

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESKİ BİR ASKERİ SAHADA İHA SİSTEMLERİ KULLANILARAK
PATLAMIS VE PATLAMAMIŞ MÜHİMMATLARIN TESPİTİ İÇİN
HAVADAN MANYETİK İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Coşkun ERTUĞRUL

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESKİ BİR ASKERİ SAHADA İHA SİSTEMLERİ KULLANILARAK
PATLAMIS VE PATLAMAMIŞ MÜHİMMATLARIN TESPİTİ İÇİN
HAVADAN MANYETİK İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Coşkun ERTUĞRUL

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER

AĞUSTOS 2023

Coşkun Ertuğrul tarafından hazırlanan “ESKİ BİR ASKERİ SAHADA İHA (İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI) SİSTEMLERİ KULLANILARAK PATLAMIS VE PATLAMAMIŞ MÜHİMMATLARIN TESPİTİ İÇİN HAVADAN MANYETİK İLE ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri Bir öge seçin tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalı Jeofizik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : Unvan Adı SOYADI
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
(Gerekliyse) Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ESKİ BİR ASKERİ SAHADA İHA (İNSANSIZ HAVA ARACI) SİSTEMLERİ KULLANILARAK PATLAMIS VE PATLAMAMIŞ MÜHİMMATLARIN TESPİTİ İÇİN HAVADAN MANYETİK İLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’ de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(01/06/2023)

Coşkun ERTUĞRUL



TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışma süresince her aŐamada bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olduğunu bildiğim ve bana bu süreçte deneyimleri ile yol gösterici olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu süreç içerisinde kullandığım veri setini belimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen DAMASEC firmasının sahibi Mehmet Ali AKYOL beye, karşılaŐtığım sorunlarda bana çözüm yolunda fikirlerini sunan, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim ve bana kattıkları manevi değerler doğrultusunda sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN ve yakın çalışma arkadaşım Khalil Rahman ALIZADA'ya teşekkür ederim. Çalışmamın ilk gününden itibaren büyük bir sabır ve anlayıŐ içerisinde, maddi ve manevi desteklerini esirgmeden her zaman ve her şartta yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Coşkun ERTUĞRUL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ŞİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xx
SUMMARY	xxii
1. GİRİŞ	1
2. MANYETİK YÖNTEM	3
2.1. Dünyanın Manyetik Alanı	5
2.2. Manyetik Yöntemin Temelleri	6
2.3. Manyetizma Çeşitleri	7
2.3.1. Diyamanyetizma	7
2.3.2. Paramanyetizma	8
2.3.3. Ferromanyetizma	8
2.4. Dünyanın Manyetik Alanındaki Değişimler	9
2.4.1. Manyetik fırtınalar	9
2.4.2. Günlük değişimler	10
2.4.3. Seküler değişimler	10
2.4.4. Batıya doğru kayma	10
2.4.5. Manyetik ters dönmeler	10
2.5. Manyetik Yöntemlerdeki Temel Terimler	11
2.5.1. Manyetik ekvator	11
2.5.2. Dünyanın manyetik kutupları	11
2.5.3. Manyetik kutup	12
2.5.4. Manyetik eksen	13
2.5.5. Manyetik alan yoğunluğu	13
2.5.6. Manyetik dipol	13
2.5.7. Manyetik moment	14
2.5.8. Manyetik çekme kuvveti	14
2.5.9. Manyetik moment	15
2.5.10. Manyetik potansiyel	15
2.5.11. Manyetik alan kuvveti	16
2.5.12. Manyetik sapma (Deklinasyon) açısı	16
2.5.13. Manyetik eğim (Manyetik İnklinasyon) açısı	17
2.6. Manyetometreler	18
2.6.1. Vektör manyetometreleri	18

2.6.1.1. Squid (Süper iletken) manyetometreler.....	19
2.6.1.2. Arama bobin manyetometreler.....	19
2.6.2. Skaler manyetometreler.....	19
2.6.2.1. Proton manyetometresi.....	19
2.6.2.2. Overhauser manyetometresi.....	21
2.6.2.3. İyonize gaz manyetometreleri.....	21
2.6.2.4. Ultra hafif potasyum dron manyetometresi.....	21
2.6.2.5. Ultra hafif sezyum dron manyetometresi.....	22
2.6.2.6. Gen2 atomik rubidyum manyetik sensörü.....	22
2.6.2.7. Gradyometreler.....	23
2.7. Manyetik Arama Yöntemleri.....	25
2.7.1. Yer manyetik araştırmaları.....	26
2.7.1.1. Yürüme manyetik araştırmalar.....	26
2.7.1.2. Havadan manyetik araştırmalar.....	28
2.7.2. Deniz manyetik araştırmaları.....	29
2.8. Manyetik Alanların Ölçülmesi.....	29
2.9. Manyetik Ölçümlerin Planlanması.....	29
2.9.1 Manyetik yöntemin uygulanma aşamaları.....	29
2.9.1.1. Planlama aşaması.....	29
2.9.1.2. Veri toplama aşaması.....	30
2.9.1.3. Veri-işlem aşaması.....	31
2.9.1.4. Yorumlama aşaması.....	31
2.10. Manyetik Yöntemin Sınırları.....	31
3. ARAşTIRMA ALANI, KULLANILAN EKİPMANLAR VE YAZILIMLAR	33
3.1. Araştırma Alanı.....	33
3.2. Araştırma Alanını Genel Jeolojisi.....	35
3.3. Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri.....	37
3.4. Kullanılan Yazılımlar ve Özellikleri.....	39
4. MANYETİK VERİLERİN VERİ TABANININ OLUşTURULMASI, İşLENMESİ, FİLTRELENMESİ ve YORUMLANMASI	41
4.1. Manyetik Verilerin Veri Tabanının Oluşturulması.....	41
4.2. Manyetik Verilerin İşlenmesi.....	41
4.2.1. Hat seviye düzeltmesi.....	41
4.2.2. Mikro seviye düzeltmesi.....	42
4.2.3. Yön (Heading) düzeltmesi.....	43
4.3. Manyetik Verilerin Filtrelenmesi ve Haritalanması.....	44
4.3.1. Manyetik verilerin filtrelenmesi.....	44
4.3.1.1. Yüksek geçiş filtresi (High-pass filter).....	44
4.3.1.2. Alçak geçiş filtresi (Low-pass filter).....	48
4.3.2. Toplam manyetik alan (TMF) ve kutba indirgeme (RTP).....	49
4.3.3. Analitik sinyal filtrelemesi (AS).....	50
4.4. Manyetik Verilerin Yorumlanması.....	51
5. TARTIşMA VE SONUÇ	54
KAYNAKLAR	69
EKLER	72
ÖZGEÇMİş	76

KISALTMALAR

1VD	: Birinci Dikey Türev
2VD	: İkinci Dikey Türev
AC	: Alternatif Akım
AGC	: Otomatik Kazanç Kontrolü
AS	: Toplam Manyetik Alan
ASKİ	: Ankara Su ve Kanalizasyon İşleri
ATV	: Arazi Aracı
D100	: Devlet yolu
DC	: Doğru Akım
DJI	: Da-Jiang Innovation
GEM	: Geophysical Electromagnetic Systems
GPS	: Global Positioning System
IGRF	: Toplam Manyetik Alan
IMU	: Inertial Measurement Unit
İHA	: İnsansız Hava Aracı
MFAM	: Micro-Fabricated Atomic Magnetometer
MÖ	: Milattan Önce
OPM	: Optik Pompalı Manyetometre
QGIS	: Quantum Geographic Information System
QTFM	: QuSpin Toplam Alan Manyetometresi
RF	: Radyo Frekans
RTP	: Toplam Manyetik Alan
TMF	: Toplam Manyetik Alan
UgCS	: UAV Mission Planning And Flight Control Software



SİMGELER

A	: Manyetik vektör potansiyeli
A/m	: Manyetik yük miktarı [Birim]
Amper	: Akım [Birim]
B	: Manyetik akı yoğunluğu
F	: Çekim kuvveti
H	: Manyetik alan şiddeti
H/m	: Manyetik geçirgenlik [Birim]
Hektar	: Alan [Birim]
Hz	: Frekans [Birim]
J	: Jeomanyetik polarizasyon
km	: Mesafe [Birim]
M	: Manyetizasyon
mm	: Mesafe/Uzunluk [Birim]
N	: Kuvvet [Birim]
Newton	: Kuvvet [Birim]
nT	: Nano Tesla [Birim]
r	: Yarıçap [Birim]
Tesla	: Manyetik akı yoğunluğu [Birim]
Vm	: Manyetik skaler potansiyel
Wb	: Manyetik akı [Birim]
δ	: Manyetik sapma
μo	: Permabilite (Geçirgenlik)
μT	: Manyetik alan yoğunluğu [Birim]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. DJI M600 Pro dronu teknik özellikleri.	37
Tablo 3.2. Emlid Reach M2 GPS modülü teknik özellikleri.....	38
Tablo 5.1. B4 parselinde tespit edilen 90 mm uzunluktaki bazı mühimmatların listesi.	56
Tablo 5.2. B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki bazı mühimmatların listesi.	60
Tablo 5.3. B1 parselinde tespit edilen 70, 75 ve 90 mm uzunluktaki mühimmat listesi.	62
Tablo 5.4. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki mühimmat listesi.	64
Tablo 5.5. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki mühimmatların derinliklerine göre manyetik anomali yayılımları.....	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dünyanın manyetik alanı ve kutupları.....	5
Şekil 2.2. Diyamanyetizma örneği.....	7
Şekil 2.3. Paramanyetik örneği.....	8
Şekil 2.4. Ferromanyetik örneği.....	9
Şekil 2.5. 2020 yılı için dünya manyetik modeli (NOAA).....	11
Şekil 2.6. Yerkürenin coğrafik ve manyetik kutupları.....	12
Şekil 2.7. Bir mıknatısın manyetik kutupları.....	13
Şekil 2.8. Birim mıknatıs kutbu.....	13
Şekil 2.9. Manyetik dipol örneği.....	14
Şekil 2.10. Coloumb manyetik çekme kuvveti.....	15
Şekil 2.11. Bir ferromanyetik madde içinde manyetik alan şiddeti H , akı yoğunluğu B , mıknatıslanma M ve polarizasyon J 'nin gösterimi.....	16
Şekil 2.12. Manyetik sapma açısı.....	17
Şekil 2.13. İnklinasyon ve Denklinasyon açıları.....	18
Şekil 2.14. Bir proton manyetometresinin çalışma şeması.....	19
Şekil 2.15. GEM proton manyetometresi.....	20
Şekil 2.16. GEM GSMP-25U manyetik sensörü.....	21
Şekil 2.17. Geometrics MagArrow manyetik sensörü.....	22
Şekil 2.18. QuSpin Gen2 atomik rubidyum manyetik sensörü.....	23
Şekil 2.19. QuSpin Gen2 atomik rubidyum manyetik sensörü çalışma prensibi.....	23
Şekil 2.20. Yürüyerek alınan gradyometrelerin çalışma prensibi.....	24
Şekil 2.21. İHA ile yapılan gradyometrelerin çalışma prensibi.....	25
Şekil 2.22. Yer manyetik çalışması yapan ekipten bir görünüm.....	27
Şekil 3.1. Araştırma sahası yer bulduru haritası.....	33
Şekil 3.2. Araştırma sahası Google Earth uydu görüntüsü.....	34
Şekil 3.3. Araştırma sahasında yapılan çalışmadan bir görünüm.....	34
Şekil 3.4. Araştırma sahasının genel jeolojisi 1/500.000 (MTA Jeoloji Haritası- Ölçeksizdir).....	35
Şekil 3.5. Ankara ve Çevresi Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesiti (Kasapoğlu, 2000).	36
Şekil 3.6. İHA manyetik sisteminin bileşenleri.....	37
Şekil 3.7. QGIS programı ile uçuş bloklarının çizilmesi.....	39
Şekil 3.8. UgCS programı ile uçuş planının oluşturulması.....	40
Şekil 4.1. Havadan manyetik verilerin veri tabanına işlenmesi.....	41
Şekil 4.2. a) Hat seviye düzeltmesi uygulanmamış manyetik veri, b) Hat seviye düzeltmesi uygulanmış manyetik veri.....	42
Şekil 4.3. a) Mikro seviye düzeltmesi uygulanmamış manyetik veri, b) Mikro seviye düzeltmesi uygulanmış manyetik veri.....	43
Şekil 4.4. Araştırma sahasındaki bir parseldeki verilere uygulanan a) Toplam manyetik alan, b) Kutba indirgenmiş toplam manyetik alan.....	50

Şekil 4.5. Araştırma sahasındaki bir parseldeki verilere uygulanan Analitik Sinyal (AS) filtrelemesi.....	51
Şekil 5.1. B4 parselinde tespit edilen manyetik anomaliler sonucu bulunan bazı mühimmatlar.	55
Şekil 5.2. B4 parselinde tespit edilen 90 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-1.	57
Şekil 5.3. B4 parselinde tespit edilen 90 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-2.	58
Şekil 5.4. B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-1.	59
Şekil 5.5. B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-2.	60
Şekil 5.6. B1 parselinde tespit edilen anomaliler sonucu bulunan bazı mühimmatların Google Earth üzerindeki manyetik anomali konumları.	61
Şekil 5.7. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-1.	65
Şekil 5.8. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-2.	66



ESKİ BİR ASKERİ SAHADA İHA SİSTEMLERİ KULLANILARAK PATLAMIS VE PATLAMAMIS MÜHİMMATLARIN TESPİTİ İÇİN HAVADAN MANYETİK İLE ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Manyetik yöntemler, Dünya'nın manyetik alanının yönü, eğimi veya yoğunluğu ile ilgili bilgileri elde eder. Dünya yüzeyindeki manyetik alanın yoğunluğu, birincil dünya manyetik alanındaki gözlem noktasının konumunun yanı sıra en yaygın manyetik mineral olan manyetit gibi manyetik malzemenin yerel veya bölgesel varyasyonlarının katkılarının bir fonksiyonudur. Manyetik araştırmaların yorumlanması genellikle anomalilerin onları bilinen diğer jeolojik bilgilerle ilişkilendirerek ileriye doğru modellenmesini veya haritalanmasını içerir.

Günümüzde karada ve deniz ortamında yeni nesil dron, gps ve hafif kuantum manyetik sensör teknolojileri sayesinde havadan ve denizden yapılan manyetik çalışmalarda daha hızlı, daha ekonomik ve yüksek çözünürlüklü veriler toplanabilmektedir.

Gelişmiş İHA (İnsansız Hava Aracı) ve kuantum teknolojisiyle beraber jeofizik cihazları da gelişmektedir. Manyetik anomali veren yapıların araştırılması son 10 yılda gelişen yüksek teknoloji ile İHA ile havadan manyetik araştırmaları doğurmuştur. İHA ile havadan manyetik yöntemi hızlı ve daha geniş alanların taranmasında son 5 yıldır kullanılan en etkili yöntemler arasında gelmektedir. Özellikle topoğrafyanın çok değiştiği ve arazi şartlarının zor olduğu alanlarda en etkili yöntemdir. Ülkemizde öncelikle metalik maden aramalarında aktif olarak kullanılan bir yöntem olup, son zamanlarda arkeoloji, adli vakalar, eski petrol kuyularının tespiti ile patlamış-patlamamış mühimmat (UXO) aramaları için kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.

Araştırma alanının genel jeolojisi kazan deresinin topladığı alüvyonal birimlerden oluşmaktadır. Etrafında ise ayrılmamış karasal kırıntılar, gölsel kireçtaşları, marn, şeyl vb. gibi birimler bulunmaktadır. Sahanın ortasında ise kuzey batı yönünde ASKİ'ye ait su demir boruları bulunmaktadır. Etrafında yüksek gerilimli elektrik hatları geçmektedir.

Havadan manyetik araştırma için kullandığımız platform bir DJI M600 Pro model drone ile manyetik sensör olarak Geometrics firmasının MagArrow sezyum optik pompalı manyetometresi, hassas gps verileri için Emlid Reach M2 gps modülü ve dronun sürekli sabit yükseklikte uçuşu için SkyHub lazer altimetresi kullanılmıştır. Bunlara ek olarak arazide hareket ve enerji sağlamak için ek bir adet 4x4 arazi aracı, jeneratör ve ATV aracı kullanılmıştır.

Bir metre yüksekliğinde ve bir metre aralıklı uçuş hatları hazırlanması ve bloklarının planlanması için açık kaynak kodlu QGIS programı, dron uçuşları için SHP Engineering 'in yazılımı olan UgCS programı, verilerin indirilmesinde ve farklı formatlara dönüştürülmesinde Geometrics firmasının paket programı olan Geometrics Survey Manager programı ile veri işleme ve haritalandırma aşamasında ise Amerikan

Bentley grup firmasının Seequent adlı yerbilimleri yazılımları üreten firmasına ait Oasis Montaj 9.8 programı ve Google Earth programları kullanılmıştır.

Çalışma alanında alınan havadan manyetik veriler sonucu yüksek manyetik anomali gösteren noktalarda 70-75, 90 ve 155 mm uzunluklarında tapasız, kör tapalı, hakiki tapalı mühimmatlar tespit edilmiştir. Farklı derinlikler bulunan 155 mm uzunluğundaki mühimmatların manyetik özellikleri karşılaştırılması sonucu yüzeye daha yakın mühimmatların daha yüksek ve yayvan manyetik anomali verdikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda patlamış ve patlamamış mühimmatların belirlenmesinde dron ile yapılan havadan manyetik verilerinin kullanılması; hem ekonomik ve hız açısından avantajlı olup, gelişen manyetik sensörlerin veri kalitesini artırması ve yeni teknolojilerin yöntemle hızlı şekilde uyarlanması bu yöntemin en yüksek avantajları olup, bu yöntemin yüzeye yakın metalik mayın vb. nesnelere aramasında ilk kullanılacak yöntem olduğu öngörülmüştür.



AERIAL MAGNETIC SEARCH FOR THE DETECTION OF EXPLOSED AND UNEXPLOSED MUNITIONS USING UAV SYSTEMS IN AN OLD MILITARY FIELD

SUMMARY

Magnetic methods obtain information about the direction, inclination, or intensity of the Earth's magnetic field. The intensity of the magnetic field at the Earth's surface is a function of the location of the observatory in the primary earth magnetic field, as well as the contribution of local or regional variations of the magnetic material, such as magnetite, the most common magnetic mineral. Interpretation of magnetic surveys often involves forward modeling or mapping of anomalies by correlating them with other known geological information.

The main field produced by electromagnetic currents in the Earth's outer core accounts for about 98% or more of the geomagnetic field. The highly dynamic outer fields resulting from the interaction of solar plasmas with the core field contribute to most of the rest. The effects superimposed on the principal and outer fields are relatively minor static effects resulting from subsurface magnetization contrasts that are of interest in studies used to help determine compositional, structural and thermal properties, and thus the history of the earth's crust and upper mantle. Relatively simple procedures have been developed for measuring and separating the components of the geomagnetic field, making it perhaps Earth's most measured geophysical method from both aerial and satellite surveys. It involves modeling or mapping it forward by associating it with progress.

Since the magnetic method was first used in the seventeenth century to locate buried, highly magnetic iron ore deposits, it has been used for a wide variety of problems related to mapping the ground. II. With the advent of precision air magnetometers during World War II, the use of the method has evolved from focusing largely on local exploration for mineral exploration to a regional tool for mapping the thickness of sedimentary basins and the geological structure and nature of buried crystalline rocks. The subsequent development of atomic (resonance) magnetometers, which can provide several times greater sensitivity than previously developed devices and require no orientation, has expanded and simplified the use of magnetic measurement.

The magnetic properties of a substance depend on the type and grain size of the magnetic minerals it contains. There are three main types of magnetism. These are diamagnetism, paramagnetism and ferromagnetism. Ferromagnetic rocks are tried to be detected by geophysical magnetic methods.

Earth's magnetic field is not always constant. These are changes that occur at different times. Some of these changes are important in the study of the structure and layers of the earth in applied geophysics. These changes are classified as magnetic storms, diurnal changes, secular changes, westward shift and magnetic reversals.

Earth's geomagnetic poles can be thought of as the regions of the magnet where the magnetic field is strongest. Earth's geomagnetic poles are hypothetically located at the center of the Earth, from which the geomagnetic field is roughly calculated. The magnetic poles are the points on the compass where the magnetic needle becomes vertical. They are called geomagnetic north pole and geomagnetic south pole. The geomagnetic poles are represented by a hypothetical model and are not always aligned with the magnetic poles since dynamo currents are not symmetrical. Evidence from the rocks shows geomagnetic poles formed by convection currents as the Earth's core moves. Rocks formed from magma in the depths of the earth erupt as lava from the earth's crust. Many of these rocks contain iron-containing minerals that are formed when the lava cools. Magnetic minerals in the cooling lava align with Earth's magnetic field at the time, leaving a record for Earth's geomagnetic field. The magnetic minerals found in the lava move due to the movement of the geomagnetic poles.

Magnetometers determine the direction, strength, or relative change in the magnetic field at a particular location. Magnetometers are also used to calibrate electromagnets and permanent magnets and to determine the magnetization of the material.

The first magnetometer was invented in 1833 by Carl Friedrich Gauss, who could measure absolute magnetic density. There are two types of magnetometers. These are vector and scalar magnetometers.

Modern magnetometers are deployed at drilling sites, mines, submarines and ships, ground surveys and observatories, rotary and fixed-wing aircraft, balloons, space shuttles, and satellites. In geological applications, geomagnetic surveys are mostly done on land and sea surface, by aircraft at altitudes of up to several kilometers and by satellites at roughly 350-650 km. These applications are capable of directly mapping the relatively shallow subsurface sourced geomagnetic field. It is used for a wide variety of applications, from archaeological and engineering field investigations to the exploration of underground economic resources and the determination of crustal-tectonic features and processes.

Today, faster, more economical and high-resolution data can be collected in magnetic studies from air and sea, thanks to new generation drone, GPS and light quantum magnetic sensor technologies in land and sea environment.

Along with advanced UAV (Unmanned Aerial Vehicle) and quantum technology, geophysical devices are also developing. Investigation of structures that give magnetic anomalies has given birth to aerial magnetic researches with UAV, with the development of high technology in the last 10 years. Airborne magnetic method with UAV is one of the most effective methods used for the last 5 years in scanning faster and wider areas. It is the most effective method especially in areas where topography changes a lot and terrain conditions are difficult. It is a method that is actively used primarily in metallic mineral exploration in our country, and recently it is one of the leading methods used for archeology, forensic cases, detection of old oil wells, and exploded-unexploded ordnance (UXO) surveys.

The general geology of the research area consists of alluvial units collected by the Kazan Stream. It is surrounded by unseparated terrestrial fragments, lacustrine limestones, marl, shale, etc. units such as In the middle of the field, there are water iron pipes belonging to ASKİ in the northwest direction. High voltage power lines run around it.

The platform we use for aerial magnetic research is a DJI M600 Pro model drone, with Geometrics company MagArrow cesium optical pump magnetometer as magnetic sensor, Emlid Reach M2 gps module for sensitive gps data, and SkyHub laser altimeter for continuous flying of the drone at constant height. An additional 4x4 off-road vehicle, generator and ATV vehicle were used to provide movement and energy to them in the field.

The open source QGIS program for the preparation of one-meter-high and one-meter-spaced flight lines and the planning of their blocks, the UgCS program, which is the software of SHP Engineering for drone flights, the data processing with the Geometrics Survey Manager program, which is the package program of Geometrics for downloading and converting data into different formats. and in the mapping phase, the Oasis Assembly 9.8 program of the American Bentley group company, Seequent, which produces geoscience software, and Google Earth programs were used.

After the magnetic data taken with the UAV at 1m intervals in the research area, it was subjected to a few corrections. These are line level correction, micro level correction and heading correction.

In the data processing phase, using Oasis Montaj 9.8 software, using classical methods for calculating anomalies, a number of different filters were applied to obtain anomaly maps. First, erroneous values due to drone position, takeoff, landing, smoothing and delay errors between the sensor and the drone were deleted. Finally, the daily variation of Earth's magnetic field values due to solar activity was used to correct the data obtained during the research period.

As a result of the magnetic data from the air taken in the study area, the result of the magnetic data obtained in the B4 parcel; Magnetic anomalies greater than 10 nT were detected at points B4-U2-10 and B4-U2-11, and ammunitions numbered UX022-232 and UX022-233 were found at 130 and 70 cm depths at these points, which were later excavated. These ammunition are 90 mm long blind cap artillery shells. When we examine the magnetic anomaly carefully, it is seen that the ammunition numbered UX022-232 coming out of the point B4-U2-10 gives a stronger and more widespread magnetic anomaly because it is more oxidized. Unplugged, blind capped and genuine fused ammunitions in 70-75, 90 and 155 mm lengths were detected at other anomaly points.

In this parcel numbered B1, 70, 75, 90 and 155 mm long ammunition were detected, and ammunition with large dimensions, closer to the surface and highly oxidized ammunition, especially 155 mm long ammunition, gave wider magnetic anomalies.

At points with high magnetic anomalies, ammunitions with 70-75, 90 and 155 mm lengths, without fuse, with blind fuse, and with genuine fuse were detected. Comparing the magnetic properties of 155 mm long ammunition with different depths, it was determined that ammunition closer to the surface generally gave higher and broader magnetic anomalies.

