

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARKEOLOJİK ARAMALARDA MANYETİK MODELLEME VE
VERİ İŞLEM YORUMLAMASI

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Nuray ALPASLAN

Anabilim Dalı: Jeofizik Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Şerif BARIŞ

KOCAELİ, 2011

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARKEOLOJİK ARAMALARDA MANYETİK MODELLEME VE
VERİ-İŞLEM YORUMLAMASI**

DOKTORA TEZİ

Nuray ALPASLAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07 Ocak 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Şubat 2011

**Tez Danışmanı
Prof.Dr. Şerif BARIŞ**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Ö.Feyzi GÜRER**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. M.Kemal TUNÇER**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Naci ORBAY**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Mahmut DRAHOR**

(.....)

KOCAELİ, 2011

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, başlangıcından sonuna kadar manevi destek ve yol göstericiliğini benden esirgemeyen, gerekli bütün yardım ve yönlendirmeleri yapan, deneyimlerinden yararlandığım, bilgi ve birikimime katkıda bulunup, amacıma doğru hızla yol almam, çeşitli ihtimalleri görüp ufkumu açmam için sağladığı yurtdışı imkanı ile değerli katkı ve anlayışından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Şerif Barış'a teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda ikinci tez danışmanım olan, bu konuyu öncelikli olarak tavsiye eden, akademik çalışma hayatım boyunca, bana kendimi geliştirmem konusun da yön kazandıran, gerek bu çalışmamda gerekse daha önce bitirmiş olduğum yüksek lisans tezi çalışmamda bilimsel her türlü donanımını özveri ile paylaşan, kendisinden çok şey öğrendiğim, bilim insanı olmasının yanı sıra varlığı ile bana manevi destek veren, benim için çok özel bir yeri olan sevgili hocam Prof. Dr. Naci Orbay'a minnet duygularımı sunmak isterim.

Her çalışmayı, her üretimi besleyen en önemli olgu emektir. Çalışmalarımın arazi bölümü dahil olmak üzere her aşamasında desteğini ve yardımını esirgemeyen, her sorunla birebir ilgilenen, yaptığı her işte yapabileceğinin en iyisini yapmaya çalışan, sabrı, emeği katkılarıyla, taze, yaratıcı birikimleriyle beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. G. Mahmut Drahor'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın önemli bir bölümünü kapsayan arazi çalışmalarımız esnasında sağladığı olanak ve yardımlarından ötürü Bayraklı/ Symrna Antik Kenti sorumlusu Arkeoloji Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Meral Akurgal başta olmak üzere, arkeolojik kazı grubuna teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince bana sağladığı motivasyon ve desteğinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Mithat Fırat Özer'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımında manevi desteğinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Oya Çakın'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimdeki belli başlı olguların kavramlaştırılması, geliştirilmesi için her açıdan değerli çabalarıyla, yorulmak bilmeden, sabırla, akıllıca yaklaşımlarıyla birçok saatini benim için harcayan, materyalleri bir araya getirip düzenlemedeki sakin, becerikli çalışmaları ile katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. Bülent Oruç'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında sorularıma cevap arayışlarımda zamanını ve bilgisini benimle her zaman paylaşan Yrd. Doç. Dr. Ertan Pekşen'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince karşılaştığım problemlerde her zaman yardım alabildiğim değerli hocam Prof. Dr. Mustafa Kemal Tuncer'e ve anlayışlı yaklaşımlarından dolayı desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Ö. Fevzi Gürer'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca değerli bilgi ve birikimlerini benimle birebir paylaşan, karşılaştığım her sorunda desteklerini esirgemeyen, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde görevli değerli hocalarım Doç. Dr. Mümtaz Hisarlı ve Yrd. Doç. Dr. Ferhat Özçep'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca uzaktan yürütmekte zorlandığım pek çok konuda bana sağladıkları yardım ve desteklerinden dolayı, 9 Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümün'de çalışan arkadaşlarım Arş. Gör. A. Meriç Berge ve Caner Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca manevi desteklerini esirgemeyen değerli iş arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. T. Serkan Irmak, Yrd. Doç. Dr. Ergin Ulutaş ve Arş. Gör. Taciser Bakırcı'ya çok teşekkür ederim.

Akademik çalışmalarım boyunca, bana Jeofizik ile ilgili her konuda başka açılardan bakmayı öğretene, engin bilgi ve deneyimlerinden her zaman yararlandığım, şu anda aramızda olmayan değerli hocam Prof. Dr. Özer Kenar'ı saygıyla anıyorum.

Eğitimim boyunca anlayışları ve desteklerinden dolayı aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
ÖZET.....	xii
İNGİLİZCE ÖZET.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	6
2. 1. 2. Manyetik alan değişimleri.....	11
2. 1. 2. 2. Manyetik fırtınalar	12
2. 1. 2. 3. Jeolojik faktörler	13
2. 1. 3. Manyetik anomalinin kaynağı ve arkeoloji de manyetik anomali oluşumu ..	13
2. 1. 4. Manyetik ölçümlerde yapılan düzeltmeler.....	16
2. 1. 4. 1. Günlük Değişim düzeltmesi	16
2. 1. 5. Arkeolojik aramalardaki yapılarda gözlenen manyetik anomaliler	20
2.2.1. Kayaçların ve toprağın mıknatıslanmasında manyetik duyarlılık (Susceptibility)	27
2. 2. 2. Kayaçların ve toprağın manyetik özelliklerinin sıcaklık ile ilişkilendirilmesi	30
2. 2. 3. Kalıntı mıknatıslanma ve türleri.....	32
2. 2. 3. 1. Isıl kalıcı mıknatıslanma (TRM).....	32
2. 2. 3. 2. Çökelme kalıcı mıknatıslanma	33
2. 2. 3. 3. Kimyasal kalıcı mıknatıslanma (CRM)	33
2. 2. 3. 4. Viskoz kalıcı mıknatıslanma	33
2. 2. 4. Minerallerin manyetik özellikleri ve toprak üzerindeki etkisi	34
2. 2. 4. 1. Manyetit (Fe_3O_4).....	34
2. 2. 4. 2. Maghemit ($\gamma-Fe_2O_3$)	35
2. 2. 4. 3. Hematit ($\alpha-Fe_2O_3$).....	36
2. 3. Arkeolojik Arama Çalışmalarında Kullanılan Ölçüm Teknikleri ve Cihazlar..	36
2. 3. 1. Gradyometrik ölçüm tekniği	39
2. 3. 2. Veri toplama ve değerlendirme ilkeleri.....	40
2. 3. 3. Arkeolojik çalışmalarda kullanılan manyetometreler	42
2. 3. 3. 1. Proton manyetometresi.....	42
2. 3. 3. 2. Fluxgate manyetometresi	44
2. 3. 3. 3. Alkali buhar (vapour) manyetometreler.....	45
2. 3. 3. 4. Sezyum manyetometresi	46
2. 3. 3. 5. Manyetometre sistemleri.....	48
3. YÖNTEMLER	52
3. 1. Veri İşleme ve Modelleme Teknikleri	52
3. 1. 1. Euler Dekonvolüsyonu.....	52

3. 1. 1. 1. Euler dekonvolüsyonunda yapısal indeksin (n) önemi	58
3. 1. 1. 2. Denklem sisteminin çözümü	58
3. 1. 2. Ters süzgeçleme (inverse filtering) tekniği	59
3. 1. 3. Modelleme (ters-çözüm) tekniği	69
3. 1. 3. 1. Doğrusal ters-çözüm	69
3. 1. 3. 2. Ağırlıklı Enküçük Kareler Yöntemi	73
3. 1. 3. 3. Sönümlü Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi	75
3. 1. 4. Manyetik anomalilerin iki boyutlu doğrusal ters-çözümü	77
3. 1. 5. Mag2D ters- çözüm programı	80
3. 1. 6. Ters-çözümde kullanılacak olan faydalı sinyalin seçimi	81
3. 1. 7. Kuramsal uygulama	83
4. UYGULAMA VE DEĞERLENDİRME	88
4. 1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgi	88
4. 1. 1. Çalışma alanının coğrafi konumu	88
4. 1. 2. Bölgenin jeolojisi	89
4. 1. 3. Bayraklı (Smyrna) antik kenti höyüğünün arkeolojik tarihi	89
4. 2. Toplam Manyetik Alan Ölçümleri	95
4. 3. Gradyometre Ölçümleri	102
4. 4. Euler Dekonvolüsyonunun Bayraklı (Smyrna) Arkeolojik Alanı Manyetik Anomali Haritalarına Uygulanması	103
4. 4. 1. Euler çözümlerinin saptanması	104
4. 4. 2. Euler çözümlerinin yorumlanması	105
4. 4. 2. 1. 0. 5 m alıcı yüksekliği için çözümler	105
4. 4. 2. 2. 1. 0 m alıcı yüksekliği için çözümler	110
4. 4. 2. 3. 1. 5 m alıcı yüksekliği için çözümler	115
4. 4. 2. 4. 2. 0 m alıcı yüksekliği için çözümler	120
4. 5. Ters Süzgeçleme	123
4. 5. 1. Toplam alan verileri ters süzgeçlemesi	124
4. 5. 2. Toplam alan gradyent verilerinin ters süzgeçlemesi	126
4. 5. 3. Fluxgate gradyometre verilerinin ters süzgeçlemesi	135
4. 5. 4. Ters süzgeçleme verilerinin arkeolojik yorumu	136
4. 6. Arazi Verilerinin 2B Ters-çözümü	140
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	144
ÖZGEÇMİŞ	154

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1: Gözlemsel manyetik anomali değerlerinden rejyonel etki çıkarılarak rezidüel anomalinin elde edilmesi.....	8
Şekil 2. 2: Martin Aitken prototip proton manyetometresi kullanırken. Alıcı bir üçayağın üzerine yerleştirilmiştir.....	9
Şekil 2. 3: Toplam manyetik alanın tipik günlük değişimi	12
Şekil 2. 4: Tipik bir manyetik fırtına değişimi.....	13
.....	16
Şekil 2. 5: Bozunmuş çörtlük ve çamurtaşı ile kısmen çevre bazaltlardan türemiş sediman üzerindeki 0. 7 x 0. 7 m. boyutunda deneysel ateş yerinde ve 0. 2 metre derinliğinde bir çukurda kaydedilmiş manyetik anomali	16
Şekil 2. 6: Sakin günde alınan ölçülerden oluşturulan günlük değişim eğrisi.	18
Şekil 2. 7: Aktif günde alınan ölçülerden oluşturulan günlük değişim eğrisi	19
Şekil 2. 8: a) Aynı alanın farklı yerlerinde ve değişik zamanlarda elde edilen düzeltme yapılmamış manyetik kontur haritaları. a) sakın bir gün için, kontur aralığı 2 nT b) Ortalama bir gün için, kontur aralığı ¼ nT c) aktif bir günde, kontur aralığı 5/4 nT	20
Şekil 2. 9: Farklı çukur türlerinde, çukur şekillerinin manyetik alan oluşumuna etkisi.	21
Şekil 2. 10: İçine toprak doldurulmuş üçgen şeklinde ideal çukur	22
Şekil 2. 11: Ağır siltlenme ile oluşmuş çukur	23
Şekil 2. 12: Eşdeğer dipollerin pozisyonlarını gösteren özellikler. Solda kare çukur, ortada Şekil 2. 10 daki gibi içine toprak dolmuş çukur. Sağda, ağır siltlenmeyle oluşan çukur, Şekil 2. 11 deki gibi. Bu durumda, gradyometre yüksekliğini 30cm'den 10cm'e düşürmek sinyalin etkisini arttıracaktır.	23
Şekil 2. 13: İngiltere (Neatham) bölgesinde arkeolojik kazı sonucu ortaya çıkarılan seramik fırınlar.	24
Şekil 2. 14: Fırın duvarlarının oluşturduğu manyetik anomali.	25
Şekil 2. 15: Yanma geçirmiş bir kireç ocağının oluşturduğu manyetik anomali.....	31
Şekil 2. 16: İlk proton manyetometreleri ve Aitken tarafından kullanımı.	37
Şekil 2. 17: Otomatik fluxgate gradyometre sistemi.....	38
Şekil 2. 18: Bir anomali kaynağına ilişkin toplam alan ve düşey bileşen gradyometre anomalisi.	39
Şekil 2. 19: Gradyent ölçümleri için alıcı pozisyonları.....	39
Şekil 2. 20: Proton manyetometresinde alıcı taşıma pozisyonları.	42
Şekil 2. 21: Proton manyetometresi	43
Şekil 2. 22: Proton manyetometrelerinin çalışma ilkesi.....	44
Şekil 2. 23: Fluxgate manyetometrelerinin çalışma ilkesi.	45
Şekil 2. 24: Alkali Buhar Manyetometrelerinin fiziksel çalışma ilkesi	46
Şekil 2. 25: Dört Scintrex SM4 sezyum manyetometresinin tekerlekli bir aparat yardımıyla kullanımı.	47
Şekil 2. 27: FM256 Gradyometresi.....	49
Şekil 2. 29: Çoklu alıcı sistemleri	50

Şekil 3. 1: Basit bir nokta kaynak modeli için kaynak lokasyon koordinatları ve r uzaklığının tanımı.....	54
Şekil 3. 2: $r=0-1$ metre aralıklarında ve $N=1,2,3$ için homojen fonksiyonun (f) değişimi	54
Şekil 3. 3: Euler dekonvolüsyonunun toplam alan ve türev haritaları üzerindeki işleyişi $\partial\Delta T/\partial x$: x doğrultulu birinci türev, $\partial\Delta T/\partial x$: y doğrultulu birinci türev, $\partial\Delta T/\partial z$: z birinci düşey türevi temsil eder (3×3 'lük hareketli pencere ve veriler örnek olarak gösterilmiştir).....	56
Şekil 3. 4: Ters problem çözümünde dekonvolüsyon	59
Şekil 3. 5: İnce plaka modeli	62
Şekil 3. 6: Koordinat sistemi üzerinde prizma modelinin gösterilmesi.	62
Şekil 3. 7: Prizmatik bir kütlelin birçok ince plakanın toplamının gösterilmesi.....	64
Şekil 3. 8: $1\times 1\times 1$ m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.....	67
Şekil 3. 9: $2\times 2\times 2$ m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.....	67
.....	68
Şekil 3. 10: $1\times 1\times 1$ m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.....	68
.....	69
Şekil 3. 11: $2\times 2\times 2$ m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.....	69
.....	79
Şekil 3. 12: a) İki boyutlu sonlu prizma modeli ve parametreleri (P noktası ölçü profili üzerinde herhangi bir gözlem noktasıdır). b) İki boyutlu bloklara bölünmüş yeraltı modeli (Her bir blok iki boyutlu sonlu prizmayı temsil eder).	79
Şekil 3. 13: MAG2D Programında kullanılan parametreler.	81
Şekil 3. 14: a) Kuzey-güney doğrultulu sentetik sinyal b) Belirlenen anomalinin açılal frekans aralığı (BW) ve dalga sayısı (k) c) Kayan pencere kullanılarak x eksenli boyunca güç spektrumu d) Elde edilen maskelenmiş sinyal	82
Şekil 3. 15: Prizma derinliklerine göre ters-çözüm sonuçları a) Derinlik 2-6 metre b) Derinlik 6-10 metre.	84
Şekil 3. 16: Örnekleme aralığı 0. 5 m alınan yapay modelin kesit eğrisi.	86
Şekil 3. 17: Yapay modelin 10 yineleme sonucu elde edilen duyarlık dağılımı.	87
Şekil 4. 1: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanının coğrafi konumu	88
Şekil 4. 2: Bayraklı (Smyrna) antik çağdaki görünümü	89
Şekil 4. 3: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanının genel görünümü	90
Şekil 4. 4: İzmir İli'nde bulunan arkeolojik yerleşmelerin yerleri.....	91
Şekil 4. 5: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanındaki yerleşme katları.	92
Şekil 4. 6: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanında tek odalı oval evin görünümü ...	92
Şekil 4. 7: Bayraklı (Smyrna) arkeojik alanında surların genel görünümü.....	93
Şekil 4. 8: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanında anıtsal çeşme yapısı	93
Şekil 4. 9: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanındaki Athena tapınağının görünümü.	94
Şekil 4. 10: Scintrex Proton Manyetometresi.	96
Şekil 4. 11: Çalışma alanında ölçülen profillerin görünümü.	97
Şekil 4. 12: Arazi çalışmasından bir görünüm.	97
Şekil 4. 13: Trend analizi öncesi anomali ve uygulan trend fonksiyon.	99
Şekil 4. 14: Aynı hattın trend analizi uygulandıktan sonraki eğrisi.	99

Şekil 4. 15: a) Trend doğrultusunun olduğu manyetik anomali haritası b) Trend analizi uygulandıktan sonraki manyetik anomali haritası.	99
Şekil 4. 16: a) 0,5 m, b) 1 m c) 1. 5 m d) 2 m alıcı uzaklıkları olan, alçak geçişli filtre (Gaussian 3x3) uygulanmış toplam alan manyetik anomali haritaları.	100
Şekil 4. 17: Manyetik (gradyent) haritaları a) 0,5-1 m b) 0,5-1,5 m c) 0,5-2 m d) 1-1,5 m e) 1-2 m f) 1,5-2 m.	101
Şekil 4. 17: Manyetik (gradyent) haritaları a) 0,5-1 m b) 0,5-1,5 m c) 0,5-2 m d) 1-1,5 m e) 1-2 m f) 1,5-2 m.	102
Şekil 4. 18: Manyetik gradyent anomali haritası.	103
Şekil 4. 19: 0,5 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x, y ve z doğrultusundaki türevleri a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.	106
Şekil 4. 21: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.	110
Şekil 4. 22: 1 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x,y ve z doğrultusundaki türevleri. a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.	111
Şekil 4. 23: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.	113
Şekil 4. 24: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.	115
Şekil 4. 25: 1,5 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x,y ve z doğrultusundaki türevleri a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.	116
Şekil 4. 26: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) Çakışma hatası grafiği.	117
Şekil 4. 26: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) Çakışma hatası grafiği.	118
Şekil 4. 27: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.	119
Şekil 4. 28: 2 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x, y ve z doğrultusundaki türevleri a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.	120
Şekil 4. 29: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.	121
Şekil 4. 29: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.	122
Şekil 4. 30: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.	123
Şekil 4. 31: a) Çalışma yapılan alanın alıcı yüksekliği 0. 5 metre için manyetik görüntüsü b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	125
Şekil 4. 32: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1.0 alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	127
Şekil 4. 33: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1 metre alıcı aralıklı yuvarlatılmış manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters	

süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	128
Şekil 4. 34: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	129
Şekil 4. 34: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	130
Şekil 4. 36: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 - 2 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	132
Şekil 4. 37: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 1- 1. 5 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 metre 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	133
Şekil 4. 38: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 1- 2 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	134
c) Yapı boyutu 2x2x1 metre 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	134
Şekil 4. 39: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 3x3' lük alçak geçişli filtre uygulanmış, manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 m 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü	136
c) Yapı boyutu 2x2x1 metre 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.	136
Şekil 4. 40: Farklı manyetometre ve alıcı yükseklikleri için ters süzgeçleme sonuçlarının çizgisel diyagramı (sadece pozitif anomaliler göz önüne alınmıştır. ..	139
Şekil 4. 41: Fluxgate ve Scintrex gradyometreleri için ters süzgeç görüntüleri ve ters-çözüm işleminde kullanılan hatların yerleri.	140
	143
Şekil 4. 42: Fluxgate ve Scintrex gradyometreleri için ters-çözüm sonuçları. a) Fluxgate (alıcı yüksekliği 0. 5-1. 0 m), b) Scintrex (alıcı yüksekliği 1. 0-2. 0 m). Hatlar Şekil 4. 41'deki batıdan doğuya doğru g3. 5, g15 ve g23 nolu hatlardır ve burada yukarıdan aşağıya doğru verilmiştir.	143

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1: Bazı kayaçların manyetik duyarlılıkları.....	28
Tablo 2. 2: Toprağın ortalama manyetik duyarlık değeri, 10^{-6} emu/cm ³	29
Tablo 2. 3: İki boyutlu ve farklı derinliklerde iki çukurun oluşturduğu manyetik anomali değeri.....	29
Tablo 3. 1: Basit modellerin yapısal indeksleri.....	58
Tablo 3. 2: İnce plaka modelinin geometrik ve manyetik parametreleri	63
Tablo 3. 3: Prizma modellerinin duyarlık, derinlik ve yapı özellikleri.....	85

SİMGELER ve KISALTMALAR

J:	Mıknatıslanma şiddeti (cgs.emb/cm ³)
J _n :	Kayacın oluştuğu anda elde ettiği mıknatıslanma
k:	Suseptibilite (Duyarlılık) (cgs)
H:	Manyetik alan şiddeti (oersted)
ΔT:	Gradyent değeri (nT/m)
A _T :	Manyetometre hassasiyeti
Δ _y :	Sensörler arası uzaklık (metre)
f:	Larmor frekansı (Hertz)
M:	Protonun manyetik momenti (cgs.emb)
L:	Protonun açısal momenti
F:	Toplam alan şiddeti (oersted)
G:	Jiromanyetik oran (nT ⁻¹ sn ⁻¹)
Δ:	Enerji değişimi (jul-sx hertz)
f:	Radyasyon frekansı (Hertz)
h:	Planck sabiti (jul-s)
M:	Genlik
r:	Uzaklık (metre)
B:	Manyetik alan değeri
s:	Blok kalınlığı (metre)
T:	Toplam yer manyetik alan şiddeti (oersted)
b:	Manyetizasyon şiddetinin eğim açısının sinüsünün xz düzlemindeki manyetizasyon eğim açısı sinüsüne oranı
c:	Yermanyetik alanının eğim açısının sinüsünün xz düzlemindeki yermanyetik alanının eğim açısı sinüsüne oranı
Y:	Plakaların yarı yatay uzunluk (metre)
l:	Prizmanın x eksenini boyunca olan kenarının uzunluğu (metre)
h:	Prizmanın üst derinliği (metre)
θ:	Prizmanın x eksenini ile olan derinlik açısı (derece)
I:	Eğim açısı (derece)
D:	Deklinasyon açısı (derece)
e:	Hata
m:	Model parametresi
d _{hes} :	Hesaplanan veri
d _{göz} :	Gözlenen veri
σ _i :	Standart sapma
S _p :	Toplam Duyarlılık
J _w :	Toplam Duyarlılık Matrisi
Δ _{p_w} :	Ağırlıklı Parametre Düzeltme Vektörü
F _e :	Efektif Manyetik Alan
β:	Prizma Doğrultusu ile Manyetik Kuzey Arasındaki Açısı (derece)

G:	Çekirdek Fonksiyonu
W_m :	Parametre Ağırlıklandırma Matrisi
W_e :	Gürültü Ağırlıklandırma Matrisi
k:	Dalga Sayısı
SI:	Uluslararası Birim Sistemi

ARKEOLOJİK ARAMALARDA MANYETİK MODELLEME VE VERİ-İŞLEM YORUMLANMASI

Nuray ALPASLAN

Anahtar Kelimeler: Arkeolojik prospeksiyon, Manyetik Yöntem, Euler dekonvolüsyon, Ters süzgeçleme, Ters çözüm

Özet: Çalışmada İzmir ilinin Bayraklı ilçesinde bulunan Smyrna antik kenti alanındaki 30x30 m'lik bir test alanında, uygulamalı jeofizik yöntemlerden biri olan manyetik yöntemin arkeolojik yapıları belirleyebilmedeki başarısı ve yönteme etki eden fiziksel etkilerin incelenerek, öncelikle arkeolojik yapıya uygun kuramsal yapay modeller oluşturulmuş ve bunların benzetim ortamlarındaki durumu araştırılmıştır.

Bu çalışmalar kapsamında alandan değişik alıcı yüksekliklerinde doğrudan toplam manyetik alan ve tek alıcı yüksekliğine sahip bir gradyometre yardımıyla da toplanan gradyometrik verinin doğru yorumlanabilmesi ve yapıların derinliklerinin ile genişliklerinin saptanabilmesi için Euler dekonvolüsyonu, ters süzgeçleme ve iki-boyutlu ters-çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Değişik alıcı yüksekliklerinden toplanan manyetik verinin fark işlemleri ile değişik manyetik gradyometri verileri üretilmiştir.

Sonuç olarak Bayraklı arkeolojik sahasından toplanan manyetik veriler ve sentetik manyetik veriler üzerinde yapılan çalışmaların ters süzgeçleme ve iki-boyutlu ters-çözüm yöntemlerinin tümleşik kullanılması durumunda arkeolojik yorumlamaya çok büyük katkılar sağlayacağı görülmüştür. Özellikle derinlerde bulunan ya da çok katlı yapılaşma içeren arkeolojik alanlarda böylesi bir yaklaşımın arkeoloji topluluğuna kazı öncesi planlama anlamında da birçok veri sağlayacağı görülmüştür.

MAGNETIC MODELLING AND THE INTERPRETATION OF DATA PROCESS IN ARHEOLOGICAL INVESTIGATIONS

Nuray ALPASLAN

Keywords: Archeological prospection, Magnetic method, Euler deconvolution, Inverse filtering, inversion

Abstract: In a 30x30 m test area which is in the antique city of Smyrna in Bayraklı Izmir, one of the geophysical methods, magnetic method's success in detection of archeological structures and physical parameters effects on method were examined, first theoretical artificial models were developed and their states in similar areas were investigated in this study.

In this studies content, to interpret the collected gradiometric data by directly total magnetic field with different receiver heights and with a gradiometer with one receiver height and to determine the depth and the width of the structure Euler deconvolution, inverse filtering and 2D modeling methods were used. With the difference procedures of magnetic data collected from different receiver heights, different magnetic gradiometric data were produced.

As a result it was seen that integrated use of inverse filtering and 2D modeling solution methods on magnetic data collected from Bayraklı archeological area, and the synthetic data provides big supplements on archeological interpretation. Especially for the deep and multi-layered structured archeological areas, such kind of approach provides too many data before the excavation to the archeology community.

1. GİRİŞ

Günümüze ulaşmış eski uygarlıklara ait birçok kalıntı, iz ve belge bulunmaktadır. Arkeoloji, insanlığa geçmişi ile köklerini hatırlatmakta ve kurduğu uygarlıkların temelini ve özelliklerini ortaya koyarak, geleceği aydınlatmada önemli bir yere sahiptir. Eski kültür kalıntılarının bu amaçla ortaya çıkarılarak, geçmişi yorumlama ve kavrama da arkeolojinin temel hedefleri arasındadır. Bu amaçların gerçekleştirilmesi sırasında arkeoloji birçok bilim dalı ile işbirliği içerisinde bir çalışma sürdürmektedir. Bu bilim dalları içinde en temel olanlar; tarih, felsefe, zooloji ve botanik, sanat tarihi, jeofizik ve jeolojidir (Atasoy, 1999).

Asya ile Avrupa arasında bir köprü görevi üstlenen Anadolu yarımadasının uygarlık tarihi açısından önemli bir yer teşkil etmesi de arkeoloji biliminin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Türkiye çoğu zaman büyük bir açık hava müzesi olarak tanımlanır (Sevin, 2003). Çünkü bu topraklar birçok eski uygarlığa, devletlere ve bunların gelişmelerine tanık olmuştur. Anadolu'da ki bu çok çeşitli, renkli kültür mozaiğinin ortaya çıkarılması, bu kültürlerin başlangıçlarını, sona erişlerini belirlemek ve geçmişe ışık tutmak açısından oldukça önemlidir. Bu durum arkeoloji biliminin farklı disiplinlerle ortaklaşa çalışması ihtiyacını doğurmaktadır. Birçok bilim dalı arkeolojiye önemli katkılar sağlamaktadır. Son yıllarda bu bilim dalları arasında en fazla katkıyı uygulamalı jeofizik bilimi üstlenmiştir. Uygulamalı jeofizik birçok sayısal yöntemi bünyesinde barındırır. Yüzeyden kolaylıkla uygulanabilen ve hızlı ölçüm alınabilen bu yöntemlerin yeraltındaki yapıya uygun ilişkilendirilerek, yeraltındaki arkeolojik yapılar hakkında bilgi edinmeyi sağlaması 'arkeoloji jeofiziğinin' ortaya çıkmasını sağlamıştır. Uygulamalı jeofizik yöntemler arasında yaygın olarak kullanılan manyetik, elektrik, radar ve elektromanyetik yöntemler yardımıyla yeraltının arkeolojik anlamda görüntülenmesi arkeoloji jeofiziğinin temelini oluşturur.

Arkeoloji jeofiziği 1940'lı yılların ikinci yarısından beri arkeolojide uygulanmaya başlamıştır ve arkeolojik alanlarda yaygın olarak kullanılmasının temel nedeni toprak

tarafından örtülmüş arkeolojik yapıların, gömütlerin ve diğer arkeolojik nesnelerin yerlerinin saptanarak, antik kentlerin planlarının kazı yapılmadan daha kolay belirlenebilmesidir. Bu durum hem zamandan tasarruf elde etmeyi, hem de çözüme daha çabuk ulaşmayı sağlamaktadır. Günümüzde arkeolojik alanlarda jeofizik çalışmaların gerekliliği konusunda birçok arkeolog hemfikirdir. Bunun sonucu olarak ta, özellikle sığ ve küçük arkeolojik nesnelerin aranması da göz önüne alındığında, jeofizik biliminde birçok yenilik ortaya çıkmış ve teknikler önemli oranda geliştirilmiştir. Günümüzde arkeolojik alanlarda yapılan jeofizik çalışmalar hava fotoğrafları, uydu konumlama sistemleri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi tekniklerle birlikte kullanılmakta ve böylece bozucu etkisi olmayan tüm bu uygulamalara 'Arkeolojik prospeksiyon' adı verilmektedir.

Arkeoloji Jeofiziği çalışmaların da yaygın olarak kullanılan birçok arama jeofiziği yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemleri kullanırken, yeraltındaki yapı ile uygulanan yöntemin doğru olarak ilişkilendirilmesi önem taşımaktadır. Aranılan yapının fiziksel özelliklerine bağlı olarak jeofizik yöntem seçilmelidir. Arkeologlar ve jeofizikçiler arasında çalışma alanının planlanması, uygulanacak yöntemler ve yorumlanma aşamaları birlikte tasarlanmalı ve bu konuyla ilişkili olarak iki bilimdalı arasında gerekli ilişkilerin sağlanmalıdır. Arkeoloji jeofiziği çalışmalarında aranılan arkeolojik yapılar, nekropol alanlarındaki mezarlar, modern yerleşim birimlerindeki arkeolojik alanlar, kaleler, duvarlar, höyük alanları ve ilişkili yapısal özellikler, su kanalları, yanmış materyaller ve benzeri birçok özellikten oluşur.

Arkeolojik bir alanda jeofizik yöntemlerin uygulanmasına başlamadan önce, çalışma alanı ile ilgili yapısal ve çevresel özellikleri oluşturan arkeolojik, jeolojik, jeomorfolojik ve ilişkili diğer bilgilerin belirlenmesi ve bu konuda bir ön çalışmanın yapılması bir zorunluluktur. Arkeolojik arama çalışmalarında erozyon, tarımsal faaliyetler, toprağın fiziksel özellikleri çalışmayı etkileyen en önemli faktörler olmasından dolayı, alandan alınan toprak örneklerinin laboratuarda kimyasal analizlerinin ve jeofizik yöntemleri etkileyen duyarlılık, iletkenlik gibi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Sonrasında alanda esas çalışmalara başlamadan önce, ölçüm yapılacak yerler için bir jeofizik araştırma planı oluşturulmalıdır (Drahor,1993).

Arkeolojik yapıların arama çalışmalarında, havadan çekilen fotoğrafların da katkısı büyüktür. Bu yöntem ilk kez İngiltere’de uygulanmıştır (Beazley, 1919). Arkeolojik amaçlı yapılan bu ilk hava fotoğrafı çalışması arkeolojik başlangıcı olarak belirtilmiştir ve o tarihten bu yana özellikle başta İngiltere olmak üzere birçok ülkede bu yöntem yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Drahor, 2005).

Arkeolojik alanlarda ilk jeofizik çalışmaların kullanılmaya başlanması 1940’lı yılların ortasına rastlar. İlk çalışmalar İngiltere’de öz direnç (resistivity) yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Atkinson, 1952). Bu çalışmalardan yaklaşık olarak 10 yıl sonra yine İngiltere’de proton manyetometresi kullanılarak ilk manyetik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmayı, Oxford Üniversitesi’nden Aitken vd. (1958)’nin yaptığı çalışma izler (Drahor, 1998). Daha sonra manyetik yöntem tarih öncesi yerlerin araştırılmasında ve ısıtma öğeleriyle manyetik ilişkilerin kurulması anlamında (Gibson, 1986) ve küçük boyutlu kütlelerin aranması ile belirlenmesinde (Papamarinopoulos, 1986) kullanılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılan bu iki yöntem zaman içinde geliştirilerek, kapsamlı araştırma gruplarının temeli atılmıştır (Drahor, 1998). 1970’li yıllarda ise radar yönteminin (Cook, 1974; Dolphin vd. , 1978; Moffat, 1974; Morey, 1974; Ulriksen, 1982; Vickers ve Dolphin, 1975) kullanılmaya başlanması ile arkeolojik araştırmalarda jeofiziğin yeni bir uygulama alanı ortaya çıkmıştır. 1980’li yılların getirdiği mikro işlemci teknolojisi jeofizik cihazların ölçüm duyarlılığını artırmış ve bu durum hızlı çalışan bilgisayar olanaklarıyla birleştiğinde, jeofizik veri toplama, değerlendirme ve işleme çalışmalarında büyük aşamalar gerçekleştirilmiştir. Bunların sonucunda da ‘archaeological geophysics’ olarak adlandırılan yeni bir alt bilim dalı doğmuştur (Başokur, 1992). Böylece, kazı yapılmadan önce ön bilgilerin sağlanması ve kazıların daha çabuk ve daha az masraflı yapılması olanaklı olmuştur. Bu gelişim özellikle güvenilir sonuçlar veren üç yöntemin (manyetik, elektrik öz direnç ve radar) birlikte kullanılmaya başlanarak, geniş ölçekli alanların incelenmesinde etkili olmuştur. Bu yöntemler zaman içinde değişik ülkelerdeki birçok bilimci tarafından uygulanmış ve böylece teknik anlamda yöntemlerin gelişmesinin yolu açılmıştır (Weymouth ve Huggins 1985, Wynn, 1986). Böylece arkeolojik alanlar üzerinde jeofiziğin doğal gerilim, yapay uçuşma, diğer elektromanyetik teknikleri (VLF,

toprak iletkenlik ölçümleri vb), mikro-gravite ve sismik yöntemleri de kullanılarak uygulama olanağı bulmuştur. Ancak bu yöntemler günümüzde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle uygulamaların genelde sorunlara yanıt verebilecek ve yöntemlerin gelişmesini sağlayacak kullanımları yeğlenmektedir. Bu yöntemler içinde ilginç sonuçlar üreten doğal gerilimdir ve değişik alanlarda yapılan çalışmalar sonucunda kazılmış ve yeniden doldurulmuş alanlarda toprak gözenekliliği ve kil içeriğinin değişimine bağlı olarak doğal gerilim belirtilerinin oluşabildiği, büyük oranda yanmaya uğramış yerlerde pozitif yönlü anomalilerin elde edildiği ve ayrıca yüzey altında gömülü durumda bulunan duvarlar arasında, özellikle hızlı yağışlardan sonra etkili gerilimlerin elde edilebildiği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Wynn ve Sherwood, 1984; Drahor vd., 1996; Drahor, 2004). Arkeolojik arama çalışmalarında kullanılan diğer yöntemlerden biri olan sismik kırılma uygulamaları son yıllarda tomografik amaçlı veri toplama ve değerlendirmeye yönelmiş, ve değişik sonuçlar alınmaya başlanmıştır. Sismik yansıma yönteminde ortam içinde bulunan katmanlar ve yapılar arasında gerekli ayrımlılığı sağlayacak hız zıtlıklarının olması gerektiğinden ve bu durum ile arkeolojik alanlarda çok karşılaşmadığından uygun bir hız ayırımı elde etmek olanaksız olmaktadır. Bu da yöntemin çözüm gücünü azaltan en büyük etken olmaktadır (Drahor, 2007). Ancak son yıllarda yansıma sismiğinde değişik veri toplama teknikleri kullanılmaya çalışılması ve bunların değerlendirilmeleri üzerine farklı yaklaşımların uygulanması ile daha başarılı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır (Ovenden, 1994; Drahor, 2006c). Bir diğer yöntem olan mikrogravite yöntemi arkeolojik aramalarda özellikle boşluk ve mezar odalarının aranmasında başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak ölçüm işleminin yavaş ve yazılımların oldukça karmaşık olması nedeniyle mikrogravite yönteminin arkeolojik alanlardaki kullanımı oldukça sınırlıdır (Drahor, 2007). Arkeolojik özellikleri belirleme üzerine yapılan ilk mikrogravite uygulaması (Linnington, 1966) tarafından İtalya'daki Cerveteri yerleşmesinde bulunan Etrüsk nekropolü üzerinde yapılmıştır. Sonraları Di Filippo vd. (2000), Linford (1998) tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Türkiye'de jeofizik bilimi özellikle son yirmi yıldır arkeoloji bilimiyle oldukça içli dışlıdır. Jeofizik, arkeolojik aramalarda yeraltında gömülü durumda bulunan kalıntıların yer, biçim, uzanım, derinlik gibi fiziki özelliklerini üç boyutta verebilen

bilimsel bir yöntemdir. Özellikle arkeolojik alanların belirlenmesi ve sınırlarının saptanmasında önemli ölçüde kullanılmaktadır. Ülkemizde bilimsel arkeolojik kazı ve araştırmaların dışında gömülü arkeolojik kalıntıların önemli bir kısmı, eğer yüzeyde herhangi bir belirti yoksa genellikle rastlantısal çalışmalar (inşaat amaçlı temel kazıları, tarla çalışmaları vs.) sonucunda olmaktadır. Ayrıca kazı ve araştırmaların azlığı, var olan kültürel zenginliklerin büyük bir çoğunluğunun toprak altında kalmasına neden olmaktadır. Bilinen arkeolojik kalıntıların tamamıyla ortaya çıkarılması ise klasik kazı yöntemleri ile çok uzun zaman almaktadır. Bunun yanı sıra, günümüz yerleşim alanlarının, antik yerleşimlerin üzerine kurulu olması ve bu alanlarda kazı yapılmasının zorlukları nedeniyle, antik kentlerin yerleşim planları ortaya çıkartılamamaktadır. Bu yüzden gerek arkeolojik kazılar, gerekse antik kentlerin yerleşim haritalarının ortaya çıkartılması birkaç on yıldan daha fazla zaman almaktadır. Geçen bu süre, hem emek, hem vakit hem de maddi anlamda ciddi kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle bozucu etkisi olmayan arkeolojik prospeksiyon yöntemlerinin, özellikle de jeofizik tekniklerin, kullanılması ile bu kayıpları kazanca dönüştürmek olasıdır.

Bu tez çalışmasının amacı, arkeolojik alanların ortaya çıkarılmasında uygulamalı jeofizik yöntemlerden biri olan manyetik yöntemin arkeolojik yapıları belirleyebilmedeki başarısı ve yönteme etki eden fiziksel etkilerin incelenerek, bu başarıdaki etkisinin ve/veya başarıyı engelleyen olumsuz durumların ortaya çıkarılması temelindedir. Çalışmada bu amaçla manyetik yöntem çeşitli veri-işlem ve modelleme teknikleri temelinde irdelenmiştir. Bu çalışmalarda öncelikle arkeolojik yapıya uygun kuramsal yapay modeller oluşturulmuş ve bunların benzetim ortamlarındaki durumu araştırılmıştır. Daha sonra arazi verileri yardımıyla uygulanan bu tekniklerin gerçek araştırma koşulları için sınanması, arkeolojik araştırmalarda jeofizik aramalar için zor ve sorunlu bir araştırma alanı olan höyük türü bir yerleşme üzerinde yapılmıştır. Böylece özellikle yeraltında bulunan arkeolojik yapıların derinliği, konumu ve fiziksel özellikleri hakkında doğrudan verilerin elde edilmesine yönelik ve yorumlamayı güçlendirici bilgilerin edinilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmalar İzmir ilinin Bayraklı ilçesinde bulunan Smyrna antik kenti alanındaki 30x30 m'lik bir test alanında başarılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2. 1. Manyetik Yöntem

Manyetik yöntemde, yeraltında anomali verecek yapının ve etrafındaki kayaçların ve içinde bulunduğu ortamın mıknatıslanabilme yeteneğinin (manyetik duyarlılık) farklı olması en önemli esastır. Yerküre problemlerinin çözümünde yaygın ve etkin olarak kullanılan manyetik yöntemin temelini potansiyel teori oluşturmaktadır. Manyetik yöntemde anomaliyi ortaya çıkaran manyetik kütle bir dipol olarak değerlendirilir ve bu dipolün mıknatıslanma vektörünün doğrultusu ve konumu da anomaliyi etkilemektedir.

Cismin manyetik anomali verebilmesi için mıknatıslanma göstermesi gerekmektedir. Mıknatıslanma genel olarak indüksiyon yoluyla ya da kalıcı (remanent) mıknatıslanma şeklinde olmaktadır. Doğal kaynaklı bir yöntem olan manyetik aramalarda yer manyetik alanının bütün bileşenleri ölçülebilmektedir. Yerin manyetik alanının varlığını yeryüzünde herhangi bir noktası için asılmış bir manyetik göstergenin hareketiyle tanımlayabiliriz. Bu gösterge yönü bize doğrudan yermanyetik alanının yönünü gösterir.

Kayaçlar içindeki manyetik taneciklerin kimyasal bileşimi, manyetik minerallerin tane büyüklükleri, yüzdeleri manyetik duyarlılığı etkileyen parametrelerdir. Kayaçların manyetik özelliği, yani mıknatıslanması yapının kendisinden ya da yer manyetik alanından kaynaklanmaktadır. Her iki durumda da yer manyetik alanı değişir ya da bozulur, manyetik yöntem yardımıyla bu bozulmaları saptayarak, bozucu yapının bulunması sağlanır ve manyetik yöntem, bu tip bölgeleri belirler (Kenar, 1998). Bu yöntemde, ölçülen yer manyetik alanı değerlerinden, yeraltındaki yapı küre, silindir vb geometrik şekillere benzetilerek derinliği, konumu gibi parametreler elde edilmeye çalışılır.

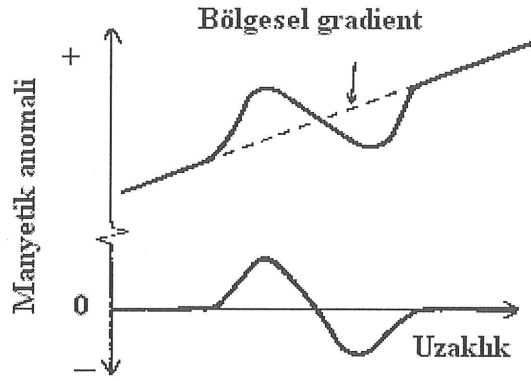
Manyetik yöntem daha çok manyetik özelliğe sahip yapılar üzerinde uygulanmaktadır. Manyetik özellik kayaçların içinde bulunan manyetit, hematit, ilmenit gibi minerallerin çokluğuna ve kayaç içindeki dağılımına bağlıdır (Telford vd. , 1981). Jeofiziksel arama tekniklerinin en eskisi olan manyetik yöntem, İkinci Dünya Savaşında havadan taşımanın artmasıyla daha çok gelişmiştir. İlerleyen dönemlerde, manyetik yöntemde veri filtreleme, görüntüleme ve hatta yorumlama teknikleri bile özellikle düşük maliyetli iyi çalışan kişisel bilgisayarlarla ve renk destekli grafiklerle geliştirilmiştir. Manyetik yöntem zaman içinde fayların bulunmasında, litolojik kontakların belirlenmesinde, tuz domlarının haritalanmasında, zayıf manyetik özellikli sedimanların saptanmasında ve gelişen teknolojiye koşut olarak üç boyutlu ters-çözümü uygulamalarıyla daha da gelişmiştir. Bu yeni uygulamalar, yöntemin mineral, gaz ve petrol, jeotermal ve yeraltı suyu aramalarında, doğal tehlikelerin belirlenmesinde, etkili yapıların haritalanmasında, mühendislik ve çevre çalışmalarında faydalarını artırmıştır (Nabighian vd. , 2005).

Manyetik yöntemde, öncelikle arazi çalışmaları sırasında manyetik arama yapılacak bölge her yönüyle incelenir. Özellikle anomali beklenen bölgede, yol, iklim, bitki örtüsü, jeolojik yapı, gürültü içeren unsurlar incelenir. Yapılacak etüdün boyutuna göre ölçü noktaları arasındaki uzaklık belirlenir. Manyetik arama çalışmasına başlamadan önce bölgenin topoğrafik haritası üzerinde profiller ve ölçü noktaları işaretlenir. Ölçü noktalarının eşit aralıklı ya da serpme şeklinde olup olmayacağına karar verilir. Manyetik prospeksiyon çalışmalarında, kullanılan manyetometreler, yapılacak çalışmanın amacına göre değişebilir. Günümüzde yerden yapılan aramalarda, toplam alan manyetometreleri kullanılmaktadır (Kenar, 1998).

Manyetik çalışmalarda gürültü en önemli sorunlardan biridir ve gürültü kaynağını oluşturan birçok etken vardır. Bunlar yapay kaynaklı (binalardaki demir donatılar, demir çitler, elektrik direkleri, trafolar, metal nesneler, boru hatları, demir yığılımlar) ya da doğal kaynaklı (güneş, fırtına, yıldırım) olabilirler. Bu yüzden gürültü sorunu ve yer manyetik alanının zamana, yere bağlı olarak değişmesi ve bu değişimlerin ölçüleri etkilemesi birtakım düzeltmeleri de gerekli kılmıştır. Bu değişim, ya çift manyetometre kullanılarak ya da tek manyetometre kullanılarak çok kısa zaman

aralıkları ile baz noktasına gelinerek giderilmeye çalışılır. Bu durumda belirlediğimiz günlük değişim, zamana uygun ölçülerden çıkarılarak gerekli düzeltme yapılmış olur.

Manyetik anomaliler, rejyonal (bölgesel) dış etki içerebilirler. Manyetik arama çalışmalarının da rejyonal etkinin giderilmesi ile ilgili çalışmalar, eğer böylesi bir etki var ise, mutlaka yapılmalıdır (Garland, 1950). Derinde olan bu etki manyetik anomaliye neden olan yapı tarafından kaynaklanmamaktadır. Bu yüzden bu bölgesel etkinin, gözlemsel anomali değerlerinden çıkarılması gerekmektedir. Gözlemsel anomali değerlerinden, rejyonal anomali değerleri çıkarılarak rezidüel anomali değerleri elde edilir (Şekil 2. 1).



Şekil 2. 1: Gözlemsel manyetik anomali değerlerinden rejyonel etki çıkarılarak rezidüel anomalinin elde edilmesi (Kearey, 1991).

Manyetik anomalilerin sayısal yorumunda yeraltındaki yapıların basit geometrik şekillere (küre, silindir, dayk, fay vb.) benzetilmesi sıkça uygulanan bir işlemdir. Manyetik verinin veri işlem aşamasında, ilk adım genellikle elde edilen verinin üzerine matematiksel filtrelerin uygulanmasıdır. Bu filtrelerdeki çeşitliliğin nedeni duruma göre değişmektedir. Genel amaç ilgi alanına göre anomali elde etmek ve/veya kaynak yeri ve manyetizasyon hakkında ön bilgi elde etmektir (Nabighian, vd. , 2005).

2. 1. 1. Arkeolojide manyetik prospeksiyon yöntemi

Arkeolojik arama çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntem manyetik arama yöntemidir. Manyetik yöntem üzerine ilk araştırma Kuzey Amerika'da (Belshe,

1957) tarafından yapılmış olup, ilk sistemli araştırma ise 1958 yılında yine İngiltere’de Aitken vd. (1958) tarafından başarılmıştır (Şekil 2. 2). Yöntem o günden bugüne değin arkeolojik araştırmalarda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir.



Şekil 2. 2: Martin Aitken prototip proton manyetometresi kullanırken. Alıcı bir uçayağın üzerine yerleştirilmiştir (Clark, 1990’dan alınmıştır).

Manyetik yöntem kullanılarak, yer manyetik alanının (toplam, yatay, düşey) bileşenleri ölçülür. Bu yöntem ile manyetik olma karakterini belirleyen, mıknatıslanabilme yeteneği olan yapılar ayırt edilebilir. Manyetize olmuş birimlerle, olmamış ya da düşük manyetizasyon içeren birimlerde oluşacak manyetizasyon farkları, manyetik yöntem ile ölçülerek bu farkların görüntülendirilmesi ya da haritalandırılması ile gömülü arkeolojik nesneler belirlenebilir (Drahor, 1998, 1999). Manyetik yöntem, ısıl kalıcı ya da viskoz mıknatıslanmaya oldukça duyarlıdır. Özellikle ısıl kalıcı mıknatıslanma arkeolojik yapıların yerinin belirlenmesinde etkilidir. Pişmiş keramik malzemelerin hammaddesini oluşturan kil içerikli toprak, demirden yapılmış malzemeler, bu malzemelerle yapılmış fırın veya ocaklar ısıl kalıntı mıknatıslanmaya sahip olduklarından arkeolojik çalışmalar da iyi sonuçlar verir. Arkeolojik alanlarda bu tür yapılar çok yaygın olduğundan manyetik yöntem bu alanlarda oldukça yararlıdır. Ayrıca, topraktaki manyetik duyarlılığın değişim

göstermesi ve yanmış nesnelerde belirgin şekilde ortaya çıkan manyetik alan da yöntem için büyük öneme sahiptir. Geniş ve büyük saha çalışmalarında, gelişen alet teknolojisi kısa sürede güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Arkeolojik alanlarda manyetik yöntem yardımıyla, fırınlar, mezarlık alanlar, gömülü duvarlar, yollar gibi birçok yapısal birim belirlenebilmektedir (Drahor 1999).

Arkeolojik alanlarda manyetik yöntem çalışmalarında, hassas ve çok hızlı ölçü alabilen proton ve fluxgate manyetometreleri kullanılır. Son yıllarda sezyum manyetometreleri de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Arkeolojik araştırmalar sığ çalışmalar olduğundan, bu tür manyetometrelerin hassas olması çalışmalarda büyük bir kolaylık sağlar. Ayrıca manyetik yöntemde derindeki büyük yapılar, yüzeye yakın kısımlardaki küçük nesneleri örtbileceğinden bu etkileri en küçükleme için, genellikle gradient (fark) olarak adlandırılan çift alıcılı (algılayıcı) gradyometreler daha yaygın kullanılmaktadır.

Arkeolojik arama çalışmalarında araziden elde edilen verilere çeşitli sinyal analiz yöntemlerinin (güç spektrumu, kutba indirgeme, aşağı-yukarı analitik uzanım vb.) uygulanması, aranılan yapının daha açık biçimde belirlenmesi olanağını sağlar. Modelleme aşamasında sayısal yorumlama yapılırken; gömülü olan arkeolojik yapı belli bir geometrik şekle indirgenerek ve yeraltı da çeşitli fiziksel birimlere bölünerek bir model üretilir. Belirlenen modelin geometrisi ve fiziksel özellikleri birçok parametreden oluşur. Ölçtüğümüz veriden, parametre değerlerinin hesaplanması ve doğru yeraltı modelinin kurulabilmesi işlemi ters-çözüm yöntemiyle başlar. Bu işlemde ölçülen veri ile kuramsal veri arasında en iyi uyum sağlanıncaya değin işlemler sürdürülür ve böylece doğru yeraltı kestirimi sağlanmış olur. Manyetik yöntemde arazi çalışmalarından sonra, verilerin değerlendirilmesinde, görüntülendirme tekniklerinin de büyük önemi vardır. Özellikle potansiyel kaynaklı verilerin değerlendirilmesinde küçük dalga boylu değişimler görüntüleme teknikleri ile daha belirgin hale getirilebilir. Anomalilerin kenar çizgilerinin belirlenmesi ve gölgelendirme gibi teknikler kullanılarak görüntü daha fotografik ve belirgin hale getirilmeye çalışılır. Arkeolojik alandan elde edilen verilerin görüntü kalitesinin artırılması açısından bu tekniklerin rolü büyüktür (Drahor, 2006a).

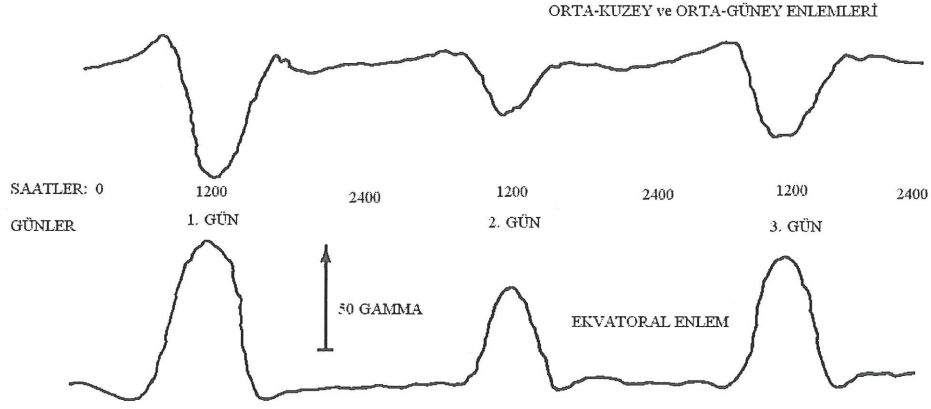
2. 1. 2. Manyetik alan değişimleri

2. 1. 2. 1. Günlük değişimler

Yeryüzünde çoğunlukla orta enlemlerdeki herhangi bir gözlemevinde, sürekli olarak kaydedilen yer manyetik alanının herhangi bir bileşeninin gün içindeki değişimleri ile devam eden diğer günlerdeki alan değişimlerinin o bileşen için nasıl bir değişim gösterdiği bu kayıtlar yardımıyla incelenir. Bu değişimlerin kaynağı çoğunlukla güneştir ve yer manyetik alanının sakin günlük değişimlerine göre farklı bir karaktere sahip olurlar. Yer manyetik alanının günlük değişimi yaklaşık olarak 20-30 nT civarındadır (Jacobs, 1989). Aynı coğrafî enlemde olan yerlerde günlük değişim eğrisinin karakteri ile günlük değişimin genliği aynıdır. En yüksek genlikler orta enlemlerde onlarca nanotesla değerindedir (Şekil 2. 3). Günlük eğrilerde genlikler 100nT'ya kadar ulaşırken, her 10 km'de bir noktada, 10 ile 20 nT arasında değişebilir. Bu yüzden bazı durumlarda belirli zaman aralıklarında baz noktasına dönmek bile (bir ya da iki saatte bir) yetersiz olabilir (Milson, 2003). Bu nedenle baz noktasına dönme zaman aralıkları araştırma amacına bağlı olarak seçilmeli ve özellikle sıkı araştırmalarda kısa süreler içinde bu ölçümler tekrarlanmalıdır.

Günlük değişimin en önemli nedeni, güneşin iyonosfer üzerindeki etkisi, yani yukarı atmosferin 60-400 km'lik kısmında yüklü partiküllerden oluşan iyonosfer olarak tanımladığımız bölgedeki akım sistemidir.

