
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

MAYIN DEDEKTÖRÜ PROTOTİP TASARIMI

Çağrı SUİÇMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2020

Çağrı SUİÇMEZ tarafından hazırlanan "MAYIN DEDEKTÖRÜ PROTOTİP TASARIMI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cemal YILMAZ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ..……

İkinci Danışman: Doç. Dr. Mehmet Fatih IŞIK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hitit Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ..……

Başkan: Prof. Dr. İlhan KOŞALAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ..……

Üye: Prof. Dr. Yusuf SÖNMEZ

Elektrik Üretim İletim ve Dağıtımı Bölümü, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ..……

Üye: Doç. Dr. Ali SAYGIN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ..……

Tez Savunma Tarihi: 14/05/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……..…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Çağrı SUİÇMEZ

14/05/2020

MAYIN DEDEKTÖRÜ PROTOTİP TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Çağrı SUİÇMEZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2020

ÖZET

Gömülü kara mayınları dünya çapında insan hayatı ve sağlığı için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Büyük çoğunluğu Asya ve Afrika'da olmak üzere dünya üzerinde 100 milyonu aşkın gömülü kara mayınlarının olduğu resmi kaynaklarda belirtilmiştir. Bu gömülü kara mayınlarının doğru ve etkili tespiti hem askeri hem de sivil mayın temizleme açısından büyük önem arz etmektedir. Gömülü kara mayınlarının tespitinde literatüre geçmiş çok sayıda yöntem vardır. Bu yöntemler genellikle aktif sensörleri temel alan dedektörler ve geliştirilen mayın tarama sistemleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Fakat aktif sensörlü dedektörlerin en büyük handikapı gömülü olan kara mayınlarının tetikleme mekanizmalarının gönderilen sinyallerle tetiklenerek patlamalarına yol açmasıdır. Bu handikapı ortadan kaldırmak için pasif sensörlü detektörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada kara mayınlarını tespit etmede etkili bir yöntem olan manyetik anomali ve bu anomaliyi ölçmek için pasif sensör kullanılmıştır. Şimdiye kadar olan çalışmalarda bu yöntemin kullanılmasına rağmen hiçbir zaman elde taşınılabilen portatif bir dedektör üretilmemiştir. Çalışmamızda üretilen dedektör prototipinin yapımında temelde, kontrolör olarak mini bir bilgisayar olan Raspberry Pi, pasif bir manyetik anomali sensörü olan TE-100 sensörü ve gerekli diğer elektronik elemanlar kullanılmıştır. Bu dedektör prototipi ile değişik toprak, mayın tipleri ve farklı yüksekliklerde çeşitli ölçümler alınarak dedektör prototipinin mayın tespitinde etkili bir rol oynadığı sonuçlarla birlikte sunulmaktadır.

Bilim Kodu	:	90534
Anahtar Kelimeler	:	Manyetik anomali, Mayın tespiti, Mayın dedektörü
Sayfa Adedi	:	75
Danışman	:	Prof. Dr. Cemal YILMAZ
İkinci Danışman	:	Doç. Dr. Mehmet Fatih IŞIK

MINE DETECTOR PROTOTYPE DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Çağrı SUİÇMEZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2020

ABSTRACT

There are major dangers to human life and health in the world because of buried landmines. It is stated in official sources that there are over 100 million buried landmines in the world, most of them in Asia and Africa. Accurate and effective detection of these buried landmines is a great importance for both military and civilian mine clearance. There are many methods in the literature for the detection of buried landmines. These methods are generally carried out by detectors based on active sensors and developed mine screening systems. But the biggest handicap of active sensor detectors is that the trigger mechanisms of land mines are triggered by the signals of sensor and mines can burst. To eliminate this handicap, passive sensor detectors are needed. In this study used magnetic anomaly, which is an effective method for detecting land mines, and passive sensor to measure this anomaly. Although this method has been used in the other studies, a portable detector carried by hand has never been produced. The detector prototype produced in this study, were used a mini computer Raspberry Pi as a controller, a passive magnetic anomaly sensor TE-100 sensor, and other necessary electronic elements. Various measurements at different soil, mine types and different heights are made with this detector prototype, and the results showing efficiency of mine detection are presented.

Science Code	:	90534
Key Words	:	Magnetic anomaly, Mine detection, Mine detector
Page Number	:	75
Supervisor	:	Prof. Dr. Cemal YILMAZ
Co-Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fatih IŞIK

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bilgi ve becerileri ile bana yol gösteren, çalışmama süresince yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Cemal YILMAZ'a ve ikinci danışmanım Doç. Dr. Mehmet Fatih IŞIK'a, bu tez çalışması yolculuğu boyunca üzerimde emekleri olan ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan babam Prof. Dr. Menderes SUİÇMEZ'e, annem Tülay SUİÇMEZ'e ve kardeşim Alihan SUİÇMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. KARA MAYINLARININ TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER 9

2.1. Sismik-Akustik Dedeksiyon 9

2.2. Yer Etkili Radar (GPR) 11

2.3. Elektromanyetik İndüksiyon (EMI) Spektroskopisi 15

2.4. Kızılötesi (IR) Görüntüleme 17

2.5. Çekirdek Dörtkutup Rezonansı 19

3. KARA MAYINLARI TESPİTİNDE MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ 21

4. MAYIN DEDEKTÖRÜ TASARIMI 25

4.1. Mekanik Tasarım 25

4.2. Elektronik Devre Tasarımı 30

4.3. Tez Çalışmasında Kullanılan Elektronik Bileşenler ve Kullanılan Yazılımlar 35

4.3.1. Raspberry pi 3b+ giriş 35

4.3.2. Raspberry pi 3b+' ya işletim sisteminin ve gerekli yazılım modüllerinin kurulması 36

Sayfa

4.3.3. Raspberry pi 3b+' da I2C haberleşmesi 40

4.3.4. TE-100 sensörü 42

4.3.5. ADS1115 analog-dijital konvertör 46

4.4. Tasarlanan Mayın Dedektörünün Performans Analizinin Test Edilmesi 47

4.4.1. Boş kuru kumda yapılan ölçüm 48

4.4.2 Kuru kumlu zeminde gömülü anti-tank mayını ile yapılan ölçümler 49

4.4.3. Kuru kumlu zeminde gömülü anti-personel mayını ile yapılan ölçümler 50

4.4.4. Kuru kumlu zeminde gömülü topuk koparan mayını ile yapılan ölçümler 51

4.4.5. Kuru kumlu zeminde gömülü içi dolu konserve kutusu ile yapılan ölçümler 52

4.4.6. Kuru kumlu zeminde yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi 53

4.4.7. Boş nemli toprakta yapılan ölçüm 54

4.4.8. Nemli toprakta gömülü olan anti-tank mayını ile yapılan ölçüm 55

4.4.9. Nemli toprakta Gömülü olan anti-personel mayını ile yapılan ölçüm 56

4.4.10. Nemli toprakta gömülü olan topuk koparan mayını ile yapılan ölçüm 57

4.4.11. Nemli toprakta gömülü olan içi dolu konserve kutusu ile yapılan ölçüm 58

4.4.12. Nemli toprakta yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi 59

4.4.13. Gömülü olmayan anti-tank mayını ile yapılan ölçüm 60

4.4.14. Gömülü olmayan anti-personel mayını ile yapılan ölçüm 61

4.4.15. Gömülü olmayan topuk koparan mayını ile yapılan ölçüm 62

4.4.16. Gömülü olmayan içi dolu konserve kutusu ile yapılan ölçüm 63

4.4.17. Gömülü olmayan mayınların ve nesnenin ölçümlerinin karşılaştırılması 64

5. SONUÇ 67

KAYNAKLAR 69

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Kuru kumlu zeminde yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi 53

Çizelge 4.2. Nemli toprakta yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi 59

Çizelge 4.3. Gömülü olmayan mayınların ve nesnenin ölçümlerinin değerlendirilmesi 64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Mayın benzeri bir nesnenin üzerindeki bölge için ses hızı profili 10

Şekil 2.2. Mayın benzeri hedef olan ve olmayan bir yerden kesitte 9.5ms'deki dikey parçacık hızı 10

Şekil 2.3. Optik elektrik alan sensörünün yapısı 12

Şekil 2.4. Kuma gömülü PMN2'nin TM modu ile yeniden yapılandırılmış görüntüleri, a) Kademeli veri toplama, b) Sürekli veri toplama 12

Şekil 2.5. a) Pürüzlü yüzey hesaplama geometrisi, b) Ölçülen durumun dalga formu. 14

Şekil 2.6. a) Gömülü kara mayınlarını tespit etmek için ayrılmış diyafram sensörü, b) Dipol anten detayı 14

Şekil 2.7. a) Deneysel matkap, b) Gömülü bir plakanın deneysel görüntüsü 15

Şekil 2.8. Küçük bir bakır kürenin üzerindeki verici bobinin elektrik alanı E'nin hayali kısmı 16

Şekil 2.9. Bir TNT örneğinden gelen bir NQR sinyalinin ikinci yankısı için AML-2 maliyet fonksiyonunun gösterimi. 18

Şekil 4.1. Solidworks 2013'de prototipin kol dayaması çizimi 25

Şekil 4.2. Kol dayama sabitleme parçası 26

Şekil 4.3. Prototipin ekran ve işlemci kartlarının yerleştirildiği kutu 27

Şekil 4.4. Prototipin sensör taşıyıcısı 28

Şekil 4.5. Mayın dedektörü prototipinin elektronik bileşenlerinin bağlantısı Fritzing programında çizilmiş görseli 31

Şekil 4.6. Raspberry Pi 3b+ Güç girişi devre şeması 31

Şekil 4.7. Raspberry Pi 3b+ görüntü girişi devre şeması 32

Şekil 4.8. Raspberry Pi 3b+ HDMI girişi devre şeması 32

Şekil 4.9. Raspberry Pi 3b+ Güç ve Durum Led devre şeması 33

Şekil 4.10. Raspberry Pi 3b+ 40'lı PIN giriş devre şeması 33

Şekil 4.11. Raspberry Pi 3b+'nın İşlemcisi BCM2837B'nin ilgili GPIO'larla Bağlantı şeması 34

Şekil 4.12. Raspberry Pi 3b+'nın PCB üzerindeki köprüleme devre şeması 34

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.13. Programın akış diyagramı 37

Şekil 4.14. Örnek bir I2C uygulaması 41

Şekil 4.15. Fluxgate çalışma prensibi 43

Şekil 4.16. Race – track Fluxgate 44

Şekil 4.17. Analog Fluxgate manyetometrenin iç yapısı 45

Şekil 4.18. Simetrik çekirdekli ve yassı bobinli mini Fluxgate 46

Şekil 4.19. ADS1115 blok diagramı 46

Şekil 4.20. Kuru kumlu boş zeminde oluşan manyetik anomali grafiği 49

Şekil 4.21. Kuru kumlu zeminde gömülü anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 50

Şekil 4.22. Kuru kumlu zeminde gömülü anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 51

Şekil 4.23. Kuru kumlu zeminde gömülü topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 52

Şekil 4.24. Kuru kumlu zeminde gömülü içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomali grafiği 53

Şekil 4.25. Kuru kumlu zeminde yapılan ölçümlerin oluşturduğu manyetik anomali grafiği 54

Şekil 4.26. Boş nemli toprakta oluşan manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği 55

Şekil 4.27. Nemli toprakta gömülü anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 56

Şekil 4.28. Nemli toprakta gömülü anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 57

Şekil 4.29. Nemli toprakta gömülü topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 58

Şekil 4.30. Nemli toprakta gömülü içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomali grafiği 59

Şekil 4.31. Nemli toprakta yapılan ölçümlerin oluşturduğu manyetik anomali grafiği.. 60

Şekil 4.32. Gömülü olmayan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği 61

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.33. Gömülü olmayan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği..... 62

Şekil 4.34. Gömülü olmayan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği..... 63

Şekil 4.35. Gömülü olmayan içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomali grafiği..... 64

Şekil 4.36. Gömülü olmayan mayınların ve nesnenin manyetik anomali değerlerinin karşılaştırıldığı grafik..... 65

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Tasarlanan prototipin kol dayama aksamı 26

Resim 4.2. Tasarlanan prototipin ekran ve diğer bileşenlerin yerleştiği kutu..... 27

Resim 4.3. Tasarlanan prototipin sensör taşıyıcısı..... 28

Resim 4.4. Tasarlanan prototipin sensör taşıyıcısı alt kısmı..... 29

Resim 4.5. Tasarlanmış olan prototip 29

Resim 4.6. Tasarlanmış olan prototipin bir başka açıdan resmi 30

Resim 4.7. Raspberry Pi 3b+ 36

Resim 4.8. Raspbian işletim sisteminin indirildiği internet sayfası..... 38

Resim 4.9. SD kart formatter işleminin görüntüsü 39

Resim 4.10. Win32 Disk Imager programı görüntüsü..... 39

Resim 4.11. Kurulum sonrası yapılan ayarlamaların görüntüsü..... 40

Resim 4.12. TE-100 sensörlerinin ön ve arka profil resimleri..... 42

Resim 4.13. Anti-personel mayını görselleri 48

Resim 4.14. a) Topuk koparan ve b) Anti-tank mayın görselleri 48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
$\boldsymbol{A}$	Kesit Alanı
$\boldsymbol{B}$	Manyetik Alan
$\boldsymbol{D}$	Demanyetizasyon Faktörü
$\boldsymbol{H}$	Manyetik Alan Şiddeti
$\boldsymbol{H_0}$	Boşluğun Manyetik Alan Şiddeti
$\boldsymbol{N}$	Sarım Sayısı
$\boldsymbol{V_i}$	İndüklenen Gerilim
$\boldsymbol{\mu}$	Manyetik Geçirgenlik
$\boldsymbol{\mu_0}$	Boşluğun Manyetik Geçirgenliği
$\boldsymbol{\mu_a}$	Görünür Manyetik Geçirgenlik
$\boldsymbol{\Phi}$	Manyetik Akı Yoğunluğu

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AML	Yaklaşık Maksimum Benzerlik
AP	Anti-Personel Mayın
AT	Anti-Tank
Bİ-MRTD	Çok Çözünürlüklü Biortogonal Zaman Alanı
BOR	Cisim Deviri
CNN	Evrişimli Sinir Ağı
EMI	Elektro Manyetik İndüksiyon
FDTD	Sonlu Fark Zaman Alanı
GPR	Yer Etkili Radar
HMM	Markov'un Saklı Modeli
I2C	Entegre Devreler Arası Haberleşme Protokolü
IR	Kızıl Ötesi
LMS	En Küçük Ortalama Kare

Kısaltmalar	Açıklamalar
MAD	Manyetik Anomali Tespiti
MADCOM	Mayınların Manyetik ve Akustik Tespiti
MR	Manyetik Rezonans
NQR	Dört Kutuplu Nükleer Rezonans
PCA	Temel Bileşen Analizi
PDE	Kısmi Diferansiyel Denklem
PML	Mükemmel Eşleşmiş Tabakalar
RNN	Rastgele Sinir Ağları
ROC	Alıcı İşlem Karakteristiği
SAI	Sentetik Açıklık Görüntüleme
SAR	Sentetik Açıklık Radarı
SAS	Sentetik Açıklık Sonarı
SFCW	Kademeli Frekanslı Sürekli Dalga
SNR	Sinyal Gürültü Oranı
SOFM	Kendinden Organize Özellik Haritası
SPI	Çevresel Seri Ara Yüz
SSH	Güvenlik Katmanı
SVM	Destek Vektör Makineleri
TNDT	Termal Tahribatsız Test
TNT	Tri-Nitro Tolüen
UWB	Ultra Geniş Band
UXO	Patlamamış Mühümmat
VNA	Vektör Ağ Analizörü
VNC	Sanal Ağ Hesaplama
YSA	Yapay Sinir ağı

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusuna paralel olarak gıda ve enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Bunu karşılamak için Ülkeler, mevcut karasal alanları artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için kullanmaya çalışmaktadırlar. Bunun için de ya kendi ülke sınırlarını korumak için ya da diğer amaçlar için çeşitli alanları savunmanın bir yolu olarak kara mayını yerleştirmektedirler. Ayrıca küresel güçlerin kullandığı terörist gruplar da bu mayın teknolojisini sıkça kullanmaktadırlar. Büyük çoğunluğu Asya ve Afrika'da olmak üzere dünya üzerinde 100 milyonu aşkın gömülü kara mayınlarının olduğu resmi kaynaklarda belirtilmiştir. Mayınlı alanlar dünyanın pek çok yerinde bulunmaktadır ve hem insanların hayatını hem de diğer hayvansal canlıların hayatlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu alanların her türlü aktivitede kullanılabilmesi için mayınlardan temizlenmesi gerekmektedir. İşte önemli problemin çözümü de burada başlıyor. Toprağa gömülü mayınların ve mayınlı bölgenin tespit edilmesi mal ve can güvenliği açısından çok fazlaca önem arz etmektedir. Mayınların belirlenmesi ve onlardan zarar görmeden kurtulmak için şimdiye kadar çok farklı yöntemler kullanılmıştır. Her bir yöntemin belirli oranlarda faydaları olmuştur ancak kesin bir başarı sağlanabilmiş değildir. Bu konudaki yayınlar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalar öne çıkmaktadır.

Uyarlamalı filtreleme tekniği ve görüntü segmentasyon algoritması kullanarak, araca takılan Yer Etkili Radar (GPR) verilerinden kara mayın tespiti için bir 3D görüntü analiz yöntemi önerilmiştir. C-Scan verilerindeki anomalileri bulmak için 3B adaptif filtreleme tekniği olan (3D LMS) kullanılmıştır. 3D Radar sistemi ve Vektör Şebeke Analizörü (VNA) tabanlı SFCW-Yer Etkili Radar (GPR)'dan toplanan veriler, önerilen algoritmanın performans değerlendirmesinde kullanılmıştır [1].

Optik elektrik alan sensörü kullanan yeni bir GPR sistemi ele alınmıştır. Kara mayını saptamasına, 100 MHz ila 5 GHz frekans bandına sahip geniş bant tipi bir optik sensör uygulanmıştır. Laboratuvar ölçümleri gömülü nesnelerin yeni GPR sistemi tarafından tespit edilebileceğini gösterilmiştir [2].

Anti-personel kara mayını tespitinin Yer Etkili Radarı (GPR) kullanarak sorunu tartışılmıştır. Ortaya çıkan ters saçılma problemini çözmek için ileri veri işleme algoritmaları önerilmiştir. Elde edilen GPR veri işleme için bazı gelişmiş algoritmalar sunulmuştur.

Önerilen Görüntü Momentleri Yöntemi, yakın alanın SAR görüntüsünde ortaya çıkan bozulmaların düzeltilmesini sağlanmıştır [3].

Kara mayını saptamasına etkin bir şekilde uygulamak için, alıcı olarak bir optik elektrik alan sensörü kullanan bistatik GPR geliştirilmiştir. Gerçek alandaki etkinliği göz önünde bulundurmak için, 250 psec darbe genişliğine sahip dürtü üretilerek 3 boyutlu görüntü rekonstrüksiyonu sağlanmıştır. Bir kum havuzundaki PMN2 mayın modeli, kademeli ve sürekli veri toplama modlarının her ikisinde de yeterince yüksek çözünürlükle net bir şekilde tespit edilmiştir [4].

Kara mayını tespiti için frekans alanındaki lineer tahmin kullanımı önerilmiştir. Detektör ilk önce tahmin katsayılarının Maksimum Olabilirlik tahminini hesaplamış ve daha sonra bir arazi mayını olup olmadığını belirlemek için genelleştirilmiş olasılık yöntemini kullanmıştır [5].

Sensör sınıfının merkez-bant frekansı 30 ila 3000 MHz arasında değişirken, merkez bant frekansı 1300 MHz düzeyinde ve genel amaçlı bir darbe radar sensörü ile 1 metre derinliğe kadar olan anti-personel ve anti-tank mayınlarının yüksek çözünürlükte bulunması sağlanmıştır [6].

Kara mayın saptamasını 2 sınıflandırma problemi olarak ele alınıp, kara mayınlarının tespiti PCA + SVM çerçevesi sunulmuştur. Farklı derinliklerde gömülü olan kara mayınlarını tespit etmek için ilk önce PCA kullanılarak veri kümelerinin boyutu azaltılmış, daha sonra SVM kullanılarak verimli bir şekilde eğitilmiştir [7].

Elektromanyetik indüksiyon ve nötron geri saçılmasını birleştiren yeni, taşınabilir, ergonomik bir mayın dedektörü yapılmıştır. Topraktaki bir kaliforniyum kaynağından yüksek enerjili nötronların moderasyonunu kullanılarak hidrojen bakımından zengin bir anomali olduğunda, topraktan dönen düşük enerjili nötronların sayısındaki artış tespit edilerek, bu yöntemin özellikle plastik kara mayınlarının tespiti için uygun hale geldiği belirtilmiştir [8].

Üç boyutlu poroelastik ortamlarda yayılan akustik dalgaların simülasyonu için mükemmel eşleşmiş katman (PML) ile birleştirilmiş bir parçacık hızı-gerinimi, FD yöntemi

geliştirilmiştir. Dalga tepkilerinin mayın benzeri nesnelerin varlığı ile büyük ölçüde değiştiği ve düşük frekanslardaki yüzey dalgalarının bir tespit mekanizması olarak rol oynadığını göstermektedir [9].

Yaklaşık 100 m su derinliğindeki ve silisli kil dibi ile kombine bir deney ve modelleme çalışması yapılmıştır. Side-Scan (Yan Taramalı) sonar araştırması, tortuya gömülü mayın benzeri bir nesneyi tespit etmek için yapılmıştır. Bu çalışma askıya alınmış bir tortu tabakasının yan taramalı sonar görüntüleri üzerindeki etkilerini modelleme olasılığını göstermektedir [10].

Elastik-dalga etkileşimlerinin analizi için biortogonal çoklu çözünürlük zaman alanı (Bi-MRTD) yöntemini sunulmuştur. Gömülü mayınların esnek dalgaların analizi ile bulunabileceği gösterilmiştir [11].

Tipik olarak 790 MHz ayarlanmış bir ayrı açıklık sensörü, hava, toprak ve gömülü kara mayından oluşan komple elektromanyetik sistem FDTD yöntemi kullanılarak modellenmiştir. FDTD yönteminin bir mayın algılama sensörünün tam elektromanyetik performansını doğru şekilde simüle etmek için kullanılabileceğini ve kara mayını aramasında gerçekçi koşullarda verimli bir yöntem olduğunu göstermiştir [12].

Sentetik bir açıklık anteni ile, frekans bandı 0,7 ila 2,7 GHz ve kutuplaşma doğrusal dikey şekilde 4 ila 8 metre arasında değişen bir raydan geriye saçılma seviyesinin sonucu sunulmuştur. Kalın çim ve büyük tutamlarla kaplı pek çok taş içeren killi bir toprak içine düz, büyük bir metalik silindir ve dikey konumda bir küme içinde gizlenmiş ve gözle görülemeyen İkinci Dünya Savaşı'ndan gelen metalik anti personel mayının tespit edilebileceği gösterilmiştir [13].

Yeniden tasarlanmış anten sistemine sahip bir video pulse radar sistemi kullanarak yeraltı radar hedef belirleme görevini ele alınmıştır. Mayın tanımlama performansını arttırmak için küçük bir anten (kol uzunluğu = 0.15 m) tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu antenin karmaşık rezonansının hayali kısmı 260.0 MHz'tir. Böylece anten, mayın benzeri hedefin karmaşık rezonans bandının orta frekansında rezonansa girmiştir. Bu, radar sisteminin rezonans frekansı ile hedef rezonansların kapsadığı frekans bandı arasında daha iyi bir eşleşme sağlanmış ve daha iyi tanımlama performansı elde edilmiştir [14].

Küçük gömülü antipersonel kara mayınlarını tespit etmek için kısa darbeli bir Yer Etkili Radar (GPR)'da direnç yüklü Vee dipollerinin kullanılması, tamamen 3 boyutlu bir FDTD modeli kullanılarak incelenmiştir. Tamamen üç boyutlu (3-D) sonlu farklı bir zaman-alan (FDTD) model GPR kara mayını tespit problemini simüle etmek için geliştirilmiş ve kullanılmıştır [15].

Manyetik Anomali Tespiti (MAD), on yıllardır ferromanyetik hedefleri tespit etmek için kullanılmıştır. Üç eksenli referans manyetometre kullanarak bir ferromanyetik hedefin manyetik anomalisini ortaya çıkarmak için bir dedektör geliştirilmiştir. Dedektör performansı, ROC'si değerlendirilerek araştırılmıştır. Sonuçlar, düşük SNR değerleri için bile yüksek algılama olasılığı göstermiştir [16].

Bir mikro dalga ekskavatörü yapay sinir ağı ile birlikte kullanılarak 10 ila 15 cm arasında gömülü nesnelerin görüntülerinin oluşturulabileceği ve gömülü bir alüminyum plakanın yaklaşık 5 cm' den tespit edilebileceği gösterilmiştir [17].

Deneysel olarak ölçülen Yer Etkili Radar (GPR) sinyallerinin geniş bant saçılımını gerçekçi, dağınık toprak arayüzleri ile sayısal olarak simüle ederek, dağınıklığı sapma değişimini sayısal olarak ölçülmeye çalışılmıştır. 2B sonlu fark zaman alanı (FDTD) metodu kullanılmıştır. Bu prosedür kullanılarak, sığ gömülü metalik olmayan mayın sinyalleri bile kaba zemin yüzeyindeki dağınıklık sinyallerinden ayırt edilebilmiştir [18].

Yaklaşık 50 ila 1200 MHz bant genişliğinde dört anten, yerden 150 ft yüksekte, dikey veya yatay olarak polarize bir düzlemsel dalga tarafından uyarılan bir BOR'dan geri saçılan alanların, sıfır çapraz polarizasyon bileşeniyle karakterize edildiğini açıklanmıştır. BOR'lara yaklaştığı anti-tank ve anti-personel mayınları göz önüne alınmış, M20 ve Valmara anti personel ve plastik mayınların belirlenebileceği gösterilmiştir [19].

Rastgele Sinir Ağı (RNN) modeline ve δ Tekniğine dayalı parametrik olmayan yanlış alarm yeni bir filtre tanıtılmıştır. Bu çalışma EMI elektromanyetik indüksiyon sensörleri kullanan mayın tarama tabanlıdır. RNN'in farklı EMI sensörü kullanan diğer konumlarda ölçülen modeller hakkında etkili kararlar verdiği gösterilmiş. Sonuçlar, RNN'nin δ Tekniğe göre önemli miktarda yanlış alarmların azaltılmasıyla yüzde 100'e kadar algılama olasılığını ürettiğini göstermektedir [20].

Gömülü mayınları tespit etmek için elastik yüzey dalgaları ve elektromanyetik dalgalar kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Kara mayınının akustik dalga üzerindeki dağıtıcı etkisini göstermek ve dalga hızını konum ve zamansal frekansın bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için yerel uzaysal frekans analizine dayanan bir algoritma sunulmuştur. Bu sayede küçük mayınların lokalizasyonu tespit edilebilmiştir [21].