As a result of this study, the use of airborne magnetic data by drone in the determination of exploded and unexploded munitions; It is advantageous both in terms of economy and speed, increasing the data quality of the developing magnetic sensors and the rapid adaptation of new technologies to the method are the highest advantages of this method. It is envisaged that it is the first method to be used in searching for objects.

1. GİRİŞ

Havadan yapılan manyetik yöntem ölçümlerinde, bir uçak veya insansız hava aracı ile Dünya'nın manyetik alanını ve anomalilerini belirlenmesi amaçlanır. Farklı kayaçlar farklı manyetik özellikler gösterdiğinden, manyetik ölçümler ile yeraltı yapısı hakkında bilgi verir. Alçak irtifalı uçuşlar ile yapılan çalışmalarda, cevher yatakları gibi yüzeye yakın ve yerel olarak sınırlandırılmış manyetik cisimleri veya atık yığınları gibi yapay yapıları keşfetmek için kullanılır. Biraz daha yüksek uçuşlarda ve buz veya su üzerinde yapılan uçuşlarda, bölgesel ölçekte jeolojik-tektonik yapıların keşfine odaklanılır. Ölçüm sonuçları, manyetik alanın anomalileri gösteren haritalar ve profiller şeklinde sunulur.

Çoğunlukla, havadan manyetik çalışmalarında kullanılan sensörler, toplam manyetik alanı ölçen Sezyum manyetometreleridir. Sezyum manyetometrelerinin çıktısı, dış manyetik alanın gücüyle (Larmor frekansı) doğru orantılı olan ve yüksek hassasiyetle ölçülebilen bir frekanstır (Larmor, 1987). Bu tür sensörler ile yüksek çözünürlüklü ölçümler yapılabilmektedir. Vektör manyetometreler (Fluxgate sensörleri), manyetik alanın yalnızca kuvvetinin değil, aynı zamanda uzamsal yöneliminin de önemli olduğu uygulamalar için kullanılır. Son zamanlarda kuantum teknolojisindeki gelişmeler sonucu daha minimal yapıda optik pompalı manyetometre olarak adlandırılan Potasyum, Sezyum ve Rubidyum maddesi kullanılan manyetometreler de geliştirilmiştir.

Kayaçların farklı manyetik özelliklerinden kaynaklanan manyetik değişimlerin yanı sıra, Dünya'nın ana dipol alanı ve iyonosfer ve manyetosferdeki etkilerden kaynaklanan zamansal değişimler de ölçülür. Zamansal değişimleri belirlemek için, manyetik araştırmalar sırasında araştırma alanlarının yakınında veya içinde sabit konumlarda bulunan manyetik baz istasyonları çalıştırılır. Bu kayıtlar daha sonra havadan inceleme verilerini düzeltmek için kullanılabilir. Dünyanın ana dipol alanı, bir referans alanı kullanılarak belirlenir ve araştırma verilerinin indirgenmesi için kullanılır.

Verilere farklı düzeltmeler ve indirgemeler uygulandıktan sonra nihai sonuç, yerkabuğunun yapısı hakkında fikir veren manyetik anomalilerin değerleridir. Son yıllarda elektronik alanındaki gelişmelerle beraber hem bilgisayarların hızları hem de jeofizik cihazlarının ölçüm duyarlılığı sürekli artmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda manyetik verilere uygulanan farklı düzeltmeler ve indirgemeler daha hızlı ve doğru yapılmaktadır. Sonuç olarak havadan manyetik araştırmalar, Dünya'nın manyetik alanının ölçmenin hızlı ve uygun maliyetli bir yöntemidir. Demir yatakları, pirotit içeren nikel yatakları ve skarnlar gibi manyetik anomali veren yapıları tespit edilebilir ve ayrıca jeolojik haritalamaya yardımcı olur.



2. MANYETİK YÖNTEM

Manyetik yöntem, Dünya'nın yeraltını keşfetmek için en eski ve en yaygın kullanılan jeofizik yöntemlerden biridir. Yerkabuğunun tabanına yakın bir yerden toprağın en üst metresine kadar yatay manyetik özellik değişimlerini içeren çok çeşitli yer altı keşif problemlerine uygulanması nispeten kolay ve ucuz bir yöntemdir. Bu değişimler Dünya'nın normal manyetik alanında manyetik yöntemle haritalanan anomalilere neden olur.

Jeomanyetik alan, Dünya'nın elektriksel olarak iletken dış çekirdeğindeki konvektif hareketlerle ilişkili elektrik akımlarından kaynaklanır. Alanın diğer önemli bileşenleri, litosferin manyetik özelliklerindeki ve Dünya'nın yanı sıra iyonosferdeki elektrik akımlarındaki varyasyonlardan türetilir. Asıl alan kabaca Dünya'nın dönme eksenini ile çakışır ve doğası gereği iki kutupludur. Zıt manyetik kutuplar arasındaki çekim kuvveti veya benzer kutuplar arasındaki itme, kütleler arasındaki yerçekimi çekimine benzer bir şekilde kutupların kuvvetinin çarpımı ile orantılı ve kutuplar arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılıdır. Çoğu araştırmada manyetik alanın ölçümlerinde, birim kutup başına manyetik kuvvet veya manyetik alan kuvveti, ya sensörün uzamsal olarak yönlendirildiği yönlü bir modda ya da sensörün doğrusal olduğu varsayılan toplam alan ölçümlerini elde ettiği yönsüz bir modda ölçülür. Modern manyetik ölçümler, ortam manyetik alanıyla orantılı olan atomik parçacıkların deviniminin ölçülmesiyle elektronik olarak elde edilir. Tipik olarak, litosferin manyetik özelliklerindeki varyasyonları haritalamak için yapılan ölçümler, karasal alanın 500.000'i başına kabaca bir parça hassasiyetle yapılır.

Manyetik yöntem, on yedinci yüzyılda gömülü, yüksek derecede manyetik demir cevheri yataklarını bulmak için ilk kez kullanıldığından beri, yer altının haritalanmasıyla ilgili çok çeşitli problemler için kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında hassas hava manyetometrelerinin ortaya çıkmasıyla, yöntemin kullanımı, büyük ölçüde maden arama amaçlı yerel çalışmalara odaklanmaktan, tortul havzaların kalınlığını ve gömülü kristal kayaların jeolojik yapısını ve doğasını haritalamak için bölgesel bir araca dönüşmüştür. Daha önce geliştirilen cihazlardan birkaç kat daha

hassasiyet sağlayabilen ve hiçbir yönlendirme gerektirmeyen atomik (rezonans) manyetometrelerin sonraki gelişimi, manyetik ölçme kullanımını genişletilmiş ve basitleştirmiştir.

Modern manyetometreler, sondaj sahalarında, madenlerde, denizaltılarda ve gemilerde, yer araştırmalarında ve gözlemevlerinde, döner ve sabit kanatlı uçaklarda, balonlarda, uzay mekiklerinde ve uydularda konumlandırılmıştır. Jeolojik uygulamalarda, jeomanyetik, araştırmalar çoğunlukla karada ve deniz yüzeyinde, birkaç kilometreye kadar olan yüksekliklerde uçaklarla ve kabaca 350-650 km'de uydularla yapılır. Bu uygulamalar, nispeten sığ yüzey altı kaynaklı jeomanyetik alanı doğrudan haritalama yeteneğine sahiptir. Arkeolojik ve mühendislik saha araştırmalarından, yeraltındaki ekonomik kaynakların araştırılmasına ve kabuk-tektonik özellikleri ve süreçlerin belirlenmesi çalışmalarına kadar çok çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır.

Manyetik çalışmaların sonuçları, yeraltıyla ilgili problemlerin tam çözümünü sağlamak için mümkün değildir. Gravite yöntemi gibi diğer potansiyel alan yöntemlerinde olduğu gibi yapılan yorumlar, yorumcuya göre farklılık göstermektedir. Buna göre, manyetik yöntem normal olarak diğer jeofizik yöntemlerle ve doğrudan yer altı bilgileriyle birlikte kullanılır. Manyetik yöntem uygulamalarının kolaylığı ve pratikliği nedeniyle yeraltı araştırmalarında ilk tercih edilecek yöntemlerden biridir.

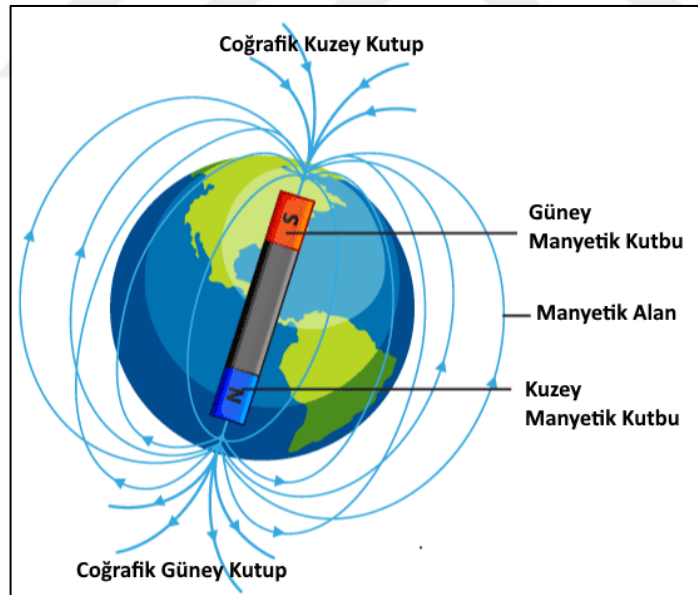
Dünyanın manyetik alanının ölçümlerini kullanan jeofizik yöntem, diğer tüm jeofizik tekniklerden daha önce kullanılmıştır. Von Werde, 1843'te manyetik alandaki varyasyonları haritalayarak cevher yataklarının yerini tespit etmiştir (Ariffin, 2013). 1879'da Thalen, Manyetik Ölçümlerle Demir Cevheri Yataklarının İncelenmesi başlıklı ilk jeofizik el yazmasını yayınladı (Ariffin, 2013). Günümüzde manyetik yöntemler en yaygın kullanılan jeofizik araçlardan biridir. Bu, manyetik gözlemlerin nispeten kolay ve ucuz bir şekilde elde edilmesinden ve ölçümlere çok az düzeltme uygulanmasının gerekmesinden kaynaklanmaktadır.

Manyetik yöntemler, Dünya'nın manyetik alanının yönü, eğimi veya yoğunluğu ile ilgili bilgileri elde eder. Dünya yüzeyindeki manyetik alanın yoğunluğu, birincil dünya manyetik alanındaki gözlem noktasının konumunun yanı sıra en yaygın manyetik mineral olan manyetit gibi manyetik malzemenin yerel veya bölgesel varyasyonlarının katkılarının bir fonksiyonudur. Dünyanın doğal manyetik alanının etkileri

düzeltildikten sonra, manyetik veriler toplam yoğunluk, bağıl yoğunluk ve dikey veya yatay gradyan anomali profilleri veya kontur haritaları olarak sunulabilir. Manyetik araştırmaların yorumlanması genellikle anomalilerin onları bilinen diğer jeolojik bilgilerle ilişkilendirilerek ileriye doğru modellenmesini veya haritalanmasını içerir. Manyetik anomaliler büyük ölçüde, akiferleri oluşturan çoğu tortuda düşük olan manyetik mineral içeriğine bağlı olduğundan, manyetikler hidrolojik araştırmalar için yaygın olarak kullanılmaz, ancak jeolojik depolama alanlarının yanal sınırlarını belirlemek için çok güçlü bir teknik olabilir. Anomaliler, yeterli bir manyetik değişimin mevcut olması koşuluyla, yeraltı yapılarının (yeryüzü topografyası, faylar ve paleokanallar) haritalandırılmasını içerir. Çevre sorunlarına uygulanan manyetik yöntemlerin bir incelemesi Hinze (1990) tarafından verilmektedir.

2.1. Dünyanın Manyetik Alanı

Karasal manyetik alan, Dünya'nın hem içinden hem de dışından türetilen, Dünya üzerinde uzamsal ve zamansal olarak değişen birkaç manyetik bileşenin toplamıdır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dünyanın manyetik alanı ve kutupları.

Dünya'nın dış çekirdeğinde elektromanyetik akımlar tarafından üretilen ana alan, jeomanyetik alanın yaklaşık %98'ini veya daha fazlasını oluşturur. Güneş plazmalarının çekirdek alanla etkileşiminden kaynaklanan oldukça dinamik dış alanlar, geri kalanın çoğuna katkıda bulunur. Asıl (ana) ve dış alanların üzerine

bindirilen etkiler, bileşimsel, yapısal ve termal özelliklerin ve dolayısıyla yerkabuğunun ve en üst mantonun tarihinin belirlenmesine yardımcı olmak için kullanılan çalışmalarda, ilgi konusu olan yeraltı manyetizasyon zıtlıklarından kaynaklanan nispeten küçük statik etkilerdir. Jeomanyetik alanın bileşenlerini ölçmek ve ayırmak için nispeten basit prosedürler geliştirilmiştir, böylece hem havadan hem de uydu araştırmalarından Dünya'nın belki de en çok ölçülen jeofizik yöntemi haline gelmiştir.

2.2. Manyetik Yöntemin Temelleri

Manyetik yöntem, yer altı malzemelerinin manyetizasyonundaki yanal değişimlerin neden olduğu karasal manyetik alandaki pertürbasyonların veya anormalliklerin ölçümüne ve analizine dayanır. Manyetik potansiyel alan teorisi ve mıknatıslanma özellikleriyle birlikte anomali haritalaması, manyetik yöntemin yer altı keşiflerinde uygulanması için bir temel sağlar.

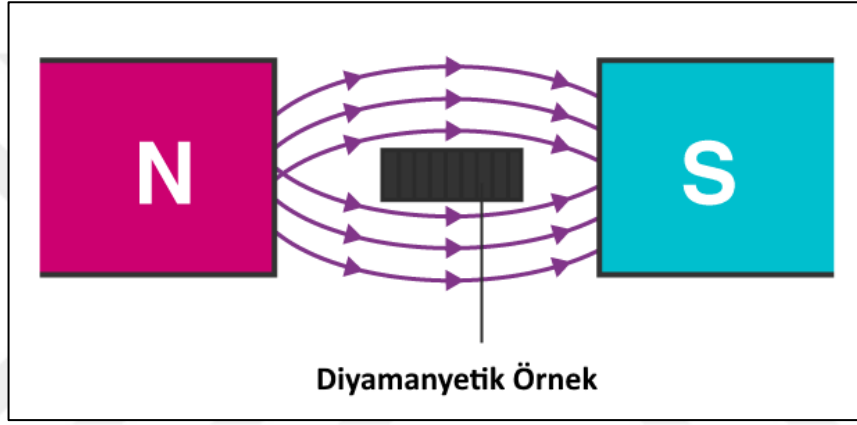
Manyetik araştırmalar, etkinin büyüklüğünün ve yönünün, mıknatıslanma kaynağının ve ölçüm noktasının göreceli konumlarına ve kaynak mıknatıslanma büyüklüğünün ve yönünün yanal olarak bitişik malzemelerle kontrastına bağlı olduğu bir potansiyel alan yöntemidir. Birçok yönden manyetik yöntem, her ikisinin de bir gezegensel alanda pertürbasyonları kullanan potansiyel alan yöntemleri olması bakımından yerçekimi yöntemiyle paralellik gösterir. Bununla birlikte, manyetik yöntem, yerçekimi yöntemine göre çeşitli avantajlar sunar. İlk olarak, ölçümlerin çoğu, alan gözlemlerini büyük ölçüde basitleştiren ve hızlandıran, yönlendirilmemiş bir sensörden yüksek derecede hassasiyetle mutlak toplam alandan yapılır. İkincisi, manyetizasyon kontrastlarının dinamik aralığı, anormal varyasyonların genliğini artıran yoğunluk kontrastlarından çok daha büyüktür. Örneğin, birçok uygulamada, araştırılan kaynakların manyetizasyonları, bitişik karasal malzemelerden altı kat daha büyüktür. Üçüncüsü, kütlelerin monopolar (çekici) özelliklerinin tersine, malzemelerin manyetizasyonu dipolardır. Bunun etkileri derindir. Örneğin, ters mesafe fonksiyonu, aynı kaynak konfigürasyonu için yerçekimi kuvvetinden bir kat daha hızlı mesafeye göre değişir. Sonuç, manyetik yöntemin kaynağa olan uzaklığa duyarlılığında ve bireysel kaynakları çözmede bir artıştır.

2.3. Manyetizma Çeşitleri

Bir maddenin manyetik özellikleri, içerdiği manyetik minerallerin türüne ve tane boyutuna bağlıdır. Üç ana manyetizma türü vardır.

2.3.1. Diyamanyetizma

Herhangi bir malzemenin temel bileşeni bir atomdur ve bir atom, sürekli olarak pozitif yüklü çekirdeklerin etrafında dönen elektronlara sahiptir. Elektronların bu hareketi nedeniyle çekirdeğin etrafında bir manyetik alan oluşur ve malzemenin bu özelliğine diyamanyetizma denir. Geliştirilen manyetik alan o kadar zayıftır ki dışarıdan etkisini göstermez.



Şekil 2.2. Diyamanyetizma örneği.

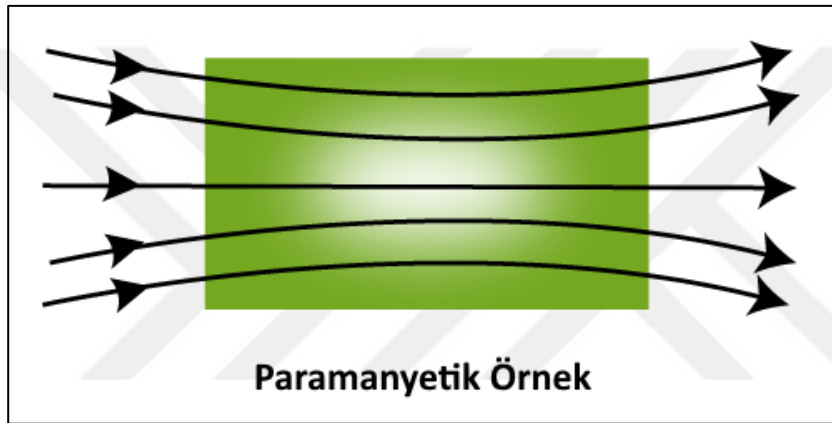
Evrendeki tüm maddeler diyamanyetikdir. Malzemelere bir dış manyetik alan uygulandığında, elektronların yörünge hareketi değişir ve dış alanın yönünün tersine küçük bir indüklenmiş manyetik moment yaratılır (Şekil 2.2.). Güçlü bir dış manyetik alanın etkisi altında, diyamanyetik malzemeler manyetik alanın zayıf olduğu bölgelere çekilir. Bu, malzemenin günlük yaşamı etkilemeyecek kadar zayıf bir özelliğidir.

Diyamanyetizma, 1845 yılında tüm malzemelerin diamanyetizmaya sahip olduğunu ve maddenin bir özelliği olduğunu gösteren Michel Faraday tarafından keşfedildi ve adlandırıldı (Bhat, 2002).

Diyamanyetik malzemeler, herhangi bir mıknatıs tarafından o mıknatısın manyetik alanı içindeyken manyetik alanlara zıt yönde mıknatıslanabilen cıva, altın, bakır, bizmut, elmas, gümüş, kurşun, silikon gibi maddelerdir.

2.3.2. Paramanyetizma

Paramanyetizma, bir veya daha fazla eşlenmemiş elektron içeren bir atomun manyetik durumunu ifade eder. Eşlenmemiş elektronlar, elektronların manyetik dipol momentleri nedeniyle alana çekilir. Wolf kuralı, herhangi bir yörüngeyi iki kez işgal edilebilmesi için elektronların her bir yörüngeyi birer birer işgal etmesi gerektiğini belirtir. Bu, atomda birçok eşleşmemiş elektron bırakabilir. Eşlenmemiş elektronlar her iki yönde de dönebildikleri için her iki yönde de manyetik momentler uygularlar (Şekil 2.3.). Bu yetenek, paramanyetik atomların manyetik alanlara çekilmesini sağlar. İki atomlu oksijen, O_2 iyi bir Paramanyetizma örneğidir (moleküler yörünge teorisi ile tanımlanır). Ancak güçlü bir mıknatıs paramanyetik malzemeleri çeker.

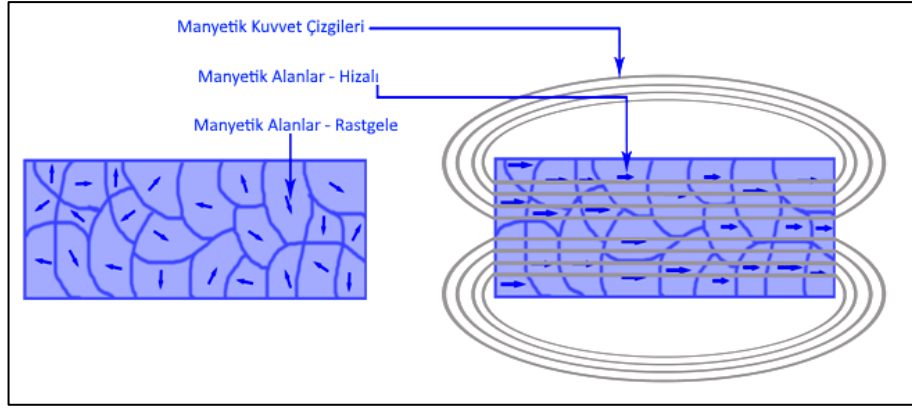


Şekil 2.3. Paramanyetik örneği.

2.3.3. Ferromanyetizma

Ferromanyetizma, belirli malzemelerin (demir gibi) kalıcı mıknatıslar oluşturduğu temel mekanizmadır. Bu, bileşiğin yalnızca harici bir manyetik alanın varlığında değil, kalıcı manyetik özelliklere sahip olduğu anlamına gelir (Şekil 2.4).

Bir ferromanyetik elementte, atomların elektronları, her alanın aynı yüke sahip olduğu alanlarda gruplandırılmıştır. Bir manyetik alanın varlığında, bu alanlar, yükler bileşik boyunca paralel olacak şekilde düzenlenir. Bir bileşiğin ferromanyetik olup olmadığı, eşleşmemiş elektronların sayısına ve atomun boyutuna bağlıdır.



Şekil 2.4. Ferromanyetik örneği.

Nikel, kobalt ve demir ile ilişkili kalıcı manyetizma olan ferromanyetizma, günlük karşılaşılan yaşamda yaygın bir olaydır. Ferromanyetizma bilgisinin tarihte Aristo, manyetizma hakkında bilimsel bir tartışma başlatan ilk kişinin MÖ 625 ile 545 yılları arasında antik Milet kentinde yaşayan Thales olduğunu dile getirmiştir (Pettrucci ve Ralph, 2007). Günümüzde ferromanyetik olaylara örnekler arasında ise pusulanın kullanımı söyleyebiliriz. Einstein ise özel göreliliğinde elektrik ve manyetizmanın ayrılmaz bir şekilde bağlantılı olduğunu gösterdi.

Yaygın ferromanyetik maddeler; demir, nikel, kobalt ve bunların alaşımlarıdır. Ayrıca bazı nadir metal alaşımları da ferromanyetik özelliklere sahiptir. Ferromanyetik kayalar, jeofizik manyetik yöntemlerde anomalilere neden olur.

2.4. Dünyanın Manyetik Alanındaki Değişimler

Dünyanın manyetik alanı her zaman sabit değildir. Bunlar farklı zamanlarda meydana gelen değişikliklerdir. Bu değişikliklerin bazıları uygulamalı jeofizikte yerin yapısının ve katmanlarının incelenmesinde önemlidir.

2.4.1. Manyetik fırtınalar

Bu fırtınalar yıllık ve 11 yıllık varyasyonları içerir. Güneşten yayılan yüklü manyetik parçacıklardan oluşur. Yaklaşık 1000 gama gücü üretirler .

Manyetik fırtına, manyetik alanda hızlı değişimlerin olduğu bir dönemdir. Bu, saatlerden günlere kadar sürebilir. Manyetik fırtınaların iki ana nedeni vardır: Güneş bazen koronal kütle atımı adı verilen güçlü bir güneş rüzgârı dalgası yayar. Bu güçlü güneş rüzgârı, Dünya'nın karmaşık salınımlı manyetik alanının dış kısmını bozar. Bu, Dünya'nın yakın uzay ortamına bağlı bir elektrik akımı yaratır ve bu da manyetik

alanda daha fazla dalgalanma yaratır ve bunların tümü bir "manyetik fırtına" yaratır. Bazen Güneş'in manyetik alanı, Dünya'nın manyetik alanıyla doğrudan ilişkilidir. Bu doğrudan manyetik bağlantı yaygın bir durum değildir. Manyetosferik çizgiler boyunca hareket eden yüklü parçacıklar, oluşurken kolayca manyetosphere girerek akımlar oluşturabilir ve zamana bağlı bir manyetosphere neden olabilir. Bazen Güneş, Dünya'nın ve Güneş'in manyetik alan çizgileri doğrudan bağlandığında, bir koronal kütle patlaması sırasında ışınım yapar. Bu olaylar gerçekleştiğinde gerçekten büyük bir manyetik fırtına yaşanabilir.