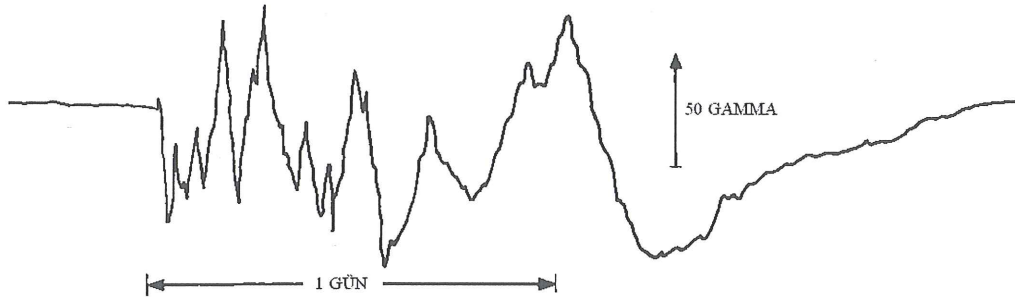
Yer manyetik alanı zamana ve yere bağlı olarak değiştiiğinden, arkeolojik arama çalışmalarında özellikle zamana bağlı olarak oluşan değişim ölçümleri etkilemektedir. Bu yüzden manyetik ölçümlere gerekli günlük değişim düzeltmesi yapılmalıdır. Bir başka değişle her noktada ölçülen değerden yer manyetik alan vektörünün ölçüm anındaki büyüklüğünün çıkarılması gerekmektedir. Zamana bağlı değişim belli zaman aralıklarında seçilen baz noktasına gidilerek giderilmelidir.



Şekil 2. 3: Toplam manyetik alanın tipik günlük değişimi (Breiner, 1973).

2. 1. 2. 2. Manyetik fırtınalar

Manyetik alan belli bir zaman içinde hızlı bir değişim gösterebilir. Bu değişimin düzensiz olması ve birkaç gün sürmesi manyetik fırtına olarak adlandırılır. Manyetik fırtınalar, güneş ışını ve güneşteki çeşitli aktivitelerden (patlamalar, fakül, vb) etkilenecek oluşurlar ve isimlerine rağmen meteorolojik olaylar değildir ve berrak, bulutsuz günlerde de görülür. Genelde, aniden başlayan fırtınalar alanda yüzlerce nT değiştirirken yavaş yavaş kararsız bir normallığe döner (Şekil 2. 4). Manyetik fırtınalar başlangıçları göz önüne alınarak bir anda oluşan ve başlangıcı yavaş ilerleyen fırtınalar olarak incelenebilir (Özdoğan vd., 1986). Zaman ölçeklerindeki değişim geniş bir şekilde olurken etkilerinin geçmesi saatler hatta günler alabilir. Hava tahmin birimleri, birçok ülkede olabilecek bir fırtınayı önceden bildirir ancak detayları hakkında bilgi veremez. Bu nedenle alan çalışmaları fırtına bitene kadar durdurulmalıdır. Benzer kriterler arkeolojik araştırmalarda da uygulanmalıdır (Milson, 2003). Aksi durumda arkeolojik amaçlı bir manyetik çalışmada manyetik fırtına olan bir günde yapılacak ölçümlerde büyük ölçüde fırtına etkileri görülür ve bu sonuçları güvenilirmez bir duruma sokar.



Şekil 2. 4: Tipik bir manyetik fırtına değişimi (Breiner,1973).

2. 1. 2. 3. Jeolojik faktörler

Arkeolojik yerleşim birimlerinde, çalışma alanının jeolojik özellikleri de manyetik çalışmaları yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle magmatik özelliklere sahip kayaç birimlerinin olduğu yerlerde yerleşmiş alanlarda manyetik bir anakaya etkisi veriler içine girecek, hatta bu etki bazı zamanlarda verinin kestirilmesini bile güçleştirebilecektir. Özellikle çalışma alanındaki jeolojik formasyon manyetit içeren birimlere sahipse, burada 200000 nT'lık bir manyetik alan değişimi oluşturabilir ki, bu değer yer manyetik alanının birkaç katına sahiptir ve herhangi bir incelemeye olanak vermez. Bu boyuttaki anomaliler dünya üzerinde alışılmışın dışında olmasına rağmen; bazalt daykları, akmalar ve diğer bazı etkiler binlerce bazen de onbinlerce nT'lık alan oluşturabilir. Çıkıntılılaşmış kristal tabanlarındaki gibi anormal alanlarda, manyetik alan 1000 nT'dan daha büyüktür. Sedimanter kayalar genellikle 10 nT'dan küçük değişimler oluştururlar (Milson, 2003). Bu nedenle hem anakayanın hem de toprak manyetizmasının arkeolojideki önemi büyüktür.

2. 1. 3. Manyetik anomalinin kaynağı ve arkeoloji de manyetik anomali oluşumu

Manyetik arama çalışmalarının temelini oluşturan kaya manyetizması çalışmalarında çalışma alanında yapılan manyetik ölçümlerde bölgesel anomalinin kaynağı olarak kayaçların sahip oldukları mıknatıslanmaların şiddeti, doğrultusu ve mıknatıslanma katsayılarının bilinmesinin önemi büyüktür. Bölgesel manyetik anomaliler kayaçların sahip oldukları mıknatıslanmanın bir fonksiyonu gibi düşünülebilir.

Manyetik anomaliyi oluşturan kayacın mıknatıslanması J , kayacın olduğu andaki kazandığı mıknatıslanma J_n ve içinde bulunduğu yermanyetik alanı tarafından kazanılan endükleme mıknatıslanma $k \cdot H_0$ bileşenlerine sahiptir ve bu,

$$J = J_n + k \cdot H_0 \quad (2.1)$$

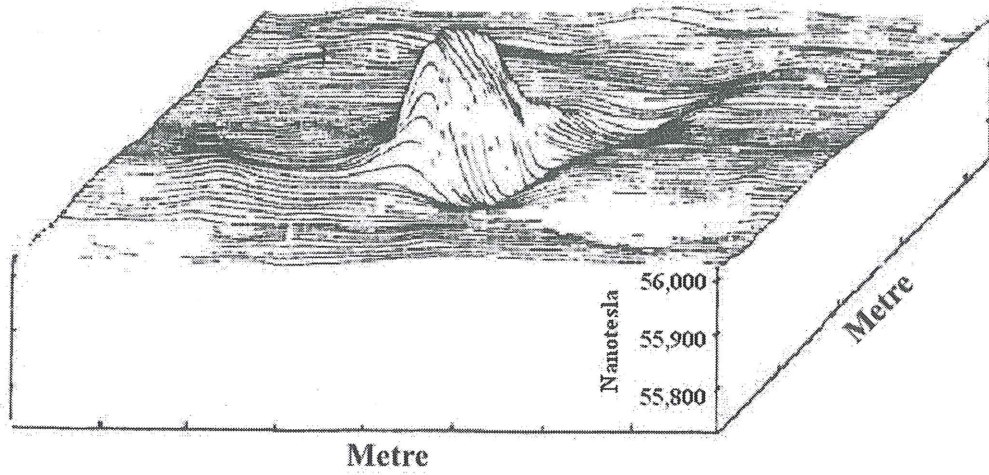
şeklinde ifade edilir.

Arkeolojik bir alanda ise anomaliler kaya, toprak ve hatta çevre alanlar etrafındaki manyetik anomalilerin bileşkesinin kültürel etkiyle oluşan anomaliye eklenmesi ile elde edilecektir. Bu manyetik farklılık kültürel özelliğin, termal ve manyetik miktarının konsantrasyonunun bir fonksiyonu şeklindedir. Manyetik yöntemde toprağın en önemli değişimi demir oksit miktarının farklı olması ve bununla bir manyetiklik kazanmasıdır. Topraktaki manyetik duyarlılığın değişmesi de manyetik belirtiyi oluşturmaktadır. Arkeolojik alanlarda, çömlek, keramik, çanak, kiremit yığılımları, depolama çukurları, demir yığılımları, manyetik özelliğe sahip kayalardan meydana gelen yapı temelleri yaygın bulunmaktadır. Demirden yapılmış her türlü malzeme, pişmiş kil, bunların fırın veya ocakları sahip oldukları ısı kalıntı mıknatıslanma (Thermo Remanent Magnetization, TRM) nedeniyle manyetik araştırmalarda çok iyi belirtiler vermektedir. Isıl kalıntı mıknatıslanma, arkeolojik araştırmalarda manyetik anomalinin önemli bir kaynağıdır. Ayrıca organik ortamlarda bakterilerin indirgenmesi ile de manyetik anomaliyi etkileyen bir manyetik alan değişimi ortaya çıkmaktadır.

Manyetik yöntemler yoluyla arkeolojik alan aramalarında, gömülü çukur ve hendeklerin belirlenmesi çalışmaları ilk olarak Aitken (1974) tarafından yapılmıştır. Çukur, hendek, demir, yol, boşluk, duvar vb. yapılar arkeolojik alanlarda yaygın görülmektedir. Bu yapılar ve oluştukları maddelerin farklı manyetik duyarlılığa sahip olması, bunların manyetik yöntem ile belirlenmesini daha da kolaylaştırır. Toprağın içine kazılan hendek ve çukurların daha sonra doğal olarak dolması ile meydana gelen manyetik duyarlılık ile ortamın manyetik duyarlılığı farklı olduğu için ortaya bir manyetik değişim çıkmaktadır. Topraktaki manyetik değişim, toprağın manyetik özellikleri ve bu manyetik özellikleri oluşturan fermentasyon ile yanma olgusu hakkındaki ilk çalışmalar Le Borgne (1955) tarafından ortaya konmuştur. Araştırmacı

yaptığı laboratuvar çalışmalarında, topraktaki manyetik duyarlıktaki en büyük değişimin, topraktaki demir oksitlerin dönüşümü sırasında ortaya çıktığını belirlemiştir. Topraktaki demir oksit değişimleri ile ilgili, özellikle zayıf ferri manyetik özelliğe sahip hematit, önce güçlü bir manyetik özelliğe sahip manyetit'e sonra da başka bir oksidasyon sürecinden geçerek maghemite dönüşmektedir. Daha sonra bu konu ile ilgili Tite ve Mullins (1971) yaptığı laboratuvar çalışmaları ile toprakta oluşan yanmanın yüksek sıcaklık (450 °C) altında manyetik duyarlılığın artışı etkilemesinde önemli bir rol oynadığını belirtmişler ve topraktaki manyetik duyarlık oluşumu ile ilgili yaptıkları çalışmalarda, İngiltere'nin güneyinde tarım toprağından aldıkları örnekleri laboratuvarında inceleyerek, belirli jeolojik dönemlere ait jeolojik birimlerin içerdikleri farklı demir oksit oranları nedeniyle topraktaki bu dönüşümlerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Toprakta manyetik değişimi etkileyen ve manyetik özellik oluşturan önemli bir faktörde bakterilerdir ve özellikle hematitin indirgenmesinde önemli bir rol oynarlar. Bu konuda Ottow (1981) tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Manyetik alan seramik fırınları, demir ve keramik yığılımları gibi arkeolojik kalıntıların birkaç metre yakınında önemli bir değişim gösterebilir. Isıtma olayı, sedimandaki demir oksit minerallerine, manyetik alanın kazandırmış olduğu manyetizmayı yükler. Hem ısının oluşturduğu mıknatıslanma, hem de kalıntı mıknatıslanma manyetik alan anomalisine katkıda bulunur (Breiner, 1973, Aitken, 1974). Bu olguyu gösteren bir şekil aşağıda verilmektedir. Şekil 2. 5'de bir gece boyunca yakılıp, daha sonra kapatılmış bir çukurda meydana gelen manyetik anomalinin değişimi üç-boyutlu olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. 5: Bozunmuş çörtler ve çamurtaşı ile kısmen çevre bazaltlardan türemiş sediman üzerindeki 0. 7 x 0. 7 m. boyutunda deneysel ateş yerinde ve 0. 2 metre derinliğinde bir çukurda kaydedilmiş manyetik anomali (Stanley ve Green, 1976).

Arkeolojik aramalarda en çok rastlanılan yapılar arasında kil oldukça yaygındır. Özellikle keramik üretiminde kil miktarı etkindir ve kil ısıtıldıktan sonra soğumaya bırakıldığında, manyetik bir özellik kazanır. Böylece bu yapılar (çanak, çömlek) içerdikleri kil miktarına ve özelliklerine göre farklı manyetik değerlere sahip olurlar. Gibson (1986) yaptığı deneylerde göstermiştir ki, ısı kalıcı manyetizasyon manyetik yöntem ile arkeolojik aramalarda yaygın olarak karşılaşılan çanak, çömlek, ocak, fırın, yanma çukurları gibi yapıların aranmasında oldukça önemli bir faktördür (Drahor, 2006b).

2. 1. 4. Manyetik ölçümlerde yapılan düzeltmeler

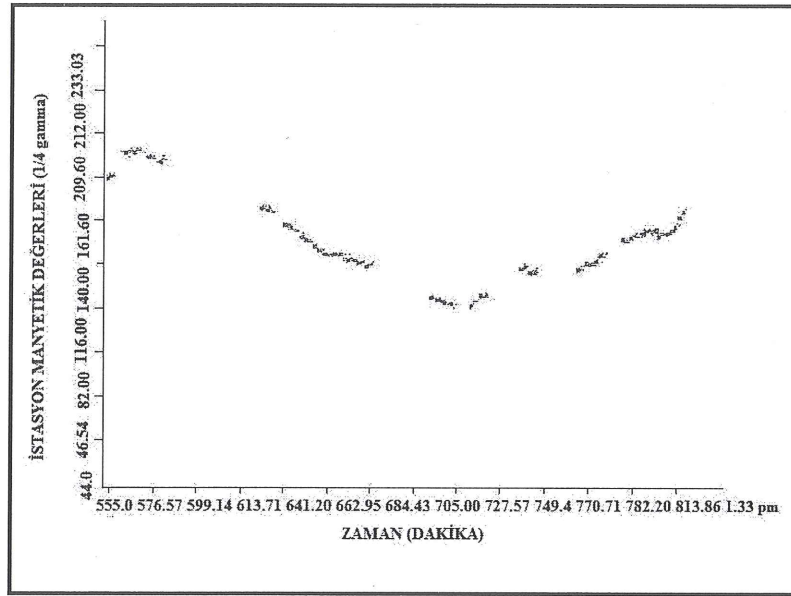
2. 1. 4. 1. Günlük Değişim düzeltmesi

Arkeolojik arama çalışmalarında manyetik yöntem uygulanırken zamana bağlı değişimler ölçü alımını etkilemektedir. Bu yüzden, çalışma alanında uygun bir yerde baz noktası belirlenip, belli aralıklarla baz noktasına dönülüp ölçüm alınmalı ve günlük değişim düzeltmesi yapılmalıdır. Ya da manyetik rasathane kayıtlarından yararlanılarak düzeltme yapılabilir. Yer içindeki mıknatıslanabilme özelliğine sahip yapıların manyetik anomalilerini elde etmek için, her noktada ölçülen değerden

yer manyetik alan vektörünün ölçüm anındaki büyüklüğünün çıkarılması gerekmektedir.

Arazi çalışmalarında manyetik yöntem uygulanırken tek bir manyetometre kullanıldığı zaman günlük değişimlerde kısmi veya komple düzeltmeler yapabilmek için çeşitli yollar vardır. Günlük değişim düzeltmesinde kısmi bir çözüm yöntemi tek bir manyetometre ile baz noktası yöntemidir. Bu yöntem ile çalışma boyunca sabit bir baz noktasında ölçümler tekrarlanmaktadır ve bu ölçümler enterpolasyon ile günlük eğriye yerleştirilmektedir. Manyetik alan ve zamana bağlı sonuç eğrisi farklı zamanlarda grid noktalarında kaydedilen değerleri belirlemektedir. Bu yöntem de günlük değişimler düzgün ise oldukça iyi sonuçlar alınabilir (Weymouth ve Lessard, 1986).

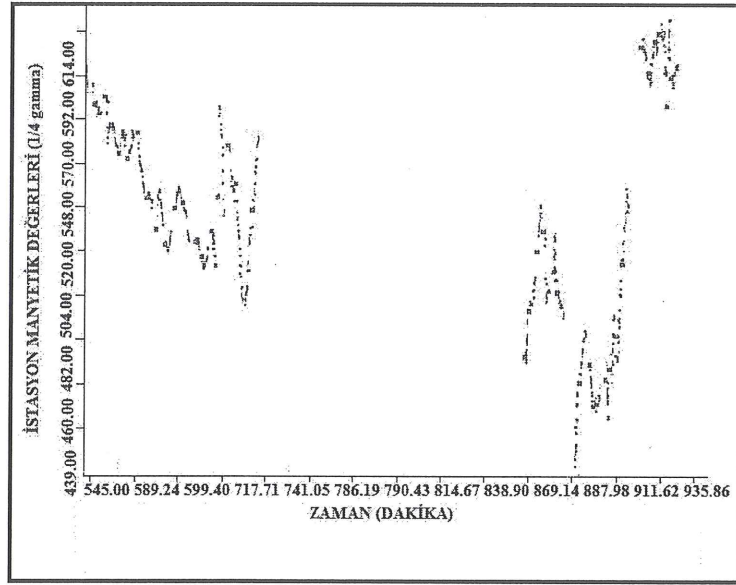
Bu konuda bir örnek 23 Haziran 1980'de Oklahoma da sakin günler süresince alınan manyetik ölçümler sonucundaki değişimdir ve Şekil 2. 6. 'da verilmektedir. Çalışma alanı 2.4 ha'lık bir alanı kapsamaktadır ve burada birçok tarihi küçük el yapımı materyaller bulunmuştur. Çalışmada ikili blok gruplarından iki veri seti kullanılmıştır. Sakin bir gün içerisinde alınan ölçümlerin koordinatları S60'dan S20'ye ve W50'den W70'e kadar olan bölgeyi içine almıştır. Diğer iki blok ise N120'den N160'a ve W40'dan W60'a kadar olan alanı kapsamaktadır. Şekil 2. 6'da çalışma alanından sakin bir günde alınan ve ölçüleri etkileyen geçici değişimlerin etkisinin eğrisi görülmektedir.



Şekil 2. 6: Sakin günde alınan ölçülerden oluşturulan günlük değişim eğrisi (Weymouth ve Huggins, 1980)'den düzenlenmiştir.

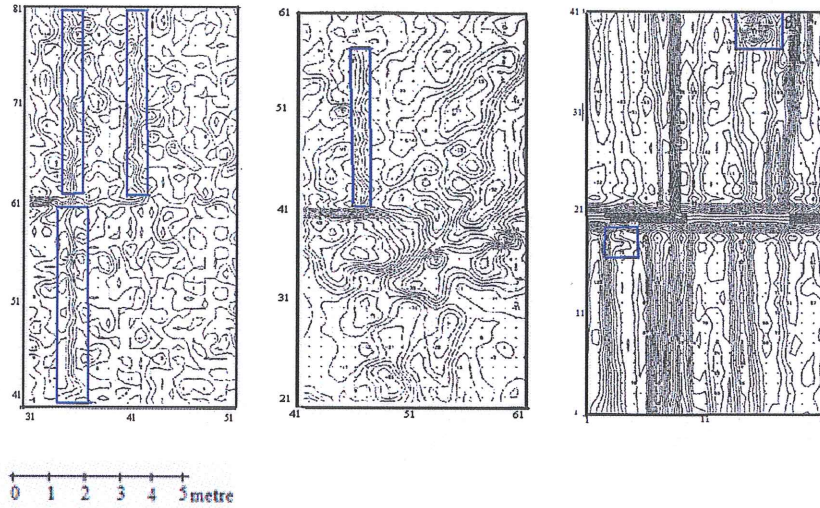
Aktif bir gün için iyi bir örnek ise Şekil 2.7 'de verilmektedir. Bu şekilde Oklahoma bölgesinde Mississippi kültüründe M. Ö 1200'lerden kalan geniş ve önemli bir törensel bölge olan Spiro Höyüğü'nden elde edilmiş aktif bir gün verisi görülmektedir. Manyetik ölçümler N100, N40 ile W560, W580 koordinatları içerisinde alınmış ve 0.5 ha'lık bir alandan oluşmaktadır. Eğriden de görülebildiği gibi, değişimler ani ve zamana bağlı olarak çok hızlıdır. Özellikle zamanın belirli bir süresinde kayıt alma olanağı bile ortadan kalkmıştır. Bu nedenle böylesi bir günde yapılacak manyetik çalışmalar arkeolojik etkilerden kaynaklanacak anomalileri çok büyük oranda etkiler ve yorumlamayı olanaksız duruma getirebilir.

Günlük değişim düzeltmesinde sakın bir gün (Şekil 2. 6) ve aktif bir gün için (Şekil 2.7) baz istasyonu metodu ile manyetik eğriler oluşturulurken ilk referans noktasındaki her ölçü tüm sıra için kaydedilmiş ve diğer noktalar için sırası ile zamanı belirleyebilmek için 3'er dakikalık peryod aralıkları alınmıştır. Polinomal özellikte olan eğriyi elle çizebilmek için kübik interpolasyon tekniği kullanılmış ve seçilen her blok'da farklı veriler için işlemler yapılmıştır (Weymouth ve Lessard, 1986).



Şekil 2. 7: Aktif günde alınan ölçülerden oluşturulan günlük değişim eğrisi (Weymouth ve Bennett, 1982'den düzenlenmiştir).

Şekil 2. 8'de sakin, ortalama ve aktif günler için aynı alanın değişik bölgelerinden toplanan manyetik verilerin kontur haritaları verilmektedir. Şekil 2. 8a'da genelde verinin dikdörtgen ile taralı yerleri hariç, önemli bir etkiye maruz kalmadığı görülmektedir. Bu değişimlerin olduğu yerlerde zamanın kısa bir aralığında manyetik alan değişiminde bir değişiklik ortaya çıkmıştır. Oysa ortalama bir günde verinin daha keskin sık konturlar ile etkilendiği Şekil 2. 8b'den açıkça görülmektedir. Haritanın etkilendiği bölümde önemli trendler hakimdir ve bunların mutlaka giderilmesi gereklidir ve yapılacak değişik düzeltme teknikleri ile bunları kaldırmak olasıdır. Ancak Şekil 2. 8c'de verilen aktif gün verisinin sonuçlarında her taraf uzamalarla kapanmıştır ve buradan herhangi olumlu bir yorum yapabilmek olası değildir. Özellikle küçük dikdörtgenlerle gösterilen ve gerçek anomali olan yerlerin bile ne derece deforme olduğu bu şekilden izlenmektedir. Böylesi bir veriye uygulanacak düzeltme tekniklerinden de olumlu bir sonuç elde etmek olası değildir. Bu nedenle böylesi aktif günlerde veri toplamamak en uygunu olacaktır. Aksi durumda bunların giderilmesi olası olmayacaktır.



Şekil 2. 8: a) Aynı alanın farklı yerlerinde ve değişik zamanlarda elde edilen düzeltme yapılmamış manyetik kontur haritaları. a) yakın bir gün için, kontur aralığı 2 nT b) Ortalama bir gün için, kontur aralığı 1/4 nT c) aktif bir günde, kontur aralığı 5/4 nT (Weymouth ve Lessard, 1986).

2. 1. 5. Arkeolojik aramalardaki yapılarda gözlenen manyetik anomaliler

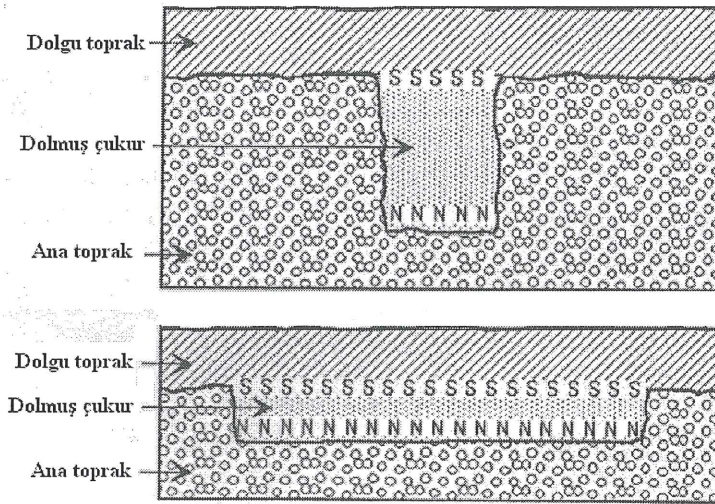
Uygulamalı jeofizikte bir arazi çalışmasından elde edilen anomaliler belirli geometrik şekillere indirgenerek, açıklanmaya çalışılır. Manyetik yöntem için kaynaktaki kalıcı mıknatıslanmadan dolayı bu tür bir modellemeyi oturtmak epey zaman alabilir. Ancak bu tür modellemeler daha basit geometrik şekiller için yapılabilir. En basit şekli ile manyetik dipol ve tek manyetik kutup alan anomalilerden değerlendirme yapılabilir. Bu amaçla birçok araştırmacı nokta kutup, çizgisel kutuplar, nokta dipol ve çizgisel dipoller (Hendersen ve Zietz ,1948; Smellie, 1956) gibi farklı kaynak modeller geliştirerek değerlendirme yöntemleri bulmuşlardır. Yeraltındaki yapılar karmaşıklığından dolayı her zaman dipol olarak kabul edilemeyeceğinden, öncelikle herhangi bir geometrik şekle sahip yapıların manyetik alan anomalilerinin derinliğe bağlı tespiti gerekmektedir. Sonuç olarak ölçülen ve hesaplanan alan anomalilerinin kıyaslanması ile sonuca gidilebilir.

Arkeolojik aramalarda gözlenen manyetik anomaliler kabaca iki kategoride sınıflandırılabilir.

- 1-) Doğrultusu boyunca uzanan yapılar (gömülü silindirik yapılar)
- 2-) Yanal uzanımlı yapılar (küre biçimli cisimler)

Birinci kategori için çizgisel dipoller (lines of dipoles) modeli, nokta dipol (point dipol) modeline göre daha uygundur. Her iki modelde küçük manyetik objeleri temsil ederler.

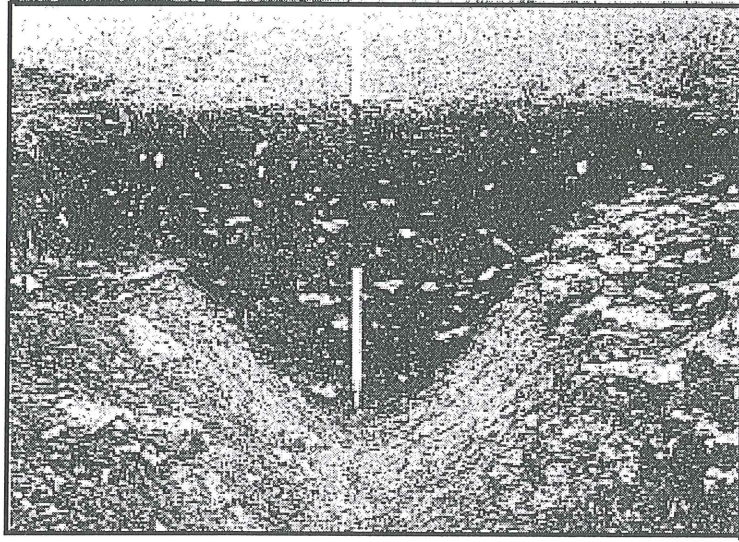
Arkeolojik alanlardaki hendek, çukur, demir, duvar, yol vb. yapıların farklı derecelerde gösterdikleri manyetik duyarlılıklar vardır. Özellikle çukurların içerisindeki çöpler ve içerdikleri organik maddeler yardımıyla sonradan bozuşmaya uğrayarak manyetik özellik kazanabilirler. Ayrıca bu yerler daha sonradan yakılmış olabilir, bu yüzden de güçlü bir manyetik özellik kazanabilir (Aitken,1974). Çukur ve benzeri yapılar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, sığ derinlikte bulunan çukurlar güçlü, daha derinlerde açılmış çukurlar ise geniş anomaliler vermektedir (Aitken, 1974). Şekil 2. 9'da hacimsel olarak eşit, şekil olarak biri uzun ve dar, diğeri ise geniş ve sığ olan iki çukur gösterilmiştir. Derin ve dar olan çukur, bir mıknatıs gibi davranarak, sığ ve geniş olan çukura göre daha güçlü bir anomali oluşturmaktadır.



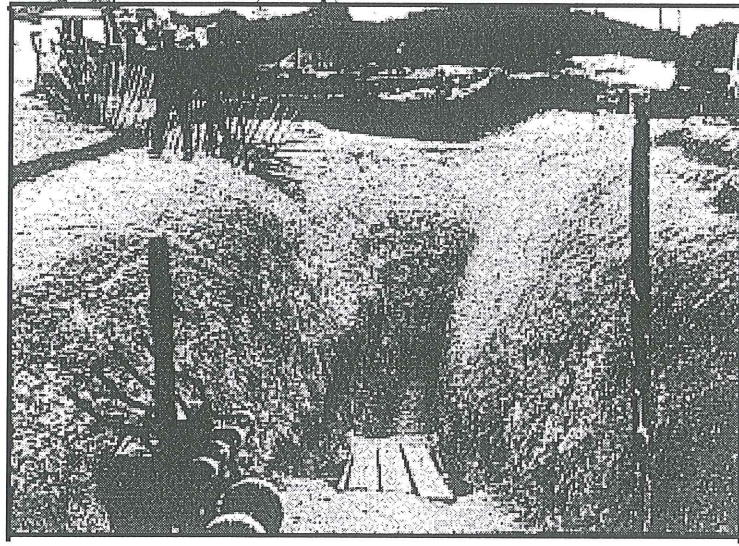
Şekil 2. 9: Farklı çukur türlerinde, çukur şekillerinin manyetik alan oluşumuna etkisi (Aitken, 1974).

Hendeklerle ilgili çalışmaların sonuçlarının yapılan araştırmalarda çukurlarından farklı olduğu görülmüştür. Hendek ve benzeri yapıların içi orijinal materyallerle dolu olduğu için meydana gelen anomaliler ihmal edilen düzeydedir (Drahor, 2006b). Bu nedenle bu tür yapıların araştırılmasında oldukça hassas manyetometrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Arkeolojik alanlarda en sık görülen

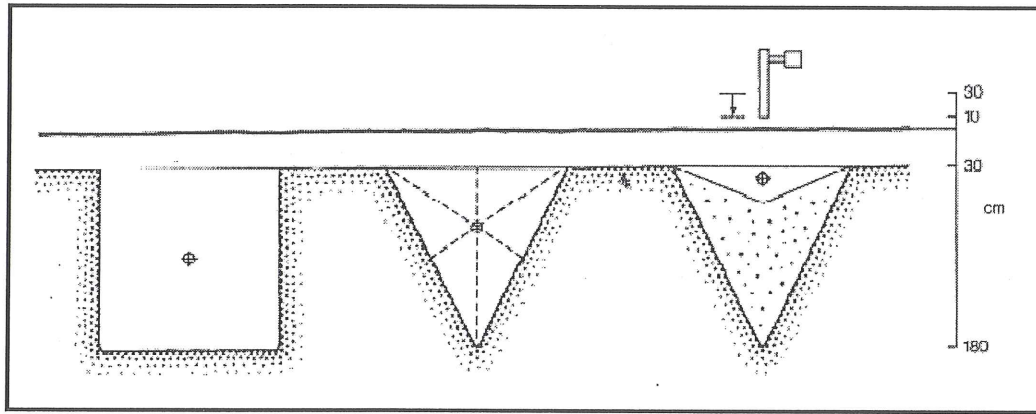
yapılardan biri olan hendeklerde derinliği ve pozisyonu belirleyebilmek için birtakım çalışmalar yapılmıştır (Clark, 1990). Bu çalışmalardan biri şekil 2. 10'da içine toprak doldurulmuş bir ideal çukur ve şekil 2. 11'de de fazla miktarda silt içeren başka bir çukur yapısını ortaya çıkaran araştırmanın sonuçlarıdır. Bu tip yapılarda eşdeğer dipollerin pozisyonlarını gösteren geometrik özellikler kare bir çukur, içi toprak dolu üçgen şeklinde bir çukur ve içi silt ile tebeşir ağırlıklı toprak ile doldurulmuş çukur için şekil 2. 12'de görölmektedir. şekil 2. 12'de göröldüğu gibi gradyometreyi 30 cm den 10 cm'e düşürmek yapıdan alacağımız sinyali artırır ve 1 metreden daha sığ derinliklerde duyarlılık hızla artarak, içi manyetik güröltü oluşturan bir litolojiye sahip çukurun ürettiğu sinyal daha zayıf olabilir. Bu durumda manyetometre yüksekliği 10 cm'e düşürölerek dikkate değer bir duyarlılık elde edilebilir (Clark, 1990).



şekil 2. 10: İçine toprak doldurulmuş üçgen şeklinde ideal çukur (Clark,1990).



Şekil 2. 11: Ağır siltlenme ile oluşmuş çukur (Clark,1990).



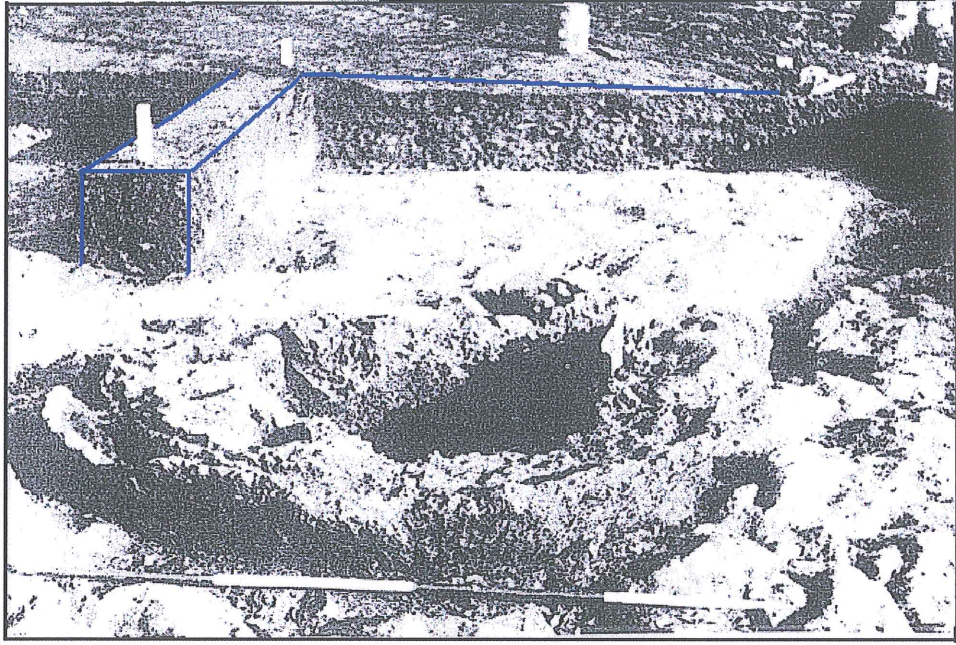
Şekil 2. 12: Eşdeğer dipollerin pozisyonlarını gösteren özellikler. Solda kare çukur, ortada Şekil 2. 10 daki gibi içine toprak dolmuş çukur. Sağda, ağır siltlenmeye oluşan çukur, Şekil 2. 11 deki gibi. Bu durumda, gradyometre yüksekliğini 30cm'den 10cm'e düşürmek sinyalin etkisini arttıracaktır (Clark, 1990).

Yanmış bir malzemeden gelen sinyalin gücü düşünüldüğünde, mıknatıslanmasının, merkezinde ya da kütle merkezinde yer manyetik alanını oluşturan bir dipol olduğu kabul edilebilir. Silindirik bir çukurda bu ayırıcı özellik geometrik merkezde olurken, ideal bir üçgen çukurda bu nokta, üçgenin köşelerinden gelen çizgiler köşelerin orta noktasının oluşturduğu kenar ortayların kesiştiği yerde olabilmektedir (Clark, 1990).

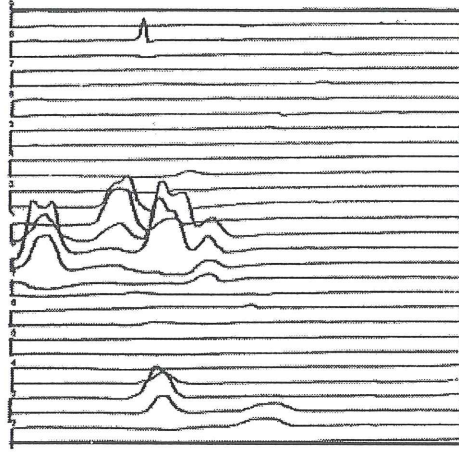
Duvar tarzı yapılarda hendeklerle benzer özellikler taşımaktadır. Eğer duvar tuğladan meydana gelmemiş ise ihmal edilebilir manyetik özelliğe sahiptir. Fakat

duvarın gömüldüğü toprağın duyarlılığı bu tür yapıları belirlemede ayırt edici bir özelliktir. Duvarın manyetik duyarlılığı ile gömüldüğü toprağın manyetik duyarlılığının zıt olması bu tür yapıların belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Aksi durumda belirlenmesi oldukça zor olacaktır.

İngiltere'nin Neatham bölgesinde Roma dönemine ait bir yerleşim birimindeki arkeolojik kazı çalışmalarında 30 x 30 m'lik bir kare alanda ortaya çıkarılan yanma geçirmiş üç tane seramik fırını Şekil 2. 13'de ve çalışma alanından fluxgate gradyometresi kullanılarak alınan ölçümler sonucu fırınların duvarlarının neden olduğu anomaliler Şekil 2. 14'de görülmektedir (Clark, 1990). Burada anomaliler çift pikler şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2. 13: İngiltere (Neatham) bölgesinde arkeolojik kazı sonucu ortaya çıkarılan seramik fırınlar (Clark, 1990).



Şekil 2. 14: Fırın duvarlarının oluşturduğu manyetik anomali (Clark, 1990).

Yol ve kaldırım benzeri yapılarda anomalinin oluşması bu yapıların kalınlıklarına da bağlıdır. Kalınlığı fazla olan yollarda genlikleri daha büyük anomaliler gözlenmektedir. Özellikle hem içerdikleri malzemenin yanmış olması ya da demir içermesi hem de yapının kalın olması anomalinin büyümesinde önemli etkenlerdir (Drahor,2006b).

Demir içeren yapılar ise arkeolojik aramalarda, yerleşim planının ortaya çıkarılmasında ve kesin sonuçlar elde edilmesinde çok önemlidir. Demir manyetik özelliği yüksek bir materyaldir. Fakat bazı durumlarda, özellikle atık malzemeler şeklinde çalışılan alanda bulunuyorsa, elde edilecek anomali sonuçları olumsuz etkileyerek gürültü oluşturacaktır. Bu durumda bu tip demirli nesneler olası ölçüler içinde çalışılan alandan uzaklaştırılarak anomaliyi olumsuz etkilemesi önlenir.

2. 2. Kayaçların ve Toprağın Manyetizması ve Arkeolojideki Etkisi

Kayaçların ve toprağın içerdiği manyetik mineraller, bunlarda oluşan manyetik özelliğin en önemli nedenidir. Minerallerin geometrik biçimleri, mineral tanelerinin büyüklüğü, yapılarını etkileyen kimyasal ve fiziksel olaylar, mineralin kayaç ve toprak içinde kapladığı hacim gibi etkenler bu yapılardaki manyetik olma özelliğini belirleyen temel parametrelerdir.

Arkeolojik arama çalışmalarında toprağın fiziksel özellikleri kullanılan yöntemi etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Toprağın kendine özgü özelliklerinin yanı sıra içerisindeki demir oksit miktarına bağlı değişimler, toprağın manyetizasyon özelliği kazanmasını sağlamaktadır. Arkeolojik alanların en önemli manyetik özelliği maddelerin kazandığı manyetizasyon ve duyarlılıklarıdır (Schmidt, 2007).

Toprağın temel bileşiminde ana toprak, iklimsel değişimler ile ortaya çıkan farklılıklar, bitki kökleri, ana kaya ya da toprak malzemesinin demir içermesi ve çiftçilik gibi insan eli değmiş yerlerde olan değişimlerden kaynaklanan faktörlerden türemiş etkilerin bir karmaşası bulunur. Toprağın birçok işleminden geçirilmesi aşamalarında, örneğin üstünü örten tebeşir içeren topraktan aşınarak, azımsanmayacak bir manyetik duyarlık içeren killi çakmak taşı olarak bilinen birikintilerin ortaya çıkması İngiltere ve benzeri ortamların olduğu yerlerde sıkça görülmektedir. Toprak doğası gereği demir minerallerini içirme eğilimindedir (Clark, 1990). Özellikle doğada titanyum ile birleşmiş halde bulunan manyetit ve maghemit toprağın önemli mineralleridir ve arkeolojik arama çalışmalarında topraktaki demir mineralleri belirleyici parametrelerdir.

Topraktaki minerallerin manyetik özelliği diamanyetik, paramanyetik, ferromanyetik, antiferromanyetik ve ferrimanyetik gibi çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bunlar arasında en farklı ve etkili olan ferromanyetizmadır. Özellikle demir gibi ferromanyetik cisimlerde dışarıdan bir manyetik alan uygulanmasa bile, bu cisimler yüksek bir mıknatıslanmaya sahiptirler. Bu tip mıknatıslanma, katı bir cisimde kendi eksenleri etrafında dönen elektronların birbiri ile etkileşiminden meydana gelen kendiliğinden (spontane) bir mıknatıslanmadır. Antiferromanyetizmada ise oksit hematit'de görüldüğü gibi, komşu atomların neden olduğu manyetik momentlerin yarısı diğer yarısına göre ters yönde yönelmiş bir mıknatıslanma gösterirler (Clark, 1990). Eğer manyetik momentler ters yönde dizilmiş ve eşit olmaması durumunda ferrimanyetizma türü mıknatıslanma ortaya çıkar. Manyetit ve Maghemit ferrimanyetik özelliklere sahiptirler. Arkeolojik arama çalışmalarında önemli olan birçok manyetik mineralin bu grupta olması ve kalıntı mıknatıslanmanın incelenmesi açısından ferrimanyetizma ve antiferromanyetizmanın önemi büyüktür.

2.2.1. Kayaçların ve toprağın mıknatıslanmasında manyetik duyarlık (Susceptibility)

Manyetik duyarlık kayaçların ve toprağın mıknatıslanmasında önemli bir parametredir ve manyetik yöntemde anomaliyi oluşturması açısından aktif bir rolü vardır. Manyetik bir alan içinde bulunan cisimler manyetik duyarlılıklarına bağlı olarak mıknatıslanırlar. Bu mıknatıslık ya cisimler oluşurken ya da sonradan kazanılır. Cismin manyetik özelliği veya mıknatıslanmasından dolayı cismin her noktasındaki mıknatıslanma aynıdır. Ancak cismin yüksek veya düşük derecede manyetik duyarlığa sahip olması cismin dışında bulunan manyetik alanı etkileyecektir. Eğer cismin dışındaki indükleyici alan ortadan kalkar ve cismin manyetik alanı da kaybolursa, bu şekilde oluşan mıknatıslanmaya indüksiyon ile oluşan mıknatıslanma adı verilir. Mıknatıslanma katsayısı kayacın içinde bulunduğu, manyetik alanın şiddeti ile doğru orantılıdır. Kayaç içindeki manyetik taneciklerin boyut ile şekline ve iç gerilimlerine bağlıdır (Orbay, 1980).

mıknatıslanma katsayısı k , mıknatıslanma şiddeti J , Manyetik Alan Şiddeti H

$$k = \frac{J}{H} \quad (2.2)$$

olarak verilir.

Manyetik prospeksiyonda mıknatıslanma katsayısı (manyetik duyarlık) oldukça önemli bir parametredir. Kayaç, mineraller ve toprak türlerinin manyetik tepkileri, içerdikleri manyetik malzeme ile belirlenebilmektedir. Çeşitli kayaç, mineraller ve toprak türlerinin manyetik duyarlık değerleri ve değişim aralıkları Tablo 2. 1' de verilmektedir.

Mıknatıslanma katsayısını belirlerken kayacın izotropik durumu da düşünülür. Gerçek mıknatıslanma katsayısı izotropiktir. Doğada çökel ve tabakalaşma gösteren metamorfik kayaçlarda en büyük mıknatıslanma katsayısının doğrultusu ilk olarak tabaka yüzeyinde olacağından, toplam mıknatıslanma vektörü, belirtilen yüzeyler ile

küçük bir açı yapar. Volkanik kayaçlar ise manyetik açıdan izotropik sayılabilirler. Manyetik yapının şekli ve kristaldeki anizotropi kayaçlardaki anizotropinin en önemli nedenlerinden sayılabilir.

Tablo. 2. 1: Bazı kayaçların manyetik duyarlılıkları (Telford ve diğ. , 1981'den).

Manyetik Duyarlık $10^6 \times emu$ Kayaç	Aralık	Ortalama	Kayaç	Aralık	Ortalama
TORTUL			MAGMATİK		
Dolomit	0-75	10	Granit	0-4000	200
Kireçtaşı	0-280	25	Riyolit	20-3000	
Kumtaşı	0-1660	30	Dolerit	100-3000	1400
Şeyl	0-1480	50	Ojit-Siyenit	2700- 3600	
Ortalama	0-4000	75	Olivin- Diyabaz		2000
METAMORFİK			Diyabaz	80-13000	4500
Amfibolit		60	Porfir	20-16700	5000
Şist	25-240	120	Gabro	80-7200	6000
Gnays	10-2000		Bazalt	20-14500	6000
Kuarsit		350	Diyorit	50-10000	7000
Serpantin	250-1400		Piroksenit		10500
Fillit		130	Andezit		13500

Toprağın manyetik duyarlılığındaki değişim arkeolojik yerleşim birimlerinde oldukça büyük önem taşımaktadır. Genel olarak bu değişim metal ve demir yığılımları, manyetik özelliği yüksek olan yapı temelleri ve bakterilerin demiri indirgemesinden kaynaklanmaktadır. Arkeolojik arama çalışmalarında manyetik duyarlılığı iki önemli faktör etkilemektedir. Toprağın üst tabakalarındaki duyarlılığının alt tabakalara göre daha büyük miktarda olması ve bunun en önemli nedeninin toprağın üzerinin insan eliyle doldurularak daha farklı bir manyetik duyarlılık kazanmasıdır (Clark, 1990). Topraktaki ortalama manyetik duyarlılık değerleri aşağıdaki Tablo'da verilmektedir.

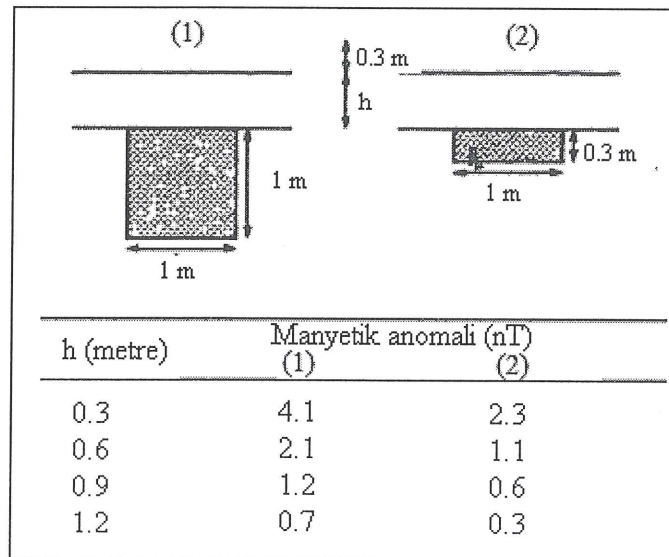
Tablo 2. 2: Toprağın ortalama manyetik duyarlık değerleri, 10^{-6} emu/cm³ (Carmichael, 1989).

Toprak	1-100
Kumlu Kil	15-35
Kil	20

Topraktaki manyetik değişim, toprağın manyetik özellikleri ve bu manyetik özellikleri oluşturan fermentasyon ile yanma olgusu hakkındaki ilk çalışmalar Le Borgne (1955) tarafından ortaya konmuştur. Le Borgne yaptığı laboratuvar çalışmalarında, topraktaki manyetik duyarlıktaki en büyük değişimin, topraktaki demir oksitlerin dönüşümü sırasında ortaya çıktığını belirlemiştir.

Arkeolojik arama çalışmalarında duyarlık yeraltındaki gömülü nesnelerin ortaya çıkarılmasında manyetik anomaliyi kontrol eden etkin bir parametredir. Anomalinin gücü duyarlık ile değişebilmektedir. Tablo 2. 3’de iki boyutlu, farklı derinliklerde ve çevresi ile duyarlık farkı 100×10^{-8} SI olan iki küçük çukurun ürettiği manyetik anomali değerleri görülmektedir. Derinlik arttıkça manyetik anomali değerlerinde düşme görülmektedir (Clark, 1990).

Tablo 2. 3: İki boyutlu ve farklı derinliklerde iki çukurun oluşturduğu manyetik anomali değerleri (Clark, 1990).



Manyetik duyarlılığın etkili olduğu yerlerden biri de göl tabanları ve nehir yatakları gibi aşınan ve yeniden oluşuma olanak sağlayan yerlerdir. Bu tip yerlerde manyetik duyarlılık yüksek değerlere ulaştığında, birikintilerin stratigrafisi ardışık bir görüntü sergilemektedir. Manyetik duyarlılık yardımı ile arkeolojinin de yeterli olmadığı yerlerde geçmişte insan varlığının olup olmadığını anlayabilmekteyiz (Clark, 1990).

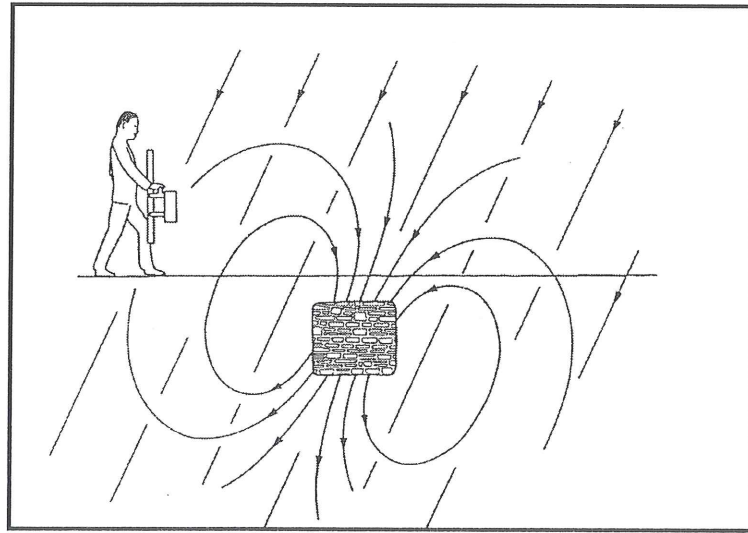
2. 2. 2. Kayaçların ve toprağın manyetik özelliklerinin sıcaklık ile ilişkilendirilmesi

Kayaçların bünyelerinde bulunan manyetik minerallerin CURIE sıcaklıkları manyetik özelliklerini etkiler. Bu nedenle, kayaçların ısıtılması ve soğutulması sırasında kazandıkları mıknatıslanma eğrileri farklı olur. Mıknatıslanma katsayısı, doymuş mıknatıslanma, iç direnme kuvveti gibi manyetik özellikler sıcaklıkla birlikte değişim gösterebilirler (Özdoğan vd. , 1986). Mıknatıslanma ile sıcaklık arasındaki değişim daha çok ferromanyetik minerallerde gözlenmiştir. Topraktaki demir oksitçe zengin mineraller Curie sıcaklığının üzerinde ısınır ve hemen ardından soğumaya bırakılırsa meydana gelen ısı kalıntı mıknatıslanma bir başka ısınmaya kadar malzemenin içinde kalmaktadır (Schmidt, 2007). Minerallerin ısı kalıntı mıknatıslanması da arkeolojik yerleşim birimlerinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biridir.

Arkeolojik alanlarda yanmaya uğramış yapılar, kalıntı mıknatıslanmaya sahip olduklarından, manyetik yöntem için ayrı bir önem taşırlar. Bu tür yapıların sahip oldukları mıknatıslanma daha çok yanma süresi ve sayısı ile ilgilidir. Bu konuda en geniş araştırma Gibson (1986) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı yaptığı deneylerde yaklaşık 500⁰C yi aşan birkaç günlük yanmadan sonra, yanmanın manyetik özelliği çok fazla etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Arkeolojik alanlarda karşılaşılan yanmış yapılar daha çok birkaç yanmadan sonra güçlü bir manyetik özellik kazanırlar. Gibson yaptığı test çalışmalarda öncelikle alanın yanma öncesi manyetik haritasını değişik alıcı yüksekliklerinde belirlemiş daha sonra alanın ortasında 60 cm çaplı ve 10 cm derinliğinde oluşturduğu ocağı birçok kez yanmaya uğratmış ve her yanmadan sonra, yeniden aynı yerlerde manyetik ölçümler yapmıştır. Sonuç olarak üç yanmadan sonra belirgin anomaliler oluştuğunu görmüştür. Yine yanma ile ilgili yaptığı diğer bir deneyde farklı yapılardaki keramik parçalarını, kazı toprağı içinde

40 cm çapında dairesel bir alana yerleştirmiştir. Farklı alıcı (30 ve 60 cm) yüksekliklerinde çok belirgin bir anomali elde edemese bile, manyetik gradyent yöntemini uygulayarak 6 nT'nın üzerinde bir anomali elde etmiştir. Böylece zayıf manyetik değerlere sahip yapıların belirlenmesinde manyetik gradyent yönteminin etkili olduğunu saptamıştır (Gibson, 1986).

Özellikle yanmış fırın ve ocak gibi tipik arkeolojik materyallerin kilden yapılmış örneklerinde ısıtma işlemleri sırasında manyetit ve magnetit ısısı Curie sıcaklığını aşar. Arkeolojik arama çalışmalarında kireç ocağı, çömlek gibi yanma geçirmiş bir materyal 500 nT gibi büyük bir anomaliye sebep olurken, bazı arkeolojik anomaliler ise 1 nT'dan daha küçük olabilirler (Clark, 1990). Böyle yanma geçirmiş kireç ocağı ya da kilden oluşan bir birimin meydana getirdiği anomali Şekil 2. 15 de görülmektedir. Isınma sırasında yermanyetik alanına paralel ve uyumlu bir mıknatıslanma gözlenmektedir. Şekilde paralel çizgiler yermanyetik alanını gösterirken, dalgalı çizgiler materyalin neden olduğu manyetik alanları belirler. Demir bir çubukta olduğu gibi manyetik devir akı olarak tanımlanır. Bu akı nedeni ile her pozitif manyetik anomaliye, düşük bir negatif anomali eşlik eder ve kuzey enlemlerindeki manyetik alanın dalım açısı, güneydeki bir materyalde kuzeydekinden daha az etkilenir. Dalım açısının bir diğer etkisi de anomalinin maksimum noktasını hafifçe güneye kaydırmasıdır.



Şekil 2. 15: Yanma geçirmiş bir kireç ocağının oluşturduğu manyetik anomali (Clark, 1990).

2. 2. 3. Kalıntı mıknatıslanma ve türleri

Arkeolojik arama çalışmalarında manyetik yöntem uygulanırken, aranılan yapılar ya da materyaller geçmiş dönemlerde yanma geçirmiş iseler, bu nesnelerdeki mıknatıslık dereceleri oldukça önemlidir. Bu yüzden, nesnelerin hangi yollarla mıknatıslandıklarını incelemek gerekir.

2. 2. 3. 1. Isıl kalıcı mıknatıslanma (TRM)

Kayaçlarda görülen en önemli mıknatıslanma türüdür. Yeryüzüne ulaşan magma malzemesi soğurken Curie sıcaklığından itibaren kayaçlar mıknatıslık özelliği kazanmaya başlarlar. Buna Isıl Kalıcı Mıknatıslanma (Termo Remanent Magnetization, TRM) denir. Isıl Kalıcı mıknatıslanmanın yönü o andaki dış alana paraleldir. Eğer dış alan zayıf ise, kayacın mıknatıslanması doğrudan doğruya dış alan ile orantılıdır (Strangway, 1970). Tane boyu ısı kalıcı mıknatıslanmanın karakterini etkileyen en önemli faktördür. Özellikle iri, homojen tanelerden oluşmuş kayaçlar daha küçük ve duraysız kalıcı mıknatıslanmaya, küçük tanelerden oluşmuş kayaçlar ise daha büyük ve duraylı mıknatıslanmaya sahiptir.

