

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİM VE
PATLAYICI TESPİTİ**

DOKTORA TEZİ

SERKAN GÜRKAN

BALIKESİR, NİSAN - 2017

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİM VE
PATLAYICI TESPİTİ

DOKTORA TEZİ

SERKAN GÜRKAN

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Seydi DOĞAN (Tez Danışmanı)**
 Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ
 Doç. Dr. Murat Erhan BALCI
 Yrd. Doç. Dr. Yusuf ALTUN
 Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOSUN

BALIKESİR, NİSAN - 2017

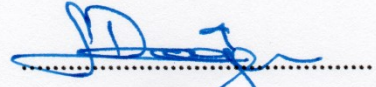
KABUL VE ONAY SAYFASI

Serkan GÜRKAN tarafından hazırlanan “**MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİM VE PATLAYICI TESPİTİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 21.04.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

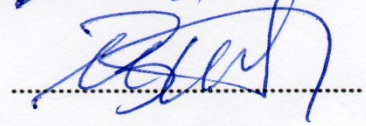
Danışman
Prof. Dr. Seydi DOĞAN



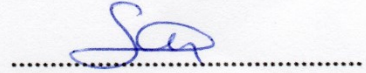
Üye
Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ



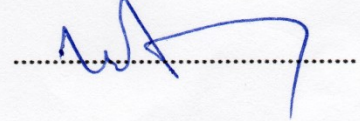
Üye
Doç. Dr. Murat Erhan BALCI



Üye
Yrd. Doç. Dr. Yusuf ALTUN



Üye
Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOSUN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından BAP 2016/103 nolu proje ile desteklenmiştir.**

ÖZET

**MANYETİK ANOMALİ YÖNTEMİ İLE GÖMÜLÜ CİSİM VE
PATLAYICI TESPİTİ
DOKTORA TEZİ
SERKAN GÜRKAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SEYDİ DOĞAN)**

BALIKESİR, NİSAN-2017

Bu çalışmanın amacı; cisimlerin meydana getirdikleri manyetik anomalilerden faydalanarak, yeraltında gömülü vaziyette bulunan cisimleri ve patlayıcıları tespit eden bir sistem geliştirmektir. Bu tespit işlemini gerçekleştirirken, geleneksel gömülü cisim tespit sistemlerinden farklı olarak pasif bir ölçüm tekniği kullanılmıştır.

Bu kapsamda, FLC100/TE100 fluxgate manyetik alan sensörleri kullanılarak 32 elemanlı bir sensör ağı tasarlanmıştır. Tasarlanan sensör ağının 3 ekseninde hareketini sağlamak üzere kartezyen hareket yeteneğine sahip bir manyetik alan ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Farklı geometrik özelliklere sahip 20 adet patlayıcı geometrisi, 13 adet patlayıcı geometrisine yakın özellik gösteren yanıltıcı malzeme üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Belirlenen her malzeme; nemli toprak içerisinde, sırasıyla 5cm, 10cm, 15cm ve 20cm yüksekliklerden sensör ağı ile taranmış ve taranan verilerin kaydı yapılmıştır. Her numune taraması için 32x25 boyutunda veri matrisleri oluşturulmuştur.

Yer altı gömülü cisim algılama sistemlerindeki yanlış alarm oranını azaltmaya yönelik olarak bir sınıflandırma algoritması işletilmiştir. Bunun için; veri kayıtlarına ait 5 farklı öznitelik çıkarımı yapılmıştır. Bu özniteliklerin sınıflandırılması için en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında veri kayıtlarının farklı boyutları, özniteliklerin farklı kombinasyonları ve en yakın komşuluk algoritmasının farklı sınıflandırma sabiti (k) değerleri için sınıflandırmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda ferromanyetik malzeme içerikli gömülü cisimlerin; yeraltındaki varlığı, konumu, tahmini boyutu ve patlayıcı olup olmadıkları tespit edilebilmiştir. Sınıflandırma aşamasında; 32x25 boyutundaki ham veri matrisleri için indirgeme yapılması sonucu oluşturulan 32x2 boyutundaki veri matrisleri ile yapılan sınıflandırma çalışmalarında daha yüksek başarımın sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. 32x2 veri matrisleri ile yapılan en yakın komşuluk sınıflandırmalarının ortalama başarımı %80,41 olarak gerçekleşmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Manyetik anomali, en yakın komşuluk sınıflandırması, pasif yöntemle patlayıcı algılama, uzaktan algılama.

ABSTRACT

DETECTION OF BURIED OBJECT AND EXPLOSIVE BY MAGNETIC ANOMALY TECHNIQUE PH.D THESIS SERKAN GÜRKAN BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. SEYDİ DOĞAN)

BALIKESİR, APRIL 2017

The aim of this study is to develop a system that detects buried objects and explosives by using magnetic anomalies which are caused by the objects. In order to implement this detection, a passive measurement technique being different from other conventional detection systems was used.

A 32-nodes sensor network was designed by using FLC100/TE100 fluxgate magnetic field sensors. A magnetic field measurement system having the ability for cartesian movement was prepared to implement the motion of designed sensor network in 3-axes. 20 explosive agent geometries and 13 misleading materials having different geometrical features were used for experimental studies. For this purpose, every sample were buried under the humid soil and then scanned using sensor network from 5cm, 10cm, 15cm and 20cm distances, respectively. Data matrices of 32x25 size were recorded for each samples.

A classification algorithm was used to minimise the false alarm ratio for underground-buried sample detection systems. For this purpose, five different feature extractions for data records were carried out. The nearest neighborhood algorithm was performed to classify these features. In classification phase, there have been classification and comparison for different dimensions of data records, different combinations of features and different classification constant (k) values of nearest neighborhood algorithm.

As a result of the study, the locations, whether having explosive properties or not, and estimated sizes of buried objects showing ferromagnetic material have been detected. In the classification phase, there has been best success for the 32x2 data matrices being obtained by dimension reduction of 32x25 data matrices. The average success rate of nearest neighborhood classification was obtained as 80.41% by using 32x2 data matrices.

KEYWORDS: Magnetic anomaly, nearest neighborhood classification, explosive detection by passive techniques, remote sensing.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1 Patlayıcılar ve El Yapımı Patlayıcı	6
2.2 Gömülü Cisim ve Patlayıcı Tespit Yöntemleri	11
2.2.1 Akustik-Sismik Yöntem	12
2.2.2 Yere Etki Eden Radar Yöntemi	13
2.2.3 Elektromanyetik İndüksiyon Yöntemi	15
2.2.4 Nükleer Quadropol Rezonans Yöntemi	16
2.2.5 Nötron Tabanlı Yöntemler	18
2.2.5.1 Isıl Nötron Aktivizasyon Yöntemi	19
2.2.5.2 Nötron Geri Saçılımı Yöntemi	20
2.2.6 Kızılötesi Görüntüleme Yöntemi	21
2.3 Manyetik Anomali Yöntemi	21
2.3.1 Manyetik Anomali Ölçümlerinde Kullanılan Sensörler	25
2.3.2 Fluxgate Sensörler	31
3. SİSTEM TASARIMI	35
3.1 Elektronik Ölçüm ve İletişim Donanımı	36
3.1.1 Sensör Ağı.....	37
3.1.1.1 Manyetik Alan Ölçüm Sensörü	37
3.1.1.2 Enstrümantasyon Devresi	40
3.1.1.3 Analogtan Sayısala Dönüştürme	42
3.1.1.4 Sensör Ağına Kalibrasyonu	44
3.1.2 Kartezyen Robot Kontrol Ünitesi	46
3.1.3 Veri Toplama Ünitesi.....	48
3.2 Bilgisayar Arayüzü.....	50
3.3 Manyetik Alan Verilerinin Sınıflandırılması	51
3.3.1 Öznelik Çıkarımı	51
3.3.2 Sınıflandırma	52
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	55
4.1 Gömülü Cisim ve Patlayıcıları Manyetik Alan Ölçümleri.....	56
4.2 Gömülü Cisim ve Patlayıcı Tespiti	93
4.3 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Gömülü Olduğu Konumun Belirlenmesi..	94
4.4 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Derinliğinin Ölçüm Sonuçlarına Etkisi	95
4.5 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Fiziki Boyut-Görüntü İlişkisi	96
4.6 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Tarama Eksenindeki Cephe Genişliğinin Tespiti.....	99
4.7 32x25 Veri Matrislerinin Öznelik Uzaylarının Oluşturulması	100
4.8 32x25 Veri Matrislerinin Sınıflandırılması.....	108
4.9 32x25 Veri Matrislerinde Boyut İndirgeme	109

4.10	32x2 Veri Matrislerinin Öznitelik Uzaylarının Oluşturulması	111
4.11	32x2 Veri Matrislerinin Sınıflandırılması	117
5.	SONUÇLAR	120
6.	KAYNAKLAR	128
7.	EKLER	146



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: EYP Bileşenlerinin sembolik gösterimi.	8
Şekil 2.2: Elektrikli fünye.....	9
Şekil 2.3: Gergiden kurtulmalı tip EYP anahtarlama düzeneği.....	9
Şekil 2.4: Sarsıntı ile devreye giren EYP düzeneği.	10
Şekil 2.5: Kap olarak gündelik yaşam malzemelerinin kullanıldığı EYP düzenekleri.	10
Şekil 2.6: Telsiz tonları ile aktif olan anahtar düzeneği.	11
Şekil 2.7: TÜBİTAK ETMS-2 GPR özellikli mayın ve EYP tespit sistemi. ...	15
Şekil 2.8: Taşınabilir NQR mayın detektörü.	17
Şekil 2.9: TNT için elde edilen gama ışını spektrumu.	19
Şekil 2.10: Havan mermisinin doğal manyetik akı çizgilerini bozmasının sembolik gösterimi.	23
Şekil 2.11: MI sensörün temel bileşenlerinin gösterimi.	26
Şekil 2.12: ME sensörün yapısı.	27
Şekil 2.13: Hall geriliminin oluşumu.....	27
Şekil 2.14: SQUID sensörün çalışma mantığı.	28
Şekil 2.15: AMR sensörün basitleştirilmiş iç yapısı.....	29
Şekil 2.16: AMR sensörünün manyetik alan içerisindeki tepkisi.....	30
Şekil 2.17: AMR sensörde direnç değişimi.	30
Şekil 2.18: KMZ51 manyetik alan sensörünün şeması.	31
Şekil 2.19: Fluxgate sensörünün genel şematik gösterimi.	32
Şekil 2.20: Fluxgate sensör tipleri. a) Paralel, b) Ortogonal.	33
Şekil 2.21: Fluxgate olayının gerçekleşmesinin şematik gösterimi.	34
Şekil 2.22: Farklı tipteki paralel fluxgate sensörler.....	34
Şekil 3.1: MAD yöntemi ile GC-P tespit sisteminin blok şeması.	35
Şekil 3.2: MAD yöntemi ile GC-P tespit sistemi.	36
Şekil 3.3: TE100 fluxgate manyetik alan sensörü.	38
Şekil 3.4: Manyetik alanın büyüklüğüne göre TE100 çıkış geriliminin değişimi.	39
Şekil 3.5: TE100 Fluxgate sensörünün pin yapısı.	39
Şekil 3.6: Tasarlanan enstrümantasyon devresinin blok şeması.....	40
Şekil 3.7: Enstrümantasyon devresinin bir kanalına ait devre şeması.....	41
Şekil 3.8: Enstrümantasyon devresinin manyetik alan şiddetine bağlı çıkış genliği.	42
Şekil 3.9: AD7606 ADC modülünün alttan ve üstten görünüşleri.	43
Şekil 3.10: ADC modülünden paralel veri okumak için gerekli olan veri akışı.	43
Şekil 3.11: Sensör ağının kalibrasyonu için hazırlanan düzenek.	45
Şekil 3.12: Kalibrasyon düzeneğine ait dairesel dönüş eksenleri.....	46
Şekil 3.13: Kalibrasyon öncesi ve sonrasında bazı kanallara ait sinyal şekilleri.....	46
Şekil 3.14: KRKÜ blok şeması.....	47
Şekil 3.15: KRKÜ devre şeması.....	48
Şekil 3.16: VTÜ devre şeması.....	49
Şekil 3.17: “MAD Sampling” arayüz görüntüsü.	51

Şekil 3.18: En Yakın Komşuluk Sınıflandırma Prensibi. a) Öznitelik Uzayı, (b) En yakın 3 komşuluğun bulunması, (c) Verinin sınıflandırılması.....	54
Şekil 4.1: Standart üretimi bulunan patlayıcı numunelerin görüntüleri.	56
Şekil 4.2: EYP’lerde kap olarak kullanılabilcek numunelerin görüntüleri.....	57
Şekil 4.3: Yanıltıcı özelliği taşıyan numunelerin görüntüleri.....	58
Şekil 4.4: “Bombacık” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	60
Şekil 4.5: “El Bombası” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	61
Şekil 4.6: “60 mm Havan” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	62
Şekil 4.7: “81 mm Havan” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	63
Şekil 4.8: “M2 AP Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	64
Şekil 4.9: “M14 AP Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	65
Şekil 4.10: “M15 AT Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	66
Şekil 4.11: “M16 AP Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	67
Şekil 4.12: “1kg TNT Tahrip Kalıbı” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	68
Şekil 4.13: “Piknik Tüpü” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	69
Şekil 4.14: “Numune 1” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	70
Şekil 4.15: “Numune 2” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	71
Şekil 4.16: “Numune 3” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	72
Şekil 4.17: “Numune 4” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	73

Şekil 4.18: “Numune 5” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	74
Şekil 4.19: “Numune 6” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	75
Şekil 4.20: “Numune 7” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	76
Şekil 4.21: “Numune 8” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	77
Şekil 4.22: “Numune 9” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	78
Şekil 4.23: “Numune 10” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	79
Şekil 4.24: “Numune 11” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	80
Şekil 4.25: “Numune 12” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	81
Şekil 4.26: “Numune 13” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	82
Şekil 4.27: “Numune 14” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	83
Şekil 4.28: “Numune 15” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	84
Şekil 4.29: “Numune 16” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	85
Şekil 4.30: “Numune 17” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	86
Şekil 4.31: “Numune 18” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	87
Şekil 4.32: “Numune 19” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	88
Şekil 4.33: “Numune 20” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	89

Şekil 4.34: “Numune 21” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	90
Şekil 4.35: “Numune 22” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	91
Şekil 4.36: “Numune 23” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.	92
Şekil 4.37: “El Bombası” için 2 eksenli gri ölçek grafiği.....	93
Şekil 4.38: “Numune 2” için 2 eksenli gri ölçek grafiği.....	93
Şekil 4.39: “Numune 13” için 2 eksenli gri ölçek grafiği.....	94
Şekil 4.40: “M14 AP Mayını”nın gömülü olduğu konumun belirlenmesi.....	95
Şekil 4.41: “Numune 17”nin gömülü olduğu konumun belirlenmesi.	95
Şekil 4.42: “Numune 11” için fiziki boyut-görüntü ilişkisi.....	97
Şekil 4.43: “Numune 15” için fiziki boyut-görüntü ilişkisi.....	97
Şekil 4.44: Çapı (veya boyu), yüksekliğinden daha büyük olan numuneler için manyetik alanın sensör ağı üzerinde oluşturmuş olduğu anomali.	98
Şekil 4.45: Çapı (veya boyu), yüksekliğinden daha küçük olan numuneler için manyetik alanın sensör ağı üzerinde oluşturmuş olduğu anomali.	98
Şekil 4.46: “Numune 8” için tarama eksenindeki cephe genişliğinin bulunması.	100
Şekil 4.47: “Numune 20” için tarama eksenindeki cephe genişliğinin bulunması.	100
Şekil 4.48: 32x25 veri matrisleri için istatistiksel sonuçlar.	105
Şekil 4.49: 32x25 veri matrisleri için maksimum-minimum-basıklık katsayısı uzayı.	106
Şekil 4.50: 32x25 veri matrisleri için maksimum-minimum-standart sapma uzayı.	106
Şekil 4.51: 32x25 veri matrisleri için basıklık katsayısı-standart sapma-aritmetik ortalama uzayı.....	107
Şekil 4.52: 32x25 veri matrisleri için maksimum-minimum-aritmetik ortalama uzayı.	107
Şekil 4.53: 32x2 veri matrisleri için istatistiksel sonuçlar.	115
Şekil 4.54: 32x2 veri matrisleri için maksimum-minimum-basıklık katsayısı uzayı.	116
Şekil 4.55: 32x2 veri matrisleri için maksimum-minimum-standart sapma uzayı.	116
Şekil 4.56: 32x2 veri matrisleri için basıklık katsayısı-standart sapma-aritmetik ortalama uzayı.....	117
Şekil 4.57: 32x2 veri matrisleri için maksimum-minimum-aritmetik ortalama uzayı.	117
Şekil 5.1: M15 AT mayını için 10cm mesafeden yapılan manyetik alan tarama sonucu görüntüleri. a) Siyah-beyaz, b) Gri ölçek, c) Renkli.	121
Şekil 5.2: Ölçüm platformunun farklı konumları için 60mm Havana ait manyetik alan tarama sonuçları.....	123