1859 da meydana gelen bir jeomanyetik fırtınası, dünyada şimdiye kadar kaydedilen en büyük jeomanyetik fırtınadır (Gregersen, 2010; Lotha, 2022; Rodriguez, 2016). 2 Eylül 1859 tarihindeki Carrington adı ile adlandırılan bu fırtına, tropik bölgelerde yoğun bir kutup ışığı oluşturmuştur. Manyetik fırtına o kadar güçlüydü ki telgraf tellerinden geçen yüksek elektrik akımı, telgraf istasyonlarındaki bandı tutuşturduğu için bu olay sonucu yangınlara sebep olmuştur.

2.4.2. Günlük değişimler

Günlük manyetik değişimler, güneşin iyonosfer üzerindeki etkisinden ve güneş ve ay gelgitlerinin atmosfer üzerindeki etkisinden kaynaklanır. Değişim hızı 20-30 gamadır.

2.4.3. Seküler değişimler

Uzun vadeli manyetik değişimlere seküler değişimler denir. Bu, on yıllar veya yüzyıllar boyunca gerçekleşebilir. Bu değişiklik, normalde sıvı olan dış çekirdekteki sıvı hareketlerinden kaynaklanır. Dalgalanmalar yılda yaklaşık 25 gama seviyesidir.

2.4.4. Batıya doğru kayma

Dünyanın kuzey manyetik kutbu, 1831'de Kuzey Kanada'da Sir James Clark Ross tarafından keşfedildi (Lotha, 2018). Kutup, keşfedildiğinden beri Kanada Kuzey Kutbu üzerinden Sibiryaya doğru ilerliyor, yani batıya doğru kayıyor. Son 20-30 yıldır hızlı bir şekilde gezegenin sıvı dış çekirdeğinde düzensiz değişiklikler olduğu ve Kanada altında manyetik alanın zayıfladığı gözlenmiştir. Bu manyetik değişim yılda ortalama 0.1 dereceye karşılık gelir.

2.4.5. Manyetik ters dönmeler

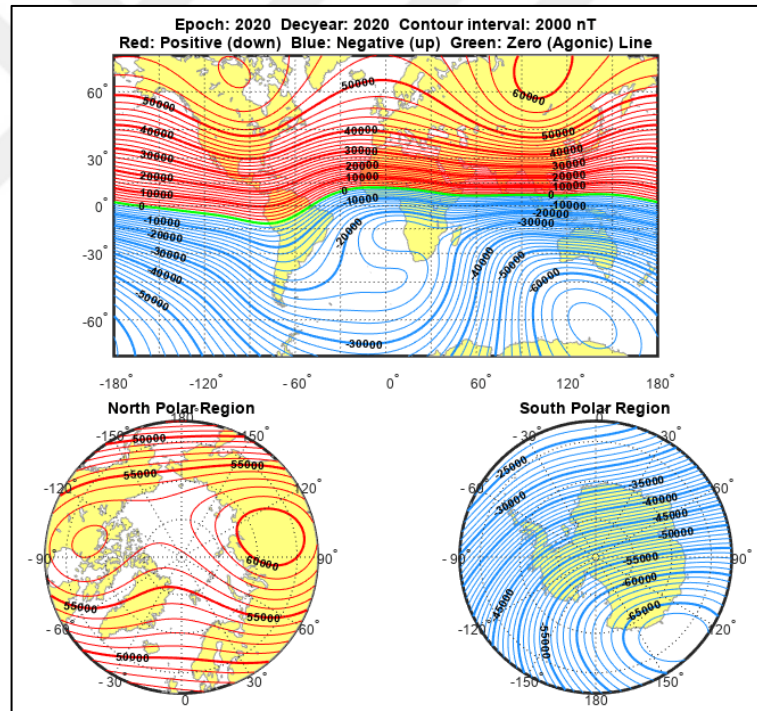
Bu olay zaman içinde kuzey ve güney kutup manyetik alanlarının yer değiştirmesidir. Bu manyetik alanın tersine dönme olayının belirgin bir periyodikliği olmayıp, bu olay

günümüzdeki bilimsel çalışmalara göre rastgele olduğu düşünülmektedir. Her 10 bin yılda bir ve nadiren 50 milyon yılda bir veya daha fazla sürede gerçekleşebilirler. Son geri dönüş yaklaşık 780.000 yıl önce olmuştur. Geri dönüşler anlık değildir; son araştırmalar, en az bir tersine dönüşün bir yıllık bir süre içinde gerçekleşmiş olabileceğini göstermesine rağmen, yüzlerce ile binlerce yıllık bir süre içinde gerçekleşebileceği varsayılmaktadır.

2.5. Manyetik Yöntemlerdeki Temel Terimler

2.5.1. Manyetik ekvator

Manyetik ekvator (veya başka bir deyişle eğim çizgisi), Dünya yüzeyinde manyetik kuvvet çizgilerinin yatay olarak yönlendirildiği (veya serbestçe dönebilen manyetik bir iğnenin yatay kaldığı) çizgidir (Şekil 2.5.). Bu çizginin tüm noktalarında manyetik eğimin sifıra eşit olduğu anlamına gelir.

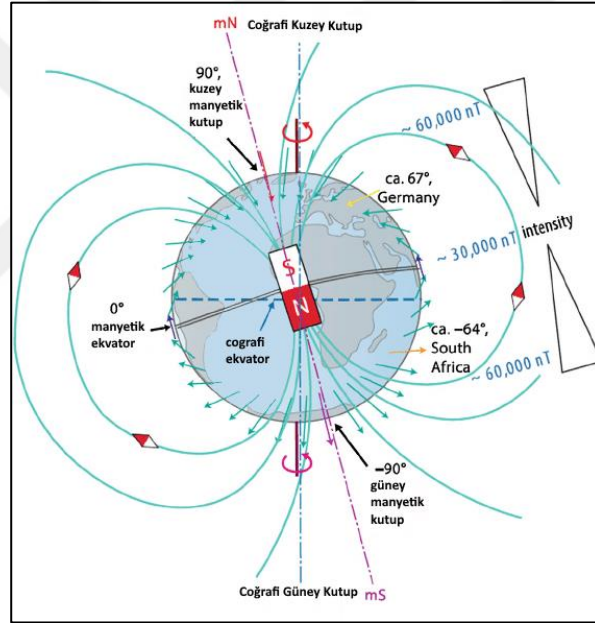


Şekil 2.5. 2020 yılı için dünya manyetik modeli (NOAA).

2.5.2. Dünyanın manyetik kutupları

Dünyanın jeomanyetik kutupları, mıknatısın manyetik alanın en güçlü olduğu bölgeleri olarak düşünülebilir. Dünyanın jeomanyetik kutupları, varsayımsal olarak, jeomanyetik alanın kabaca hesaplandığı Dünya'nın merkezinde bulunur (Şekil 2.6.). Manyetik kutuplar, manyetik iğnenin dikey hale geldiği pusula üzerindeki noktalardır.

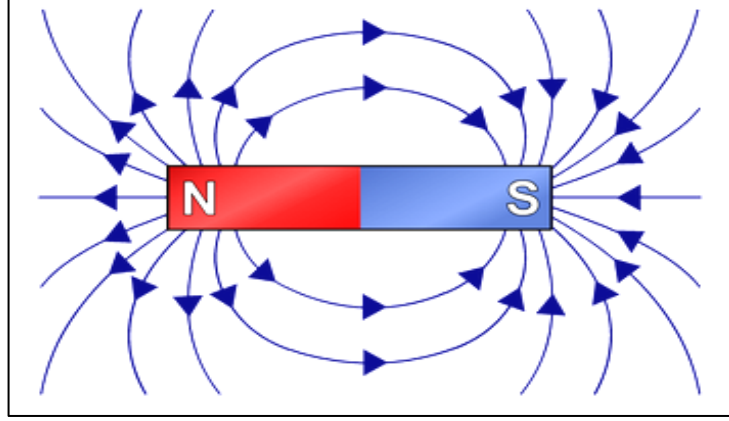
Jeomanyetik kuzey kutbu ve jeomanyetik güney kutbu olarak adlandırılırlar. Jeomanyetik kutuplar varsayımsal bir modelle temsil edilir ve dinamo akımları simetrik olmadığından her zaman manyetik kutuplarla aynı hizada değildir. Kayalardan elde edilen kanıtlar, Dünya'nın çekirdeği hareket ederken konveksiyon akımlarının oluşturduğu jeomanyetik kutupları gösteriyor. Yerin derinliklerindeki magmadan oluşan kayaçlar, yer kabuğundan lav olarak fışkırır. Bu kayaların çoğu, lav soğuduğunda oluşan demir içeren mineraller içerir. Soğuyan lavdaki manyetik mineraller, o sırada Dünya'nın manyetik alanıyla hizalanarak Dünya'nın jeomanyetik alanı için bir kayıt bırakır. Lavta bulunan manyetik mineraller, jeomanyetik kutupların hareketinden dolayı hareket eder. Kuzey Manyetik Kutbu'nun 2020'deki konumu 86.50 derece kuzey ve 164.04 derece doğuydu. Güney manyetik kutbu ise 64.07 derece güney ve 135.88 derece doğuydu.



Şekil 2.6. Yerkürenin coğrafik ve manyetik kutupları.

2.5.3. Manyetik kutup

Manyetik kutup, bir mıknatısın her bir ucunda dış manyetik alanın en güçlü olduğu bölgedir (Şekil 2.7.). Bir çubuk mıknatıs, Dünya'nın manyetik alanında asılı kaldığında, kendisini kuzey-güney yönünde yönlendirir. Böyle bir mıknatısın kuzeyi arayan kutbu veya herhangi bir benzer kutbu, kuzey manyetik kutbu olarak adlandırılır. Güneyi arayan kutup veya buna benzer herhangi bir kutup, güney manyetik kutbu olarak adlandırılır.



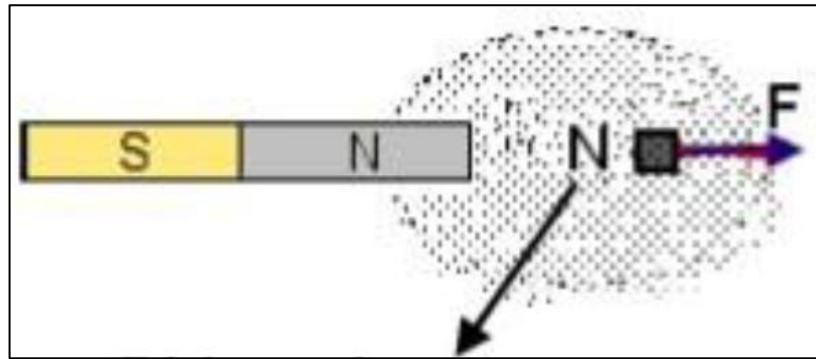
Şekil 2.7. Bir mıknatısın manyetik kutupları.

2.5.4. Manyetik eksen

Bir mıknatısın iki kutbunu (dünyanın manyetik kutupları olarak) birleştiren düz çizgi, manyetik eksen olarak bilinir. Eksen, mıknatıslanmış bir cismin kutuplarını, özellikle de dünyanın manyetik kutuplarını birleştirenleri birleştirir. Aynı zamanda, uygulanan torkla her iki kutbu da kesen çubuk mıknatısın merkez çizgisidir.

2.5.5. Manyetik alan yoğunluğu

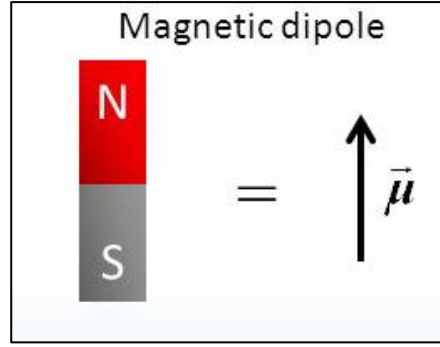
Manyetik alan yoğunluğu, manyetik alan içindeki bir noktaya yerleştirilmiş bir birim test kuzey kutbuna (yani, 1 Wb'lik N-kutbu) etki eden kuvvettir. Kuvvetindeki bir manyetik kutbun manyetik kanadına yerleştirilmiş x noktasındaki manyetik alan yoğunluğunu verir (Şekil 2.8.). Manyetik alan yoğunluğu Weber başına Newton (N/Wb) cinsinden ölçülür. Manyetik alan şiddeti, hem büyüklüğü hem de yönü olan bir vektör miktardır.



Şekil 2.8. Birim mıknatıs kutbu.

2.5.6. Manyetik dipol

Bir manyetik dipol, manyetik momenti sabit tutarak kaynağın boyutları sıfıra düşürüldüğünden bir çift manyetik kutuptur (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. Manyetik dipol örneği.

2.5.7. Manyetik moment

Manyetik Dipol Moment, bir vektör miktardır ve bir mıknatısın veya akım taşıyan bir halkanın elektrik akımı taşıyan bileşenlere tork cinsinden uyguladığı manyetik kuvvet olarak tanımlanabilir. Bir mıknatısın güney kutbundan kuzey kutbuna yönelmiştir.

2.5.8. Manyetik çekme kuvveti

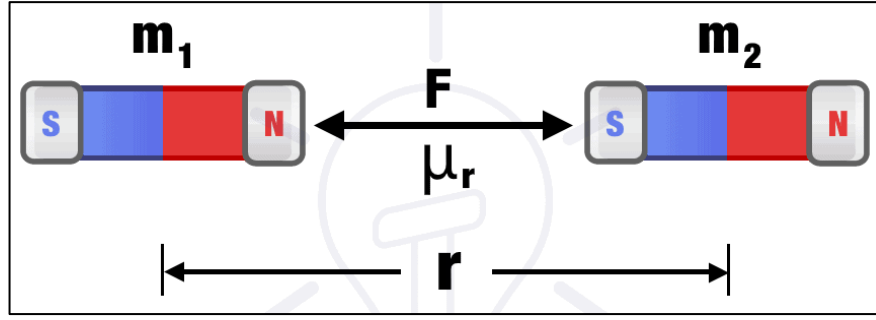
Charles-Augustin de Coulomb, 1785 yılında Coulomb'un manyetik kuvvetin Ters Kare Yasası veya Coulomb'un manyetik kuvvet Yasası olarak bilinen Manyetik Kuvvet Yasalarını tanıtan ilk Fransız fizikçi ve askeri mühendistir. İki izole nokta kutbu için kuvvetin nicel ifadesini tanımlamıştır.

Coulomb, burulma terazisini (çok küçük kuvvetleri ölçmek için kullanılan bir alet) kullanarak iki manyetik kütle için manyetik kuvvet yasasını buldu. Coulomb'un manyetik kuvvet yasaları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

(Bir ortamdaki) iki manyetik kutup arasındaki kuvvet (itme veya çekim), kutup kuvvetlerinin çarpımı ile doğru orantılıdır ve aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılıdır (Şekil 2.10.). Başka bir deyişle, Coulomb'un manyetik kuvvet kanunları, ortama yerleştirilmiş iki manyetik kutup arasındaki çekim veya itme kuvvetinin şöyle olduğunu belirtir:

- 1) Kutup kuvvetleriyle doğru orantılıdır.
- 2) Kutuplar arasındaki “ r^2 ” mesafesinin karesi ile ters orantılıdır .
- 3) Çevreleyen ortamın mutlak geçirgenliği (permeabilite) “ μ_0 ” ile ters orantılıdır.

$$F = \frac{KM_1M_2}{\mu r^2} \quad (2.1) \text{ formülü ile hesaplanmaktadır.}$$



Şekil 2.10. Coloumb manyetik çekme kuvveti.

2.5.9. Manyetik moment

Manyetik dipol momenti olarak da bilinen manyetik moment, nesnenin bir manyetik alanla hizalanma eğiliminin ölçüsüdür. Manyetik Moment, bir mıknatısın veya manyetik alan oluşturan başka bir nesnenin manyetik gücü ve yönü olarak tanımlanır. Manyetik moment bir vektör miktarıdır. Nesnelere, manyetik moment vektörü manyetik alan çizgilerine paralel olacak şekilde kendilerini yerleştirme eğilimindedir. Manyetik momentin yönü, bir mıknatısın güney kutbundan kuzey kutbunu gösterir. Bir mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik alan, manyetik moment ile doğru orantılıdır.

2.5.10. Manyetik potansiyel

Manyetik Potansiyel, gerçek B vektör alanı yerine Potansiyel denilen bir niceliği kullanarak Manyetik alanı temsil etme yöntemidir. Manyetik alan, farklı durumlarda kullanılan iki olası manyetik potansiyel tipine yol açan iki yöntemle bir potansiyel ile ilişkilendirilebilir:

Manyetik Skaler Potansiyel; $\vec{B} = -\vec{\nabla}V_m$ (2.2) formülü ile ifade edilir. Bir akım bölgesi etrafındaki manyetik alanı açıklamada faydalı bir araçtır. Yalnızca akımın sıfır olduğu $J=0$ bölgelerde tanımlanır. Tek değerli bir fonksiyon değildir. Birimi Tesla m^2 ya da Weber'dir.

Manyetik Vektör Potansiyeli ise; $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ (2.3) formülü ile gösterilir. Her zaman tek değerli bir fonksiyondur. Herhangi bir sonlu akım değerine sahip bölgelerde tanımlanır. Bu kavram, herhangi bir sonlu akım değerine sahip radyasyonu incelemek için kullanışlıdır. Birimi Tesla metre veya amper başına Newton'dur.

2.5.11. Manyetik alan kuvveti

Manyetik alan kuvveti manyetik alan yoğunluğunun temel ölçülerinden biri olarak kullanılan fiziksel bir niceliktir. Manyetik alan şiddetinin birimi metre başına amper veya amper/metre 'dir.

Manyetik alan, uzayda bir vektör alanıdır ve tam ölçümü hem manyetik alan kuvvetinin hem de akı yoğunluğunun (veya mıknatıslanma M veya polarizasyon J gibi bunlarla ilişkili diğer değerlerin) vektör alanlarının bilgisini gerektiren bir enerji türüdür (Şekil 2.11.).

Manyetik alan kuvveti 2.4 denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\vec{B} = \vec{J} + \mu_0 \times \vec{H} = \mu_0 \times (\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.4)$$

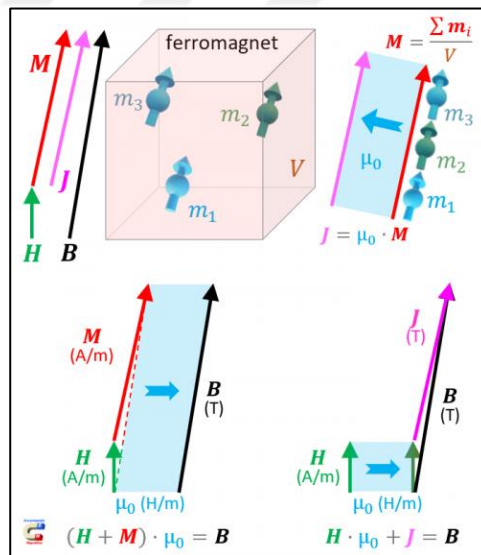
μ_0 =mutlak vakum geçirgenliği (H/m),

μ =malzemenin bağıl geçirgenliği (birimsiz),

$\mu = \mu_0 \times \mu_T$, malzemenin mutlak geçirgenliği (H/m),

J =manyetik polarizasyon (T)

M = manyetizasyon (A/m)



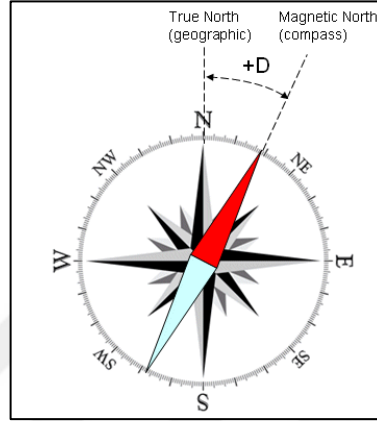
Şekil 2.11. Bir ferromanyetik madde içinde manyetik alan şiddeti H , akı yoğunluğu B , mıknatıslanma M ve polarizasyon J 'nin gösterimi.

2.5.12. Manyetik sapma (Deklinasyon) açısı

Manyetik sapma, manyetik kuzey ile gerçek kuzey arasındaki yatay düzlemde sabit olmayan ve dünyanın yüzeyindeki konumuna ve zamana bağlı olarak değişen sürekli

açı olarak tanımlanır (Şekil 2.12.). Yunanca δ harfi, manyetik sapmanın sembolü olarak kullanılır ve aynı zamanda manyetik varyasyon olarak da bilinir.

Manyetik kuzey gerçek kuzeyin doğusunda olduğunda sapma pozitifdir ve manyetik kuzey gerçek kuzeyin batısında olduğunda sapma negatiftir. Kullanılan diğer terimler, izogonik çizgiler (sapma boyunca çizgiler sabit olduğunda) ve agonik çizgilerdir (sapma boyunca çizgiler sıfır olduğunda).

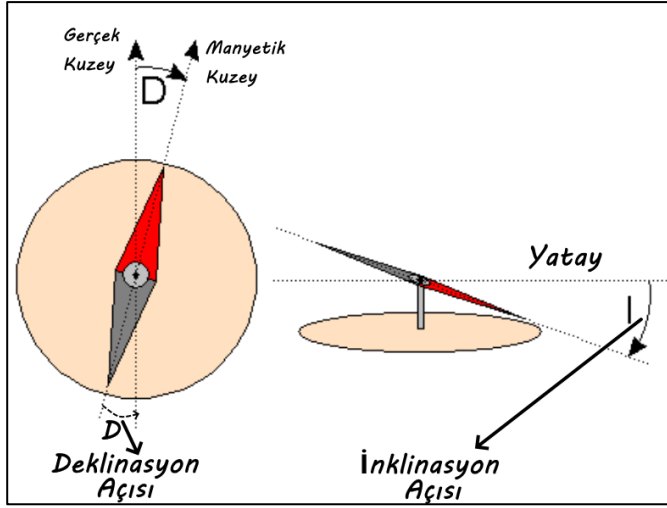


Şekil 2.12. Manyetik sapma açısı.

2.5.13. Manyetik eğim (Manyetik İnklinasyon) açısı

Manyetik eğim, dünyanın manyetik alan çizgilerinin yatay olarak yaptığı açı olarak tanımlanır (Şekil 2.13.). Eğim açısı veya manyetik eğim olarak da bilinir ve 1544 yılında Georg Hartmann tarafından keşfedilmiştir. Eğimin pozitif olması dünyanın manyetik çizgilerinin Kuzey Yarımküre'de aşağı doğru baktığını, eğimin negatif olması ise dünyanın manyetik çizgilerinin aşağıya doğru baktığını gösterir.

1581'de Robert Norman, eğim açısını ölçmek için kullanılan bir yöntem olan bir eğim çemberi keşfetti. Kullanılan diğer terimler izoklinik çizgilerdir (dünya yüzeyinde kontur çizgileri eşit olduğunda) ve eğimli çizgilerdir (noktaların konumu sıfır eğime sahip olduğunda).



Şekil 2.13. İnklinasyon ve Denklinasyon açıları.

2.6. Manyetometreler

Manyetometreler, belirli bir konumdaki manyetik alandaki yönü, gücü veya göreceli değişimi belirler. Elektromıknatısları ve kalıcı mıknatısları kalibre etmek ve malzemenin manyetizasyonunu belirlemek için manyetometreler de kullanılmaktadır.

İlk manyetometre, mutlak manyetik yoğunluğu ölçebilen Carl Friedrich Gauss tarafından 1833'te icat edildi.

Manyetometrelerin iki türü vardır. Bunlar vektör ve skaler manyetometrelerdir.

2.6.1. Vektör manyetometreleri

Vektör manyetometreler, akı yoğunluğu değerini üç boyutlu uzayda belirli bir yönde ölçer. Böyle bir tip, bir fluxgate manyetometresidir. Sensörü istenen bileşen yönünde konumlandırarak, dünya alanının bileşeninin gücünü ölçer.

Fluxgate manyetometre ayrıca doygunluk manyetik devresi olarak da adlandırılır. Birbirine yakın yerleştirilmiş bir bobin ile sarılmış iki paralel çubuğa sahiptir. Fluxgate manyetometresindeki manyetik alan, içinden alternatif bir akım uygulanmasından kaynaklanır.

Bir fluxgate manyetometresi, bir bobine bir akım verildiği ve değişen alanın diğer bobinde bir indüklenmiş akım ürettiği iki tel bobin tarafından sarılmış manyetik olarak hassas bir çekirdekten oluşur. Böylece alternatif manyetik alan ve indüklenen çıkış akımı üretilir.

2.6.1.1. Squid (Süper iletken) manyetometreler

Süper iletken kuantum manyetometreleri, iki bağlantı noktası oluşturmak için iki ince yalıtkan katmanla ayrılan iki süper iletken içerir. Bu manyetometreler, düşük aralıklı yoğunluk alanlarına karşı oldukça hassastır ve çoğu, beyin ve kalp tarafından üretilen manyetik alanın ölçülmesinde yaygın olarak kullanılır.

