



**MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİT
EDİLMESİ**

Salih SÖYLER

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2018

Salih SÖYLER tarafından hazırlanan “MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİT EDİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Cemal YILMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hamdi Tolga KAHRAMAN

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Çetin ELMAS

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Osman KALENDER

KZ Mekatronik

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üy. Ali SAYGIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 19/04/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora 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 çalışmada;

- 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 çalışmada 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.

Salih SÖYLER

19/04/2018

MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİT EDİLMESİ
(Doktora Tezi)

Salih SÖYLER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2018

ÖZET

Gömülü patlayıcıların tespitinde, birbirinden farklı çok sayıda bilimsel yöntemler kullanılmaktadır. Gerek patlayıcılardaki farklılıklar gerekse patlayıcıların gömülü olduğu ortamların farklılığı patlayıcı tespitini zorlaştıran faktörlerdir. Günümüzde kara mayınlarının tespit edilmesinde yaygın bir şekilde aktif detektörler kullanılmaktadır. Aktif detektörler kara mayınlarını yüksek bir hassasiyetle tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte aktif detektörlerin çalışma şekli hayati derecede önemli bir tehlikeye de yol açmaktadır. Arazide mayın taraması yaparken aktif detektörlerden etrafa gönderilen elektriksel sinyaller bazen mayınların ateşleme mekanizmalarını tetiklemekte ve mayının patlamasına yol açabilmektedir. Kara mayınlarının ateşleme mekanizmalarını tetiklemeden tespit etmenin yolu ise pasif detektör kullanmaktır. Pasif detektörlerin en büyük handikapı ise aktif detektörler kadar yüksek bir hassasiyetle mayın tespiti yapamamalarıdır. Bu durum pasif detektörlerin en az aktif detektörler kadar tehlikeli sonuçlar doğurmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada manyetik anomali ile patlayıcıların tespitinin yapıldığı pasif detektör tasarlanmış ve pasif detektörlerin handikaplarını ortadan kaldıran çözümler geliştirilmiştir. Bu amaçla; manyetik anomali, mesafe ve toprak tipini esas alan yapay zekâ tabanlı yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşım sayesinde toprağa gömülü mayınların sadece tespit edilmesi değil aynı zamanda teşhisi de (sınıflandırılması) yüksek bir hassasiyetle gerçekleştirilebilmektedir. Önerilen yaklaşımı doğrulamak ve test etmek amacıyla deney düzeneği tasarlanmıştır. Farklı şartlar altında ölçülen gerçek veriler kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler modern ve etkili yapay zekâ teknikleriyle işlenerek alternatif modeller geliştirilmiştir. Yapay sinir ağları ve meta-sezgisel tabanlı melez sınıflandırma modelleri üzerinden test ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Geliştirilen sistemden elde edilen sonuçlar, kara mayınlarının sadece tespitinin değil, sınıflandırılmasının da yüksek bir hassasiyetle gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Bilim Kodu : 20205
Anahtar Kelimeler : Mayın Tespiti, Manyetik Anomali, Yapay Sinir Ağları (YSA), k-nn (k en yakındaki komşu) algoritması
Sayfa Adedi : 130
Danışman : Doç. Dr. Cemal YILMAZ

DETECTION OF BURIED OBJECTS BY MAGNETIC ANOMALY METHOD

(PhD Thesis)

Salih SÖYLER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2018

ABSTRACT

Numerous different scientific methods are used in the detection of buried explosives. The differences in explosives, the difference in the environments where explosives are buried, are the factors that make explosive detection difficult. At present, active detectors are commonly used when land mines are detected. Active detectors can detect land mines with high precision. Nevertheless, the way in which active detectors work is vitally a major danger. Electrical signals sent around active detectors while landing mines are sometimes triggering mine ignition mechanisms and can lead to mine exploding. The way to detect land mines without triggering ignition mechanisms is to use passive detectors. The biggest handicap of passive detectors is that can not perform mine detection as high a sensitivity as active detectors. This situation in passive detectors leads to dangerous results as much as active detectors. In this study, a passive detector designed to detect explosives with magnetic anomaly was designed and solutions were developed to remove the handicaps of passive detectors. For this purpose; a new approach based on artificial intelligence based on magnetic anomaly, distance and soil type is suggested. Thanks to the proposed approach, not only the landmines buried in land but also the diagnosis (classification) can be realized with high precision. The experimental setup is designed to verify and test the proposed approach. Actual data which has been measured under different conditions is recorded. The obtained data were processed with modern and effective artificial intelligence techniques and alternative models were developed. Experimental neural networks and meta-heuristic based hybrid classification models were tested and compared. The results obtained from the developed system show that landmines can be classified by high sensitivity, not just by detection.

Science Code : 20205

Key Words : Mine detection, Magnetic anomaly, Artificial Neural Networks (ANN), k-nn method

Page Number : 130

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cemal YILMAZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Cemal YILMAZ'a ve ikinci danışmanım Doç. Dr. H. Tolga KAHRAMAN'a, doktora yapmam için beni teşvik eden ve 2003 yılında çıktığım doktora yolculuğuna; (Manyetik Anomali Yöntemiyle, Manyetik ve Manyetik Olmayan Cisimlerin Tespitinde Yapay Sinir Ağının Kullanılması) adlı tez konusu ile 2005-2010 yılları arasında ilk danışmanlığımı yapmış olan değerli hocam Prof. Dr. İsmail COŞKUN'a, yine ilk danışmanım Prof. Dr. İsmail COŞKUN'un aynı konuda çalışmalarımı devam etmeme izin vermesiyle "Patlayıcıların manyetik özellikleri ve yapay sinir ağları kullanılarak tespiti ve sınıflandırılması" tez başlığı ile danışmanlığımı 2011-2012 yılları arasında yapmış olan Prof. Dr. Erol KURT'a, tez çalışmalarımda kıymetli tecrübelerinden istifade ettiğim Prof. Dr. Çetin ELMAS'a, Prof. Dr. Osman KALENDER'e, ayrıca çalışmalarımdayki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Yusuf SÖNMEZ'e ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih IŞIK'a, ve deneysel çalışmalarımdayki mayın materyallerini kullanmama müsaade eden Kahraman Türk Silahlı Kuvvetlerine yapmış oldukları çok değerli katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Yine burada ismini sayamadığım tüm dost ve arkadaşlarıma, ayrıca beni sabırla destekleyen eşim Hülya, oğlum A. Çınar ve kızım M. İrem'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KARA MAYINLARININ TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	7
2.1. Gömülü Patlayıcılar	7
2.1.1. Akustik - sismik dedeksiyon	8
2.1.2. Yer etkili radar (GPR) dedeksiyon.....	9
2.1.3. Elektromanyetik indüksiyon spektroskopisi	11
2.1.4. Kızılötesi (IR) görüntüleme	13
2.1.5. Çekirdek dörtkutup rezonansı	14
2.1.6. Çekirdek yöntemi	15
2.1.7. Data füzyon	17
2.2. Kara Mayınları Tespitinde Manyetik Anomali Yöntemi	17
2.3. Manyetik Anomali Yöntemi ile Patlayıcı Belirlemeye Teorik Yaklaşım	17
3. HELMHOLTZ BOBİNLİ DENEY DÜZENEGİ TASARIMI VE YAPILAN ÖLÇÜMLER.....	27
3.1. Boş Durum	28
3.2. M-14 A/P (Plastik Kılıf Patlayıcı).....	29

	Sayfa
3.3. M-16 A/P (Metal Kılıf Patlayıcı) Malzeme	30
3.4. DN-11 A/T (Plastik Kılıflı Patlayıcı)	31
3.5. M2-A1 A/P (Metal Kılıflı Patlayıcı) Malzeme	33
3.6. Sınıflama İçin Kullanılan YSA Modelinin Tanıtımı.....	34
3.7. Yapay Sinir Ağı Modellerine Ait Elde Edilen Sonuçlar	38
4. KMZ VE FLC SENSORLU DEDEKTÖR TASARIMLARI.....	45
4.1. KMZ51 Sensorlu Dedektör Tasarımı	45
4.2. FLC100 Sensorlu Dedektör Tasarımı	48
4.3. Deney Seti	50
4.3.1. 0-30 V.- 0-5 A. simetrik güç kaynağı	52
4.3.2. NI USB-6008 DAQ cihazı	53
4.3.3. Arayüz ekranı	53
4.4. KMZ Sensorlu Deney Düzeneği Tasarımı ve Yapılan Ölçümler	55
4.4.1. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın.....	55
4.4.2. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayın	56
4.4.3. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın	57
4.4.4. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayın.....	58
4.4.5. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın.....	58
4.4.6. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayın	59
4.4.7. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın	60
4.4.8. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayın.....	61
4.4.9. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın	61
4.4.10. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayın	62
4.4.11. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın	63

	Sayfa
4.4.12. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayın	64
4.5. FLC Sensorlu Deney Düzeneği Tasarımı ve Yapılan Ölçümler	64
4.5.1. Kuru kumlu toprak altında boş.....	65
4.5.2. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın.....	66
4.5.3. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayın.....	67
4.5.4. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın	68
4.5.5. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayın	70
4.5.6. Kuru kireçli toprak altında boş.....	71
4.5.7. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın.....	72
4.5.8. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayın.....	73
4.5.9. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın	75
4.5.10. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayın	76
4.5.11. Kuru humuslu toprak boş	78
4.5.12. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın	78
4.5.13. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayın	80
4.5.14. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın	81
4.5.15. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayın	82
4.6. Mayın Tipinin Daha Sağlıklı Tespiti İçin Önerilen Sensor Yapısı	84
5. YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI SINIFLANDIRMA MODELİ VE META-SEZGİSEL TABANLI MELEZ SINIFLANDIRMA MODELİ ÜZERİNDEN TEST VE KARŞILAŞTIRMALAR	89
5.1. Yöntem.....	89
5.2. Problem Tanımı.....	90
5.3. Verinin Elde Edilmesi	91
5.4. Veri Setinin Hazırlanması	94

	Sayfa
5.5. Problemin Modellenmesi	95
5.5.1. YSA tabanlı geliştirilmiş model.....	96
5.5.2. Örnek tabanlı modellerin geliştirilmesi.....	97
5.6. Deneysel Çalışmalar: Kara Mayını Algılama ve Sınıflandırma Performansları	100
5.7. YSA Tabanlı Modelin Performansı	101
5.7.1. YSA tabanlı modellerin algılama performansı	101
5.7.2. YSA tabanlı modellerin sınıflandırma performansı.....	106
5.8. Örnek Tabanlı Tekniklerin Performansı	110
5.8.1. Meta Sezgisel k-nn teknikleri ve k-nn'nin algılama performansı.....	111
5.8.2. k-nn ve Meta-Sezgisel k-nn tekniklerin sınıflandırılması performansı	112
5.9. Karşılaştırmalar ve Tartışma	113
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	115
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. YSA modeli sonuçları.....	38
Çizelge 4.1. KMZ51 AMR sensorun pin numaraları ve fonksiyonları.....	45
Çizelge 5.1. Problem parametreleri	90
Çizelge 5.2. Algoritma 1. Optimizasyon sürecinin sözde kodu.....	99
Çizelge 5.3. Meta-sezgisel k-nn algoritmasının tasarım parametreleri.....	110
Çizelge 5.4. Örnek tabanlı algoritmalarda yanlış algılama yüzdesi.....	111
Çizelge 5.5. Örnek tabanlı algoritmalarındaki yanlış sınıflandırmaların yüzdesi.....	112

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. B1 manyetik alanının vektörel gösterimi.....	19
Şekil 2.2. B3 manyetik alanının vektörel gösterimi.....	20
Şekil 2.3. B2 manyetik alanının vektörel gösterimi.....	21
Şekil 2.4. B4 manyetik alanının vektörel gösterimi.....	22
Şekil 4.1. KMZ51 sensorunun içyapısı.....	45
Şekil 4.2. KMZ51 sensorunun tipik çıkış gerilim eğrisi.....	46
Şekil 4.3. Uygulanan manyetik alana bağlı olarak magnetoresistive malzemenin manyetik momentlerindeki değişim	47
Şekil 4.4. FLC100 sensorun yapısı	48
Şekil 4.5. (a) Bir çubuk-çekirdeği olan en basit (b) İki damarlı modifikasyon fluxgate (akış paralel, kümesi)	49
Şekil 4.6. Tasarlanan düzeneğin blok diyagramı	51
Şekil 4.7. Arayüz ekran görüntüsü	54
Şekil 4.8. Plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği	56
Şekil 4.9. Metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği	56
Şekil 4.10. Metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	57
Şekil 4.11. Metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	58
Şekil 4.12. Plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği	59
Şekil 4.13. Metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği	59
Şekil 4.14. Metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	60
Şekil 4.15. Metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	61
Şekil 4.16. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	62
Şekil 4.18. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği	63
Şekil 4.19. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	64
Şekil 4.20. Kuru kumlu toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	65
Şekil 4.21. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	66
Şekil 4.22. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının deney setindeki konumu.....	66
Şekil 4.23. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	67
Şekil 4.24. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayının deney setindeki konumu	68
Şekil 4.25. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	69
Şekil 4.26. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının deney setindeki konumu	69
Şekil 4.27. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	70
Şekil 4.28. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayının deney setindeki konumu.....	71
Şekil 4.29. Kuru kireçli toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	72
Şekil 4.30. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	72
Şekil 4.31. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının deney setindeki konumu.....	73
Şekil 4.32. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	74
Şekil 4.33. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayının deney setindeki konumu	74

Şekil	Sayfa
Şekil 4.34. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	75
Şekil 4.35. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının deney setindeki konumu	76
Şekil 4.36. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	77
Şekil 4.37. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayının deney setindeki konumu.....	77
Şekil 4.38. Kuru humuslu toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	78
Şekil 4.39. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	79
Şekil 4.40. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının deney setindeki konumu.....	79
Şekil 4.41. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	80
Şekil 4.42. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayının deney setindeki konumu.....	80
Şekil 4.43. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği	81
Şekil 4.44. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının deney setindeki konumu.....	82
Şekil 4.45. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği.....	83
Şekil 4.46. Kuru humuslu toprak altında metal anti personel mayının deney setindeki konumu.....	83
Şekil 4.47. Mayın tipinin daha sağlıklı tespiti için önerilen sensor yapısı	84
Şekil 4.48. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında topuk koparan mayın grafiği	84
Şekil 4.49. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında bubi tuzaklı anti personel mayın grafiği	85
Şekil 4.50. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında anti personel mayın grafiği	86

Şekil	Sayfa
Şekil 4.51. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında anti tank mayın grafiği	87
Şekil 5.1. Mayın algılama yöntemleri.....	89
Şekil 5.2. Kuru toprak tiplerinin manyetik anomaliye etkisinin incelenmesi.....	91
Şekil 5.3. Nemli toprak tiplerinin manyetik anomaliye etkisinin incelenmesi.....	92
Şekil 5.4. Yüksekliğin manyetik anomaliye etkisi	93
Şekil 5.5. Deney düzeneğinden elde edilen veri örneklerinin mayın tipleri ve gerilim değerleri	94
Şekil 5.6. Geliştirilen sistemde mayın tespit ve teşhis süreci	95
Şekil 5.7. ML-tabanlı sınıflandırma teknikleri	96
Şekil 5.8. Mayın sınıflandırma problemi için tasarlanan YSA modeli.....	96
Şekil 5.9. Parametre optimizasyonu ve sınıflandırma süreci.....	98
Şekil 5.10. Deneysel çalışmalar için ayrılan eğitim ve test örneklerinin sınıflarına göre dağılımları	100
Şekil 5.11. (a) $M_{sense_1}=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ M_{sense_1} modeli (b) $M_{sense_2}=f_{ANN_detect}(V, H)$ M_{sense_2} modeline ait ANN-tabanlı mayın tespit eğitim performansları..	102
Şekil 5.12. (a) $M_{sense_1}=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ M_{sense_1} modeli (b) $M_{sense_2}=f_{ANN_detect}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait ROC eğrileri.....	103
Şekil 5.13. (a) $M_{sense_1}=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ M_{sense_1} modeli (b) $M_{sense_2}=f_{ANN_detect}(V, H)$ M_{sense_2} modeline ait Karşılaştırma Matrisi	105
Şekil 5.14. (a) $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli (b) $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait YSA tabanlı mayın sınıflandırma eğitim performansları.....	106
Şekil 5.15. (a) $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli (b) $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait ROC eğrileri.....	107
Şekil 5.16. (a) $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli (b) $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait Karşılaştırma Matrisi	109
Şekil 5.17. Bulanık (k) = 4 Modelin Ait Karşılaştırma Matrisi İle Meta-Sezgisel k-nn.....	113
Şekil 5.18. k-nn tabanlı tespit modellerinde elde edilen tespit performansı yüzdeleri ...	114
Şekil 5.19. k-nn tabanlı teşhis modellerinden elde edilen sınıflandırma performansı yüzdeleri	114

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Prototip yapısı.....	27
Resim 3.2. M-14 A/P varken Helmholtz bobinleri ve sensor grubu.....	29
Resim 3.3. M-16 A/P varken Helmholtz bobinleri ve sensör grubu.....	30
Resim 3.4. DN -11 A/T varken Helmholtz bobinleri ve sensor grubu	31
Resim 3.5. M2-A1 A/P varken Helmholtz bobinleri ve sensor grubu.....	33
Resim 4.1. Tasarlanan test simülatörü	51
Resim 4.2. 0-30 V.- 0-5 A. simetrik güç kaynağı	52
Resim 4.3. Step motor kontrol panosu.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

A	Sensor çekirdeği kesit alanı (m^2)
B	Manyetik akı yoğunluğu (T)
f	Frekans (Hz)
GND	Toprak
HM	Ölçülen manyetik alan (A/m)
HE	Uyarma alanı yoğunluğu (H)
+I_F	Çevirme bobini
L	İletken uzunluğu (m)
N	Sensor sarım sayısı
V	Sensor gerilimi (V)
V_{CC}	Köprü besleme gerilimi (V)

Kısaltmalar

Açıklamalar

(A/<i>p</i>)	Anti personel
(A/<i>T</i>)	Anti tank
(<i>k_{nn}</i>)	<i>k</i> _ en yakın komşu
(<i>MSE</i>)	Karesel ortalama hata
(<i>SM</i>)	Sabit mıknatıs
(<i>YSA</i>)	Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

Toprağa gömülen mayınların tespit edilmesi can ve mal güvenliği açısından çok önemlidir. Bu konuda çok farklı yöntemler kullanılmış ancak yüzde yüz başarı sağlamak mümkün olmamıştır. Mayın tespiti; algılayıcı tasarımı, veri analizi ve karar algoritması aşamalarından oluşur. Bu konudaki yayınlar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalar öne çıkmaktadır.

Gömülü kara mayınlarından çıkan patlayıcı buharlarının kimyasal sensörler ile algılanabilirliği ve Maksimum Olasılık (ML) tahmin algoritması ile karar verilebilir olduğu ortaya konmuştur [1]. Elektromanyetik indüksiyon sensörleri ile kara mayınlarının manyetik alan değişimleri ölçülebilmektedir [2]. Yer Etkili Radar (Ground Penetrating Radar-GPR) ile mayın tespiti çok sık kullanılan bir yöntemdir [3]. Sensörlerden elde edilen çok boyutlu verilerin sınıflandırılması için Özellik Azaltma yöntemleri kullanılmıştır [4]. Yüksek frekanslı sismik dalgaları kullanarak gömülü mayınların tespit edilmesi için mayının elastik özellikleri ile çevresindeki toprak arasındaki büyük fark ortaya çıkartılmıştır [5]. Gömülü mayınların görüntülerinin üretilmesi için Eliptik Sistemler Yöntemi geliştirilmiş olup bu yaklaşımda, diffüzyon denklemini kullanarak göğüs tümörlerinin lazer tomografisinde başarıyla uygulanan yöntemler Helmholtz denklemini kullanarak kara mayını görüntüleme sorununa uyarlanmıştır [6]. Literatürde mayın tespitinde kullanılan yöntemlerden biri de Nötron geri yansıması yöntemidir. Bu yöntemde mayının gömüldüğü yerin üzerindeki yansıyan termal nötron sayısının artışı algılanmaktadır [7]. Özellikle plastik kara mayınlarının tespiti için Elektromanyetik indüksiyon ve nötron geri yayılımı (saçılımı) birleştiren yöntem tasarlanmıştır [8]. Başka bir yaklaşımda da kara mayınlarının toprağın termal görüntüsünde anomali oluşturduğu ortaya konmuştur. Böylece ölçülen kızılötesi görüntülerdeki termal anomaliler mayın tespitinde kullanılmaktadır [9]. Mayın tespit oranını artırmak için, GPR sinyalinin, sinyal işleme ve görüntü yeniden yapılandırması için süper çözünürlük tekniği MUSIC algoritması ve SAR (Synthetic Aperture Radar) birlikte uygulanmıştır [10]. Geniş Alan Elektromanyetik İndüksiyon (WEMI) ve GPR (Yer Etkili Radar, Ground Penetrating Radar) sensörlerinden toplanan verileri kullanarak hem Anti-Tank (AT) hem de Anti-Personel (AP) kara mayınlarını ayırt etmek için çeşitli algoritmalar hiyerarşik bir tarzda sunulmaktadır. Açık Modeline Dayalı k-nn (En yakın Komşuluk algoritması) yöntemi iki parametre modelini kullanmaktadır; parametrelerin In-phase ve Quadrature verilerine

uyduğu durumlarda. GPR verileri için Doğrusal Tahmin İşleme ve Spektral Özellikler hesaplanmaktadır [11]. Mayın arama çalışmalarında kullanılmak üzere sensör ve kamera ile donatılmış araçlar [12], robot tasarımları [13, 14] çok sık başvuru yöntemleridir.

Mayın tespitinde araç tasarımı, sensör teknolojisi ve algılama yöntemleri kadar elde edilen verilerin nasıl analiz edildiği de önemlidir. Mayın tespitinde elde edilen verilerin analizinde ve karar verme aşamalarında çok farklı yöntemler kullanılmıştır. Genelleştirilmiş Olabilirlik Oranı Testi (GLRT) [15], Ayrık Gizli Markov Modeli (DHMM) tabanlı mayın tarama sisteminin performansını artırmak için Minimum Sınıflama Hatası (Minimum Classification Error - MCE) [16], Genetik Algoritma [17], Dalgacık Dönüşümü [18] gibi yöntemlerin de kullanıldığı görülmektedir. GPR kullanan arazi mayın tespiti için iki boyutlu ve üç boyutlu NUFFT (Nonuniform Fast Fourier Transform) algoritması kullanılmıştır [19].

Bir başka çalışmada gerçek SAR görüntülerindeki kara mayınlarını tespit etmek için, PCA (Temel bileşenler Analizi, Principal Component Analysis) ve SVM (Destek Vektör Makinesi, Support Vector Machine) tekniklerine dayanan bulma süreci önerilmiştir [20]. Ayrıca, anti-personel kara mayınlarının belirlenmesi için UWB-GPR veri işleme kullanıldığı da görülmektedir [21]. Diğer bir çalışmada, bir post-filtre tabanlı yöntemle çıkarılan özellik vektörü üzerinde HMM (Gizli Markov Modeli, Hidden Markov Model) çekirdeği kullanarak HyperSphere-SVM (HS-SVM) olarak adlandırılan, hipersfer sınıflandırma sınırına sahip bir SVM, mayın taraması için önerilmiştir [22]. Mayın tespiti için bağlam-bağımlı (Context-Dependent) çoklu sensör füzyonu (Multi-Sensor Fusion) başka bir yöntem olarak görülmektedir [23].

Sonlu Farklar Zaman-Alan (FDTD, finite-difference time-domain method) ve Yapay Sinir Ağlarını kullanarak mayın tespiti [24], FLGPVAR (Forward-Looking Ground Penetrating Virtual Aperture Radar) görüntülerini kullanarak mayın algılama [25], Bulanık İntegrallerle Uyarlamalı Yerel Füzyon için bağlamsal çıkarım yaklaşımı (called context extraction for local fusion with fuzzy integrals, CELF-FI) [26], 3B görüntü analiz yöntemi ile kara mayınlarının tespiti [27], Mayın Tespiti İçin Metal Dedektörü İle Birlikte Yerleştirilen GPR İçin EBG (Electromagnetic band-gap) Anten tasarımı [28], TLM yöntemini kullanarak yeni bir mayın tespiti tekniği [29], Adaptive Neuro Fuzzy Inference System ile gömülü nesnelerin tespiti [30], kara mayınlarının tespiti için Öznitelik Çıkarma

Yöntemlerinin Yere Nüfuz Eden Radar kullanılarak karşılaştırılması [31], Holographic radar ile mayın tespiti [32], Termal Görüntü Zaman Serisinden gömülü mayın tespiti [33], Kara mayını tespiti için RBF Kernel tabanlı SVM sınıflandırması [34] ve drone üzerine monte edilen GPR ile mayın tespiti [35] gibi çok değişik tasarım ve yöntemler geliştirilmiştir. Dünyanın manyetik alanında meydana gelen anomalilerin tespiti ile mayın belirleme yöntemi de literatüre girmiştir [36]. İlgili çalışmada fluxgate sensör (FLC100 tipi) kullanılarak toprağa gömülü mayının dünyanın manyetik alanında meydana getirdiği anomali ölçülmüştür.

Mayın tespiti üzerine yapılan bunca çalışmaya rağmen günümüzde kara mayınları can almaya devam etmektedir. Bu durum mevcut mayın detektörlerinin handikaplarından kaynaklanmaktadır. Aktif mayın detektörlerinin mayınların ateşleme mekanizmalarını tetikleme tehlikesi devam etmektedir. Pasif algılama yöntemlerinin mayınları algılama güçlükleri devam etmektedir. Tüm bu problemler mayınların tespit edilmesi için yeni bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Bu tezde kara mayınları konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen tecrübeler dikkate alınmıştır. Yarattığı tehlikeler nedeniyle aktif detektör tasarımı benimsenmemiştir. Manyetik anomali yönteminin pasif detektör tasarımı için oldukça uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bunun yanında mayınların sadece manyetik anomali dikkate alınarak etkili bir şekilde tespit edilemediği fark edilmiştir. Bu sebeple mayınların tespit edilmesinde etkili olabilecek başka parametrelerin varlığı araştırılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde manyetik anomalinin dışında toprak cinsi ve yükseklik parametrelerinin de mayın tespitinde etkili olabileceği değerlendirilmiştir. Yeni eklenen parametrelerden sonra mayın tespiti çok boyutlu bir probleme dönüşmüştür. Bu durum problemin yeniden tanımlanmasının ve yeni bir yaklaşımla modellenmesinin de yolunu açmıştır. Örneğin mevcut yaklaşımlarla sadece mayın tespiti mümkünken yeni yaklaşım sayesinde mayın tipinin de belirlenmesi mümkün hale gelmiştir. Mayın tipini manyetik anomali, yükseklik ve toprak tipi gibi üç boyutlu bir problemin fonksiyonu ile ifade etmenin yolu açılmıştır. Problemi yeni yaklaşıma bağlı olarak modellemek için son dönemlerde literatürde yer alan kararlı ve etkili sınıflandırma tekniklerinden faydalanılmıştır. Önerilen yaklaşım esas alınarak geliştirilen yapay zekâ-tabanlı sistem sayesinde çok boyutlu mayın problemindeki analitik ilişkiler etkili bir şekilde modellenmiş ve probleme özgü desenler başarılı bir şekilde keşfedilebilmiştir. Bu tezde ayrıca manyetik anomali konusu ele alınmış ve

önerilen yaklaşımın nasıl tatbik edileceği yani yöntem detaylı olarak tasarlanmıştır. Problemin tanımından, veri setlerinin hazırlanmasına ve problemin modellenmesine kadar bütün aşamalar detaylı olarak ele alınmıştır. Bu amaca yönelik olarak deney seti tasarlanmış ve deney düzeneğinden elde edilen veriler modern ve etkili yapay zekâ teknikleri ile modellenmiştir. Deneysel çalışma bölümünde birçok model önerilmiş ve bu modellerin performansları karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşım ve geliştirilen modeller sayesinde kara mayınlarının etkili bir şekilde tespit edilebileceği ve tiplerinin teşhis edilebileceği deneysel olarak ispat edilmiştir.

Tezde gerçekleştirilen çalışmalar: Teorik yöntemin belirlenmesi, Helmutz bobinli tasarım, deneyleri ve YSA (Yapay Sinir Ağları) uygulaması, Yeni bir deney seti tasarımı, KMZ (Hassas Manyetik Alan Sensörü) sensörlü tasarım ve deneyleri, FLC (Flux Gate Sensor) sensörlü tasarım ve deneyleri, KMZ ve FLC sensörlü tasarımlarla elde edilen verilere yapay zekâ tabanlı yeni bir yaklaşım uygulaması olarak özetlenebilir.

Tezin birinci bölümünde literatür taraması yapılarak mayın algılamada kullanılan yöntemler incelenmiş ve sorunların tespiti yapılarak tezde kullanılacak yöntem ve sorunlara nasıl çözüm bulunacağı, bu konudaki yeni yaklaşımın ne olacağı ortaya konmuştur.

İkinci bölümünde kara mayınları tespitinde kullanılan yöntemler ele alınmış ve bu tezde kullanılacak manyetik anomali yöntemi ile patlayıcı belirlemeye yönelik teorik yaklaşım ortaya konmuştur.

Üçüncü bölümde helmutz bobinli tasarım, deneyleri ve elde edilen verilere YSA uygulaması ele alınmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde KMZ ve FLC sensörlü dedektör tasarımları yapılarak bu tasarımların test edilmesi için deney seti tasarlanmış ve yapılan deneylere yer verilmiştir. Ayrıca sensörlerin detektör içindeki konumları mayınların sınıflandırılmasında kullanılacak şekilde belirlenerek yeni bir tasarım geliştirilmiştir.

Beşinci bölümde ise; yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen verilerin analizi ve k-en yakındaki komşu algoritması (k-nn), Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı sınıflandırma modeli ve meta-sezgisel tabanlı melez sınıflandırma modeli gerçekleştirilmiştir.

Tezin altıncı bölümü sonuç ve değerlendirme bölümüdür. Bu bölümde alınan verilerin geliştirilen algoritma ile işlenmesi ile deneysel sonuçlar yorumlanmış ve gömülü patlayıcıların daha iyi tespit edilebilmesi için öneriler sunulmuştur.





2. KARA MAYINLARININ TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Gömülü Patlayıcılar

Gömülü patlayıcılardan bahsedildiğinde ilk akla gelen patlayıcı tipi kara mayını olmasına rağmen gömülü patlayıcılar; standart kara mayını gibi bilinen tanımların şekil ve fiziksel özelliklerin dışına çıkmakta ve bu durum patlayıcının tespitinde doğruluk oranını düşürmektedir.

Gömülü patlayıcıların tespit edilmesinde iki parametre çok önemlidir; bunlar, hız ve doğruluk yüzdesidir. Yapılan ölçüm sonucu elde edilen veriler bir gömülü patlayıcıya ait olduğu halde bu tespit edilememiş ise, sonuç can kaybı anlamına gelecektir ki bu hiçbir kimsenin alabileceği bir sorumluluk değildir. Diğer taraftan, hatalı ve eksik bir karar vermemek için her türlü verinin şüpheli olarak değerlendirilmesi de sistemin güvenilirliğini ortadan kaldıracaktır.

Kara mayını belirlemede kullanılan başlıca yöntemler aşağıda sıralanmıştır [37].

- A. Akustik - Sismik Dedeksiyon
- B. Yer Etkili Radar (GPR) Dedeksiyon
- C. Elektromanyetik İndüksiyon Spektroskopisi
- D. Kızılötesi (IR) Görüntüleme
- E. Çekirdek Dört kutup Rezonansı
- F. Çekirdek Yöntemi
- G. Data Füzyon
- H. Kara mayınlarının istatistiksel analizi(Algoritmalar)
- İ. Kara mayınlarının belirlenmesinde kullanılan robotlar
- J. Manyetik anomali yöntemi

Bu yöntemler fayda ve mahsurları itibariyle sırasıyla incelenecektir.

2.1.1. Akustik - sismik dedeksiyon

Gömülü mayınlar nedeniyle toprak yüzeyinde oluşan "lineer olmayan bozulmaların" analizine dayalı bazı yenilikçi tespit ve ayırt etme teknikleri mevcuttur. Lineer olmayan bu bozulmalar, mayın kabı malzemesinden bağımsızdır ve metal, plastik ve tahta kılıflı mayınlarda da görülür [37].

Akustik-Sismik yaklaşım toprağın 1KHz den az frekanslarda uyarılması ve toprakta neden olunan bu titreşimlerle gömülü mayın üzerindeki toprağın "titreşim işaretlerinin" uzaktan algılayıcılarla ölçülmesi esasına dayanmaktadır [38].

Akustik ve sismik dedeksiyonla mayın görüntüleme üzerine 1999 yılından bugüne yapılan çalışmalarda değişik tipte akustik projektör ve değişik algoritmalar denenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. Gömülü kara mayınlarının dedeksiyonu için elastik yüzey dalgalarını ve elektromanyetik dalgaları kullanan bir sistemin verileriyle yansıyan enerji hesaplamalarını yapan bir görüntü algoritmasının gömülü bir mayının iki boyutlu görüntüsünü verebileceği [39-40],
2. Gömülü kara mayını ile esnek dalgalar etkileştiği zaman mayın bölgesinde oluşan güçlü bir rezonans, mayının varlığını belirlemek ve diğer dağıtıcılardan ayırmak için kullanılabileceği, gömülü kara mayınları ile esnek dalgaların etkileşimini araştırmada 3D FDTD (Finite-Difference Time-Domain Method) sayısal modelin kararları ile deneysel sonuçların uyduğu [41],
3. Heterojen topraktaki gömülü nesnelerin akustik dalga yayılımını simüle etmek için PML (matched layer)-FDTD (Finite-Difference Time-Domain Method) sayısal modelinin kullanılabileceği [42],
4. Gömülü mayın ile esnek dalgaların etkileşim analizinin, çift dikey çoklu çözünürlüklü zaman-alan metot "biorthogonal multiresolution time-domain method" (Bi-MRTD) ile yapılabileceği, bu sayede iki farklı malzeme arasındaki ara yüzün davranışı ve tamamen benzeyen tabakaların meydana çıkarılabileceği [43],
5. Deniz yataklarında askıda kalan her türlü maddenin akustik dalgalarının karakteristiğini bozduğunu ve mayın ayırımı yapabilmek içinde güçlü bir akustik projektörlerin kullanılması gerektiği [44], sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.1.2. Yer etkili radar (GPR) dedeksiyon

Yere nüfuz eden radar toprak altına gizlenmiş hedeflerin tespiti için geliştirilmiş bir tekniktir. GPR'nin çalışma prensibi; verici anten(ler) yardımıyla yer merkezine doğru gönderilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların toprağın içerisindeki hedeften yansıma yapması ve bu yansımaların alıcı yardımıyla kaydedilmesi esasına dayanır.

GPR ile mayın görüntüleme üzerine 1996 yılından bugüne yapılan çalışmalarda değişik uygulama frekansları, değişik tipte anten çeşitleri ve değişik algoritmalar denenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. Mayın hedeflerin karmaşık doğal rezonanslarından video puls sinyal üreten bir yüzey altı radar sistemiyle, en uygun karmaşık doğal rezonansı içeren bant genişliğini tespit edilmesi durumunda hedefin belirlenebileceği [45],
2. Ultra geniş bant (UWB) radar teknolojisi kullanılarak gömülü nesneden geri dönen radar sinyallerine bakarak nesnenin silindir ya da koni olduğuna karar verilebileceği [46],
3. Ultra geniş bant (UWB) radar teknolojisi kullanılarak 0,7-2,7 GHz bant genişliğinde 20 cm derinliğindeki metal silindirik nesnelerin ve mayınların bulunabileceği [47-48],
4. 1,4 GHz frekansta yay şeklinde bir anten kullanımıyla 4 plastik anti personel mayına eşdeğer hedeflerin 150 mm derinlikten belirlenebileceği [49],
5. Çalışma frekansı 30-3000 MHz ve merkez bant frekansı 1300 MHz olan Pals Radar sensorla 1 m derinlikteki hem plastik hem de metalik mayınların bulunabileceği [50],
6. Bir mikrodalga görüntüleme kazı makinesi kullanılarak 10 ile 15 cm derinliğinde gömülü nesnelerin yüzey görüntülerinin sağlanabileceği ve gömülü alüminyum ürünlerin ise yaklaşık 5 cm'den görüntülenebileceği [51],
7. AP mayınların dedeksiyonu için geliştirilmiş geniş bant mikrodalga taşıyıcı GPR antenlerle 30-40 cm yükseklikten en az 60 mm derinde gömülü AP mayınların görüntüsünün elde edilebileceği [52],
8. Bant genişliği 50-1200 MHz olan ultra geniş bant (UWB) SAR (synthetic aperture Radar) sistemde yerden 150 ft yüksekliğe yerleştirilmiş Yatay ve düşey doğrultuya yönlendirilmiş 4 alıcı-verici boru tipi anten kullanılarak M20, Valmara anti personel ve plastik mayınların belirlenebileceği [53],

9. Tipik olarak 790 MHz'de çalışan boşluğu ayıran sensor (separated - aperture sensor), hava, toprak ve gömülü mayından oluşan elektromanyetik sistemin, FDTD (finite-difference-time-domain) metotla modellenebileceği ve bu metodun bir mayın dedeksiyon sensorunun elektromanyetik performansının tamamını doğru olarak simüle edebileceği [54-55],
10. GPR benzeri odaklanmış ışın sistemi kullanılarak 3 inç çapında 3 inç derinliğindeki plastik AP mayınların dedekte edilebileceği [56],
11. GPR sinyallerinin geniş bantta yansıyanlarını sayısal olarak simüle ederek toprağın sertliği ile dağıtıcı özelliği arasındaki ilişkinin 2D FDTD metot kullanarak belirlenmesinin küçük, sık ve düşük kontrastlı hedeflerin belirlenebilirliğini arttıracığı [57],
12. Multi dedeksiyon algoritmaların GPR'den elde edilen sinyale uygulanmasından sonra, algoritma çıktıları Sugeno ve Choquet bulanık integralleri kullanılarak birleştirildiği takdirde hedeflerin belirlenebilirliğinin artacağı [58],
13. Bir piko saniyede anahtarlama yapabilen bir sistemi kullanan düşük güçlü ultra geniş bant radarın (UWB PULSAR), yüzeye gömülü kara mayınlarının radar görüntülerini üretmek için yeterli olduğu [59],
14. Geniş bant, tam polarimetrik GPR sistemle birkaç yıllık patlamamış gömülü askeri ürünlerin (UXO) sınıflandırılabilmesi [60],
15. Mayınların konumunu ve sayısını detekte etmek için farklı frekanslarda çalışan Bi statik ve mono statik radarlarda E-düzey (plane) veya H- düzey boru anten kullanımıyla kara mayınları tespit edilebileceği [61],
16. Kara mayını belirlemede farklı anten şekilleri kullanarak istenmeyen ekoların oranında ya da sinyal dağıtma oranında büyük iyileşme sağlandığı [62],
17. Elde edilen yansıma karakteristiğinin sadece mayın ve diğer dağıtıcı nesnelerle değil kara mayınlarının geometrik şekliyle de ilişkili olduğu ve bu geometrik simetrisinin tanımlanmasında grup teoreti kullanılabileceği [63],
18. GPR datalardan gömülü kara mayınlarını belirlemede gürültü etkilerini azaltmak için tek değer ayrıştırma (SVD) ve toplam en küçük kareler (TLS) tekniklerini kullanan Proxy algoritması kullanıldığı [64],
19. Alıcı olarak optiksel elektrik alan sensörü kullanan bi statik radar sisteminde sensorun çevresindeki alanı bozmaması ve küçük boyutta olması sebebiyle mayın belirlemede etkin olarak kullanılabileceği [65-67],
20. ARMA modellemeye GPR veriyi işleyerek istenmeyen ekolar bastırılabilmesi [68],

21. GPR tarafından üretilen sensor verisi kullanılarak gerçek-zaman (real-time) kara mayını belirleme için bulanık ve olasılıklı (possibilistic) üyelik fonksiyonlarının kullanılabileceği [69],
22. GPR ile alınan sığ yüzey altı verileri, hızlı boşluk görüntüleme metodu (SAI) ile analiz edilerek istenmeyen ekolara ait verilerin kaldırılabilmesi [70],
23. 100 MHz ten 5 GHz kadar frekans bant genişliği olan, alıcı olarak bir optik sensor ve verici olarak da bir TEM boru anteni kullanan bir statik radar sistemiyle kara mayınlarının belirlenebileceği [71],
24. Frekans değeri adım adım değişebilen UWB GPR tarafından yüzeye yakın nesneler ve AP mayınları tanımlama için FDFD (Finite Difference Frequency Domain) rezonans tabanlı ayırım tekniğinin kullanılabileceği [72],
25. Alıcı olarak optiksel elektrik alan sensörü, verici olarak sırt sırta verilmiş birleşik boru anten kullanan bir statik GPR sistemin kara mayını belirlemede etkin bir şekilde kullanılabileceği [73],
26. GPR ile kara mayın belirlemede, toprak yüzeyi radyasyon karakteristiği mükemmel polarize edilebilir, uzayda iki biçimde hareket edebilen ve yaklaşık bant genişliği 0,5-6 GHz olan spiral antenin kullanılmasıyla radar görüntü kalitesini artırılabilmesi [74],
27. Değişik prensiplere dayalı algoritmaların GPR'deki dağınıklığı azaltmada, mayını tanımlamada ve dedeksiyon için uygun hedef özellikleri üretmede, ayrıca yanlış alarm oranını önemli ölçüde azaltmada kullanılabileceği [75] sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.1.3. Elektromanyetik indüksiyon spektroskopisi

Hava alanlarında güvenlik kontrolünde ve define avcılarının arazide kullandıkları metal dedektörlerin temel çalışma tekniği, elektromanyetik indüksiyona (EMI) dayanmaktadır. Buna karşın bu sistemlerde bir metali diğerinden ayırt etmek veya metal oranı düşük nesneleri algılamak mümkün değildir. Bu nedenle bu dedektörlerin yanlış hedef sayısı gerçek hedeflerden çok fazla olmaktadır. Elektromanyetik indüksiyon spektroskopisinde algılayıcı olarak indüksiyon bobini, değişik manyeto metreler ve iletken ölçerler kullanılmaktadır.

Elektromanyetik indüksiyon spektroskopisinde nüfuz derinliği tatmin edici olsa da düşey derinlik menzili kısıtlıdır. Geliştirilmiş modelleri ile plastik patlayıcı tespitinde de kullanılabilir. Çünkü toprağın iletkenlik değerleri mikro seviyede de olsa değişkenlik

gösterir ve bu değişkenlikler, sinyal analizinde dikkate alınmalıdır. Görüntü çözünürlüğü de düşüktür ve tek bir mayına odaklanmak mümkün değildir. Bu teknoloji ile şeritleme yapılmış sınırları belli bir alanda çalışmak daha pratik ve verimli olacaktır.

EMI ile mayın görüntüleme üzerine 1996 yılından bugüne yapılan çalışmalarda değişik proplar, değişik sensörler ve değişik algoritmalar denenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. Düşey olarak monte edilmiş bobine sahip bir indüktif prop ile manevra yapabilen araştırma probundan oluşan bir dedektörle, gömülü bir plastik mayının yeri bulunabileceği [76],
2. Bayesian sinyal algılama kuramsal analizinin, EMI sensorlar kullanılarak bazı küçük patlamamış askeri nesnelerin (UXO) ve kara mayını içeren hedeflerin dedüksiyonunun iyileştirilmesinde kullanılabileceği [77],
3. Algılama olasılığının ve yanlış alarm olasılığının arasındaki ilişki doğrudan alandaki sensorun toplam performansını etkilediği, random ağ (RNN) ve δ tekniği üzerine kurulmuş parametrik olmayan yanlış alarm filtresi ile yanlış alarmın yeteri kadar azaltılabileceği [78],
4. Geniş bant frekans-alan EMI sensör verilerinin, sinyal algılama teorisi (Bayesian teorik yaklaşımı) kullanılarak işlenmesiyle çeşitli metalik mayın benzeri hedeflerin sınıflandırılabilmesi [79],
5. Ekspansiyonel bozulma modeli üzerine kurulu sensor verilerinin, en uygun performansa sahip sensorlarla elde edilmesi ve karşılaştırılmasıyla Gaussian gürültünün temizlenebileceği [80],
6. Yüksek frekanslı sonarların denizde gömülü mayınların algılama ve sınıflandırılmasında etkisiz olmuş, bunun için bu mayınların manyetik ve akustik sensörlerle (MADOM) belirlenebileceği [81],
7. İzole edilmiş bir hedeften alınan geniş bant elektromanyetik indüksiyon verilerinin küre modeliyle işlenmesi sonucu hedefin derinliğinin, yarıçapının, manyetik geçirgenliğinin ve elektriksel iletkenliğinin belirlenebileceği [82],
8. Standart bir mayının ön hesaplanmış belirtileri ile metal detektörden ölçülen sinyallerin Lagrange çarpanları ile alan ayrıştırma metoduyla karşılaştırılmasının yanlış alarmları azaltılabileceği [83],

9. Standart bir zaman-alan metal dedektöründe gömülü nesnelerin derinliği ve tipini karar veren, operatöre yardım etmek için WHU yapılarını destekleyen sistemin, kara mayın içinde yer alan gömülü nesnelerin varlığını belli bir yere sınırlanabileceği ve onların bazılarının sınıflanabileceği [84-85] sonuçlarına ulaşmıştır.

2.1.4. Kızılötesi (IR) görüntüleme

Bu teknolojiadaki gelişmeler daha ziyade, mayınlı alanların havadan (zeplin, helikopter, balon vb.) taranması üzerine yoğunlaşmıştır.

Kızılötesi görüntüleme yöntemiyle aylar önce gömülen mayınlar dahi tespit edilebilir. Kızılötesi kameradan alınan görüntünün değerlendirilme hızı; mayın tipine, toprak tipine (kum, mil, çamur, taşlı vs) ve günün saatlerine göre değişebilir. Ancak testlerde 3m genişliğinde tesviye edilmiş bir kumlu yolda ilerlerken 10 m'deki yanlış alarm oranının %10-80 arasında olduğu kaydedilmiştir[86].

