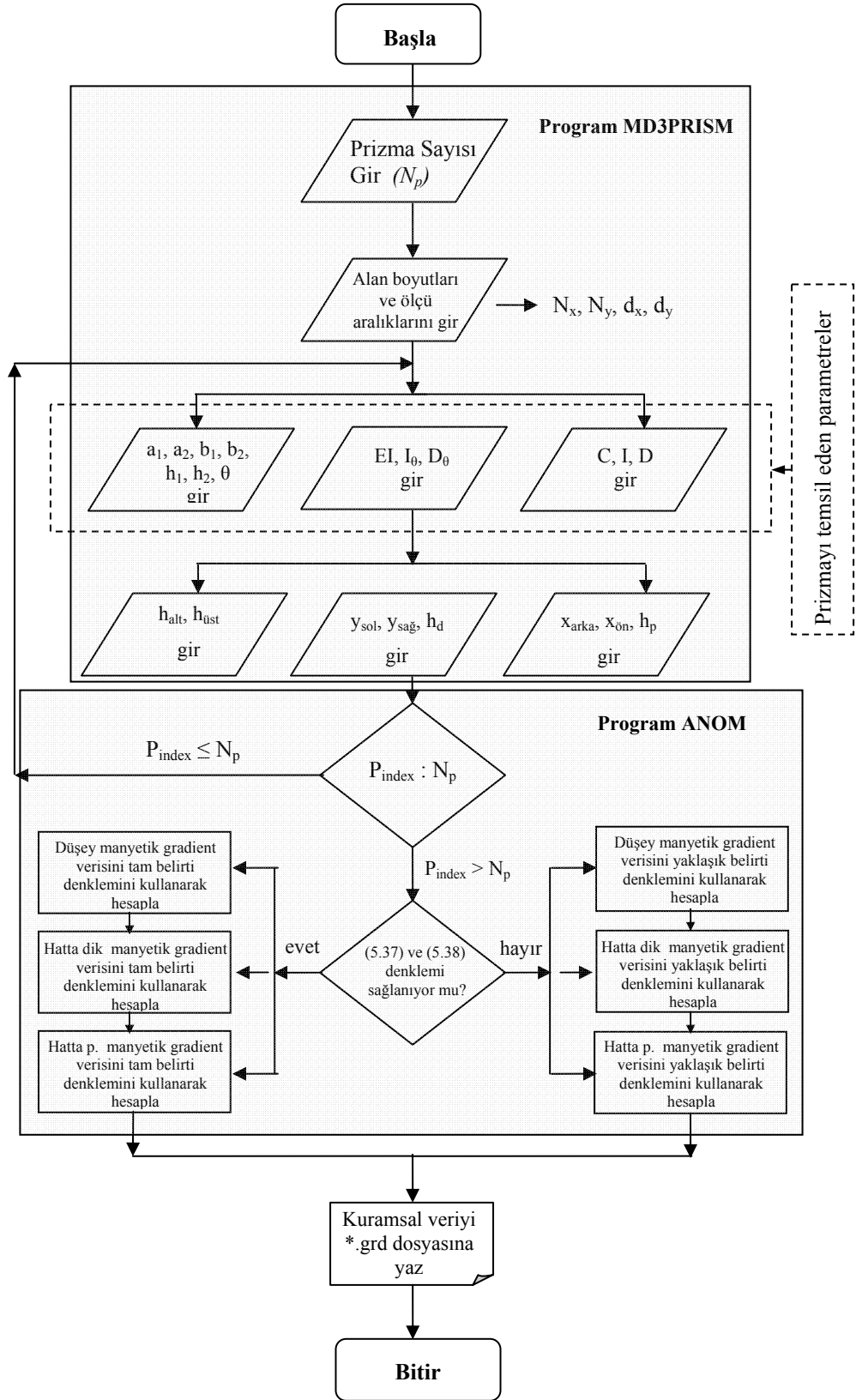
Düşey manyetik gradient ölçü tekniğine ek olarak, yukarıda anlatıldığı gibi hatta paralel ve hatta dik manyetik gradient ölçü teknikleri önerilmiştir. Hatta paralel ve hatta dik manyetik gradient ölçü teknikleri sırasıyla yer manyetik alanının toplam bileşeninin x ve y yönündeki türevlerini ölçmektedir. Bunun yanı sıra yöntemlerin en büyük avantajı, yapıların yatay yönlere (x, y) sınırlarını belirlemesidir. Fedi ve Florio (2001) tarafından manyetik belirtiye neden olan yapı/yapıların yatay yönlere sınırlarının tespit edilmesi için önerilen yatay türev metodu günümüzde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, eldeki sayısal manyetik belirti haritasının/haritalarının x ve y yönlerinde 1. türevlerinin karelerinin toplamalarının karekökü olarak önerilmiştir. Tezde önerilen yatay manyetik gradient ölçü teknikleri, yer manyetik alanının toplam bileşeninin x ve y yönlerinde 1. türevlerini ölçtüğünden Fedi ve Florio (2001) tarafından önerilen

yatay türev metodu rahatlıkla hesaplanabilir. Günümüzde manyetik belirti gösteren yapıların yatay yöndeki sınırlarının belirlenmesi için önerilen birçok yöntem de yer manyetik alanının x ve y yönlerindeki 1. türevlerine gereksinim duymaktadır. Bu yöntemler, eldeki yatay manyetik gradient belirtileriyle rahatlıkla kullanılabilir.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' de verilen hatta dik ve hatta paralel manyetik gradient ölçüm esaslarına dikkat edilecek olursa 2 adet alıcı yerden belirli bir ve aynı yüksekliklerde farklı x ve y yönlerinde yer manyetik alanının toplam bileşenini ölçmektedir. Manyetik gradiometreler kullanılmadan da hatta dik ve hatta paralel manyetik gradient ölçüleri arazide, toplam manyetik alan ölçümleri ile toplanabilir. Ancak bu ölçüler üzerinde öncelikle zaman düzeltilmesi yapılmalı ve veri setinden bölgesel etkiler çıkarılmalıdır. Ayrıca arazide toplam manyetik alan ölçüleriyle yatay manyetik gradient belirtilerinin belirlenmesi manyetik gradiometrelere kıyasla daha uzun ölçü zamanı gerektirmektedir. Bu nedenle yatay manyetik gradient verilerinin arazide ölçülmesi, manyetik gradiometrelerin kullanılmasıyla daha hızlı ve duyarlı olacaktır.

5.1. 3-Boyutlu Düz Çözüm Algoritması

Rao ve Babu, (1993) tarafından önerilen ANOM alt programı ve MD3PRISM ana programı, düşey ve yatay manyetik gradiometre kuramsal verilerinin üretilebilmesi için değiştirilmiştir. MD3PRISM programına; miktatsızlanmış prizmatik yapının hem geometrik hem de fiziksel özelliklerini tanımlayan 12 parametre dışında alıcıların her 3 manyetik gradient ölçüm tekniğindeki konumlarını ve yerden yüksekliklerini (h_{alt} , $h_{üst}$, $y_{sağ}$, y_{sol} , h_d , x_{arka} , $x_{ön}$, h_p) ifade eden parametreler eklenmiştir. ANOM alt programının kaynak kodları da hem düşey hem de yatay manyetik gradient verilerini üretebilmesi için toplam yer manyetik alanının x , y , z yönündeki türevlerini alabilecek şekilde değiştirilmiştir. Kullanılan 3-Boyutlu düz çözüm algoritması Şekil (5.5)' de verilmiştir.



Şekil 5.5. 3-boyutlu düz çözüm algoritması

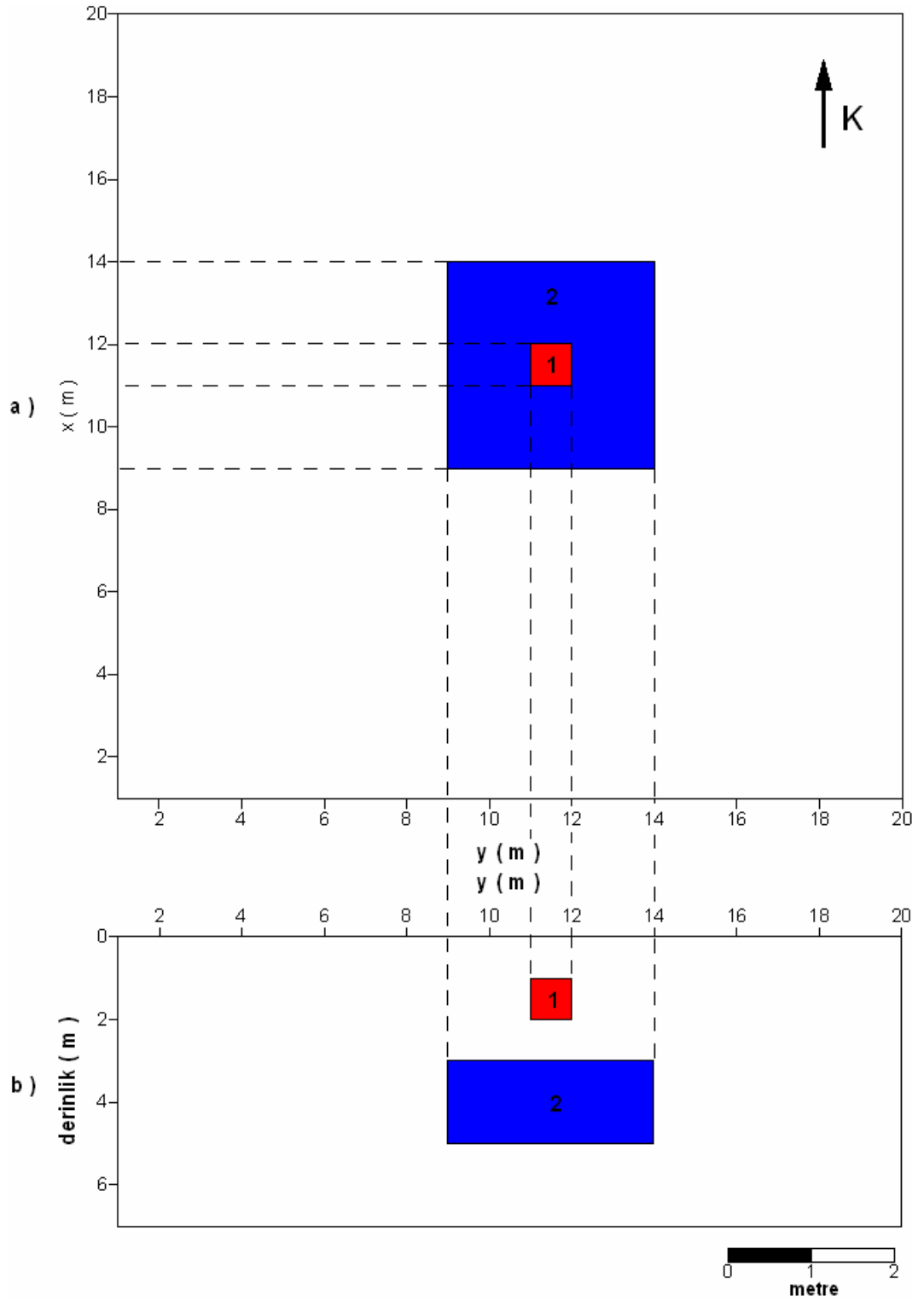
İzleyen kısımda ise, çizelgelerde verilen mıknatıslanmış prizmatik yapılardan kaynaklanan toplam manyetik alan, düşey ve yatay manyetik gradient kuramsal verileri hesaplanarak, görüntü haritaları şeklinde verilmiştir.

Öncelikle model yanıtları hesaplanacak olan prizmatik yapıların ölçü alanı içindeki dağılımları gösterilmiş ve belirlenen düzlemlere olan izdüşümleri gösterilmiştir.

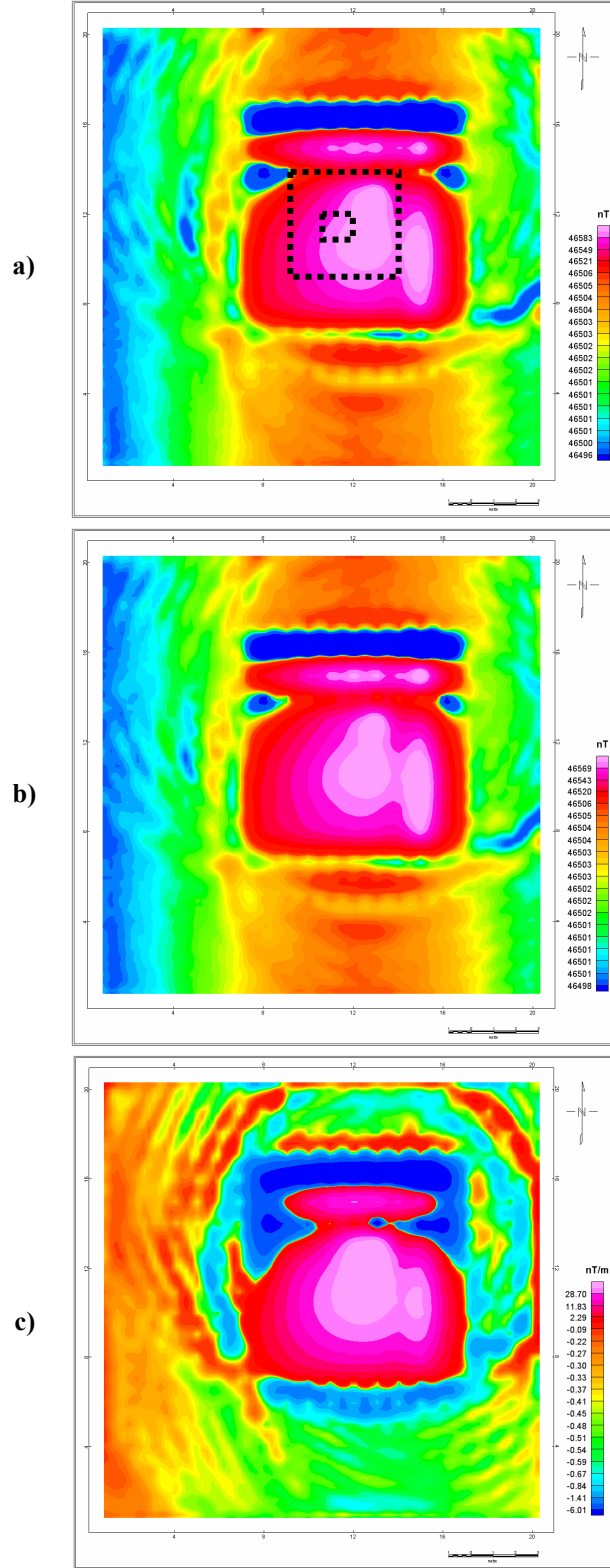
Daha sonra prizmatik modellerden kaynaklanan, her alıcı aralığı (*0.5 m, 1m, 1.5 m*) için toplam manyetik alan ve düşey manyetik gradient görüntü haritaları sırasıyla sunulmuştur. Her alıcı aralığı için sunulan düşey manyetik gradient görüntü haritaları üzerinde belirlenen doğrultularda çapraz kesitler alınmıştır. Daha sonra bu kesitler üzerindeki, her alıcı aralığı için düşey manyetik gradient değişimleri (o yer modeli için hangi alıcı aralığının seçilmesinin daha uygun olmasının araştırılması nedeniyle) profil eğrileri şeklinde sunulmuştur.

Daha sonra farklı alıcı aralıkları için hesaplanan hatta dik ve hatta yatay manyetik gradient görüntü haritaları sırasıyla sunulmuştur.

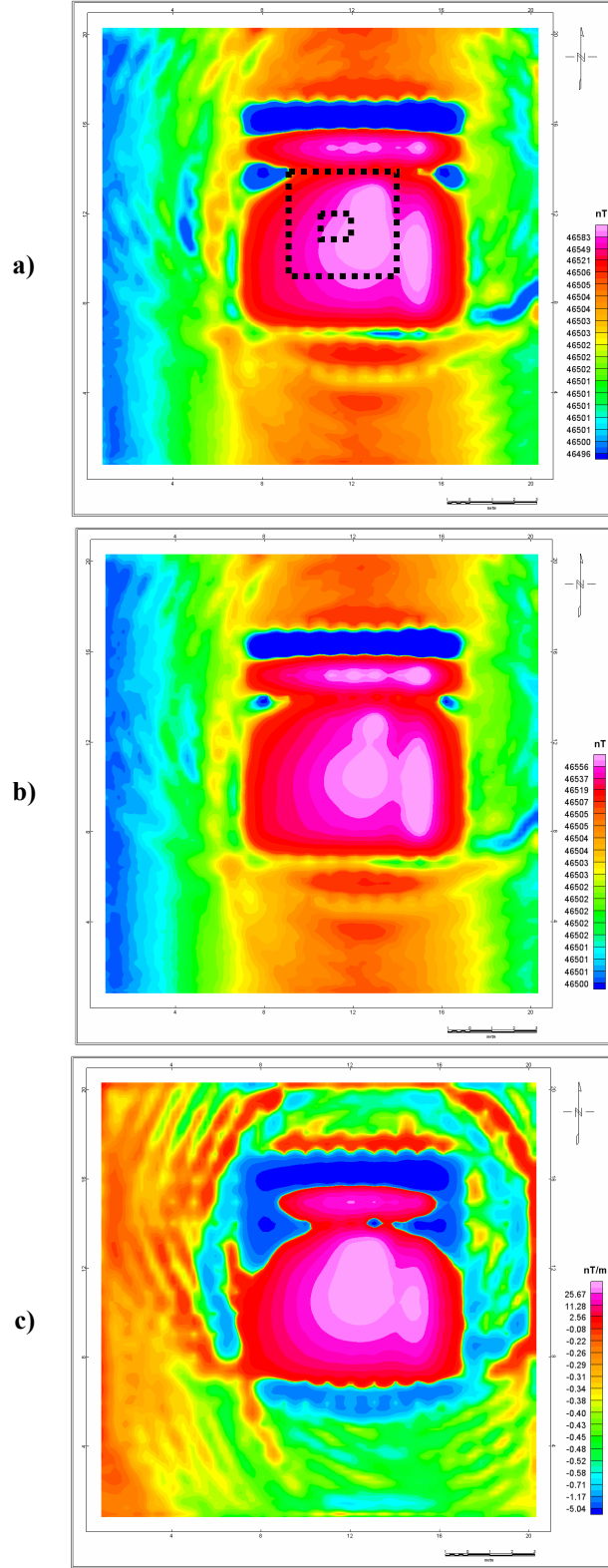
Prizmatik yapıların yatay düzlem üzerindeki konumları ise düşey ve yatay manyetik gradient görüntü haritaları üzerinde kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.



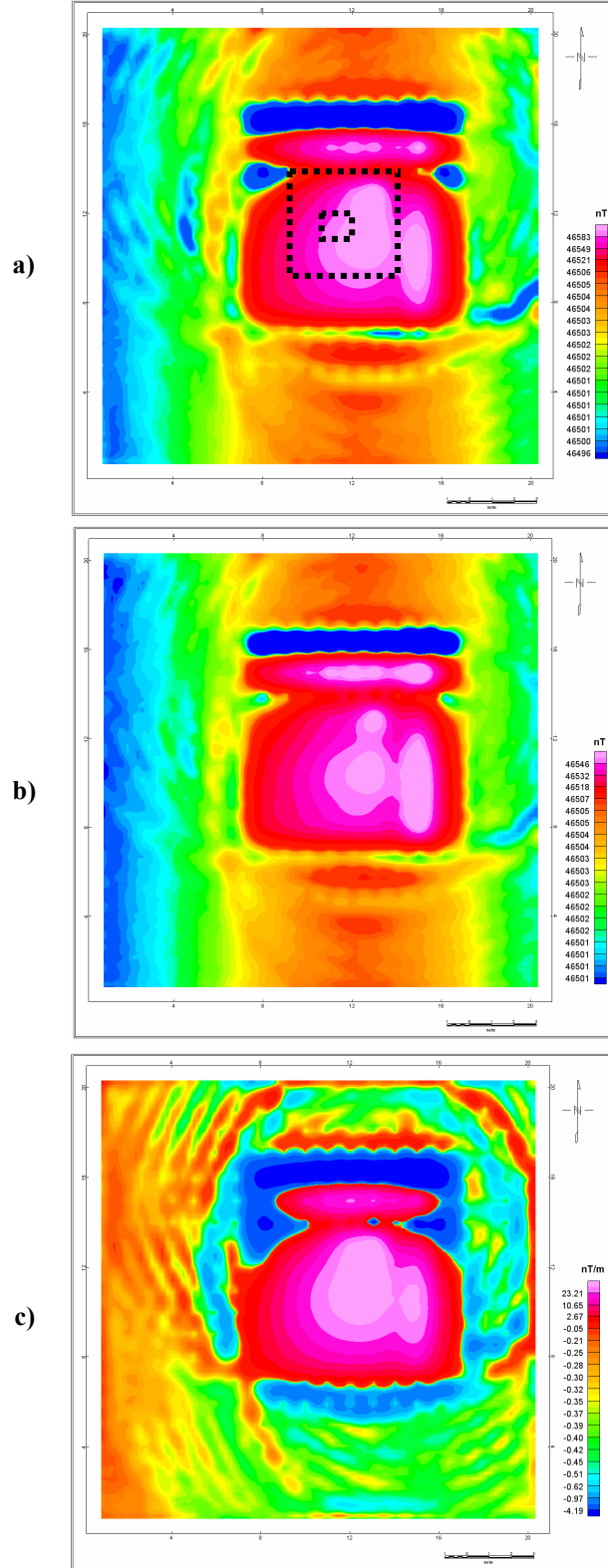
Şekil 5.6. 2 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) derinlik-y düzlemine izdüşümleri



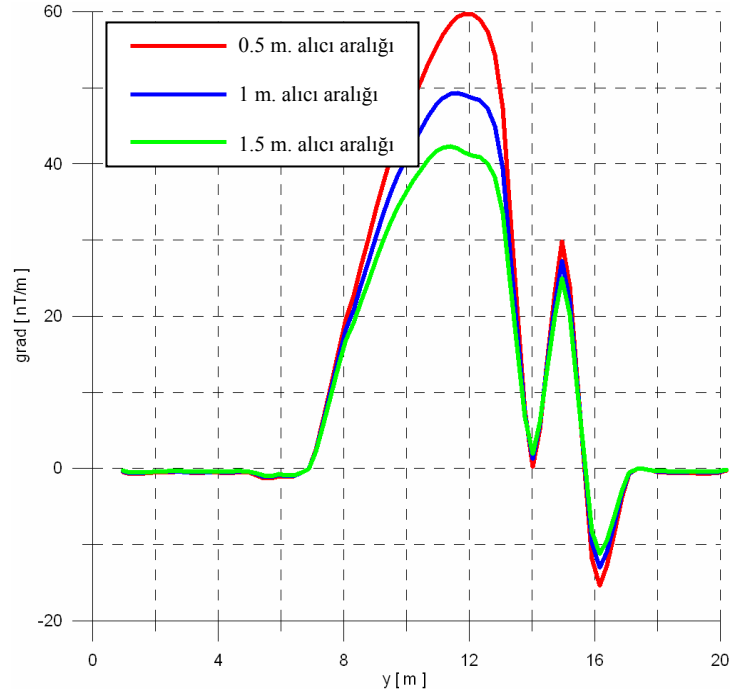
Şekil 5.7. 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



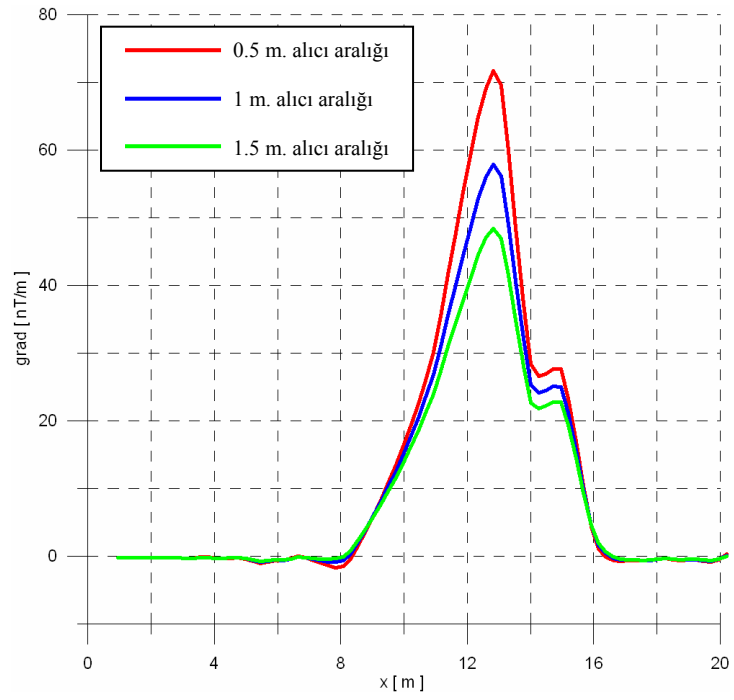
Şekil 5.8. 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



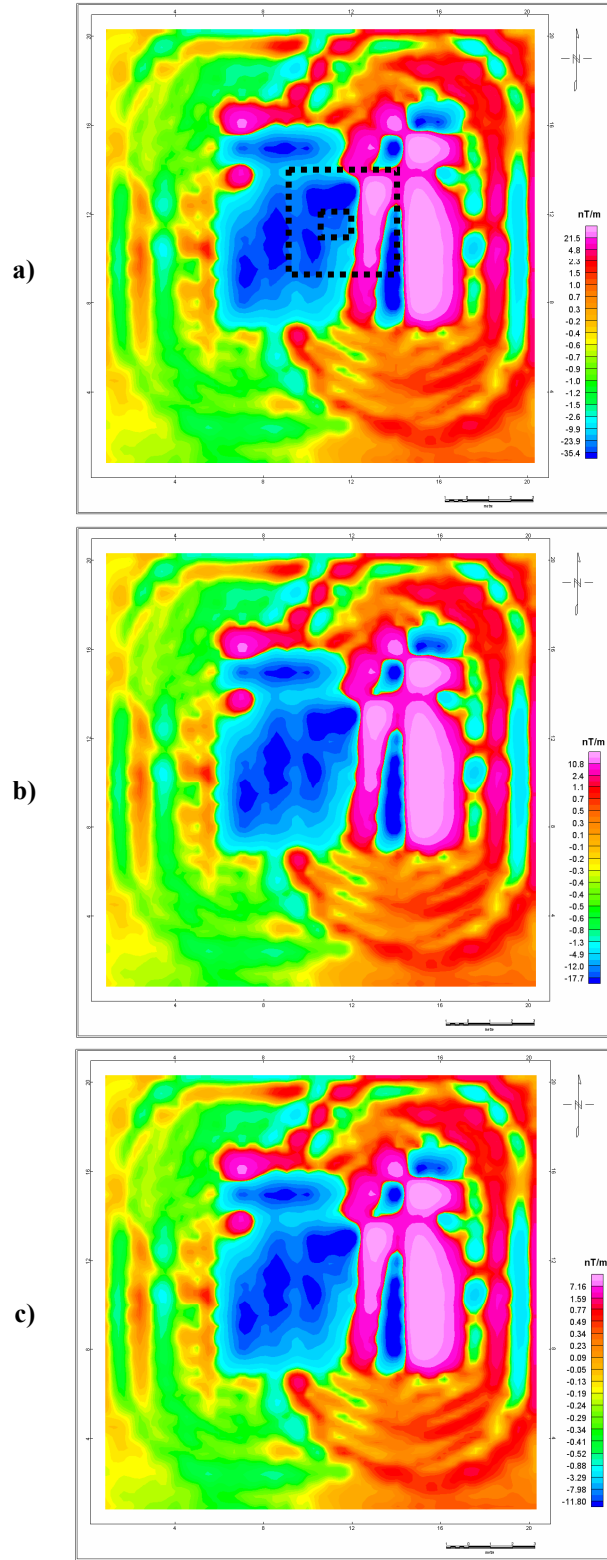
Şekil 5.9. 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