2.6.1.2. Arama bobin manyetometreler

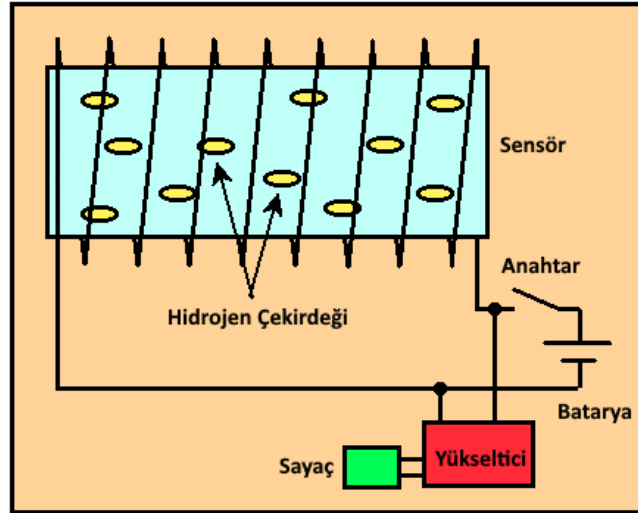
Arama bobini manyetometreleri, Faraday'ın indüksiyon kanunu üzerinde çalışır. Manyetik çekirdeğin etrafına sarılmış bakır bobinler içerir. Çekirdek, bobin içinde üretilen manyetik alan çizgileri tarafından mıknatıslandığında, alan çizgilerindeki dalgalanmalar elektrik akımının akışına neden olur. Değişen voltaj nedeniyle bu akımdaki değişiklikler manyetik alan tarafından ölçülür ve kaydedilir.

2.6.2. Skaler manyetometreler

Skaler manyetometreler, manyetik alanın skaler değerini hassasiyetle ölçer.

2.6.2.1. Proton manyetometresi

Kara tabanlı manyetik araştırmalar için en yaygın kullanılan manyetometre, proton devinim manyetometresidir. Fluxgate manyetometresinden farklı olarak , proton presesyon manyetometresi yalnızca Dünya'nın manyetik alanının toplam boyutunu ölçer. Bu tür ölçümlere genellikle toplam alan ölçümleri denir . Proton presesyon manyetometresinin bir şeması aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Bir proton manyetometresinin çalışma şeması.

Proton presesyon manyetometresinin sensör bileşeni, bir bobinle çevrili hidrojen atomları açısından zengin bir sıvıyla dolu silindirik bir kaptır. Yaygın olarak kullanılan sıvılar arasında su, kerosen ve alkol bulunur. Sensör, içinde bir güç kaynağı, bir elektronik anahtar, bir amplifikatör ve bir frekans sayacı bulunan küçük bir birime bir kabloyla bağlanır.

Anahtar kapatıldığında, bir pil tarafından iletilen bir DC (Doğru akım) akımı, sıvı dolu silindirde nispeten güçlü bir manyetik alan oluşturarak bobine yönlendirilir. Çok küçük dönen dipol mıknatıslar gibi davranan hidrojen çekirdekleri (protonlar), uygulanan alanın yönü boyunca (yani, silindirin eksenini boyunca) hizalanırlar. Daha sonra şalter açılarak bobine giden güç kesilir. Dünyanın manyetik alanı hizalı, dönen hidrojen çekirdekleri üzerinde bir tork oluşturduğundan, bunlar Dünya'nın toplam alanı yönünde dönmeye başlar. Bu devinim, bobinde küçük bir alternatif akımı indükler. AC akımın frekansı, çekirdeklerin devinim frekansına eşittir.

Fluxgate manyetometresi gibi, proton presesyon manyetometresinin yapımı nispeten kolaydır. Bu nedenle, aynı zamanda nispeten ucuzdur (5.000 - 10.000 ABD doları). Toplam alanın gücü yaklaşık 0,1 nT'ye kadar ölçülebilir. Fluxgate manyetometreleri gibi, proton presesyon manyetometreleri de zamanla kayda değer bir alet sapması göstermez .



Şekil 2.15. GEM proton manyetometresi.

Proton presesyon manyetometresinin önemli avantajlarından biri kullanım kolaylığı ve güvenilirliğidir (Şekil 2.15.). Sensör yönünün yalnızca Dünya'nın manyetik alanına göre yüksek bir açıya ayarlanması gerekir. Kesin seviyelendirme veya yönlendirme gerekmez. Bununla birlikte, manyetik alan bir yerden bir yere hızla değişirse (yaklaşık 600 nT/m'den daha büyük), silindirik sensörün farklı bölümleri çeşitli büyüklükteki manyetik alanlardan etkilenecek ve okumalar ciddi şekilde bozulacaktır. Son olarak,

devinim tarafından üretilen sinyal küçük olduğundan, bu cihaz AC (Alternatif akım) güç kaynaklarının yakınında kullanılamaz.

2.6.2.2. Overhauser manyetometresi

Proton devinim manyetometresine benzer bir çalışma prensibi vardır ancak farkı kullanılan radyo frekansının türünde yatmaktadır. Yenilenmiş bir manyetometre protonları hizalamak için düşük güçlü radyo frekansı sinyalleri kullanır.

Elektron bakımından zengin bir sıvı hidrojenle birleştiğinde, bir RF (Radyo frekansı) sinyaline maruz kalır ve elden geçirilmiş etki altında protonlar sıvının çekirdeğine bağlanır. Presesyon frekansı manyetik akı yoğunluğu ile doğrusal hale gelir gelmez, manyetik akı yoğunluğunu ölçebilir. Bu tip manyetometrelerin en iyi yanı, bu cihazların daha az güç tüketmeleri ve düşük örnekleme oranlarına sahip olmalarıdır.

2.6.2.3. İyonize gaz manyetometreleri

Bu manyetometreler, proton presesyon manyetometrelerinden daha kesindir. Bir foton yayıcı ışık ve sezyum, helyum ve rubidyum buharlarıyla dolu bir buhar odasından oluşurlar. Sezyumun (Cs), Potasyum (K) veya Rubidyum (Rb) atomu lambanın fotonuna çarptığında, elektronların enerji seviyeleri dış manyetik alana göre değişir. Bu frekans değişimi, manyetik alan kuvvetinin ölçülmesine yardımcı olur.

2.6.2.4. Ultra hafif potasyum dron manyetometresi

Kanada menşei GEM (Geophysical Electromagnetic Systems) firmasının ürettiği bu sensör, 1 kg'dan daha hafif olan bu ultra hafif manyetik sensör yüksek hassasiyeti, mutlak doğruluğu ve gradyan toleransını sunan, popüler optik olarak pompalanan Potasyum Manyetometre sensörüne dayanmaktadır (Şekil 2.16.). 0,022 nT hassasiyete sahiptir. Manyetometreye entegreli 1-2 metre hassasiyetli bir gps anteni bulunur. Alınan manyetik veriler zaman ve gps verisi ile eşitlenmiş olarak kaydedilir. Örnekleme aralığı maksimum 20 hz dir.



Şekil 2.16. GEM GSMP-25U manyetik sensörü.

2.6.2.5. Ultra hafif sezyum dron manyetometresi

MagArrow İHA sistemleri için 1 kg ağırlığında bir toplam alan sezyum manyetometresidir (Şekil 2.17.). Değişen saha koşullarına ve yeni kullanıcı iş akışlarına uyum sağlayabilen sağlam ancak esnek bir sistemdir. MagArrow, yüksek hassasiyetli MFAM™ (Micro-Fabricated Atomic Magnetometer) manyetik sensörler, GPS (Global Positioning System) ve IMU (Inertial Measurement Unit) dahil olmak üzere dahili elektroniklere sahip aerodinamik, hafif bir karbon fiber kabuktan oluşur. Sezgisel yazılım ve çok çeşitli kurumsal İHA'lara kolay bağlantı sayesinde sahada operasyon basit ve kolaydır. MagArrow, 1000 Hz örnekleme hızına sahiptir ve her 1 cm'de bir toplanan örneklerle anketlerin 10 m/s'ye kadar hızlarda tamamlanmasına olanak tanır.



Şekil 2.17. Geometrics MagArrow manyetik sensörü.

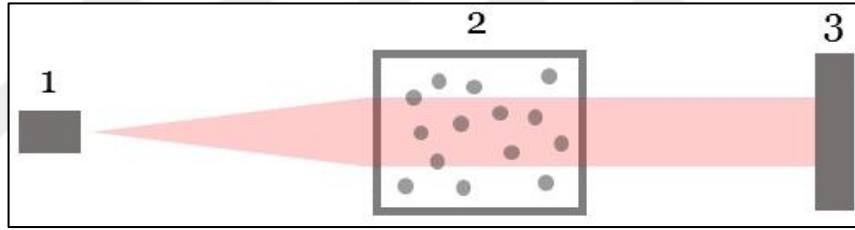
2.6.2.6. Gen2 atomik rubidyum manyetik sensörü

QuSpin Toplam Alan Manyetometresi (QTFM), jeofizik uygulamalar için kompakt, yüksek hassasiyetli hibrit skaler üç eksenli vektör atomik manyetometredir (Şekil 2.18). Son derece hassastır, kararlıdır ve çok küçük alan değişikliklerini çözebilir. Kompakt, düşük güç paketi, manyetik gözlemlerinden İHA 'lar gibi küçük, mobil platformlara kadar çok çeşitli uygulamalarda kullanım son zamanlarda kullanılan sensörlerin başında gelmektedir.



Şekil 2.18. QuSpin Gen2 atomik rubidyum manyetik sensörü.

Optik pompalı manyetometreler (OPM) pasif manyetik alan sensörleridir ve üç ana bileşeni vardır: (1) bir lazer, (2) gaz halinde 'algılayan' atomlar içeren bir cam buhar hücresi ve (3) bir foto detektör Şekil (2.19).



Şekil 2.19. QuSpin Gen2 atomik rubidyum manyetik sensörü çalışma prensibi.

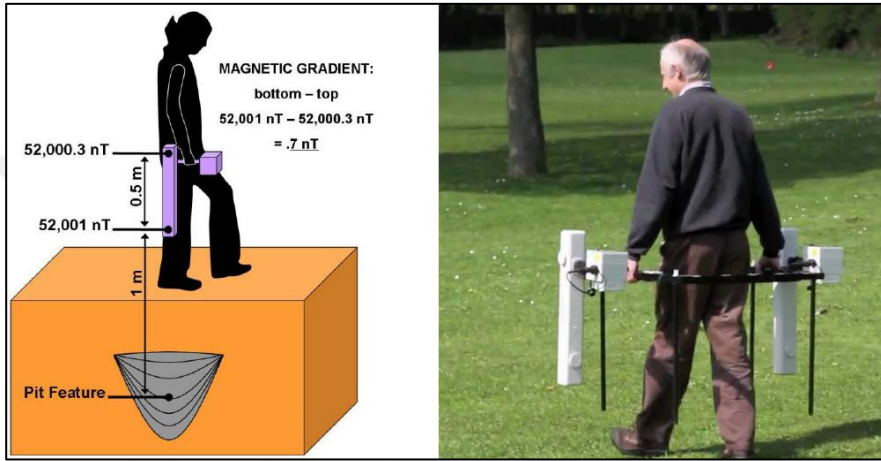
Toplam Alan OPM çok hassas, kalibrasyon gerektirmez, toprak alanında çalışır, alanın skaler genliğini ölçer.

Toplam alan OPM 'leri Dünya alanında yüksek doğrulukla çalışabilir. OPM buhar hücresindeki atomlar, arka plan alanının büyüklüğü ile doğru orantılı olan, iyi tanımlanmış bir devinim frekansına sahiptir. QTFM Gen-2'de, arka plan manyetik alan değerini elde etmek için devinim frekansı doğrudan yüksek çözünürlüklü bir frekans sayacıyla ölçülür.

2.6.2.7. Gradyometreler

En az bir çift manyetometrenin normal olarak tek bir destek çubuğu üzerinde üst üste monte edildiği, manyetik araştırmalar için kullanılan bir manyetik çalışma türüdür. Proton gradyometreleri ve sezyum gradyometreleri dahil olmak üzere çeşitli türleri mevcuttur. Bu yöntem en çok yüzeye yakın anomalileri tespit etmede kullanılır. Mayın

arama ve arkeolojik çalışmalarda en yaygın kullanılanı, yön duyarlı sensörleri birbirinden 0,5 m ile 2,0 m arasında olan fluxgate gradyometresidir (Şekil 2.20.). Bu bir manyetik alandaki gradyanı ölçer ve sığ gömülü özellikleri ve yapıları tespit eder. Çift sensörlerin kullanımı, örneğin, Dünya'nın manyetik alanının gücündeki değişimler ve köklü jeolojik anormallikler gibi, tek sensörlü cihazlarla ilgili sorunların birçoğunun üstesinden gelir. Bir alanı bir gridlenmiş alanın üzerinde sistematik olarak tarayarak ve okumaları yakın aralıklarla kaydederek, yüzeye yakın anormalliklerin şeklini ve biçimini gösteren ayrıntılı grafikler oluşturmak mümkündür.



Şekil 2.20. Yürüyerek alınan gradyometrelerin çalışma prensibi.

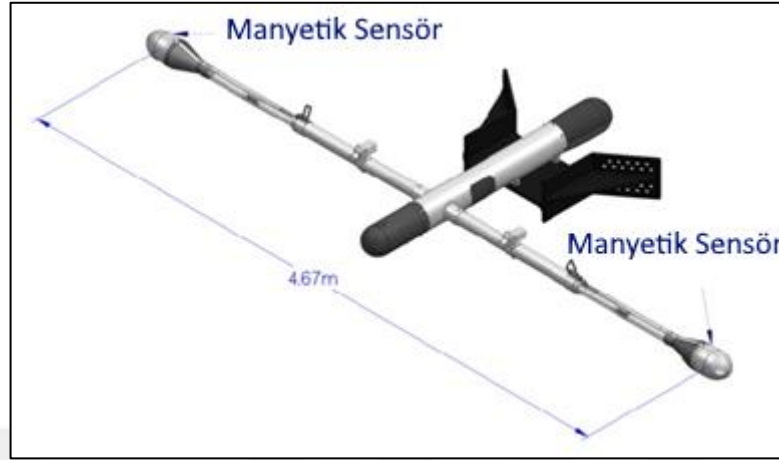
Gradyometre çalışmalarının tasarlanmış birkaç türleri vardır. Bunlar şu şekildedir.

Eksenel gradyometreler, bu cihazlar, seri olarak (yani biri diğerinin üzerinde) yerleştirilmiş iki manyetometreden oluşur. Cihazdan çıkan sonuç, uzayda o noktadaki manyetik akı farkı yani manyetometrelerin her birinin algıladıkları arasındaki farktır. Çift eksenli gradyometreler ise manyetik alanın gradyanını iki yönde ölçen üç manyetometreden oluşur.

Üç eksenli gradyometreler, manyetik alanın gradyanını üç yönde ölçen dört manyetometreden oluşur.

Düzlemsel gradyometreler, yan yana yerleştirilmiş iki manyetometreden oluşur. Cihazdan gelen sonuç, iki döngü arasındaki akı farkıdır. Her sensör tipi belirli uzamsal sinyallere farklı tepki verir. Eksenel gradyometreler derinliği ölçmek için iyidir, düzlemsel gradyometreler ise çok fazla gürültü altında bile zayıf sinyalleri ölçebilir.

Günümüzde gelişen teknolojiler sayesinde artık bu gradyometrik çalışmalar dron ve yeni hafif kuantum manyetometreler sayesinde, kısa sürede daha hızlı ve yüksek çözünürlüklü sonuçlar elde edilmektedir (Şekil 2.21.).



Şekil 2.21. İHA ile yapılan gradyometrelerin çalışma prensibi.

2.7. Manyetik Arama Yöntemleri

17. yüzyıldan itibaren Dünya'nın manyetik alanının çeşitli bileşenlerinin açısıl ilişkilerini ve büyüklüğünü ölçmek için çok sayıda teknik kullanılmıştır. 1940'ların ortalarına kadar keşif uygulamaları için kullanılan en basit prosedürler, manyetize bir eleman kullandı ve manyetik meridyenden açısıl sapmanın, salınım periyodunun veya eleman ile manyetik alanın neden olduğu mekanik bir tork arasındaki etkileşimin gözlemlenmesini içeriyordu. Modern gözlemler, esas olarak rezonans (atomik) veya akı geçidi manyetometreleri kullanılarak elektronik olarak yapılır. Bu iki tip manyetometre birbirini tamamlar. Rezonans manyetometreleri, manyetik alanın mutlak toplam yoğunluğunu (B_t) yönlendirilmeden ölçen skalerdir. Buna karşılık, flux-gate manyetometreleri, alanın görelî büyüklüğünü algılama elemanının yönü yönünde ölçen vektör manyetometreleridir. Fluxgate manyetometreleri, alkali buharı ve Overhauser cihazları dahil olmak üzere rezonans manyetometreleri, ortam manyetik alanıyla orantılı olan atomik parçacıkların devinimini ölçer. Dünya alanının belirli bileşenlerini ölçmek için yönlendirilebilen akı kapısı manyetometresi, çekirdeğin doyunluğunun manyetik alan tarafından çekirdeğe doğru yönlendirildiği bir transformatörden oluşur. Alanın büyüklüğü, çekirdeğin doyunluğu üzerindeki bu etki ile ölçülür. Ölçümler 0,1 nT(nano Tesla) veya daha iyi bir hassasiyetle yapılabilir.

Öncelikle ölçümlerin çözünürlüğünü artırmak için kullanılan gradyometreler dahil olmak üzere modern manyetometreler hakkında ek ayrıntılara yer verilebilir.

2.7.1. Yer manyetik araştırmaları

Yer manyetik araştırmaları kaya manyetizmasını ölçse de altın da dahil olmak üzere manyetik olmayan minerallerin bulunmasına yardımcı olur. Aslında, manyetik olmayan alanlar, manyetik alanlar kadar önemli olabilir. Bu nedenle yer manyetik araştırmaları bazen demir cevheri bulmaktan çok daha önemlidir.

Yer manyetik araştırmaları, yeraltındaki kayaların manyetizmasını haritalandırır. Bulunan en yaygın manyetik mineraller pirotit (demir sülfür) ve manyetitir. Manyetit yeterli saflıkta ve miktarda bulunduğunda demir cevheri yatağı haline gelebilir.

Pirotit, altın içerebilen başka bir demir sülfür minerali olan pirit dahil olmak üzere sıklıkla ilişkili olduğu mineraller nedeniyle önemlidir. Genellikle pirotit ile ilişkilendirilen diğer değerli mineraller şunlardır: kalkopirit (bakır sülfür), sfalerit (çinko sülfür) ve pentlandit (nikel sülfür).

Yer manyetik araştırmaları ayrıca, alttaki kayanın genel yapısını anlamak, normalde örtü kayalarının altında gizlenen fayları ve kıvrımları belirlemek ve hidrotermal aktivite ile ilişkili manyetikliği giderilmiş bölgeleri belirlemek için de kullanılır.

Hidrotermal aktivitenin ısıyı kayaların manyetikliğini giderir. Bu manyetikliği giderilmiş bölgeler, yerel ölçekte yer manyetikleri kullanılarak veya bölgesel düzeyde havadan manyetikler kullanılarak tanımlanabilir. Bu teknik, epitermal altın yataklarını tanımlayabilir. Charters Towers, Queensland, Avustralya çevresindeki altın yataklarında, havadan ve yerden yapılan manyetik araştırmalar, daha genç tortul örtü altındaki hidrotermal kuvars damarları sürüleriyle ilişkili manyetikliği giderilmiş bölgelerin belirlenmesine yardımcı olmuştur.

Yer manyetik çalışmaları, yürüme ve havadan manyetik çalışmalar olarak ikiye ayrılır.

2.7.1.1. Yürüme manyetik araştırmalar

Yürüme manyetik araştırmaları genellikle hızlı olması için iki operatör tarafından yapılır. Her çalışma için bir baz istasyonuna ihtiyaç vardır. İstasyon, güneş aktivitesinden, üst atmosferdeki elektrik akımlarının neden olduğu dünyanın manyetik alanındaki günlük değişimleri kaydeder. Bu baz manyetik cihazı amacına göre 2sn, 3sn veya 5sn'de bir günlük manyetik değişimleri kaydeder. Alınan bu baz verileri

sahadaki tüm çalışmalar bittikten sonra proses aşamasında arazide toplanan tüm manyetik verilerin düzeltmelerinde yardımcı olacaktır.

Bir operatör arazide yürürken çok sayıda engelle karşılaşabilir, ancak buradaki fikir mümkün olduğu kadar çizilen hatta düz yürümektir. Yoğun bitki örtüsü olan alanlarda yürüyüş oldukça yavaş olabilir ve yılanlar, tavşan delikleri ve hatta gizlenmiş maden kuyuları gibi tehlikelerden kaçınmak için konsantrasyon yüksek kalmalıdır. İyi bir arazide, operatörler günde 15 km'ye kadar yürüyebilir, bu nedenle yüksek seviyede kondisyon gereklidir. Her operatör sırt çantasında bir manyetometre ve GPS ile araştırma alanında yürür (Şekil 2.22.). Dünyanın manyetik alanındaki değişiklikler, planlanan her hat uzunluğu boyunca kaydedilir. Okumalar için GPS koordinatları da kaydedilir. Manyetik alan değişiklikleri ile arazi yüzeyinin yüksekliği de GPS tarafından kaydedilir. Bu veriler daha sonra yazılım tarafından araştırma alanının topografyasının 3B modelini oluşturmak için kullanılacaktır.



Şekil 2.22. Yer manyetik çalışması yapan ekipten bir görünüm.

Araştırma hatları arasındaki mesafe, gereken çözünürlüğe bağlı olarak 100 m ile 10 m arasında değişebilir. Hat aralıkları ne kadar dar olursa, elde edilen manyetik görüntünün çözünürlüğü o kadar yüksek olur. En yüksek çözünürlüklü görüntüler, yüksek dereceli cevher filizlerine işaret edebilecek faylar ve makaslamalardaki ince özellikler de dahil olmak üzere ince yapıları ortaya çıkarabilir .

2.7.1.2. Havadan manyetik araştırmalar

Havadan manyetik araştırmaların tarihte uzun bir geçmişi vardır. İsveç'te 1920'lerde bilinen demir cevheri yatakları üzerinde İsveç balonlarıyla uçuşlar yapılmıştır. II. Dünya Savaşı'nda ise Fluxgate manyetometreleri keşfedildiğinde, bu manyetometreler havadan manyetik araştırmalar için uzun süre kullanıldı ve halen kullanılmaktadır. Bu manyetometreler ile manyetik alanın u dikey bileşeni ölçülerek toplam bileşeni elde edilmiştir. Daha sonra 1960 yıllarında daha hassas ölçümler alabilen proton manyetometreleri keşfedilmiştir.

Uçak ile alınan manyetik araştırmalarda, manyetometre ölçüm için ya uçağın kuyruğuna yerleştirilir ya da arkasına (uçağın manyetik alanının dışında bir yere) asılır. Uçağın içinde, Helmholtz bobinleri kullanılarak uçağın manyetik alanı ortadan kaldırılır. Uçuş yönü etkileniyorsa aynı nokta üzerinden farklı yönlerden ölçüm yapılarak yn boyunca sapmalar belirlenir.

Uçak ile yapılan manyetik araştırmalarda ölçüm hat aralıkları genellikle 0,5-2 km aralığında ve ölçüm yüksekliği genellikle 150 ile 700 metreler arasındadır. Manyetik verilerin tutarlılığını kontrol etmek için her 10 veya 20 kilometrede bir kontrol (tie line) hatlarında veriler alınır. Günlük düzeltmeler için ise dünyanın manyetik alanı yerdeki tek bir baz noktasından veya yakındaki bir gzlemevindeki verilerden kullanılabilir. Havadan manyetik araştırmalarda temel bir problemlerden biri uçağın yerinin hassas belirlenmesidir. Geçmişte bu işlem uçuş hattının havadan fotoğrafları çekilerek yapılyordu. Uçağın yüksekliği ise bir altimetre ile belirlenmekteydi. Günümüzde ise gelişen GPS konumlandırma sistemleri ile bu işlemler daha da kolaylaşmıştır ve hassasiyeti daha da artmıştır.

Günümüzde ise gelişen GPS, dron ve kuantum manyetik sensör teknolojileri sayesinde havadan yapılan manyetik çalışmalar büyük bir aşama kaydedilmiştir. Maden aramalarında artık 20-30 metre yükseklikten 1 metreye kadar hassas 500 hz-1000 hz yüksek znrlkl manyetik veriler rahatlıkla elde edilmektedir. Daha detaylı boru hattı, arkeolojik ve mayın aramalarında ise drona takılan lazer altimetre ve engel algılayıcı sensörler sayesinde yerden 0.5 ile 1 metre yükseklikten neredeyse 1 santimetreye kadar yüksek znrlkl çok hassas manyetik veriler toplanabilmektedir.

2.7.2. Deniz manyetik araştırmaları

Deniz manyetik araştırması, havadan manyetik veya havadan incelemeye benzer. Manyetik sensör, manyetik etkilerini ortadan kaldırmak için geminin çok gerisinde (en az 2,5 gemi boyu) “balık” olarak bilinen bir yuvaya çekilir. Deniz araştırması çok yavaştır ve genellikle sürekli sismik profillemeye ve gravite araştırması gibi diğer jeofizik yöntemlerle birlikte yürütülür (Keary ve Brooks, 1988).

2.8. Manyetik Alanların Ölçülmesi

Yaygın olarak kullanılan jeofizik yöntemlerden biri olan manyetik yöntem, dünyanın manyetik alanındaki çelik bakımından zengin kayalar ve toprak gibi demir içeren malzemelerin neden olduğu bozulmaları ölçmektedir. Çözünürlüğü ve algılama kabiliyetini artırmak için, manyetik veriler genellikle biri diğerinin yaklaşık bir metre yukarısında bulunan iki sensör kullanılarak toplanır. Üst sensör tarafından ölçülen değerler, dikey manyetik gradyan için bir yaklaşım oluşturan alt sensör tarafından ölçülen değerlerden çıkarılır. Manyetik yöntem, büyük ölçekli jeolojik haritalama için (uçak, helikopter ve dronlara takılan sensörler kullanılır) veya günümüzde gelişen teknolojiler sayesinde yer altı depolama tankları, eski petrol kuyuları, petrol, su ve doğalgaz boruları, mayın alanları veya atık alanları gibi gömülü metalik nesnelere tespit etmek için kullanılan jeofizik yöntemlerin başında gelmektedir.