IR ile mayın görüntüleme üzerine 1996 yılından bugüne yapılan çalışmalarda değişik uygulama frekansları ve değişik algoritmalar denenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. 3-4 metre yerin altına gömülmüş metal ve bakalit değişik tiplerde mayınlar ile kola kutusunun boyuna ve enine bir ve iki boyutlu görünümünü belirlemek için IR kamera kullanılabileceği [87],
2. IR ve UV yakınlarında 6 farklı bantta data toplayabilen, mayın hedeflerin kontrastlarını, şekillerini, büyüklüklerini ve sinyali dağıtma oranlarını bularak karşılaştıran yeni bir IR kamera kullanılarak mayın ve benzeri hedefler belirlenebileceği [88],
3. Kızılötesi görüntülemeye yüzeyin sebep olduğu dağınıklığın düz olmayan güneş ışınlarıyla yakalanması esasına dayanan görsel dalga boyu görüntüleme metodunun kumlu yüzey yapılarında gömülü objelerin dedeksiyonunda kullanılabileceği [89],
4. Görsel dalga boyu görüntülerini hesaba katarak ve toprağın nemi, gömü derinliği ve son hava koşulları gibi dış parametrelerle ilgili önceki bilgileri birleştirerek sunan İkili bant veri üzerine kurulu bir bayesian yaklaşımı kullanarak kızılötesi kara mayın detektörlerinde önemli iyileşmeler yapılabileceği [90],

5. Toprağın ya da objelerin termal radyasyonlarını ölçerek 3 boyutlu termal görüntüsünü CNN yonga kullanılarak bulan IR kızılötesi radyometrelerle AP mayınların bulunabileceği [91],
6. Gömülü bir kara mayını ile bir toprağın soğuma ve ısınma döngülerinin, azalan zaman ve boyutta tekrarlanabileceği ya da kopya edilebileceği bir metotla sağlanan referans veriler, terk edilmiş kara mayınlarının belirlenmesinde kızılötesi termografi uygulamalarının etkinliğini arttıracak [92], sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.1.5. Çekirdek dörktutup rezonansı

Çekirdek Dört kutup Rezonansı [Nuclear Quadrupole Resonance, NQR], birçok patlayıcı ve uyuşturucu maddenin yapısında bulunan azot izotopunun (^{14}N) 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 artırılabilir. Algılayıcı bobinlerde elde edilecek bu zayıf indüksiyon akımlarının şiddeti patlayıcının miktarını, frekansı ise cinsini ortaya koyar.

Bunun yanı sıra Nükleer Quadropol Rezonans metodunun kullanımı düşük sinyal gürültü oranı (SNR) tarafından sınırlıdır. Son yapılan çalışmalarda SNR'yi çoğaltmak için bir yol olarak NQR frekanslarının sıcaklığa bağlılığını okuyan lineer olmayan dedektör geliştirilmiş. Ayrıca SNR'yi çoğaltmak için bir yol olarak NQR frekanslarının sıcaklığa bağlılığını okuyan maksimum olasılık (AML) dedektör de geliştirilmiş. Hem gerçek hem de yapay ölçülmüş veriler üzerine yapılan nümerik simülasyonlar metodun performansının mükemmelliğini göstermiş[93-96].

2.1.6. Çekirdek yöntemi

Çekirdek yöntemleri; ısıt nötron aktivasyonu, nötron geri saçılımı ve X-ışını geri saçılımından oluşur. Çekirdek yöntemi üç alt başlıkta incelenebilir:

Isıl Nötron Aktivasyonu [Thermal Neutron Activation - TNA]

Birçok patlayıcının yapısında oldukça fazla bulunan azot çekirdeğinin, toprak yüzeyinde elektron hızlandırıcı (karşı atomdan elektron koparacak kadar enerjiye sahip iyonize elektronlar üretilir) kullanılarak elektron bombardımanına tutulması neticesinde aktive edilmesiyle salacağı özel gama ışınlarının algılanmasına dayalı bir yöntemdir[97]. Geri saçılan gama ışınlarının algılanması çok hızlı olduğu için mayın tespiti de çok hızlıdır.

Bununla birlikte patlayıcıları tanımlamak için nötron-gama metodu da kullanılmaktadır. Nötron gama metodu, nötron demetinin bir nesneye gönderilmesi ile maddenin nükleonları tarafından üretilen ikincil gama ışınlarının karakteristik özelliklerinin analizinin karşılaştırılması ve kaydedilmesi üzerine kuruludur. Patlayıcıdaki kimyasal elementlerin toplamı ve karışımı toprağınkinden farklıdır. Fakat ana problem mayının farklı parçalarından, nötron kaynağından ve toprak arasından mayından gelen gamma ışınını ayırmaktır. Bu problem değişik toprak örnekleri, değişik mayın türleri ve farklı nötron kaynakları ile yapılan ölçümlerin analiziyle çözülmüştür[98-99].

Nötron Gerisaçılımı [Neutron Backscatter]

Bu teknik, ilgilenilen içerikte bulunan hidrojen çekirdeği elektronlarının yüksek enerji elektronlarla etkinleştirilerek kopartılmasının ardından geriye saçılan düşük enerjili elektronların algılanarak sayılması esasına dayanır. Ancak hidrojen çekirdeği varlığına dayalı bu tekniğin hidrojenin suyun temel yapı taşı da oluşturuyor olması nedeniyle kuru ortamlarda kullanılması daha etkili olacaktır.

Bu teknikle bir mayının derinliğini belirlemenin birçok faktöre bağlıdır. En önemli faktörler, toprağın homojenlik seviyesi, dedeksiyon zamanı ve toprağın nemidir. Homojen kuruluştaki bir kumda bir dakika içinde 20 cm derinlikteki bir anti tank mayını bulunabilir ve ayrıca anti personel mayın için bu değer 15 cm'dir[100-102].

X-Işını Gerisaçılımı [X-Ray Backscatter]

X-Işını radyografisinde (röntgen) görüntü; hızlandırılmış fotonların doku içinden geçirilmesi ve iz düşümde yoğunluğa bağlı olarak kütlenin arka tarafındaki ışığa duyarlı filmde oluşturulan gölgelerle elde edilir. X-Işınının dalga boyu bir mayının boyutlarına göre çok küçük olduğundan çok kaliteli mayın görüntüsü elde etmek mümkündür. Ancak burada mayının arka tarafında oluşacak görüntüyü fiziksel olarak yakalamak mümkün olmadığı için, mayından geriye saçılan ışınlardan görüntü elde edilir. Mayın ve toprak arasındaki yoğunluk farkı ve iki kata varan atom numarası farkları görüntü elde etmek için yeterli ayırt edici bir özelliktir.

Gömülü mayın görüntülemeye iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. İlki, hizalandırıcıdan geçirilmiş ve böylece odaklanmış X-Işınlarının mayına çarpmasıyla saçılan fotonların başka bir hizalandırıcıdan geçerek dedektöre varmasıyla görüntünün oluşturulmasına dayanmaktadır. Hizalandırma gereksinimi sistemin ağırlığını ve hacmini arttırmakla birlikte görüntü için gerekli foton sayısını azaltmaktadır. Kaynak olarak yüksek güçlü bir X-Işını üreticisine gereksinim vardır. Yüksek hacim, ağırlık ve güç gereksinimi tek kişinin kullanabileceği taşınabilir bir dedektörün üretimini olanaksız kılar. İkinci olarak ise hizalandırıcı kullanmadan geniş bir alanın X-Işınına tabi tutulması ve yansıyan ışınların uzaysal filtreden geçirilerek benzetim yöntemleri ile hizalandırmadan geçmiş hale getirilmesini içerir. Bu yaklaşımda tek kişinin kullanabileceği taşınabilir bir sistem üretmek mümkündür.

X-Işını geri saçılımına dayalı kısa ismi CBI ya da (LMR) olan tekniğin ölçüm sonuçları, bu teknikle 10 cm derinde plastik dâhil tüm gömülü kara mayınlarının dedeksiyonu ve tanımanın yapılabileceğini göstermiştir. LMR görüntüleme modeli iki tip büyük hassas alan dedektörüne ihtiyaç duymaktadır. Bu dedektörler harcanan bir joule enerjiye karşılık 1 pixellik görüntü vermektedir. Bu yüzden harcanacak enerji yüksek olmaktadır. X-Işını tüpü ve X-Işın dedektörler 1.6m genişliğinde bir araca konarak 1 saatte bu teknikle 3 km mayınlı bölge taranabilir. Her seferinde X-Işınları 1 m'lik alana uygulanmaktadır.

2.1.7. Data füzyon

Bütün sensörler temel mayın dedeksiyonu için uygundur. Fakat sensörleri bileştirerek, dedekte etme olasılığını büyük ölçüde düşürmeksizin yanlış alarm oranını iyileştirmek mümkündür. Her sensörün verimi ve onların karakteristikleri farklıdır. Bu yüzden multi sensör data birleştirme işlemine tabi tutulur. Bu işlem üç aşamalı yapılır. 1. aşamada her bir sensörün ham datası birleştirilir (Ham data birleştirme), 2. aşamada her bir sensörün ham dataları analiz edilir ve her ham data için özel bir vektör üretilir, kalıcı bir vektör ya da sigortalı bir vektör üretmek için bu vektörlerin koordinatları birleştirilir. (Vektör birleştirme seviyesi). 3. aşamada ise özel vektörün tanımladığı şey hakkında bir karara varılır. Karar verme süresi uzun olduğundan patlayıcı tespit hızı düşüktür.

2.2. Kara Mayınları Tespitinde Manyetik Anomali Yöntemi

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. Bu doğrultuda yapılan çalışmada güç tüketimi çok az, hassasiyeti yüksek olan fluxgate sensör (flc 100) kullanılmıştır. Çalışma için ilk olarak bu sensörün üç boyutta hareketini sağlayacak mekanik bir sistem, sensörden gelen veriyi işleyerek bilgisayara gönderecek veri toplama modülü, bilgisayara gelen verileri değerlendirip kaydedecek bilgisayar yazılımından oluşan bir manyetik ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Daha sonra ölçüm sistemi yardımıyla manyetik ve geometrik özellikleri bilinen değişik malzemeler ile farklı tipteki mayınların dünyanın manyetik alanının dikey bileşeninde oluşturdukları anomaliler tespit edilmiş ve malzemelerin fiziksel özelliklerinin anomaliye etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, özellikle toprak altına gizlenmiş kara mayınlarının tespit ve sınıflamasının yapılabileceği ispatlanmıştır.

2.3. Manyetik Anomali Yöntemi ile Patlayıcı Belirlemeye Teorik Yaklaşım

Manyetik anomali yöntemi, manyetik alan içerisindeki nesnenin manyetik alanın yapısını bozması sonucunda oluşan anomalinin ölçülmesi ve elde edilen verilerin hareket ve konum

gibi durumların tespit edilmesinde kullanılmasıdır [103-107]. Manyetik anomali kullanılarak konum, derinlik veya hareket yönü gibi parametrelerin belirlenmesi çalışmaları 1970'den beri yapılmaktadır [108-113]. Temel yaklaşım manyetik alan içerisindeki malzemenin alanın manyetik yapısını bozacağı ve bir anomali yaratacağı kuramına dayanmaktadır.

Bu çalışmada kara mayınları, mayının oluşturduğu anomali ölçülerek tespit edilmesini sağlayan yeni bir tespit tekniği kullanılacaktır. Bu yöntemde ana ilke, araştırma yapılan ortamda anomali varlığının tespit edilmesidir. Farklı tipteki malzemelerin farklı manyetik özellik göstermesi, anomalinin sebebidir. Bu durumda, mayın tespiti için bu yöntemin kullanılması durumunda, metalik, yarı metalik, plastik bir patlayıcı düzeneğin tespit edilmesi de mümkün olacaktır. Ancak burada da temel sorun, doğada var olan farklı yoğunluklu arazi parçaları, kayalar, metal atıklar ve hatta ağaç kökleri gibi cisimlerin mayın/patlayıcı tanımı dışında tutulabilmesidir [114]. Bu sorun anomali ölçümünde elde edilen verilerin analizi için geliştirilecek algoritmayla çözülmüştür. Bu çalışmada manyetik anomali ölçümü için Fluxgate sensör kullanılmıştır. Bu sensörler DC ya da düşük frekanslı AC manyetik alanları ölçebilirler ve 10^{-10} - 10^{-4} Tesla ölçme aralığına sahiptir. Fluxgate sensörler, çok hassas, oda sıcaklığında çalışabilen vektörel cihazlardır.

Elektromanyetik alan oluşturmak amacıyla Helmholtz bobinleri sıklıkla kullanılmaktadır [115].

Bu çalışmada, 1m x 1m x 1m ölçülerinde ahşap bir tankın her iki kenarına Helmholtz bobinleri yerleştirilerek tankın iç bölgesinde yaklaşık homojen bir manyetik alan yaratılmış ve Helmholtzlara frekansı 50 Hz ve genliği 24 V olan bir AC sinyal uygulanmıştır. Manyetik alan ölçümleri için sensör olarak, 0,1 mm çaplı emaye telinden 10000 sarımlı, çapı 1 cm ve eni 0,5 cm olan, hava nüveli bir bobin kullanılmıştır.

Anomali ölçüm alanı olarak kullanılacak olan tank içerisindeki manyetik alanı belirlemek amacıyla, manyetik alan sensörü Helmholtz bobinlerine dik olacak biçimde yerleştirilerek ($B_{\perp}$) ölçümü, paralel olarak yerleştirilip ($B_{\parallel}$) bileşeni ölçümü yapılmıştır.

Yapılan manyetik alan ölçümünün doğrulanması amacıyla mayının yerleştirildiği T noktasındaki manyetik alanın büyüklüğü, Helmholtzlardaki tek bir dikdörtgen sarımın T noktasında oluşturacağı manyetik alanın bulunmasından yola çıkarak tespit edilmiştir.

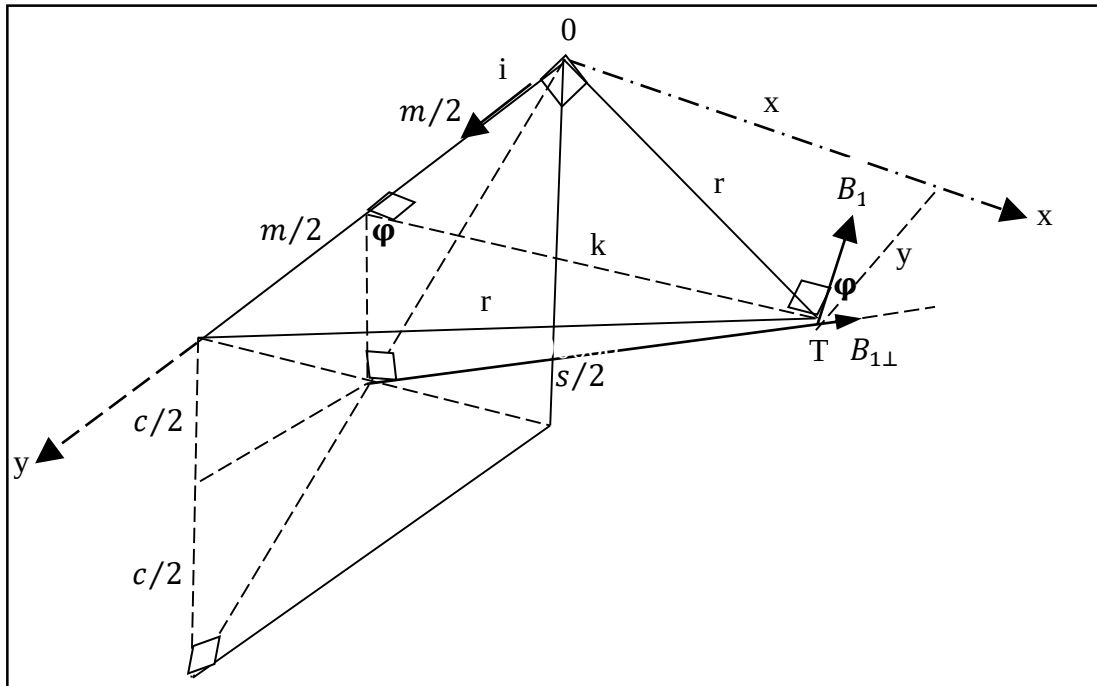
Dikdörtgen biçimli Helmholtz bobinlerin her bir sarımının merkezinden $s/2$ uzaklıktaki manyetik alan büyüklüğü, üzerinden akım geçen sonlu uzunluktaki 4 iletkenin kendisinden r kadar uzaklıkta oluşturacağı manyetik alanlarının toplamına eşittir. Bu iletkenlerin her birinin manyetik alanı da, iletkenin uzunluğu L ve manyetik alan büyüklüğü bulunacak noktanın alan merkezine olan x, y uzaklıklarına bağlı olarak:

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi x} \left[\frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}} - \frac{(y-L)}{((y-L)^2 + x^2)^{1/2}} \right] \quad (2.1)$$

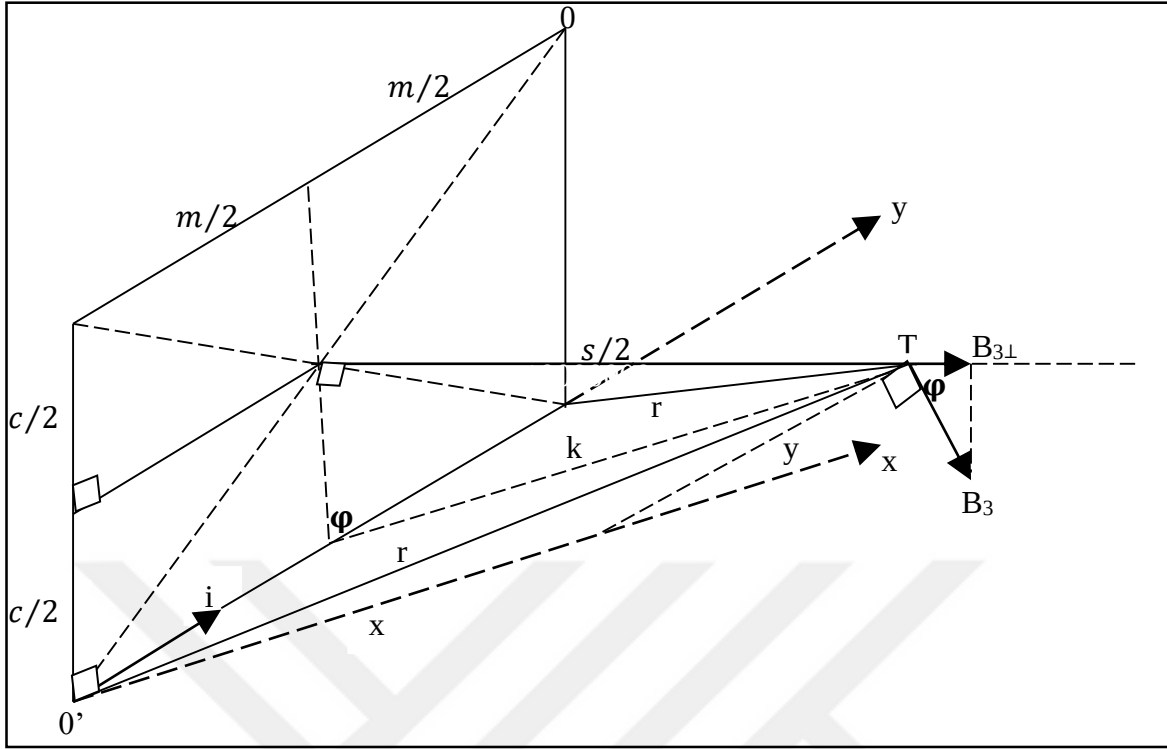
Bağıntısıyla verilir..

Üzerinden akım geçen halkanın üst ve alt sonlu uzunluktaki iletkenlerinin T noktasında oluşturduğu B_1 ve B_3 manyetik alanlarının büyüklüğü şekil 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Şekil 2.1 ve 2.2'den üst iletken için



Şekil 2.1. B_1 manyetik alanının vektörel gösterimi



Şekil 2.2. B3 manyetik alanının vektörel gösterimi

$$k = \left[\frac{s^2 + c^2}{4} \right]^{1/2}, \quad r = \left[\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2}, \quad x = k,$$

$$y = \frac{m}{2} \text{ Yazılabilir.}$$

Bu değerler Denklem 1'de yerine konursa;

$$B_1 = \frac{\mu_{0i}}{4\pi \left(\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right)} * \left[\frac{\frac{m}{2}}{\left(\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right)^{1/2}} - \frac{\frac{m}{2} - m}{\left(\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right)^{1/2}} \right] \quad (2.2)$$

elde edilir.

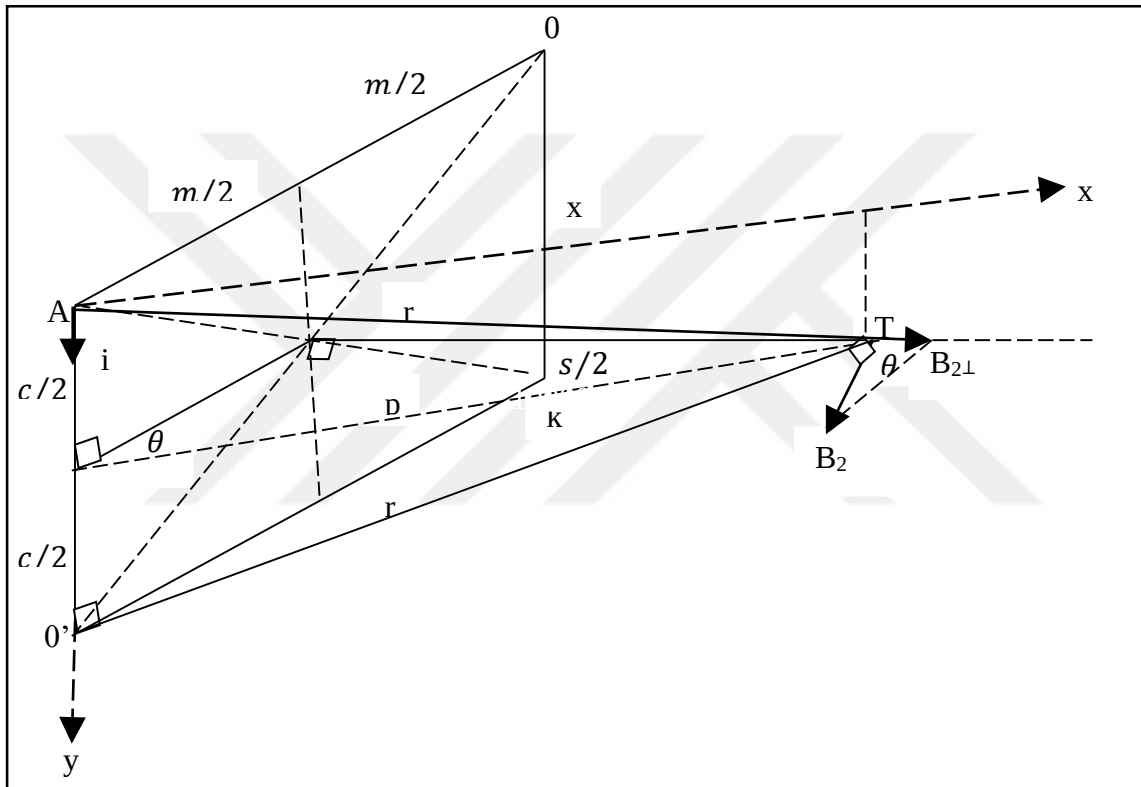
Denklem 1 alttaki iletken için uygulanırsa; aynı sonuç elde edilir. Buradan B1 ve B3 alanlarının halka yüzeyine paralel bileşenlerinin birbirlerini götürdüğü ve T noktasındaki manyetik alana sadece $B_{1\perp}$ ve $B_{3\perp}$ 'in katkıda bulunacağı söylenebilir. $B_{1\perp}$ ve $B_{3\perp}$ bir birine eşit ve

$$B_{1\perp} = B_1 \cos \varphi,$$

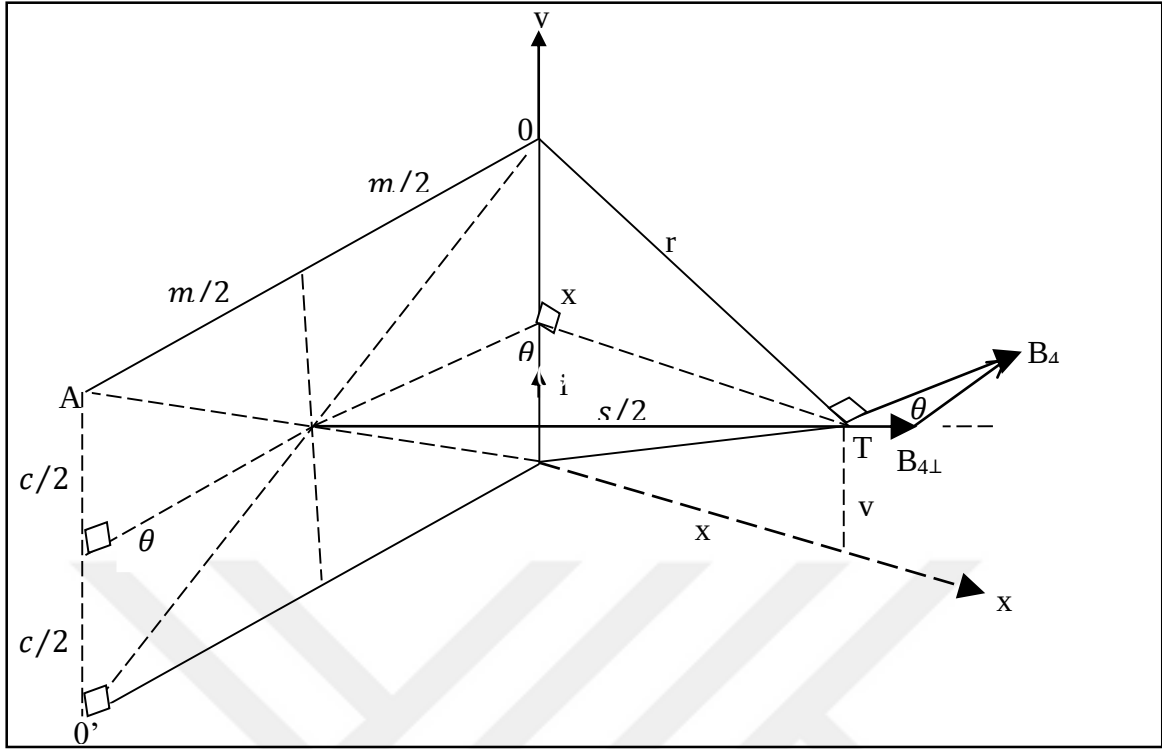
$$B_{1\perp} = B_1 \frac{\frac{c}{2}}{\left[\left(\frac{c^2+s^2}{4}\right)\right]^{1/2}}$$

$$B_{1\perp} = \frac{\mu_{oi}}{2\pi(c^2+s^2)} \frac{\frac{c}{2}}{\left[\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)\right]^{1/2}} \quad (2.3)$$

Denklemiyle bulunabilir.



Şekil 2.3. B2 manyetik alanının vektörel gösterimi



Şekil 2.4. B4 manyetik alanının vektörel gösterimi

Sekil 2.3 ve 2.4'te kısa iletken için,

$$p = \left[\frac{s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2},$$

$$r = \left[\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2}, \quad x = p, \quad y = \frac{c}{2}$$

Yazılabilir.

Bu değerler Denklem 1'de yerine konursa;

$$B_2 = \frac{\mu_0 i}{4\pi \left(\frac{m^2 + s^2}{4} \right)^{1/2}} * \frac{\frac{c}{2}}{\left[\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2}} - \frac{\left(\frac{c}{2} \right) - m}{\left[\frac{c^2 + s^2 + m^2}{4} \right]^{1/2}} \quad (2.4)$$

elde edilir. Denklem 1 diğer kısa iletken için uygulanırsa; aynı sonuç elde edilir. Buradan B2 ve B4 alanlarının halka yüzeyine paralel bileşenlerinin birbirlerini götürdüğü ve T

noktasındaki manyetik alana sadece $B_{2\perp}$ ve $B_{4\perp}$ 'in katkıda bulunacağı söylenebilir. $B_{2\perp}$ ve $B_{4\perp}$ bir birine eşit ve

$$B_{2\perp} = B_2 \cos \theta, \quad B_{2\perp} = B_2 \frac{\frac{m}{2}}{\left[\left(\frac{m^2+s^2}{4}\right)\right]^{1/2}}$$

$$B_{2\perp} = \frac{\mu_{oi}}{2\pi(m^2+s^2)} \frac{mc}{\left[\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)\right]^{1/2}} \quad (2.5)$$

Bağıntısı ile bulunabilir.

O halde, bir Helmholtstaki sadece bir sarımdan i akımı geçirildiğinde Helmholtz merkezinden $s/2$ uzaklıkta oluşan manyetik alan büyüklüğü

$$B_t = B_{1\perp} + B_{2\perp} + B_{3\perp} + B_{4\perp}$$

veya

$B_t = 2(B_{1\perp} + B_{2\perp})$ olur. Buradan B_t alanı için;

$$B_t = \frac{\mu_{oi}}{\pi} \frac{mc}{\left[\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)\right]^{1/2}} \left[\frac{1}{m^2+s^2} + \frac{1}{s^2+c^2} \right] \quad (2.6)$$

yazılabilir.

Eğer Helmholtz bobininin N_1 sarımlı ve 2 tane olduğu düşünülürse, her iki Helmholtz merkezden $s/2$ uzaklıktaki sensorun bulunduğu T noktasında toplam alan

$$B_T = \frac{2\mu_{oi}N_1}{\pi} \frac{mc}{\left[\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)\right]^{1/2}} \left[\frac{1}{m^2+s^2} + \frac{1}{s^2+c^2} \right] \quad (2.7)$$

ile verilir.

Bu ifade T noktasındaki manyetik alan büyüklüğüdür. Sensor nüvesinin manyetik geçirgenliği μ_1 , sensorda oluşan gerilim V_0 ise, sensor gerilimini belirleyen toplam alan büyüklüğü,

$$B_T = \frac{2\mu_1 i N_1}{\pi} \frac{mc}{\left[\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)\right]^{1/2}} \left[\frac{1}{m^2+s^2} + \frac{1}{s^2+c^2} \right] \quad (2.8)$$

olur.

Faraday yasası gereği T noktasında sensorda oluşan gerilim,

$$v_o = N_2 A \frac{dB_T}{dt} \quad (2.9)$$

ifadesiyle bulunabilir. Sensorda v_o geriliminin oluşmasına neden olan zamanla değişen manyetik akının sebebi Helmholtslara verilen değişken i akımıdır. Bu akım $i = i_{max} \sin(\omega t)$ dir. O halde v_o ,

$$v_o = \frac{2\mu_1 N_1 N_2 A}{\pi} \frac{mc}{\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)^{1/2}} * \left[\frac{1}{m^2+s^2} + \frac{1}{c^2+s^2} \right] \frac{di}{dt} \quad (2.10)$$

Denklemlerle bulunabilir.

Buradan T noktasında sensor Helmholtslara dik şekilde yerleştirilirse v_o gerilimi, paralel yerleştirilirse 0V gerilim okunacağı anlamı çıkarılmamalıdır. Çünkü Sekil 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'ten de görüleceği gibi sensor konumu olan T noktasının dışındaki bölgelerde Helmholtsların oluşturduğu manyetik alanın hem dik hem paralel bileşeninin olacağı açıktır. Dolayısıyla merkezi T noktası olan bir bölgeye bir sensor Helmholtslara paralel yerleştirilirse, sensorda v_1 gibi bir değer okunacaktır. Bunun sebebi T noktasının hemen yakınındaki manyetik alanın paralel bileşenidir. Dolayısıyla T merkez noktasına, bobin Helmholtslara paralel konursa bobinde v_1 gerilimi, bobin Helmholtslara dik konursa bobinde v_2 gerilimi indüklenir. O halde v_1 ve v_2 'nin büyüklüğü,

$$v_1 = 4\mu_1 N_1 N_2 A f_i \eta_1 \frac{mc}{\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)^{1/2}} * \left[\frac{1}{m^2+s^2} + \frac{1}{c^2+s^2} \right] \quad (2.11)$$

$$v_2 = 4\mu_1 N_1 N_2 A f_i \eta_2 \frac{mc}{\left(\frac{c^2+s^2+m^2}{4}\right)^{1/2}} * \left[\frac{1}{m^2+s^2} + \frac{1}{c^2+s^2} \right] \quad (2.12)$$

ile bulunabilir.

Burada η_1 paralel bilesen çarpanı ve η_2 de dik bilesen çarpanıdır. η_1 değeri

$$\frac{B_{z,z}}{(B_1^2+B_{z,z}^2)^{1/2}} \text{ ya da } \frac{V_{z,z}}{(V_{z,z}^2+V_1^2)^{1/2}} \text{ ifadesine eşittir.}$$

Çalışmamızda; denklem 12 ile sensor Helmholtslara paralel konumdayken sensorda oluşacak gerilimin hangi değişkenlerle nasıl değişeceği belirlenmiş ve sensorun ortama sonradan dahil edilen mayının neden olacağı manyetik anomalinin en belirgin etkisinin görüldüğü akım ve frekans değeri tespit edilmiştir. En uygun akım değeri 0,5 A, frekans değeri de 60 Hz olarak bulunmuştur. Bu sinyalle T noktasında $0,33810^{-3}$ T'lık bir manyetik alan oluşturulmuş ve tüm deneyler boyunca bu alanı yaratan besleme sinyali değiştirilmemiştir. v_1 geriliminin büyüklüğü sadece mayınların sebep olduğu manyetik anomali nedeniyle değişmiştir. Bu bağında;

B : Manyetik akı yoğunluğu (T)

V : Sensor gerilimi (V)

N : Sensor sarım sayısı

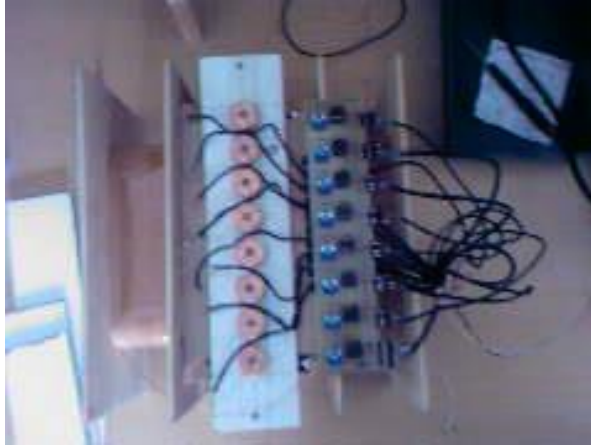
A : Sensor çekirdeği kesit alanı (m^2)

f : frekans (Hz)'dir.



3. HELMHOLTZ BOBİNLİ DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI VE YAPILAN ÖLÇÜMLER

Bu bölümde, Gömülü Patlayıcı Tespit Sisteminin Prototipi ile veri toplanmasına yönelik çalışmalar sunulacaktır. Öncelikle Helmholtz bobinleri ile oluşturulan sabit manyetik alan ve bu alan içerisinde çeşitli cisimler tarafından meydana getirilen anomali sinyalinin algılanması sağlanmıştır. İki adet Helmholtz bobinin ve bunların manyetik vektörüne dik olarak yerleştirilen algılayıcı grubu kartı tümleşik yapılmıştır. Böylece prototipin sabit manyetik alan ve anomali sinyalini algılama kısımları portatif olarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Prototipin yapısı Resim 3.1’de verilmiştir.



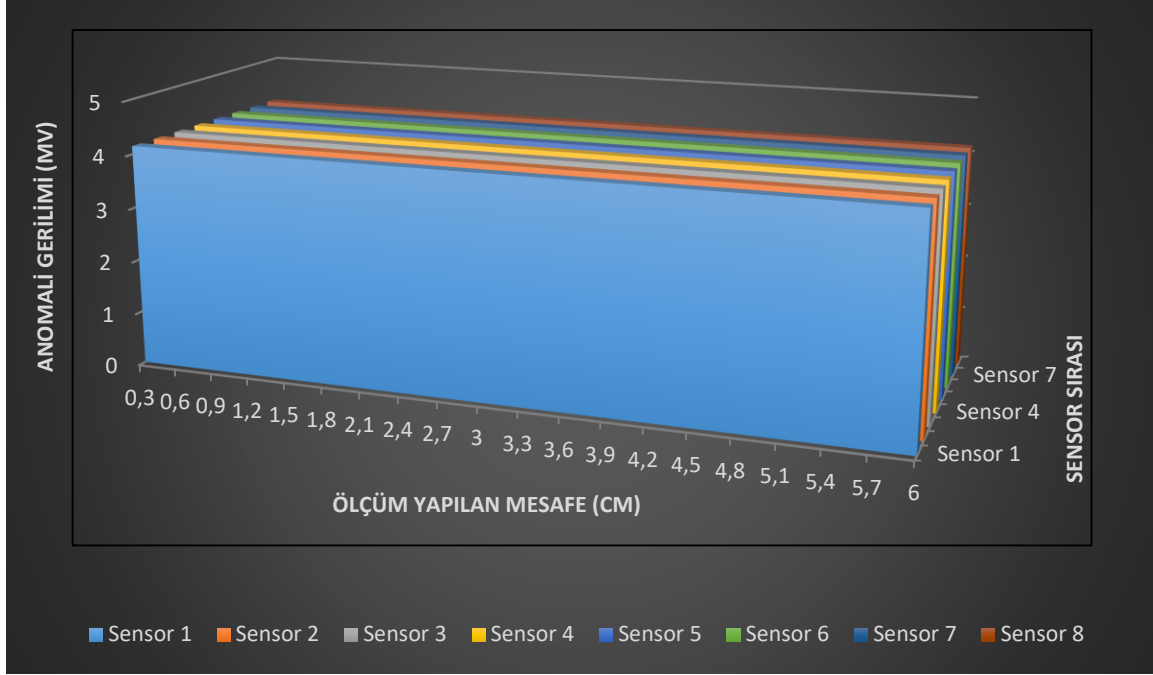
Resim 3.1. Prototip yapısı

Resim 3.1’de verilen prototip ile çeşitli ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak YSA’nın ihtiyaç duyacağı en uygun parametre ve elektriksel gerilim-akım seviyeleri; Helmholtz bobinlerinin ürettiği sabit manyetik alanda oluşan anomalinin, algılayıcı dizisi tarafından algılanması ile belirlenecektir.

Çeşitli patlayıcıların yarattığı anomaliyi belirlemek amacıyla bir takım ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerle patlayıcı şeklinin ve üretildiği hammaddenin algılayıcılarda algılanan anomali sinyaline etkisi görülecektir.

3.1. Boş Durum

Deney düzeneğine numune yerleştirilmeden önce, Helmholtz bobinlerine enerji verilerek sensorlardan gerilim değerleri okunmuş ve düzenek ölçüm yapmaya hazır hale getirilmiştir. Boş durum grafiği şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Boş durumun grafiği

Bu şekilde:

- x eksenini ölçüm yapılan mesafe (cm),
- y eksenini sensor sırasını,
- z eksenini ise anomali geriliminin genliğini (mV) göstermektedir.

Şekil 3.1’de z-eksenindeki 4,5 mV genlik değeri sistem boşta iken algılayıcılar tarafından okunan değere karşılık gelmektedir. Sekiz algılayıcı da aynı değer ölçmüştür.

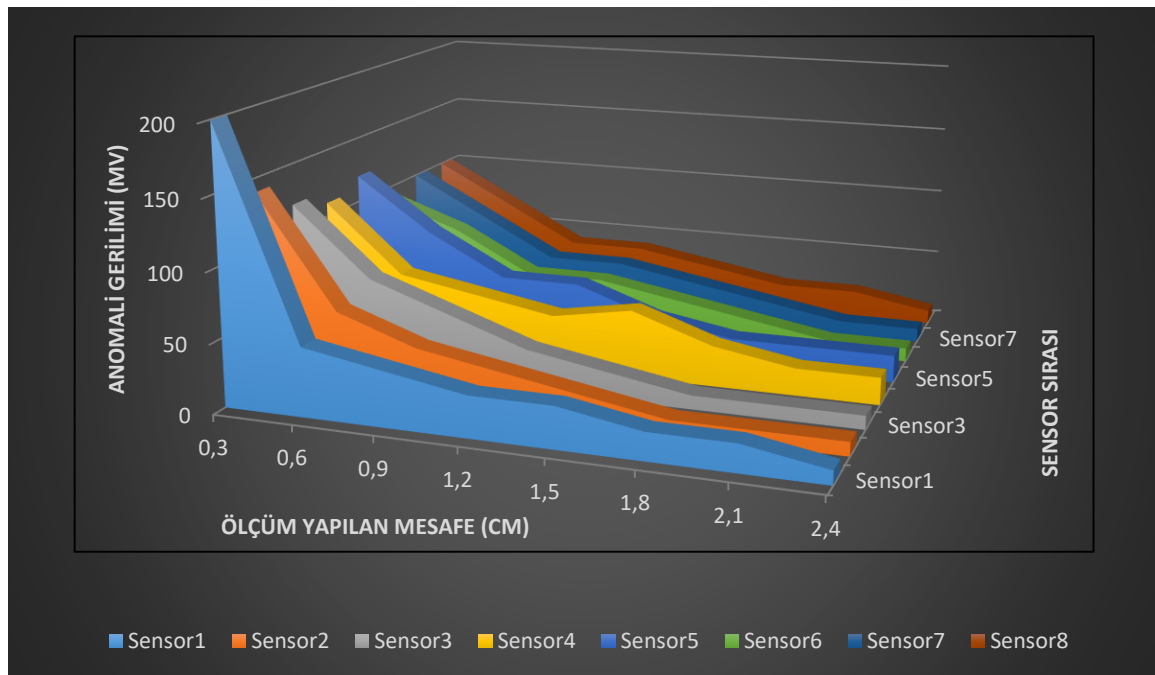
3.2. M-14 A/P (Plastik Kılıf Patlayıcı)



Resim 3.2. M-14 A/P varken Helmholtz bobinleri ve sensor grubu

M-14 A/P malzeme, sensor grubunun 0-15 cm altına yerleştirilmiş ve sensor grubu üzerindeki gerilimler ölçülmüştür.

Düzenekteki sensor grubunun altına M-14 A/P yerleştirildiğinde sensorlarda oluşan anomali gerilimleri Şekil 3.2' deki egride görülmektedir.



Şekil 3.2. M-14 A/P (Plastik Kılıf Patlayıcı) oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Şekil 3.2’den de anlaşıldığı gibi en büyük anomali 1 numaralı sensorda 200 mV. Olarak 3 mm mesafeden ölçülmüş, en küçük anomali ise 27 mm mesafede bütün sensorlarda 10 mV. Olarak ölçülmüştür.

Bu tür patlayıcılar, yüzeye en fazla 10 mm. mesafede zemine gömüldüklerinden algılama derinliği açısından beklendiği şekilde bir mesafede anomali oluşumu gerçekleşmiştir.

Ölçüm mesafesi arttıkça anomali genliği azalmakta ve bu patlayıcı sınıfı için elde edilen eğri belli bir fonksiyon biçiminde olduğundan YSA için sınıflama mümkün olmaktadır.

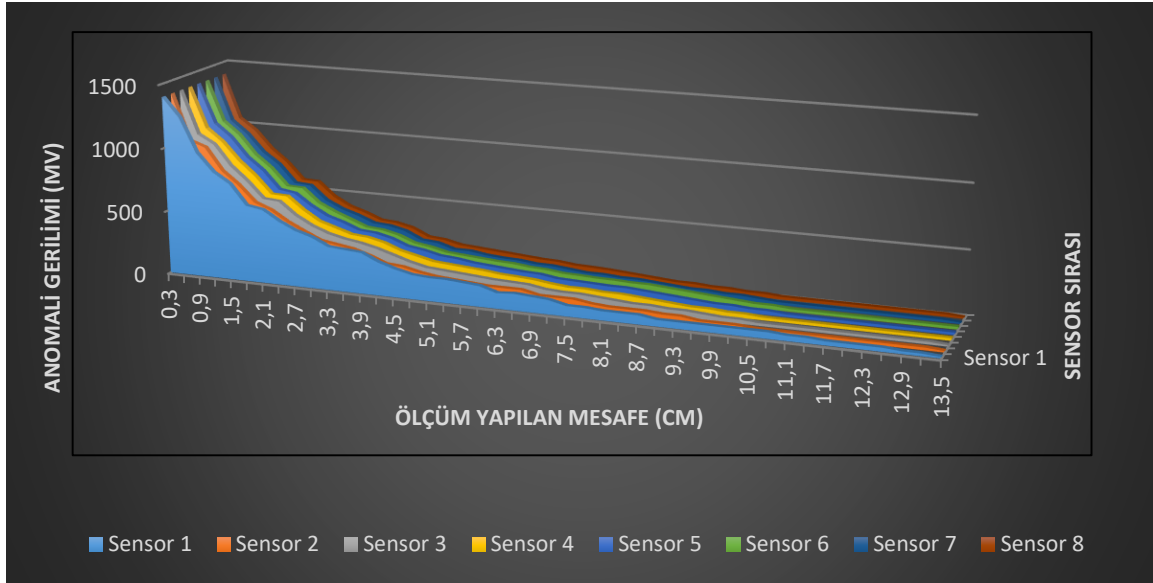
3.3. M-16 A/P (Metal Kılıf Patlayıcı) Malzeme



Resim 3.3. M-16 A/P varken Helmholtz bobinleri ve sensör grubu

Düzenekteki sensör grubunun altına M-16 A/P yerleştirildiğinde sensorlarda oluşan anomali gerilimleri Şekil 3.3’ teki eğride görülmektedir.

Şekil 3.3’ten de anlaşıldığı gibi en büyük anomali bütün sensorlarda sabit olup, 1400 mV. Olarak 3 mm mesafeden ölçülmüş, en küçük anomali ise 135 mm mesafede yine bütün sensorlarda 10 mV. Olarak ölçülmüştür.

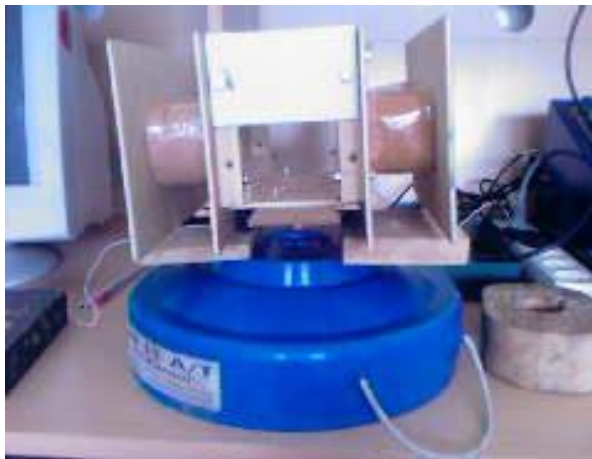


Şekil 3.3. M-16 A/P (Metal Kılıf Patlayıcı) oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Bu tür patlayıcılar, yüzeye en fazla 10 mm. mesafede zemine gömüldüklerinden algılama derinliği açısından beklenilenden daha iyi bir mesafede anomali oluşumu gerçekleşmiştir.