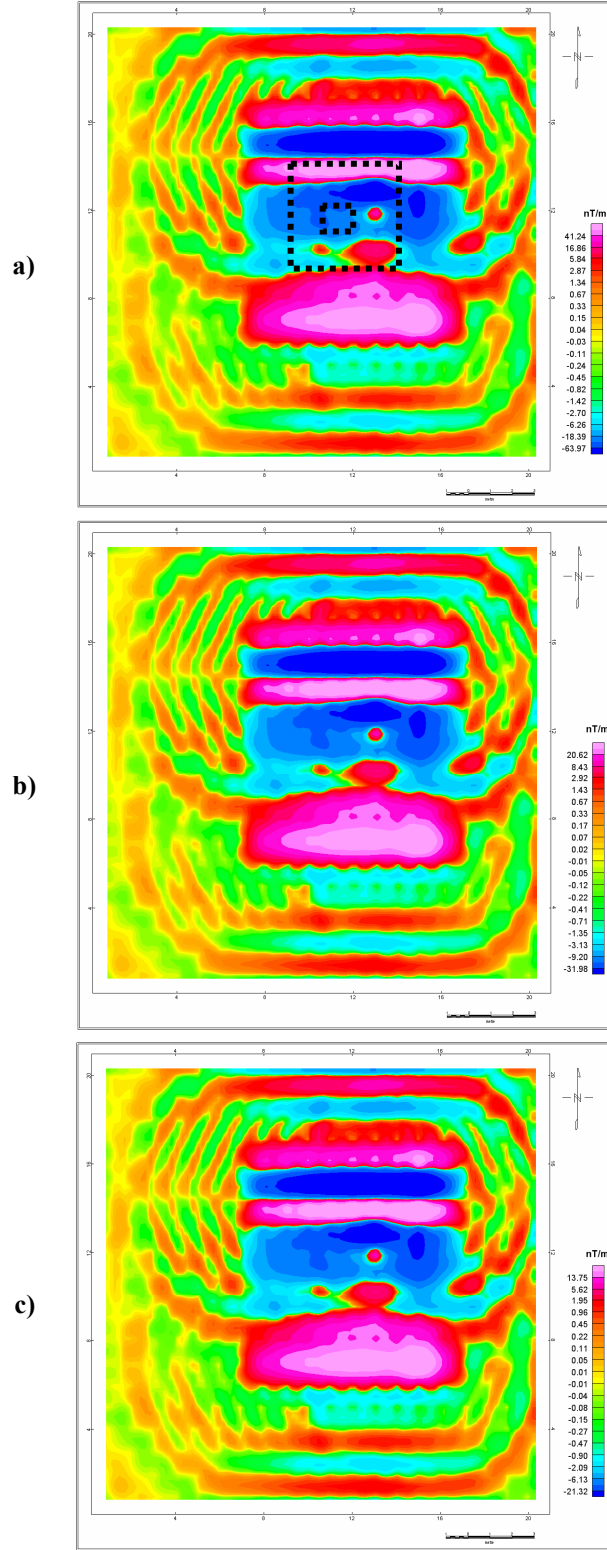
Şekil 5.10. 2 adet prizma modelinde K-G yönlü 12. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



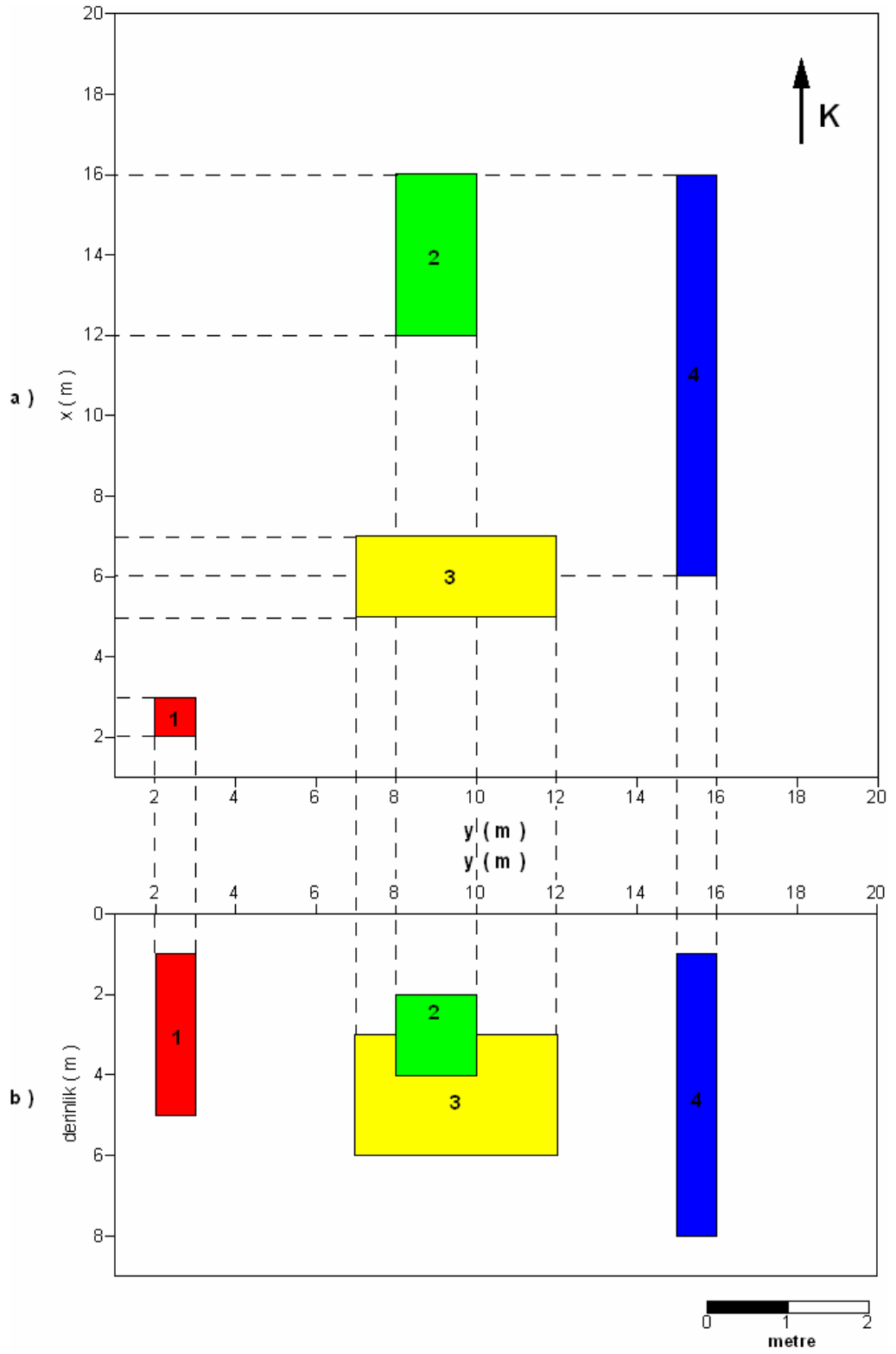
Şekil 5.11. 2 adet prizma modelinde D-B yönlü 10. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



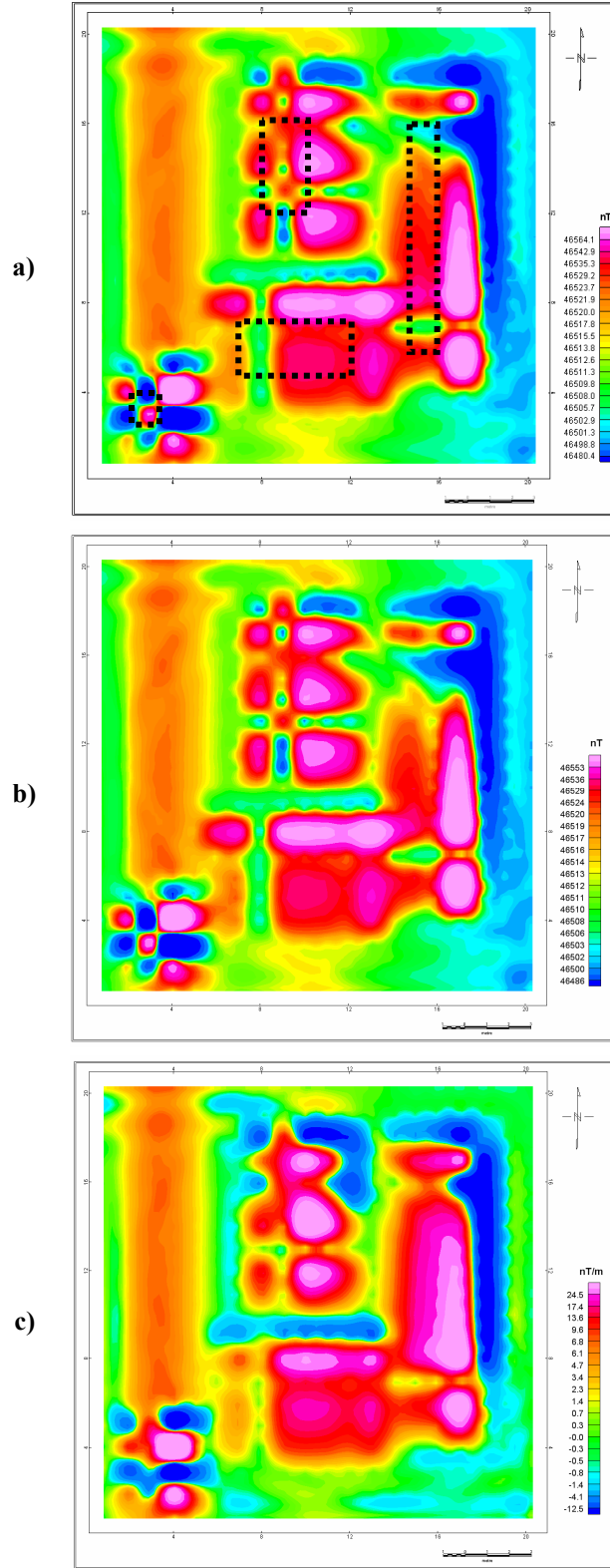
Şekil 5.12. 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası



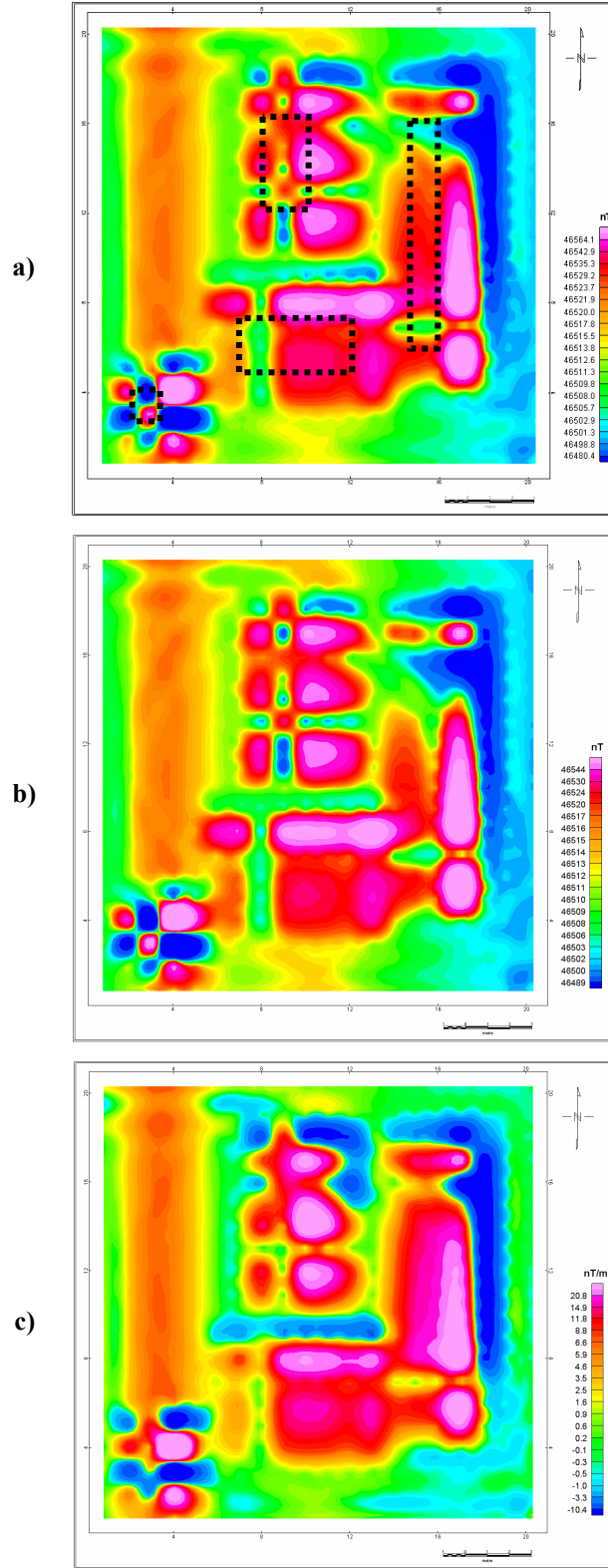
Şekil 5.13. 2 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası



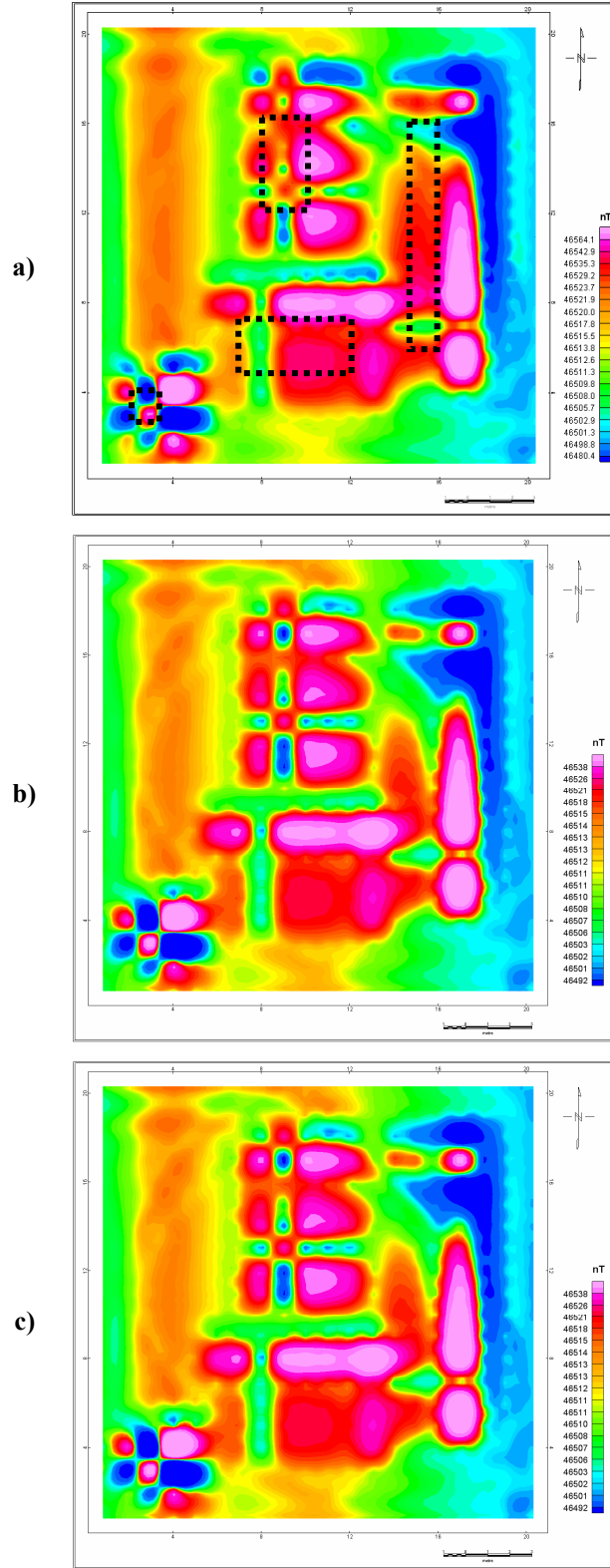
Şekil 5.14. 4 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) derinlik-y düzlemine izdüşümleri



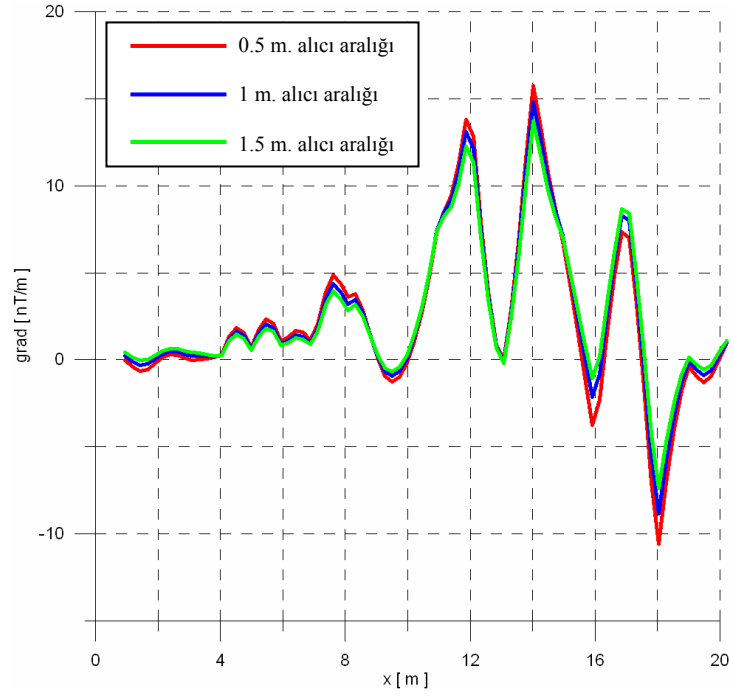
Şekil 5.15. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



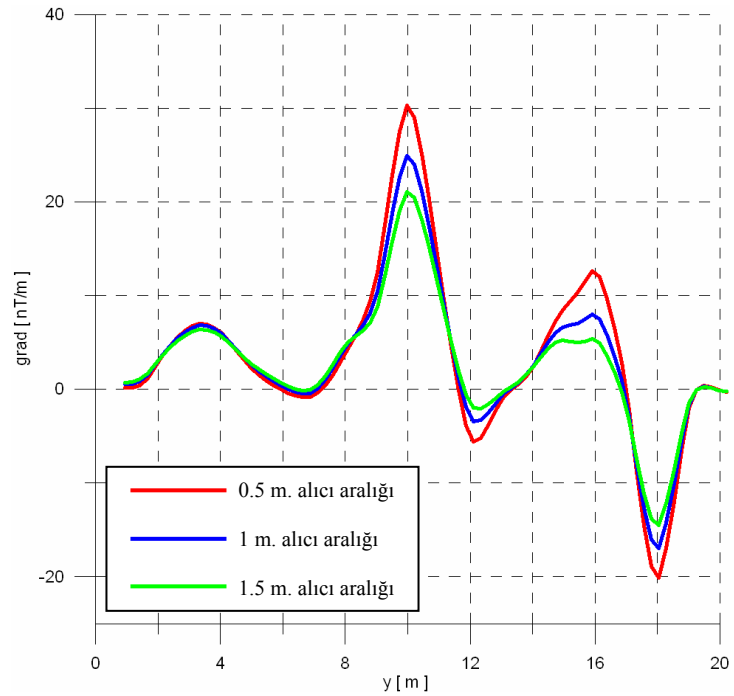
Şekil 5.16. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



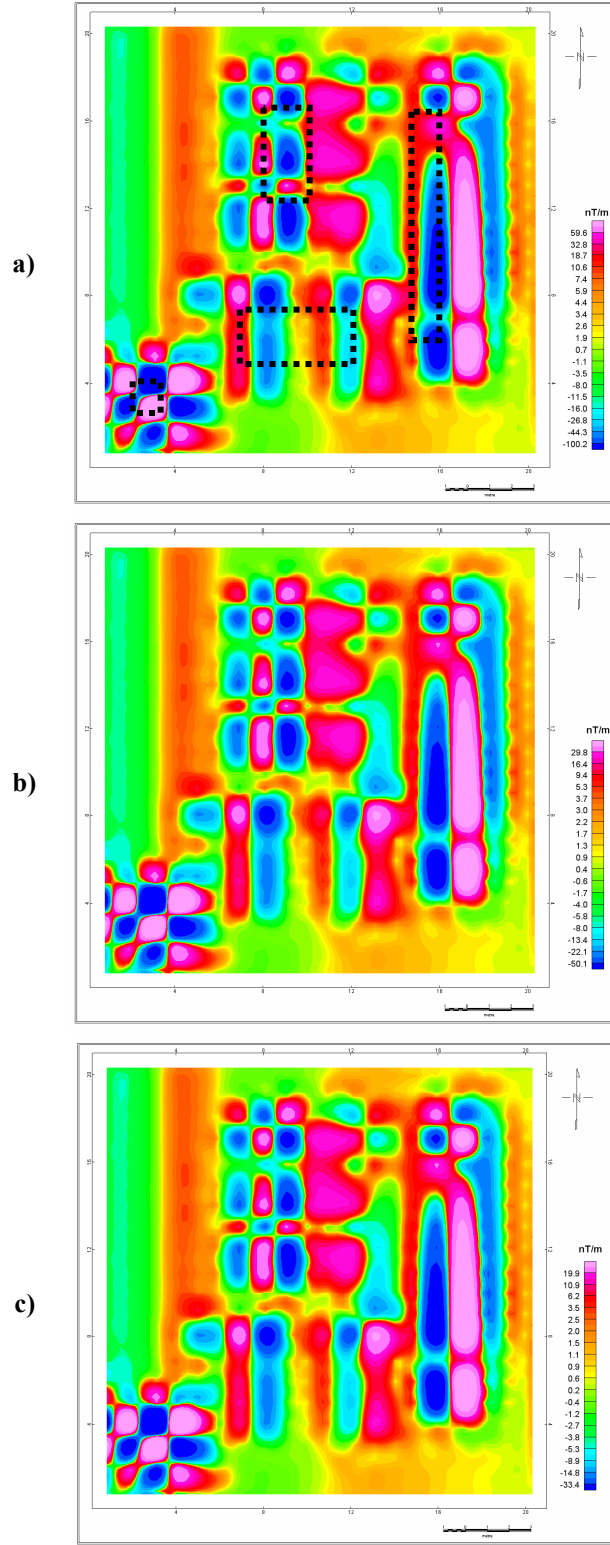
Şekil 5.17. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



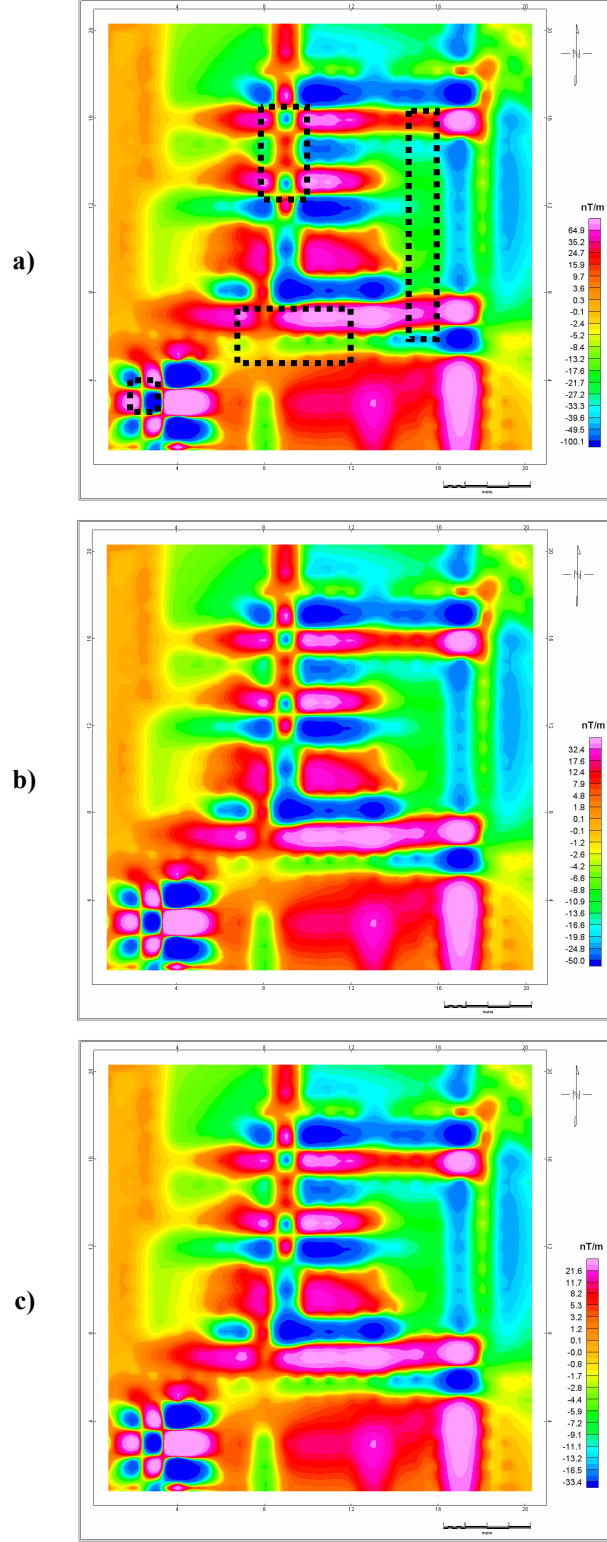
Şekil 5.18. 4 adet prizma modelinde K-G yönlü 12. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