Arşimet sarmal anteni, mayın tespiti için kademeli bir frekans Yer Etkili Radar (GPR) sisteminde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Yaklaşık 0.5-6 GHz bant genişliğinde bu özel antenler dairesel olarak polarize edilmiştir, bir uzay dubleks konfigürasyonunda çalıştırılmıştır. Radar görüntü kalitesi, bu antenlerin yüzey koşulları arasındaki tepkisini karşılaştırmak için kullanılmış ve radar görüntü kalitesinin arttırılabileceği kanıtlanmıştır [22].

Bazı önemli hidrojen içeriği olan çeşitli şekillerin nesneleri, bir D-T jeneratöründen hızlı nötronlara maruz bırakılmış, bu da kısmen modüle edilmiş bir geri saçılmış nötron spektrumuyla sonuçlanmıştır. Geri saçmanın termal bileşeni, kodlanmış bir açıklıklı termal nötron görüntüleme sistemi vasıtasıyla nesnelerin görüntülerini oluşturmak için kullanılmıştır. Hedef bölgenin belirli bir mesafesini uzatan termal nötronları vurgulamak için toplama sisteminin kaplanması, görüntülerin kalitesini arttırmanın bir yolu olmuştur [23].

Yerdeki elastik dalgalar için üç boyutlu bir sonlu fark modeli geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Model, elastik dalgaların gömülü kara mayınlarıyla etkileşimini araştırmak için kullanılmıştır. Elastik dalgaların gömülü bir anti-personel mayını ile etkileşimi gösterilmiştir ve bu etkileşim sonucu güçlü bir rezonans meydana gelmiştir. Bu rezonans hem simülasyonlarda hem de deneylerde gözlemlenmiştir [24].

Metalik olmayan kara mayınlarını tespit etmek için yeni bir araç tanımlanmıştır. Zamanlı nötron tespiti (TND) çoğu patlayıcıda ve tüm polimerlerde ortak olan benzersiz nötron-modülasyon özelliklerini kullanıp ve ölçüm işlemini geliştirmek için zamanlama özelliklerini içermektedir. TND prensiplerini kullanan bir prototip enstrüman, mayın simülasyonları ve gömülü mayın tarlaları üzerinde başarıyla gösterilmiştir [25].

Bir metal kamera tarafından çekilen görüntülerin analizine dayanarak, bir metal detektörü için tamamlayıcı bir sensörün geliştirilmesi olan bir çalışma sunulmuştur. Görüntüler, çoğunlukla çim veya küçük kayalardan oluşan, farklı yüzey türlerinin doku ve renk analizleri geliştirilerek işlenmiştir. Renk ve doku analizine dayanarak görüntüde metalik olmayan bir mayın varlığının belirlenmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Metalik olmayan yeni mayın tespit yöntemleri geliştirmek için görüntü işlemenin uygulanabilir bir strateji olduğunu kanıtlamıştır [26].

Zemin yüzeyindeki küçük mayın benzeri cisimleri tespit etmek için tasarlanan bir Ultra Geniş Band SAR sinyalinin dağınıklık oranını iyileştirmeye yönelik teknikleri araştırılmıştır. Ultra Geniş Bant (UWB) monostatik sentetik açıklık radarı (SAR) kullanarak mayın benzeri hedefleri tespit etmeye çalışılmıştır. Deneysel araştırma, farklı iki-statik konfigürasyonlardan ve yüksekliklerden gelen görüntüleri toplama tekniğinden elde edilebilecek hedefte dağınıklık oranında küçük bir gelişme olduğunu göstermiştir [27].

Kara mayınlarının tespiti konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak kara mayınları hala insan hayatı ve sağlığını tehdit etmektedir. Geliştirilen tekniklerin her birinde çeşitli handikaplara yol açacak pek çok faktör etkilidir. Bu handikaplar aktif mayın dedektörlerinden kaynaklanmaktadır. Bu handikapları bertaraf edecek çözüm ise pasif mayın dedektörlerinde yatmaktadır. Ancak pasif mayın dedektörleride aktif mayın dedektörleri kadar etkili değildir ve eksiklikleri vardır. Nasıl ki aktif mayın dedektörleri mayınların ateşleme mekanizmalarını tetiklemekte ise pasif mayın dedektörleri de aktif dedektörler kadar etkili değildir. Pasif mayın dedektörlerinin bu etkisizliğini, manyetik anomali yöntemi kullanarak aşılması mümkün görülmektedir.

Bu çalışmada aktif ve pasif sensörlerin avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak, manyetik anomali tekniği benimsenip tek eksende gerçekleştirilen çalışmamızda bir (TE-100) Flux Gate manyetometresi ile Raspberry Pi 3b+ kartı ile daha sonra açıklanacak gerekli devre elemanları kullanılarak ve gerekli yazılımlar yapılarak bir mayın dedektörü prototipi tasarlanmıştır.

Bu tezin birinci bölümünde literatür taraması yapılmıştır. Farklı mayın tarama yöntemleri artıları ve eksileri ile araştırılmış ve tasarlanacak prototipte hangi tip sensör ve hangi yöntemin kullanılacağı belirlenmişti.

İkinci bölümde ise kara mayınları tespitinde kullanılan yöntemler sırası ile anlatılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde çalışmamızda kullanılacak olan manyetik anomali yöntemine değinilmiş ve kısaca çalışmada oluşturulan prototipin nasıl ve hangi malzemeler kullanılarak yapıldığı anlatılmıştır.

Dördüncü bölümünde Kullanılan malzemeler detaylı olarak anlatılmış resimler ve şekillerle desteklenmiş ve kullanılan (TE-100) Flux Gate sensörün çalışma prensibinden ve yapılan prototip ile gerçekleştirilen deneyler ve grafiklerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde ise sonuç bölümü olup yapılan prototip kullanılabilirlik açısından değerlendirilmiştir.

Altıncı bölüm ise çalışmada kullanılan literatürlerin verildiği kaynakçadır.

2. KARA MAYINLARININ TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Dünya genelinde tuzaklı patlayıcılar denildiğinde en çok akla gelen kara mayınları ve el yapımı patlayıcılardır. Bu patlayıcıların, kara mayını dışında olanları şekil ve farklı özellikleri nedeni ile tespit edilmeleri oldukça güçtür. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda patlayıcı tespiti için önemli olan hususlar yüksek doğruluk oranı ve hızdır. Eğer mayın belirlemede kullanılan sistem hızlı değil ve toprakta mayın dışında gömülü olan karışıklık sinyali yayan nesnelere karşı uyarı veriyorsa kullanılan sistemin güvenirliliğini sorgulatmaktadır.

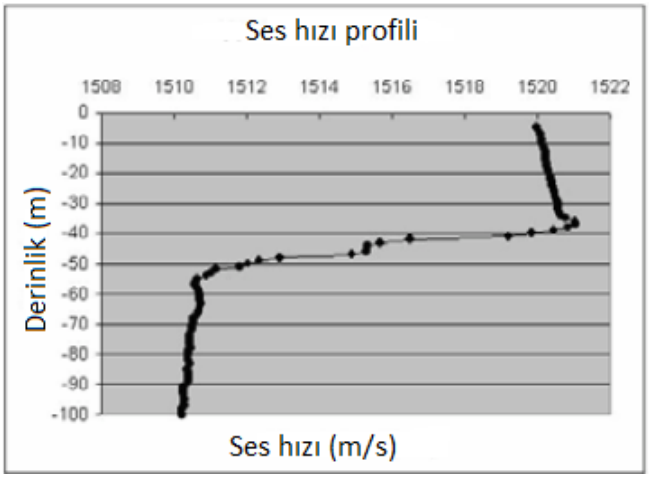
Kara mayınları tespitinde kullanılan yöntemlerin bazıları şunlardır [28].

1. Sismik - Akustik Dedeksiyon
2. Yer Etkili Radar (GPR)
3. Elektromanyetik İndüksiyon (EMI) Spektroskopisi
4. Kızılötesi (IR) Görüntüleme
5. Çekirdek Dörtkutup Rezonansı
6. Manyetik Anomali Yöntemi

2.1. Sismik-Akustik Dedeksiyon

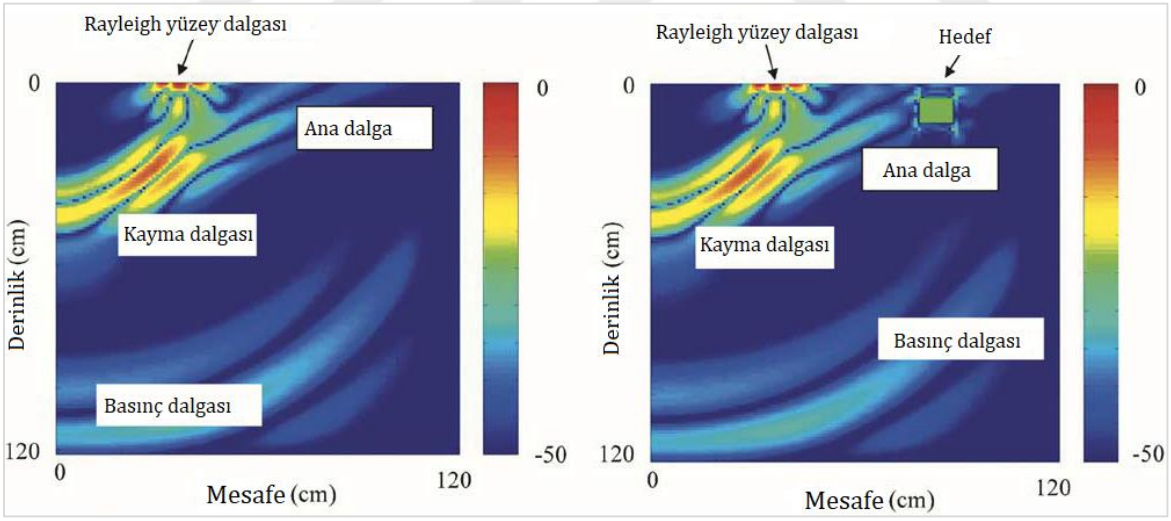
Sismik-akustik yaklaşım toprağın 1KHz den az frekanslarda uyarılması ve toprakta neden olunan bu titreşimlerle gömülü mayın üzerindeki toprağın "titreşim işaretlerinin" uzaktan algılayıclarla ölçülmesi esasına dayanmaktadır [28].

Side-scan (Yan Taramalı) sonar ile tortullara gömülmüş deniz mayını gibi mühimmat görüntüleri oluşturarak deniz tabanına gömülü nesneleri tespit edildiği, mayın tespiti için güçlü bir akustik projektör kullanılması gerektiği (Şekil 2.1) [10],



Şekil 2.1. Mayın benzeri bir nesnenin üzerindeki bölge için ses hızı profili [10]

Elastik-dalga etkileşimlerinin analizi için biortogonal çoklu çözünürlük zaman alanı (Bi-MRTD) yöntemini sunulduğu ve (PML) katmanının da uygulandığı, havadaki ve hedeflerin içindeki dalga hızlarının toprak içindekilerden çok daha hızlı olduğu ve bu sayede gömülü mayının yerinin saptanabileceği (Şekil 2.2) [11],



Şekil 2.2. Mayın benzeri hedef olan ve olmayan bir yerden kesitte 9.5ms'deki dikey parçacık hızı [11]

Birinci dereceden kısmi diferansiyel denklem (PDE) sistemini kullanarak PML'yi üç boyutlu olarak (3-D) uygulandığı, değişik toprak tiplerinde gömülü olan plastik bir mayınla etkileşimi simüle edilebildiği, işlem sonrası yüzey akustik ölçümleri kullanılarak hedefin tespit edilebildiği [9],

Yerdeki elastik dalgalar için üç boyutlu bir sonlu fark modeli geliştirildiği ve uygulandığı, elastik dalgaların gömülü kara mayınlarıyla tespitinde kullanıldığı, bu elastik dalgaların mayınla etkileşime girdiğinde bir rezonans oluşturduğu, oluşturulan bu rezonansın mayın tespitinde kullanılabilir olduğu [21],

Gömülü kara mayınlarını tespit etmek için hem elektromanyetik hem de elastik dalgaları sinerjik bir şekilde kullanan bir hibrid teknik geliştirildiği, kaynağın yeryüzüne elastik dalgalar gönderip, bu dalgaların gömülü olan mayınla etkileşime girip, mayının mekanik özelliklerinin toprağın mekanik özelliklerinden farklı olması sebebi ile mayının rahatlıkla tespit edilebileceği [29], sonuçlarına ulaşılmıştır.

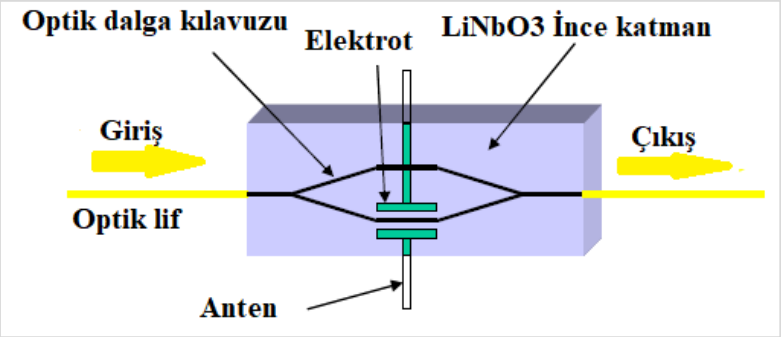
2.2. Yer Etkili Radar (GPR)

Yer etkili radar tekniği, gömülü mayınların veya Patlamamış mühimmatların (Unexploded Ordnance-UXO) tespiti için kullanılan bir yöntemdir. Bu tekniğin ana fikri verici antenler ile toprağın altına gönderilen elektromanyetik dalgaların gömülü cisimlere çarpıp, yansıyan dalga biçiminde alıcı antenlere ulaşmasıyla tespit prensibine dayanmaktadır. Bu alanda yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

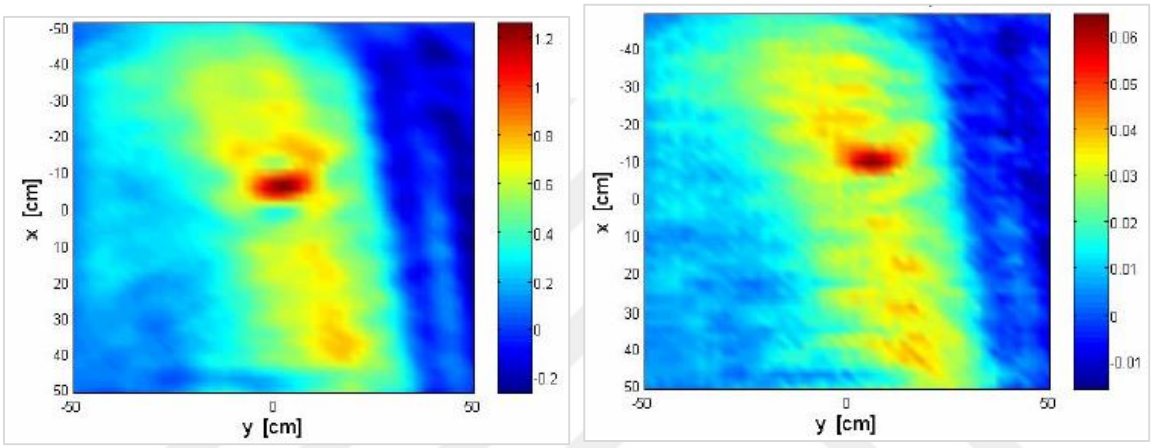
Yer Etkili Radar (GPR) ölçümlerinde zeminin sıçramasından kaynaklanan karmaşayı azaltmak için bir sinyal işleme tekniği geliştirildiği, bu teknik özellikle yeraltı anti-personel mayınlarını tespit etmek için bir Yer Etkili Radar (GPR) kullanıldığında olumlu sonuçlar verdiği, önerilen tekniğin yanlış alarm oranlarında önemli bir düşüşle sonuçlanan karmaşayı etkili bir şekilde azalttığı [30],

Arşimet sarmal anteni, mayın tespiti için kademeli bir frekans GPR sisteminde kullanılmak üzere geliştirildiği, yaklaşık olarak 0.5-6 GHz bant genişliğinde çalıştırıldığı ve radar görüntü kalitesinin arttırıldığı [22],

Kara mayını saptamasına etkin bir şekilde uygulamak için, alıcı olarak bir optik elektrik alan sensörü kullanan (Şekil 2.3), bistatik GPR geliştirilip bir PMN2 mayın modelinin tespiti için iki veri toplama modu olan, kademeli ve sürekli veri toplama modları ile PMN2 mayınının her iki modda da TM modu ölçümünde yeterince yüksek çözünürlükle net bir şekilde tespit edildiği (Şekil 2.4) [4],



Şekil 2.3. Optik elektrik alan sensörünün yapısı [4]



(a) (b)

Şekil 2.4. Kuma gömülü PMN2'nin TM modu ile yeniden yapılandırılmış görüntüleri, a) Kademeli veri toplama, b) Sürekli veri toplama [4]

Kademeli frekanslı ultra geniş bantlı (UWB) aşağıya doğru bakan, zemine nüfuz eden bir radar ile pürüzlü yüzeylerin altındaki kayıplı ve dağıtıcı topraklarda gömülü plastik kasalı anti-personel (AP) kara mayınlarının ve 2 ila 4 inç arasındaki derinliklere gömülü kuru kumla çevrili TNT mayınının belirlenmesi için rezonansa dayalı bir sınıflandırma tekniği sunulduğu, düşük kontrastlı bir hedef bile olsa yüksek oranda tespit edilebileceğini gösterdiği [31],

Sığ yeraltı yüzeyine nüfuz eden Yer etkili Radar (GPR)'dan alınan verilerin, verinin varyans ve A-tarama enerjisinin özelliği ile alınan tüm verilerin, hızlı sentetik açıklık görüntüleme (SAI) ile sadece bu yararlı GPR verilerini kullanılarak elde edildiği ve hesaplama yükünü genel sentetik açıklık görüntüleme yöntemine kıyasla büyük ölçüde azaltıldığı [32],

Bir Yer Etkili Radar (GPR) tarafından üretilen sensör verilerini kullanarak gerçek zamanlı kara mayını tespiti için yeni bir sistem sunulup, toprak yüzeyinin altındaki bir hacmi temsil

eden üç boyutlu bir yoğunluk değerleri dizisi ürettiği ve buna göre bir algoritma oluşturularak HMM tabanlı sistemle kolayca birleştirilebileceğini ve hibrit sistemin mayın algılama oranını etkilemeden yanlış alarm sayısını azaltabileceğini [33],

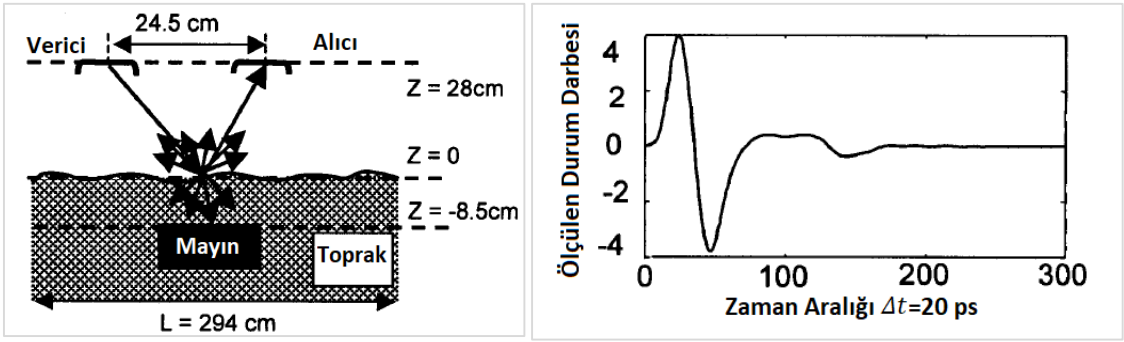
Kara mayınları hava radarı kullanılarak tespit edildiği, radarın yüksekliği ile normal doğrusal dağılmış mayınlar arasındaki ayrılma mesafesi arasındaki ilişki elde edildiği, bistatik ve monostatik radarların mayın sayısını ve yerlerini tespit etmek için farklı çalışma frekanslarında kullanıldığı [34],

Gömülü patlamamış mühimmatın (unexploded ordnance-UXO) son birkaç yıldır sınıflandırılması için geniş bantlı, tamamen polarimetrik bir Yer Etkili Radar (GPR) sisteminin uygulandığı, toplanan GPR verilerinden çıkarılan işaretlerin kullanılıp, çeşitli saha ölçümlerinin yapılmış olduğunun ve bu testlerden alınan sonuçların önemli sistem iyileştirmelerine neden olduğunun [35],

UWB kısa darbe radar konsepti kullanılarak, bitki örtüsü ve toprağın penetrasyonunun dağınıklık reddi, gizli hedeflerin tespiti, hedef imge, tespit ve düşük müdahale olasılığı sunduğu, UWB sentetik açıklıklı bir radarın uygulanabilirliği ve avantajlarının gösterildiğinin [36],

Hacimsel yeraltı görüntüleri üreten yenilikçi bir Yer Etkili Radar (GPR)'dan elde edilen sinyallere çoklu algılama algoritmalarının uygulanıp, algoritmaların çıktılarının Sugeno ve Choquet bulanık mantık integralleri kullanılarak birleştirildiğinde, kara mayınlarının tespiti için yanlış alarm oranlarında önemli düşüşler sağladığının [37],

Deneysel olarak ölçülen Yer Etkili Radar (GPR) sinyallerinin geniş bant saçılımının gerçekçi dağınık toprak ara yüzleri ile sayısal olarak simüle edilip (Şekil 2.5), 2B sonlu fark zaman alanı (FDTD) metodunu kullanılarak, metalik olmayan bir mayın hedefi ile ve onsuz olarak test edildiğinde başarılı sonuçlara ulaşıldığının [18],



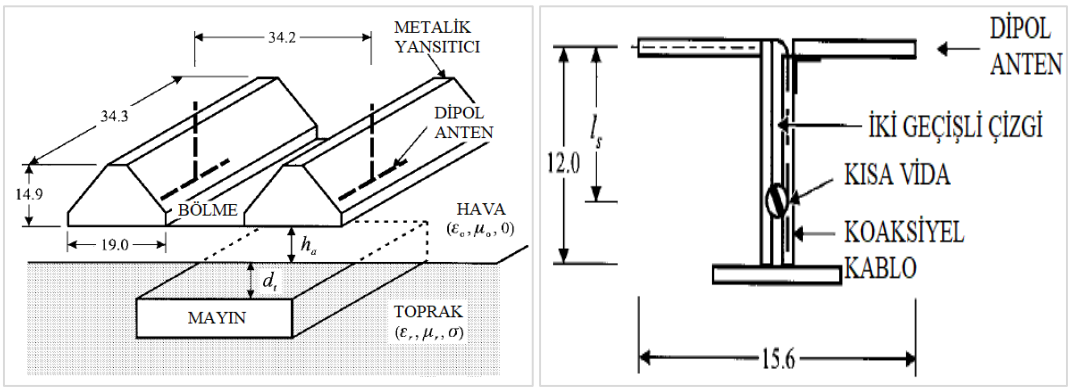
(a) (b)

Şekil 2.5. a) Pürüzlü yüzey hesaplama geometrisi, b) Ölçülen durumun dalga formu [18]

Çoğu toprak tipinde 3 inç çapındaki plastik AP mayınlarının tespiti için bir Yer Etkili Radar (GPR)'ın 1 ila 6 GHz frekanslar arasında kullanılarak, yüzey dağınıklığını azaltıp gömülü mayınların derinlemesine algılanabileceğinin gösterildiği [38],

Küçük gömülü anti-personel kara mayınlarını tespit etmek için kısa darbeli bir Yer Etkili Radar (GPR)'da direnç yüklü Vee dipollerinin kullanılarak tamamen 3 boyutlu bir FDTD modeli çıkarılıp incelendiğinde kara mayınlarını (hedeflerini) ayırma görevini çok daha kolaylaştırdığının [15],

Tipik olarak 790 MHz ayarlanmış ayrı açıklık sensörü (Şekil 2.6), sayesinde hava, toprak ve gömülü kara mayından oluşan komple elektromanyetik sistem FDTD yöntemi kullanılarak modellenip, sensör boş toprakta olduğunda antenler arasındaki bağlantı çok küçük olduğunu, sensör gömülü bir mayının üzerinde hareket ettiğinde ise antenler arasındaki eşleşmenin artarak mayının varlığına işaret ettiğinin [12],



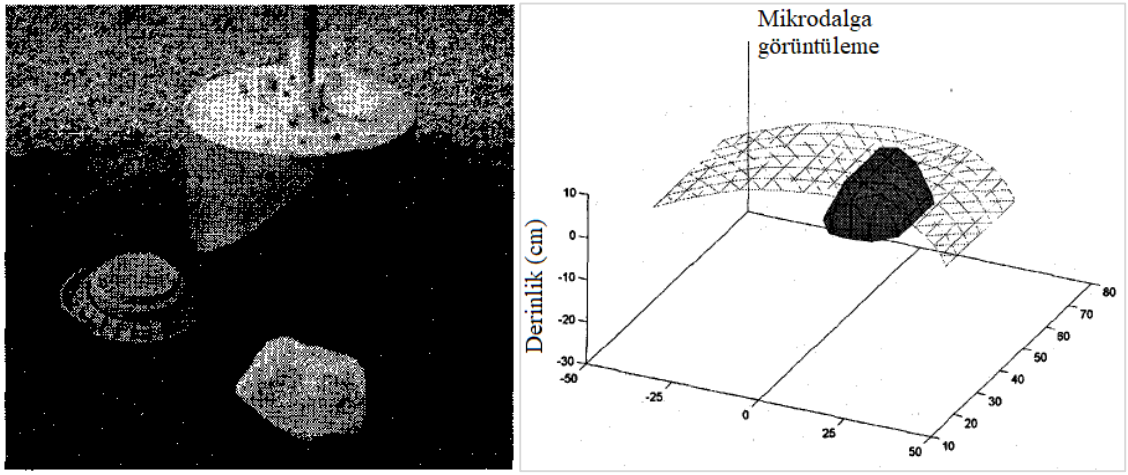
(a) (b)

Şekil 2.6. a) Gömülü kara mayınlarını tespit etmek için ayrılmış diyafram sensörü, b) Dipol anten detayı [12]

Yerden 150 ft yükseklikte bulunan bir platform üzerine yerleştirilen yaklaşık 50 ila 1200MHz bant genişliğine sahip paralel plakalı boynuz antenler vasıtası ile bir darbe iletilerek ve deneysel olarak UWB SAR sistemi kullanılarak, M20 anti-tank ve Valmara anti-personel mayınlarının tespit edilebileceğinin [19],

Sığ gömülü AP mayınlarının tespiti için önerilen tekniğin, yüksek taşıyıcı bir küçük antenle kullanılarak çeşitli ortamlarda en az 60 mm derinliğe gömülmüş AP mayınlarını tespit etmek ve zeminde 0,3 ila 0,4 m yükseklikte yeterince küçük bir alan kapladığı ve 1 m'ye kadar gömme derinliklerinde bir anti-tank (AT) mayını ile karşılaştırılabilir boyutlara sahip hedefleri tespit etme kabiliyetini gösterdiğinin [39],

YSA eğitimli bir mikrodalga görüntüleme ekskavatörü (Şekil 2.7a), ile 10 ila 15 cm derinliklerde gömülü nesnelerin gerçekçi üst yüzey görüntülerini oluşturarak gelişmiş sinyal işleme ve optimum görüntüleme frekanslarının seçiminin görüntüleme derinliğini artıracağının ve gömülü alüminyum plaka (Şekil 2.7b) deneyleri, yaklaşık 5 cm'lik bir kenar görüntüleme doğruluğu sağladığı ve yüzeyin yaklaşık 2 cm'lik bir RMS hassasiyetinde görüntülenebildiğinin [17], sonuçlarına ulaşılmıştır.