Ölçüm mesafesi arttıkça anomali genliği azalmakta ve bu patlayıcı sınıfı için elde edilen eğri belli bir fonksiyon biçiminde olduğundan YSA için sınıflama mümkün olmaktadır.

3.4. DN-11 A/T (Plastik Kılıflı Patlayıcı)

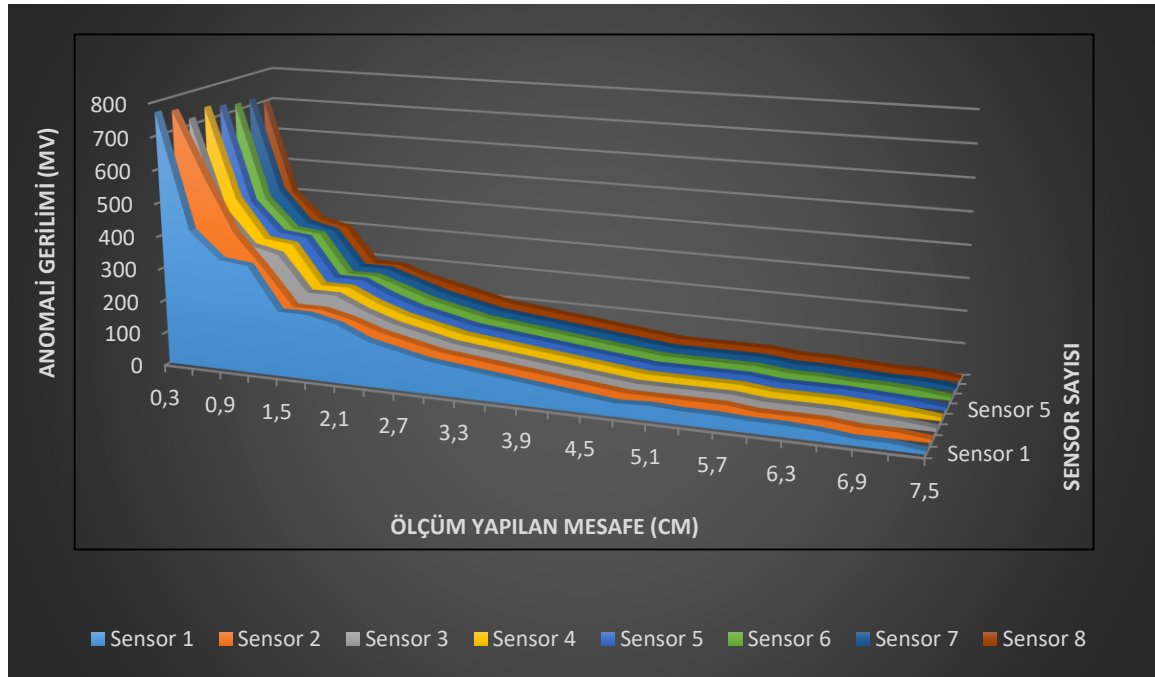


Resim 3.4. DN -11 A/T varken Helmholtz bobinleri ve sensor grubu

DN-11 A/T malzeme, sensor grubunun 0-15 cm altına yerleştirilmiş ve sensör grubu üzerindeki gerilimler ölçülmüştür. Düzenekteki sensor grubunun altına DN-11 A/T

yerleştirildiğinde sensorlarda oluşan anomali gerilimleri Şekil 3.4' teki eğride görülmektedir.

Şekil 3.4'ten de anlaşıldığı gibi en büyük anomali 1 numaralı sensorda 770 mV. Olarak 3 mm mesafeden ölçülmüş, en küçük anomali ise 750 mm mesafede bütün sensorlarda 10 mV. Olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.4. DN-11 A/T (Plastik Kılıf Patlayıcı) oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Bu tür patlayıcılar, yüzeye en fazla 100 mm. mesafede zemine gömüldüklerinden algılama derinliği açısından beklenen bir mesafede anomali oluşumu gerçekleşmiştir.

Ölçüm mesafesi arttıkça anomali genliği azalmakta ve bu patlayıcı sınıfı için elde edilen eğri belli bir fonksiyon biçiminde olduğundan YSA için sınıflama mümkün olmaktadır.

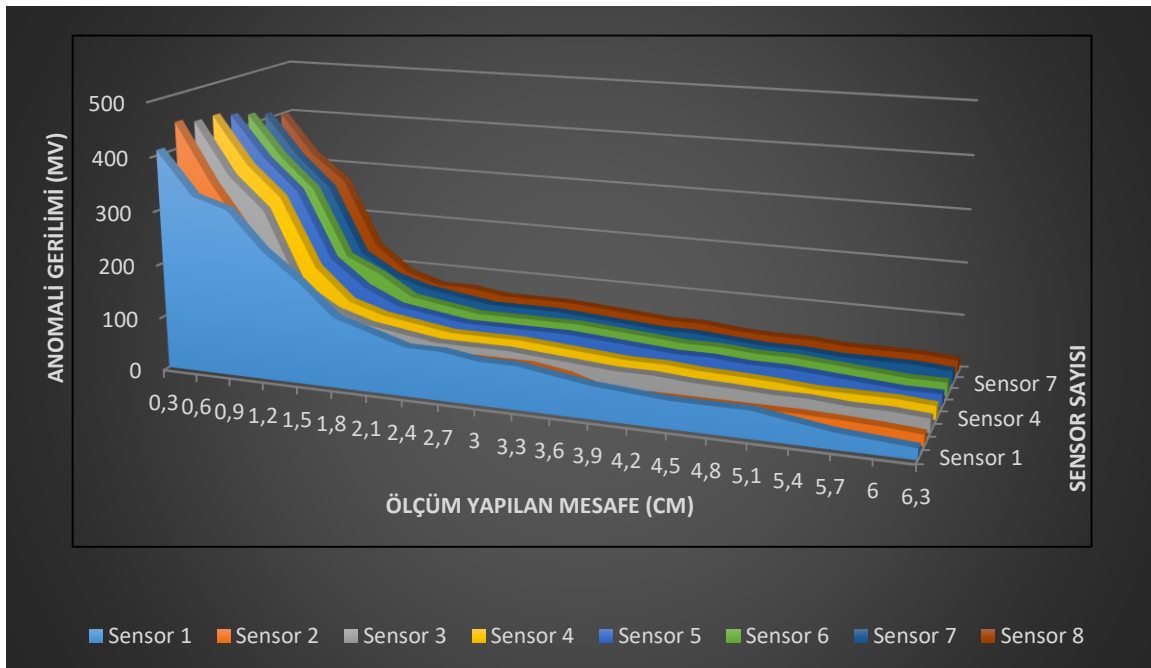
3.5. M2-A1 A/P (Metal Kılıflı Patlayıcı) Malzeme



Resim 3.5. M2-A1 A/P varken Helmholtz bobinleri ve sensor grubu

M2-A1 A/P malzeme, sensor grubunun 0-15 cm altına yerleştirilmiş ve sensor grubu üzerindeki gerilimler ölçülmüştür. Düzenekteki sensor grubunun altına M2-A1 A/P yerleştirildiğinde sensorlarda oluşan anomali gerilimleri Şekil 3.5' teki eğride görülmektedir.

Şekil 3.5'ten de anlaşıldığı gibi en büyük anomali 2 numaralı sensorda 450 mV. Olarak 3 mm mesafeden ölçülmüş, en küçük anomali ise 650 mm mesafede bütün sensorlarda 10 mV. Olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5. M2-A1 A/P (Metal Kılıf Patlayıcı) oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Bu tür patlayıcılar, yüzeye en fazla 10 mm. mesafede zemine gömüldüklerinden algılama derinliği açısından beklenilenden daha iyi bir mesafede anomali oluşumu gerçekleşmiştir.

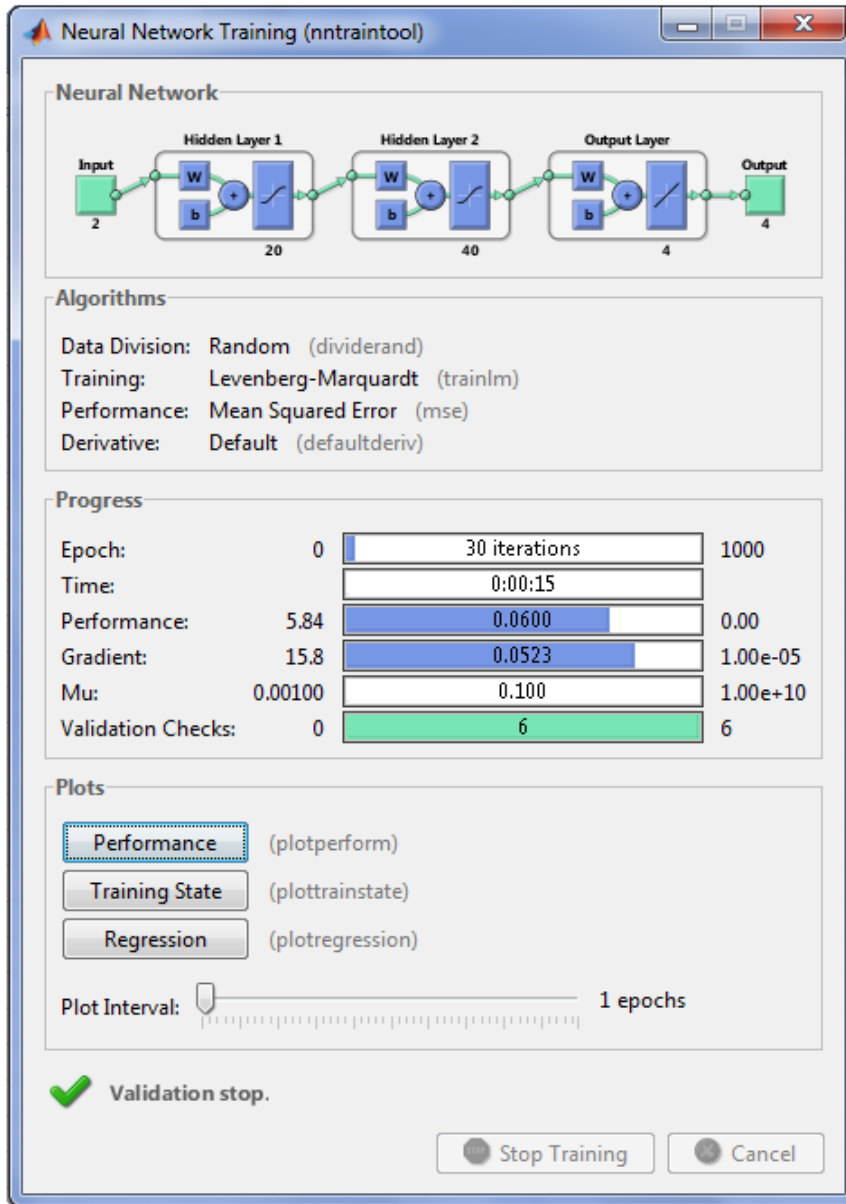
Ölçüm mesafesi arttıkça anomali genliği azalmakta ve bu patlayıcı sınıfı için elde edilen eğri belli bir fonksiyon biçiminde olduğundan YSA için sınıflama mümkün olmaktadır.

3.6. Sınıflama İçin Kullanılan YSA Modelinin Tanıtımı

Oluşturulan sistemin başarısı, uygulanacak olan yaklaşımlar ve deneyimlerle yakından alakalıdır. Aşağıda aşamalı olarak sistemin oluşumu ve denemelerle elde edilen en iyi sonuçlar anlatılmıştır.

İlk aşama olarak; uygun yapay sinir ağı yapısının seçimi, sistemin çözümüne bağlı olarak seçilmelidir. Bu çalışmada kullanılan ağ yapısı, olasılıksal (prediction) sınıfına girmektedir. Olasılıksal sinir ağları 1988’de Donalt Specht tarafından geliştirilmiştir[116]. Uygulanan giriş değerlerinden tahmini çıkış değerleri bulunmaya çalışılır. Çok katmanlı olarak oluşturulan tahmin yapma yeteneğine sahip dört adet yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur.

İkinci aşama olarak, uygulama başarısını belirleyen en önemli faktörlerden birisi olan öğrenme algoritmasının seçimidir. Bu çalışmada; oluşturulan ağ modelleri ileri beslemeli olup, geri yayılım algoritması olan Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Çalışmada Levenberg – Marquardt öğrenme algoritmasının kullanıldığı Matlab paket programında ki “nftoolbox” (Neural Network Fitting Tool) kullanılmıştır. Şekil 3.6.’da “Neural Network Fitting Tool” ana penceresi gösterilmektedir.

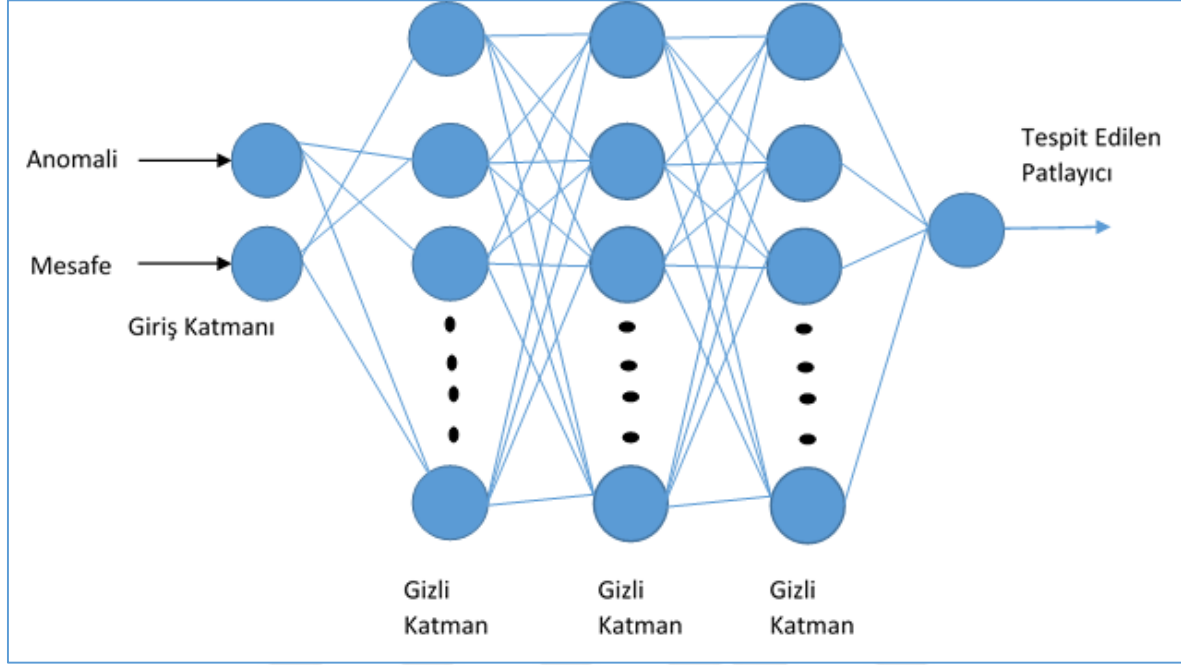


Şekil 3.6. Yapay sinir ağı modellemesinin NFTOOLBOX'ta gösterimi

Üçüncü aşama ise, uygulamada kullanılacak sistemin davranışı göz önünde bulundurularak seçilecek olan etkinlik fonksiyonudur. Tez de kullanılan bütün yapay sinir ağı modellerinde, sonuçları önemli oranda etkileyecek fonksiyon tanjant hiperbolik fonksiyon seçilmiştir.

Giriş parametreleri, transfer edilirken fonksiyonun aktif olan bölgesinden aktarılmasını sağlayan normalizasyon tekniği kullanılarak bütün sinir ağı modelleri $[-1,1]$ aralığında normalize edilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağı modellerinin yapısı aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.7. Çok katmanlı yapay sinir ağının yapısı

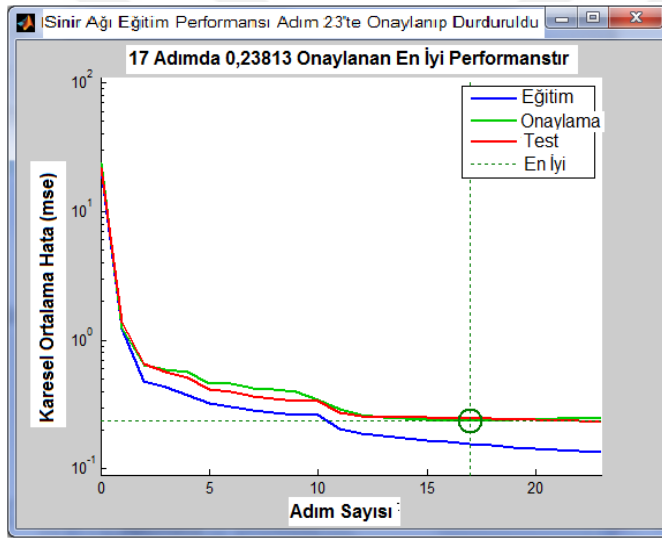
Helmholtz bobinli tez çalışmasında kullanılan bütün ağ modelleri; giriş, üç gizli katman ve çıkış olmak üzere beş katmandan oluşmaktadır. İlk gizli katmandaki yapay sinir hücre sayısı 10, ikinci gizli katmandaki yapay sinir hücre sayısı 30, üçüncü gizli katmanda ise, 10 adettir. Gizli katmanların sayısı kullanılan paket programda şekil 3.10’ da gösterilen ‘nftool’ penceresi açılarak seçilir. Birinci, ikinci ve üçüncü gizli katmanlar bu pencere kullanılarak sırasıyla 10, 30 ve 10 olarak seçilmiştir. Dördüncü gizli katman ise programın kendisi tarafından dört olarak belirlenmiştir. Dördüncü gizli katmanın dört olarak seçilmesinin sebebi dört adet patlayıcı bulunmasından ve sınıflandırmada bu dört patlayıcıdan her birinin çıkışta olabileceği varsayımından hareketle çıkış katmanı olarak kullanılmasındadır. Girdi ve çıktılara ait değerler $[-1,1]$ aralığında minimum-maksimum normalize edilmiştir.

Sonuçların doğru değerlendirilebilmesi için bütün öğrenen yapay sinir ağı modellerinde öğrenme algoritmaları ve etkinlik işlevleri aynı seçilmiştir. Ayrıca etkinlik işlevi olarak, tanjant hiperbolik ve pürelin etkinlikleri kullanılmıştır. Tanjant ve pürelin etkinlik işlevleri şekil 3.8 ve 3.9’da verilmiştir[116].

3.7. Yapay Sinir Ağı Modellerine Ait Elde Edilen Sonuçlar

Oluşturulmuş yapay sinir ağı modellerinin test verileriyle sınanması sonucunda, dört adet patlayıcı sınıflamasında iyi bir öğrenme gerçekleştirdiği görülmüştür.

Eğitim sırasında hesaplanan MSE değerleri ile eğitim adımı arasındaki değişim, veri seti ile eğitilerek oluşturulan YSA modeli Şekil 3.11’ de gösterilmiştir. Eğitim adım sayısının artışıyla 10 değerinden referans alınarak başlayan MSE değeri, on yedinci eğitim adımına doğru hızla bir düşüş göstermekte ve on yedinci eğitim adımı sonunda 0,23813 değerinde sonlanmaktadır.



Şekil 3.11. YSA modeline ait adım sayısına göre MSE değişimi

YSA modelinde eğitim için kullanılan veriler 136 adettir. Geriye kalan veri setinin % 30’ luk kısmının % 20’si (8 adet) modellenen sistemin eğitilebildiğini doğrulamak onaylamak için kullanılmıştır. Diğer veri setinin % 20’lik kısmı (8 adet) ise YSA modelini test etmek amacıyla kullanılmıştır. Çizelge 3,1’de veri seti ile oluşturulan YSA modelinden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

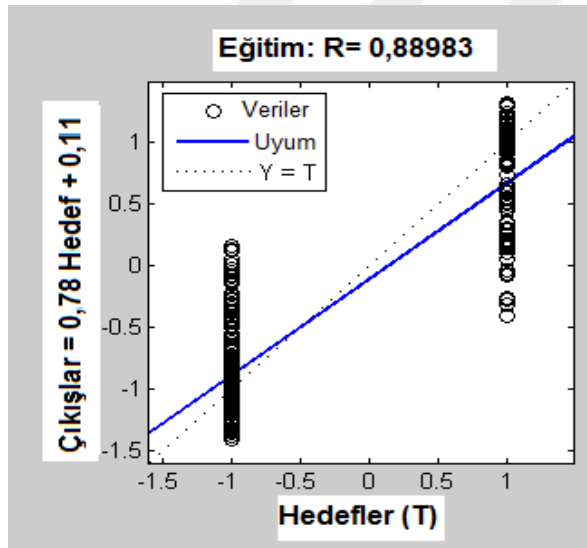
Çizelge 3.1. YSA modeli sonuçları

	Veri Sayısı	MSE	Yaklaşım (R)
Eğitim	136	0,23813	0,88983
Onaylama	8	0,23813	0,82613
Test	8	0,23813	0,82043

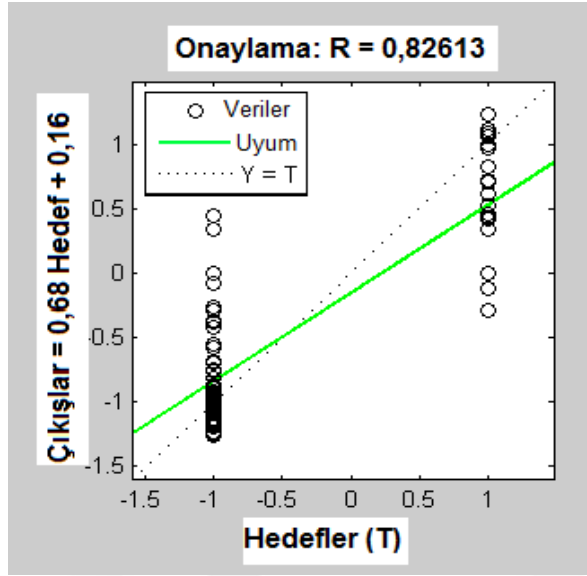
Karesel ortalama hata (MSE) değerinin sıfıra yakın olması tahminin ne kadar iyi olduğunun bir göstergesidir. Benzer şekilde yaklaşım oranının da bire yakın olması gerekmektedir. Yaklaşım oranı modelin % kaç tahmin edebildiği konusunda fikir vermektedir. Çizelge 3.1’de eğitim için kullanılan 136 veri % 88,983 oranında bir tahmin yapmıştır.

YSA modelinde eğitim adım sayısına göre karesel ortalama mutlak hata değeri değişimi şekil 3.11’de gösterilmektedir. Eğitim adım sayısının değeri, kullanılan paket program tarafından rastgele seçilmiş olup değişim değerlerinin görülmesi için on yedi olarak belirlenmiştir. Oluşturulan bu model için, en iyi sonucun 17 eğitim adımında elde edildiği ve 0,23813 karesel ortalama hata payı ile sistemi en iyi şekilde yansıttığı görülmüştür.

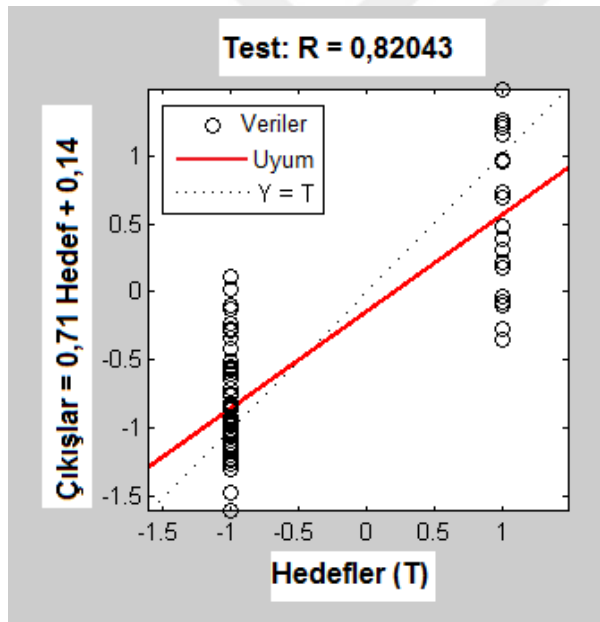
YSA modeline ait gerçek sonuçlar (deneysel sonuçlar) ile YSA sonuçları arasındaki yaklaşım eğrileri; eğitim, onaylama ve test için sırasıyla şekil 3.12, 3.13 ve 3.14’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. YSA modelinin eğitim sonuçları ile gerçek sonuçlar (hedefler) arasındaki yaklaşım (R) eğrisi



Şekil 3.13. YSA modelinin onaylama sonuçları ile gerçek sonuçlar (hedefler) arasındaki yaklaşım (R) eğrisi

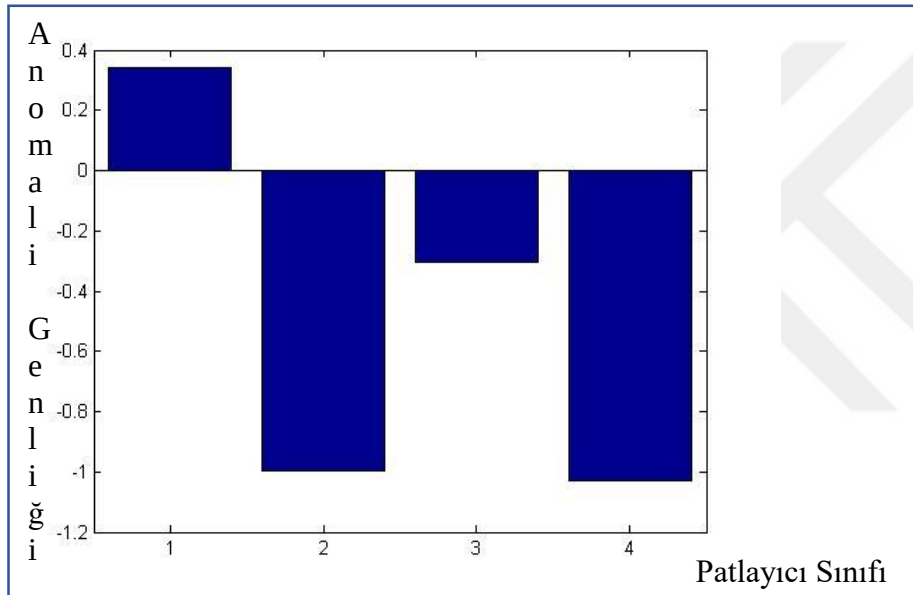


Şekil 3.14. YSA modelinin test sonuçları ile gerçek sonuçlar (hedefler) arasındaki yaklaşım (R) eğrisi

-1 ile 1 hizalarında bulunan sütunlar kırmızı ile gösterilen çizginin kestiği 1 üzerindeki sütun test sonuçlarıdır. -1'in üzerindeki sütun ise gerçek sonuçları temsil etmektedir. % 100' lük bir tahminin olabilmesi için bu iki sütunun tam olarak birbirine benzemesi gerekmektedir. Şekil 3.15, şekil 3.16, şekil 3.17'den de anlaşılacağı üzere bu iki sonuç tam olarak örtüşmemektedir. Fakat yukarıdaki tahmin oranları dikkate alındığında bir birlerine çok yakın sonuçlar olduğu görülebilir.

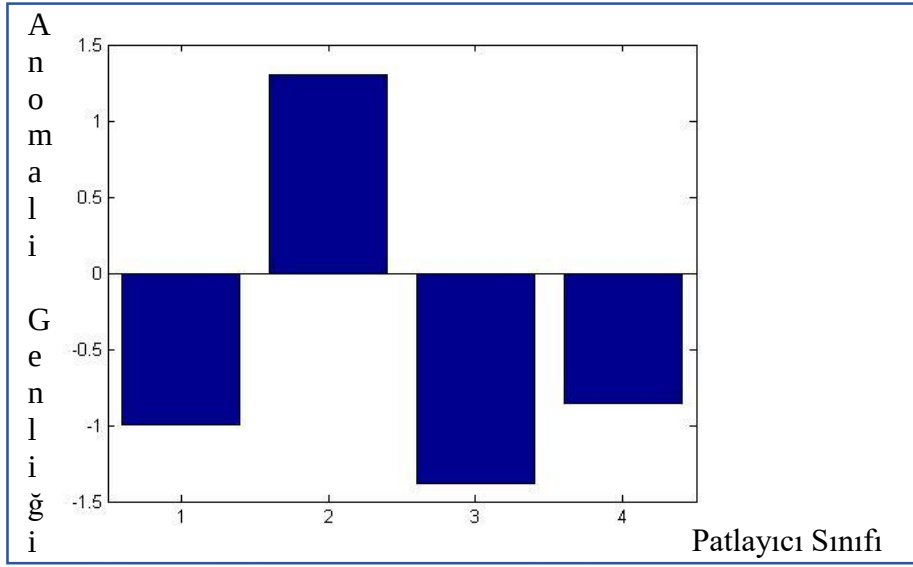
Eğitim Sonucunda 4 adet patlayıcı için yapılan test uygulamasında elde edilen şekillerden de anlaşılacağı gibi patlayıcı sınıflandırmasında YSA başarılı bir şekilde kullanılabilmektedir.

Şekil 3.15 incelendiğinde birinci satırdaki sütun pozitif tarafta, diğer üç sütun negatif tarafta görülmektedir. Pozitif tarafta bulunan sütun tespit edilen patlayıcının hangisi olduğunu göstermektedir. Burada 1 numaralı satır üzerindeki sütun pozitif tarafta, diğer sütunlar negatif tarafta olduğundan sınıflama sonucunda patlayıcı sınıfının 1 numaralı patlayıcı olduğu görülmektedir.



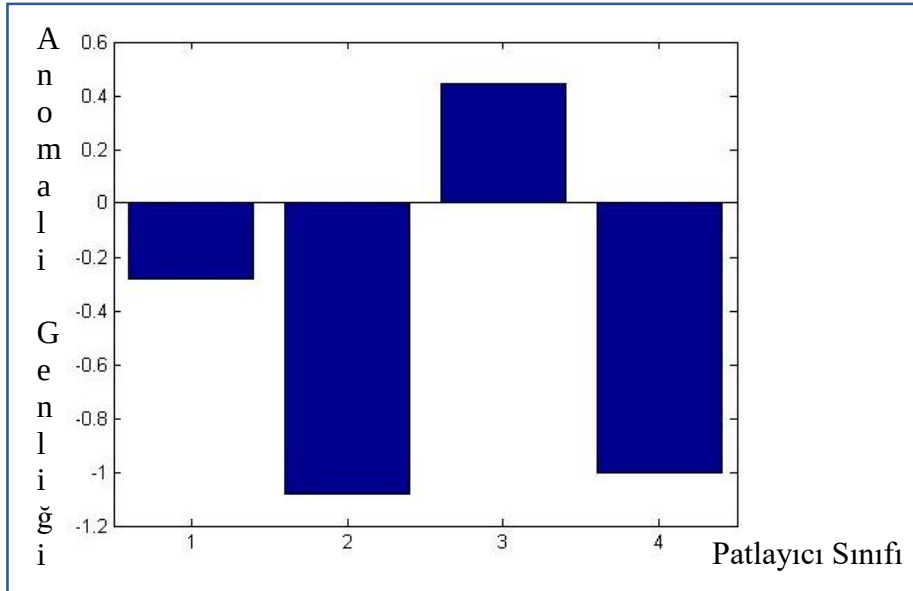
Şekil 3.15. YSA eğitimi sonucunda sınıflandırmada 1 numaralı patlayıcının gösterimi

Şekil 3.16 incelendiğinde ikinci satırdaki sütun pozitif tarafta, diğer üç sütun negatif tarafta görülmektedir. Pozitif tarafta bulunan sütun tespit edilen patlayıcının hangisi olduğunu göstermektedir. Burada 2 numaralı satır üzerindeki sütun pozitif tarafta, diğer sütunlar negatif tarafta olduğundan sınıflama sonucunda patlayıcı sınıfının 2 numaralı patlayıcı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.16. YSA eğitimi sonucunda sınıflandırmada 2 numaralı patlayıcının gösterimi

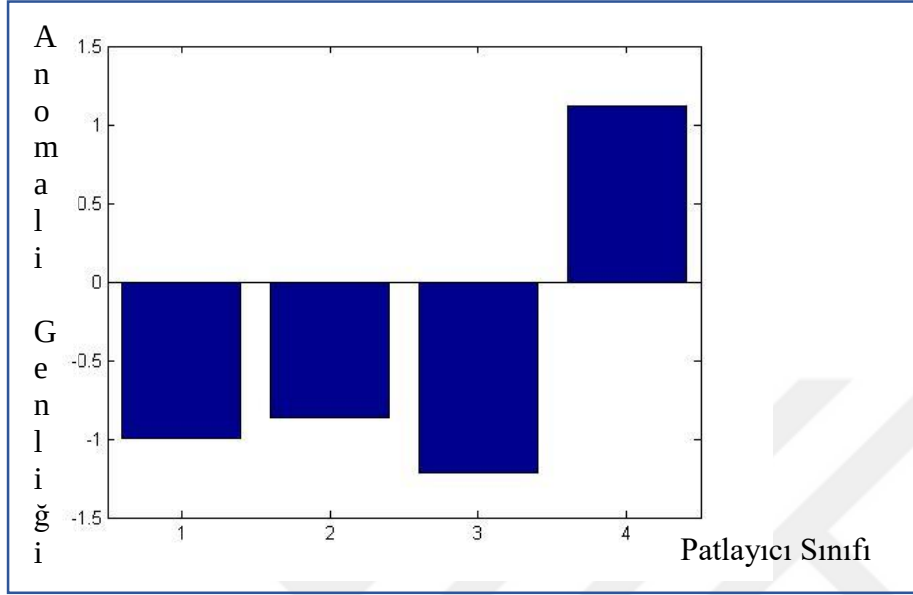
Şekil 3.17 incelendiğinde üçüncü satırdaki sütun pozitif tarafta, diğer üç sütun negatif tarafta görülmektedir. Pozitif tarafta bulunan sütun tespit edilen patlayıcının hangisi olduğunu göstermektedir. Burada 3 numaralı satır üzerindeki sütun pozitif tarafta, diğer sütunlar negatif tarafta olduğundan sınıflama sonucunda patlayıcı sınıfının 3 numaralı patlayıcı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.17. YSA eğitimi sonucunda sınıflandırmada 3 numaralı patlayıcının gösterimi

Şekil 3.18 incelendiğinde dördüncü sütun pozitif tarafta, diğer üç sütun negatif tarafta görülmektedir. Pozitif tarafta bulunan sütun tespit edilen patlayıcının hangisi olduğunu

göstermektedir. Burada 4 numaralı sütun pozitif tarafta, diğer sütunlar negatif tarafta olduğundan sınıflama sonucunda patlayıcı sınıfının 4 numaralı patlayıcı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.18. YSA eğitimi sonucunda sınıflandırmada 4 numaralı patlayıcının gösterimi

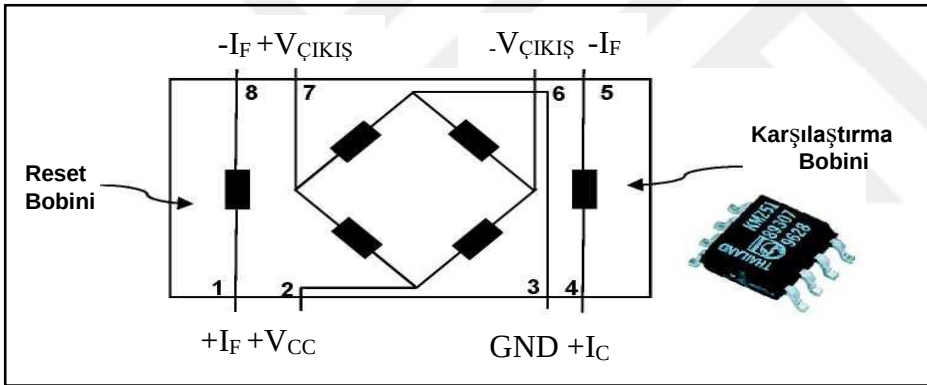


4. KMZ VE FLC SENSORLU DEDEKTÖR TASARIMLARI

4.1. KMZ51 Sensorlu Dedektör Tasarımı

Bu bölümde, Gömülü Patlayıcı Tespit Sisteminin prototipinin hazırlanması için kullanılan sensorların tanıtımı yapılacak ve sensorun kullanıldığı toprak havuzlu deney düzeneğinin fotoğrafı verilecektir.

KMZ51 entegresi çok hassas bir manyetik alan algılayıcısıdır. NiFe alaşımlı Magnetoresistive özellikte ince film içermektedir. Bu algılayıcı, Wheatstone (Veston) köprüsünü oluşturan dört tane magnetoresistive özellikte malzemeye sahiptir. Bunun dışında bir adet karşılaştırma bobini ve bir adet ayarlama/sıfırlama (set/reset) bobini içermektedir (Şekil 4.1) [116].



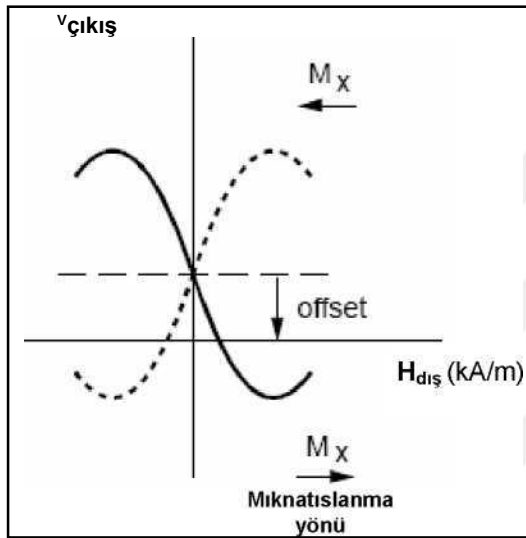
Şekil 4.1. KMZ51 sensorunun iç yapısı

KMZ51 sensorun pin numaraları ve fonksiyonları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. KMZ51 AMR sensorun pin numaraları ve fonksiyonları

Pin	Sembol	Açıklama
1	$+I_F$	Çevirme bobini
2	V_{CC}	Köprü besleme gerilimi
3	GND	Toprak
4	$+I_C$	Karşılama bobini
5	$-I_C$	Karşılama bobini
6	$-V_{\text{çıkış}}$	Köprü çıkış gerilimi
7	$+V_{\text{çıkış}}$	Köprü çıkış gerilimi
8	$-I_F$	Çevirme gerilimi

Sensordaki karşılaştırma bobini, ölçüm eksenine paralel olacak şekilde manyetik alan üretmektedir. Böylece geçerli geri besleme döngüsüyle çıkışın var olan hassaslığını aşmamasını sağlayarak manyetik alan ölçümüne izin vermektedir. sensordaki flip bobini, sensorun hassasiyeti değiştirebilmek için sensorun içinde oluşan manyetik alanı değiştirilebilmesine olanak tanımaktadır. Bu bobin, sensorun ofset voltajı ölçmek için kullanılmaktadır. Sensorun uygulanan manyetik alana bağlı çıkış geriliminin karakteristik eğrisi Şekil 4.2 'de gösterilmektedir [117].



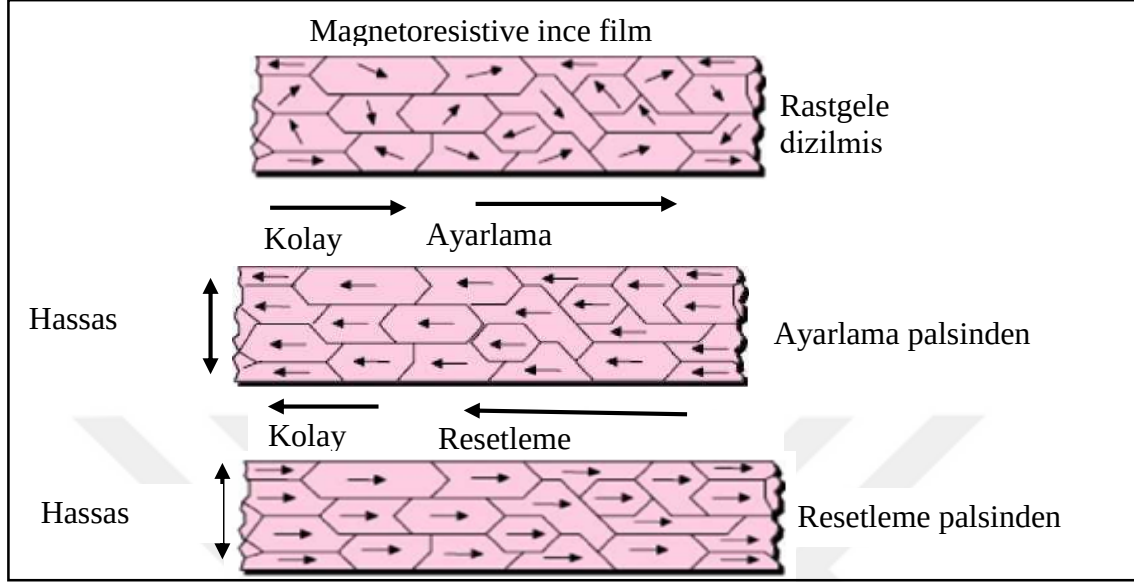
Şekil 4.2. KMZ51 sensorunun tipik çıkış gerilim eğrisi

Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi, KMZ51 sensörü pozitif ve negatif olmak üzere iki tipik çıkış gerilimine sahiptir. Flip bobinine iki yönlü akım palsları uygulayarak, pozitif ve negatif çıkış gerilimleri arasında anahtarlama yapılmaktadır. Anahtarlama için uygulanması gereken uygun akım değeri 800 mA ile 1200 mA aralığında değişmektedir.

Bunun yanı sıra Şekil 4.2 'de sensörün ofset gerilimi de görülmektedir. Ayrıca aynı grafikten sensör çıkış geriliminin, belirli bir $H_{\text{sınır}}$ dış manyetik alan değerine kadar lineer değiştiği söylenebilir. Dış manyetik alanın $H_{\text{sınır}}$ değerine ulaşmadığı sürece, çıkış gerilimi kolay bir şekilde sıfırlanabilecek, sensör gerilim değerlerinin değişimi kolay bir şekilde gözlemlenebilecektir.

Manyetik alan, AMR özellikte bir sensorda var olan ince filmlerin domain yönelimlerinde değişime neden olmaktadır. Manyetik alan uygulandığında manyetik domainler kolay

eksen boyunca yönelmektedir. Ölçüm ekseni kolay eksene dik olarak yönelmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Uygulanan manyetik alana bağlı olarak magnetoresistive malzemenin manyetik momentlerindeki değişim

Magnetoresistive bir malzemeye manyetik alan uygulandığında manyetik domainler uygulanan alan boyunca yönelmektedirler. Ancak alan ortamdaki kaldırıldığında manyetik momentlerin eski durumuna geri dönmeleri için uygulanan alanın tersi yönünde bir alan uygulanmalıdır. Yapılması gereken bu işleme sensorun ayarlama/sıfırlama işlemi denmektedir. Genel olarak bakıldığında; AMR sensorlarda ayarlama/sıfırlama işlemi;

Uygulanan alan ortamdaki kaldırıldığında ince filmin manyetik momentlerinin tekrar eski durumuna getirmek,

Manyetik momentleri, daha hassas ölçüm yapabilmek amacıyla yönlendirmek,

Ortam sıcaklığının manyetik momentlerinin yönelimi üzerindeki etkisini en aza indirebilmek, amacıyla yapılmaktadır [118].

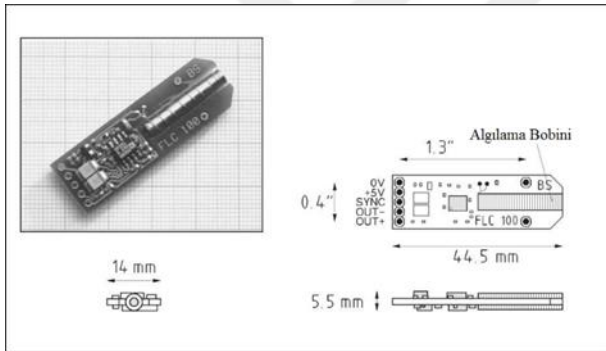
Sensorun ayarlama/sıfırlama işlemine ihtiyacı olduğunu sensor değişiminin sabitlenmesinden anlaşılabılır. Sensorun her ölçümünden sonra ayarlama/sıfırlama işlemi yapmak gereksizdir. Gerekliği durumda ayarlama/sıfırlama (set/reset) bobinine kısa bir

akım palsı göndermek yeterli olacaktır. Dış manyetik alan Hsınır 'ı ayarlama/sıfırlama işlemine gereksinim olmayacaktır.

Sensor çıkış geriliminin yükselteç kullanılarak yükseltilmesi ile ayarlama/sıfırlama işlemi birbirinden bağımsızdır. Dolayısıyla sınırlar içinde yükselteç kullanılarak sensor çıkışı ve sinyalin yükseltilmesi ayarlanabilir [118].

4.2. FLC100 Sensorlu Dedektör Tasarımı

Fluxgate sensorlar, DC ya da düşük frekanslı AC manyetik alanları ölçerler [119] ve 10^{-10} T'dan 10^{-4} T aralığında ölçüm yapabilen, çok hassas, oda sıcaklığında çalışabilen vektörel cihazlardır. Geleneksel olarak navigasyon ve pusula çalışmaları ile metal algılama ve keşifte kullanılmıştır. Yapımı zor değildir. Fluxgate sensorun yapısı şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. FLC100 sensorun yapısı

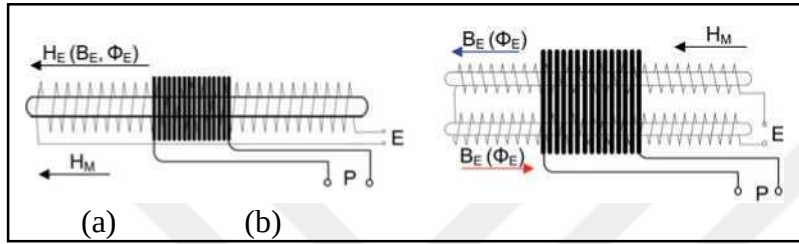
Paralel fluxgate sensorunun icadı 1930'lu yıllara dayanmaktadır. 1940'lı yıllara gelindiğinde denizaltı dedekte edebilmek için geliştirilmiş ve ikinci Dünya Savaşı'ndan sonra fluxgate sensor jeofizik ve jeomanyetik araştırmalar, maden arama, uzay araştırmaları, yön tayini, askeri araştırmalar ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur [119].