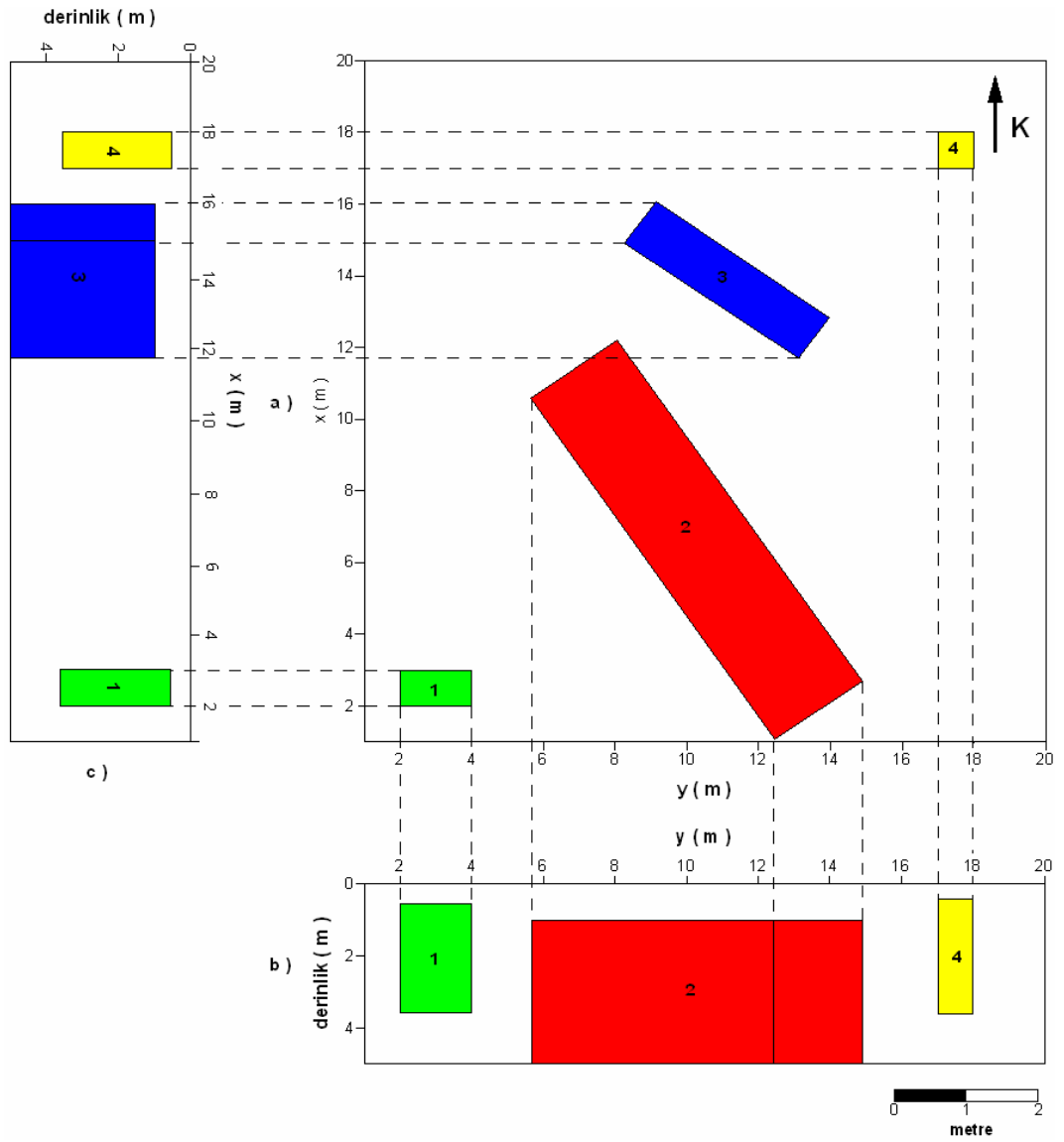
Şekil 5.19. 4 adet prizma modelinde K-G yönlü 9. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



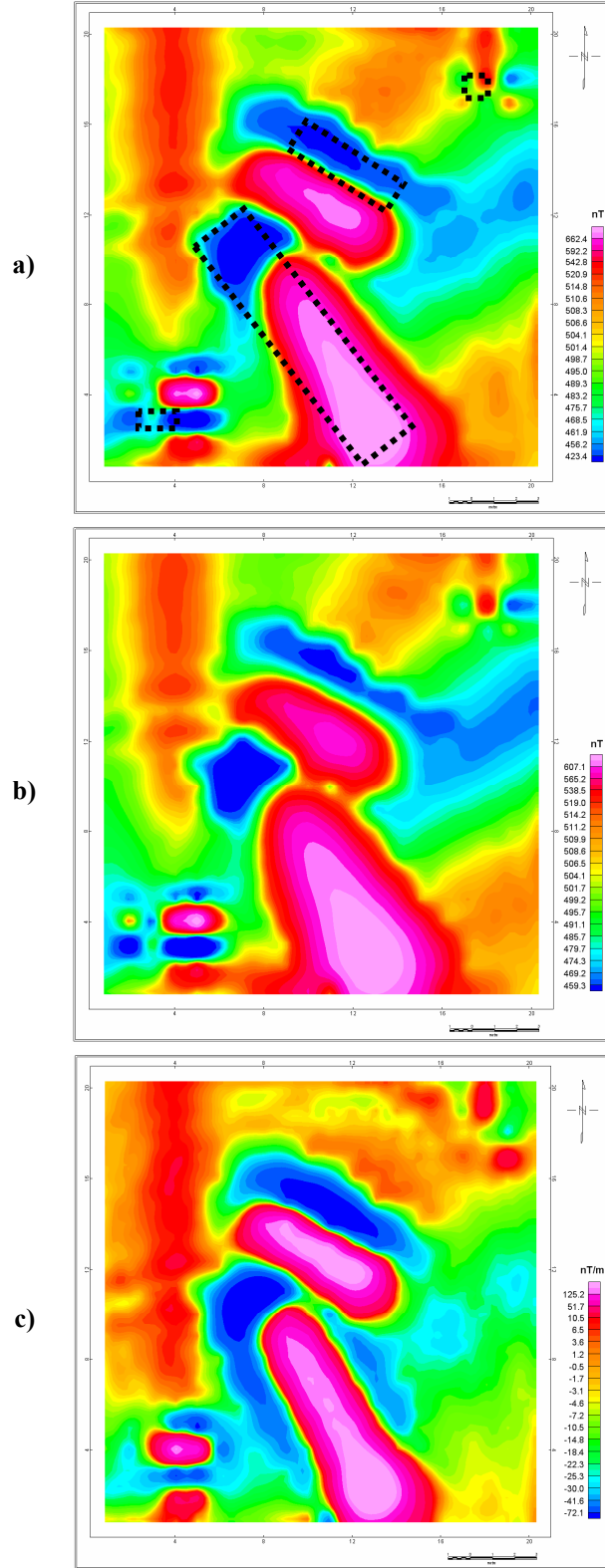
Şekil 5.20. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası



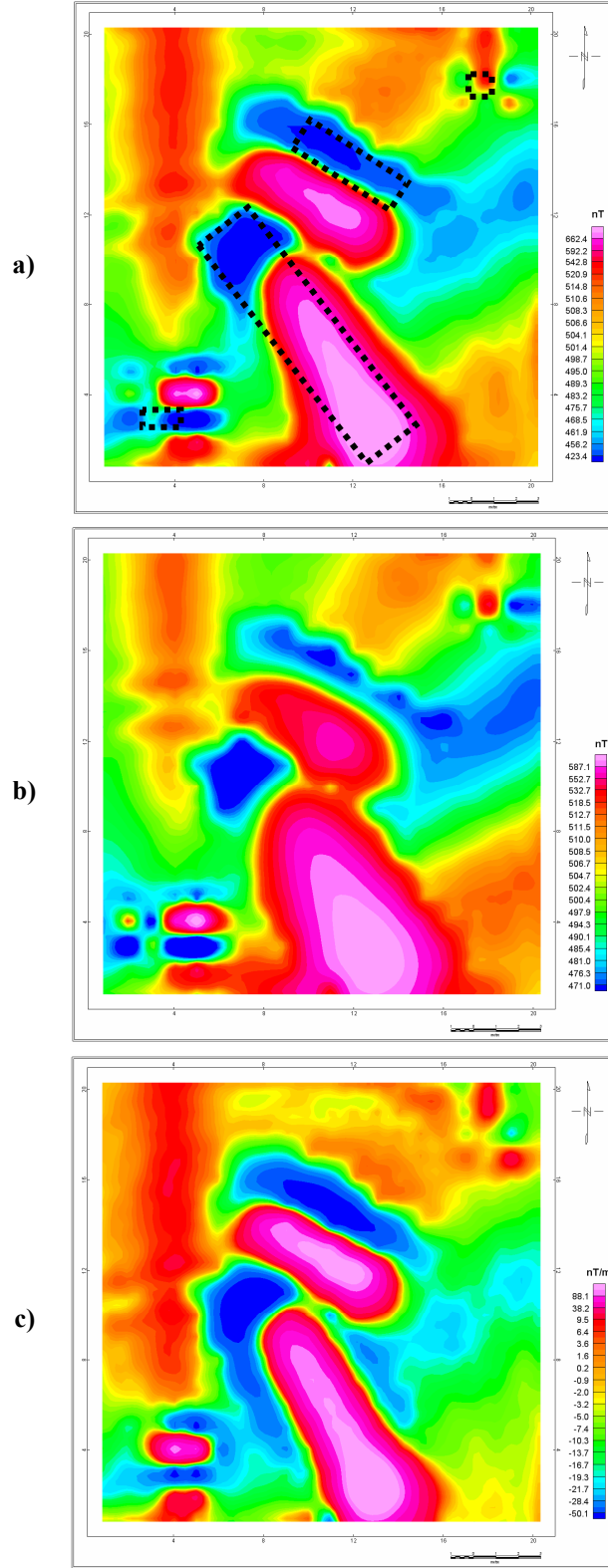
Şekil 5.21. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası



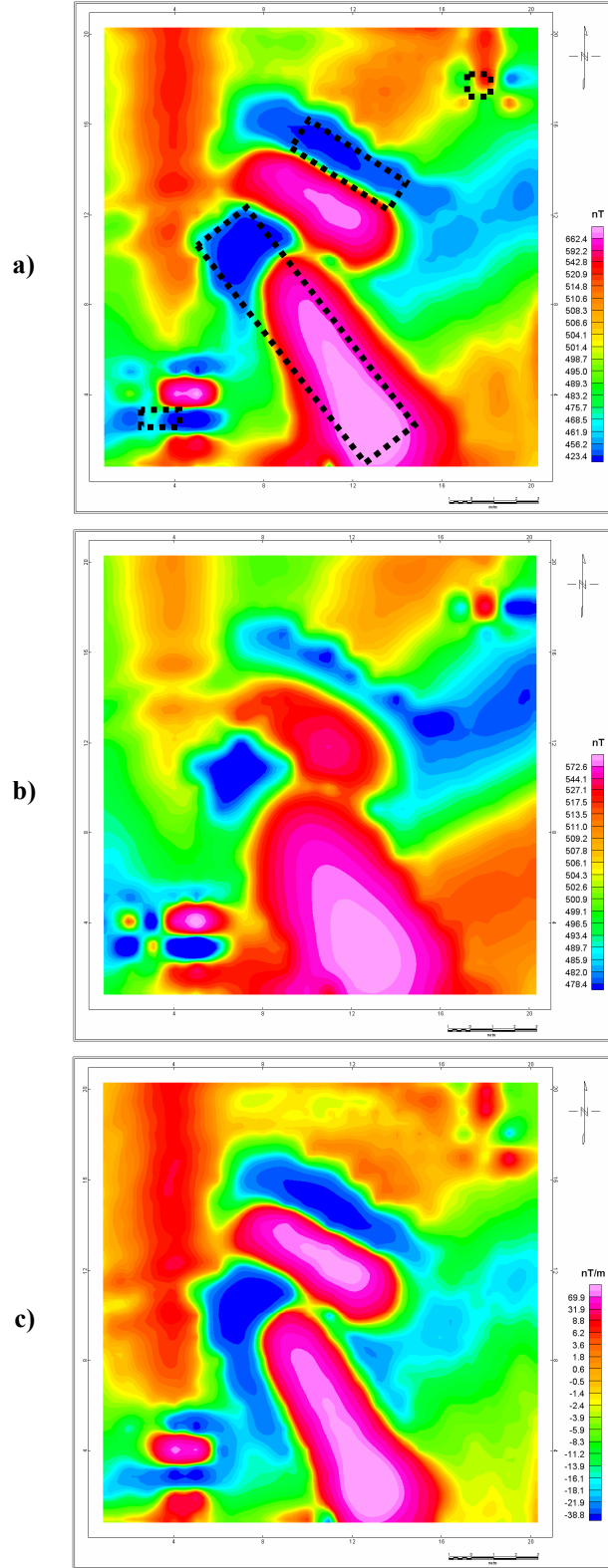
Şekil 5.22. 4 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) 1, 2, 4 nolu prizmaların derinlik-y düzlemine izdüşümleri c) 1, 3, 4 nolu prizmaların derinlik-x düzlemine izdüşümleri



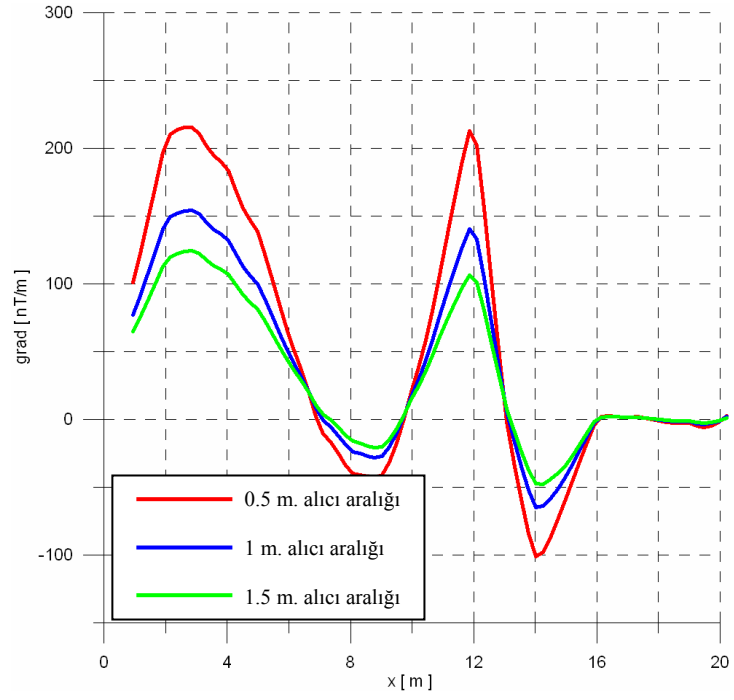
Şekil 5.23. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



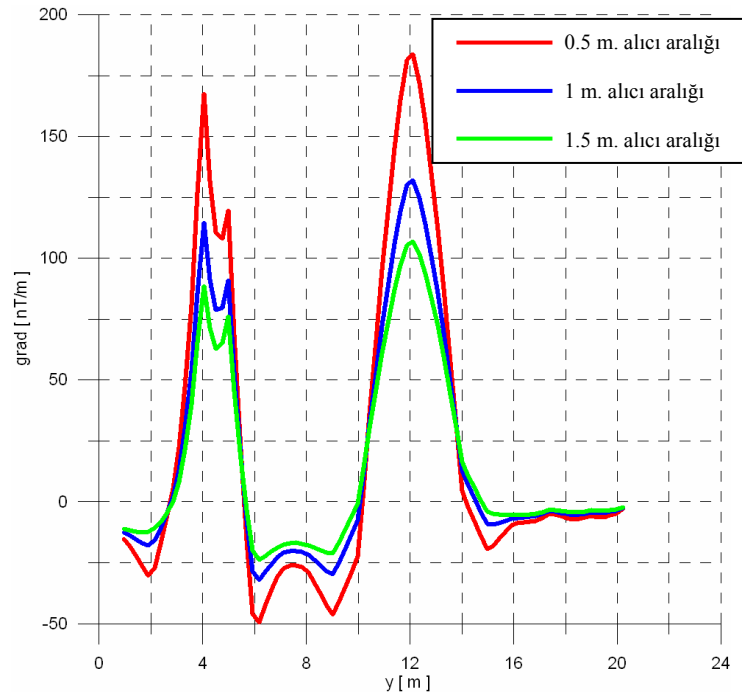
Şekil 5.24. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



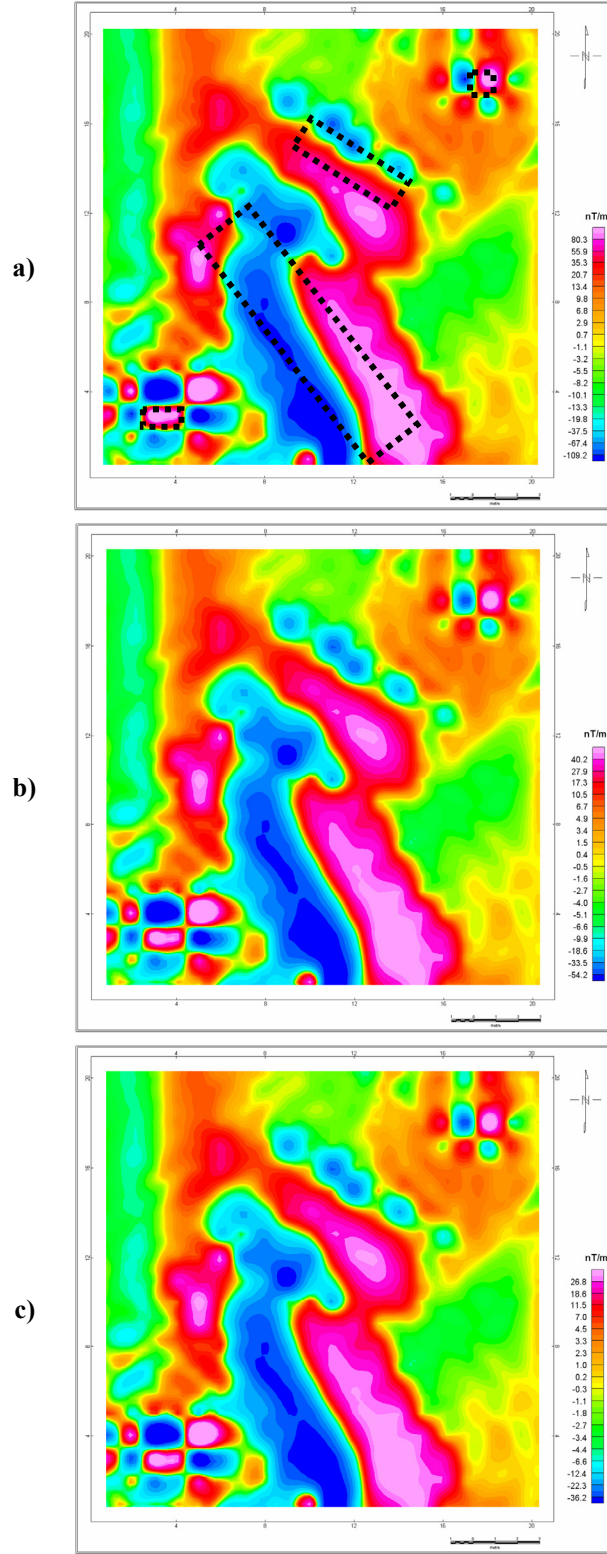
Şekil 5.25. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



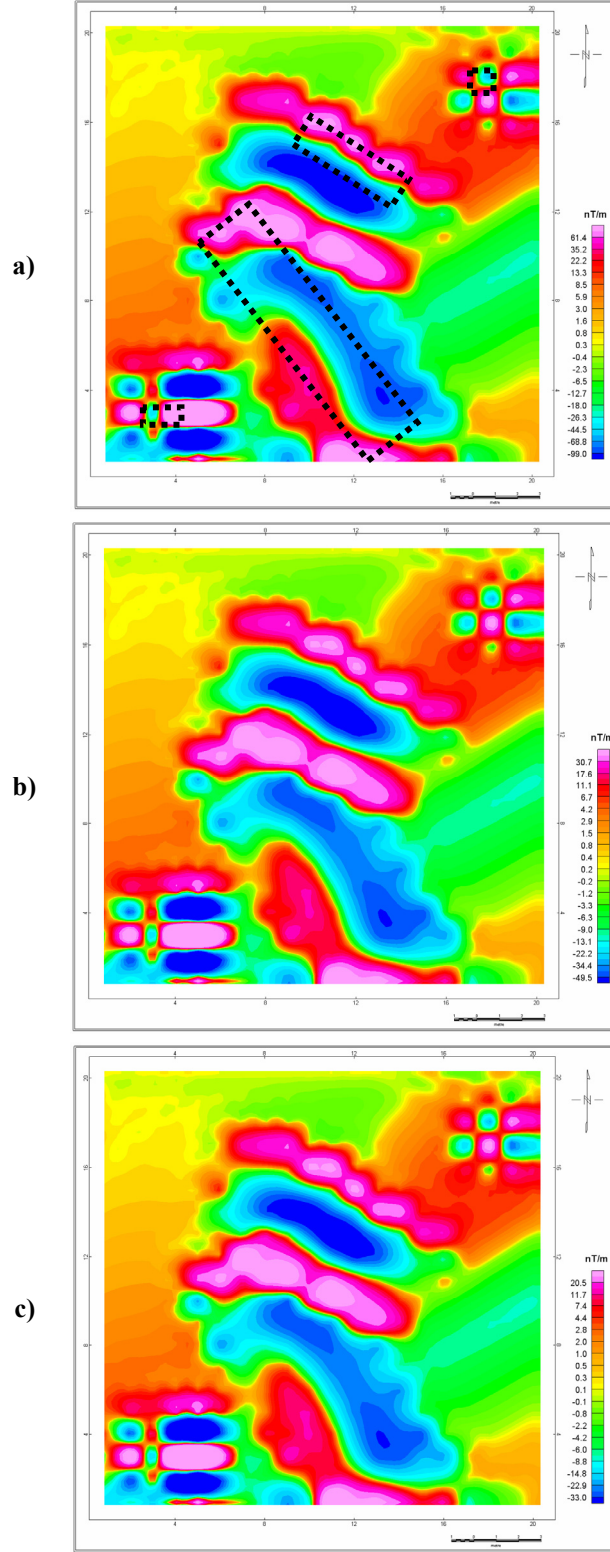
Şekil 5.26. 4 adet prizma modelinde K-G yönlü 12. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



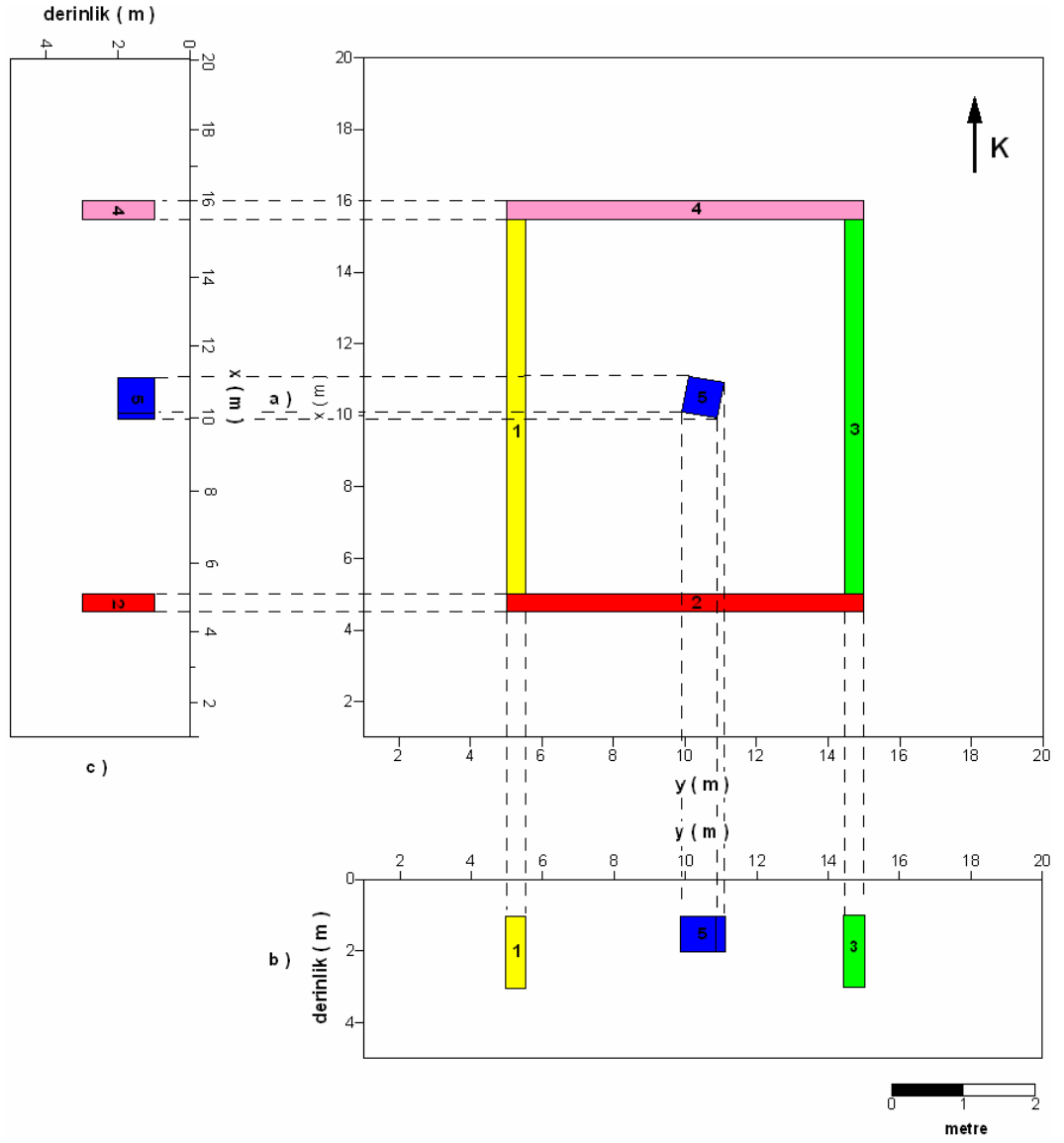
Şekil 5.27. 4 adet prizma modelinde D-B yönlü 4. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