(a) (b)

Şekil 2.7. a) Deneysel matkap, b) Gömülü bir plakanın deneysel görüntüsü

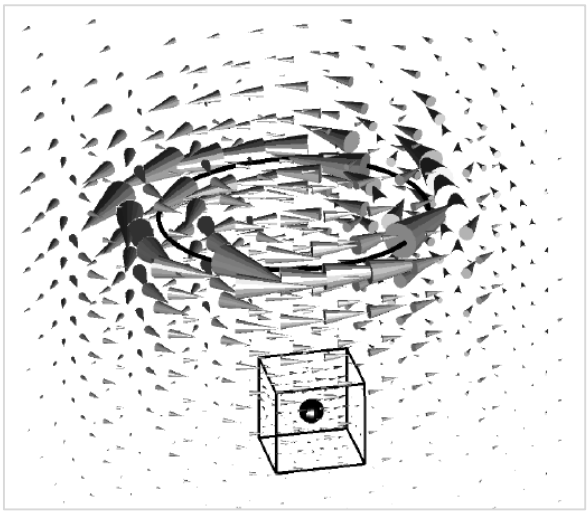
2.3. Elektromanyetik İndüksiyon (EMI) Spektroskopisi

Elektromanyetik indüksiyon (EMI) spektroskopisi, zamana bağlı elektromanyetik değişimin olduğu bir ortama iletken ve/veya manyetik geçirgenliği olan bir nesne konulduğunda, nesne

üzerinde bir elektrik yük akışının oluşması ve indüklenen bu akımın zayıf ikincil bir manyetik alan üretmesi prensibine dayanır [28]. Ancak metalik olmayan veya metal içeriği çok düşük olan nesneleri algılamada güçlük yaşamaktadır bu yöntem. Sadece geliştirilmiş modellerde plastik patlayıcılar saptanabilir. Çünkü mikro seviyelerde olan toprak iletkenliği sayesinde bu tespit yapılabilmektedir. Bu alanda yapılan bazı önemli çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Çeşitli metalik kara mayını benzeri hedeflerin sinyal algılama teorisi ile sınıflandırılması, prototip geniş bant frekanslı alan EMI sensörü kullanılarak incelenip, hedef / sensör oryantasyonuyla ilgili belirsizlikleri içeren bir algoritmanın geliştirilerek ve bu algoritmaların önemli bir sınıflandırma performansı kazancı sağladığını göstererek ve ortalama olarak % 60 iyileşme elde edildiğinin [40],

Metal dedektörlerinin ve kara mayınlarının metal kısımlarındaki metalik nesnelerin simülasyonu için etkili bir ayrıklaştırma yöntemi sunularak ve sunulan bu yöntemde Lagrange çarpanlarıyla etki alanı ayrıştırma yöntemi sayesinde bakır kürenin üzerine yerleştirilmiş bir çift bobinin (Şekil 2.8) manyeto-yarı-statik model problemi için sonuçların gösterilip, yanlış alarmların azaltıldığının [41],



Şekil 2.8. Küçük bir bakır kürenin üzerindeki verici bobinin elektrik alanı E'nin hayali kısmı [41]

Geliştirilmekte olan alternatif teknikler arasında kızılötesi termografi ile genel olarak termal tahribatsız muayene (TNDT) olarak adlandırılan inceleme yöntemleri ailesinde, toprağa

gömülü mayının torak ile arasındaki sıcaklık farkının oluşturacağı anomali ile indükleneceği ve bu kavramların sinir ağlarına, genetik algoritmalara dayanan veri işleme araçlarıyla nispeten kolaylıkla uygulanarak, bir mayının termografik yöntemlerle birçok pratik durumda tespit edilebileceğini gösterdiğinin [42],

Mayınların Manyetik ve Akustik Tespiti Magnetic and Acoustic Detection of Mines (MADOM) ile yüksek hızlı bir çekme aracı sistemi geliştirilerek, bu sistem için sensör paketi, geleneksel bir yüksek frekans (100 KHz) yan tarama sonarı, düşük bir frekans (20 KHz) yan tarama yapay açıklık sonarı (SAS) ve bir süper iletken gradiometreden oluşan MADOM konseptinin etkinliğinin sığ su ortamında gömülü mayın tespiti ve dağınıklık reddi için etkili bir yaklaşım sağladığının [43],

Rastgele Sinir Ağı (RNN) modeline ve δ teknikniğine dayalı yeni bir filtre tanıtılmakta olup EMI electro manyetik indiksiyon sensörleri kullanan mayın tarama tabanlı olan mayın tarlası verilerine RNN'ye uygulanmadan önce δ Tekniği ile önceden işlenerek, sonuçların RNN'nin δ Tekniğe göre önemli miktarda yanlış alarmların azaltılmasıyla yüzde 100'e kadar algılama olasılığını ürettiğini gösterildiğinin [20],

Standart eşikleme teknikleri üzerinde EMI sensörlerini kullanan kara mayınları ve bazı küçük patlamamış mühimmat objeleri de dahil olmak üzere, bir dizi hedefin tespit edilebilirliğini geliştirmek için sıkı bir Bayesian sinyal algılama analizinin kullanılabileceğini gösteren sonuçlar sunulup olasılık oranı işlemcisinin ve bir eşik detektörünün performansı değerlendirildiği ve eşdeğer olduğunun gösterildiğinin [44],

2.4. Kızılötesi (IR) Görüntüleme

Kızılötesi (IR) görüntüleme, mayınların, üretiminde kullanılan malzemeler nedeniyle bulunduğu çevreden farklı ısıl karakteristiklere sahip olmaları prensibine dayanır. Bu özellikten yararlanarak, çevrenin doğal ısı değişimleri sırasında mayında oluşan sıcaklık farklılıklarını termal kameralar ile ölçmek ve bu sayede mayını tespit etmek mümkündür [28]. Bu alanda yapılan bazı önemli çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

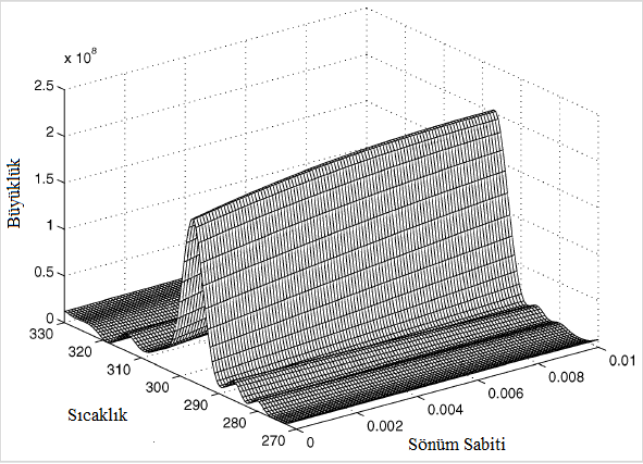
Karşılıklı eşleştirme etkisi kullanılarak gömülü kara mayınlarının tespiti için iki parça dizisi anten önerilip, parça dizi antenlerinin (sensör) farklı toprak özelliklerinde çeşitli hedef

tiplerini (Naylon plaka, Stycast plaka ve Metal plaka hedefleri) tespit etmek için simüle edildiği ve FDTD simülasyon yönteminin, mayın tespitinin elektromanyetik performansını metal mi yoksa dielektrik bileşimler mi olduğunu simüle etmek için kullanılabileceğini gösterdiğinin [45],

Kızılötesi görüntüleme kullanarak gömülü kara mayınlarını tespit ederken yüzey dağınıklığını azaltmak için görsel dalga boyu görüntüleri kullanma problemini ele alınıp, görsel dalga boyu görüntüsü, kızılötesi görüntüde karışıklığa neden olan yüzeydeki düzensiz güneş ışığı emilimini yakaladığı görüntünün orijinal görüntüden çıkarılarak yüzey yapısı ile kumdaki gömülü nesneleri tespit ederken iyi performans gösterdiğinin [46],

Nesnelerin termal radyasyonunu ölçen kızılötesi (IR) radyometrelerin kullanılıp, CNN'nin çeşitli görüntü işleme uygulamaları için güçlü ve verimli bir araç olduğu kanıtlanarak CNN yapısına yansıtılan toprağın bir 3D termal modelinin önerildiği ve CNN'nin yüksek işlem hızı yetenekleri ile toprakta AP'nın varlığını tespit etmek için yinelemeli bir prosedürü çözmek için kullanıldığının [47],

Yaklaşık bir maksimum olabilirlik (AML) detektörü türetmek için nükleer dört kutuplu rezonans (NQR) sinyallerinin sıcaklık bağımlılıklarından yararlanılmasının önerildiği (şekil 2.9), sunulan yöntem için belirli bir yanlış alarm olasılığı için doğru tespit olasılığının önemli ölçüde arttığının gösterildiğinin ve şekilde açıklandığı gibi, TNT numunesinin kesin sıcaklığı sırtın yeri olarak kolayca belirlenebildiğinin [48],



Şekil 2.9. Bir TNT örneğinden gelen bir NQR sinyalinin ikinci yankısı için AML-2 maliyet fonksiyonunun gösterimi.

Kızılötesi kara mayını dedektörlerinde, çift bantlı verilere dayanan bir Bayesian yaklaşımı, son hava durumu, gömme derinliği ve toprak nemi gibi dış parametreler hakkında önceden bilgi içeren bir bilgi paketi oluşturularak, tam çift bantlı gürültü alanının modellenmesiyle önemli performans iyileştirmelerinin elde edilebileceğini gösterildiğinin [49],

Bir SFCW radarı, elde tutulan pulse indüksiyon metal detektörü ve bir IR kamera kullanılarak mayın simülasyonları ve olası yanlış hedeflerden alınan ölçümlerin anlatılarak hem metal hem de bakalit tanksavar mayını, ayrıca PPM-2 anti personel mayın, bir kola kutusu, TNT uyarıcısı gibi çeşitli hedefler, kayalar ve küçük hurda metal parçaları 4 ila 3 metrelik açık bir alanda belirli noktalara gömülerek, SFCW 1 - 2 GHz radar ve metal detektörü kullanılarak yapılan ölçümlerde AP mayınlarının IR radyometrelerle bulunabileceği [50], sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.5. Çekirdek Dörtkutup Rezonansı

Çekirdek Dört kutup Rezonansı [Nuclear Quadrupole Resonance, NQR], birçok patlayıcı ve uyuşturucu maddenin yapısında bulunan azot izotopunun (14N) tespit edilmesine dayalı, Manyetik Rezonans (MR) tekniğine benzeyen özgün bir radyo frekansı (RF) tekniğidir. Doğru frekansta düşük yoğunluklu RF sinyali patlayıcıya uygulandığında ki bu genellikle 0,5 ile 6 MHz arasındadır, azot çekirdeğinin enerji seviyesi değiştirilir. RF uyarımı kaldırıldığında, çekirdekler başlangıç enerji seviyelerine geri dönerler ve bu sırada bir enerji salınır. Bu enerji nedeni ile bir de karakteristik radyo sinyali açığa çıkar. Elde edilecek sinyaller; RF darbelerin hemen ardından oluşacak serbest indüksiyon zayıflama işaretleri ve darbe şeridi aralarında gözlenen yankılar şeklindedir. Fakat sonraki darbelerin sayısı çok olduğu için ve ortalamaları kısa sürede alınabildiği için hassaslık artırılabilmektedir. Algılayıcı bobinlerde elde edilecek bu zayıf indüksiyon akımlarının şiddeti patlayıcının miktarını, frekansı ise cinsini ortaya koyar [51]. Bu yöntemle ilgili bazı önemli çalışmalar şu şekildedir.

Yaklaşık bir maksimum olabilirlik (AML) detektörü türetmek için nükleer dört kutuplu rezonans (NQR) sinyallerinin sıcaklık bağımlılıklarından yararlanılması önerilerek AML dedektörü, yöntemin belirli bir yanlış alarm olasılığı için doğru tespit olasılığının önemli ölçüde arttığını gösterildiğinin [48],

TND, nötron saçılması üzerindeki bir değişme olduğu ve hidrojenin benzersiz ve istisnai düzenleyici özellikleri üzerinde çalışılarak, mayınların patlayıcı içermesi, çoğu mayın patlayıcıya ek olarak plastik içermesi, plastiklerin ve organik patlayıcıların çevreden daha büyük konsantrasyonlarda hidrojen içermesi sebebi ile nötron saçılmasının da hidrojen konsantrasyonundaki kontrastı tespit etmesiyle metalik olmayan kara mayınlarını tespit etmek için yeni bir araç tanımlandığının [25],

Nötron geri saçılma tekniğinin metalik kara mayınlarını aramak için kullanılabilir olduğunun ve bu tekniğin bir avantajı algılama hızı olduğunun 2 boyutlu bir mayın tarama ünitesinin elde edilerek tanksavar mayınlarının 1 saniye içinde en az 20 cm derinliğe kadar bulunabileceği ve Anti-personel mayınlar için bu maksimum derinlik 15 cm olduğunun [52],

Bazı önemli hidrojen içeriği olan çeşitli şekilli nesnelerin bir D-T jeneratöründen hızlı nötronlara maruz bırakılarak nesnelerin görüntülerini oluşturmak için kullanılan bu teknik kara mayınlarının, özellikle de metalik olmayan tiplerin tespitinde ve şekil tespitinde uygulanabilir olduğu [23], sonuçlarına ulaşılmıştır.

3. KARA MAYINLARI TESPİTİNDE MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ

Manyetik anomali, dünyanın manyetik alanı güney kutubundan başlayarak kuzey kutubuna doğru çizgiler şeklinde uzanmaktadır. Manyetik anomali ise dünyanın bu manyetik alan çizgilerinde oluşan bozulmalardır. Manyetik anomalinin tespit edilebilmesi için bu anomaliyi oluşturan nesnelerin feromanyetik malzemelerden yapılmış olması ve dünyanın manyetik alanına dikey olarak konumlandırılması gerekir. Ancak günümüzdeki algılayıcılar değişik pozisyondaki nesneleri de algılayabilmektedir.

Manyetik sensörler, yakınlarındaki nesneler nedeniyle dünyanın manyetik alanındaki bozulmayı algılar ve bu bozulmayı yani anomaliyi ölçerek nesnenin yerinin tespit edilmesini sağlar [28].

Manyetik anomali tespiti, ferromanyetik nesneleri, özellikle de gizli hedefleri tespit etmek için iyi bir yöntemdir [16].

Manyetometrik bir kayıttaki mıknatıslanmış bir nesne nedeniyle zayıf bir manyetik alan sinyalini tespit etmek için, en küçük kareler yaklaşımını kullanarak nesnenin varsayılan konumu ile sinyal işleme için ölçüm noktası arasındaki mesafenin orantılı olarak ayarlanabildiği ağırlık fonksiyonunu tanıtılarak, sinyalin gürültüden ayıklandığının ve tespit edilecek nesnelerin yakınsak konumlarının nesnelerin gerçek konumlarına yakın bir yerde konsantre edilerek etkili sinyal tespiti ile sonuçlandığının [53],

Azot soğutmalı yüksek Tc SQUID gradiyometre prototipi geliştirilerek ve mobil araştırmalarda su altı hedeflerinin manyetik anomali tespiti için değerlendirildiğinin ve geliştirilen bu prototip sayesinde gürültü genliğini 0,1 Hz'de 3 kat azaltılıp, değiştirme-gazı ortamında SQUIDS kriyojene daldırıldığında azot kaynağından kaynaklanan gürültüyü ortadan kaldırıp, patlamamış mühimmatı bulmak için görüntülenen hareket performansının 5 kat üzerinde çıktığının [54],

Herhangi bir gömülü nesnenin tespiti için ortaya çıkan manyetik anomali verilerini analiz ederek Kendiliğinden Organize Özellik Haritası (SOFM) Sinir Ağı ile patlamamış mühimmatın (UXO) havadaki manyetik anomali verilerinden konumunu tespit etmek için kullanıldığı ve kullanılan bu özellik haritasının üç boyutlu bir SOFM olarak tasarlandığı ve

tasarlanan bu özellik haritasının her bir boyutunun UXO'nun konumunun bir koordinatını tespit etmek için kullanıldığının, deneysel sonuçların SOFM'nin UXO pozisyonunu hem simüle edilmiş manyetik anomali verilerinden hem de gerçek havadaki manyetik alan verilerinden doğru bir şekilde ve %15 gürültülü manyetik anomali verileri ile test edildiğinde UXO'nun pozisyonunu doğru olarak tanıyabildiğinin [55],

Ferromanyetik malzemelerdeki kusurları tespit etmek için eddy akım teknikleri ve klasik manyetik anomali tekniklerinin kombinasyonları kullanılarak bir test yöntemi gösterilerek, test altındaki ferromanyetik plaka dc manyetik alanla öngerilimlendiğinde numuneyi mıknatıslandırdıktan sonra ac manyetik alanın girdap akımı uyarma bobinleri kullanılarak, herhangi bir kusurun olmaması durumunda bir mıknatıslama vektörü belirlendiğinin aksi durumda ise sapma mıknatıslanması değiştiğinin ve genlik ve faz modülasyonu açısından ölçülebilir olduğunun, amplifikasyondan sonra ilgili sonuçların 1mm derinlikteki yüzey bozulmalarının gösterildiğinin ayrıca, belirli bir kusur boyutundan sonra, kusurun genişliği ne kadar küçükse sinyal genliğindeki değişimin daha büyük olarak gözlendiğinin [56],

Statik üç eksenli referans manyetometre kullanarak hareketli bir ferromanyetik hedefin tespitini ele alınmaktadır ve hedefin toplam manyetik alanını oluşturmak için üç manyetometre çıkışını kullanılarak hedefin manyetik moment oryantasyonuna çıktı yanıtı sağlandığının ve bir ferromanyetik hedefin manyetik anomalisini ortaya çıkarmak için bir dedektör geliştirilerek, dedektör performansı alıcı işletim karakteristiği (ROC) değerlendirilerek düşük sinyal gürültü oranı (SNR) değerleri için bile yüksek algılama olasılığı gösterdiğinin [16],

Manyetik anomali kullanılarak konum, derinlik veya hareket yönü gibi parametrelerin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar 1970'den beri yapılmaktadır. Temel yaklaşım manyetik alan içerisindeki malzemenin alanın manyetik yapısını bozacağı ve bir anomali yaratacağı kuramına dayanmaktadır [28].

Kara mayınlarının tespitinde geçmişten günümüze kadar birçok uzaktan algılama yöntemi kullanılmıştır. Uzaktan algılanacak nesnenin tipi, yapıldığı malzeme, bulunduğu yer (su ya da yeraltı) gibi değişkenler kullanılacak yöntemi belirlemektedir. Son zamanlarda uzaktan algılama yöntemlerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar, algılama mesafesi,

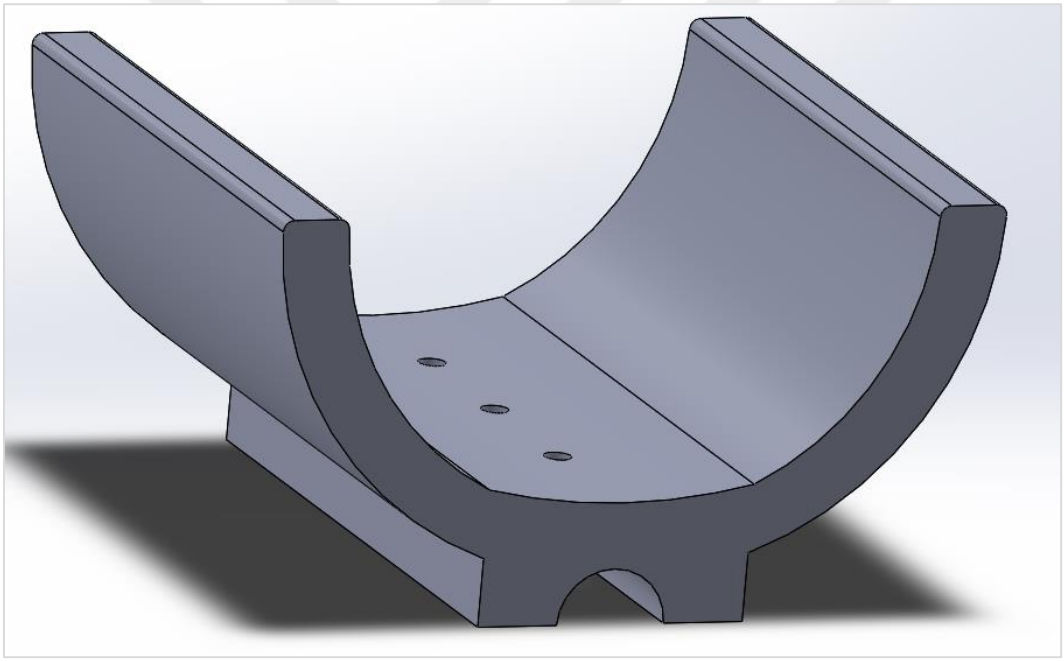
hassaslık, güç tüketimi gibi değişkenlerin iyileştirilmesi üzerinde olmuştur [51], sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bu doğrultuda yapılan çalışmada güç tüketimi çok az, hassasiyeti yüksek olan Teknoloji Ekibi Arştırma ve Geliştirme Grubu sensörü (TE 100) kullanılmıştır. Çalışma için ilk önce bu sensörün verilerini işleyecek denetleyici kart için mini bir bilgisayar olan Raspberry Pi 3b+ seçilmiştir. Bu kartın seçilmesindeki en önemli nedenlerden biri 1.4 Ghz dört çekirdekli 64-Bit ARM Cortex A53 işlemcisi, 1 GB RAM özelliklerine sahip olması ve sensörden gelen veriyi hızlıca işleyip Raspberry Pi 3 b+' ya göre özel tasarlanan WaveShare 7 Inch HDMI Kapasitif Dokunmatik LCD Ekrana iletebilmesi. Aynı zamanda kullanılmış olan bu ekran bu çalışmada oluşturulacak olan mayın dedektör prototipinin ana ekranı olacaktır. Yalnız kullanılan bu mini bilgisayarın analog veri okuyan girişleri olmadığı için ve sensör veri çıkışını analog olarak verdiği için bir analog-digital converter kullanma durumunda kalınmıştır. Kullanılan bu konvertör ADS1115 olup 16-bit çözünürlükte saniyede 860 ölçüm yapabilme yeteneğine ve 4 kanala sahiptir. Oluşturulmuş olan bu sistemi beslemek yani çalıştırmak için 11.1 V 3S Lipo Batarya 3400 mAh 35C bir güç ünitesi ve bu ünitenin çıkışını diğer bileşenlere zarar vermeyecek şekilde, ideale yakın bir şekilde çalışmasını sağlamak için bir LM2596 Ayarlanabilir Voltaj Düşürücü Güç Modülü (4-35V Giriş - 1-30V Çıkış) kullanılmıştır. Bu donanımlara ek olarak daha sonra bahsedilecek olan, dedektörde kullanılan Thonny Python IDE yazılımı ile ve Tkinter temel grafik arayüz işlemleri yazılım modülü ile ana işleyiş ve ara yüz tasarımı yapılmış ve tasarlanan dedektör iskeletine monte edilmesi ile tasarım tamamlanmıştır. Daha sonra bu sistem yardımı ile fiziksel ve manyetik özellikleri bilinen değişik malzemeler ile faklı tipteki mayınların dünyanın manyetik alanının dikey bileşeninde oluşturdukları manyetik anomaliden faydalanılarak gömülü nesne tespiti yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar toprak altında gömülü olan mayınların bu yöntem kullanılarak tespit edilebileceğini göstermiştir.

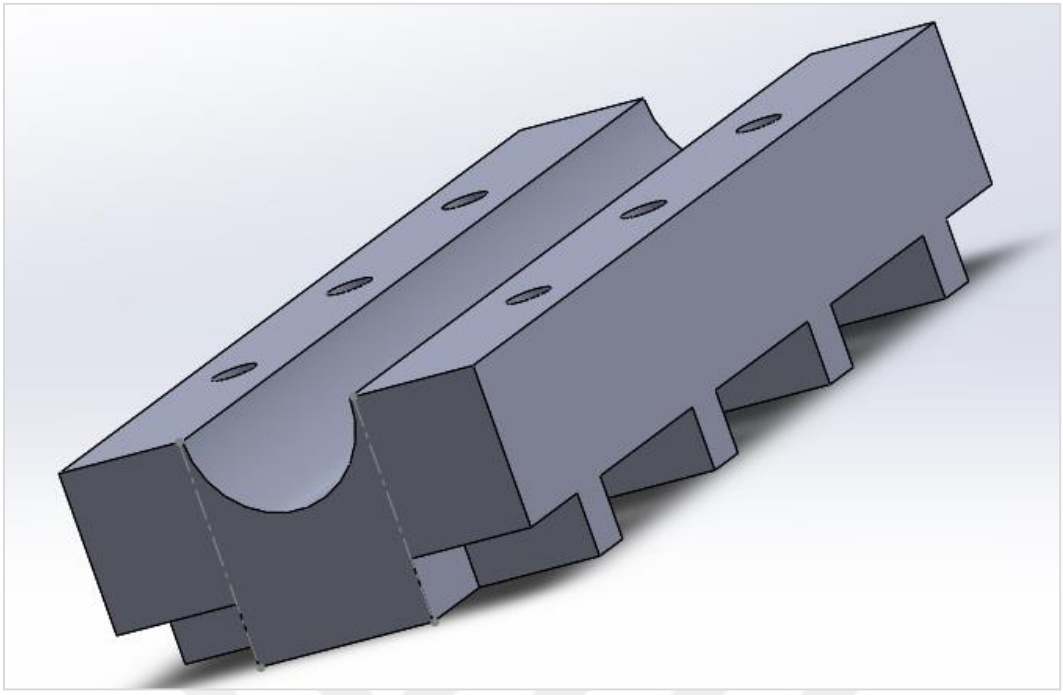
4. MAYIN DEDEKTÖRÜ TASARIMI

4.1. Mekanik Tasarım

Tasarlanan mayın dedektör prototipi alüminyum gövde, kol dayaması ve sabitleme parçası (Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Resim 4.1), ekran ve işlemci kartların konulduğu kutu (Şekil 4.3 ve Resim 4.2) ve sensör taşıyıcısı (Şekil 4.4, Resim 4.3 ve Resim 4.4) olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır. Tasarlanmış olan prototipin genel görüntüsü Resim 4.5 ve Resim 4.6'de görüldüğü gibidir. Prototipin kol dayaması aksamı, kutusu ve sensör taşıyıcısı tamamen orijinal olarak SolidWorks 2013 programında çizilip üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir.