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Dünyada, yıllara göre kara mayını kaynaklı uzuv/organ ve can kayıplarının dağılımı (1999-2013).	3
Tablo 2.1: Manyetik sensörlerin karşılaştırılması.	26
Tablo 3.1: ADC modülünün sayısal giriş uçlarının işlevleri.	44
Tablo 3.2: Veri matrisinin yapısı.	50
Tablo 3.3: Güvenirlik katsayısı aralıklarının izahı.	54
Tablo 4.1: Standart üretimi bulunan patlayıcı numunelerinin fiziki özellikleri.	56
Tablo 4.2: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numunelerin fiziki özellikleri.	57
Tablo 4.3: Yanıltıcı özelliği taşıyan numunelerin fiziki özellikleri.	58
Tablo 4.4: Standart üretimi bulunan patlayıcı numuneleri için öznitelik değerleri.	102
Tablo 4.5: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numuneler için öznitelik değerleri.	103
Tablo 4.6: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 11-Numune 20) için öznitelik değerleri.	104
Tablo 4.7: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 21-Numune 23) için öznitelik değerleri.	105
Tablo 4.8: Öznitelik grupları ve elemanları.	108
Tablo 4.9: 32x25 veri matrisleri için kNN sınıflandırma sonuçları.	109
Tablo 4.10: 32x2 veri matrislerinin oluşturulma aşamaları.	110
Tablo 4.11: Standart üretimi bulunan patlayıcı numuneleri için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.	112
Tablo 4.12: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numuneler için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.	113
Tablo 4.13: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 11-Numune 20) için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.	114
Tablo 4.14: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 21-Numune 23) için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.	115
Tablo 4.15: 32x2 veri matrisleri için kNN sınıflandırma sonuçları.	118
Tablo 5.1: kNN Sınıflandırma Sonuçları.	125

KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	: Analog to Digital Converter (Analogtan Sayısala Çevirici)
AMR	: Anisotropic Magnetoresistive (Anizotropik Manyeto Rezistif)
AP	: Anti-Personel
AT	: Anti-Tank
CMR	: Colossal Magnetoresistive (Colossal Manyeto Rezistif)
DSE	: Doğru Sayılan Eleman
EMI	: Electromagnetic Induction (Elektromanyetik İndüksiyon)
EYP	: El Yapımı Patlayıcı
GC-P	: Gömülü Cisim ve Patlayıcı
GMR	: Giant Magnetoresistive (Giant Manyeto Rezistif)
GPR	: Ground Penetrating Radar (Yere Etki Eden Radar)
GUI	: Graphic-User Interface (Kullanıcı-Grafik Arayüzü)
IR	: Infrared
k	: Sınıflandırma Sabiti
Knn	: k Nearest Neighbor (k En Yakın Komşuluk)
KRKÜ	: Kartezyen Robot Kontrol Ünitesi
MAD	: Magnetic Anomaly Detection (Manyetik Anomali Algılama)
ME	: Magneto Electric (Manyeto Elektrik)
MI	: Magneto Inductive (Manyeto İndüktif)
MR	: Magneto Resistive (Manyeto Rezistif)
NQR	: Nuclear Quadrupole Resonance (Nükleer Dörtlü Kutup Rezonansı)
SQUID	: Superconducting Quantum Interference Device
TMR	: Tunnel Magnetoresistive (Tünel Manyeto Rezistif)
TNA	: Thermal Neutron Activation (Isıl Nötron Aktivizasyon)
VTÜ	: Veri Toplama Ünitesi

ÖNSÖZ

Doktora çalışmalarım süresince bilgi, tecrübe ve fedakârlığını benden esirgemeyen değerli bilim insanı danışman hocam Prof. Dr. Seydi DOĞAN'a teşekkür ederim. Kazandırdığı bakış açısı ve cesaret ile pek çok yönden kendimi geliştirmemde katkısı olmuştur.

Eğitim öğretim hayatım boyunca yanımda olan annem Emine GÜRKAN ve babam Halil GÜRKAN'a minnetlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, aldığım kararlarda beni sürekli destekleyen kızım Selen GÜRKAN ve sevgili eşim Nesli GÜRKAN'a gösterdikleri sabır ve anlayış için teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Ülkemizin de içerisinde bulunduğu coğrafyada, yasal kurumlar tarafından güvenlik maksadıyla döşenen kara mayınları ve yasadışı gruplar tarafından yerleştirilen gömülü el yapımı patlayıcı (EYP) potansiyeli, bu EYP konusunun incelenmesini daha önemli hale getirmektedir. EYP ve kara mayınları sebebiyle çok fazla can, uzuv ve mal kayıpları meydana gelmektedir.

Belli bir plan dâhilinde veya plansız olarak kullanılan kara mayınları birçok ülkede insanî bir problem olarak ele alınmaktadır [1]. Bunun neticesinde kısaca "Ottawa Sözleşmesi" olarak bilinen "Anti-Personel Mayınların Kullanımının, Depolanmasının, Üretiminin ve Devredilmesinin Yasaklanması ve Bunların İmhası ile İlgili Sözleşme" 4 Aralık 1997 tarihinde Ottawa'da imzaya açılmış ve 1 Mart 1999 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Ottawa Sözleşmesine imza atan devletler aşağıdaki temel şartları yerine getirmeyi kabul etmişlerdir.

- Anti-Personel (AP) mayınlarının kullanılması, stoklanması, üretimi ve transferi yasaklanmıştır.
- Yalnızca mayın tespit, temizleme ve imha eğitimlerinin verilmesi ve konseptlerin geliştirilmesi maksadıyla belirli bir miktar AP mayın bulundurulmasına ve transfer edilmesine müsaade edilmektedir.
- Dört yıl içerisinde depolarda stoklu bulunan tüm AP mayınlar imha edilecektir.
- On yıl içerisinde gömülü vaziyetteki tüm AP mayınlar imha edilecektir.
- Mayın döşeli olan veya mayın döşeli olduğu değerlendirilen bölgeler tecrit edilecektir.

Ottawa Sözleşmesi 136 ülke tarafından onaylanmış, 146 ülke tarafından imzalanmıştır.

Türkiye'nin "Anti-Personel Mayınların Kullanımının, Depolanmasının, Üretiminin ve Devredilmesinin Yasaklanması ve Bunların İmhası ile İlgili Sözleşme"ye katılmasına ilişkin yasa, 12 Mart 2003 tarihinde Türkiye Büyük Millet

Meclisi'nde kabul edilmiştir. Bakanlar Kurulu'nun 28 Mart 2003 ve 2003/5427 Sayılı Kararı ile Sözleşme onaylanmıştır. Ottawa Sözleşmesi Türkiye açısından 1 Mart 2004'te yürürlüğe girmiştir.

Sözleşmeye dâhil ülkelerde yeraltında bulunduğu için temizlenemeyen veya sözleşmeye dâhil olmayan ülkelerin elinde yaklaşık 160 Milyon adet patlamaya hazır AP mayın olduğu tahmin edilmektedir. Ottawa Sözleşmesinden bugüne kadar yaklaşık 50 Milyon kara mayını imha edilmiştir [2]. "Kara Mayını İzleme Raporu 2013" [2] verilerine göre 1999-2013 yılları arasında anti-personel mayın kaynaklı olan ve uzuv kaybı veya can kaybıyla sonuçlanan olaylara ait istatistik Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 incelendiğinde Ottawa sözleşmesinin yürürlüğe girmesinden itibaren kara mayınlarına bağlı uzuv/organ kaybı olaylarında kayda değer bir azalma meydana geldiği göze çarpmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti sınırları dâhilinde gerçekleştirilecek insani amaçlı mayın ve/veya patlamamış mühimmat temizliğine yönelik faaliyetleri yürütmek üzere "Millî Mayın Faaliyet Merkezi" kurulmuştur [3]. Milli mayın faaliyet merkezi kurulmasına ilişkin kanun ile kurulan merkez; millî mayın faaliyet planını uygulamak, yürütülen faaliyetleri takip ve kontrol etmek, aksaklıklarla ilgili tedbir almak, millî mayın temizleme standartlarını hazırlamak, güncellemek ve yayımlamak, mayın ve/veya patlamamış mühimmat faaliyetlerinin ulusal düzenlemelere ve uluslararası mayın temizleme standartlarına uyumlu olarak yürütülmesini sağlamak gibi başlıca faaliyetleri yürütmek üzere görevlendirilmiştir.

Dünyada ve Türkiye'de gömülü patlayıcı temizlenmesi konusunda önemli adımlar atılmasına ve yasal mevzuatlar getirilmesine karşın temizleme faaliyetleri oldukça yavaş ilerlemektedir. Yavaş ilerlemenin önündeki birkaç temel problem göze çarpmaktadır.

- Belli bir plan dâhilinde haritalara işlenerek mayın döşenmesine karşın meteorolojik ve jeolojik olaylar neticesinde mayınların yer değiştirmesi söz konusudur.

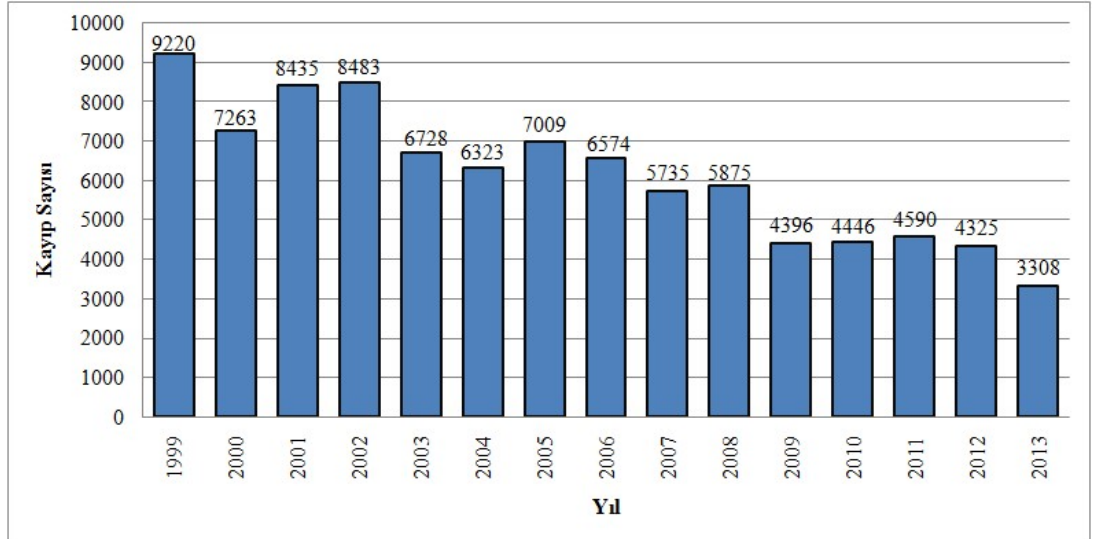
- Belli bir plan dâhilinde döşenmesine karşın terör örgütleri tarafından yerleri tespit edilerek mayın arama cihazlarına karşı tuzaklanan mayınlar bulunmaktadır.

- Belli bir plana bağlı kalmaksızın terör örgütleri tarafından gelişigüzel yerleştirilen ve bunun yanında mayın arama cihazlarına karşı tuzaklanan mayınlar bulunmaktadır.

- Kullanılan AP mayınlar çoğunlukla düşük metal içerikli plastik malzemeden imal edilmektedir.

- Kullanılan mayın çeşitliliğinin çok fazla olmasından dolayı sınıflandırma ile ilgili zorluklarla karşılaşmaktadır [4].

Tablo 1.1: Dünyada, yıllara göre kara mayını kaynaklı uzuv/organ ve can kayıplarının dağılımı (1999-2013) [2].



Sıralanan bu problemler, konvansiyonel mayın tespit sistemlerinin başarımlarını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Gömülü patlayıcıların belirlenmesi çalışmalarında önemli parametrelerden iki tanesi güvenilirlik ve hızdır. Yani gömülü patlayıcı taraması gerçekleştiren bir sistemin, tespit ettiği bir cismi patlayıcı sınıfına giren veya girmeyen madde olarak hızlı bir şekilde sınıflandırması ve bu durumu alarm çıktısı olarak vermesi gerekmektedir. Güvenilirliği artırma kaygısıyla yeraltında tespit edilen herhangi bir cismi patlayıcı madde olarak sınıflandırmak, patlayıcı arayan operatörün hızını düşürecektir [5]. Ayrıca sistemin hızını artırmak amacıyla patlayıcı madde olarak

değerlendirilebilecek bazı verileri göz ardı etmek güvenilirliği azaltacak, bu da operatör açısından geri dönülemeyecek problemlere sebep olabilecektir.

Gömülü patlayıcı algılama teknolojileri için asıl önemli olan, düşük yanlış alarm seviyesinde, patlayıcının gerçeğe en yakın şekilde yüksek algılama oranı ve hızlı şekilde belirlenebilmesidir. Bunun için birçok değişik algoritmalar kullanılabilir. Hemen hemen bütün algoritmaların tasarım stratejileri; ön işleme, özellik çıkarma, güven atama ve karar verme olmak üzere dört evreye ayrılabilir. Bütün algoritmalarından istenen ise, hesaplama verimliliği ve küçük sınıflandırıcı bellek gereksinimidir [6].

Gömülü patlayıcı belirleme çalışmalarında kullanılacak sistemlerin güvenilir ve hızlı olabilmesi için, konvansiyonel mayın detektörlerinde olduğu gibi sadece manyetik özellikli mayınları belirlemeye odaklanmaması gerekmektedir [7]. İlave bazı verilerin toplanması, yorumlanması, sinyal işleme tekniklerinin kullanılarak operatörün karar vermesine yönelik kolaylıklar sunulması, güvenilirliği ve hızı artıracaktır.

Terör örgütleri tarafından gizlenen gömülü patlayıcılar diğer patlayıcılardan farklı özellikler göstermektedir. Güvenlik birimlerinin geçişlerini engellemek, yavaşlatmak veya zarar vermek amacıyla terör örgütleri tarafından gizlenen bazı gömülü patlayıcıların, detektörlerin yayın frekansına duyarlı anahtarlama mekanizmaları ihtiva ettiği bilinmektedir. Bu mekanizmaların, gömülü patlayıcıyı arama aşamasında kullanılan detektörün yayın frekansı ile uyarılarak patlatıcı mekanizmasının harekete geçmesi sonucu infilâk ettikleri görülmüştür.

Bu tür EYP düzeneklerini devre dışı bırakabilmek için kullanılacak tespit yönteminin pasif olması gerekmektedir. Yani algılama sistemi ortama herhangi bir sinyal yayını yapmamalıdır.

Tez çalışmamızın konusu “Manyetik Anomali Yöntemi ile Gömülü Cisim ve Patlayıcı Tespiti” olmasına karşın; ülkemizde EYP ve kara mayınlarına duyulan hassasiyet sebebiyle, terör örgütleri tarafından yeraltına gizlenen veya tuzaklanan metal içerikli patlayıcı tertibatların algılanmasına yönelik tespitlere ağırlık verilmiştir.

Bu çalışma; tamamen pasif ölçümlerle yani herhangi bir sinyal yayını yapmadan, tetikleme mekanizmalarını devreye almayan, hızlı ve yüksek derecede güvenilir gömülü patlayıcı belirleme sisteminin tasarımının yapılması ve prototip seviyesinde gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Literatür taramalarında; manyetik anomaliden faydalanılarak gömülü cisim ve patlayıcı (GC-P) tespit çalışmalarında geliştirilen sistemlerde ekseriyetle sabit bir manyetik alan oluşturulmuş ve buna karşılık oluşan anomaliler tespit edilmiştir. Ancak bu çalışma kapsamında tamamen dünyanın doğal manyetik alanına karşılık meydana gelen anomaliler değerlendirilmiştir. Literatürde, pasif algılama teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen GC-P çalışmalarında sensör veya sensör ağının pozisyonundan kaynaklı farklı ölçme sonuçlarının elde edildiği görülmüştür. Bu sorunu bertaraf etmek için, sensör konumunun ölçümlere etkisini minimize eden enstrümantasyon devresi tasarımı yapılmıştır. Yukarıda bahsedilen her iki arzu edilmeyen probleme getirilen çözümler bu çalışmayı özgün hale getirmektedir.

Çalışma kapsamında özetle; manyetik anomalileri tespit etmek üzere bir sensör ağı kurulmuştur. Bu sensör ağının ölçüm sahasını belirlemek ve deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere kartezyen hareket kabiliyetine sahip bir veri toplama sistemi tasarlanmıştır. Veri toplama sisteminden elde edilen veriler ışığında test numunelerine ait örnek küme oluşturulmuştur. Öznitelik çıkarımının ardından patlayıcı madde olarak değerlendirilebilecek ve değerlendirilemeyecek cisimler belirlenmiştir. Son olarak, en yakın komşuluk algoritması kullanılarak verilerin sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tezin birinci bölümünde kısaca giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümünde detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, geleneksel GC-P tespit yöntemlerine yer verilmiş ve manyetik anomali yönteminde kullanılan sensör tipleri detaylı şekilde açıklanmıştır. Tezin üçüncü bölümünde, sistem tasarımının nasıl gerçekleştirildiği, sistemi oluşturan bileşenlerin neler olduğu ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, deneysel çalışma ve bulgulara yer verilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde ise yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ayrıntılarıyla açıklanmış ve literatürle kıyaslamaları yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Patlayıcılar ve El Yapımı Patlayıcı

Hararet ve şok tesiriyle, kimyasal değişikliğe uğraması sonucu sahip olduğu hacimden çok daha fazla hacimde gaz, yüksek derecede ısı meydana getirebilen katı, sıvı ve gaz haldeki tüm kimyasal bileşim ve/veya karışımlara patlayıcı denmektedir [8]. Patlayıcı maddeler, dışarıdan uygulanan bir etki sonucunda infilâk ederek büyük bir gaz kütlesi oluşturur, açığa çıkardığı ısı miktarında artış olur ve yanıcı bir özellik alır. İlk anda bulundukları hacimden çok büyük ve yüksek hacimlere ulaşabilirler. Hacim değişiminin çok hızlı bir şekilde meydana gelmesi, yüksek basınç oluşumuna, bunun sonucunda ise yüksek tahribatların meydana gelmesine yol açabilir.