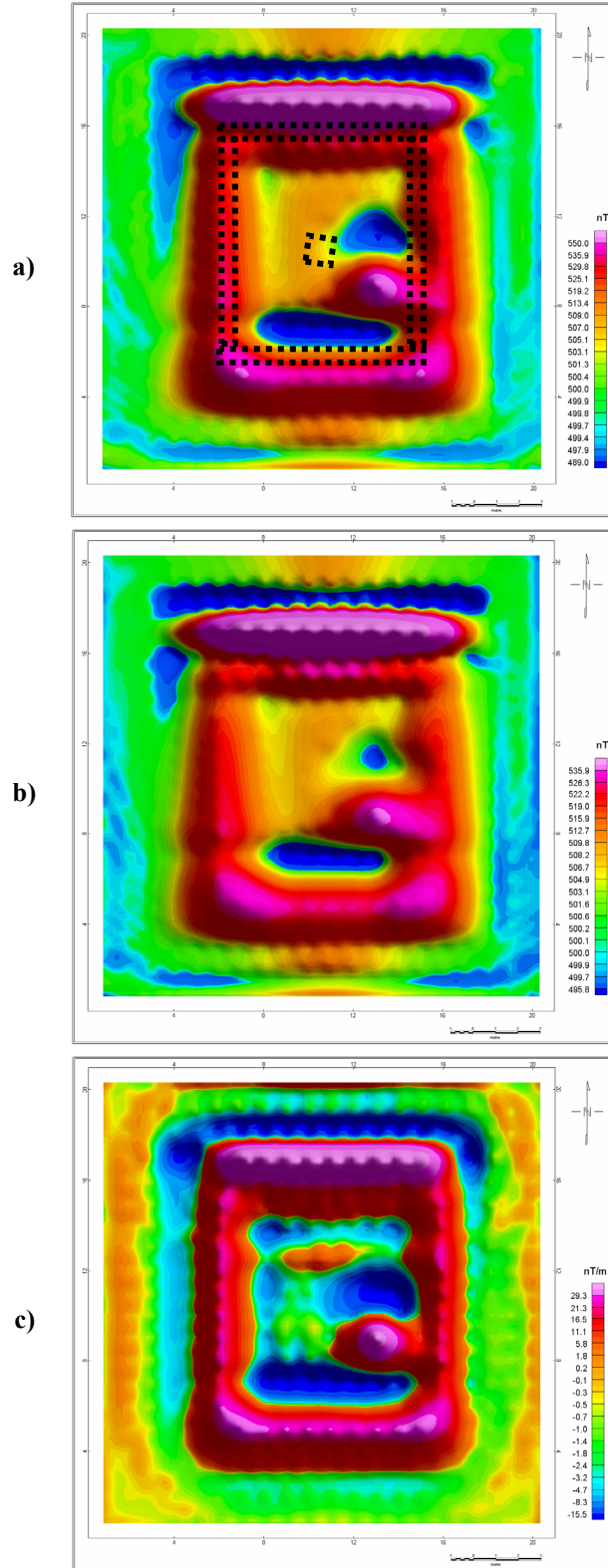
Şekil 5.28. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası



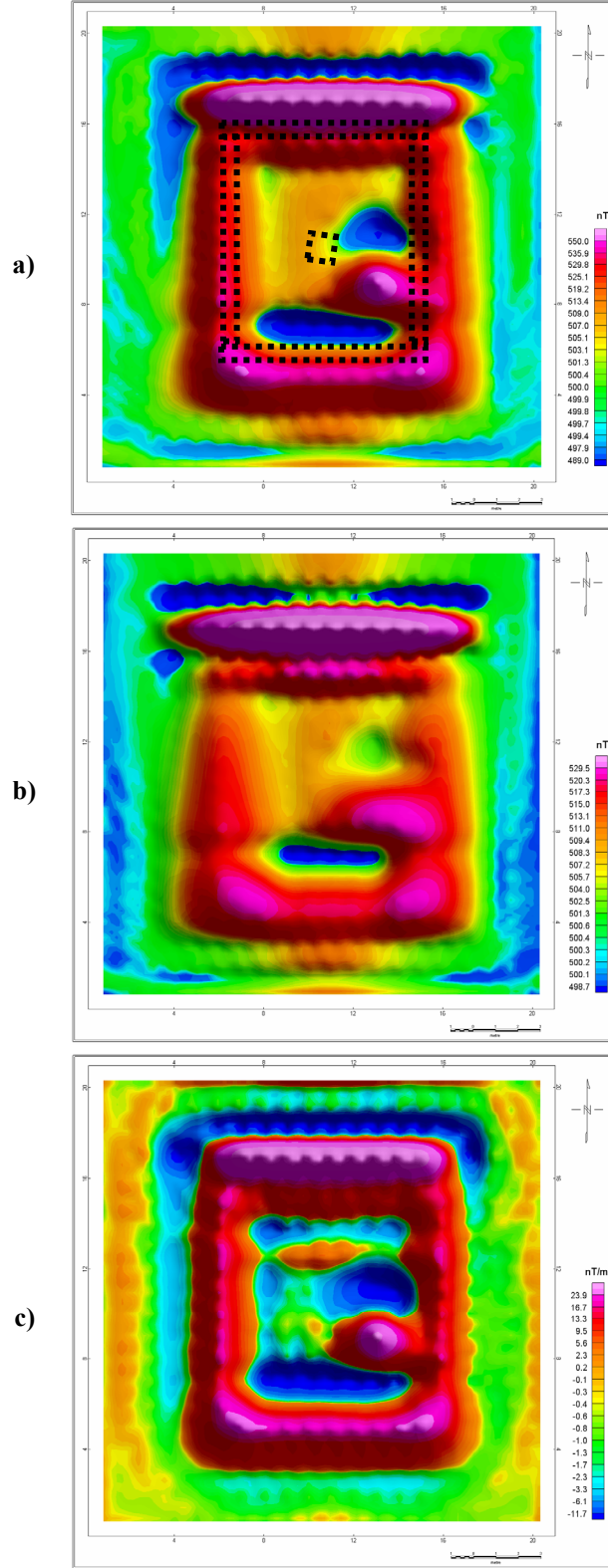
Şekil 5.29. 4 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m . alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası



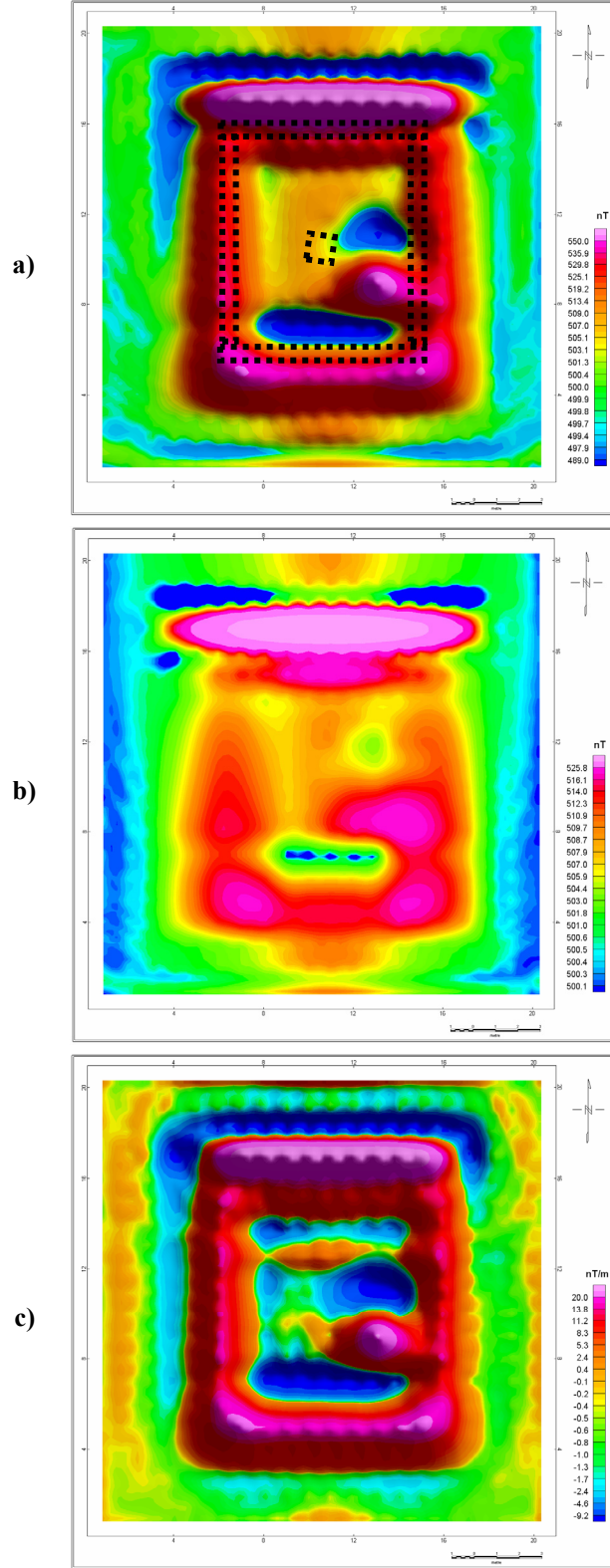
Şekil 5.30. 5 adet prizmatik yapının a) plan görüntüsü b) 1, 3, 5 nolu prizmaların derinlik-y düzlemine izdüşümleri c) 2, 4, 5 nolu prizmaların derinlik-x düzlemine izdüşümleri



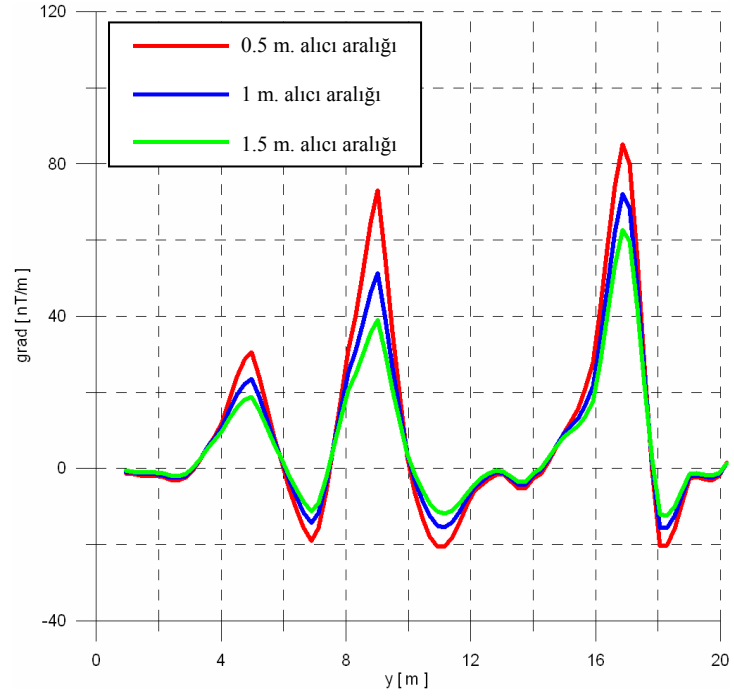
Şekil 5.31. 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (0.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



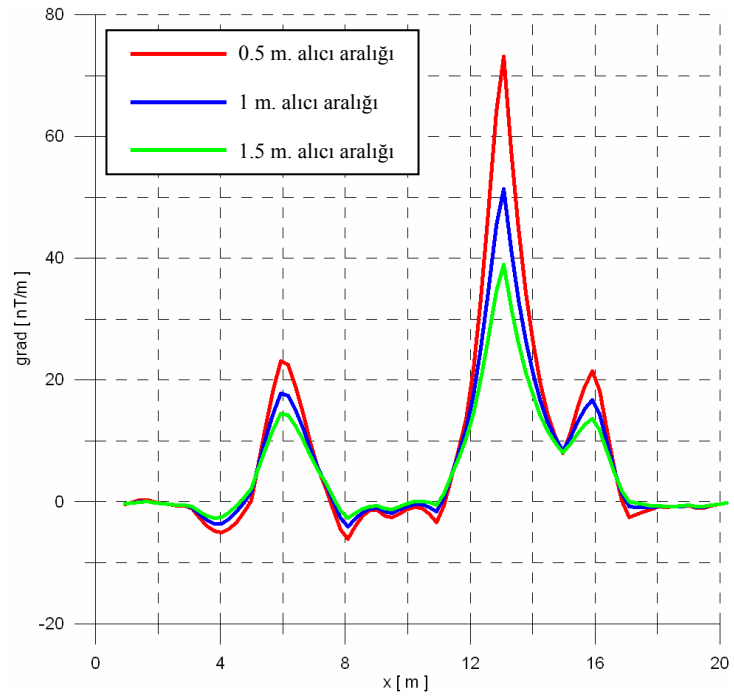
Şekil 5.32. 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



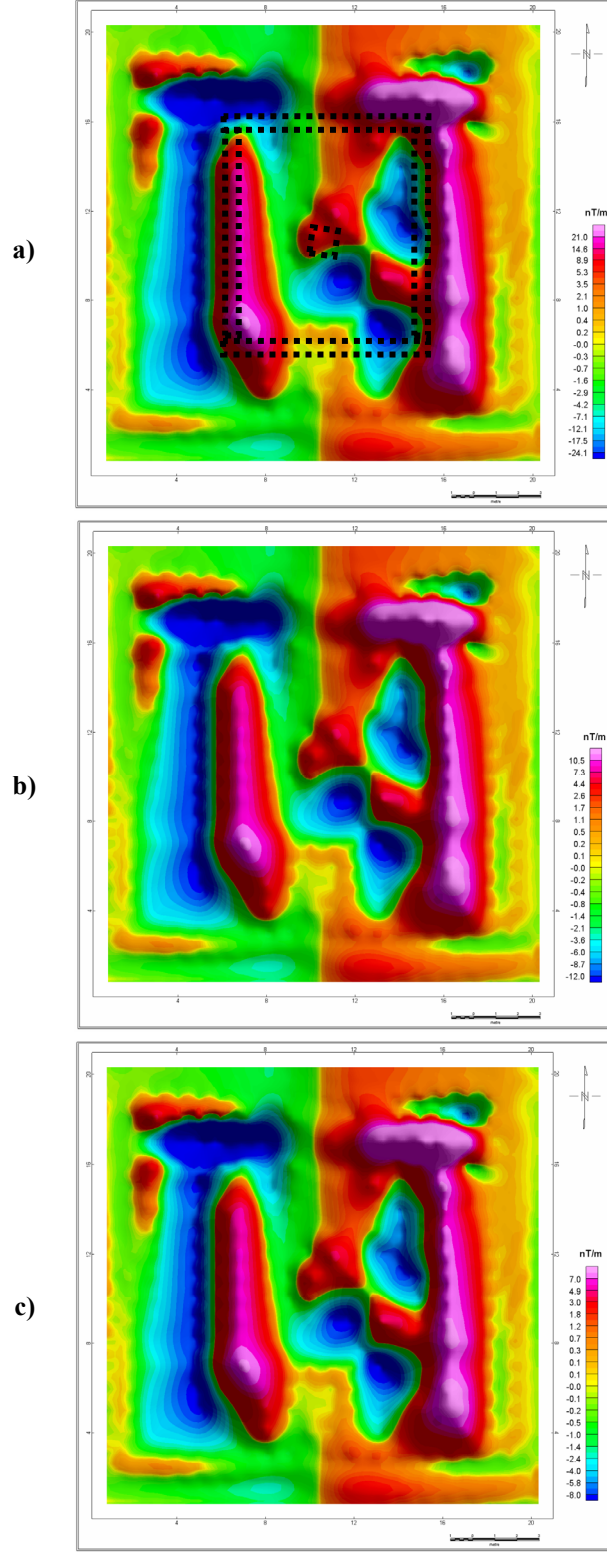
Şekil 5.33. 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) alt alıcı için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. b) üst alıcı (1.5 m.) için hesaplanan toplam manyetik alan görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan düşey manyetik gradient görüntü haritası



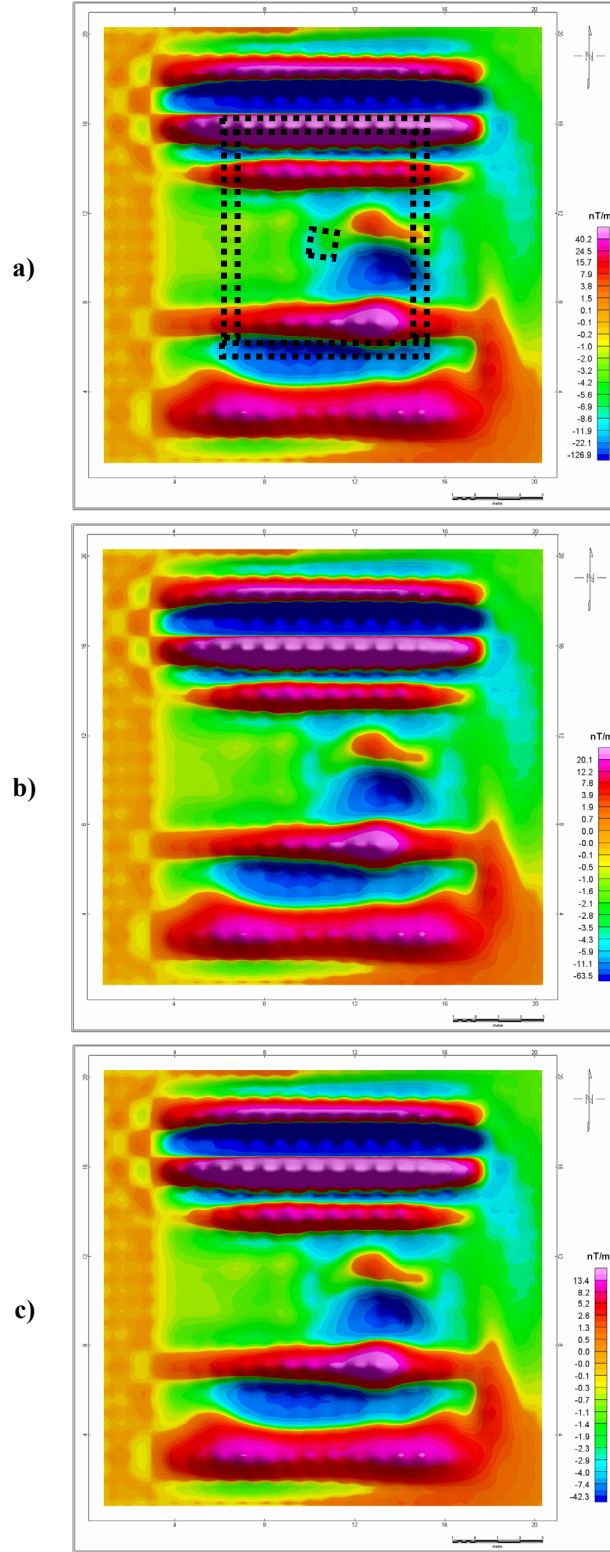
Şekil 5.34. 5 adet prizma modelinde K-G yönlü 13. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



Şekil 5.35. 5 adet prizma modelinde D-B yönlü 9. profil üzerindeki farklı alıcı aralıkları için gözlenen manyetik gradient değişimi



Şekil 5.36. 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta dik manyetik gradient görüntü haritası



Şekil 5.37. 5 adet prizmatik modelden kaynaklanan a) 0.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. b) 1m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası. c) 1.5 m. alıcı aralığı için hesaplanan hatta paralel manyetik gradient görüntü haritası

6. 3-BOYUTLU PRİZMATİK YAPILARDAN KAYNAKLANAN DÜŞEY VE YATAY MANYETİK GRADİENT VERİLERİNİN TERS ÇÖZÜMÜ

Jeofizik verilerin ters çözümünde amaç ölçülen veriyi temsil eden bir modelin aranmasıdır. Aranmaya çalışılan bu model, yeraltının bir bölümünün ideal bir matematik temsildir ve model parametreleri ile adlandırılan fiziksel ve geometrik özeliği farklı birçok ögenin bileşiminden oluşur.

Jeofizik problemler genel olarak doğrusal problemler değildir. Arazi ölçümleri sonucunda gözlemlenen veri her zaman gürültü içerir ve bu nedenle hesaplanan veri ile tam olarak çakışması beklenemez.

Doğrusal olmayan problemlerde bilinmeyen parametrelerin hesaplanması için kullanılan en-küçük kareler yöntemini (the least-squares method) kullanan çoğu algoritmalar genellikle 2 yaklaşım üzerine odaklanmıştır. İlk yaklaşımda düz çözüm fonksiyonu Taylor serisine açılır ve her yinelemede iyileştirilen parametrelere ait düzeltmeler yerel doğrusallık üzerinden hesaplanır. Diğer yaklaşımda ise, en-dik iniş yöntemi (steepest-descent method) ve yöntemin amaca göre geliştirilmiş değişik halleri kullanılmaktadır. Her iki yöntemde üstün yanları olmasına karşın zayıf yanları da bulunmaktadır. Örneğin; en-dik iniş yönteminde yanlıgı enerjisi haritasında tek bir minimum varsa yöntem doğru çalışmakta ancak birden fazla minimum olması durumunda yöntemin başarısı ancak ön-kestirim değerlerinin doğru seçilmesine bağlı olacaktır (Marquardt, 1963).

Marquardt (1963), Taylor serisi metodu ve eğim (gradient) metotları arasında en-iyi enterpolasyonu sağlayan bir yöntem geliştirmiş ve bu yönteme maksimum komşu metodu (maximum neighborhood method) ismini vermiştir. Daha sonraki yıllarda geliştirilen bu algoritma gravite ve manyetik problemlerin ters-çözümü için çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır.(Johnson, 1969; McGrath ve Hood, 1973; Khurana ve diğ., 1981; Ku ve Sharp, 1983; Rao ve Babu, 1991; Rao ve Babu, 1993).

Bölüm 5'de 3-B prizmatik yapılardan kaynaklanan düşey ve yatay manyetik gradient belirtilerinin kuramsal olarak hesaplanabilmesi için gerekli bağıntılar verilmişti. Bu bölümde ise hem düşey hem de yatay manyetik gradient belirtilerine ait gözlemlenen ve hesaplanan değerler gösterimde kısaltma yapmak amacıyla $\Delta T_{göz}$ ve ΔT_{hes} şeklinde simgelenmiştir ve manyetik gradient belirtisi şeklinde ifade edilmiştir. Ancak izleyen kısımlarda verilen örneklerde ters-çözüm işlemleri hem düşey hem de yatay manyetik gradient verileri için ayrı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Ters-çözüm işlemindeki amaç $M_x \times M_y$ boyutundaki ölçülen manyetik gradient veri seti ile $M_x \times M_y$ boyutundaki kuramsal veri seti arasında çakışma sağlayacak parametrelerin bulunmasıdır. Bunun için yorumcu tarafından eldeki probleme uygun olarak bir başlangıç modeli oluşturulur ve gözlenen ve hesaplanan verilerin farklarının toplamı olan amaç fonksiyonu en

küçüklenmeye çalışılır. Bu işlem iki veri seti arasında yeterli çakışma sağlanıncaya kadar yinelenir.

$$f_1 = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} [\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j)]^2 \quad (6.1)$$

(6.1) bağıntısında, f_1 ; en-küçüklenecek amaç fonksiyonunu $\Delta T_{göz}(i, j)$; gözlemlenen manyetik gradient belirtilerini, $\Delta T_{hes}(i, j)$; hesaplanan manyetik gradient belirtilerini, M_x ; x yönündeki ölçü noktası sayısını ve M_y ise y yönündeki ölçü noktası sayısını simgelemektedir.

Parametreler bilinmediğinden $\Delta T_{hes}(i, j)$ veri değerlerinin hesaplanması olanaklı değildir. Bu nedenle ters-çözüm işleminde hesaplanacak parametre değerleri ile başlangıç modeline ait parametrelerin yakın olduğu varsayımı yapılır. Bu varsayım ile düz çözüm fonksiyonu Taylor serisine açılır. İkinci ve daha yüksek dereceden terimlerin çok küçük olduğu düşünülerek ihmal edilir.

$$\Delta T_{hes}(i, j) = \Delta t_{hes}(i, j) + \sum_{l=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} dP_k \quad , \quad k = 1, \dots, N \quad (6.2)$$

Burada; $\Delta t_{hes}(i, j)$, ön-kestirim parametrelerinin yerine konulması ile elde edilecek olan kuramsal veriyi simgelemektedir. (6.2) denklem sistemi izleyen bağıntı ile simgesel olarak gösterilebilir.

$$\Delta T_{hes}(i, j) = \Delta t_{hes}(i, j) + DP \quad (6.3)$$

Burada, D , bilinen elemanları içeren katsayı dizeyi ve P ise, bilinen elemanları içeren sütun dizeydir. Manyetik gradient ölçü değerleri ile gerçek parametreler için hesaplanan değerler arasındaki fark izleyen biçimde verilebilir.

$$e = \Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j) \quad (6.4)$$

(6.3) bağıntısı (6.4) bağıntısında yerine konursa,

$$e = \Delta T_{göz}(i, j) - \Delta t_{hes}(i, j) - DP \quad (6.5)$$

elde edilir. Ölçülen manyetik gradient verisi ile ön-kestirim parametreleri kullanılarak hesap edilen kuramsal veri arasındaki farkı Δf ile tanımlarsak (6.5) bağıntısı izleyen şekilde gösterilebilir.

$$e = \Delta f - DP \quad (6.6)$$

(6.2) bağıntısı (6.1) bağıntısında yerine konursa,

$$f_1 = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \left[\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta t_{hes}(i, j) - \sum_{l=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} dP_k \right]^2 \quad (6.7)$$

Amaç fonksiyonunu en-küçüklemek amacıyla bilinmeyen parametrelere göre türev alınır ve sıfıra eşitlenir.

$$\frac{\partial f_1}{\partial P_k} = 0 \quad , \quad k = 1, \dots, N \quad (6.8)$$

Kolaylık olması amacıyla birinci bilinmeyen parametrenin P_1 olduğunu varsayalım. (6.7) bağıntısının (6.8) bağıntısı gereğince birinci bilinmeyen parametreye göre türevi,

$$\frac{\partial f_1}{\partial P_1} = 0 = \frac{\partial}{\partial P_1} \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \left[\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j) - \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} dP_k \right]^2 \quad (6.9)$$

ve

$$\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} dP_k = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} [\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j)] \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \quad (6.10)$$

şeklinde verilir. (6.10) bağıntısı dizey denklemleri şeklinde gösterilebilir.

$$D B = P \quad (6.11)$$

(6.11) bağıntısındaki D kuramsal verinin ön-kestirim parametrelerine göre olan türevlerini kapsayan $M_x \times M_y$ boyutundaki bir dizeydir. B ise, bilinmeyen ve çözülmesi gereken parametre düzeltme değerlerini içeren sütun dizeydir. Bu denklem sisteminin en-küçük kareler çözümü,

$$\begin{aligned} f_1 &= \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} [\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j)]^2 = (\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j))^T (\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j)) \\ &= e^T e = (\Delta f - DP)^T (\Delta f - DP) \end{aligned} \quad (6.12)$$

Yanılgı enerjisini en-küçüklemek amacıyla parametre düzeltme dizeyine göre türevler alınır ve sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{\partial f_1}{\partial \Delta P} = [(\Delta f - DP)^T (\Delta f - DP)] = 0 \quad (6.13)$$

(6.13) bağıntısı daha açık şekilde yazılırsa,

$$\frac{\partial f_1}{\partial \Delta P} = [\Delta f^T \Delta f - \Delta f^T DP - D^T P^T \Delta f + D^T P^T DP] = 0 \quad (6.14)$$

(6.14) bağıntısının düzenlenmesi ile izleyen eşitlik elde edilir.

$$D^T DP = D^T \Delta f \quad (6.15)$$

P parametre değişim dizeyi için genelleştirilmiş en-küçük kareler çözümü aşağıdaki şekilde verilir.

$$P = (D^T D)^{-1} D^T \Delta f \quad (6.16)$$

Bu çözüm doğrusal olmayan problemlerin Gauss-Newton veya en-küçük kareler çözümü olarak bilinmektedir.