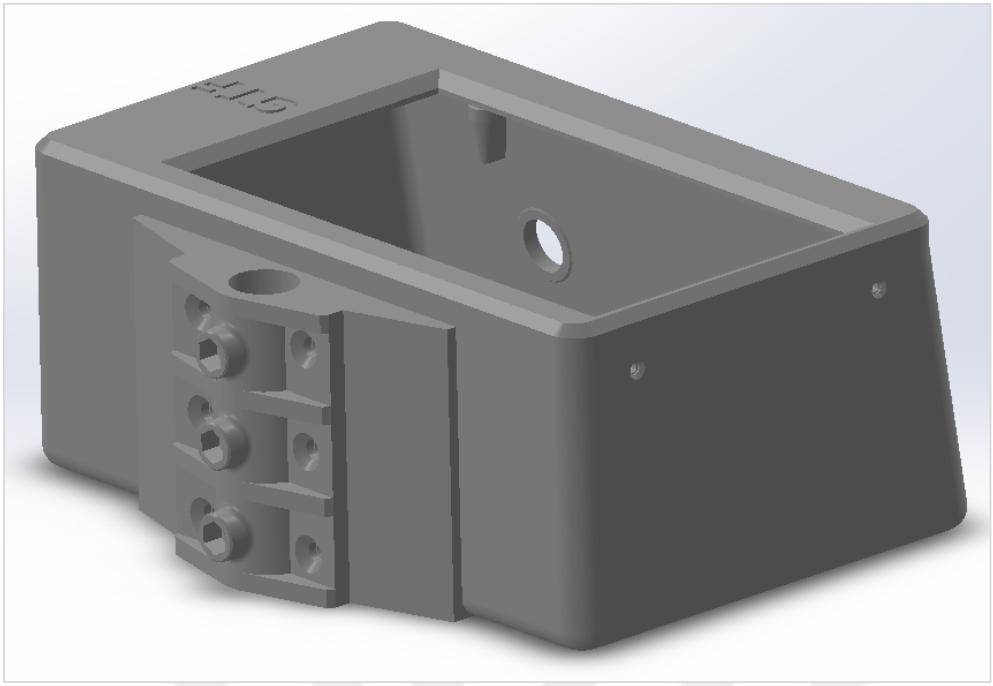
Şekil 4.1. Solidworks 2013'de prototipin kol dayaması çizimi



Şekil 4.2. Kol dayama sabitleme parçası



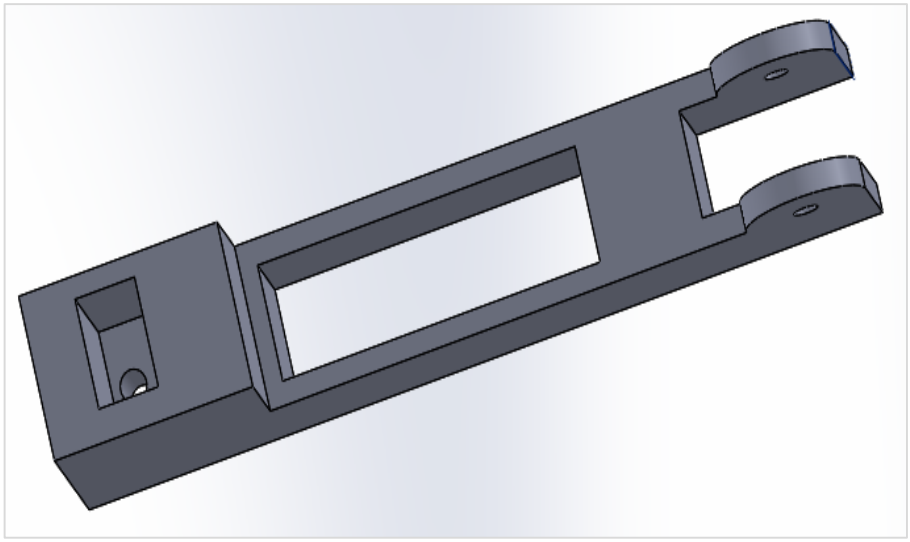
Resim 4.1. Tasarlanan prototipin kol dayama aksamı



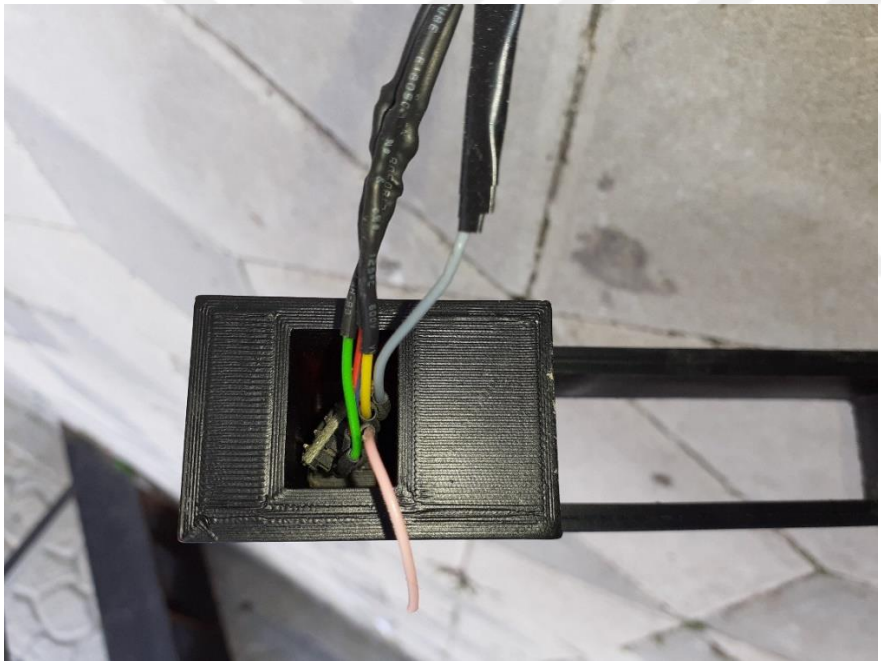
Şekil 4.3. Prototipin ekran ve işlemci kartlarının yerleştirildiği kutu



Resim 4.2. Tasarlanan prototipin ekran ve diğer bileşenlerin yerleştiği kutu



Şekil 4.4. Prototipin sensör taşıyıcısı



Resim 4.3. Tasarlanan prototipin sensör taşıyıcısı



Resim 4.4. Tasarlanan prototipin sensör taşıyıcısı alt kısmı



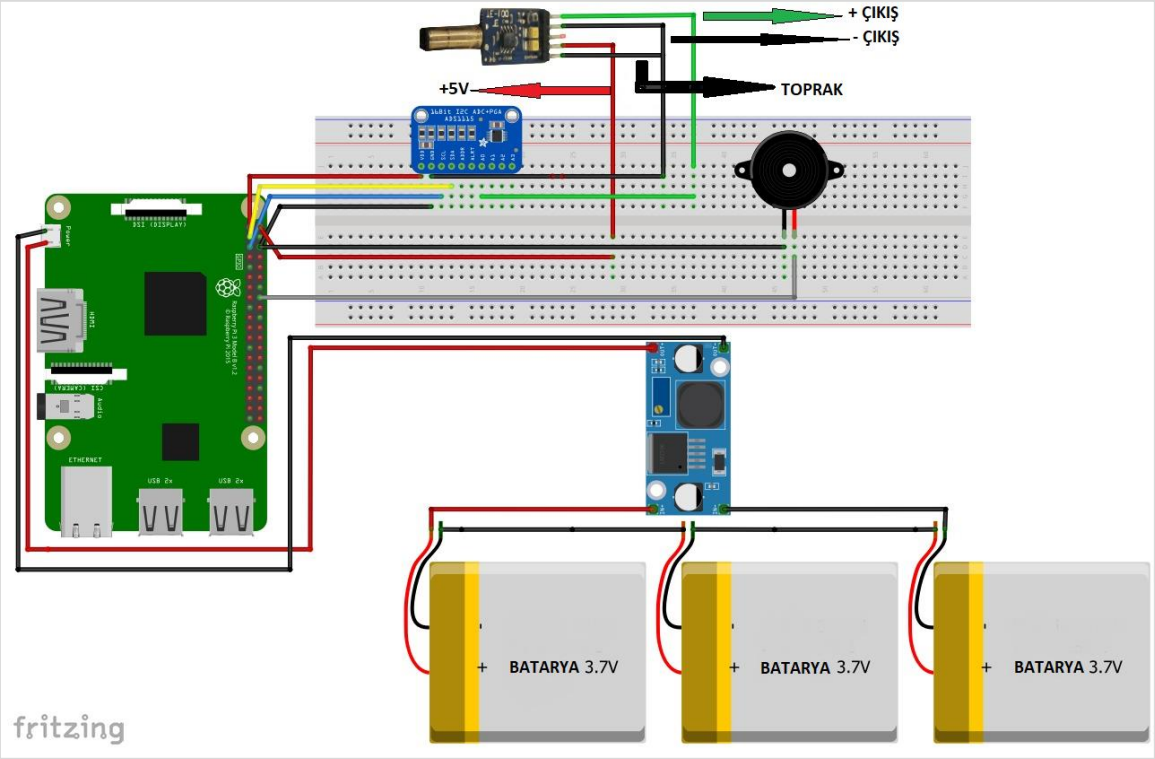
Resim 4.5. Tasarlanmış olan prototip



Resim 4.6. Tasarlanmış olan prototipin bir başka açıdan resmi

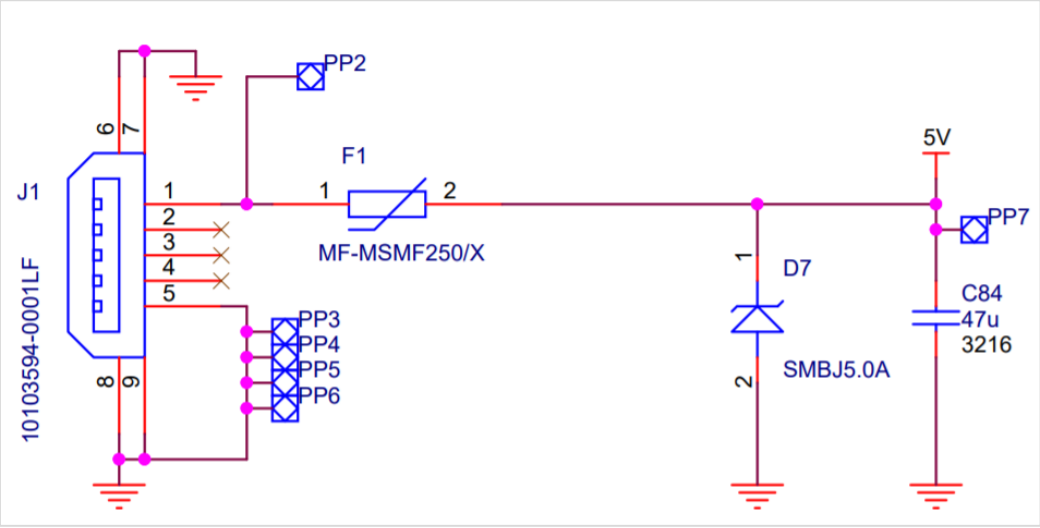
4.2. Elektronik Devre Tasarımı

Tez çalışmasında hazırlanan mayın dedektörü prototipinin elektronik bileşenlerinin bağlantısı Fritzing programında çizilmiştir.

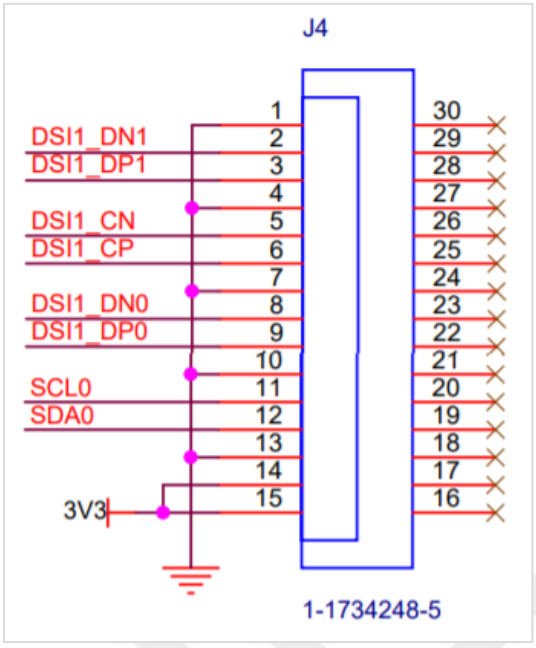


Şekil 4.5. Mayın dedektörü prototipinin elektronik bileşenlerinin bağlantısı Fritzing programında çizilmiş görseli

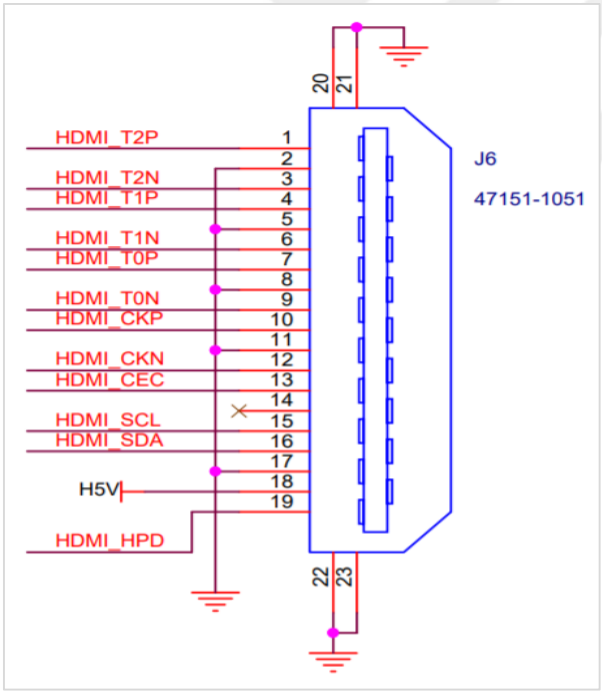
Aşağıda tez çalışmasında kullanılan Raspberry Pi 3b+'nın bazı bölümlerinin elektronik şeması verilmektedir.



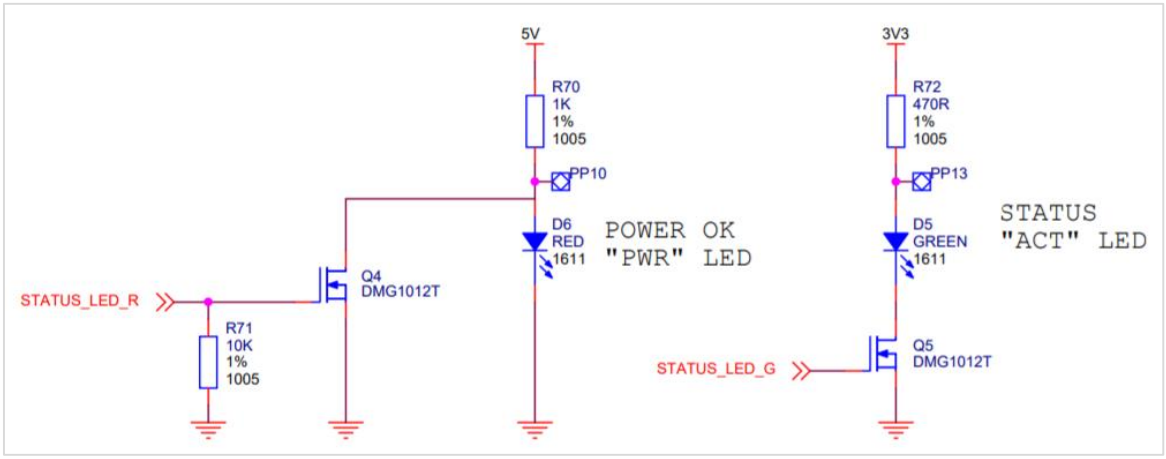
Şekil 4.6. Raspberry Pi 3b+ Güç girişi devre şeması



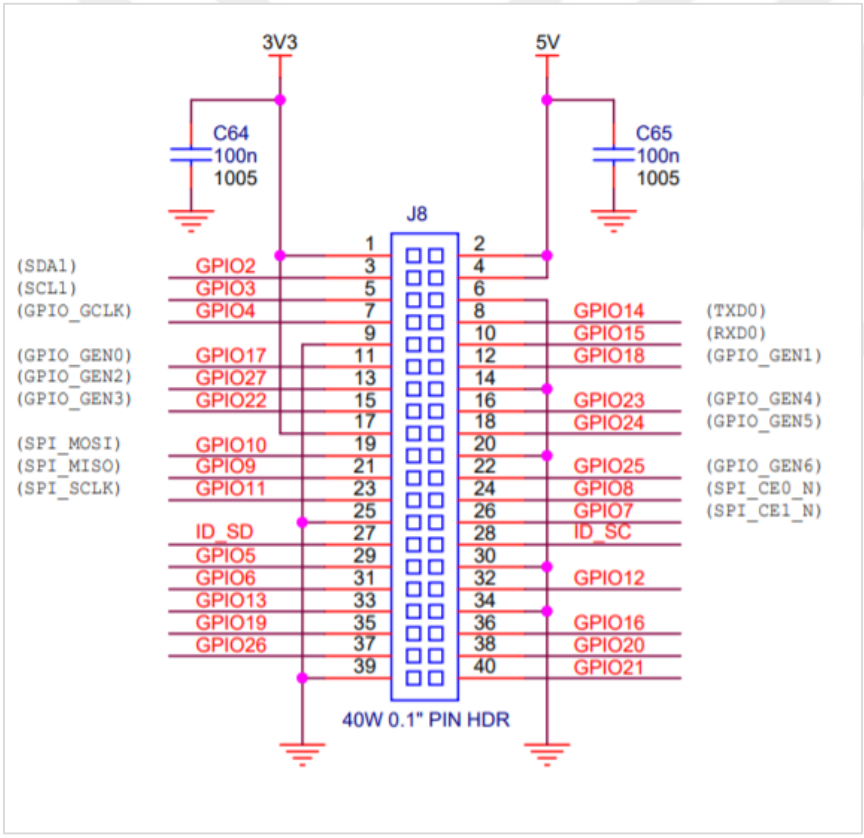
Şekil 4.7. Raspberry Pi 3b+ görüntü girişi devre şeması



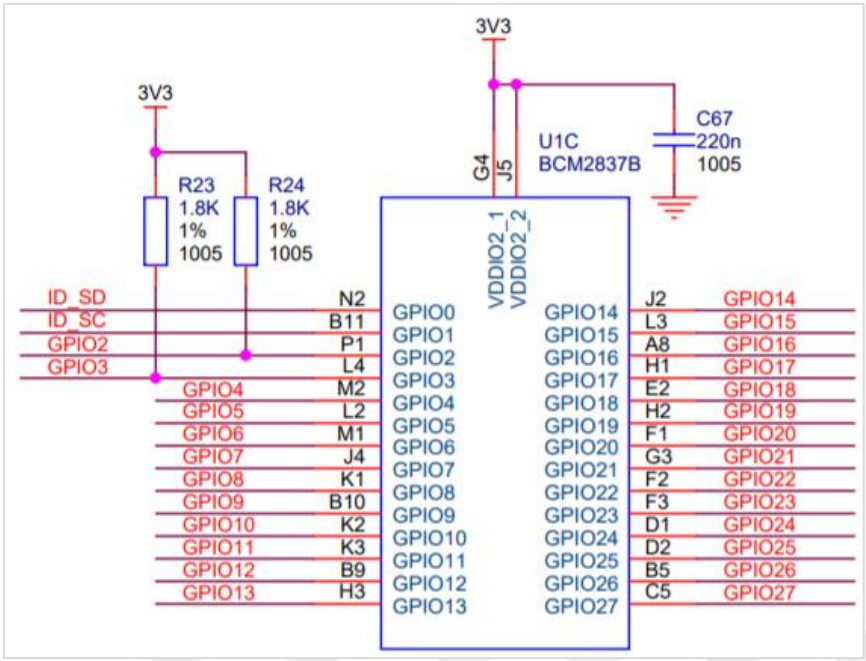
Şekil 4.8. Raspberry Pi 3b+ HDMI girişi devre şeması



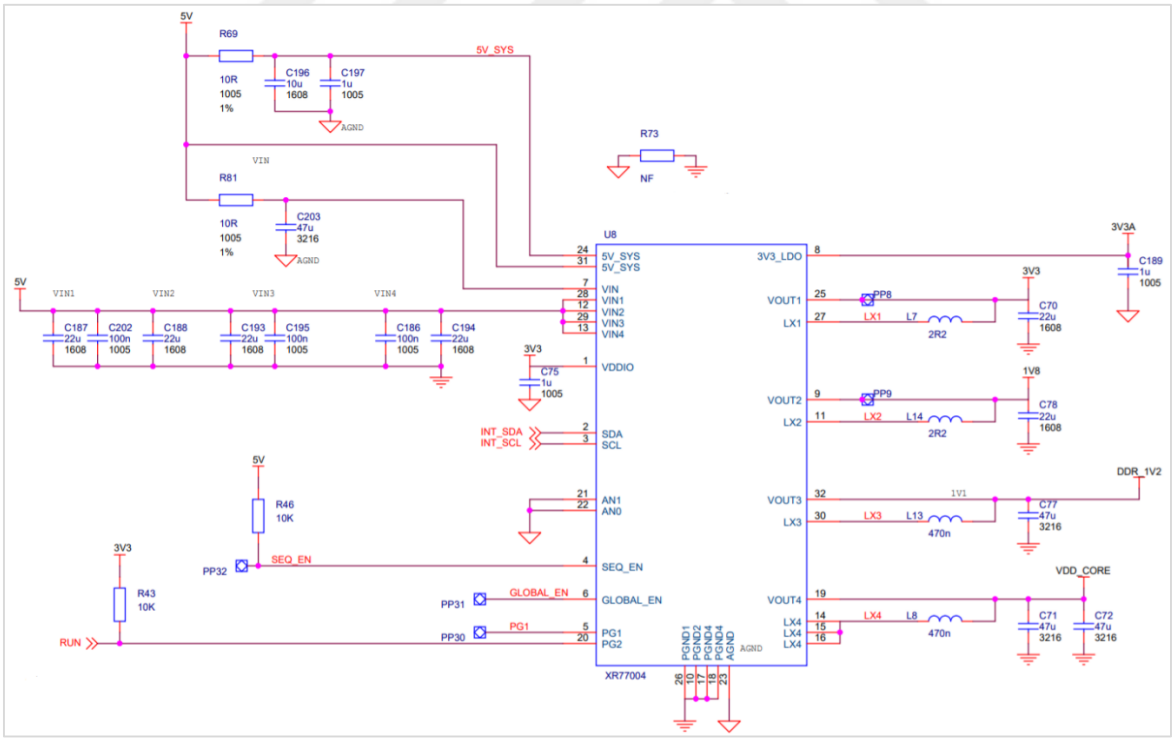
Şekil 4.9. Raspberry Pi 3b+ Güç ve Durum Led devre şeması



Şekil 4.10. Raspberry Pi 3b+ 40'lı PIN giriş devre şeması



Şekil 4.11. Raspberry Pi 3b+'nın İşlemcisi BCM2837B'nin ilgili GPIO'larla Bağlantı şeması



Şekil 4.12. Raspberry Pi 3b+'nın PCB üzerindeki köprüleme devre şeması

4.3. Tez Çalışmasında Kullanılan Elektronik Bileşenler ve Kullanılan Yazılımlar

Bu tez çalışmasında ana işletim kartı olarak kullanılmış olan Raspberry Pi 3b+ mini bilgisayar ile kullanılmış olan TE-100 manyetik anomali sensörünün ve bir önceki bölümde bahsedilmiş olan diğer elemanlarla manyetik anomali kuramından faydalanılarak toprak altında gömülü nesnelerin bilhassa kara mayınlarının yerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Programlama anlatıldığı gibi Raspberry Pi 3b+ ya özgü Thonny Python IDE ne Tkinter modülünde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Raspberry Pi 3b+ kullanılma sebebleri:

1. Pratik bir Kullanıma sahip olması
2. Piyasadaki diğer mikro denetleyici kartlara göre performansının çok iyi olması
3. Açık kaynak kodlarına sahip oluşu ve popülaritesinin günümüzde fazla oluşu bundan dolayı gereken her türlü yardımcı kaynağa internet ortamında erişilmesi
4. Üzerindeki Wi-Fi ve Ethernet modülleri sayesinde her an internete bağlanabilmesi ve internet üzerinden SSH ve VNC bağlantı özellikleri sayesinde her türlü uzaktan müdahale ve başka bilgisayarlardan yine internet üzerinden ağ üzerinden komut satırına bağlanarak kontrol edilebilir olması.
5. Kullanılan Raspbian işletin sistemine bağlı olarak Python tabanlı olması ve günümüzde de Python yazılım dilinin popüler olması.

4.3.1. Raspberry pi 3b+ giriş

Raspberry Pi 3b+ açık kaynak koduna sahip olan elektronik programlama yapabilmek için tasarlanmış üzerinde Ethernet ve Wi-Fİ modülleri, HDMI çıkışı, 40 tane GPİO pini, Mikro SD kart girişi, Broadcom BCM2835 işlemcisi, Broadcom VideoCore IV grafik işlemcisi, CSI bağlantısı, 3.5mm ses jak çıkışı, 4 adet USB girişi olan bir elektronik kart veya mini bir bilgisayardır. Bu mini bilgisayarda aktif bir kodlama veya programlama yapılabilmesi için ilk önce bu mini bilgisayar için tasarlanan faklı işletim sistemleri olan Debian sürümü olan Linux türevli Raspbian, Windows IoT işletim sitemi, Ubuntu Mate, Snappy Ubuntu Core, KODI tabanlı OSMC ve LibreElec media center, Linux tabanlı olmayan Risc işletim sistemlerini çalıştırabilirsiniz. Raspberry Pi 3b+ ile led yakıp söndürmek gibi basit projelerden tutunda çok kompleks elektronik projelere kadar her türlü elektronik projelerde kullanabilirsiniz. Bu cihaz mini bir bilgisayar olduğu için bu bilgisayara özgü farklı kod derleyicilerde Python, C, C++, Ruby, Javascript vb. dillerde programlama yapabilirsiniz. Bu

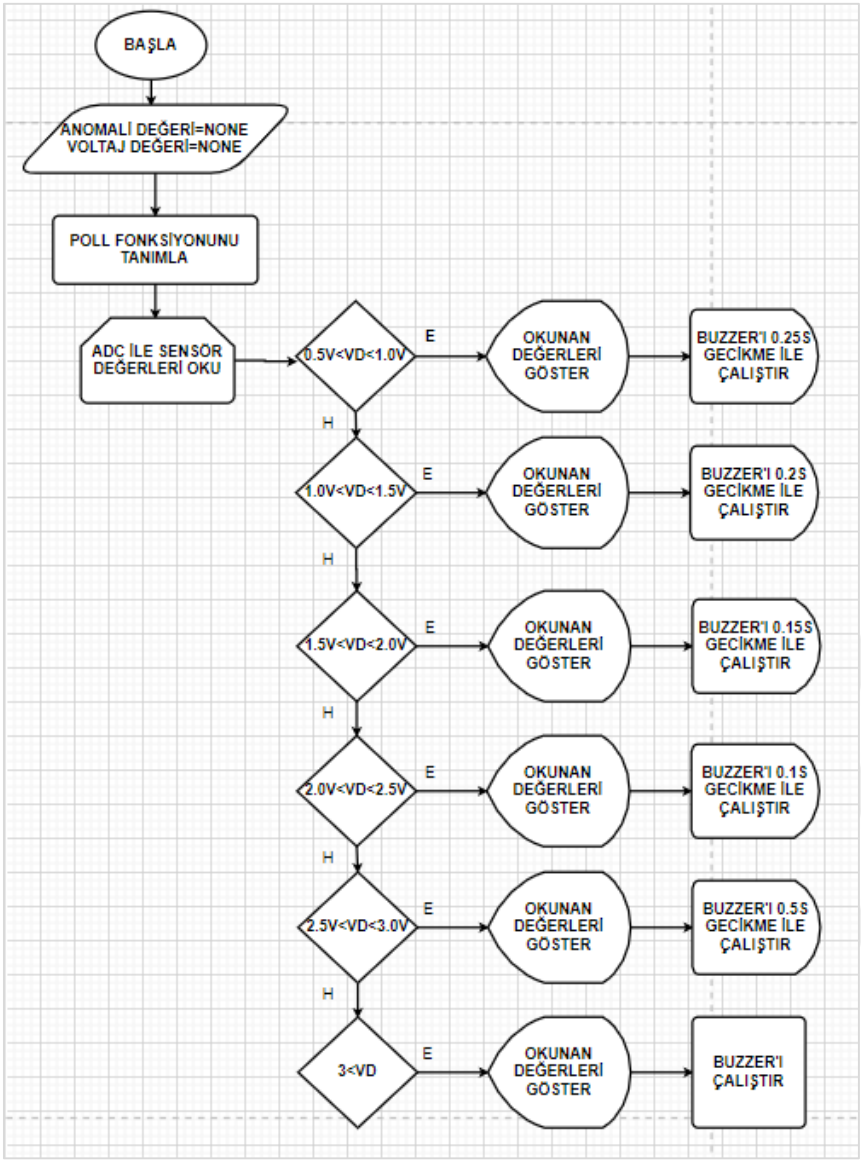
mini bilgisayarın haberleşme protokolleri olan SPI ve I2C sayesinde piyasadaki diğer elektronik kartlar, sensörler, entegreler ve LCD ekranlarla beraber kullanabilirsiniz.