2.9. Manyetik Ölçümlerin Planlanması

2.9.1 Manyetik yöntemin uygulanma aşamaları

2.9.1.1. Planlama aşaması

Manyetik yöntemin planlama aşaması gravite yöntemine benzer, ancak yöntemlerde önemli farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, bir araştırmadaki olası kaynakların manyetik etkilerinin hesaplanmasında, aynı kaynaktan gelen bir yerçekimi anomalisine kıyasla, manyetik anomalinin kaynak derinliğine ve genişliğine karşı daha büyük hassasiyetinin tanınması gerekir. Kaynakların derinlikleri mümkün olduğunca yakınlılaştırılmalı ve veri ölçüm aralığı azaltılmalıdır.

Ek olarak, manyetizasyonların geniş dinamik aralığı, tahmin edilen anomalilerin hesaplanmasını zorlaştırabilir. Problem, karasal mıknatıslanmaların iki modlu doğası tarafından bir şekilde kolaylaştırılır; bu, çoğu zaman, ana malzemelerin anomali kaynaklarına mıknatıslanmasının etkili bir şekilde sıfır olduğunu varsaymayı mümkün

kılar. Diğerk bir karmaşıklık ise, manyetizasyonların litolojiden tahmin edilmesinin zor olmasıdır. Belirli bir kristalin kaya türü için tipik manyetizasyon aralığının geniş olması ve diğerk litolojilerle örtüşmesi muhtemeldir ve büyüklüklerle kalıcı mıknatıslanmalarla karmaşık ve tahmin edilmesi zor olabilecek yönler.

Bir araştırma alanındaki gürültü ve bölgesel manyetik alan da dikkate alınmalıdır. Hem demirli nesnelere hem de elektrik alanları gibi kültürel etkilerden gürültü beklenebilir, ancak bunu nicel olarak tahmin etmek zordur. Bölgesel etkiler, derine gömülmüş bölgesel kaynakların nispeten düşük genliği nedeniyle manyetik yöntemde normalde önemli bir problem değildir.

2.9.1.2. Veri toplama aşaması

Potansiyel kaynaklara verilen anomali tepkileri belirlendikten ve olası gürültü ve bölgesel etkilerle ilişkilendirildikten sonra, manyetik gözlemlerin düzeninin ve ölçümlerin gerekli hassasiyetinin belirlenmesiyle saha planlaması başlar. Çalışmanın planlanmasında, yükseklik ve arazinin etkilerinin genellikle ihmal edilebilir olduğu varsayılır. Jeomanyetik alanın dikey gradyanı, etkisinin en büyük olduğu kutuplarda sadece yaklaşık 0,03 nT/m'dir. Sonuç olarak, ölçümlerin yüksekliği genellikle gereksizdir ve istasyon konumları GPS teknolojisi kullanılarak belirlenir. Yüzey malzemelerinin esas olarak manyetik olmadığı ve manyetizasyon heterojenliği ve gözlem alanlarına yakınlıkları nedeniyle volkanik kayalar gibi yüksek manyetik kayaların yüzeyde nerede olduklarını tam olarak belirlemenin zor olduğu durumlarda arazi etkileri gerekli değildir.

Yüzeye yakın araştırmalar için önemli bir karar, yüzey manyetik ölçmenin uygun bir yaklaşım olup olmadığı veya havadan ölçme tekniklerinin kullanılıp kullanılmaması gerektiğidir. Havadan ölçüm, hızlı olma, başka türlü erişilmesi zor olan alanları kapsayabilme ve kültürel etkilerden kaynaklanan minimum gürültüye maruz kalma avantajlarına sahiptir. Bununla birlikte, yüzeyden daha fazla yükseklik gözlemlerin çözünürlüğünü azaltır ve bu nedenle yoğun, yüzeye yakın kaynakların haritalanmasında ciddi zorluklar yaratır. Ayrıca, aletleri taşıyan uçakların kalkış ve iniş maliyetinden dolayı sınırlı alanların taranması pratik olmayabilir. Eskiden havadan incelemelerin çoğu sabit kanatlı uçaklarla yapılırsa da sabit kanatlı uçakların engebeli yüzey arazisi üzerinde istenen sabit yüksekliği koruyamadığı veya yeterli anomali çözünürlüğü ve doğruluğu sağlayamadığı veya araştırma irtifasının çok düşük

olduğu durumlarda helikopterle yapılan araştırma gerekli olabiliyordu. Bu, ek ölçüm maliyetlerine yol açıyordu. Artık karada ve deniz ortamında yeni nesil dron, gps ve hafif kuantum manyetik sensör teknolojileri sayesinde havadan ve denizden yapılan manyetik çalışmalarda daha hızlı, daha ekonomik ve yüksek çözünürlüklü veriler toplanabilmektedir.

2.9.1.3. Veri-işlem aşaması

Yüze yakın manyetik yöntemde veri-işlem, yerçekimi yönteminden daha basittir. Ana düzeltme, öncelikle iyonosferik elektrik akımlarının neden olduğu zamansal değişimleri ortadan kaldırmaktır. Bu etkiler her zaman mevcuttur ve bu nedenle önlenemez. Genel olarak, geniş özellikleri yerel bölgelerde tutarlıdır ve büyüklükleri, basit izleme prosedürleriyle ortadan kaldırılabilir kadar düşüktür. Bununla birlikte, manyetik fırtınalar sırasında büyüklükleri artar ve değişkenlikleri artar, bu da bunu zor bir problem haline getirir. Bu nedenle, bu fırtına dönemlerinde ölçüm yapmaktan kaçınılması tavsiye edilir. Ölçülen verilerin azaltılmasındaki düzeltmeler, gözlemlerin bir referans noktasına ayarlanması ve gezegenin jeomanyetik alanının ortadan kaldırılması için de yaygın olarak yapılır.

2.9.1.4. Yorumlama aşaması

Manyetik verilerin yorumlanması, ters çözümün kullanıldığı yerçekimi yönteminde olduğu gibi hemen hemen aynı prosedürleri izler. Bununla birlikte, manyetik alanların doğası ve karasal malzemelerin manyetik özellikleri nedeniyle, litolojiden ziyade kaynakların derinliklerinin belirlenmesi ve yapısal haritalama üzerinde durulmaktadır. Hem düz hem de ters çözüm yaklaşımları yaygın olarak uygulanmaktadır, ancak elbette sonuçlar asla aynı olmamaktadır. Bu nedenle, jeolojik, jeofizik ve diğer yer altı kısıtlamalarına erişim ve bunları kullanma uzmanlığı, etkili manyetik anomali yorumlaması için kritik öneme sahiptir.

2.10. Manyetik Yöntemin Sınırları

Jeofiziğin en eski arama yöntemlerinden olan manyetik yöntemin avantajları olduğu kadar, önemli dezavantajları da vardır.

Manyetik yöntemin avantajlarını sıralayacak olursak;

- Manyetik çalışmalarda ölçü almak oldukça kolay ve hızlıdır. Günümüzde daha da hızlanmıştır.

- Ekonomik bir yöntemdir.
- Yöntemin yer ile doğrudan teması yoktur. Bu da yerden gelebilecek tehlikeler için avantajlıdır.
- Sadece ferromanyetik metallere duyarlı olmasıdır.

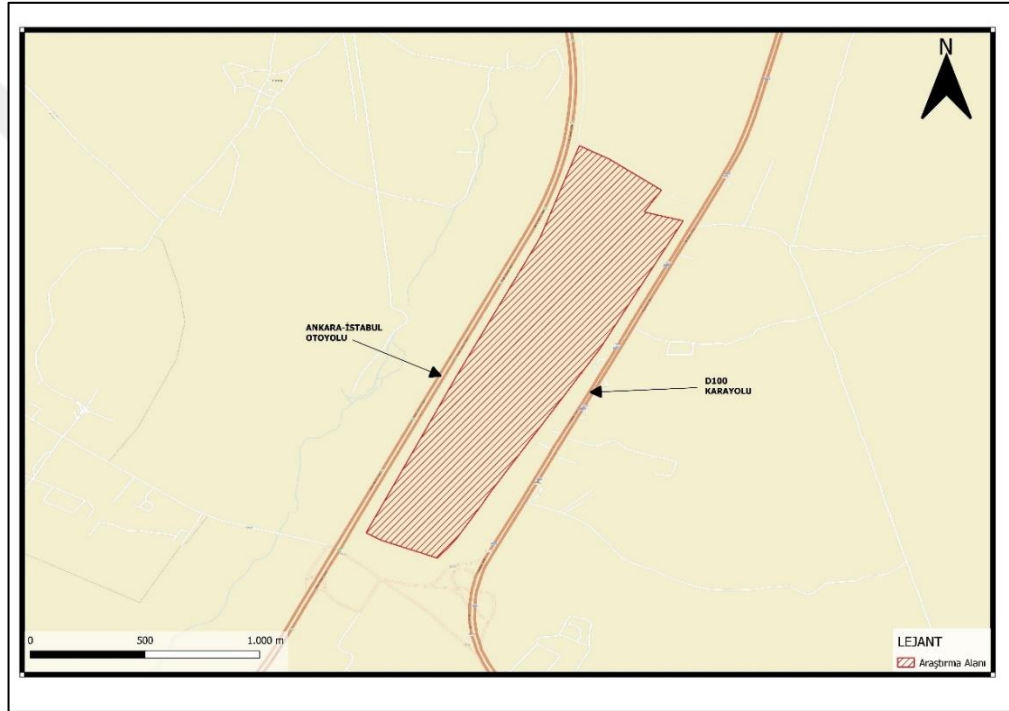
Dezavantajları ise;

- Değişim ölçümleri, toplam alan ölçümlerinden daha derin hedeflere karşı daha az duyarlıdır.
- Manyetik ölçümler çelik borular, çitler, araçlar ve binalar gibi manyetik parazit üretebilecek yapılara karşı çok hassastır.
- Toplam alan ölçümleri, Dünya'nın manyetik alanındaki değişikliklere karşı hassastır (bu etkiyi nötralize etmek için bir baz istasyonu kullanılmalıdır).

3. ARAŞTIRMA ALANI, KULLANILAN EKİPMANLAR VE YAZILIMLAR

3.1. Araştırma Alanı

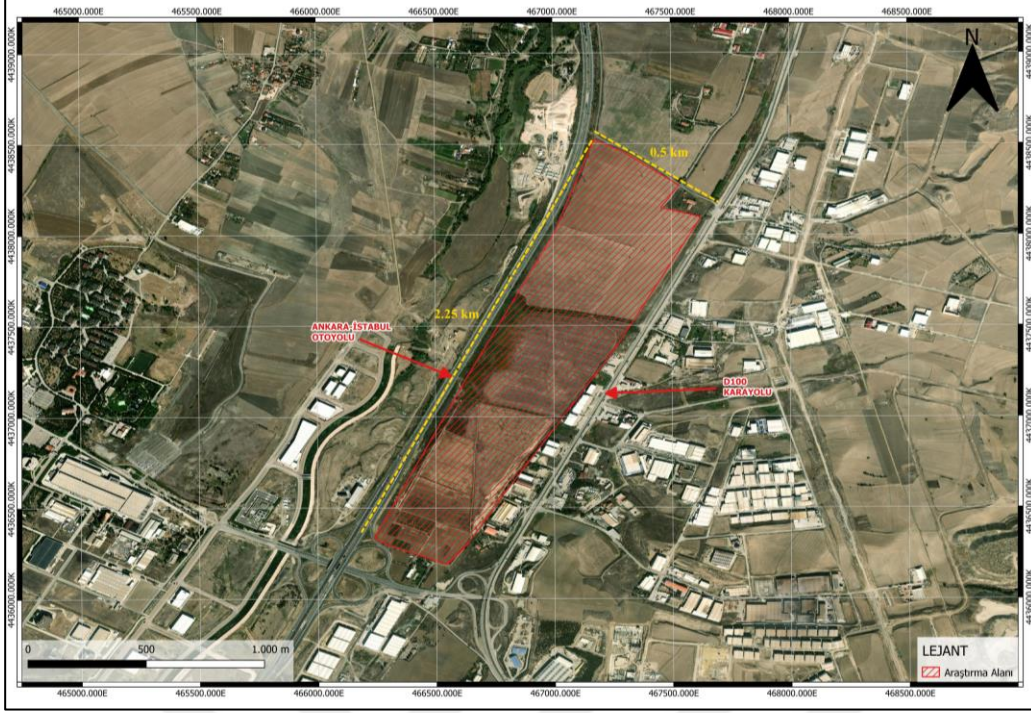
Araştırma sahası Ankara'nın Kazan ilçesinde yer alıp, sahaya ulaŐım sahanın kuzey batısından geçen Ankara-İstanbul otoyolu ile sahanın kuzey doğusundan geçen D100 karayolu ile sağlanmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Araştırma sahası yer bulduru haritası.

Araştırma alanı Şekil 3.2.'deki uydu haritasındaki görüntüsüne göre boyuna yaklaşık 2.25 km, enine ise yaklaşık 500 metre olup toplamda yaklaşık 114,32 hektarlık büyük bir alana sahiptir.

1960 yıllarına kadar askeri eğitim ve atış alanı olarak kullanılmış olup daha sonra Ankara Üniversitesi Ziraat fakültesine devredilen saha tarım alanı olarak günümüze kadar kullanılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Araştırma sahası Google Earth uydu görüntüsü.

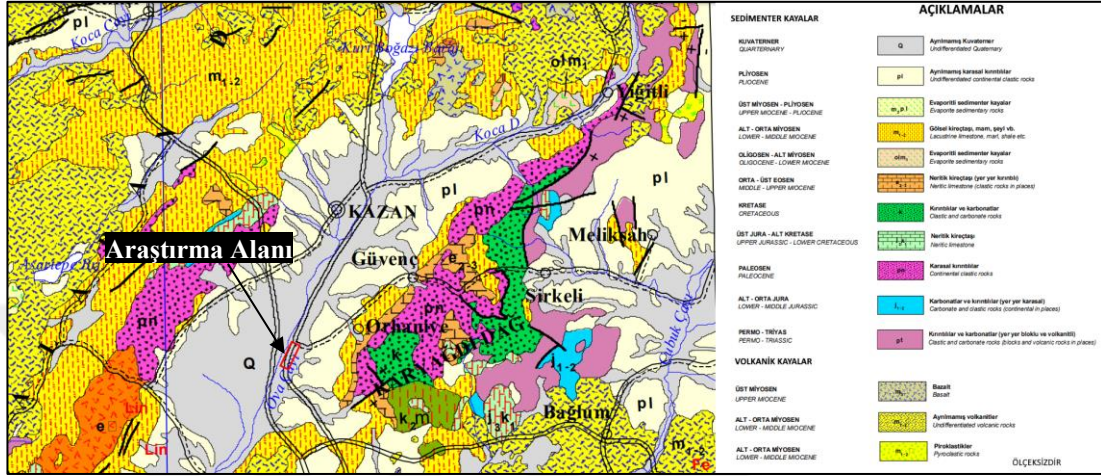
Günümüzde ise sahayı özel bir firma ticarethane yapıları yapmak için almıştır. Ancak sahada yapılan gözlemler ve incelemeler sonucunda sahada tarım yapıldığı zamanlarda çok fazla patlamış-patlamamış mühimmat ve kalıntılara rastlanmasından dolayı burada kontrolsüz bir inşaat çalışmasına başlamanın çok tehlikeli olacağı öngörülmüştür. Bu nedenle sahada uzmanların da görüşüyle dünyada son zamanlarda çok popüler olan ve iyi sonuçlar veren Türkiye’de ilk defa yapılacak olan havadan manyetik çalışmalar ile patlamış ve patlamamış mühimmatların tespiti yapılmaya çalışılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Araştırma sahasında yapılan çalışmadan bir görünüm.

3.2. Araştırma Alanını Genel Jeolojisi

Ankara ilinin özellikle kuzeyi volkanik oluşumlara sahiptir. Bunu andezitik ve trakitik kayalar, kuzeydoğuda ise granit magmatik kayalar olup Kuzeybatısında da kireçtaşı ve kumtaşı birimleri görülür. İlin güney ve güneydoğu kesimlerinde ise Mesozoyik (Dönem II) yerleşmeleri bulunmaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Araştırma sahasının genel jeolojisi 1/500.000 (MTA Jeoloji Haritası- Ölçeksizdir)

Araştırma alanı alüvyonal birimlerden oluşmaktadır. Sahanın çevresinde ise jeolojik formasyonlar aşağıdaki gibidir.

Alüvyon (Qa- Kuaterner): Ankara Çayı, İncesu Deresi, Bent Deresi gibi önemli akarsular ve bunlara katılan küçük yan derelerin vadi taban düzlüklerini örten alüvyonlar, genelde çakıl, kum ve kilden oluşan sarımsı gri renkli çökellerdir. Alüvyonlar, gevşek, yumuşak ve homojen yapıya sahiptir. Birim içerisinde yeraltı suyu seviyesi yüzeye yakındır.

Emir Formasyonu (TRae, Alt Triyas) Bölgede otokton olarak izlenen en eski birimdir. Killi, kumlu ve volkanik kayaların bölgesel metamorfizmaya uğraması sonucunda, Yeşilist Fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Formasyon içerisinde; Muskovit-Kuvars Şist, Serisit-Klorit-Kuvars Şist, Serisit-Klorit Şist, Fillit, Kuvars-Albit-Klorit Şistler bulunmaktadır.

Çaldağ Formasyonu (Tç): Birim resifal kireçtaşı, kırıntılı kireçtaşı ve kumlu kireçtaşından oluşmaktadır. Kireçtaşlarında alg, mercan ve bryozoa parçaları gözlenmektedir. Mercek şekilli kireçtaşlarının küçük blokları ve çakıllarını da kumlu duzeyler icinde gormek olağandır. Resifal kireçtaşları beyaz, kirli beyaz renklidir.

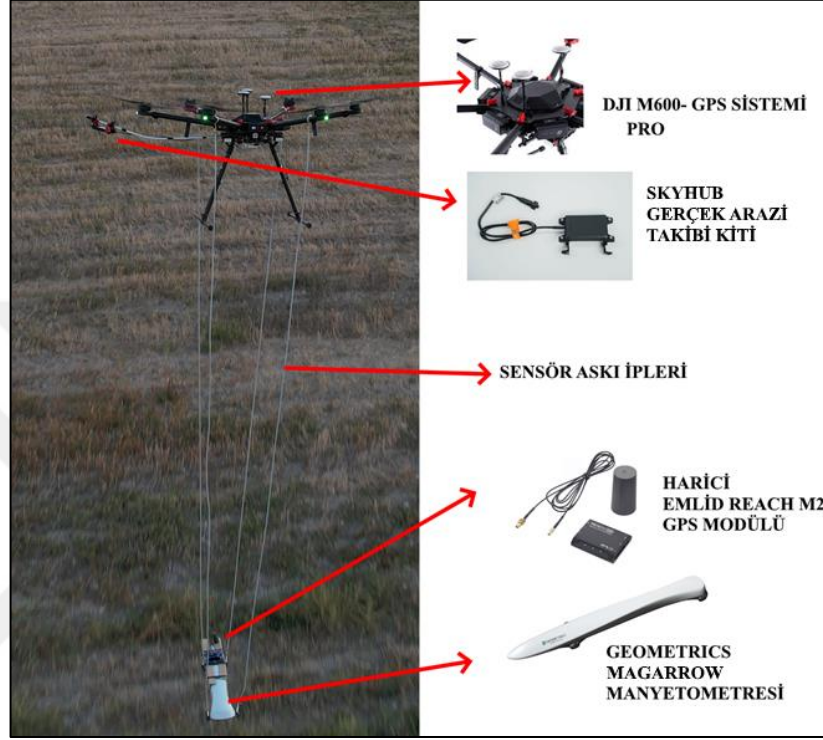
Kumlu kireçtaşları daha çok mercek şekilli resifal kireçtaşlarının çevresinde yaygındır. Formasyon yanarda ve üstte Dizilitaşlar Formasyonu ile girik ve geçişlidir. Çalıdağ Formasyonunun yaşı Monsiyen olarak verilmiştir.

OROJENEZ	ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
GENÇ ALPİN	S E N E Z O Y İ K	Kuvaterner			Alüvyon (çakıl, kum, silt)
		Neojen	Pliyosen	Üst	Gevşek çimentolu konglomera, kırmızı renkli kumlu siltli kil, kireçyumrulu kırmızı killer
Alt				Pembe renkli marn ve killere kanşık lav çakılları ve tüfler	
ORTA ALPİN		T e r s i y e r	Miyosen		Silisi-killi gösel kireçtaşları, marn, kiltası, konglomera, andezit, bazalt, aglomera ve tüfler
			Paleojen	Oligosen	Konglomera, kumtaşı, marn, jips
				Eosen	Bol fosilli kumlu kireçtaşları ve kumtaşları
ERKEN ALPİN		M E S O Z O Y İ K	Kretase	Üst	Fliş (konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn ve olistostrom)
				Alt	Ofiyolitli melanj (serpantin, radyolarit, split, bazalt, diyabaz, kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, marn, çakmaktaşı, gabro ve olistostromlar)
			Jura	Üst (malm)	Ammonitli kireçtaşı, silisi kumlu-killi kireçtaşları ve plaket yumrulu kireçtaşları
	Orta (Dogger)				
	Alt (Liyas)			Taban konglomerası, kumtaşı, silttaşı ve fosilli kalkarenit	
	Triyas				
H E R S İ N İ Y E N	P A L E O Z O Y İ K	Permo-Karbonifer		Kanşık (Bloklu) seri: Yastık yapılı split-bazalt blokları, Permo-Karbonifer ve Triyas yaşlı kireçtaşı blokları içeren grovak ve meta-grovaklar	
				Epimetamorfik şistler (fillit, grafitşist, mikaşist, kloritşist, kuvarsit)	

Şekil 3.5. Ankara ve Çevresi Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesiti (Kasapoğlu, 2000).

3.3. Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

İHA Manyetometre sistemi, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi dron, dron pilleri, SHP Engineering firmasının ürettiği SkyHub gerçek arazi takip kiti, Emlid Reach 2 GPS modülü, Amerika menşei Geometrics firmasının ürettiği MagArrow model sezyum optik pompa manyetometresi, veri toplama modülü ve güç modülünden oluşur.



Şekil 3.6. İHA manyetik sisteminin bileşenleri.

Havadan manyetik araştırma için kullandığımız platform bir DJI M600 Pro modeli drondur. Kalkıştan önce rota planlamasına izin veren A3 uçuş kontrolörü ile donatılmış MG-1P sekiz rotorlu bir insansız hava aracıdır. DJI M600 Pro İHA sisteminin bazı parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. DJI M600 Pro dronu teknik özellikleri.

Ağırlık	10 kg	Maksimum Hız	45kmp-65kmp
Batarya	4500 mAH LiPo	Uçuş Mesafesi	6500m-7000m
Ebat	61cm-70cm	Uçuş Süresi	30-35 Dakika
GPS Modu	GPS Var	Otomatik Rota Takip	Var

Yüksek hassasiyetli SHP Engineering firmasının ürettiği SkyHub radar altimetre karmaşık arazi koşullarında uçuş güvenliğini sağlar ve santimetre düzeyinde hassas konumlandırma Emlid Reach M2 GPS modülü ile gerçekleştirilir. Emlid marka drone GPS sisteminin özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Emlid Reach M2 GPS modülü teknik özellikleri.

Boyutlar	15,4 x 45,3 x 14,6 mm
Ağırlık	20g
Çalışma Sıcaklığı	-20, +65 °C
Statik yatay	4 mm + 0,5 ppm
Statik dikey	8mm + 1ppm
Kinematik yatay	7 mm + 1 ppm
Kinematik dikey	14mm + 1ppm
Veri kaydı	20 Hz'e kadar güncelleme hızı
Kanal Sayısı	184
Güncelleme Oranı	20 Hz GPS/ 5 Hz GNSS

Sezyum optik pompa manyetometresi Cs133’ün çalışma aralığı 20.000nT ila 100.000 nT’dir ve gürültü hassasiyeti 0.005 nT/Hz’dir. 10 m/sn hızla 1000 hz’lik bir veri toplama sağlamaktadır. Konum ve toplam manyetik alan verisi saniye başına gps sinyali ile senkronize edilir. Dron motor gürültüsünden korunmak için 3 metre uzunluğunda 4 adet ip ile manyetometre dronun alt tarafına monte edilmiştir. 1 kg ağırlığındaki bu manyetik sensör dronun uçuşunu pek etkilememekle birlikte yaklaşık 20-25 dakika uçuş süresi sağlanmaktadır.