Doğada bulunan saf demir oksitlerin çoğu manyetik özellik göstermektedir ve bu oksit minerallerin kayaçların manyetik özellik göstermesinde büyük rolü vardır. Arkeolojik alanlarda çömlek, keramik, çanak, kiremit yığılımları, depolama çukurları, demir yığılımları, manyetik özelliğe sahip kayaçlardan meydana gelen yapı temelleri oldukça yaygın bulunmaktadır. Demirden yapılmış her türlü malzeme, pişmiş kil, bunların fırın veya ocakları sahip oldukları ısı kalıntı mıknatıslanma nedeniyle manyetik araştırmalarda yüksek genlikli belirtiler vermektedir. Yine arkeolojik aramalarda sık rastlanan keramik hammaddesi olan kil de ısıtılıp soğutulduğunda manyetik özellik kazanır. Bu yüzden arkeolojik arama çalışmalarında yeraltındaki gömülü nesnenin belirlenmesinde manyetik özelliğini ortaya koyan ısı kalıntı mıknatıslanmanın rolü büyüktür.

2. 2. 3. 2. Çökelme kalıcı mıknatıslanma

Çökelme kalıcı mıknatıslanma topraktaki sedimantasyon sırasında ferromanyetik taneciklerin yermanyetik alanı doğrultusuna yönelerek çökmesinden kaynaklanmaktadır. Sedimanter kayaç içindeki ferromanyetik tanelerin miktarı arttıkça meydana getireceği mıknatıslanmanın da şiddeti orantılı olarak artacaktır (Özdoğan vd. , 1986).

Arkeolojik arama çalışmalarında özellikle sedimantasyon ile oluşmuş yerleşim birimlerindeki kayaç içindeki ferromanyetik tanelerin içerik derecelerine göre çökmesi ile kalıcı mıknatıslanma gözlenebilmektedir.

2. 2. 3. 3. Kimyasal kalıcı mıknatıslanma (CRM)

Doğada bulunan manyetik mineraller oksitlenebilmektedirler. Manyetik bir mineral olan manyetit oksitlendiğinde hematite dönüşmektedir. Bu dönüşüm sırasında da mineral kimyasal kalıcı mıknatıslanma kazanabilmektedir. Özellikle ferromanyetik minerallerin kimyasal değişimi veya kristallenmesinde kayaç kimyasal bir kalıcı mıknatıslanma kazanır (Orbay, 1980). Özellikle kimyasal kalıcı mıknatıslanma okside olmuş kayaçlarda ve bazı metamorfik kayaçlarda görülmektedir.

Arkeolojik arama çalışmalarında, oksidasyon işleminin ve manyetik minerallerin oksidasyona uğramış olması manyetiklik özelliğini etkilediğinden ve minerallerin bu süreç içerisinde kimyasal kalıntı mıknatıslanma kazanması aranılan yapıyı belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

2. 2. 3. 4. Viskoz kalıcı mıknatıslanma

Bir cismi oda sıcaklığında bir manyetik alana bıraktığımızda bir süre sonra mıknatıslanma kazandığı görülür ve uygulanan manyetik alanın değeri arttırıldığı zaman cismin kazandığı kalıcı mıknatıslanma değeri de maksimuma ulaşabilmektedir. Bu şekilde meydana gelen mıknatıslanma eş-ısıllı mıknatıslanmadır. Bu tip mıknatıslanma türünde sıcaklık sabit kalıp, sürekli olarak manyetik alan

değeri değişmektedir. Cisim üzerine uzun sürede uygulanan manyetik alan sonunda elde edilen eş-ısıt mıknatıslanmanın şiddeti, kısa zamanda uygulanan alan sonunda elde edilen eş-ısıt mıknatıslanmanın şiddetinden daha büyüktür. İkisi arasında meydana gelen fark viskoz kalıntı mıknatıslanmayı oluşturmaktadır (Özdoğan vd, 1986).

Arkeolojik yerleşim birimlerinde sık görülen sedimanların volkanik kayalara göre, doğal kalıntı mıknatıslanması düşüktür ve sedimanların mıknatıslanmasını elde etmek oldukça güçtür. Ancak oda sıcaklığında bir cisim manyetik alan içine konulduğunda bir süre sonra mıknatıslık kazanabileceğinden, böylesi bir mıknatıslanmanın da manyetik alanın uzun süreli ve kısa süreli uygulanması sonucu elde edilebileceği düşünülebilir.

2. 2. 4. Minerallerin manyetik özellikleri ve toprak üzerindeki etkisi

Kayaçlarda sürekli mıknatıslanma taşıyan bazı minerallerin manyetik özellikleri oldukça fazladır. Özellikle kayaçların manyetik özellikleri incelenirken dikkate alınması gereken birçok mineral ve mineral serileri vardır. Arkeolojik arama çalışmalarının da en önemli ve en çok incelenen mineral grubu geniş alanda manyetik özelliklere sahip demir-titanyum oksitleridir. Bu grupta olup, doğada en çok rastlanan mineral ferrimanyetik bir madde olan manyetit'dir (Fe_3O_4). Genellikle titanyum ile birleşmiş halde bulunan manyetit ve maghemit de toprağın önemli mineralleridir. Manyetit'den sonra ikinci sırada olan maghemit kimyasal bileşimi düşük duyarlıkta olan hematit ile aynı olmasına rağmen manyetit ile aynı kristal yapıdadır ve yüksek bir manyetik duyarlık gösterebilmektedir (Clark,1990).

2. 2. 4. 1. Manyetit (Fe_3O_4)

Magnetit bir birim hücresinde 24 tane demir iyonu bulunan bir mineraldir. Bu iyonlardan 8 tanesi bir grupta olup (A grubu) spinleri birbirlerine paralel olarak sıralanmıştır. Diğer 16 tanesi ise B grubu adı altında sıralanmıştır. B grubu demir iyonları da negatif alışveriş etkileri nedeniyle A grubu iyonlarına ters yönde sıralanmıştır. Bu durumda 24 iyondan sadece 8 tanesi manyetit'in manyetik özelliklerini göstermektedir. Bundan dolayı manyetit tipik bir ferrimanyetik

cisimdir. Fakat daha çok ferromanyetik maddelerin özelliklerini taşımaktadır. Manyetitin iç direnme kuvveti (koersif kuvveti) oldukça düşük olduğundan (yaklaşık olarak 20 Oersted) manyetik yönden duraylı bir cisim olarak kabul edilemez. Ancak çok küçük boyda parçacıklardan oluşuyorsa, duraylılığı yüksek olur (Özdoğan vd. , 1986).

Arkeolojik alanlarda yapılan çalışmalarda, özellikle manyetik yöntemde kayaç ve toprağın içerdiği manyetik taneciklerin kimyasal bileşimi, içerdikleri manyetit miktarı, oksitlenmiş olması, manyetik minerallerin tane büyüklükleri ve yanma geçirmiş olması manyetik duyarlılığı etkileyen parametrelerdir. Topraktaki bu manyetik özellikler ve değişim ile ilgili ve bunları oluşturan fermantasyon hakkındaki ilk çalışmalar Le Borgne (1955) tarafından ortaya konmuştur. Araştırmacı yaptığı laboratuvar çalışmalarında, topraktaki manyetik duyarlıktaki en büyük değişimin, topraktaki demir oksitlerin dönüşümü sırasında ortaya çıktığını belirlemiştir. Topraktaki demir oksit değişimleri ile ilgili, özellikle zayıf ferri manyetik özelliğe sahip hematit güçlü bir manyetik özelliğe sahip manyetit'e sonra da başka bir oksidasyon sürecinden geçerek maghemite dönüşmektedir. Daha sonra bu konu ile ilgili Tite ve Mullins (1971) yaptığı laboratuvar çalışmaları ile toprakta oluşan yanmanın yüksek sıcaklık (450 °C) altında manyetik duyarlılığın artışı etkilemesinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

2. 2. 4. 2. Maghemit (γ -Fe₂O₃)

Maghemit manyetitin oksitlenmiş bir türü olup, doğada bol miktarda bulunmaktadır. Hemen hemen tüm özellikleri manyetite benzemektedir. Birkaç eksik demir iyonuna rağmen ters spinel yapıdadır. Kimyasal bakımdan duraysız bir yapıya sahiptir, ancak ısıtıldığında yaklaşık 275⁰ derecede, farklı bir yapıya sahip hematite dönüşmektedir (Özdoğan vd. , 1986). Maghemit birçok kayaç türünde bulunmaktadır. Özellikle tortul ortamlarda ve topraklarda nemin etkisiyle küçük manyetit parçacıkları oksitlenerek maghemiti oluştururlar. Bu şekilde oluşan maghemit ince taneli tortullarda rastlanan kalıntı mıknatıslanmanın da kaynağını oluşturur (Strangway, 1970).

Maghemit kristal yapısı açısından manyetit'e oldukça benzemektedir. İkisini ayırt etmek çok güçtür. Maghemit özellikle okside olmuş kayalarda kalıntı mıknatıslanmanın kaynağını oluşturur. Isıl kalıntı mıknatıslanma da arkeolojik arama çalışmalarında yaygın olarak en çok rastlanan demir yığılımları, keramik, fırın gibi materyallerde bulunduğundan dolayı minerallerin maghemit içermesi oldukça önemlidir. Ayrıca arkeolojik alanlarda maghemit insan yerleşiminin olup olmadığının da bir göstergesidir (Clark, 1990). Maghemit'in kimyasal bileşimi düşük duyarlılığa sahip hematit ile aynı olmasına rağmen manyetit ile aynı kristal yapıda olup yüksek bir manyetik duyarlılık gösterebilmektedir.

Arkeolojik arama çalışmalarında manyetik duyarlığın değişkenliği belirgin bir parametre olduğundan, en önemli iki mineral olan manyetit ve maghemit de manyetik duyarlılığın en büyük ölçütüdür (Schmidt, 2007)

2. 2. 4. 3. Hematit (α -Fe₂O₃)

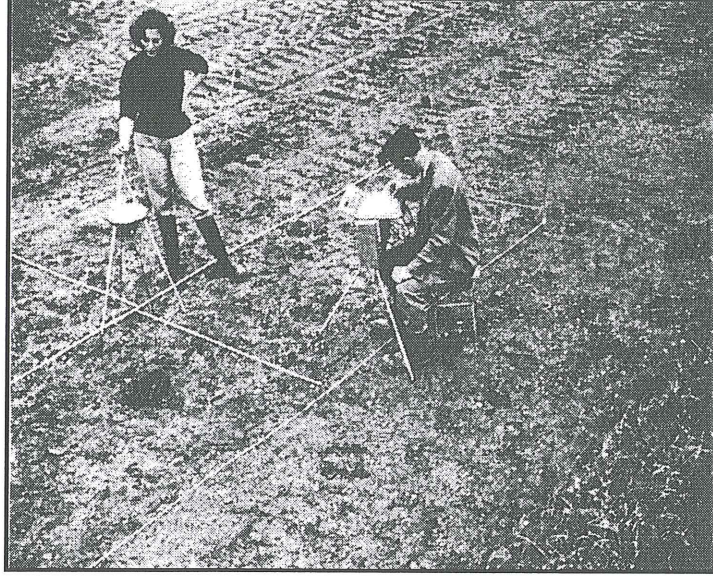
Hematit maghemit ile aynı kimyasal bileşime sahip olmasına rağmen, oluşum biçimleri oldukça farklıdır. Küçük hematit parçaları ancak 680⁰ sıcaklıktan başlayarak, manyetik alan içinde soğutulursa, ancak kalıntı mıknatıslanma kazanabilirler. Hematit genelde çökel ve volkanik kayalarda bulunur.

Arkeolojik alanlarda tipik materyallerin malzemesini oluşturan kil zayıf bir manyetik mineral olan hematit'e sahip olsa bile ısınma ve soğuma süreçleri sonucunda manyetik duyarlılığı yüksek olan demir oksitlere dönüşebilmektedir (Schmidt, 2007).

2. 3. Arkeolojik Arama Çalışmalarında Kullanılan Ölçüm Teknikleri ve Cihazlar

Arkeolojik alanlarda manyetik ölçümler sırasında en yaygın olarak kullanılan manyetometreler proton, fluxgate ve sezyum'dur. Bu manyetometrelerin en önemli avantajı hızlı ölçüm almaları ve duyarlık düzeylerinin yüksek olmasıdır. Proton manyetometresi ilk olarak Oxford Üniversitesinde Aitken (1958) tarafından kullanılmıştır (Şekil 2. 16). Oxford arkeolojik araştırma laboratuvarında geliştirilen ilk proton manyetometresi ile dedektör şişe ve tahta bir sehpa üzerinde bir operatör

ile bir noktadan diğer bir noktaya ölçü alınarak araştırmalara başlanmıştır. Daha sonra Avusturya ve Almanya'daki bazı çalışma grupları buharlı sezyum manyetometreleri yaparak, duyarlılığını 0.001 nT'ya kadar çekmişlerdir (Becker, 1995).



Şekil 2. 16: İlk proton manyetometreleri ve Aitken tarafından kullanımı (Clark, 1990).

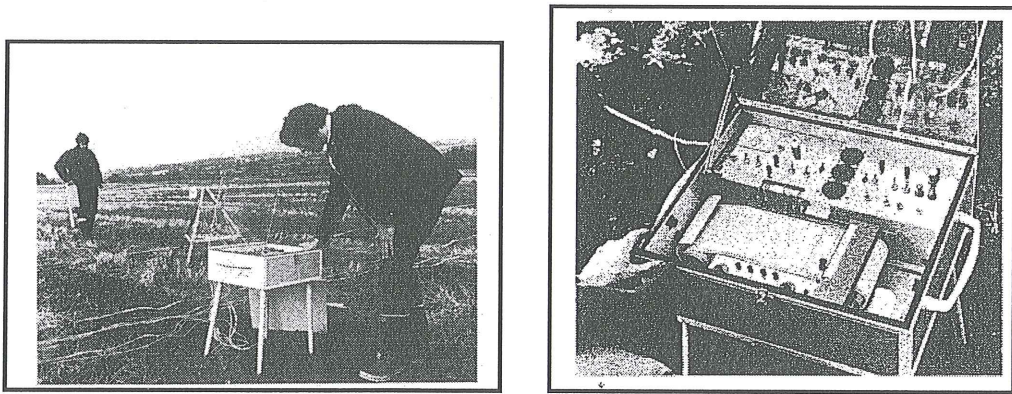
Manyetometreler dünyada birçok yerde yanmış duvarlar, çanak çömlek, tuğla, kiremit, patikalar, mezarlar, anıtlar ve su altındaki sayısız gemi batığı, demir, testi, çömlek gibi objelerin bulunmasında, toprak özelliklerinin belirlenmesi gibi detaylı çalışmalarda, boşlukların ortaya çıkarılmasında kullanılabilmektedir. Çok geniş alanlar bu aletlerle kısa sürede araştırılabilir. Teknolojik gelişmelerden dolayı günümüzde birkaç hektarlık bir alan, manyetik aletlerle bir gün içinde ölçülüp görüntülenebilmektedir (Drahor, 2006b). Manyetometreler ile yermanyetik alanının toplam alan bileşeni nT cinsinden ölçülür, fakat gradyent ölçümlerinde aralarında değişen mesafeler olan birden fazla alıcı kullanıldığından birim nT/m olarak ölçülmektedir (Moskowitz, 1995; Payne, 1981; Taylor, 1995).

Arkeolojik arama çalışmalarında daha kolay sonuç veren manyetik gradyometreler belli aralıklarla düşey veya yatay iki farklı alıcı içeren basit bir manyetometre sistemi olarak düşünülebilir. İlk kez otomatik fluxgate gradyometre kayıt sistemlerinin gelişimi ile ilgili İngiltere Northampton Briar tepesinde, İngiltere antik eserler

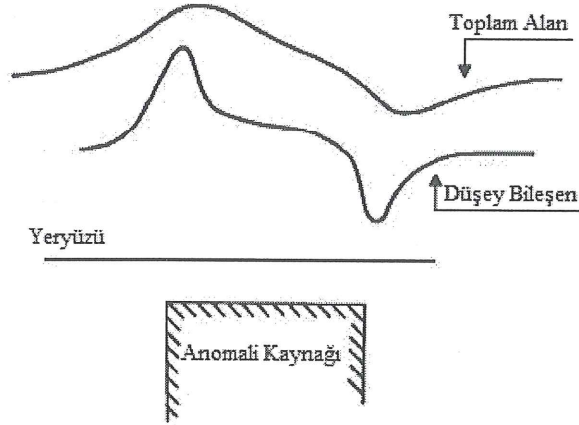
laboratuvarında üretilen Plessey gradyometresi kullanılarak ölçümler yapılmıştır (Şekil 2. 17).

Özellikle arkeolojik alanlarda sığ hedefleri haritalamak için düşey manyetik gradyantın ölçülmesinin önemi büyüktür. Anomalinin kaynağının belirlenmesinde toplam alan bileşeni ve düşey bileşen Şekil 2. 18’de görülmektedir (Breiner, 1973). Şekilden de görüldüğü üzere, düşey bileşen toplam alan bileşenine göre anomali kaynağının ortaya çıkarılmasında daha etkili bir rol oynamaktadır.

Gradyometre ölçümlerinin avantajları gürültüden bağımsız olmaları, sığ kaynakları ortaya çıkarabilmek için rejyonel manyetik anomalileri bastırması ve yermanyetik alanının etkisinin kaldırılmasına gerek duyulmadan yapılan ölçümler olmasıdır. Başka bir deyişle, gradyent ölçümleri bölgesel (regional) ve zamanla değişen manyetik fırtına etkilerini bir anlamda da olsa filtre ederek etkisini minimize etmesi sebebi ile sığ anomali kaynaklarını daha iyi çözümlediğinden arkeolojik arama çalışmalarında, diğer ölçüm tekniklerine göre kullanımı daha popülerdir. Ayrıca çok sayıda hedefin daha iyi belirlenmesine ve sığ nesneler ile daha derinde bulunanların etkisinin ayrılmasına olanak sağlamaktadırlar.



Şekil 2. 17: Otomatik fluxgate gradyometre sistemi (Clark, 1990).

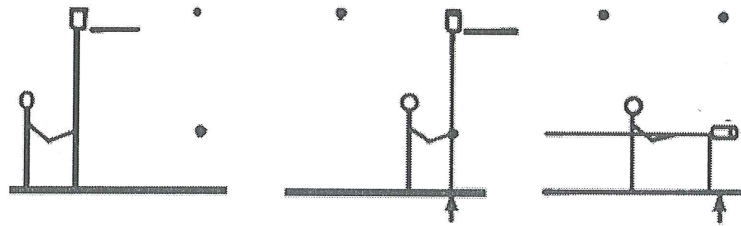


Şekil 2. 18: Bir anomali kaynağına ilişkin toplam alan ve düşey bileşen gradyometre anomalisi (Breiner, 1973).

2. 3. 1. Gradyometrik ölçüm tekniği

Gradyometre metodunun temeli her ölçü noktasında, farklı seviyelerdeki iki alıcı yardımıyla toplam alanı ölçmektir (Şekil 2.19). Bunlar yatay ve düşey pozisyonlarda değiştirilebilir ve amaca bağlı olarak kullanılır. Arkeolojik amaçlı gradyometrelerde çoğunlukla düşey değişimi ölçen gradyometreler kullanılır ve alıcılar sabit olup, bunların arasındaki fark ölçülür. Bu ölçümün temelinde, ΔT gradyent değerini, A_T manyetometrenin hassasiyetini ve Δ_r alıcılar arasındaki mesafeyi göstermek üzere aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir (Breiner, 1973).

$$\frac{A_T}{\Delta_r} \approx \lim_{\Delta_r \rightarrow 0} \frac{T_r - T_{r+\Delta_r}}{\Delta_r} = \frac{dT_r}{dr} \quad (2.3)$$



Şekil 2. 19: Gradyent ölçümleri için alıcı pozisyonları (Breiner, 1973).

Özellikle arkeolojik bölgelerdeki sığ hedefleri haritalamada kullanılan düşey manyetik gradyent ölçümleri ile yeraltında gömülü yapıların ayrıntılı görüntülerini elde etmek olasıdır. Bu ölçüm tekniğinde yeraltında aranılan yapının derinliğine göre alıcıların aralıklarının belirlenmesi gereklidir ve bu işlem başlangıçta yapılacak bir test ölçümü ile başarılabılır. Böylece uygun aralık belirlendikten sonra yapılacak ölçümlerle yeraltındaki yapıların görüntülendirilmesi daha olanaklı duruma gelir. Özellikle höyükler gibi çok katmanlı yapıların olduğu arkeolojik yerleşmelerde bu tür bir çalışmanın sabit aralıklı gradyent çalışmalarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir (Drahor ve Kaya, 2000)

2. 3. 2. Veri toplama ve değerlendirme ilkeleri

Arkeolojik alanda, jeofizik ölçümlere başlanmadan önce çalışmanın amacına göre alanın gridlenmesi gerekmektedir. Genellikle geniş ölçekli manyetik araştırmalarında 20 x 20 veya 10 x 10 grid aralıkları alınarak, elde edilen manyetik veriler birleştirilip uygun veri işlem teknikleri kullanılarak, daha geniş manyetik görüntüler elde edilir (Drahor, 2006b). Gridleri oluşturan profil aralıkları, çalışma alanındaki duruma göre belirlenir. Ölçüm noktalarının sıklığı çalışma yöntemine göre değişebilir.

Arazi çalışmaları sırasında, özellikle proton manyetometresi kullanılırken, veri toplama sırasında alıcının kuzeye yönlendirilmesi ve dik tutulması gerekmektedir. Gradyometreler ile yapılan ölçümlerde ise yürüme hızının uygun olması ölçümleri etkileyen önemli bir faktördür. Arkeolojik alanlarda manyetik yöntem uygulanırken ölçümler sırasında yermanyetik alanı zamana bağlı bir değişim geçireceğinden kullanılan cihazın özelliklerine bağlı olarak, belli bir yerde ve belli zaman aralıklarında baz alma ve aletin kalibrasyonunun ayarlanması da gerekmektedir.

Arazi çalışmalarından sonra yeraltındaki gömülü yapıların belirlenmesinde, elde edilen verilere uygun veri-işlem ve görüntülendirme tekniklerinin uygulanması oldukça önemlidir. Özellikle manyetik yöntem için, her noktada ölçülen manyetik alan derinden yüzeye tüm yapıların etkisini içermektedir. Arkeolojik aramalar sığ çalışmalar olduğundan derinlerdeki nesnenin etkisi yüzeydekini kapatabilir. Manyetik alan ölçümleri yükseklik ile birlikte değiştiğinden, manyetik alan

etkisinden dolayı hedefi belirlemede kullanılacak alıcı yüksekliği önem taşır. Veriler bilgisayar ortamında değerlendirilerek, değişik ölçek ve büyüklüklerde görüntüler oluşturulabilir (Drahor, 2006b).

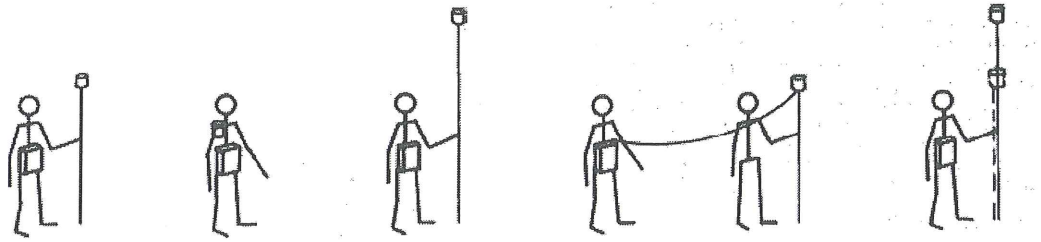
Arkeolojik alanlar oldukça karmaşık bir yüzeyaltı dağılımına sahiptirler. Bu tür yapılar genel olarak sığ derinliğe sahip olduğundan ölçümlerde doğrudan belirlenebilirler. Fakat aranılan yapı çok derinde bulunuyorsa, yapının vereceği belirti genliği hızla düşüş gösterebilir ve yapının gürültü faktörü ile örtünme olasılığı ise artabilir (Drahor, 1993). Bu yüzden arkeolojik arama çalışmaları her ne kadar sığ çalışmalar olsa bile araziden elde edilen verilere çeşitli sinyal analiz yöntemleri (güç spektrumu, kutba indirgeme, aşağı-yukarı analitik uzanım vb.) uygulanması aranılan yapının daha açık ortaya konmasını sağlar. Arkeolojik çalışmalarda yeraltındaki yapılar eğim, yapının derinlik uzanımı, mıknatıslanma şiddeti gibi çeşitli parametreleri kapsar. Bütün bu parametreler, gözlemsel anomalilerden saptanamayabilir. Bu yüzden anomaliyi indirgediğimiz geometrik şeklin manyetik anomalisi hesaplanıp, gözlemsel anomali ile karşılaştırılır. Belirlenen model parametreleri arasında uyum sağlanana kadar denemeler sürdürülerek, arzulanan yapının özellikleri saptanır.

Arazi çalışmalarından sonra, verilerin değerlendirilmesinde, görüntülendirme tekniklerinin de büyük önemi vardır. Özellikle potansiyel kaynaklı verilerin değerlendirilmesinde küçük dalga boylu değişimler görüntüleme teknikleri ile daha belirgin hale getirilebilir. Anomalilerin kenar çizgilerinin belirlenmesi, gölgelendirme ve benzeri görüntü işleme teknikleri kullanılarak, daha fotografik bir görüntünün elde edilmesine ve yapı anomalilerinin daha belirgin hale getirilmesine çalışılır. Arkeolojik alandan elde edilen verilerin görüntü kalitesinin artırılması açısından bu tekniklerin rolü büyüktür (Drahor, 2006a).

2. 3. 3. Arkeolojik çalışmalarda kullanılan manyetometreler

2. 3. 3. 1. Proton manyetometresi

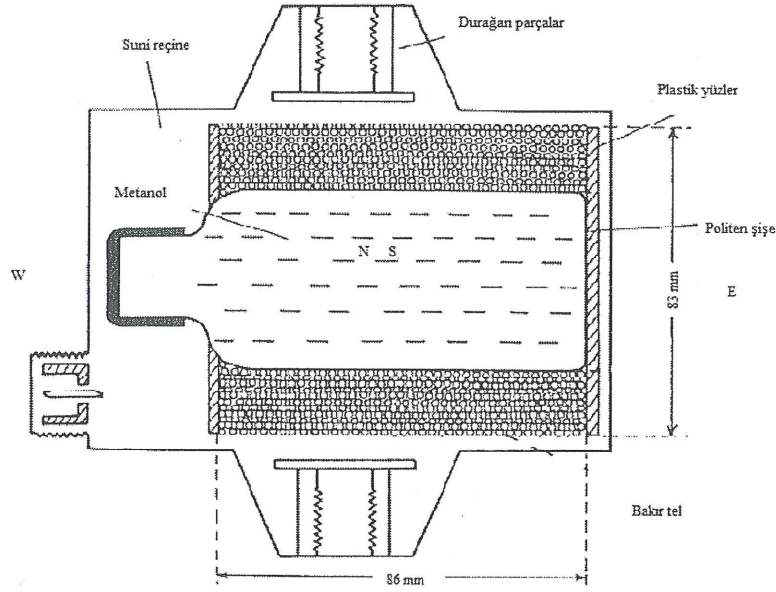
Arkeolojik arama çalışmalarında manyetik yöntemde genellikle, hareketli sistemlerle ölçü almaya uygun, hızdan çok etkilenmeyen, hızlı bir şekilde ölçü alabilen Proton manyetometreleri kullanılmaktadır. Ayrıca Proton manyetometreleri ile ölçme değerleri kolaylıkla manyetik bant ya da diskete aktarılabilir, yerden yapılan ölçümlerde sabitlemeye ihtiyaç duyulmadan, ölçüler doğrudan sayısal göstergeden okunur. Proton manyetometreleri genelde grafik görüntüsü verebilir, görüntüleyebilir ve veriyi arazide depolayabilir (Schilinger, 1990). Bu aletler demir içermeyen elle taşınan ya da araştırmacının sırtına konacak bir alıcı ve önüne emniyetli bir şekilde konulmuş bir işlem ünitesi içerir. Alıcı çok sayıda hidrojen iyonu açığa çıkaran sıvı (kerosen) içerir. Arazi çalışmaları sırasında proton manyetometreleri kullanılırken alıcı kuzeye yönlendirilerek ya tek kişi, ya da iki kişi ile farklı şekilde taşınabilir (Şekil 2. 20). İşlem ünitesi enerji kaynağı olması açısından tek kullanımlık bataryalar veya şarj edilebilir bataryaları içerir.



Şekil 2. 20: Proton manyetometresinde alıcı taşıma pozisyonları (Breiner, 1973).

Arkeolojik arama çalışmalarında kullanılan proton manyetometrelerinin ilk dizaynlarından biri Hall (1962) tarafından geliştirilmiştir. Proton manyetometrelerinin fiziksel olarak çalışma prensibinin temelini her su molekülünde iki tane bulunan protonlar yani hidrojen çekirdekleri oluşturmaktadır. Spin hareketleri nedeni ile protonlar mıknatıslanmışlardır. Böylece çok küçük bir mıknatıs veya manyetik bir dipol gibi davranırlar. Proton serbest deviniminin prensibi Şekil 2. 21'de verilmiştir. İçerisinde protonca zengin bir sıvı olan polthen şişesi içerir. Şişe protonların doğuya yönelim açılarını ve dolayısı ile sinyalin

genliğini maksimuma çıkarmak için doğu-batı doğrultuludur. Şekildeki polarizasyon bölgesi içindeki bobinden 1 amper doğru akım geçen ve protonları eksenine paralel yönde hareket ederek bir elektromıknatıs gibi davranan dedektörü göstermektedir. Protonlar yermanyetik alanı doğrultusunda dizilim gösterirler. Çünkü spin hareketleri nedeniyle protonlar bobinde bir alternatif akım meydana getirirler (Clark, 1990).



Şekil 2. 21: Proton manyetometresi (Clark, 1990).

Proton manyetometresinin fiziksel olarak çalışma prensibinin temel nedenlerinden bir diğeri atom çekirdeğinin özelliklerini kullanarak Larmor prosesyon hareketi oluşturabilmesidir. Hidrojen atomunu oluşturan spinler daima bir mıknatıs gibi davranırlar ve normal ortamda ise bu spinler gelişigüzel sıralanmışlardır. Bu durumda manyetik alanları birbirlerini yok eder ve bileşke manyetik alanı sıfıra eşit olur. Daha sonra spinler yermanyetik alan doğrultusunda bir dış alan etkisiyle sıralanırlar. Dış alan ortadan kalktığı zaman ise dağınık bir şekilde sıralanırlar (Şekil 2. 22). Böylece yermanyetik alan doğrultusunda, yermanyetik alanının şiddeti ile kontrol edilen Larmor frekansı adını verdiğimiz bir frekansla titreşirler ve

$$f = \frac{M}{2\pi L} x F \quad (2.4)$$

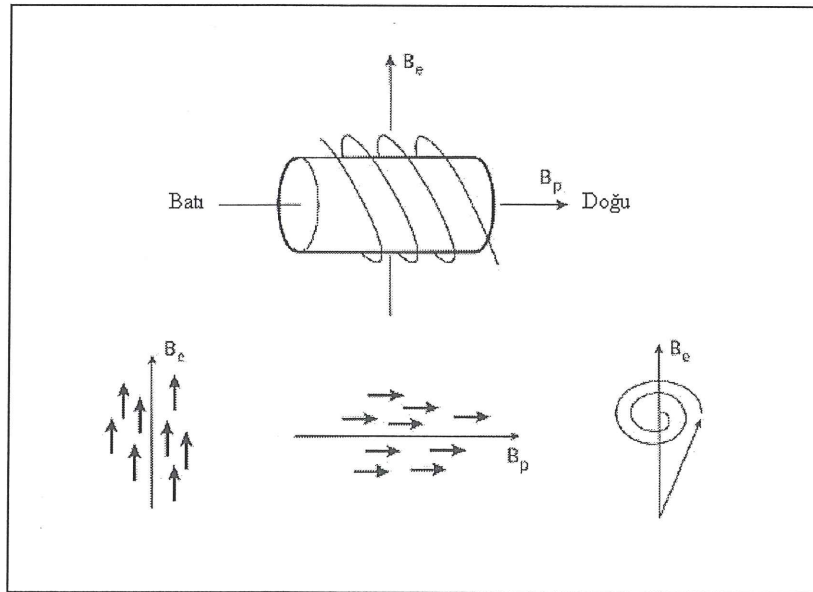
$$f = \frac{GF}{2\pi} \quad (2.5)$$

olarak tanımlanır.

Burada; f :prosesyon frekansı M :protonun manyetik momenti L : protonun açısal momenti F :Toplam alan şiddeti G : jiromanyetik oran= $0,267513 \text{ nT}^{-1} \text{ sn}^{-1}$ olarak tanımlanır.

Böylece, G bağıntısında yerine yazılırsa ve gerekli işlemler yapılırsa,

$F = 23,4874xf$ bulunur.



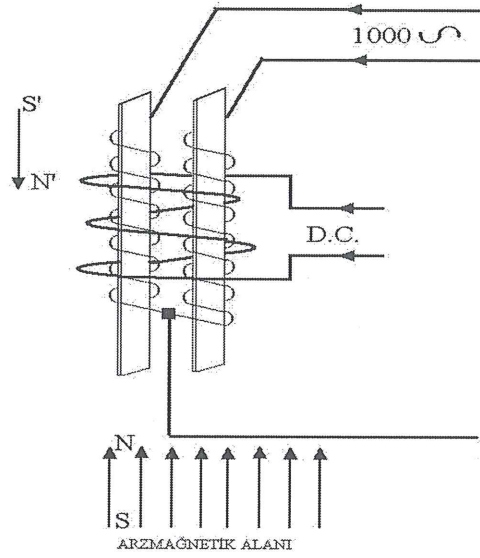
Şekil 2. 22: Proton manyetometrelerinin çalışma ilkesi (Telford, 1981).

2. 3. 3. 2. Fluxgate manyetometresi

Arkeolojik arama çalışmalarında fluxgate manyetometresi yaygın olarak kullanılır ve genellikle geniş ölçekli arazi çalışmalarında kullanımı hızlı ve hafif olduğundan dolayı oldukça fazladır.

Fluxgate manyetometresinde fiziksel olarak çalışma prensibinin temelini birincil ve ikincil olarak adlandırdığımız bobinler, sargı şeklinde manyetik geçirgenliği çok

yüksek iki metal çekirdek üzerinde bulunmaktadır. Çekirdek yüksek geçirgenliğe sahip olduğu için, yermanyetik alanının etkisiyle doygunluk mıknatıslanmasına ulaşarak, ikincil bobinde bir voltaj oluşur (Şekil 2. 23). Çekirdek üzerinde sargılar ters yönde bulunmaktadır. İki bobinden de yüksek frekanslı bir akım geçirildiğinde meydana gelecek manyetik alan ters yönde fakat eşit olacak, ama bileşke manyetik alan değeri sıfır olacaktır. Fluxgate manyetometresinde okunan manyetik alan değerlerinin duyarlılığı günümüzde 0. 1 ile 0. 01 nT arasında değişmektedir.



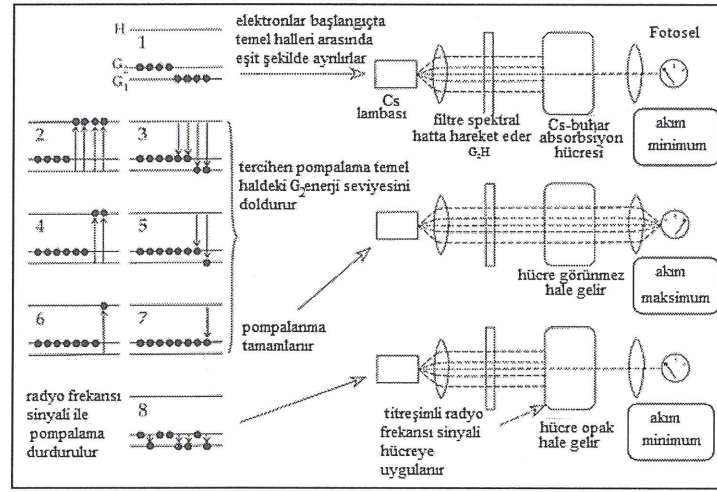
Şekil 2. 23: Fluxgate manyetometrelerinin çalışma ilkesi (Özdoğan vd, 1986).

2. 3. 3. 3. Alkali buhar (vapour) manyetometreler

Arkeoloji jeofiziğinde manyetik arama çalışmalarında son yıllarda, gelişmiş teknolojiyi de takip eden, çok hızlı ve yüksek duyarlığa sahip manyetometreler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle alkali buhar manyetometreler ışık saçan bir alkali metalin (potasyum, sezyum) radyo frekansı spektrumuna dayanan alıcısı haricinde proton manyetometrelerine çok benzemekte ve proton manyetometresine göre hemen hemen saniyede 10 okuma ve daha fazla (0.01nT) duyarlılığa sahiptir.

Alkali buhar manyetometreleri optik pompaj manyetometresi ya da hücre manyetometresi olarak da bilinirler. Bu manyetometrelerin fiziksel çalışma esası var

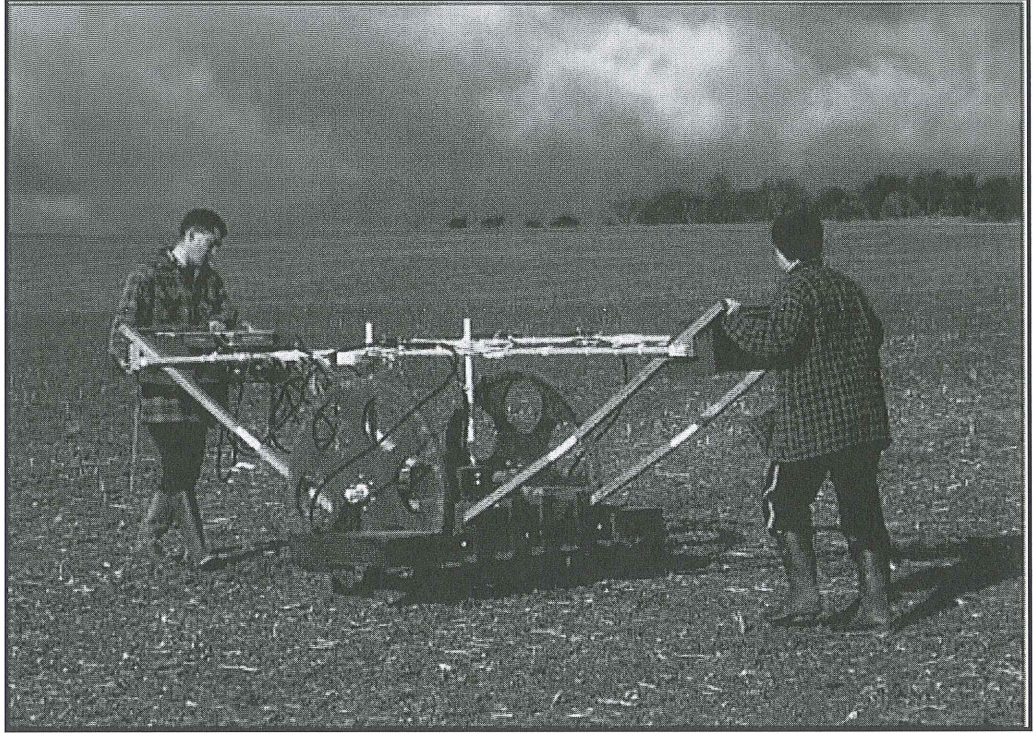
olan manyetik alan etkisi ile temel hallerindeki enerji seviyelerinden enerji kaybetmesine dayanır. Bir alkali metalin buharını kullanan bir şişe içerirler. Şekil 2. 24'de görüldüğü üzere, elektronların temel hallerinden daha yüksek bir enerji seviyesine geçmeleri için gerekli enerjiyi barındıran polarize olmuş bir ışık ışını geçmektedir. G1 ve G2 arasında geçişi sağlamak için radyo frekansı sinyali uygulanarak G1 tamamen boşalıp, G2 dolana kadar bu işlem devam eder. Bu noktada soğurulmuş hücreler görünmemeye başlar. Uygulanan sinyalin frekansı ise jiromanyetik alan ile doğru orantılıdır (Lowrie, 2007).



Şekil 2. 24: Alkali Buhar Manyetometrelerinin fiziksel çalışma ilkesi (Lowrie, 2007).

2. 3. 3. 4. Sezyum manyetometresi

Arkeolojik arama çalışmalarında Sezyum manyetometreleri diğer manyetometrelere oranla yüksek hassasiyet özelliğinden dolayı daha avantajlıdır ve proton manyetometrelerine göre daha duyarlı ölçüler alabilmek amacı ile geliştirilmiştir. Yermanyetik alanının toplam alan bileşeni proton manyetometrelerinde 0.2-1nT arasında bir duyarlılıkla ölçülebilen sezyum manyetometresinde duyarlık çoğu aramada 0.05 nT civarında ölçülebilmektedir (Şekil 2.25). Ancak bir yönü gösterme eğiliminde olduklarından doğru sinyalleri alabilmek için dikkatli kurulmalıdırlar. Bazı durumlarda istenmeyen sinyalleri yok etmek için, ikinci bir alıcı kullanımını gerektirmektedirler (Oswin, 2009).



Şekil 2. 25: Dört Scintrex SM4 sezyum manyetometresinin tekerlekli bir aparat yardımıyla kullanımı (Oswin, 2009).

Sezyum manyetometrelerinin fiziksel çalışma esası alkali metallerin manyetik alanın olmadığı durumlarda meydana getirdiği enerji değişimine dayanmaktadır. Eğer bir gazı belirli bir ışık veya belirli frekanslarda radyo dalgaları ile ışınlarsak, elektronlar bir üst seviyedeki enerji bölümüne geçebilirler. Bu şekilde bir üst seviyeye toplanmış enerji aniden serbest bırakılırsa, daha önce aldıkları enerjiyi geri bırakırlar. Bu enerji değişimi

$$\Delta = h \cdot f \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir.

Burada f radyasyon frekansı, h ise Planck sabitidir (6.62×10^{-34} jul-s). Manyetik alanın olmadığı ortamlarda alkali metaller (Rb, Na, Ca ve He) kullanılırlar. Enerji değişimi oluşan radyasyon frekansı ile orantılıdır. Bu şekilde bir enerji seviyesinin aşırı yoğunlaştırma işlemine optik pompalama denir.

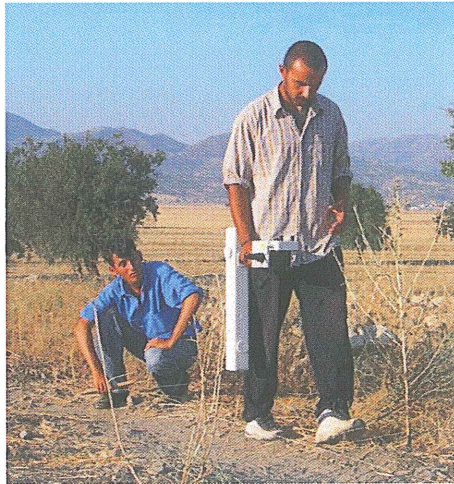
Bu olguyu kullanarak manyetometre tasarımları için Cs, Rb, Na ve He gibi elementleri kullanırız. Örneğin Rb manyetometrelerinde Rb buharı optik pompalayamaya tutulursa elektronlar manyetik alan ekseninde Larmor frekansına göre dönme hareketi yaparlar. Yanıp sönmeler Larmor frekansında değişik ışık yoğunlukları oluştururlar. Fotoseldeki sinyal büyütülerek fotoseldeki sarıma geri beslenirse, sarım-büyültücü sistem bir osilatör olur ve frekansı da;

$$F = 2\pi f/g \quad (2.7)$$

olur. Burada F yer manyetik alanı, f frekans ve g jiromanyetik sabit. Sistemin yaptığı yalnızca osilatördeki frekansı ölçmesidir. Bu sistemlerle 0.001 nT duyarlılıkta ölçümler yapılabiliriz.

2.3.3.5. Manyetometre sistemleri

Arkeolojik alanlarda büyük çalışma sahalarında hızlı ve hassas ölçüm alması açısından çoklu manyetometre sistemlerinin kullanımı oldukça elverişlidir. Hem doğru ölçüm alma hem de zaman kazanma açısından bu tip sistemler geliştirilmiştir. Özellikle hedefe daha çabuk ulaşabilmek ve sığ bölgelerdeki yapıları daha iyi belirlemek amacı ile birçok gradyometre sistemi geliştirilmiştir.



Şekil 2. 26: FM36 gradyometresi.

Dünyada arkeolojik araştırmalarda uzun yıllardan beri kullanılan FM36 Fluxgate gradyometresi ise Şekil 2. 26'de görölmektedir. FM256 Fluxgate manyetometresi hızlı bir araştırma için, güçlü fonksiyonlara sahiptir. Hem işitsel hem de görsel çalışma pozisyonu sağlar. Özellikle hızla değişen alanlar için detaylı veri elde ederek, 256000'e kadar varan bir okuma hafızasına sahiptir. Kullanımı oldukça kolay olan ve Şekil 2. 27'de göröldüğü gibi ikili (dual) kullanım olanakları olan bu cihaz



Şekil 2. 27: FM256 Gradyometresi (www. geoscan. com).

olan ve Şekil 2. 27'de göröldüğü gibi ikili (dual) kullanım olanakları olan bu cihaz aynı zamanda Geoscan tarafından üretilen FM256 gradyometresi kombineli kullanım olanağına da sahiptir. Bu özellikleri cihazın yaygın kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Arkeoloji jeofiziğinde manyetik arama çalışmalarında son yıllarda, gelişmiş teknolojiyi de takip eden, çok hızlı ve yüksek hassasiyete sahip manyetometreler kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2. 28: Çoklu alıcı sistemleri (www.ifg.uni-kiel.de)



Şekil 2. 29: Çoklu alıcı sistemleri (www.ifg.uni-kiel.de)

Bunlar son yıllarda arkeoloji jeofiziği çalışmalarında sıklıkla kullanılan Motorized Multi-Sensor System dediğimiz ya da çoklu alıcı sistemleri olarak adlandırdığımız trayler modellerle yapılan çalışmaları simgeler. Sisteme aralarında ki uzaklık mesafeleri değişen 6 ya da daha fazla alıcı monte edilerek, sürekli ölçüm alınırken, sistemin ön tarafına yerleştirilen bilgisayar ile de ölçüm alanının haritalanması yapılabilir. Çalışma alanınının büyük olduğu yerlerde, bu sistem bir traktöre bağlanarak da kullanılabilir (Şekil 2. 29).

3. YÖNTEMLER

3. 1. Veri İşleme ve Modelleme Teknikleri

Çalışmada veri analizi kapsamında, Euler dekonvolüsyon tekniği, ters süzgeçleme, modelleme (2D ters-çözüm) yöntemleri kullanılmıştır. Verilerin haritalanmasında Surfer programı, verilerin analizinde ise Euler dekonvolüsyon için RegDer (Pasteka, 2006), ters süzgeçleme için (Tsokas vd, 1992) ve 2D ters-çözüm (inversion) için MAG2D (Stocco vd, 2009) programları kullanılmıştır. Uygulanan bu yöntemlerin kuramsal içerikleri izleyen bölümlerde sunulmaktadır.

3. 1. 1. Euler Dekonvolüsyonu

Potansiyel alanlarda, manyetik verilerin en yaygın kullanım alanlarından bir tanesi de, manyetik kaynakların derinliklerinin saptanmasıdır. Bu yöntemlerden biri olan Euler dekonvolüsyonu herhangi bir homojen alana uygulanabilir, örneğin manyetik verinin analitik sinyali gibi. Fazla sayıdaki verinin yorumlanmasında, Euler dekonvolüsyonu gibi otomatik yorumlama tekniklerinden yararlanılabilir. Bu birçok basit kaynağın (dipol ya da dipol çizgileri gibi) neden olduğu anomalileri göz önünde bulundurur ve bu kaynakların pozisyonlarını ve derinliklerini ortaya koyar. Bu da veriyi daha detaylı yorumlama için temel olarak kullanılabilir. Manyetik veriler sık ve çok sayıda toplanıp, geniş bir alanın yorumlanmasına gereksinim duyulduğundan, Euler dekonvolüsyonu, yorumcuya verinin ilgilenilen kısmını detaylı bir şekilde modelleyebilmede yardımcı olur.

Manyetik arama çalışmalarında kaynağın yerinin ve derinliğinin belirlenmesinde ilk çalışmalar (Vacquier et al. ,1951) tarafından yapılmıştır. Thompson (1982)'deki çalışmasında ise daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak derinlik bulma işlemini gerçekleştirmiş ve Euler homojen denklemini (kısaltması EULDPH olarak) ortaya koymuştur. Euler homojen denklemine uygulanarak geliştirilen bu yöntem

Euler dekonvolüsyon yöntemidir. Profillere göre gridlenmiş verilere Euler homojen denklemini, kaynakların derinlik ve yerlerini bulmak için uygulanan bir yöntemdir. Profillerin üzerinde farklı derinliklerin çözümü için hesaplamalar, farklı pencereler kullanılarak yapılır. Euler dekonvolüsyon yönteminde, yapının sabit bir geometriye ve sabit bir fiziksel parametreye sahip olduğu kabul edilerek matematiksel olarak yapının geometrisi tanımlanmaktadır. Potansiyel alanların kaynağının konumu ve derinliği ile jeolojik süreksizliklerin belirlenmesinin yanı sıra, yöntem arkeoloji jeofiziği çalışmalarında da oldukça hızlı sonuç vermektedir. Euler Dekonvolüsyon tekniğinde önemli iki parametre olan yapısal indeks ve veriye uygun seçilen pencere boyu arkeolojik arama çalışmalarında çözüme çabuk ulaşılması açısından önemlidir.

Bir $f(x, y, z)$ fonksiyonu, x eksenini kuzeyi, y eksenini doğuyu, $z = 0$ (z aşağıya doğru pozitif) göstermek üzere $f(x, y, z)$ fonksiyonu n 'inci dereceden homojen denklem olarak ifade edilir.

$$f(t_x, t_y, t_z) = t^n f(x, y, z) \quad (3.1)$$

Eğer $f(x, y, z)$ n 'inci dereceden homojen bir fonksiyon için Euler diferansiyel bağıntısı (Hood, 1965) tarafından

$$x \frac{\partial T}{\partial x} + y \frac{\partial T}{\partial y} + z \frac{\partial T}{\partial z} = nT \quad (3.2)$$

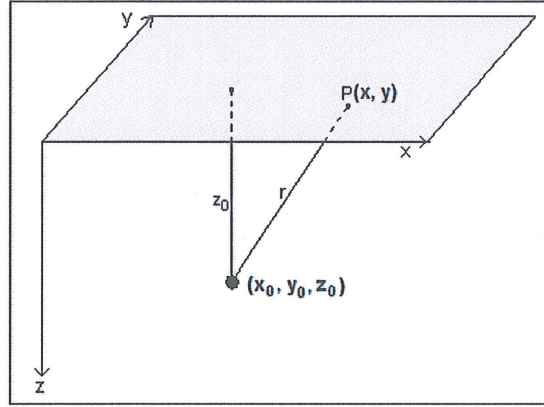
olarak verilmiştir. Dipolar özellikteki manyetik anomali kaynaklarının genel manyetik anomali bağıntıları,

$$f(x, y, z) = \frac{M}{r^n} \quad (3.3)$$

olarak verilir. Burada M kaynağın mıknatıslanma özelliklerini içeren genlik terimidir, r kaynak ve gözlem noktaları arasındaki uzaklığı temsil eder. Üç boyutlu bir ortamda kartezyen koordinat sisteminde r uzaklığı;

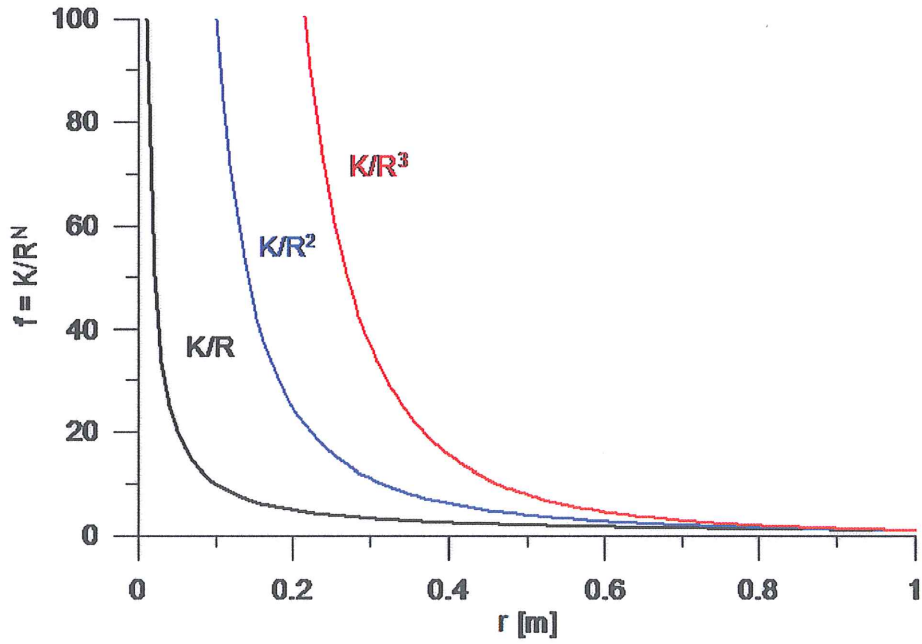
$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (3.4)$$

olarak yazılır (Şekil 3. 1).



Şekil 3. 1: Basit bir nokta kaynak modeli için kaynak lokasyon koordinatları ve r uzaklığının tanımı.

Şekil 3. 2’de homojen kaynakların üç farklı azalma derecesi ($N=1,2,3$) için genel manyetik anomali değişimi görülmektedir. Burada r uzaklığı arttıkça bu değişim azalma derecesinden bağımsız olarak sabit ve doğrusal bir özellik kazanmaktadır. Daha küçük r uzaklıklarında ise bu duraylık küçük azalma derecelerinde daha hızlı gelişmektedir.



Şekil 3. 2: $r=0-1$ metre aralıklarında ve $N=1,2,3$ için homojen fonksiyonun (f) değişimi (Thompson, 1982).

Gömülü bir kaynağın yatay lokasyonları x_0, y_0 ve derinliği z_0 olmak üzere genel toplam bağıntısı

$$T(x, y) = f[(x - x_0), (y - y_0), (z - z_0)] \quad (3.5)$$

olarak yazılır.

Ölçü düzleminin yeryüzü olması durumunda $z = 0$ olacağından Euler dekonvolüsyon bağıntısı

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} - z_0 \frac{\partial T}{\partial z} = nT(x, y) \quad (3.6)$$

olarak elde edilir.