Resim 4.7. Raspberry Pi 3b+

4.3.2. Raspberry pi 3b+' ya işletim sisteminin ve gerekli yazılım modüllerinin kurulması

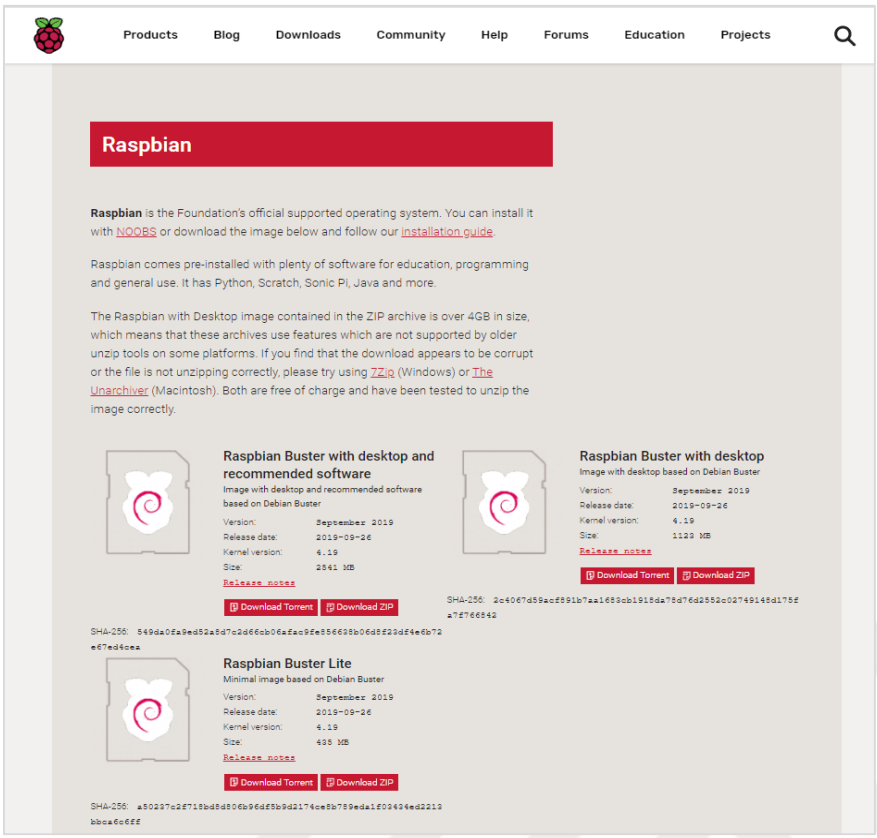
Tasarlanmış olan mayın dedektörü prototipinin basitçe ana işleyiş akış şeması verilmektedir (Şekil 4.13). Bu şemaya göre ilk önce okunacak voltaj değeri ve anomali değeri sıfıra atanarak bir fonksion oluşturulup döngü içine sokulur ve 4 Hz'lik frekans ile okuma işlemi gerçekleştirilir. Okunan her değerin voltaj değerleri ekrana yazdırılır ve bu değerlere göre yerleştirilen buzzerın değişik periyot aralıklarında çıkış vermesi sağlanır. Verilen bu çıkışlar gömülü olan nesnenin oluşturduğu anomali şiddeti ile paralellik gösterir.



Şekil 4.13. Programın akış diyagramı

Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi, Raspberry Pi 3b+ mini bilgisayarın aktif olarak elektronik projelerinde kullanılması için ilk önce bu karta özel işletim sistemlerinden birinin kurulması lazım. Biz bu çalışmada Debian'nın Linux türevli Rasbian işletim sistemini kurup işletim sistemi içindeki Thonny Python IDE' den ve Python 3.5'in gerekli kütüphanelerinin ekleyerek ve güncelleyerek ve işletim sistemimizin desteklediği bazı program modüllerini yükleyerek çalışmamızı gerçekleştirdik.

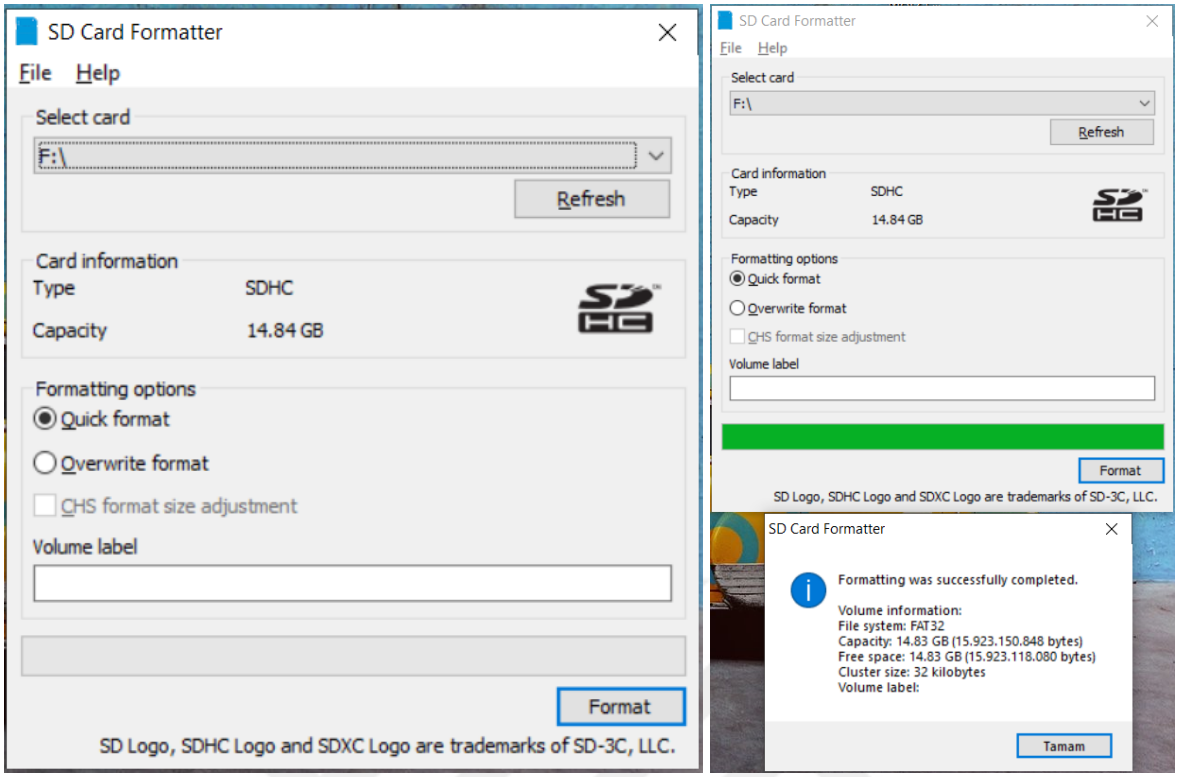
İlk önce ilgili internet adresinden gerekli olan Rasbian işletim sistemi kullanım ihtiyacına göre istenilen çeşidi seçilmiştir [57].



Resim 4.8. Raspbian işletim sisteminin indirildiği internet sayfası [57]

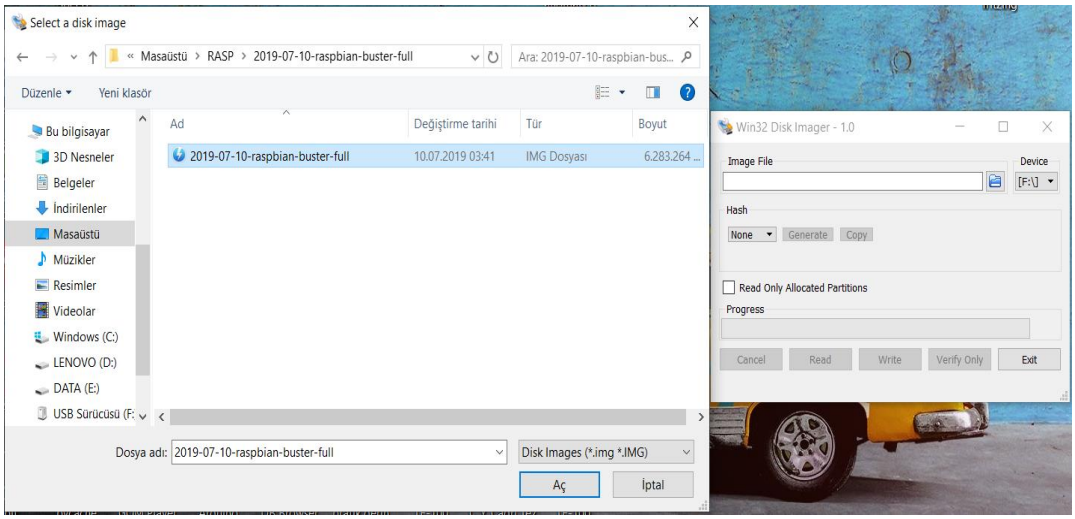
Bizim çalışmamızda en kapsamlı olan Raspbian Buster with desktop and recommended software seçilmiştir.

Daha sonra indirilen işletim sistemi Raspberry Pi 3b+'nın hard disk görevini görecek olan 32gb'lık Micro SD karta, sırasına göre önce SD Card Formatter programı (Resim 4.9) ile kart biçimlendirilmiş ardından Win32 Disk Imager programı (Resim 4.10) ile işletim sistemi karta yazılmıştır. Şekildeki örnek gösterimde 16 gb'lık Micro SD kart kullanılmıştır.



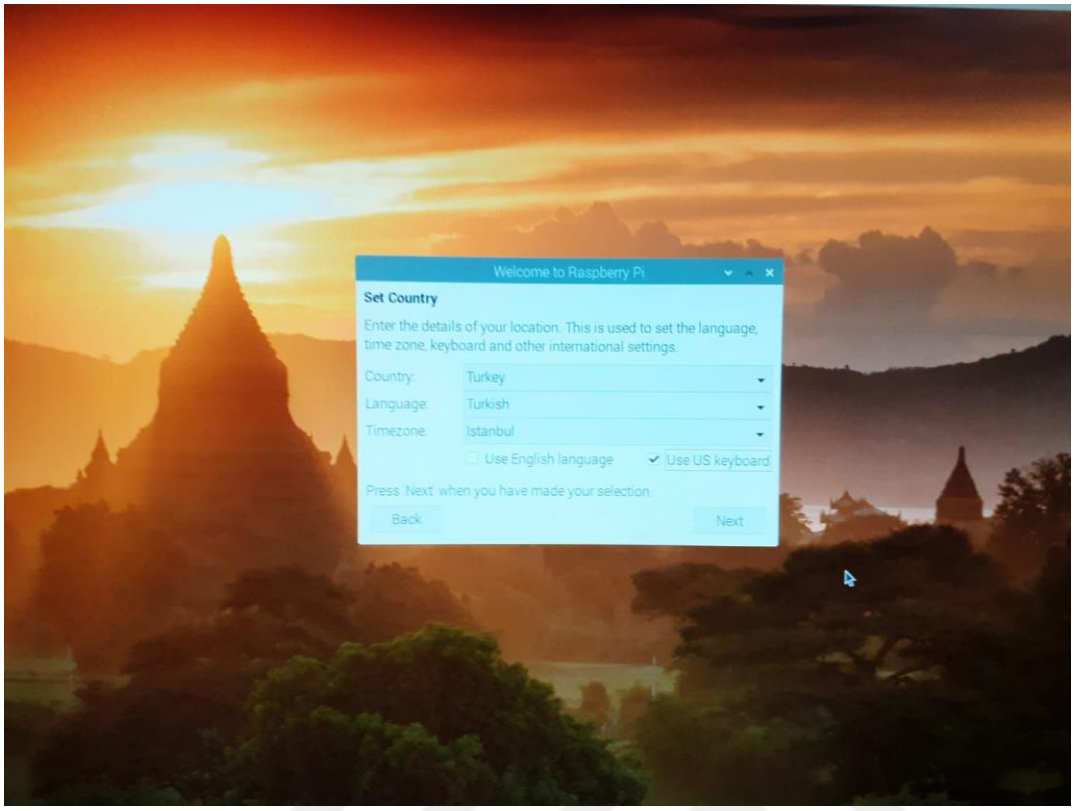
Resim 4.9. SD kart formatter işleminin görüntüsü

Kart formatlama işleminin ardından karta işletim sistemi yazılmıştır.



Resim 4.10. Win32 Disk Imager programı görüntüsü

Kurulum tamamlanıp kart, yuvasına yerleştirilmiş ve gerekli ayarlamalar yapılmıştır (Resim 4.11).



Resim 4.11. Kurulum sonrası yapılan ayarlamaların görüntüsü

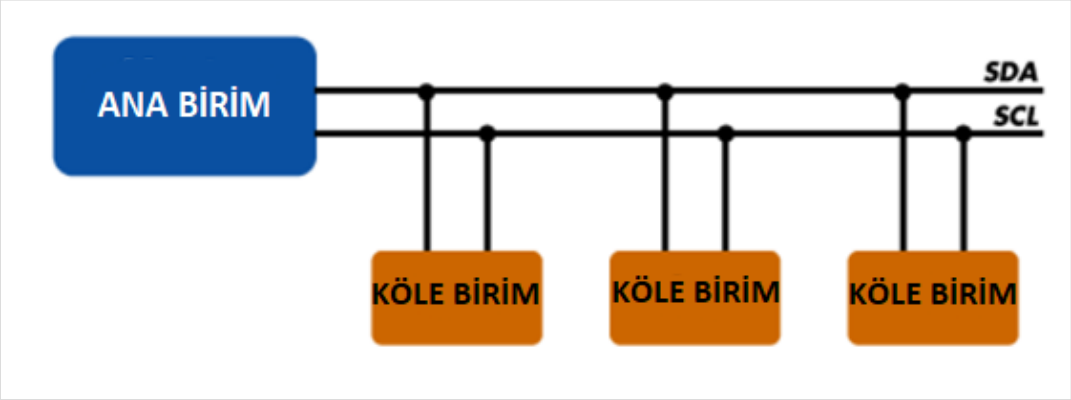
4.3.3. Raspberry pi 3b+' da I2C haberleşmesi

Bu tez çalışmasında Raspberry Pi 3b+ kartının analog girişleri olmadığı için ve kullanmış olduğumuz TE-100 sensörün çıkışları analog olduğu için bir analog-dijital çevirici olan ADS1115 kullanılmıştır. Bu çevirici ile kartımızın haberleşmesi ise I2C protokolü ile gerçekleştirilmiştir. I2C haberleşme protokolü açıklamak gerekirse:

Bir mikrodenetleyiciye birden fazla cihaz bağlanırken, her cihazın adresi ve veri hatları geleneksel olarak ayrı ayrı bağlanmıştır. Bu, mikrodenetleyici üzerindeki değerli pinleri alır, PCB'de çok fazla iz bırakır ve her şeyi birbirine bağlamak için daha fazla bileşen gerektirir. Bu, sistemleri üretmeyi pahalı hale getirir parazit ve gürültüye karşı duyarlı hale getirir. Bu sorunu çözmek için Philips, 1980'lerde Inter-IC veriyolu (entegre devre) veya I2C geliştirdi. I2C, yerleşik iletişim için düşük bant genişliğine sahip, kısa mesafeli bir protokoldür. Tüm cihazlar iki kablo ile bağlanır: seri veri hattı (SDA) ve seri saat hattı (SCL).

I2C haberleşme protokolü çift yönlü açık kollektörlü (open-collector) veya açık kanallı (open-drain) hatları ve toplama (pull-up) dirençleri ile birlikte seri veri hattı SDA ve seri saat

hattı olan SCL kullanır. Geleneksel tipik voltaj kullanımı +5V veya +3.3V' tur. I2C terminallerine kaç tane köle (slave) birimin bağlandığı göz ardı edilerek, sadece iki tane sinyal hattı bağlanır (Şekil 4.14).



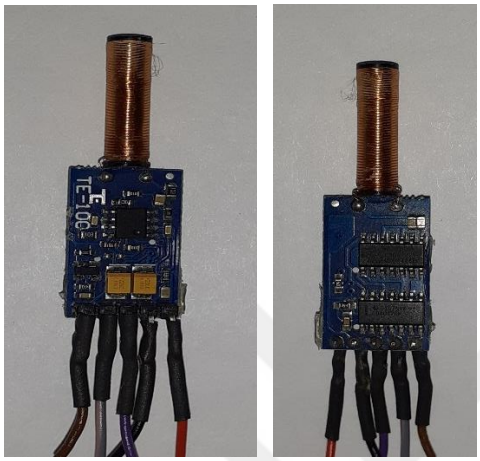
Şekil 4.14. Örnek bir I2C uygulaması [58]

Sonuç olarak, ek yük vardır, çünkü ana cihazın belirli bir bağımlı cihazla iletişim kurması için bir adresleme mekanizması gereklidir. Tüm iletişim sadece iki kabloda gerçekleştiğinden, tüm cihazların veri yolunda tanımlanması için benzersiz bir adresi olmalıdır. Bağımlı aygıtların önceden tanımlanmış bir adresi vardır, ancak aynı aygıtın veri yolunda katlarına izin vermek için adresin alt bitleri atanabilir. Nesnelerin İnterneti'nin ("IOT") ortaya çıkışı, I2C seri iletişiminin düşük pim sayısı ile birleştiğinde I2C kullanımında bir canlanmaya yol açmıştır. Yaygın uygulamalar, sensörlere / sensörlerden seri veri aktarımı, EEPROM'ların programlanması ve seçici / sensör verilerinin alınması da dahil olmak üzere seri veri yönetimi içindir. Sistemin teorisi ise şu şekildedir:

1. Ana cihaz bir başlatma koşulu yayınlar. Bu durum, tüm bağımlı cihazları, talimatlar için seri veri hattında dinlemelerini bildirir.
2. Ana cihaz, hedef bağımlı cihazın adresini ve bir okuma / yazma bayrağını gönderir.
3. Eşleşen adrese sahip Slave (köle) cihazı bir onay sinyali ile yanıt verir.
4. İletişim, veri yolundaki Master (ana) ve Slave arasında ilerler. Hem master hem de slave, iletişimin bir okuma veya yazma olmasına bağlı olarak veri alabilir veya iletebilir. Verici, alıcıya 1 bitlik bir onayla yanıt veren 8 bitlik veri gönderir (Şekil 4.14).
5. İletişim tamamlandığında, master her şeyin yapıldığını gösteren bir durdurma koşulu yayınlar.

4.3.4. TE-100 sensörü

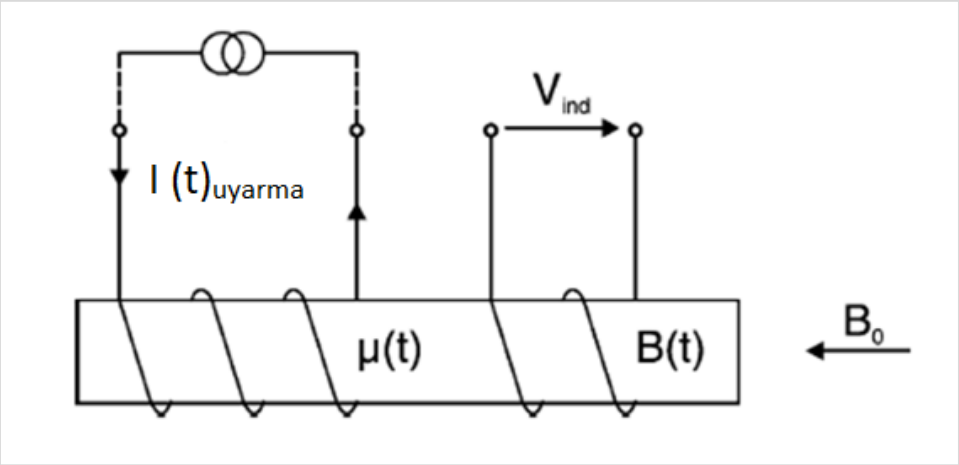
TE 100 Manyetik alan sensörü (Resim 4.12), 100 µT'ye kadar zayıf manyetik alanların ölçümü için yüksek çözünürlüklü minyatür bir fluxgate manyetometredir.



Resim 4.12. TE-100 sensörlerinin ön ve arka profil resimleri

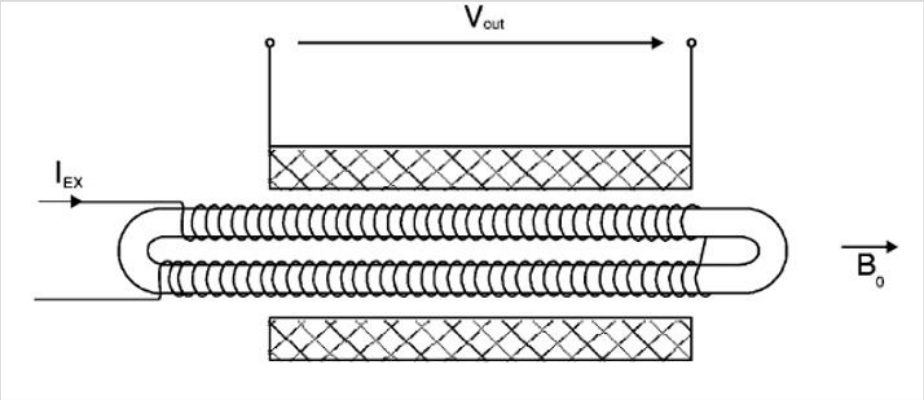
Bu sensör, geleneksel manyetik alan sensörlerinin (Hall veya MR sensörleri) hassasiyetinin ve kararlılığının çok düşük olduğu herhangi bir uygulamada kullanılabilir, örn. Dünyanın manyetik alanının ölçümü için (navigasyon için) veya daha uzak mesafelerde demir içeren nesnelerin tespit edilmesi gerekiyorsa. Bu sensör harici sürücü devreleri olmadan çalışan eksiksiz bir tek eksenli fluxgate manyetometredir. Analog çıkış voltajı, algılama bobinine paralel olan manyetik alanın bileşeniyle orantılıdır. Tekli 5 V besleme voltajı ve düşük akım tüketimi nedeniyle, pille çalışan uygulamalar için idealdir. Besleme ve sinyal hatları, 0,1 inçlik bir iletim şebekesinin düğümlerine yerleştirilmiş lehim pedlerine bağlanır. Birkaç sensörün uyarım frekansları (tipik 16 ~ 17 kHz), SYNC pedlerinin birbirine bağlanmasıyla senkronize edilebilir.

Vektörel alan sensörleri içerisinde en iyi hassasiyete sahip olanıdır. Uyarma bobini boyunca uyarma akımı I_{uyarma}, sensör çekirdeğinin yumuşak manyetik malzemesini periyodik olarak doyuran (her iki yönde) alan üretir (Şekil 4.15) [59].



Şekil 4.15. Fluxgate çalışma prensibi [59]

Doygunlukta çekirdek geçirgenliği düşer ve ölçülen dc manyetik alan B_0 ile ilişkili dc akısı azalır. Ölçülen alan mevcut olduğunda, voltaj gerilimi uyarma frekansının ikinci (ve hatta daha yüksek) harmoniklerinde algılama (toplama) bobinine indüklenir. Ölçülen alanla orantılı olan bu voltaj genellikle sensör çıkışıdır, ancak bazı fluxgates de kısa devre modunda (akım çıkışı) çalışır. Bu araç, çekirdek BH döngü şekli ve uyarma dalga formunun sensörün açık döngü performansı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi sağlar. Fluxgate manyetometreler jeofizikte ve uzay uygulamalarında kullanılır. Fluxgate pusulaları uçak ve araç navigasyonu için kullanılır. Fluxgate prensibi akım sensörlerinde ve hassas akım karşılaştırıcılarında ve dc akımların uzaktan ölçümü için de kullanılır. Manyetik işaretlerin ve etiketlerin okunması ve ferromanyetik nesnelerin algılanması için kompakt fluxgate manyetometreler kullanılır. Nanotesla aralığında çözünürlük gerekiyorsa, fluxgates en iyi seçimdir. En çok kullanılan modern düşük gürültülü fluxgate sensörü halka çekirdekli "paralel" tiptir. "Paralel" tip, uyarmanın ve ölçülen alanın aynı yöne sahip olduğu anlamına gelir. Ortogonal tip, çoğunlukla ince film cihazlarda nadiren kullanılır. İndüklenen voltajdaki ikinci harmonik, faza duyarlı bir dedektör tarafından çıkarılır ve toplama bobini genellikle geri besleme için de kullanılır [59]. Fluxgate sensörler çekirdek yapılarına göre Ring-core (halka çekirdekli) ve Race-track (yarış pisti) tip olmak üzere ikiye ayrılır. Halka çekirdeği algılayıcıları, büyük manyetiklik giderme nedeniyle düşük hassasiyete sahiptir. Yarış-pisti sensörlerinin hassasiyeti daha yüksektir ve düşük mıknatıslanma giderme faktörü nedeniyle dikey alanlara karşı daha az duyarlıdır (Şekil 4.16) [59].