Düzenek haline getirilmiş patlayıcılar, terör örgütlerince daha az kişi ile eylem yapılabilme, daha büyük hasar verebilme ve onlara kaçma imkânı sağlaması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Patlayıcı düzenekleri kimi zaman bir araç, kimi zaman ise yol kenarına gizlenen LPG tüpleri içerisinde uzaktan kumanda düzenekleri yardımıyla patlatılabilmektedir. Bunun yanında üzerlerine yerleştirdikleri patlayıcı düzenekleri ile intihar bombacıları da örgütlerin başvurduğu yöntemlerden biridir [9].

EYP; öldürmek, tahrip etmek, kısıtlamak, zarar vermek, hareket kabiliyetini ortadan kaldırmak veya tehdit etmek maksadıyla; konvansiyonel olmayan yöntemlerle imal edilen veya yerleştirilen; tahrip edici, öldürücü, zarar verici, infilak eden veya yakıcı kimyasal maddelerden oluşan bir silah olarak tanımlanmaktadır [10, 11]. Diğer bir tanımda ise; “Terör amacıyla çeşitli malzemelerden elle yapılarak kullanılan bir çeşit mayındır.” şeklinde ifade edilmektedir [12]. EYP kavramındaki "el yapımı" sözcüğünden "mevcut imkânlar kullanılarak, doğaçlama, elde bulunan malzeme ile imal edilen" ifadeleri anlaşılmalıdır.

Soğuk Savaş sonrasında şekillenen güvenlik ortamında EYP kullanımında artış eğilimi görülmektedir. Bu niteliğiyle EYP, geleceğin düşük ve orta yoğunluklu çatışma ortamlarında olduğu kadar, güvenliğin büyük ölçüde sağlandığı bölgelerde de kullanılmaya devam edecektir. EYP konusu, münferit bir tahrip düzeneğinin patlatılmasının ötesinde, çatışma ve terör ortamlarında kullanılan başlıca muharebe vasıtası olma özelliğini taşımaktadır. Sahip olduğu konvansiyonel olmayan ve asimetrik nitelikleri ile yeni çatışma yöntemi olma özelliği ve yarattığı sonuçlar nedeniyle EYP konusu, sadece güvenlik kuvvetleri ölçeğinde değil, aynı zamanda devlet ve sivil toplum ölçeğinde de ele alınması gereken bir konudur. Nitekim EYP saldırılarına yoğunlukla maruz kalan devletlerde konu bu kapsam ve seviyelerde ele alınmaktadır [13].

EYP'ler değişik ölçütlere göre sınıflandırılmaktadırlar. Bunlardan başlıcaları; saldırı yöntemine ve konumuna göre sınıflandırmadır [14].

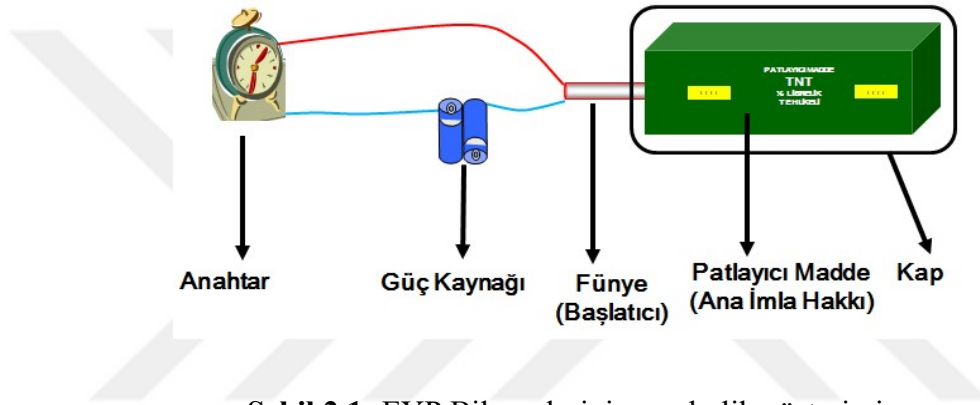
Saldırı yöntemine göre EYP'ler: başlatma hareketli EYP'ler (çekme, basma, baskıdan/gergiden kurtulma, bubi tuzaklı), komutalı EYP'ler (araç ve/veya yaya ile intihar saldırıları), uzaktan komutalı EYP (telsiz, telefon, kablolu), zaman ayarlı EYP'ler ve benzerleridir.

Konumuna göre EYP'ler: Sabit EYP'ler (yere gömülü, su altına gizlenmiş, havada asılı, yamaca yerleştirilmiş, yüzeye bırakılmış vb.), hareketli EYP'ler (araç, motosiklet, sürat botu, hayvan, "canlı bomba" olarak tabir edilen insanlar üzerine yerleştirilen düzenekler ile intihar saldırısı vb.) ve benzerleridir.

Şekil 2.1'de görüleceği üzere, EYP temel olarak beş basit parçadan oluşur. Anahtar, fünye (başlatıcı), kap, patlayıcı (ana imla hakkı) ve güç kaynağı. Kullanılan patlayıcının miktarı ve kabın cinsi EYP'nin tesirini artırır. Mayın, top mermisi, roket ve el bombaları EYP olarak kullanılabilir gibi, piknik tüpleri gibi kolay temin edilebilen malzemeler de EYP'ye çevrilebilir. Biyolojik, kimyasal ve radyolojik maddelerin eklenmesiyle de EYP'nin tahrip gücü artırılabilir.

Güç kaynağı olarak genellikle kuru tip pil ve bataryalar tercih edilmektedir. Muhafazasında ve içeriğinde metal içeren bu tip güç kaynakları EYP'lerin tespitinde önemli bir parametredir.

Anahtar bileşeni, istenilen bir durum meydana geldiği zaman güç kaynağından fünüye akım akıtarak patlamanın gerçekleşmesini sağlayan düzendir. Anahtar düzeneği; basma, basmadan kurtulma, radyo frekans sinyalleri, ses, ışık, süre gibi etmenlerle aktif hale getirilebilir. Bunun dışında EYP aramak için kullanılan detektörlerin yaymış olduğu sinyalleri algıladığı zaman aktif olan anahtar düzeneği de mevcuttur.

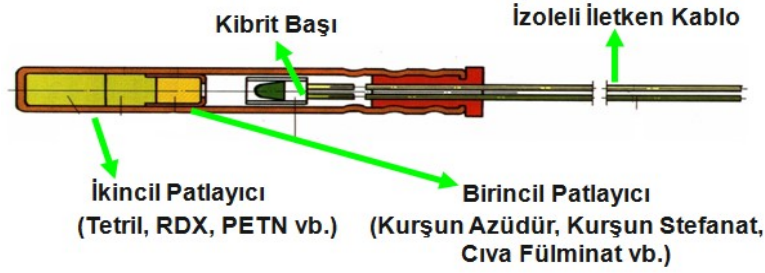


Şekil 2.1: EYP Bileşenlerinin sembolik gösterimi.

Fünüye, patlayıcının patlamasını gerçekleştirmesi için ihtiyaç duyulan harareti sağlar. Saniyeli fitil ve elektrikli fünüye gibi çeşitleri olmasına karşın EYP'lerde elektrikli fünüye daha çok tercih edilmektedir. Elektrikli fünüyenin iç yapısı Şekil 2.2'de verilmiştir. İletkenlerden fünüyenin ihtiyaç duyduğu gerilim uygulandığında (kibrit başından en az 1 A akım geçirebilecek bir gerilim [15, 16]) kibrit başı alevlenir ve açığa çıkan düşük ısı birincil patlayıcıyı ateşler. Birincil patlayıcı ise ikincil patlayıcıyı tahrik ederek ortaya daha fazla ısının açığa çıkmasına sebep olur. Ortaya çıkan bu ısı ve beraberindeki basınç EYP'deki patlayıcının ateşlenmesine yol açar.

EYP'lerde kullanılan kap patlayıcı maddeyi korumak ve patlama neticesinde oluşan tahribatın etkisini artırmak maksadıyla kullanılır. Metal ve plastik meşrubat kutuları, konserve kutuları, piknik tüpleri, çöp kutusu vb. gereçler kap olarak kullanılabilir. Kap içerisine, patlayıcı haricinde ilave edilen

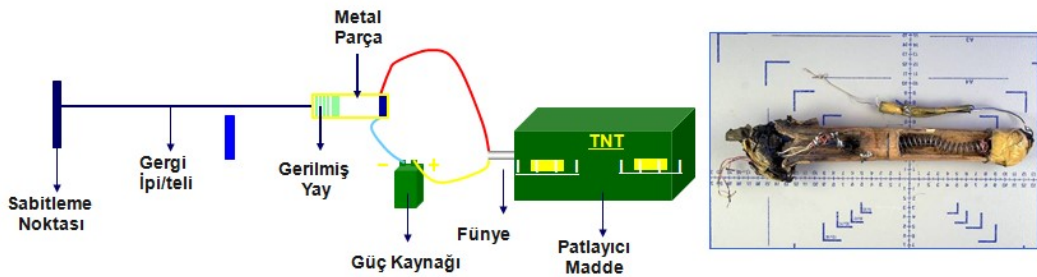
metal parçacıklar EYP'nin etkisini artıran diğer bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.2: Elektrikli fünye.

Terör örgütleri tarafından kullanılan birkaç EYP düzeneğine ait görüntüler Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir. Dikkat edileceği üzere düzeneklerin tamamında metal bileşenler bulunmaktadır. Düzenekleri hazırlayarak belli bölgelere yerleştiren yasadışı gruplar, düzeneklerin tespit edilme ihtimalini azaltmak için; anahtarlama-güç kaynağı gibi bileşenleri iletken parçaları ile patlayıcı-fünye bileşenlerinden daha uzak bir noktaya yerleştirmektedirler. Bu şekilde; güvenlik birliklerinin geçiş noktalarına metal yoğunluğu az olan bileşenleri, geçiş noktaları dışında kalan bölgelere ise metal yoğunluğu daha fazla olan bileşenleri konumlandırmaktadırlar.

EYP'lerin; insanlar tarafından kullanılan [17, 18], hareketli kara araçlarına yerleştirilen [19-23], hava araçlarına yerleştirilen [24] detektörler yardımıyla tespit edilebildikleri bildirilmiştir.



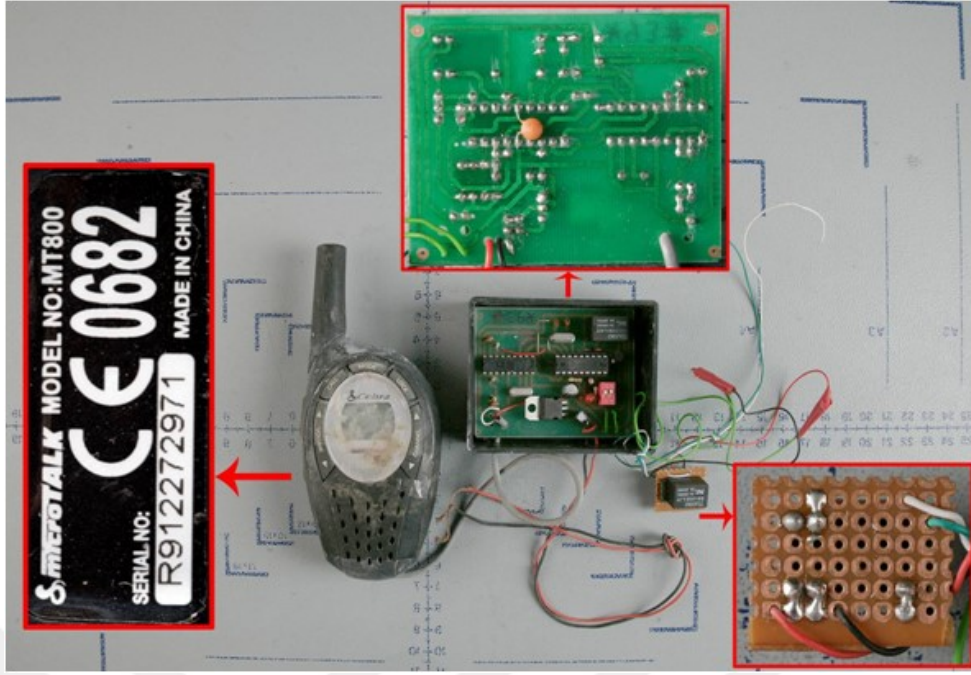
Şekil 2.3: Gergiden kurtulmalı tip EYP anahtarlama düzeneği.



Şekil 2.4: Sarsıntı ile devreye giren EYP düzeneği.



Şekil 2.5: Kap olarak gündelik yaşam malzemelerinin kullanıldığı EYP düzenekleri.



Şekil 2.6: Telsiz tonları ile aktif olan anahtar düzeneği.

2.2 Gömülü Cisim ve Patlayıcı Tespit Yöntemleri

Günümüzde yer altı algılama sistemleri; coğrafî, arkeoloji, yer bilimi, sağlık, askerî, inşaat mühendisliği, biyoloji vb. araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tespit edilecek cismin veya incelenecek malzemenin karakteristik özellikleri kullanılacak yöntemin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Araştırılan cismin yeraltında gömülü bir patlayıcı olması durumunda; ne maksatla-kimler tarafından yerleştirildiği ve patlayıcı maddenin özelliklerinin bilinip bilinmediği gibi parametreler, algılama tekniğinin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

GC-P deteksiyon yöntemleri; iz ve kütle analizi olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılır [8, 25]. İz analizi yöntemi, patlayıcının moleküllerinin hava veya toprak çevresindeki örneklerde belirlenmesine dayanır. Kütle analizi yöntemi, patlayıcının görsel olarak tanınmasıdır. Her iki yöntemde de patlayıcı niteliği taşıyan bir kütlenin varlığı ya da yokluğunun analizi esas alınır.

2.2.1 Akustik-Sismik Yöntem

Akustik-sismik (SeismicReflection) algılama yöntemi; toprağın 1KHz den az frekanslarda uyarılması ve toprakta meydana gelen bu titreşimlerle gömülü cisim üzerindeki toprağın "titreşim işaretlerinin" yer yüzeyindeki algılayıcılarla ölçülmesi esasına dayanır. Toprak titreşimi, havadan taşınan akustik dalgalar ya da topraktan taşınan sismik dalgalar yardımıyla sağlanabilmektedir. Toprağın titreşimi neticesinde; cisim bulunan veya bulunmayan ortamlarda farklı yansımalar meydana gelir. Akustik-sismik algılama yönteminde en önemli husus gömülü cisimden alınacak "titreşim imzalarının" algılanması ve doğru yöntemlerle işaretlenmesidir [26].

Akustik-sismik ölçüm sistemleri; yeraltında bulunan metal/plastik borularda meydana gelen aşınma ve arızaların tespitinde, tıp alanında kullanılan ilaçların üretiminde meydana gelen kusurların tespitinde, endüstride kullanılacak bazı materyallerin laboratuvar incelemelerinin yapılması ve üretim esnasında meydana gelen hataların tespit edilmesinde, petrol ve yer altı kaynaklarının araştırılmasında, doğa olaylarının ve iklimsel değişimlerin gözlemlenmesinde, araç tanıma ve araç trafiği denetim sistemlerinde [27-31], AP mayını ve EYP tespitinde [32-34] yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğrusal olmayan bozulma etkisine sahip olması akustik-sismik algılama yöntemi için avantajdır. Bu sebeple yüksek güvenilirlikli ve düşük yanlış alarm oranına sahip bir yöntem olarak nitelendirilebilir [6].

Bu yöntemin başlıca dezavantajları ise; algılanacak gömülü patlayıcının yüzeye yakın olduğu durumlarda yanlış alarmlar alınabilmesi, algılayıcı sensör ile ses kaynağı arasında bir mesafe olması gerekliliği ve ses dalgalarının yayılım hızının ölçüm hızına olan etkisinden dolayı diğer yöntemlere göre daha yavaş bir yöntem olması, kurulum ve işletme maliyeti diğer yöntemlere göre daha fazla olması ve 10cm'den daha derinlerde bulunan gömülü patlayıcıların tespitindeki başarımlarının düşük olması şeklinde sıralanabilir [35, 36].

2.2.2 Yere Etki Eden Radar Yöntemi

Yer altı radarı ya da genel adıyla yere etki eden radar (Ground Penetrating Radar-GPR) yeraltının sığ tabakalarının (ilk 0-40 metre) araştırılmasında kullanılan jeofizik bilimi tabanlı bir ölçüm cihazıdır [37].