Toplam alan anomalisi içinde sabit bir bölgesel alan değeri (B) varsa bu durumda,

$$\Delta T(x, y) = T(x, y) + B \quad (3.7)$$

yazılır. Buradan T çekilip, (3. 6) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$(x - x_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial y} - z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = n(\Delta T - B) \quad (3.8)$$

elde edilir. (3. 8) bağıntısında basit cebirsel işlemler yapılırsa,

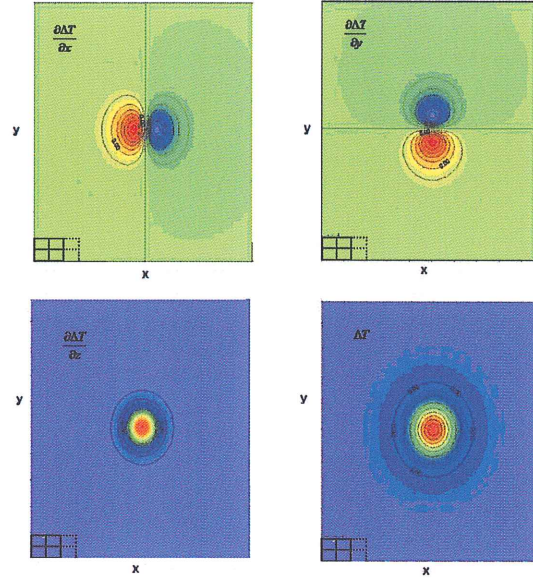
$$x_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + y_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial y} + z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = x \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + y \frac{\partial \Delta T}{\partial y} + N(\Delta T - B) \quad (3.9)$$

bulunur. Burada, $N=-n$ olduğuna dikkat edilmelidir. Thompson (1982), yapısal indeks için $-n$ yerine N değerini kullanmayı önermiştir. Bu bağıntı, belli bir boyuttaki bir grid penceresine göre açıldığında doğrusal bağıntılar sistemi sunar. Örneğin 3x3 boyutunda bir pencere için 9 adet veri kullanılacağından (3. 9) eşitliği için açık matris gösterimi böyle bir pencere için

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta T_1}{\partial x_1} & \frac{\partial \Delta T_1}{\partial y_1} & \frac{\partial \Delta T_1}{\partial z_1} \\ \frac{\partial \Delta T_2}{\partial x_2} & \frac{\partial \Delta T_2}{\partial y_2} & \frac{\partial \Delta T_2}{\partial z_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial \Delta T_9}{\partial x_9} & \frac{\partial \Delta T_9}{\partial y_9} & \frac{\partial \Delta T_9}{\partial z_9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \frac{\partial \Delta T_1}{\partial x_1} + y_1 \frac{\partial \Delta T_1}{\partial y_1} + N(\Delta T_1 - B) \\ x_2 \frac{\partial \Delta T_2}{\partial x_2} + y_2 \frac{\partial \Delta T_2}{\partial y_2} + N(\Delta T_2 - B) \\ \vdots \\ x_9 \frac{\partial \Delta T_9}{\partial x_9} + y_9 \frac{\partial \Delta T_9}{\partial y_9} + N(\Delta T_9 - B) \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

olarak yazılabilir.

Şekil 3. 3 de bu işlemin örnek veriler üzerindeki işleyişi verilmektedir.



Şekil 3. 3: Euler dekonvolüsyonunun toplam alan ve türev haritaları üzerindeki işleyişi $\partial \Delta T / \partial x$: x doğrultulu birinci türev, $\partial \Delta T / \partial y$: y doğrultulu birinci türev, $\partial \Delta T / \partial z$: z birinci düşey türevi temsil eder (3×3 'lük hareketli pencere ve veriler örnek olarak gösterilmiştir).

Zaman ortamında bir fonksiyonun türevi, frekans ortamında birçok sayıda dalga sayısı ile çarpımına denktir.

$$\frac{d^n}{dx^n} f(x) \leftrightarrow (ik)^n F(k) \quad (3.11)$$

Yatay türevler Fourier ortamında kolayca alınabilmektedir (Pederson, 1989). Türev teoremine göre $\phi(x, y)$ bağlı, x ve y doğrultulu yatay türevler aşağıdaki gibi verilmiştir (Blakely, 1995).

$$F\left[\frac{d^n \phi}{dx^n}\right] = (ik_x)^n F[\phi] \quad (3.12)$$

$$F\left[\frac{d^n \phi}{dy^n}\right] = (ik_y)^n F[\phi] \quad (3.13)$$

Yatay bir yüzeyde hesaplanmış bir fonksiyonu n. dereceden x ve y'ye bağlı türevlere dönüştüren filtreler $(ik_x)^n$ ve $(ik_y)^n$ dir (Blakely, 1995).

Düşey türevler herhangi bir doğrultuda potansiyel alan içinde bulunabilirler. Yukarı uzanım ile düşey türevler açıklanabilir. Yeryüzünden z kadar bir yukarı uzanım artışında, $\Delta z > 0$ olduğunda düşey türev aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Blakely, 1995).

$$\frac{\partial}{\partial z} \phi(x, y, z) = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\phi(x, y, z) - \phi(x, y, z - \Delta z)}{\Delta z} \quad (3.14)$$

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

Benzer şekilde, düşey türevi n. dereceden, potansiyel alan içinde, Fourier dönüşümü ile tanımlayabiliriz.

$$F\left[\frac{\partial^n \phi}{\partial z^n}\right] = |k|^n F[\phi] \quad (3.15)$$

3. 1. 1. 1. Euler dekonvolüsyonunda yapısal indeksin (n) önemi

Euler dekonvolüsyon tekniğinde yapısal indeks kavramı kaynağın derinliğini belirleme de önemli bir parametredir. Bu parametrenin doğru seçilmesi çözümleme sonuçlarını daha doğru kılacaktır. Euler dekonvolüsyon çözümlerinde dağınık bir kümeleşme ve saçılım gösteren sonuçların güvenilirliği tartışılır.

Reid ve diğ. (1990) ve Thompson (1982) yapısal indeks'in seçimi ile ilgili yaptıkları çalışmalar sonucunda en az saçılım gösteren yapısal indeksi doğru sonuç olarak kabul etmişlerdir.

Yapısal indeks parametresi, basit geometrik şekillere benzetilerek yapılan kuramsal çalışmalar sonucunda tanımlanmıştır (Stavrev, 1997).

Tablo 3. 1: Basit modellerin yapısal indeksleri (Stavrev, 1997).

<i>Model</i>	<i>Yapısal İndeks(N)</i>
Çizgisel dipoller	2. 0
Nokta dipol	3. 0
Yarı sonsuz çizgisel dipoller	2. 0

3. 1. 1. 2. Denklem sisteminin çözümü

(3. 10) eşitliği simgesel olarak

$$Ax = b \quad (3.16)$$

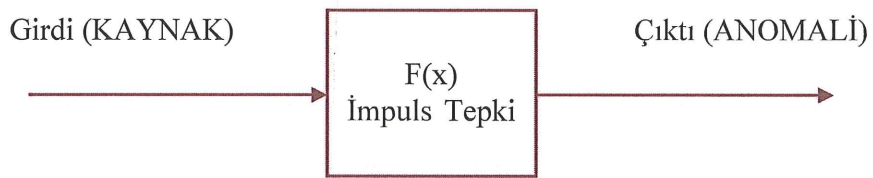
yazılır. Bu hareketli pencere diğer grid noktalarında kaydırılarak, tüm harita boyunca işlem sürdürülür. (3. 16) bağıntısından kaynak lokasyon parametrelerini (x_0 , y_0 ve z_0) içeren x bilinmeyen vektörü, grid penceresinin her kaydırılmasında çözülür. Bununla beraber (3. 10) bağıntısından çözümün elde edilebilmesi için A matrisinin kare matris olması ve determinantının 0'dan farklı olması gerekir. En küçük grid penceresinde bile (2x2) A'nın kare olmayacağı açıktır. Bu durumda aşırı

tanımlı bir sistem elde edilir ve çözüm için en küçük kareler yöntemi yaygın olarak kullanılır.

Yukarıdaki (3. 16) bağıntısında $A(n \times m)$, Jacobian (çekirdek) matrisini, x , n adet bilinmeyen parametreden oluşan bilinmeyenler matrisini, b ise araziden elde edilen veri sayısını göstermektedir. Bu tip dizeylerin çözümünde parametre sayısının veri sayısından az veya çok oluşuna göre sistem değişmektedir. Eğer veri sayısı m , parametre sayısı n den daha büyükse ($m > n$) ise elde edilen parametrelerin çözümü doğruya yakındır ve çözüm durağandır. Veri sayısı m , parametre sayısı ile aynı ise ($m = n$) ise bir tane sıfır hata veren çözüm vardır. Eğer veri sayısı m , parametre sayısından eksik ise ($m < n$) ise, denklem model parametrelerinin tam çözümü için gerekli bilgileri kapsamıyor demektir. Problem bu durumda eksik tanımlıdır (Menke, 1984).

3. 1. 2. Ters süzgeçleme (inverse filtering) tekniği

Jeofizikte bir sinyal, yer içerisinde doğal veya yapay yolla oluşan bir girdiye karşı yerin doğrusal bir filtre gibi davranması ile biçimlenmektedir. Başka bir deyişle, bir jeofizik anomali yerin doğal ya da yatay yolla tepkisi ile oluşmaktadır. Yer bu tepkisi impuls tepki olarak tanımlanır (Şekil 3. 4).



Şekil 3. 4: Ters problem çözümünde dekonvolüsyon (Canitez, 1992'den düzenlenmiştir).

Ters süzgeçleme tekniği, jeofiziğin veri-işlem ve modelleme alanlarında uygulanabilmektedir. Ters süzgeçleme'nin esası, evrişim işleminin tersi olarak tanımlanabilir. Evrişim işleminde, $f(t)$ ve $h(t)$ evrişimi yapılan fonksiyonlar $y(t)$ ise çıkıştaki evrişim fonksiyonu

$$y(t) = f(t) * h(t) \quad (3.17)$$

olarak verilir.

Eğer, $y(t)$ ve $f(t)$ verilirse, $h(t)$ yi elde etme işlemine ters süzgeçleme ve bu işi yapan sistem ters süzgeç olarak tanımlanır.

Böylece,

eğer $f(t)$ yi elde etmek için $y(t)$ ile evrişime tabi tutulması gereken fonksiyon $h'(t)$ ise;

$$f(t) = y(t) * h'(t) \quad (3.18)$$

olarak verilir.

$y(t)$ (3. 17) bağıntısı yazılırsa

$$f(t) = f(t) * h(t) * h'(t) \quad (3.19)$$

olarak verilir.

Dirac delta (birim) fonksiyonunun kuramından

$$f(t) = f(t) * \delta(t) \quad (3.20)$$

olarak verilir.

Bu bağıntının kullanılmasıyla $f(t) = f(t) * h(t) * h'(t)$ denklemi

$$h(t) * h'(t) = \delta(t) \quad (3.21)$$

olarak verilir.

Bu da bize evrişim operatörü $h(t)$ ile ters evrişim operatörü $h'(t)$ arasındaki ilişkiyi verir.

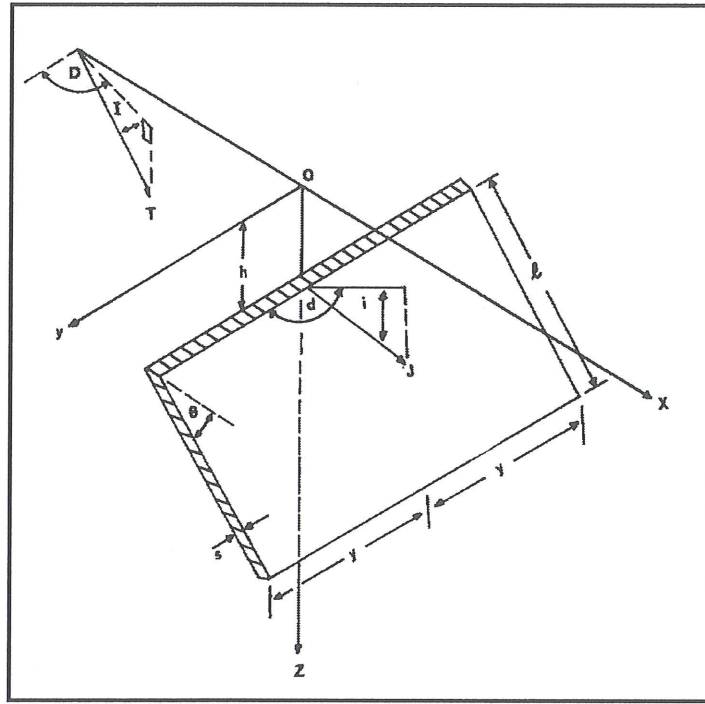
Arkeolojik arama çalışmalarında, yeraltındaki farklı derinliklerdeki gömülü yapıları daha iyi belirlemek için Karousova ve Karous (1989) ters süzgeçleme (inverse filtreler) tekniğini önererek, bu konuda çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Ters

süzgeçleri elde etmek için yeraltında bulunan prizmatik yapıların, prizma sayısına bağlı olarak oluşturacağı manyetik alan anomalilerini kullanmışlardır. Birçok ince levhanın birleştirilmesiyle prizmatik yapıların meydana getirdiği manyetik etki ilk olarak Grant ve West (1965), McGrath ve Hood (1973) tarafından çalışılmış ve gerekli filtreleri sonsuz bir prizma için oluşturularak (Şekil 3. 5) bozucu kütleler tarafından oluşturulan alanın anomalisinin hesaplanması için kurulan evrişim (konvolüsyon) modelleri, Bhattacharyya ve Navolio (1975) Bhattacharyya ve Chan (1977) tarafından jeofizik araştırmalarda geniş biçimde ele alınmıştır. Arkeolojik alanlardaki yapı özelliklerine bağlı olarak geliştirilen filtrelerle yapının daha da belirginleştirilmesi sağlanmıştır. Ters süzgeçleme tekniği öncelikle toplam alan manyetik anomalilerinde kullanılmasına rağmen, sonraları Tassis vd (2008) tarafından gradyent verilere de uygulanmıştır.

Yöntemin temeli, Tsokas ve Papazachos (1992) tarafından manyetik anomalinin bir bloklu yapı için, ince plakalar olarak çözülmesi anlamında (3. 22) bağıntısında verilmiştir.

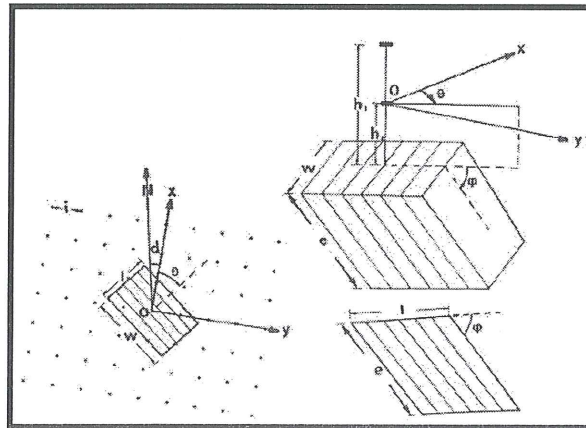
$$\Delta T(x, y) = J.s.b.c.[f(x, y + Y) - f(x, y - Y)] \quad (3.22)$$

Burada, J manyetizasyon şiddeti, s blok kalınlığı, T yermanyetik alanının toplam alan şiddeti, b manyetizasyon şiddetinin eğim açısının sinüsünün xz düzlemindeki manyetizasyon eğim açısı sinüsüne oranı, c yermanyetik alanının eğim açısının sinüsünün xz düzlemindeki yermanyetik alanının eğim açısı sinüsüne oranı, Y plakaların yarı yatay uzunluğu olmak üzere; l prizmanın x eksenini boyunca olan kenarının tam uzunluğu; h prizmanın üst derinliği, θ prizmanın x eksenini ile olan derinlik açısı, J manyetizasyon şiddetinin d deklinasyon açısı, i eğim açısı, T yermanyetik alanının toplam alan şiddetinin D deklinasyon açısı, I eğim açısı olarak verilmiştir. (3. 22) bağıntısında kullanılan parametreler Tablo 3. 2’de açıklanmıştır.



Şekil 3. 5: İnce plaka modeli (Mc Grath ve Hood,1973).

Koordinat sistemi üzerinde y eksenine paralel uzanan bir plaka verilmiştir (Şekil 3. 6). Burada, Oxy ekseninde, d manyetik kuzey ile x eksenini arasındaki deklinasyon açısını, θ prizmanın x eksenine olan derinlik açısını, h_1 ve h_2 gömülü yapının derinlikleri (üst derinlik), e prizmanın alt derinliği (dalım derinliği), w ve l prizmanın genişlik ve uzunluk değerleri olarak verilmiştir (Tsokas ve Papazachos, 1992).

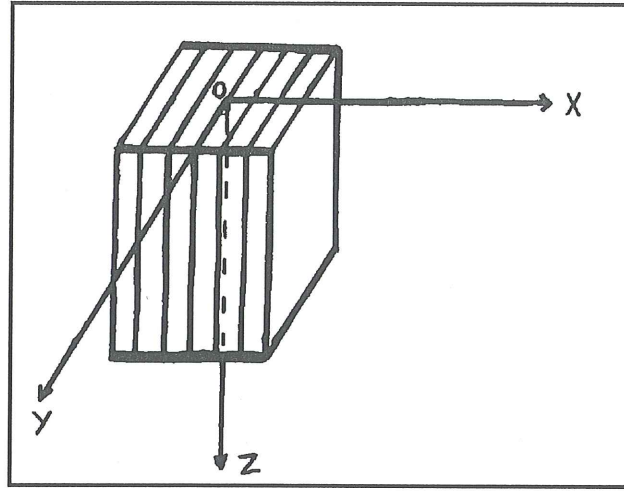


Şekil 3. 6: Koordinat sistemi üzerinde prizma modelinin gösterilmesi (Tsokas ve Papazachos, 1992).

Tablo 3. 2: İnce plaka modelinin geometrik ve manyetik parametreleri (McGrath ve Hood, 1973).

J	Manyetizasyon Şiddeti
T	Yerin Toplam Manyetik Alan Şiddeti
s	Plaka Kalınlığı
b	$(\sin^2 i + \cos^2 i \sin^2 d)^{1/2} = \sin i / \sin \gamma$
c	$(\sin^2 I + \cos^2 I \sin^2 \beta)^{1/2} = \sin I / \sin \beta$
I	Yer Manyetik Alanının Eğim Açısı
i	Manyetizasyonun Eğim Açısı (-180° den 80°)
d	J Nin Yatay Düşümü İle Pozitif Y-Eksen Arasındaki Aç
D	T Nin Yatay Düşümü İle Pozitif Y-Eksen Arasındaki Aç
Y	Plakanın Yarı Yatay Uzunluğu
c^2	$(x - l \cos f)^2 + (h + l \sin f)^2$
θ	Plakanın Dalım Açısı
E^2	$x^2 + y^2$
B	$x \sin \theta + h \cos \theta$
c	$h \sin \theta + x \cos \theta$
β	xz düzlemindeki T değerinin eğim açısı $= \tan^{-1}(\tan I / \sin D)$
γ	xz düzlemindeki J değerinin eğim açısı $= \tan^{-1}(\tan^{-1} / \sin d)$

Birçok ince plakadan oluşan dikdörtgen prizmanın meydana getirdiği toplam manyetik etki, her bir ince plakanın oluşturduğu manyetik etkinin toplamına eşittir (Şekil 3. 7).



Şekil 3. 7: Prizmatik bir kütlenin birçok ince plakanın toplamının gösterilmesi (Tsokas ve Papazachos, 1992).

Birçok ince plakadan oluşan prizma modelinin manyetik etkisi yukarıdaki 3. 22 bağıntısında verilmiştir. Bu ifade D ve R diye nitelendirilebilecek iki fonksiyon şeklinde yazılabilir.

Burada D ‘Genlik Fonksiyonu’, anomalinin gücünü kontrol eder, R ise ‘Şekil Fonksiyonu’ olarak tanımlanır. Şekil fonksiyonu ise anomalinin şeklini ve geometrik özelliklerini kontrol eder. Anomalinin genlik fonksiyonun $D = J$ olarak alırsak, (3. 22) bağıntısı yeniden düzenlenir ve anomalinin şekli ve biçimini belirler. Böylece bağıntı

$$R(x, y) = s.b.c. \sum_{i=1}^N [f_i(x, y + Y) - f_i(x, y - Y)] \quad (3.23)$$

olarak verilir.

Her bir plakanın manyetik etkisi tahmini bir yönde olacağından, yeraltındaki gömülü yapıların basit geometrik şekillere indirgenmesi ve bu geometrik şekillerin her bir parçasının şekil bakımından eşit olması, aynı derinlikte gömülü olması, D ve R fonksiyonlarına evrişim işleminin uygulanabilirliğini gösterir. Plakalardaki toplam manyetik etki, genlik ve şekil fonksiyonlarının evrişimi olarak tanımlanabilir.

Yapının merkezi, koordinat ekseninin orijinde (0,0) olmak üzere, anomali x ve y noktalarında olmak üzere,

$$\Delta T(x, y) = D.R(x, y) \quad (3.24)$$

elde edilir.

Aranılan yapının aynı derinlik noktalarında (x, y) gömülü olduğunu düşünersek, Δx ve Δy x ve y eksenleri boyunca sayıya dönüştürülmüş aralıklarıdır.

$$\begin{aligned} x_l &= l\Delta x & l &= L_1 \dots\dots\dots L_2 \\ y_m &= m\Delta y & m &= M_1 \dots\dots\dots M_2 \end{aligned}$$

Süperpozisyon prensibinin geçerli olduğu varsayılarak, yani anomalilerin üst üste bindiği düşünülerek her bir noktadaki (x_i, y_i) toplam alan anomalisi;

$$\Delta T(x_i, y_i) = \sum_{l=L_1}^{L_2} \sum_{m=M_1}^{M_2} D_{l,m} . R(x_i - x_l, y_i - y_m) \quad (3.25)$$

$$i = L_1 \dots\dots\dots L_2 \quad m = M_1 \dots\dots\dots M_2$$

elde edilir. Buradan, Toeplitz matrisi kullanılarak,

$$T_{ij} = \Delta T(x_i, y_i), D_{lm} = D(x_l, y_m) \quad (3.26)$$

$R_{i-l, j-m} = R_{(x_i-x_l, y_i-y_m)}$ bağıntıları kullanılarak toplam alan anomalisi

$$T_{ij} = \sum_{\ell=L_1}^{L_2} \sum_{m=M_1}^{M_2} D_{\ell m} . R_{i-\ell, j-m} \quad (3.27)$$

elde edilir.

Toplam alanı genlik ve şekil fonksiyonunun konvolüsyonu olarak yazıp, ifadeyi sadeleştirirsek;

$$T = D * R \quad (3.28)$$

elde edilir. Buradan, Genlik (amplitude) fonksiyonu (manyetizasyon) ise

$$D = T * R^{-1} \quad (3.29)$$

olarak elde edilir. Evrişimin birim elemanı,

$$R * R^{-1} = I \quad (3.30)$$

olur. Burada R^{-1} nin evrişimi sonsuz uzayan bir filtre açığa çıkarır. En basit şekliyle $\left(\overline{R}^{-1}\right)$ ile ters filtrenin sonsuz bir filtre olmasından dolayı, ucu kesik ya da kırılmış şeklini kullanabiliyoruz. Fakat en uygun filtre katsayılarını hata karelerinin minimizasyonlarının toplamı;

$$E^2 = \left(R * \overline{R}^{-1} - I\right)^2 \quad (3.31)$$

ile elde edebiliriz. Kanasewitch (1975) tarafından,

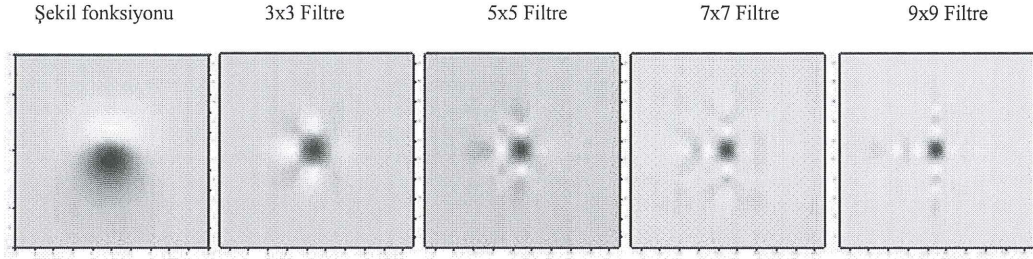
$$\sum_{j=L_1}^{L_2} \sum_{i=M_1}^{M_2} R_{i,j}^{-1} \cdot A_{k-i,\ell-j} = R_{-k,-\ell} \quad (3.32)$$

$$k = M_1, \dots, M_2 \quad \ell = L_1, \dots, L_2$$

olarak verilmiştir.

Burada, A ifadesi R 'nin özilişki fonksiyonunu gösterir.

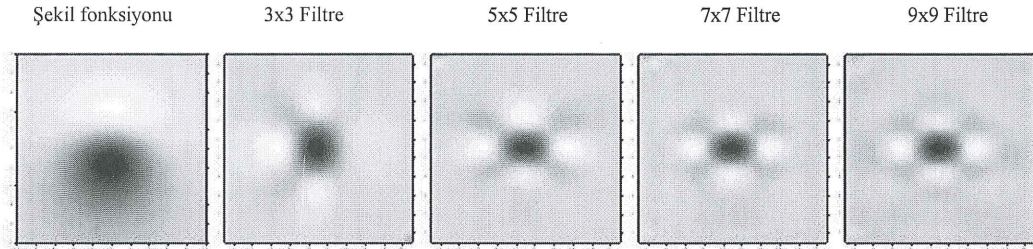
Bu çalışmada ters süzgeçleme tekniğini arazi verilerine uygulamadan önce, çalışma alanındaki olası yapılara uygun olacağı düşünülen modeller geliştirilmiştir. Böylece bu yapay modellerin hem toplam alan hem de gradyent şeklinde oluşturacağı anomaliler hesaplanmıştır. Toplam alan tekniği kullanılarak tasarlanan ilk modelde yapı boyutları 1x1x1 metre, matematiksel hesaplamalar için manyetik inklinasyon 56° ve deklinasyon 3. 5° olarak alınmış ve modelin 1 metre derinlikte gömülü olduğu düşünülmüş hesaplamalar yapılmıştır. Bu yapay model üzerinde yapılan ters süzgeçleme sonuçları Şekil 3. 8'de verilmiştir.



Şekil 3. 8: 1x1x1 m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.

Buradan da görülebildiği gibi tüm filtre boylarında yapının yeri belirlenebilmektedir. Ancak boyutları süzgeç boyu arttıkça küçülmekte, ayrıca yine bu artışa bağlı olarak negatif etki alanları küçülmekle birlikte boyları daha da uzamaktadır. Bu durum sonuçlarda istenmeyen uzamalara neden olabilir.

İkinci yapay model yapı boyutları 2 x 2 x 2 alınmış, yapı 2 metre derinliğe gömülü varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. İkinci yapay model üzerinde yapılan ters süzgeçleme sonuçları Şekil 3. 9'da verilmiştir.

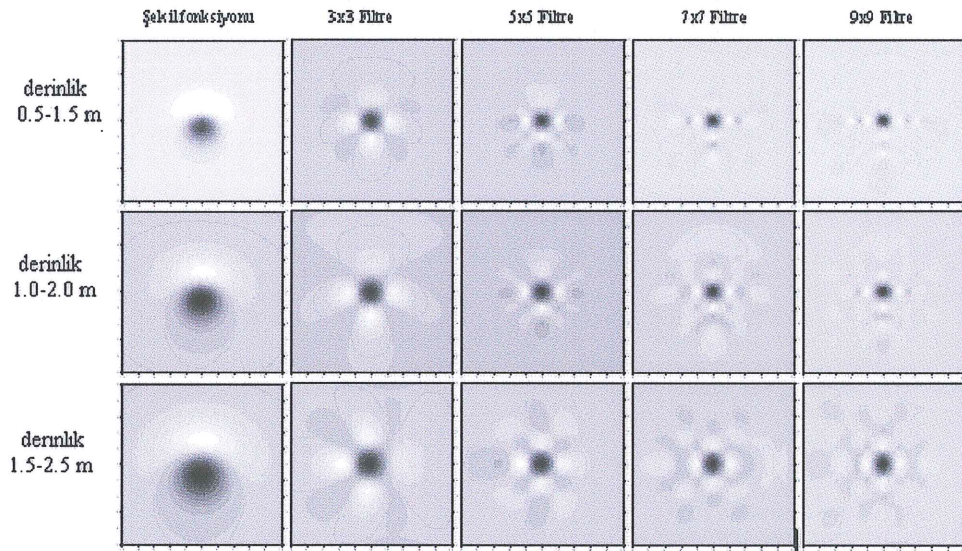


Şekil 3. 9: 2x2x2 m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.

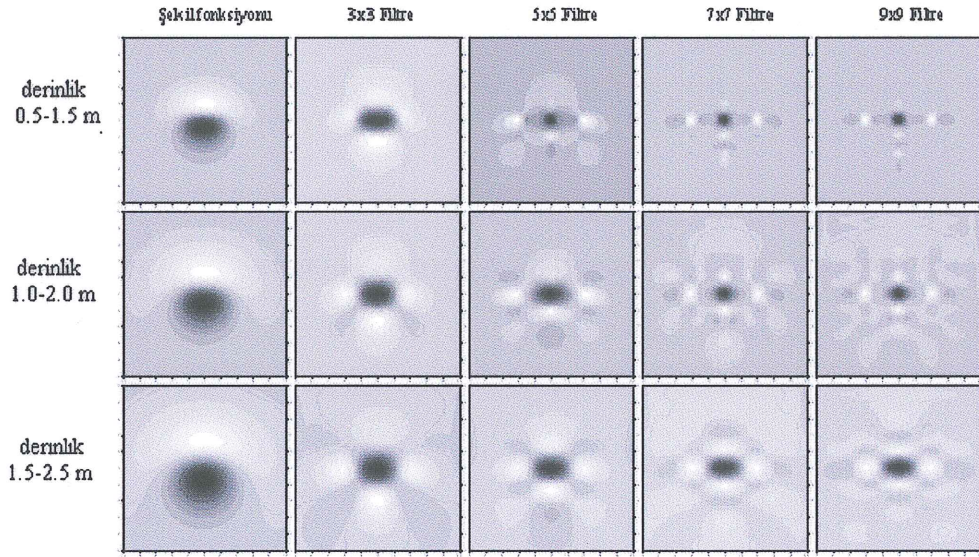
Burada durum biraz daha farklıdır. Yapı boyutu büyük olunca pozitif alan 3x3 hariç, tümünde hemen hemen aynıdır. Ayrıca negatif alanlarda pozitif anomalinin tam çevresinde ve daha küçük alanları kapsamaktadır. Böylece yapı boyutlarının büyümesinin belirlemeyi daha da kolaylaştıracağı bu sonuçlara göre belirtilebilir.

Gradyent tekniği kullanılarak tasarlanan ilk modelde yapı boyutları 1x1x1 metre, matematiksel hesaplamalar için manyetik inklinasyon 56° ve deklinasyon 3. 5° olarak alınmış ve modelin 0.5, 1 ve 1.5 metre derinliğinde gömülü olduğu

düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. İlk yapay model üzerinde yapılan ters süzgeçleme sonuçları Şekil 3. 10'da verilmiştir. Şekil 3. 10'dan da görüldüğü üzere anomalinin biçim fonksiyonu derinlik ile değişmekte ve daha da yayvanlaşmaktadır. Ayrıca derinlik arttıkça anomalinin genliği de büyümektedir. Yapının şekil fonksiyonuna 3x3, 5x5, 7x7 ve 9x9 boyutlarında ters süzgeçler uygulanarak, biçim fonksiyonu ile farklı boyutlardaki ters süzgeçlerin evrişim sonuçları da Şekil 3. 11'de görülmektedir ve süzgeç katsayısı büyüdükçe yanal etkilerin artması ve alanını genişletmesi nedeniyle yapının belirlenmesinin güçleştiği belirtilmelidir.



Şekil 3. 10: 1x1x1 m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.



Şekil 3. 11: 2x2x2 m boyutlarında yapı için değişik derinliklerdeki şekil (biçim) fonksiyonları ve farklı süzgeç katsayıları ile evrişim sonuçları.

3. 1. 3. Modelleme (ters-çözüm) tekniği

3. 1. 3. 1. Doğrusal ters-çözüm

Matematiksel bağıntılarla olayların davranışını gösteren modellemede en önemli ilk koşul, gözlemlerin yapılmış olmasıdır. Çeşitli matematiksel formüllerle ve matrislerle tanımsal olarak modellemeyi belirleriz. Sayısal yöntemlerle jeofizik modellemede, çoğu problemin çözümü mümkündür. Jeofizik modellemede de doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerinin çözümleri sıkça karşılaşılan bir problemdir (Oruç, 2006). Gözlem ile model sonuçları arasında her zaman bir uyum söz konusu olmayabilir, bu da rastgele modellemeye olanak sağlar. Bunun nedeni birçok etkenin bulunması ve bu etkilerin de rastgele olmasıdır. Kullanılan yöntemle göre verilen parametreler gözlemsel değerler ile kuramsal değerler arasında uyum sağlanana kadar değiştirilir. Özellikle doğal kaynaklı problemlerin çözümünde, bir jeolojik model düşünülerek, buna neden olan jeofizik belirti matematiksel bağıntılarla gösterilmekte ve tanımsal bir yaklaşımla çözüme gidilmektedir.

Genel anlamda ters-çözüm, yanıtı bilinen bir problemi tanımlamaya çalışmaktır. Ters-çözümü veri ve parametre ilişkisine bağlı olarak doğrusal ve doğrusal olmayan

problemler olarak iki şekilde tanımlayabiliriz. Veri ve parametre arasındaki ilişki bir dizey denklemi ile ifade edilebiliyorsa problem doğrusaldır ve parametreler ölçülen veriden dizey işlemleri ile hesaplanabilir. Veri ve parametreler arasındaki ilişki, dizey denklemleri ile ifade edilemiyorsa problem doğrusal değildir ve parametreleri çözmek için birçok kez model yanıtın hesaplanması gerekir (Başokur, 2004).

Yapıların modellenmesinde, geometrik ve fiziksel parametrelerin belirlenmesi önemlidir. Modellemeyi iki ya da üç boyutlu yaparak seçilen koordinat sistemine göre, yapının geometrik sınırları ile ilgili koordinatları saptamak gereklidir. Jeofizik belirtiyi saptarken kullanılan yöntemin parametreleri geçerlidir. Bu parametre manyetik yöntem için çoğunlukla manyetik duyarlıdır. Genellikle veriden yola çıkarak yapıyı yorumlamak modellemenin temel ilkesidir. Evrik (ters) problem ya da inversion olarak adlandırdığımız problem çözümü için kullanılacak en avantajlı yöntem sinama-yanılma yöntemidir. Sinama yanılma yoluyla olan modellemede, oluşturulan modeller için, gerekli hesaplamalar yapılarak elde edilen değerler gözlemsel değerlerle karşılaştırılır. Ters-çözümün jeofizik modellemede veri çakıştırma, sayısal filtre oluşturma gibi uygulama alanları bulunmaktadır.

Jeofizik modellemede, Model parametreleri ile gözlem verileri arasındaki ilişki,

$$G(m) = d \quad (3.33)$$

sürekli bir fonksiyon ile tanımlanır. (3. 33) bağıntısı ile verilen sürekli doğrusal bir sistem içerisinde, G bir integral operatörüdür. İntegrali a ve b aralığında bir sistem için,

$$d(s) = \int_a^b g(s, x)m(x)dx \quad a < s < b \quad (3.34)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Burada $d(s)$ gözlem verilerini, $g(s, x)$ ise çekirdek fonksiyonu ifade eder. Burada bilinmeyen ise, modelin fiziksel parametrelerini temsil eden $m(x)$ fonksiyonudur (Backus ve Gilbert, 1967).

(3. 35) eşitliğinde g 'nin kayma ve değişken olması durumunda çekirdek fonksiyonu $s - x$ değişkenine bağlı olur. Bu şekilde,

$$d(s) = \int_{-\infty}^{\infty} g(s-x)m(x)dx \quad (3.35)$$

ifade edilir.

3. 35 bağıntısı evrişim integralini gösterir. Evrişim işleminin en yaygın uygulaması süzgeçlemedir.

Ayrık veriler için doğrusal ters problem çözümünde her bir gözlem noktasında model parametreleri (m) ve hesaplanan veriler (d_{hes}) arasında

$$d_{hes} = Gm \quad (3.36)$$

olarak tanımlanan doğrusal bir ilişki vardır. Gözlenen ve hesaplanan veriler arasında her zaman,

$$d_{göz} - d_{hes} = e \quad (3.37)$$

olarak tanımlanan hatalar bulunmaktadır. Bu durumda,

$$e = d_{göz} - Gm \quad (3.38)$$

eşitliği yazılır. En küçük kareler duyarlılığında e vektörünün uzunluğu, bu vektörün bileşenlerinin karelerinin toplamına eşit olacağından toplam karesel hata,

$$E = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e^T e \quad (3.39)$$

olarak yazılır (Oruç, 2006).

Doğrusal ters-çözümde model parametreleri yinelemeli olarak değiştirilebilir. Örneğin $k+1$. yineleme adımında yeni model parametreleri δx^k kadar bir hata ile bulunmuş olur (Oruç, 2006). Bu durumda model parametreleri için,

$$m^{k+1} = m^k + \delta m^k \quad k = 0,1,2,\dots \quad (3.40)$$

eşitliği yazılır. 3. 36 bağıntısında yerine yazılırsa,

$$Gm^{k+1} = d$$

$$G(m^k + \delta m^k) = d$$

$$Gm^k + G\delta m^k = d$$

$$G\delta m^k = d - Gm^k \quad (3.41)$$

elde edilir. Burada, $(d - Gm^k)$ gözlenen ve m^k 'dan hesaplanan veriler arasındaki hata vektörünü temsil etmektedir. Hata vektörünün en küçük kareler duyarlılığında küçültülmesi durumunda kısıtsız en küçük kareler çözümünü temsil eden,

$$\delta m^k = (G^T G)^{-1} G^T (d - Gm^k) \quad (3.42)$$

eşitliği bulunur. Buradan basit bir düzenlemeyle,

$$m^{k+1} - m^k = (G^T G)^{-1} G^T (d - Gm^k)$$

$$m^{k+1} = m^k + (G^T G)^{-1} G^T (d - Gm^k) \quad k = 0,1,2,\dots \quad (3.43)$$

Yinelemeli minumum norm çözümü ise veri sayısının bilinmeyen parametre sayısından az olduğu ve eksik tanımlı sistemler için çözüm en küçük normlu olarak elde edilir. Bu durumda 3. 43 bağıntısından en küçük normlu çözümü temsil eden

$$m^{k+1} = m^k + G^T (GG^T)^{-1} (d - Gm^k) \quad (3.44)$$

eşitliği elde edilir (Oruç, 2006)

3. 1. 3. 2. Ağırlıklı Enküçük Kareler Yöntemi

Ağırlıklı en küçük kareler yönteminde en küçüklenmesi istenen amaç fonksiyonu,

$$E = \sum_{i=1}^n (w_i (d_i - c_i))^2 \quad (3.45)$$

$$= \sum_{i=1}^n (w_i e_i)^2$$

olarak tanımlanır (Oruç, 2006). Burada w_i , en küçük kareler yönteminin ağırlıklarıdır. Bu terim, bir ölçü noktasındaki gürültünün diğer ölçü noktalarındaki gürültülerden bağımsız olması durumunda,

$$W = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_n \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (3.46)$$

eşitliği ile verilir. Burada σ_i , i. inci verinin standart sapmasıdır. (3. 45) aynı zamanda,

$$\begin{aligned} E &= w^T w e^T e \\ &= [w e]^T w e \end{aligned} \quad (3.47)$$

olarak yazılır. Hata vektörü,

$$e = \Delta d - J \Delta p \quad (3.48)$$

olarak yazılacağından (3. 47) bağıntısı,

$$E = [w(\Delta d - J \Delta p)]^T w(\Delta d - J \Delta p) \quad (3.49)$$

şeklinde elde edilir. Basit cebirsel işlemler yapıldığında,

$$\begin{aligned} E &= (w \Delta d - w J \Delta p)^T (w \Delta d - w J \Delta p) \\ &= (\Delta d^T w^T - \Delta p^T J^T w^T) (w \Delta d - w J \Delta p) \\ &= \Delta d^T w^T w \Delta d - \Delta d^T w^T w J \Delta p - \Delta p^T J^T w^T w \Delta d + \Delta p^T J^T w^T w J \Delta p \end{aligned} \quad (3.50)$$

bulunur. Burada $w^T w$ terimi için kısaca,

$$W = w^T w \quad (3.51)$$

yazılırsa (3. 50) bağıntısı

$$E = \Delta d^T W \Delta d - \Delta d^T W J \Delta p - \Delta p^T J^T W \Delta d + \Delta p^T J^T W J \Delta p \quad (3.52)$$

eşitliğine dönüşür. Δp 'ye göre türev alınıp sıfıra eşitlendiğinde,

$$\frac{\partial E}{\partial \Delta p} = -\Delta d^T W J - J^T W \Delta d + J^T W J \Delta p + \Delta p^T J^T W J = 0 \quad (3.53)$$

yazılır. Burada 1. terim 2. terimin, 3. terim 4. terimin transpozeleri olduğundan,

$$2J^T W J \Delta p - 2J^T W \Delta d = 0 \quad (3.54)$$

bulunur ve Δp çekilirse,

$$\Delta p = (J^T W J)^{-1} J^T W \Delta d \quad (3.55)$$

elde edilir. W matrisinin (3. 51) bağıntısına göre açık biçimi,

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 1 & 0 & & 0 \\ 0 & -1 & 1 & & 0 \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

dir.

Gözlem verilerinin kaynağı olan model parametreleri gözlem verilerine farklı katkılarda bulunur. Bu durumda en küçük kareler çözümüne öyle bir parametre ağırlıklandırması yapılmalıdır ki, verinin ağırlıklı parametrelere olan duyarlılığı uniform olsun. Toplam duyarlık eşitliği (Zhdanov, 2002);

$$S_p = (J^T J)^{1/2} \quad (3.57)$$

olarak verilmiştir. Bu durumda,

$$\begin{aligned} \Delta d &= JS_p^{-1} S_p \Delta p \\ &= J^W \Delta p^W \end{aligned} \quad (3.58)$$

olarak yazılabilir. Burada, J^W ağırlıklı duyarlık matrisi, Δp^W ise ağırlıklı parametre düzeltme vektörüdür. Δd 'nin normu Δp^W terimine bölünürse, ağırlıklı parametrelere göre verinin yeni bir duyarlık ölçüsü olan bir S_p^W terimi bulunabilir.

Zhdanov (2002) ağırlık matrisini (3. 57) bağıntısı ile verilen S_p toplam duyarlılığın köşegen elemanları olarak tanımlamıştır. Böylece parametre ağırlıklandırmasına göre ağırlık matrisi,

$$W_p = \text{diag}(J^T J)^{1/2} \quad (3.59)$$

Veri ağırlıklandırma ise J matrisinin satır normları işleme tabii tutulur (Oruç, 2006). Bu durumda,

$$W_d = \text{diag}(JJ^T)^{1/2} \quad (3.60)$$

olarak yazılır (Zhdanov, 2002).

3. 1. 3. 3. Sönümlü Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi

Sönümlü en küçük kareler yönteminin ağırlıklı çözümü, sönümlü en küçük kareler yöntemi ile ağırlıklı en küçük kareler yöntemi birleştirilerek yapılır (Oruç, 2006). Kötü koşullu sistemlerde ağırlıklı en küçük kareler çözümünden başka, sönümlü en küçük kareler yöntemi de etkin yöntemlerden biridir. Kötü koşullu sistemlerde ters-çözüm işleminde Δp parametre düzeltme vektöründe sınırsız ve duraysız değişimler

gözlenebilir. Bu nedenle düzeltme vektörüne δ_0^2 gibi sonlu bir nicelik ile sınırlandırmak amacı ile bir kısıtlama koşulu konabilir. Sönümlü en küçük kareler yöntemi, Lagrange çarpanları problemi çözümü kullanılarak ortaya çıkar. Bu çözüm,

$$L(\Delta p) = \sum_{j=1}^m \Delta p_j^2 \quad (3.61)$$

$$= \Delta p^T \Delta p \quad \text{olarak tanımlanan bir kısıta göre}$$

elde edilir. Böylece parametre düzeltme vektörü Δp , $S(\Delta p, \beta)$ gibi bir amaç fonksiyonunu en küçük yapmak için seçilebilir. Bu fonksiyon,

$$\begin{aligned} S &= e^T e + \beta L(\Delta p) \\ &= (\Delta d - J\Delta p)^T (\Delta d - J\Delta p) + \beta \Delta p^T \Delta p \end{aligned} \quad (3.62)$$

olarak verilir. Burada, β , Marquart sönüm faktörü olarak tanımlanır. Amaç fonksiyonunun 0 olması için, Δp 'ye göre türev alınıp 0'a eşitlendiğinde ve eşitliğin her iki tarafının transpozesi alındığında parametre vektörü,

$$\Delta p = (J^T J + \beta I)^{-1} J^T \Delta d \quad \text{eşitliği} \quad (3.63)$$

elde edilir.

Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi için tanımlanan 3. 51 ile verilen hata fonksiyonunda yerine konulursa,

$$\begin{aligned} S &= E + L(m) \\ &= [W(d - Gm)]^T W(d - Gm) + \beta m^T m \\ &= (d^T W d - d^T W G m - m^T G^T W d + m^T G^T W G m) + \beta m^T m \end{aligned} \quad (3.64)$$

elde edilir. Burada W terimi $W = W^T W$ alınır. S 'nin m 'ye göre türevi alınıp eşitlenirse,

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial m} &= -\Delta d^T W G - G^T W \Delta d + G^T W J \Delta_p + m^T G^T W G + \beta m + \beta m^T = 0 \\ &= -2d^T W G + 2m^T G^T W G + 2\beta m^T = 0 \end{aligned} \quad (3.65)$$

bulunur.

Burada basit düzenlemelerle,

$$m^T (G^T W G + \beta I) = d^T W G \quad (3.66)$$

yazılır ve her iki tarafın transpozu alındığında,

$$m = (G^T W G + \beta I)^{-1} G^T W d \quad (3.67)$$

elde edilir.

Burada β sönüm faktörü $G^T W G$ şeklinde ağırlıklandırılmış matrise eklenmektedir.

3. 1. 4. Manyetik anomalilerin iki boyutlu doğrusal ters-çözümü

Manyetik anomalilerin modellenmesi, düz ve ters-çözüm olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Bölüm 3. 1. 3'de bahsedildiği gibi, belli geometrik ve fiziksel parametrelere sahip olan bir model tasarlandıktan sonra, bu modelin anomalisinin hesaplanması işlemi model ortamından veri ortamına geçişi temsil ettiği için düz-çözüm olarak bilinir. Ters-çözümde ise gözlenen bir veriden hareketle veriye neden olan kaynağın parametreleri kestirilmeye çalışılır. Manyetik anomalilerin iki boyutlu doğrusal ters-çözümünde, yaygın olarak yeraltı kesiti dikdörtgen veya kare olan hücrelere bölünmektedir (Şekil 3. 12). Yinelemeli ters-çözüm uygulamalarında, her bir yineleme adımında bir yapay veri hesaplanarak gözlenen veri ile karşılaştırılmaya çalışılır. Bu nedenle ters-çözüm işleminde aynı zamanda düz-çözüm adımları da uygulanmaktadır. Şekil 3. 18'de görülen her bir hücre, kesiti dikdörtgen veya kare

olan iki boyutlu bir prizmatik kütleyi temsil eder (Stocco vd, 2009). Düz-çözüm işlemi için gerekli olan iki boyutlu prizmatik bir kütlenin toplam alan anomali bağıntısı (Telford ve diğ., 1981).

$$F = 2kF_e [\cos I \sin \beta \ln(r_2 r_3 / r_4 r_1) - \sin I (\phi_1 - \phi_2 - \phi_3 + \phi_4)] \quad (3.68)$$

olarak verilir. Burada I yermanyetik alanının inklinasyon açısı, k duyarlık, F_e efektif manyetik alan şiddeti, β prizma doğrultusu ile manyetik kuzey arasındaki açı, r uzaklıkları ve ϕ açıları Şekil 3. 12'de görülmektedir. Yukarıdaki bağıntıda genlik teriminin dışındaki kısım, prizma modelinin çekirdek (kernel) fonksiyonunu temsil eder. Buna göre iki boyutlu manyetik prizmanın çekirdek fonksiyonu G sembolü ile gösterilirse;

$$G = 2[\cos I \sin \beta \ln(r_2 r_3 / r_4 r_1) - \sin I (\phi_1 - \phi_2 - \phi_3 + \phi_4)] \quad (3.69)$$

yazılabilir. Burada

$$r_1 = \sqrt{x^2 + z^2}$$

$$r_2 = \sqrt{x^2 + (z + 2L)^2}$$

$$r_3 = \sqrt{(x - b)^2 + z^2}$$

$$r_4 = \sqrt{(x - b)^2 + (z + 2L)^2}$$

$$\phi_1 = tg^{-1} \frac{z}{x}$$

$$\phi_2 = tg^{-1} \frac{z + 2L}{x}$$

$$\phi_3 = tg^{-1} \frac{z}{x - b}$$

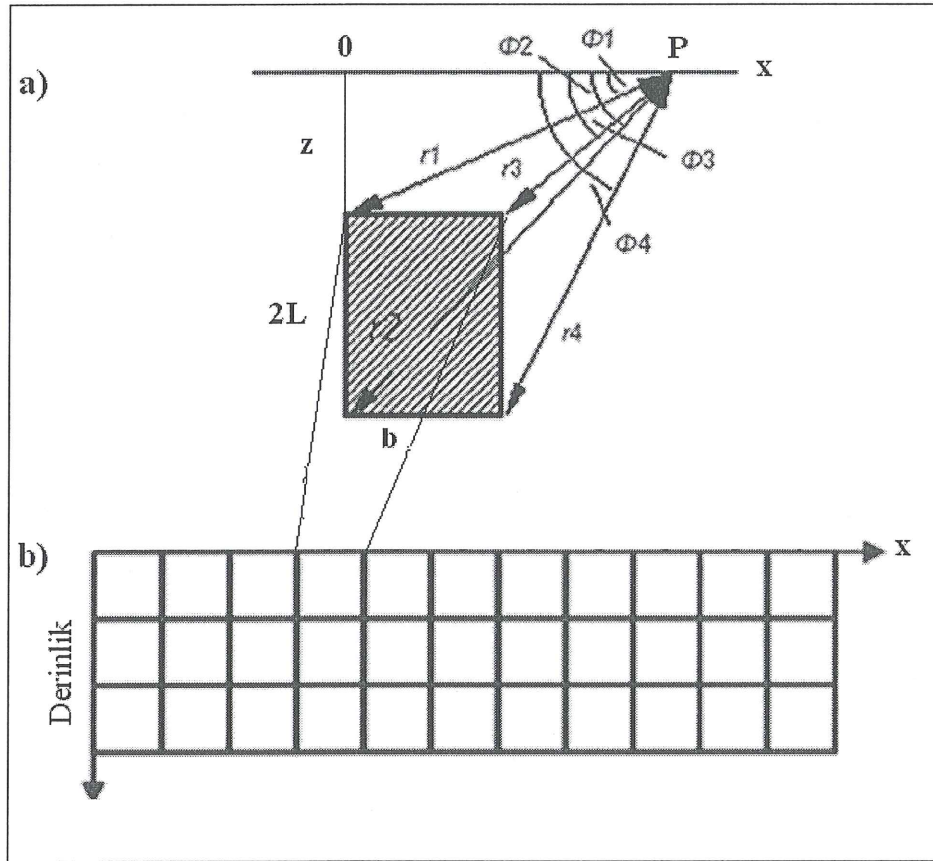
$$\phi_4 = \tan^{-1} \frac{z + 2L}{x - b}$$

olarak tanımlanır

m adet prizmanın n adet gözlem noktalarında oluşturacağı manyetik anomali

$$\Delta T(x_i) = 2kF_e \sum_{j=1}^m G_i(x_j) \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.70)$$

eşitliğinden hesaplanır.



Şekil 3. 12: a) İki boyutlu sonlu prizma modeli ve parametreleri (P noktası ölçü profili üzerinde herhangi bir gözlem noktasıdır). b) İki boyutlu bloklara bölünmüş yeraltı modeli (Her bir blok iki boyutlu sonlu prizmayı temsil eder) (Stocco vd. , 2009'dan düzenlenmiştir).

Bu çalışmada manyetik verilerinin (toplam alan anomalisi ve düşey türev) 2B ters-çözümü için Stocco vd., (2009) tarafından verilen Matlab GUI tabanlı MAG2D programı kullanılmıştır. Bu ters-çözüm programının dayandığı teorik esaslar Last ve Kubik (1983) tarafından gravite verilerinin ters-çözümünde kullanılan algoritmaya dayanır.

Yinelemeli minimum norm çözümü için (3. 44) ile verilen bağıntıya aşağıdaki esaslara göre ağırlıklandırma ilkeleri uygulanırsa

$$m = W_v^{-1} G^T (G W_v^{-1} G^T + W_e^{-1})^{-1} d \quad (3.71)$$

eşitliği yazılır (Stocco vd. , 2009; Last ve Kubik, 1983). Burada m model parametreleri (prizmaların kestirilecek olan duyarlıkları), d gözlem verileri, Wm parametre ağırlıklandırma matrisi (duyarlık ağırlıklandırma matrisi) ve We ise gürültü ağırlıklandırma matrisi olarak tanımlanır. Gürültü ağırlıklandırma matrisi Stocco vd. , (2009) tarafından

$$W_e^{-1} = \left(N/S \right) \text{diag} (G W_m^{-1} G^T) \quad (3.72)$$

şeklinde yazılır.

Burada görüldüğü gibi gürültü ağırlıklandırma matrisi sinyal/gürültü (S/N) oranına ve çekirdek matrisine bağlıdır.

3. 1. 5. Mag2D ters- çözüm programı

Bu çalışmada kullanılan MAG2D programı hem toplam alan manyetik ölçümlerini, hem de düşey gradyent ölçümlerini kullanılabilmektedir. Kullanılan parametreler, çalışılan bölgeye ait yermanyetik alanının toplam alan bileşeni, inklinasyon ve deklinasyon açıları, yapılacak ters-çözüm işlemi için yineleme sayısı, sinyal/gürültü oranı ve belli bir başlangıç duyarlık değeridir (Şekil 3. 13).

Programda, gözlem verisi ile oluşturulan modelin veri sayısı arasındaki sayısal uyum çok önemlidir. Gözlem verisi ile elde edilen modeldeki prizma sayısı denklem

sisteminin tam tanımlı veya eksik tanımlı olması durumuna göre belirlenebilmektedir. Gözlem verisi, modelin veri sayısından fazla olduğu zaman tam tanımlı, modelin veri sayısı gözlem verisinden fazla olduğu zaman eksik tanımlı olmaktadır. Programda prizma sayısının arttırılması derinlik bilgisi hakkında daha çok bilgi verebilmektedir. Ancak bu durum ise minimum normlu çözüme yol açar. Prizma sayısının optimum olması daha güvenilir sonuçlar verebilmektedir.

Şekil 3. 13: MAG2D Programında kullanılan parametreler (Stocco vd. , 2009).

MAG 2D Programında, Şekil 3. 13’de görüldüğü üzere ters-çözüm için programın en önemli sayısal girdileri yineleme sayısı, sinyal/gürültü oranı, duyarlık, prizma sayısı, prizmanın derinliği ve kalınlığıdır. Özellikle sinyal/gürültü oranı ve duyarlık değerleri ters-çözüm işlemi için oldukça belirleyici değerlerdir.

3. 1. 6. Ters-çözümde kullanılacak olan faydalı sinyalin seçimi

Manyetik anomalinin genlik spektrumunun hesaplanarak anomalinin hangi dalga boylarının ters-çözümde kullanılacağı ortaya çıkarılır. Bir başka deyişle anomalinin bütün bir kısmı işleme sokulmayarak sadece faydalı kısmı belirlenip, işlem yapılır. Burada bu işlemin uygulanmasında sırasıyla şu işlem adımları izlenir. Öncelikle kuzey-güney doğrultulu sentetik bir sinyal (Şekil 3.14a) alınarak, belirlenen

anomalinin maksimum genliğine göre kesişen iki noktadaki dalga sayıları (k) belirlenerek açısal frekans aralığı (Şekil 3. 14b)

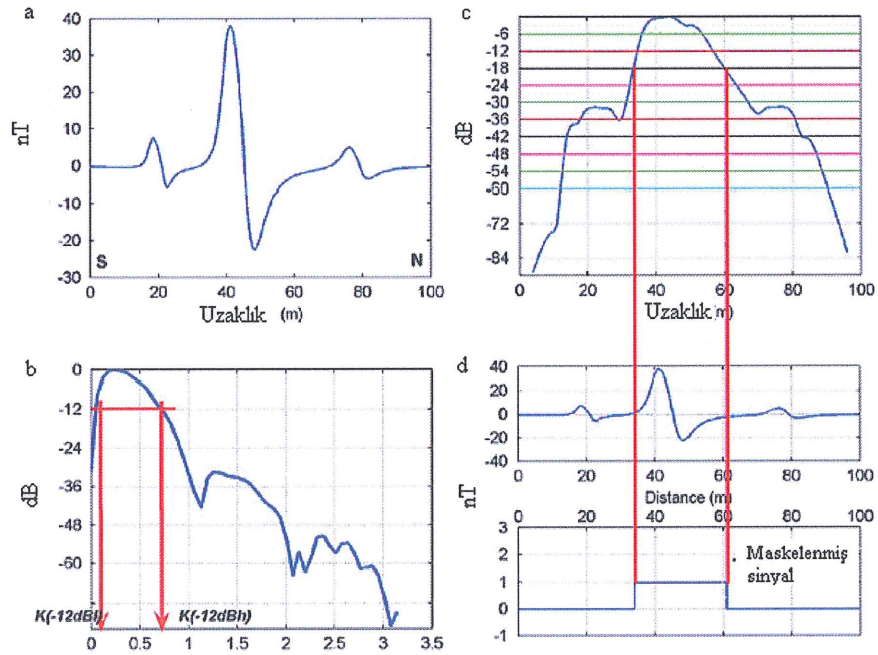
$$BW = 2\pi / k_{-12dB} - 2\pi / k_{-12dBh} \quad (3.73)$$

elde edilir.