Şekil 4.16. Race – track Fluxgate [59]

Diğer taraftan yarış pistleri (race-track), kapalı tip sensörlerin avantajlarına sahiptir.

Manyetikliği gidermenin etkisini açıklamak gerekirse:

Genel indüksiyon sensörü denklemindeki (Eş. 4.1) sabit toplama bobini alanı varsayılırsa, şunu elde ederiz:

$$-v_i = \frac{d\phi}{dt} = \frac{NA\mu_0\mu\, dH(t)}{dt} + \frac{NA\mu_0 H\, d\mu(t)}{dt} \tag{4.1}$$

Burada μ nispi geçirgenliktir. Temel indüksiyon etkisi (ilk terim) hala fluxgate sensörlerinde bulunur ve parazite neden olur. Ancak en önemli bileşen, fluxgate etkisinin neden olduğu ikinci terimdir. Çekirdek geçirgenliği, uyarma alanı ile periyodik olarak değişmektedir. Verilen formül, uzun çubuk tipi sensörler için kullanılabilir, ancak daha sık kullanılan halka çekirdeği için, manyetiklik giderme etkisi dikkate alınmalıdır. Manyetikliği giderme, çekirdek malzemedeki *H*'nin açık havada ölçülen H_0 alanından daha düşük olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, çekirdek içindeki akı yoğunluğu (Eş. 4.2) yazılmalıdır:

$$B = \frac{\mu_0\mu H_0}{1+D(\mu-1)} = \mu_0\mu_a H_0 \tag{4.2}$$

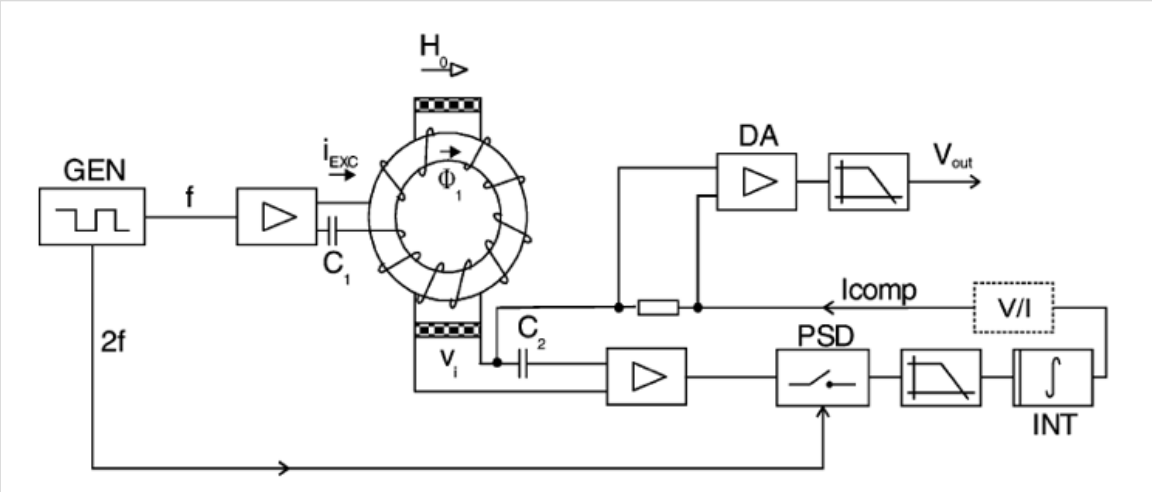
Burada D etkili demanyetizasyon faktörü ve μa görünür geçirgenliktir, μa = μ / [1 + D (μ − 1)], çok yüksek μ, μa → 1 / D için. Manyetiklik giderme dikkate alınırsa, fluxgate çıkış gerilimleri denklemi daha karmaşık hale gelir (Eş. 4.3):

$$V_i = NA\frac{dB}{dt} = NA\mu_0 H_0 \frac{1-D}{[1+D\mu(t)-1]^2}\frac{d\mu(t)}{dt} \tag{4.3}$$

Bu denklemden ve aynı zamanda pratik deneyimlerden, yüksek hassasiyet elde etmek için genel pratik kurallar çıkarılabilir:

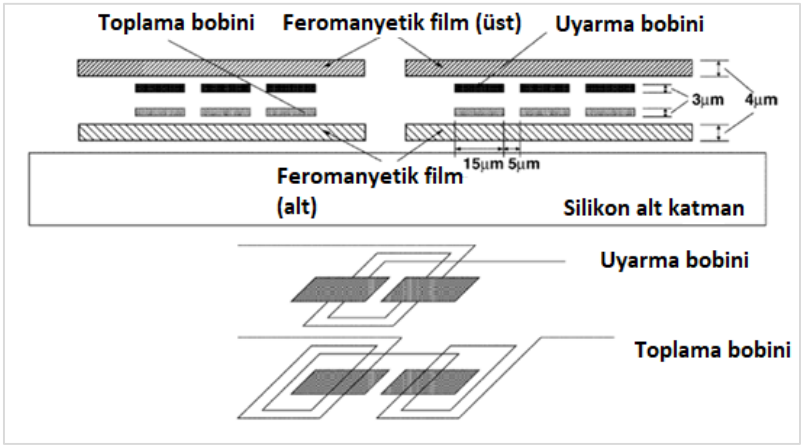
1. Gerilim hassasiyeti N sarım sayısı ile artar (N çok yüksekse, bobin parazitik kapasitans gibi diğer faktörler hassasiyeti sınırlar).
2. Manyetikliği giderici faktör D ile duyarlılık azalır.
3. Çekirdek doygunluğa ulaştığında, histerezis döngüsünün dikdörtgen şekline sahip malzemeler için, dμ / dt geçirgenliğinde dik bir değişiklik olduğu için hassasiyet yüksektir. Ancak bu malzemeler yüksek gürültü seviyelerinden dolayı kullanılamaz.
4. Girdap akımları (histerezis döngüsünün şeklini değiştirir) önemli hale gelinceye kadar, voltaj hassasiyeti uyarım frekansıyla artar (çünkü (dHexc / dt) ~ f).

Voltaj çıkışı genellikle ayarlanır. Ayarlama, parametrik amplifikasyonu kullanmak için paralel kapasitans veya kasıtsız olabilir (parazitik bobin kapasitansı ile) [59].



Şekil 4.17. Analog Fluxgate manyetometrenin iç yapısı [59]

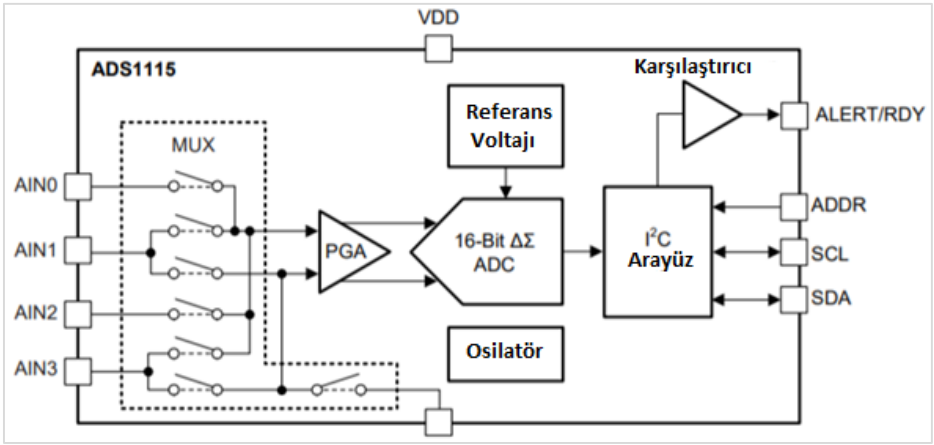
Ortak geri besleme tipi fluxgate manyetometresi Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Ölçülen alan sensör çıkışında faza duyarlı dedektör tarafından tekrar dc veya sıfıra yakın frekansa demodüle edilen ikinci harmonik gerilime neden olur. Entegratör büyük geri bildirim kazancı sağlar. Geri besleme akımı, diferansiyel amplifikatör tarafından direnç üzerinde algılanır ve manyetometre çıkışı olarak işlev görür [59].



Şekil 4.18. Simetrik çekirdekli ve yassı bobinli mini Fluxgate [59]

4.3.5. ADS1115 analog-dijital konvertör

ADS111x serisi konvertörler çok küçük, düşük güçlü, 16 bit, delta-sigma (ΔΣ) analogdan dijitale dönüştürücülerdir (ADC'ler). ADS111x, dahili voltaj referansı olan bir ΔΣ ADC çekirdeği, bir saat osilatörü ve bir I2C arayüzünden oluşur. ADS1115 ayrıca programlanabilir bir kazanç amplifikatörü (PGA) ve programlanabilir bir dijital karşılaştırıcı entegre edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. ADS1115 blok diagramı [60]

ADS111x serisi ADC'ler çekirdeği V (AINP) ve V (AINN) arasındaki fark olan VIN diferansiyel sinyalini ölçer. Konvertör çekirdeği, diferansiyel, anahtarlamalı kapasitör ΔΣ modülatöründen sonra dijital bir filtreden oluşur. Bu mimari, ortak mod sinyallerinin çok güçlü zayıflamasına neden olur. Giriş sinyalleri dahili voltaj referansı ile karşılaştırılır. Dijital filtre, modülatörden yüksek hızlı bir bit akışı alır ve giriş voltajıyla orantılı bir kod

verir. ADS111x'in iki kullanılabilir dönüşüm modu vardır: single-shot ve continuous-conversion. Single-shot modunda, ADC istek üzerine giriş sinyalinin bir dönüşümünü gerçekleştirir, dönüşüm değerini dahili bir dönüşüm kaydına depolar ve ardından kapanma durumuna girer. Bu mod, yalnızca periyodik dönüşüm gerektiren sistemlerde veya dönüşümler arasında uzun süre kullanılmadığında önemli güç tasarrufu sağlamayı amaçlamaktadır. Sürekli dönüşüm modunda, ADC, önceki dönüşüm tamamlanır tamamlanmaz otomatik olarak giriş sinyalinin dönüştürülmesini başlatır. Sürekli dönüşüm hızı, programlanan veri hızına eşittir. Veriler her zaman okunabilir ve her zaman en son tamamlanan dönüşümü yansıtır.

ADS1115 bir giriş çoklayıcı (MUX) içerir. Dört tek uçlu veya iki diferansiyel sinyal ölçülebilir. Ek olarak, AIN0 ve AIN1, AIN3'e göre farklı şekilde ölçülebilir. Tek uçlu sinyaller ölçüldüğünde, ADC'nin negatif girişi çoklayıcı içindeki bir anahtarla GND'ye dahili olarak bağlanır. Bu konvertörün en önemli özelliği de zaten single-ended modda veya iki diferansiyel farkının ölçüldüğü modda kullanım sağlamasıdır. Bizim çalışmamızda ise tek TE-100 sensörü kullandığımız için bu dönüştürücü single-ended modda kullanılmıştır.

4.4. Tasarlanan Mayın Dedektörünün Performans Analizinin Test Edilmesi

Bu bölümde tasarlanan mayın dedektörü prototipinde TE-100 sensörü kullanılmıştır. Bu prototip ile değişik ortamda ölçülen değişik tipteki mayın ve anomaliyi oluşturabilecek nesnenin ölçümleri yapılmıştır. Bu yapılan ölçümlerde toprak tipi, dedektörün toprağa olan yüksekliği ve anomaliyi oluşturan nesne tipi dikkate alınmıştır.

Ölçümlerin yüksekliğinde Kartezyen koordinat sistemindeki z ekseni temel alınarak yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde toprak tiplerinin yüzeyi ile gömülü olan nesnelerin arasında 3-4 cm mesafeye göre ayarlanmıştır. Anomali değerlerinin yükseklikle olana değişimi z ekseninde, 10 cm'ye kadar birer cm aralıklarla, 10-25 cm arasında ise beşer cm aralıklarla not edilmiştir.

Ölçümlerde kullanılan kara mayınlarının resimleri aşağıda verilmiştir.



Resim 4.13. Anti-personel mayını görselleri

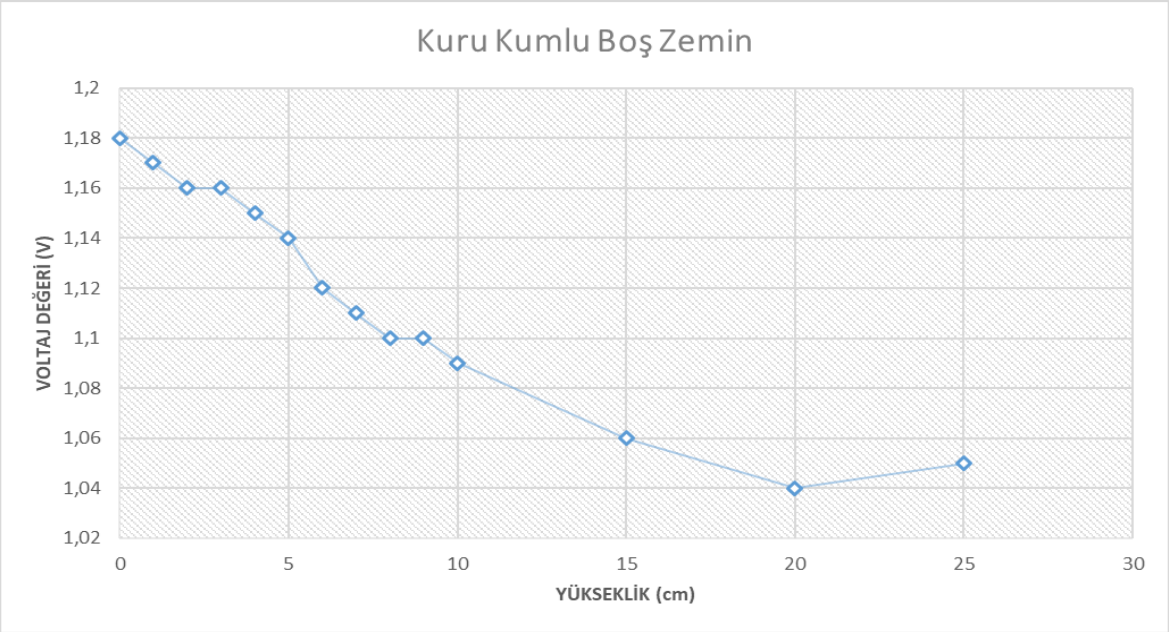


(a) (b)

Resim 4.14. a) Topuk koparan ve b) Anti-tank mayın görselleri

4.4.1. Boş kuru kumda yapılan ölçüm

Altı boş kuru kumda yapılan ölçümlerde kaydedilen anomali değerleri şekil 4.20'de görüldüğü gibidir.

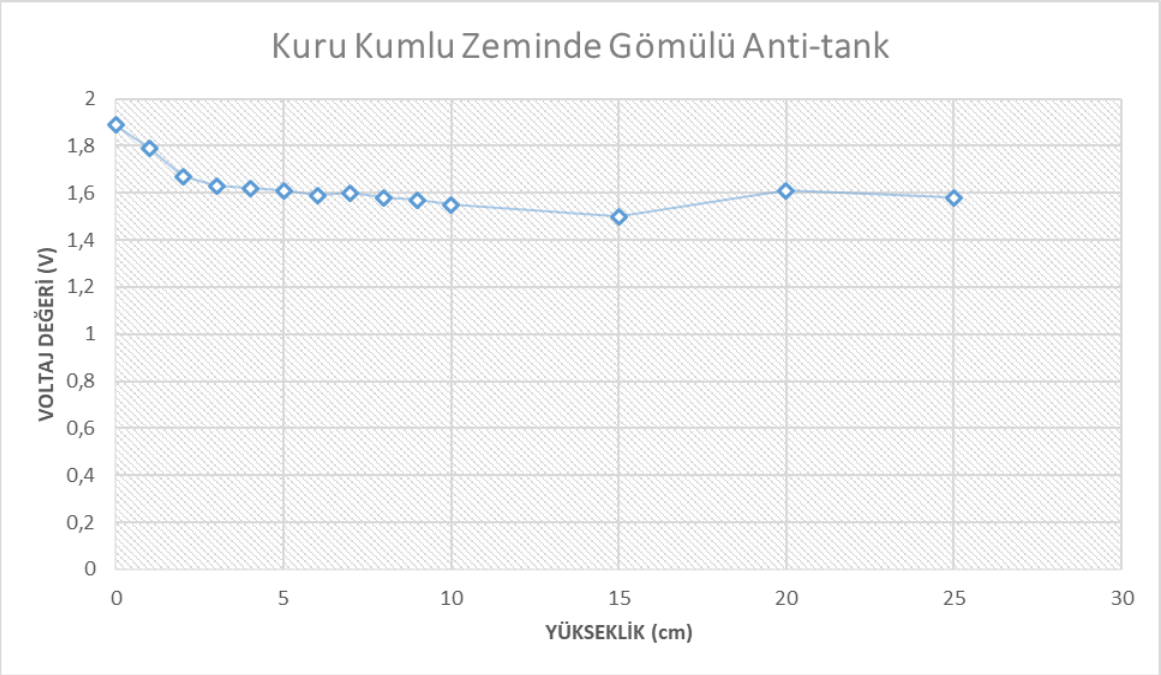


Şekil 4.20. Kuru kumlu boş zeminde oluşan manyetik anomali grafiği

Grafikten de görüldüğü gibi anomali değerleri 0-25 cm yüksekliklerde 1.18V ile 1.04V arasında değişmektedir.

4.4.2 Kuru kumlu zeminde gömülü anti-tank mayını ile yapılan ölçümler

Kuru kumlu zemine gömülü olan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.21'de görüldüğü gibidir.

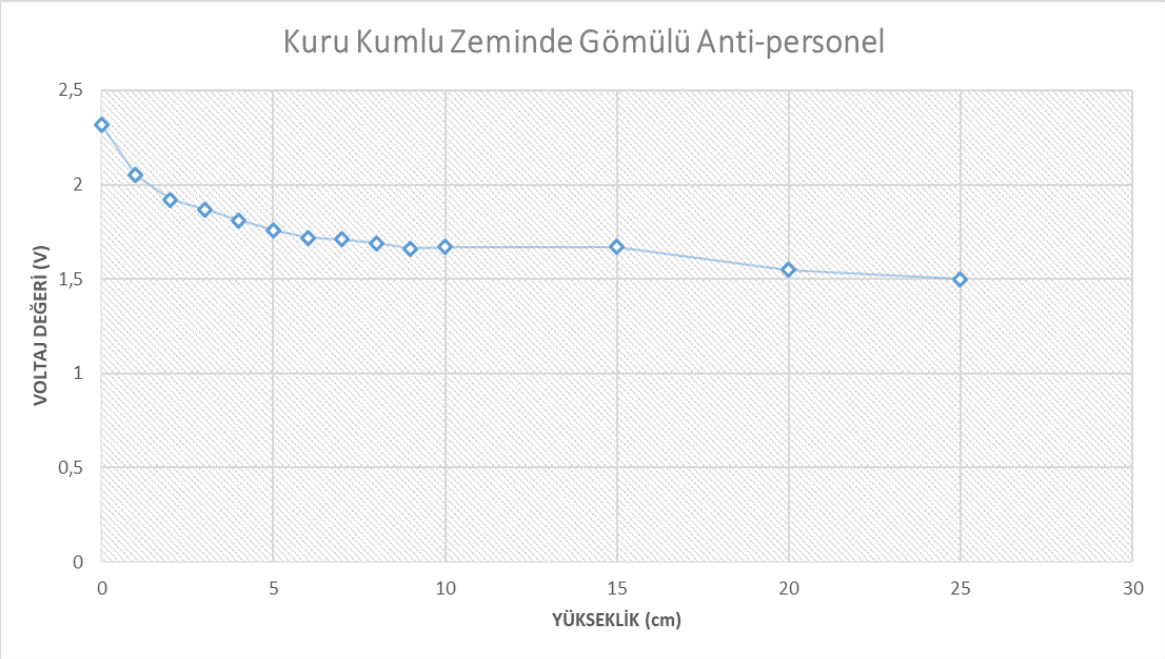


Şekil 4.21. Kuru kumlu zeminde gömülü anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi kuru kumda gömülü olan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 1.89V ile 1.50V arasında değişmektedir.

4.4.3. Kuru kumlu zeminde gömülü anti-personel mayını ile yapılan ölçümler

Kuru kumlu zemine gömülü olan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.22'de görüldüğü gibidir.

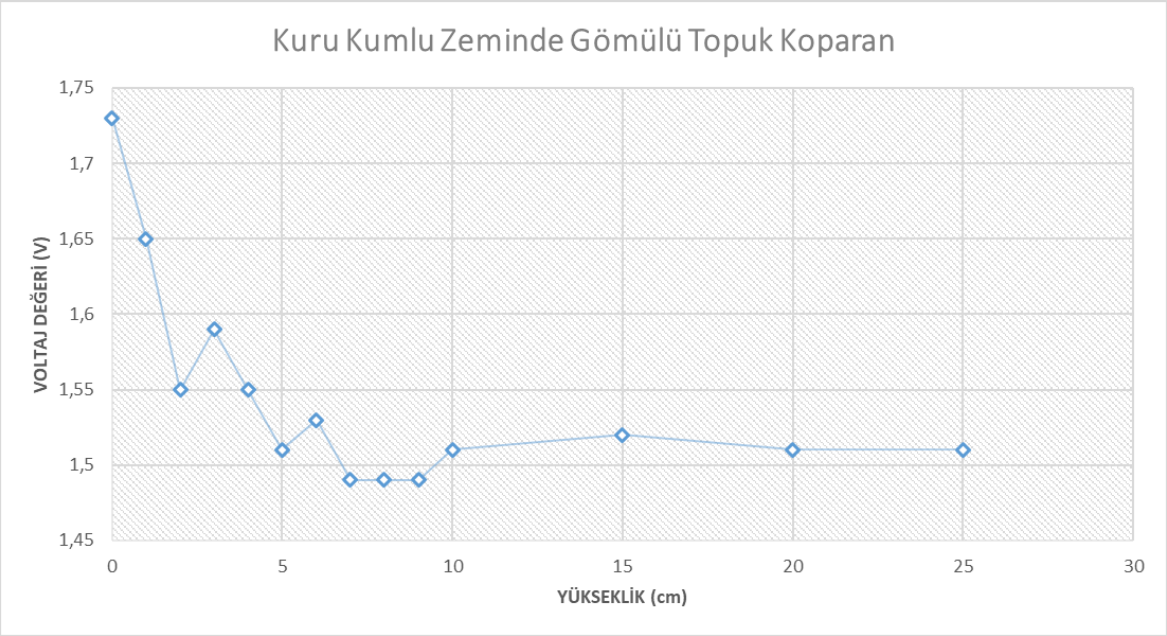


Şekil 4.22. Kuru kumlu zeminde gömülü anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi kuru kumda gömülü olan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.32V ile 1.50V arasında değişmektedir.

4.4.4. Kuru kumlu zeminde gömülü topuk koparan mayını ile yapılan ölçümler

Kuru kumlu zemine gömülü olan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.23'de görüldüğü gibidir.

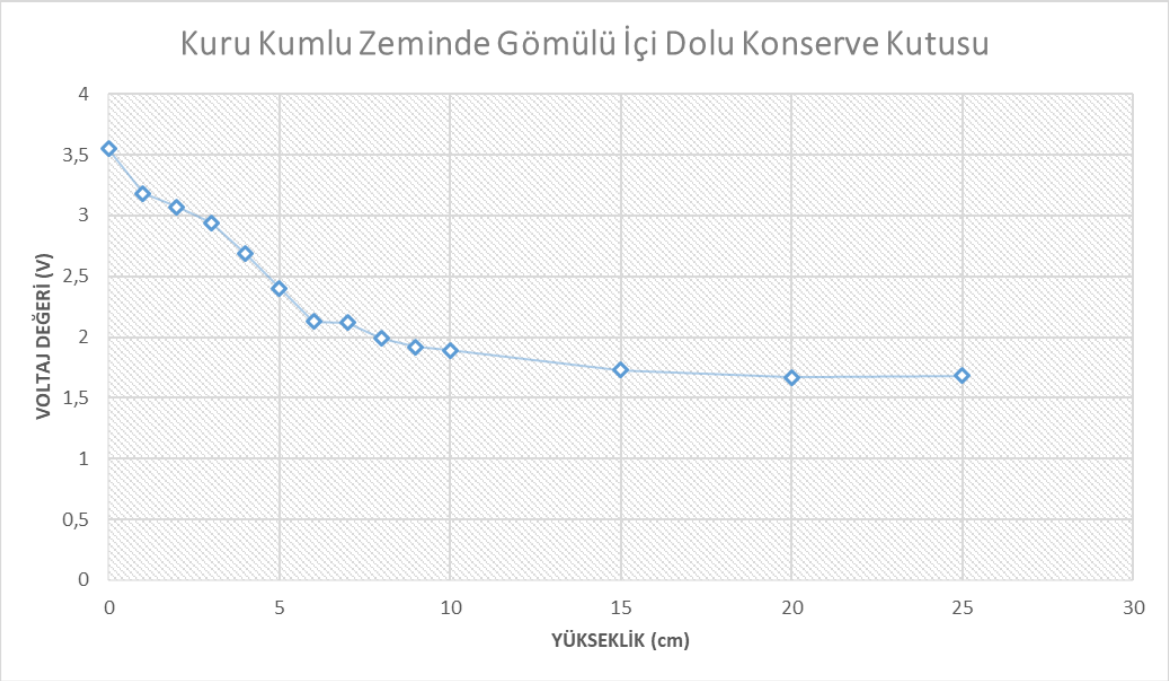


Şekil 4.23. Kuru kumlu zeminde gömülü topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi kuru kumda gömülü olan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 1.73V ile 1.51V arasında değişmektedir.

4.4.5. Kuru kumlu zeminde gömülü içi dolu konserve kutusu ile yapılan ölçümler

Kuru kumlu zemine gömülü olan içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.24'de görüldüğü gibidir.