6.1. Marquardt Ters Çözümü (Sönümlü En-Küçük Kareler Ters Çözümü)

(6.16) bağıntısı jeofizik problemlerin ters çözümünde çok sık kullanılmaz. Veri, bazı bilinmeyen parametrelerin çözümü için gerekli bilgiyi kapsamıyor ise yani $(D^T D)$ matris çarpımının tekil değerler içermesinden dolayı tersi alınamayabilir. Bu durumda en-küçük kareler denklemi amaç fonksiyonu için bir çözüm üretmez. Bu durum nedeniyle (6.16) bağıntısının daha kullanışlı ve değiştirilmiş şekli (Marquardt, 1963) tarafından verilmiştir. Rao ve Babu (1991), bu bağıntıyı (Marquardt, 1963)' e göre yeniden düzenlemişlerdir.

$\Delta T_{göz}$, birden fazla prizmatik yapıdan kaynaklanan manyetik gradient belirtilerinin toplamı olarak varsayılımsın. Toplam prizma sayısı N_p ve her prizmaya ait bilinmeyen parametre sayısı da N_b olarak verilirse, toplam bilinmeyen parametre sayısı;

$$N = (N_b N_p) + 1 \quad (6.17)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. (6.17) bağıntısında toplam bilinmeyen parametrelere rejyonel alan sabiti, C , eklenmiş durumdadır. Bu durumda manyetik gradient verilerinin Marquardt ters çözümü için gerekli bağıntı (6.6) bağıntısına benzer olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} (1 + \delta_{kl} \lambda) dP_k \\ & = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} [\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j)] \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \end{aligned} \quad (6.18)$$

Bağıntıda $l = 1, \dots, N$ olarak verilmiştir. Burada δ_{kl} Kronecker delta olarak bilinir ve aşağıdaki koşulları sağlar.

$$\delta_{kl} = \begin{cases} 1 & , & k = 1 \\ 0 & , & k \neq 1 \end{cases} \quad (6.19)$$

(6.19) bağıntısında, λ ; sönüm katsayısı (Marquardt sönüm katsayısı), P_k ; rejyonel alan sabiti, C , ile birlikte prizmatik yapının $a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2, I_\theta, D_\theta, \theta$ ve EI parametrelerinden bir tanesini simgelemektedir. $\partial \Delta T / \partial P_l$ ifadesi P_l ' ye bağlı olan manyetik gradient belirtisinin türevlerini, dP_k ise k ' nıncı parametrenin başlangıç değerine eklenecek olan parametre düzeltme değeridir. λ sönüm katsayısı ise deneme-yanılma yöntemi (trial and error method) ile seçilerek en-küçüklenecek amaç fonksiyonunun değeri azaltılır. Bu katsayının seçimi doğrusal olmayan problemlerin yinelemeli çözümlerinde yakınsama açısından çok önemli bir faktördür. λ sönüm katsayısının değeri büyükse sistem kararlı fakat yavaş çalışan en-dik iniş yöntemine yaklaşırken, λ sıfıra yakın bir değer seçilirse hızlı fakat iraksayabilen Gauss-Newton yöntemine yaklaşır (Lines ve Treitel, 1984).

Bağıntı (6.18) aşağıdaki şekilde dizey denklemleri biçiminde gösterilebilir.

$$D B = P \quad (6.20)$$

Burada, D dizeyi bilinen elemanları içeren katsayı (kare) dizeyi, B dizeyi bilinmeyen parametrelerin çözülmesi ile elde edilen parametre düzeltme değerlerini içeren sütun dizey, P dizeyi ise bilinen elemanları içeren sütun dizeydir. Bu dizeyler izleyen biçimde verilebilir.

$$D = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_k} (1 + \delta_{kl} \lambda) \quad , \quad l = 1, \dots, N \quad , \quad k = 1, \dots, N \quad (6.21)$$

$$B = dP_k \quad , \quad k = 1, \dots, N \quad (6.22)$$

$$P = \sum_{i=1}^{M_x} \sum_{j=1}^{M_y} [\Delta T_{göz}(i, j) - \Delta T_{hes}(i, j)] \frac{\partial \Delta T(i, j)}{\partial P_l} \quad , \quad l = 1, \dots, N \quad (6.23)$$

D dizeyi daima simetriktir ve köşegen elemanlarının $(1+\lambda)$ ile bölünmesiyle pozitif tanımlı (positive definite) bir dizey şekline getirilebilir. D dizeyi simetrik ve pozitif tanımlı bir dizey olduğu için sadece alt köşegen elemanlarının hesaplanması yeterlidir. Bu nedenle, D katsayı (coefficient) dizeyinin terslenmesi aşaması Cholesky Ayırıştırma (Cholesky Decomposition) Yöntemi (Bhattacharyya, 1980) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Marquardt algoritmasının gereksinim duyduğu kısmi türevler Bölüm 5' de verilen (5.10) ve (5.36) tam ve yaklaşık toplam manyetik belirti bağıntılarının analitik olarak türevlerinin alınmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Mıknatıslanmış bir prizmatik yapı rejyonel alan sabiti, C , dışında 12 parametre ile tarif edilebilir. 6 parametre ($a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2$) prizmatik yapının yatay ve düşey koordinatlarını, mıknatıslanma şiddetini (EI), coğrafik kuzeye bağlı olarak mıknatıslanmış yapının yönelimini (θ), mıknatıslanma vektörünün inklinasyon (I_θ) ve deklinasyon açılarını (D_θ), yer manyetik alan vektörünün inklinasyon (I) ve deklinasyon açılarını (D) temsil etmektedir. Son 2 parametrenin genellikle bilindiği varsayılır. Bu nedenle hem tam hem de yaklaşık manyetik gradient belirti bağıntılarının 11 tane bilinmeyen parametreye göre türevleri analitik olarak alınmıştır. Analitik türevler ve içerdiği bağıntıların ayrıntısına Rao ve Babu (1993)' den bakılabilir.

İzleyen kısımlarda verilen ters-çözüm örneklerinde Rao ve Babu (1993), tarafından verilen MARQ ana programı (Marquardt ters çözümü), DER altprogramı (kısmi türevlerin analitik hesapları) ve DECOM altprogramı (katsayı dizeyinin Cholesky ayırıştırma yöntemiyle tersinin alınması) kullanıcıya rahatlık sağlamak amacıyla bir ara yüz eklenerek yeniden derlenmiş ve kullanılmıştır.

6.2. Cholesky Ayırıştırma Yöntemi (Cholesky Decomposition Method)

Doğrusal ve doğrusal olmayan jeofizik problemlerin ters çözümleri esnasında çeşitli dizeylerin terslerinin sayısal olarak hesaplanmasını gerektirmektedir. Dizey tersleme yöntemlerine Gaussian Yok Etme (Gaussian Elimination) Yöntemi, LU Ayırışımı (LU Decomposition), SVD (Singular Value Decomposition) gibi yöntemler örnek verilebilir. Gaussian Yok Etme ve LU ayırışımı bazı durumlarda yeterli sayısal doğruluğu sağlayamayabilir. SVD yönteminin de bir takım üstünlüklerinin bulunmasına rağmen parametre sayısının arttığı 3-Boyutlu model kullanan problemlerde hesaplama zamanını arttırmaktadır (Başokur, 2002).

Dizey denklemleri şeklinde gösterilen (6.10) bağıntısını tekrar ele alalım.

$$D B = P \quad (6.24)$$

D dizeyi ($N \times N$) boyutundadır ve aşağıdaki biçimde tekrar yazılabilir.

$$d_{jr} = \sum_{k=1}^m b_{kj} b_{kr} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (6.25)$$

$$, \quad r = 1, 2, \dots, N$$

D dizeyi simetrik ve kesin artı (positive definite) olduğu zaman izleyen bağıntı ile alt ve üst üçgensel dizeler şeklinde gösterilebilir.

$$D = LL^T \quad (6.26)$$

Burada L , köşesinde pozitif değerler bulunan bir alt üçgensel dizeydir. L^T ise L ($l_{jr}=0, r>j$) alt üçgensel dizeyinin transpozu olarak gösterilir. Böylece D dizeyinin elemanları,

$$d_{jr} = \sum_{k=1}^r l_{jk} l_{rk} \quad , \quad (r < j) \quad (6.27)$$

ve

$$d_{jj} = \sum_{k=1}^j l_{jk}^2 \quad (6.28)$$

olarak gösterilebilir. (6.26) bağıntısındaki D dizeyinin ayrıştırılması (6.24) bağıntısının çözülmesi ile yapılabilir ve (6.24) bağıntısı izleyen biçimde tekrar düzenlenebilir.

$$L Y = P \quad (6.29)$$

Burada; Y , D dizeyinin ayrıştırılması sonucu elde edilen elemanları içeren ($1 \times N$) boyutunda bir dizeydir ve

$$D = L^T A \quad (6.30)$$

L alt üçgensel bir dizey olduğu için (6.29) bağıntısının biçimi aşağıda verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} &+ l_{11} y_1 = p_1 \\ &+ l_{21} y_1 + l_{22} y_2 = p_2 \\ &l_{31} y_1 + l_{32} y_2 + l_{33} y_3 = p_3 \end{aligned} \quad (6.31)$$

(6.31) bağıntısı kolaylıkla y_1, y_2, \dots, y_N için çözülebilir. Böylelikle (6.30) denklemi aşağıdaki biçimde gösterilebilir.

$$\begin{aligned} l_{11} a_1 + l_{21} a_2 + \dots + l_{n1} a_n &= y_1 \\ l_{22} a_2 + \dots + l_{n2} a_n &= y_2 \\ &\vdots \\ l_{nn} a_n &= y_n \end{aligned} \quad (6.32)$$

(6.32) bağıntısı artık bilinmeyen parametreler göre (a_1, a_2, \dots, a_N) çözülebilir. Cholesky ayrıştırma yöntemi, (6.24) bağıntısındaki D dizeyi simetrik ve kesin artı bir dizey olduğu zaman bu bağıntıyı çözmek için kullanılacak en etkili ve en hızlı yoldur. (6.31) ve (6.32) bağıntılarını çözmek $N(N+1)$ adet çarpım ve $N(N-1)$ adet toplama gerektirir (Bhattacharrya, 1980).

6.3. MARQ Programının Algoritması

1-) Bilinmeyen yapı parametrelerine ait başlangıç değerlerinin okutulması.

Bu adım yukarıda da bahsedilen prizmatik yapıya ait 10 adet parametre ile yer manyetik alanın ölçü alanındaki şiddet değeri ile yer manyetik alan vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açılarını kapsar.

Prizmatik yapı/ların yatay düzlem üzerindeki konumu manyetik gradient kontur haritaları üzerinden maksimum ve minimum kapanımların konumlarına göre saptanır. Bu işlem sayesinde yatay konumları saptanan prizmatik yapı/ların kuzey ile yaptığı açı (yönelimi) da saptanmış olur. Prizmatik yapıların düşey düzlem üzerindeki konumlarını saptamak yorumcu için zor bir aşamadır. Örneğin manyetik gradient verilerinin arkeolojik bir alanda ölçüldüğünü varsayalım. Bu aşama için ölçü sahası yakınında eğer bir ön-kazı yapılmışsa kazı sonuçları ile ölçü sonuçları karşılaştırılabilir ve tahmini derinlikler hakkında bilgi edinilebilir. Öte yandan alan üzerinde başka bir jeofizik yöntem kullanılmış ise bu yöntemle ait sonuçlardan arkeolojik kalıntıların derinlikleri hakkında bilgi edinilebilir. Eğer elde hiçbir bilgi yoksa deneme-yanılma yöntemi kullanılarak prizmatik yapının alt ve üst yüzeylerine ait derinlikler saptanır. Diğer önemli bilinmeyen parametre ise yapıya ait mıknatıslanma şiddetidir. Bu parametreye ait ön-kestirim değerleri ise yapıya ait parçaların arazide/laboratuarda suseptibilite ölçümleri ile kestirilebilir veya daha önceden hazırlanan tablolardan tahmini bir değer bulunabilir. Yer manyetik alanının ölçü alanındaki şiddet değeri ve vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açıları daha önceden bilinen değerlerdir. Ancak mıknatıslanma vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açıları bilinmeyen parametrelerdir ve bunlar hakkında elde yeterli bilgi yoksa yer manyetik alanının inklinasyon ve deklinasyon açılarına eşit olduğu kabul edilir.

2-) Başlangıç modeline ait parametrelerden kuramsal verinin hesaplanması.

3-) Başlangıç modeli için (6.1) bağıntısı ile verilen amaç fonksiyonu hesaplanır (f_1).

4-) Başlangıç olarak λ sönüm katsayısına 0.5 değeri verilir ve dP_k parametre düzeltme değerleri hesaplanır.

5-) (6.5) bağıntısındaki kısmi türevler sayısal veya analitik olarak hesaplanır. Ancak sayısal olarak kısmi türevlerin hesaplanması analitik hesaplamaya göre oldukça fazla bilgisayar zamanı gerektirmektedir. Bu nedenle Rao ve Babu (1993), bilinmeyen model parametrelerine göre kısmi türevleri analitik olarak hesaplamışlardır.

6-) (6.5) bağıntısındaki katsayı dizeyinin terslenmesi aşaması Cholesky Ayırıştırma Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Sonuçta elde edilen parametre düzeltme değerleri başlangıç değerlerine eklenir.

7-) Bu değerler kullanılarak yeni bir amaç fonksiyonu (f_2) hesaplanır.

8-) Eğer $f_2 \leq f_1$ ise yineleme adımı başarılıdır ve λ sönüm katsayısının değeri yarıya düşürülerek f_2 değeri f_1 ' e atanır.

9-) Bu işlem en-iyi çakışma sağlanıncaya kadar devam eder ve elde edilen sonuçlar yazdırılır.

10-) Eğer işlemin herhangi bir adımında $f_2 > f_1$ ise işlem başarısızdır. Bu durumda,

a-) λ sönüm katsayısının değeri 2 ile çarpılır ve bilinmeyen parametrelere ait parametre düzeltme değerleri (6.5) bağıntısı kullanılarak yeniden hesaplanır.

b-) Amaç fonksiyonu f_2 yeniden hesaplanır ve f_1 ile karşılaştırılır.

c-) Bu işlem $f_2 \leq f_1$ oluncaya kadar devam eder.

d-) Bu işlem sonucunda amaç fonksiyonu aynı değerinde kalır ve elde edilen parametre düzeltme değerleri başlangıç parametreleri değerlerine eklenerek gerçek parametreler hesaplanmış olur. Sonuçlar yazdırılır.

Algoritmadan da anlaşılacağı gibi $f_2 > f_1$ durumunda sönüm faktörü yeniden hesaplanır ve katsayı dizeyi hesaplanmadan parametre hesaplanması yapılabilir. Bu Marquardt algoritmasının üstün yanlarından bir tanesidir ve parametre hesabı çok fazla bilgisayar zamanı gerektirmez.

Prizmanın gözlem düzlemi üzerine yatay izdüşümüne yakın noktalarda tam manyetik gradient belirti denkleminin kullanılması ve uzak noktalarda ise yaklaşık manyetik gradient belirti denkleminin kullanılması gerçek parametre değerlerine ulaşmakta hem hızlı hem de güvenilir bir yoldur (Rao ve Babu, 1993). Bu nedenle Rao ve Babu (1993), doğruluk gerektirmeyen ilk birkaç yinelemede prizmatik yapının yatay izdüşümü üzerinde ve yakın noktalarda tam manyetik gradient belirti denklemini (ve türevlerini) kullanmayı ve ileriki yineleme aşamalarında ise tam manyetik gradient belirti denklemini (ve türevlerini) kullanmayı önermişlerdir. Bu nedenle MARQ ana programında toplam yineleme sayısı 3 aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşama *ITER1* değeriyle tanımlanmaktadır. İkinci ve üçüncü aşamalar ise sırasıyla *ITER1'* den *ITER2'* ye ve *ITER2* ile tanımlanmaktadır. Yaklaşık manyetik gradient belirti denkleminin kullanımı ilk aşamadan üçüncü aşamaya kadar azalmaktadır. Bunun yanında her hangi bir grid noktasında belirtinin tam veya yaklaşık belirti denklemiyle hesaplanıp hesaplanmayacağı *LT1* değeri ile kontrol edilmektedir. *LT1* ilk aşamada *LT1(1)*, ikinci aşamada *LT1(2)* ve üçüncü aşamada *LT1(3)* değerlerini almaktadır. *LT1'* in değerleri ilk aşamadan üçüncü aşamaya kadar artmaktadır.

6.4. Uygulamalar

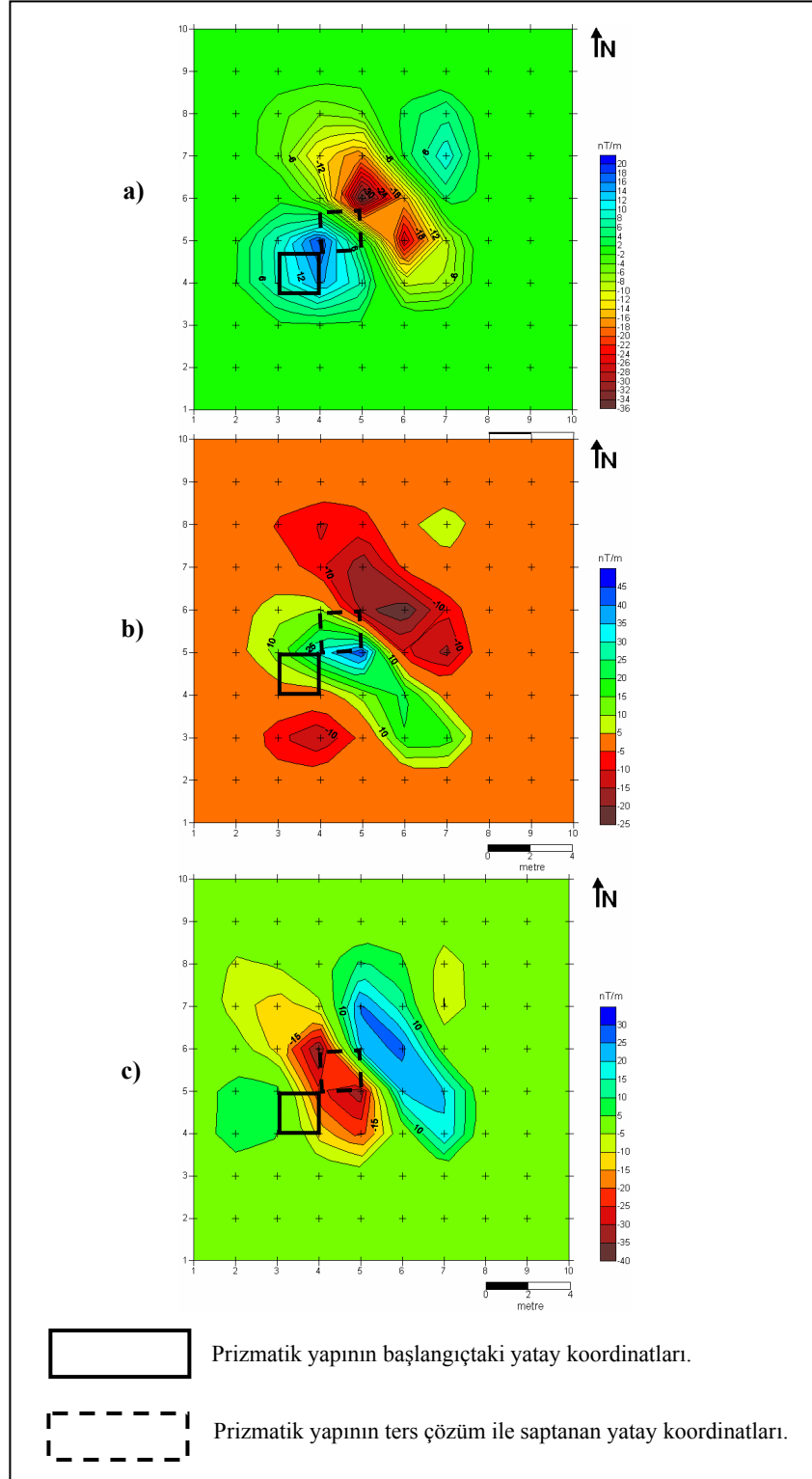
Prizmatik yapılardan kaynaklanan düşey ve yatay manyetik gradient verilerinin ters çözümüne örnek olarak 5 uygulama yapılmıştır. Bunlardan ilk üçünde algoritmanın doğruluğunu test etmek amacıyla kuramsal modeller kullanılmış, son iki örnekte ise arazi verisi üzerinde ters çözüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

6.4.1. Uygulama 1

Bu kuramsal model için ölçü alanı boyutları 10×10 m. olarak ve ölçü noktası aralıkları x ve y yönlerinde 1 m. olarak seçilmiştir. Yer manyetik alanının şiddeti 46500 nT olarak ve yer manyetik alan vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açıları sırasıyla, 3° ve 65° olarak verilmiştir. Prizmatik yapıya ait model parametreleri Çizelge 6.1' de verilmiştir. Düşey manyetik gradient için alt alıcının yerden yüksekliği 0 m. ve alıcı aralığı 1 m. olarak, hatta dik ve hatta paralel gradient için alıcıların yerden yüksekliği 0 m. ve alıcı aralıkları 1 m. olarak seçilmiştir. Ters çözüm işlemi toplam 20 yineleme üzerinde sürdürülmüştür. Prizmatik yapının başlangıçtaki yatay koordinatları ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları Şekil 6.1 a,b,c üzerinde gösterilmiştir. Tek prizmatik yapı modeline ait başlangıç parametreleri ve yorumlanmış parametreler Çizelge 6.2' de verilmiştir. İlk yinelemede amaç fonksiyonunun değeri 116606 iken son yinelemede 0.16 değerine ulaşılmıştır. Yineleme sayısına göre amaç fonksiyonunun değişimi ise Şekil 6.2 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Tek prizmatik yapıya ait model parametreleri

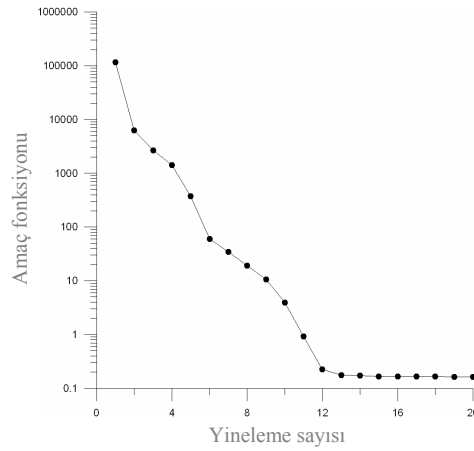
Gözlem alanının boyutları (m) , x ve y yönündeki istasyon aralıkları (m)						
N_x	N_y	d_x	d_y			
10	10	1	1			
Prizma Sayısı? : 1						
Prizma > 1 Prizmanın yatay, düşey koordinatları (m) ve kuzeyle yaptığı açı (derece)						
a_1	a_2	b_1	b_2	h_1	h_2	θ
4	5	4	5	1	3	2
Mıknatıslanma şiddeti (CGS) ve mıknatıslanma vektörünün inklinasyon, deklinasyon açıları (derece)						
EI	I_0	D_0				
0.00225	10	19				
Rejyonel alan sabiti ve yer manyetik alanının inklinasyon, deklinasyon açıları (derece)						
C	I	D				
46500	10	15				



Şekil 6.1. Tek prizmatik yapıdan kaynaklanan kuramsal manyetik gradient haritaları ve prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları. a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası

Çizelge 6.2. Tek prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri

Model parametreleri	Prizma sayısı : 1	
	Teorik Model	Ters Çözüm Sonucu
a_1 (m)	3	4
a_2 (m)	4	5
b_1 (m)	3	4
b_2 (m)	4	5
h_1 (m)	1	1
h_2 (m)	4	3
I_θ (derece)	10	9.9
D_θ (derece)	19	15.1
θ (derece)	0	0.3
EI (CGS)	0.00225	0.002253
Yer manyetik alanı şiddeti	Başlangıç değeri:	46500
	Yorumlanmış değeri:	46500

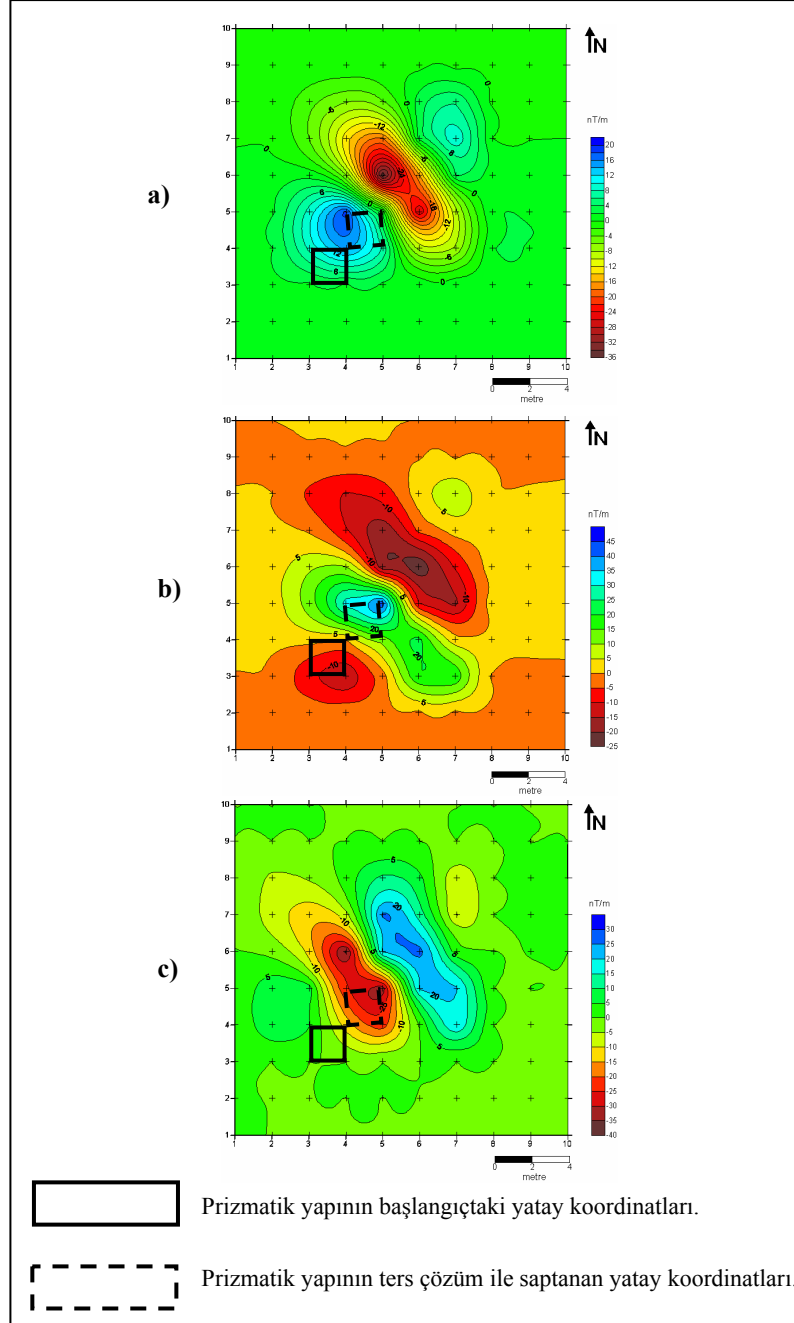


Şekil 6.2. Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.)