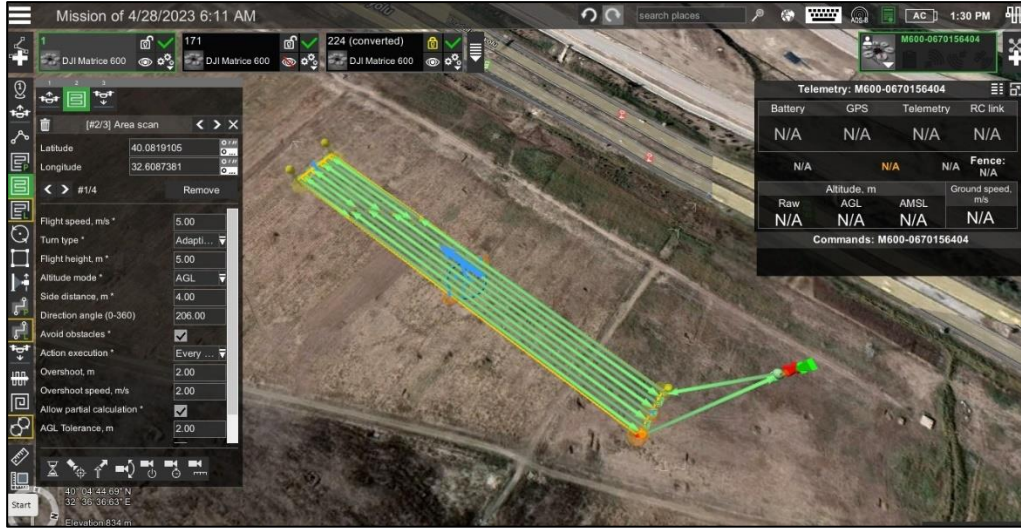
3.4. Kullanılan Yazılımlar ve Özellikleri

Havadan manyetik araştırmalarda planlamalarda, veri alınırken ve alındıktan sonra proses aşamasında çeşitli programlar kullanılmaktadır. Bu projede arazide uçuş hatlarının hazırlanması ve planlanmasında açık kaynak kodlu Şekil 3.7’de bir hat çıktıısı gösterilen QGIS (Quantum Geographic Information System) programı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. QGIS programı ile uçuş bloklarının çizilmesi.

Yapılan bu uçuş planlarının dron sistemine görev olarak yüklenmesi gerekmektedir. Bunun için de SHP Engineering firmasının geliştirmiş olduğu Şekil 3.8’de arayüz görüntüsü gösterilen UgCS (UAV Mission Planning And Flight Control Software) yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 3.8. UgCS programı ile uçuş planının oluşturulması.

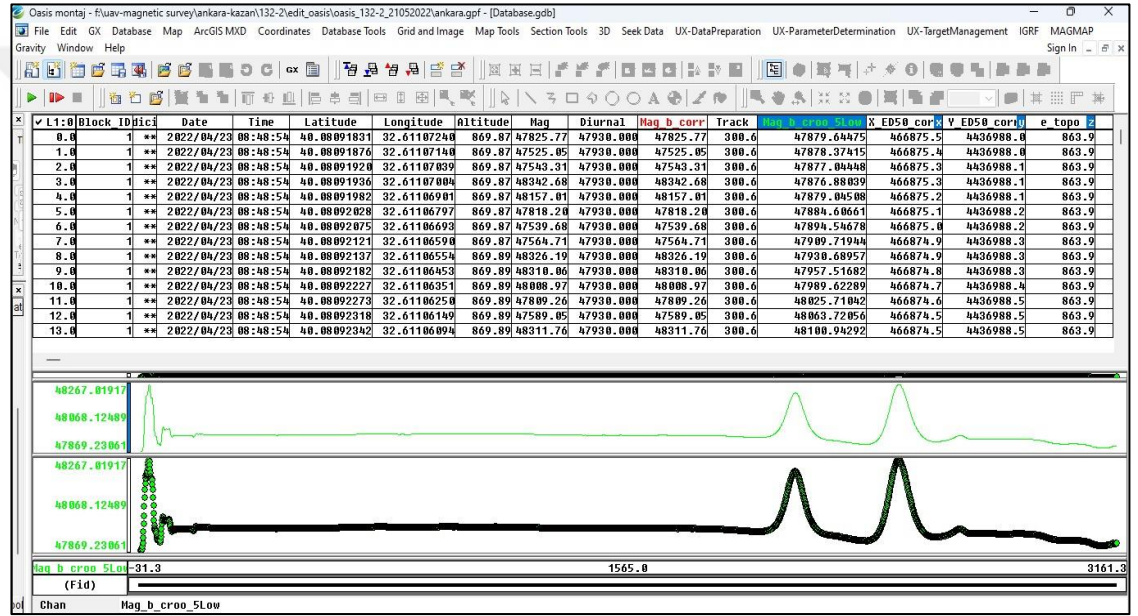
Manyetometre ile alınan veriler ise Geometrics firmasının geliştirdiği MagArrow sensörü birlikte firmanın temin ettiği Geometrics Survey Manager paket programı alınan verileri ön kontrolü ve diğer formatlara dönüştürülmesi için kullanılmıştır. Daha sonra kendimiz tarafından yapılan makro yazılımı ile blok halindeki hatlar araştırma alanı boyunca tek tek bir hat haline getirilerek birleştirilmiştir.

Büyük bir titizlik ile toplanan bu manyetik veriler en son olarak proses aşamasına geçmektedir. Proses aşamasında ise dünyada manyetik verilerin prosesi aşamasında popüler ve güncel bir yazılım olan Amerikan menşei Bentley grup firmasının Squeent adlı yazılım firmasına ait OASIS Montaj 9.8 yazılımı kullanılmış olup, tüm bu manyetik veriler hat hat programa işlenmiş, kötü veriler ayıklanmış, gerekli düzeltmeler uygulanmış, filtrelenmiş ve haritalanmıştır.

4. MANYETİK VERİLERİN VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI, İŞLENMESİ, FİLTRELENMESİ VE YORUMLANMASI

4.1. Manyetik Verilerin Veri Tabanının Oluşturulması

Araştırma alanında elde edilen havadan manyetik veriler sahada ön değerlendirilme yapıldıktan sonra gün sonunda günlük olarak veri tabanına işlenmemiştir. Manyetik veri tabanı Oasis Montaj programı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Havadan manyetik verilerin veri tabanına işlenmesi.

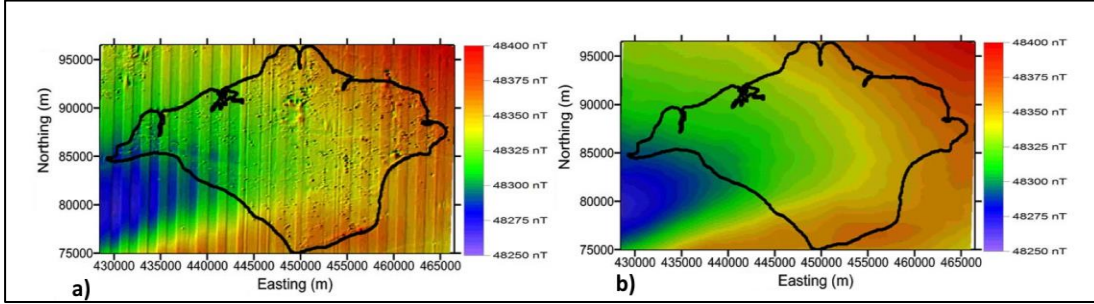
4.2. Manyetik Verilerin İşlenmesi

Araştırma alanında İHA ile 1m aralıklarla alınan manyetik veriler alındıktan sonra birkaç düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Bunlar hat seviye düzeltmesi, mikro seviye düzeltmesi ve yön (heading) düzeltmeleridir.

4.2.1. Hat seviye düzeltmesi

İstatistiksel hat seviye düzeltmesi, belirli bir modeli veya eğilimi izleyen kesişme hatalarını düzeltir. Algoritma, daha sonra seviyelendirilecek kanala eklenen bir trend hatası eğrisi üretmek için bir hata kanalı boyunca bir en küçük kareler trend çizgisini hesaplar. Tüm hat seviye düzeltmesinin amacı, araştırma hatlarını, sürece dahil edilen

her bir kesişme noktasında tüm hatların eğilimli bağlantı çizgileriyle tam olarak eşleşeceği şekilde ayarlamaktır.



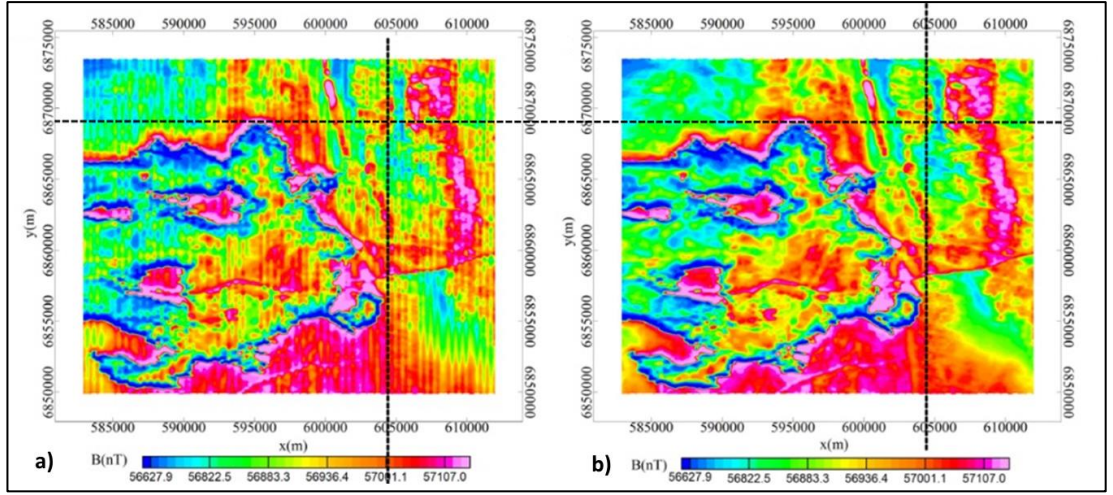
Şekil 4.2. a) Hat seviye düzeltmesi uygulanmamış manyetik veri, b) Hat seviye düzeltmesi uygulanmış manyetik veri.

Manyetik baz istasyonu, gecikme ve yön düzeltmeleri ve hat yönünü seçme dahil olmak üzere sistematik düzeltmeler uygulanır. Basit kontrol hattı (Tie line) seviye düzeltmesi yöntemlerini dikkatli kullanarak geleneksel seviye düzeltmeleri gerçekleştirilir (Şekil 4.2).

4.2.2. Mikro seviye düzeltmesi

Havadan manyetik veya radyometrik veriler gibi karmaşık veri kümeleriyle çalışırken, düzenli veri işleme sırasında giderilmeyen (gecikme düzeltmeleri, bağlantı hattı seviyelendirme düzeltmeleri, baz düzeltmeleri vb.) düzeltmeleri mikro seviye düzeltmesi ile ortadan kaldırılır (Şekil 4.3).

Mikro seviyelendirmenin bir başka tanımı da araştırma hatları boyunca uzun dalga boylu gürültünün neden olduğu jeolojik olmayan etkileri azaltmak veya ortadan kaldırmak için gridlenmiş bir veri kümesini filtrelemek şeklinde açıklayabiliriz. Bu tür bir gürültü, verinin bir ölçü satırından diğerine kayması şeklinde kendini gösterir ve genellikle çok çizgili görünen görüntüler oluşturur. Normalde mikro seviyelendirme yalnızca günlük baz düzeltmesi ve bağlantı hattı seviye düzeltmesi gibi diğer düzeltmeler verilere uygulandıktan sonra uygulanır.



Şekil 4.3. a) Mikro seviye düzeltmesi uygulanmamış manyetik veri, b) Mikro seviye düzeltmesi uygulanmış manyetik veri.

Anket hatları boyunca toplanan mikro seviyeleme veri kümeleri için bir dizi yöntem vardır. Genellikle Oasis Montaj 9.8 programında bulunan çift yönlü çizgi gridleme yöntemini kullanır. Prosedürü tek başına gridlenmiş bir veri kümesine uygulanabilir ancak optimum sonuçlar için orijinal konumlanmış verilerden oluşan bir veri tabanına yapmakta fayda vardır. Bu yöntemin başarısı büyük ölçüde verilere bağlıdır. Bir seviyeleme hataları gridi bir manyetik gridden türetilir. Bu veriler daha sonra varsa orijinal konumlanmış verilerden veya mevcut değilse gridlemeden çıkarılır.

Çift yönlü mikro seviye düzeltmesi, gridlenmiş verilerin jeolojisini bölgesel bir alan ve seviyelendirme hatalarından oluştuğunu varsayarak hata gridlerini türetilir. Bunlar gridleme işlemi sırasında düşük geçişli filtreleme ile çeşitli aşamalarda ayrılır.

4.2.3. Yön (Heading) düzeltmesi

Manyetometre okumaları, doğrudan seyahat yönüne bağlı olarak bir değişiklik gösterebileceğinden, genellikle manyetik araştırmalarda bir yön düzeltmesi gerekir. Belirli bir manyetometrenin yönlü varyasyonlarını telafi etmek için, anket manyetometresi kullanılarak bir yön tablosu derlenir ve ardından anket yapılan verilere uygulanır. Yön tablosu, sabit bir konumun okumalarındaki göreceli yön farklılıklarından derlenir. Bu konum, nispeten manyetik olarak sessiz bir alanda seçilmelidir. Diğer herhangi bir yön için rota düzeltmesi, rota tablosu verilerinin enterpolasyonu ile hesaplanır.

4.3. Manyetik Verilerin Filtrelenmesi ve Haritalanması

Veriler OASIS Montaj 9.8 yazılımı kullanılarak, anormalliklerin hesaplanmasında klasik yöntemler kullanılarak, bir dizi farklı filtre uygulanarak anomali haritaları elde etmek için işlendi. İlk olarak, sensör ile dron arasındaki dron konumu, kalkış, iniş, yumuşatma ve gecikme hatalarından kaynaklanan hatalı değerler silindi. Son olarak Dünya'nın manyetik alan değerlerinin güneş aktivitesinden kaynaklanan günlük değişimi araştırma süresi boyunca elde edilen verileri düzeltmek için kullanılmıştır. Havadan manyetik veriler programda enterpolasyona tabi tutularak uçuş hatlarında (0.5 m) minimum eğrilik gridleme yöntemi uygulandı.

4.3.1. Manyetik verilerin filtrelenmesi

Herhangi bir veri işleme biçiminde filtreleme kavramı, sinyalin istenen kısmının tutulmasını ve/veya geliştirilmesini ve istenmeyen kısmın ortadan kaldırılmasını veya bastırılmasını içerir. Havadan manyetik araştırmalarda, filtreleme genellikle verilerdeki daha derin ve daha sığ bileşenleri ayırmayı ve bu bileşenlerin yorumlayıcı tarafından gözlemlenebileceği netliği keskinleştirmeyi amaçlar.

Belirtilen iki ana filtre sınıfı, yüksek geçiş (high-pass filters) ve alçak geçiş (low-pass filters) filtrelerdir. Yüksek geçiren filtreler, verilerdeki daha yüksek frekanslı içeriği tuttukları için bu şekilde adlandırılır. Daha yüksek frekansların daha kısa dalga boyları vardır; bunlar basit bir ifadeyle daha kısa düz eğim mesafelerine sahip olacaktır.

Bu nedenle, yüksek geçiren filtrelerin havadan alınan manyetik verilerdeki daha sığ kaynakları tespit edilmede tercih edilir. Tersine düşük geçişli filtreler, uzun dalga boylarına sahip düşük frekansları ve dolayısıyla daha derin kaynaklarla ilgili olacak uzun düz eğim mesafelerini korur.

4.3.1.1. Yüksek geçiş filtresi (High-pass filter)

Sert kayalık arazilerdeki araştırmalar, yüzeye yakın jeolojik yapının daha keskin bir anomalisini yakalamak için tipik olarak yüksek geçişli filtreler kullanır. Havadan manyetik araştırmalar için tasarlanmış çok sayıda yüksek geçişli filtre, özellikle bireysel uzman jeofizik danışmanlarının belirli ve genellikle özel çalışmalarda anomaliye göre özel filtreler kullanılır. En temel yüksek geçiş filtreleme yöntemi, Birinci dikey türevidir (1VD).

Birinci dikey türev (1VD)

Birinci dikey türev (1VD) , havadan manyetik araştırma verileri için en yaygın kullanılan yüksek geçişli filtredir çünkü hesaplama açısından sağlamdır, sonuçlar açısından güvenilirdir ve manyetik kaya kütleleri bağlamında kolayca yorumlanabilir. 1VD'yi tasavvur etmenin en basit yolu, üst üste monte edilmiş iki manyetometre sensöründen gözlemleyeceğimiz dikey manyetik gradyandır. 1VD, iki sensördeki manyetik alan ölçümlerindeki farktır. Aslında, 1970'lerde bu tür dikey gradyan ölçümleri, manyetometre sensörlerini uçağın kuyruğunun üstüne ve ayrıca kuyruğun tabanındaki stinger'a monte ederek gerçekleştirildi. Bu uygulama ancak 1VD'nin (kaliteli) tek sensör verilerinden oldukça güvenilir bir şekilde belirlenebileceği keşfedildiğinde durduruldu (Isles ve Rankin, 2013). 1VD'nin yön sapması yoktur ve bu görüntülerdeki uzamsal ve yapısal çözünürlüğü iyileştirmede önemli bir özelliktir.

İkinci dikey türev (2VD)

İkinci dikey türev (2VD) ise 1VD'nin birinci dikey türevidir. Beklendiği gibi, anomalinin genişliğini daha da azaltır ve teorik olarak nedensel manyetik kaya kütlelerinin genişliğini çok daha yakından yansıtmalıdır. 2VD teorisi ve hesaplaması sağlam potansiyel alan fiziğine dayansa da pratikte 2VD "gürültülü" olma eğilimindedir. En basit açıklama, 2VD'nin 1VD'den daha aşırı bir yüksek geçiş filtresi olmasıdır. Çok daha fazla ayrıntı sağlamaya çalışır ve ölçülen Kutba İndirgeme (RTP) sinyalinin daha yüksek frekanslı kısımlarını vurgular ve geliştirir. Bunu yaparken, ayrıca, ölçülen hat verilerindeki temel gürültü seviyesinden (Reeves, 2005) ve gridleme işlemi sırasında ortaya çıkan herhangi bir kusurdan oluşacak olan verideki doğal gürültüyü de geliştirir. Yakın grid aralıklı çok yüksek kaliteli veriler için 2VD net ve yorumlanabilir olmalıdır. Daha geniş grid aralığına ve belki de daha yüksek doğal gürültü seviyelerine sahip veri kümeleri için, jeolojik yapının çözünürlüğünün artırılması yerine engellendiği ölçüde, çok gürültülü ve karmaşık görünebilir.

Sinyal ve gürültü

Sinyali gürültüden ayıran belirgin bir seviyenin olmaması, sinyal işlemenin (ve fiziksel ölçümün) bir temelidir. Havadan manyetik araştırma verilerinde, ana gürültü kaynakları ağırlıklı olarak yüksek frekans ve çok düşük genliktir. Havadan manyetik verileri geliştirmek için kullanılan yüksek geçişli filtreler, bu özellikleri hem sinyalde hem de gürültüde vurgular. Temelde, sinyaldeki ince ölçekli ayrıntıları geliştirmeye

ne kadar çok çalışırsak, gürültüyü artırmaya o kadar yaklaşıyoruz. Bu nedenle daha aşırı yüksek geçiren filtreler kaçınılmaz olarak daha gürültülü olacaktır. Bu yorumlamada daha ılımlı yüksek geçiş filtrelerinden daha az değere sahip oldukları anlamına gelmez ancak daha karmaşık ve tartışmasız estetik açıdan daha az hoş giden görüntüler üretirler. Havadan manyetik verilerdeki ince ölçekli ayrıntıları görselleştirmeye yönelik bu arayışta yararlı bir kural, verilerde hiçbir gürültü görünmüyorsa ve veri kümesi temiz ve düzgün görünüyorsa, o zaman en küçük sinyal seviyesini görmediğimiz sonucu çıkar. Başka bir deyişle, bir veri kümesindeki en küçük sinyalleri görmek istiyorsak, aynı zamanda belirli bir derecede gürültü görmeyi ve bununla başa çıkmayı beklemeliyiz. En küçük sinyaller yorumlamada çok az ilgi çekse de biraz gürültülü ve karmaşık görünen görüntüleri kullanmaya hazırlıklı olmak ihtiyatlı olacaktır. Son derece pürüzsüz görünen yüksek geçişli filtrelenmiş havadan manyetik verilerin görüntülerine karşı dikkatli olmak da ihtiyatlı bir davranıştır. Yorumcu için pürüzlü kenarlar genellikle ince ama önemli yapıları tanımanın anahtarıdır.

Aşağı doğru uzanım

Potansiyel alan teorisi bize, alanın bir yüzeydeki ölçümlerle tanımlandıktan sonra, o ölçüm yüzeyinin üstündeki ve altındaki yüzeylerde hesaplanabileceğini söyler. Bu devamın matematiksel tanımı basittir (Reeves, 2005) ve sayısal uygulaması yalnızca verilerin kalitesiyle sınırlıdır (teorik olarak veriler manyetik kaynağın tepesinden aşağı doğru devam edebilir). Ölçüm yüzeyinin altındaki alanın hesaplandığı aşağı doğru uzanım, bize başka bir yüksek geçişli filtreleme seçeneği sunar. Manyetik tepkileri keskinleştirme ve yorumlayıcıya jeolojik yapının daha net bir görüntüsünü sağlama bağlamında, aşağı doğru uzanımın 1VD ve 2VD'ye göre belirgin bir avantajı yoktur. Optimal kalitedeki veriler için, uçuş yüksekliğinin yaklaşık yarısına kadar aşağı doğru uzanım kolaylıkla elde edilebilir. Bunun ötesinde verilerdeki gürültü sınırlamaları 2VD ile karşılaşılanlara benzer etkilerle sonuçlanır. Tersine ölçüm yüzeyinin üzerindeki yüzeylere devam edilmesi sayısal bir zorluk çıkarmaz ve doğruluğu yalnızca veri setinin yanal boyutları ile sınırlıdır.

Otomatik kazanç kontrolü (AGC)

Otomatik Kazan Kontrolü (AGC), sık karşılaşılan dinamik aralık sorunuyla başa çıkmamızı sağlayan filtreleme araç kutusundaki son derece yararlı başka bir öğedir.

Çoğu havadan manyetik araştırma artık binlerce nT 'lik sinyalleri içerirken, aynı zamanda 0,25 nT veya daha düşük seviyelerde gerçek jeolojik sinyale sahiptir. Hem büyük hem de küçük sinyalleri tek bir sunumda (profiller veya görüntüler) tasvir etme zorluğu, radyo sinyal işlemede ve ardından sığ reflektörlerden gelen çok büyük genlikli sinyalin aynı bölümde referans alınması gereken sismik veri işlemede ele alınmıştır. Kilometrelerce derinlikte reflektörlerden gelen küçük sinyallerle Rajagopalan (1987) ve Rajagopalan ve Milligan (1994), AGC 'yi havadan manyetik veri işleme için uyarlayarak değişken derecede genlik değişikliğine izin verdi ve çoğu veri kümesinin sığ yapısal yönlerinde dikkate değer bir iyileştirme sağladı. AGC aşırı derecede yüksek geçiren bir filtredir. Ayrıca AGC 'nin, diğer aşırı yüksek geçişli filtreler gibi, gürültüyü ve düşük sıralı sinyali nasıl yükselttiğini de gösterir. Bu havadan manyetik verilerindeki en düşük dereceli sinyalleri net bir şekilde görebilmek için, her zaman verilerdeki gürültünün bir derecesini tolere etmek zorunda olduğumuz fikrini pekiştiriyor.

Eğim türevi

Potansiyel alan eğimi, 1VD oranının ark tanjantı ve toplam yatay türevin modülüdür (Miller ve Singh, 1994). Bir orandan türetildiği için normalleştirilmiş bir veri yoğunluğu aralığına sahiptir. 1VD'ye benzer modeller üretir, ancak daha derin ve daha sığ kaynaklardan gelen yanıtları benzer şekillerde gösterir ve bu nedenle, bireysel manyetik kaya birimlerini izole etmeyi ve izlemeyi amaçlayan yorumlayıcı için kafa karıştırıcı olabilir.

Yönlü filtreler

En yaygın yön filtreleri, gölgeli rölyef operatörleri ('aydınlatmalar' ve 'güneş açıları' olarak da bilinir) ve yatay gradyanlardır. Bunlar, veri kümelerini seçilen bir yönden (yatay ve dikey olarak) dijital olarak aydınlatmak, aydınlatma yönüne bakan veri gradyanlarında daha açık tonlar ve aydınlatma yönünden uzağa bakan gradyanlarda daha koyu tonlar oluşturmak için raster görüntüleme sistemleriyle birlikte kullanılır. Bu gölgeli görüntüler tipik olarak mükemmel bir görsel etkiye sahipken ve verilerdeki seçili yapısal eğilimleri geliştirebilse de görüntülere getirdikleri yanlılığın farkında olmak önemlidir. Basit bir ifadeyle, bu yönlü filtreler, aydınlatma yönüne paralel özelliklere karşı ayırım yapar ve aydınlatmaya dik yönde yanlış eğilimler getirme potansiyeline sahiptir. Ayrıca tepe tepkilerini de (çoğunlukla aydınlatma yönüne

doğru) hareket ettirirler, bu nedenle anormallikleri doğru bir şekilde bulmak için kullanılamazlar. Gölgeleme potansiyel olarak yorumlama sürecini yanıltabilir ve engelleyebilir, ancak verilerdeki istenmeyen veya dikkat dağıtıcı özellikleri bastırmak için de kullanılabilir. Gölgeleme, havadan manyetik verilerin estetiğini kesinlikle geliştirirken, dikkatli kullanılması gerektiğini ve yoğunluk değişimlerinin yine de fark edilebilmesi için gölgelemenin ince (yani düşük kontrastlı) olması gerektiğini vurguluyoruz. Yönlü filtrelerin görüntü gölgelemesi biçiminde olması gerekmez. Her ikisi de düzeltme ve yönlendirme gibi işlemler yönlü filtrelerdir ve bazı durumlarda yorumlayıcı için faydalı olsalar da (gölgeleme gibi) gerçek ve önemlileri jeolojik özellikleri gizleyebilecekleri ve hatta ortadan kaldıracabilecekleri için dikkatli kullanılmalıdır. Özet olarak, yönlü filtreler, belirli yapısal özellikleri geliştirmek veya istenmeyen özellikleri bastırmak için kullanılabilir, ancak yorumlayıcı, bunların havadan manyetik haritalarda yapıyı yanlış bir şekilde tasvir etme potansiyellerinin farkında olmalıdır.