En basit biçimindeki paralel fluxgate sensörü Şekil 4.5'te tasvir edilmiştir. Şekil 4.5(a) uyarma alanı yoğunluğu HE (uyartım bobini tarafından üretilen) ve "ölçülen" alan HM vasıtasıyla ferromanyetik damarda yaratılan zamanla değişen uyarma akı UE'nin paralel olması.

Bir fluxgate algılayıcı temel olarak indüksiyon yasasına dayanan bir manyetik alan alıcısıdır.

Şekil 4.5(b)'nin en basit formu için, toplama bobini terminalinde P bulunan çıkış gerilimi U şu denklemle hesaplanır:

$$U_i = -N \cdot S \cdot \left(\frac{dB_E}{dt} + K \cdot \mu_0 \cdot \mu_T \cdot \frac{dH_M}{dt} + K \cdot \mu_0 \cdot H_M \frac{d\mu_T}{dt} \right) \quad (4.1)$$



Şekil 4.5. (a) Bir çubuk-çekirdeği olan en basit (b) İki damarlı modifikasyon fluxgate (akış paralel, kümesi)

Burada H_M , nihai zaman değişen bir bileşen ile ölçülen dış manyetik alan yoğunluğudur. B_E , uyartılma alanı yoğunluğu H_E nedeniyle, ferromanyetik çekirdekte değişen uyarma akı yoğunluğudur, N , toplama bobininin dönüş sayısıdır, S çekirdek enine kesit alanı, vakumun geçirgenliği ve K , çekirdeğin H_M alanına (gerçek çekirdek geometrisi bir elipsoitten uzaktır) boyutu daha az bir birleştirme katsayısıdır.

Parantez içindeki ilk terim mevcut çünkü bu basit sensor, uyaran akı U_E 'yi doğrudan bu tasarımın temel dezavantajı olan toplama bobinine çevirir.

İkinci terim zamanla değişen ölçülen alan H_M 'ye bağlıdır. Bununla birlikte, bir fluxgate sensorunun temel prensibi, denklemin son teriminde - Alternatif uyarı ("sürüş") alanı H_E , periyodik olarak fluxgate çekirdeğinde kullanılan manyetik malzemenin doygunluğuna neden olarak, çekirdek geçirgenliğini modüle eder ve bu da sıfır olmayan bir zaman türevine sahiptir.

Şekil 4.5(a)'da sunulan sensor; bazen düşük maliyetli cihazlarda kullanılmasına rağmen pratik değildir. Çekirdeklerin her ikisini de paylaşırken, her çekirdeğin uyarma akışının zıt yönü olan bir çekirdek yerine iki çekirdek kullanılabilir, Şekil 4.5(b).

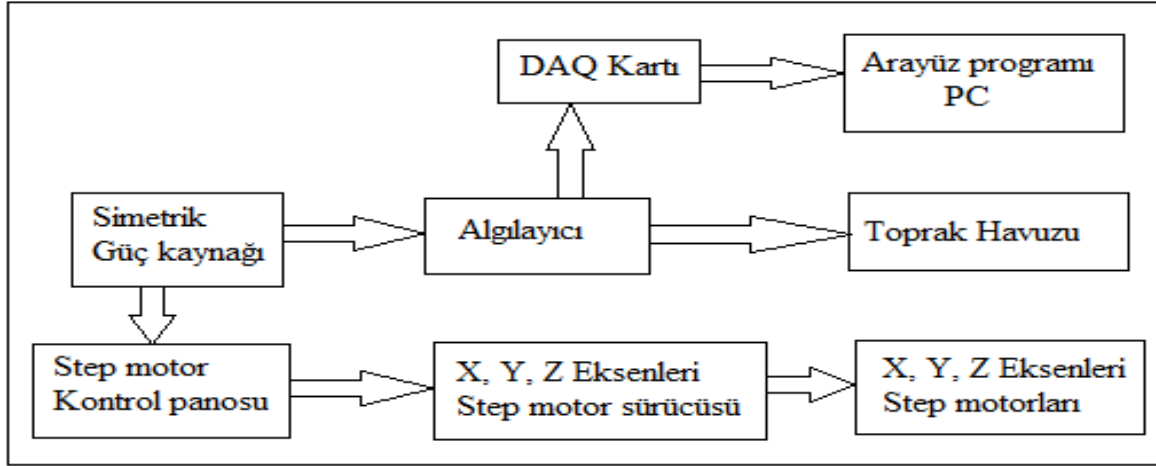
Çekirdeklerin her ikisini de paylaşıırken, her çekirdeğin uyarma akısının zıt yönlü olan bir çekirdek yerine iki çekirdek kullanılabilir, şekil 4.5(b). Çekirdek manyetik özellikler her ikisi için de aynıysa, denklem -1 sonunda büyük rahatsız edici genlik- ortak pikap bobini tarafından etkili bir şekilde bastırılır.

Ölçülen manyetik alan H_M sabitse, ikinci terim de sıfırdır ve denklem 1, fluxgate çıkışı olarak kalır.

4.3. Deney Seti

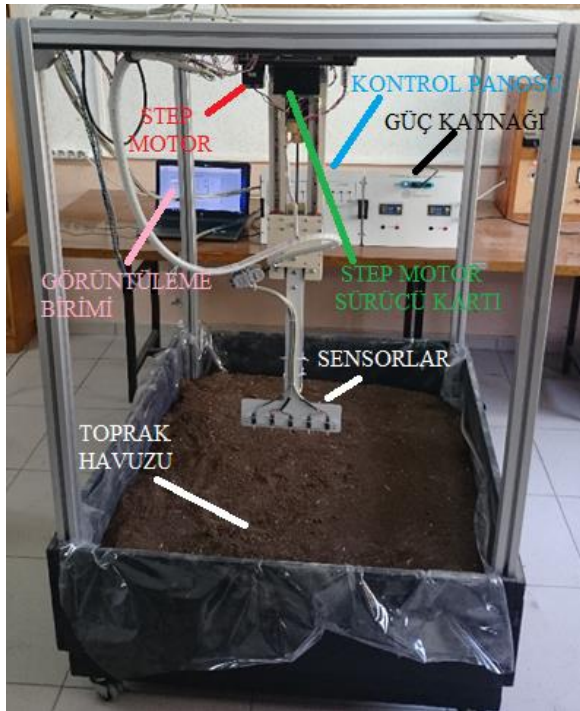
Bu çalışmada geliştirilen dedektörlerin optimizasyonu için laboratuvar ortamında test edilmesini sağlamak için simülatör geliştirilmiştir. Tasarlanan simülatör, test, veri toplama ve veri değerlendirme olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

Test bölümü, mayın detektörünün gerçeğe yakın olarak oluşturulan ortamda çalıştırılması işlemlerinin yapıldığı yerdir. Burada detektörün kullanılacağı arazi şartlarına uygun toprak çeşidi, nem oranı ve toprak içinde olabilecek diğer durumların (taş, ağaç parçası, plastik ve diğer atıklar vb.) dikkate alındığı farklı senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryoların her birinde ayrı ayrı deneyler yapılması mümkün kılınmıştır. Veri toplama bölümünde, mayın detektörü çalışırken detektöre bağlı arabirim üzerinden ölçülen değerler anlık, zaman aralıklı veya konum değişimine bağlı olarak farklı şekillerde verilerin toplanması sağlanmaktadır. Bu işlem için tasarlanan arabirim detektörden gelen sinyali yükseltme ve güçlendirme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Verilerin değerlendirilmesi bölümünde ise, toplanan verilerin yapay zekâ teknikleri kullanılarak (Yapay sinir ağları, k-nn vb.) analiz edilmesi ve detektörün algılama yetisinin tespit edilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan simülatör'ün blok şeması şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Tasarlanan düzeneğin blok diyagramı

Tasarlanan test simülatörü Resim 4.1’de verilmiş olup şekil üzerinde bütün birimler ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu tasarım; tüm sistemin enerji ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede ayarlanabilen 0-30 V. 0-5 A. Simetrik bir güç kaynağı, x,y,z eksenlerinde sensörleri hareket ettiren 3 adet step motor ve sürücü kartları, 1 adet step motorlara sinyal gönderen kontrol panosu, 1 adet sayısal işaretleri analog işaretlere dönüştüren ve bilgisayar ile kontrole imkân veren DAQ kartı, Sensör, 110*80*30 cm. ebatlarında toprak havuzu ve arayüz ile görüntüleme biriminden oluşmaktadır.



Resim 4.1. Tasarlanan test simülatörü

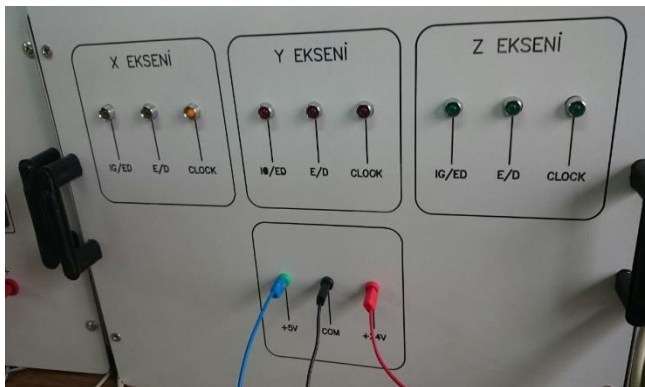
4.3.1. 0-30 V.- 0-5 A. simetrik güç kaynağı

Tüm sistemin gerilim ve akım ihtiyacını karşılamaktadır. Güç kaynağı programlanabilir özellikte olup, ihtiyaç halinde başka yerlerde kullanılabilen yapıda tercih edilmiştir. Deneylerde sistemin ihtiyaç duyduğu ± 15 V. Gerilim değerine ayarlanmıştır. 0-30 V.-0-5 A. Simetrik güç kaynağının görüntüsü resim 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.2. 0-30 V.- 0-5 A. simetrik güç kaynağı

Step motor kontrol panosu, X,Y,Z ekseninde hareketin kontrol edilmesini sağlar. Step motor kontrol panosu, X eksenini step motoruna gönderdiği pulslerle 5’li FLC100 sensör grubunu ± 40 cm. ileriye ve geriye doğru hareket ettirir. Step motor kontrol panosu, Y eksenini step motoruna gönderdiği pulslerle 5’li FLC100 sensör grubunu ± 40 cm. sağa ve sola doğru hareket ettirir. Step motor kontrol panosu, Z eksenini step motoruna gönderdiği pulslerle FLC100 sensör grubunu ± 20 cm. yukarıya ve aşağıya doğru hareket ettirir. Step motor kontrol panosunun besleme gerilimi ihtiyacı +5 V. ve +24 V.’tur. Ayrıca, FLC100 sensör grubunun gerilim ihtiyacını karşılamak için ± 15 V.’luk kaynağa bağlanmıştır. Step motor kontrol panosu resim 4.3’de görülmektedir.



Resim 4.3. Step motor kontrol panosu

Düzenneğin tamamı bir adet ± 15 V., bir adet 5V. ve bir adet 24 V. DC kaynak grubu tarafından beslenmektedir.

5 Adet FLC100 Sensor Grubu, toprak altına gömülü değişik malzemelerin Dünya'nın manyetik alanında meydana getirdiği anomalileri algılamak amacıyla kullanılmıştır.

4.3.2. NI USB-6008 DAQ cihazı

NI USB-6008, National Instruments'ın Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü laboratuvar çalışmasında kullanılacak basit ve düşük maliyetli, çok işlevli bir G / Ç aygıtıdır.

Cihaz aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- 8 analog giriş (12-bit, 10 kS / s)
- 2 analog çıkış (12-bit, 150 S / s)
- 12 dijital G / Ç
- USB bağlantısı, Ekstra güç kaynağı bulunmamaktadır
- LabVIEW, LabWindows / CVI ve Visual Studio. NET için Measurement Studio ile uyumlu
- NI-DAQmx sürücü yazılımı

4.3.3. Arayüz ekranı

Sistemin çalıştırılması, başlangıç parametrelerinin belirlenmesi ve deney verilerinin kaydedilmesini sağlamak için NI USB-6008 DAQ kullanılarak tasarlanan veri alma - işleme ve ekran kontrol görüntüsü şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Arayüz ekran görüntüsü

NI USB-6008 DAQ cihazından gelen komutlar bilgisayarın USB girişi üzerinden şekil 4.8’de görülen ara yüz vasıtasıyla bilgisayara kaydedilmektedir. Aynı zamanda simülâtörün dışarıdan verilen komutlarla hangi aralıkta nasıl çalışacağı da bu ara yüz vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu arayüz kullanılarak sensörü 3 eksenle hareket ettiren motorların her bir eksen için adım ölçüleri (milimetrik seviyede) belirlenerek sistemin kontrolü sağlanmaktadır.

Tasarlanan simülâtör ile mayın dedektörlerinin gerçek çalışma şartları oluşturulmuştur. Tasarlanan herhangi bir mayın dedektörü farklı çalışma ortamlarının oluşturulabildiği simülâtöre bağlanarak gerçek çalışma şartlarına uygun ortamda test edilmesi sağlanmaktadır. Bu tasarım da test edilen detektörlerin optimizasyonu için ihtiyaç duyulan veriler elde edilmekte ve detektörün hassasiyet, tespit başarısı ve hızı analiz edilebilmektedir. Elde edilen veriler detektörlerin optimizasyonunda kullanılabildiği gibi algılama yöntemlerinin kıyaslanması, çoklu algılama yöntemlerinin tasarımı gibi yeni çalışmalar için önemli bir altyapı oluşturmaktadır.

4.4. KMZ Sensorlu Deney Düzeneği Tasarımı ve Yapılan Ölçümler

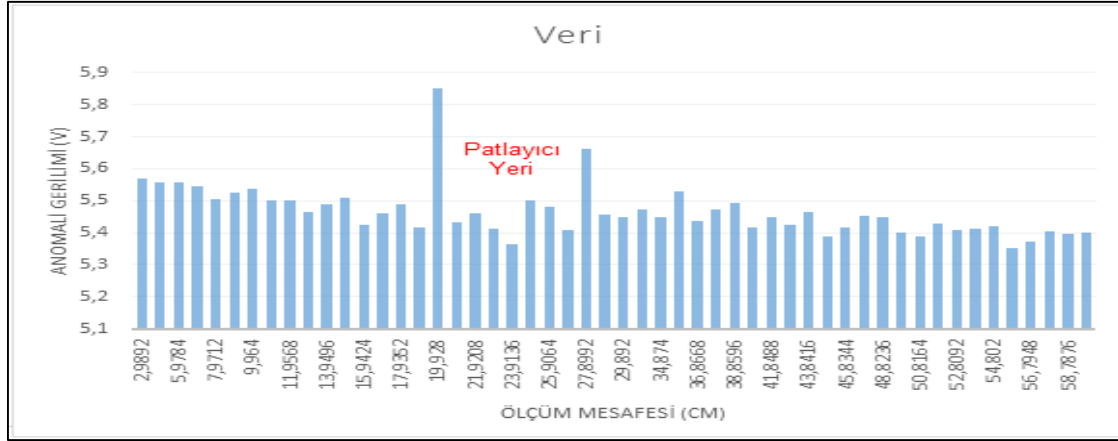
Bu bölümde, Gömülü Patlayıcı Tespit Sisteminin prototipi ile veri toplanmasına yönelik çalışmalar sunulacaktır. Öncelikle KMZ sensörü ile 3 farklı toprak altına gömülmüş 4 adet değişik patlayıcının dünyanın sabit manyetik alanı içerisinde meydana getirdiği anomali sinyalinin algılanması hedeflenmektedir. Bu amaca hizmet edecek toprak havuzlu bir deney düzeneği yapılmıştır. Resim 4.1’de görülen toprak havuzlu deney düzeneğinde bulunan KMZ sensörü ile 3 çeşit toprak altına gömülü 4 adet mayının yarattığı anomaliyi belirlemek amacıyla bir takım ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerle toprak altındaki patlayıcıların şeklinin ve üretildiği hammaddenin anomali sinyaline etkisi görülecektir.

Resim 4.1’deki deney düzeneğinin toprak havuzuna gömülen mayınların koordinatları kaydedilerek KMZ51 sensorların veri çıkışlarıyla mayınların koordinatları karşılaştırılmış ve Şekil 4.8 ile 4.19 aralığındaki bütün şekillerde gömülü mayınların koordinatları ile sensor çıkışları örtüşmüştür.

- Ölçümler; Kartezyen koordinatlarda ölçüm yapan havuzlu deney düzeneğine konulan değişik toprağın altına gömülmüş mayınlar üzerinde yapılmıştır.
- Anomali değerleri 1 cm. aralıklarla 30 cm. ileriye yine 1 cm. aralıklarla 60 cm. yana hareket ettirilerek elde edilmiştir.
- Bu ölçümlerde sensor olarak KMZ sensörü kullanılmıştır. Sensor ile patlayıcının gömülü olduğu kuru kumlu toprak arasındaki mesafe 10 cm. olarak belirlenmiştir.
- Ölçüm sonucunda elde edilen anomali değerleri bilgisayarda açılan «txt» uzantılı dosyaya havuzlu deney düzeneği tarafından otomatik olarak yüklenmiştir.
- Kartezyen koordinatlarda ölçüm yapan havuzlu deney düzeneğine step motorların beslemesi için 24 Volt, KMZ sensorun beslemesi için ± 18 Volt, Uyartım bobini için 5 Volt DC besleme gerilimi uygulanmıştır.

4.4.1. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki kuru kumlu toprağın içine plastik kılıf topuk koparan mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri Şekil 4.8’de görülmektedir.



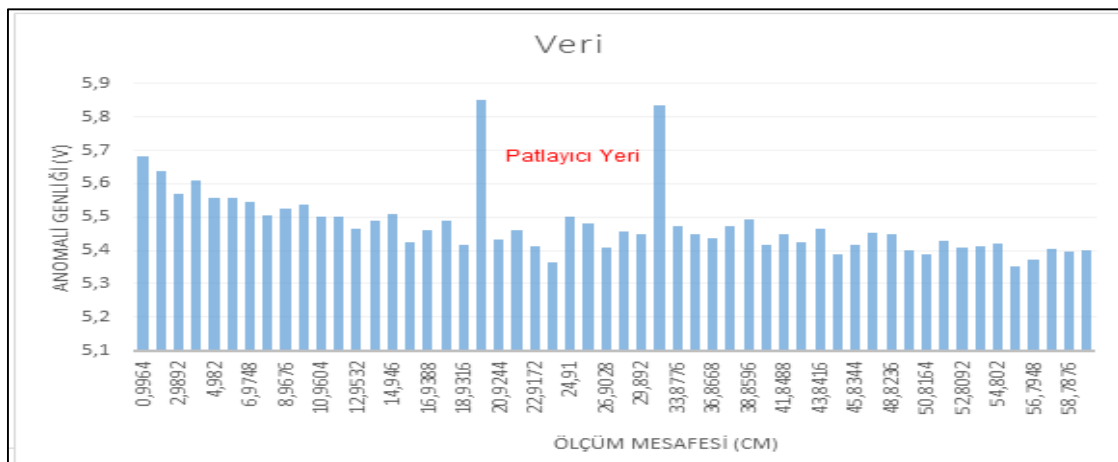
Şekil 4.8. Plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 20 ve 28 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.2. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki kuru kumlu toprağın içine metal kılıf anti personel mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.9'da görülmektedir.



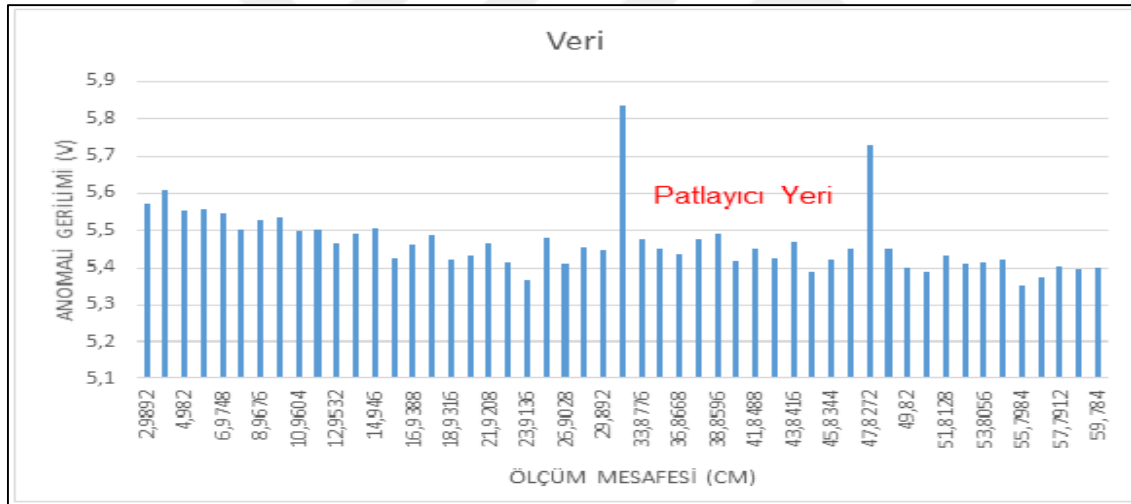
Şekil 4.9. Metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.9'dan da görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 20 ve 33 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.3. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki kuru kumlu toprağın içine metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.10'da görülmektedir.



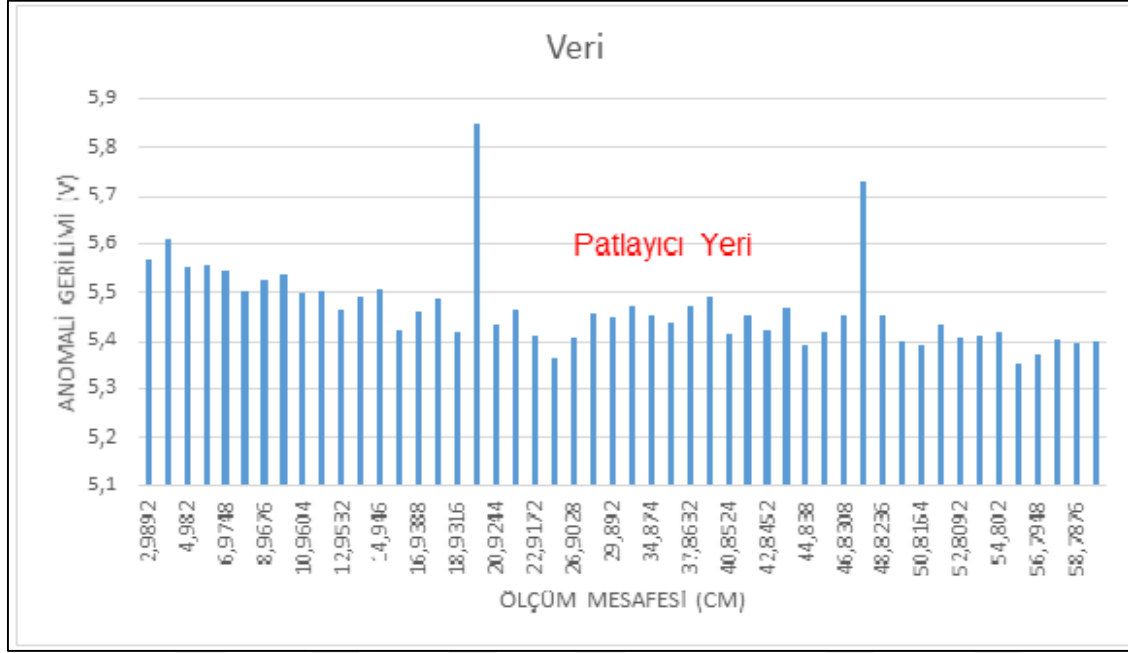
Şekil 4.10. Metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.10'dan da görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 33 ve 48 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.4. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki kuru kumlu toprağın içine metal kılıf anti tank mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.11’de görülmektedir.



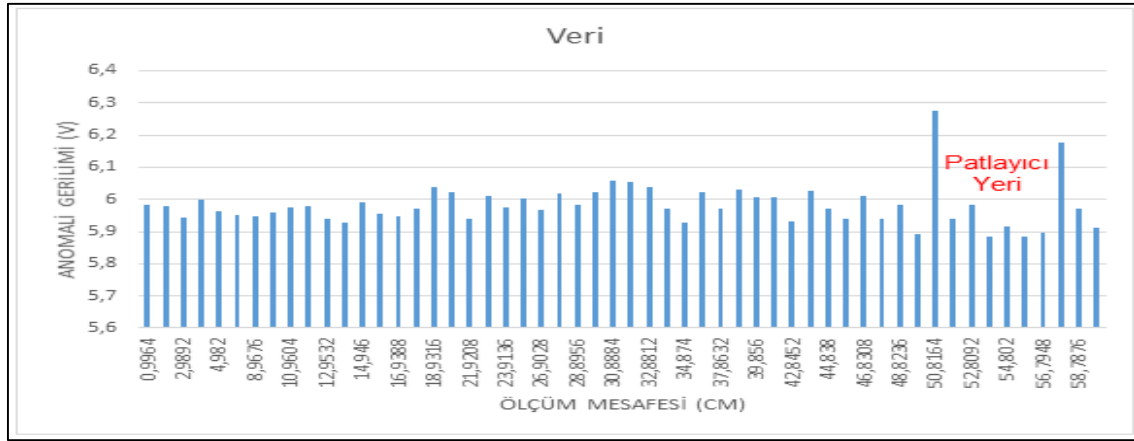
Şekil 4.11. Metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.11’den de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 20 ve 48 cm.’lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.5. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki kuru kireçli toprağın içine plastik kılıf topuk koparan mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.12’de görülmektedir.



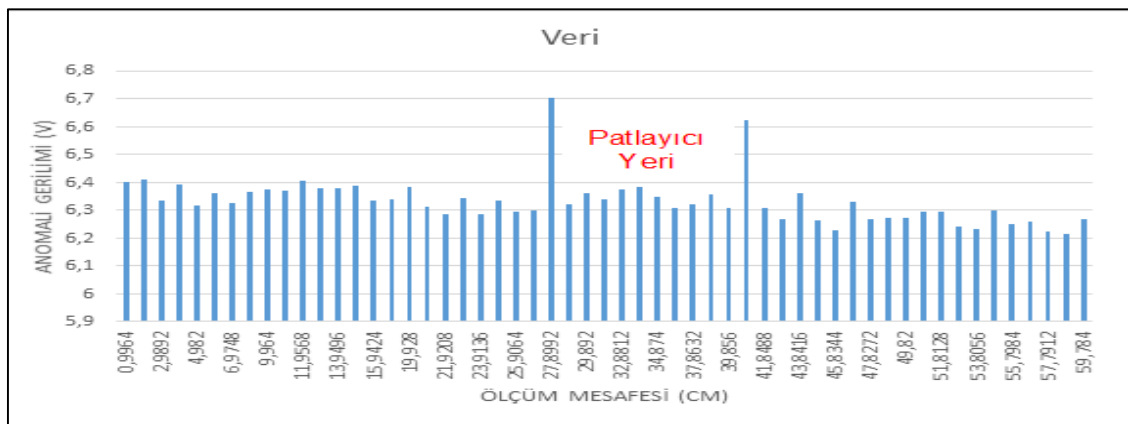
Şekil 4.12. Plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensör geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.12’den de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 51 ve 58 cm.’lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.6. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprak Altında Metal Kılıf Anti Personel mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.13’te görülmektedir.



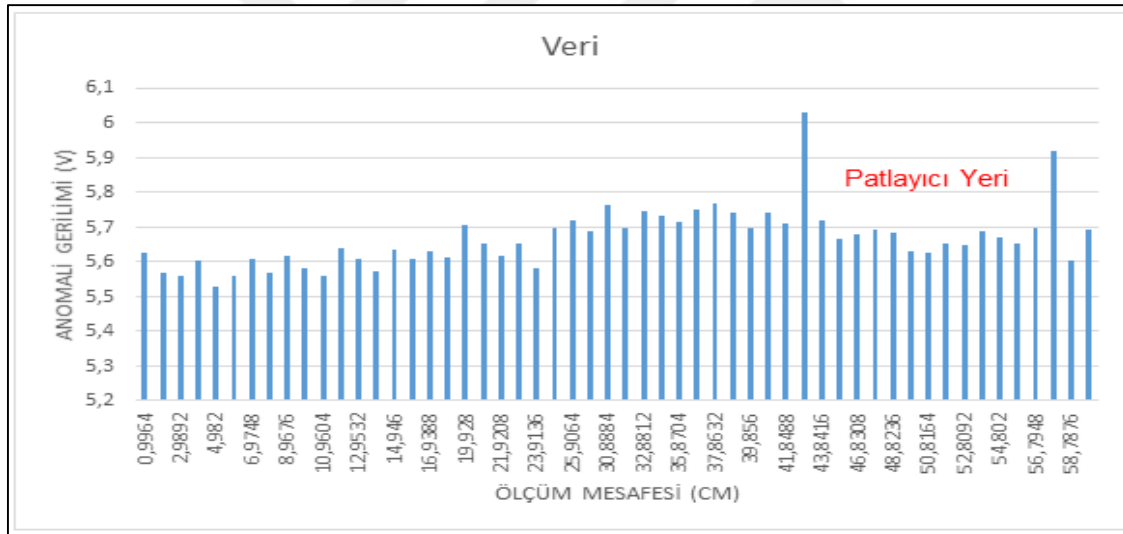
Şekil 4.13. Metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.13'ten de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 28 ve 41 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.7. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprak Altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.14'te görülmektedir.



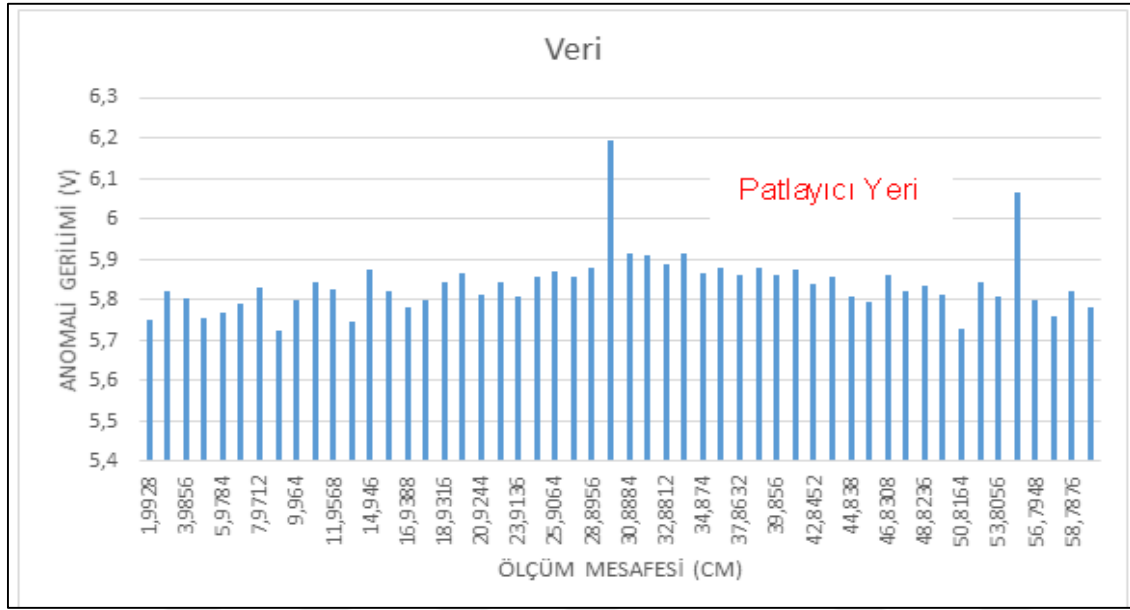
Şekil 4.14. Metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.14'ten de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 43 ve 58 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.8. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprak Altında Metal Kılıf Anti Tank mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.15'te görülmektedir.



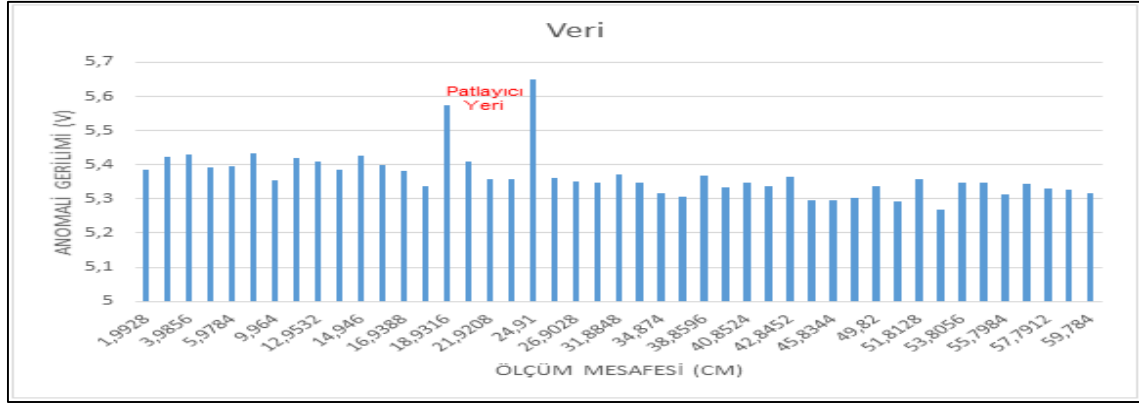
Şekil 4.15. Metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.15'ten de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 30 ve 56 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.9. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprak Altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.16'da görülmektedir.



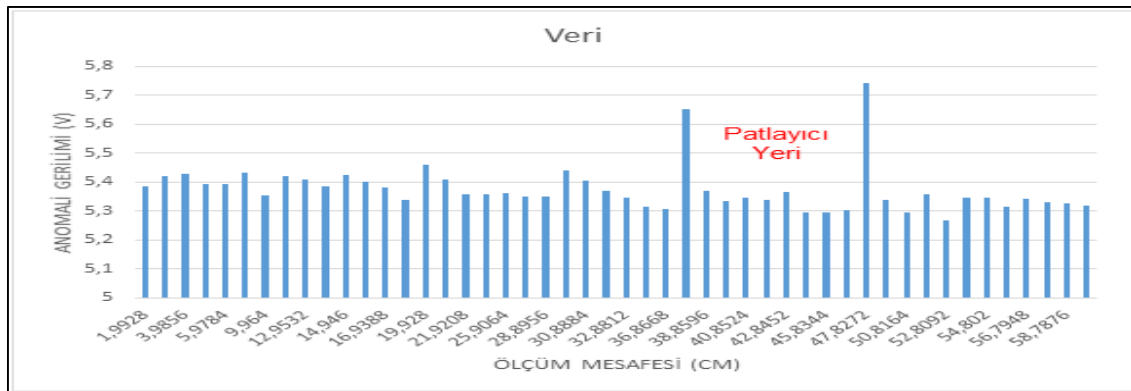
Şekil 4.16. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.16'dan da görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 19 ve 25 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.10. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprak Altında Metal Kılıf Anti Personel mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.17'de görülmektedir.



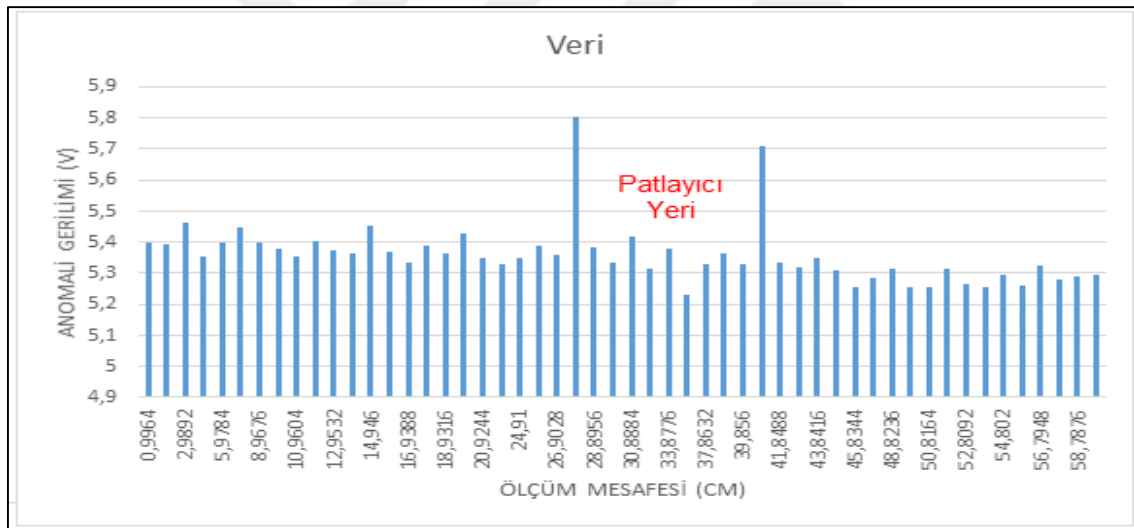
Şekil 4.17. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.17'den de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 39 ve 50 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.11. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprak Altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.18'de görülmektedir.



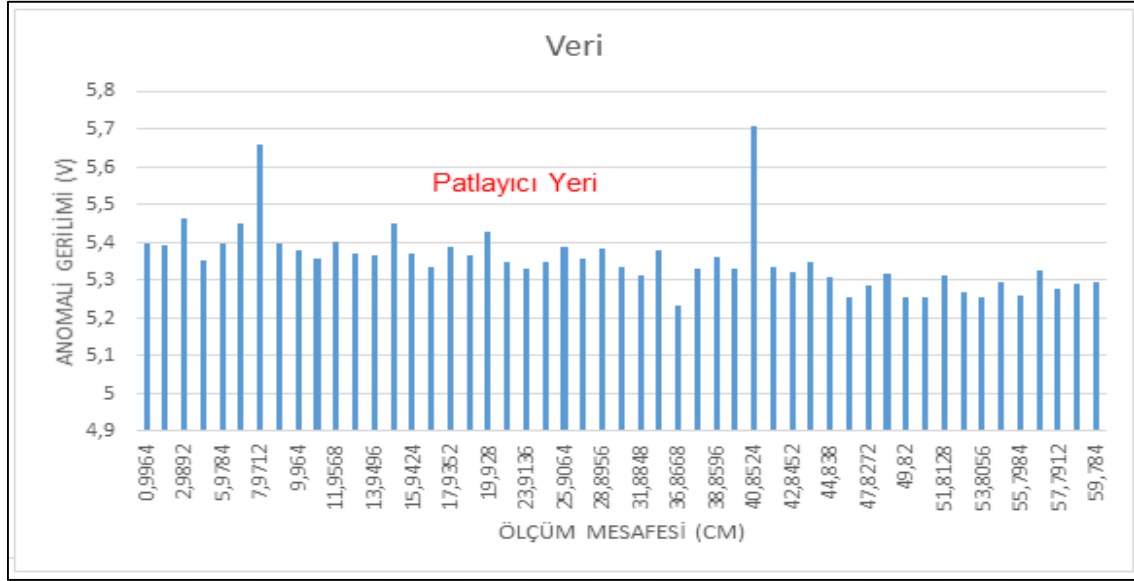
Şekil 4.18. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.18'den de görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 28 ve 41 cm.'lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.4.12. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayın

Düzenekteki KMZ 51 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprak Altında Metal Kılıf Anti Tank Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.19’da görülmektedir.



Şekil 4.19. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine sensor geldiğinde anomalide hızlı bir değişim olmakta patlayıcı bitene kadar değişim olmamakta patlayıcı bittiğinde ise yine hızlı bir değişim olmaktadır.

Şekil 4.19’dan da görüldüğü gibi iki hızlı anomali değişimi arasında sabit olan anomali değerleri patlayıcının toprak altında 8 ve 41 cm.’lik ölçüm alanında olduğunu göstermektedir.

4.5. FLC Sensorlu Deney Düzeneği Tasarımı ve Yapılan Ölçümler

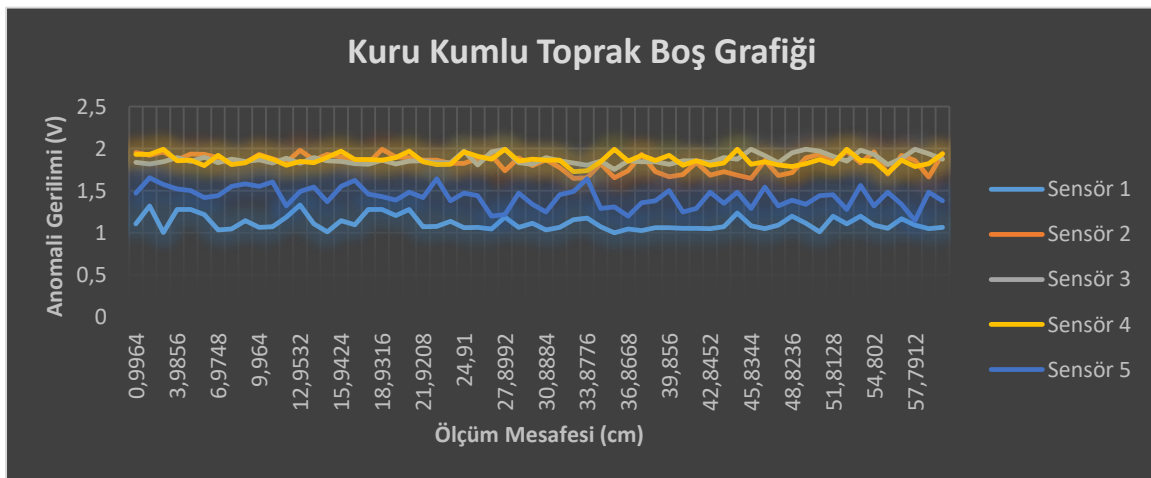
Bu bölümde, Flc 100 sensörü ile 3 farklı toprak altına gömülmüş 4 adet değişik mayının dünyanın sabit manyetik alanı içerisinde meydana getirdiği anomali sinyalinin algılanması hedeflenmektedir. Bu amaca hizmet edecek toprak havuzlu bir deney düzeneği yapılmıştır.

Resim 4.1’de görülen toprak havuzlu deney düzeneğinde bulunan 5 adet FLC100 sensörü ile 3 çeşit toprak altına gömülü 10 adet malzemenin yarattığı anomaliyi belirlemek amacıyla bir takım ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerle toprak altındaki malzemelerin şeklinin ve üretildiği hammaddenin anomali sinyaline etkisi görülecektir.

- Ölçümler; Kartezyen koordinatlarda ölçüm yapan havuzlu deney düzeneğine konulan değişik toprağın altına gömülmüş malzemeler üzerinde yapılmıştır.
- Anomali değerleri 1 cm. aralıklarla 30 cm. ileriye yine 1 cm. aralıklarla 60 cm. yana hareket ettirilerek elde edilmiştir.
- Bu ölçümlerde sensor olarak 5 adet FLC100 sensörü kullanılmıştır. Sensor ile malzemelerin gömülü olduğu kuru ve nemli değişik toprak çeşitleri arasındaki mesafe 10 cm. olarak belirlenmiştir.
- Ölçüm sonucunda elde edilen anomali değerleri bilgisayarda açılan «txt» uzantılı dosyaya havuzlu deney düzeneği tarafından otomatik olarak yüklenmiştir.
- Kartezyen koordinatlarda ölçüm yapan havuzlu deney düzeneğine step motorların beslemesi için 24 Volt, 5 adet FLC100 sensorun beslemesi için ± 15 Volt, Uyarım bobini için 5 Volt DC besleme gerilimi uygulanmıştır.

4.5.1. Kuru kumlu toprak altında boş

Kuru kumlu toprağın düzenekteki 5 adet Flc 100 sensorunda oluşturduğu anomali gerilimleri şekil 4.20’de görülmektedir.

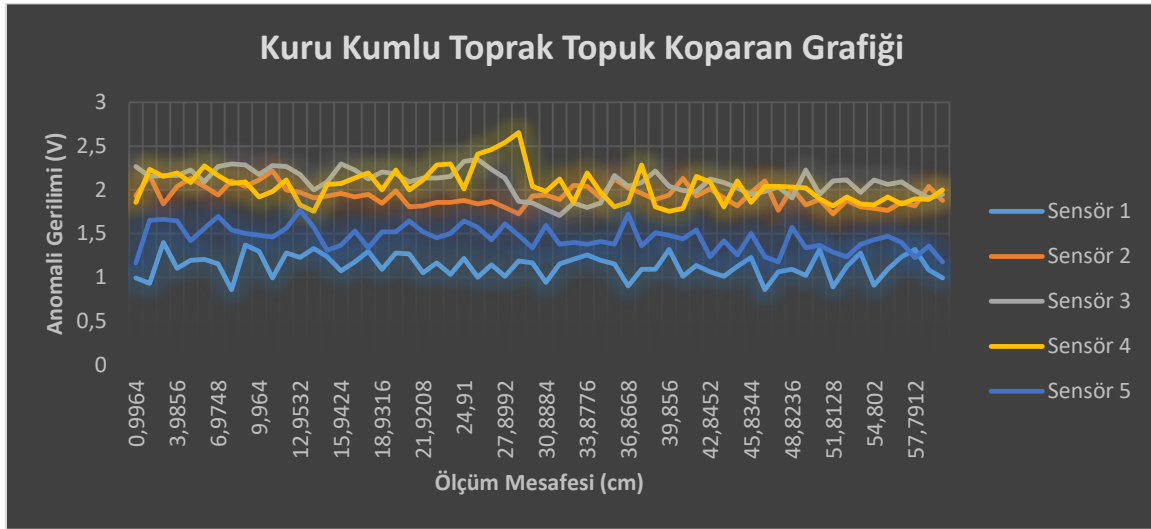


Şekil 4.20. Kuru kumlu toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu manyetik anomali grafiği

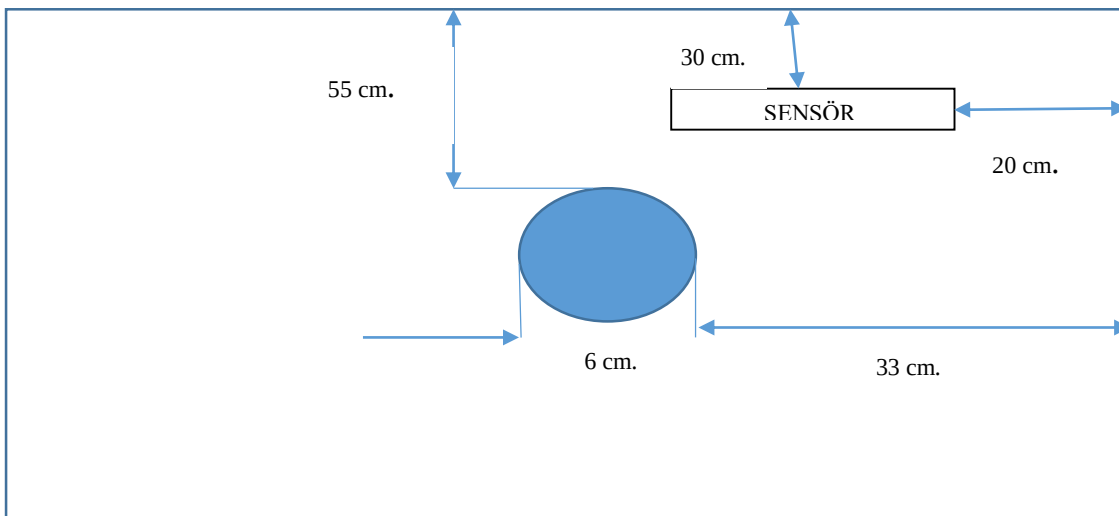
Şekil 4.20'den de görüldüğü gibi Kuru Kumlu Toprağın 5 adet Flc 100 sensorunda oluşturduğu anomali gerilimleri 0-60 cm arasında ortalama 1-2 V.'tur.