Yöntem, yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan bir verici anten aracılığı ile yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarının ara yüzeylerden yansımalarının gözlemlenmesi ilkesine dayanmaktadır [38]. Yeraltında, her iki tarafı farklı dielektrik özellikte oluşan bir ara yüzey varsa, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansıma ve iletme uğrayacaktır. Dalga şekli olarak 1-1000 MHz aralığındaki elektromanyetik darbeler kullanılır. Kaynak dalgası için seçilen bir merkezi frekansın %50 altı ve üstü aralığındaki frekanslar tercih edilir. Örnek olarak 100 MHz merkez frekanslı kaynaktan 50 MHz den 150 Mhz e kadar bir aralık kullanılır [39].

GPR sisteminde yansımalarının tespiti, çevresel faktörlerin etkisiyle her zaman kolay olmamaktadır. Toprak dağılımının heterojen oluşu, nem oranı, hedef obje dışında başka cisimlerin varlığı, yüzey pürüzlülüğü gibi değişken parametreler algılanan yansımayı olumsuz etkiler. Ayrıca toprak ile hedef obje arasındaki küçük boşluklar, bitki kökleri toprak ile büyük kayalar arasındaki farklılıklar yanıltıcı yansımalarla neden olabilir ki bu durum GPR yöntemi için en önemli handikap olan yanlış alarm oranını artırır [40]. GPR yönteminde arazi şartlarına göre değişken kalibrasyon gerekliliğinden ıslak kumda bir mayın belirlenmeye çalışılırken, çevredeki kuru kumda gömülü başka bir mayın tespit edilememektedir. Olası değişken ortamlarda alınan işaretlerin algılanıp doğru yorumlanması çok önemlidir. Bu sebeple GPR problemlerini bilgisayarlı sistemlerde yorumlayarak anlamlı ses ve görüntülere çevirecek matematiksel modellere, değişik filtre ve algoritmalara büyük iş düşer [6].

GPR sistemlerinde en önemli parametre toprağa gönderilen kaynak sinyalinin frekansıdır. Yüksek frekans değerlerinde çalışıldığı zaman yüksek çözünürlüklü görüntüler alınabilir. Ancak kaynak sinyalinin frekansındaki artış çalışma derinliğinin azalmasına yol açar. Çözünürlüğü istenen derinlik d , ortamın sahip olduğu dielektrik ϵ ise uygun frekans (2.1) eşitliği ile bulunur [41].

$$f = \frac{150}{d \cdot \sqrt{\epsilon}} \quad (2.1)$$

En düşük kaynak frekansı, en derin çalışma imkânını verir. Bu durumda çalışma derinliği ile görüntü kalitesi arasında sürekli bir tercih zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Yeterli etki derinliği sağlanırken kaliteli görüntünün elde edilebileceği en uygun ayar değerleri çevre şartlarına, toprak tipine ve objenin konumuna bağlıdır.

EYP'lerin ve kara mayınlarının yer yüzeyinin 5-10cm altına yerleştirildiği düşünüldüğünde yüksek kaynak frekansları kullanılarak yüksek çözünürlüklü GPR görüntüleri alınabilir. GPR için olumsuz koşullar oluşturan etmenlerin ortadan kaldırılması durumunda veya elverişli koşullarda kullanım ile düşük yanlış alarm oranına sahip algılamalar gerçekleştirilebilir.

GPR tabanlı ölçüm sistemleri; yapısal araştırmalarda toprak stratigrafisinin ve jeolojik kesitlerin ortaya çıkarılmasında, yüzeye yakın jeolojik unsurların tespitinde, fay-kırık-çatlakların haritalanmasında, yeraltı karstik boşluklarının aranmasında, yeraltı su kaynaklarının ve özelliklerinin belirlenmesinde, yüzeye yakın sıvı hidrokarbon aramalarında, arkeolojik çalışmalarda toprağın elektriksel geçirgenliğindeki değişimlerden faydalanarak eski medeniyetlere ait yapıların ve eski parçaların yerlerinin belirlenmesinde, yeraltında gömülü boru, boru hattı, su veya akaryakıt tankı ve eski endüstriyel atık alanlarının tespitlerinde, zemin araştırmalarında, tünel araştırmalarında, karayolu, demiryolu, su tünelleri, tüp geçitler, maden galerileri içinde duvar cephelerinin sağlamlık tespitinde, galeri içinde bozunmuş zon ve cevher aramada, galeri ilerleme yönü tespitlerinde, adli tıp vakalarında yeraltındaki insan, silah, vb. kalıntıların aramada, endüstriyel maksatla kesilen ağaçların içerisinde var olan hava boşluğu ve metal parçaların tespit edilmesinde, gezegenlerin yüzey ve yeraltı özelliklerinin incelenmesinde [42-48], EYP ve kara mayınlarının tespitinde [49-54] yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2.7'de TÜBİTAK BİLGEM tarafından geliştirilen, güvenlik güçleri tarafından EYP ve mayın tarama işlemlerinde kullanılan, GPR özellikli bir detektör görülmektedir.



Şekil 2.7: TÜBİTAK ETMS-2 GPR özellikli mayın ve EYP tespit sistemi [55].

2.2.3 Elektromanyetik İndüksiyon Yöntemi

Elektromanyetik indüksiyon (Electromagnetic Induction - EMI) spektroskopisi, zamana bağlı elektromanyetik değişimin olduğu bir ortama iletken ve/veya manyetik geçirgenliği olan bir cisim konulduğunda, cisim üzerinde bir elektrik yük akışının oluşması ve indüklenen bu akımın zayıf ikincil bir manyetik alan üretmesi prensibine dayanır. Kısmen ya da tamamen metal içerikli nesneler; elektrik iletkenliği, manyetik alan geçirgenliği, geometrik şekil ve büyüklük gibi nesneye özgü ayırt edici özelliklere sahiptirler [26]. Bu noktadan hareketle, nesne düşük frekanslı bir elektromanyetik alana maruz kaldığında oluşan bu ikincil manyetik alan geniş bir bant aralığında (30Hz - 24KHz) incelendiğinde nesneye özgü ve onu tanımlayabilecek spektral bir imza elde edilir [56]. Cevap olarak elde edilen bu spektrum, nesnenin karakteristik imzasıdır. İkincil manyetik alanın algılanması ile nesne belirlenmiş olur. Belirlenecek nesnede değişken manyetik alanın frekansının seçimi, derinliğe d (inch), nesnenin bağl manyetik geçirgenliğine μ_r ve nesnenin elektriksel direncine R (ohm) göre değişim gösterir [57].

$$f = 2500 \times \frac{R}{\mu_r \cdot d^2} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

Genel olarak bu yöntem, 2m'ye kadar derinlik seviyesinde gömülü metal içerikli cisimlerin araştırılması için uygun olarak kabul edilir. Ancak, farklı cins metalleri birbirinden ayırt ederek sınıflandırma yapmak veya düşük metal içerikli

cisimleri algılamak oldukça zordur. Bu nedenle EMI detektörler ile yapılan taramalarda odaklanılan cisim dışında algılanan çok sayıda cisim ortaya çıkmaktadır [58]. Bu durum yüksek yanlış alarm oranı ve düşük ilerleme hızını beraberinde getirir.

EMI yöntemini kullanan algılama sistemleri; yapı sağlığı denetimlerinde ve manyetik karakteristikteki malzemelerde oluşan çatlakların tespit edilmesinde, ince filmlerin yapısındaki kusurların tespit edilmesinde, eriyik yapıda ferromanyetik özellikteki malzemelerin dökümü sırasında görüntülenmesinde [59-62], EYP/kara mayını ve patlamamış cephanelerin tespit edilmesinde [18, 20, 22, 63-66] sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2.4 Nükleer Quadrupol Rezonans Yöntemi

Nükleer kuadrupol rezonans (Nuclear Quadrupole Resonance-NQR), çekirdeklerin doğal nükleer manyetik momentlerindeki farklılıkları kullanarak algılama yapan bir tekniktir. Elemental analiz, hedef içindeki spin durumlarında çekirdeği uyarmak için kısa radyo frekans darbeleri kullanılarak gerçekleştirilir. Uyarılan çekirdek daha sonra karakteristik frekanslarda foton yayınlar. Çekirdeğin tepkisi moleküler yapısına da bağlı olabilir. Böylece, aynı elementleri içeren ama farklı moleküler yapıları olan malzemeleri de ayırt etmek mümkün olur. NQR tekniği, patlayıcılar da dâhil olmak üzere özel kimyasal bileşiklerin tespit edilmesi için kullanılabilir. Bu teknik, diğer tekniklerde rastlanan yanıltıcı ve ayırt edilmesi zor sinyaller yerine, çok daha karakteristik sinyal algılamaya imkân vermesi bakımından üstünlüğe sahiptir [25].

Bu yöntemde; aranmakta olan patlayıcının NQR frekansına yakın frekansta (500 KHz~6 MHz) düşük güçte RF sinyali düzlemsel bir RF antenden uygulandığında azot çekirdeğinin enerji seviyesi değiştirilir. RF uyarımı kaldırıldığında, çekirdekler başlangıç enerji seviyelerine geri dönerler ve bu sırada patlayıcıya özgü karakteristik sinyaller açığa çıkar. İkinci bir anten kullanılarak uyarımı yapılan patlayıcıdan salınan zayıf sinyaller algılanır. Algılayıcı bobinlerde elde edilecek bu zayıf indüksiyon akımlarının şiddeti; patlayıcının miktarını, frekansı ise patlayıcının cinsini ortaya koyar [67]. NQR yönteminde

düşük rezonans frekanslarının yol açtığı düşük duyarlılık büyük bir sorundur [68]. Bu nedenle güçlü algılama sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde ortamda mevcut arka plan radyo frekansı gürültülerinden etkilenilir. Azot duyarlılığını artırmanın maliyeti oldukça yüksektir. Nitekim NQR yöntemi ile toprak altındaki AP mayınların tespitine ait uygulamalarda kötü sonuçlar alınmıştır. Bu nedenle, bu yöntem daha çok gömülü olmayan yüzey üstü durumlar veya yüzeye çok yakın GC-P'ler için daha pratik ve hızlıdır. Ayrıca düşük sinyal gürültü oranını çoğaltmak için mayındaki patlayıcının ortalama sıcaklığının her tarama öncesi doğru teknikler ile ölçülerek bu parametrenin sensör girişi olarak belirlenmesi gerekir ki buda yeni dedektörlerin ve algoritmaların geliştirilmesi anlamı taşımaktadır [67].

NQR yöntemini kullanan algılama sistemleri; camsı yapıdaki kristallerin yapı analizinde, süper iletken yapımında kullanılan malzemelerin (UNi_2Al_3) statik ve dinamik yapılarının tespit edilmesinde, polimer özellikteki malzemelerin elastik ve termal özelliklerinin belirlenmesinde, süper iletken ince filmlerdeki kusurların tespit edilmesinde, patlayıcı ve yasal olmayan uyuşturucu maddelerin tespit edilmesinde [69-72] ve kara mayınlarının tespit edilmesinde [67, 68, 73] kullanılmaktadır.

Şekil 2.8'de yüzeye yakın mayın ve patlayıcıların tespiti için kullanılan bir mayın dedektörü görülmektedir.



Şekil 2.8: Taşınabilir NQR mayın dedektörü [74].

2.2.5 Nötron Tabanlı Yöntemler

Nötron ölçümlerine dayanan mayın tarama sistemlerinde, genellikle, nötronlarla indüklenmiş gama spektroskopisinden yararlanılır. Patlayıcılar önemli miktarda C, N, O ve H elementlerini içerirler. Dolayısıyla; bu patlayıcıların deteksiyonu için nötronların C, N, O ve H ile yaptığı etkileşmelerden meydana gelen nötron yakalama karakteristik gama ışınları deteksiyonu kullanılabilir [75].

GC-P tespiti maksadıyla nötron kaynağından çıkan nötronlar, hedefteki çekirdekleri uyarırlar. Uyarılan her bir çekirdek 1-11 MeV enerji aralığında gama ışını yayımlar. Bir dizi gama ışını detektörleri de gama ışınlarını detekte ederler ve gama ışınlarının enerjisine karşılık gelen pikleri içeren spektrumu oluştururlar. Bu pikler hedefin izotopik içeriğini tespit etmek için daha sonra analiz edilebilir. Patlayıcının varlığı, her bir karakteristik izotopun sinyal gücü üzerinden oldukça kolay bir şekilde tespit edilebilir. Bu sistemler, yakın atom numaralı (Z) elementlerin ayrımı için oldukça etkindirler. Örneğin, azot (Z=7) için karakteristik gama ışını 10,83 MeV iken, oksijen (Z=8) için karakteristik gama ışını 6,1 MeV dir [25].

Monte Carlo Nötron-Parçacık (MCNP) Taşınım Kodu kullanılarak çok yüksek miktardaki TNT ($C_7H_5N_3O_6$) patlayıcısının ^{252}Cf nötron kaynağının nötronları ile doğrudan ışınlanmasıyla TNT den yayımlanan gama ışınlarının bir nokta detektör ile sayımı sonucunda elde edilen gama ışını spektrumu Şekil 2.9’da verilmiştir.

Karakteristik gama ışınları başlıca 3 nötron reaksiyonunun sonucudur:

- Nötron uyarmalı-foton deteksiyonu

- Isıl nötron aktivizasyon
- Nötron inelastik saçılma gama ışınları
- Nötron aktivasyon

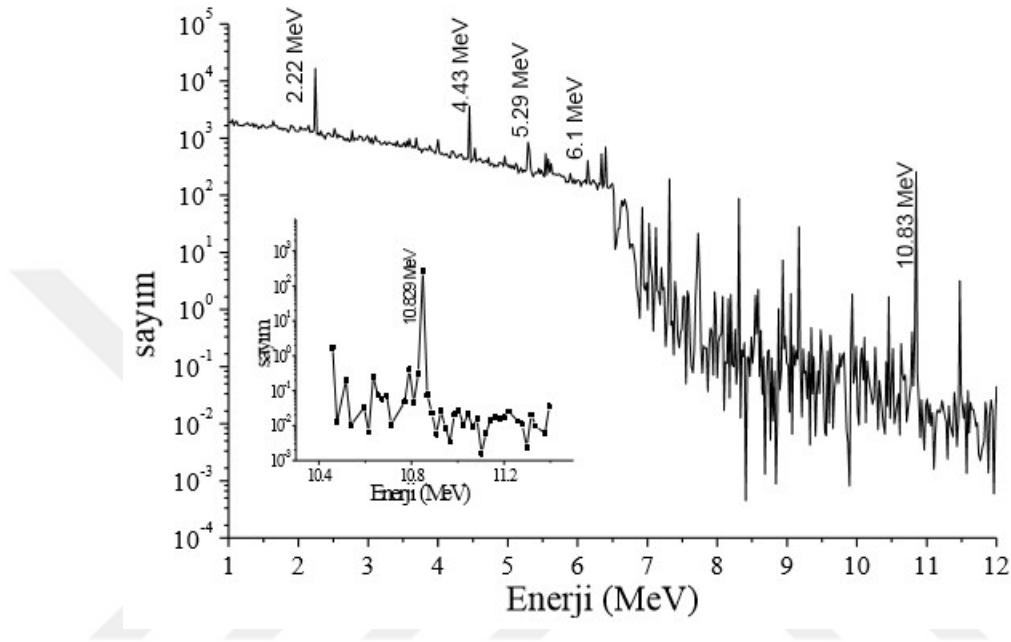
- Nötron uyarmalı- nötron deteksiyonu

- Nötron geri saçılımı

- Nötron elastik rezonans saçılma
- Nötron inelastik saçılma

• Foton uyarmalı-nötron deteksiyonu

- Fotonötron emisyonu



Şekil 2.9: TNT için elde edilen gama ışını spektrumu [25].

Nötron tabanlı yöntemlerden; ısı nötron aktivizasyon ve nötron geri saçılımı yöntemleri GC-P tespit sistemlerinde kullanım alanına sahiptirler.

2.2.5.1 Isıl Nötron Aktivizasyon Yöntemi

Birçok patlayıcının yapısında bulunan azot çekirdeğinin, elektron hızlandırıcı kullanılarak elektron bombardımanına tutulması sonucu uyarılmasıyla yayacağı karakteristik gama ışınlarının algılanmasına dayalı bir yöntemdir. Yayınlanan gama ışınlarının algılanması çok hızlı olduğu için mayın tespiti de çok hızlıdır. Patlayıcı maddenin toprağa nazaran daha fazla azot içerdiği bilinmektedir. Bu nedenle azotun tespiti esnasında hata yapma olasılığı azdır. AT mayınlarının içeriğinde AP mayınlarına nazaran daha fazla miktarda patlayıcı madde bulunması nedeniyle içerdiği azot miktarı da daha fazladır. Bu yüzden ısı

nötron aktivizasyon (Thermal Neutron Activation–TNA) yöntemi AT mayınlarının tespitindeki başarımı daha yüksektir. Çalışır durumdaki sistemin kütlesinin çok fazla olması (150~200 kg.) ve GC-P'nin derinliğinin artışıyla hızdaki yavaşlama TNA yönteminin dezavantajı olarak belirtilebilir [76, 77].