6.4.2. Uygulama 2

Bu uygulamada Bölüm 6.4.1' de anlatılan ilk kuramsal model verilerine %5 gaussian gürültü eklenmiştir. Bu şekilde gürültülü veri için ters çözüm ile elde edilen model parametrelerinin ilk uygulamadaki ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Prizmatik yapıya ait model parametreleri Çizelge 6.1' deki ile aynıdır. Prizmatik yapının başlangıçtaki yatay koordinatları ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları Şekil 6.3 a,b,c üzerinde gösterilmiştir. Tek prizmatik yapı modeline ait başlangıç parametreleri ve yorumlanmış model parametreleri Çizelge 6.3' de verilmiştir. İlk yinelemede amaç fonksiyonunun değeri 117014 iken 20. yinelemede 59.33

değerine ulaşmıştır. Yineleme sayısına göre amaç fonksiyonunun değişimi ise Şekil 6.4 üzerinde gösterilmiştir.

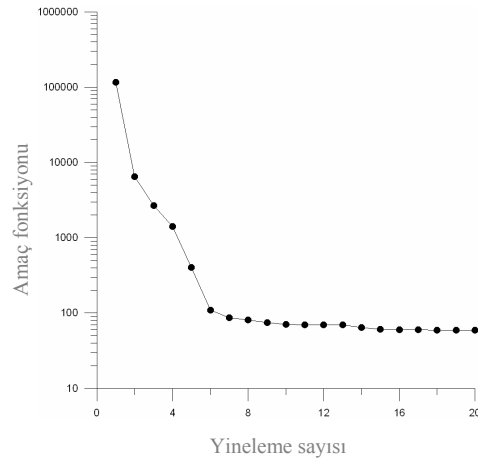


Şekil 6.3. Tek prizmatik yapıdan kaynaklanan kuramsal manyetik gradient haritaları ve prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları. a) dikey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası

Çizelge 6.3. Tek prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri

Prizma sayısı : 1

Model parametreleri	Model	
	Teorik Model	Ters Çözüm Sonucu
a_1 (m)	3	4
a_2 (m)	4	5
b_1 (m)	3	4
b_2 (m)	4	5
h_1 (m)	1	1
h_2 (m)	4	3
I_θ (derece)	10	9.8
D_θ (derece)	19	15.3
θ (derece)	0	0.4
EI (CGS)	0.00225	0.002255
Yer manyetik alanı şiddeti	Başlangıç değeri:	46500
	Yorumlanmış değeri:	46499



Şekil 6.4. Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.)

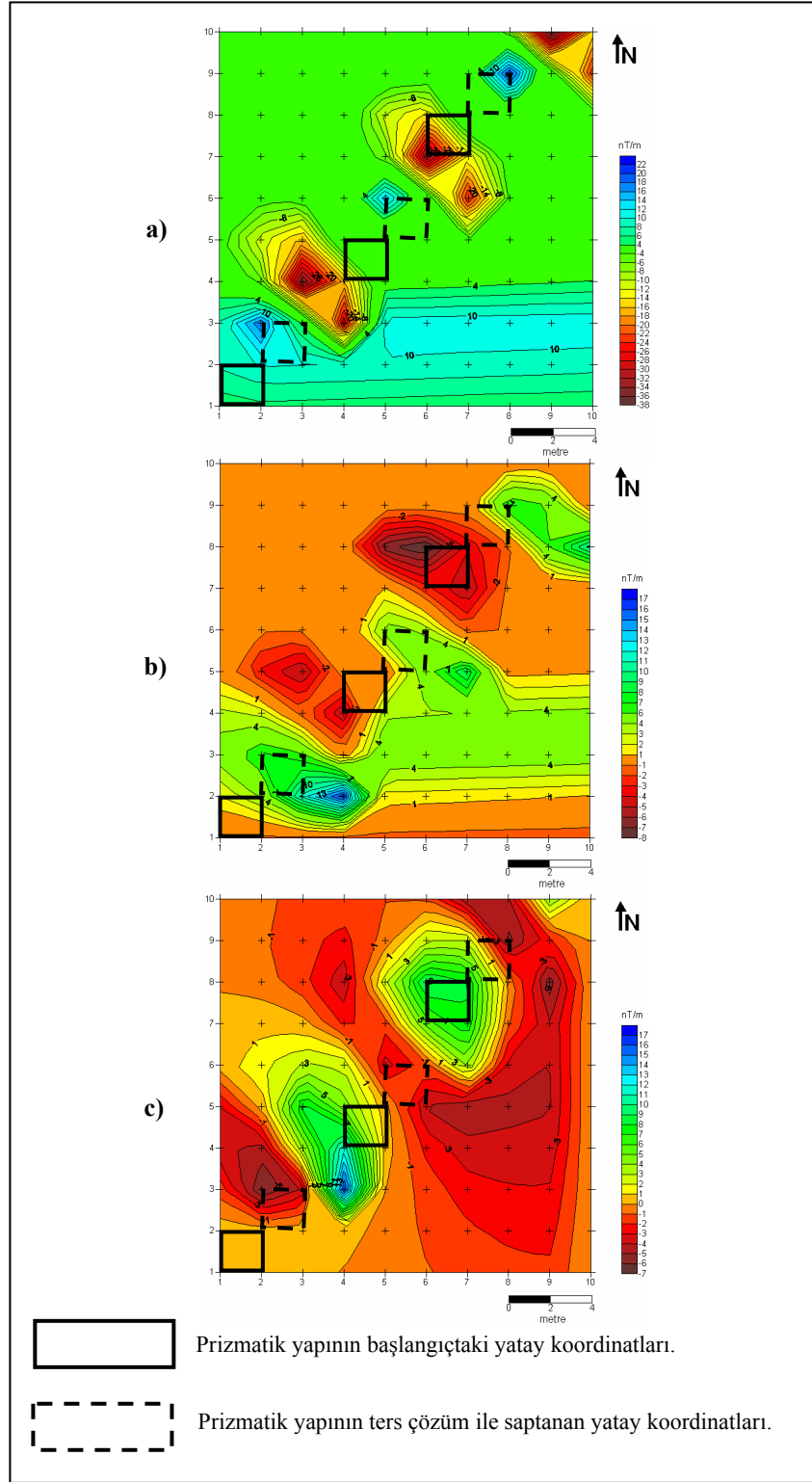
Uygulamada verinin gürültü içeriğine göre sönüm faktörünün (λ) seçimi önemli bir faktördür. Kullanılan algorithmda eğer amaç fonksiyonu ilk aşamada hesaplanan amaç fonksiyonundan büyükse sönüm faktörünün değeri 2 ile çarpılır ve parametre düzeltme düzeyi tekrar hesaplanır. Eğer amaç fonksiyonunun değeri küçülmüşse sönüm faktörünün ilerleyen yinelemeli adımlarda değeri küçültülür. Sönüm faktörünün değerinin başlangıçta (gürültü içeriğine göre) 0.5 alınması ve her yinelemede yarı yarıya küçültülmesi ele alınan bu örnek için başarılı sonuç vermiştir.

6.4.3. Uygulama 3

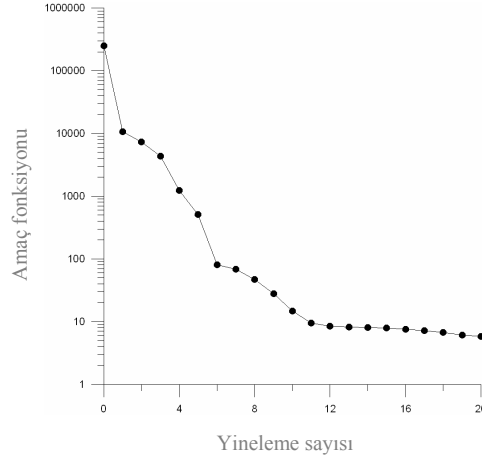
Ölçü alanı boyutları 10×10 m. olarak ve ölçü noktası aralıkları x ve y yönlerinde 1 m. olarak seçilmiştir. Yer manyetik alanının şiddeti 46500 nT olarak ve yer manyetik alan vektörünün inklınasyon ve deklinasyon açıları sırasıyla, 3° ve 65° olarak verilmiştir. Model yanıtının elde edilmesi ve ters çözüm için 3 prizmatik yapı kullanılmış ve prizmatik yapılara ait model parametreleri Çizelge 6.4' de verilmiştir. Düşey manyetik gradient için alt alıcının yerden yüksekliği 0 m. ve alıcı aralığı 1 m. olarak, hatta dik ve hatta paralel gradient için alıcıların yerden yüksekliği 0 m. ve alıcı aralıkları 1 m. olarak seçilmiştir. Ters çözüm işlemi toplam 20 yineleme üzerinde sürdürülmüştür. Prizmatik yapının başlangıçtaki yatay koordinatları ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları Şekil 6.5 a,b,c üzerinde gösterilmiştir. Üç prizmatik yapı modeline ait başlangıç parametreleri ve yorumlanmış parametreler Çizelge 6.5' de verilmiştir. İlk yinelemede amaç fonksiyonunun değeri 248294.1 iken son yinelemede 5.8 değerine ulaşılmıştır. Yineleme sayısına göre amaç fonksiyonunun değişimi ise Şekil 6.6 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. 3 adet prizmatik yapıya ait model parametreleri

Gözlem alanının boyutları (m), x ve y yönündeki istasyon aralıkları (m)										
		N_x		N_y		d_x		d_y		
		10		10		1		1		
Prizma Sayısı ? : 3										
P. No	Prizmanın yatay, düşey koordinatları (m) ve kuzeyle yaptığı açı ($derece$)							Mıknatıslanma şiddeti (CGS) ve mıknatıslanma vektörünün inklınasyon, deklinasyon açıları ($derece$)		
	a_1	a_2	b_1	b_2	h_1	h_2	θ	EI	I_0	D_0
1	2	3	2	3	1	3	2	0.00225	10	15
2	5	6	5	6	1	2	2	0.00225	10	15
3	8	9	8	9	1	2	2	0.00225	10	15
Rejyonel alan sabiti ve yer manyetik alanının inklınasyon, deklinasyon açıları ($derece$)										
		C			I			D		
		46500			3			65		



Şekil 6.5. 3 adet prizmatik yapıdan kaynaklanan kuramsal manyetik gradient haritaları ve prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları. a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hatta dik manyetik gradient kontur haritası. c) hatta paralel manyetik gradient kontur haritası



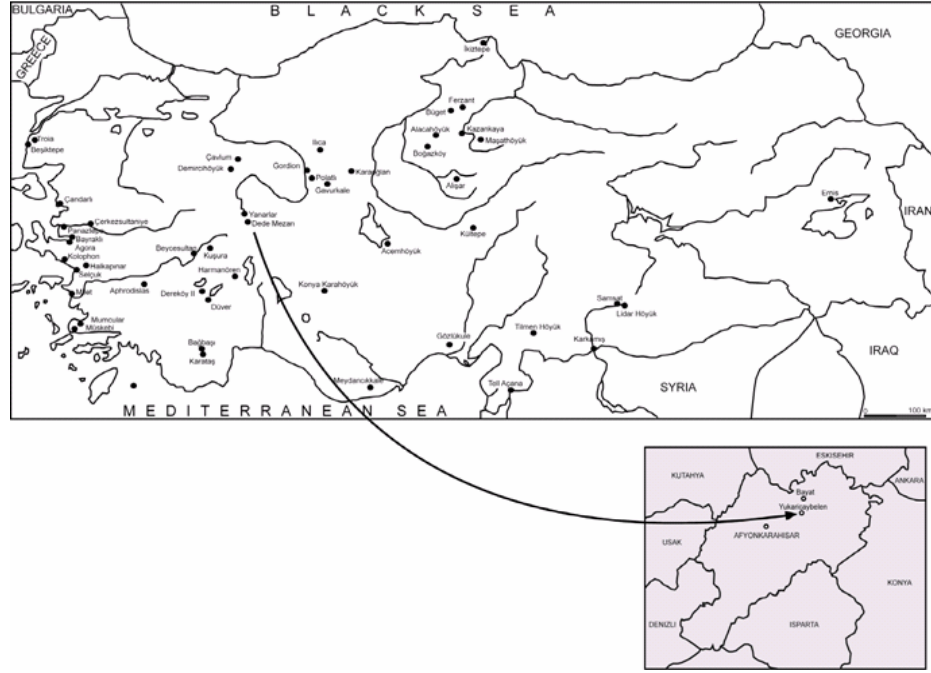
Şekil 6.6. Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.)

Çizelge 6.5. Üç adet prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri

Prizma	Model	a_1 (m)	a_2 (m)	b_1 (m)	b_2 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	I_θ (derece)	D_θ (derece)	θ (derece)	EI (CGS)
1	K TÇ	1	2	1	2	1	4	9	19	0	0.00245
		2	3	2	3	1	3	9.3	15.4	1.1	0.00231
2	K TÇ	4	5	4	5	1	3	9	19	0	0.00235
		5	6	5	6	1	2	9.2	15.5	1.6	0.00218
3	K TÇ	7	8	7	8	1	4	9	19	0	0.00245
		8	9	8	9	1	2	9	15.7	0.7	0.00235
K : Kuramsal Model											
TÇ : Ters Çözüm Sonucu											
Yer manyetik alanı şiddeti								Başlangıç değeri:		46500	
								Yorumlanmış değeri:		46500.06	

6.4.4. Uygulama 4

Bu uygulamada; Afyon ili Bayat ilçesi Yukarıçaybelen köyünde yer alan ve Dedemezarı olarak bilinen bir nekropolis alanı üzerinde ölçülen toplam manyetik alan verileri, kullanılan ters çözüm algoritmasıyla değerlendirilecektir. Çalışma alanının konumu ve milattan önce 2000 yıllarında Anadolu' daki başlıca yerleşimleri gösteren harita Şekil 6.7' de verilmiştir. Nekropolis alanına ait tarihleme Orta Bronz çağına ait olduğunu göstermekte ve Anadolu' da bu çağa ait olan nekropolis alanına çok az rastlandığı için Dedemezarı nekropolisi arkeoloji ve Anadolu tarihi için önemli bir yer teşkil etmektedir.



Şekil 6.7. Çalışma alanının konum haritası ve milattan önce 2000' li yıllarda Anadolu' daki başlıca yerleşimler

Nekropolis alanında 2 tip mezar yapısına rastlanmaktadır. İlki kesilmiş kaya parçalarıyla yapılan mezarlar veya kaya mezarları, ikinci tip ise pitos adı verilen pişmiş topraktan yapılan büyük küplerdir.

Arazi uygulamalarında Scintrex Envimag gradiometresi kullanılmış ancak üst alıcıdaki problemler nedeniyle düşey manyetik gradient ölçüleri sağlıklı bir biçimde ölçülemedi. Bu nedenle alt alıcı ile ölçülen toplam manyetik alan ölçüleri yorumlanmıştır. Ölçüler 3 farklı alan üzerinde alınmış ve ölçüm sonuçlarına göre arkeologlar öncelikle 2 açma üzerinde kazılara başlamışlardır. Dedemezari nekropolis alanını ve kazılmış olan 2 açmanın yerleri Şekil 6.8' de gösterilmiştir.

Toplam manyetik alan haritalarından, kazılan açmalara ait veriler ayrılmış ve ters çözüm sonuçları ile kazı sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bölgede yer manyetik alanının şiddeti $46500 nT$, yer manyetik alanın inklinasyon ve deklinasyon açıları ise sırasıyla 55° ve 4° dir. Mıknatıslanma (polarizasyon) vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açıları bilinmediğinden her iki örnekte de yer manyetik alanının inklinasyon ve deklinasyon açılarına eşit (55° ve 4°) olarak alınmıştır.



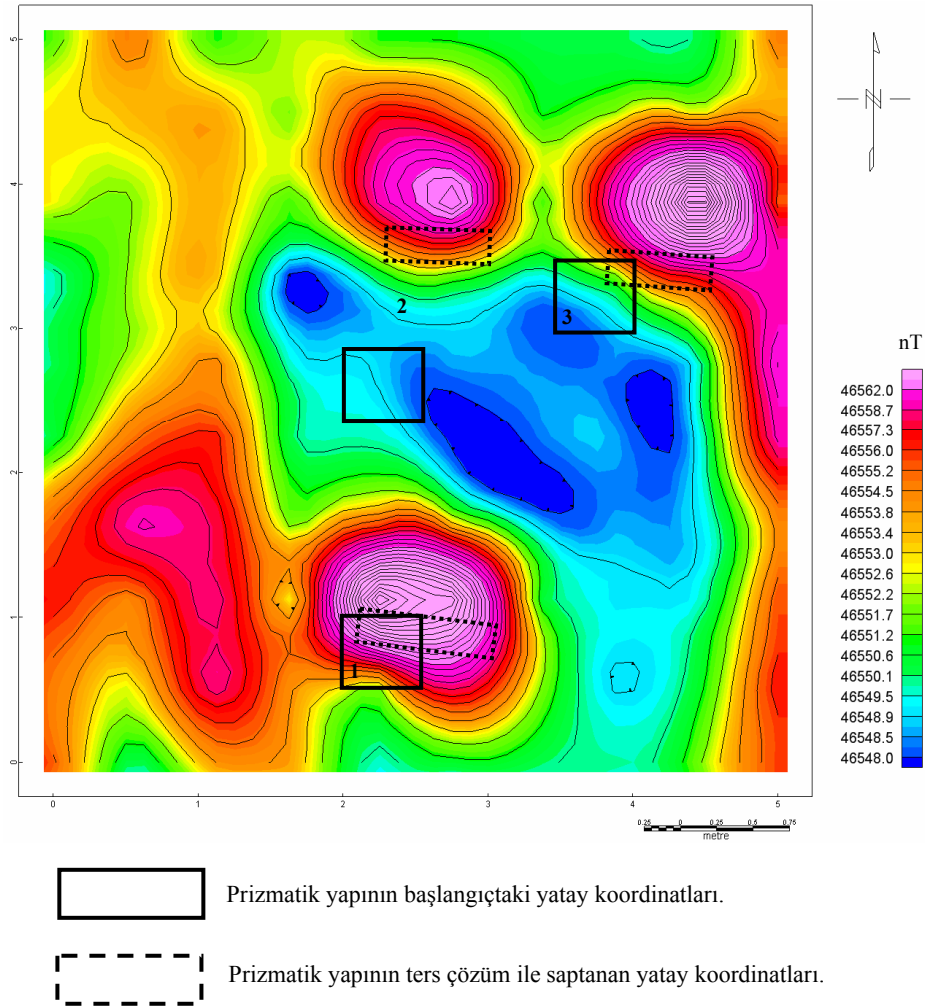
Şekil 6.8. Çalışma alanı ve açılan 2 açmanın çalışma alanındaki yerleri

Kazılan A açmasında 3 adet kesme taşlardan yapılan mezar yapısına rastlanmıştır (Şekil 6.9). A açmasının boyutları $5 \times 5 \text{ m.}$ ' dir.



Şekil 6.9. A açmasının kazı sonrası görüntüsü

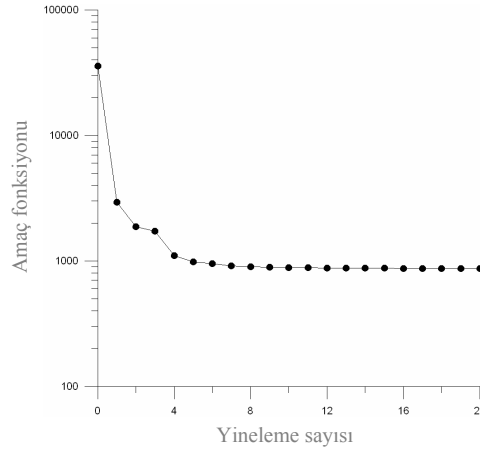
A açmasına ait toplam manyetik verileri içeren kontur haritası 0.5 x 0.5 m. aralıklarla gridlenmiştir. Toplam manyetik alan verilerinin ölçülmesi için kullanılan alıcı yeryüzüne çok yakın bir yükseklikte kullanıldığından alıcının yerden yüksekliği 0 m. olarak varsayılmıştır. Ters çözüm işlemi toplam 10 yineleme üzerinde sürdürülmüştür. Prizmatik yapıların başlangıçtaki yatay koordinatları ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları Şekil 6.10 üzerinde gösterilmiştir. 3 kaya mezarı modeline ait başlangıç parametreleri ve yorumlanmış parametreler Çizelge 6.7' de verilmiştir. İlk yinelemede amaç fonksiyonunun değeri 35766.89 iken son yinelemede 866.44 değerine ulaşılmıştır. Yineleme sayısına göre amaç fonksiyonunun değişimi ise Şekil 6.11 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.10. B açması üzerinde ölçülen toplam manyetik alan verilerine ait kontur haritası ve kazı sonucunda bulunan 3 kaya mezarı modelini temsil eden prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları

Çizelge 6.6. Üç adet prizmatik yapıya ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri

Prizma	Model	a_1 (m)	a_2 (m)	b_1 (m)	b_2 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	I_θ (derece)	D_θ (derece)	θ (derece)	EI (CGS)
1	K	2	2.5	0.5	1	1	2	55	4	0	0.001
	TÇ	2.15	3.2	0.8	1	0.8	1.2	46.8	62.2	7	0.00966
2	K	2	2.5	3	3.5	1	2	55	4	0	0.001
	TÇ	2.7	2.95	3.4	3.7	0.8	1	83.6	0.57	1	0.00917
3	K	3.5	4	3	3.5	1	2	55	4	0	0.001
	TÇ	3.8	4.5	3.2	3.35	0.7	1	90	0.57	3.1	0.0011
K : Kuramsal Model											
TÇ : Ters Çözüm Sonucu											
Başlangıç değeri:								46550			
Yer manyetik alanı şiddeti								Yorumlanmış değeri: 46552.85			

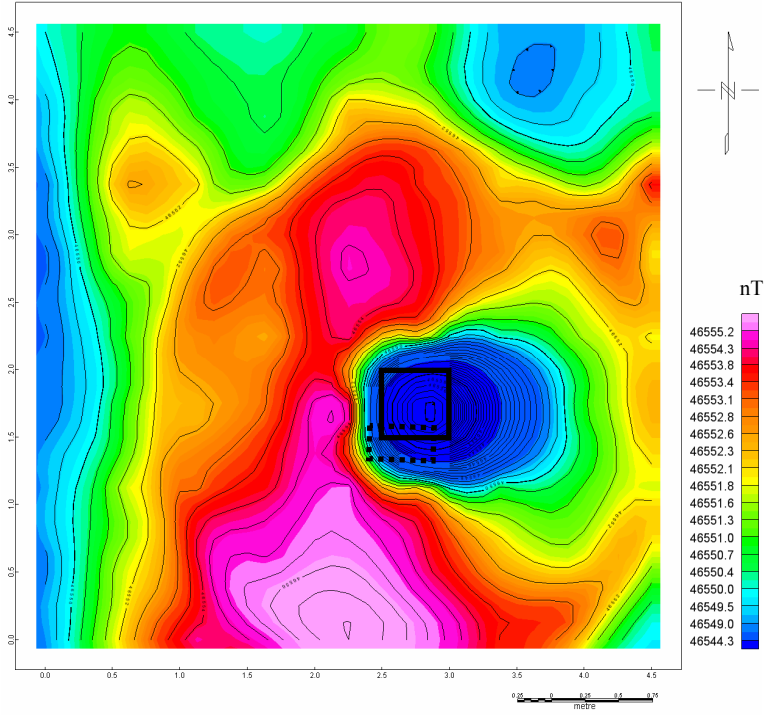


Şekil 6.11. Amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.)