4.5.2. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kumlu Toprağın içine Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.21'de, Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayının deney setindeki konumu şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



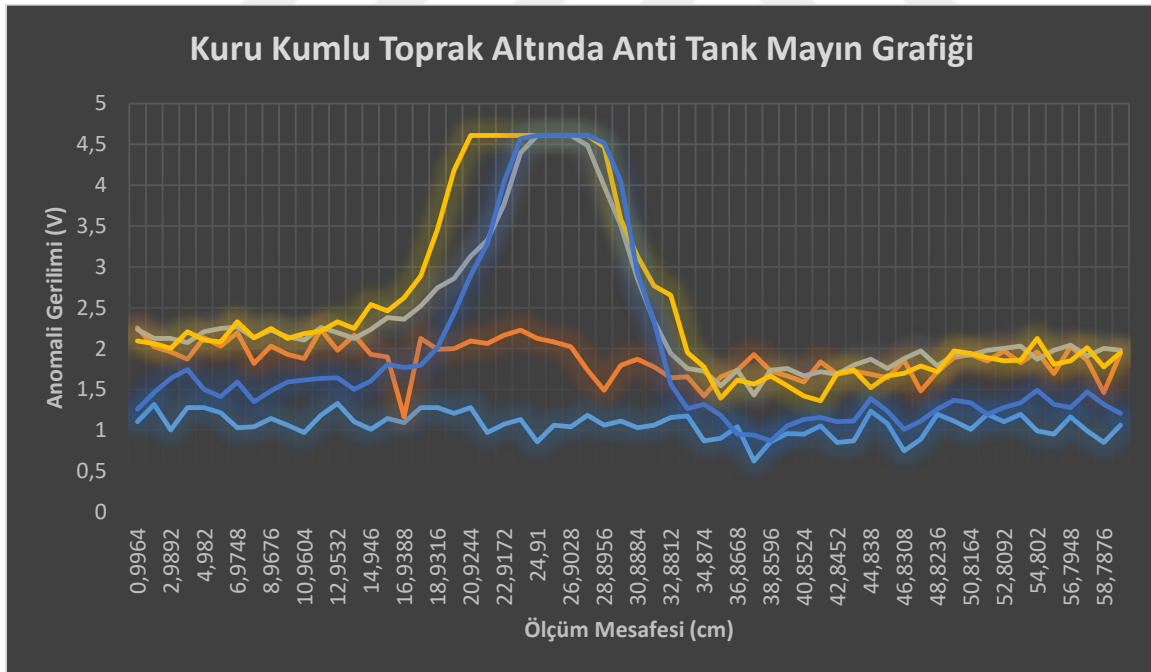
Şekil 4.22. Kuru kumlu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 4 numaralı sensorda belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

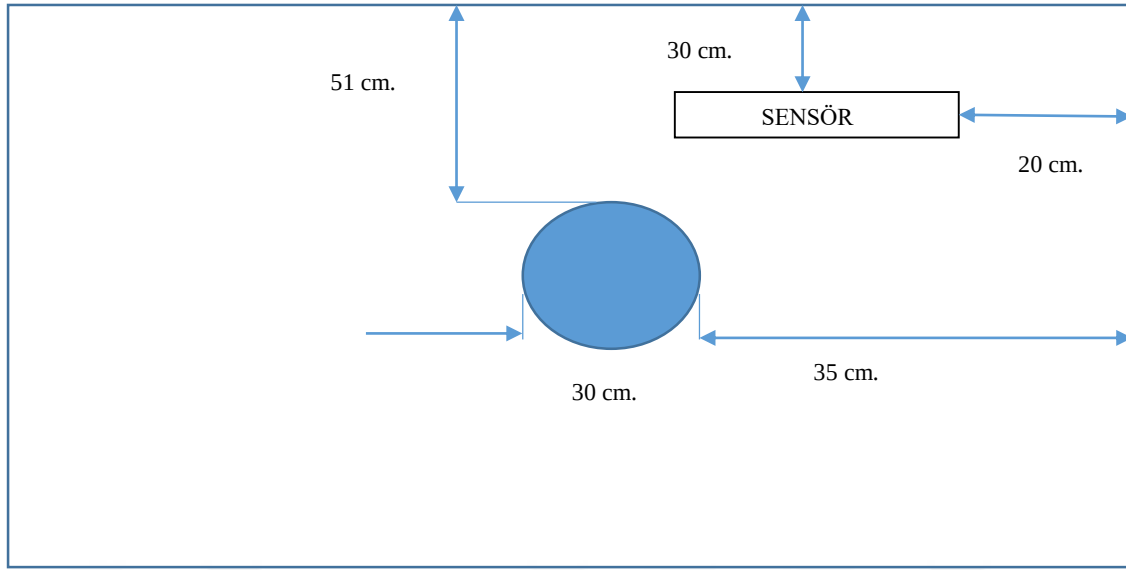
Şekil 4.21.'e bakıldığında 4 numaralı sensorun 25,9064-28,8956 cm. aralığında anomali gerilimi 2,4086 - 2,6532 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.21'de elde edilen veriler, şekil 4.22'deki Kuru Kumlu Toprak altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kumlu Toprak altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.3. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kumlu Toprağın içine Metal Kılıf Anti Tank Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.23'te, Metal Kılıf Anti Tank Mayının deney setindeki konumu şekil 4.24'te görülmektedir.



Şekil 4.23. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



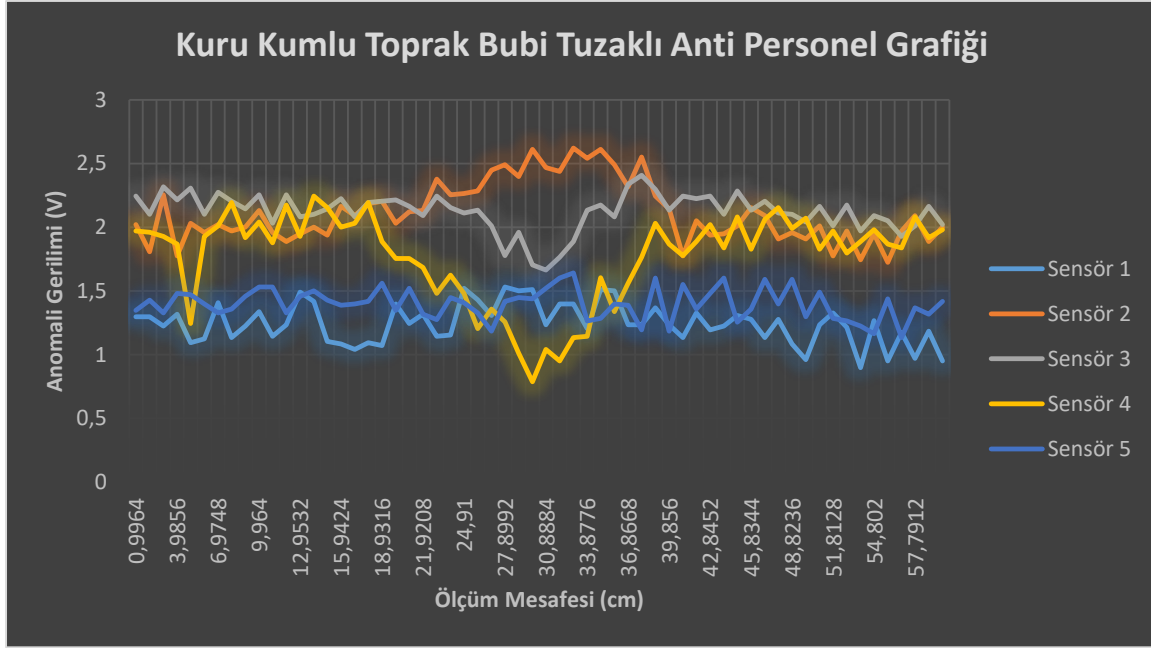
Şekil 4.24. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti tank mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 3,4,5 numaralı sensorlarda belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

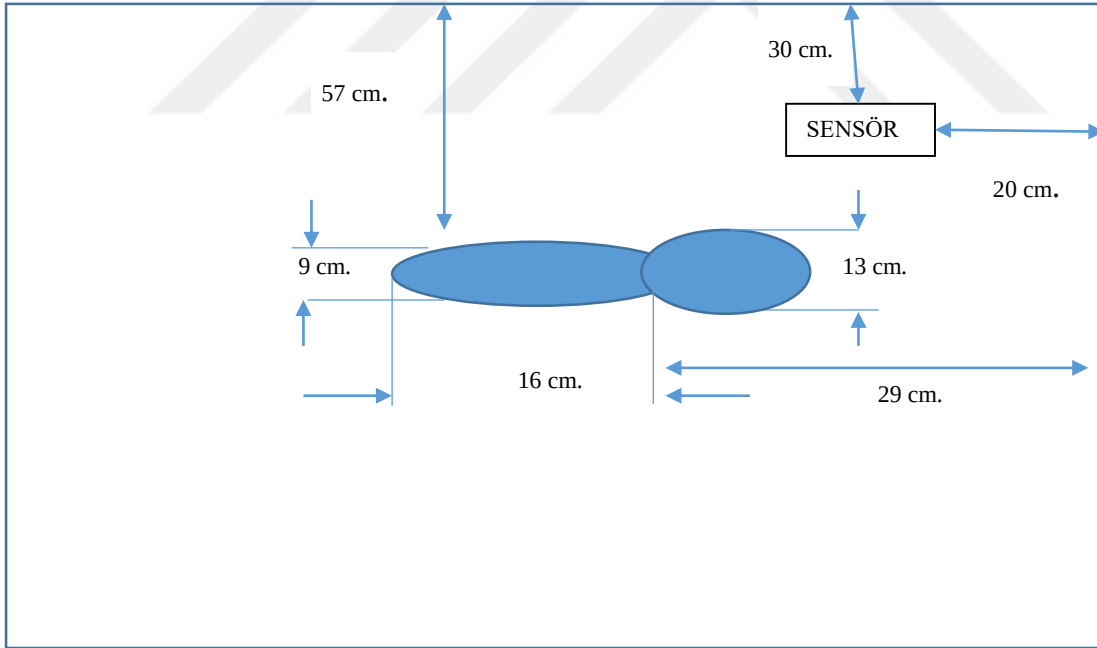
Şekil 4.23'e bakıldığında 3 numaralı sensorun 17,9352-30,8884 cm. aralığında anomali gerilimi 2,5207 - 4,610 V.luk, 4 numaralı sensorun 16,9388 - 32,8812 cm. aralığında anomali gerilimi 2,6226 - 4,6100 V.luk, 5 numaralı sensorun 18,9316 - 31,8848 cm. aralığında anomali gerilimi 2,0103 - 4,6091 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.23'te elde edilen veriler, şekil 4.24'teki Kuru Kumlu Toprak Altında Metal Kılıf Anti Tank Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve Flc 100 sensorunun Kuru Kumlu Toprak altında Metal Kılıf Anti Tank Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.4. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kumlu Toprağın içine Bubi Tuzaklı Metal Kılıf Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.25'te, Bubi Tuzaklı Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu şekil 4.26'da görülmektedir.



Şekil 4.25. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



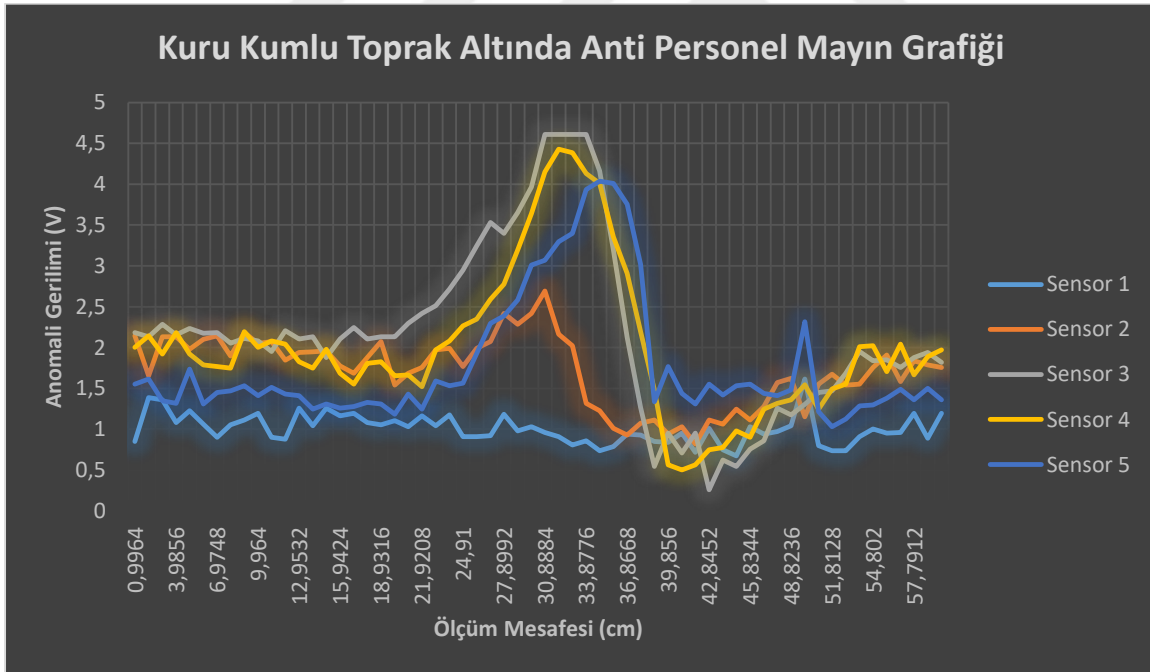
Şekil 4.26. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 2 numaralı sensorda pozitif yönde, 3 ve 4 numaralı sensorlarda negatif yönde belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

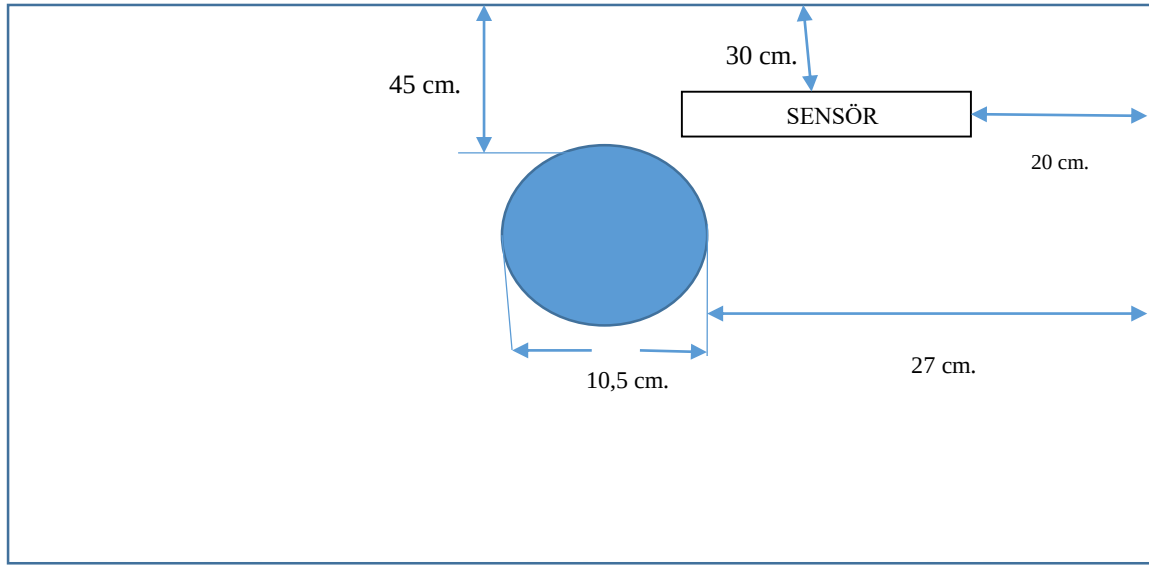
Şekil 4.25.'e bakıldığında 2 numaralı sensorun 26,9028-34,874 cm. aralığında anomali gerilimi 2,3981 - 2,6223 V.luk, 3 numaralı sensorun 27,8992 - 32,8812 cm. aralığında anomali gerilimi 1,6646 - 1,9601 V.luk, 4 numaralı sensorun 28,8956 - 33,8776 cm. aralığında anomali gerilimi 0,7881 - 1,1448 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.25'te elde edilen veriler, şekil 4.26'daki Kuru Kumlu Toprak Altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kumlu Toprak altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.5. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kumlu Toprağın içine Metal kılıf Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.27'de, Metal kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu şekil 4.28'de görülmektedir.



Şekil 4.27. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



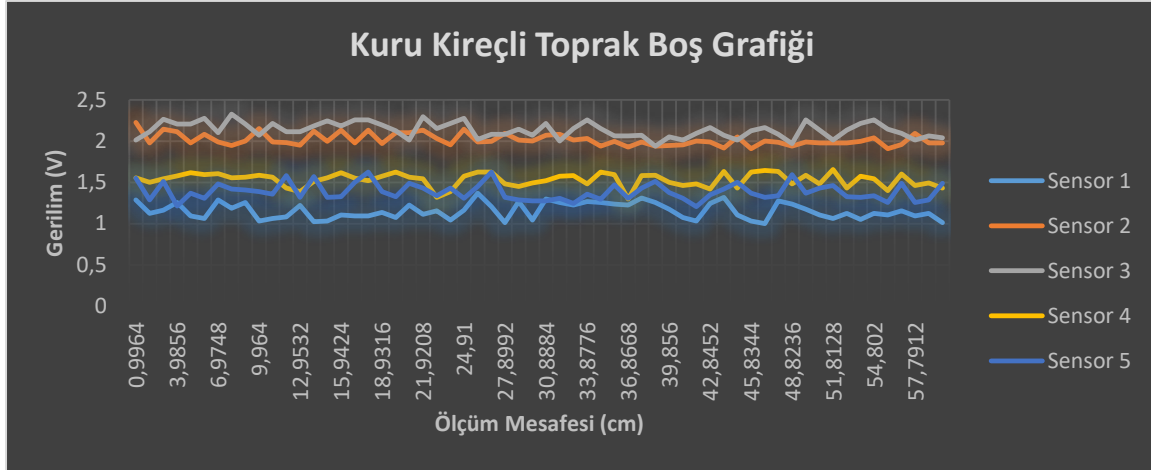
Şekil 4.28. Kuru kumlu toprak altında metal kılıf anti personel mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 2,3,4,5 numaralı sensorlarda pozitif yönde belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

Şekil 4.27'ye bakıldığında 2 numaralı sensorun 26,9028 - 32,8812 cm. aralığında anomali gerilimi 2,0210 - 2,6937 V.luk, 3 numaralı sensorun 21,9208 - 36,8668 cm. aralığında anomali gerilimi 2,1232 - 4,6100 V.luk, 4 numaralı sensorun 23,9136 - 37,8632 cm. aralığında anomali gerilimi 2,0824 - 4,4265 V.luk, 5 numaralı sensorun 26,9028 - 38,8596 cm. aralığında 2,2957 - 4,0384 V. luk anomali gerilimi değişim göstermektedir. Şekil 4.27'de elde edilen veriler, şekil 4.28'deki Kuru Kumlu Toprak Altında Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kumlu Toprak altında Metal Kılıf Anti Personel Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.6. Kuru kireçli toprak altında boş

Kuru Kireçli Toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu anomali gerilimleri şekil 4.29'da görülmektedir.

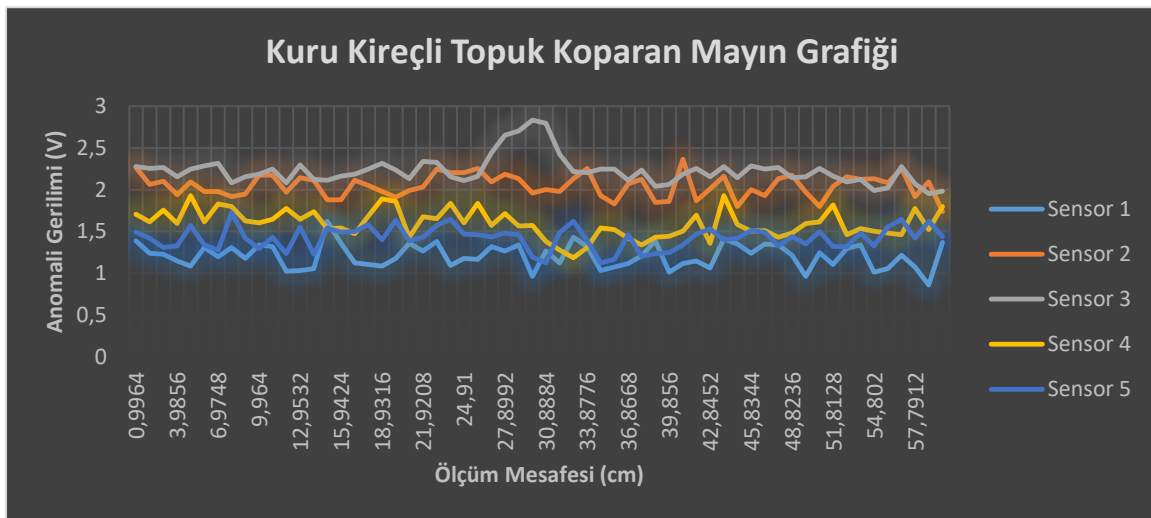


Şekil 4.29. Kuru kireçli toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu manyetik anomali grafiği

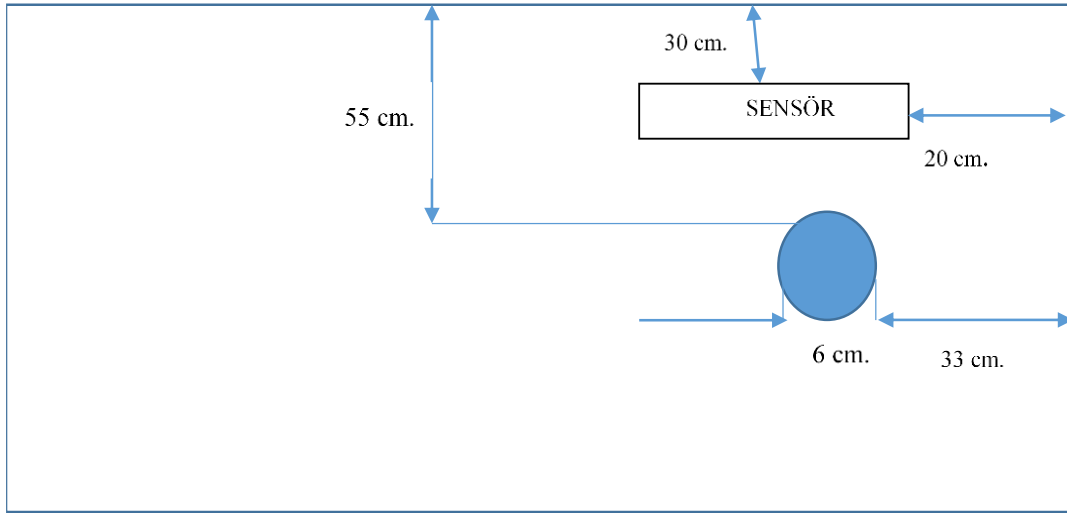
Şekil 4.29'dan da görüldüğü gibi Kuru Kireçli Toprağın 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu anomali gerilimleri 0-60 cm arasında ortalama 1-2,25 V.'tur.

4.5.7. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprağın içine Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.30'da, Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayının deney setindeki konumu şekil 4.31'de görülmektedir.



Şekil 4.30. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



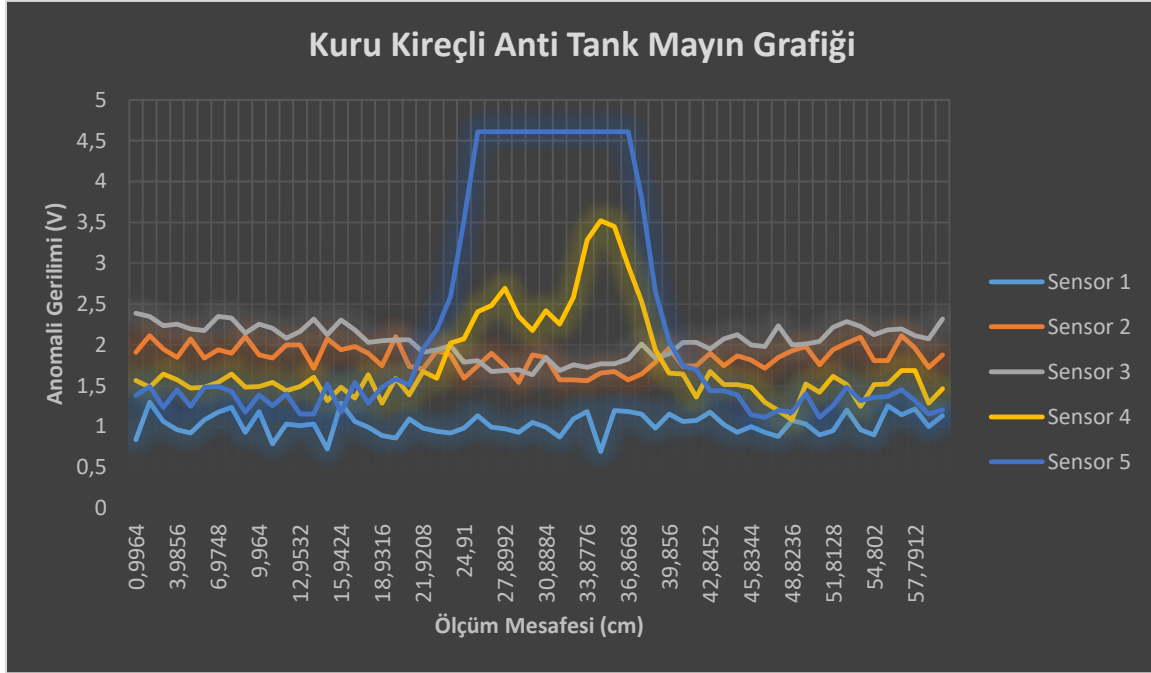
Şekil 4.31. Kuru kireçli toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 5 numaralı sensorda belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

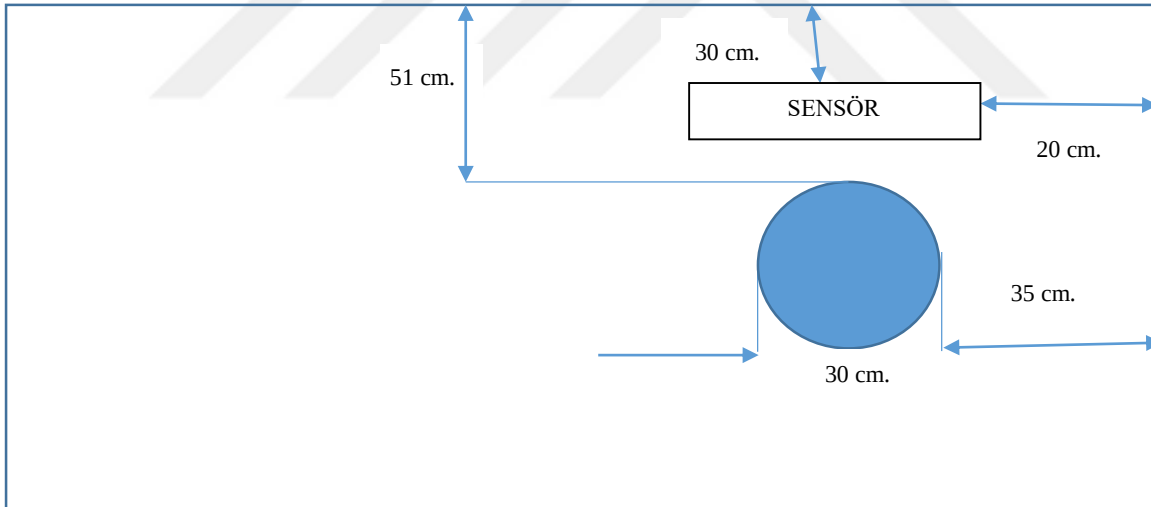
Şekil 4.30'a bakıldığında 3 numaralı sensorun 26,9028 -30,8884 cm. aralığında anomali gerilimi 2,4411 - 2,7946 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.30'da elde edilen veriler, şekil 4.31'deki Kuru Kireçli Toprak altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kireçli Toprak altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.8. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprağın içine Metal Kılıf Anti Tank Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.32'de, Metal Kılıf Anti Tank Mayının deney setindeki konumu şekil 4.33'te görülmektedir.



Şekil 4.32. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



Şekil 4.33. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti tank mayının deney setindeki konumu

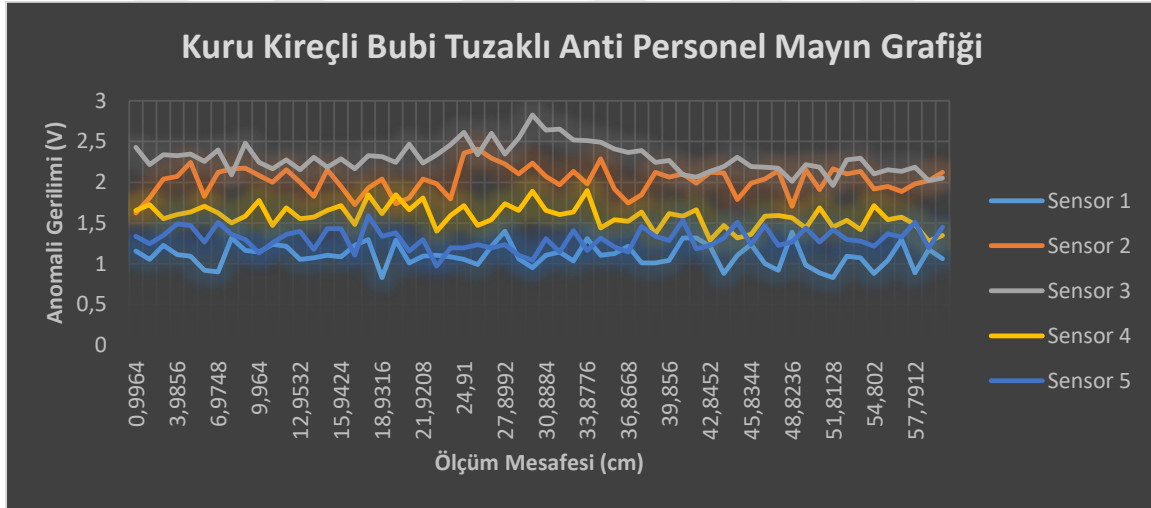
Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 4 ve 5 numaralı sensorlarda belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

Şekil 4.32'ye bakıldığında 4 numaralı sensörün 23,9136 - 37,8632 cm. aralığında anomali gerilimi 2,0213- 3,5195 V.luk, 5 numaralı sensörün 21,9208 - 38,8596 cm. aralığında anomali gerilimi 1,9492 - 4,6091 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.32'de elde edilen

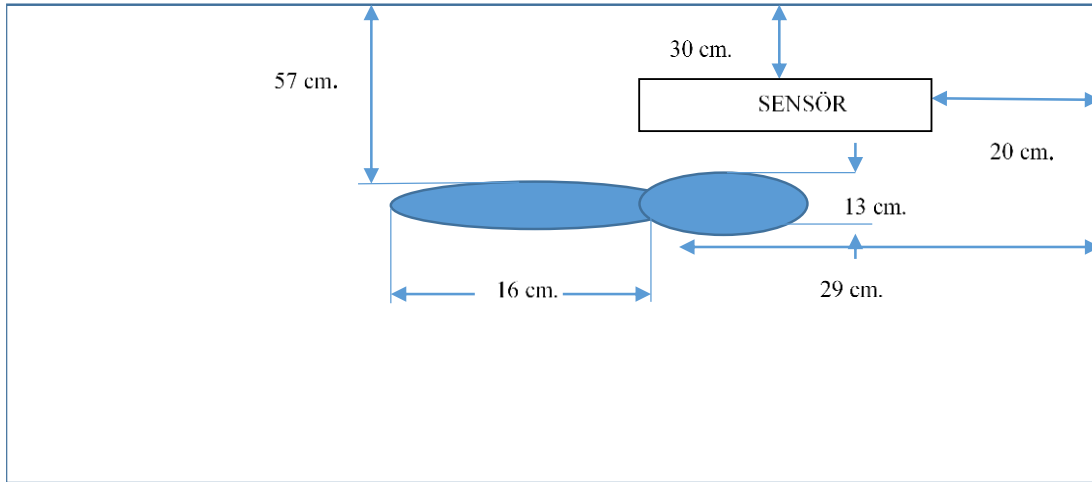
veriler, şekil 4.33'teki Kuru Kireçli Toprak Altında Metal Kılıf Anti Tank Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kireçli Toprak altında Metal Kılıf Anti Tank Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.9. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprağın içine Bubi Tuzaklı Metal Kılıf Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.34'te, Bubi Tuzaklı Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu şekil 4.35'te görülmektedir.



Şekil 4.34. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



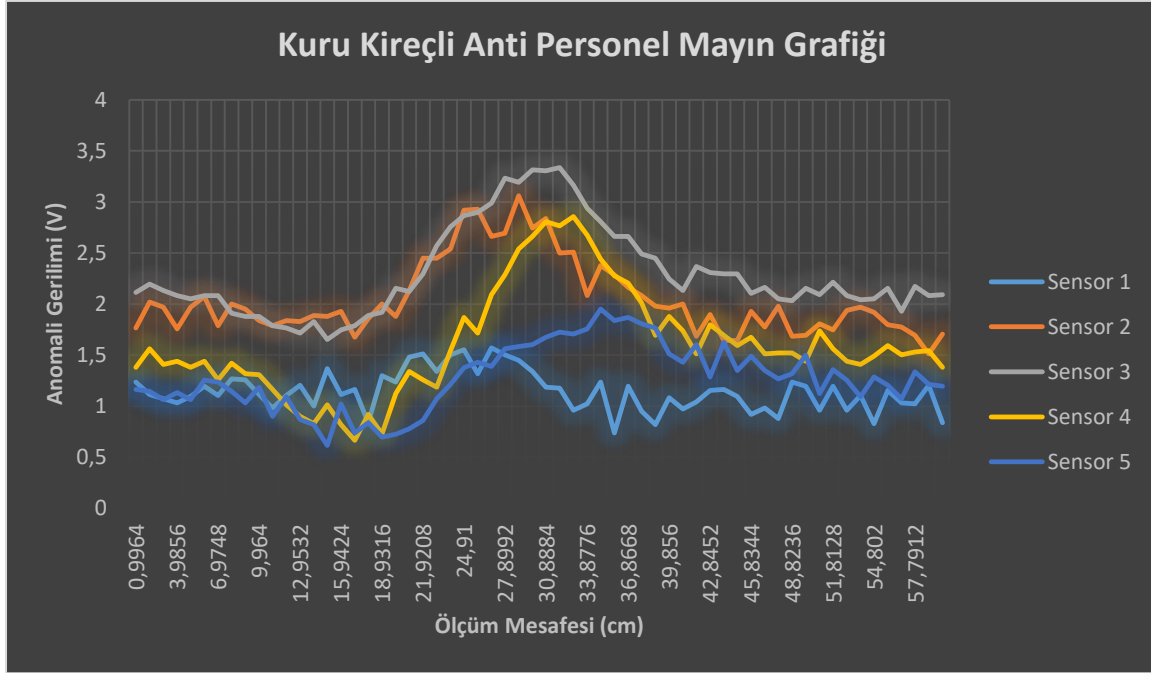
Şekil 4.35. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 2 ve 3 numaralı sensörlerde pozitif yönde belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

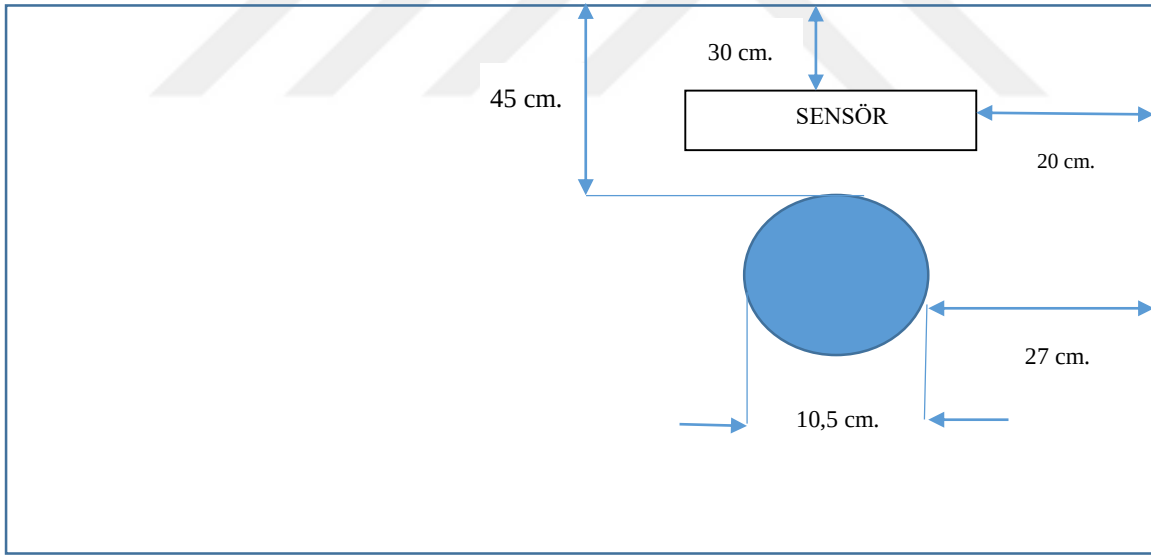
Şekil 4.34'e bakıldığında 2 numaralı sensorun 24,91 - 34,874 cm. aralığında anomali gerilimi 2,3573 - 2,2860 V.luk, 3 numaralı sensorun 23,9136 - 29,8924 cm. aralığında anomali gerilimi 2,4595 - 2,8246 V.luk, değişim göstermektedir. Şekil 4.34'te elde edilen veriler, şekil 4.35'teki Kuru Kireçli Toprak Altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kireçli Toprak altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.10. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Kireçli Toprağın içine Metal Kılıf Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.36'da, Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu şekil 4.37'de görülmektedir.



Şekil 4.36. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



Şekil 4.37. Kuru kireçli toprak altında metal kılıf anti personel mayının deney setindeki konumu

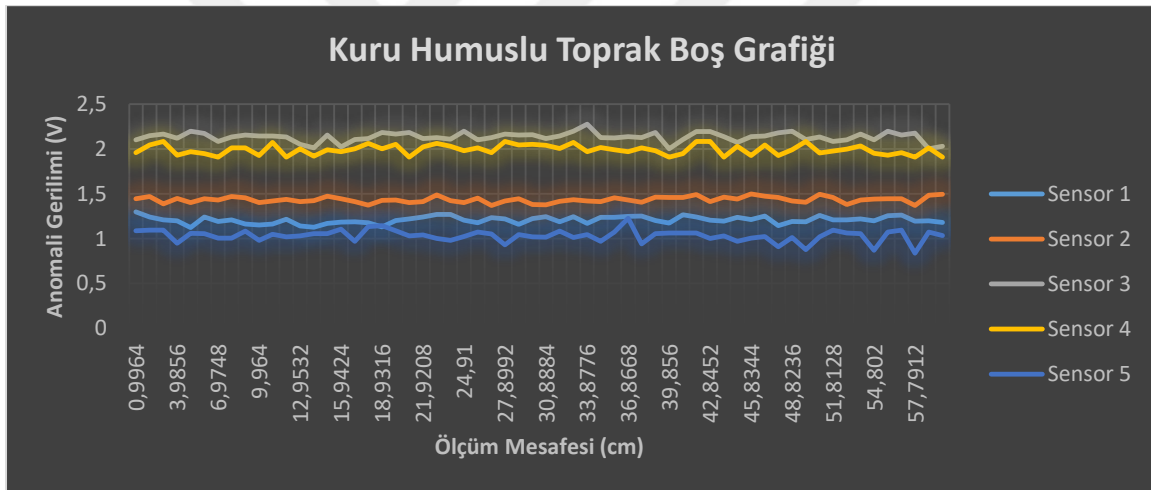
Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 2,3,4,5 numaralı sensorlarda pozitif yönde belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

Şekil 4.36'ya bakıldığında 2 numaralı sensorun 20,9244 - 37,8632 cm. aralığında anomali gerilimi 2,1232 - 3,1933 V.luk, 3 numaralı sensorun 19,928 - 44,838 cm. aralığında

anomali gerilimi 2,1232 - 3,3360 V.luk, 4 numaralı sensorun 23,9136 - 40,8524 cm. aralığında anomali gerilimi 2,5423 - 2,8060 V.'luk, 5 numaralı sensorun 24,91 - 41,8488 cm. aralığında 17,3785 - 1,9492 V.'luk anomali gerilimi değişim göstermektedir. Şekil 4.36'da elde edilen veriler, şekil 4.37'deki Kuru Kireçli Toprak altında Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kireçli Toprak altında Metal Kılıf Anti Personel Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.11. Kuru humuslu toprak boş

Kuru Humuslu Toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu anomali gerilimleri şekil 4.38'de görülmektedir.

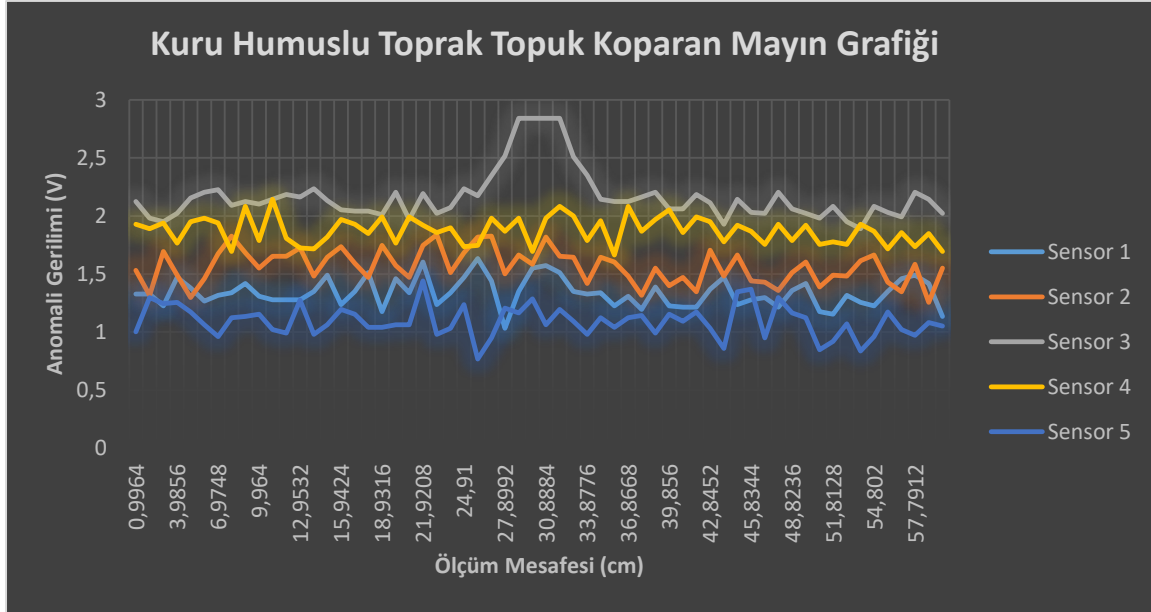


Şekil 4.38. Kuru humuslu toprağın düzenekteki 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu manyetik anomali grafiği

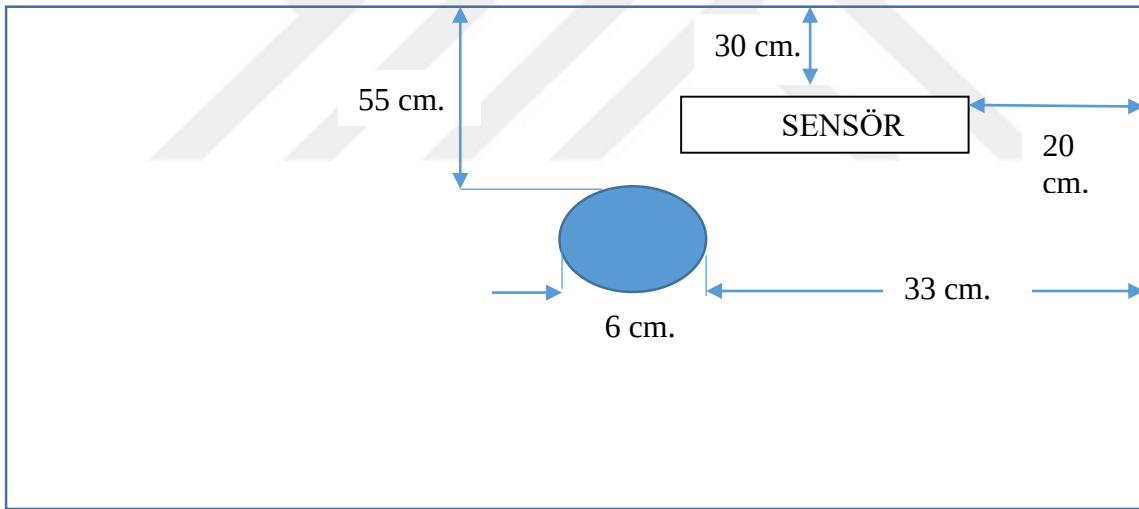
Şekil 4.38'den de görüldüğü gibi Kuru Humuslu Toprağın 5 adet FLC100 sensorunda oluşturduğu anomali gerilimleri 0-60 cm arasında ortalama 0,838407-2,27 V.'tur.