Belirlenen BW boyutu yani kayan pencerenin bant genişliği, anomalinin örnekleme aralığına bölünerek BW içindeki aralık sayısı bulunur. N adet veriden oluşan BW boyutlu kayan pencere kullanılarak x eksenini boyunca güç spektrumu hesaplanır (Şekil 3. 20c).

$$\gamma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i)^2 \quad (3.74)$$

bulunan BW değerleri ölçülen veri ile evriştirilir (Şekil 3. 14c) ve böylece ters çözüm işlemi için, verinin anomali veren kısmı kullanılır (Şekil 3. 14 d).

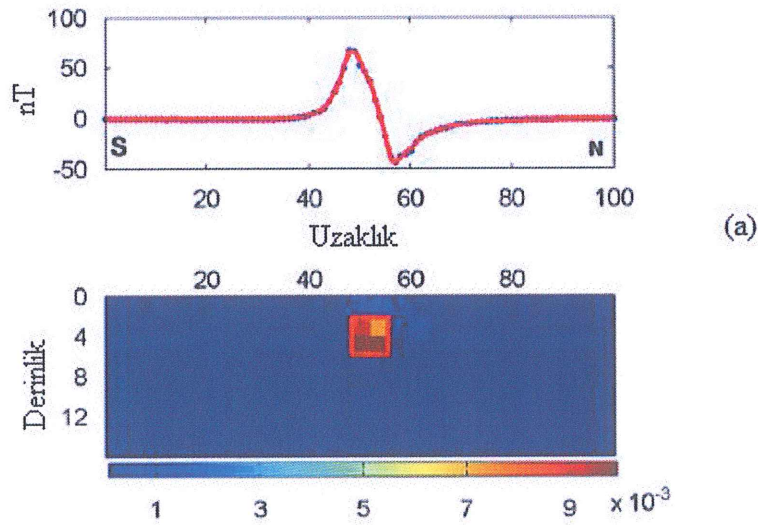


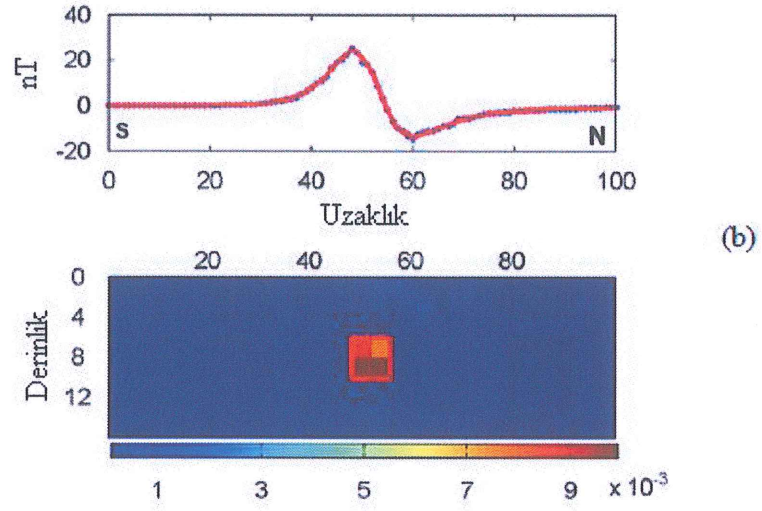
Şekil 3. 14: a) Kuzey-güney doğrultulu sentetik sinyal b) Belirlenen anomalinin açısal frekans aralığı (BW) ve dalga sayısı (k) c) Kayan pencere kullanılarak x eksenini boyunca güç spektrumu d) Elde edilen maskelenmiş sinyal (Stocco vd. , 2009'dan düzenlenmiştir).

Kaynağın oluşturduğu anomalinin, ters-çözüm işleminde faydalı olarak belirlenen kısmı kullanılır. Bu da yeraltındaki yapının birtakım özelliklerinin belirlenmesinde bizi sonuca daha çabuk ulaştırır.

3. 1. 7. Kuramsal uygulama

Kuramsal çalışma aşamasında Stocco vd. , (2009) tarafından kullanılan prizmatik bir yeraltı modelinin manyetik anomalisinden hareketle, iki boyutlu ters-çözüm işlemi yardımıyla yeraltındaki duyarlık dağılımı kestirilmeye çalışılmıştır. Şekil 3. 15 prizmatik özelliğe sahip bir cisimdir ve boyutları sabit tutulup, sadece derinliği değiştirilmiştir. Prizma derinliğinin artışına bağlı olarak doğrusal ters-çözüm işlemiyle yeraltındaki cismin doğru manyetik duyarlık değerleri saptanmaya çalışılmıştır (Şekil 3.15). Şekilden de görülebildiği gibi aynı boyutlara ve parametrelere sahip yapının daha derine atılmış halinin sonuçları yöntemin çözümde kararlı olduğunu göstermektedir. Derinliğe bağlı olarak manyetik anomali değerlerinin genliklerinde önemli bir düşüş olmasına karşın, çözüm değerlerinin kararlılığı yöntemin sık jeofiziksel problemlerin çözümünde önemli olabileceğini göstermektedir. Özellikle arkeolojik aramalarda manyetik yöntemin yoğun olarak kullanıldığı göz önüne alınırsa, bu yöntemin bu konuda yapılacak manyetik çalışmalara önemli katkısının olabileceği belirtilmelidir.





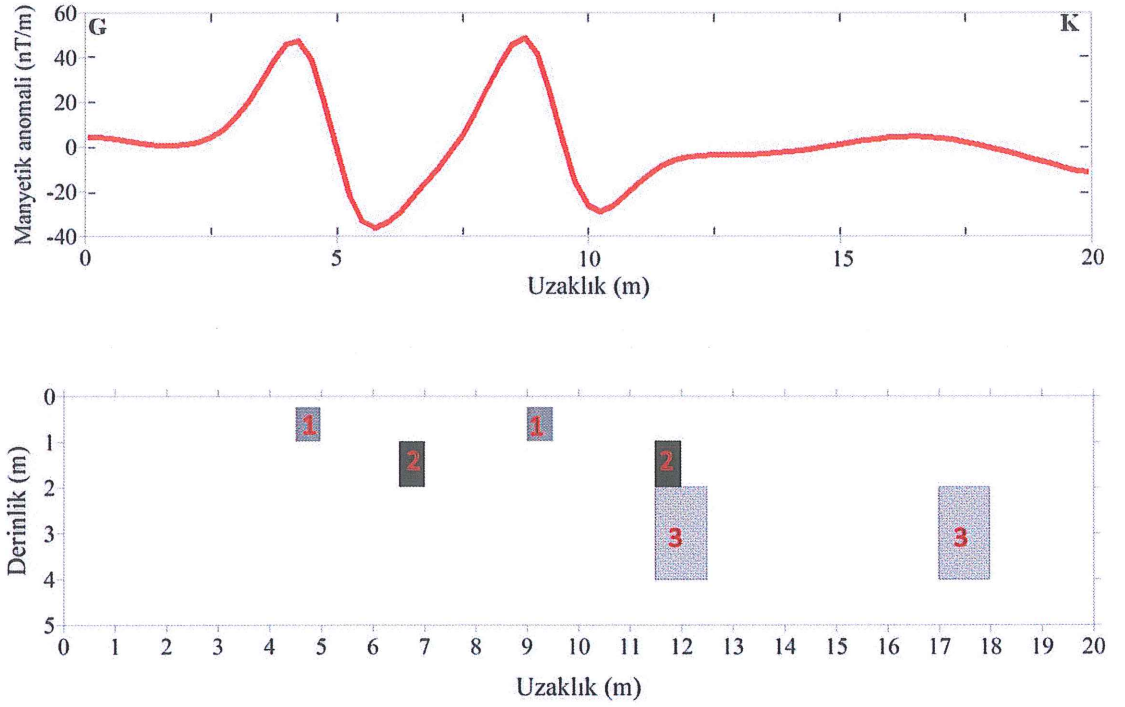
Şekil 3. 15: Prizma derinliklerine göre ters-çözüm sonuçları a) Derinlik 2-6 metre b) Derinlik 6-10 metre (Stocco vd. , 2009).

Bu tez çalışmasının konusunu oluşturan arkeolojik alanlarda kullanılan manyetik yöntemlerin handikaplarını ortadan kaldırabilmek için uygulanan bazı veri değerlendirme ve yorumlamayı geliştirici tekniklerin (Euler dekonvolüsyonu, ters süzgeçleme ve 2B ters-çözüm) yararını ortaya çıkarmak amacıyla yapılan çalışmalar kapsamında ters-çözüm uygulaması da önem taşımaktadır. Özellikle höyükler gibi çok katlı yapılaşma gösteren arkeolojik yerleşme türleri üzerinde manyetik verilerin yorumu oldukça zordur ve mutlaka yorumlamayı geliştirici tekniklerin kullanılması gereklidir. Bu amaçla burada kullanılan yöntemi çok katlı sentetik bir höyük modeli üzerinde sınamak gerekli olduğundan, böylesi bir özellikte tasarımılanan bir model Şekil 3. 16'da verilmektedir. Burada üç farklı materyalden oluşan altı ayrı duvar biçimli model bulunmaktadır. Modelin genel özellikleri ve parametreleri Tablo 3. 3'de verilmektedir. Prizmaların manyetik anomalisinin hesaplanmasında mıknatıslanmanın indükleme yolu ile kazanıldığı kabul edilmiş, mıknatıslanma alanının inklinasyon ve denklinasyon açıları sırası ile 56^0 ve 3.6^0 kabul edilmiştir. Prizmaların duyarlıkları çalışılan arazideki yapı birimlerine uygun olarak seçilmiştir. Burada amaç, her ne kadar kuramsal çalışma yapıyorsa da, bu çalışmanın arazi verilerine uygun olacak şekilde test edilmesinin amaçlanmasıdır. İlk aşamada bu sentetik yapıların üreteceği manyetik anomalileri hesaplayabilmek için Stocco vd., (2009) tarafından bulunan yöntemin düz-çözüm aşaması kullanılarak gradyent türü anomali için sentetik manyetik anomali hesaplanmıştır (Şekil 3. 16 üst bölüm).

Burada alıcı yükseklikleri alt alıcı için 1 m ve üst alıcı için 2 m olacak biçimde verilmiştir. Şekilden de görülebildiği gibi, yüzeye yakın ve manyetik duyarlılığı kısmen yüksek olan yapının anomalileri yüksek bir genlik oranı içinde açıkça görülmektedir. (2) numaralı yapının duyarlık değerinin düşük olması ve iki yapının arasında bulunması, bununla ilgili herhangi bir anomalinin ortaya çıkmasını engellemiştir. (3) nolu ve derinde bulunan yapının anomalisi ise genliği önemli ölçüde düşük ve belirli belirsiz bir biçimde ortaya çıkmıştır. Böylece (2) numaralı yapı hariç, diğer yapıların anomalilerinin toplam anomali eğrisinde görünür olduğu belirtilebilir. Ama doğal koşullarda böylesi yapıların karmaşık yeraltı koşulları da düşünüldüğünde ne derece başarılı olacağı yapılacak uygulama sonuçlarına bağlıdır ve bu tez kapsamında izleyen bölümde bu durum gerçek arazi verisi üzerinde tartışılacaktır.

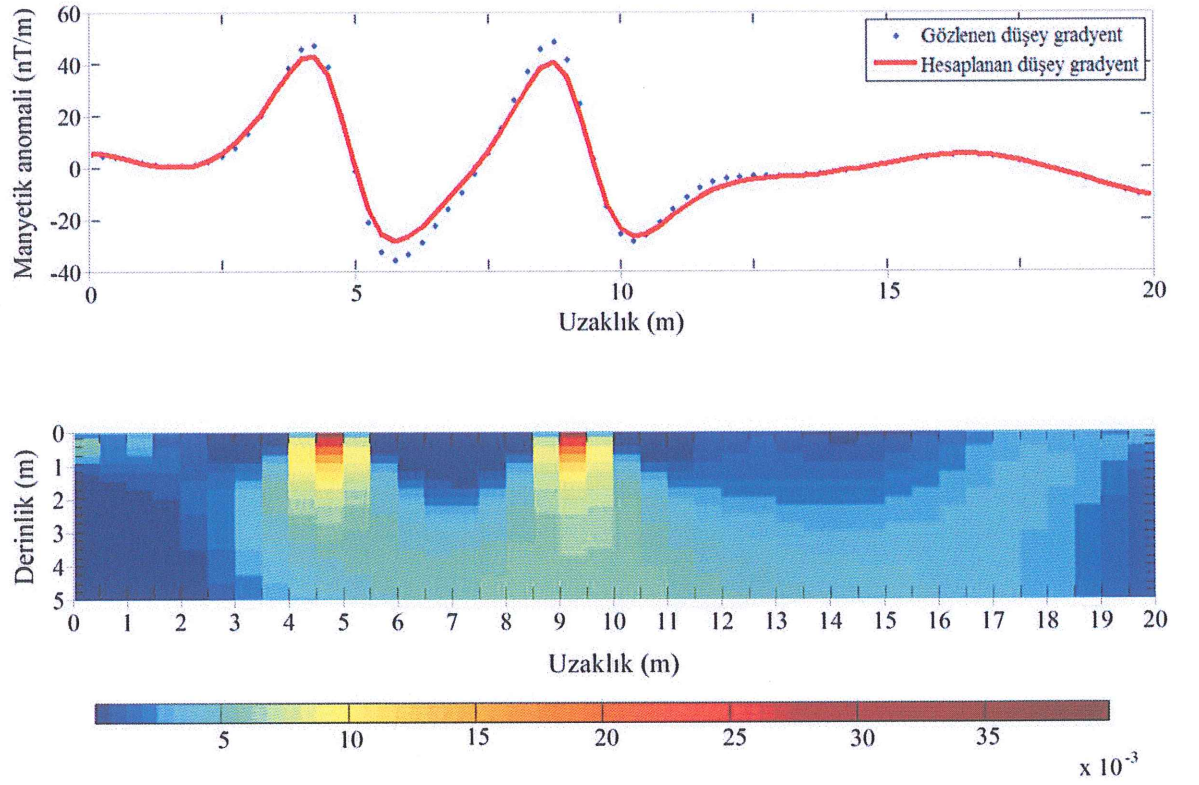
Tablo 3. 3: Prizma modellerinin duyarlık, derinlik ve yapı özellikleri.

Malzeme	Yapı Numarası	Yapının Üst Derinliği	Yapının Alt Derinliği	Duyarlık
Toprak (ortam)	-	-	-	2×10^{-3}
Andezit	1	0.25	1	9×10^{-2}
Kerpiç (kil)	2	1	2	9×10^{-3}
Kireçtaşı	3	2	4	2×10^{-2}



Şekil 3. 16: Örneklem aralığı 0.5 m alınan yapay modelin kesit eğrisi.

Yukarıda tanımlanan ve Şekil 3. 16'da verilen sentetik eğri MAG2D programına sayısal biçimde girdi olarak verilmiştir. Bu aşamada sinyal/gürültü oranı, yineleme sayısı, duyarlık, prizma sayısı, prizma derinliği ve kalınlığı programın girdileridir. Sentetik eğrinin 10 yineleme sonucunda elde edilen modeli ve hesaplanan ile sentetik eğrileri Şekil 3. 17'de verilmektedir. Şekilden de görülebildiği gibi eğriler arasında çakışım iyi denecek düzeydedir. Model yapıya bakıldığında, yüksek manyetik duyarlık içeren ve yüzeye yakın yapılar (1) açık biçimde ve uygun derinlik düzeyinde saptanmıştır. Ancak (2) numaralı yapı ile ilgili herhangi bir etki tomografi sonucunda görülmektedir. Ayrıca duyarlık değeri düşük olan, kireçtaşı olarak tasarlanan ve derine gömülen model yapının etkisi ise çok genel bir biçimde birbirinin içinde ortaya çıkmıştır. Böylece yapılan bu sentetik çalışma bu tür bir test modeli için yüzeye yakın ve yüksek manyetik duyarlıklı değerler belirlenebilirken, düşük duyarlık değerlerine sahip olan ve derinde gömülen yapıları belirlemenin zor olacağını ortaya çıkarmaktadır.



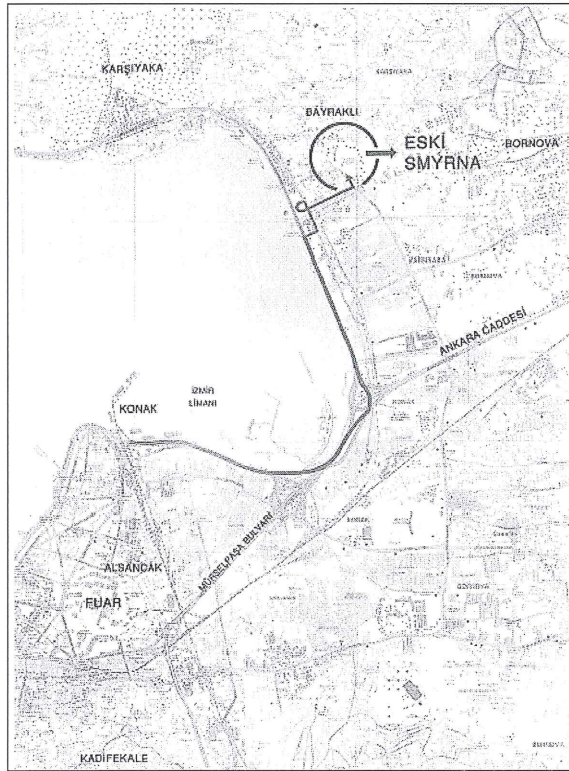
Şekil 3. 17: Yapay modelin 10 yineleme sonucu elde edilen duyarlık dağılımı.

4. UYGULAMA VE DEĞERLENDİRME

4. 1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgi

4. 1. 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

Bu çalışma tarihi ve arkeolojik bir öneme sahip İzmir İlinin Bayraklı ilçesinde bulunan Smyrna antik kenti sınırları içindeki höyük alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4. 1). İzmir ilinin kent merkezindeki, onbir ilçesinden biri olan Bayraklı İzmir Körfezi'nin kuzeydoğu köşesinde ve İzmir-Çanakkale yolu üzerinde yer almaktadır. Bayraklı ilçesinin doğusunda Bornova ilçesi, batısında İzmir Körfezi ve Karşıyaka ilçesi, güneyinde ise Konak ilçesi bulunmaktadır.



Şekil 4. 1: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanının coğrafi konumu (Akurgal, 1993).

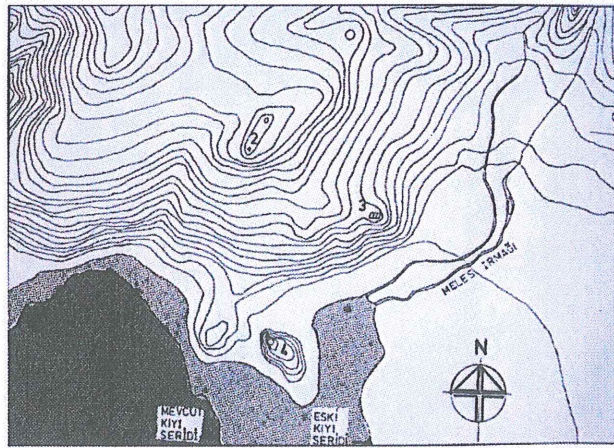
4. 1. 2. Bölgenin jeolojisi

İzmir Körfezi'nde jeolojik olarak hakim olan Kretase yaşlı koyu esmer renkli İzmir Flişi formasyonu, içinde baskın olan çeşitli killi şistler ve çok kristalize kireç taşlarından ötürü, bu formasyonun oldukça şiddetli bir kıvrımlanmaya ve başkalaşıma uğramış olduğunu göstermektedir. Batısında İzmir Körfezinin yer aldığı Eski Smyrna Höyüğü Kocaçay akarsuyunun yanında yer almaktaydı ve çevresi de bu akarsuyun taşıdığı alüvyonlar ile doluydu (Kayan, 2000). Höyüğün doğusunda yer alan Bornova ilçesi de aynı şekilde alüvyon ve yamaç molozu ile, kuzeyinde ise jeolojik olarak Miyosen yaşlı volkanik andezit kayaç birimleri hakimdir.

4. 1. 3. Bayraklı (Smyrna) antik kenti höyüğünün arkeolojik tarihi

İzmir antik dönemde arkeolojik açıdan önemli bir merkezdi ve İzmir Körfezi Prehistorik dönemden itibaren yerleşim için uygun bir yer olarak kullanılmıştır. Bayraklı-Smyrna Höyüğü bugün İzmir Körfezi'nin kuzeydoğusunda yer alır. Höyük, 20 sene öncesine kadar eteklerinde yer alan geniş arazileri ile birlikte 120-140 dönümlük bir alanı kaplamaktayken bugün kentleşme etkisiyle 80 dönümlük bir arazi üzerindedir.

Antik çağda höyük, bir yarım adacık üzerine kuruluydu ve Küçük Yamanlar Dağı'na bir berzah ile bağlı idi. (Şekil 4. 2). Bugün ise Bayraklı'nın modern yerleşim alanları içerisinde yer almaktadır (Şekil 4. 3).

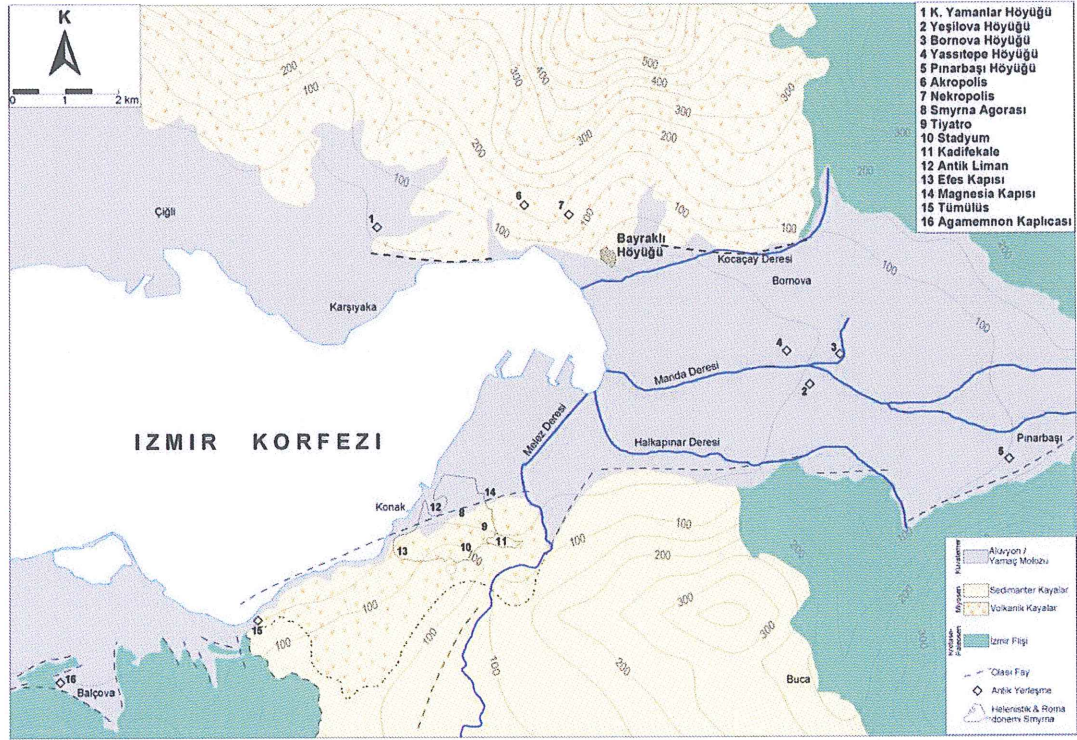


Şekil 4. 2: Bayraklı (Smyrna) antik çağdaki görünümü (Akurgal, 1993).



Şekil 4. 3: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanının genel görünümü (Akurgal, 1993).

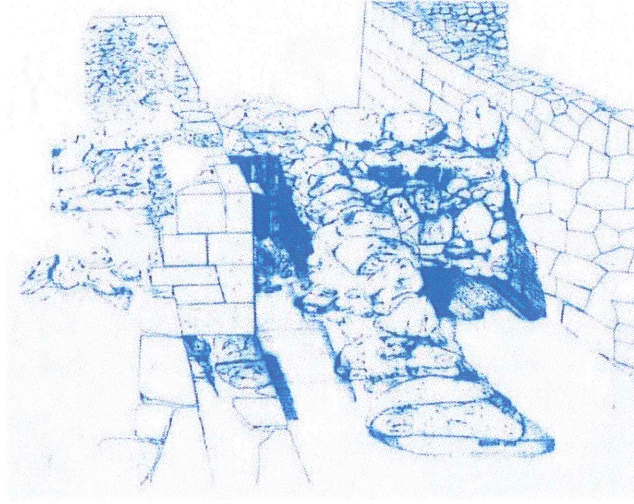
Aynı zamanda tarih öncesi dönemlere ait İzmir kentini çevreleyen beş farklı höyük daha keşfedilmiştir (Şekil 4. 4). Küçük Yamanlar (1), Prehistorik döneme ait Yeşilova (2), Neolitik dönemden Geç Roma dönemine ait Bornova (3), Yassitepe (4) ve Pınarbaşı (5) höyükleri İzmir ve çevresindeki tanınmış höyüklerdir. Akropol (6) ve Nekropol (7) alanları ise bugünkü höyüğün kuzeybatısında bulunmaktadır. Roma dönemine ilişkin antik liman (12) yakınındaki Melez ve Halkapınar akarsuları tarafından taşınan alüvyonlar ile doluydu. Dolayısıyla, bu yerleşim yerinin Efes, Sardes ve Pergammon gibi dönemin büyük kentleri ile ticari ilişkiler içinde önemli bir rolü vardır.



Şekil 4. 4: İzmir İli'nde bulunan arkeolojik yerleşmelerin yerleri. (Jeoloji ve jeomorfoloji bilgileri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA] (2002), (Koca, 1995) ve (Kayan, 2000)'dan Berge (2010) tarafından düzenlenmiştir.

Bayraklı Höyüğü'nde kazılar ilk olarak 1948 yılında Ord. Prof. Dr. Ekrem Akurgal ve Prof. Dr. J. M. Cook tarafından başlatılmıştır. Üç yıl devam eden bu ilk kazıların ardından 1966 yılında Ord. Prof. Dr. E. Akurgal tarafından yeniden çalışılmaya başlanmış, ikinci dönem kazılar 1993 yılına dek kesintisiz olarak sürdürülmüştür. 1993 yılından itibaren günümüze kadar kent kazıları Prof. Dr. Meral Akurgal başkanlığında devam ettirilmektedir. Bayraklı/Smyrna Kazısı çalışmaları T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü ödeneği ile gerçekleştirilmektedir.

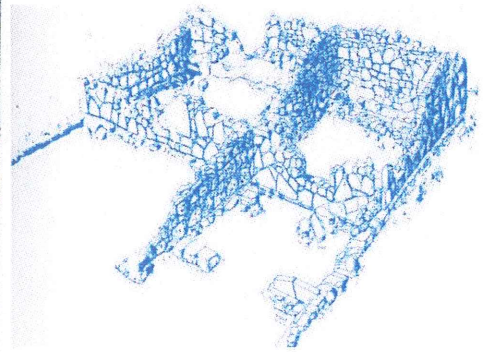
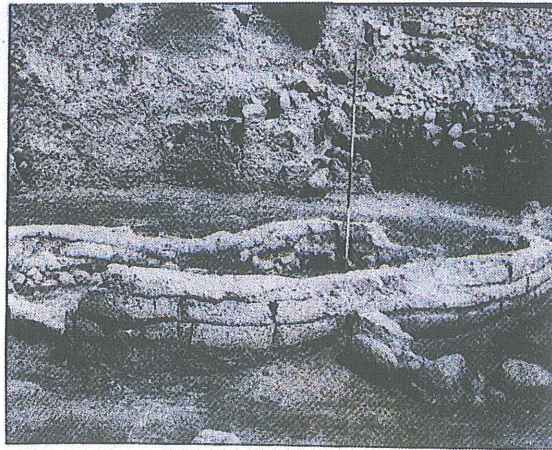
Smyrna antik kentinin ilk kurucuları Aioller'dir ve Aiol kavimleri M. Ö. 11 yüzyılda İzmir güney sınır olmak üzere Batı Anadolu'da pek çok şehirler kurmuşlardır. Bir Aiol kenti olarak kurulan Smyrna'nın yerleşme katlarının MÖ 11. yüzyıldan MÖ 4. yüzyıla kadar kesintisiz olarak devam ettiği saptanmıştır (Şekil 4. 5). Ancak kazılarda ele geçen en erken buluntular M. Ö. 3. bine ait seramik parçalarıdır. Bu ilk yerleşme Eski Tunç Çağı Uygarlığı'na aittir. Bu zamanda İzmir yöresinde Smyrna en tanınmış yerleşim yerlerinden biriydi (Sevin, 2003).



Şekil 4. 5: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanındaki yerleşme katları (Akurgal, 1993).

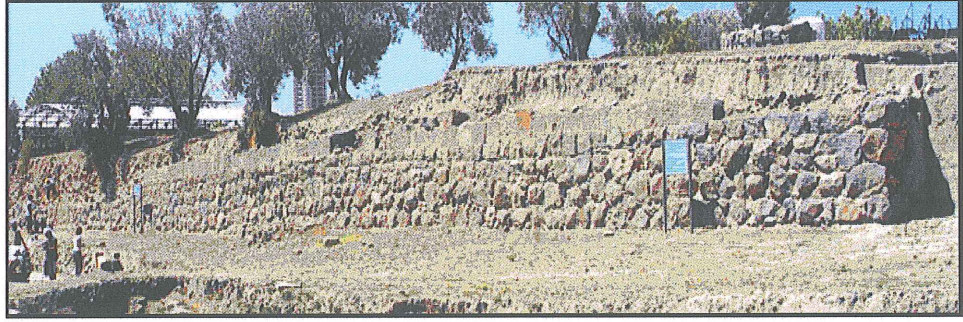
Smyrna'nın fiziksel kalıntıları kronolojik olarak incelendiğinde Aiol yerleşiminin en erken tabakaları olan M. Ö. 11.-9. yüzyıllar arasındakiler halkın o çağda tek odadan oluşan bahçe içinde evlerde yaşamakta olduğunu gösterir. Batı Anadolu'da tarihi ve planı bilinen ilk ev olan "Oval Ev" burada bulunmuştur (Şekil 4.6). Ev, M. Ö. 925'e tarihlenir.

Tek odadan oluşan Oval Ev kerpiç malzeme kullanılarak yapılmıştır. Smyrna M. Ö. 9. Yüzyıl ortasında yine kerpiçten yapılmış bir sur ile çevrelenmiştir, bu sayede kent-devlet kimliği oluşmuş ve "Basileus" adı verilen bir bey tarafından idare edilmiştir (Akurgal, 1993).

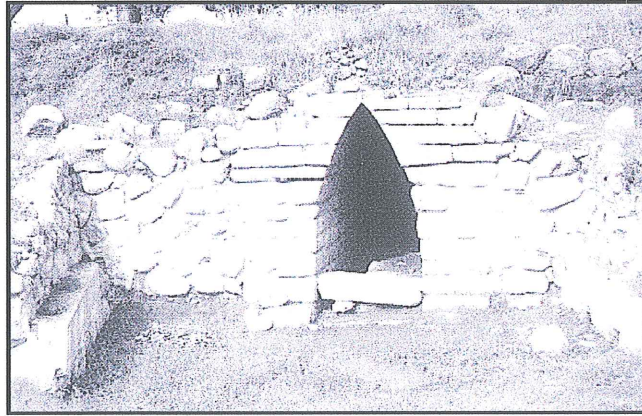


Şekil 4. 6: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanında tek odalı oval evin görünümü (Akurgal, 1993).

Smyrna'da M.Ö. 7. yüzyılın ikinci yarısından itibaren büyük bir yapı faaliyeti başlamıştır. Smyrna halkının bu dönemde Akdeniz ile ticari faaliyetlere başlamış olması, ekonomik açıdan refah seviyelerinin yükselmesi bu konuda etken olmuştur. Bayraklı Höyüğü'ndeki Smyrna antik kenti özellikle M. Ö. 650-546/545 yılları arasında Aiolis Bölgesi'nin en önemli kenti olmuştur. Bugün Höyük üzerinde halen kalıntıları görülen surlar (Şekil 4. 7), Athena Tapınağı, Anıtsal Çeşme binası, Toplantı Megaronu, Çifte Megaron gibi taş yapılar Doğu Hellen yapı sanatının bu dönemin en güzel örneklerindendir. 2.5 metre yükseklikte ve 5.10 metre derinlikte olan anıtsal çeşme yapısı, hem kente hem de kent dışına hizmet veren bir yapıdır ve andezitten inşa edilmiştir (Şekil 4. 8). İnşa edilen yapılar ve kent planlaması, idare biçiminde de yeni bir sistemin oluştuğunu ortaya koymaktadır (Akurgal, 1993)



Şekil 4. 7: Bayraklı (Smyrna) arkeojik alanında surların genel görünümü (Akurgal, 1993).



Şekil 4. 8: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanında anıtsal çeşme yapısı (Akurgal, 1993).

Hellen Dünyasında en eski geometrik dokulu kent planı ilk kez Smyrna antik kentinde görülmektedir. M. Ö. 7. yüzyıl sonuna tarihlenen “Athena Caddesi” kenti doğu-batı doğrultusunda ikiye böler ve batıda limanla doğuda ise yeni kazılara göre Athena Tapınağı'nın önünden geçerek kent kapısında son bulur. M. Ö. 600'de Lidya Kralı Alyattes ve birliklerinin kente saldırması, Smyrna'da tahribata neden olmuştur. Bu saldırıda kent duvarı, tapınak ve kent büyük hasar görmüş ve bu tarihten hemen sonra onarımlara başlanmış, kent en güzel halini almıştır. Şehir, ilki M. Ö. 7. yüzyılın ortasında ikincisi ise 6. yüzyıla tarihlenen iki adet sur ile çevrelenmiştir. Surlardan ilki, altı taş üstü kerpiç olarak yapılmış, M. Ö. 600'de olan Alyattes saldırısı sırasında üst kerpiç yapının yıkılmasıyla, ikinci sur duvarı ile birlikte ikinci sur gibi tekrar tamamen taş olarak yapılmıştır (Akurgal, 1993). Aynı dönemde ilk olarak M. Ö. 725'te 6 x 10 peripteros olarak yapılmış Athena Tapınağı da yenilenmiş ve batı terasın batı bölümünün eklenmesiyle de tamamlanmıştır. Tapınağın özellikle sütun başlıkları Aiol mimarlığının ilk ve en güzel örneklerindendir. Bu başlıklar daha sonra İon başlığına da öncülük yapacaktır (Şekil 4. 9). Smyrna'lılar kısa sürede kentlerindeki, tahribatın izlerini giderseler de M. Ö. 546'da olagelen Pers saldırısı ile bu süreç sona ermiştir.



Şekil 4. 9: Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanındaki Athena tapınağının görünümü.

M. Ö. 546 Pers saldırılarını takiben kent bir duraklama sürecine girmiş, M. Ö. 400 civarında ise yeniden canlanmıştır. Bu dönemde höyük üzerinde küçük ama zengin bir yerleşme vardır. Höyük üzerinde en üst tabaka M. Ö. 4. yüzyıla aittir. Burada üç büyük yapı kompleksi yer alır. “Avlulu Evler” olarak adlandırılan bu evlerde odalar ortada bulunan avluyu çevreler. Evlerden birinin girişi “Athena Caddesi’ne” açılır ve 14 odalıdır. Yanındaki evler ise 7 ve 6 odalı olup, girişleri yan sokağa bakar. Bayraklı Höyüğü’nün bu çok odalı evleri bir kral yada tiran tarafından demokratik olarak idare edildiğini düşündürmektedir. MÖ. 4. yüzyıl’ın ikinci yarısında kent Pagos Dağı’nın (Kadifekale) eteklerine taşımıştır (Akurgal, 1993)

4.2. Toplam Manyetik Alan Ölçümleri

Arkeolojik arama çalışmalarında jeofizik araştırmaların arazi çalışmalarına başlamadan önce, çalışılacak alanın gridlenmesi, örnekleme aralığının ve profil doğrultusunun seçilmesi aranılan yapı açısından uygun olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle örnekleme aralığı ve profil doğrultusunun seçimi aranılan yapıya uygun olmalıdır. Profil doğrultusunun genel yapıları dik kesecek şekilde olması önem taşır. Örnekleme aralığının ise, olası düşünülen yapının boyutları ile uyum içinde olması, yorum aşamasında daha da kolaylık sağlamaktadır. Aranılan yapı küçük bir obje ise, bu yapının genişliğinden daha büyük bir örnekleme aralığı seçildiğinde yapıda ortaya çıkması beklenen anomali değerlerini de belirlemek zorlaşacaktır. Manyetik yöntemde, çalışma alanının yerleşim alanlarına yakın olması, çalışma yapılacak bölgedeki elektrik trafoları, alınacak ölçümleri doğrudan etkilediğinden oluşturulan manyetik anomali haritalarında veri-işlem aşamasında yorumu güçleştiren yüksek frekanslı bileşenleri gidermek amacı ile çeşitli filtre yöntemleri ve veri-işlem teknikleri uygulanması daha güvenilir sonuçlar elde etmemize olanak sağlar.

Bayraklı Symrna Höyüğü arkeolojik çalışma alanında manyetik ölçümler iki aşamadan oluşmuştur. Öncelikle höyük türü bir yerleşme olan alanın derinliğine incelenebilmesi için değişik alıcı aralıklarında yermanyetik alanının toplam bileşen ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında Scintrex ENVI MAG proton manyetometresi kullanılmıştır (Şekil 4. 10). Araştırmalar 30m x 30m boyutlarındaki alandan x ve y yönlerinde aralıklar 0,5 m olacak biçimde seçilmiş ve toplam 60 hat

üzerinden yeryüzü ile alıcı arasındaki uzaklıkların sırasıyla 0. 5, 1. 0, 1. 5 ve 2. 0 metre olduğu toplam manyetik alan verileri toplanmıştır (Şekil 4. 11). K-G yönlü toplanan bu verilerden daha sonra alıcıların farklarından yararlanarak, alıcı aralıklarına bağlı gradyent verileri elde edilmiştir. Okumalar data logger da biriktirilip, daha sonra bilgisayara aktarılmıştır. Çalışma süresince belirlenen bir baz noktasında belli zaman aralıklarında ölçümler kaydedilerek, zamana bağlı manyetik alan değişimleri belirlenmiştir. Çalışma alanında ki baz noktası belirlenirken, ölçümleri etkileyecek cisimlerin bulunmadığı, manyetik açıdan genelde durağan bir bölge olmasına dikkat edilmiştir. Ölçümler sırasında her profilin bitimi ve başlangıcında baz noktasında geri dönmüş ve bu işlemler düzenli olarak kaydedilmiştir. Arkeolojik arama çalışmaları sığ çalışmalar olduğundan arazi çalışmalarına başlamadan önce küçük yapıları daha kolay belirleme açısından ilk örnekleme aralığı 0. 5 metre seçilmiştir. Şekil 4. 12 de, bir profil boyunca ölçü alımı görülmektedir.



Şekil 4. 10: Scintrex Proton Manyetometresi.



Şekil 4. 11: Çalışma alanında ölçülen profillerin görünümü.

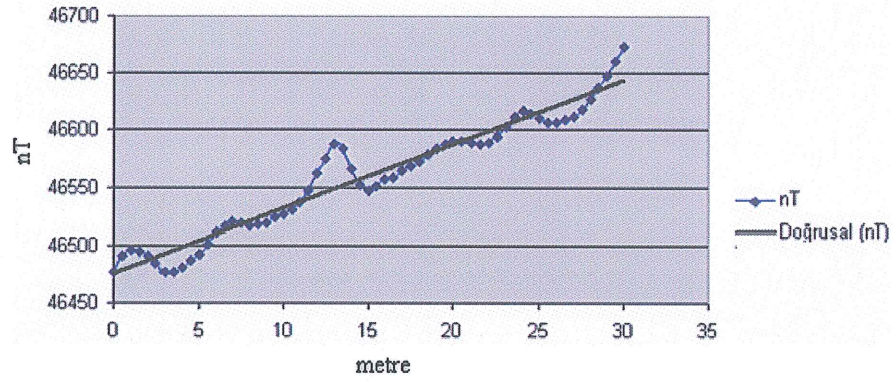


Şekil 4. 12: Arazi çalışmasından bir görünüm.

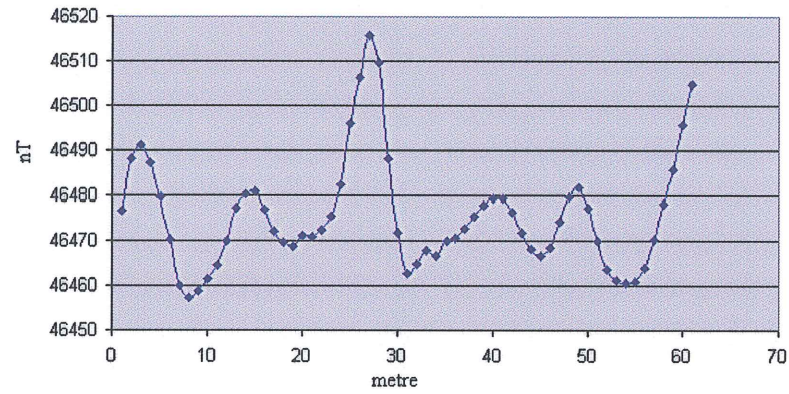
Verilerden yermanyetik alanının etkisinin arındırılması için, baz düzeltmesi işlemi de yapılmıştır. Profiller üzerinde ölçülen arazi ölçümlerinden aynı zaman diliminde Kandilli Rasathanesi Manyetik Kayıt istasyonundan alınan değerler çıkarılmış, yeni değerler anomali haritası haline dönüştürülerek, yermanyetik alanındaki günlük değişimlerin etkisi giderilmiştir.

Bu çalışmaların dışında aynı alanda Geoscan ürünü bir FM-36 fluxgate gradyometresi kullanılarak da ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmalarda da hat aralıkları bir önceki çalışma ile aynı, ama ölçüm aralıkları 0.25m olacak şekilde tutulmuştur. Ölçümler 10 x 10 m boyutlarında 9 grid üzerinde başarılmış ve her grid bitiminde seçilen bir baz yerinde düzeltme amaçlı değerler kayıt edilmiştir. Veriler gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra Geoplot 3.0 yazılımında görselleştirilmiştir.

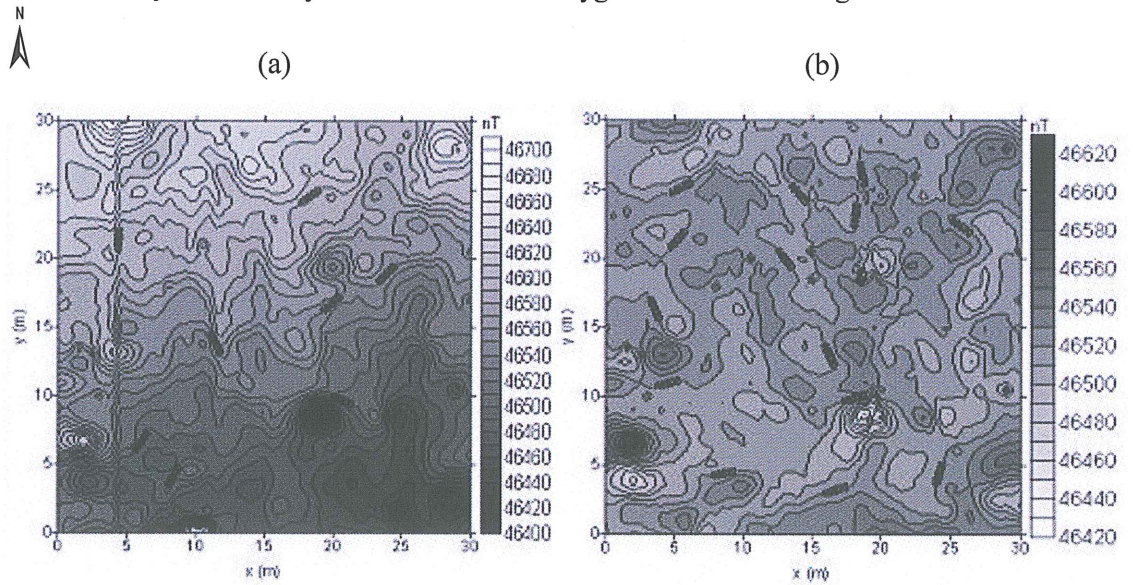
Çalışma alanının, merkezi bir yerleşim birimi olmasından dolayı, gürültü oluşturan birçok unsur bulunmaktadır. Özellikle metal ve demir parçacıklarının etkisi, yeraltında asıl anomaliyi oluşturan yapıların bulunmasını güçleştirmektedir. Alandan toplanan toplam manyetik alan verileri çizildiğinde kuzeye doğru önemli bir uzanımın olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.13). Bu trendlerin giderilmesi için, verilere trend analizi uygulanmıştır. Trend analizi uygulandıktan sonra aynı hattan elde edilen eğri Şekil 4.14 de görülmektedir. Bu olayın alansal olarak görünümü ise Şekil 4.15a'daki haritada açıkça görülmektedir. Haritada ortaya çıkan ve nedeni bilinmeyen bir kaynaktan ortaya çıkan trendin asıl anomalileri belirgin olarak maskeleyiği görülmektedir. Oysa trend düzeltmesinden sonra, bu istenmeyen etki ortadan kaldırılmış ve arkeolojik yapılardan kaynaklanan veriye ulaşılmıştır (Şekil 4.15b). Böylece bu tür çalışmalarda veriyi önemli oranda etkileyebilecek ve yorumu yanlış noktalara götürebilecek bu tür olumsuz etkilere çok iyi dikkat edilmesinin gerektiği burada belirtilmelidir.



Şekil 4. 13: Trend analizi öncesi anomali ve uygulanan trend fonksiyon.



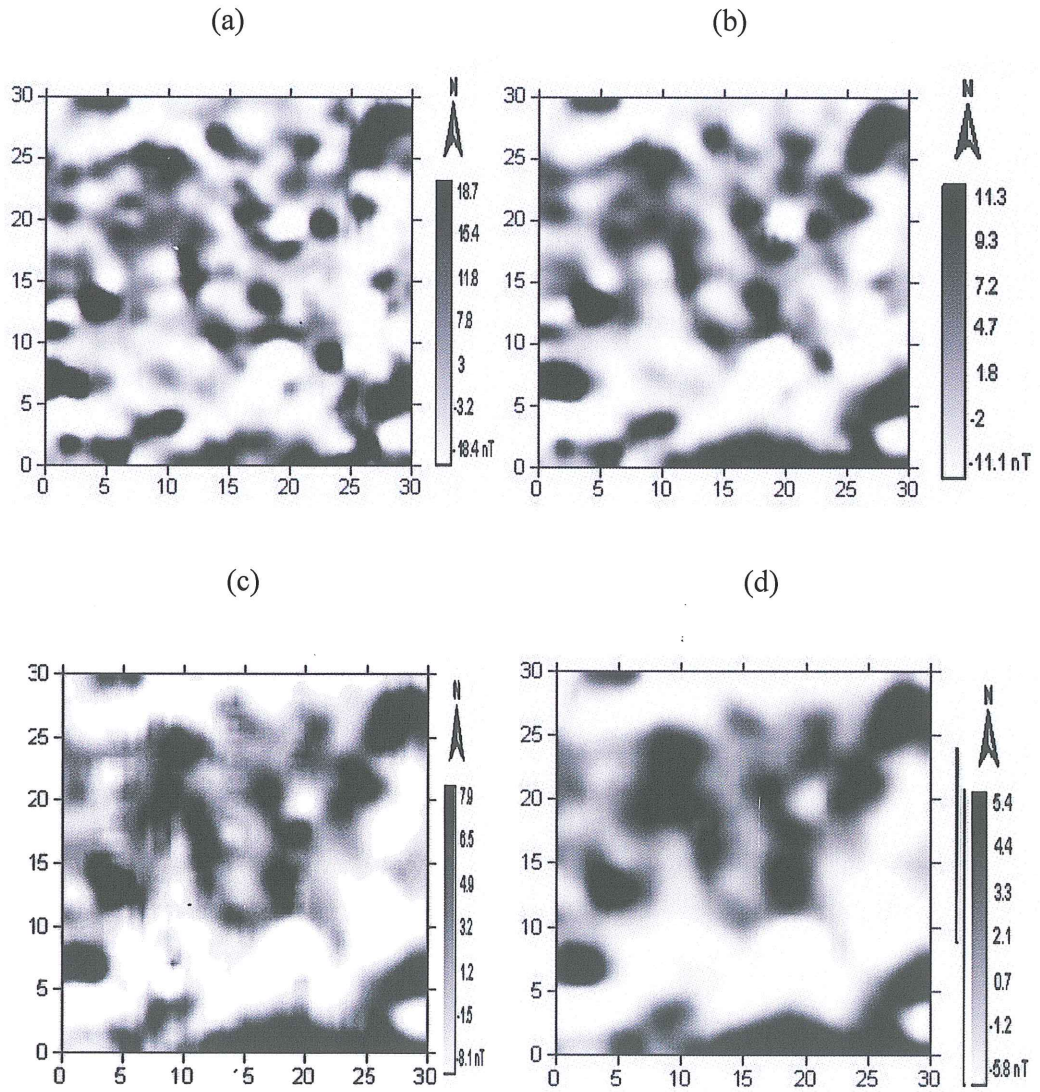
Şekil 4. 14: Aynı hattın trend analizi uygulandıktan sonraki eğrisi.



Şekil 4. 15: a) Trend doğrultusunun olduğu manyetik anomali haritası b) Trend analizi uygulandıktan sonraki manyetik anomali haritası.

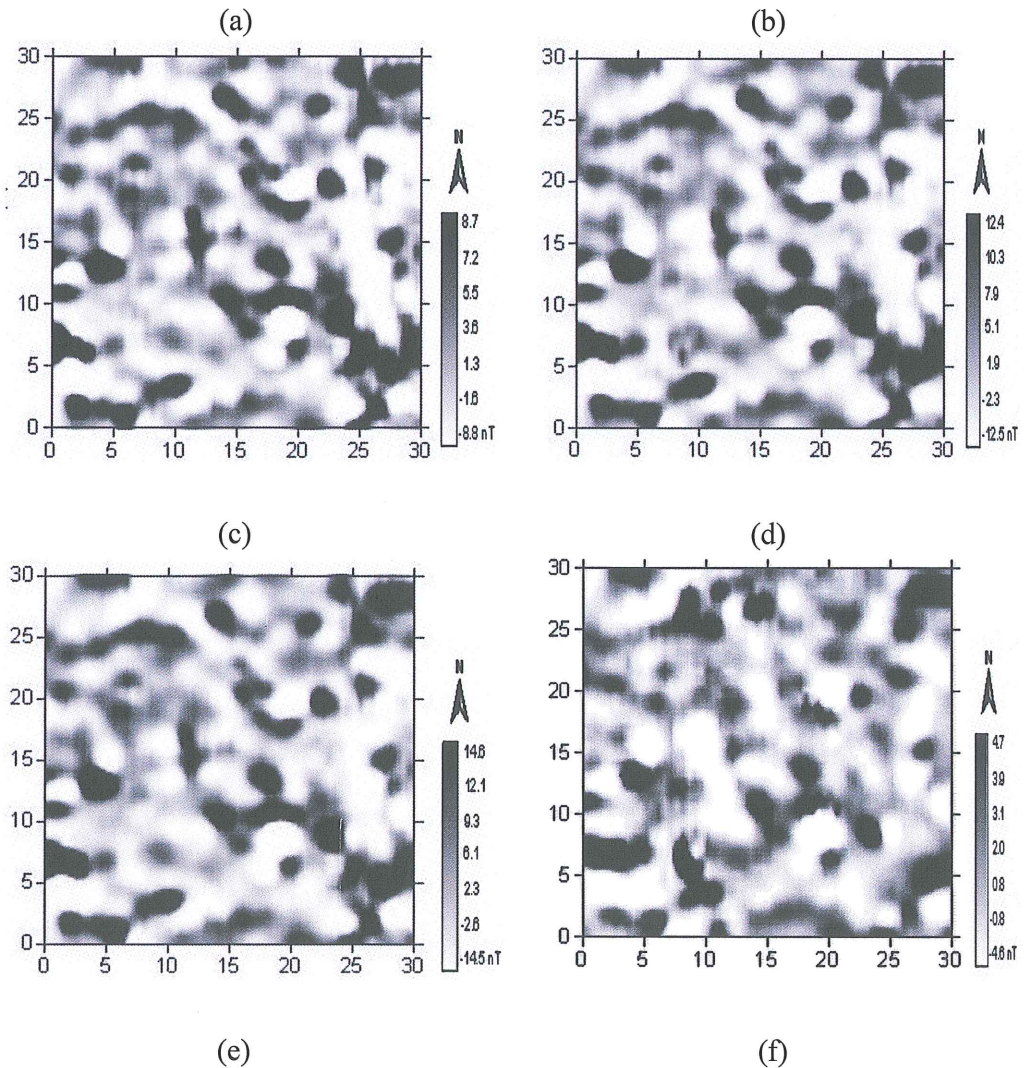
Araziden toplanan manyetik ölçüm değerlerini genel olarak görebilmek için öncelikle 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 metre yer-alıcı aralıklarının toplam manyetik alan

anomali haritaları oluşturulmuştur. Anomali haritaları üzerinde yüksek frekanslı bileşenleri yok etmek ve verileri yuvarlatmak amacı ile alçak geçişli filtreleme işlemi uygulanmıştır ve bu işleminden geçirildikten sonra elde edilen manyetik haritalar Şekil 4. 16 (a), (b), (c) ve (d) de görülmektedir. Elde edilen anomali haritaları incelendiğinde, genelde birbirleri ile büyük benzerlikler bulunmaktadır. Ancak alıcı yüksekliği arttıkça, anomalilerde önemli bir yuvarlanma ortaya çıkmaktadır. Ancak derindeki daha temel anomaliler daha baskın bir biçimde görünmektedirler. Özellikle 0.5 m alıcı verisi ile karşılaştırıldığında önemli farkların olduğu görülmektedir.

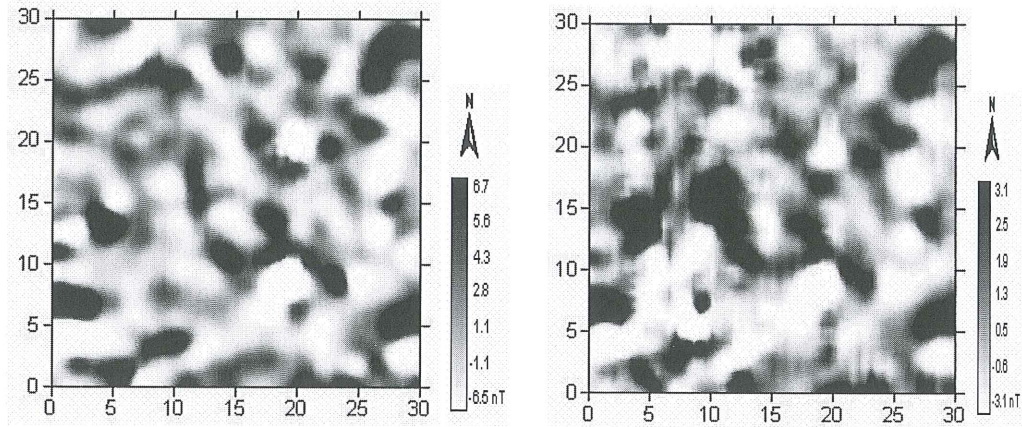


Şekil 4. 16: a) 0,5 m, b) 1 m c) 1.5 m d) 2 m alıcı uzaklıkları olan, alçak geçişli filtre (Gaussian 3x3) uygulanmış toplam alan manyetik anomali haritaları.