Manyetik ölçü sonuçlarına göre kazılan B açmasında ise gömülü bir pitos mezar bulunmuştur (Şekil 6.12). B açmasının boyutları $4.5 \times 4.5 \text{ m.}^2$ dir. B açmasına ait toplam manyetik verileri içeren kontur haritası $0.5 \times 0.5 \text{ m.}$ aralıklarla gridlenmiştir. Alıcının yeryüzünden yüksekliği 0 m. olarak alınmıştır. Ters çözüm işlemi toplam 10 yineleme üzerinde sürdürülmüştür. Prizmatik yapının başlangıçtaki yatay koordinatları ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları Şekil 6.13 üzerinde gösterilmiştir. Pitos mezarı modeline ait başlangıç parametreleri ve yorumlanmış parametreler Çizelge 6.7' de verilmiştir. İlk yinelemede amaç fonksiyonunun değeri 230742.1 iken son yinelemede 267.21 değerine ulaşılmıştır. Yineleme sayısına göre amaç fonksiyonunun değişimi ise Şekil 6.13 üzerinde gösterilmiştir. Ters çözüm sonuçları ile saptanan Pitos mezarı modeline ait geometrik parametreler (prizmatik yapının yatay ve düşey koordinatları) kazı sonuçları ile karşılaştırıldığında oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.12. B açmasının kazı sonrası görüntüsü

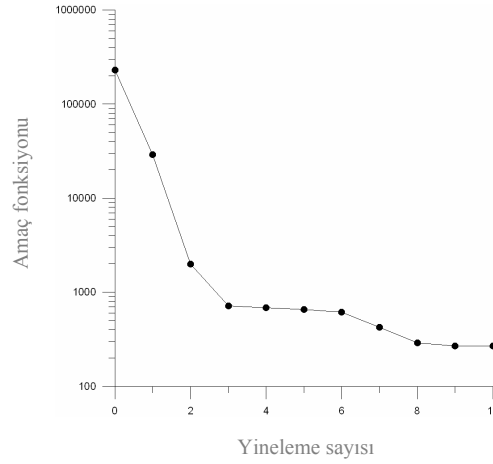


Prizmatik yapının başlangıçtaki yatay koordinatları.



Prizmatik yapının ters çözüm ile saptanan yatay koordinatları.

Şekil 6.13. B açması üzerinde ölçülen toplam manyetik alan verilerine ait kontur haritası ve kazı sonucunda bulunan Pitos mezar modelini temsil eden prizmatik yapının başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları



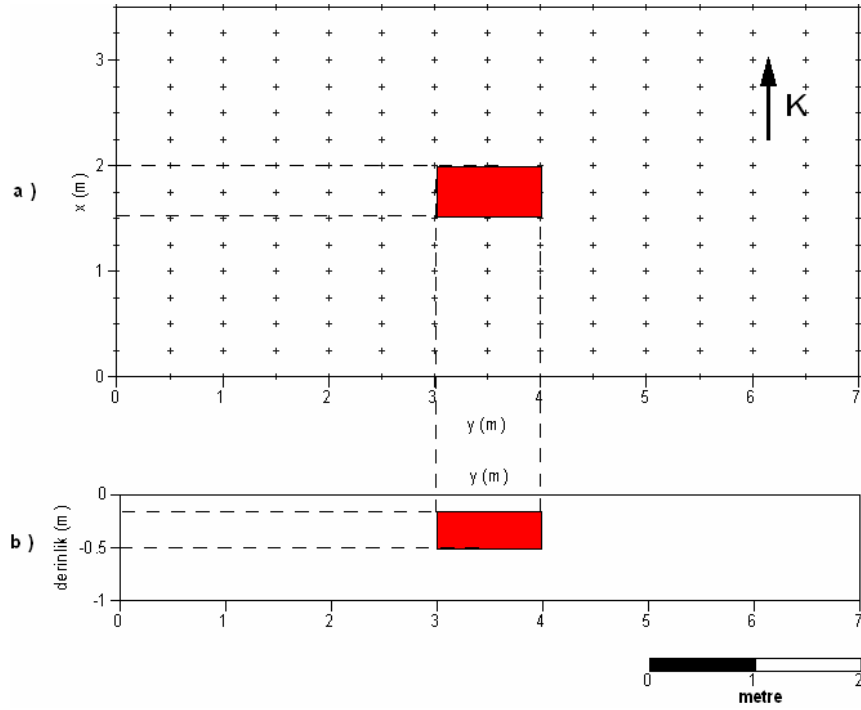
Şekil 6.14. Pitos mezar modeli için amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.)

Çizelge 6.7. Pitos mezarı modeline ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri

Prizma	Model	a_1 (m)	a_2 (m)	b_1 (m)	b_2 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	I_θ (derece)	D_θ (derece)	θ (derece)	EI (CGS)
1	K TÇ	2.5	3	1.5	2	0.5	1.5	55	40	0	0.0076
		2.45	2.85	1.35	1.55	0.4	0.8	-42	360	-0.5	0.0095
K : Kuramsal Model											
TÇ : Ters Çözüm Sonucu											
Yer manyetik alanı şiddeti								Başlangıç değeri:		46500	
								Yorumlanmış değeri:		46551.66	

6.4.5. Uygulama 5

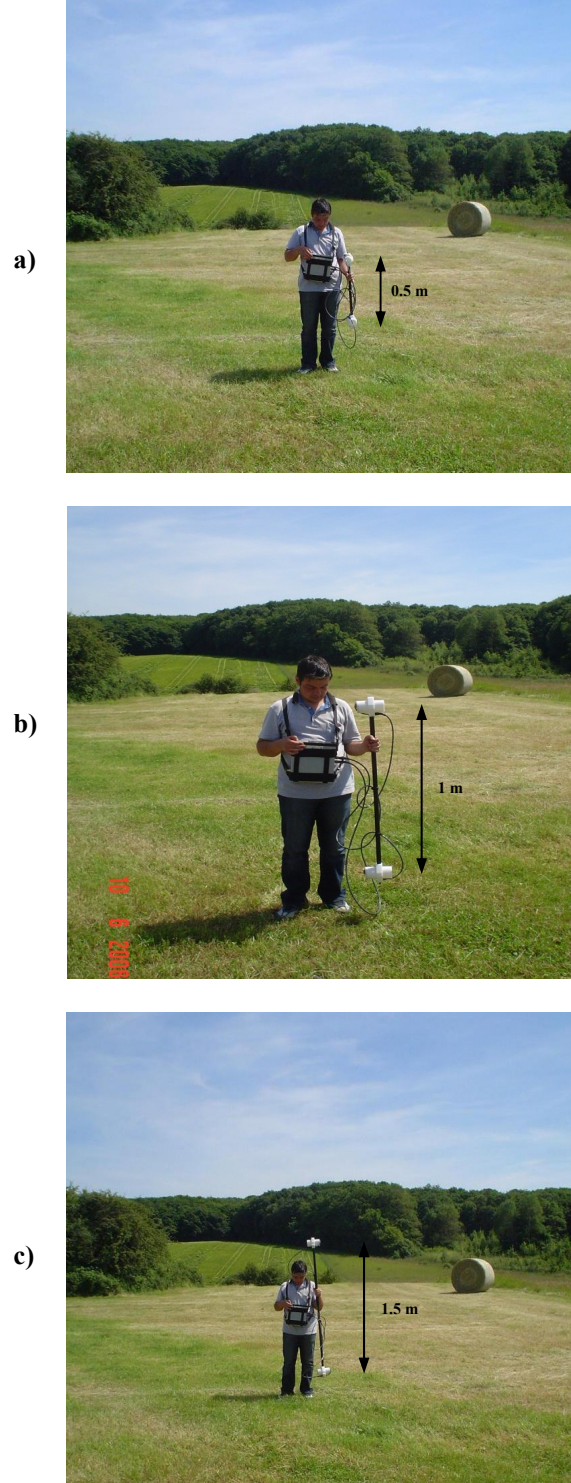
Bu uygulamada düşey ve yatay (hatta dik ve hatta paralel) manyetik gradient ölçü tekniklerinin ve ters çözüm algoritmasının arazi verileri ile denemesi amacıyla boyutları 7x3.5 m.'lik bir test sahası oluşturulmuştur. Test sahasının Şekil 6.15' de işaretlenen yatay ve düşey konumları üzerine bir metal parçaları bulunan taşıma çantası yerleştirilerek manyetik gradient verileri ölçülmüştür. Ölçümler GEM Sys. tarafından 2006 yılında üretilen 19 TGW proton manyetometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçü sahası üzerinde profil aralıkları 0.5 m., ve ölçü noktaları aralıkları ise 0.25 cm. olarak seçilmiştir. Ölçümler daha yüksek çözünürlük sağlamak amacıyla sürekli ölçü alma şeklinde değil, her ölçü noktasında gidip ölçü alma şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.15. Ölçü sahasının a) plan görüntüsü ve test ölçülerinde kullanılan prizmatik modelin ölçü sahası üzerindeki yatay koordinatları. c) kullanılan prizmatik modelin derinlik-y düzlemindeki düşey koordinatları

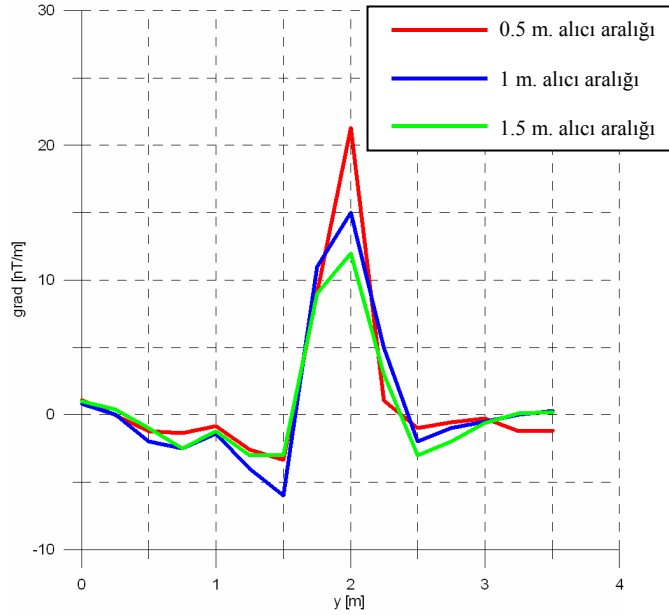
Arazi çalışmasında hem düşey hem de yatay (hatta dik ve paralel) gradient verileri birlikte ölçülmüştür. Ancak alıcı aralıklarının seçimi için öncelikle ölçü sahasına yerleştirilen metal prizmatik yapıyı dik kesen 3.5 nolu profil üzerinde 0.5m., 1m. ve 1.5 m. alıcı aralıkları için düşey manyetik gradient profil ölçüleri alınmıştır. Düşey manyetik gradient verilerinin farklı alıcı aralıkları için arazide ölçülmesi Şekil 6.16' da gösterilmiştir.

Ölçü sahası Almanya' nın Köln kenti içinde bulunan Wallers İlçesi içinde yer almaktadır. Ölçü sahasındaki yer manyetik alanının şiddeti 48500 nT , yer manyetik alanın inklinasyon ve deklinasyon açıları ise sırasıyla 65° ve 13° dir. Mıknatıslanma (polarizasyon) vektörünün inklinasyon ve deklinasyon açıları bilinmediğinden yer manyetik alanının inklinasyon ve deklinasyon açılarına eşit (65° ve 13°) olarak alınmıştır.



Şekil 6.16. Düşey manyetik gradient verilerinin farklı alıcı aralıkları a) 0.5 m. b) 1 m. c) 1.5 m. için ölçülmesi

Şekil 6.16’ da gösterildiği gibi farklı alıcı aralıkları için ölçülen düşey manyetik gradient verileri karşılaştırma amacıyla Şekil 6.17’ de gösterildiği gibi çizilmiş ve 0.5 m. alıcı aralığı için her ölçü tekniği ile veri toplanmasına karar verilmiştir.



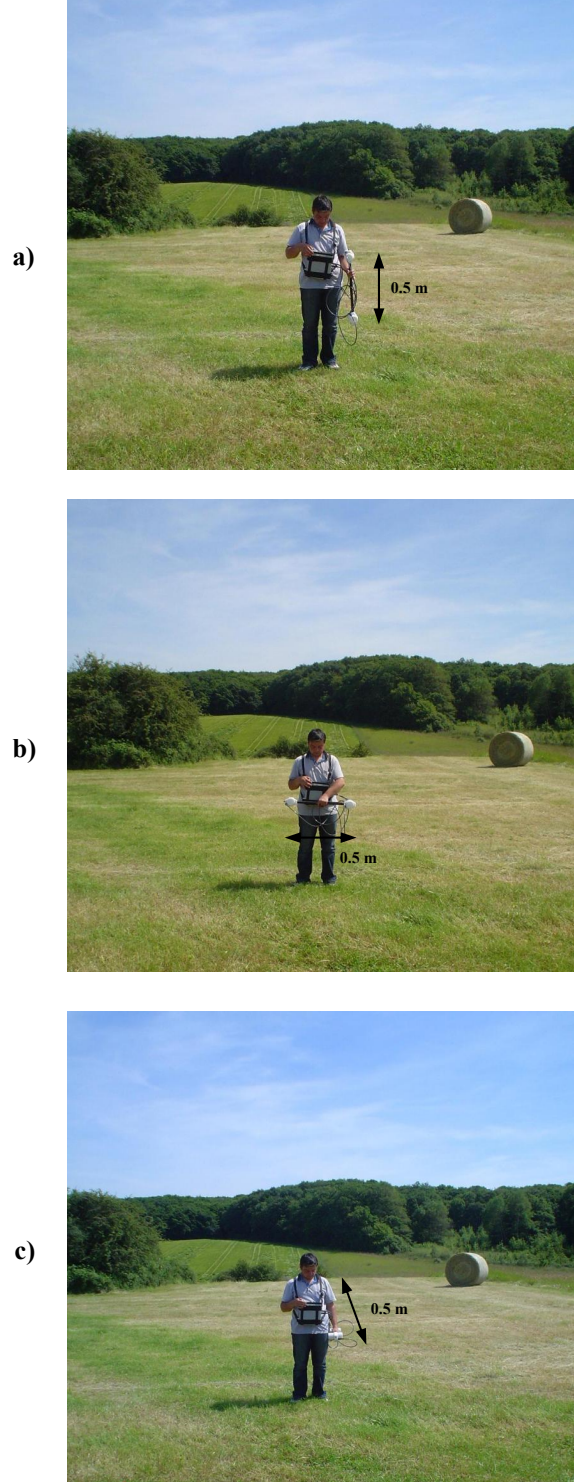
Şekil 6.17. KG yönlü 3.5 nolu profil üzerinde farklı alıcı aralıkları için ölçülen düşey manyetik gradient değerlerinin değişimi

Düşey manyetik gradient verilerinin ölçülmesi sırasında alt alıcı yeryüzüne çok yakın bir yükseklikte tutulduğu için ters çözüm için gerekli olan alıcının yeryüzünden olan yüksekliği değişkeni parametre dosyasına 0m. olarak girilmiştir. Üst alıcının yeryüzünden olan yüksekliği ise alıcı aralığına eşit değerde yani 0.5m. olarak kabul edilmiştir.

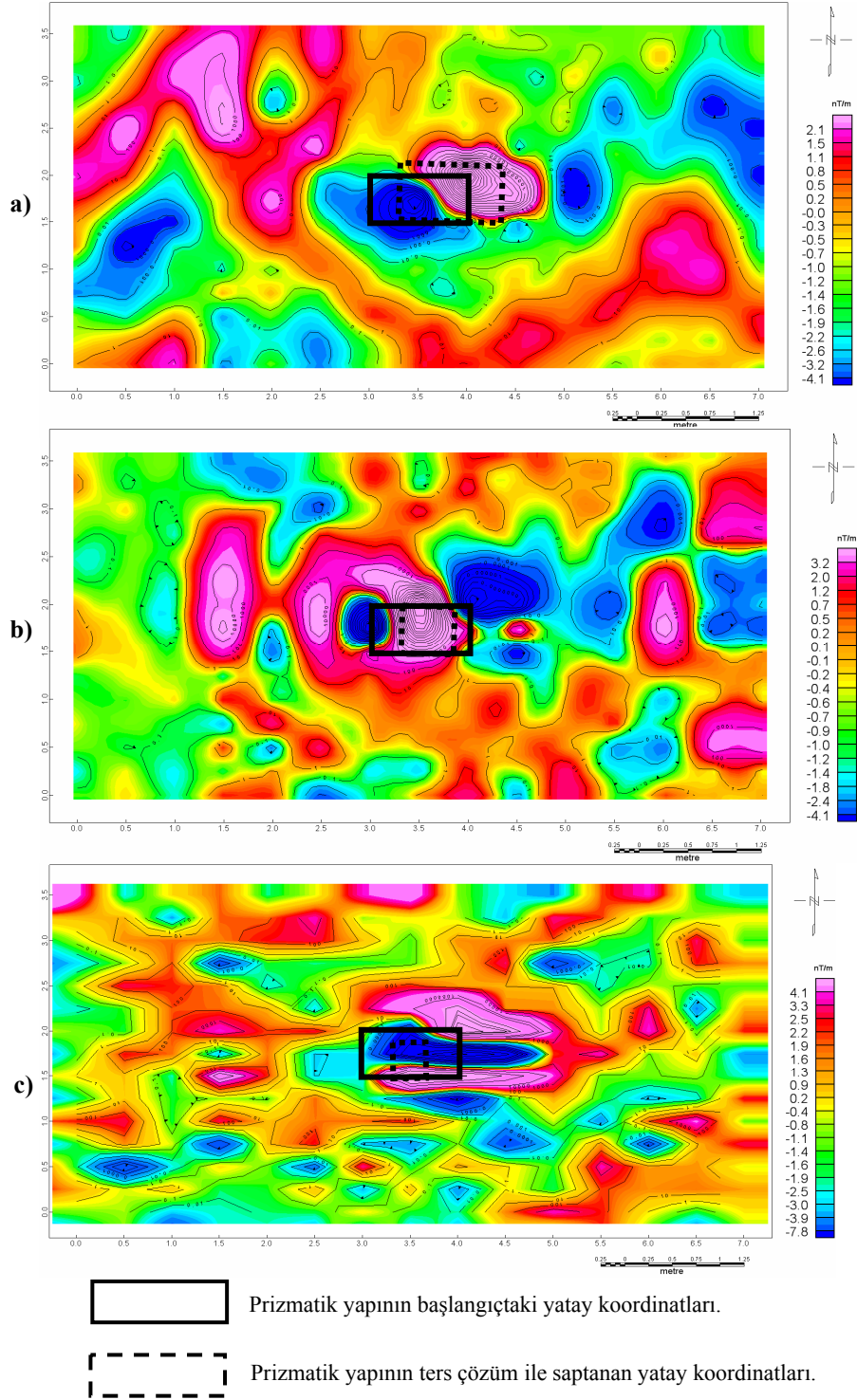
Hatta dik ve hatta paralel manyetik gradient verilerinin ölçülmesi esnasında iki alıcıda Bölüm 5’ de anlatıldığı gibi aynı yükseklikte tutulmuş ve yer yüzünden olan yükseklikleri 0.5 m. olarak belirlenmiştir.

Her üç ölçü tekniğinin de arazi çalışmasında kullanılmasını gösteren resimler Şekil 6.18’ de gösterilmiştir.

Ters çözüm işlemi toplam 30 yineleme üzerinde sürdürülmüştür. Şekil 6.19’ da test alanında ölçülen düşey ve yatay manyetik gradient kontur haritaları sunulmuş ve ölçü alanına yerleştirilen taşıma çantasını temsil eden prizmatik modelin başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları kontur haritaları üzerine işaretlenmiştir.



Şekil 6.18. 0.5 m. alıcı aralığı için a) düşey manyetik gradient verilerinin ölçülmesi. b) hatta dik manyetik gradient verilerinin ölçülmesi. c) hatta paralel manyetik gradient verilerinin ölçülmesi

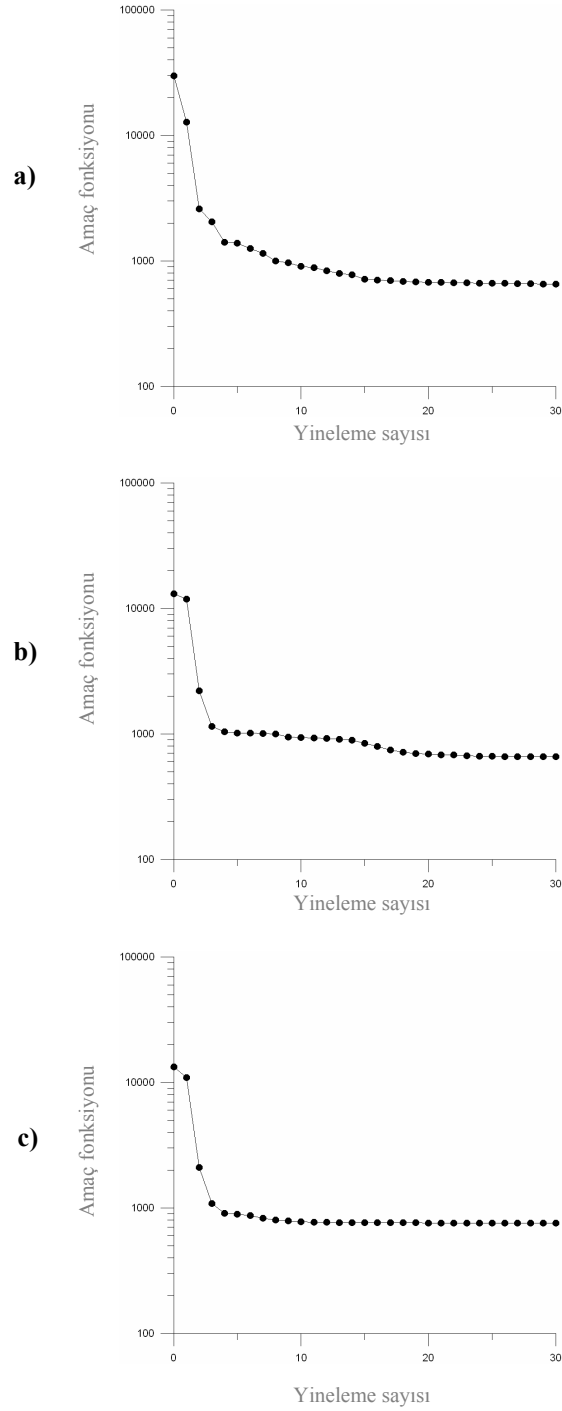


Şekil 6.19. Ölçü alanında ölçülen a) düşey manyetik gradient kontur haritası. b) hattı dik manyetik gradient kontur haritası. c) hattı paralel manyetik gradient kontur haritası. Ölçü alanına yerleştirilen taşıma çantasını temsil eden prizmatik modelin başlangıçta ve ters çözüm sonucu saptanan yatay koordinatları

Her 3 ölçü tekniği için ölçülen manyetik gradient verilerinin kullanılan algoritma ile 3-B ters çözümleri sonucunda elde edilen yorumlanmış model parametreleri ve başlangıç modeline ait parametreler Çizelge 6.8' de verilmiştir. Toplam yineleme sayısına göre amaç fonksiyonunun her ölçü tekniği için değişimi ise Şekil 6.20 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Taşıma çantasını temsil eden prizmatik modele ait başlangıç modeli ve yorumlanmış model parametreleri

Düşey manyetik gradient											
Prizma	Model	a_1 (m)	a_2 (m)	b_1 (m)	b_2 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	I_θ (derece)	D_θ (derece)	θ (derece)	EI (CGS)
1	K	3	4	1.5	2	0.1	0.5	65	13	0	0.0025
		3.3	4.4	1.5	2.1	0.5	0.6	47.7	294	1.4	0.0014
Başlangıç değeri:								48500			
Yer manyetik alanı şiddeti								Yorumlanmış değeri: 48499.6			
Hatta dik manyetik gradient											
Prizma	Model	a_1 (m)	a_2 (m)	b_1 (m)	b_2 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	I_θ (derece)	D_θ (derece)	θ (derece)	EI (CGS)
1	K	3	4	1.5	2	0.1	0.5	65	13	0	0.003
		3.3	3.9	1.5	2	0.4	0.6	20.2	309	1.8	0.0027
Başlangıç değeri:								48500			
Yer manyetik alanı şiddeti								Yorumlanmış değeri: 48499.83			
Hatta paralel manyetik gradient											
Prizma	Model	a_1 (m)	a_2 (m)	b_1 (m)	b_2 (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	I_θ (derece)	D_θ (derece)	θ (derece)	EI (CGS)
1	K	3	4	1.5	2	0.1	0.5	65	13	0	0.003
		3.3	3.6	1.5	1.9	0.6	0.8	90	180	-0.6	0.0023
Başlangıç değeri:								48500			
Yer manyetik alanı şiddeti								Yorumlanmış değeri: 48499.39			
K : Kuramsal Model											
TÇ : Ters Çözüm Sonucu											



Şekil 6.20. Taşıma çantası modeli için amaç fonksiyonunun yineleme sayısına göre değişimi. a) düşey manyetik gradient. b) hatta dik manyetik gradient. c) hatta paralel manyetik gradient. (düşey eksen logaritmik olarak verilmiştir.)

7. SONUÇLAR

Yüksek lisans tezi kapsamında, manyetik gradiometre yönteminde farklı alıcı yönelimleri ve her alıcı yönelimi için farklı alıcı aralıkları araştırılmıştır. Farklı alıcı yönelimleri ve her alıcı yönelimi için farklı alıcı aralıklarının seçimi ve önemi, kuramsal ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen düşey ve yatay manyetik gradient belirtileri üzerinde sınınmıştır.

Günümüzde karada yapılan düşey manyetik gradiometre çalışmalarında genellikle 1m alıcı aralığı seçilmektedir. Ancak, düşey manyetik gradient ölçü tekniğinde alıcı aralıklarının seçimi oldukça önemli bir unsurdur. Bu ölçü tekniğinde alt alıcının yer yüzünden yüksekliği sabit kalmak koşulu ile üst alıcı, alt alıcıdan aynı düşey düzlemde 0.5, 1 ve 1.5 m yüksekliğe çıkarılarak alıcı aralıkları değiştirilebilmektedir. Kuramsal ve arazi çalışmaları sonucunda sığ yapılara ait bilgileri 0.5 m alıcı aralığı ile ölçülen düşey manyetik gradient verilerinin daha iyi yansıttığı izlenmiştir. Daha derin yapılara ise 1 ve 1.5m alıcı aralıklı düşey manyetik gradient verileri daha çok duyarlılık göstermektedir. Düşey manyetik gradient ölçü tekniğinde alıcı aralıklarının seçimi; aranan yapının mıknatıslanma özelliğine, derinliğine, çalışma alanının şartlarına ve gürültü içeriğine bağlı olarak yapılmalıdır. Bu nedenlerle, özellikle düşey manyetik gradient ölçü tekniğinde alıcı aralıkları çalışma alanında yapılacak deneme ölçülerinden sonra belirlenmelidir.

Yüksek lisans tezinde ayrıca, düşey manyetik gradient belirtileri ile toplam manyetik alan belirtileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yüze yakın ve özellikle düşük mıknatıslanma sunan yapılara karşı düşey manyetik gradient verilerinin toplam manyetik alan verilerine göre daha yüksek çözünürlük sundukları izlenmiştir.