4.5.12. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprağın içine Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.39'da, Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayının deney setindeki konumu şekil 4.40'ta görülmektedir.



Şekil 4.39. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



Şekil 4.40. Kuru humuslu toprak altında plastik kılıf topuk koparan mayının deney setindeki konumu

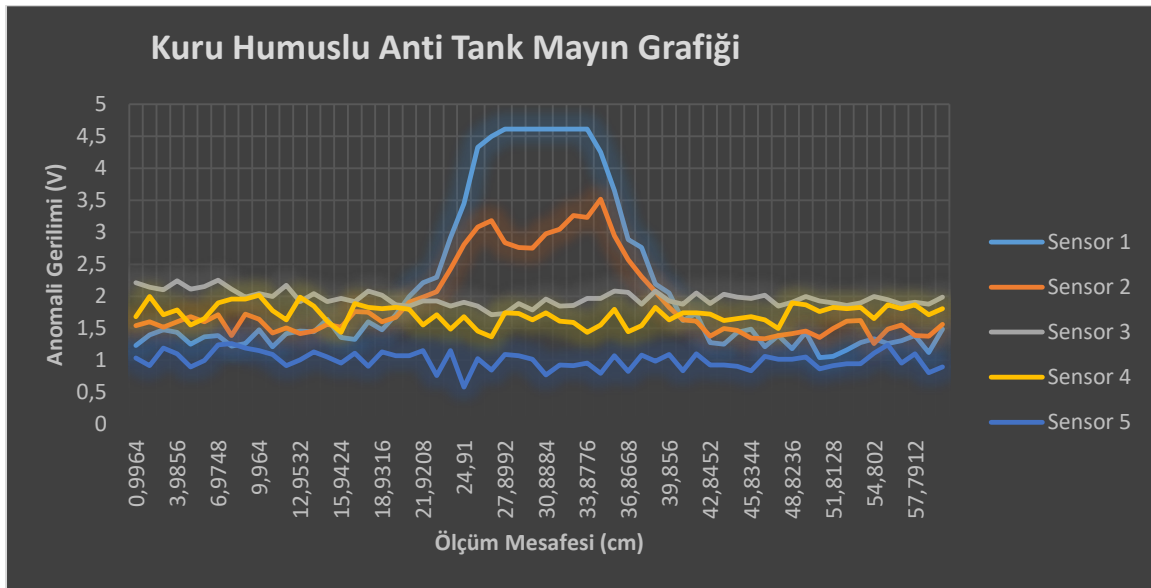
Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 4 numaralı sensorda belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

Şekil 4.39'a bakıldığında 3 numaralı sensorun 25,9064 -31,8848 cm. aralığında anomali gerilimi 2,1742 - 2,8419 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.39'da elde edilen veriler, şekil 4.40'taki Kuru Humuslu Toprak altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100

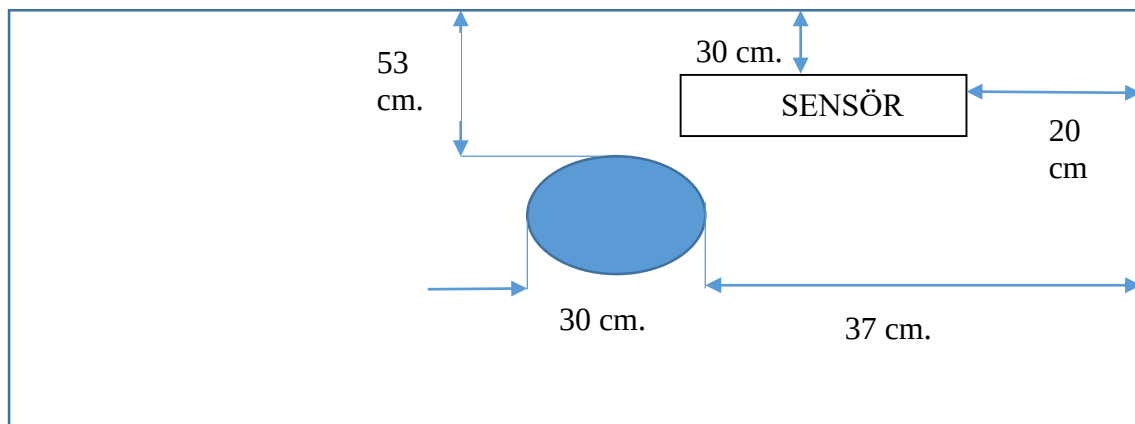
sensorunun Kuru Humuslu Toprak altında Plastik Kılıf Topuk Koparan Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.13. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayın

Düzenekteki 5 adet Flc 100 sensörün altındaki kuru humuslu toprağın içine Metal Kılıf Anti Tank Mayın yerleştirildiğinde sensörde oluşan anomali gerilimleri şekil 4.41’de, Metal Kılıf Anti Tank Mayının deney setindeki konumu şekil 4.42’de görülmektedir.



Şekil 4.41. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



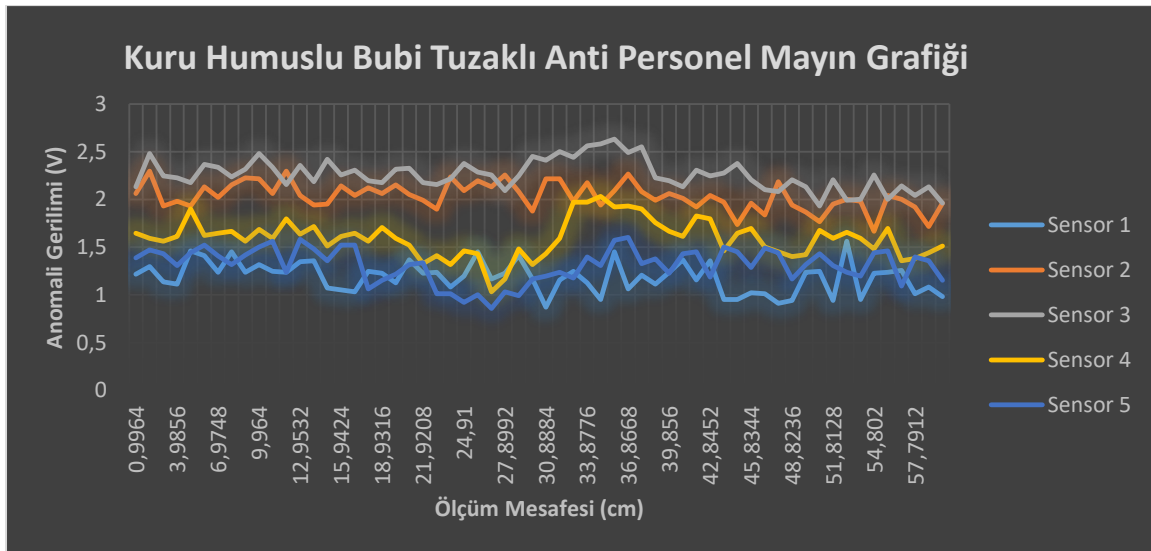
Şekil 4.42. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti tank mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 4 ve 5 numaralı sensorlarda belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

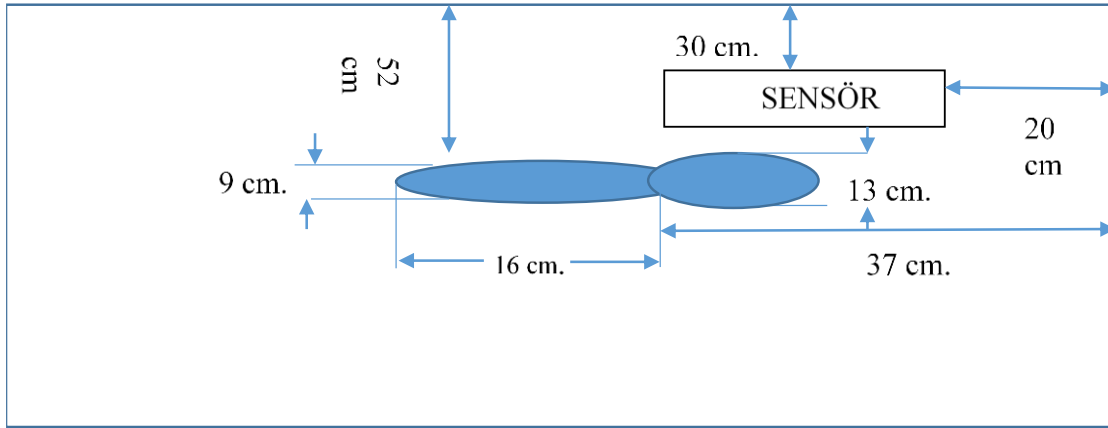
Şekil 4.41'e bakıldığında 1 numaralı sensorun 22,9172 - 33,8776 cm. aralığında anomali gerilimi 2,2148 - 4,6098 V.'luk, 2 numaralı sensorun 22,9172 - 34,874 cm. aralığında anomali gerilimi 2,0720 - 3,5193 V.luk değişim göstermektedir. Şekil 4.41'de elde edilen veriler, şekil 4.42'deki Kuru Humuslu Toprak altında Metal Kılıf Anti Tank Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Humuslu Toprak altında Metal Kılıf Anti Tank Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.14. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprağın içine Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.43'te, Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayının deney setindeki konumu şekil 4.44'te görülmektedir.



Şekil 4.43. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



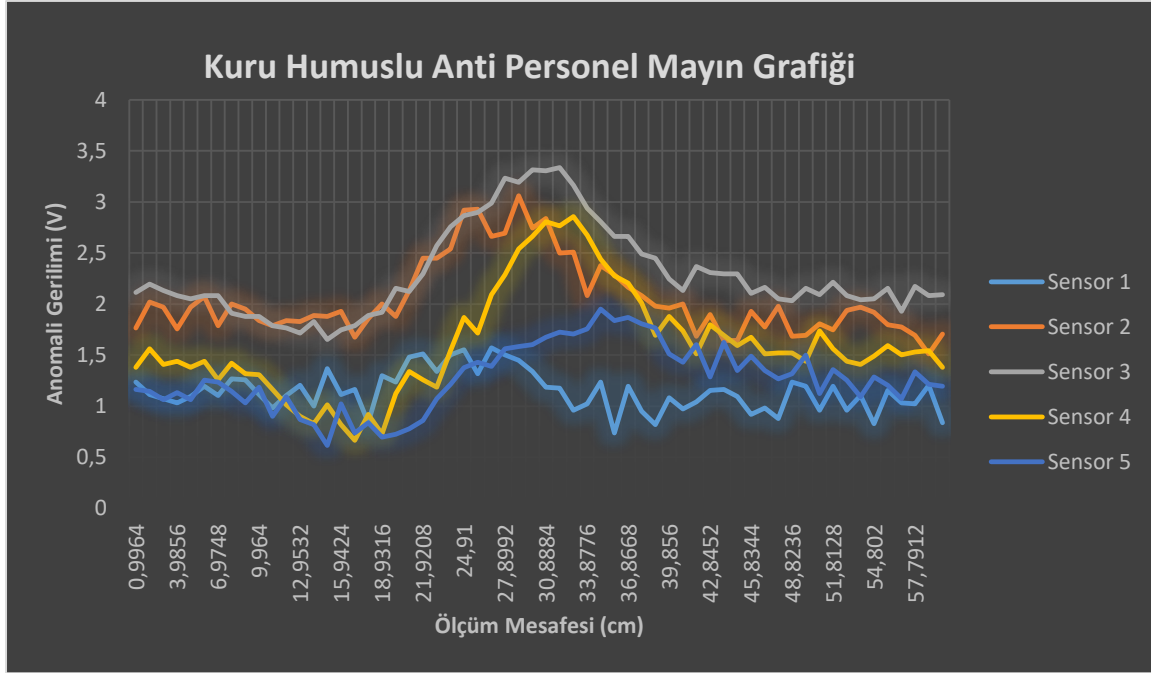
Şekil 4.44. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf bubi tuzaklı anti personel mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 2 ve 3 numaralı sensorlarda pozitif yönde belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

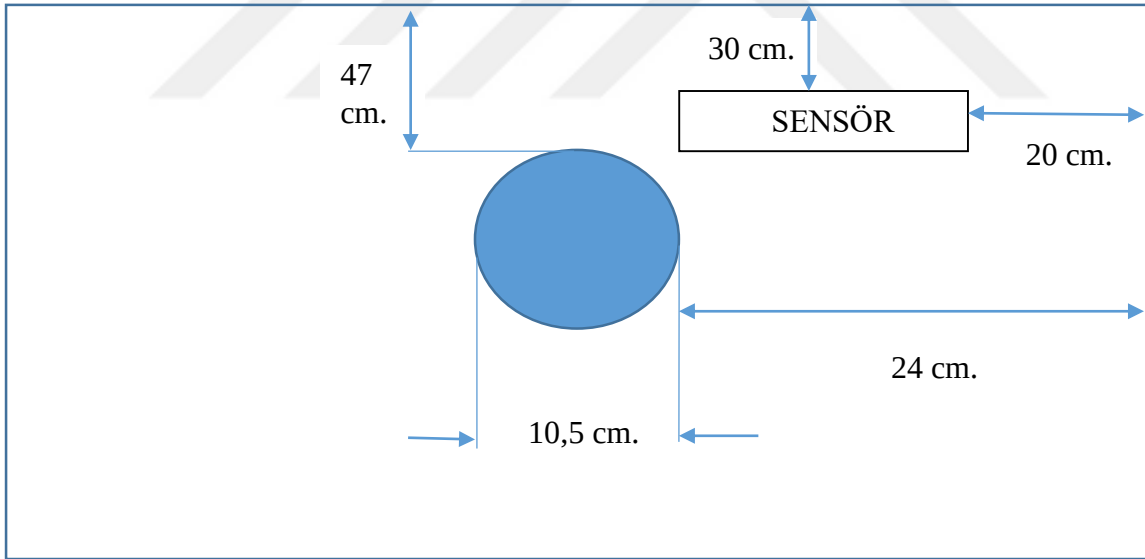
Şekil 4.43'e bakıldığında 3 numaralı sensorun 27,8992 - 35,8704 cm. aralığında anomali gerilimi 2,2455 - 2,6328 V.'luk, 4 numaralı sensorun 29,892 - 35,8704 cm. aralığında anomali gerilimi 1,3181 - 2,0315 V.'luk, değişim göstermektedir. Şekil 4.43'te elde edilen veriler, şekil 4.44'teki Kuru Humuslu Toprak altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Kireçli Toprak altında Metal Kılıf Bubi Tuzaklı Anti Personel Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.5.15. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayın

Düzenekteki 5 adet FLC100 sensorun altındaki Kuru Humuslu Toprağın içine Metal Kılıf Anti Personel Mayın yerleştirildiğinde sensorda oluşan anomali gerilimleri şekil 4.45'te, Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu şekil 4.46'da görülmektedir.



Şekil 4.45. Kuru humuslu toprak altında metal kılıf anti personel mayının oluşturduğu manyetik anomali grafiği



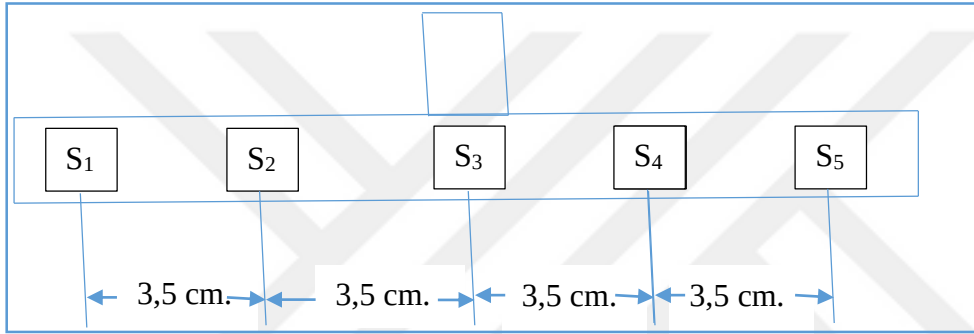
Şekil 4.46. Kuru humuslu toprak altında metal anti personel mayının deney setindeki konumu

Patlayıcının olduğu toprak bölgesine 5 adet FLC100 sensörü geldiğinde 2,3,4,5 numaralı sensorlarda pozitif yönde belirgin bir anomali gerilimi oluşmaktadır.

Şekil 4.45'e bakıldığında 2 numaralı sensorun 19,928 - 28,8956 cm. aralığında anomali gerilimi 1, 8783 - 3,0606 V.'luk, 3 numaralı sensorun 19,928 - 31,8848 cm. aralığında

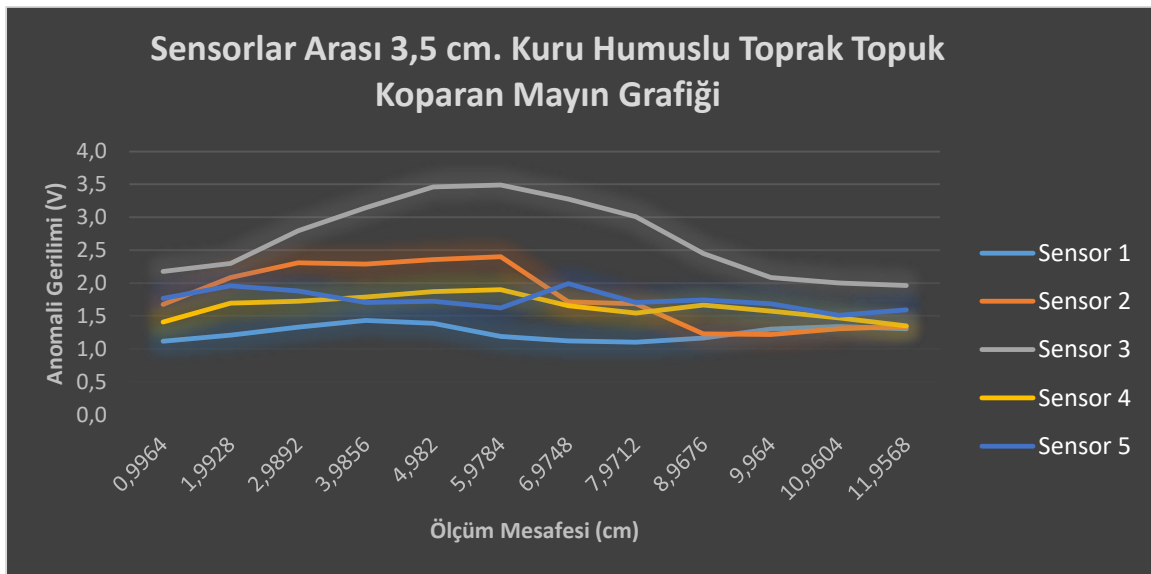
anomali gerilimi 2,1538 - 3,3360 V.'luk, 4 numaralı sensorun 25,9064 - 32,8812 cm. aralığında anomali gerilimi 1,7155 - 2,8075 V.'luk, 5 numaralı sensorun 20,9244 - 34,874 cm. aralığında 0,7772 - 1,9492 V.'luk anomali gerilimi değişim göstermektedir. Şekil 4.45'te elde edilen veriler, şekil 4.46'daki Kuru Kumlu Toprak altında Metal Kılıf Anti Personel Mayının deney setindeki konumu ile karşılaştırıldığında; her iki şeklin birbiriyle örtüştüğü ve FLC100 sensorunun Kuru Humuslu Toprak altında Metal Kılıf Anti Personel Mayını tespit ettiği değerlendirilmektedir.

4.6. Mayın Tipinin Daha Sağlıklı Tespiti İçin Önerilen Sensor Yapısı



Şekil 4.47. Mayın tipinin daha sağlıklı tespiti için önerilen sensor yapısı

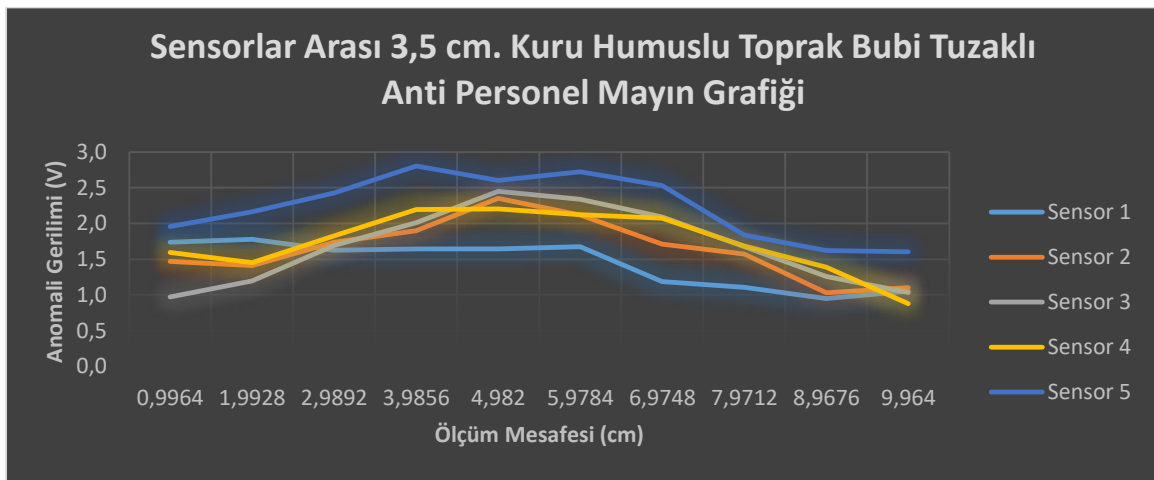
Sensörlerden herhangi iki tanesinde anomali algılanıyorsa gömülü patlayıcı topuk koparan bir patlayıcıdır. (Patlayıcının çapı 6 cm.)



Şekil 4.48. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında topuk koparan mayın grafiği

Şekil 4.48'den de görüldüğü gibi 2 ve 3 numaralı sensörler patlayıcı üzerinden geçtiğinden manyetik bozulmadan dolayı meydana gelen anomali gerilimini algılamış, diğer sensorlar manyetik bozulmayı algılayamamıştır. 2 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 5,9784 cm.'de 2,3981 V. olarak ölçülmüş, yine 3 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 5,9784 cm.'de 3,4889 V. olarak ölçülmüştür.

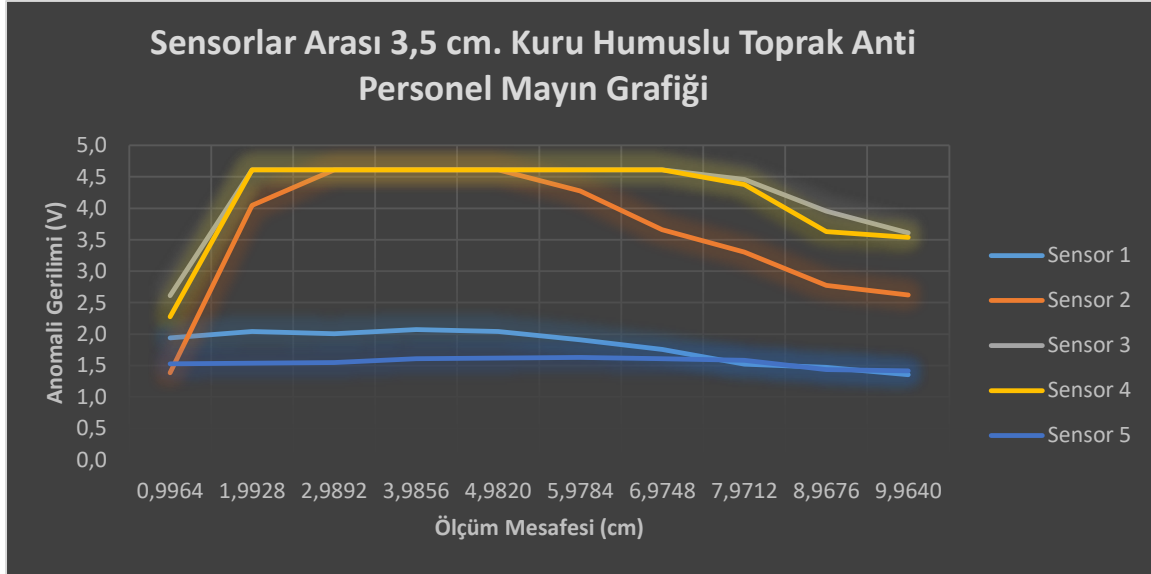
Sensordardan herhangi dört tanesinde anomali algılanıyorsa gömülü patlayıcı Bubi Tuzaklı Anti Personel bir patlayıcıdır. (Patlayıcının çapı 16 cm.)



Şekil 4.49. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında bubi tuzaklı anti personel mayın grafiği

Şekil 4.50'dan da görüldüğü gibi 2,3,4 ve 5 numaralı sensörler patlayıcı üzerinden geçtiğinden manyetik bozulmadan dolayı meydana gelen anomali gerilimini algılamış, 1 numaralı sensor manyetik bozulmayı algılayamamıştır. 2 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 4,982 cm.'de 2,3522 V. olarak, 3 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 4,9820 cm.'de 2,4492 V. olarak, 4 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 4,9820 cm.'de 2,2047 V. olarak ve 5 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi, 4,9820 cm.'de 2,8052 olarak ölçülmüştür.

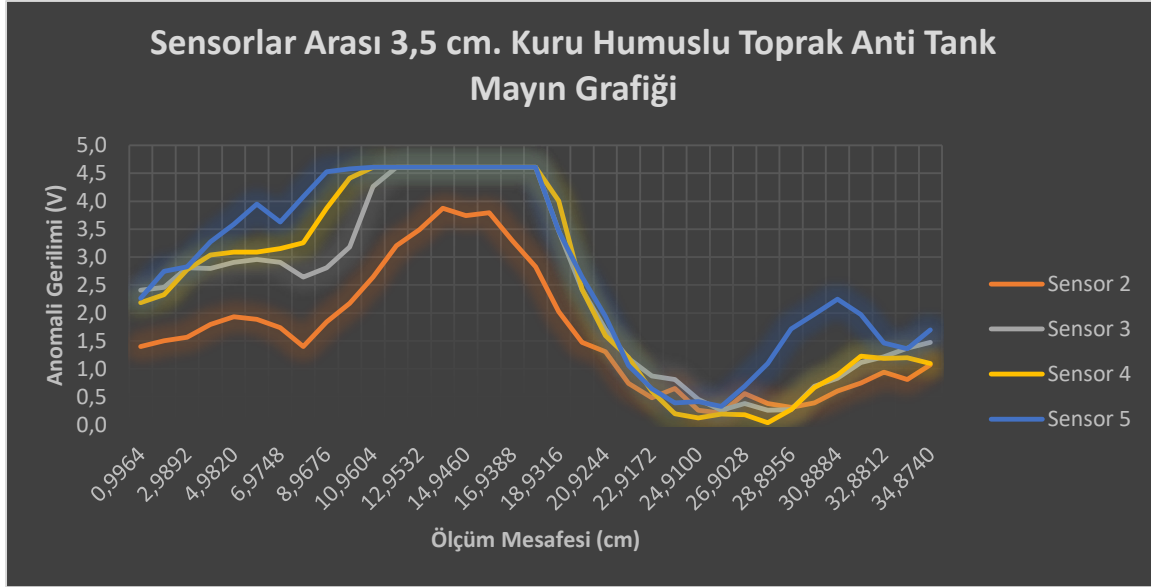
Sensordardan herhangi üç tanesinde anomali algılanıyorsa gömülü patlayıcı Anti Personel bir patlayıcıdır. (Patlayıcının çapı 10,5 cm.)



Şekil 4.50. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında anti personel mayın grafiği

Şekil 4.50'den de görüldüğü gibi 2,3 ve 4 numaralı sensörler patlayıcı üzerinden geçtiğinden manyetik bozulmadan dolayı meydana gelen anomali gerilimini algılamış, 1 ve 5 numaralı sensorlar manyetik bozulmayı algılayamamıştır. 2 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 2,9892 - 4,9820 cm. aralığında 4,6098 V. olarak, 3 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 1,9928 - 6,9748 cm. aralığında 4,6098 V. olarak, 4 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 1,9928 - 6,9748 cm. aralığında 4,6100 V. olarak ölçülmüştür.

Sensordardan beş tanesinde anomali algılanıyorsa gömülü patlayıcı Anti Tank bir patlayıcıdır. (Patlayıcının çapı 30 cm.)



Şekil 4.51. Sensorlar arası 3,5 cm. iken kuru humuslu toprak altında anti tank mayın grafiği

Şekil 4.51'den de görüldüğü gibi 1,2,3,4 ve 5 numaralı sensörler patlayıcı üzerinden geçtiğinden manyetik bozulmadan dolayı meydana gelen anomali gerilimini algılamıştır. 1 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 13,9496 cm.'de 3,0199 V. olarak, 2 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 13,9496 cm.'de 3,8760 V. olarak, 3 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 10,9604 - 17,9352 cm.aralığında 4,6100 V. olarak, 4 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 9,9640 - 17,9352 cm. aralığında 4,6100 V. olarak, 5 numaralı sensorda en yüksek anomali gerilimi 10,9604 - 17,9352 cm. aralığında 4,6091 V. olarak ölçülmüştür.

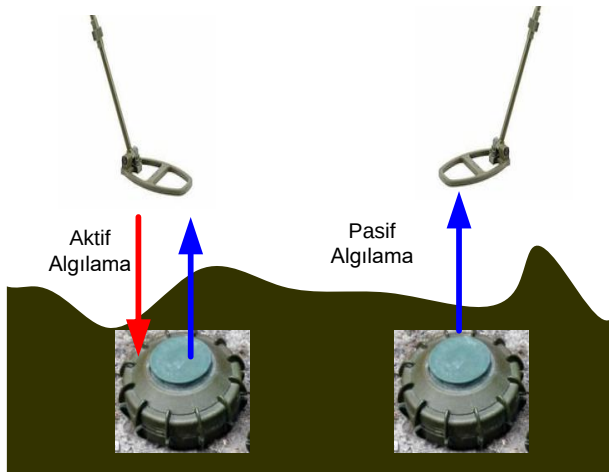
Sonuç olarak; önerilen sensor yapısı ile mayın tipinin daha sağlıklı tespit edilebileceği yukarıda elde edilen deney sonuçlarıyla teyit edilmiştir.



5. YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI SINIFLANDIRMA MODELİ VE META-SEZGİSEL TABANLI MELEZ SINIFLANDIRMA MODELİ ÜZERİNDEN TEST VE KARŞILAŞTIRMALAR

5.1. Yöntem

Mayın tespitinde kullanılan detektörleri pasif ve aktif olarak iki kategoride sınıflandırmak mümkündür. Aktif yöntemlerde nesnelere (cisimlere) sinyal gönderilmekte ve nesnelerden yansıyan sinyalin durumuna bağlı olarak mayın tespiti yapılmaktadır (Şekil 5.1). Bu tür yöntemlerin en büyük handikapı gönderilen sinyalin mayının tetikleme mekanizmasını harekete geçirmesi ve mayını patlatmasıdır. Mayın temizleme esnasında bu sebepten kaynaklanan çok sayıda ölüm ile sonuçlanan vakalar yaşanmıştır. Pasif yöntemlerde ise mayını tetikleme gibi bir handikap söz konusu değildir. Ancak pasif yöntemler aktif yöntemler kadar uzaktan ve etkili tespit yapamamaktadırlar. Ayrıca pasif dedektörler ile mayının teşhis edilmesine yönelik etkili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu tez çalışmasında aktif yöntemlerin yarattığı tehlikeyi ortadan kaldırmak için manyetik anomaliyi, detektörün zeminden yüksekliğini ve toprak tipini esas alan pasif bir mayın algılama ve sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin bir amacı da mayın tespitinin ötesinde mayınların sınıflandırılmasını sağlamaktır. Bu amaçla mayın tespit problemi “mayın tespit ve teşhis problemi” olarak yeniden tanımlanmıştır.



Şekil 5.1. Mayın algılama yöntemleri

Mayının tespit edilmesinin de ötesinde mayın tipini teşhis edebilmek için öncelikle yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımda toprak altına gömülü cisimlerin sınıfı üç

bağımsız niteliğin/değişkenin (giriş parametreleri) durumuna bağlı olarak tanımlanmıştır. Bunlar mayının gömüldüğü toprağın tipi <S>, mayın detektörünün yerden yüksekliği <H> ve manyetik anomalinin büyüklüğüdür <V>. Manyetik anomaliyi ölçmek için fluxgate sensor kullanılmaktadır. Geliştirilen yöntem ile toprağa gömülü nesnelerin öncelikle mayın olup olmadıkları tespit edilmektedir. Mayın varlığı tespit edildiği durumda ise mayının tipi belirlenmektedir. Bu amaçla toprağa gömülü nesnelerin yarattığı manyetik anomali ölçülmekte, toprak tipi ve sensorun toprağa olan mesafesi dikkate alınarak mayınlar tespit edilmekte ve sınıflandırılmaktadır. Mayın tipinin $M_{type}=f(V, H, S)$ şeklinde üç bağımsız değişkenin durumuna bağlı olarak sınıflandırılması için modern ve etkili makine öğrenme tekniklerinden faydalanılmaktadır. Modelin geliştirilmesi için öncelikle problemin detaylı bir şekilde tanımlanması (bağımlı ve bağımsız değişkenlerin analiz edilmesi) gerekmektedir.

5.2. Problem Tanımı

Probleme ait parametreler ve bu parametrelerin veri türleri, alabilecekleri değerler ve sınırları Çizelge 5.1’de verilmektedir. Gerek çıkış voltajındaki kararlılık gerekse de pasif detektör tasarımına uygun olması sebeplerinden dolayı manyetik anomaliyi ölçmek için FLC100 tipi sensörler kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Problem parametreleri

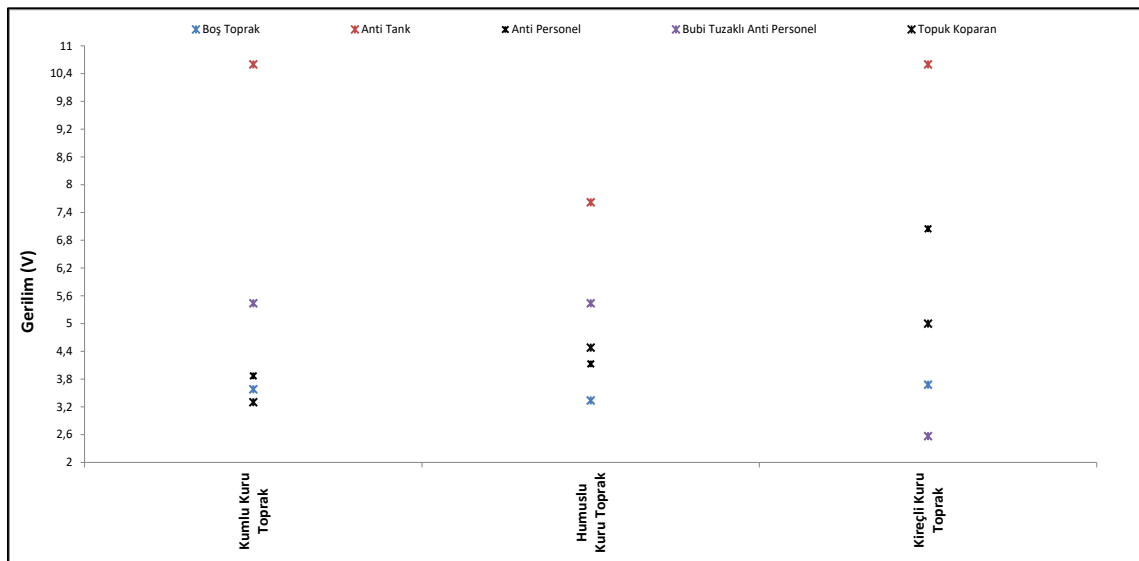
	Parametreler				
	Girişler “bağımsızdeğişkenler”			Çıkış “bağımlıdeğişken”	
	<i>Voltaj (V)</i>	<i>Yüksek (H)</i>	<i>Toprak Tipi (S)</i>	<i>Mayın Tipi (M)</i>	
Tanım	Manyetik bozulmaya bağlı olarak KMZ ya da FLCsensörünün ölçtüğü değer.	Sensörün zeminden olan yüksekliği.	Nem durumuna bağlı olarak 6 farklı toprak çeşidi kullanılmıştır.	Karada yaygın olarak karşılaşılan mayın tipleri. 5 farklı mayın sınıfı.	
Sınır Değerler/Sınıf	[0V, 10,6V]	[0 cm, 20 cm]	1 Kuru Kumlu	1	Boş
			2 Kuru Humuslu	2	Anti personel
			3 Kuru Kireçli	3	Anti Tank
			4 Nemli Kumlu	4	Bubi Tuzaklı Anti Personel
			5 Nemli Humuslu	5	Topuk koparan
			6 Nemli		

			Kireçli		
--	--	--	---------	--	--

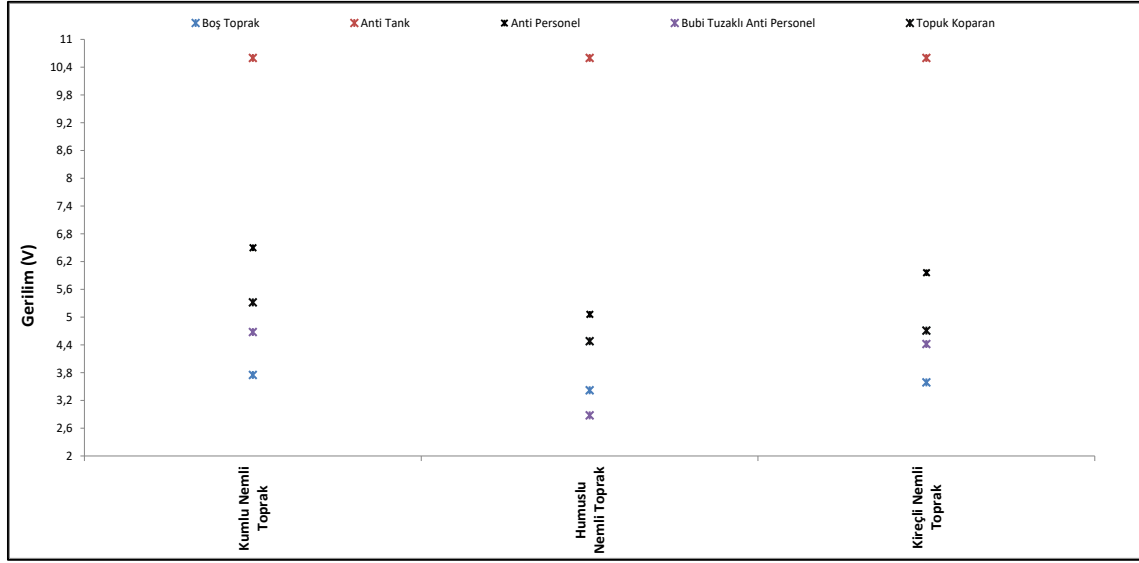
5.3. Verinin Elde Edilmesi

Çizelge 5.1’de verilen bilgilere bağlı olarak probleme ait veri örnekleri 4 boyutlu bir vektör ile $\langle V, H, S, M \rangle$ şeklinde temsil edilir. Problemi modellemek amacıyla bu 4-boyutlu problem uzayını homojen olarak örnekleyen ve yeterli sayıda veri örneğine sahip bir veri seti hazırlanmalıdır. Problem uzayının örnek bir alt kümesini elde etmek amacıyla bir deney seti (test simülâtörü) hazırlanmıştır. Test simülâtöründen elde edilen örnek veriler ile eğitim, doğrulama ve test setleri oluşturulmuştur. Deney düzeneğine ait fotoğraf Şekil 4.1’de verilmektedir.

Deney düzeneğinde FLC sensörlerini taşıyan detektör üç eksenle hareket edebilmektedir. Bu sayede detektörün zeminden yüksekliği ayarlanabilmektedir. Böylelikle toprak içine gömülü nesnelerin yarattıkları manyetik anomali büyüklüğünün yüksekliğe bağlı olarak incelenmesi mümkün olmaktadır. Önerilen yaklaşımı temel alan yapay zekâ tabanlı modeli geliştirmeden önce toprak tipinin (S), yüksekliğin (H) ve mayın tipinin (M) manyetik anomaliyle ilişkisi araştırılmıştır. Şekil 5.2 ve şekil 5.3’te dikey eksenle mayın örneklerine ait gerilim değerleri görülmektedir (Şekil 4.1’deki deney düzeneğinden elde edilen gerçek veriler). Yatay eksenle ise toprak tipi verilmektedir. Şekil 5.2 ve şekil 5.3’teki veriler altı farklı toprak tipi, beş farklı mayın tipi ve yükseklik sabitken yapılan ölçümlerden elde edilen toplam 30 veri örneğine aittir.



Şekil 5.2. Kuru toprak tiplerinin manyetik anomaliye etkisinin incelenmesi

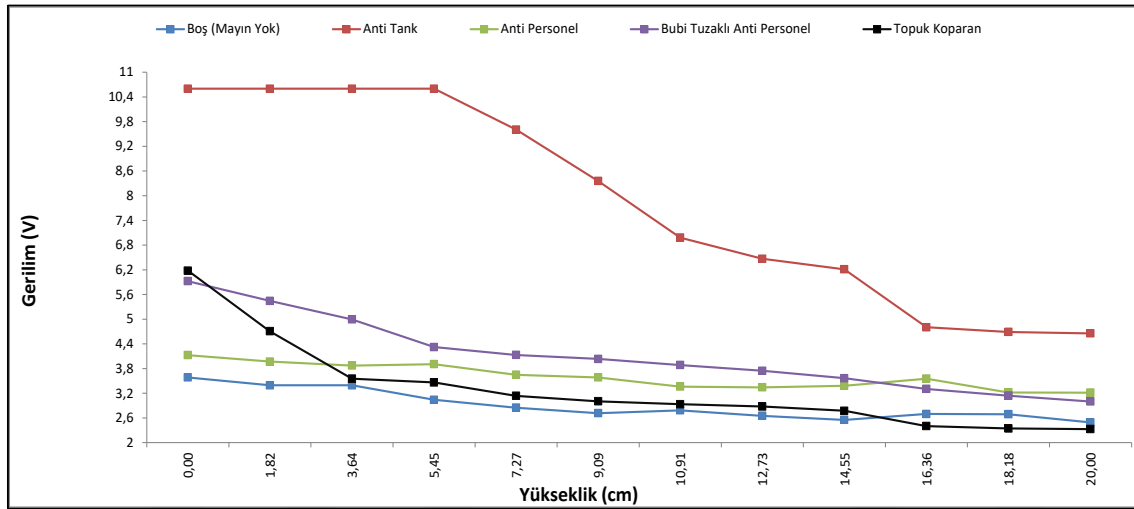


Şekil 5.3. Nemli toprak tiplerinin manyetik anomaliye etkisinin incelenmesi

Bu şartlar altında farklı toprak tiplerinin oluşturduğu anomali miktarları her bir mayın tipi için ayrı-ayrı ölçülmüştür. Böylelikle toprak tipinin manyetik anomaliyle olan ilişkisi beş farklı mayın tipi için incelenmiştir.

Şekil 5.2 ve şekil 5.3'teki kırmızı çarpı işareti anti-tank mayına aittir. Mayının gömülü olduğu toprak değiştirilerek manyetik anomali değerleri kaydedilmiştir. Örneğin kırmızı çarpı işareti anti tank mayının altı farklı toprak içerisine yerleştirilmesi ile elde edilen gerilim değerlerini göstermektedir. Anti-tank mayın için diğer mayınlar gibi toprak tipi ile manyetik anomali arasında doğrudan ve açık bir ilişki kurulamamaktadır. Bu durum anti-tank mayının toprak değişse de azami ölçülebilecek manyetik anomaliyi göstermesinden kaynaklanıyor olabilir. Çünkü anti-tank mayın diğer mayın tiplerinden çok daha büyük bir manyetik anomali göstermektedir. Bu anomali değeri toprak tipi değişse dahi sensörün çıkış voltajını maksimum değerde tutmaktadır. Diğer mayın tipleri için farklı toprak çeşitlerinde farklı anomali değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bulgular neticesinde toprak tipinin mayın sınıflandırma problemine etkisini incelemek için iki farklı modelin oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu modellerden biri toprak tipini içerirken diğerinde ise toprak tipi dikkate alınmamıştır. Şekil 5.2 ve şekil 5.3'teki verilerden elde edilen bir diğer bilgi ise anomali büyüklüğünün mayın tipine bağlı olarak değiştiğidir. Bu durum beş farklı renkte verilen mayın tipleri için elde edilen grafiklerden açıkça görülmektedir.

Toprak tipinden sonra yüksekliğin (H) manyetik anomaliye etkisi incelenmiştir. Bir başka deyişle FLC sensörünün farklı yüksekliklerden manyetik anomaliyi ölçme kapasitesi/yeteneği incelenmiştir. Ayrıca mayın tipinin manyetik anomali ile ilişkisi araştırılmıştır. Bunun için toprak tipi sabit tutulmuş ve farklı yükseklik değerlerine bağlı olarak sensörden elde edilen manyetik anomali değeri her bir mayın tipi için ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Şekil 5.4'te yatay eksen yüksekliği gösterirken dikey eksen de sensörün çıkış voltajını göstermektedir.