2.2.5.2 Nötron Geri Saçılımı Yöntemi

Radyo aktif kaynaklı bir nötron jeneratöründen çıkan hızlı nötronların patlayıcıdaki hidrojen çekirdeği ile etkileşmesi sonucunda saçılan düşük enerjili (0,08 eV) termal nötronların algılanması esasına dayanmaktadır. Ancak hidrojen çekirdeği varlığına dayalı bu tekniğin, hidrojenin suyun temel yapı taşıını oluşturması nedeniyle kuru ortamlarda kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. %12 nem oranına sahip toprak ile bir AP mayınının içermiş olduğu hidrojen miktarı yaklaşık olarak aynıdır [78]. Bu durum AP mayınlarının tespiti esnasında yüksek yanlış alarm çıktısının verilmesine sebep olur. Hidrojen konsantrasyonu AT mayınlarında, nemli topraktakine oranla daha fazladır. Bu sebeple nötron geri saçılımı yöntemi, AT mayınlarının tespitinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [79].

Nötron tabanlı algılama yöntemleri; madencilikte nadir bulunan cevher ve elementlerin tespitinde, çevre ve uzay araştırmalarında hava kalitesinin tespitinde, medikal ve kozmetik bileşimlerin oluşturulması aşamasında kullanılan doğal bitkilerin analizinde, demir ve çelik malzemelerin standartlarının ve bileşim oranlarının belirlenmesinde, deniz altına yerleştirilmiş depo ve tankerlerin içerisindeki maddelerin seviyelerinin belirlenmesinde, yeraltında bulunan tarihi kalıntıların tespiti ve analizlerinin yapılmasında, gerilme altındaki malzemelerin yapısal değişimlerinin ve karakteristik özelliklerinin izlenmesinde, kemik-safra kesesi taşı-böbrek taşı gibi örneklerin element konsantrasyonunun çıkarılarak teşhis ve tedavi maksadıyla kullanılmasında [80-84], patlamamış cephane-metal içermeyen kara mayınları ve EYP'lerin tespitinde [86-89] başarılı şekilde kullanılmaktadır.

2.2.6 Kızılötesi Görüntüleme Yöntemi

Kızılötesi (Infrared-IR) görüntüleme; patlayıcı maddelerin üretiminde kullanılan malzemelerin, bulunduğu çevreden farklı ısı karakteristیکlere sahip olmaları prensibine dayanır. Bu özellikten yararlanarak, çevrenin doğal ısı değişimleri sırasında GC-P’de oluşan sıcaklık farklılıklarını laser sensörler ile ölçmek ve bu sayede mayını tespit etmek mümkündür [90, 91].

Bu yöntemin cisim tespit başarımı, çalışılan ortam şartları ve yüzey sıcaklık değişimi ile doğrudan ilgilidir. Tarama yapılan yüzeydeki farklılıklar, güneş ışınımının düzensiz olması, çevre şartlarının değişkenliği ve nesnelerin farklı dalga boylarında ışınım yayınlama karakteristiklerine sahip olmaları sebebiyle, doğru ölçümlerinin elde edilmesinde güçlükler yaşanmaktadır. Bu olumsuzluklar nedeniyle ölçümler sonucu ortaya çıkan görüntünün yorumlanamaması problemiyle sık olarak karşılaşılmaktadır [4]. Gömülü cisim tarafından yayınlanan IR sinyallerinin toprak tarafından soğurulmasından dolayı, bu yöntem ile GC-P tespiti ancak özel olarak oluşturulan ortamlarda mümkün olmaktadır. Sonuçta, kızılötesi görüntüleme yöntemi ile gerçekleştirilecek GC-P tespit sistemlerinin yüksek yanlış alarm çıkması verme olasılığı yüksektir.

Yer altı su yataklarının ve zamanla değişimlerinin algılanmasında, uyduların kontrolünü sağlamak amacıyla uzay çalışmalarında, çelik malzemedeki korozyonun tespitinde, yüksek çözünürlüklü uzay gözleme sistemlerinde, yakıt hücrelerinin performanslarının incelenmesinde, bina, köprü gibi yapılarda zaman içerisinde oluşan hasarların tespit edilmesinde [92-95], kara mayınlarının tespit edilmesine yönelik araştırmalarda [96, 97] kızılötesi görüntüleme yönteminden faydalanılmaktadır.

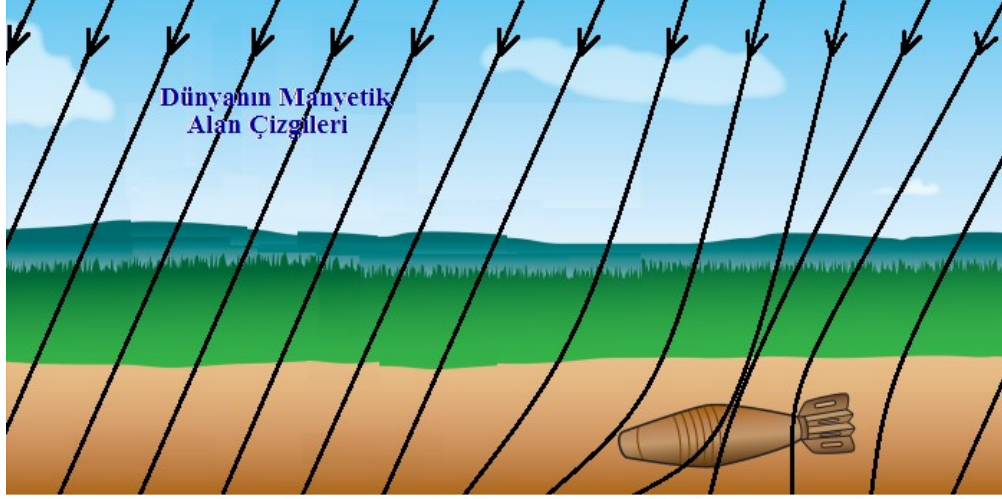
2.3 Manyetik Anomali Yöntemi

Manyetik anomali yöntemi (Magnetic Anomaly Detection-MAD) kullanılarak konum, derinlik veya hareket yönü gibi parametrelerin belirlenmesi çalışmaları 1970’ten beri yapılmaktadır [98].

Yer kürenin doğal bir manyetik alanı olduğu bilinmektedir. Yer kürede herhangi bir noktaya bir cisim konulduğunda (ortam ile aynı manyetik geçirgenliğe sahip olmaması kaydıyla) bu cismin manyetik geçirgenliğinin daha iyi ya da daha kötü olması bu cismin bulunduğu noktada manyetik alan çizgilerinin yoğunlaşmasına ya da zayıflamasına neden olacaktır. Yani ortamda bir manyetik anomali meydana gelecektir. Bu manyetik anomalilerden faydalanılarak GC-P'leri tespit etmek mümkündür [99-105].

Manyetik anomali tekniğinin temeli, dış manyetik alan ya da dünyanın manyetik alanına maruz kalan ferromanyetik özellik gösteren bir objenin, bulunduğu bölgedeki manyetik alanda oluşturduğu değişimler ve bu değişimlerin algılanmasına dayanmaktadır. Bu teknikte güç tüketiminin az olması yanında algılama hassasiyetinin yüksek olması önemli parametrelerdir. Güç sarfiyatının minimum olması durumu, ancak dış alan oluşturma yerine dünyanın manyetik alanının kullanılmasıyla gerçekleşir. Bununla birlikte cismi belirleme ve tanımlama hassasiyeti, algılayıcının hassasiyetiyle doğru orantılıdır. Algılayıcının hassasiyeti, manyetik malzemenin var olan manyetik dipolleri ile manyetik alanın etkileşmesi ve buna bağlı olarak manyetik akı çizgilerinin yöneliminin değişimini doğru bir şekilde belirlemesiyle ölçülür [105]. Kaynak durumundaki manyetik alan çizgilerinin içerisinde bir manyetik malzemenin bulunması durumunda algılayıcıların çıkış sinyallerinde bir değişim meydana gelecektir. Bu değişimlerin yorumlanmasıyla, cismin varlığı, boyutu, cinsi, miktarı gibi özellikleri ile ilgili verilere ulaşılabilir.

Şekil 2.10'da, gömülü bir havan mermisinin bulunduğu ortamdaki dünyanın doğal manyetik akı çizgilerini bozarak nasıl bir anomali oluşturduğu görülmektedir. Yerin altında herhangi bir cisim yokken manyetik akı çizgileri sınırlı bir alanda doğrusal/doğrusala yakın bir doğrultu izlemektedir. Ancak havan mermisinin manyetik akı çizgilerinin doğrultusunu değiştirmesi neticesinde lineer olmayan bir durum ortaya çıkar. Sensörler lineer olmayan bir manyetik akı demetinin içerisinde kaldığında, her bir sensörün çıkış genliklerinde değişimler meydana gelir. Elde edilen genlik değişimleri yeraltındaki cismin algılanması ve değerlendirilmesi için en önemli parametredir.



Şekil 2.10: Havan mermisinin doğal manyetik akı çizgilerini bozmasının sembolik gösterimi.

MAD yönteminde GC-P tespiti gerçekleştirmek için manyetoinduktif, fluxgate, manyetorezistif, manyetoelektrik, hall, SQUID gibi değişik sensörler kullanılabilir [105-108]. Bu yöntemde kullanılan algılayıcı elemanların hafif olması sebebiyle oldukça küçük boyut ve hafif ağırlıklarda detektörler imal etmek mümkün olmaktadır.

MAD yöntemini kullanan algılama sistemleri;

- Trafik araştırmalarında, araç cinsi tanıma ve trafik yoğunluğunun gözlenmesinde [109-113],
- Fay hatlarının meydana getirdiği manyetik anomalilerin analiz edilerek, meydana gelen depremlerin ilişkilendirilmesi çalışmalarında [114, 115],
- Yer altı su kaynaklarının, madenlerin ve tarihi kalıntıların belirlenmesinde [116],
- İnsan beynindeki hasarlı bölgelerin, vücuttaki kanserli bölgelerin, kalp protezlerinin, koroner damar tıkanıklığı rahatsızlıklarının, diz/kol protezlerinin tespitinde ve izlenmesinde [117-119],
- Uçak ve helikopterlerden denizaltı ve deniz mayınlarının tespitinde [6, 26],
- EYP ve kara mayınlarının tespit edilmesinde [99, 105, 108] kullanılmaktadır.

Söyler ve arkadaşları [120], Helmholtz bobini kullanarak iki boyutlu olarak yerleştirilen 20 adet algılayıcı bobini uyarılmışlar ve algılayıcı bobinlerde indüklenen gerilimin manyetik anomali ile değişimini incelemişlerdir. Geliştirilen sistem ile değişik boyutlardaki ferromanyetik özellikteki malzemelerin yaklaşık 5cm'ye kadar algılanabildiği vurgulanmıştır.

42 AMR sensörden oluşan bir sensör ağı oluşturan Nazlıbilek ve arkadaşları [99], sensör ağını Helmholtz bobini ile uyarılmışlar ve sensör ağının tepkisini incelemişlerdir. Sensör ağından alınan veriler çalışma grubunun BM (Back-Most) adı verdiği bir algoritma dâhilinde sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu yöntemle anti-tank (AT) mayını ve AP mayınını diğer numunelerden ayırmayı başarabildiklerini vurgulamışlardır.

Vyhnánek ve arkadaşları [121, 122] 2 adet AMR sensör kullanarak metale duyarlı bir detektör geliştirmişlerdir. Bu sensör çifti bir uyarma bobini ile sabit manyetik alana maruz bırakılarak bir gradyometre oluşturulmuştur. Böylelikle ferromanyetik malzemelerin yanısıra diyamanyetik malzemelerin de algılanması sağlanmıştır. Araştırma grubu tarafından, bu yapı sayesinde 50 mm x 50 mm x 1,5 mm boyutlarındaki alüminyum nesneyi 20cm'den algılandığı belirtilmiştir. Aynı grup tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada [123], 4x4 boyutlarında bir AMR sensör ağı oluşturulmuştur. Bu sensörler sabit manyetik alana maruz bırakılarak bir gradyometre oluşturulmuş ve elde taşınabilen bir detektör geliştirilmiştir. Araştırma grubu 1-20cm derinliklere kadar ferromanyetik özellikteki cisimleri düşük yanlış alarm oranıyla tespit edebildiklerini rapor etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda, manyetik anomalileri algılamak için, ölçüm ortamı bir dış manyetik alan ile uyarılması sonucu EYP anahtarlama düzeneklerini uyarabilecek bir manyetik yayın gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bahsi geçen bu çalışmalarda “aktif algılama” ile ölçümler yapılmıştır.

Ege ve arkadaşları [124] 24 adet AMR sensörden oluşan bir sensör ağı kurarak manyetik anomalileri algılayarak 3 boyutlu görüntüler oluşturmuşlardır. Bu görüntülerden yararlanarak yeraltındaki ferromanyetik özellikteki cisimlerin şekillerini tespit edebildiklerini bildirmişlerdir. Bunun yanında, manyetik

anomalileri algılamak için tamamen dünyanın manyetik alanından faydalandıklarını ve bu haliyle pasif bir algılama gerçekleştirdiklerini bildirmişlerdir.

2.3.1 Manyetik Anomali Ölçümlerinde Kullanılan Sensörler

Günümüzde sanayide ve deneysel çalışmalarda kullanım alanı bulan belli başlı manyetik alan ölçüm sensörleri mevcuttur. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Manyetoindüktif (MI) sensörler
- Manyetoelektrik (ME) sensörler
- Hall sensörler
- Süper iletken Tabanlı sensörler (Super conducting Quantum Interference Devices-SQUIDs)
- Manyetorezistif (MR) sensörler
- Fluxgate sensörler

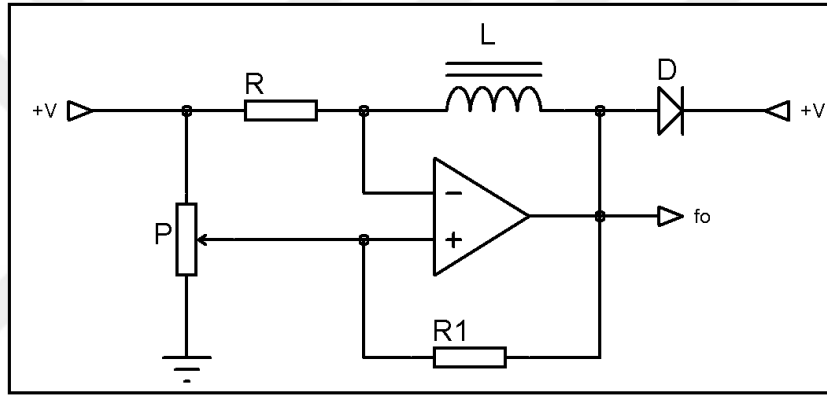
Dünya üzerindeki manyetik alanın 25-65 μT (mikroTesla) aralığında olduğu bilinmektedir. Sensör seçiminde en önemli parametre, araştırmada veya uygulamada karşılaşılabilecek manyetik alanın minimum ve maksimum değerleridir. Çalışmalar için uygun olarak nitelendirilebilecek bir sensörün çalışılan manyetik alan aralığındaki küçük değişikliklere bile hızlı tepki verebilecek özellikte olması beklenir. Tablo 2.1’de manyetik alan sensörlerinin manyetik akı algılama ve frekans aralıkları verilmiştir.

MI sensörler 1980’li yılların sonlarından itibaren kullanılmaya başlayan bobin tabanlı sensörlerdir [125]. Ferromanyetik bir nüve üzerindeki basit bir bobinin indüktansının, bulunduğu manyetik alan içerisinde değişmesi esasına göre çalışır. Şekil 2.11 manyetoindüktif sensörün temel bileşenlerini göstermektedir. Şekil 2.11’deki devrede algılama elemanı olan L bobini R/L relaksasyon osilatörünün bir parçasıdır. L bobinin indüktansında meydana gelen değişimler frekansının değişmesine neden olur. MI sensörlerin bant genişliği düşüktür

ve ortam sıcaklığından çabuk etkilenirler. Bu yüzden değişken ortam koşullarında kullanımları performans ve ölçüm güvenilirliğini olumsuz yönde etkiler.

Tablo 2.1: Manyetik sensörlerin karşılaştırılması [126].