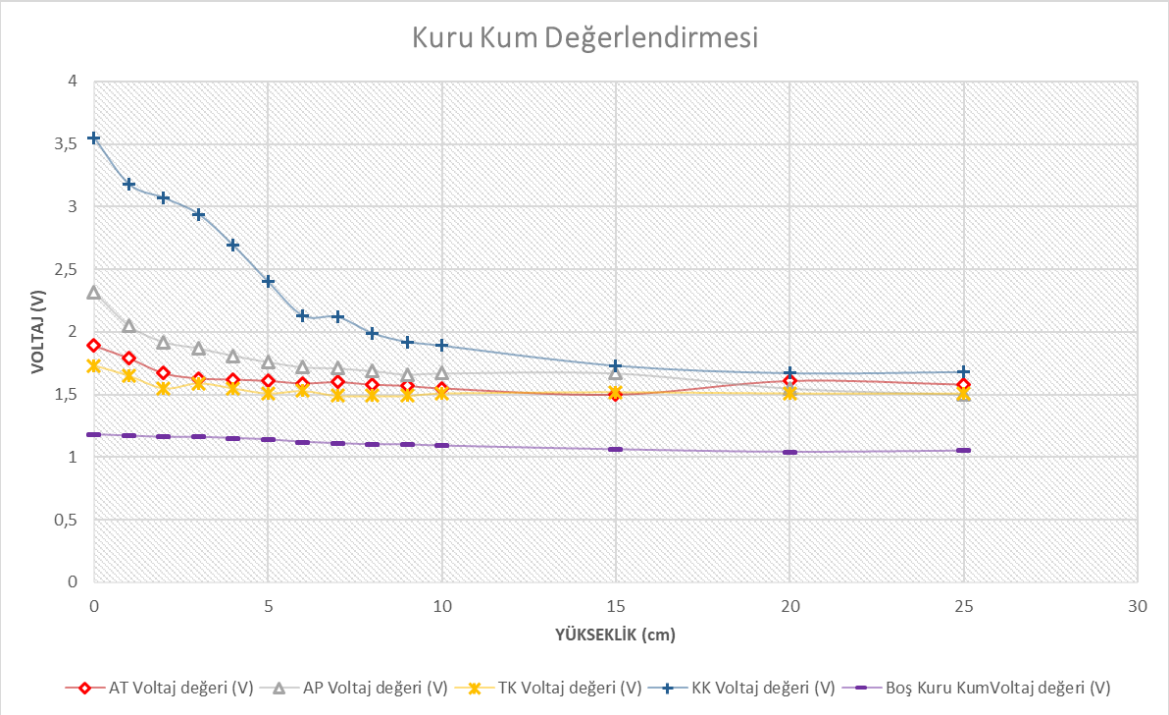
Şekil 4.24. Kuru kumlu zeminde gömülü içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi kuru kumda gömülü olan içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 3.55V ile 1.67V arasında değişmektedir.

4.4.6. Kuru kumlu zeminde yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi

Çizelge 4.1. Kuru kumlu zeminde yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi

Yükseklik (cm)	AT Voltaj değeri (V)	AP Voltaj değeri (V)	TK Voltaj değeri (V)	KK Voltaj değeri (V)	Boş Kuru Kum Voltaj değeri (V)
0	1,89	2,32	1,73	3,55	1,18
1	1,79	2,05	1,65	3,18	1,17
2	1,67	1,92	1,55	3,07	1,16
3	1,63	1,87	1,59	2,94	1,16
4	1,62	1,81	1,55	2,69	1,15
5	1,61	1,76	1,51	2,4	1,14
6	1,59	1,72	1,53	2,13	1,12
7	1,6	1,71	1,49	2,12	1,11
8	1,58	1,69	1,49	1,99	1,1
9	1,57	1,66	1,49	1,92	1,1
10	1,55	1,67	1,51	1,89	1,09
15	1,5	1,67	1,52	1,73	1,06
20	1,61	1,55	1,51	1,67	1,04
25	1,58	1,5	1,51	1,68	1,05

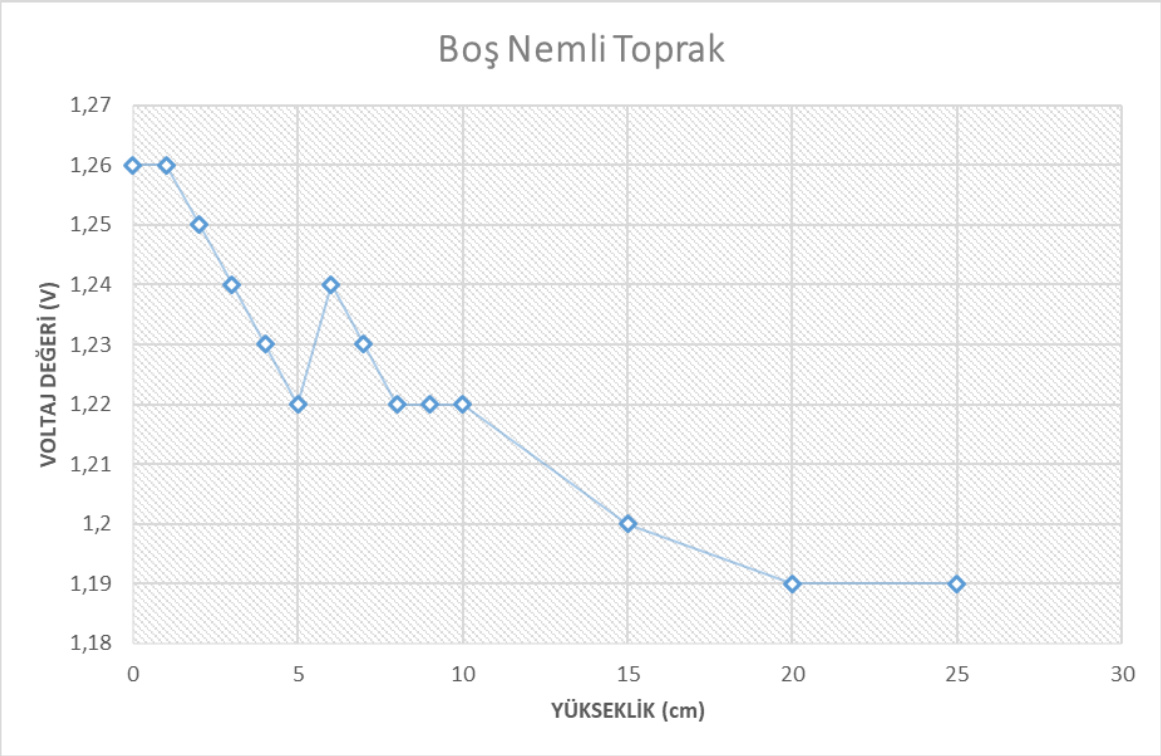


Şekil 4.25. Kuru kumlu zeminde yapılan ölçümlerin oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Verilen tüm grafikler ve yukarıda verilen toplu grafik incelendiğinde 0-25 cm yüksekliklerinde, boş kuru kumun oluşturduğu anomali değerleri 1.18V-1.05V arasında iken gömülü her bir nesnenin oluşturdu anomali değerleri boş kuru kumunkinden daha fazla olmuştur. Bu da bize tasarlanan prototipin kuru kumda mayın ve anomali oluşturabilen nesneleri tespit edebildiğini göstermektedir.

4.4.7. Boş nemli toprakta yapılan ölçüm

Altı boş herhangi bir nesne gömülmemiş olan fakat gürültü kanyaklarının yanı ağaç ve bitki kökleri, dal parçaları, kayalar vb. gibi diğer bozucu etkilerin olduğu nemli toprakta yapılan ölçümlerde kaydedilen anomali değerleri şekil 4.26'de görüldüğü gibidir.

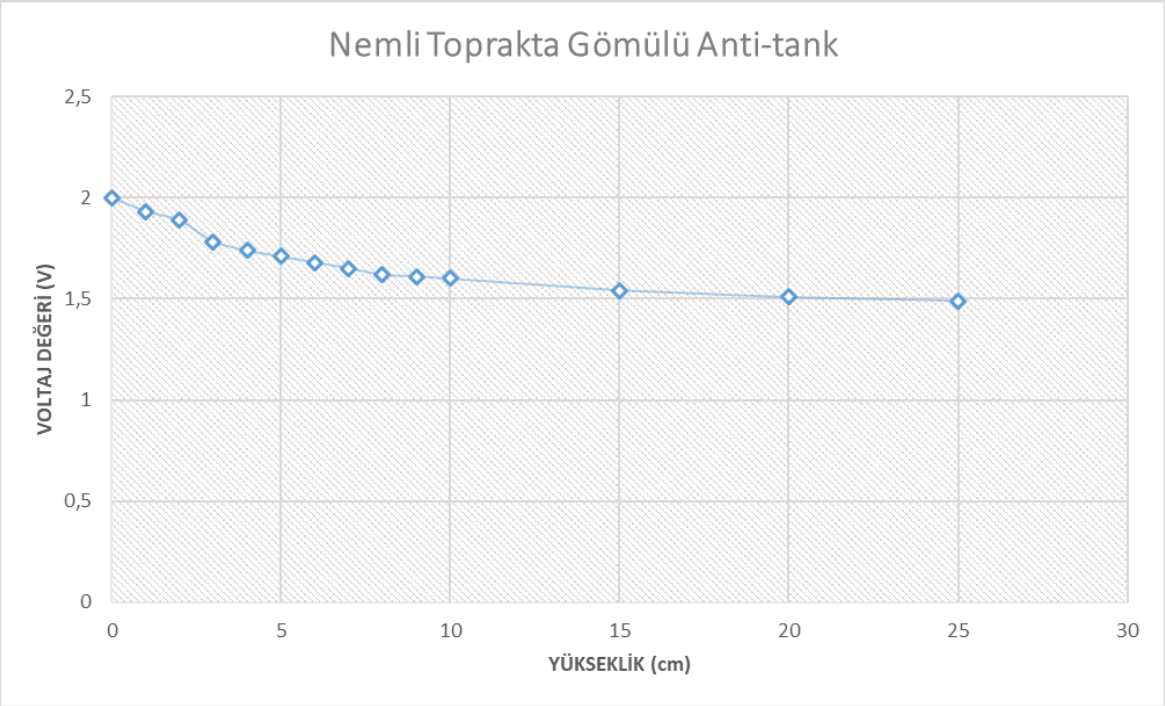


Şekil 4.26. Boş nemli toprakta oluşan manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi boş nemli toprağın oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 1.26V ile 1.19V arasında değişmektedir.

4.4.8. Nemli toprakta gömülü olan anti-tank mayını ile yapılan ölçüm

Nemli toprakta gömülü olan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.27'de görüldüğü gibidir.

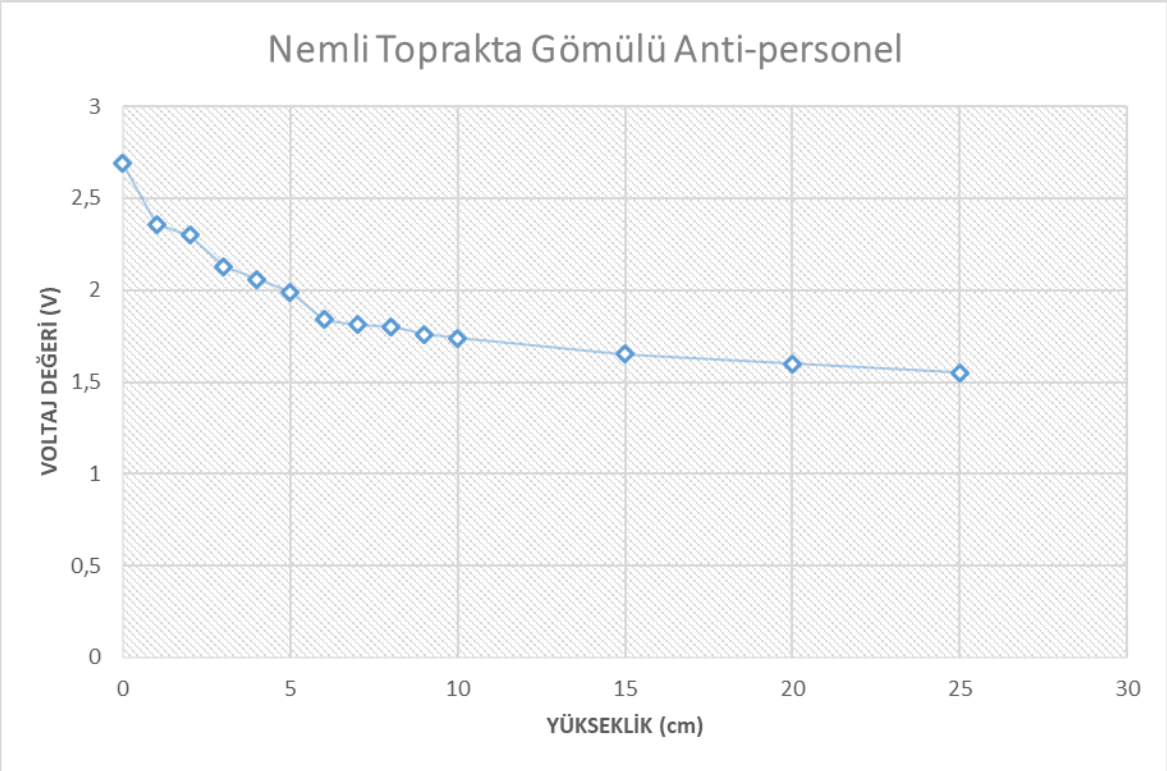


Şekil 4.27. Nemli toprakta gömülü anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi anti-tank mayınının nemli toprakta oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.00V ile 1.49V arasında değişmektedir.

4.4.9. Nemli toprakta Gömülü olan anti-personel mayını ile yapılan ölçüm

Nemli toprakta gömülü olan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.28'de görüldüğü gibidir.

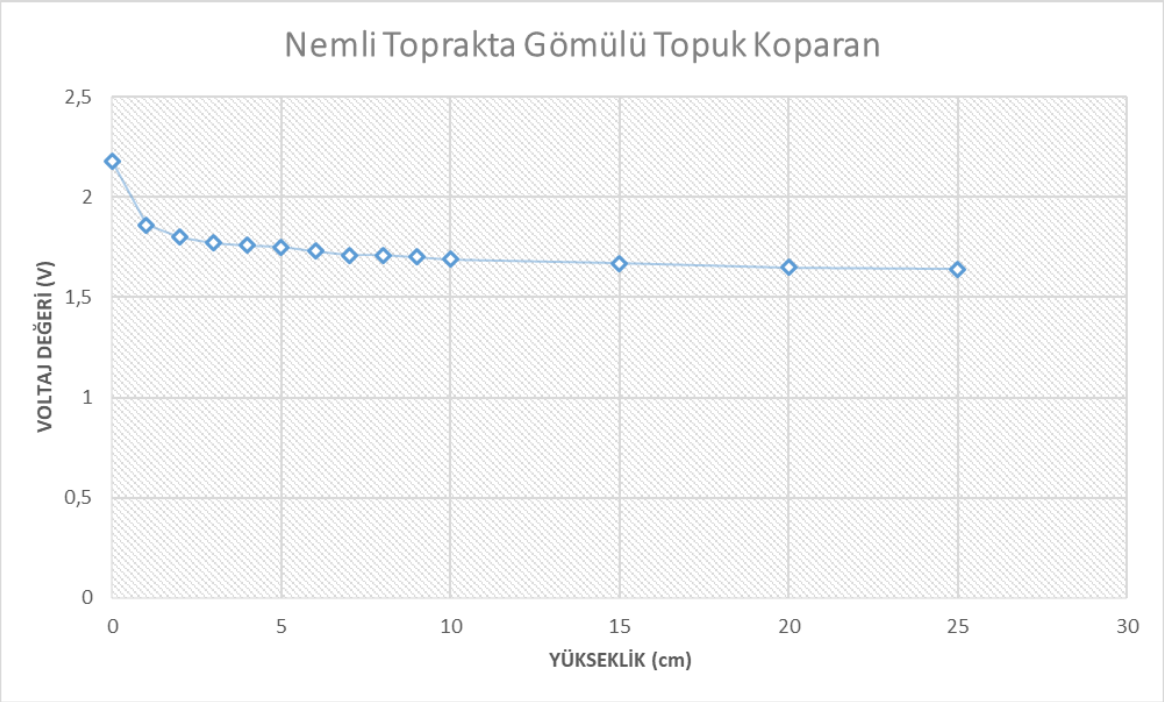


Şekil 4.28. Nemli toprakta gömülü anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi nemli toprakta gömülü anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.69V ile 1.55V arasında değişmektedir.

4.4.10. Nemli toprakta gömülü olan topuk koparan mayını ile yapılan ölçüm

Nemli toprakta gömülü olan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.29'de görüldüğü gibidir.

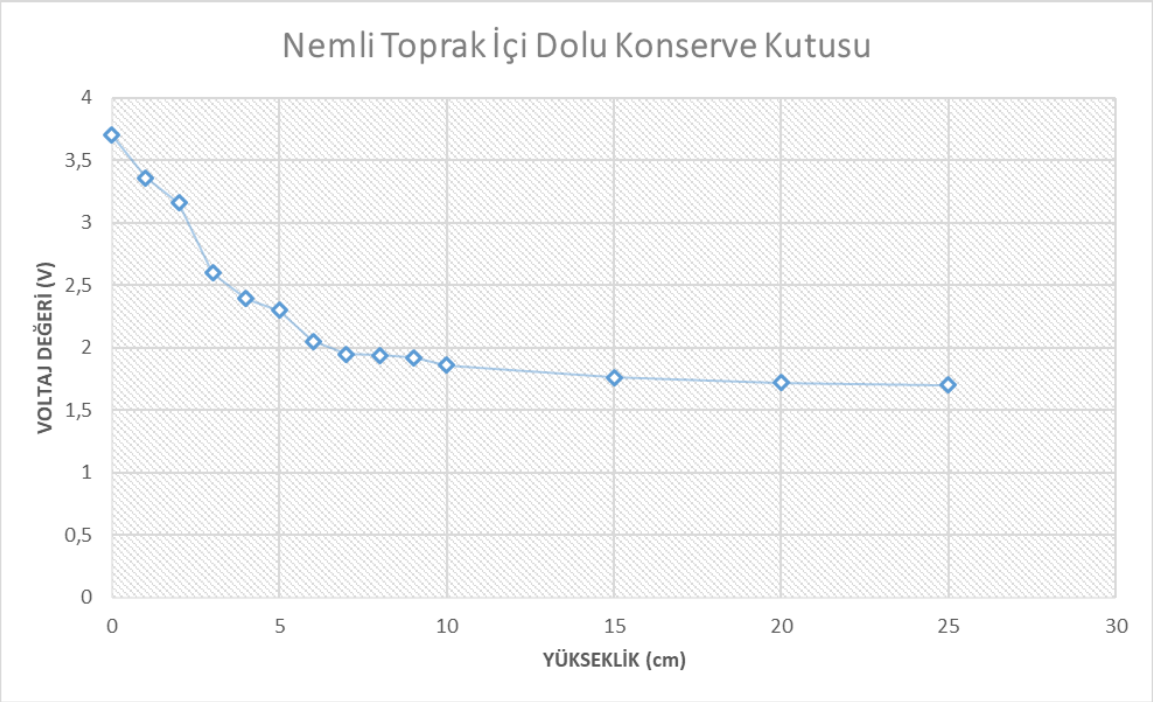


Şekil 4.29. Nemli toprakta gömülü topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi nemli toprakta gömülü topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.18V ile 1.64V arasında değişmektedir.

4.4.11. Nemli toprakta gömülü olan içi dolu konserve kutusu ile yapılan ölçüm

Nemli toprakta gömülü olan içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.30'de görüldüğü gibidir.



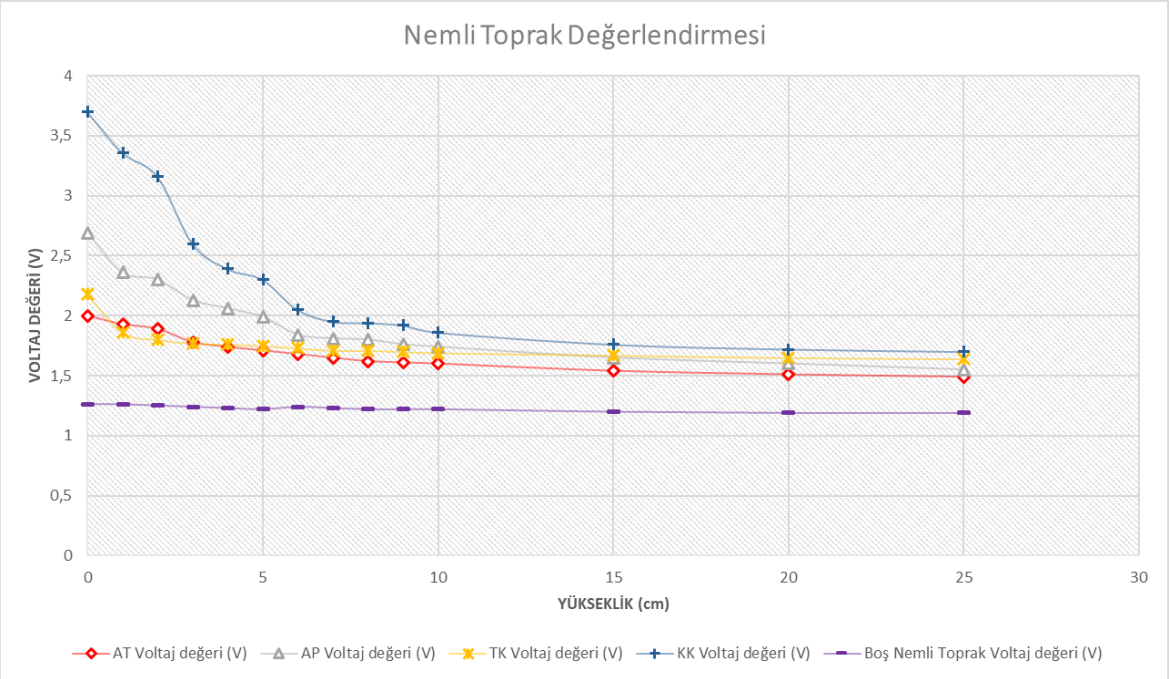
Şekil 4.30. Nemli toprakta gömülü içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi nemli toprakta gömülü topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 3.70V ile 1.70V arasında değişmektedir.

4.4.12. Nemli toprakta yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi

Çizelge 4.2. Nemli toprakta yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi

Yükseklik (cm)	AT Voltaj değeri (V)	AP Voltaj değeri (V)	TK Voltaj değeri (V)	KK Voltaj değeri (V)	Boş Nemli Toprak Voltaj değeri (V)
0	2	2,69	2,18	3,7	1,26
1	1,93	2,36	1,86	3,36	1,26
2	1,89	2,3	1,8	3,16	1,25
3	1,78	2,13	1,77	2,6	1,24
4	1,74	2,06	1,76	2,39	1,23
5	1,71	1,99	1,75	2,3	1,22
6	1,68	1,84	1,73	2,05	1,24
7	1,65	1,81	1,71	1,95	1,23
8	1,62	1,8	1,71	1,94	1,22
9	1,61	1,76	1,7	1,92	1,22
10	1,6	1,74	1,69	1,86	1,22
15	1,54	1,65	1,67	1,76	1,2
20	1,51	1,6	1,65	1,72	1,19
25	1,49	1,55	1,64	1,7	1,19

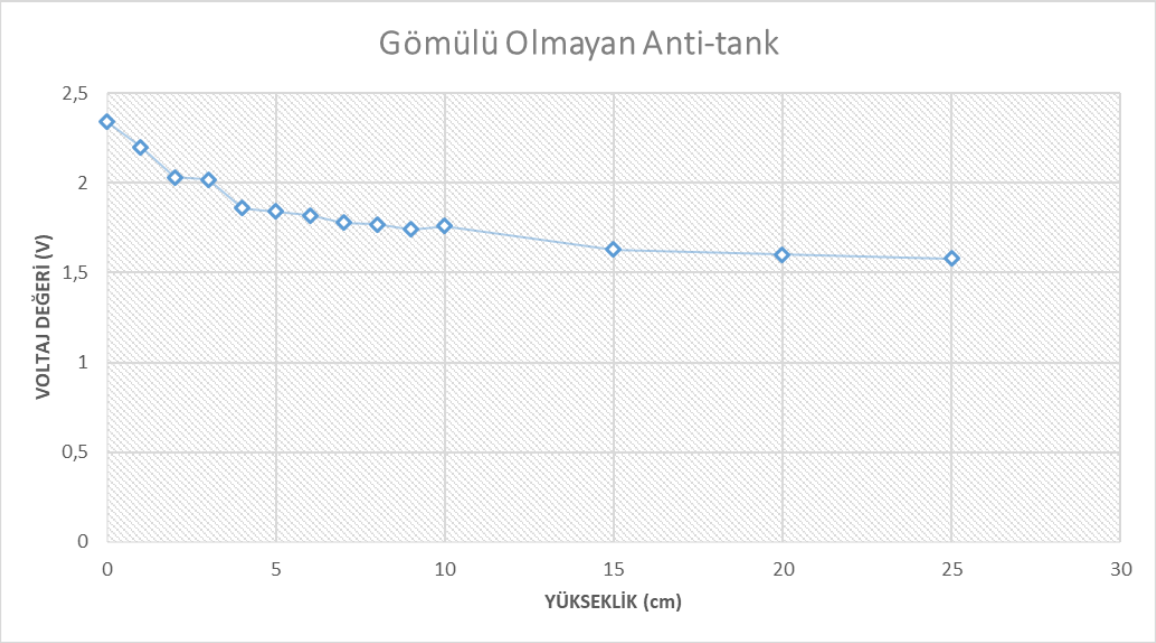


Şekil 4.31. Nemli toprakta yapılan ölçümlerin oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Verilen tüm grafikler ve yukarıda verilen toplu grafik incelendiğinde 0-25 cm yüksekliklerinde, boş kuru kumun oluşturduğu anomali değerleri 1.26V-1.19V arasında iken gömülü her bir nesnenin oluşturdu anomali değerleri boş nemli topraktan daha fazla olmuştur. Bu da bize tasarlanan prototipin nemli toprakta mayın ve anomali oluşturabilen nesneleri tespit edebildiğini göstermektedir. Bir önceki ortam olan kuru mumla kıyaslandığında ise nemli toprak daha iyi bir iletken olduğu için dedektörün tespit yeteneğinin arttığı gözlemlenmiştir. Sadece anomali değerleri sıralamasında bazı değerlerde anti-tank mayını ölçümleri ile topuk koparan mayın ölçümlerinde küçük yer değiştirmeleri olmuştur bunun sebebi ise iki mayının farklı şekillerinden ve ölçümün yüzde yüz stabil yapılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4.13. Gömülü olmayan anti-tank mayını ile yapılan ölçüm

Gömülü olmayan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.32'de görüldüğü gibidir.

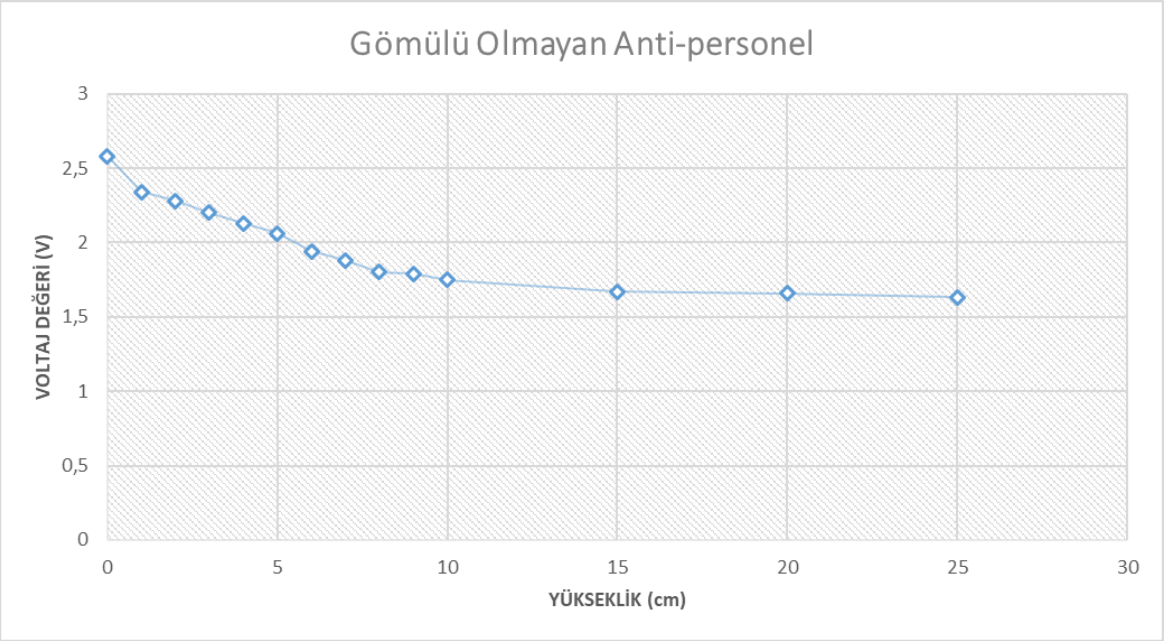


Şekil 4.32. Gömülü olmayan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi gömülü olmayan anti-tank mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.34V ile 1.58V arasında değişmektedir.