Arkeoloji jeofiziği arama çalışmalarında manyetik yöntemin uygulamalarında gradyent ölçüm ya da fark ölçümü tekniği yapıların daha iyi belirlenebilmesine olanak sağlar. Bu amaçla alandan alınan toplam manyetik alan verilerinin her alıcı yüksekliği için elde edilen sonuçlarının farkı alınarak, altı ayrı gradyometre veri seti oluşturulmuştur. Bunlar sırasıyla; 0,5-1, 0,5-1,5, 0,5-2, 1-1,5, 1-2 ve 1,5-2 metre aralıklarından toplananlardır ve bunların verilerine bir alçak geçiren süzgeç uygulandıktan sonra elde edilen gradyent anomali haritaları Şekil 4. 17 (a), (b), (c), (d), (e), (f) de verilmektedir.



Şekil 4. 17: Manyetik (gradyent) haritaları a) 0,5-1 m b) 0,5-1,5 m c) 0,5-2 m d) 1-1,5 m e) 1-2 m f) 1,5-2 m.

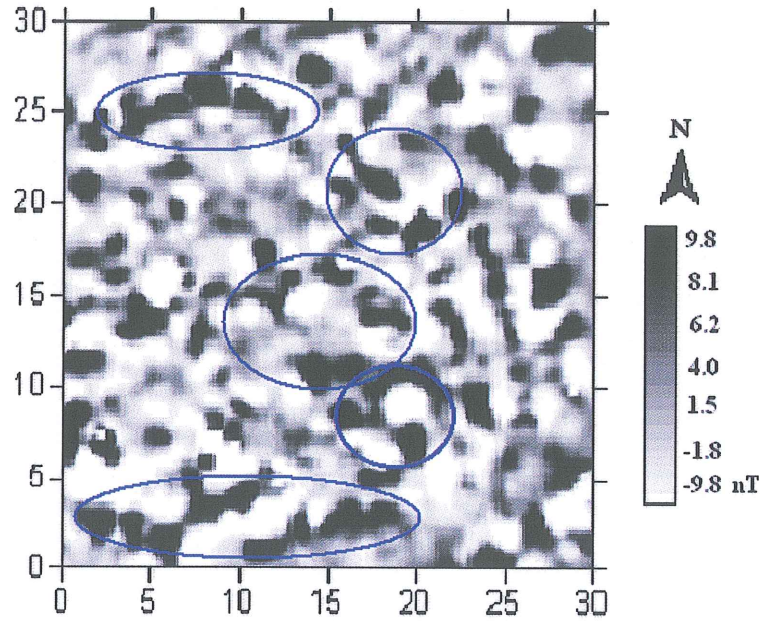


Şekil 4. 17(devamı): Manyetik (gradyent) haritaları a) 0,5-1 m b) 0,5-1,5 m c) 0,5-2 m d) 1-1,5 m e) 1-2 m f) 1,5-2 m.

Elde edilen gradyent verilerinden de görüldüğü gibi, alıcı aralıkları yapı belirleniminde önemli bir yere sahiptir. Buradaki haritaların da gösterdiği gibi yüzeye yakın ve daha derindeki yapılar farklı gradyent haritalarında daha açık biçimde izlenebilmektedirler. Özellikle bazı yapıların etkilerinin derine doğru devam ettiği görülmektedir. Yüzeye yakın 0.5 m yükseklikteki alıcının kullanıldığı gradyent haritalarında alanın doğusunda yüksek manyetik özellikli bir yapının etkisi daha belirgin iken, daha aralıklı alıcı aralıklardan elde edilenlerde bu etki ortadan kalkmaktadır. Böylece bu etkilerin yüzeye yakın bir yapı grubundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm haritalar alanda genel uzanımların KD-GB ve KB-GD yönlerinde olduğunu ortaya koymaktadır.

4. 3. Gradyometre Ölçümleri

Bayraklı Smyrna Höyüğü çalışma alanında, Geoscan FM36 fluxgate gradyometresi kullanılarak aynı alanda manyetik gradyometre çalışmaları 0.5 metre hat ve 0.25 m ölçüm aralıkları ile G-K hatlar doğrultusunda yapılmıştır. Ölçüm işlemlerinin sonucunda araziden elde edilen gradyometre verileri Geoplot yazılımı kullanılarak işlenmiş ve elde edilen manyetik gradyometre anomali haritası Şekil 4.18 de görülmektedir. Şekilden de görülebildiği gibi harita 0.5 m alıcı yüksekliğine sahip alıcıların fark anomali haritaları ile oldukça uyumludur. Böylece iki farklı cihaz ve ölçüm şekliyle elde edilen veriler arasındaki benzerlik bu tez kapsamında aşağıda kullanılan değerlendirme yöntemleri ile test edilmiştir ve sonuçları izleyen bölümlerde sunulmaktadır.



Şekil 4. 18: Manyetik gradyent anomali haritası.

Çalışma alanına ait manyetik gradyometre anomali haritası Şekil 4. 18 incelendiğinde, özellikle KD-GB uzanımlı, güneybatıya doğru genişleyen, kendi arasında birbiri ile orantılı, belirgin bir anomali gözlenmektedir. Daire ve elipslerle gösterilen alanlardaki anomaliler oldukça dikkat çekicidir ve yeraltındaki arkeolojik yapıların izlerini açık olarak göstermektedir. Pozitif değerli ve koyu renkle gösterilmiş değerler alandaki gömülü mimari yapılar hakkında önemli veriler vermektedir ve burada birbirleri ile ilişkili birçok yapı kompleksinin olduğunu düşündürmektedir.

4. 4. Euler Dekonvolüsyonunun Bayraklı (Smyrna) Arkeolojik Alanı Manyetik Anomali Haritalarına Uygulanması

Euler dekonvolüsyon uygulamalarında yatay ve düşey verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu türevlerin duraylı bir şekilde hesaplanması Euler dekonvolüsyon yönteminin etkinliğini arttırmaktadır. x, y ve z yönlü türevler 2 boyutlu FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) algoritması kullanılarak hesaplanmıştır.

4. 4. 1. Euler çözümlerinin saptanması

Bölüm II'de bahsedildiği gibi Euler dekonvolüsyonu kaynak parametreleri için bir hareketli pencere ile doğrusal bağıntılar sistemlerinin çözümünü gerektirir. Çözümün kalitesi katsayılar matrisinin iyi veya kötü koşullu olup olmadığına bağlıdır. Eğer sistemin özdeğerlerinden en az biri sıfıra çok yakın ise bu durumda matris tersi alınırken sorunla karşılaşılır (ya tersi alınamaz ya da parametreler kötü çözülür). Koşul sayısı sistemin kötü koşullu olup olmadığını gösteren önemli bir kriterdir ve

$$cond(A) = \frac{\lambda_{mak}}{\lambda_{min}} \quad (4. 1)$$

olarak tanımlanır. Burada görüldüğü gibi λ_{min} değerinin 0'a çok yakın olması, koşul sayısının çok fazla büyümesine neden olur. Bu durum sistemin kötü koşullu olduğunun bir işaretidir.

Çözümün kalitesini gösteren kriterlerden biri de, *çakışma* kriteridir. Bu kriter (3. 8) eşitliği ile verilen Euler dekonvolüsyon bağıntısının tek tek her bir veri noktası ile elde edilen, çözümün ne ölçüde eşitliği sağladığının göstergesidir. Tam bir çözüm için (3. 8)f eşitliğinde, $n = -N$ yazılıp düzenlenirse

$$\text{çakıştırma hatası} = (x - x_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial y} - z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} + N(\Delta T - B) \quad (4. 2)$$

elde edilir. Kaynak parametreleri (x_0, y_0, z_0) için ideal koşullarda tam bir çözümün elde edilmesi durumunda (4.2) eşitliğinin 0 olacağı açıktır. Buradan ideal bir çözümün elde edildiği sonucu ortaya çıkar. Ancak daha önce bahsedildiği gibi Euler çözümünün kalitesini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörlere bağlı olarak (4. 2.) eşitliği hiçbir zaman tam olarak 0 olmaz. Bu durumda, hatanın olabildiğince küçük olması kaynak lokasyon parametrelerinin optimum ölçüde ve iyi çözüldüğüne işaret eder.

Reid vd., (1990) Euler çözümlerinin yorumunda çözümlerin kümelenmelerinin (clustering) dikkate alınması gerektiğini önermişlerdir. Çünkü bu çözümler en az saçılmayı temsil eder ve gömülü kaynağın yatay lokasyonu ve derinliğini izleyen duraylı sonuçları temsil eder. Saçılmanın fazla olması derinlik çözümlerinin standard sapmasını büyültür; aksi durumda ise küçültür. Bu durumda standard sapma çözümlerin kalitesi için bir kriter olarak karşımız çıkar.

4. 4. 2. Euler çözümlerinin yorumlanması

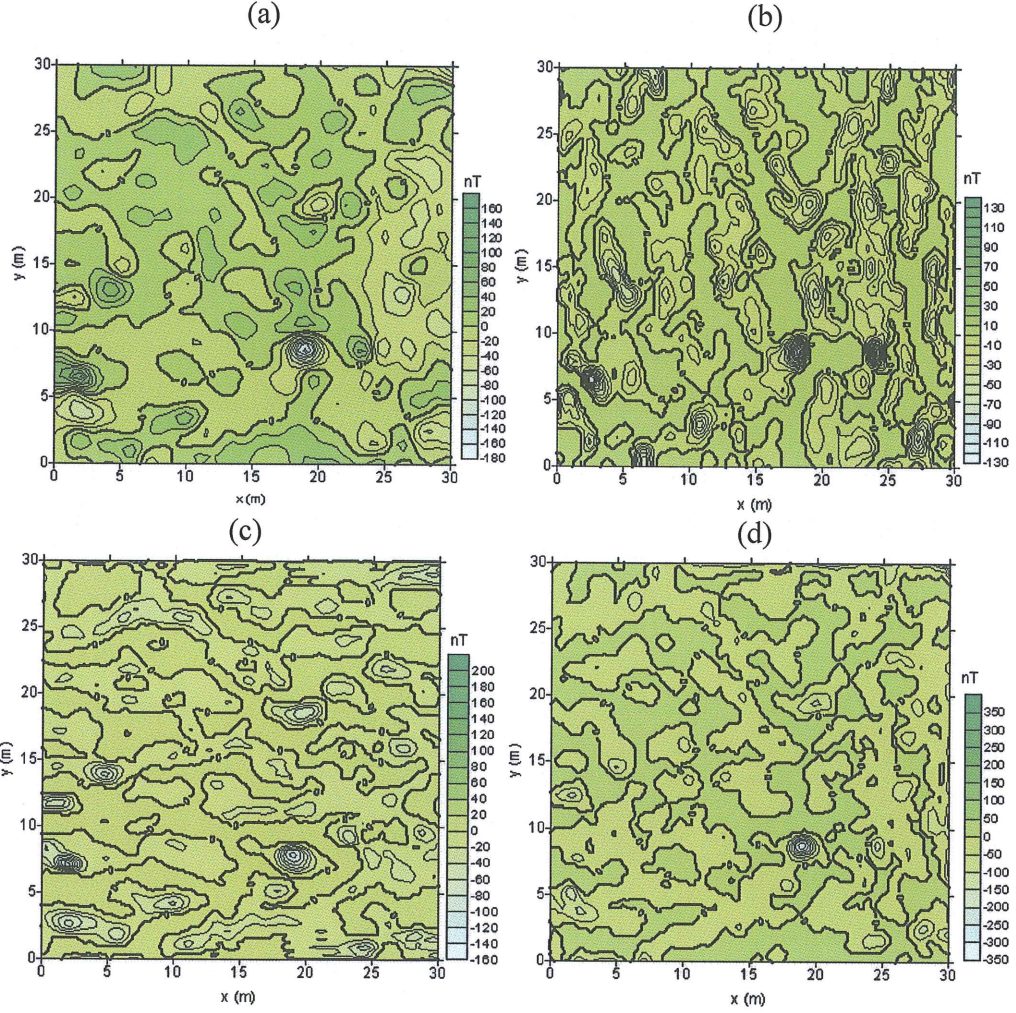
Şekil (4. 16.) a'da görüldüğü gibi 0.5 metre'lik alıcı yüksekliğine göre elde edilen manyetik anomali haritasında, yorumu güçleştiren yüksek frekanslı bileşenleri yok etmek, verileri yuvarlatmak ve yoruma hazırlamak için uygulanan alçak geçişli filtreleme işlemi görülmektedir. Bu amaçla, 3x3'lük basit Gauss filtresi kullanılmıştır. Bu filtrenin katsayıları;

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

olarak verilir.

4. 4. 2. 1. 0. 5 m alıcı yüksekliği için çözümler

Böylece Şekil 4. 16a'daki veri ile gauss filtre katsayılarının konvolüsyonundan elde edilen alçak geçişli filtrelenmiş veri Şekil 4. 19a'da gösterilmiştir. Şekil 4. 19b, c ve d'de 2B Fourier dönüşümü ile hesaplanan x, y ve z düşey türev haritaları verilmektedir.



Şekil 4. 19: 0,5 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x, y ve z doğrultusundaki türevleri a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.

Şekil 4. 19b’de 0.5 metre alıcı uzaklığında toplam alan manyetik anomali haritasında alınan x yönlü yatay türevde alanın doğu-batı değişimleri ve yatay yönde çözünürlüğün daha net ortaya çıktığı gözlenebilmektedir. Aynı şekilde Şekil 4. 19 c’de y yönlü yatay türev’de y yönündeki değişimler gözlenmiştir. Şekil 4. 19 d’de ise x ve y yönlü türevlerden daha farklı olarak z yönlü düşey türevde, z yönündeki değişimler ortaya çıkmıştır. Bu haritanın ana anomali haritası ile olan benzerliği yapıların düşey olarak yerleştiğini göstermektedir. x ve y yönündeki türevler ise o yöndeki yapı uzanımları ile ilişkilidir.

Euler dekonvolüsyon çözümlerini etkileyen en önemli parametreler veri kalitesi, türevlerin duraylı hesaplanması, pencere boyu ve yapısal indeks seçimidir. Özellikle

yapısal indeks önemli bir parametredir. Düşük yapısal indeks değerleri sığ bölgelerden, yüksek yapısal indeks değerleri de derin bölgelerden çözüm vermektedir. Arkeolojik arama çalışmaları da sığ çalışmalar olduğundan özellikle düşük yapısal indeks değerleri tercih edilmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi bu parametre anomaliye neden olan kaynakların tipini belirler. Arkeolojik alanlardaki kalıntıların birçoğu nokta dipol (küre) veya çizgisel dipol (silindir) ideal modellerle temsil edilirler.

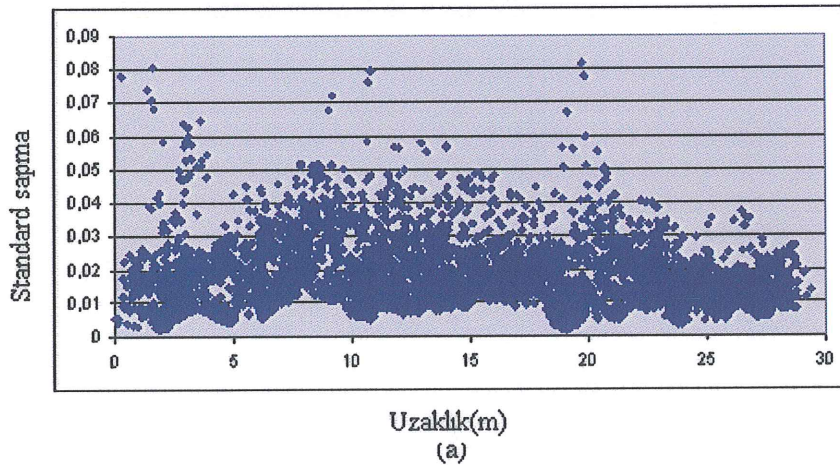
Pencere boyunun anomalilerin dalga boylarına uygun bir şekilde seçilmesi optimum kaynak, lokasyon ve derinliklerinin çözülmesini sağlar. Pencere boyunun gereğinden küçük seçilmesi Euler çözümlerinin sayısını çok fazla artırır ve bunların yorumu neredeyse imkansız hale gelir. Gereğinden fazla büyük seçilmesi ise, pencere boyunun, anomalileri kabaca kapsamasına neden olur ve bunun sonucunda az sayıda Euler çözümleri yorumlama için yetersiz kalır. Bu durumda pencere boyu ile anomalinin genliği arasında doğru bir ilişkilendirme söz konusudur.

Çalışma sahasında yerleşim alanının uzun duvarlardan oluşan kalıntılar beklendiğinden anomali kaynağı için çizgisel dipol yaklaşımı ele alınmıştır. Bu durumda alıcı uzaklığı 0.5 metre alınan toplam alan manyetik anomali haritasında yapısal indeks için $N=2$ değeri kullanılmıştır.

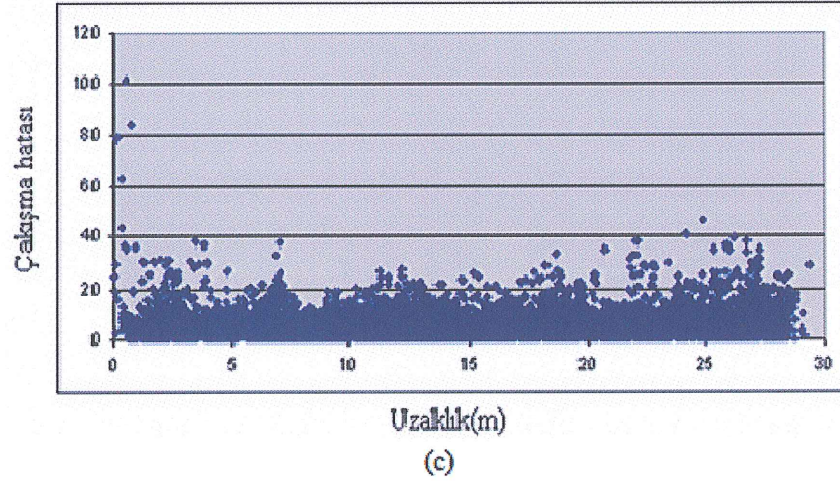
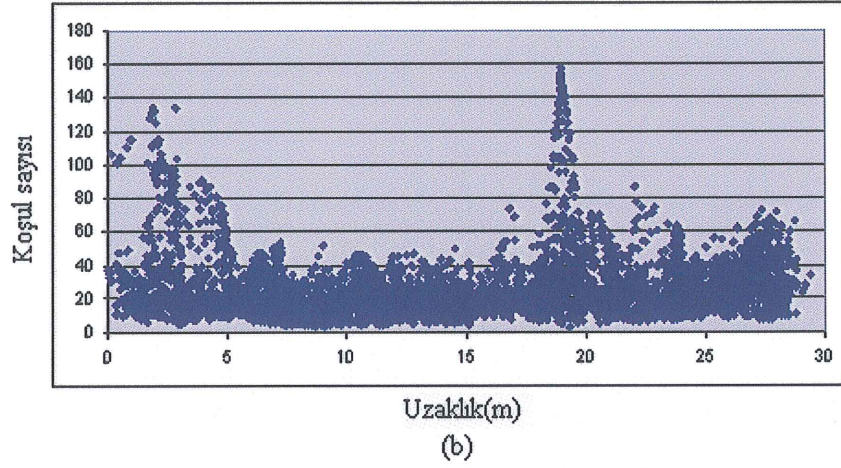
Şekil 4. 19 (a) (b) (c) ve (d)'deki veriler için çeşitli pencere boyları denenmiş ve en uygun çözüm 7×7 hareketli pencere için elde edilmiştir. Pencere boyu dipolar karakterli anomali kapanımlarına bakılarak belirlenmiş ve hedef kütleden kaynaklanan anomali genliğini kapsayacak şekilde seçilmiştir. 7×7 boyutlu pencere boyu, 0.5 metre örnekleme aralığı için 3.5×3.5 metre'lik bir hücre boyutuna karşılık gelmektedir. Bu hücre boyutu Şekil 4. 19'daki anomali haritasında görülen karakteristik kapanımları yeterince kapsamıştır. Bununla birlikte, Euler dekonvolüsyon yönteminin doğası gereği her zaman istenen çözümlerin dışında çözümler de bulunabilir. Euler çözümlerinden hangilerinin kabul edilip, hangilerinin reddedileceği, önemli bir sorundur. Gözlemsel olarak Euler lokasyon çözümlerinin belli bölgelerde ısrarlı olması o çözümlerin dikkate alınması gerektiğini gösterir. Ancak bu durum subjektif bir kriterdir (Reid, 1990). Euler derinlik çözümlerinde

optimum'u bulmak için sayısal bir kriter geliştirilmiştir. Bu kritere göre, tüm derinlik hesaplamalarındaki Standard sapma hesaplanan bir derinliğin %10-15'inden daha küçükse, bu derinlik 'kabul edilebilir' bir derinlik olarak kaydedilir (Reid vd., 1990). Diğer bir deyişle, belli bir tolerans seviyesinden daha fazla saçılan derinlikler reddedilmiş olur.

Derinlik çözümlerinin Standard sapma grafiği, koşul sayısı grafiği ve çakışma hatası grafikleri Şekil 4. 20 (a) (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 4. 20a'da görüldüğü gibi her bir Euler çözümünün Standard sapma değerleri yeterince küçüktür. 0.01–0.03 aralığında toplanmıştır. Bu özellik Euler dekonvolüsyon çözümlerinin beklendiği gibi 'kümelenmeler' sağladığı ve kaynağı yeterince lokalize ettiği sonucunu verir. Bununla birlikte profilin 10-20. metreleri arasında 0.06-0.08 aralığındaki, Standard sapmaların göreceli olarak büyük olması, bu profil aralıklarında elde edilmiş olan Euler çözümlerinin kaynağın biraz dışında ortaya çıktığı söylenebilir. Şekil 4. 20b'de derinlik çözümlerinin koşul sayısı grafiği görülmektedir. Koşul sayısı 20. metreler civarı ve 8 ile 160 arasında daha fazla değişiklik göstermektedir. Genel olarak grafiğe baktığımızda 0 civarında değerler gözlenmektedir. Bu da Euler çözümlerini veren bağıntılar sistemi için iyi koşullanmış olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 4. 20c'de çakışma hatasının grafiği görülmektedir. Grafikte 20-100 aralığında bir yükselme olurken, genelinde 0 civarında değerler gözlenmektedir. Bu durumda çakışma hatası için ideal bir çözümü gösterir.

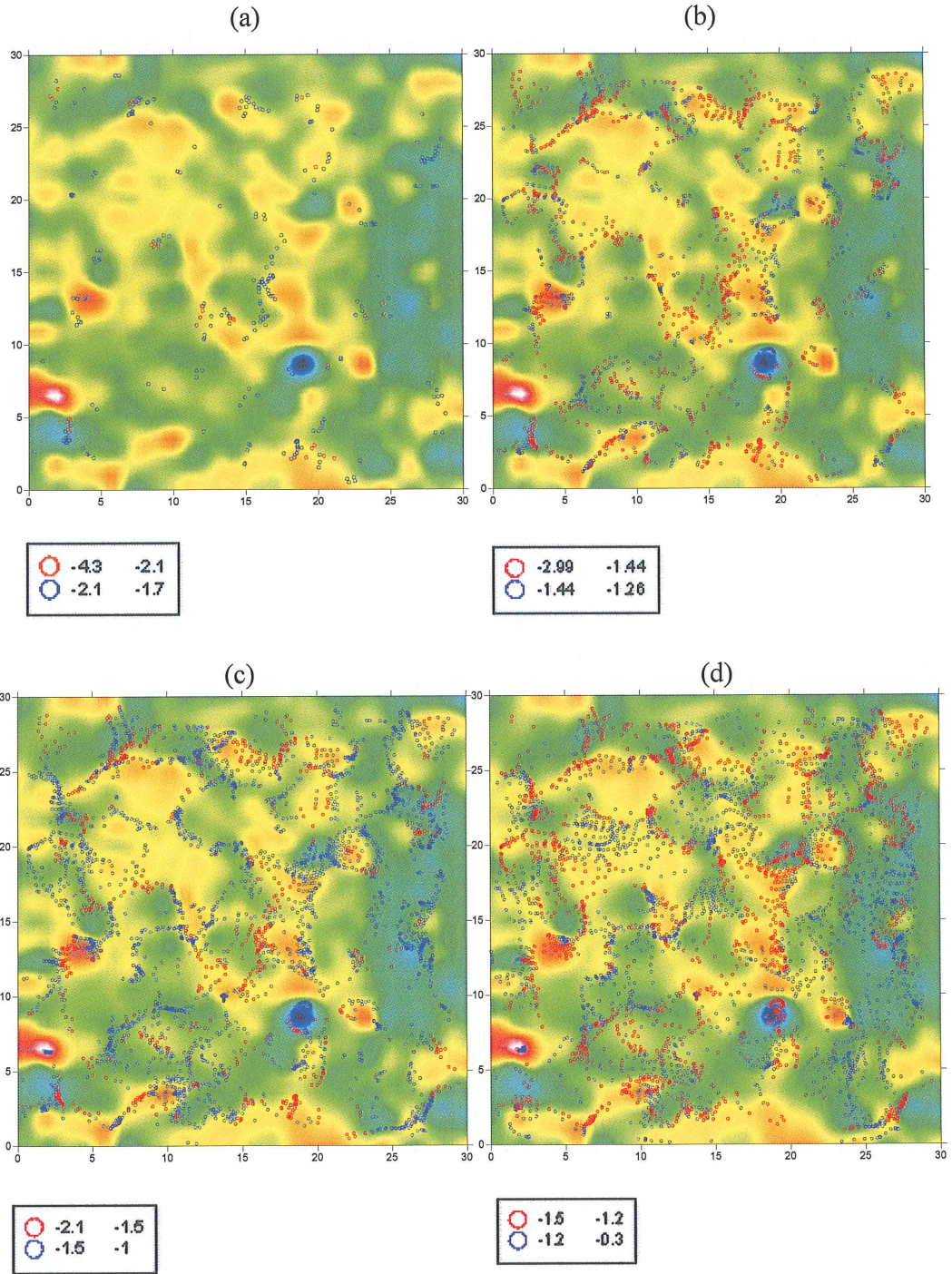


Şekil 4. 20: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.



Şekil 4. 20(devamı): Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.

Şekil 4. 21 (a) (b) (c) ve (d)'de farklı derinlikler alınarak, derinlik çözümleri yapılmıştır. Derinlik çözümlemelerinde değerler yüksekten alçağa doğru alınmıştır. Toplam alan manyetik anomali haritası üzerindeki derinlik çözümlerinde özellikle GB'da ve GD'da yer alan dipolar kapanımların olduğu yerlerde daha belirgin kümeleşmeler görülmektedir. Ayrıca KD-GB'ya doğru uzanımlı beklenen olası yapının olduğu yerde ise özellikle derinlik çözümlerine baktığımızda 1. 5 ile 3 metre arasında daha belirgin kümeleşmeler ortaya çıkmakta ve derinlik azaldıkça kümeleşmenin olduğu yerler ayırt edilememektedir.

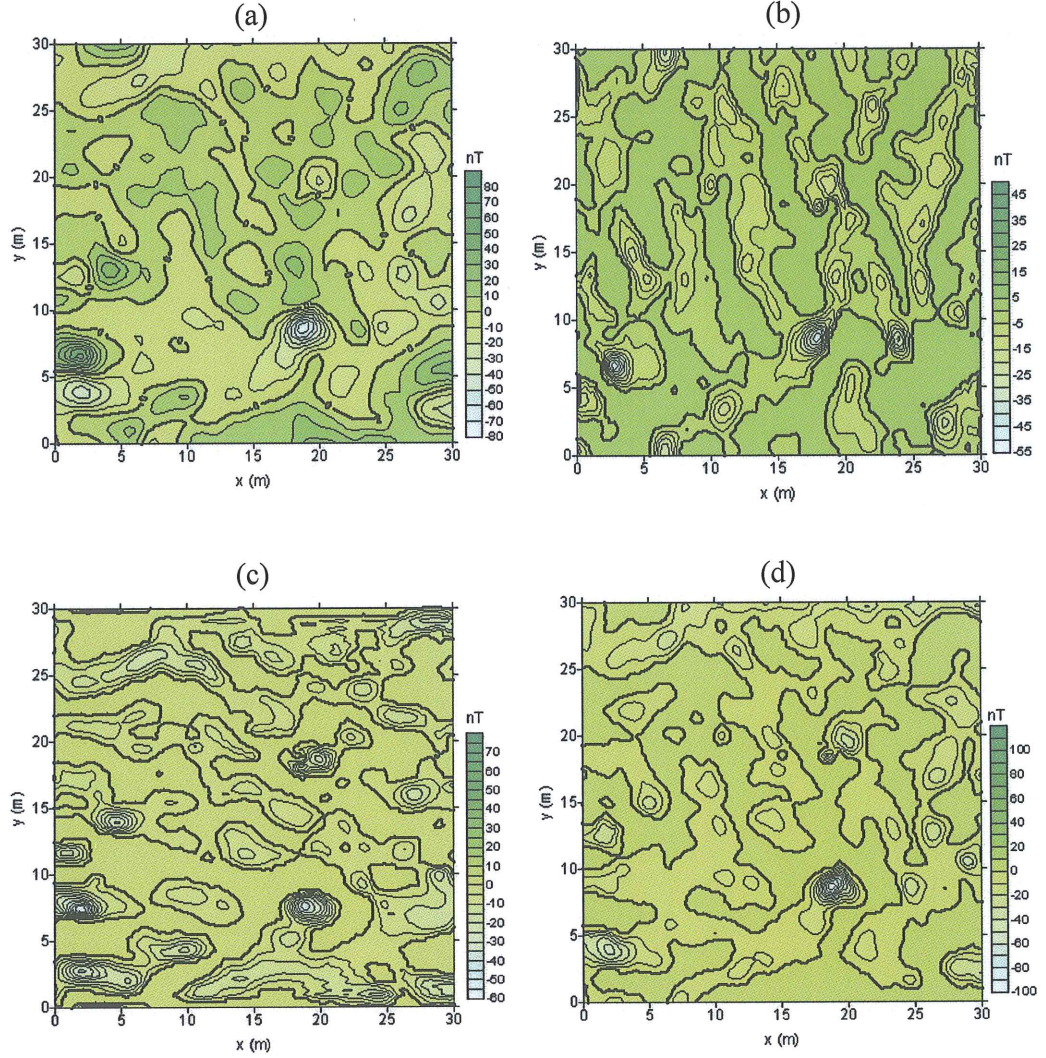


Şekil 4. 21: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.

4. 4. 2. 2. 1. 0 m alıcı yüksekliği için çözümler

Alıcı yüksekliğinin 1 metre olduğu durumlar için yapılan türev işlemlerinin sonuçları anomali haritası ile birlikte Şekil 4. 22’de verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü

gibi hesaplama sonucunda elde edilen anomali haritalarında uzanımlar 0.5 m haritasına göre daha belirgin sonuçlar ortaya koymaktadır. Anomalileri oluşturan yeraltındaki yapıların uzanımlarını yönsel etkileri giderdikten sonra veren bu çözümlerde alandaki gömülü yapıların dağılımı daha açık biçimde ortaya çıkmaktadır.

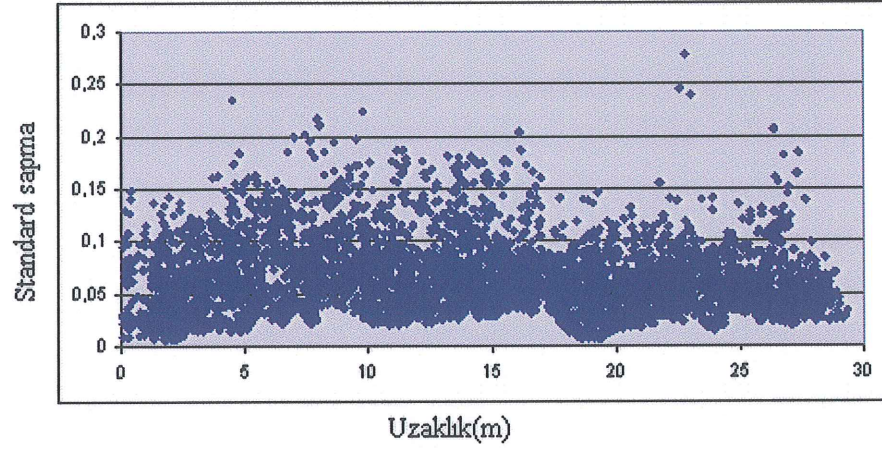


Şekil 4. 22: 1 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x,y ve z doğrultusundaki türevleri. a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.

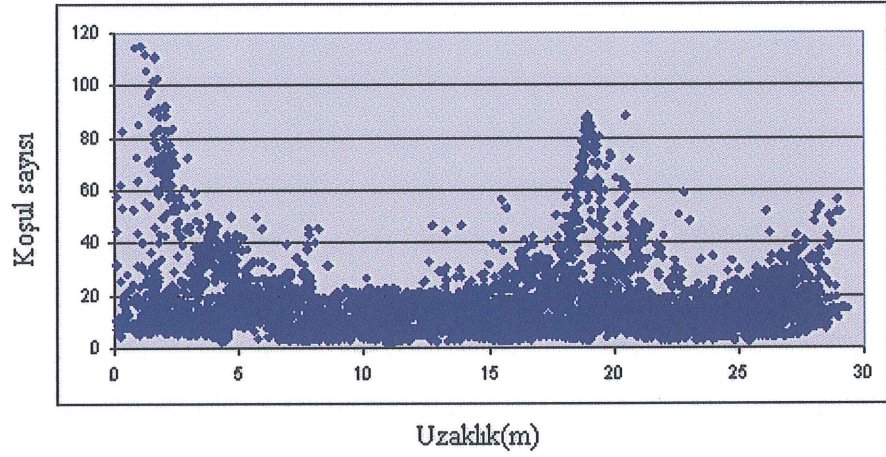
Toplam alan manyetik anomali haritasında alıcı uzaklığı 1 metre için, yapısal indeks için $N=2$ değeri kullanılmıştır.

Şekil 4. 22a'daki veri için çeşitli pencere boyları denenmiş ve en uygun çözüm 7x7 hareketli penceresi için elde edilmiştir. Pencere boyu dipolar karakterli anomali kapanımlarına bakılarak belirlenmiş ve hedef kütleden kaynaklanan anomali genliğini kapsayacak şekilde seçilmiştir. 7x7 boyutlu pencere boyu, 1 metre örnekleme aralığı için 3.5 x 3.5 metre'lik bir hücre boyutuna karşılık gelmektedir. Bu hücre boyutu Şekil 4.22a'daki anomali haritasında görülen karakteristik kapanımları yeterince kapsamıştır. Alıcı yüksekliği ile anomalinin dalga boyu arasındaki ilişki, alıcı yüksekliği arttıkça anomalinin dalga boyu küçüleceğinden ve azaldıkça anomalinin dalga boyu büyüdüğünden dolayı seçilen pencere boyu anomali genliğini kapsayacak şekilde belirlenmiştir.

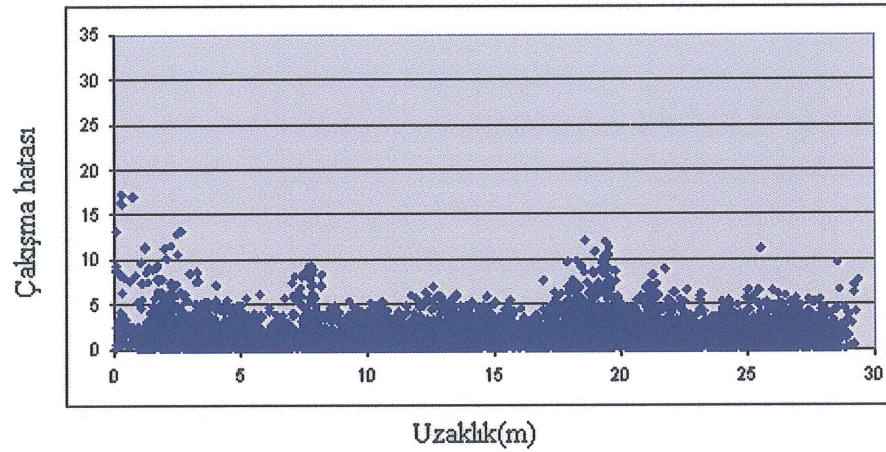
Derinlik çözümlerinin standard sapma grafiği, koşul sayısı grafiği ve çakışma hatası grafikleri Şekil 4. 23 (a) (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 4. 23a'da görüldüğü gibi her bir Euler çözümünün Standard sapma değerleri yeterince küçüktür. 0.05-0.15 aralığında toplanmıştır. Bu durumda, Euler çözümlerinin kümelenme özelliğinin sağlanmış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte profilin 5-10. metrelerde 0. 2 aralığında ve 20-25. metreleri arasında 0.25 aralığında, Standard sapmaların göreceli olarak büyük olması, bu profil aralıklarında elde edilmiş olan Euler çözümlerinin kaynağın biraz dışında ortaya çıktığı söylenebilir. Şekil 4.23b'de derinlik çözümlerinin koşul sayısı grafiği görülmektedir. Koşul sayısı 20. metreler civarı ve 5 ile 40 arasında değişmektedir ve 0 civarında değerler gözlenmektedir. Bu da Euler çözümlerini veren bağıntılar sistemi için iyi koşullanmış olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 4. 23c'de çakışma hatasının grafiği görülmektedir. Genel olarak grafiğine baktığımızda 10 ile 15 aralığında bir değişim görülürken, 0 civarında değerlerin fazla olduğu görülmektedir. Bu da çakışma hatası için, ideal bir çözüm olduğunu gösterir.



(a)



(b)

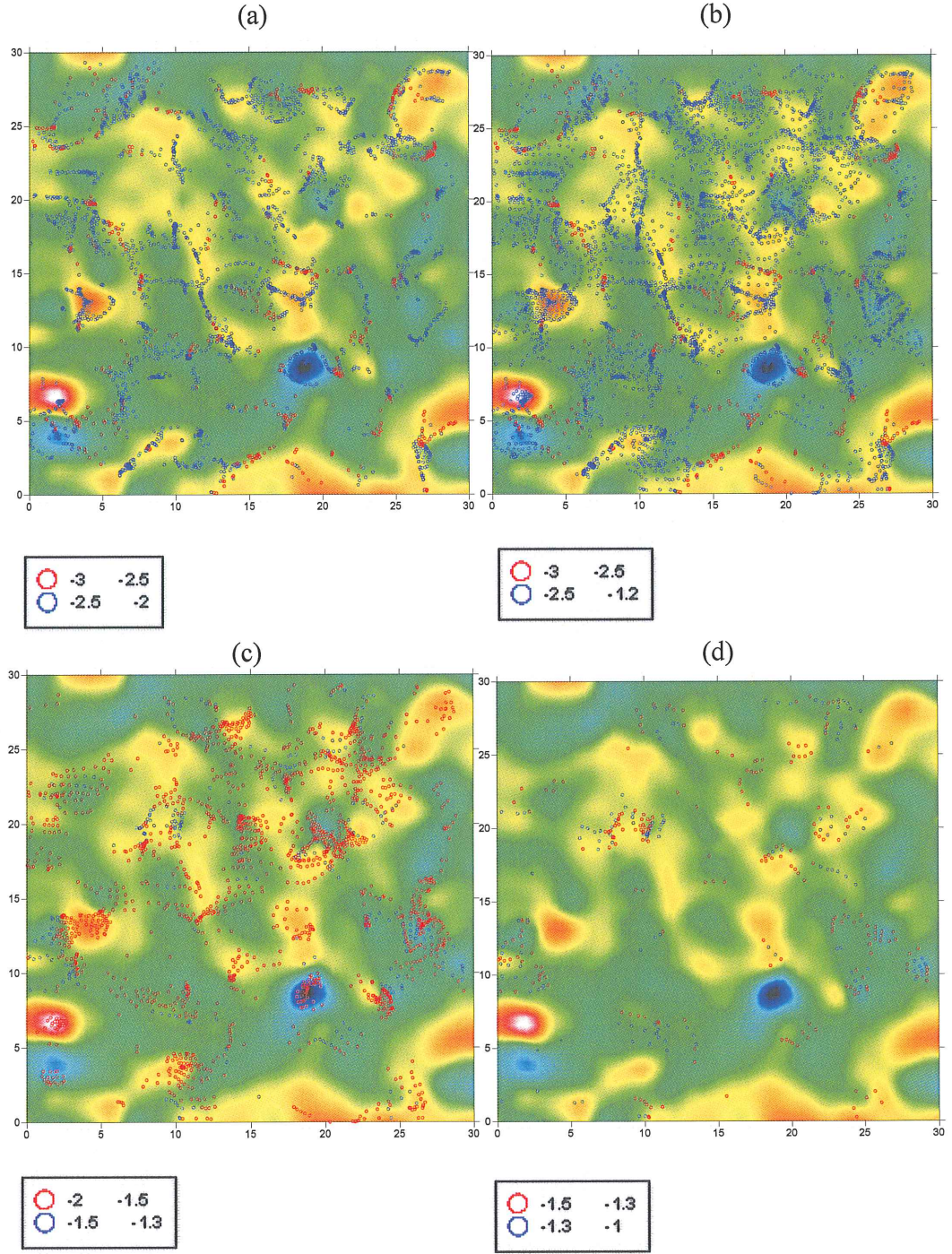


(c)

Şekil 4. 23: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.

Çalışma sahasında alıcı uzaklığı 1 metre olarak alınan toplam alan manyetik anomali haritası üzerinde, farklı derinlik değerleri alınarak Euler lokasyon çözümleri yapılmıştır. Şekil 4. 24 (a) (b) (c) ve (d)'de Euler derinlik çözümleri görülmektedir. Kırmızı renkli derinlik çözümleri yüksek derinlikleri, mavi renkli derinlik çözümleri de düşük derinlik çözümlerini göstermektedir.

Euler çözümleri bu alıcı yüksekliği için 1.5 ile 2.5 metre derinliklerinde yapıların daha yoğun olarak bulunma olasılıklarını göstermektedir. Yapısal sınırlar en iyi bu çözümlerde görülmektedir ve bu sonuç bir önceki sonuç (0.5 m) ile çok yakın derinlikleri vermektedir.

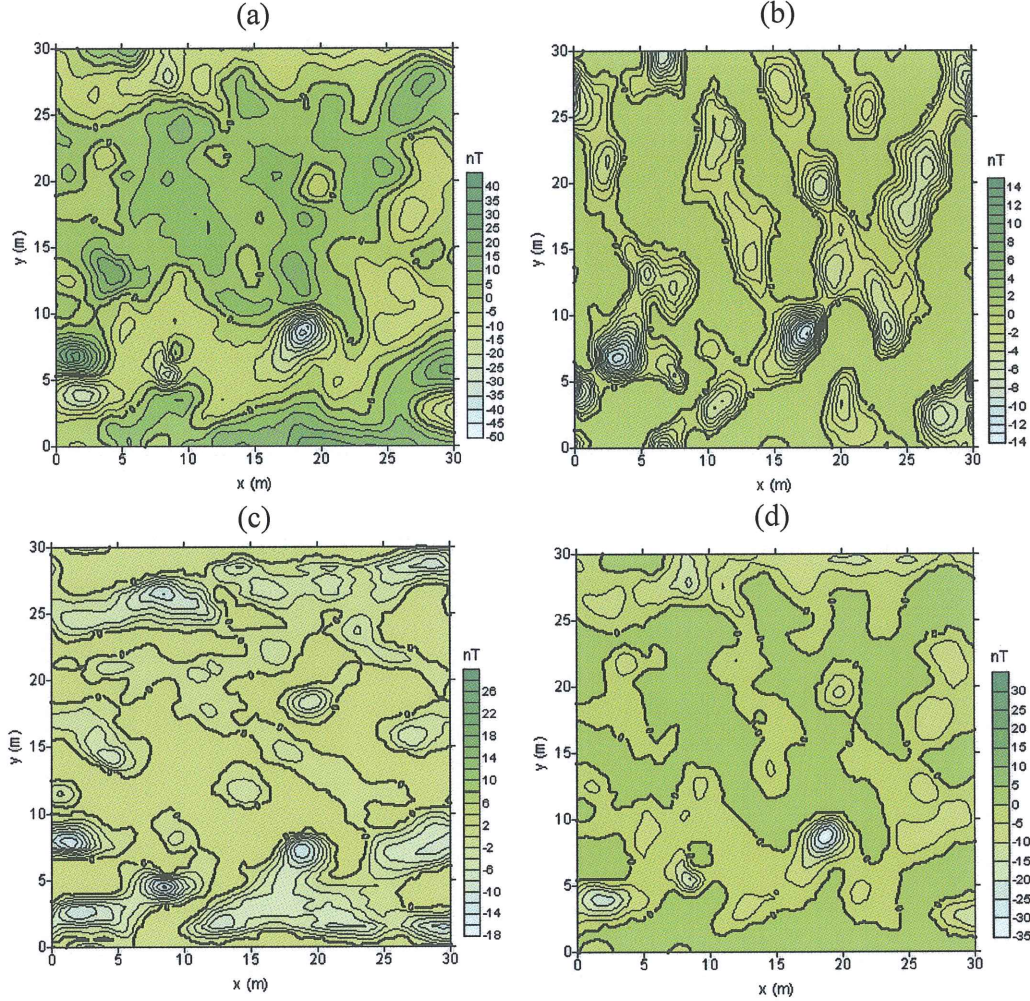


Şekil 4. 24: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.

4. 4. 2. 3. 1. 5 m alıcı yüksekliği için çözümler

Alıcı yüksekliği 1. 5 metre olan durum için yapılan türev işlemlerinin sonuçları anomali haritası ile birlikte Şekil 4. 25'de verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü

gibi anomali haritalarında uzanımlar benzer olmasına karşın, bunların alıcı yüksekliği etkisinden dolayı önemli ölçüde yuvarlandığı görülmektedir.



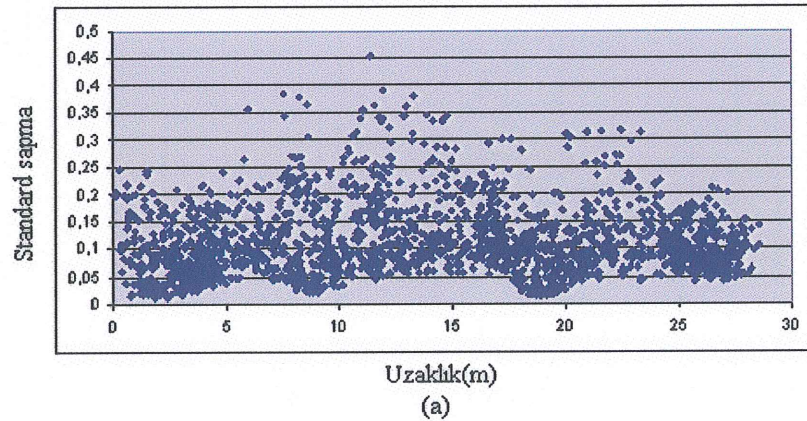
Şekil 4. 25: 1,5 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x,y ve z doğrultusundaki türevleri a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.

Şekil 4.25 b’de 1.5 metre alıcı uzaklığında toplam alan manyetik anomali haritasında alınan x yönlü yatay türevde alanın doğu-batı değişimleri ve yatay yönde çözünürlüğün daha net ortaya çıktığı gözlenebilmektedir. Şekil 4. 25 c’de y yönlü yatay türev’de y yönündeki değişimler gözlenmiştir. Şekil 4. 25 d’de ise x ve y yönlü türevlerden daha farklı olarak z yönlü düşey türevde, z yönündeki değişimler ortaya çıkmıştır.

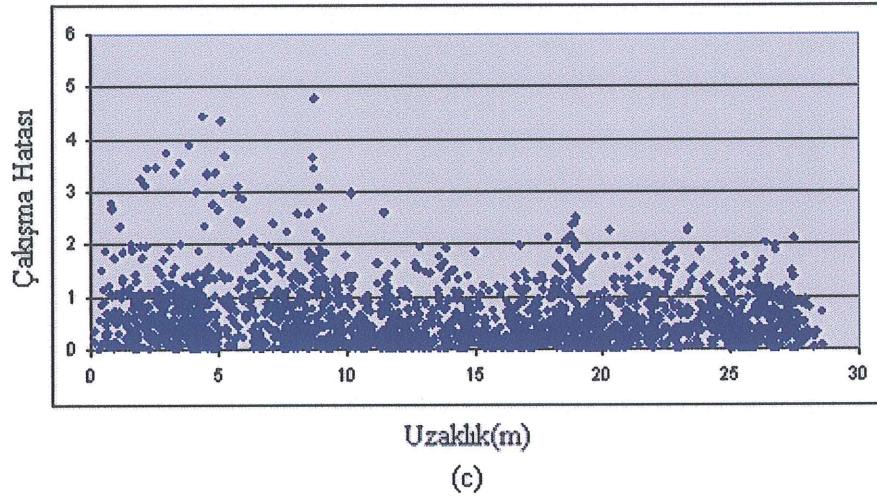
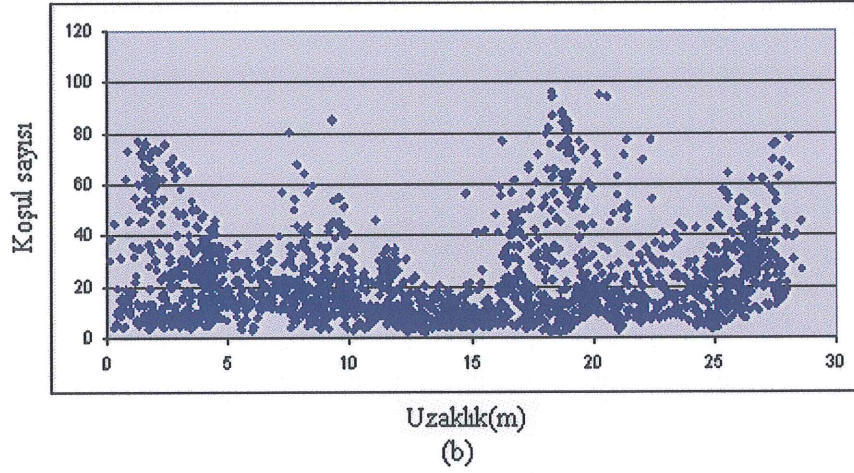
Toplam alan manyetik anomali haritasında alıcı uzaklığı 1.5 metre için, yapısal indeks için $N=1$ değeri kullanılmıştır.

Şekil 4. 25 (a) (b) (c) ve (d)'deki veriler için, çeşitli pencere boyları denenmiş ve en uygun çözüm 5x5 hareketli penceresi için elde edilmiştir. Pencere boyu dipolar karakterli anomali kapanımlarına bakılarak belirlenmiş ve hedef kütleden kaynaklanan anomali genliğini kapsayacak şekilde seçilmiştir. 5x5 boyutlu pencere boyu, 1.5 metre örnekleme aralığı için 2.5 x 2.5 metre'lik bir hücre boyutuna karşılık gelmektedir. Şekil 4. 25a'daki anomali haritasında görülen karakteristik kapanımları yeterince kapsamıştır.

Derinlik çözümlerinin standard sapma grafiği, koşul sayısı grafiği ve çakışma hatası grafikleri Şekil 4. 26 (a) (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 4. 26a'da görüldüğü gibi her bir Euler çözümünün Standard sapma değerleri yeterince küçüktür. 0.05-0.2 aralığında toplanmıştır. Bu durumda, Euler çözümlerinin kümelenme özelliğinin sağlanmış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte profilin 10-15 ve 20-25. metreleri arasında ki Standard sapmaların göreceli olarak büyük olması, bu profil aralıklarında elde edilmiş olan Euler çözümlerinin kaynağın biraz dışında ortaya çıktığı söylenebilir. Şekil 4.26b'de derinlik çözümlerinin koşul sayısı grafiği görülmektedir. Koşul sayısı 20. metreler civarı ve 5 ile 40 arasında değişmektedir. 0 civarında değerler gözlenmektedir. Bu da Euler çözümlerini veren bağıntılar sistemi için iyi koşullanmış olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 4. 26c'de çakışma hatasının grafiği görülmektedir. Genel olarak grafiğine baktığımızda 0 civarında değerlerin fazla olduğu görülmektedir. Bu da çakışma hatası için, ideal bir çözüm olduğunu gösterir.



Şekil 4. 26: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) Çakışma hatası grafiği.

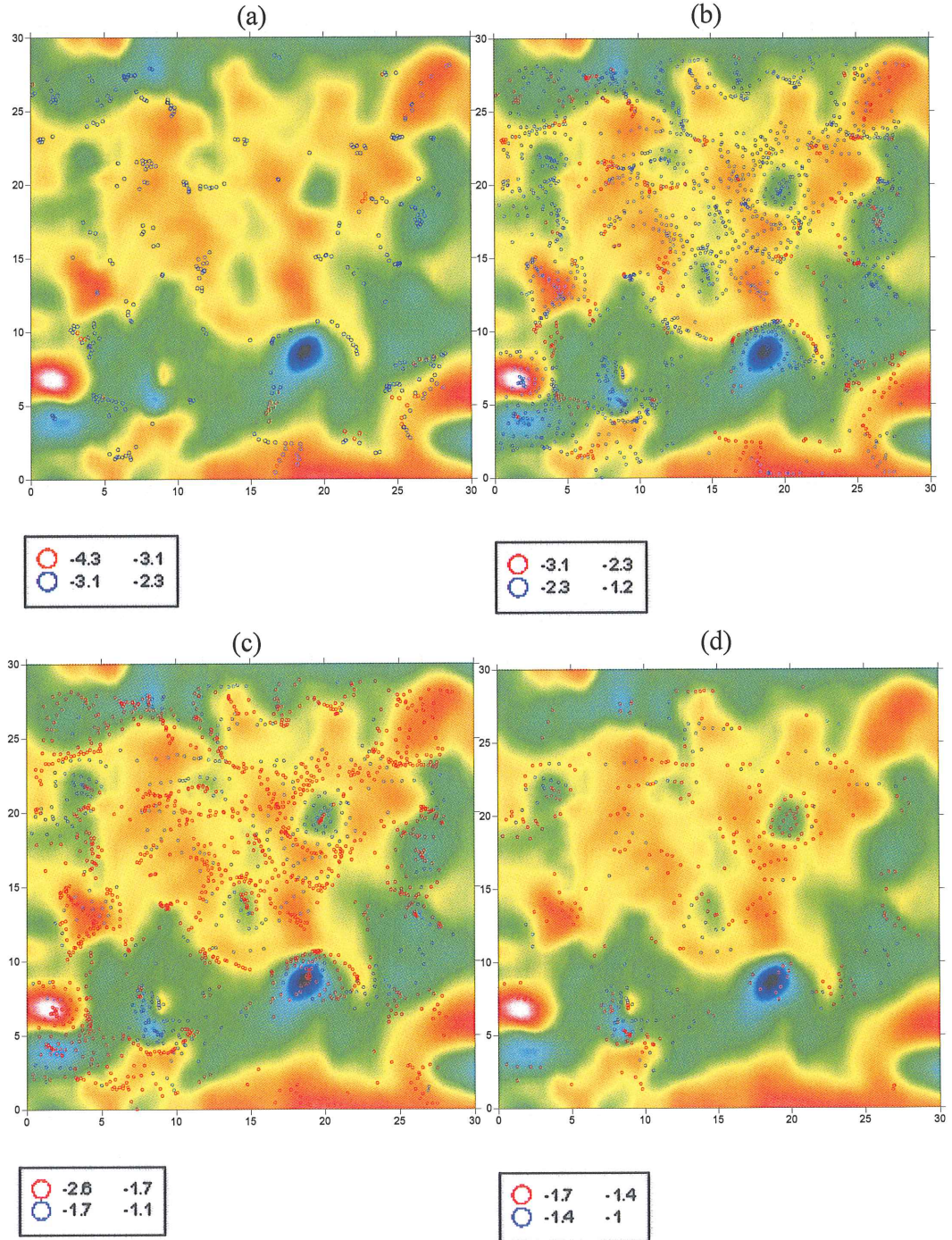


Şekil 4. 26(devamı): Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) Çakışma hatası grafiği.