Sensör Tipi	Manyetik Alan (B) (En Az)	Manyetik Alan (B) (En Çok)	Frekans Aralığı
Manyetoindüktif	100 fT	Sınırsız	0.1 mHz~1 MHz
Manyetoelektrik	1 pT	-	0.1 mHz~1 KHz
Hall	10 nT	20 T	0~100 MHz
SQUID	5 fT	1000 nT	0~100 kHz
Manyetorezistif	100 pT	100 mT	0~100 MHz
Fluxgate	10 pT	1 mT	0~100 MHz



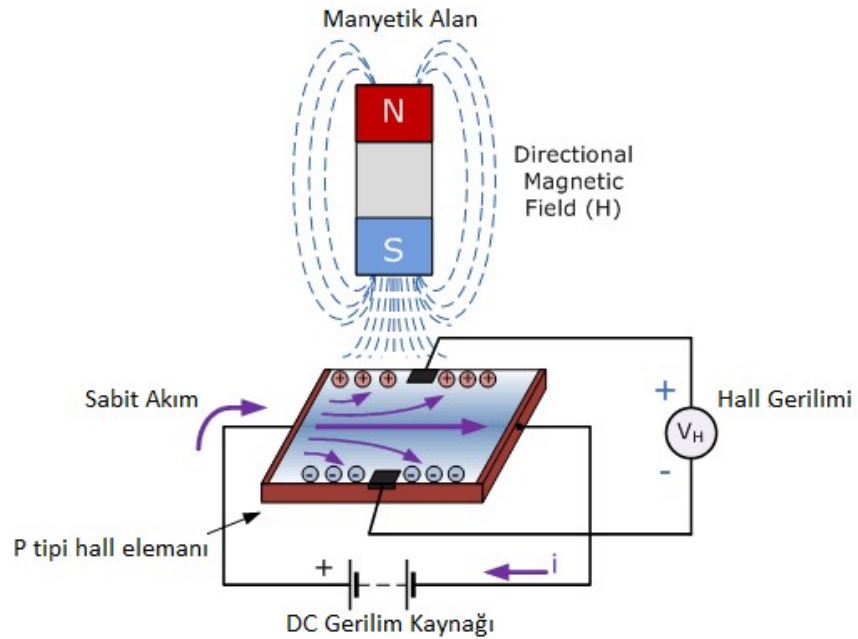
Şekil 2.11: MI sensörün temel bileşenlerinin gösterimi.

ME sensörler; manyetostriktif ve piezoelektrik katmanlardan oluşmaktadır. Manyetik alan içerisinde kalan katmanlar manyetik alan değişimlerinden etkilenerek elektriksel bir sinyal üretirler. Üretilen sinyalin frekansı manyetik alan büyüklüğüne göre değişim gösterir [127]. Şekil 2.12’de ME sensörün yapısı verilmiştir. ME sensörlerin ortam sıcaklığından fazla etkilenmemeleri en önemli avantajlarıdır. Bunun yanında dışarıdan bir manyetik alan uygulama gerekliliği, atmosferik basınçtan etkilenmeleri ve düşük frekans bant genişliği de dezavantajları olarak sayılabilir.



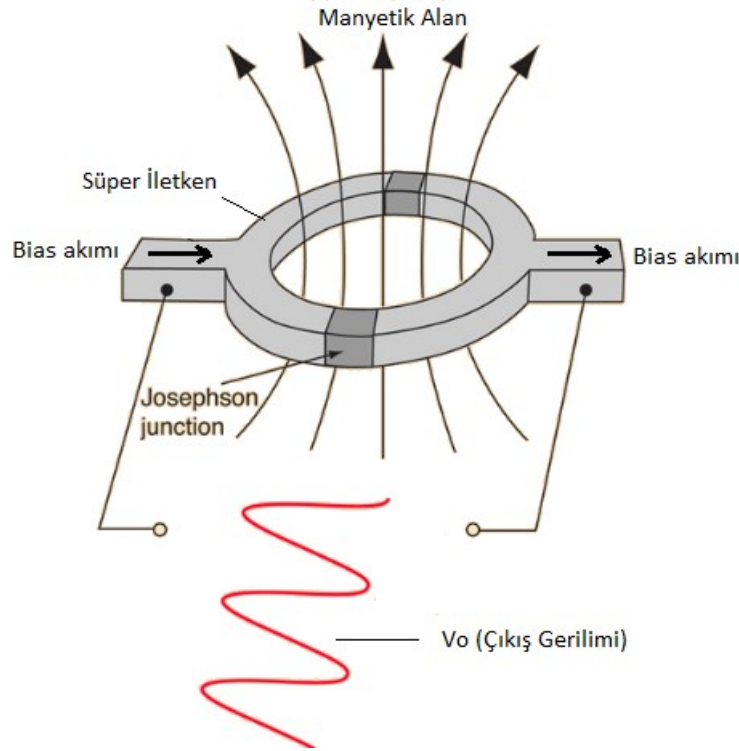
Şekil 2.12: ME sensörün yapısı.

Hall olayı çok uzun süre önce bulunmasına karşın halen metallerin ve yarıiletkenlerin elektriksel özelliklerinin araştırılmasında kullanılmaktadır. 1879'da Amerikalı Fizikçi Edwin Hall; akım taşıyan bir iletkeni manyetik alanın içerisine yerleştirdiğinde, akıma ve manyetik alana dik yönde gerilim farkı oluşturduğunu bulmuştur. Bunu ise Hall Voltajı olarak tanımlamıştır [128]. Şekil 2.13'te P tipi yarıiletkende Hall geriliminin nasıl oluştuğu görülmektedir. Zaman içerisinde manyetik alana daha duyarlı yarıiletken malzemelerin (GaAs, InAs, InSb) kullanımıyla, yüksek sıcaklıklarda çalışabilen, yüksek frekans bant genişliğine sahip sensörler geliştirilmiştir [126]. Hall sensörler düşük fiyat ve yüksek bant genişliği ve düşük güç tüketimi gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak düşük algılama mesafesi, düşük çözünürlük, sıcaklığa bağlı giriş empedansı değişiminin fazla olması gibi parametrelere sahip olması dezavantajları olarak sıralanabilir.



Şekil 2.13: Hall geriliminin oluşumu [129].

SQUID'ler bilinen en hassas manyetik alan sensörleridir. Dünyanın manyetik alanının milyarda biri mertebelerindeki manyetik alanları ölçebilecek hassaslığa sahiptirler. SQUID sensörlerin temeli 1962 yılında Brian J. Josephson tarafından atılmıştır. Josephson yaptığı çalışmalarda “Josephson Junction” olarak adlandırılan bir yüzey oluşturmuştur. Oluşturulan bu yüzeye hiçbir gerilim uygulanmadığında dahi DC bir gerilim elde edilebilmektedir. Yüzeye bir gerilim uygulandığında ikinci bir olay olarak AC bir gerilim oluşmaktadır. Elde edilen AC gerilimin genliği manyetik alan şiddeti ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Şekil 2.14'te SQUID sensörlerin çalışma mantığı görülmektedir. Mevcut SQUID sensör tasarımları sıvı Helyum (4 K) sıcaklığında soğutma gerektirir [126]. Normal şartlar altında çalışma konusunda yaşanan olumsuzluklar SQUID sensörler için en önemli dezavantajdır.

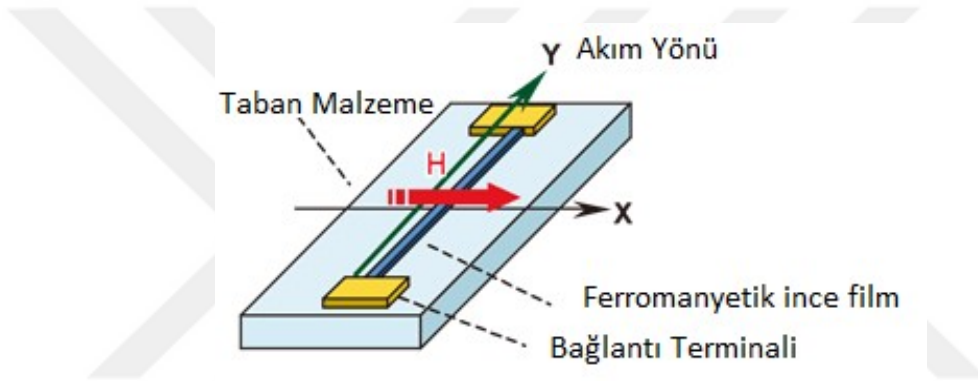


Şekil 2.14: SQUID sensörün çalışma mantığı [130].

Magnetoresistive etki, manyetik alan altında malzemenin direncinin değişmesi esasına dayanır. Bu etki 1856 yılında Thomson tarafından bulunmuştur. Ancak bu etkinin pratikte kullanımı için yaklaşık 100 yıl beklenmesi gerekmiştir. İnce film teknolojisine uygulanması ve anisotropik magnetoresistive (AMR) etkinin kullanılması bu konu üzerindeki çalışmaları hızlandırmıştır. Anisotropik

magnetoresistive etkide malzemenin direncinde %2-3 civarında bir değişim gözlenmektedir [126]. Giant Magnetoresistive (GMR) etkinin keşfiyle birlikte manyetik alan altında %70'e varan değişimler gözlenmiştir [131]. AMR ve GMR'nin dışında, CMR (colossal magnetoresistivity) ve TMR (tunnel magnetoresistivity) olarak isimlendirilen etkiler de gözlenmiştir [125]. GC-P tespit çalışmalarında AMR sensörler sıklıkla tercih edilmektedirler [105, 108].

AMR sensörler Si veya cam taban üzerine kurulu ferromanyetik ince film alaşımından oluşur. Alaşım Ni ve Fe içeriklidir. Ferromanyetik ince filmin direnci uygulanan manyetik alanın şiddetine ve yönüne göre değişim gösterir. AMR sensörün basitleştirilmiş iç yapısı Şekil 2.15'te görülmektedir.

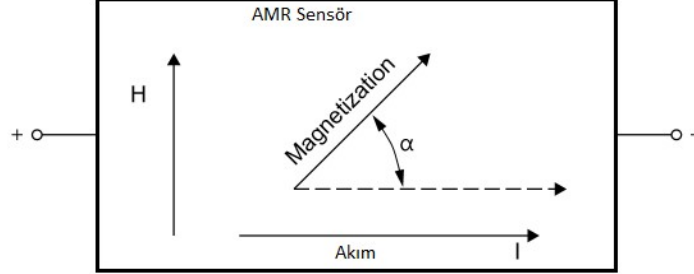


Şekil 2.15: AMR sensörün basitleştirilmiş iç yapısı [132].

Şekil 2.16'da AMR sensörün manyetik alandaki manyetorezistif tepkisi incelenmiştir. Ortamda harici bir manyetik alan bulunmadığı zaman, AMR sensör akım vektörüne paralel dahili bir manyetizasyon vektörüne sahiptir ($\alpha=0$). Ortama harici bir H manyetik alanı uygulandığında, sensör tabanına paralel fakat akım vektörüne dik bir dahili manyetizasyon vektörü oluşur ($\alpha=90$). AMR sensöre ait dahili manyetizasyon vektörünün yönü H manyetik alanının tabanla yaptığı açı ile değişim gösterir. Bunun sonucu olarak, sensör direnci α 'nın bir fonksiyonu olacak şekilde değişim gösterir [133]. Bu değişim matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2 \alpha \quad (2.3)$$

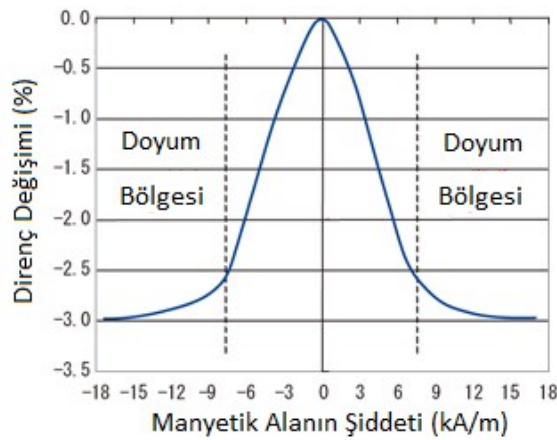
Burada; α =Manyetik alanın AMR sensöre uygulanma açısı, R = AMR malzemenin direnci, R_0 =AMR malzemeye harici bir manyetik uygulanmadığı durumdaki direnci ($\alpha=0$).



Şekil 2.16: AMR sensörünün manyetik alan içerisindeki tepkisi [133].

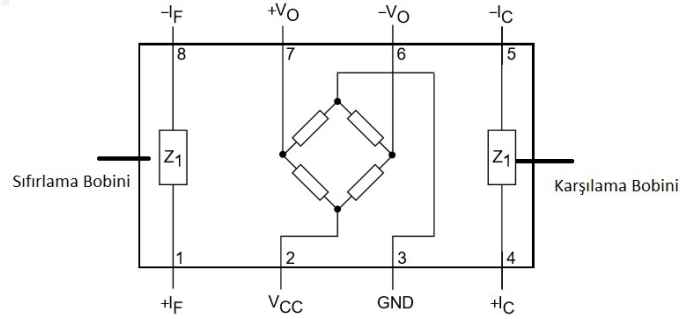
Şekil 2.17’de dışarıdan uygulanan bir manyetik alan ile AMR sensörün direnç değişimi görülmektedir. Görüleceği üzere mutlak olarak %2,5 direnç değişiminin üzerinde kalan bölge doyum bölgesi olarak adlandırılmaktadır.

GC-P tespit sistemlerinde AMR sensörler tekil olarak kullanıma uygun değildirler. Bunun sebebi harici manyetik alan uygulanmasa bile sıcaklık değişimlerinin dirençte meydana getirdiği değişimdir. Sıcaklık kompanzasyonu için 4 AMR sensör Wheatstone köprüsü bağlantısı yapılır. Bu sayede hem ölçümlerin sıcaklık değişimlerinden etkilenmesinin önüne geçilmiş olur hem de direnç değişimlerinin gerilim değişimlerine dönüştürülmesi safhasında meydana gelen salınım ve DC kaymaların önüne geçilmiş olur [134].



Şekil 2.17: AMR sensörde direnç değişimi.

Şekil 2.18’de GC-P tespit sistemlerinde de kullanılan KMZ51 AMR manyetik alan sensörünün basitleştirilmiş şeması görülmektedir. KMZ51 sensörü 4 adet AMR sensörün Wheatstone köprüsü şeklinde yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Sensördeki karşılama bobini (compensation), ölçüm eksenine paralel küçük bir manyetik alan üretmektedir. Böylece sensörün doyum bölgesine geçmemesi için bir önlem alınmış ve sağlıklı ölçümlerin yapılması sağlanmış olur. Sensördeki sıfırlama (flip) bobini, sensörün hassasiyetini değiştirebilmek için sensörün içinde oluşan manyetik alanı değiştirilebilmesine olanak tanımaktadır. Karşılama bobini ile sensörün doyuma gitmesi kontrol altına alınsa dahi kuvvetli manyetik alanlar altında doyum durumu gerçekleşebilir. Sensör kuvvetli manyetik alan dışına çıkarılsa da doyum durumu devam edebilir veya hatalı ölçümler meydana gelebilir. Meydana gelen doyum durumunun ortadan kaldırılması ve doğru ölçümlerin alınması için sıfırlama bobinine tetikleme uygulanır [135]. GC-P tespit sistemlerinde olası bir doyum durumunun önüne geçmek için sıfırlama bobinine periyodik tetikleme darbesi uygulanması gerekliliği vardır. Bu durumda beslemeden anlık olarak 1 Amper’lik akımlar akar. Akan bu akım, beslemede gürültülerin oluşmasına ve güç sarfiyatının artmasına sebep olur.



Şekil 2.18: KMZ51 manyetik alan sensörünün şeması [135].

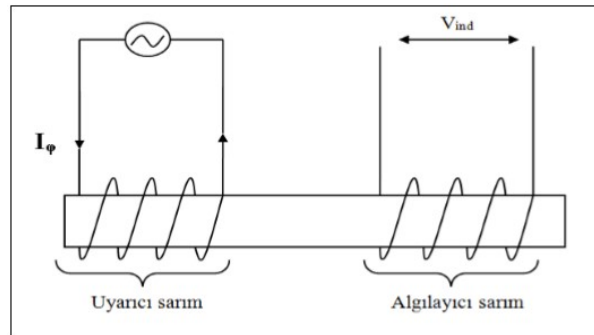
2.3.2 Fluxgate Sensörler

Fluxgate sensörler, DC veya düşük frekanslı AC manyetik alanların ölçümünde kullanılabilen [136] ve 10 pT’den 1 mT’ya geniş bir aralıkta ölçüm yapma yeteneğine sahip, yüksek çözünürlüklü, vektörel, oda sıcaklığında çalışabilme özelliklerine sahiptirler [137]. İlk fluxgate sensörler 1930’lu yılların başlarında kullanılmış ve 1940’lı yıllarda denizaltıları tespit edebilmek için

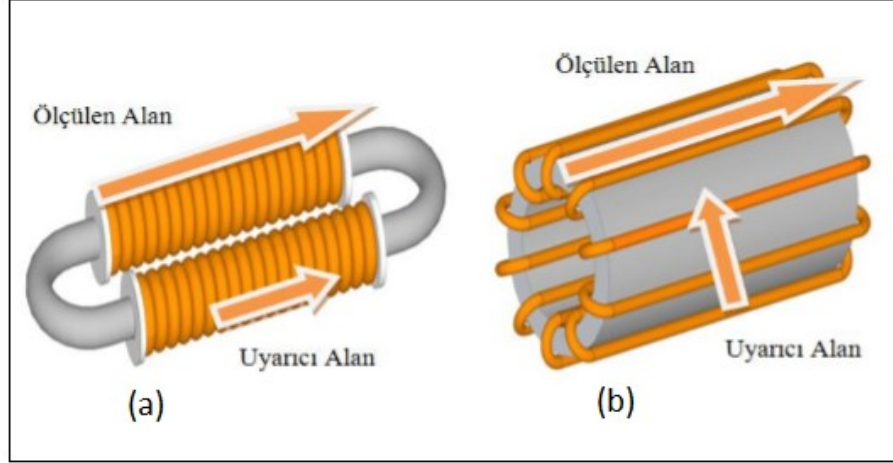
geliştirilmiştir. Fluxgate sensörler jeofizik ve jeomanyetik araştırmalar, maden arama, uzay araştırmaları, yön tayini, askeri araştırmalar ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda kullanım alanına haizdir [138-142].