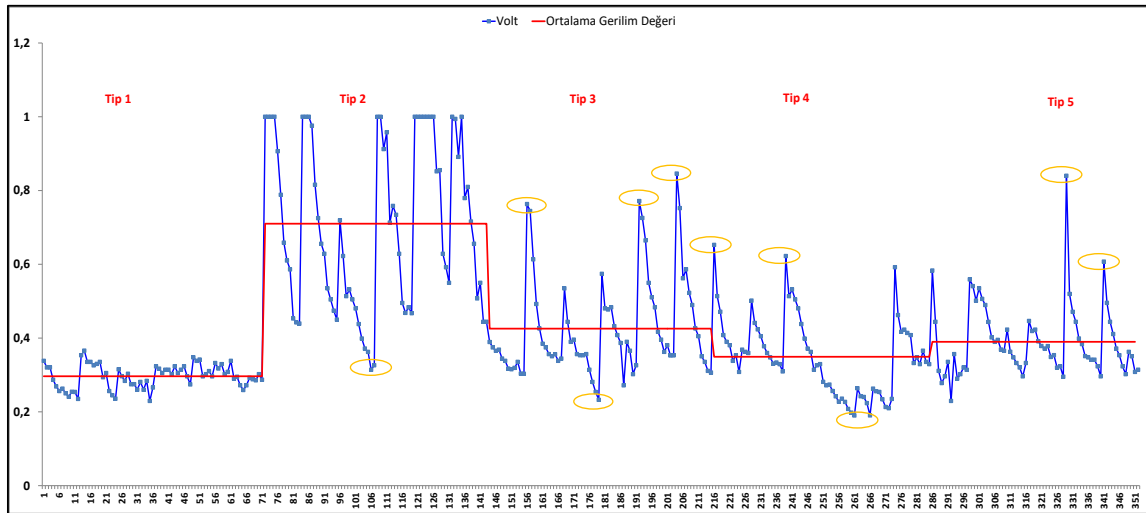


Şekil 5.4. Yüksekliğin manyetik anomaliye etkisi

Şekil 5.4'te verilen farklı yükseklik değerleri için sensör çıkışındaki voltaj değeri anlaşılabilir ve açık bir değişim göstermektedir. Dolayısıyla FLC sensörünün seçilen yükseklik aralığı için farklı sinyaller (gerilim genliği) ürettiği görülmektedir. Mayın tipi açısından bir değerlendirme yapmak için Şekil 5.4'te verilen farklı renklerdeki çizgileri takip etmek gerekir. Kırmızı renkli çizgi anti tank mayına aittir. Anti tank mayını büyük bir manyetik anomali yarattığı için sensör çıkışı 0 cm ile 4 cm arasında maksimum genlikte çıkış sinyali üretmektedir. Ayrıca bütün renklerin yani her bir mayın tipinin manyetik anomali etkisinin farklı olduğu çok açık bir şekilde görülmektedir. Aynı yükseklikteki farklı tipteki mayınlar için FLC sensörünün ürettiği sinyalin genlik değerleri farklıdır. Bu durum farklı yükseklikler için de geçerlidir. Özetle mayın tipine ve yüksekliğe bağlı olarak manyetik anomali değerinde modellenenebilir bir değişim olduğu açıktır.

5.4. Veri Setinin Hazırlanması

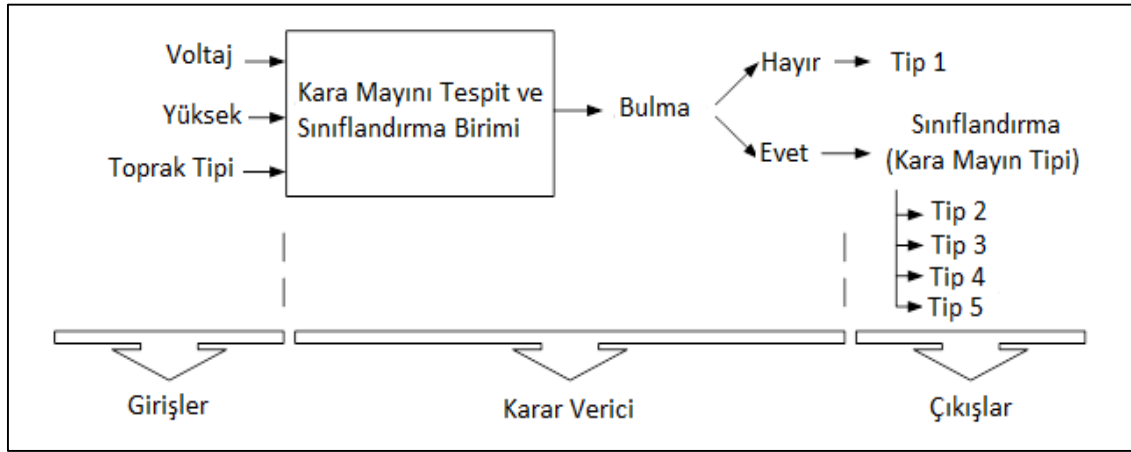
Şekil 5.5’te farklı toprak çeşitleri ve farklı yükseklik değerleri için deney düzeneğinden elde edilen veri örneklerinin manyetik anomali gerilim değeri (V) ve mayın tipi (M) bilgileri verilmektedir. Dikey ekseninde V değeri, yatay ekseninde ise veri örneği numarası verilmektedir. 352 veri örneğinden 71’i mayın olmayan durumlara aittir. Bu veri örneklerinin sınıfı “Type 1” ile etiketlenmiştir. Benzer şekilde mayın örnekleri “Type 2”, “Type 3”, “Type 4”, “Type 5” etiketleri ile sınıflandırılmaktadırlar. Şekil 5.5’te görülen kırmızı çizgiler her bir sınıfa ait veri örneklerinin yarattığı manyetik anomali değerlerinin ortalaması verilmektedir. Örneğin Type-2 ile gösterilen ve yatay ekseninde 71-143 numaraları arasındaki veri örnekleri “anti tank” mayın sınıfına aittir. Sınıfı “Type 2” olan veri örneklerinin ortalama gerilim değeri yaklaşık 0.7 V’dur. Veri örnekleri içerisinde gürültülü veriler de yer almaktadır. Veri temizleme işlemi veri madenciliğinin başarısı üzerinde etkili bir adımdır. Dolayısıyla mayın probleminin başarılı bir şekilde modellenmesi için gürültülü verilerden ayıklanması gerekir. Şekil 5.5’te turuncu renkli daireler bu gürültülü veri örneklerinin bir kısmını göstermektedir. Veri seti temizleme sürecinde toplamda 14 gürültülü veri örneği silinmiştir. Problemin modellenmesinde 338 veri örneği kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Deney düzeneğinden elde edilen veri örneklerinin mayın tipleri ve gerilim değerleri

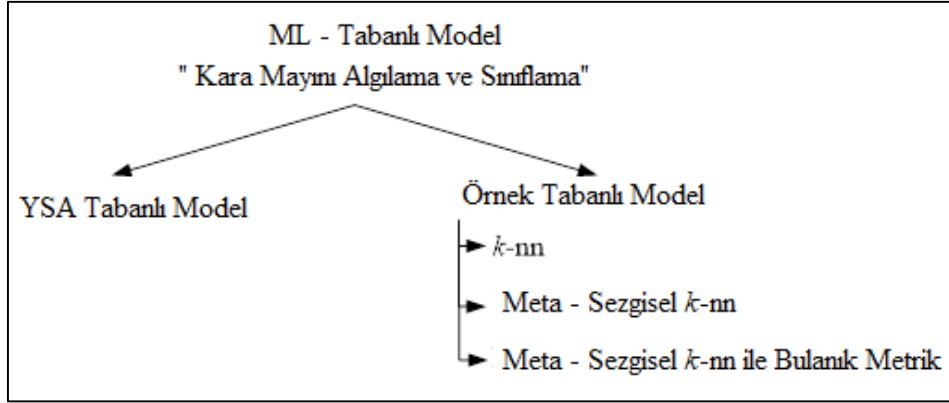
5.5. Problemin Modellenmesi

Mayın tespit ve teşhis (sınıflandırılması) sürecinin işleyişi Şekil 5.6’da verilmektedir. Bu işleyişe göre sistemde hedef parametre (bağımlı değişken) mayın tipidir. Mayın tipinin veri türü dikkate alındığında ayrık değerli (etiketli) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bir sınıflandırma problemidir. Sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan algoritmalar yalın bayes (naive bayes), destek vektör makinesi (support vector machine, SVM), karar ağaçları (decision trees), k-en yakın komşu sınıflandırma (k-nearest neighbour), yapay sinir ağıdır[120].



Şekil 5.6. Geliştirilen sistemde mayın tespit ve teşhis süreci

Alternatif yapay zekâ teknikleri arasından probleme tatbik edilebilecek sınıflandırma algoritmalarını belirlemek için bağımsız değişkenlerin veri türleri dikkate alınmalıdır. Sistemin bağımsız değişkenleri incelendiğinde ise “voltage” ve “high” parametreleri sürekli değerler alırken toprak tipi ise ayrık değerlidir. Nümerik veriler ile çalışan sınıflandırma algoritmalarını tatbik edebilmek için toprak tipini de ayrık nümerik değere dönüştürmek gerekir. Şekil 5.7’de probleme tatbik edilebilecek en modern ve etkili sınıflandırma teknikleri verilmektedir.



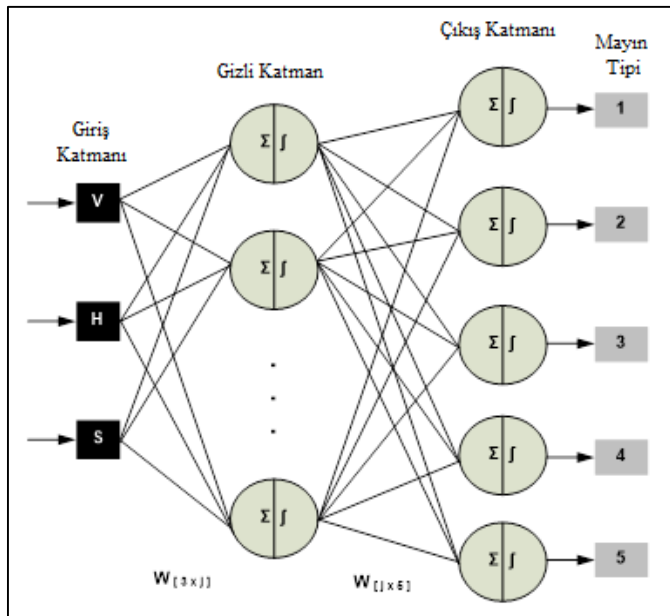
Şekil 5.7. ML-tabanlı sınıflandırma teknikleri

Şekil 5.7’de verilen yapay zekâ teknikleri arasında meta-sezgisel k -nn ile bulanık metrik son dönemlerde geliştirilmiş etkili bir melez sınıflandırma tekniğidir. Problemi modellemek için en etkili ve modern sınıflandırma teknikleri olan yapay sinir ağları ve meta-sezgisel sınıflandırıcı kullanılmıştır.

5.5.1. YSA tabanlı geliştirilmiş model

Yapay sinir ağ modeli olarak çok katmanlı, ileri beslemeli ve geri yayılımlı ağ yapısı benimsenmiştir.

3 giriş ve 5 çıkışlı bir ağ olarak tasarlanan modelin yapısı Şekil 5.8’de verilmektedir.



Şekil 5.8. Mayın sınıflandırma problemi için tasarlanan YSA modeli

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi V, H ve S girişlerinden ve beş farklı mayın tipinden oluşan YSA modelinde öğrenme gerçekleştikten sonra W-ağırlık katsayılarının optimum değerleri elde edilmektedir. Öğrenme aşamasından sonra elde edilen ağ karar verme algoritması olarak bir mikro işlemcide kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu sayede yapay zekâ-tabanlı karar algoritmasına sahip mikro işlemci ya da mikro denetleyici tabanlı bir detektör tasarımı mümkündür.

5.5.2. Örnek tabanlı modellerin geliştirilmesi

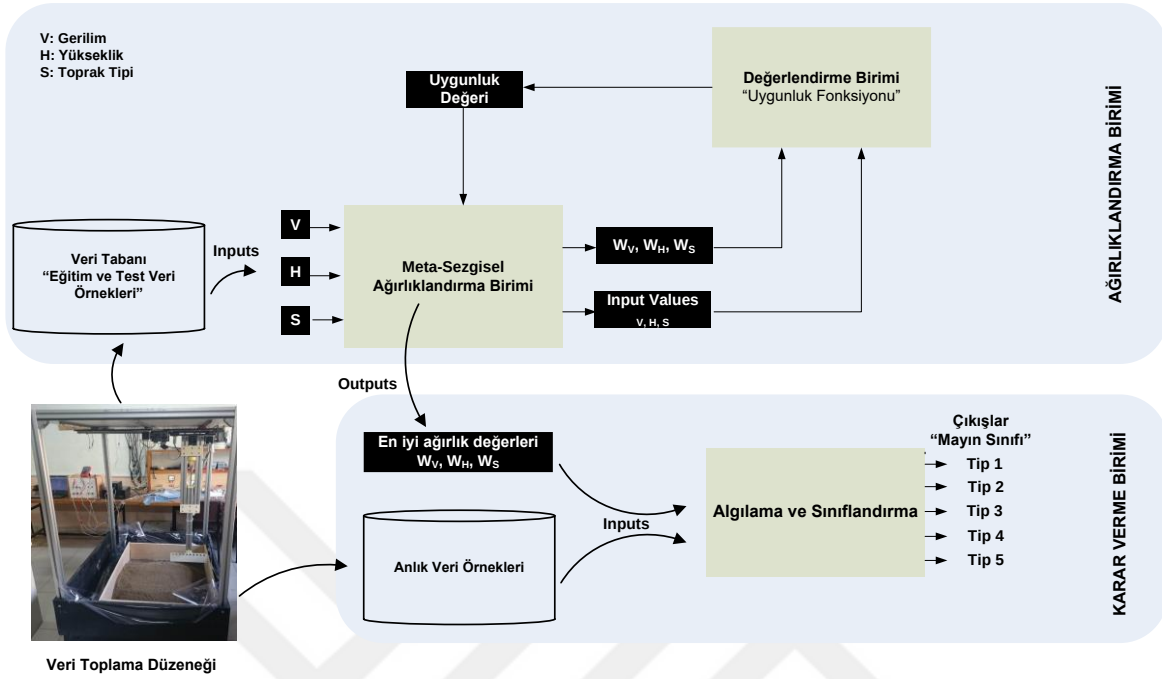
k-nn Model

k-nn örnek tabanlı bir sınıflandırma tekniğidir. Sınıflandırma başarısı üzerinde etkili olan parametreler k-komşu sayısı, uzaklık bağıntısı ve oylama yöntemidir. k-nn’in parametrelerinin haricinde probleme ait örnek veri seti de sınıflandırma performansı üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu sebeple deneysel çalışmalarda farklı k-değerleri ve uzaklık bağıntıları için modeller geliştirilmiş ve test edilmiştir. Ayrıca veri setinin problem uzayını homojen bir şekilde örnekleme çok önemlidir.

Meta-sezgisel k-nn

Meta-sezgisel sınıflandırma modeli iki temel ögeden oluşmaktadır. Bunlar ağırlıklandırma ve sınıflandırma modülleridir[120]. Ağırlıklandırma modülünün görevi probleme ait bağımsız değişkenlerin $\langle V, H, S \rangle$ bağımlı değişken $\langle M \rangle$ üzerindeki etkisini keşfetmektir[121]. Bu amaçla meta-sezgisel bir arama yöntemi kullanılarak üç giriş parametresinin hedef parametre üzerindeki etkisi, $[0,1]$ aralığında sürekli değer alan katsayılar ile $\langle W_V, W_H, W_S \rangle$ şeklinde temsil edilmektedir[122]. Bu katsayıların optimizasyonu ise sınıflandırma performansını maksimum yapan değerlerin bulunması ile gerçekleştirilir. Sınıflandırma biriminin görevi ise problemin giriş parametreleri olan $\langle V, H, S \rangle$ nin değerlerine bağlı olarak M’nin ait olduğu sınıfı tahmin etmektir[123-124]. Bu birimin (meta-sezgisel ağırlıklandırma birimi) tasarımı genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma birimi ise k-nn algoritması ile tasarlanmıştır.

Meta-sezgisel birim: ağırlık keşif süreci (optimizasyon)



Şekil 5.9. Parametre optimizasyonu ve sınıflandırma süreci

Meta-sezgisel algoritmalar bir problemin optimum çözümünü bulmak için birden fazla çözüm adayı ile paralel arama yaparlar. Buna göre bu optimizasyon probleminde maliyet fonksiyonu k-nearest neighbor classifier (fk-nn) dır. f k-nn fonksiyonu probleme ait bağımsız değişkenlere $\langle V, H, S \rangle$ bağlı olarak verinin sınıfını belirlemektedir. Geliştirilen deney düzeneğinden elde edilen ölçüm sonucu bir q - gözlemi ile temsil edilsin. Bu q - gözleminin sınıfı eşitlik-1’de verildiği gibi elde edilir.

$$q_M = f_{k-nn}(W_V * V, W_H * H, W_S * S) \quad (5.1)$$

Eşitlik 1’de verilen $\langle W_V, W_H, W_S \rangle$ ağırlık katsayıları f_{k-nn} sınıflandırıcının performansını azami yapan optimum değerlerdir. Bu katsayıların optimum değerleri Algoritma 1’de verilen sezgisel arama süreci sonunda genetik algoritma ile bulunmaktadır.

Çizelge 5.2. Algoritma 1. Optimizasyon sürecinin sözde kodu

Algoritma 1. Optimizasyon sürecinin sözde kodu
<i>Parametre ve operatörlerin ayarlanması, maliyet fonksiyonunun tanımlanması</i> <i>Popülasyondaki (P) çözüm adaylarının sayısının (n) belirlenmesi</i> Başla Populasyon Oluştur (n-adet çözüm adayına sahip P-topluluğu) <i>loopi=1:n (genetik yaşam döngüsü)</i> Uygunluk değerini hesapla ($\forall_{i=1}^n P[i]$ bireyinin) if (sonlandırma) Ppopülasyonundaki en iyi bireyi kaydet<w _v , w _H , w _S >ve çık else Ebeveyn seçimi Çaprazlama Mutasyon Güncelleme endloop

Problem parametreleri dikkate alındığında genetik algoritmada bir çözüm adayı-p aşağıdaki gibi üç adet gen ve bir adet de uygunluk değeri (fitness value, ‘u’) bilgisi ile temsil edilir.

$$P \equiv [W_v, W_H, W_S], [u] \quad (5.2)$$

Bir çözüm adayının uygunluk değeri ise sınıflandırma performansına bağlıdır. Sınıflandırma performansını ölçmek için ise “test gözlemlerinden” oluşan bir veri seti kullanılmaktadır. Test gözlemlerinin sınıflarını tahmin etmek için Eşitlik 1’de verilen k-en yakın komşu algoritması kullanılmaktadır. Buna göre bir test veri setinde k-adet gözlem bulunduğu kabul edilirse, herhangi bir çözüm adayının uygunluk değeri eşitlik 3’de verildiği gibi hesaplanır.

$$u = \frac{\text{Sınıflı doğru tahmin edilen gözlemlerin sayısı}}{k} \times 100 \quad (5.3)$$

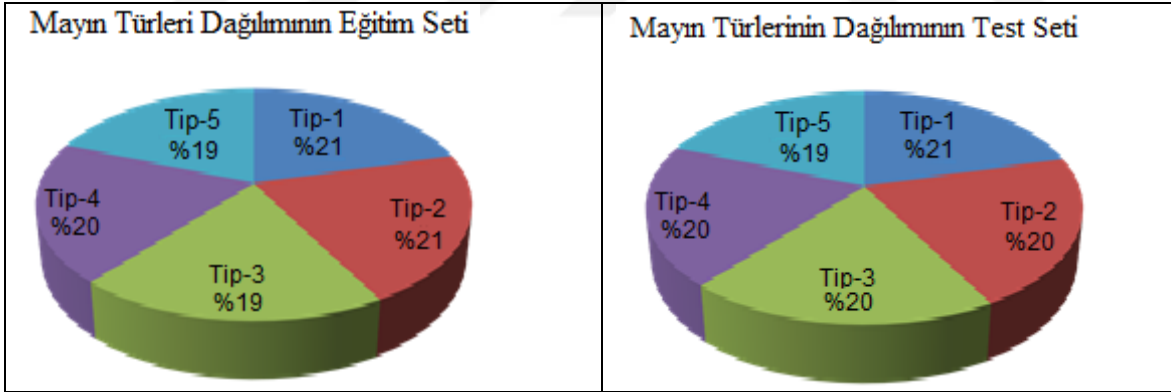
Yukarıda verilen bilgilere bağlı olarak n-adet çözüm adayından oluşan bir popülasyon Eşitlik 4’de verildiği gibi gösterilebilir.

$$P_{[i]} \equiv \begin{bmatrix} W_{V(1,1)} & W_{H(1,2)} & W_{S(1,3)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{V(i,1)} & W_{H(i,2)} & W_{S(i,3)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_i \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Optimum ağırlıkların elde edilme süreci P-popülasyonunun Algoritma-1 de verildiği gibi genetik yaşam döngüsünden geçmesi ile elde edilir. Bu süreç sonunda P-çözüm adayları seti içerisinde en iyi olan birey kayıt altına alınır ve k-nn sınıflandırma sürecinde kullanılır.

5.6. Deneysel Çalışmalar: Kara Mayını Algılama ve Sınıflandırma Performansları

Deneysel çalışmalarda 338 veri örneğinden rastgele örnekleme yapılarak (kullanılan yapay zekâ modelleme araçlarının ilgili modülleri tarafından otomatik gerçekleştirilen bir işlem) eğitim ve test setleri hazırlanmıştır. Buna göre 338 veri örneğinin yaklaşık 3'te 2'si eğitim geri kalanı ise test amaçlı olarak rastgele ayrılmıştır. Buna göre eğitim ve test veri setlerindeki kara mayını örneklerinin sınıflarına göre dağılımları Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.10. Deneysel çalışmalar için ayrılan eğitim ve test örneklerinin sınıflarına göre dağılımları

Deneysel çalışmalar toplamda 3 farklı makine öğrenme tekniği ile modelleme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar YSA, klasik k-nn ve meta-sezgisel k-nn teknikleridir. Deneysel çalışmalarda esas olarak iki karar modeli geliştirilmiştir. Bunlar mayın tespit modeli ve mayın teşhis modelidir. Buna göre üç farklı tekniğin her biri ile iki karar modeli de geliştirilerek en uygun tespit ve teşhis modelinin hangisi olduğu araştırılmıştır. Tespit modeli sensörlerden alınan <V, H, S> verilerinin değerlerine bağlı olarak mayın olup olmadığına karar vermektedir. Bu durumda Type 1 mayın olmayan durumu, Type2,3,4 ve

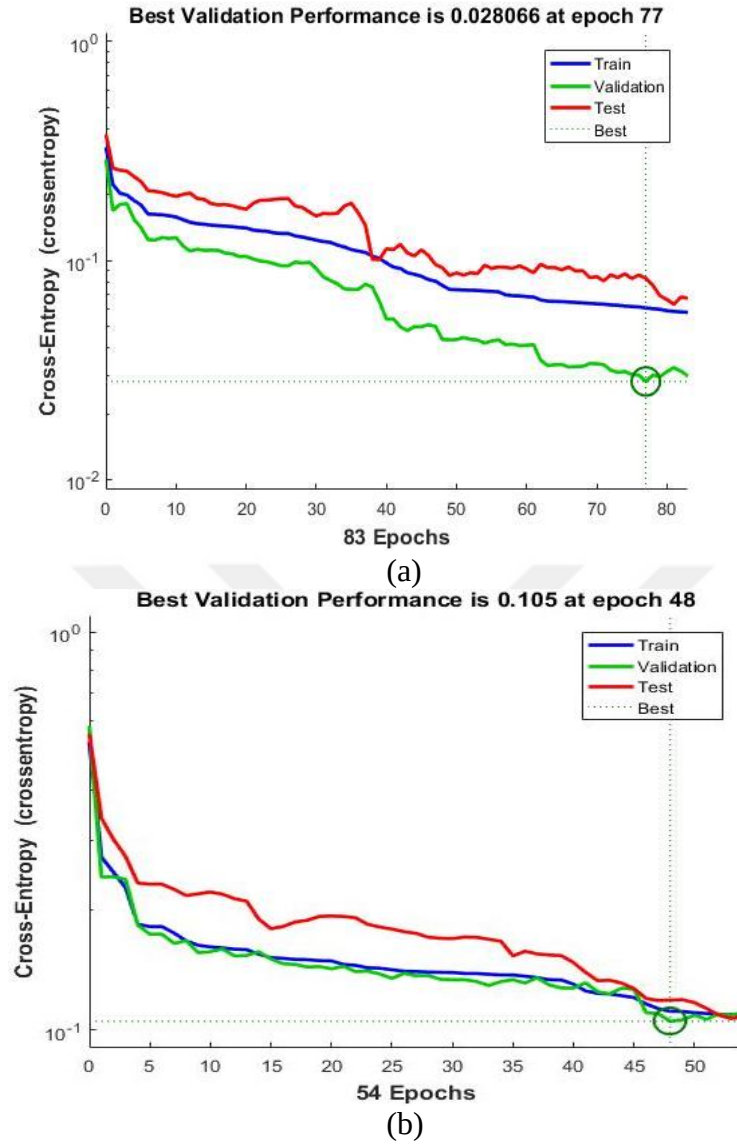
5 ise mayın olan durumları temsil etmektedir. Yani Şekil 5.10.'daki dağılıma göre tespit modeline ait eğitim ve test setlerindeki veri örneklerinin %21'i mayınsız durumlara ait iken %79'u ise mayınlı durumlara aittir. Devam eden bölümde sırasıyla YSA, k-nn ve meta-sezgisel k-nn tabanlı tespit ve teşhis modelleri olmak üzere altı farklı modele ait performanslar verilmektedir.

5.7. YSA Tabanlı Modelin Performansı

Bu alt bölümde tezde önerilen yaklaşıma uygun olarak YSA-tabanlı modeller yaratılmaktadır. Yaratılan modellerin performansları test edilmektedir. Bu amaçla ilk olarak mayın tespiti için iki farklı YSA modeli yaratılmaktadır. Bunlar toprak tipinin dikkate alındığı tespit modeli olan $M_{sense_1}=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ ve toprak tipinin ihmal edildiği $M_{sense_2}=f_{ANN_detect}(V, H)$ modelidir. Bu iki modelin performansına bağlı olarak toprak tipinin mayın tespitindeki etkisi ortaya çıkarılacaktır. İkinci çalışma mayın tipini belirlemek için yapılmaktadır. Bu amaçla iki farklı YSA-tabanlı sınıflandırma modeli oluşturulmuştur. Bunların ilki toprak tipinin dikkate alındığı sınıflandırma modeli olan $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ ve toprak tipinin ihmal edildiği $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H)$ modelidir. Bu iki modelin performansına bağlı olarak sınıflandırma modelinde toprak tipinin yer alıp almayacağına karar verilmektedir.

5.7.1. YSA tabanlı modellerin algılama performansı

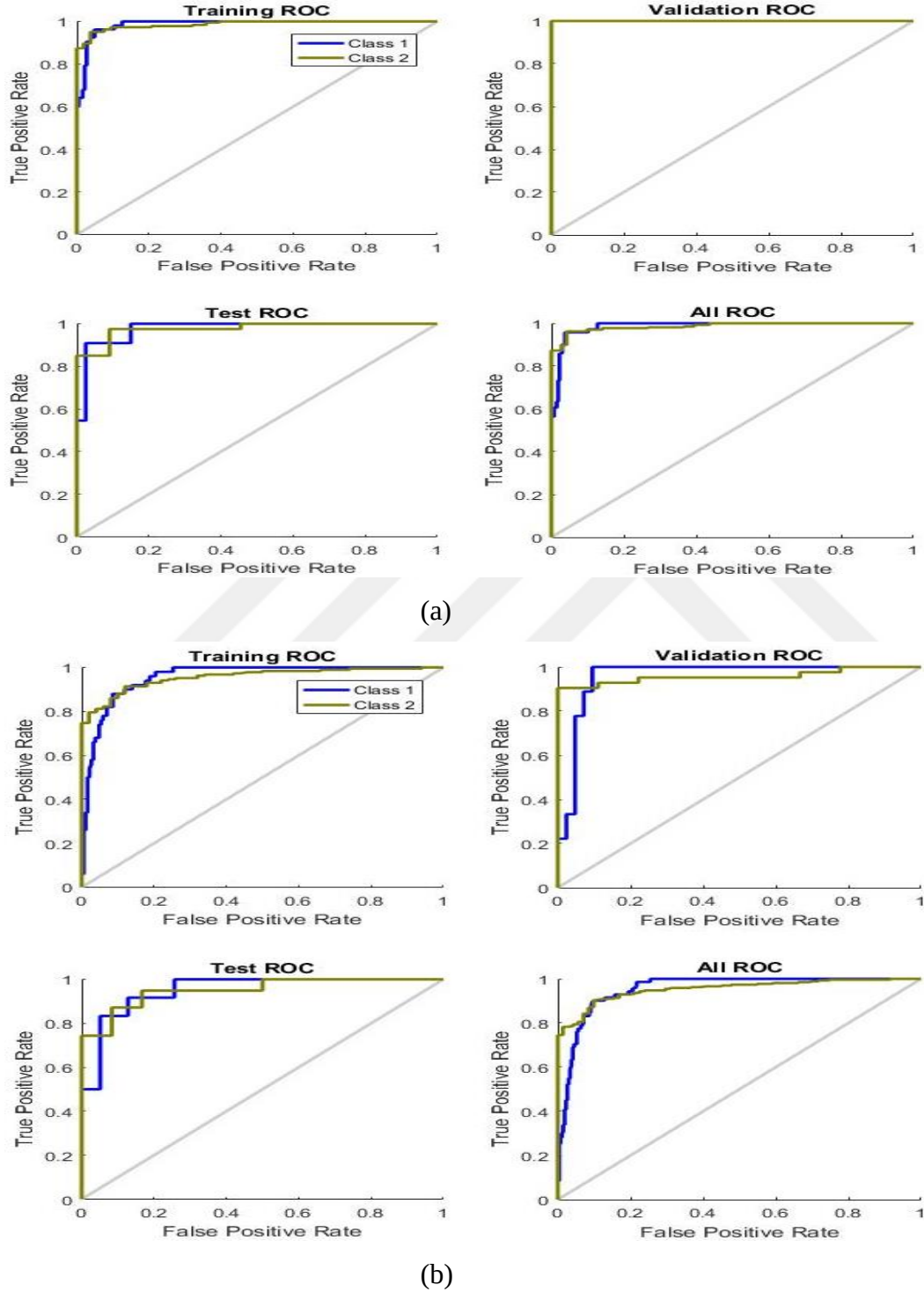
Bu bölümde toprak tipinin dikkate alındığı tespit modeli olan $M_{sense_1}=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ ve toprak tipinin ihmal edildiği $M_{sense_2}=f_{ANN_detect}(V, H)$ modeli yaratılmaktadır. Her iki modelin performansları karşılaştırmalı olarak verilmektedir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. (a) $M_{\text{sense}_1} = f_{\text{ANN_detect}}(V, H, S)$ M_{sense_1} modeli (b) $M_{\text{sense}_2} = f_{\text{ANN_detect}}(V, H)$ M_{sense_2} modeline ait ANN-tabanlı mayın tespit eğitim performansları

Şekil 5.11’de M_{sense_1} ve M_{sense_2} modellerine ait eğitim performans eğrileri verilmektedir. Solda verilen grafikte mayın tespiti V, H ve S giriş parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu modelde öğrenme süreci yaklaşık 80 epoch boyunca etkili bir şekilde devam etmiştir. Corss-entropy değeri de 10^{-2} ’e yakın bir değere kadar düşürülmüştür. Sağda verilen grafikte ise mayın tespitinde toprak tipi dikkate alınmamıştır. Bu durumda öğrenme süreci yaklaşık 50 epoch kadar devam etmiştir. Cross-entropy değeri ise ancak 10^{-1} ’e düşürülmüştür. Bu iki grafikten elde edilen bilgi toprak tipinin mayın tespitinde etkili olduğu yönündedir. Bu etkinin dikkate alınma durumu hakkında karar vermek için receiver operating characteristic (ROC curve) ve confusion matrix

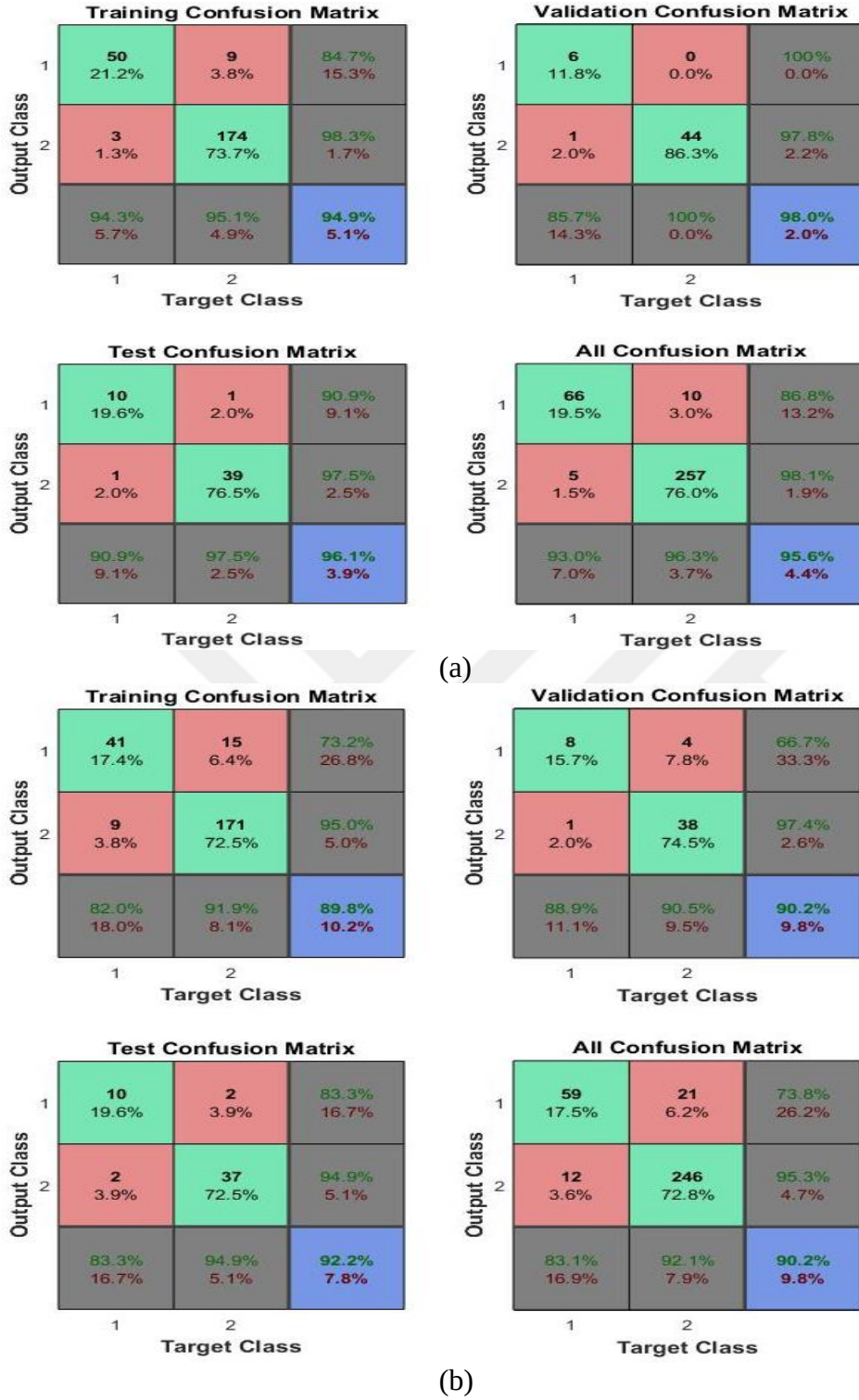
incelenecektir. Şekil 5.12’de $M_{\text{sense_1}}$ ve $M_{\text{sense_2}}$ modellerinin oluşturulmasında elde edilen ROC eğrileri verilmektedir.



Şekil 5.12. (a) $M_{\text{sense_1}} = f_{\text{ANN_detect}}(V, H, S)$ $M_{\text{sense_1}}$ modeli (b) $M_{\text{sense_2}} = f_{\text{ANN_detect}}(V, H)$ $M_{\text{class_2}}$ modeline ait ROC eğrileri

ROC eğrisinin altında kalan eğrinin alanı ilgili modellerin ayırt etme ya da ayırma doğruluğunu göstermektedir. Bu alan büyüdükçe 1'e yaklaşır. Sınıflandırma problemlerinde geliştirilen modelin ROC eğrisinin 1'e en yakın değere sahip olması istenir. Şekil 5.12'de görülen ROC eğrilerine göre $Msense_1=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ modelinin doğruluk oranı daha yüksektir. Bu bilgi de toprak tipinin mayın tespitinde dikkate alınması gerektiğini desteklemektedir.



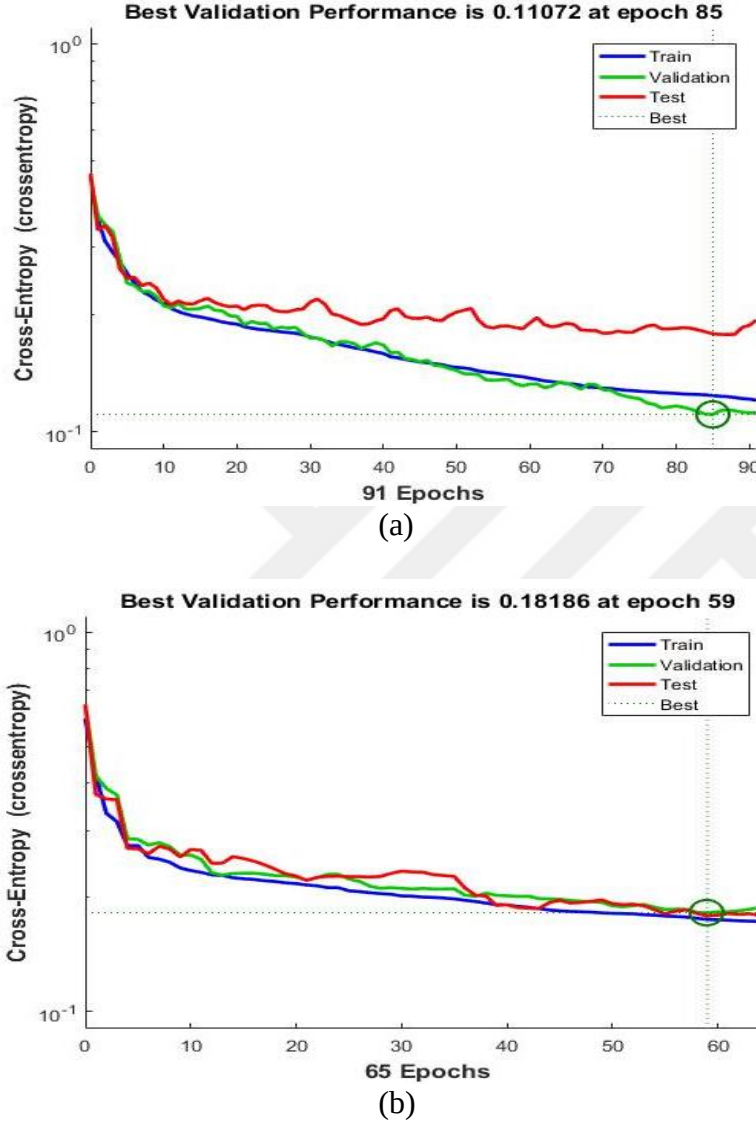


Şekil 5.13. (a) $M_{sense_1}=f_{ANN_detect}(V, H, S)$ M_{sense_1} modeli (b) $M_{sense_2}=f_{ANN_detect}(V, H)$ M_{sense_2} modeline ait Karşılaştırma Matrisi

M_{sense_1} ve M_{sense_2} modellerinin mayın tespit performanslarını en açık şekilde ve sayısal olarak ortaya çıkaran bilgi Şekil 5.14'te verilen karşılaştırma matrisleridir. Bu karşılaştırma matrislerine göre M_{sense_1} ve M_{sense_2} modelleri arasında mayın tespitinde yaklaşık 5%'lik bir fark vardır. M_{sense_1} 'e ait deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde

mayın tespiti için yaklaşık %96 doğruluk oranıyla başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

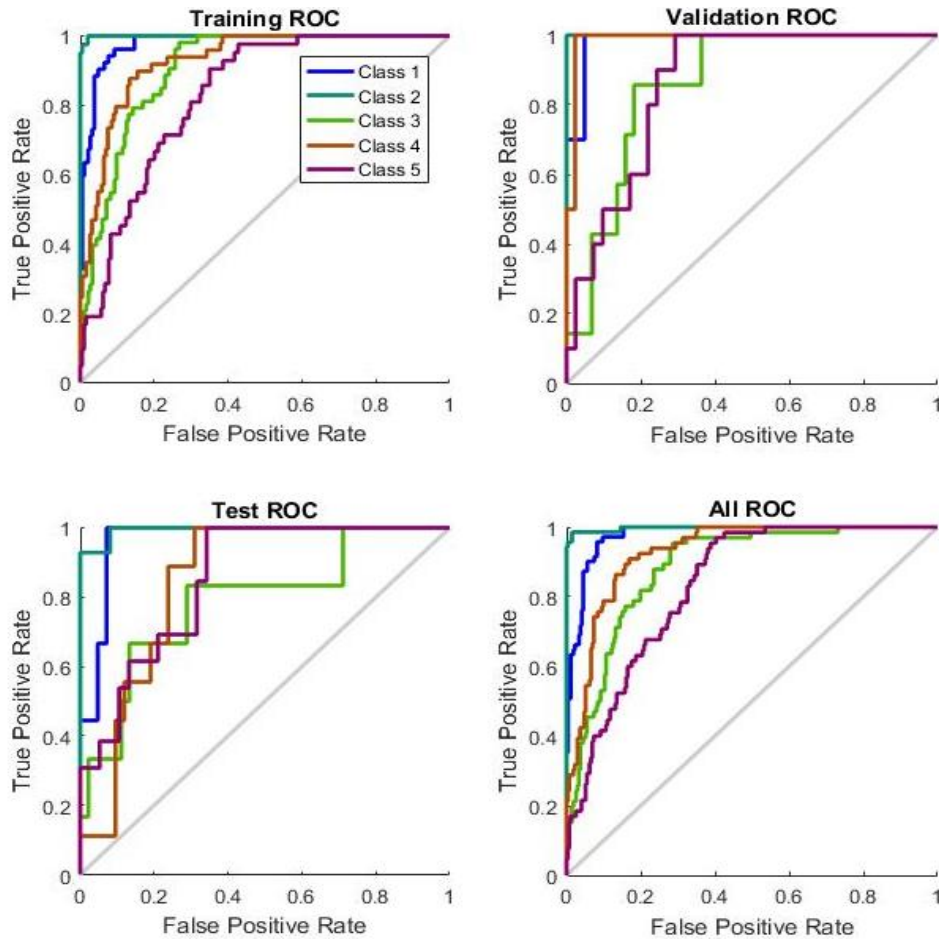
5.7.2. YSA tabanlı modellerin sınıflandırma performansı



Şekil 5.14. (a) $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli (b) $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_2} modeline ait YSA tabanlı mayın sınıflandırma eğitim performansları

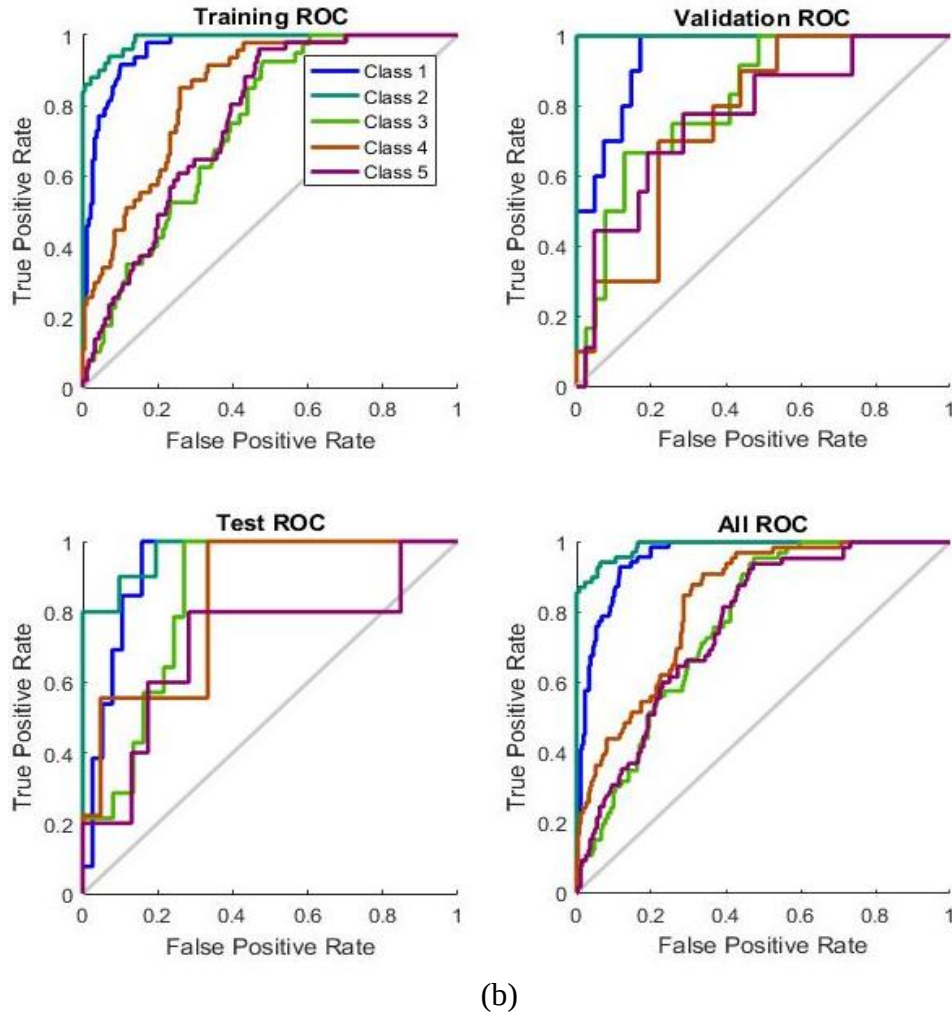
Şekil 5.14 a’da verilen grafikte mayın sınıfı V, H ve S giriş parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu modelde öğrenme süreci yaklaşık 85 döngü boyunca etkili bir şekilde devam etmiştir. Corss-entropy değeri de 10^{-1} ’e yakın bir değere kadar düşürülmüştür. Şekil 5.14 b’de verilen grafikte ise mayınların sınıflandırılmasında toprak tipi dikkate alınmamıştır. Bu durumda öğrenme süreci yaklaşık 60 döngüye kadar devam etmiştir. Cross-entropy değeri ise birinci modele göre yeterince düşmemiştir. Bu iki

grafikten elde edilen bilgi toprak tipinin mayınların tiplerine göre sınıflandırılmasında etkili olduğu yönündedir. Bu etkinin dikkate alınma durumu hakkında karar vermek için receiver operating characteristic (ROC eğri) ve karşılaştırma matrisi incelenecektir. Şekil 5.15'te M_{class_1} ve M_{class_2} modellerinin oluşturulmasında elde edilen ROC eğrileri verilmektedir.