4.4.14. Gömülü olmayan anti-personel mayını ile yapılan ölçüm

Gömülü olmayan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.33'de görüldüğü gibidir.

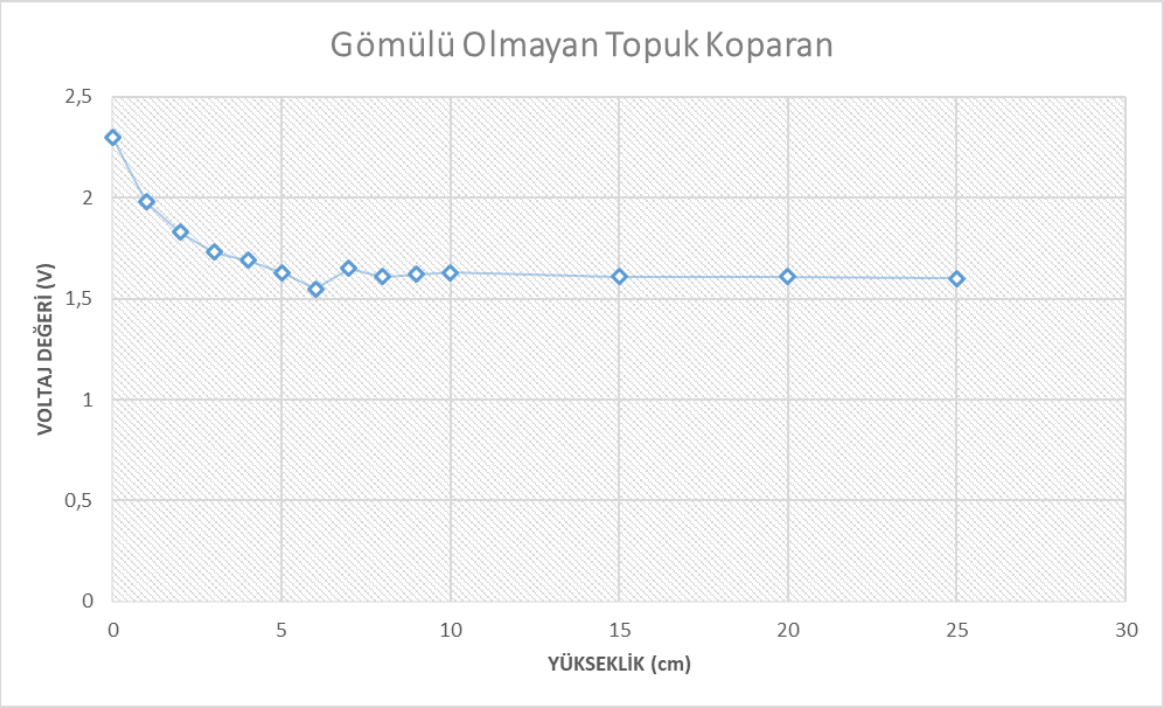


Şekil 4.33. Gömülü olmayan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi gömülü olmayan anti-personel mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.58V ile 1.63V arasında değişmektedir.

4.4.15. Gömülü olmayan topuk koparan mayını ile yapılan ölçüm

Gömülü olmayan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.34'de görüldüğü gibidir.

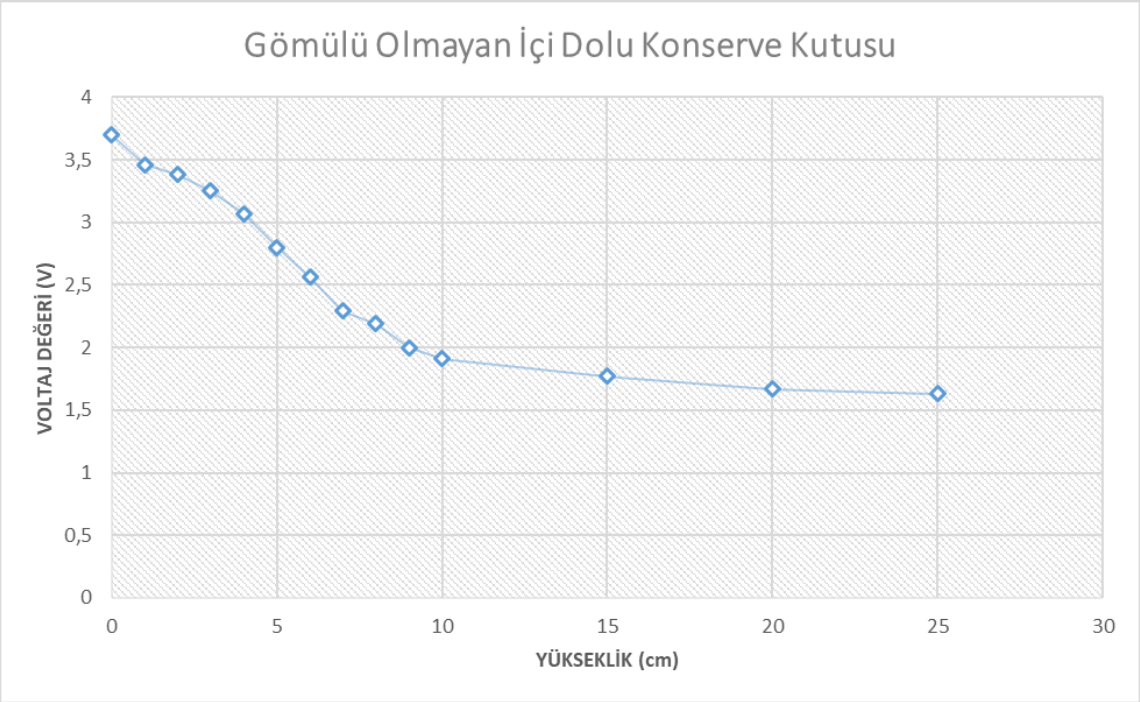


Şekil 4.34. Gömülü olmayan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi gömülü olmayan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 2.30V ile 1.60V arasında değişmektedir.

4.4.16. Gömülü olmayan içi dolu konserve kutusu ile yapılan ölçüm

Gömülü olmayan içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim grafiği şekil 4.35'de görüldüğü gibidir.



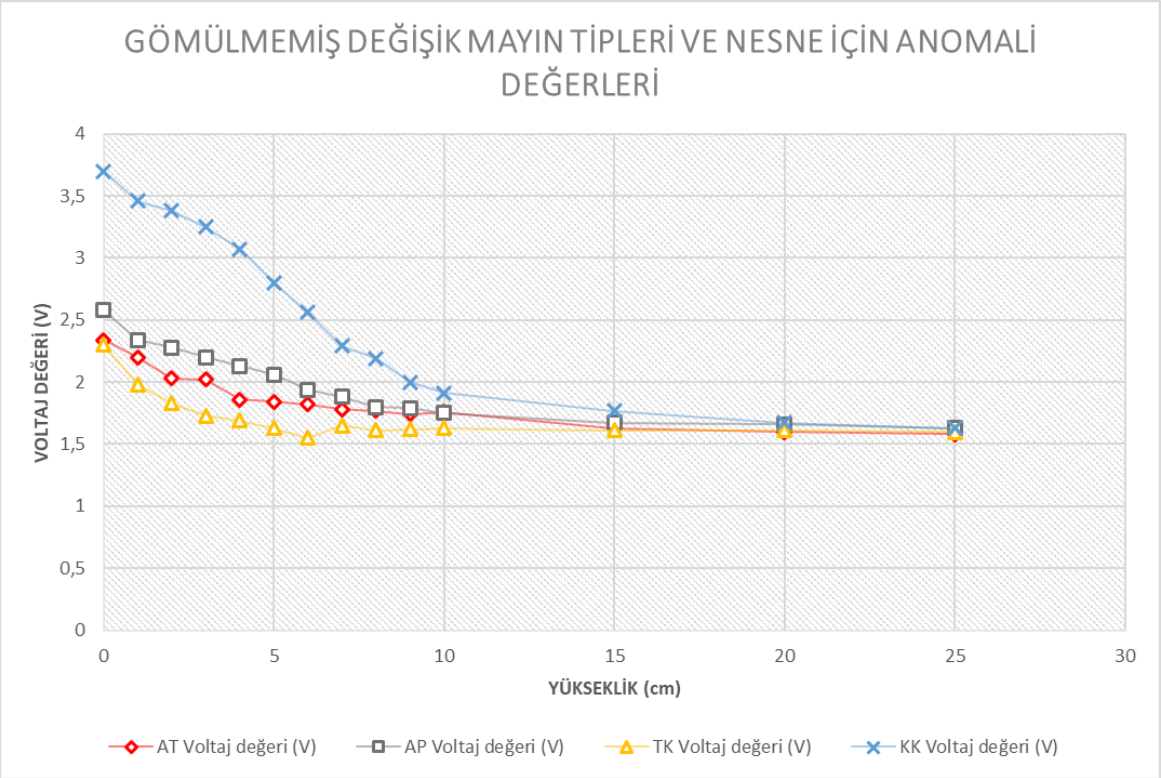
Şekil 4.35. Gömülü olmayan içi dolu konserve kutusunun oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Grafikte de görüldüğü gibi gömülü olmayan topuk koparan mayınının oluşturduğu manyetik anomalinin yükseklikle değişim değerleri 0-25 cm yüksekliğinde 3.70V ile 1.63V arasında değişmektedir.

4.4.17. Gömülü olmayan mayınların ve nesnenin ölçümlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.3. Gömülü olmayan mayınların ve nesnenin ölçümlerinin değerlendirilmesi

Yükseklik (cm)	AT Voltaj değeri (V)	AP Voltaj değeri (V)	TK Voltaj değeri (V)	KK Voltaj değeri (V)
0	2,34	2,58	2,3	3,7
1	2,2	2,34	1,98	3,46
2	2,03	2,28	1,83	3,38
3	2,02	2,2	1,73	3,25
4	1,86	2,13	1,69	3,07
5	1,84	2,06	1,63	2,8
6	1,82	1,94	1,55	2,56
7	1,78	1,88	1,65	2,29
8	1,77	1,8	1,61	2,19
9	1,74	1,79	1,62	2
10	1,76	1,75	1,63	1,91
15	1,63	1,67	1,61	1,77
20	1,6	1,66	1,61	1,67
25	1,58	1,63	1,6	1,63



Şekil 4.36. Gömülü olmayan mayınların ve nesnenin manyetik anomali değerlerinin karşılaştırıldığı grafik

Gömülmemiş mayınların ve nesnenin manyetik anomali değerlerinin yükseklikle olan ilişkisi incelendiğinde mayınların ve nesnelerin oluşturdukları anomali değerlerinin nemli topraktaki yapılan ölçümlerle aynı veya daha fazla olduğu gözlenmektedir. Her ne kadar nemli toprak iletkenlik yönünden avantajlı olsa da gömülmemiş şekilde yapılan ölçümler daha fazla anomali değeri göstermiştir buda beklenen durumdur. Çünkü tasarlanan prototip ile mayınlar ve nesneler arasında herhangi bir engelleyici ortam bulunmadığında tespit yeteneği artmaktadır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, toprak altında gömülü olan manyetik anomali oluşturan çeşitli mayın tipleri ve nesne tespiti için bir dedektör prototipi tasarlanmıştır. Üretilen bu dedektör prototipinin temeli manyetik anomaliye dayanır. Literatürde daha önce bu çalışmaya benzer çalışmalar yapılmasına ve yöntem olarak manyetik anomaliyi oluşturan etkenlerin bağımlı olduğu değişkenlerin toprak tipi, yükseklik ve anomaliyi oluşturan nesne tipi olmasına rağmen, tüm bu çalışmalardaki düzenekler elde taşınabilen bir boyutta olmayıp belli eksenlerde hareket edebilen sabit düzeneklerdir.

Bu tez çalışmasının farkı ise elde taşınabilen manyetik anomali tabanlı bir mayın dedektörü prototipi yapılmış olmasıdır. Diğer bir farkı ise genelde mayın dedektörlerinde kullanılan sensörlerin aktif sensör olmasına karşın bu çalışmada kullanılan TE-100 manyetik anomali sensörünün pasif bir sensör olmasıdır. Yani kara mayınlarına sinyal göndermeden ve ateşleme mekanizmalarını tetiklemeden mayınların yerini tespit edebilmesidir.

Çalışmamızda üretilen prototip ile bire bir uygun farklı toprak tiplerinde farklı mayın türleri ile gerçek ortamlara birebir uyan ortamlarda ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde kullanılan kara mayınlarının içi boş ve patlayıcı içermemektedir. Yapılan ölçümlerden bir tanesi içi dolu konserve kutusuyla yapılmıştır. Bunun sebebi ise içi sıvı veya sıvı olmayan patlayıcılar ile dolu olan kara mayınlarını ve gömülü olan EYP'leri simüle etmesidir. Ölçüm sonuçlarından ve bu sonuçların grafiklerinden de anlaşılacağı gibi en yüksek anomaliyi oluşturan bu içi dolu olan metal konserve kutusudur.

Ölçümde kullanılan materyallerin oluşturduğu manyetik anomali sırası ile içi dolu olan konserve kutusu, anti-personel mayını, anti-tank mayını ve topuk koparan mayını şeklinde oluşmuştur. Bunun sebebi ise sıvıların iletkenliklerinin daha fazla olmasıdır. Bunun yanı sıra anomaliyi oluşturan materyallerin şekillerinin de anomaliye katkı sağladığı bilinmektedir. Bunlar göz önünde bulundurulduğunda çalışmamız literatürle uygunluk göstermektedir.

Sonuç olarak çalışmada tasarlanan prototipin toprakta gömülü veya gömülü olmayan anomali oluşturan materyalleri tespit ettiği belirlenmiştir. Yapılmış olan ölçüm sonuçları literatür ile kıyaslandığında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapmış olduğumuz tek

sensörlü ve tek eksende çalışan kara mayını dedektör prototipinin sonraki araştırmalarda çok eksenli ve çok sensörlü mayın dedektörü çalışmalarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Dyana, A., Rao, C. S., and Kuloor, R. (2012, June). 3D Segmentation of ground penetrating radar data for landmine detection. In *2012 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)* (858-863). IEEE.

2. Tanaka, R., and Sato, M. (2004, June). A GPR system using a broadband passive optical sensor for land mine detection. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Grounds Penetrating Radar, 2004. GPR 2004.* (1), (171-174). IEEE.

3. Budko, N. V., Remis, R. F., and van Den Berg, P. M. (2000, July). Advances in GPR data processing for antipersonnel landmine detection. In *IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120)* (1), (19-22). IEEE.

4. Cho, S. J., Tanaka, R., and Sato, M. (2005, July). Bistatic GPR by using an optical electric field sensor. In *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS'05.* (1), (4). IEEE.

5. Ho, K. C., and Gader, P. D. (2002). A linear prediction land mine detection algorithm for hand held ground penetrating radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(6), 1374-1384.

6. Cioni, R., Sensani, S., Bettini, G., Miniati, M., and Moschini, M. (1998). A new general purpose 1300 MHz radar sensor suitable for detection of mines.

7. Yang, Y., Song, Q. and Zhou, Z. (2006). A novel method of landmines detection based on ımproved SVM. 8th international Conference on Signal Processing, Beijing, China. (3)

8. Datema, C. P., van der Schoor, L. A., Bom, V. R., and van Ejjk, C. W. E. (2001, November). A portable landmine detector based on the combination of electromagnetic induction and neutron backscattering. In *2001 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (Cat. No. 01CH37310)* (1), (406-409). IEEE.

9. Zeng, Y. Q., and Liu, Q. H. (2001). Acoustic detection of buried objects in 3-D fluid saturated porous media: Numerical modeling. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(6), 1165-1173.

10. Chu, P. C., Cornelius, M., and Wegstaff, M. (2005, September). Effect of Suspended Sediment on Acoustic Detection Using the Navy's CASS-GRAB Model. In *Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE* (1-7). IEEE.

11. Zhu, X., and Carin, L. (2004). Application of the biorthogonal multiresolution time-domain method to the analysis of elastic-wave interactions with buried targets. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(7), 1502-1511.

12. Bourgeois, J. R., and Smith, G. S. (1998). A complete electromagnetic simulation of the separated-aperture sensor for detecting buried land mines. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 46(10), 1419-1426.

13. Millot M., Berges, A. (1996). Ground based S.A.R. imaging tool for the desing of buried mine detector, Detection of abandoned land mines. Conference Publication The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Edinburgh, UK, Scotland.

14. Chan, L., Peters, L., and Moffatt, D. (1981). Improved performance of a subsurface radar target identification system through antenna design. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 29(2), 307-311.

15. Montoya, T. P., and Smith, G. S. (1999). Land mine detection using a ground-penetrating radar based on resistively loaded vee dipoles. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 47(12), 1795-1806.

16. Sheinker, A., Frumkis, L., Ginzburg, B., Salomonski, N., and Kaplan, B. Z. (2009). Magnetic anomaly detection using a three-axis magnetometer. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45(1), 160-167.

17. Struckman, K.A. (1998). Mikrowave Imaging Excavator, Detection of abandoned land mines. Conference Publication The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Edinburgh, Scotland.

18. Rappaport, C., and El-Shenawee, M. (2000, July). Modeling GPR signal degradation from random rough ground surface. In *IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120)* (7), (3108-3110). IEEE.

19. Carin, L., Kapoor, R., and Baum, C. E. (1998). Polarimetric SAR imaging of buried landmines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(6), 1985-1988.

20. Abdelbaki, H., Gelenbe, E., Kocak, T. and El-Khamy, S.E. (1999, February). Random neural network filter for land mine detection. Radio Science Conference, Cairo, Egypt.

21. Behboodian, A., Scott, W. R., and McClellan, J. H. (1999, October). Signal processing of elastic surface waves for localizing buried land mines. In *Conference Record of the Thirty-Third Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (Cat. No. CH37020)* (2), (827-830). IEEE.

22. Clark, W., Burns, B., Sherbondy, K., Ralston, J., and Rappaport, C. (2005, July). Surface effects on ground penetrating radar imagery. In *2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium.* (1), (404-407). IEEE.

23. Vanier, P. E., Forman, L., Hunter, S. J., Harris, E. J., and Smith, G. C. (2004, October). Thermal neutron backscatter imaging. In *IEEE Symposium Conference Record Nuclear Science 2004.* (1), (201-205). IEEE.

24. Schroder, C. T., and Scott, W. R. (2000, July). Three-dimensional FDTD model to study the elastic-wave interaction with buried land mines. In *IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120)* (1), (26-28). IEEE.

25. Bamberger, J. A., Craig, R. A., Colgan, T. Y., Peurrung, A. J., Schmitt, B. E., and Stromswold, D. C. (2003, October). Timed-neutron detection for land mines. In *2003 IEEE Nuclear Science Symposium. Conference Record (IEEE Cat. No. 03CH37515).* (2), (1336-1340). IEEE.

26. Coronado-Vergara, J., Avina-Cervantes, G., Devy, M., Parra, C. (2005) Towards landmine detection using artificial vision. T The Institute of Electrical and Electronics Engineers /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Edmonton, Alta, Canada.

27. Lloyd, D., Longstaff, I.D. (2002). UWB multi-static SAR with image stacking for land mine detection. Radar The Institute of Electrical and Electronics Engineers Conference, Edinburgh, Scotland.

28. Kalender, O. (2008). Geçmişten Günümüze Mayın Belirleme Çalışmaları ve Manyetik Anomali Yöntemi ile Kara Mayınlarının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 11(1), 1-8.

29. Scott Jr, W. R., Larson, G. D., and Martin, J. S. (2000, August). Simultaneous use of elastic and electromagnetic waves for the detection of buried land mines. In *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets V* (667-678). International Society for Optics and Photonics.

30. Van Der Merwe, A., and Gupta, I. J. (2000). A novel signal processing technique for clutter reduction in GPR measurements of small, shallow land mines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(6), 2627-2637.

31. Dumanian, A. J., and Rappaport, C. M. (2005, July). Enhanced detection and classification of buried mines with an UWB multistatic GPR. In *2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium.* (3), (88-91). IEEE.

32. Chun-cheng, Z., Ling-jiang, K., and Zheng-ou, Z. (2004, June). Research on fast synthetic aperture imaging method for ground penetrating radar in subsurface object detection. In *2004 International Conference on Communications, Circuits and Systems (IEEE Cat. No. 04EX914).* (2), (777-779). IEEE.

33. Frigui, H., Satyanarayana, K., and Gader, P. (2003, May). Detection of land mines using fuzzy and possibilistic membership functions. In *The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2003. FUZZ'03.* (2), (834-839). IEEE.

34. Ismail, N. H., Khairallah, H. N., and Metwally, M. A. (2002, March). Mapping of land mines using air borne radars. In *Proceedings of the Nineteenth National Radio Science Conference* (592-598). IEEE.

35. Chen, C. C., Higgins, M. B., and O'Neill, K. (2002, June). Advanced classification of buried UXO using a broadband, fully polarimetric ground penetrating radar. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.* (3), (1569-1571). IEEE.

36. Guillerey, R., Le Goff, M., Gallais, F., Andrieu, J., Beillard, B. and Jecko, B. (2002) Ultra wide band synthetic aperture radar for the detection of mined area, Edinburgh, Scotland.

37. Gader, P. D., Keller, J. M., and Nelson, B. N. (2001). Recognition technology for the detection of buried land mines. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 9(1), 31-43.

38. Chen, C. C., Nag, S., Burnside, W. D., Halman, J. I., Shubert, K. A., & Peters, L. (2000). A standoff, focused-beam land mine radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(1), 507-514.

39. Ffrench, T.E., Gunton, D.J., Tait, P.D.F. (1998). AP land mine dedection using an ultra high range resolution radar technique. Detection of abandoned land mines" Conference Publication The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Edinburgh, Scotland.

40. Gao, P., Collins, L., Garber, P. M., Geng, N., and Carin, L. (2000). Classification of landmine-like metal targets using wideband electromagnetic induction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(3), 1352-1361.

41. Schulze, S., and van Rienen, U. (2007). Computation of land mine signatures using domain decomposition with Lagrange multipliers. *IEEE Transactions on Magnetics*, 43(4), 1189-1192.

42. Muscio, A., and Corticelli, M. A. (2004). Land mine detection by infrared thermography: reduction of size and duration of the experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(9), 1955-1964.

43. Clem, T. R. (2002, October). Sensor technologies for hunting buried sea mines. In *OCEANS'02 MTS/IEEE.* (1), (452-460). IEEE.

44. Collins, L., Gao, P., and Carin, L. (1999). An improved Bayesian decision theoretic approach for land mine detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(2), 811-819.

45. Zainud-Deen, S. H., Badr, M. E., Awadalla, K. H., and Sharshar, H. A. (2006, March). Microstrip antenna for detecting buried land mines. In *Proceedings of the Twenty Third National Radio Science Conference (NRSC'2006)* (1-6). IEEE.

46. Lundberg, M. (2000, July). Reduction of surface clutter in infrared images with visual-wavelength measurements. In *IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings (Cat. No. 00CH37120).* (5), (2377-2379). IEEE.

47. Lopez, P., Vilariño, D. L., Cabello, D., Sahli, H., and Balsi, M. (2002). CNN-based 3D thermal modeling of the soil for antipersonnel mine detection. In *Cellular Neural Networks And Their Applications* (307-314).

48. Jakobsson, A., Mossberg, M., Rowe, M.D. and Smith, J.A. (2006). Exploiting temperature dependency in the detection of NQR signals. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Signal Processing, 54(5), 1610-1616.

49. Svensson, L., Lundberg, M. (2002, May). Dual-band land mine detection using a Bayesian approach. Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2002 The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference, Orlando, FL, United States.

50. Rennie, C., Arendse, B., Inggs, M.R., and Langman, A. (1998). Pratical measurements of land mine simulants using a SFCW radar, A Pulse Induction Metal Detector and an Infrared Camera, Detection of abandoned land mines Conference, Edinburgh, Scotland.

51. Söyler, S. (2018). *Manyetik Anomali Yöntemi ile Gömülü Cisimlerin Tespit Edilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

52. Bom, V., Ali, M. A., and Van Eijk, C. W. (2006). Land mine detection with neutron back scattering imaging using a neutron generator. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 53(1), 356-360.

53. Mori, K. (1990). Detection of magnetic anomaly signal by applying adjustable weight functions. *IEEE Transactions on Magnetics*, 26(2), 1083-1087.

54. Clem, T. R., Overway, D. J., Purpura, J. W., Bono, J. T., Koch, R. H., Rozen, J. R., and Mohling, R. A. (2001). High-T/sub c/SQUID gradiometer for mobile magnetic anomaly detection. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 11(1), 871-875.

55. Tobely, T. E., and Salem, A. (2005, December). Position detection of unexploded ordnance from airborne magnetic anomaly data using 3-D self organized feature map. In *Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 2005.* (322-327). IEEE.

56. Kosmas, K., and Hristoforou, E. (2007). The effect of magnetic anomaly detection technique in eddy current non-destructive testing. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 25(1-4), 319-324.

57. İnternet: Raspbian Buster with desktop and recommended software. URL: https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/, Son Erişim Tarihi: 1.12.2019.

58. İnternet: Total Phase, Knowledge Base, Serial Protocols. URL: https://www.totalphase.com/support/articles/200349156-I2C-Background#references Son Erişim Tarihi: 1.12.2019.

59. Ripka, P. (2003). Advances in fluxgate sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, 106(1-3), 8-14.

60. İnternet:Texas Instruments ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I 2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator. URL: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1114.pdf Son Erişim Tarihi: 1.12.2019.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SUİÇMEZ, Çağrı

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1989, Elazığ

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (533) 574 61 97

e-mail : cagrisuicmez@hitit.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2015
Lise	Tokat Cumhuriyet Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-halen	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Işık, M, F., Yılmaz, C., Yılmaz, E, N., Suiçmez, Ç. (2018). *Pasif Algılayıcıların Patlayıcı İçerikli Malzeme Tespitinde Kullanımı,* V. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Sempozyumu (ISMS). 425.

2. Işık, M, F., Yılmaz, C., Suiçmez, Ç. (2019). *Mayın Tarama Sistemindeki Son Gelişmeler,* 2. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi. 447-456.

Hobiler

Yüzme, Seyahat



GAZİ GELECEKTİR..