4.3.1.2. Alçak geçiş filtresi (Low-pass filter)

Alçak geçişli filtrelerin çoğu, uygulamada yüksek geçişli filtrelere göre doğası gereği daha basittir çünkü ayrıntıları geliştirmeye çalışmak yerine etkili bir şekilde bastırırlar. Yukarıda tartışıldığı gibi, alçak geçiren filtreler daha derin kaynakları vurgulamayı ve daha sığ kaynakları bastırmayı amaçlar. Alçak geçiren filtrelerin uygulandığı durumlar, sığ manyetik örtü (örneğin daha genç volkanik akışlar) tarafından gizlenebilen derin temel geometrisinin incelenmesini ve nispeten sığ ana kayayı kaplayan laterit ve buzul gibi yüzeysel manyetik kaynakların bastırılmasını içerir.

Yukarı uzanım

Yukarıya doğru uzanım genellikle bu durumlarda seçilir, çünkü daha küçük hacme ve/veya doğrusal boyutlara sahip olan daha sığ malzemedeki gelen sinyal, daha derin, daha büyük hacimli kaynaklardan gelen sinyalden daha hızlı azalmalıdır. Bu genellikle tatmin edici sonuçlara ulaşırken, sığ kaynakların bastırıldığı ancak filtrelenen verilerde asla çıkarılmadığı unutulmamalıdır. Sığ sinyalin yüksek yoğunluğa ve/veya önemli doğrusal boyutlara sahip olduğu yerlerde, yukarı doğru devam büyük yüksekliklere götürülse bile, varlığının devam etmesi muhtemeldir.

Dalga boyu filtreleme

Diğer bir düşük geçişli filtreleme stratejisi, sinyaldeki daha uzun dalga boylarını daha kısa dalga boylarından ayırmaktır. Sayısal uygulamada nispeten basit ve sezgisel olarak mantıklı olmasına rağmen, dalga boyu filtreleme, kaynakların farklı derinliklerden net bir şekilde ayrılmasıyla sonuçlanmaz. Bunun nedeni, derin kaynaklardan gelen toplam sinyalin hem kısa hem de uzun dalga boylarını içermesi ve buna karşılık, sığ kaynaklardan gelen sinyallerin hem uzun hem de kısa dalga boyu bileşenlerini içermesidir. Teoride tam olarak uygulanmasa da uzun dalga boylarını tutan ve kısa dalga boylarını kaldıran filtreler, derin manyetik kaynakların incelenmesinde sıklıkla yararlı sonuçlar verir.

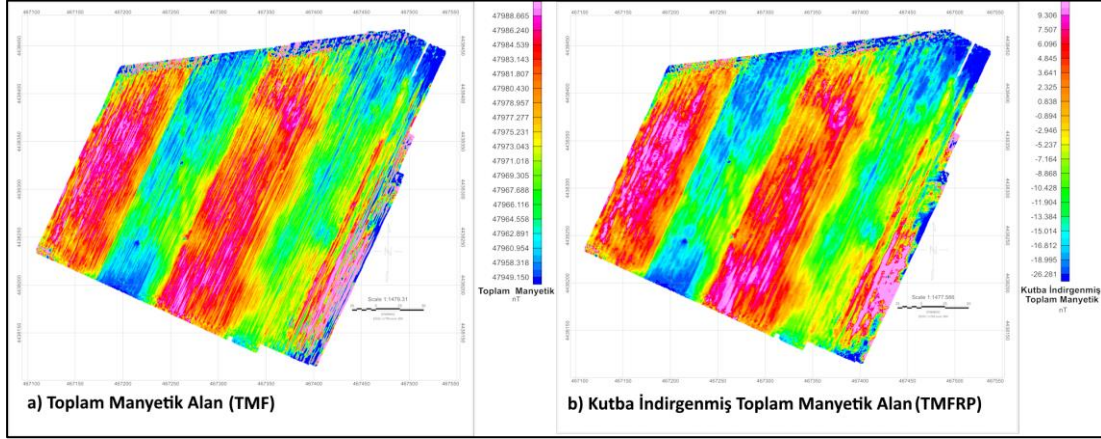
Ayırma filtreleme (derinlik dilimleme)

Ayırma filtrelemesi aslında dalga boyu filtrelemeye göre daha karmaşık bir yaklaşımdır. Bireysel manyetik kaynakların ve özellikle manyetik kaynakların topluluklarının Fourier spektrumları üzerine yapılan çalışmalar, kaynakların derinliklerinin bu spektrumlardan belirlenebileceğini göstermiştir. Çok farklı derinliklerden gelen kaynaklar, uygun koşullarda, farklı derinliklerden gelen sinyallerin temiz bir şekilde ayrılmasının sağlanabileceği ölçüde, spektrumlarda karakteristik modeller gösterir. Spector ve Grant (1970) bu metodolojinin uygulanmasına öncülük etmiştir ve sedimanter havzalarda yorumlamaya yardımcı olmak için muazzam bir potansiyele sahiptir. Uygulamayı gösteren son yayınlar arasında Morgan (1998) ve Cowan ve Cowan (1993) yer alır. Havadan manyetik verilerin filtrelenmesi, verilerin yorum için hazırlanmasının önemli bir parçasıdır. Geniş filtre seçenekleri, yorumlayıcıya verilerin belirli yönlerine dikkat çekme alanı sağlar ve bu, her zaman altta yatan jeolojiye ilişkin daha net içgörüler sağlar. Zeki ve seçici bir filtre seçimi çok önemlidir. Kapsamlı bir yaklaşım uygulamak ve verilerin çok fazla filtrelenmiş sürümünü oluşturmak, yorumlayıcıyı aydınlatmaktan çok kafa karıştırmaya neden olur.

4.3.2. Toplam manyetik alan (TMF) ve kutba indirgeme (RTP)

Veri yorumlama, filtrelenmiş verilerden Toplam Manyetik Alan (TMF) ve Kutup İndirgeme (RTP) hesaplamasıyla başlar (Şekil 4.4). Bu açıdan bakıldığında, bu alanın veri toplama günündeki manyetik eğim ve sapmaya ilişkin verileri uygulayarak ve

Uluslararası Jeomanyetik Referans Alanı (IGRF) ile, cisimler için doğrudan merkezi manyetik kaynakların bir görünümü elde edilebilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Araştırma sahasındaki bir parseldeki verilere uygulanan a) Toplam manyetik alan, b) Kutba indirgenmiş toplam manyetik alan.

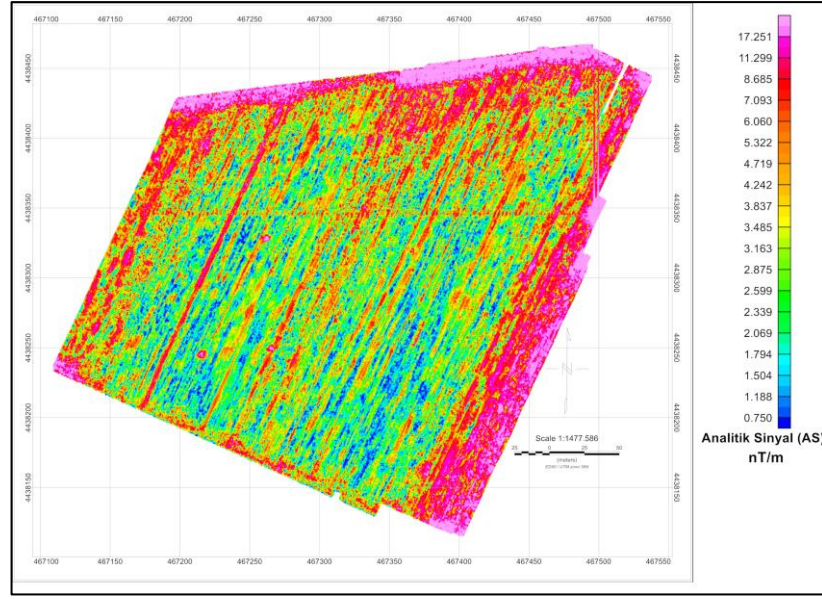
4.3.3. Analitik sinyal filtrelemesi (AS)

Yeraltındaki yapıların sınırlarını belirlemeye yönelik çok sayıda türev yöntemi jeofizik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Analitik Sinyal yöntemi Roest ve diğerleri tarafından geliştirilen türev yöntemlerinden biridir. Bu yöntem bir manyetik alanın birinci dereceden yatay ve düşey yöndeki türevlerinden (4.1) elde edilmekte olup anomaliye neden olan yapıların sınırlarının belirlenmesinde etkili ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin manyetik verilere uygulanması sonucunda elde edilen genlik değerlerinin maksimum ve minimum olduğu bölgeler anomaliye neden olan yapıların olduğu yerleri gösterir.

Analitik Sinyal formülü şu şekildedir;

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \quad (4.1.)$$

Bu çalışmada saha üzerindeki patlamış ve patlamamış mühimmatların sınırlarını net bir şekilde belirleyebilmek amacıyla analitik sinyal yöntemi kutba indirgenmiş manyetik verilere uygulanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Araştırma sahasındaki bir parseldeki verilere uygulanan Analitik Sinyal (AS) filtrelemesi.

4.4. Manyetik Verilerin Yorumlanması

Manyetik yöntem, tüm geleneksel jeofizik teknikler arasında hem gizli cevherlerin hem de maden yataklarıyla ilişkili yapıların aranmasında yaygın olarak kullanılan en eski, en basit ve en güvenilir yöntemdir (Sharma, 1987).

Son zamanlarda, bilinen yüzeysel mineral yataklarının çoğunun hızlı bir şekilde tükenmesiyle manyetik yöntem, ekonomik olarak tortuların altındaki yapısal sınırları belirlemede ve yeni mineral rezervlerini keşfetmede muazzam uygulamalar kazandı (Ekwok ve diğerleri, 2020; Shayanfar ve diğerleri, 2016).

Manyetik verileri işleme, filtreleme, görüntüleme ve yorumlama teknikleri, yüksek hızlı bilgisayarların, yapay zekanın ve renkli raster grafiklerin ortaya çıkması ve uygulanmasıyla ilerlemiştir. İşlenen veriler, cisimlerin gömülü cisimlerin derinlikleri, geometrisi ve manyetik özellikleri açısından analiz edilir ve yorumlanır. Yorumlayıcılar, manyetik verilerin jeolojik ve yapısal yorumunda yüksek güven düzeyine sahiptir.

Manyetik verilerin tersine çevrilmesi, gömülü bir jeolojik yapının veya nesnenin karakteristik fiziksel parametrelerinin bilinen ve/veya önceden tanımlanmış modellerle benzerliklerini varsayarak belirlemeyi amaçlayan aşamalı bir modelleme sürecidir. Jeolojik araştırmalarda ilgilenilen yapılar genellikle küreleri, sonsuz uzun silindirleri, ince levhaları ve jeolojik temasları içerir ve tüm modelleme prosedürleri,

derinlik, konum ve şekil (genlik ve eğim açısı) gibi gizli fiziksel özelliklerini tanımlayan parametreleri belirlemeye çalışır. Yıllar içinde bu parametrelerin belirlenmesinde farklı tekniklerin uygulandığına dair raporlar yapılmıştır. Bu prosedürler, Euler ters evrişimi (Essa ve diğerleri, 2020) Werner ters evrişimi (Ekwok ve diğerleri, 2019, 2020); Essa ve diğerleri, 2020), model katmanlama (Pilkington, 2006) ve parametrik eğriler (Abdelrahman ve diğerleri, 2012). Diğerleri adil fonksiyon minimizasyon prosedürünü ve Uç Noktalardan Derinlik (DEXP) (Fedi, 2007; Tlas ve Asfahani, 2011), doğrusal en küçük kareler yaklaşımı (Abo-Ezz ve Essa, 2016) ve tek yönlü algoritmayı (Tlas ve Asfahani, 2015) kullanır.

Bu çalışmada 1 metre aralıklarla ve 1 metre uçuş yüksekliğinde hassas gps sistemi ve yükseklik algılayıcılar ile alınan havadan manyetik veriler Oasis Montaj 9.8 programında bir veri tabanı oluşturularak, yine aynı programda bazı filtrelemeler uygulanıp Toplam Manyetik Alan (TMF), Kutba İndirgenmiş Toplam Manyetik Alan (RTP) ve Analitik Sinyal (AS) manyetik haritaları oluşturulmuştur. Daha sonra AS haritalarındaki anomaliler ile yüzeye yakın patlamış ve patlamamış mühimmatların yerleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Patlamış ve patlamamış mühimmatların (UXO) manyetik anormallikleri genellikle kaynağın yatay ölçüm düzleminde uzaklığına kıyasla küçük olduğu bir dipol alanına karşılık gelir (Butler, 2003). Yorumcunun amacı, tanınan her bir manyetik anomali için nesnenin konumunu ve manyetizasyonunu tanımlamaktır. İki ana yarı otomatik yöntem önerilmiştir: (1) Analitik Sinyal (AS) (Nabighian, 1972; Roest ve diğerleri, 1992) ve (2) Euler yöntemi (Thompson, 1982; Reid ve diğerleri, 1990). Her iki yöntem de manyetik alanın üç türevi hakkında bilgi gerektirir. Genel olarak iki yatay türev ızgaralı verilerden ve dikey türev 2-B frekans alanında dikey türev ile elde edilir. Bu nedenle, analitik sinyal veya Euler yöntemi kullanılarak yapılan yorumlamanın sonuçları büyük ölçüde verinin grid kalitesine ve verilerde parazit olup olmadığına bağlıdır. Ayrıca dikey türev 2 boyutlu frekans alanında türetildiği için, hiçbir veri noktasının ölçülmediği alanlarda grid aralığının tahmin edilmesi gerekir. Son zorluk, her iki yöntemin de mıknatıslanmış kaynakların yalnızca yatay konumunu ve derinliğini vermesi ve mıknatıslanmasını vermemesidir. Elbette bu yöntemler, önceden mıknatıslanma olmaksızın yapısal yorumlar yapmak için türetilmiştir, ancak UXO tespiti ve karakterizasyonu durumunda, mıknatıslanma parametrelerinin tahmini araştırmanın önemli bir parçasıdır.

Bu çalışmada havadan alınan manyetik verilere ilk olarak topoğrafya düzeltmesi, deklinasyon ve inklinasyon açılarının hesaplanması, baz düzeltmesi, toplam manyetik alan, kutba indirgeme yapılmış. Ardından hat seviye düzeltmesi, mikro seviye düzeltmesi ve anomalilerin iyice belirgin hale gelmesi için yüksek geçiş filtresi (IVD) uygulanmıştır. En son Analitik Sinyal haritalarına göre anomaliler tespit edilmeye çalışılmıştır.

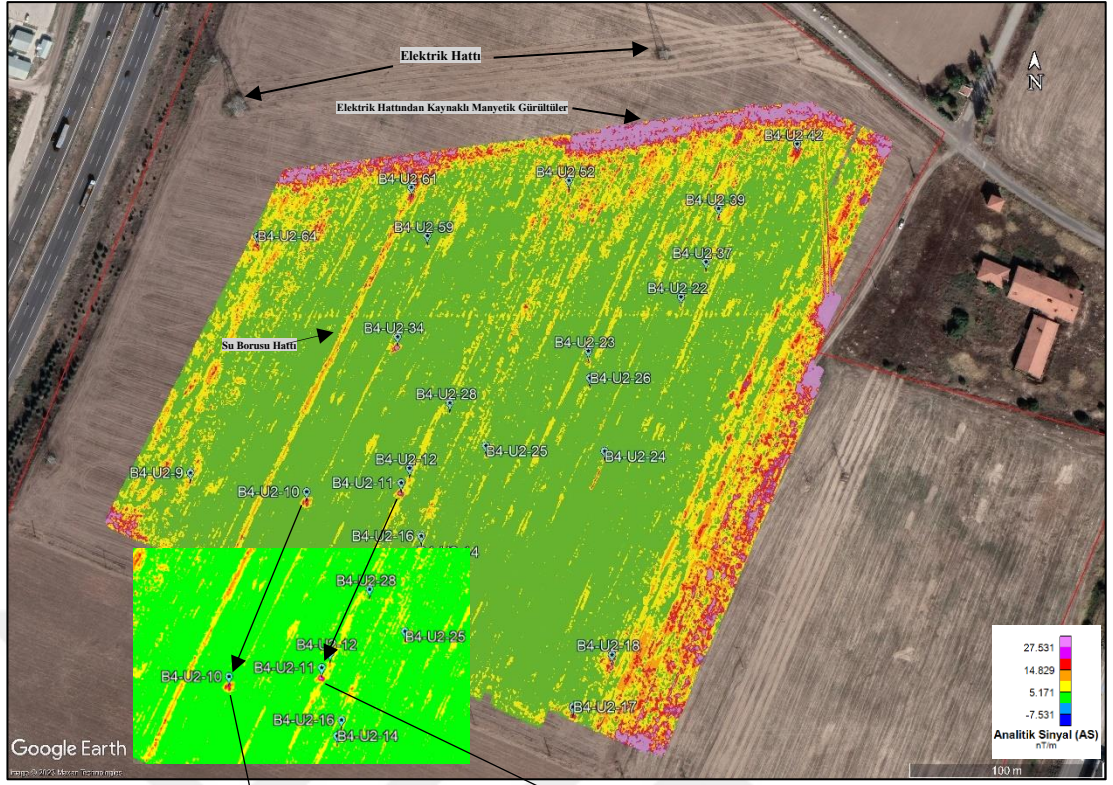


5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında Ankara'nın Kazan ilçesine bağlı eski bir askeri atış alanı olan bir sahada patlamış ve patlamamış mühimmatlar son zamanlarda dünya da popüler olan dron teknolojisi kullanılarak yapılan havadan manyetik yöntem ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Araştırma kapsamında DJI M600 Pro marka dron ile SHP Engineering firmasına ait SkyHub lazer altimetre kiti, hassas gps sistemi ve Amerikan menşei Geometrics firmasının havadan manyetik çalışmalar için üretmiş olduğu sezyum buharının kullanıldığı MagArrow manyetik sensörü kullanılmıştır.

Bir metre yüksekliğinde ve bir metre aralıklı uçuş hatları hazırlanması ve bloklarının planlanması için açık kaynak kodlu QGIS programı, dron uçuşları için SHP Engineering'in yazılımı olan UgCS programı, verilerin indirilmesinde ve farklı formatlara dönüştürülmesinde Geometrics firmasının paket programı olan Geometrics Survey Manager programı ile veri işleme ve haritalandırma aşamasında ise Amerikan Bentley grup firmasının Seequent adlı yerbilimleri yazılımları üreten firmasına ait Oasis Montaj 9.8 programı ve Google Earth programları kullanılmıştır.

Bu çalışmada dron ile bir metre aralıklarla toplamda yaklaşık 1250 km uçuş yapılmıştır. Bu tezde sadece B1 ve B4 parsellerinde alınan manyetik verilerin haritaları ve bazı sonuçları gösterilmiştir (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8).



Şekil 5.1. B4 parselinde tespit edilen manyetik anomaliler sonucu bulunan bazı mühimmatlar.

Şekil 5.1’de gösterilen haritada B4 parselinde alınan manyetik veriler sonucu; B4-U2-10 ve B4-U2-11 noktalarında belirlenen 10 nT ’den büyük manyetik anomaliler tespit edilmiş, daha sonrasında kazılan bu noktalarda 130 ve 70 cm derinliklerinde UX022-232 ile UX022-233 numaralı mühimmatlar bulunmuştur. Bu mühimmatlar 90 mm uzunluğunda kör tapalı top mermileridir. Manyetik anomaliyi dikkatli incelediğimizde B4-U2-10 noktasından çıkan UX022-232 numaralı mühimmatın daha fazla oksitlendiği için daha güçlü ve yaygın halde manyetik anomali verdiği görülmektedir. Diğer anomali veren noktalarda da 70-75, 90 ve 155 mm uzunluklarında tapasız, kör tapalı, hakiki tapalı mühimmatlar tespit edilmiştir. Çıkarılan 90 mm ve 155 mm uzunluğundaki bazı mühimmatların listesi Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. B4 parselinde tespit edilen 90 mm uzunluktaki bazı mühimmatların listesi.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Kazı Tarihi	Mühimmat Çapı	Tapalı Türü	Çıkarılan Derinlik
UXO22-205	B4-355	31.08.2022	90	Kör Tapalı	80 cm
UXO22-206	B4-811	31.08.2022	90	Kör Tapalı	40 cm
UXO22-207	B4-546	31.08.2022	90	Kör Tapalı	40 cm
UXO22-210	B4-753	1.09.2022	90	Kör Tapalı	10 cm
UXO22-212	B4-972	1.09.2022	90	Hakiki Tapalı	130 cm
UXO22-213	B4-1011	1.09.2022	90	Kör Tapalı	20 cm
UXO22-215	B4-1426	1.09.2022	90	Kör Tapalı	100 cm
UXO22-216	B4-1438	1.09.2022	90	Kör Tapalı	160 cm



Şekil 5.2. B4 parselinde tespit edilen 90 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-1.



Şekil 5.3. B4 parselinde tespit edilen 90 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-2.



Şekil 5.4. B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-1.



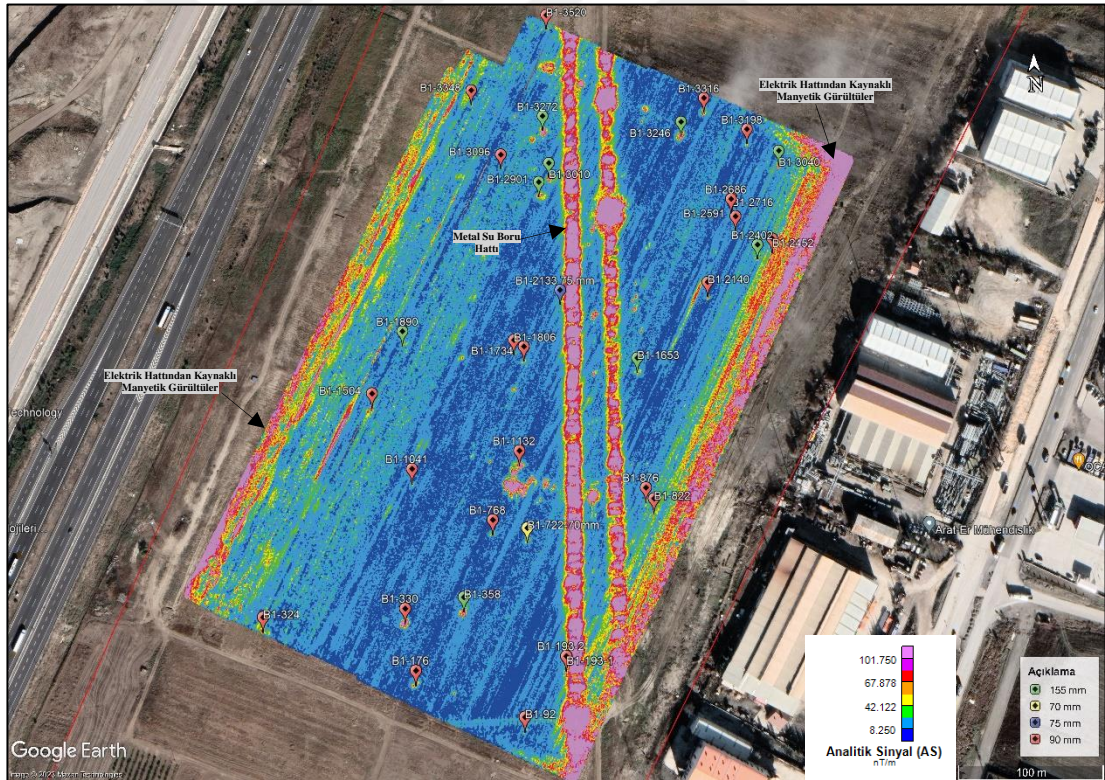
Şekil 5.5. B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-2.

Tablo 5.2. B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki bazı mühimmatların listesi.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Kazı Tarihi	Mühimmat Çapı	Tapu Türü	Çıkarılan Derinlik
UXO22-208	B4-543	31.08.2022	155	Kör Tapalı	100 cm
UXO22-209	B4-381	31.08.2022	155	Kör Tapalı	90 cm
UXO22-211	B4-790	1.09.2022	155	Kör Tapalı	110 cm

Tablo 5.2. (Devamı) B4 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki bazı mühimmatların listesi.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Kazı Tarihi	Mühimmat Çapı	Tapu Türü	Çıkarılan Derinlik
UXO22-214	B4-1091	2.09.2022	155	Tapasız	100 cm
UXO22-220	B4-1805	2.09.2022	155	Kör Tapalı	100 cm
UXO22-221	B4-1801	2.09.2022	155	Kör Tapalı	100 cm
UXO22-222	B4-1786	2.09.2022	155	Tapasız	100 cm
UXO22-223	B4-1812	1.09.2022	155	Tapasız	130 cm



Şekil 5.6. B1 parselinde tespit edilen anomaliler sonucu bulunan bazı mühimmatların Google Earth üzerindeki manyetik anomali konumları.