Şekil 4. 26b ve Şekil4. 26c birbiri ile ilişkilendirilebilir. Eğer kötü koşullanmış bir bağıntılar sisteminden Euler çözümleri elde edilmiş ise, bu çözümlerin güvenilirliği düşüktür ve bu durum koşul sayısının da, çakışma hatasınınıda büyük olduğu sonucunu çıkarır. Bu özellik Şekil 4. 26b ve Şekil 4. 26c’de göreceli olarak yaklaşık 3-5 metre arasında ve yaklaşık 20. ve 25. metreler civarında gözlenmektedir.

Çalışma sahasında alıcı uzaklığı 1.5 metre olarak alınan toplam alan manyetik anomali haritası üzerinde, farklı derinlik değerleri alınarak Euler lokasyon çözümleri yapılmıştır. Şekil 4. 27 (a) (b) (c) ve (d)’de farklı derinlikler alınarak derinlik çözümleri görülmektedir. Kırmızı renkli derinlik çözümleri yüksek derinlikleri,

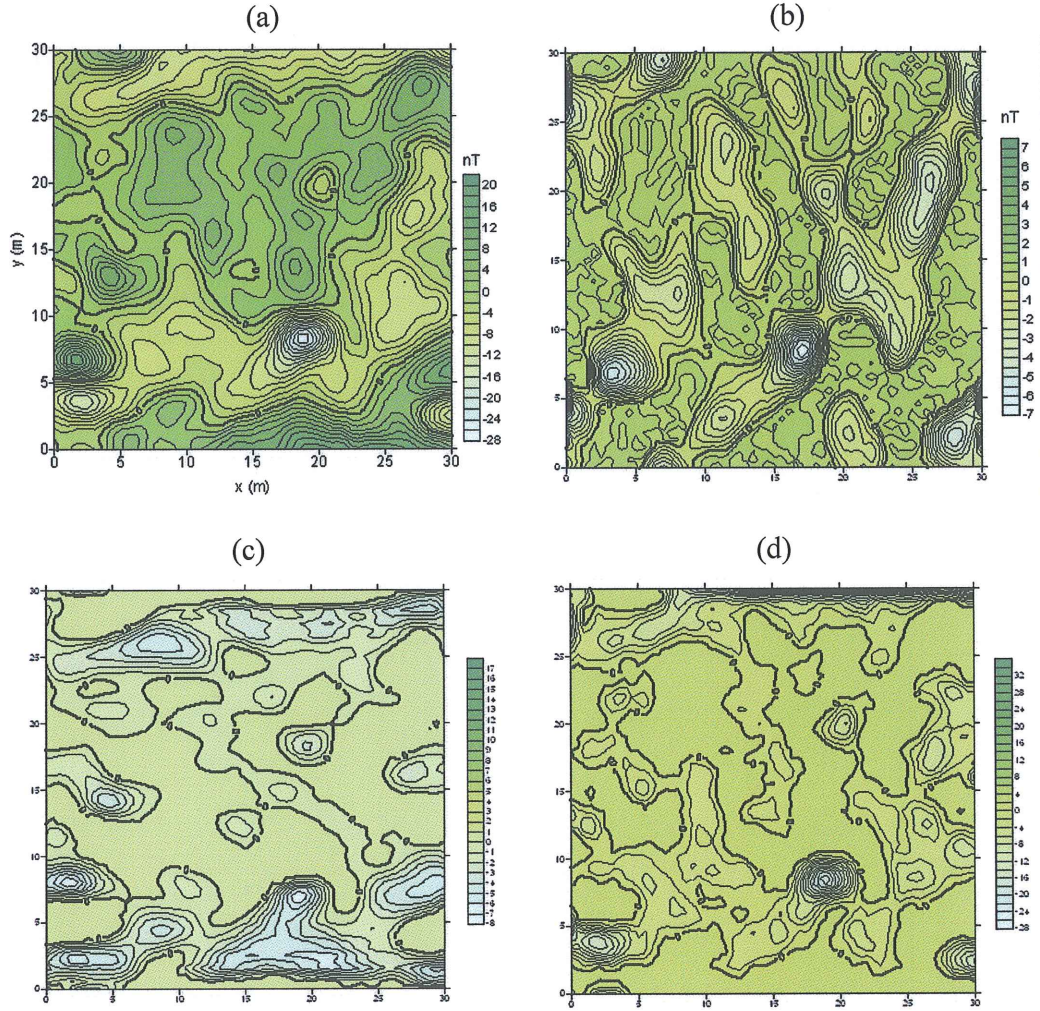
mavi renkli derinlik çözümleri de düşük derinlik çözümlerini göstermektedir. Euler çözümleri bu alıcı yüksekliği için 1.5 ile 3 metre derinliklerinde yapıların daha yoğun olarak bulunma olasılıklarını göstermektedir. Yapısal sınırlar en iyi bu çözümlerde görülmektedir.



Şekil 4. 27: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.

4. 4. 2. 4. 2. 0 m alıcı yüksekliği için çözümler

Alıcı yüksekliği 2 metre olan durum için yapılan türev işlemlerinin sonuçları anomali haritası ile birlikte Şekil 4. 28’de verilmektedir.



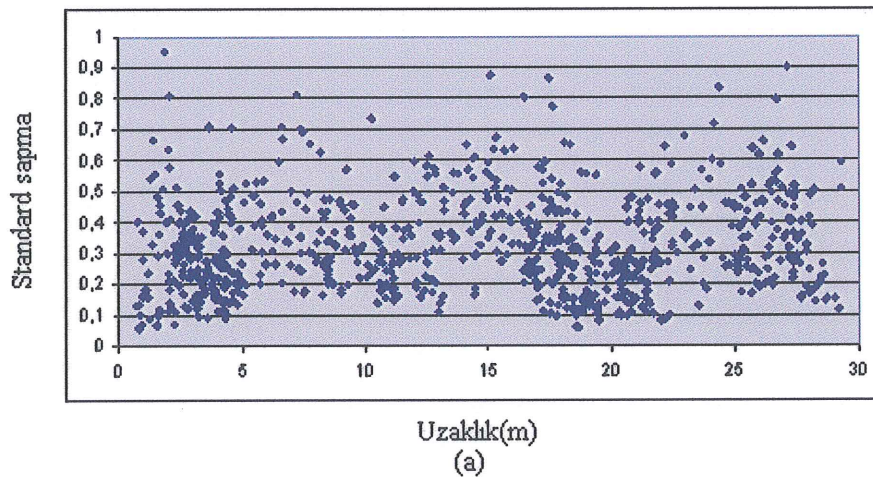
Şekil 4. 28: 2 metre alıcı uzaklığında alınan toplam alan manyetik anomali haritası x, y ve z doğrultusundaki türevleri a) Toplam alan anomali haritası b) x doğrultusunda yatay türev c) y doğrultusunda yatay türev d) düşey türev.

Toplam alan manyetik anomali haritasında alıcı uzaklığı 2 metre için, yapısal indeks için N=2 değeri kullanılmıştır.

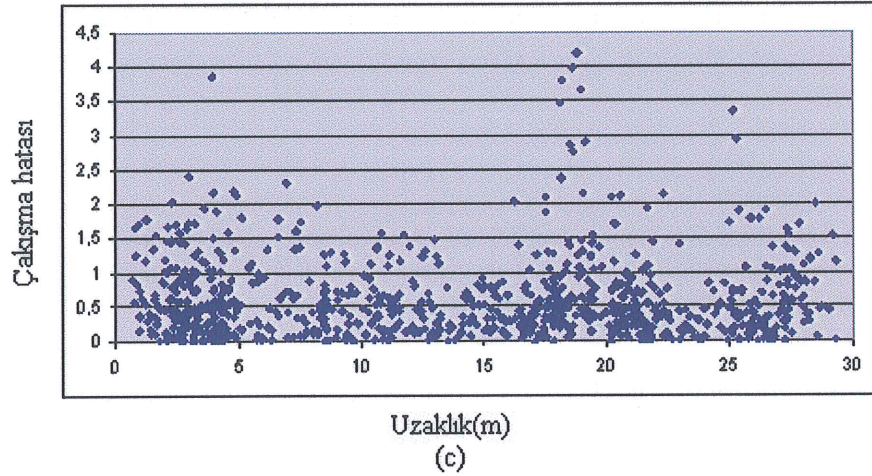
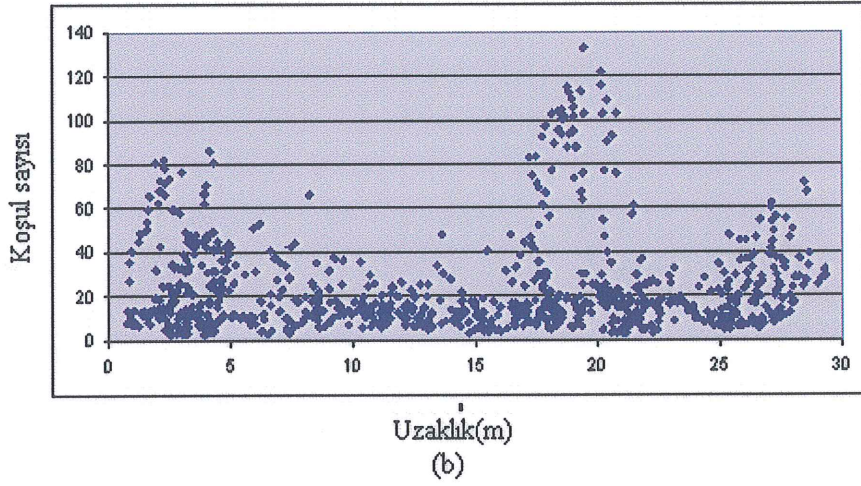
Şekil 4. 28 (a) (b) (c) ve (d)’deki veriler için çeşitli pencere boyları denenmiş ve en uygun çözüm 5x5 hareketli penceresi için elde edilmiştir. Pencere boyu dipolar

karakterli anomali kapanımlarına bakılarak belirlenmiş ve hedef kütleden kaynaklanan anomali genliğini kapsayacak şekilde seçilmiştir. 5x5 boyutlu pencere boyu, 2 metre örnekleme aralığı için 2.5 x 2.5 metre'lik bir hücre boyutuna karşılık gelmektedir. Şekil 4. 28a'daki anomali haritasında görülen karakteristik kapanımları yeterince kapsamıştır. Özellikle 4 metre ile 2 metre arasında derinlik çözümlerinde dipolar kapanımlar üzerinde yoğun bir şekilde kümeleşmeler görülmektedir.

Derinlik çözümlerinin Standard sapma grafiği, koşul sayısı grafiği ve çakışma hatası grafikleri Şekil 4. 29 (a) (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekil 4. 29a'da görüldüğü gibi her bir Euler çözümünün Standard sapma değerleri 0.1-0.5 aralığında toplanmıştır. Ancak genelinde saçılmalar görülmektedir. Bu durumda, Euler çözümlerinin kümelenme özelliğinin çok sağlamamış olduğunu ve Euler dekonvolüsyon çözümlerinin beklendiği gibi kaynağı yeterince lokalize etmediği sonucunu verir. Şekil 4. 29b'de derinlik çözümlerinin koşul sayısı grafiği görülmektedir. Koşul sayısı 40 ile 80 aralığında, 20. metre civarında 60 ile 120 aralığında değişimler göstermektedir. Bu aralıklar dışında değerlerin 0 civarında olduğu gözlenmektedir. Ancak önceki sonuçlara göre koşul sayısı değerlerinin çok tutarlı olduğu söylenemez. Şekil 4.29c'de çakışma hatasının grafiği görülmektedir. Çakışma hatası 15-25. metre civarında, 2 ile 4 aralığında daha farklı bir değişim göstermektedir. Ancak genelinde diğer alıcı aralıklarındaki sonuçlara göre çok fazla dengeli olduğu görülmemektedir.

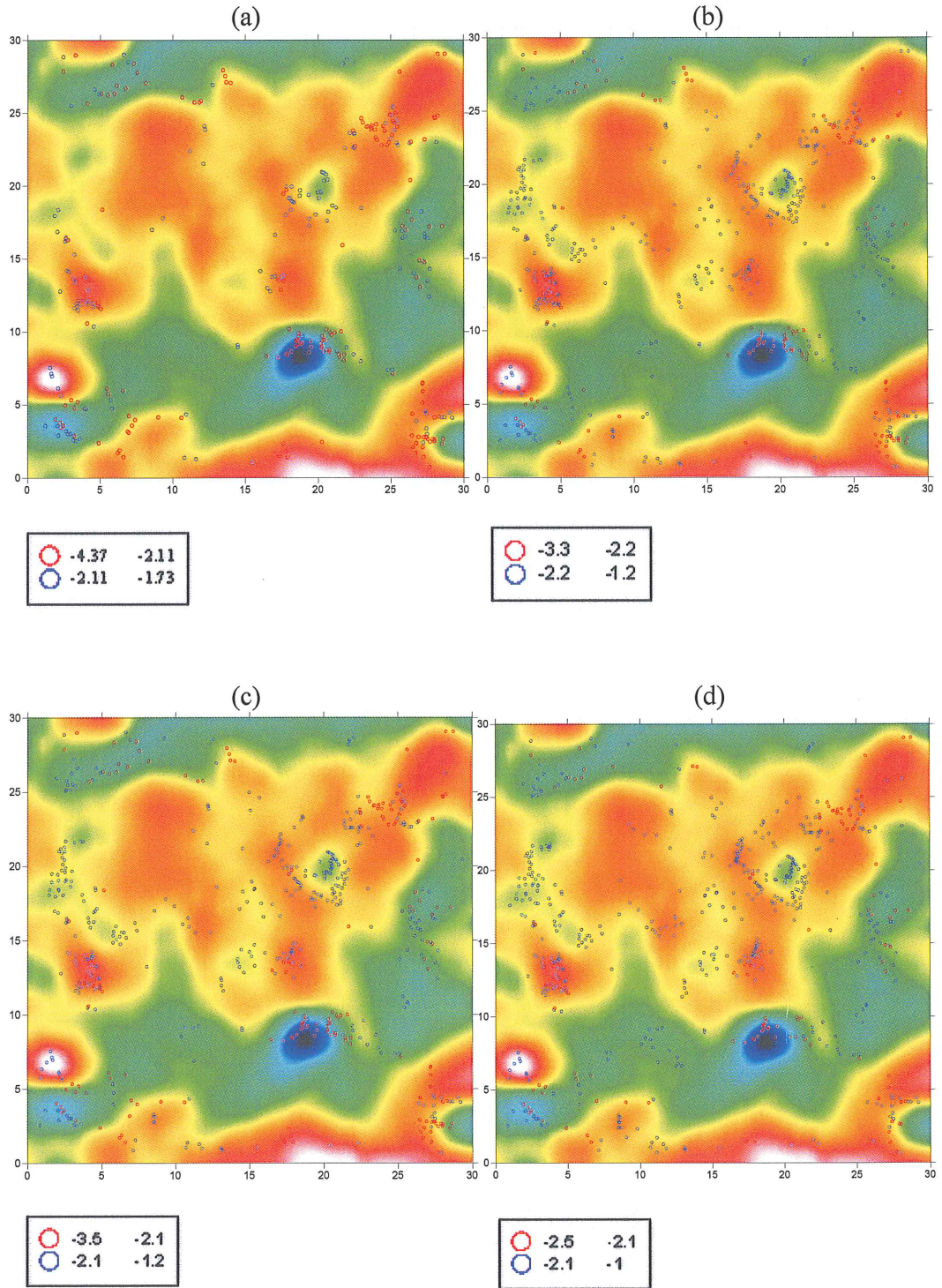


Şekil 4. 29: Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.



Şekil 4. 29(devamı): Euler dekonvolüsyon çözümlerinin istatistiksel sonuçları a) Standard sapma grafiği b) koşul sayısı grafiği c) çakışma hatası grafiği.

Çalışma sahasında alıcı uzaklığı 2 metre olarak alınan toplam alan manyetik anomali haritası üzerinde, farklı derinlik değerleri alınarak Euler lokasyon çözümleri yapılmıştır. Şekil 4. 30 (a) (b) (c) ve (d)'de Euler derinlik çözümleri görülmektedir. Kırmızı renkli derinlik çözümleri yüksek derinlikleri, mavi renkli derinlik çözümleri de düşük derinlik çözümlerini göstermektedir. Euler derinlik çözümleri bu alıcı yüksekliği için, çok belirgin ayırt edilememektedir. Bu durumda alıcı yüksekliğinin kaynaktan uzaklaşması ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 4. 30: Toplam alan anomali haritası üzerinde büyükten küçüğe doğru derinlik çözümleri sonuçları.

4. 5. Ters Süzgeçleme

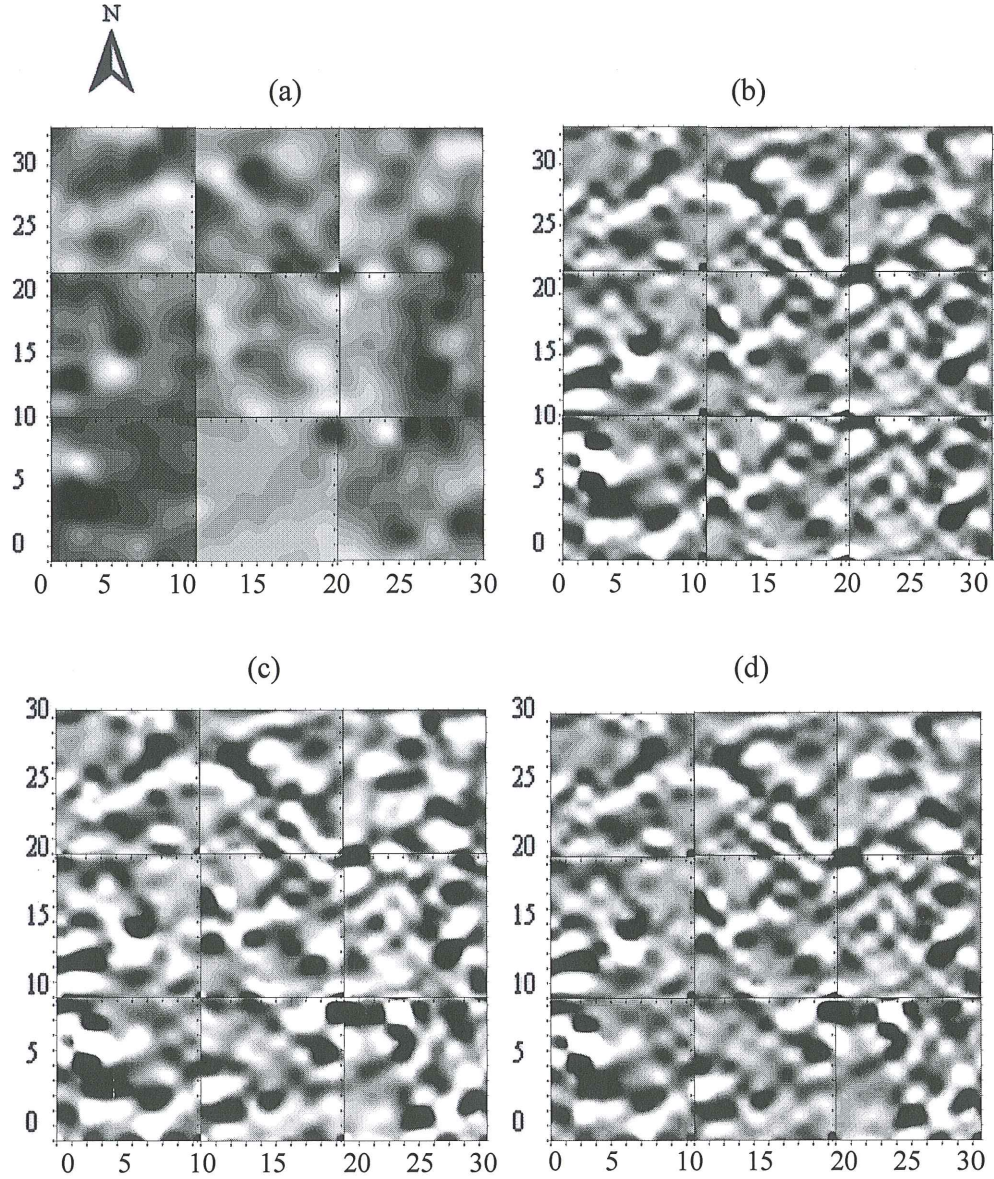
Çalışmanın bu aşamasında alandan toplanan verilerin, aranan yapıya uygun özellikte süzgeçler tasarlanarak ve verilerin bu süzgeçlerden geçirilerek gömülü

arkeolojik yapıların belirginleştirilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla yeraltında 1x1x1, 2x2x1 ve 1x5x1 metre boyutlarda ve 1 metre derinlikte gömülü olan yapıları alıcı uzaklıkları 0.5, 1, 1.5 ve 2 metre derinlikte olacak biçimdeki manyetometrelerle toplandığı düşünülen manyetik veriler için 3x3, 5x5 ve 7x7'lik ters süzgeçler üretilmiş ve alandan elde edilen toplam alan, ve bunlardan elde edilen gradyent ile gradyometre ölçümlerinden sağlanan verilerin evrimiyle ters süzgeçleme işlemi başarılmıştır. Yapılan ters süzgeçlemeler birbirleri ile karşılaştırılmış ve gömülü arkeolojik yapılar bu karşılaştırmalar temelinde yorumlanmıştır. Bu yorumlar sonucunda arkeolojik yorumlama olarak adlandıracağımız ve alandaki gömülü yapıların planını ortaya koyabilecek bir yorumlama çizimi yapmıştır.

4. 5. 1. Toplam alan verileri ters süzgeçlemesi

Toplam alan verileri yukarıda tanımlanan yapı özelliklerine bağlı olarak dört ayrı alıcı yüksekliği için tasarılan 3x3, 5x5 ve 7x7'lik ters süzgeçler ile evriştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda 3x3'lük süzgecin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmış ve aşağıda sırasıyla bu sonuçlar gerekli karşılaştırmalarla birlikte 0.5 metre alıcı yüksekliği için sunulmaktadır. Alıcı yüksekliğinin 0.5 m olduğu manyetik veri için, 1 metre derinlikte gömülü olduğu düşünülen 1x1x1, 2x2x1 ve 1x5x1 metre boyutlarındaki yapılar için tasarılan 3x3'lük ters süzgeçleme sonuçları Şekil 4. 31'de verilmektedir. Şeklin solunda alandan 0.5 m alıcı yüksekliği için toplanmış toplam manyetik alan verisinin görüntüsü bulunmaktadır. Sağ tarafta ise 1x1x1 m yapı boyutları ve 1 m derinlik için 3x3'lük süzgeç katsayısıyla evriştirilen manyetik verilerin sonuçları verilmektedir (Şekil 4.31 b). Şekilden de görüldüğü gibi alandaki tüm anomaliler önemli oranda belirginleşerek, KB-GD ve KD-GB yönlü düzgün izler açıkça izlenir olmuştur. Özellikle bunların birbirleri ile ilişkili yapı izleri vermesi ve alanın yakınında yapılan arkeolojik kazılarda ortaya çıkan izlerle yakınlığı bu işlemin yorumlamada yararlı olacağını ortaya çıkarmıştır. Yapı boyutlarının 2x2x1 ve 1x5x1 metre düşünülerek tasarılan 3x3'lük süzgeç ile evriştirilmiş verilerin sonuçları ise Şekil 4.31c ve d'de görülmektedir. Şekillerden de görülebildiği gibi genelde birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bazı anomalilerin 2x2x1 sonuçlarında birbirini daha iyi izlediği görülmektedir ve bu sonucun gömülü yapılara daha uygun olabileceği düşünülebilir. Ama şu da gözden

kaçırılmamalıdır ki, yeraltındaki gömülü yapılar değişik boyutlardadır ve kullanılan süzgeçler kendilerine benzer yapıları iyileştirirken diğerlerini de bozmadan görünür kılmaktadır. Bu nedenle alandaki her bir bölgenin ayrı ayrı ve ayrıntılı yorumlanması genel yorumlamayı önemli ölçüde etkileyecektir. Burada sadece genel karşılaştırmalar verilmektedir.

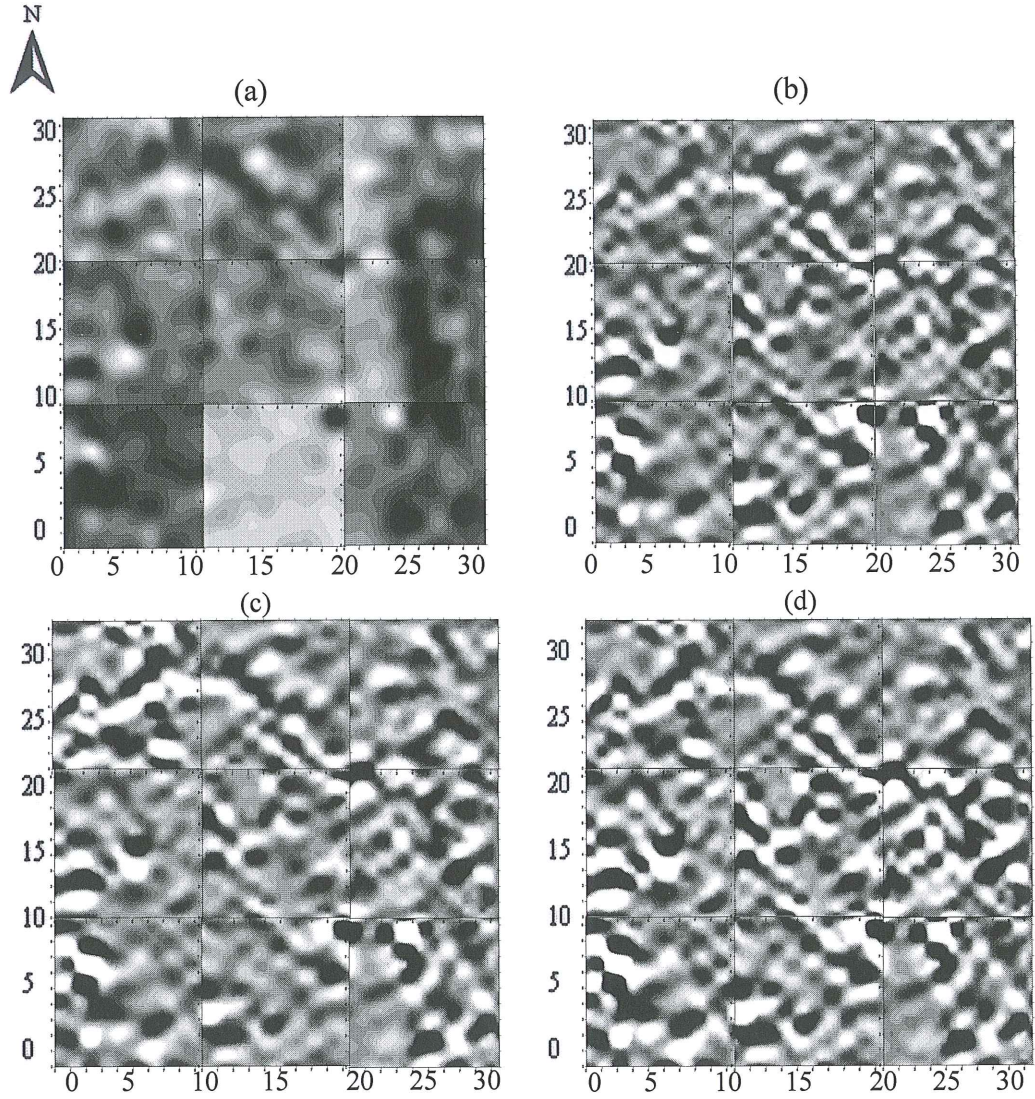


Şekil 4. 31: a) Çalışma yapılan alanın alıcı yüksekliği 0. 5 metre için manyetik görüntüsü b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

4. 5. 2. Toplam alan gradyent verilerinin ters süzgeçlemesi

Bu çalışma kapsamında Scintrex proton manyetometresi kullanılarak 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 metre alıcı yükseklikleri için yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin farklı alıcılar için farkları alınmış ve böylece değişik alıcı yüksekliklerine bağlı fark verileri elde edilmiştir. Bu verilerin sonuçlarının yine yukarıda tanımlanan yapılar için 3x3'lük ters süzgeçleme ile evriştirilmesi sonucunda elde edilen manyetik görüntüler ayrı ayrı karşılaştırılarak, gerekli yorumlar bu bölümde verilecektir.

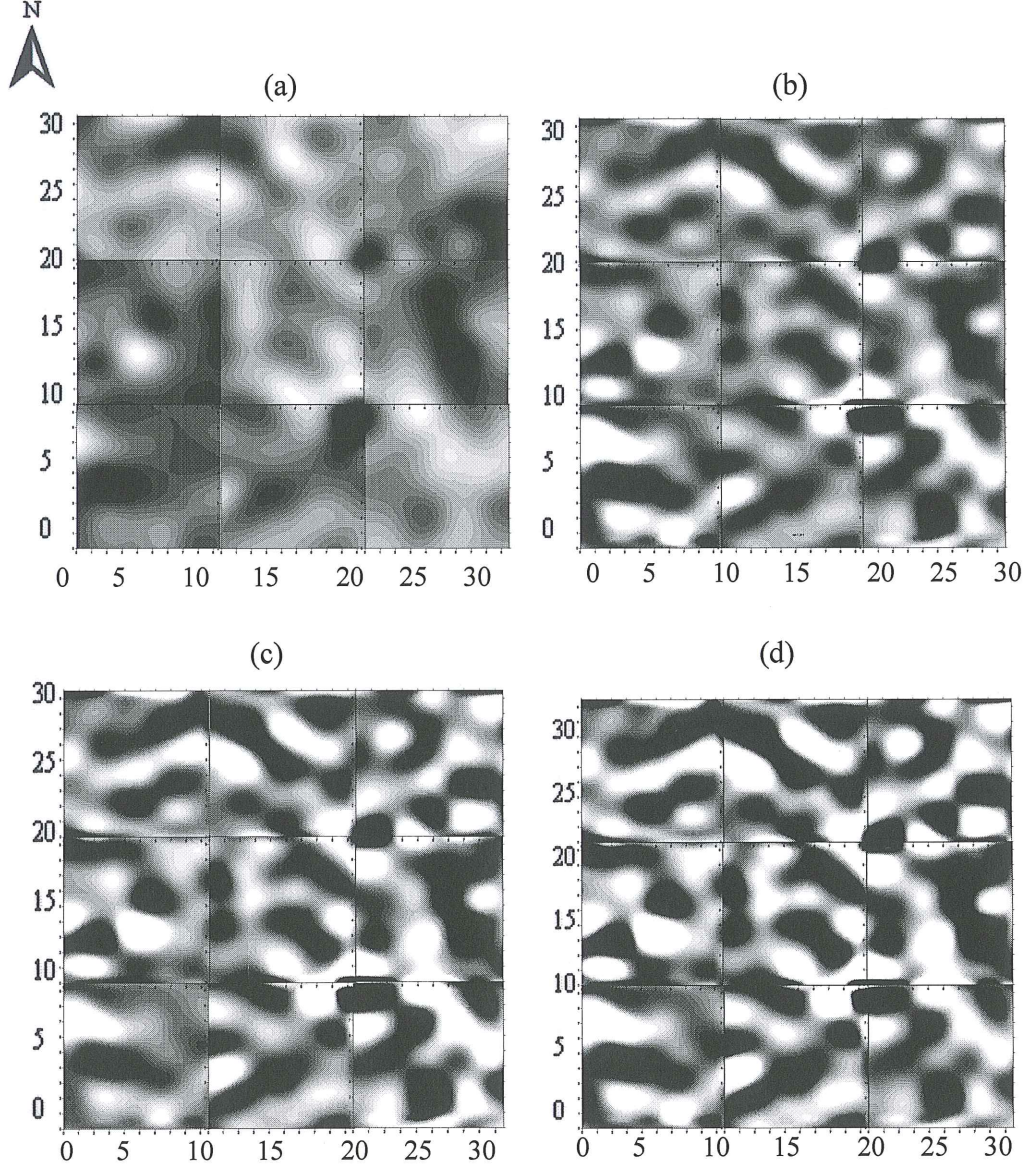
İlk karşılaştırma örneği 0.5-1.0 metre alıcı yüksekliklerinin farkını oluşturan gradyometre verisidir. Bu verinin manyetik gradyometre verisi ve benzer yapı özelliklerinden üretilen 3x3 boylu süzgeçler ile evriştirilmiş sonuçları Şekil 4. 32'de verilmektedir. Şekil 4. 32a'dan görüldüğü gibi, fark verisinin görüntüsü toplam alan görüntüsünden farklıdır ve yapı belirlenimi ve yorumlama açısından daha elverişlidir. Değişik yapı boyutları için üretilen süzgeçlerle süzgeçlenmiş verilerde yapı boyutlarının değiştiği ve anomalik özelliklerde temelde olmasa bile değişimlerin olduğu görülmektedir. Yapısal uzanımlar bu gradyent verilerinin sonuçlarında daha açık biçimde görülmektedirler. Şekil 4. 32'de verilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırıldığında toplam manyetik alan verilerinde olduğu gibi 2x2x1 m'lik yapı boyutlarından üretilen süzgecin daha iyi sonuç verdiği düşünülmektedir. Bu görüntüde yapısal uzanımlar birbirini daha iyi izlemekte ve yapılar arasındaki sınırlar ve geçişler daha yorumsaldır.



Şekil 4. 32: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1.0 alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

Bu çalışma sırasında verilerin bir alçak süzgeçten geçirildikten sonra evriştirilmesinin yorumlamaya katkısı da incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla veri 5x5 ve 7x7'lik alçak geçişli süzgeçlerden geçirilmiş ve daha sonra yine aynı ters süzgeç ile süzgeçlenmiştir. Şekil 4. 33a'da alçak geçişli süzgeç ile (5x5) süzgeçlenmiş veri görülmektedir. Süzgeçleme işlemiyle birçok küçük anomali ortadan kaybolmuş ve ana anomaliler daha belirgin olmuştur. Bu verinin 3x3'lük ters süzgeç ile süzgeçlenmiş biçimleri ise a, b ve c'de verilmektedir. Görüntülerden

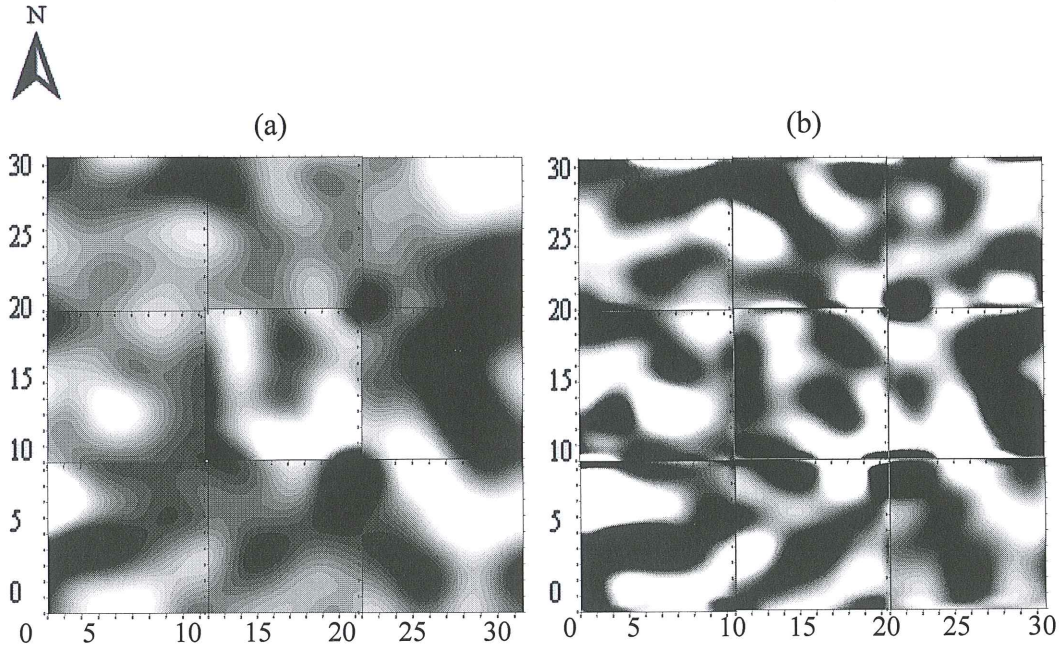
de görüldüğü gibi, önemli bir yuvarlanma ortaya çıkmakta ancak yapısal izler halen iyi ve birbirini izler biçimde görülmektedir. Bu veriler içinde yorumlanabilir sonuçların 2x2x1 ve 1x5x1 m'lik yapı için tasarımılanmış süzgeçlerden elde edilebildiği belirtilmelidir.



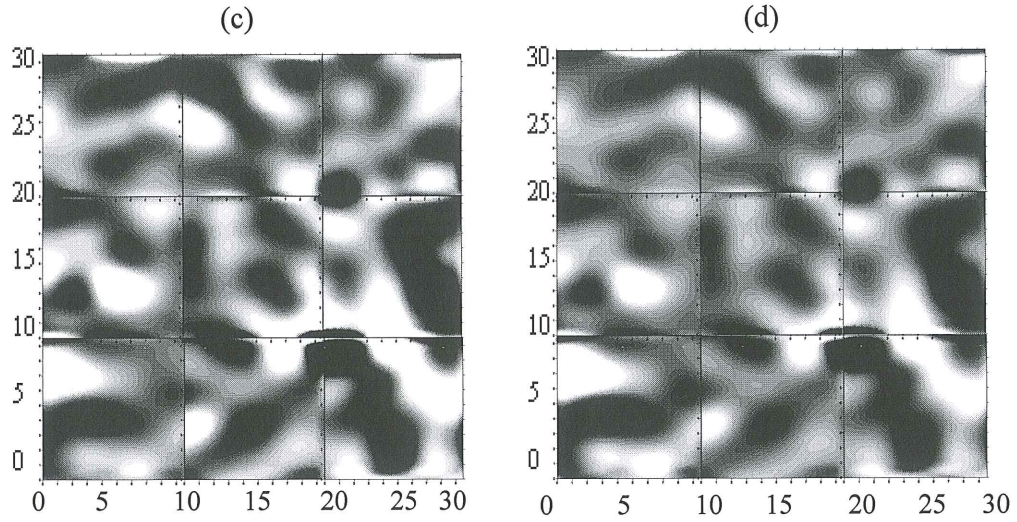
Şekil 4. 33: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1 metre alıcı aralıklı yuvarlatılmış manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

Aynı verinin 7x7'lik alçak geçiren süzgeçten geçirildikten sonra, 3x3'lük ters süzgeçleme işlemi ile elde edilen sonuçları ise Şekil 4. 34'de verilmektedir. Burada

verilerin tümünde çok önemli bir yuvarlatma olmuştur. Ancak çok temel izler belirgin olarak görülmektedir. Ayrıca bu veride uygulanan ters süzgeçlerin görüntülerde önemli bir değişim yarattığı görülmektedir. Bu nedenle verilerin aşırı oranda alçak geçiren süzgeçlerden geçirilmesinin görünürlüğü önemli oranda etkilediği ve özellikle sık özellikteki anomalilerin ortadan kalktığı söylenebilir. Bunun dışındaki derin etkilerden kaynaklanan anomaliler belirginleştirilebilmektedir. Ama bu işlemlerin çok dikkatli ve aranılan yapı özelliklerine göre yapılmasının uygun olacağı ve genelde alçak geçiş anlamında daha az süzölmüş verilerin yorumlamaya daha fazla katkı sağlayacağı belirtilmelidir. Ancak buradaki örnekteki gibi çok katlı yerleşimler olan höyük türü arkeolojik örneklerde birçok denemenin yapılması yorumlamayı daha da güçlendirecektir.

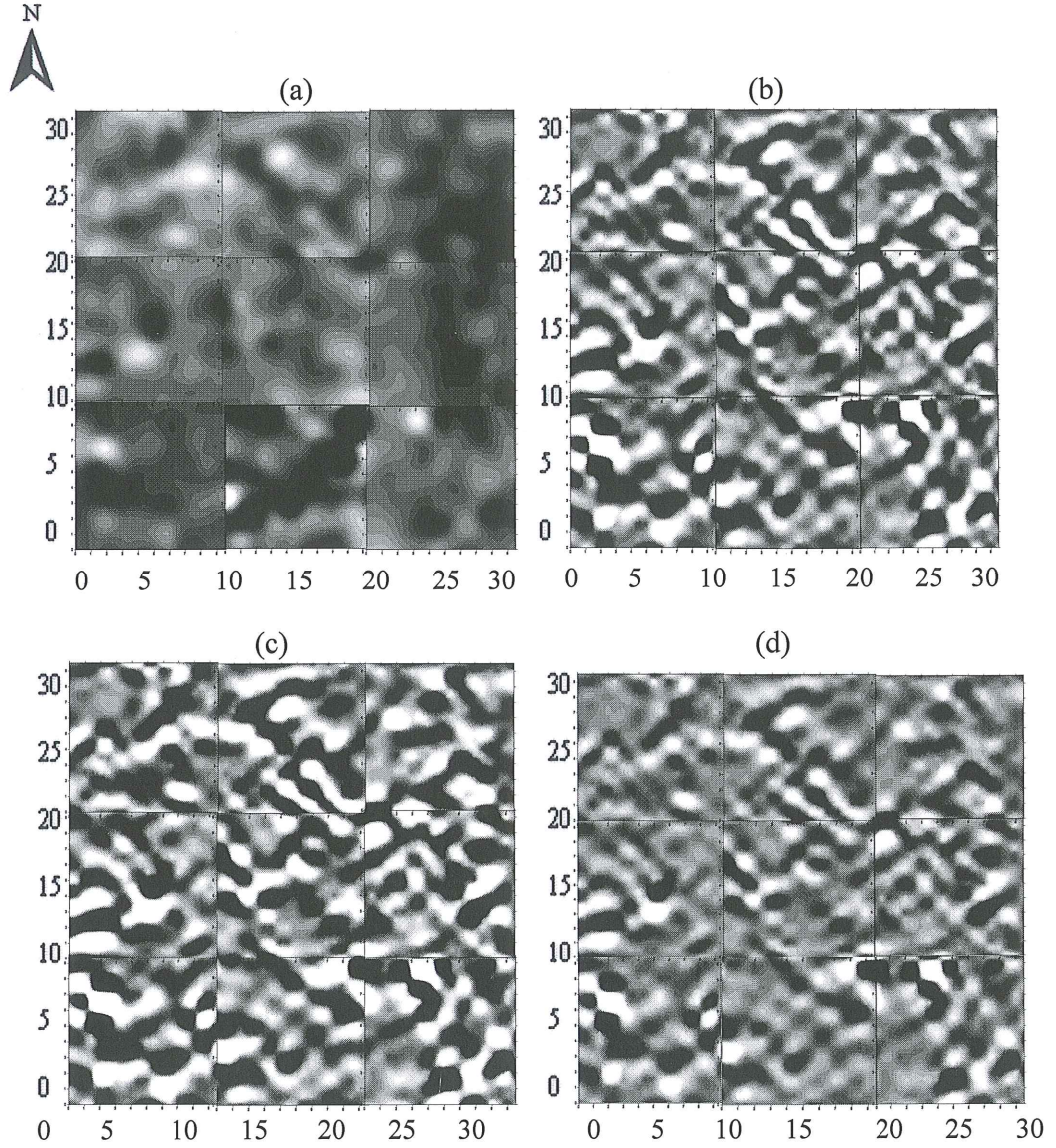


Şekil 4. 34: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.



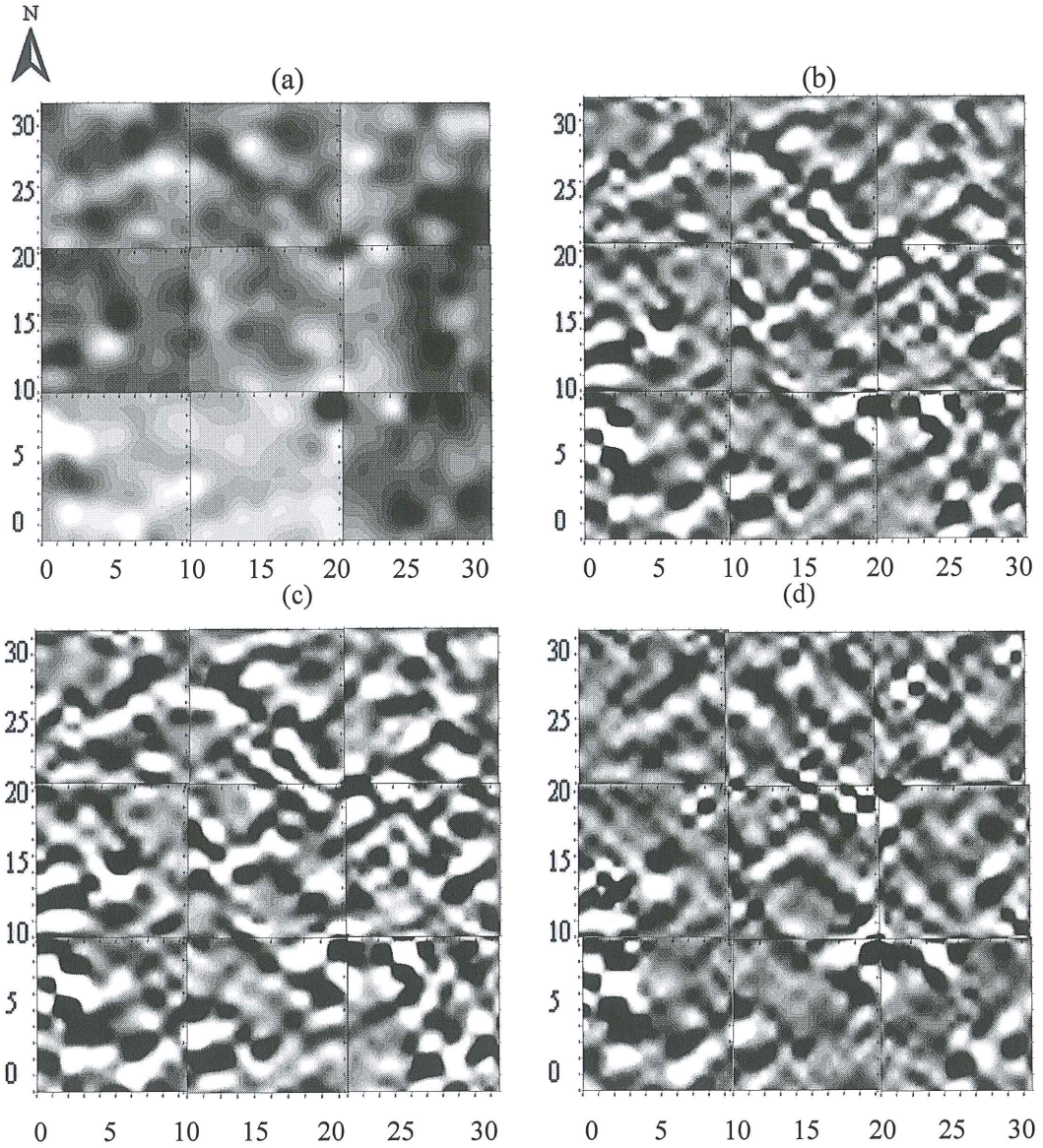
Şekil 4. 34(devamı): a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0.5 ve 1 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

Çalışmanın önemli aşamalarından biri de farklı alıcı yüksekliklerinden toplanan verilerin farklarının ters süzgeçleme anlamında karşılaştırılması ve yorumlamaya katkısının incelenmesidir. Bu amaçla; 0.5-1.5 m, 0.5-2.0 m, 1.0-1.5 m ve 1-2.0 m fark verileri yine benzer yapı boyutlarından elde edilen 3x3'lük süzgeç sonuçları ile evriştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır. Yukarıdaki bölümde 0.5-1.0 m sonucu verildiğinden burada tekrar verilmemektedir. Alıcı yüksekliği 0.5-1.5 m olan fark ve ters süzgeçleme sonuçları Şekil 4. 35'de verilmektedir. Görüntülerden de görülebildiği gibi, yapılar önceki sonuçlara göre daha belirgindir. Özellikle birbirini izleyen negatif ve pozitif anomaliler bu işlem sonucunda daha iyi sonuç vermektedir. Özellikle yüzeye yakın arkeolojik izlerin daha iyi olduğu ve daha belirgin görüldüğü bu sonuçlardan ortaya çıkmaktadır.



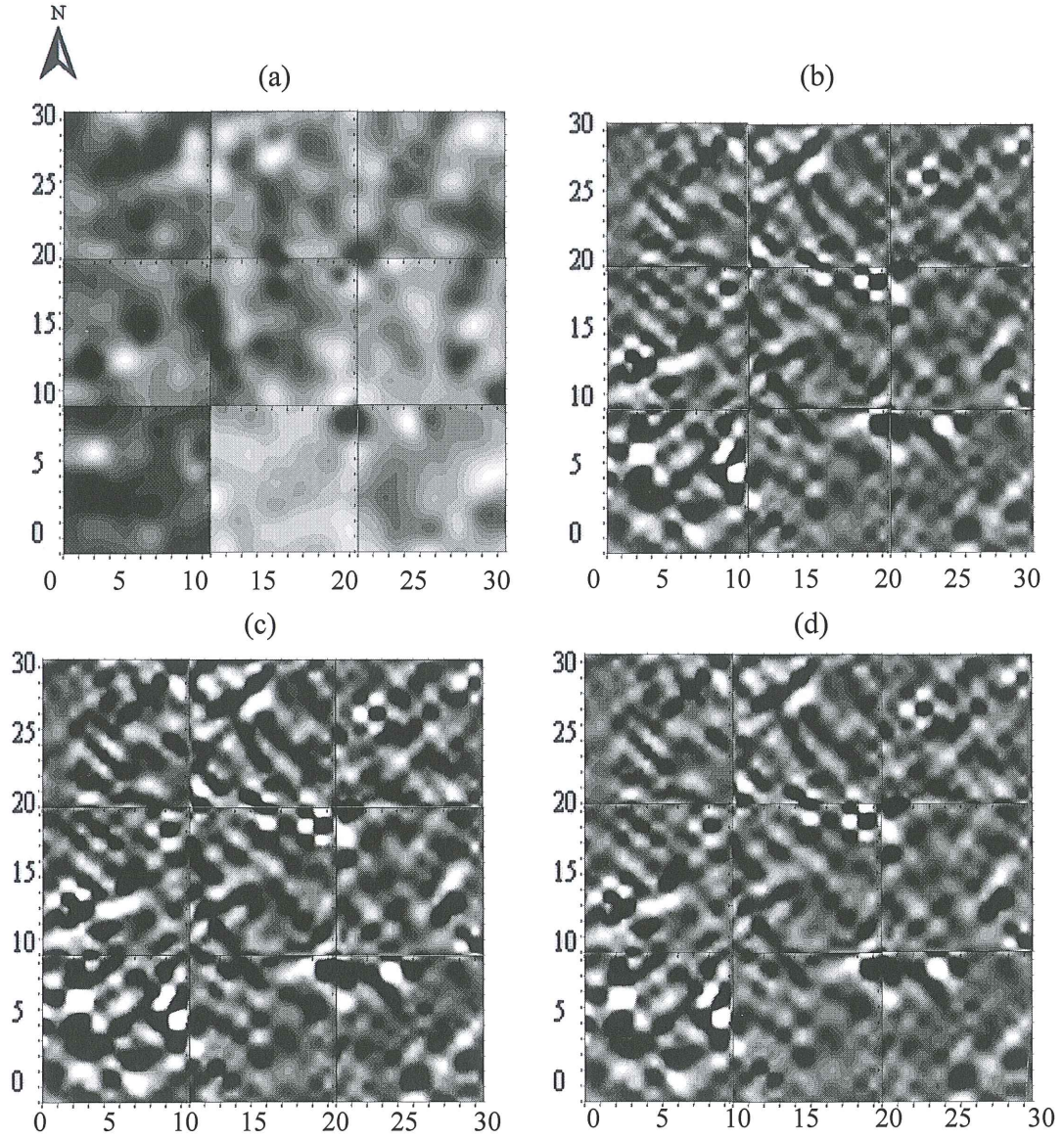
Şekil 4. 35: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 ve 1. 5 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

Aynı alanın 0.5-2.0 m için fark sonuçlarının ters süzgeçlenmiş görüntüleri ise Şekil 4.36'da verilmektedir. Bu görüntülerde diğerlerinden önemli farklar ortaya çıkmıştır. Özellikle belirli yapılar daha da belirginleşmiştir. Ayrıca bazı yapısal uzanımların 1x5x1 m boyutlu süzgeçleme verisinde daha iyi olduğu görülmektedir. Bu durum aşağıda gömülü yapının boyutlarının bu süzgeç sonucuna daha iyi uyduğunu göstermektedir. Böylece değişik yapıları yorumlamada tasarımılanmış farklı süzgeçlerin önem taşıdığı bir kez daha açıkça görülmektedir.



Şekil 4. 36: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 0. 5 - 2 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

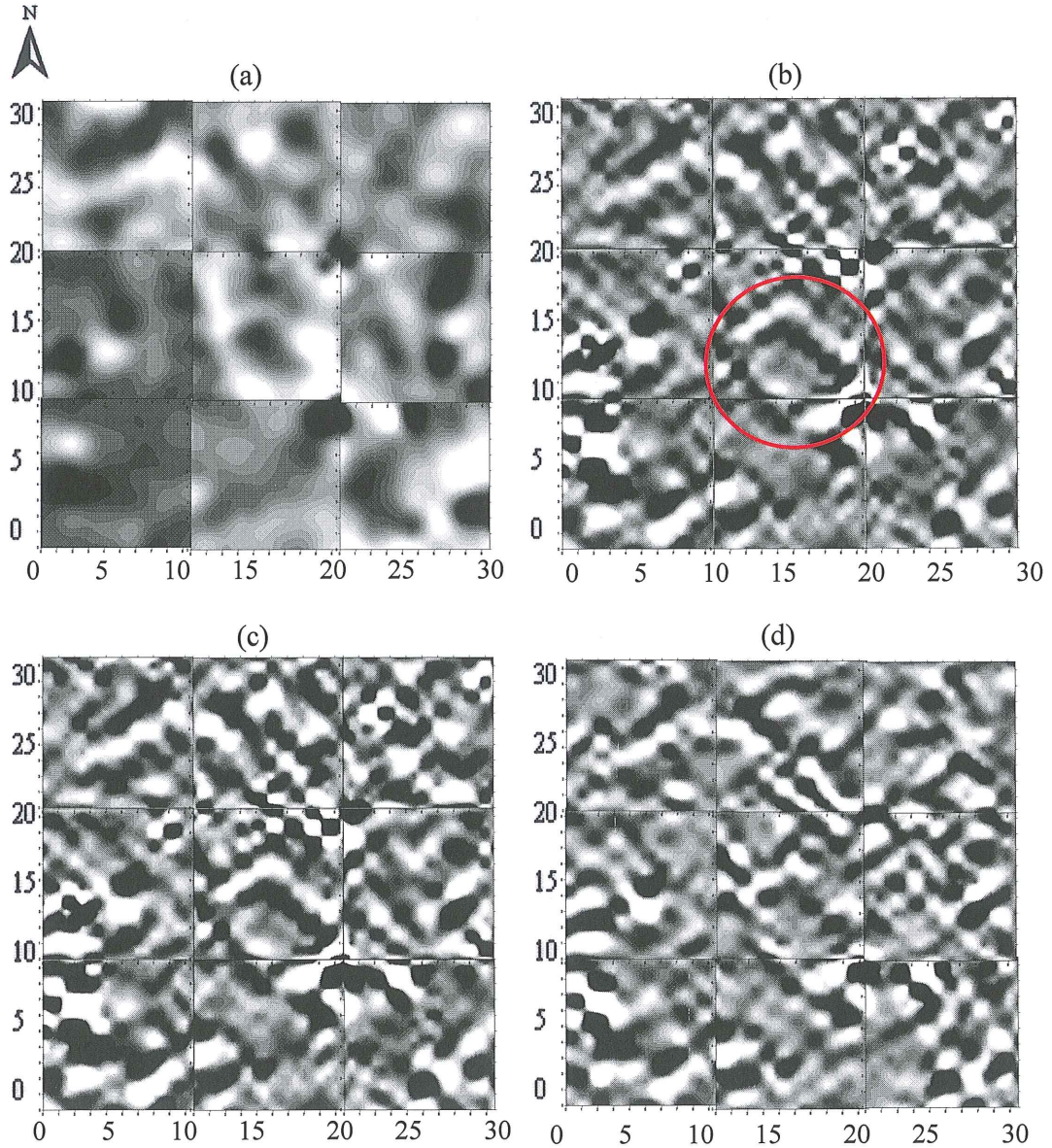
Alıcı aralıklarının daha yukarıda olduğu durumların farkları ise aşağıda sunulmaktadır. İlk durum 1.0-1.5 m alıcı yüksekliklerinden elde edilen verilerin fark görüntüsü ve aynı ters süzgeçlerle evriştirilmiş durumunu göstermektedir (Şekil 4.37). Buradan da görülebildiği gibi fark görüntüsünde de daha önce izlenen anomaliler izlenememektedir. Açıkçası önemli bir değişim ortaya çıkmıştır. Bu da daha derinde farklı arkeolojik yapıların bulunduğunu düşündürmektedir. Bu sonuçlar içinde de en iyi 2x2x1 m süzgeç sonucunun daha yorumlanabilir olduğu burada belirtilmelidir.