Öte yandan, düşey manyetik gradient ölçü tekniğinde farklı alıcı aralıklarının kullanımı ile birlikte alt alıcının yer yüzünden olan yüksekliğinin seçimi de oldukça önemli bir unsurdur. Yüze oldukça yakın ve düşük mıknatıslanma özelliği gösteren yapıların arandığı durumlarda alt alıcı yer yüzüne mümkün olduğu kadar yakın bulunmalıdır. Daha derin yapıların arandığı ve çevresel gürültülerin arttığı durumlarda ise alt alıcı yer yüzünden daha yüksekte bulunmalıdır.

Düşey manyetik gradient ölçü tekniğine ek olarak yer manyetik alanının toplam bileşeninin yatay yönde 1. türevini ölçebilmek için tez çalışmasında yatay manyetik gradient ölçü tekniği önerilmiştir. Yatay manyetik gradient ölçü tekniği 2 gruba ayrılmıştır. Bunlardan birincisi yer manyetik alanının toplam bileşeninin x yönünde 1. türevini ölçmek için önerilen hatta paralel manyetik gradient ölçü tekniğidir. Diğeri ise yer manyetik alanının toplam bileşeninin y yönünde 1. türevini ölçmek için önerilen hatta dik manyetik gradient ölçü tekniğidir. Önerilen hatta paralel manyetik gradient ölçü tekniğinde alıcılar yatay düzlemde birbirinden farklı x koordinatlarında ve aynı düzlem üzerinde bulunmaktadır. Hatta dik manyetik gradient ölçü tekniğinde ise alıcılar yatay düzlemde birbirinden farklı y koordinatlarında ve aynı düzlem üzerinde bulunmaktadır. Aynı zamanda önerilen yatay manyetik gradient (hatta paralel ve hatta dik manyetik gradient) ölçü tekniğinde her iki alıcı da yer yüzünden aynı yükseklikte ölçüleri almaktadır. Hatta paralel

manyetik gradient belirtileri sığ yeraltı yapılarının x yönünde yatay sınırlarını, hatta dik manyetik gradient belirtileri de sığ yeraltı yapılarının y yönünde yatay sınırlarını belirlemede oldukça kullanışlı ve verimli çalıştıkları görülmektedir. Bununla birlikte her iki yöntemin beraber kullanımları ile birlikte belirtiyeye neden olan yapının yatay yöndeki kenarlarının analitik yöntemlere bağlı kalmadan rahatlıkla tespit edilebileceği düşünülmektedir.

Hatta paralel ve hatta dik manyetik gradient ölçü tekniklerinde alıcıların ölçü sahası üzerindeki konumları dikkatle incelendiğinde, bu ölçülerin 2 ayrı manyetometre ile ölçülen toplam yer manyetik alanı değerlerinin birbirinden çıkarılmasıyla da elde edilebileceği görülmektedir. Ancak, yöntemin beraberinde getirdiği ve tezde ayrıntılı olarak anlatılan üstün yanları düşünüldüğü zaman yatay manyetik gradient ölçülerinin bir manyetik gradiometre ile alınması en doğru seçenektir.

Hatta paralel ve hatta dik manyetik gradient ölçü tekniklerinde, düşey manyetik gradient ölçü tekniğindeki benzer olarak farklı alıcı aralıkları araştırılmıştır. Ancak kuramsal ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen yatay manyetik gradient belirtilerinde farklı alıcı aralıkları için her hangi bir değişim gözlenememiştir.

8. KAYNAKLAR

Affleck J., 1958, Interrelationships Between Magnetic Anomaly Components : Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 23, 738-748.

Aitken M. J., 1961, Physics and archaeology: London, Interscience Publishers Ltd., 181 p.

Aitken M. J., Tite M. S., 1962, A gradient magnetometer using free-precession: Jour. Sci. Inst., V. 39, p. 625-629.

Arısoy M.Ö. and Ulugergerli E.U., 2005. Evaluation of Different Receiver Orientations and Receiver Separations in Magnetic Gradiometer Method, Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 8, 2005, Suppl. 1, p. 229-232.

Barbosa F.V.C. and Silva J. B. C., 1994. Generalized compact gravity inversion: Geophysics, Volume 59, Issue 1, pp. 57-68.

Barbosa V.F.C., Silva J.B.C and Medeiros W E., 1997 Gravity inversion of basement relief using approximate equality constraints on depths: Geophysics, Vol. 62, p. 1745–1757.

Barongo, J. O., 1985, Method for depth estimation and aeromagnetic vertical gradient anomalies: Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 50, 963-968.

Başokur, A.T. 2002. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters-çözümü TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Eğitim Yayınları No: 4, ISBN 975-395-505-7, 166 s., Ankara.

Bartington G., Chapman C.E. 2004. A high stability fluxgate gradiometer for shallow geophysical survey applications. Archaeological prospecting, Vol 11, 11-34.

Bhattacharyya, B. K., 1980, A generalized multibody model for inversion of magnetic anomalies: Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 45, 255-270.

Boulanger O. and Chouteau M. 2001, Constraints in 3D gravity inversion: Geophysical Prospecting 49 Page 265 -280.

Breiner, S, 1973, Applications Manual for Portable Magnetometers: Geometrics, p. 49-52.

Cımmale M., 2003, A high-resolution magnetic mosaic at the kyme archaeological site (Turkey), Archaeological prospection, Vol: 10, p. 119-130.

Eggers D. E., Thompson D. T., 1984, An evaluation of the marine magnetic gradiometer, : Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 49, 771-779.

Fedi M., Florio G., 2001, Detection of Potential Fields Source Boundaries by Enhanced Horizontal Derivative Method. Geophysical Prospecting, Vol: 49, p. 40-58.

Gaffney C. F., Goter C. A., Linford P., Gaffrey V. L. and White R., 2000, Large-scale systematic fluxgate gradiometry at the Roman city of Wroxeter, Archaeological Prospection, Vol: 7, p. 81-99.

Hardwick C. D., 1984, Important design considerations in inboard airborne magnetic gradiometers, : Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 49, 2004-2018.

Henderson, R. G. and Zietz, I., 1949, The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields : Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 14, 508-516. (* Discussion in GEO-23-04-0860; Solicited reply by Nettleton, L. L. in GEO-23-04-0862)

Hood, P. and McClure, D. J., 1965, Gradient measurements in ground magnetic prospecting : Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 30, 403-410. (* Discussion in GEO-32-05-0921-0922)

Hood, P., 1965, Gradient measurements in aeromagnetic surveying: Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 30, 891-902.

Hounslow M.W. and Chroston, 2002. P.N. Structural layout of the suburbs of Roman Butrint, Southern Albania: results from a gradiometer and resistivity survey. Archaeological Prospection, Vol: 9, p. 229-242.

Hrvoic I., Hollyer G. M., 2005, Brief review of Quantum magnetometers, Magnetic moment Vol:3, www.gemsys.ca, pp.15.

Ginzburg B., Frumkis L., Kaplan B., 2002, Processing of magnetic csalar gradiometer signals using orthonormalized functions, Sensors and Actuators, Vol: 102, p. 67-75.

IAGA V-MOD Geomagnetic Field Modeling, 2005, International Geomagnetic Reference Field IGRF.

Jeng Y., Lee Y., Chen C. Lin M., 2003, Integrated Signal Enhancements in Magnetic Investigation in Archaeology : Journal of Applied Geophysics, Vol:53, p. 31-48.

Johnson, W. W., 1969, A least-squares method of interpreting magnetic anomalies caused by two-dimensional structures: Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 34, 65-74.

- Keating, P. and Pilkington, M., 1990, An automated method for the interpretation of magnetic vertical gradient anomalies: *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 55, 336-343.
- Khurana, K. K., Rao, S. V. S. and Pal, P. C., 1981, Frequency-domain least-squares inversion of thick dike magnetic anomalies using Marquardt algorithm (short note): *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 46, 1745-1748.
- Ku, C. C. and Sharp, J. A., 1983, Werner deconvolution for automated magnetic interpretation and its refinement using Marquardt inverse modeling : *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 48, 754-774. (* Discussion in GEO-49-07-1119-1119; Reply in GEO-49-07-1119-1119)
- Kumar S., Skvoretz D. C., Moeller C. R., Ebert M. J., Perry A. R., Ostrom R. K., Tzouris A., Bennett S. L., Czipott P. V., Sulzberger G., Allen G. I., Bono J., Clem T. R., 2006, Magnetic gradiometer for underwater detection applications, *Proc. SPIE Vol. 6201*
- Kunaratnam K., 1981, Simplified expressions for the magnetic anomalies due to vertical rectangular prisms: *Geophysical Prospecting*, Vol: 29, p. 883-890.
- Lindford, 2004. Archaeomagnetic dating: *Physics Education*, Special Feature: Archaeology, P. 146.
- Marcotte D. L., Hardwick C. D., Nelson J. B., 1992, Automated interpretation of horizontal magnetic gradient profile data, : *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 57, 288-295.
- Marquardt D. W., 1963, An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters, *J. Soc. Indust. Appl. Math.* 11, 431-441.
- McGrath, P. H. and Hood, P. J., 1973, An automatic least-squares multimodel method for magnetic interpretation : *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 38, 349-358. (* Discussion in GEO-39-05-0692-0693; Reply in GEO-39-05-0693-0694)
- McLean, S., S. Macmillan, S. Maus, V. Lesur, A. Thomson, and D. Dater, 2004, The US/UK World Magnetic Model for 2005-2010, NOAA Technical Report NESDIS/NGDC-1. p. 1-5.
- Odah H., Abdallatif T. F., El-Hernaly I. A., El-All E. A., 2005, Gradiometer survey to locate the ancient remains distributed to the northeast of the Zoser pyramid, Saqqara, Giza, Egypt, *Archaeological prospection*, Vol: 12, p. 61-68.

Rao B. D. and Babu R. N., 1993, A fortran-77 computer program for three-dimensional inversion of magnetic anomalies resulting from multiple prismatic bodies, *Computers & Geosciences*, vol. 19, no. 6, p. 781-801.

Rao B. D. and Babu R. N., 1991, A rapid method for three-dimensional modeling of magnetic anomalies: *Geophysics*, v. 56, no. 11, p. 1729-1737.

Rikitake T. and Tanaoka I., 1960, A differential Proton Magnetometer. *Bulletin of the earthquake Research Institute*, Vol: 38, p: 317-328.

Shearer S. H., 2005, Three-dimensional inversion of magnetic data in presence of remanent magnetization, Unpublished Master Thesis, Colorado School of Mines Department of Geophysics, p. 1-148.

Slack H. A., Lynch V. M., Langan L., 1967, The geomagnetic gradiometer, : *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 32, 877-892.

Tabbagh A., Desvignes G., Dabas M. 1997 Processig of Z gradiometer magnetic data using linear transforms and analytical signal, *Archaeological prospecting*, Vol 4, p 11-13.

Tabbagh J. 2003. Total field magnetic prospection : vertical gradiometer measurements preferable to single sensor survey?, *Archaeological prospecting*, Vol 10, p 75-81.

Talwani M., 1965, Computation With The Help Of a Digital Computer of Magnetic Anomalies Caused by Bodies of Arbitrary Shape: *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 30, 797-817.

Talwani M., and Ewing M. 1960, Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape: *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, Vol: 25, p. 203-225.

Wang X. And Hansen R. O., 1990, Inversion for magnetic anomalies of arbitrary three-dimensional bodies : *Geophysics, Soc. of Expl. Geophys.*, 55, 1321-1326.

9. ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara’ da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’ da tamamladı. 1997 yılında kazandığı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ nden 2002 yılında Jeofizik Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 2004 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitimine başladı.

2004 yılından bu yana Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

10. EKLER

10.1. Ek 1

Gelişigüzel mknatsızlanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılardan kaynaklanan düşey manyetik gradient belirti denklemi Bölüm 5' de verilmişti. Bu bağıntıyı tekrar ele alırsak,

$$\Delta T(x, y, h_{üst} - h_{alt}) = \sum_{k=1}^{N_p} \frac{\Delta T_{(x,y,h_{alt})} - T_{(x,y,h_{üst})}}{h_{üst} - h_{alt}} \quad (10.1)$$

(10.1) bağıntısının sayısal olarak çözümlenebilmesi için Bölüm 5' de verilen ve Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen toplam manyetik alan belirti denkleminin alıcıların farklı yükseklikleri için 2 kere kullanılması gerekmektedir. (10.1) bağıntısında h_{alt} ; alt alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliğini, $h_{üst}$; üst alıcının yer yüzeyinden olan yüksekliğini göstermek üzere toplam manyetik alan belirti denklemleri,

$$\Delta T(x, y, h_{alt}) = G_1 InF_1 + G_2 InF_2 + G_3 InF_3 + G_4 InF_4 + G_5 InF_5 \quad (10.2)$$

ve

$$\Delta T(x, y, h_{üst}) = G_1 InF_1 + G_2 InF_2 + G_3 InF_3 + G_4 InF_4 + G_5 InF_5 \quad (10.3)$$

şeklinde verilmektedir. (10.2) bağıntısında verilen değişkenler,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (10.4)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (10.5)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + (h_1 + h_{alt}))(R_3 + (h_2 + h_{alt})) + (R_5 + (h_1 + h_{alt}))(R_8 + (h_2 + h_{alt}))}{(R_1 + (h_1 + h_{alt}))(R_4 + (h_2 + h_{alt})) + (R_6 + (h_1 + h_{alt}))(R_7 + (h_2 + h_{alt}))} \quad (10.6)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_{alt})}{R_8\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_{alt})}{R_6\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_{alt})}{R_4\beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_{alt})}{R_2\beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_{alt})}{R_7\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_{alt})}{R_5\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_{alt})}{R_3\beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_{alt})}{R_1\beta_1} \quad (10.7)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_{alt})}{R_8\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_{alt})}{R_6\alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_{alt})}{R_4\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_{alt})}{R_2\alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_{alt})}{R_7\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_{alt})}{R_5\alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_{alt})}{R_3\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_{alt})}{R_1\alpha_1} \quad (10.8)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (10.9)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (10.10)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (10.11)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (10.12)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (10.13)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_{alt})^2} \quad (10.14)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_{alt})^2} \quad (10.15)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_{alt})^2} \quad (10.16)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_{alt})^2} \quad (10.17)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_{alt})^2} \quad (10.18)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_{alt})^2} \quad (10.19)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_{alt})^2} \quad (10.20)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_{alt})^2} \quad (10.21)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (10.22)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (10.23)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (10.24)$$

olarak verilmektedir. Benzer olarak (10.3) bağıntısındaki değişkenler ise,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (10.25)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (10.26)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + (h_1 + h_{üst}))(R_3 + (h_2 + h_{üst})) + (R_5 + (h_1 + h_{üst}))(R_8 + (h_2 + h_{üst}))}{(R_1 + (h_1 + h_{üst}))(R_4 + (h_2 + h_{üst})) + (R_6 + (h_1 + h_{üst}))(R_7 + (h_2 + h_{üst}))} \quad (10.27)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_{üst})}{R_8\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_{üst})}{R_6\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_{üst})}{R_4\beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_{üst})}{R_2\beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_{üst})}{R_7\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_{üst})}{R_5\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_{üst})}{R_3\beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_{üst})}{R_1\beta_1} \quad (10.28)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_{üst})}{R_8\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_{üst})}{R_6\alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_{üst})}{R_4\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_{üst})}{R_2\alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_{üst})}{R_7\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_{üst})}{R_5\alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_{üst})}{R_3\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_{üst})}{R_1\alpha_1} \quad (10.29)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (10.30)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (10.31)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (10.32)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (10.33)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (10.34)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_{üst})^2} \quad (10.35)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_{üst})^2} \quad (10.36)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_{üst})^2} \quad (10.37)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_{üst})^2} \quad (10.38)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_{üst})^2} \quad (10.39)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_{üst})^2} \quad (10.40)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_{üst})^2} \quad (10.41)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_{üst})^2} \quad (10.42)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (10.43)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (10.44)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (10.45)$$

olarak verilmektedir.

10.2. Ek 2

Gelişigüzel mıknatıslanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılardan kaynaklanan hatta dik manyetik gradient belirti denklemini tekrar ele alırsak,

$$\Delta T(x, y_{sağ} - y_{sol}, h_d) = \sum_{j=1}^{N_p} \frac{\Delta T_{(x, y_{sağ}, h_d)} - T_{(x, y_{sol}, h_d)}}{y_{sağ} - y_{sol}} \quad (10.46)$$

(10.46) bağıntısının sayısal olarak çözümlenebilmesi için Bölüm 5' de verilen ve Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen toplam manyetik alan belirti denkleminin alıcıların farklı yükseklikleri ve farklı y koordinatları için 2 kere kullanılması gerekmektedir. (10.46) bağıntısında $y_{sağ}$; sağ alıcının y ekseninde konumunu, y_{sol} ; sol alıcının y ekseninde konumunu ve h_d her iki alıcının da yer yüzeyinden olan yüksekliklerini göstermek üzere toplam manyetik alan belirti denklemleri,

$$\Delta T(x, y_{sağ}, h_d) = G_1 InF_1 + G_2 InF_2 + G_3 InF_3 + G_4 InF_4 + G_5 InF_5 \quad (10.47)$$

ve

$$\Delta T(x, y_{sol}, h_d) = G_1 InF_1 + G_2 InF_2 + G_3 InF_3 + G_4 InF_4 + G_5 InF_5 \quad (10.48)$$

şeklinde verilmektedir. (10.47) bağıntısında verilen değişkenler,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (10.49)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (10.50)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + (h_1 + h_d))(R_3 + (h_2 + h_d)) + (R_5 + (h_1 + h_d))(R_8 + (h_2 + h_d))}{(R_1 + (h_1 + h_d))(R_4 + (h_2 + h_d)) + (R_6 + (h_1 + h_d))(R_7 + (h_2 + h_d))} \quad (10.51)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_d)}{R_8\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_d)}{R_6\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_d)}{R_4\beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_d)}{R_2\beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_d)}{R_7\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_d)}{R_5\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_d)}{R_3\beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_d)}{R_1\beta_1} \quad (10.52)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_d)}{R_8\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_d)}{R_6\alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_d)}{R_4\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_d)}{R_2\alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_d)}{R_7\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_d)}{R_5\alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_d)}{R_3\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_d)}{R_1\alpha_1} \quad (10.53)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (10.54)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (10.55)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (10.56)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (10.57)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (10.58)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.59)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.60)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.61)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.62)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.63)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.64)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.65)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.66)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (10.67)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (10.68)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (10.69)$$

(10.67), (10.68) ve (10.69) bağıntılarındaki x' ve y' değişkenleri,

$$x' = x \cos \theta + y_{sağ} \sin \theta \quad (10.70)$$

$$y' = -x \sin \theta + y_{sağ} \cos \theta \quad (10.71)$$

olarak verilmektedir. Benzer olarak (10.48) bağıntısındaki değişkenler ise,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (10.72)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (10.73)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + (h_1 + h_d))(R_3 + (h_2 + h_d)) + (R_5 + (h_1 + h_d))(R_8 + (h_2 + h_d))}{(R_1 + (h_1 + h_d))(R_4 + (h_2 + h_d)) + (R_6 + (h_1 + h_d))(R_7 + (h_2 + h_d))} \quad (10.74)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_d)}{R_8\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_d)}{R_6\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_d)}{R_4\beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_d)}{R_2\beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_d)}{R_7\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_d)}{R_5\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_d)}{R_3\beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_d)}{R_1\beta_1} \quad (10.75)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_d)}{R_8\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_d)}{R_6\alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_d)}{R_4\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_d)}{R_2\alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_d)}{R_7\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_d)}{R_5\alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_d)}{R_3\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_d)}{R_1\alpha_1} \quad (10.76)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (10.77)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (10.78)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (10.79)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (10.80)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (10.81)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.82)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.83)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.84)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.85)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.86)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.87)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_d)^2} \quad (10.88)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_d)^2} \quad (10.89)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (10.90)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (10.91)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (10.92)$$

(10.90), (10.91) ve (10.92) bağıntılarındaki x' ve y' değişkenleri,

$$x' = x \cos \theta + y_{sol} \sin \theta \quad (10.93)$$

$$y' = -x \sin \theta + y_{sol} \cos \theta \quad (10.94)$$

olarak verilmektedir.

10.3. Ek 3

Gelişigüzel miktatsızlanmış ve gelişigüzel konumlanmış prizmatik yapılardan kaynaklanan hatta paralel manyetik gradient belirti denklemini tekrar ele alırsak,

$$\Delta T(x_{arka} - x_{ön}, y, h_p) = \sum_{j=1}^{N_p} \frac{\Delta T_{(x_{arka}, y, h_p)} - T_{(x_{ön}, y, h_p)}}{x_{arka} - x_{ön}} \quad (10.95)$$

(10.95) bağıntısının sayısal olarak çözümlenebilmesi için Bölüm 5' de verilen ve Rao ve Babu (1991) tarafından önerilen toplam manyetik alan belirti denkleminin alıcıların farklı yükseklikleri ve farklı y koordinatları için 2 kere kullanılması gerekmektedir. (10.95) bağıntısında x_{arka} ; arka alıcının x eksenindeki konumunu, $x_{ön}$; ön alıcının x eksenindeki konumunu ve h_p her iki alıcının da yer yüzeyinden olan yüksekliklerini göstermek üzere toplam manyetik alan belirti denklemleri,

$$\Delta T(x_{arka}, y, h_p) = G_1 InF_1 + G_2 InF_2 + G_3 InF_3 + G_4 InF_4 + G_5 InF_5 \quad (10.96)$$

ve

$$\Delta T(x_{ön}, y, h_p) = G_1 InF_1 + G_2 InF_2 + G_3 InF_3 + G_4 InF_4 + G_5 InF_5 \quad (10.97)$$

şeklinde verilmektedir. (10.96) bağıntısında verilen değişkenler,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (10.98)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (10.99)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + (h_1 + h_p))(R_3 + (h_2 + h_p)) + (R_5 + (h_1 + h_p))(R_8 + (h_2 + h_p))}{(R_1 + (h_1 + h_p))(R_4 + (h_2 + h_p)) + (R_6 + (h_1 + h_p))(R_7 + (h_2 + h_p))} \quad (10.100)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_p)}{R_8\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_p)}{R_6\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_p)}{R_4\beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_p)}{R_2\beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_p)}{R_7\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_p)}{R_5\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_p)}{R_3\beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_p)}{R_1\beta_1} \quad (10.101)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_p)}{R_8\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_p)}{R_6\alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_p)}{R_4\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_p)}{R_2\alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_p)}{R_7\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_p)}{R_5\alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_p)}{R_3\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_p)}{R_1\alpha_1} \quad (10.102)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (10.103)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (10.104)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (10.105)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (10.106)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (10.107)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.108)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.109)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.110)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.111)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.112)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.113)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.114)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.115)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (10.116)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (10.117)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (10.118)$$

(10.116), (10.117) ve (10.118) bağıntılarındaki x' ve y' değişkenleri,

$$x' = x_{arka} \cos \theta + y \sin \theta \quad (10.119)$$

$$y' = -x_{arka} \sin \theta + y \cos \theta \quad (10.120)$$

olarak verilmektedir. Benzer olarak (10.97) bağıntısındaki değişkenler ise,

$$F_1 = \frac{(R_2 + \alpha_1)(R_3 + \alpha_2) + (R_5 + \alpha_1)(R_8 + \alpha_2)}{(R_1 + \alpha_1)(R_4 + \alpha_2) + (R_6 + \alpha_1)(R_7 + \alpha_2)} \quad (10.121)$$

$$F_2 = \frac{(R_2 + \beta_1)(R_3 + \beta_2) + (R_5 + \beta_1)(R_8 + \beta_2)}{(R_1 + \beta_1)(R_4 + \beta_2) + (R_6 + \beta_1)(R_7 + \beta_2)} \quad (10.122)$$

$$F_3 = \frac{(R_2 + (h_1 + h_p))(R_3 + (h_2 + h_p)) + (R_5 + (h_1 + h_p))(R_8 + (h_2 + h_p))}{(R_1 + (h_1 + h_p))(R_4 + (h_2 + h_p)) + (R_6 + (h_1 + h_p))(R_7 + (h_2 + h_p))} \quad (10.123)$$

$$F_4 = \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_p)}{R_8\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_p)}{R_6\beta_2} - \arctan \frac{\alpha_2(h_2 + h_p)}{R_4\beta_1} + \arctan \frac{\alpha_1(h_2 + h_p)}{R_2\beta_1} \\ - \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_p)}{R_7\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_p)}{R_5\beta_2} + \arctan \frac{\alpha_2(h_1 + h_p)}{R_3\beta_1} - \arctan \frac{\alpha_1(h_1 + h_p)}{R_1\beta_1} \quad (10.124)$$

$$F_5 = \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_p)}{R_8\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_2(h_2 + h_p)}{R_6\alpha_1} - \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_p)}{R_4\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_1(h_2 + h_p)}{R_2\alpha_1} \\ - \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_p)}{R_7\alpha_2} + \arctan \frac{\beta_2(h_1 + h_p)}{R_5\alpha_1} + \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_p)}{R_3\alpha_2} - \arctan \frac{\beta_1(h_1 + h_p)}{R_1\alpha_1} \quad (10.125)$$

$$G_1 = EI(Mr + Nq) \quad (10.126)$$

$$G_2 = EI(Lr + Np) \quad (10.127)$$

$$G_3 = EI(Lq + Mp) \quad (10.128)$$

$$G_4 = EI(Nr - Mq) \quad (10.129)$$

$$G_5 = EI(Nr - Lp) \quad (10.130)$$

yukarıdaki bağıntılarda,

$$R_1 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.131)$$

$$R_2 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.132)$$

$$R_3 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.133)$$

$$R_4 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_1^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.134)$$

$$R_5 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.135)$$

$$R_6 = \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.136)$$

$$R_7 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_1 + h_p)^2} \quad (10.137)$$

$$R_8 = \sqrt{\alpha_2^2 + \beta_2^2 + (h_2 + h_p)^2} \quad (10.138)$$

ve

$$\alpha_1 = a_1 - x' \quad (10.139)$$

$$\alpha_2 = a_2 - x' \quad (10.140)$$

$$\beta_1 = b_1 - y' \quad (10.141)$$

(10.139), (10.140) ve (10.141) bağıntılarındaki x' ve y' değişkenleri,

$$x' = x_{\text{ön}} \cos \theta + y \sin \theta \quad (10.142)$$

$$y' = -x_{\theta n} \sin \theta + y \cos \theta$$

(10.143)

olarak verilmektedir.