Şekil 5.6.'daki haritada görülen B1 numaralı parselde hazırlanan manyetik anomali haritasında görülmektedir. Haritada da görüldüğü üzere parselin ortasından geçen iki büyük demir su borusu hattı bariz bir şekilde çok yüksek manyetik anomali (100 nT

ve üzeri) verdiği görülmektedir. Bu parselde de parselin köşelerinden geçen elektrik hatlarından dolayı, köşe noktalarında elektrik hatlarından kaynaklı elektromanyetik gürültülerin etkisi görülmüştür. Elektrik ve doğalgaz boru hattından kaynaklanan yüksek manyetik anomali veren gürültülü alanların üzerinde bulunabilecek olası mühimmat noktalarını maskelenmiş olup ve tespit edilmeleri zorlaşmıştır. İşveren bu noktalardaki alanları el ile taşınabilen metal dedektörler ile tekrar taramıştır.

B1 numaralı bu parselde 70, 75, 90 ve 155 mm uzunluğundaki mühimmatlar tespit edilmiş olup, boyutları büyük olan, yüzeye daha yakın ve çok fazla oksitlenmiş mühimmatlar özellikle 155mm uzunluğundaki mühimmatlar daha geniş manyetik anomaliler vermiştir. Parselde tespit edilen mühimmatların listesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.3. B1 parselinde tespit edilen 70, 75 ve 90 mm uzunluktaki mühimmat listesi.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Kazı Tarihi	Mühimmat Çapı	Tapa Türü	Çıkarılan Derinlik
UXO22-04	B1-722	18.05.2022	70 mm	Kör Tapa	105 cm
UXO22-36	B1-2133	24.05.2022	75 mm	Kör Tapa	70 cm
UXO22-16	B1-92	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	10 cm
UXO22-01	B1-176	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	70 cm
UXO22-17	B1-193-1	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	60 cm
UXO22-18	B1-193-2	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	60 cm
UXO22-06	B1-324	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	100 cm
UXO22-02	B1-330	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	30 cm
UXO22-05	B1-768	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	70 cm
UXO22-19	B1-822	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	60 cm

Tablo 5.3. (Devamı) B1 parselinde tespit edilen 70, 75 ve 90 mm uzunluktaki mühimmat listesi.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Kazı Tarihi	Mühimmat Çapı	Tapa Türü	Çıkarılan Derinlik
UXO22-20	B1-876	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	70 cm
UXO22-22	B1-1041	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	100 cm
UXO22-21	B1-1132	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	10 cm
UXO22-23	B1-1504	20.05.2022	90 mm	Kör Tapa	50 cm
UXO22-27	B1-1734	23.05.2022	90 mm	Kör Tapa	50 cm
UXO22-28	B1-1806	23.05.2022	90 mm	Kör Tapa	60 cm
UXO22-25	B1-2140	21.05.2022	90 mm	Kör Tapa	60 cm
UXO22-38	B1-2452	24.05.2022	90 mm	Kör Tapa	20 cm
UXO22-08	B1-2591	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	60 cm
UXO22-09	B1-2716	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	120 cm
UXO22-11	B1-3198	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	80 cm
UXO22-13	B1-3316	18.05.2022	90 mm	Kör Tapa	25 cm
UXO22-39	B1-3348	25.05.2022	90 mm	Kör Tapa	140 cm
UXO22-40	B1-3520	26.05.2022	90 mm	Kör Tapa	70 cm
UXO22-31	B1-3096	24.05.2022	90 mm	Kör Tapa	10 cm

Tablo 5.4. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki mühimmat listesi.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Kazı Tarihi	Mühimmat Çapı	Tapa Türü	Çıkarılan Derinlik
UXO22-03	B1-358	18.05.2022	155 mm	Kör Tap	50 cm
UXO22-24	B1-1653	21.05.2022	155 mm	Kör Tap	120 cm
UXO22-29	B1-1890	23.05.2022	155 mm	Kör Tap	110 cm
UXO22-37	B1-2402	24.05.2022	155 mm	Kör Tap	80 cm
UXO22-34	B1-2901	24.05.2022	155 mm	Kör Tapa	110 cm
UXO22-33	B1-3010	24.05.2022	155 mm	Kör Tapa	70 cm
UXO22-12	B1-3246	18.05.2022	155 mm	Kör Tapa	75 cm
UXO22-32	B1-3272	24.05.2022	155 mm	Kör Tapa	80 cm

B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 de gösterilmiştir.



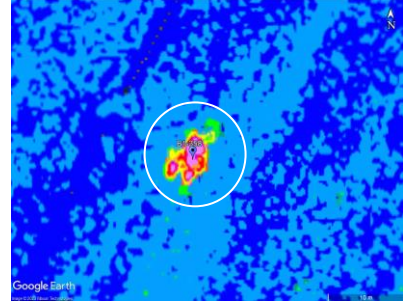
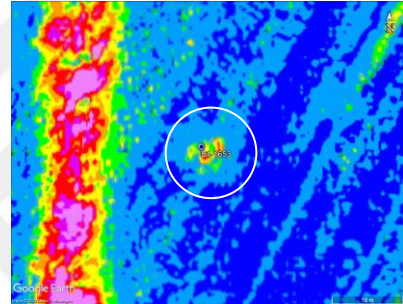
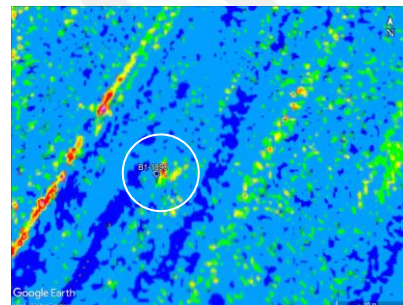
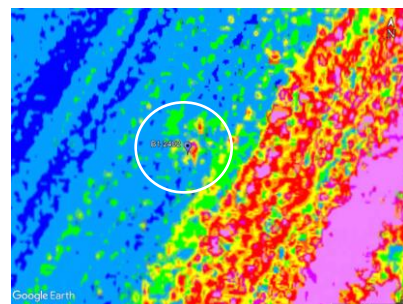
Şekil 5.7. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-1.



Şekil 5.8. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluğundaki mühimmatların fotoğrafları-2.

Farklı derinliklerden çıkarılan 155 mm'lik mühimmatların verdikleri manyetik anomaliler Tablo 5.5.'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.5. B1 parselinde tespit edilen 155 mm uzunluktaki mühimmatların derinliklerine göre manyetik anomali yayılımları.

Mühimmat Numarası	Kayıt Numarası	Çıkarılan Derinlik	AS Manyetik Anomali Haritası
UXO22-03	B1-358	50 cm	
UXO22-24	B1-1653	120 cm	
UXO22-29	B1-1890	110 cm	
UXO22-37	B1-2402	80 cm	

Tablo 5.5'te gösterilen 155 mm uzunluğundaki bazı mühimmatların derinliklerine göre manyetik anomali kaliteleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamaya göre yüzeye yakın mühimmatlar daha yayvan ve daha yüksek manyetik anomali verirken, daha derindeki

mühimmatlardan ise elde edilen manyetik anomalilerin gücünün azaldığını görülmüştür.

Bu çalışmada Ankara ili, Kazan ilçesine bağlı eski bir askeri atış alanı olan sahada dron monteli havadan manyetik veriler ile patlamış ve patlamamış mühimmatlar tespit edilmeye çalışılmış ve örneklerde de görüldüğü üzere manyetik gürültülerin olduğu noktalarda veri kalitesi düşmesine rağmen sahada genel anlamda çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak patlamış ve patlamamış mühimmatların belirlenmesinde dron ile yapılan havadan manyetik verilerinin kullanılması; hem ekonomik ve hız açısından avantajlı olup, gelişen manyetik sensörlerin veri kalitesini artırması ve yeni teknolojilerin yönetime hızlı şekilde uyarlanması bu yöntemin en yüksek avantajlarından.

Ancak yüksek veri kalitesi yüksek veri getirdiğinden depolanması ve kontrol edilmesi arazi şartlarında oldukça zordur. Ayrıca rüzgârlı havalarda dron kontrolünün zor olması, elektrik hatları ile doğalgaz hatları gibi yüzeyi etkileyen bozucu manyetik alanlar detay çalışmalarında veri kalitesini kötü etkilemesi ve bunun yanında yeni bir teknoloji olması, dünyadaki çalışmaların yeterli düzeyde olmaması ve tecrübeli yetişmiş ekibin sektörde fazla olmaması günümüzde dron ile yapılan havadan manyetik çalışmaların dezavantajı olarak söyleyebiliriz.

Son olarak bu çalışmada kullanılan manyetik sensör çift olmasına rağmen tek bir manyetik sonuç vermektedir. Bilindiği üzere yüzeye yakın yapıların manyetik anomalilerin tespit edilmesinde arkeolojide de en çok kullanılan gradiyent manyetik yöntemidir. Artık yeni gelişen kuantum manyetik sensör teknolojileri ile bu yöntem dron ile daha kolay yapılabilir. Bunun için yüzeye yakın metalik nesne ve mühimmat aramalarında çok sensörlü ölçümlerden yararlanmakta fayda vardır. En az iki sensör kullanılarak gradiyent manyetik ölçümlerin alınması veri kalitesi ve yorumu bakımından daha yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abo-Ezz, E.R., Essa, K.S., 2016. A least-squares Minimization Approach for Model Parameters Estimate by Using A New Magnetic Anomaly Formula. Pure Appl. Geophys. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-015-1168-9>
- AFAD Risk Azaltma Planı (2021). Ankara Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü https://ankara.afad.gov.tr/kurumlar/ankara.afad/Kutuphane/ANKARA_IRAP_2021.pdf adresinden alınmıştır.
- Bhat S.V. (2002) Faraday:Father of Electromagnetism. Reson 7, <https://doi.org/10.1007/BF02896307>
- Billings, S., and Wright, D., 2009, Optimal Total-Field Magnetometer Configuration for Near-Surface Applications. Leading Edge, 28, no. 5, pp. 522-527. DOI: 10.1190/1.3124925
- Butler D. (2003), Implications of Magnetic Backgrounds for Unexploded Ordnance Detection, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2003.08.022>
- Çıvgın B. (2019) Genel Jeofizik Ders Notları, <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=5945>
- Cowan D, Cowan S (1993) Separation filtering applied to aeromagnetic data. Exploration Geophysics 24(4), 429–436.
- Cowan D, Dentith M (2003) Appendix: data processing and presentation. In Geophysical Signatures of South Australian
- Dr. Ariffin K.S. (2013) Geophysical Prospecting, Earth Science Department University of Melbourne, Australia
- Ekwok A.E. Akpan O.-I.-M. Achadu C.E. Thompson A.M. Eldosouky K. Abdelrahman P. Andráš Towards Understanding the Source of Brine Mineralization in Southeast 2022 Evidence from High-Resolution Airborne Magnetic Nigeria and Gravity Data. Minerals, 12(146), 1-18. <https://doi.org/10.3390/min12020146>.
- Ekwok S.E, Eldosouky M. A. (2022) Journal of King Saud University, Ebong Assessment of Groundwater Potential Using Geophysical Data: A Case Study In Parts of Cross River State, South-Eastern Nigeria. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102288>
- Ekwok, S.E., Akpan, A.E., Ebong, D.E., 2019. Enhancement and Modelling of Aeromagnetic Data Of Some Inland Basins, Southeastern Nigeria. J. Afr. Earth Sci. 155, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.02.030>
- Ekwok, S.E., Akpan, A.E., Kudamnya, E.A., 2020. Exploratory Mapping of Structures Controlling Mineralization in Southeast Nigeria Using High Resolution Airborne Magnetic Data. J. Afr. Earth Sci. 162, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103700>

- Essa, K.S., Elhussein, M., 2018. PSO (particle swarm optimization) for interpretation of magnetic anomalies caused by simple geometrical structures. *Pure Appl. Geophys.* 175, 3539–3553. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-018-1867-0>
- Fedi M. (2005) DEXP: a fast method to determine the depth to the sources of potential fields <https://library.seg.org/doi/10.1190/1.2144416>
- GEM Geophysical Electromagnetic Systems Company, GEM DRONEmag™: Ultra Light-Weight Potassium Magnetometer. <https://www.gemsys.ca/uav-magnetometers/> adresinden 2 Şubat 2020 tarihinde alınmıştır.
- Geometrics, MagArrow İHA Özelliği Manyetometre. <https://www.geometrics.com/product/magarrow/> adresinden 3 Ekim 2022 tarihinde alınmıştır.
- Hinze W.J.(1990),The Role of Gravity and Magnetic Methods in Engineering and Environmental Studies. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802785.ch4>
- Isles D. and Rankin L. (2013) Geological Interpretation of Aeromagnetic Data
- Keary, P. and Brooks, M. (1988) An Introduction to Geophysical Exploration. 1st Edition, Blackwell Scientific Publications, Oxford
- Larmor J (1897). LXIII. On The Theory Of The Magnetic Influence On Spectra; And On The Radiation From Moving Ions
- Lotha G. (23 Kasım 2018) Britannica Ansiklopedisi Web Sayfası Magnetic Pole. <https://www.britannica.com/science/magnetic-pole>
- Lotha G.(2022), Rodriguez E. (2016), Gregersen E. (2010) Britannica Ansiklopedisi Web Sayfası, Geomagnetic Storm of 1859: Additional Information, <https://www.britannica.com/science/geomagnetic-storm>
- Morgan R (1998) Magnetic anomalies associated with the North and South Morcombe Fields, U.K. In *Geologic Applications of Gravity and Magnetics: Case Histories.* (Eds RI Gibson and PS Millegan). Society of Exploration Geophysics. Geophysical Reference Series 8: American Association of Petroleum Geology. *Studies in Geology* 43, 85–91.
- Nabighian, M.N. (1972) The Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Anomaly Interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1440276>
- National Centers for Environmental Information (NOAA) (2020), World Magnetic Model. <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>
- Petrucci, Ralph H. (2007) *General Chemistry: Principles and Modern Applications.* 9th. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall
- QUSPIN Atomic Devices Company, The QuSpin Total-Field Magnetometer (QTFM) Gen-2. <https://quspin.com/qtfm-gen-2/> adresinden 10 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- Rajagopalan S (1987) The use of ‘automatic gain control’ to display vertical magnetic gradient data. *Exploration Geophysics* 18(2), 166–169.
- Rajagopalan S (2003) Analytic signal vs. reduction to pole: solutions for low magnetic latitudes *Exploration Geophysics* 34(4), 257–262.

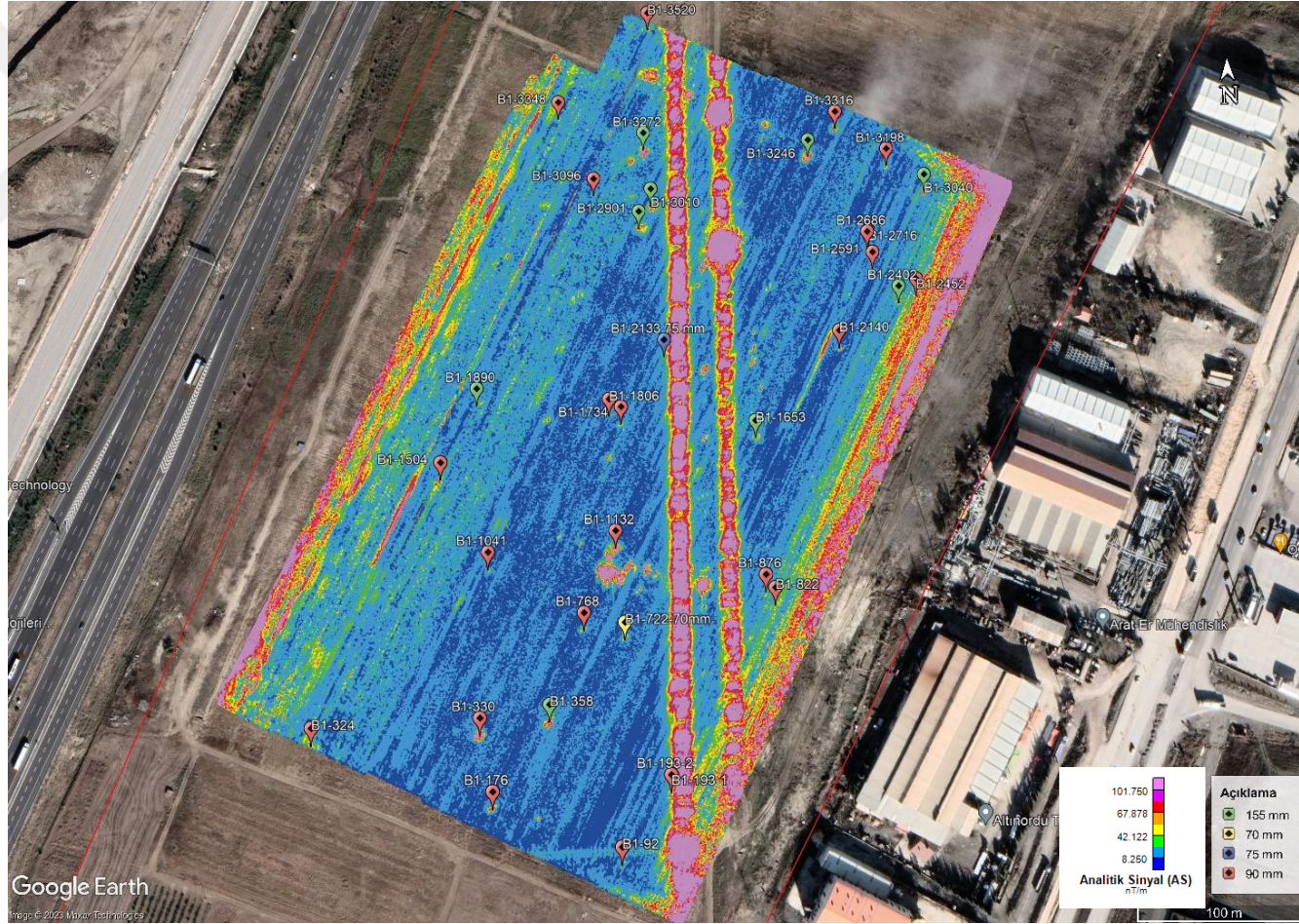
- Rajagopalan S, Clark DA, Schmidt P (1995) Magnetic mineralogy of the Black Hill Norite and its aeromagnetic and palaeomagnetic implications. *Exploration Geophysics* 26(3), 215–220.
- Rajagopalan S, Milligan P (1994) Image enhancement of aeromagnetic data using automatic gain control. *Exploration Geophysics* 25(4), 173–178.
- Reeves C (2005) Aeromagnetic surveys. Principles, practice and interpretation. Geosoft E-publication. www.geosoft.com/media/uploads/resources/technicalpapers/Aeromagnetic_Survey_Reeves.pdf.
- Reid, A. B. et al. (1990) Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution *GEOPHYSICS* (1990),55(1): 80
<https://doi.org/10.1190/1.1442774>
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M. (1992) Magnetic Interpretation Using 3-D Analytic Signal. *Geophysics*, 57, 116-125.
<http://dx.doi.org/10.1190/1.1443174>
- Sharma V.(1987) Magnetic Method Applied to Mineral Exploration., *Ore Geology Reviews*, [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(87\)90010-2](https://doi.org/10.1016/0169-1368(87)90010-2)
- Spector A, Grant FS (1970) Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics* 35(2), 293–302.
- Spencer GA, Pridmore DF, Isles DJ (1989) Integration of exploration data using colour space on an image processor. *Exploration Geophysics* 20(2), 31–35.
- Thompson, R.N. (1982) Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province. *Scottish Journal of Geology*, 18, 49-107. <https://doi.org/10.1144/sjg18010049>
- Tlas, M., Asfahani, J., 2011. Fair Function Minimization for Interpretation of Magnetic Anomalies Due to Thin Dikes, Spheres and Faults. *J. Appl. Geophys.* <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.06.025>
- Tlas, M., Asfahani, J., 2015. The Simplex Algorithm for Best-Estimate of Magnetic Parameters Related to Simple Geometric-Shaped Structures. *Math. Geosci.* <https://link.springer.com/article/10.1007/s11004-014-9549-7>
- Ukwang, E.E., Ekwueme, B.N., Kröner, A., 2012. Single zircon evaporation ages: Evidence for the Mesoproterozoic crust in S.E. Nigerian basement complex. *Chin. J. Geochem.* 31, 48–54.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11631-012-0548-4>

EKLER

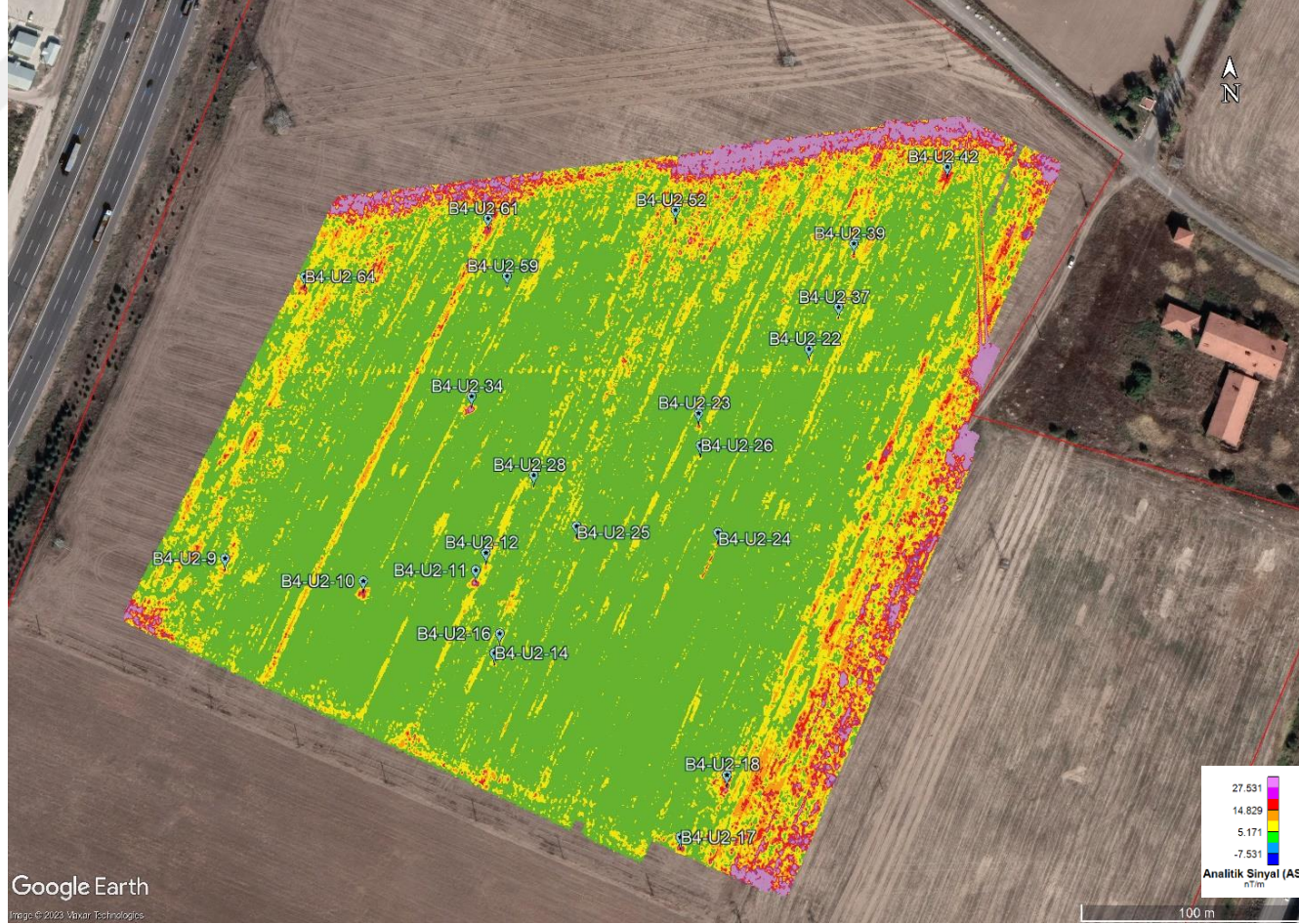
EK A. B1 Parseli Analitik Sinyal Manyetik Anomali Haritası (AS)

EK B. B4 Parseli Analitik Sinyal Manyetik Anomali Haritası (AS)





Şekil A.1. B1 Parseli Analitik Sinyal Manyetik Anomali Haritası (AS)



Şekil B.1. B4 Parseli Analtik Sinyal Manyetik Anomali Haritası (AS)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Coşkun ERTUĞRUL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeofizik Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012'den beri özel sektörde Jeofizik Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Ertuğrul C., Keskinsezer A. (2023, 22-23, Haziran). 11'inci Uluslararası Hakemli ve Katılımlı Avrasya Zirvesi Bilimsel Araştırmalar ve Güncel Gelişmeler Kongresi. Göreme, Nevşehir.