Şekil 4. 37: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 1- 1. 5 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 metre 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

Son karşılaştırma örneği ise 1.0-2.0 m alıcı yüksekliğinde elde edilen verinin ters süzgeçleme sonuçlarını göstermektedir (Şekil 4.38). Bu yükseklik farkının verisinde anomaliler iyice değişmektedir. Özellikle pozitif uzanımlar daha baskın ortaya çıkmaktadır ve oldukça düzgün bu uzanımların derinde farklı arkeolojik yapıların izlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunların ters süzgeçleme sonuçları diğerlerinden çok daha farklı bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Bu durum 2x2x1 m'lik yapının süzgecinde daha belirgindir. Alanın ortasında pozitif anomali değerli

dikdörtgen biçimli bir yapı bulunmaktadır. Elips ile gösterilen bu yapı ile ilişkili olabilecek başka bazı yapıların izleri de görülmektedir. Her bir sonuç birbirinden farklıdır. Örneğin 1x5x1 m sonucunda alanın doğusundaki anomaliler daha da belirginleşirken, bu yapının etkisi bozulmaktadır. Böylece bu dikdörtgen yapının 2x2x1 m boyutlarına yakın olduğu bazı diğer yapıları ise 1x5x1 m boyutlarında yani uzun duvarlar biçiminde olduğu düşünülmektedir.



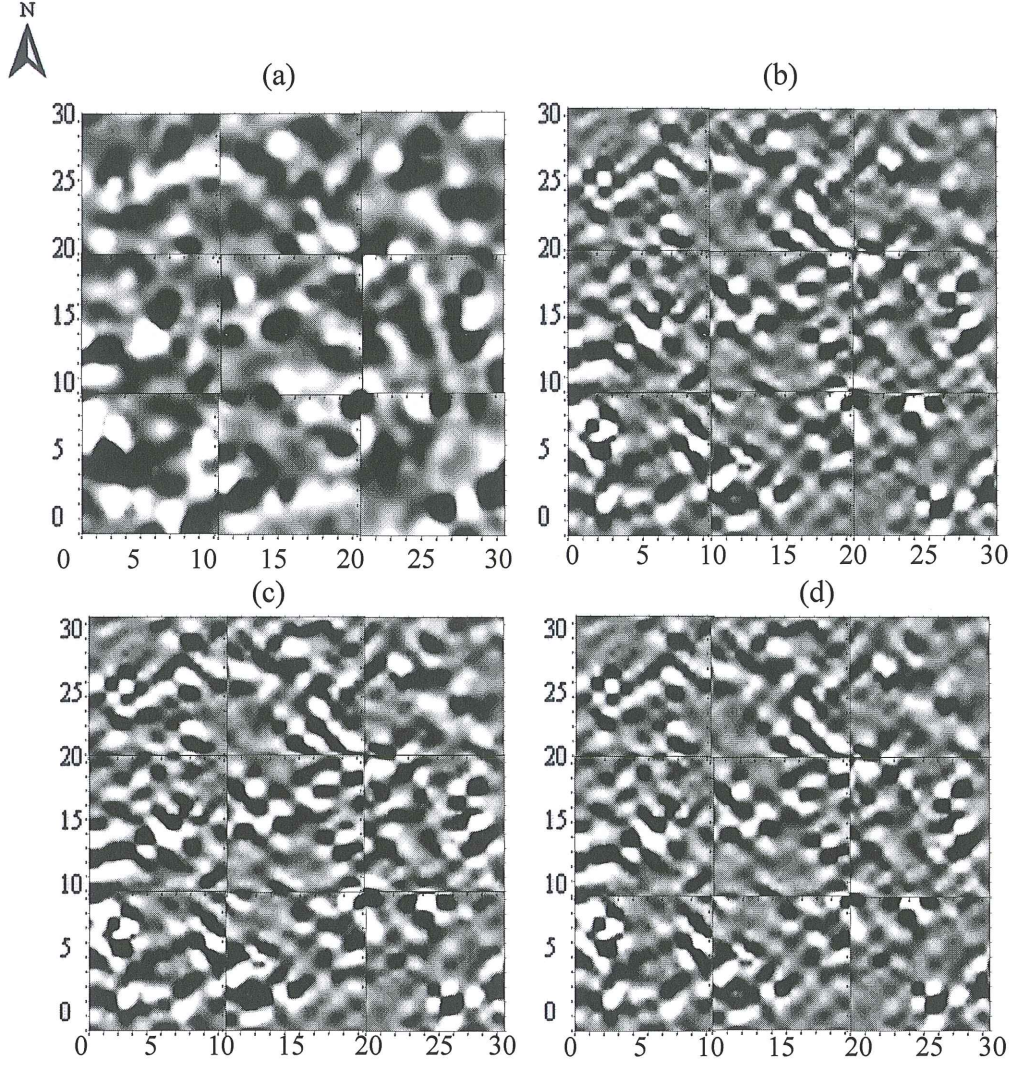
Şekil 4. 38: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 1-2 metre alıcı aralıklı manyetik gradyometre b) Yapı boyutu 1x1x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü. c) Yapı boyutu 2x2x1 metre 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

Burada yapılan çalışmanın genel sonucunda;

- Fark görüntülerinin çok katlı yerleşmeler için önem taşıdığı ve bu nedenle bu tür alanlarda değişik alıcı yüksekliğinde veri toplamanın önemli olduğu,
- Ters süzgeçlemenin değişik yapıların özelliklerini açık biçimde ortaya çıkardığı,
- Yeraltındaki genel bir plana ulaşmak için bunların tümünden yapılacak bir ortak yorumlamanın önem taşıyacağı ve bu verilerin tümünün sonucundan yapılacak genel bir yorumun arkeolojik anlamda daha yararlı olacağı, bu çalışmaların sonuçlarından ortaya çıkmaktadır.

4. 5. 3. Fluxgate gradyometre verilerinin ters süzgeçlemesi

Çalışmalarda ters süzgeçlemelerin test edildiği bir başka veri grubu da alandan FM36 fluxgate gradyometresi yardımıyla toplanan katsayıları küçük hafif bir alçak geçiren süzgeçten geçirilen sonuçlarının aynı yapı türleri ve bunlardan elde edilen süzgeçler ile evriştirilmesi ile başarılmıştır. Sonuçlarda başarılı olanlar 3x3 boyutlarına sahip süzgeç sonuçlarıdır ve bunların üç ayrı yapı durumu için ortaya çıkan sonuçları Şekil 4.39'da verilmektedir. Şekillerden de görülebildiği gibi, bu sonuçlar toplam manyetik alan verilerinden elde edilen 0.5-1.0 ve 0.5-1.5 m alıcı yüksekliğindeki verilere çok benzemektedir (Şekil 4. 32 ve 4. 35). Aslında cihazlar ve ölçümlerdeki alıcı yükseklikleri bu iki sistemde birbirinden farklıdır. Ancak her ikisi de yüzeye yakın yapıları belirlediğinden, birbirine yakın sonuçlar üretmiştir. Bunların içinde yüzeye yakın yapılarda FM36 fluxgate gradyometresinin daha çizgisel sonuçlar vermesine karşın, yüzeye yakın bazı yapı tiplerinin belirlenmesinde önemli farkların olduğu görülmektedir. Bu durum fluxgate'in yüzeye yakın tüm değişimlere daha duyarlı olmasından kaynaklanabilir. Genel açılardan her ikisinin de birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Ancak böylesi karmaşık yapılarda toplam alandan türetilen gradyometrik verilerin daha yorumsal ve çözümü kolaylaştırabileceği burada yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. 39: a) Manyetik çalışma yapılan alanın 3x3' lük alçak geçişli filtre uygulanmış, manyetik gradiometre b) Yapı boyutu 1x1x1 m 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü c) Yapı boyutu 2x2x1 metre 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü d) Yapı boyutu 1x5x1 metre, 3x3'lük ters süzgeçleme sonrası görüntüsü.

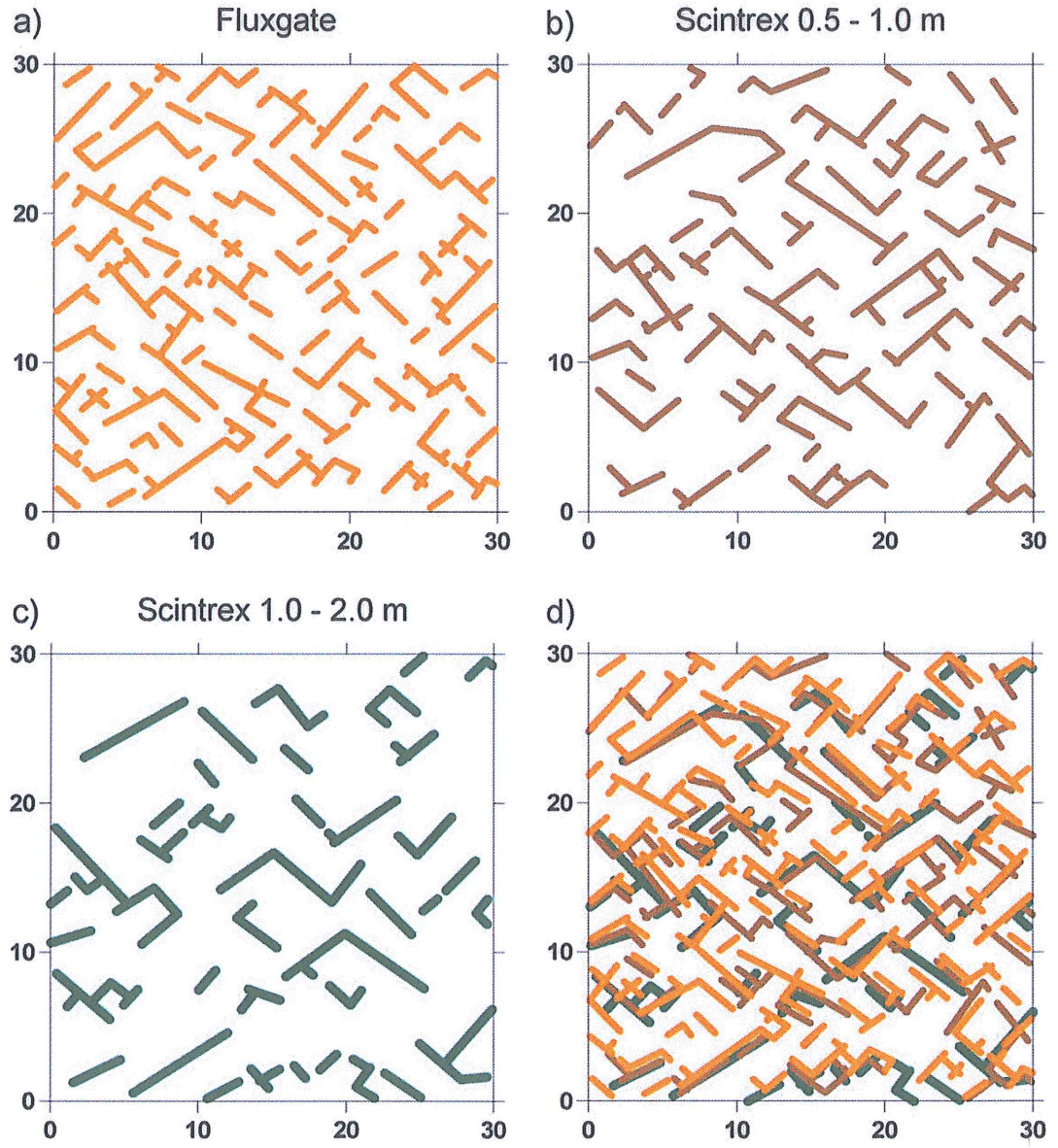
4. 5. 4. Ters süzgeçleme verilerinin arkeolojik yorumu

Ters süzgeçleme çalışmaları alandaki gömülü arkeolojik yapıların belirlenmesinde genelde önemli bulgular ortaya çıkarmıştır. Özellikle bu verilerin manyetik verinin toplam alan, toplam alandan elde edilen değişik alıcı yüksekliklerdeki gradyent değerleri ve gradiometrik ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması önemli sonuçları ortaya koymuştur. Bu nedenle bu sonuçların daha iyi karşılaştırılabilmesi ve bu sonuçlardan doğrudan bir yoruma gidebilmek için, bunların sonuçlarından türetilen bir arkeolojik yorum planının tartışılması bu bölümde yapılacaktır. Buradaki

alışmalar göstermiştir ki, karmaşık yüzeyaltı ve çok katmanlı yapılanma içeren arkeolojik alanlarda yapılacak sabit alıcı aralıklı bir cihazın verileri ile doğrudan yoruma gitmek sakıncalı sonuçlar doğurabilecektir. Çünkü yzeyaltında değişik derinliklerde gömülü birçok değişik nesne vardır ve bunların toplam etkisi, alıcı yüksekliğinin etkisi de göz önüne alınarak, bize farklı anomaliler biçiminde gelmektedir. Bu nedenle bu tür alanların doğru yorumlanabilmesi için mutlaka alıcı aralıkları değişen gradyometrik verilere gereksinim vardır ve bu tür veriler derindeki yapıların da algılanabilmesine olanak sağlamaktadır. Oysa sabit aralıklı bir gradyometre yardımıyla toplanan verilerde yzeeye yakın etkiler belirlenebilmekte, aynı zamanda karmaşık alanlarda bunlar karışık bir görüntü de sunabilmektedir ve bu nedenle bu verilerden doğrudan yorum yapılamamaktadır. Oysa aynı alanda farklı alıcı yüksekliklerinden toplanmış verilerde bulunuyorsa, o zaman gerçek yoruma ulaşmak daha kolay olabilecektir. Ayrıca bu tür verilerin yorumlanmasında ters süzgeçleme çalışmalarının da önemli yararları olabileceği burada yapılan çalışmalarda açıkça ortaya çıkmıştır. Bu tür çalışmalarla arkeolojik yorum daha da geliştirilmiş olacaktır. Bu alanda yapılan çalışmanın sonuçlarının arkeolojik yorumuna gelince; yapılan bu üç ayrı ölçüm türünde tüm yapıların KB-GD ve KD-GB yönlü uzanımlara sahip olduğu, genelde aralarında yönler benzemekle birlikte küçük oranda bulunduğu grlmştir. Ayrıca yzeeye yakın yapılar ile derindeki yapıların uzanım yönleri açısından benzemekle birlikte, birbirlerinden çok farklı olduğu grlmştir. Genelde yzeeye yakın görüntülerde pozitif anomali grupları baskınken, bunlar derinde negatif olarak gözlenmektedir. Bu durum burada farklı derinliklerde gömülü ve manyetik özellikleri değişik yapı gruplarının olabileceğini göstermektedir. Özellikle negatif belirti gruplarının yeraltındaki kerpiç türü birimlere karşılık gelebileceği düşünülmektedir. Bu anlamda hazırlanan ve hem yzeeye yakın yapıları hem de derindeki yapı ilişkilerini ortaya koyan genel bir arkeolojik yorum şekil 4.40'da verilmektedir.

Genel yorum üç ayrı sonuç üzerinde yapılmıştır. Bunlardan biri FM36 fluxgate gradyometresi ile elde edilen verilerin pozitif değerli anomalilerinin çizgisel bir şekil ile gösterilmesi ile oluşturulmuştur (şekil 4.40a). Burada tüm pozitif anomali değerlerinin olduğu yerler çizgisel olarak gösterilmiştir. şekilden de görülebildiği gibi, yzeeye yakın ve benzer doğrultularda birçok iz bulunmaktadır ve izler genel

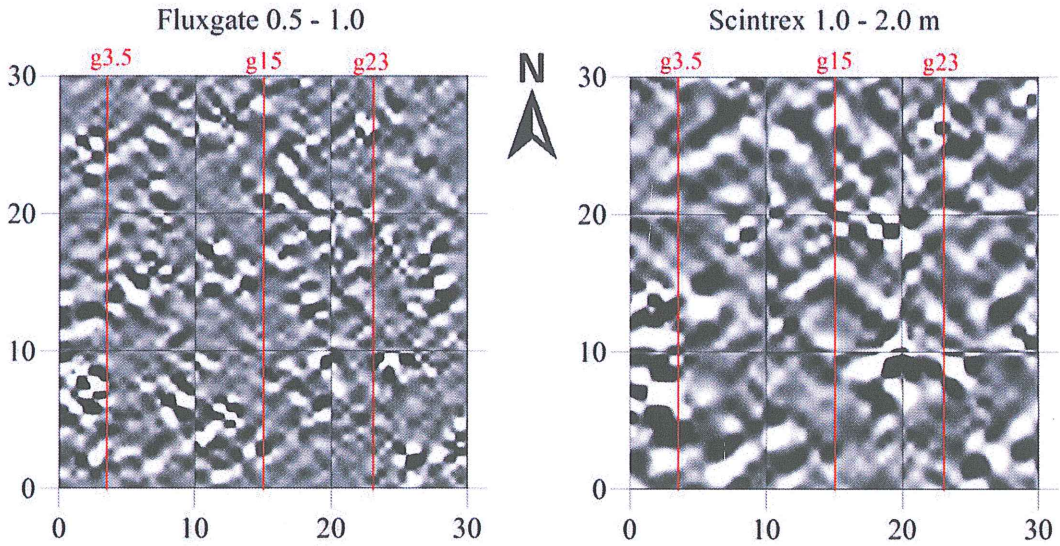
anlamda birbirleri ile uyumludur. Ancak alıcı yüksekliklerinin bu gradyometrede yüzeye yakın olması doğal olarak yüzeye yakın başka etkilerinde gözlenmesine neden olmakta ve bu durum arkeolojik yorumu bir ölçüde de olsa zorlaştıracı etkilere neden olabilmektedir (özellikle çok katmanlı arkeolojik yerleşmelerde). Bu nedenle alıcı yüksekliklerinin ve farklı manyometrelerin sonuçlarının test edilmesi anlamında burada yorumlamalar Scintrex türü proton manyetometresinin iki farklı alıcı yüksekliği içinde burada sunulmaktadır. İlk sonuç alıcı yüksekliğinin fluxgate ile aynı olduğu durumdur ve Şekil 4. 40b'de verilmektedir. Buradan da görülebildiği gibi sonuçlar arasında benzerlik vardır, ama proton manyetometrelerinin fluxgate'lere göre daha az duyarlı olmaları bu sonuçların farklı çıkmasını sağlamaktadır. Özellikle bu manyetometrelerin yüksek alıcı durumları için çok genel anomalileri verdiği burada ters süzgeçleme sonuçlarından elde edilen yorumlarda ortaya çıkmaktadır (Şekil 4. 40c). Birçok anomali düşük alıcı yüksekliği ile benzer olmakla birlikte aralarında ayrımlarda vardır ve bunlar yapıların derinlik farklarından kaynaklanmış olabilir. Tüm sonuçlar üst üste bindirildiğinde oluşturulan Şekil 4. 40d ise bize aralarındaki uyumu test etme olanağı vermektedir. Bu şekilden de görülebildiği gibi, birçok anomali üzerinde oldukça iyi bir uyum bulunmaktadır ve bunların birleşik yorumu yapısal izleri daha iyi belirlemeye ve yorumlamaya olanak vermektedir. Özellikle tüm anomalilerin çakıştığı yerler genel yapı izlerinin bulunduğu alanlar olarak düşünülebilir. Burada yapılan bu çalışma arkeolojik anlamda aşağıdaki düzende bir yapılanmanın bu alan için geçerli olduğunu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4. 40: Farklı manyetometre ve alıcı yükseklikleri için ters süzgeçleme sonuçlarının çizgisel diyagramı (sadece pozitif anomaliler göz önüne alınmıştır).

4. 6. Arazi Verilerinin 2B Ters-çözümü

Bir önceki altbölümde tartışılan veriler yapı özellikleri ve derinliklerin kestirimi amacıyla iki-boyutlu bir ters-çözüm işlemlemesinden de geçirilmiştir. Bu çalışmalar sırasında MAG2D adlı ve kuramsal özellikleri önceki bölümde tartışılan bir yazılım ile çözümler yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında toplam manyetik alan, toplam manyetik alandan üretilen 0.5-1.0 ve 1.5-2.0 m alıcı yüksekliklerine sahip fark olarak elde edilen gradyent değerleri ve alandan bir gradyometre yardımıyla toplanan veriler aynı hatlar üzerinde ters-çözüm işleminden geçirilmiştir ve sonuçları bu bölümde tartışılmaktadır. Şekil 4.41’de alandan elde edilen verilerin ters süzgeçleme sonucundan geçirilen görüntüleri üzerinde seçilen hatlar görülmektedir. Hatların seçiminde anomalilerdeki önemli değişimler ve izlerin farklılığı temel alınmıştır. Görüntülerden de görülebildiği gibi, aralarında önemli farklar bulunmaktadır ve bunların farklı derinliklerdeki izlerin anomalilerini sunduğu düşünülmektedir. Özellikle derinlik anlamlarında değişiklikler beklenmektedir. Bu nedenle bir 2-boyutlu ters-çözüm uygulaması gerekli görülmüştür.

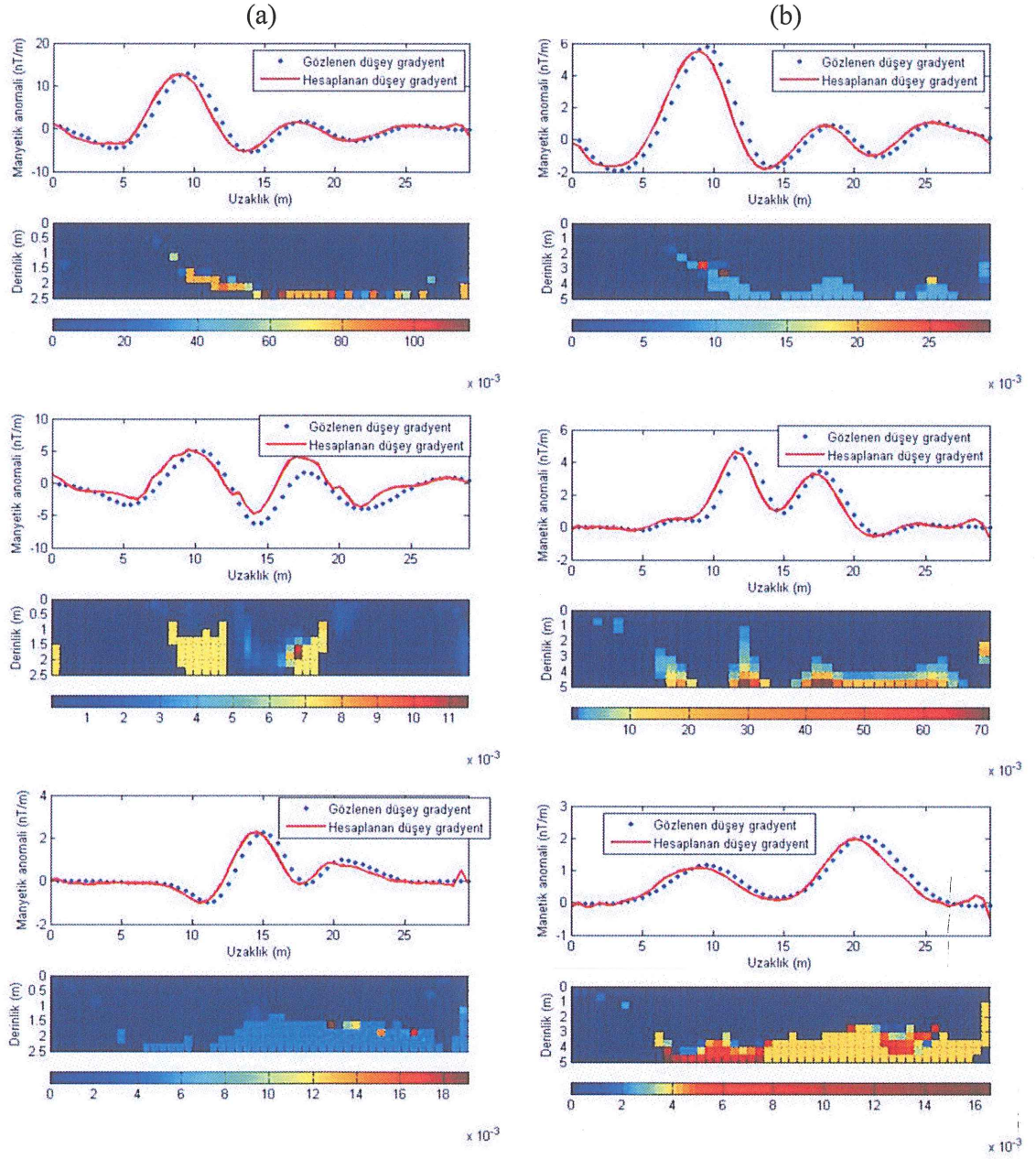


Şekil 4. 41: Fluxgate ve Scintrex gradyometreleri için ters süzgeç görüntüleri ve ters-çözüm işleminde kullanılan hatların yerleri.

Şekil 4. 42’de önceki şekilde görülen g3.5, g15 ve g23 hatlarından seçilmiş üç ayrı hattın ters-çözüm sonuçları duyarlık değerlerine göre yapı izleri ile birlikte

verilmiştir. Şeklin solunda fluxgate verilerinin ters-çözüm sonuçları, sağında ise proton manyetometresinin ters-çözüm sonuçları verilmektedir. Eğrilerden de görüldüğü gibi, sadece g3.5'da farklı iki manyetometrenin anomalileri benzerliktedir. Diğer hatlarda ise anomaliler arasında önemli farklar bulunmaktadır. Bu durum bize bu manyetometrelerin değişik alıcı yükseklikleri de göz önüne alındığında farklı sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmaktadır. Hat 3.5'un anomalilerinde benzerlik olmasına karşın, genlik değerleri birbirinden farklıdır. Bunların ters-çözüm sonuçları arasında da benzerlik bulunmaktadır. Ancak alıcı yükseklikleri farklı olduğundan farklı derinlikleri tanımlamaları gerekmektedir ve burada yeraltı duyarlık kesitleri bu durum göz önüne alınarak oluşturulmuştur ve derinlik kısmında bu durum açıkça görülmektedir. Kesitler arasında benzerlikler olmakla birlikte fluxgate sonuçlarında yeraltındaki duyarlıklar daha yüksek çıkmaktadır. Ama genel anlamda aralarında önemli bir uyum bulunmaktadır. Hat 15'in eğrileri ise çok farklıdır ve doğal olarak yeraltı modelleri de farklı çıkmaktadır. Soldaki fluxgate ters-çözüm kesitinde ortada iki ayrı yapı grubu görülmektedir. Bunlar sırasıyla 7 ile 12 ve 15 ile 19. metreler arasında bulunmaktadır. Özellikle yapıların yüzeyden yaklaşık 1 m derinde gömülü olduğu bu kesitten anlaşılmaktadır. Scintrex sonuçlarında ise farklı bir dağılım vardır. Burada üç ayrı yapı grubu izlenmektedir. İlki 6 ile 8 m, ikincisi 11 ile 14 m ve sonuncusu ise 15 ile 27. metreler arasındadır. Özellikle yapılar diğer sonuca göre daha derindedir yaklaşık 2 ile 4. 5 m arasında bulunmaktadır. Yapıların genel anlamda benzer yerlerde olması bu iki ayrı kesitteki yapıların birbiri ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Scintrex sonuçlarının daha derindeki yapıları vermesi, her ikisinin yorumunun birlikte yapılmasıyla sonuç arkeolojik yorumun daha da geliştirebileceğini düşündürmektedir. Son kesit hat 23'den alınandır ve burada da görülebildiği gibi eğriler birbirinden farklıdır. Ancak sonuçlar açısından önemli bir benzerlik bulunmaktadır. Her ikisinde de yapılar yaklaşık olarak hattın 5. metresinden sonra başlamakta ve hat sonuna kadar devam etmektedir. Fluxgate kesitinde yapıların derinlikleri yaklaşık 1.5 m'den başlarken, proton sonucunda 2. 0 m'den başlamaktadır. Ayrıca duyarlık değerleri de her iki modelde farklı çıkmaktadır. Bu da ters-çözümün ve jeofizikte çok çözümlü sonuç ilkesinin bir sonucu olmalıdır. Ama genel anlamda bakıldığında, tüm sonuçlar arasında benzerlikler iyidir ve yapıların derinlik ve duyarlıklarının belirlenmesi anlamında önemli sonuçlar üretilmektedir. Buradaki üç hattın sonuçları genel olarak

irdelendiğinde; alanda yapıların genelde 1m derinliğin altında olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle bazı yapılar ise 2m derinlikten sonra görülmeye başlamaktadır. Böylece ters süzgeçleme sonuçlarının da gösterdiği gibi farklı yapı gruplarının olma olasılığı yüksektir. Ayrıca alandaki duyarlık değerleri de önemli değişiklikler göstermektedir ve bu durum alanda yeraltındaki yapıların değişik manyetik duyarlıkta olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle son hattaki her iki sonuçta da bu değerlerin küçük çıkması, alanın doğusunda bulunan materyaller ile diğerleri arasında önemli farkların olabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak ters-çözüm yöntemi yeraltındaki yapıların derinlik ve duyarlık değerleri açısından tanımlanabilmesi için yorumlamayı geliştirici sonuçlar vermektedir ve bu tür çalışmalarda uygulanması yarar sağlayacaktır.



Şekil 4. 42: Fluxgate ve Scintrex gradiometreleri için ters-çözüm sonuçları. a) Fluxgate (alıcı yüksekliği 0. 5-1. 0 m), b) Scintrex (alıcı yüksekliği 1. 0-2. 0 m). Hatlar Şekil 4. 41'deki batıdan doğuya doğru g3. 5, g15 ve g23 nolu hatlardır ve burada yukarıdan aşağıya doğru verilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma arkeolojik alanlarda yapılan jeofizik çalışmaların yorumlaması açısından en zor alan türü olan höyüklerin manyetik yöntemle görüntülenmesi ve bu görüntülerin değişik değerlendirme tekniklerinden geçirildikten sonra yorumlamayı geliştirmeyi amaçlayarak başarılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında alandan değişik alıcı yüksekliklerinde doğrudan toplam manyetik alan ve tek alıcı yüksekliğine sahip bir gradyometre yardımıyla da toplanan gradyometrik verinin doğru yorumlanabilmesi ve yapıların derinliklerinin ile genişliklerinin saptanabilmesi için Euler dekonvolüsyonu, ters süzgeçleme ve iki-boyutlu ters-çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Değişik alıcı yüksekliklerinden toplanan manyetik verinin fark işlemleri ile değişik manyetik gradyometrik verileri üretilmiştir. Türetilen bu veriler ters süzgeçleme anlamında irdelenerek hem hangi alıcı aralıklarının daha yararlı sonuçlar üreteceği ve yorumlamaya katkı sağlayacağı hem de farklı ters süzgeçlemelerle yapı biçimlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Üç değişik değerlendirme ve modelleme tekniği ile işlenen bu veriler sonucunda çok önemli veriler ve bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulgular şu biçimde tanımlanabilir;

— Öncelikle dört değişik alıcı yüksekliğinden toplanan toplam manyetik alan verilerinin Euler değerlendirmeleri aşağıda beklenen arkeolojik yapıların genelde 1. 5 ile 3 m arasında yoğunlaştığını ve bu yoğunlaşmaların alanın ortasında fazla olmasına karşın, diğer yerlerde de görüldüğünü ortaya çıkarmıştır. Bu yöntem ile bundan daha fazla bir yorum yapma olanağı ne yazık ki yoktur ve böylesi bir yöntemin arkeolojik çalışmalarda kullanılmasının yapı yoğunlukları ve olası sınırlar dışında yorumlamaya çok fazla bir katkı sağlamadığı görülmüştür.

— Diğer bir değerlendirme yöntemi olan ters süzgeçlemede hem toplam alan verileri hem de hesaplanan ve ölçülen gradyent değerleri değişik yapısal özelliklere sahip biçim fonksiyonları yoluyla hesaplanan süzgeçler ile bu verilerin işlenmesi

sonucunda yapılan bir değerlendirmedir. Bu değerlendirmelerde süzgeç katsayılarının boylarının büyümesinin sahte ve istenmeyen etkilerin ortaya çıkmasına neden olduğu görülmüştür. Bu nedenle 3x3 boyutlu süzgeçler kullanılmıştır. Ayrıca verilerin ham biçimleri ile bir alçak geçiren süzgeç sonucunda üretilen verilerin bu işlemde kullanılmasının sonuçları önemli oranda etkilediği görülmüştür. Genelde gradyometrik verilerin yüzeye yakın alıcılarından elde edilenlerde hafif bir alçak geçişli süzgeç yeterken, yüzeyden uzak alıcılarda daha fazla süzgeçlemenin yararlı olabileceği görülmüştür. Ayrıca bu alanın karakteri ile ilişkili olarak da değişebilir. Genelde yapılan ters süzgeçlemeler sonucunda yeraltında KD-GB ve KB-GD yönlü yapısal grupların olduğu ve bunların bir bölümü yüzeye yakın alıcı verilerinde açıkça görülmürken, diğer bölümü ise sadece yüksek konumdaki alıcı verilerinde ortaya çıkmıştır. Genelde bu yapılar daha düşük anomalik değerlere sahiptir ve bunların kerpiç türü yapıların etkisinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Genel anlamda bakıldığında ters süzgeçleme verilerinin yorumlanması, özellikle de arkeolojik alanlar içinde en sorunlu alan türü olan höyük türü alanlarda farklı alıcı yüksekliğinden toplanmış veriye uygulandığında, farklı derinliklerdeki yapılar hakkında veriler verdiği görülmüştür. Böylece bu yöntemin arkeolojik çalışmalarda, özellikle de zor problemler üzerinde uygulanmasının önemli olacağı ortaya çıkmıştır.

— Alandan toplanan tüm veri türlerine iki boyutlu ters-çözüm tekniği uygulanabilmiştir. Hem toplam alan hem de gradyent verilerine uygulanan ters-çözümün yeraltındaki gömülü yapıların derinlik, boyutlarının ve duyarlık değerlerinin belirlenmesi anlamında önemli veriler sağladığı görülmüştür. Bu amaçla belirli hatlar üzerinden alınan verilere uygulanan ters-çözüm işlemi ile alandaki yapıların derinliklerinin genelde 1,0 m ile 4 m arasında olduğu görülmüştür. Bunlar değişik derinlik seviyelerinde ve farklı manyetik duyarlık değerlerine sahiptir. Bu veriler ile önceki yöntemlerin sonuçları karşılaştırıldığında, aralarında önemli bir uyumun olduğu görülmüştür. Özellikle manyetik görüntülerdeki KD-GB ve KB-GD yönlü izlerin bu çalışmada da benzer yerlerde ortaya çıkması ve ayrıca derinliklerinin de belirlenmesi yöntemin arkeolojik yorumlamaya önemli katkılarının olduğunu ortaya koymuştur.

— Yapılan bu çalışmaların özellikle ters süzgeçleme ve iki-boyutlu ters-çözümün birlikte kullanılmasının yorumlamayı büyük oranda geliştireceği ortaya çıkmıştır. Eğer bu tür bir yorumlama yapılmamış olsaydı, alandaki gerçek yoruma ulaşmak zor olurdu. Ayrıca bu tür çok katlı yerleşmelerde sabit alıcı yüksekliklerine sahip gradyometrelerin yararlı sonuçlar üretmediği, bu nedenle bu alanlarda alıcı boylarının mutlaka değiştirildiği gradyometrelerin kullanılmasının ve bunların sonuçlarının yorumlamayı daha da güçlendirdiği ortaya çıkmıştır.

— Bayraklı (Smyrna) arkeolojik alanı bağlamında bakıldığında, 30x30 m'lik test alanında yapılan çalışmaların alandaki arkeolojik yapılanmanın çalışılan bu saha ve çevresi hakkında önemli sonuçları olmuştur. Bu sonuçlar çalışma alanının kuzey batısında daha önceki yıllarda yapılan kazı çalışmaları ile büyük bir benzerlik taşımaktadır. Gömülü yapıların uzanımları ile kazılmış olanların uzanımları arasında bire bir uyum saptanmıştır. Ayrıca yüzeye yakın farklı yapı gruplarının bulunduğu, derinde ise daha farklı yapısal öğelerin ortaya çıktığı görülmüştür. Manyetik çalışma sonuçlarına göre Bayraklı höyüğünün bu alanlarında daha derindeki yapıların genelde kerpiç yapılardan oluşabileceği düşünülmektedir. Ayrıca alanın derin kesimlerinde dikdörtgen biçimli önemli bir yapının izi de görülmektedir ve bu yapının mutlaka kazılması önerilmekte ve kazı sonuçlarına göre de bu sonuçların karşılaştırmasının yöntemlerin güvenilirliğini sınamada çok önemli olacağı belirtilmelidir.

Sonuç olarak Bayraklı arkeolojik sahasından toplanan manyetik veriler ve sentetik manyetik veriler üzerinde yapılan çalışmaların ters süzgeçleme ve iki-boyutlu ters-çözüm yöntemlerinin tümleşik kullanılması durumunda arkeolojik yorumlamaya çok büyük katkılar sağlayacağı görülmüştür. Özellikle derinlerde bulunan ya da çok katlı yapılaşma içeren arkeolojik alanlarda böylesi bir yaklaşımın arkeoloji topluluğuna kazı öncesi planlama anlamında da birçok veri sağlayacağı görülmüştür. Bu çalışma sadece 30x30 m'lik bir test alanında yapılmış ve alınan sonuçların yararlılığı bu tür çalışmaların mutlaka daha büyük alanlarda denenerek, arkeolojik yapıların yorumlanmasında çok daha yararlı sonuçların elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

Aitken, M. J. , Webster, G. and A. Rees, 'Magnetic prospecting' *Antiquity*, 32:270-271, 1958.

Aitken, M. J. , "Physics and archaeology, 2 nd ed", *Clarendon Pres, Oxford*, (1974).

Akurgal, E. Eski İzmir I (2. Baskı). Ankara: Türk Tarih Kurumu, 1993

Atasoy, S. , "Anadolu Arkeolojisine Giriş", (1999).

Atkinson, R. J. T. , "Methodes electriques de prospection en archaeologie", *in Lamingm, A. ,Ed., La decouvert de Passe: Picard*, 59-70, (1952).

Bachus, G. E., and Gilbert, J. F., Numerical applications of a formalism for geophysical inverse problems. *Geophys.*, J. R. Astron. Soc. 13, 247-276, 1967

Başokur, T. A. , "Magnesia Ad Meandrum (Ortaklar) Argavlı Tümülüsünde Jeofizik Araştırmalar", *Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü*, Ankara, (1992).

Başokur, T.A. , "Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemlerin Ters-Çözümü", *TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI-Eğitim Yayınları* No:4, 2004

Beazeley, G. A. , "Air photography in archaeology", *Geophysical J.* ,53, 330-335, (1919).

Becker, H. , "From Nanotessla to Picotessla – a New Window for Magnetic Prospecting in Archaeology", *Archaeological Prospection*, 2, 217-228, (1995).

Belshe, J. C. , "Recent magnetic investigations at Cambridge Advances in Physcis", 6:192–193, (1957).

Bhattacharyya, B. K. , and Ghan, K. C. , Computation of gravity and magnetic anomalies due to inhomogeneous distribution of magnetization and density in a localized region: *Geophysics*, 42, 602-609, 1977

Bhattacharyya, B. K. , and Navolio, M. D., Digital convolution for computing gravity and magnetic anomalies due to arbitrary bodies: *Geophysics*, 40, 981-992, 1975

Blakely R. J. , "Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications" *Cambridge University Press* pp. 263-324, (1995).

Breiner S. , “Applications Manual For Portable Magnetometers”, *Geometrics*, USA, p. 7-p. 11-p. 52, (1973).

Canitez, N. , “Jeofizikte Modelleme (Düz ve Ters Problem Çözümleri) Kolokiyumu Ders Notları”, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, (1992).

Carmichael S. R. ,CRC Practical Handbook Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Pres, c1989.

Clark, A. *Seeing Beneath the Soil – Prospecting Methods in Archaeology* (Second Edition), Routledge, London, 1990.

Cook, J. C, Status of ground-probing radar and some recent experience. In *Proceedings of the conference on subsurface exploration for underground excavation and heavy construction*. Conference held at New England College, Hennikei, New Hampshire, August 11-16, 1974. American Society of Civil Engineers, New York 1974

Di Filippo, M., Ruspandini, T, and Toro, B,2000 The role of gravity surveys in archaeological In M. Pasquinucci and P. Tremont (eds), *Non-Destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology of Mediterranean Landscapes*, 4, Oxford Boks, 148-54, (2000).

Dolphin, L. T. , Tanzi, J. D. , and Beatty, W. B, Radar probing of Victorio Peak, New Mexico. *Geophysics* **43**, 1441–1448, 1978

Drahor, M. G. , “Van-Karagündüz Köyü Erken Demir Çağı Nekropolü ve Burgaz-Datça Arkeolojik Alanından Jeofizik Öz direnç Sonuçları”, (1993).

Drahor, M. G., Akyol, A. L. and Dilaver N. “An application of the self-potential (SP) method in archaeogeophysical prospection”, *Archaeological Prospection*, 3, 141-158, (1996).

Drahor, M. G. , “Arkeoloji Jeofiziği: Arkeojeofizik-I”, *Arkeoloji ve Sanat*, 87:16-25, (1998).

Drahor, M. G. , “Arkeoloji Jeofiziği: Arkeojeofizik-II”, *Arkeoloji ve Sanat*, 88:2-12, (1999).

Drahor, M.G., Application of the self-Potential Method to Archaeological Prospection: Some Case Histories, *Archaeological Prospection*,11,77-105, 2004

Drahor, M. G. , “*Arkeolojik Prospeksiyon, Jeoarkeoloji ve Arkeoloji Jeofiziği Sempozyumu*”, 23–25 Kasım 2005, YÜ, İstanbul, 2005.

Drahor, M. G. , “Arkeolojik Alanlarda Geniş Ölçekli Jeofizik Prospeksiyon”, *Arkeoloji ve Sanat*, 121:119–132, (2006a).

Drahor, M. G. , “Arkeolojik Alan İncelemelerinde Manyetik Prospeksiyon”, *Arkeoloji ve Sanat*, 123,85–94, (2006b).

Drahor, M. G., *Arkeoloji ve Sanat*, Integrated geophysical studies in the upper part of Sardis archaeological site, Turkey, *Journal Applied of Geophysics*, 59, 2006 *Arkeoloji ve Sanat*, (2006c)

Drahor, M. G. , “Arkeolojik Alan İncelemelerinde Seyrek Uygulanan Jeofizik Prospeksiyonları”, *Arkeoloji ve Sanat*, 126, (2007).

Drahor, M. G ve M. AÇ Kaya, ‘A large- scale geophysical prospecting in Acemhöyük, the site of Assyrian Trade Colony Period’, *TÜBA-AR III*:85-107, 2000.

Garland, G. D. , “ Combined analysis of gravity and magnetic anomalies”, *Geophysics*, V. 16, 51-62, (1950).

Gibson T. H. , “Magnetic Prospection on pre-historic Sites in Western Canada”, *Geophysics*, 553, (1986).

Grant, F. S. , and West, G. F. , *Interpretation theory in applied geophysics*: McGraw-Hill Book Co (1965)

Hall, S. H. , “ The modulation of a proton magnetometer signal due to rotation”, *Geophysical journal*, 7, 131–142, 1962

Hendersen, R. G. , Zietz, I. , “ Analysis of total magnetic intensity anomalies produced by point and line sources”, *Geophysics*, 13, 428-436, 1948

Hood, P. , “Gradient measurement in magnetic prospecting”, *Geophysics* 30, 891-902, 1965.

Jacobs, J. A. , *Geomagnetism*, Academic Pres Ltd., Volume 3, London U. K. , ISBN:0-12-37867-38, 1989.

Kanasewitch, E. R. , *Time sequence analysis in geophysics*. Univ. of Alberta mess, 1975

Karousova, O. , and Karous, M., *Deconvolution of AT profile curves*: Presented at the Internat. Symp. on computer applications and quantitative methods in archaeology: Univ. of York and York Archaeological Authorities, U. K, 1989.

Kayan, İ. , “İzmir çevresinin morfotektonik birimleri ve alüvyal jeomorfolojisi”. *Batı Anadolu’nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 103-111, (2000)

Kearey, P. and Books, M. , “An introduction to Geophysical Exploration” (Second Edition), *Blackwell Scientific Publ.* (page-166), (1991).

Kenar, Ö. , “Gravite ve Manyetik Prospeksiyon” , K. Ü. Yayınları, Kocaeli, sy-146, sy-176 (1998).

Koca, M. Y. , “Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and around the Izmir city centre”, PhD Thesis, *Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylul Univ.* , page: 397, Izmir, (1995).

Last, B. J. ,Kubik, K. , Compact gravity inversion. *Geophysics* 48,713–721, 1983

Le Borgne, E, ‘Susceptibilite magnetique anormale du sol superficiel’, *Annales de Geophysique*, 11.399-419, 1955

Linford, N,T, Geophysical survey at Boden Vean, Cornwall, including an assessment of the microgravity technique for the location of suspected archaeological void features, *Archaeometry*, 40, 187-216, 1998.

Linnington, R. E. , “Test use of gravimeter on Etruscan chamber tombs at Cerveteri”, *Prosp. Archaeo*,1, 37-41, 1966

Lowrie, W. , “Fundamentals of Geophysics” (second edition), *Cambridge University Press, New York*, 381 pp. 324, (2007).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, No:7, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA] Yayınları, (2002).

McGrath, P. H. , and Hood, P. J. , An automatic least-squares multimode] method for magnetic interpretation: *Geophysics*, 38, 349-358, 1973

Menke, W. ,*Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. Academic Press Inc. San Diego, California, 285pp, 1984

Milson, J, *Field Geophysics*, Third Edition, University College London, Wiley, pp. 56.57.58, 2003.

Moffat, D. L, Subsurface video pulse radar. In *Proceedings of an engineering foundation conference on subsurface exploration for underground excavation and heavy Construction*, Conference held at New England College, Henniker, New Hampshire, August 11-16, American Society of Civil Engineers, New York, 1974.

Morey, R. M, Continuous subsurface profiling by impulse radar. In *Proceedings of an Engineering Foundation Conference on Subsurface Exploration for Underground Excavation and Heavy Construction*, Conference held at New England College. Henniker, New Hampshire, August 11-16. American Society of Civil Engineers, New York, 1974.

Moskowitz, B M, ‘Fundamental units and conversion factors’, in T J Ahrens (ed), *Global Earth Geophysics: A Handbook of Physical Constants*. AGU reference shelf 1. Washington: American Geophysical Union, 1995

Nabighian, M. N. , Grauch, V. J. S. , Hansen, R. O. , Lafehr, T. R. Y. , Li, Peirce J. W. , Phillips J. D. , and Ruder M. E. , 75th Anniversary “The historical development of the magnetic method in exploration” , *Geophysics*, vol. 70, no. 6 (November-December 2005); p. 33nd–61nd, 6 figs. 10. 1190/1. 2133784

Orbay N. , “Kayaçların Mıknatıslanma Özellikleri” , *İstanbul Üniversitesi Yayınları Yayın no. 2728 Yerbilimleri Fakültesi Yayın no. 2*, İstanbul, (1980).

Oruç B. , “Teori ve Örneklerle Jeofizikte Modelleme” , *Kocaeli Üniversitesi Yayınları*, Yayın No:227, sy-230-238, Kocaeli, (2006).

Oswin, J. , “ A field guide to geophysics in archaeology” , Springer-Praxis Books In Geophysical Sciences Subject *Advisory Editor*: Philippe Blondel, C. Geol. , FGS. , Ph. D. , M. Sc. , Senior Scientist, Department of Physics, University of Bath, UK p. 44-45, (2009).

Ottow, J. C. , ‘Mechanism of bacterial iron-reduction in floodid soils’-Ins. Soil Sci. , Academic Simica: Proc. Symp. Paddy Soil: 331-343; Beijing- Science Pres;Springer, 1981

Ovenden, S. M, Application of seismic refraction to archaeological prospecting, *Archaeological Prospection* 1,53-63, 1994.

Özdoğan, İ. , Işıkara, A. M., Orbay, N. , Düzgit, Z. , “Arzmağnetizması İlkeler ve Uygulamalar” ,P. 182, (1986).

Papamarinopoulos, St. P. , “Magnetic and electirc measurements on the Island of Lesbos and the detection of buried ancient relics” , *Geoexploration*, 23:483-490, (1986).

Pasteka, R., RegDer Euler Dekonvolution Program,Comenius University Bratislava, Slovakia Author: Roman Pasteka, pasteka@ gnf.uniben.sk Christian-Albrechts University Kiel, Germany, (2006).

Payne, M A, ‘SI and Gaussian CGS units, conversions and equations for use in geomagnetism’. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 26, 10–16, 1981

Pederson Laust B. Short Note Relations between horizontal and vertical gradients of potential fields *GEOPHYSICS*, VOL. 54, P. 662-663. NO. 5 (MAY 1989)

Reid A. B, Allsop, J. M., Granser, H. , Millett, A. J. and Somerton, I. W. , “Magnetic interpretation in three diöemisions using Euler deconvolution” , *Geophysics*, Vol. 55, No:1; P. 80-91. 8 figs. , 3 tables, (1990).

Schilinger, C. M. , “Magnetometer and gradiometer surveys for detection of underground storage tanks” , *Bulletin Association Engineering Geologists*, 27, 37-50, (1990).

- Schmidt, A, Archaeology, magnetic methods. In D. Gubbins and E. Herrero Bervera (eds) *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*: 23-31. Encyclopedia of Earth Sciences Series Heidelberg, New York: Springer, 2007
- Sevin, V. , “Anadolu Arkeolojisi” , Sy-120, Der Yayınevi, 2003.
- Shearer, S. , and Li, Y. , “3D inversion of magnetic total gradient data in the presence of remanent magnetization”, *74th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts*, 774–777, (2004).
- Smellie, D.W. , “Elementary approximations in aeromagnetic interpretation”, *Geophysics*, 21, 1021-1040, (1956).
- Stavrev, P. Y, Euler deconvolution using differential similarity transformations of gravity or magnetic anomalies, *Geophysical Prospecting*, 45, 207-246, 1997
- Stocco, S. , Godio, L. , and Sambuelli L. , “Modelling and compact inversion of magnetic data”, *Matlabcode\$ Computers & Geosciences*, (2009).
- Strangway, D. W. , “The History of the Earth’s Magnetic Field”, *McGraw-Hill Book Comp. , New York, London*, (1970).
- Tassis, G. A, Hansen R. O, Tsokas G. N, and Papazachos C. B P, Two-dimensional inverse filtering for the rectification of the magnetic gradiometry signal, Tsourlos P. I 113-122, *Near Surface Geophysics*, 2008.
- Taylor, B N, ‘Guide for the use of the International System of Units (SI)’, in *NIST Guide to SI Units*. National Institute of Standards and Technology Special Pub 811. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1995
- Telford, W. M. , Geldart, L. P. , Sheriff, R. E. , and Keys, D. A. , “Applied Geophysics”, *Cambridge University Press, London*, p. 74, (1981).
- Tite, M. S ve C. Mullins, ‘Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites’, *Archaeometry*, 13, 209-219, 1971
- Tsokas Gregory N. and Papazachos Constantinos B. Two-dimensional inversion filters in magnetic prospecting: Application to the exploration for buried antiquities *Geophysics*, Vol. 57, No. 8 (August 1992); P. 1004-1013. 10 Figs. , Tables, 1992
- Thompson, D. T. , “EULDPH- A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data”, *Geophysics*, 47, 31-37, (1982).
- Ulriksen, C. P. F, *Application of impulse radar to civil Engineering*, Ph. D. Dissertation. Lund University of Technology, Lund, 1982
- Vacquier, V. , Steenland, N. C. , Henderson, R. G. , and Zietz, I. , Interpretation of aeromagnetic maps: Mem, 47, *Geol. Soc. Am*, 1951

Vickers, R. ,Dolphin, LT,A communication about an archaeological radar experiment at Chaco Canyon, *Museum Applied Science Center for Archaeology, University of Pennsylvania Newsletter* 11(1), 1975.

Weymouth, J, W ,Bennett, C. , A magnetic survey in the Plaza Area of the Spiro Mound Site, in *Spiro Archaeology: 1980 Research*, J. D. Rogers, Ed. , Oklahoma Archaeological Survey, *Studies in Oklahoma's Past* No, 9, 1982.

Weymouth, J,W , Huggins, R. , Final analysis of a magnetic survey at the Deer Creek Site(34 KA3), Kaw Lake, Oklahoma Report submitted to the Tulsa District, U. S Corps of Engineers, 1980.

Weymouth, J,W, Huggins, R. , *Archaeological Geology*, Eds. G. Rapp, ve J. Gifford, Yale University Press, 190-235, 1985

Weymouth, J,W, Lessard, Y. A. , *Simulation Studies of Diurnal Corrections for Magnetic Prospection*, Estratto *PROSPEZIONI ARCHEOLOGICHE*, Fondazione Lerici, 1986.

Wynn, J, C. ,*Archaeological prospection:An introduction to the special issue*, *Geophyscis*, Vol. 51, No. 3, 533-537, 1986

Wynn, J,C. , ve Sherwoods, I., The self-potential (SP) method-an inexpensive reconnaissance and archaeological mapping tool, *J. of Field Archaeology*, 11, 195-204, 1984

Zhdanov, M. S. , *Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems*. ISBN 0 444 51089 3, Elsevier Science B. V, 2002.

URL-1 (www.ifg.uni-kiel.de)

URL-2 (www.geoscan.com)

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Ağrı'da doğdu. İlk ve orta öğreniminden sonra, girdiği Ankara Lisesinden 1989'da mezun oldu. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü tamamlayarak, 1999 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 'Doğu Karadeniz Bölgesinin Paleomanyetizması' adlı Tezi ile Jeofizik Yüksek Mühendisi ünvanını aldı.

2005 yılından bu yana Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliğinde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. O tarihten beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği A. B. D Yer Fiziği Programında Doktora çalışmalarına devam etmektedir.