Fluxgate sensörler, manyetik alan ölçümleri için düşük maliyetli, küçük boyutlu sistemlerin üretilmesini mümkün kılmaktadır [140]. Bu sensörler günümüzde oda sıcaklığında çalışan en efektif sensörler olarak kabul edilirler [143]. Hall ve manyetoelektrik sensörler gibi katıhal sensörlerden daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Çok yüksek çözünürlüğe sahip ancak aynı zamanda çok yüksek maliyetli olan kuantum etki SQUID sensörlerle ise karşılaştırılabilir özelliklere sahiptir [144]. SQUID sensörler manyetik alan sensörleri arasında birçok üstün özelliği barındırması açısından önemli bir yere olmasına rağmen sıvı helyum soğutmaya ihtiyaç duyması ve maliyetinin yüksek olması gibi olumsuzlukları mevcuttur. Fluxgate sensörler, SQUID sensörlere çok yakın parametrik değerlere sahiptirler [137]. Son zamanlarda pasif manyetik alan ölçümlerinde sıklıkla tercih edilen AMR sensörlerde ise 1 nT'dan daha büyük değerlere karşılık gelen gürültü seviyeleri olduğu bildirilmiştir [145].

Fluxgate sensörler, paralel ve ortogonal olmak üzere iki başlıkta incelenebilir. Paralel ve ortogonal isimlendirmeleri uyarıcı alanın, algılanan alana paralel veya dik olmasıyla ilişkilidir. Bu sebeple fluxgate sensör tasarımlarında çekirdek malzemenin manyetik yapısı ve geometrik şekli büyük önem taşımaktadır. Şekil 2.19'da temel fluxgate sensörün genel şematiki, Şekil 2.20'de ise paralel ve ortogonal fluxgate sensörlerin yapısı gösterilmektedir.

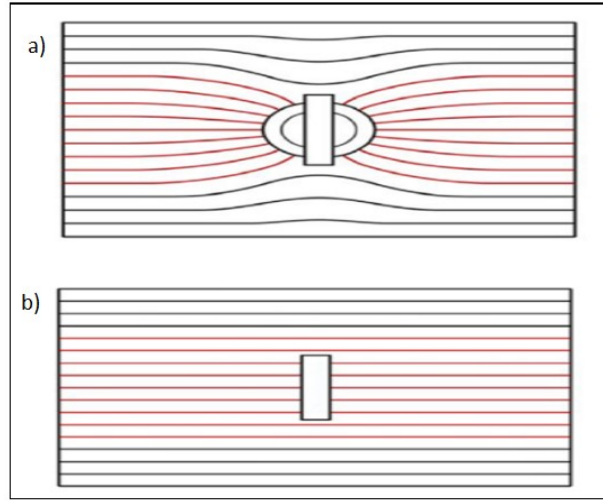


Şekil 2.19: Fluxgate sensörünün genel şematiki gösterimi [146].



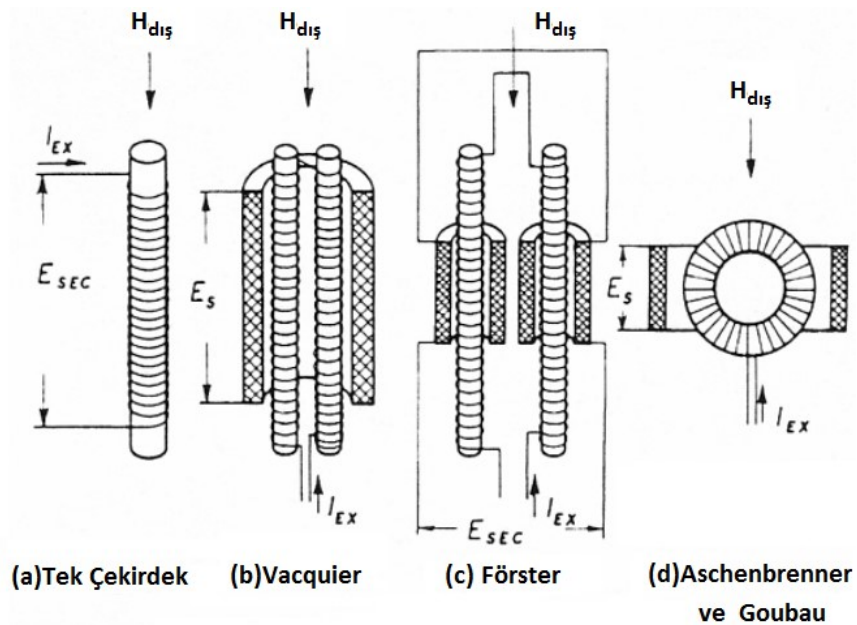
Şekil 2.20: Fluxgate sensör tipleri [137, 147]. a) Paralel, b) Ortogonal.

Fluxgate sensörler geometrisi, tasarımına göre farklılık göstermesine rağmen ferromanyetik bir çekirdek malzeme ile onun etrafındaki uyarıcı ve algılayıcı elemanlardan oluşur [148]. Çekirdek elemanı; manyetik geçirgenliği uygulanan manyetik alanın şiddetine göre değişim gösteren bir malzemedir. Uyarıcı elemandan (bobinden) geçen AC akım neticesinde bir manyetik alan oluşur. Manyetik alanda meydana gelen değişim çekirdeğin geçirgenliğinin değişmesine sebep olur. Çekirdeğin manyetik geçirgenliği, uygulanan manyetik alana bağlı olarak, μ_0 (μ_0 =Boşluğun manyetik geçirgenliği) ve $\mu\mu_0$ (μ =Manyetik geçirgenlik) arasında değişir. AC akımın çekirdeği I_ϕ akımı ile f frekansında indüklediği düşünülecek olursa, çekirdeğin manyetik geçirgenliği $2f$ frekansı ile değişecektir [141]. Ferromanyetik çekirdek doyum manyetizasyonundan uzakta ise manyetik geçirgenliği yüksek bir değere ($\mu\mu_0$) sahip olacak ve manyetik akı ferromanyetik korun içinde yoğunlaşacaktır. Kor doyum manyetizasyonuna geldiğinde manyetik geçirgenlik μ_0 olacaktır. Bu durumda ferromanyetik korun içinden geçen akı kesilime uğrayacaktır [137]. Bu durum Şekil 2.21a ve Şekil 2.21b’de gösterilmiştir. Fluxgate sensörler adını bu olaydan almaktadır. Bu çevrim her periyotta iki kez oluşur. Bu durumda dış manyetik alanın büyüklüğü, akımın zamanla değişiminden veya akı değişiminin harmonik değerlerinden okunabilir. Nyquist teoremine göre ise uyarma akımının frekansı, ölçülmek istenen alanın frekans değerinden en az iki kat daha fazla bir değere sahip olmalıdır. Gerçekte ise bu değer en az 100 kat olması gereklidir [149].



Şekil 2.21: Fluxgate olayının gerçeleşmesinin şematik gösterimi [137].

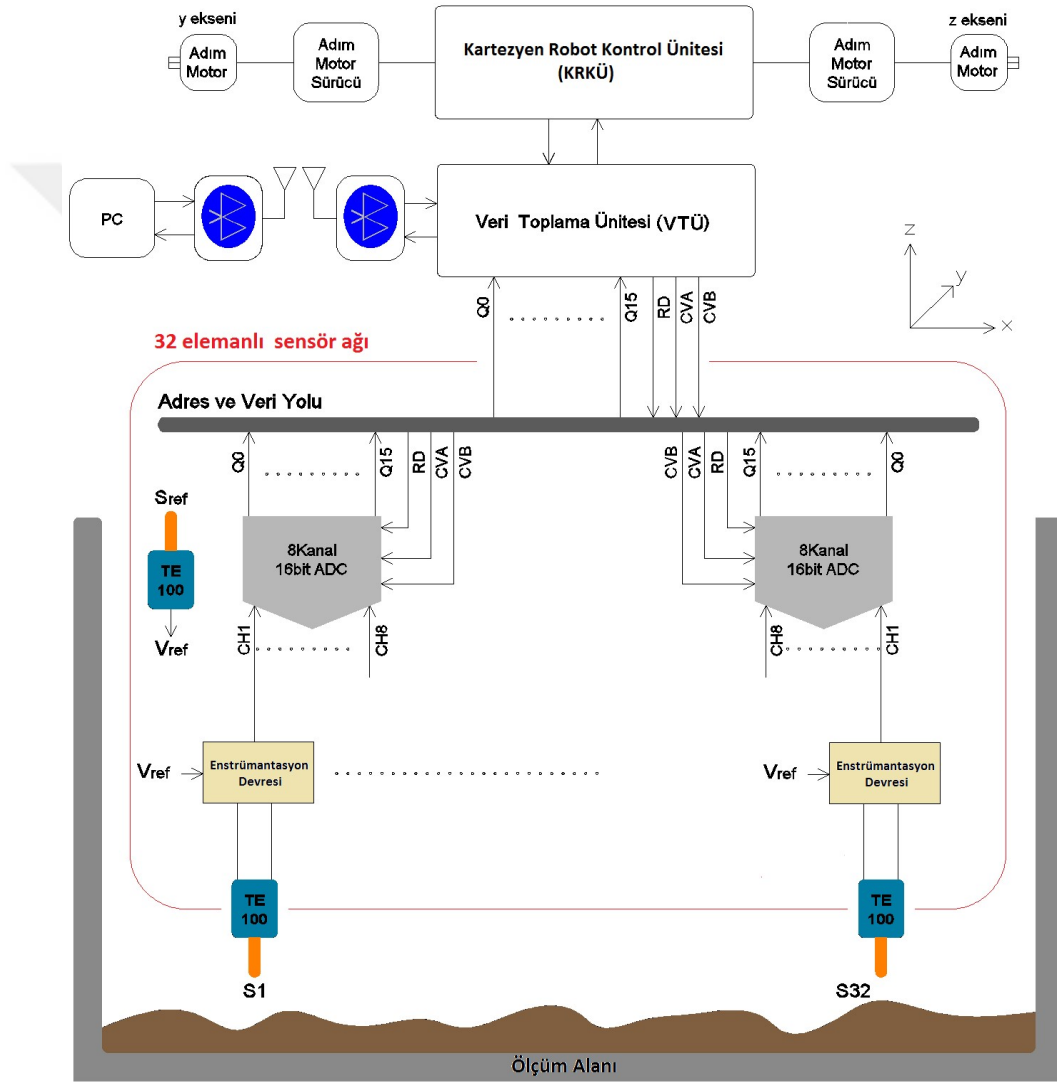
Paralel olarak tasarlanan fluxgate sensörlerde uyarma ve algılama mekanizmaları birbirine bağlı olduğundan, ayrı olarak tasarlanmazlar. Paralel tasarımlarda, geniş doğrusal değer elde etmek için AC alanı ile artan yüksek demanyetizasyon faktörüne sahip kısa ferromanyetik çekirdek gereklidir [137]. Şekil 2.22’te bugüne kadar kullanılmış olan farklı paralel fluxgate sensör çizimleri verilmiştir.



Şekil 2.22: Farklı tipteki paralel fluxgate sensörler [141].

3. SİSTEM TASARIMI

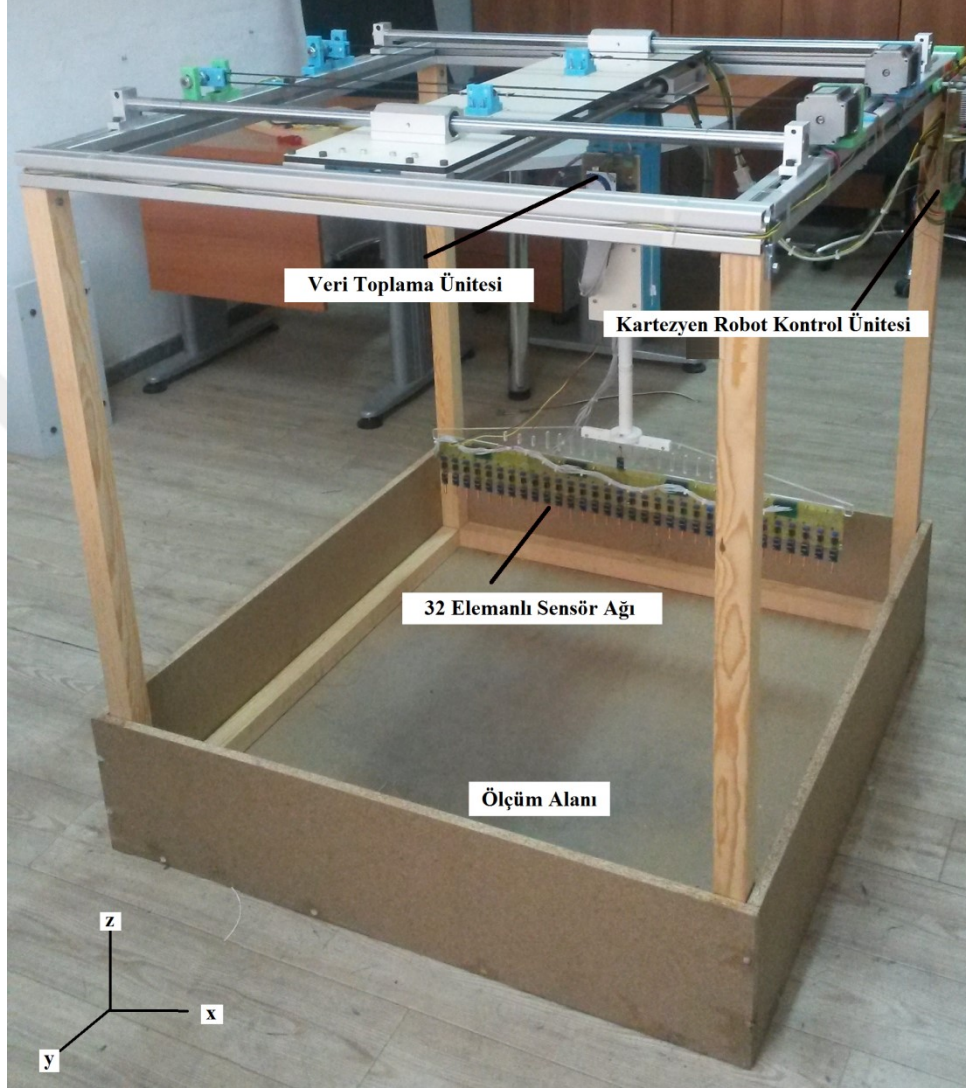
Çalışmamız kapsamında geliştirilen sistem; elektronik ölçüm ve iletişim donanımı ile bilgisayar arayüzü olmak üzere iki ana kısımdan meydana gelmektedir. Çalışmamız kapsamında geliştirilmiş olan MAD yöntemi ile GC-P tespit sisteminin blok şeması Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1: MAD yöntemi ile GC-P tespit sisteminin blok şeması.

Elektronik ölçüm ve iletişim donanımı; ortamdaki manyetik alan değerlerini ölçüp, oluşturulan bir iletişim kanalıyla bu değerleri bilgisayar arayüzüne iletir. Ortamda manyetik anomali olup-olmadığı, şayet varsa oluşan

anomalinin algılanmak istenen hedef cisimden mi yoksa algılanmak istenmeyen yanıltıcı cisimlerden mi olduğunun değerlendirilmesi ise geliştirilen bilgisayar arayüzü tarafından gerçekleştirilmektedir. MAD yöntemi ile GC-P tespit sisteminin çalışır durumdaki görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: MAD yöntemi ile GC-P tespit sistemi.

3.1 Elektronik Ölçüm ve İletişim Donanımı

Elektronik ölçüm ve iletişim donanımı; sensör ağı, kartezyen robot kontrol ünitesi (KRKÜ) ve veri toplama ünitesi (VTÜ) olmak üzere 3 ana birimden oluşmaktadır.

3.1.1 Sensör Ağı

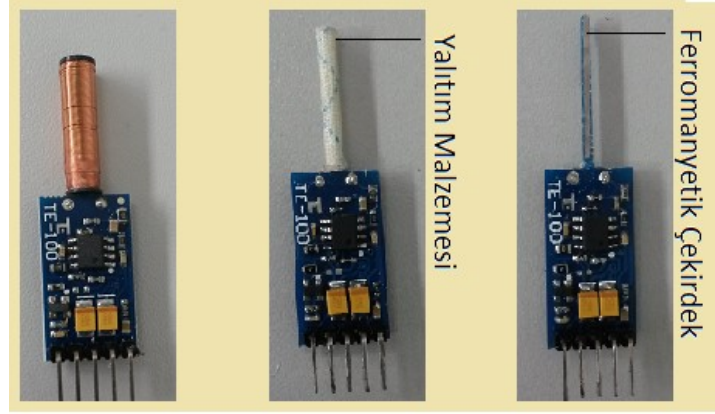
Çalışmamızda 32 adet fluxgate manyetik alan sensörünün bulunduğu bir sensör ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan sensör ağında, sensörler x-ekseni doğrultusunda, aralarında 2,54cm boşluk olacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylelikle aynı anda 81,28cm'lik bir cephenin manyetik alanının taranmasına olanak tanınmıştır.