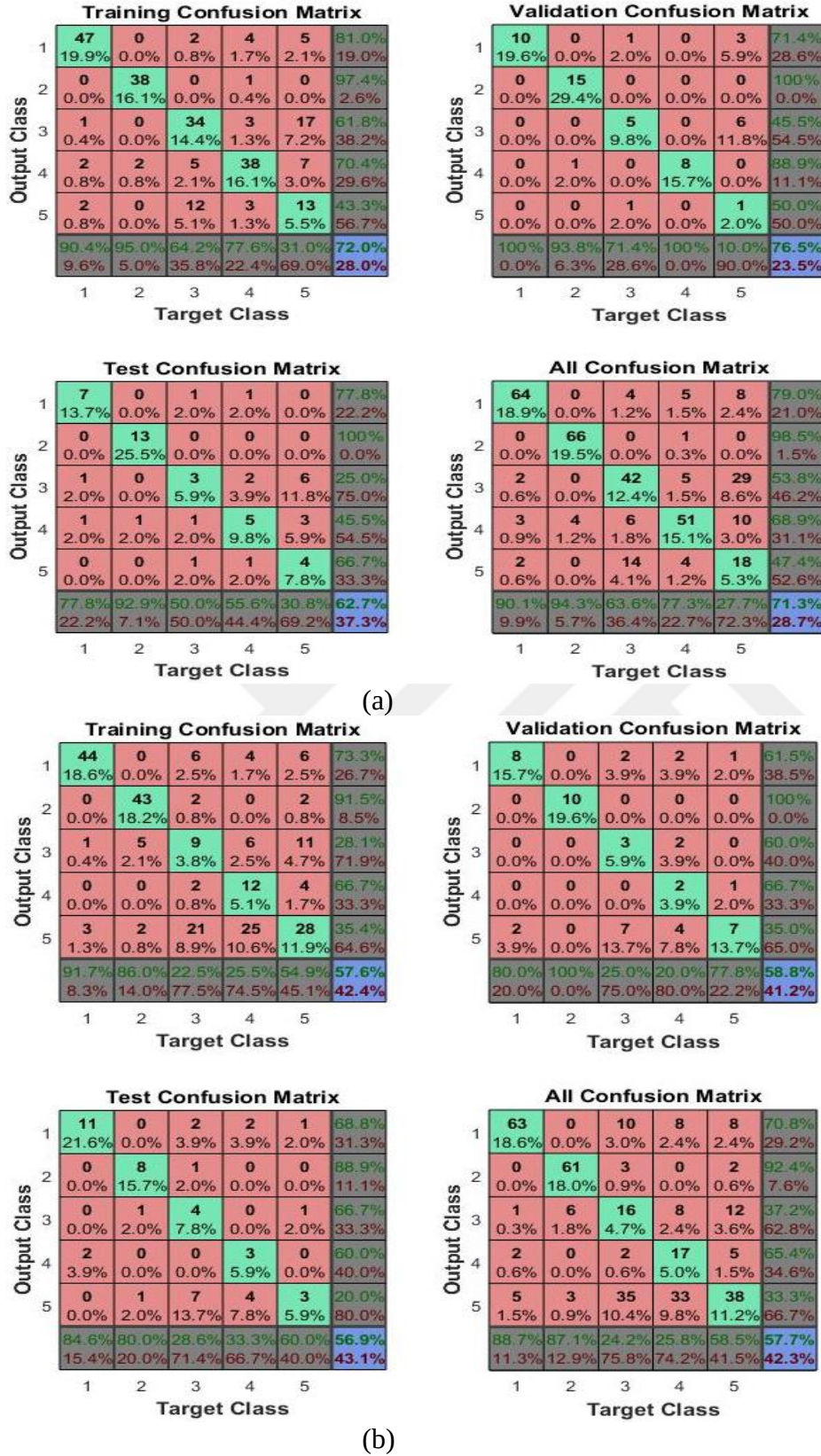
(a)

Şekil 5.15. (a) $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli (b) $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait ROC eğrileri



Şekil 5.15. (devam) (a) $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli (b) $M_{class_2}=f_{ANN_classify}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait ROC eğrileri

Şekil 5.15'te görülen ROC eğrilerine göre $M_{class_1}=f_{ANN_classify}(V, H, S)$ modelinin doğruluk oranı daha yüksektir. Bu bilgi de toprak tipinin mayın teşhisinde/sınıflandırmada dikkate alınması gerektiğini desteklemektedir.



Şekil 5.16. (a) $M_{class_1} = f_{ANN_classify}(V, H, S)$ M_{class_1} modeli
 $M_{class_2} = f_{ANN_classify}(V, H)$ M_{class_2} modeline ait Karşılaştırma Matrisi (b)

Mclass_1 ve Mclass_2 modellerinin mayın sınıflandırma performanslarını en açık şekilde ortaya çıkaran bilgi Şekil 5.16'da verilen karşılaştırma matrisleridir. Bu karşılaştırma matrislerine göre Mclass_1 ve Mclass_2 modelleri arasında mayın tespitinde yaklaşık 15%'lik bir fark vardır. Mclass_1'e ait deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde mayınların yaklaşık %71 doğruluk oranıyla sınıflandırıldıkları görülmektedir. İki modelin mayın sınıflandırma performansları arasındaki bu büyük farkın dikkate alınmaması mümkün değildir. Dolayısıyla güçlü bir mayın sınıflandırıcı geliştirmek için toprak tipi dikkate alınmalıdır.

5.8. Örnek Tabanlı Tekniklerin Performansı

Bu bölümde örnek tabanlı mayın tespit ve sınıflandırma modellerinin performansları verilmektedir. Deneysel çalışmalar için rastgele seçilen eğitim ve test örneklerinin sınıflarına göre dağılımları Şekil 5.10'da verildiği gibidir. Toprak tipinin örnek-tabanlı modelleme çalışmalarındaki etkisi YSA tabanlı çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir. Tekrar niteliği taşıdığı için bu bölümde toprak tipinin etkisine ait sonuçlar verilmemektedir. k-nn algoritmasının kullanıcı tanımlı parametreleri olan k-komşuluk sayısı için yapılan testlerde en iyi performansın 2, 3, 4 ve 5 komşu sayısında sağlandığı görülmüştür. Uzaklık ölçümünde Euclidean (EU), Manhattan (MA), Minkovski (MI), ve Bulanık Uzaklık bağıntıları kullanılmıştır. Sınıf tespitinde ağırlıklı oylama ve çoğunluk oylamasının her ikisi de denenmiş ve ikisinde de başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Meta-sezgisel k-nn algoritmasının tasarım parametreleri ve değerleri de Çizelge 5.3'te verilmektedir.

Çizelge 5.3. Meta-sezgisel k-nn algoritmasının tasarım parametreleri

Popilasyonda Bireysel Sayı	Genetik Algoritma Üretim Numarası	Ana Seçim Yöntemi
45	2000	- Rulet Çarkı - Turnuva
Çaprazlama Yöntemi	Mutasyon Katsayısı	Mutasyon Yöntemi
- Flip Bit, - Sınır - Homojen Olmayan - Değişmeyen	Aralık [0.01;0.001]	- Tek Nokta - İki Nokta - Ters Çevirme
k- Komşu Sayısı	k-nn Sınıflandırıcı Uzaklık Metriği	Oylama Yöntemi
2,3,4,5	EU, MA, MI, Fuzzy	- Çoğunluk Oyu - Ağırlık Oyu

5.8.1. Meta Sezgisel k-nn teknikleri ve k-nn'nin algılama performansı

Dört farklı k-değeri, dört farklı uzaklık metriği ve iki farklı algoritma kullanılarak 32 bağımsız mayın tespit modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin tespit performansı deneysel çalışmalarla ölçülmüştür. Veri setindeki 113 veri örneği için 32 bağımsız modelden elde edilen tespit performansları Çizelge 5.4'te verilmektedir. Çizelge 5.4'teki tespit performansları her bir modelin hatalı sınıflandırma yüzdesini göstermektedir. Buna göre meta-sezgisel algoritma tabanlı modellerin tespit performansları klasik k-nn tabanlı modellerden oldukça yüksek gerçekleşmiştir. İki algoritmanın performansları arasındaki bu farklılıklar farklı alanlardaki problemlere ait literatürdeki diğer çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir.

Çizelge 5.4. Örnek tabanlı algoritmalarda yanlış algılama yüzdesi

Algorithm	k-nn				meta-heuristic k-nn			
k-value/ DM	EU	MA	MI	Fuzzy	EU	MA	MI	Fuzzy
2	20.4	20.4	20.4	6.2	7.1	5.3	8.0	1.8
3	13.3	16.8	13.3	9.7	5.3	5.3	8.0	1.8
4	15.9	15.9	16.8	9.7	7.1	6.2	6.2	1.8
5	21.2	19.5	22.1	15.0	4.4	4.4	5.3	2.7

Çizelge 5.4'te verilen sonuçlar, örnek tabanlı sınıflandırma tekniklerinin birçok durumda mayınları 95%'den yüksek bir oranla tespit ettiğini göstermektedir. Hatta fuzzy metrikli meta-sezgisel k-nn algoritmasının tespit performansı 99%' a yakın gerçekleşmiştir. k-değerinin 2,3,4 ve uzaklık metriğinin fuzzy uygulandığı şartlarda 113 veri örneğinden sadece 2'si hatalı olarak değerlendirilmiştir. Bu durum özellikle bu çalışmada önerilen mayın problemi modelleme yaklaşımının ($\langle M \rangle \langle V, H, S \rangle$) başarısının bir sonucudur. Meta-heuristic k-nn algoritmasının başarısının iki temel ögesi optimum ağırlık katsayıları ve fuzzy uzaklık metriğidir. Meta-sezgisel arama ünitesi bağımsız değişkenlerin (V, H, S) bağımlı değişken (M) üzerindeki etkilerinin optimum değerlerini $\langle W_V=0.757036, W_H=0.657224, W_S=0.603281 \rangle$ olarak keşfetmiştir.

5.8.2. k-nn ve Meta-Sezgisel k-nn tekniklerin sınıflandırılması performansı

Bu başlık altında k-nn ve meta-sezgisel k-nn algoritmalarının sınıflandırma performansları verilmektedir. Bir önceki bölümde olduğu gibi mayın sınıflandırma çalışmaları için toplamda 32 farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırmalar neticesinde Çizelge 5.5'te verilen hata yüzdeleri elde edilmiştir. Çizelge 5.5'te verilen sınıflandırma performanslarına göre klasik örnek tabanlı sınıflandırma modelleri başarısızdır. Bu durum mayın tiplerinin ayırt edilmesinin zorluğunu göstermektedir. Meta-sezgisel k-nn tabanlı modeller klasik modellere kıyasla mayın teşhisini 2 kat daha başarılı yapmıştır.

Çizelge 5.5. Örnek tabanlı algoritmalarındaki yanlış sınıflandırmaların yüzdesi

Algorithm	k-nn				meta-heuristic k-nn			
k-value/ DM	EU	MA	MI	Fuzzy	EU	MA	MI	Fuzzy
2	61.9	66.4	61.9	31.0	31.9	32.7	31.9	18.6
3	56.6	63.7	54.9	30.1	29.2	31.0	27.4	15.0
4	53.1	55.8	54.9	26.5	27.4	30.1	25.7	14.2
5	55.8	54.9	54.9	36.3	27.4	31.9	27.4	17.7

Elde edilen hata yüzdelerine bağlı olarak mayın sınıflandırma performansının en yüksek olduğu durumdaki hata oranı 14.2 %dir. bu başarının sağlandığı şartlarda uzaklık metriği: “fuzzy” ve k-değeri: 4 dür. Bu performansın sağlandığı durumda meta-sezgisel arama ünitesi bağımsız değişkenlerin (V, H, S) bağımlı değişken (M) üzerindeki etkilerinin optimum değerlerini $\langle WV=0.997804, WH=0.703208, WS=0.792557 \rangle$ olarak keşfetmiştir. 14.2%'lik hata oranının elde edildiği şartlarda 113 veri örneğinden 16'sı hatalı olarak sınıflandırılmıştır. Bu 16 hatalı sınıflandırmanın gerçekleştiği duruma ait confusion matrisi Şekil 5.17'de verilmektedir.

Çıktı Sınıfı	1	23 20.4%	0 0.0%	1 0.9%	1 0.9%	2 1.8%	88.5% 11.5%
	2	0 0.0%	23 20.4%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	17 15%	2 1.8%	3 2.7%	77.3% 22.7%
	4	0 0.0%	0 0.0%	2 1.8%	18 15.9%	1 0.9%	85.7% 14.3%
	5	1 0.9%	0 0.0%	2 1.8%	1 0.9%	16 14.2%	80.0% 20.0%
		95.8% 4.2%	100% 0.0%	77.3% 22.7%	81.8% 18.2%	72.7% 27.3%	85.8% 14.2%
		1	2	3	4	5	
		Hedef Sınıf					

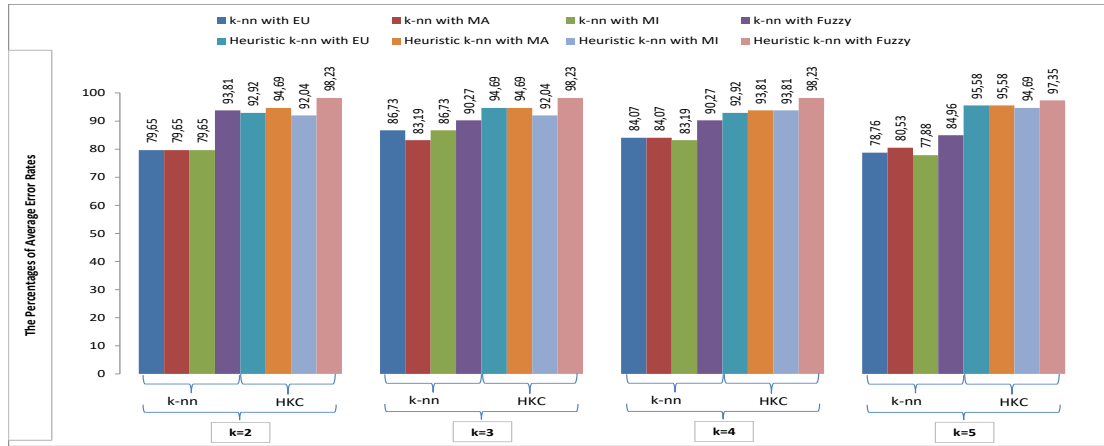
Şekil 5.17. Bulanık (k) = 4 Modelin Ait Karşılaştırma Matrisi İle Meta-Sezgisel k-nn

Şekil 5.17’de görüldüğü gibi mayın tipleri arasındaki farklılık en düşük 72,7%, en yüksek 100% ve ortalama 85,8% oranında bir performansla teşhis edilebilmiştir. Bu sonuç gerek YSA tabanlı gerekse de örnek tabanlı modeller arasında en başarılı olanıdır. Mayın detektörü ile arama yaparken birkaç saniye içerisinde çok sayıda veri alınmakta ve değerlendirilmektedir. Saniyeler içerisinde aynı noktaya ait çok sayıda verinin değerlendirilmesi hatalı bir karar verilmesi ihtimalini oldukça düşürmektedir. Yani Şekil 5.17’deki performansa göre geliştirilen model en kötü şartlarda dahi mayın teşhisini başarılı bir şekilde yerine getirebilmektedir. Ayrıca mayın tespiti yapıldıktan sonra detektörün toprağa yakın bir mesafede tutulması halinde sınıflandırma performansı 100%’dir. Bunu anlamak için lütfen Şekil 5.4’e tekrar bakınız. Yakın mesafede (yerden 4cm yüksekliğe kadar) sadece mayın tiplerine bağlı olarak dahi manyetik anomali değerleri ayırt edici olabilmektedir.

5.9. Karşılaştırmalar ve Tartışma

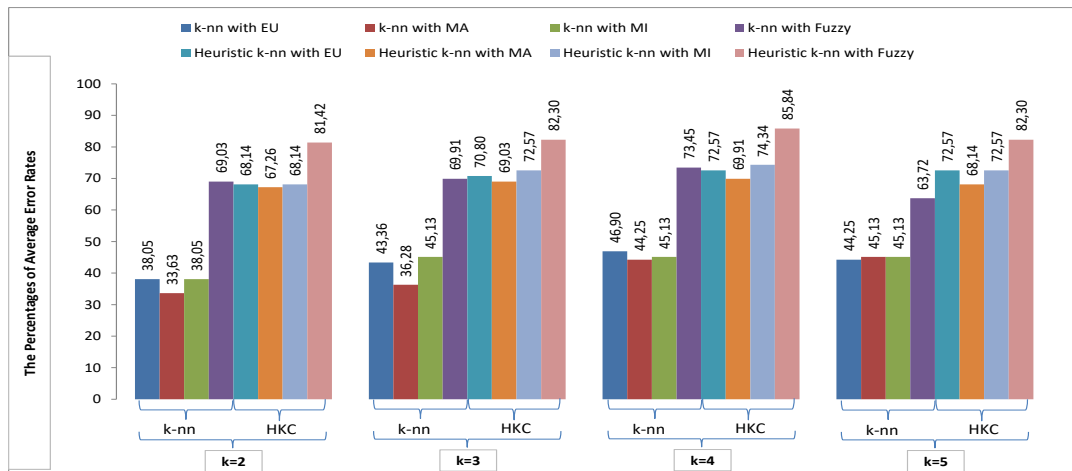
Gerek YSA gerekse de k-nn tabanlı modeller ile elde edilen tespit ve teşhis performanslarının incelenmesinin ardından en başarılı modele karar vermek mümkündür. YSA tabanlı tespit modelinde ortalama başarı performansı 95.6 % (hata oranı 4.4%) olarak gerçekleşmişti. k-nn tabanlı 32 farklı modelden elde edilen mayın tespit yüzdeleri Şekil

5.18’de verilmektedir. Alternatif tüm modellerin tespit performansları kayda değerdir. Bu durum pasif detektör tasarımı için umut vericidir. Geliştirilen tüm modeller içerisinde bulanık metrik ile tasarlanan sezgisel k-nn algoritması en başarılı olanıdır. Bu modelde mayın tespit performansı 98.2 % olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen bu başarı mayın modelleme yaklaşımının da bir neticesidir.



Şekil 5.18. k-nn tabanlı tespit modellerinde elde edilen tespit performansı yüzdeleri

YSA tabanlı teşhis modelinde ortalama başarı performansı % 71,3 olarak gerçekleşmişti. k-nn tabanlı modellerde elde edilen başarılı tespit yüzdeleri Şekil 5.19’da verilmektedir. Buna göre bulanık metrik ile tasarlanan sezgisel k-nn (HKC) modelinde en yüksek tespit performansı %85,84 olarak gerçekleşmiştir. Geliştirilen tüm modeller arasında en başarılı olanı da budur.



Şekil 5.19. k-nn tabanlı teşhis modellerinden elde edilen sınıflandırma performansı yüzdeleri

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, toprak altında gömülü değişik patlayıcıları tespit edebilen manyetik anomali düzeneği tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kara mayınları problemine çözüm üretmek için yürütülen bu çalışmadan elde edilen sonuçları dört madde halinde açıklamak mümkündür. Bunlar, problemin modellenmesi için geliştirilen yaklaşım, yöntem, teknik ve elde edilen deneysel bulguları içermektedir. Çalışmanın literatür açısından katkı ve sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

- i) Mayın varlığına bağlı olarak manyetik anomalinin oluştuğu literatürde biliniyordu. Ancak bu anomalinin büyüklüğünün mesafeye ve toprak tipine bağlı olarak modellenebilir bir değişim gösterdiği deneysel çalışma bulgularıyla ilk defa bu çalışmada ispatlanmıştır. Dolayısıyla kara mayını probleminde mayın tipi bağımlı değişken olmak üzere “manyetik anomali”, “yükseklik” ve “toprak tipi” parametrelerine/niteliklerine bağlı bir model ilk defa tanımlanmıştır. Bu tanımlamaya bağlı olarak geliştirilen problem modeli toprak altına gömülü nesneleri çok boyutlu bir problem uzayında tanımlamayı sağlamıştır. Böylelikle nesnelerin karakteristiklerini daha doğru bir şekilde modellemek mümkün olmuştur. Bu bilgi gerçek dünya uygulamaları açısından hayati derecede öneme sahiptir. Çünkü gerçek bir uygulamada mayın detektörünün yerden yüksekliği sabit değildir ve toprak cinsi değişmektedir.
- ii) Literatürdeki çalışmalarda aktif mayın detektörleri ile mayın tespiti yüksek bir tespit performansı ile ancak her an mayın ateşleme düzeneğini tetikleme riskiyle gerçekleştiriliyordu. Bu tezde önerilen yaklaşımın literatüre sunduğu ikinci kazanım, pasif bir detektör tasarımıyla mayın tespitinin yaklaşık 99% luk bir performansla gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bu başarılı tespit performansı gelecekteki pasif detektör çalışmalarına ivme kazandıracak ve yön verecektir.
- iii) Literatürdeki çalışmaların ekseriyeti (tamamına yakını) mayın tespiti üzerine odaklanmıştı. Pasif bir detektör tasarımıyla mayınların teşhis edilmesi ise daha önce başırlanamamıştı. Bu çalışmada önerilen yaklaşım sayesinde toprağa gömülü mayınların yarattıkları manyetik anomalinin mayın tipine, yüksekliğe ve toprak cinsine bağlı bir fonksiyonu yaratılmıştır. Bu model sayesinde mayınlar çok boyutlu uzayda tiplerine göre konumlanmıştır. Bu sayede pasif bir detektör tasarımıyla mayınların teşhis edilmesinin de yolu açılmıştır. Deneysel çalışma bulguları mayın teşhisinin yaklaşık olarak 86% oranında başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini

göstermiştir. Bu oranın detektörün hareketli ve yüksekliğinin her an değiştiği bir gerçek dünya uygulamasında elde edilmiş olması önemlidir.

- iv) Bu çalışmanın literatür açısından bir diğer önemli katkısı da mayın tespit probleminin mayın sınıflandırma problemine dönüştürülmesi ve yapay zekâ tabanlı tekniklerle etkili bir şekilde modellenmesidir. Literatürde çok boyutlu ve nümerik değerli giriş niteliklerine sahip sınıflandırma problemlerinin modellenmesinde en sık kullanılan teknik yapay sinir ağları olmuştur. Hazır toolboxlar yoluyla kolay uygulanabilmesi ve başarılı modeller yaratması nedeniyle YSA'lar tercih edilmektedirler. Bunun yanında son dönemlerde geliştirilen melez sınıflandırma algoritmalarının dikkat çekici bir sınıflandırma performansı sergiledikleri görülmektedir. Ancak yeni ve güçlü algoritmaların bir probleme tatbik edilmesi bilindik yapay zekâ teknikleri kadar kolay olmamaktadır. Bunun için yapay zekâ alanında uzman desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında YSA'larına alternatif sınıflandırma teknikleri tatbik edilmiştir. Bu tekniklerin içerisinde performansı ile öne çıkan teknik ise 2016 yılında literatüre kazandırılmış olan bulanık mantık metrikli meta-sezgisel k-nn algoritmasıdır. Bu algoritmanın özellikle mayın teşhis sürecine çok büyük bir başarı kazandırdığı görülmüştür.

Sonuç olarak bu tez çalışmasının pasif mayın detektörü tabanlı çalışmalara hız vermesi, mayın tiplerinin teşhis edilmesine yönelik çalışmaları teşvik etmesi ve mayın probleminin çok boyutlu bir problem olarak yeniden tanımlanmasına yol açması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Jeremic, A., Nehorai, A. (2000). Landmine detection and localization using chemical sensor array processing. *Transactions on Signal Processing*, 48(5), 1295 – 1305.
2. Gao, P., Collins, L. M. (2000). A theoretical performance analysis and simulation of time-domain EMI sensor data for land mine detection. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(4), 2042 – 2055.
3. Budko, N.V., Remis, R.F. ve Yan Den Berg, P.M. (2000). *Advances in GPR data processing for antipersonnel landmine detection*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu HI, United States.
4. Brunzell, H. (2000). *Feature set selection for impulse radar based landmine detection*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu HI, United States.
5. Scott, W.R., Martin, J.S. and Larison, G.D. (2001). Experimental model for a seismic landmine detection system. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(6), 1155 – 1164.
6. Weldon, T.P., Gryazin, Y.A. and Klibanov, M.V. (2001). *Novel inverse methods in land mine imaging*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Salt Lake City, UT, United States.
7. Datema, C.P., Bom, V.R., van Eijk, C.W.E. (2001). Landmine detection with the neutron backscattering method. *Transactions on Nuclear Science*, 48(4) 1087 – 1091.
8. Datema, C.P., van der Schoor, L.A., Bom, V.R. and van Eijk C. W. E., (2001). *A portable landmine detector based on the combination of electromagnetic induction and neutron backscattering*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Nuclear Science Symposium, San Diego, CA, United States.
9. Martinez, P.L., van Kempen, L., Sahli, H. and Ferrer, D.C., (2004). Improved thermal analysis of buried landmines. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(9), 1965 – 1975.
10. Shrestha, S.M., Arai, I., (2003). *High resolution image reconstruction by GPR using MUSIC and SAR processing method for landmine detection*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, France.
11. Yuksel, S.E., Ramachandran, G., Gader, P., Wilson, J., Heo, G. and Ho, D. (2008) *Hierarchical methods for landmine detection with wideband electro-magnetic induction and ground penetrating radar multi-sensor systems*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Boston, MA, United States.

12. Coronado-Vergara, J., Avina-Cervantes, G., Devy, M., Parra, C. (2005). *Towards landmine detection using artificial vision*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Edmonton, Alta, Canada.
13. Fukuda, T., Sato, S., Hasegawa, Y., Matsuno, T. and Zyada, Z. (2006). *Motion control of landmine detection vehicle equipped with low-ground-pressure tires*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Symposium on MicroNanoMechanical and Human Science, Nagoya, Japan.
14. Kim, S., Park, S., Lee, J., Han, B. and Choi, C. (2008). *Development of mine detection system for mobile robot system*. International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, South Korea.
15. Svensson, L., Lundberg, M. (2001). *Land mine detection in rotationally invariant noise fields*. Proceedings of the 11th The Institute of Electrical and Electronics Engineers Signal Processing Workshop on Statistical Signal Processing, Singapore, Singapore.
16. Liu, J., Wu, R. (2007). *Training method for ground bounce removal with ground penetrating radar*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Radar Conference, Boston, MA, United States.
17. Antonic, D. (2004). *Genetic algorithm for feature extraction in landmine detection*. International Conference on Communications, Circuits and Systems, Chengdu, China.
18. Abujarad, F., Jostingmeier, A. and Omar, A.S. (2004). *Clutter removal for landmine using different signal processing techniques*. Proceedings of the Tenth International Conference on Grounds Penetrating Radar, Delft, The Netherlands.
19. Song, J., Liu, Q. H., Torriane, P. and Collins, L. (2006). Two-dimensional and three-dimensional NUFFT migration method for landmine detection using ground-penetrating radar. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(6), 1462-1469.
20. Yang, Y., Song, Q. and Zhou, Z. (2006). *A novel method of landmines detection based on improved SVM*. 8th international Conference on Signal Processing, Beijing, China.
21. Nishimoto, M., Kimura, Y., Tanaka, T. and Ogata, K., (2007). *UWB-GPR data processing for identification of anti-personnel landmines under rough ground surface*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Ultra-Wideband, Singapore, Singapore.
22. Jin, T., Zhou, Z. (2008). Feature extraction and discriminator design for landmine detection on double-hump signature in ultrawideband SAR. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(11), 3783 – 3791.
23. Frigui, H., Zhang, L. and Gader, P.D. (2010). Context-dependent multisensor fusion and its application to land mine detection. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(6), 2528 – 2543.

24. Zainud-Deen, S.H., El-Hadad, E.S. and Awadalla, K.H. (2010). *Landmines detection using finite-difference time-domain and artificial neural networks*. 14th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and the American Electromagnetics Conference, Ottawa, ON, Canada.
25. Shi, Y., Song, Q., Jin, T. and Zhou, Z. (2011). *Landmine detection using FLGPVAR images*. 3rd International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (AP SAR), Seoul, South Korea.
26. Chamseddine Ben Abdallah, A., Frigui, H. and Gader, P. (2012). Adaptive local fusion with fuzzy integrals. *Transactions on Fuzzy Systems*, 20(5), 849 – 864.
27. Dyana, A., Srinivas Rao, C.H. and Kuloor, R. (2012). *3D Segmentation of ground penetrating radar data for landmine detection*. 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), Shanghai, China.
28. McMichael, I.T., Scott, W.R., Nallon, E.C., Schnee, V.P. and Mirotznik, M.S. (2013) *EBG antenna for GPR co-located with a metal detector for landmine detection*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS, Melbourne, VIC, Australia.
29. Abd El-Azeem, M.H., Elbakly, A.M. (2013). *Using TLM method for simulation a new mine detection technique*. The International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAEECE), Konya, Turkey.
30. Khalifa, A.B., Frigui, H. (2014). *Fusion of multiple landmine detection algorithms using an adaptive neuro fuzzy inference system*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Geoscience and Remote Sensing Symposium, Milan, Italy.
31. Temlioğlu, E., Dağ, M. and Gürcan, R. (2016). *Comparison of feature extraction methods for landmine detection using Ground Penetrating Radar*. 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, Turkey.
32. Song, X.J., Su, Y., Huang, C.L., Lu, M. and Zhu, S.P. (2016). *Landmine detection with holographic radar*. 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), Hong Kong, China.
33. Kaya, S., Leloglu, U. M. (2017). Buried and surface mine detection from thermal image time series. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(10), 4544 – 4552.
34. Tbarki, K., Ben Said, S., Ksantini, R. and Lachiri, Z. (2016). *RBF kernel based SVM classification for landmine detection and discrimination*. International Image Processing, Applications and Systems (IPAS), Hammamet, Tunisia.
35. Sipos, D., Planinsic, P. and Gleich, D. (2017). *On drone ground penetrating radar for landmine detection*. First International Conference on Landmine: Detection, Clearance and Legislations (LDCL), Beirut, Lebanon.

36. Yılmaz, C., Sönmez, Y., Kahraman, H. T., Söyler, S. and Güvenç, U. (2016). *Developing of decision support system for land mine classification by meta-heuristic classifier*. International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), Sinaia, Romania.
37. Zeng, Y.Q., Liu, Q.H. (2001). Acoustic detection of buried objects in 3-D fluid saturated porous media: Numerical modeling. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(6), 1165-1173.
38. Kalender, O. (2008). Geçmişten günümüze mayın belirleme çalışmaları ve manyetik anomali yöntemi ile kara mayınlarının belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 11(1), 1-8.
39. Scott W.R., Jr., Larson, G.D. and Martin J.S. (2000). *Simultaneous use of elastic and electromagnetic waves for the detection of buried land mines*. Proceedings of the SPIE: Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls, Orlando, FL, United States.
40. Behboodian, A., Scott, W.R. and McClellan, J.H. (1999, October). *Signal processing of elastic surface waves for localizing buried land mines*. Signals, Systems, and Computers, 1999. Conference Record of the Thirty-Third Asilomar Conference, Pacific Grove, California.
41. Schroder, C. T., Scott, W. R. (2000). *Three-dimensional FDTD model to study the elastic-wave interaction with buried land mines*. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Arlington, Texas.
42. Zeng, Y.Q., (2001), Acoustic detection of buried object in 3-d fluid saturated porous media: numerical modeling. *Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 39(6), 1165-1173
43. Zhu, X., Carin, L. (2004). Application of the biorthogonal multiresolution time-domain method to the analysis of elastic-wave interactions with buried targets. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(7), 1502-1511.
44. Chu, P.C., Cornelius, M. and Wegstaff, M. (2005, September). *Effect of suspended sediment on acoustic detection using the Navy's CASS-GRAB model*. OCEANS, Monterey, California.
45. Volakis, J., Peters, L. (1983). Improved identification of underground targets using video pulse radars by elimination of undesired natural resonances. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Antennas and Propagation*, 31(2), 334-340.
46. 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.
47. 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.

48. Chan, L., Peters, L. and Moffatt, D. (1981). Improved performance of a subsurface radar target identification system through antenna design. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Antennas and Propagation*, 29(2), 307-311.
49. Spouse, K.G. (1996). *The detection of buried plastic landmines by electro-magnetic induction?* Detection of Abandoned Land Mines Conference, Edinburgh, Scotland.
50. 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.* Detection of Abandoned Land Mines Conference, Edinburgh, Scotland.
51. Struckman, K.A. (1998). *Mikrowave Imaging Excavator, Detection of abandoned land mines.* Conference Publication The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Edinburgh, Scotland.
52. 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.
53. Carin, L. Kapoor, R. and Baum, C.E. (1998). Polarimetric S.A.R. imaging of buried landmines. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 36(6), 1985-1988.
54. Bourgeois, J.M., Smith, G.S. (1998). A complete electromagnetic simulation of the detecting buried land mines. *Transaction On Antennas and Propagation*, 46(10), 1419-1426.
55. Montoya, T.P., Smith, G.S., (1999). Land mine detection using a ground-penetrating radar based on resistively loaded vee dipoles. *Transaction On Antennas And Propagation*, 47(12), 1795-1806.
56. Chen, C.C., Nag, S., Bunside, W.D., Halman, J.I., Shubert, K.A. and Peters L. (2000) A standoff, focused-beam land mine radar. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 38(1), 507-514.
57. Rappaport, C., El-Shenawee, M. (2000). *Modelling GPR signal degradation from random rough ground surface.* Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. The Institute of Electrical and Electronics Engineers 2000 International, Honolulu, HI, United States.
58. Gader, P.D. (2001). Recognition Technology for the detection of buried land mines. *Transaction On Fuzzy systems*, 9(1), 31-43.
59. 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.
60. Chen, C., Higgins, M.B. and O'Neill, K. (2002). *Advanced classification of buried uxo using a broadband, fully polarimetric ground penetrating radar.* Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS '02. 2002 The Institute of Electrical and Electronics Engineers International, Toronto, Ontario, Canada.

61. Ismail, N. H., Khairallah, H. N. and Metwally, M. A. (2002). *Mapping of land mines using air borne radars*. Radio Science Conference, Proceedings of the Nineteenth National, Alexandria, Egypt.
62. Ho, K.C., Gader, P.D.. (2002). *A linear prediction land mine detection algorithm for hand held ground penetrating radar*. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 40(6), 1374-1384.
63. Stiles, J.M., Apte, A.V. and Beh, B. (2002). A group-theoretic analysis of symmetric target scattering with application to landmine detection. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 40(8), 1802-1814.
64. Kolba, M.P., Jouny, I.I. (2003, June). *Clutter suppression and feature extraction for land mine detection using ground penetrating radar*. Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, OH, United States.
65. Sato, M. (2003, June). *Bistatic GPR system for landmine detection using optical electric field*. Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, OH, United States.
66. Cho, S.J., Tanaka, R. and Sato, M. (2005, July). *Bistatic GPR by using an optical electric field sensor*. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seoul, South Korea.
67. Tanaka, R., Sato, M. (2004, June). *A GPR system using a broadband passive optical sensor for land mine detection*. Ground Penetrating Radar, Proceedings of the Tenth International Conference, Delft, The Netherlands.
68. Kolba, M.P., Jouny, I.I. (2003). *Clutter suppression and feature extraction for land mine detection using ground penetrating radar*. Antennas and Propagation Society International Symposium, Columbus, OH, United States.
69. Frigui, H., Satyanarayana, K., Gader, P. (2003). *Detection of land mines using fuzzy and possibilistic membership functions*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference On Fuzzy Systems, St Louis, MO, United States.
70. Chun-Cheng, Z., Ling-Jiang, K. and Zeheng-ou, Z. (2004). *Research on fast synthetic aperture imaging method for ground penetrating radar in subsurface object detection*. Communications, Circuits and Systems, Chengdu, China.
71. Tanaka, R., Sato, M., (2004). *A GPR system using a broadband passive optical sensor for land mine detection*. Tenth International Conference On Ground Penetrating Radar, Delft, The Netherlands.
72. Dumanian, A.J., Rappaport, C.M. (2005). *Enhanced detection and classification of buried mines with an UWB multistatic GPR*. Antennas and Propagation Society International Symposium. Washington, DC, United States.
73. Cho, S.J., Tanaka, R. and Sato, M. (2005). *Bistatic GPR by using an optical electric field sensor*. Geoscience and Remote Sensing Symposium. Seoul, South Korea.

74. Clark, W., Burns, B., Sherbondy, K., Ralston, J. and Rappaport, C. (2005). *Surface effects on ground penetrating radar imagery*. Antennas and Propagation Society International Symposium, Washington, DC, United States.
75. Merwe, A., Gupta, I.J. (2000). A novel signal processing technique for clutter reduction in gpr measurements of small, shallow land mines. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 38(6), 2627-2637.
76. Gao, P., Collins, L., Garber, P.M., Geng, N. and Carin, L. (2000). Classification of landmine-like metal targets using wideband electromagnetic induction. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(3), 1352-1361.
77. Collins, L., Carin, L. (1999). An improved bayesian decision theoretic approach for land mine detection. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 37(2), 811-819.
78. 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.
79. Gao, P., Collins, L., Garber, P.M., Geng, N. and Carin, L. (2000). Classification of landmine-like metal targets using wideband electromagnetic induction. *Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 38(3), 1352-1361.
80. Schulze, S., van Rienen, U. (2007). Computation of land mine signatures using domain decomposition with Lagrange multipliers. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 43(4), 1189-1192.
81. Clem, T.R. (2002, October). *Sensor technologies for hunting buried sea mines*. Oceans'02 MTS/ The Institute of Electrical and Electronics Engineers Conference, Biloxi, MI, United States.
82. Muscio, A., Corticelli, M.A. (2004). Land mine detection by infrared thermography: reduction of size and duration of the experiments. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(9), 1955-1964.
83. Schulze, S., van Rienen, U., (2006). *Computation of land mine signatures using domain decomposition with lagrange multipliers*, Electromagnetic Field Computation, 2006 12th Biennial The Institute of Electrical and Electronics Engineers Conference, Miami, FL, USA.
84. Tadjine, H.H., Reuter, M. and Harneit, S. (2006). *Intelligent system for the detection of buried objects based on whu-structures using metal detector*. Information and Communication Technologies, Damascus, Syria.
85. Tadjine, H.H., Reuter, M., Harneit, S. (2006). *Intelligent system for the detection of buried objects based on WHU-structures using metal detector*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Trans Antenna and Propagat, Damascus, Syria.

86. Zainud-Deen, S. H., Badr, M. E., Awadalla, K. H., and Sharshar, H. A. (2006, March). *Microstrip antenna for detecting buried land mines*. Radio Science Conference, Proceedings of the Twenty Third National, Menoufiya, Egypt.
87. Lundberg, M. (2000). *Reduction of surface clutter in infrared image with visual-wavelength measurements*. Geoscience and Remote Sensing Symposium, Honolulu, HI, United States.
88. Lopez, P., Vilarino, D.L. and Cabello, D. (2002, July). *CNN-based 3D thermal modeling of the soil for antipersonnel mine detection*. Cellular Neural Networks and Their Applications, Proceedings of the 2002 7th The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Workshop Conference, Frankfurt, Germany.
89. 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.
90. 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.
91. Rennie, C., Arendse, B., Inggs, M.R., and Langman, A. (1998). *Practical 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.
92. Collins, L., Gao, P. and Carin, L. (1999). An improved Bayesian decision theoretic approach for land mine detection. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(2), 811-819.
93. 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.
94. 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. Nuclear Science Symposium Conference, Portland, OR, United States.
95. Bom, V., Ali, M.A. and van Eijk, C.W. (2006). Land mine detection with neutron back scattering imaging using a neutron generator. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Nuclear Science*, 53(1), 356-360.
96. Vanier, P.E., Forman, L., Hunter, S.J., Harris, E. J. and Smith, G.C. (2004, October). *Thermal neutron backscatter imaging*. Nuclear Science Symposium Conference, Rome, Italy.
97. Pekarsky, G. (1998). *Multisensor Technology For Buried Land Mines Detection, Detection of abandoned land mines*. Conference Publication, Edinburgh, Scotland.

98. Bamberger, J.A., Craig, R.A., Colgan, T.Y., Peurrung, A.J., Schmitt, B.E. and Stromswold, D.C. (2003). *Timed-neutron detection for land mines*. Nuclear Science Symposium, Portland, OR, United States.
99. Bom, V., Ali, M.A. and vanEijk, C.W.E. (2006). Land mine detection with neutron back scattering imaging using a neutron generator. *Transactions On Nuclear Science*, 53(1), 356-360.
100. Bom, V., Ali, M.A., Osman, A.M., Abd-El-Monem, A.M., Kansouh, W.A., Megahid, R.M. and vanEijk, C.W.E. (2006). A feasibility test of land mine detection in a desert environment using neutron back scattering imaging. *Transactions On Nuclear Science*, 53(4), 2247-2251.
101. Vanier, P.E., Forman, L., Hunter, S.J., Harris, E.J. and Smith, G.C. (2004). *Thermal neutron backscatter imaging*. Nuclear Science Symposium, Rome, Italy.
102. Jacobs, A.M., Dugan, E.T., Su, Z. and Wells, C.J. (1998). *Detection/identification of land mines by lateral migration radiography, Detection of abandoned land mines*. Conference, Edinburgh, Scotland.
103. Rennie, C., Inggs, M. (1997). *Sensor fusion in the detection of land mines*. Communications and Signal, Grahamstown, South Africa.
104. Geng, N., Carin, L. (1998). *Resonances of a dielectric bor buried in a lossy, dispersive layered medium*. Geoscience and Remote Sensing Symp. Seattle, WA, United States.
105. Geng, N., Jackson, R. and Carin, L. (1999). On The resonances of a dielectric bor buried in a dispersive layered medium. *Transaction On Antennas and Propagation*, 47(8), 1305-1313.
106. Shahri, A.M., Moghadam, R.A. (1999). *Adaptive fuzzy force control of antipersonnel mine detector robot*. Electrical and Computer Engineering, 2001. Canadian Conference, Toronto, Ontario, Canada
107. Plett, G.L., Doi, T. and Torrieri, D. (1996). *Present and future methods of mine detection using scattering parameters and an artificial neural network*. Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets, Book Series: Proceedings Of The Society Of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Stanford, California.
108. Mori, K. (1990). Detection of magnetic anomaly signal by applying adjustable weight functions. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetism*, 26(2), 1083-1087.
109. 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. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Applied Superconductivity*, 11(1), 871-875.

110. Tobely, T.E., Salem, A. (2005, December). *Position detection of unexploded ordnance from airborne magnetic anomaly data using 3-D self organized feature map*. Signal Processing and Information Technology, Proceedings of the Fifth The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Symposium, Athens, Greece.
111. Miller, I., McGlinchey, S. (2006). *A neural classifier for anomaly detection in magnetic motion capture*. 5th International Conference on Entertainment Computing -ICEC 2006, Paisley, Londra
112. Kosmas, K., 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.
113. Sheinker, A., Frumkis, L., Ginzburg, B., Salomonski, N. and Kaplan, B. Z. (2009). Magnetic anomaly detection using a three-axis magnetometer. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 45(1), 160-167.
114. Kalender, O. (2008). Geçmişten günümüze mayın belirleme çalışmaları ve manyetik anomali yöntemi ile kara mayınlarının belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 11(1), 1-8.
115. Kosmas, K., 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.
116. Elmas, Ç. (2010). *Yapay zeka uygulamaları*. Ankara: Sözkesen Matbaacılık.
117. KMZ51 Magnetic Field Sensor, Data Sheet, Philips Semiconductors, (2000).
118. Ripka, P. (2003). Advances in Fluxgate Sensors. *Sensors and Actuators A*, 106(1-3), 8-14.
119. Ando, B., Baglio, S., Bulsara, A.R., Trigona, C., (2009). Design and characterization of a microwire fluxgate magnetometer, *Sensors and Actuators A*, 151(2), 145– 153.
120. Kahraman, H.T., Sagioglu, S. and Colak, I. (2013). The development of intuitive knowledge classifier and the modeling of domain dependent data. *Knowledge Based Systems*, 37, 283-295.
121. Kahraman, H.T. (2014). Meta-heuristic linear modeling technique for estimating excitation current of synchronous motor. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22(6), 1637-1652.
122. Sonmez, Y., Guvenc, U., Kahraman, H.T. and Yilmaz, C. (2015). *A comparative study on novel machine learning algorithms for estimation of energy performance of residential buildings*. International Istanbul Smart Grid Congress and Fair, İstanbul, Turkey.
123. Yılmaz, C., Kahraman, H. T., Söyler, S., Sönmez, Y. and Güvenç, U. (2016). *Developing of decision support system for land mine classification by meta-heuristic classifier*. Conference: 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), Sinaia, Romania.

124. Yılmaz C., Söyler S., Kahraman Ht., Işık Mf. and Sönmez Y. (2017, December). *Mayın dedektörü test simülatörü tasarım ve uygulaması*. 1nd International Turkish World Engineering And Science Congress in Antalya, Turkey.





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SÖYLER, Salih
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.08.1963, Amasya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (542) 5701679
 e-mail : salih_sogler@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Elektrik Eğitimi	Devam ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elektronik Bilgisayar	1996
Lisans	Gazi Üniversitesi / Elektronik Eğitimi	1986
Lise	Elektronik Assubay Hazırlama Okulu	1982

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Amasya/Taşova	Emekli
1986-2013	T.S.K.'lerinin değişik kademelerinde görev yaptı.	Teğmen -Albay

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Elektrik Mühendisliğinin Temelleri (Kitap)

Hobiler

Yüzme, Masa Tenisi, Kitap Okuma

Tez Kapsamında Yapılan Yayınlar:

- Söyler, S., Kurt, E., Dağ, O., (2012). *Optimization of the Magnetic Anomaly Signals from a New Land Mine Detection Device*, WSEAS 11. International Conference Applications of Electrical Engineering, Atina, Yunanistan.
- Yılmaz, C., Kahraman, H. T., Söyler, S., Sönmez, Y. and Güvenç, U. (2016). *Developing of decision support system for land mine classification by meta-heuristic classifier*. Conference: 2016 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), Sinaia, Romania.
- Yılmaz, C., Söyler, S., Kahraman, H.T., Işık, M.F., Sönmez, Y. (2017, December). *Mine detector test simulator design and application mayın dedektörü test simülatörü tasarım ve uygulaması*. 1nd International Turkish World Engineering and Science Congress, Antalya, Turkey
- Yılmaz, C., Sönmez, Y., Kahraman, H.T., Işık, M.F., Söyler, S. (2017). *Desen tanıma yöntemiyle kara mayınlarının algılanması ve sınıflandırılması*. IV. IMCOFE International Multidisciplinary Congres of Eurasia, Rome.
- Söyler, S., Yılmaz, C., Kahraman, H.T., Sönmez, Y. (2017). *Gömülü patlayıcı nesnelerin tespitinde yeni bir yöntem: manyetik anomali*. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumunda sunuldu, Kırıkkale, Türkiye.



GAZİ GELECEKTİR...