3.1.1.1 Manyetik Alan Ölçüm Sensörü

Düşük enerji gereksinimi, geniş aralıkta doğrusal ölçüm özelliği, düşük gürültü seviyesi, düşük maliyet ve değişken sıcaklık şartlarında verimli çalışma özellikleri göz önünde bulundurularak, çalışmamızda tek çekirdekli fluxgate sensör tercih edilmiştir.

Tek çekirdekli fluxgate sensör tasarımında, çekirdek malzeme etrafına sarılan uyarıcı bobin aracılığı ile uygulanan bir alternatif akım, sistemi her iki kutupta (alternatif akımın pozitif ve negatif kutuplarında) da doyuma tutar. Bu durumda uyarıcı alanın yönü çekirdek malzeme eksenine paralel olacaktır. Dış manyetik alan yokluğunda sistem iki kutupta eşit biçimde manyetize olurken, dış manyetik alan varlığında, uyarıcı manyetik alanlardan birisinin etkisi artarken, diğerininki azalır. Bu durumda iki manyetik alan arasında bir fark oluşacaktır. Bu fark, algılayıcı bobinde bir gerilim indüklenmesini sağlar. Algılayıcı bobinden elde edilen bu gerilim dış manyetik alanın yönü ve şiddeti hakkında bilgi içerir.

Çalışmamızda kullanılan TE100 fluxgate manyetik alan sensörüne ait görüntüler Şekil 3.3'te verilmiştir. TE100 sensörü temel olarak; silindirik paramanyetik bir malzemenin üzerinde bulunan ferromanyetik çekirdek, algılama bobini, bobin ile çekirdek arasındaki yalıtıcı malzeme ve elektronik devre kısımlarından oluşmaktadır.

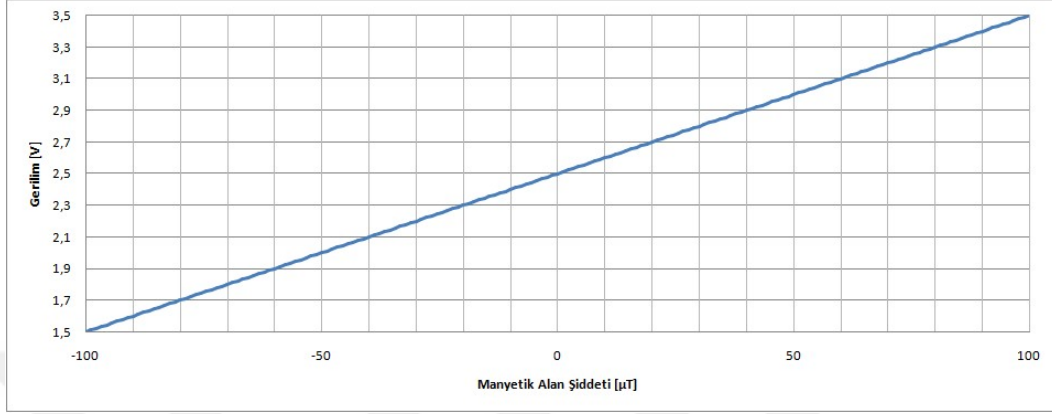


Şekil 3.3: TE100 fluxgate manyetik alan sensörü.

Fluxgate sensörlerdeki uyarma bobini esasen bir referans manyetik alanı oluşturur, algılayıcı bobin ise dış manyetik alanların etkisiyle referans manyetik alana göre oluşan farksal manyetik alan değişimlerini algılar. Çalışmamızda kullanılan TE100 sensöründe uyarıcı olarak yerin dış manyetik alanı kullanıldığından, bir uyarma bobinine ihtiyaç duyulmamaktadır. Referans olarak $0\mu T$ alınır. Algılayıcı bobin ise $0\mu T$ değerine karşılık gelen manyetik alan için 2,5V üretir. $0\mu T$ 'nın altındaki ve üstündeki manyetik alanlar için referans çıkış geriliminde $50\mu T$ başına 1V'luk fark oluşur. TE100'de manyetik alanın büyüklüğüne göre çıkış geriliminin değişimi Şekil 3.4'te verilmiştir.

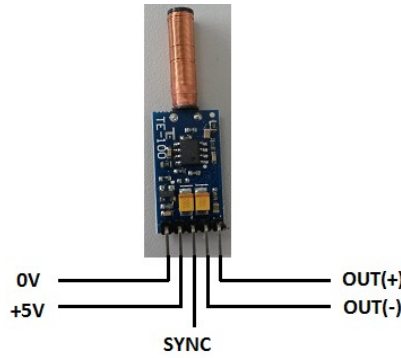
Dünyanın doğal manyetik alanının $25\sim 65\mu T$ büyüklüğe sahip olduğu ve Şekil 3.4'ten görüleceği üzere TE100 sensörünün $\pm 100\mu T$ aralığında değişimlere karşılık 1,5~3,5V aralığında çıkış gerilimleri ürettiği düşünüldüğünde, TE100 sensörü ile yeraltında manyetik anomali meydana getirebilen ferromanyetik / paramanyetik cisimlerin tespit edilmesi mümkün olmaktadır. TE100 sensörü, GC-P tespit çalışmalarında popüler bir sensör olarak kullanılan KMZ51 AMR sensörünün aksine, doyuma gittiğinde sıfırlanmaya ihtiyaç duymamaktadır. TE100 sensörü 0-10Hz ölçüm aralığında $0,5nT$ 'dan daha düşük gürültü seviyesine sahip olmasından dolayı, SQUID sensörler gibi, yüksek çözünürlüklü manyetik ölçümler yapmaya olanak tanır. Ancak TE100'ün sıvı hidrojen soğutmaya ihtiyaç duymaması ve maliyetinin düşük olması önemli bir tercih sebebidir. Diğer taraftan TE100'ün 1,5~3,5V aralığında çıkış gerilimleri üretmesi genel maksatlı işlemci ve denetleyiciler ile sinyal işleme aşamalarının uygulanabilmesini sağlar. MI, ME, Hall ve SQUID sensörler için değişken sıcaklık şartlarında çalışması

durumunda istenilmeyen durumlar meydana gelmektedir. TE100 sensörü 2nT/Kelvin’lik bir DC seviye kaymasına sahiptir [150]. Bu parametrik değer; TE100 sensörünün değişken sıcaklık değerlerinde de sağlıklı ölçümler alabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.4: Manyetik alanın büyüklüğüne göre TE100 çıkış geriliminin değişimi.

Sahip oldukları küçük boyut sayesinde (Y:45mm x U:14mm x G:5mm), TE100 sensörleri ile yüksek eleman sayısına sahip sensör ağları oluşturularak yüksek çözünürlüklü yer altı görüntüleme sistemleri gerçekleştirilebilir. TE100 sensörünün pin yapısı Şekil 3.5’te görülmektedir.

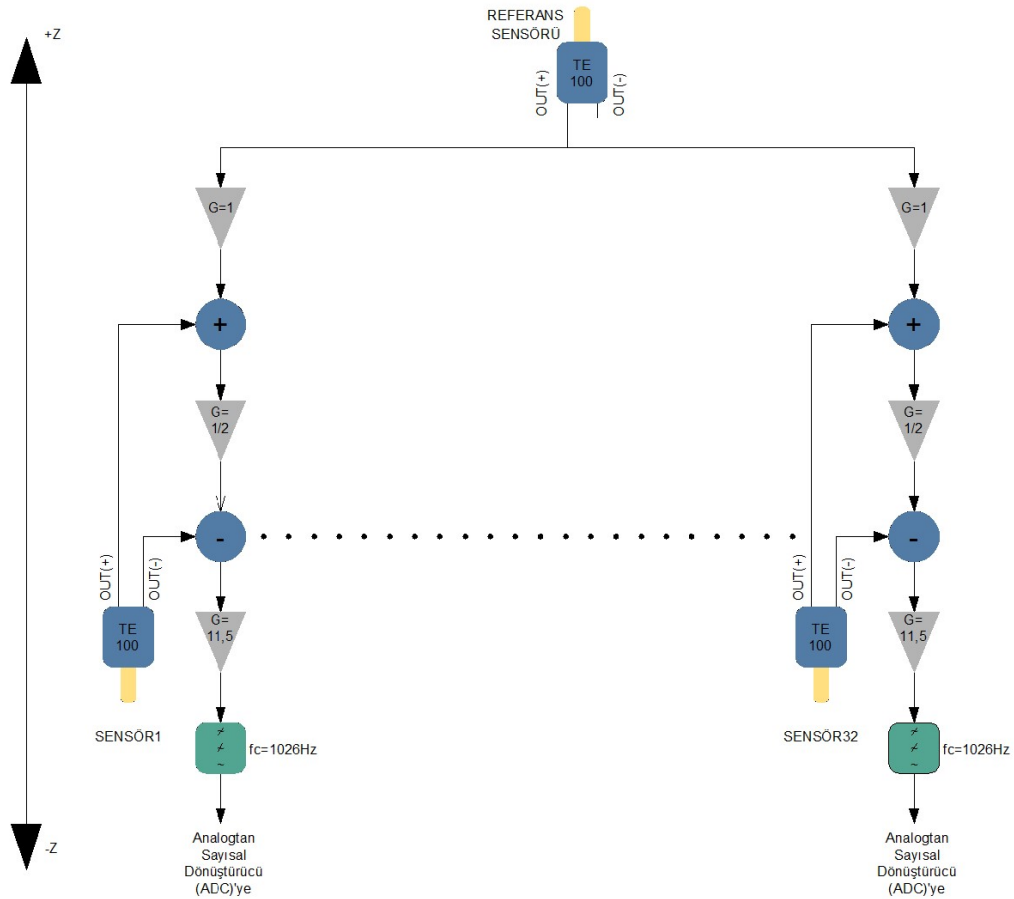


Şekil 3.5: TE100 Fluxgate sensörünün pin yapısı.

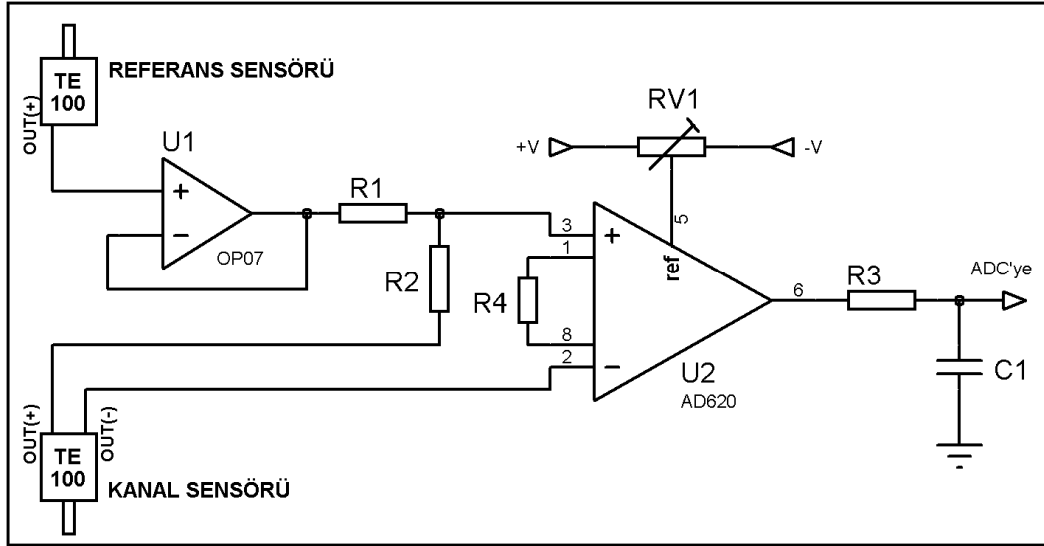
TE100 sensörü, içerisinde bulunduğu manyetik alanın şiddetine bağlı olarak OUT(+) ile OUT(-) çıkışlarında bir fark gerilimi oluşturur. OUT(-) çıkışı 0V potansiyeline göre 2,5V’luk bir referans gerilimi üretir. OUT(+) çıkışı ise manyetik alan şiddetine bağlı olarak 0V potansiyeline göre 1,5V ile 3,5V aralığında bir gerilim üretir.

3.1.1.2 Enstrümantasyon Devresi

Herhangi bir manyetik anomali olmaması durumunda bile, TE100 sensörünün pozisyonundaki değişimler farksal çıkış geriliminin değişmesine sebep olur. Bu durum ise hareket halindeki sensörlerin çıkışlarında, pozisyona bağlı olarak bir gerilim değişimi meydana getirir. Veri değerlendirme aşamasında, gerilim değişiminin anomaliden mi yoksa pozisyondan mı kaynaklandığının tespiti ana sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak çalışmamızda, sensörlerin pozisyonundan kaynaklı gerilim değişimlerini minimize eden bir enstrümantasyon devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan enstrümantasyon devresine ait blok şema Şekil 3.6’da, tek kanal için tasarlanan devreye ait şema Şekil 3.7’de görülmektedir.



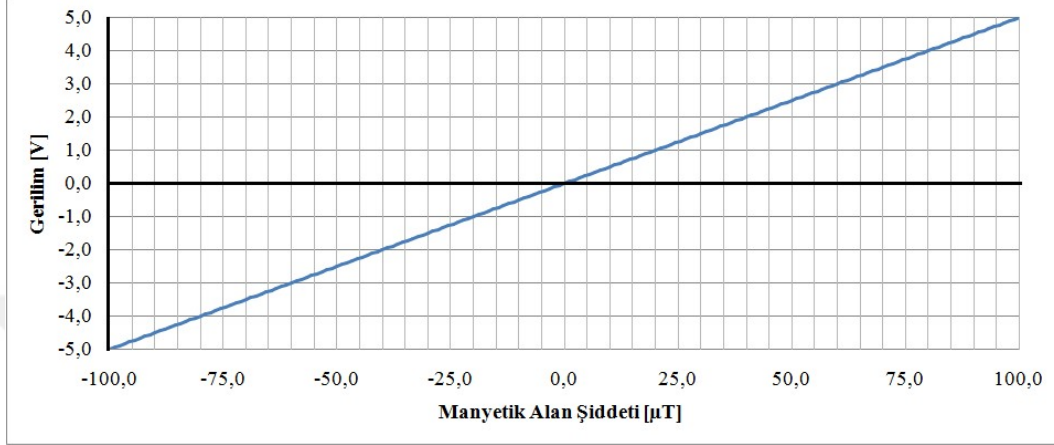
Şekil 3.6: Tasarlanan enstrümantasyon devresinin blok şeması.



Şekil 3.7: Enstrümantasyon devresinin bir kanalına ait devre şeması.

Enstrümantasyon devresinin tasarımı; aynı doğrultuda fakat zıt yönlerde yerleştirilen iki manyetik alan sensörünün, zıt işaretli ancak büyüklük olarak aynı işaretleri üretmesi esasına göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6'dan da görüleceği üzere referans sensörünün çıkış sinyali 32 kanallı sensör ağı için ortak bir işarettir. Bu işaretin tüm kanallara zayıflama olmadan ve gürültüsüz şekilde dağıtılması maksadıyla, kanal girişlerinde kazancı 1 olan tampon yükselteçler tercih edilmiştir. Tampon yükselteç çıkışı ve kanal sensörünün OUT(+) çıkışı, R1 ve R2 dirençleri vasıtasıyla toplama işlemine tabi tutulmaktadır. Buradaki R1 ve R2 direnç değerleri eşittir. Dolayısıyla enstrümantasyon yükseltecinin (+) giriş ucuna, referans ve kanal sensörlerinin OUT(+) çıkışlarından elde edilen sinyallerin cebirsel toplamalarının yarısı kadar bir sinyal ulaşır. Böylelikle elde edilen sinyal içerisinde, dünyanın doğal manyetik alanı nedeniyle oluşan etki ortadan kaldırılmış olur. Bu durumda, bulunulan konumdan ve sensörün pozisyonundan bağımsız olarak 50 μ T başına 1V'luk bir gerilim elde edilmektedir. Ancak bu gerilim 2,5V'luk bir referans üzerine üretilir. Bu referans gerilimin etkisini ortadan kaldırmak için, enstrümantasyon yükseltecinde, bir farksal yükseltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kanal sensörünün OUT(-) çıkışında 2,5V'luk bir referans gerilimi bulunmaktadır. Enstrümantasyon yükseltecinin (+) giriş ucuna ulaşan sinyal ile kanal sensörünün OUT(-) çıkışından elde edilen 2,5V'luk gerilimin farkı alınarak yükseltilir. Bu sinyal, R3 ve C1 elemanlarından oluşan pasif-alçak geçiren filtreden geçirilerek ilgili ADC kanalına yönlendirilmiş olur.

Pasif-alçak geçiren filtre çıkışındaki sinyal; $\pm 5V$ aralığında değişim gösteren, $10\mu T$ başına $1V$ 'luk çıkış geriliminin elde edildiği ve yalnızca ortamda oluşan manyetik anomali kaynaklı bir sinyaldir. Enstrümantasyon yükseltecinin manyetik alan şiddetine bağlı çıkış genliğini gösteren grafik Şekil 3.8'de görülmektedir.



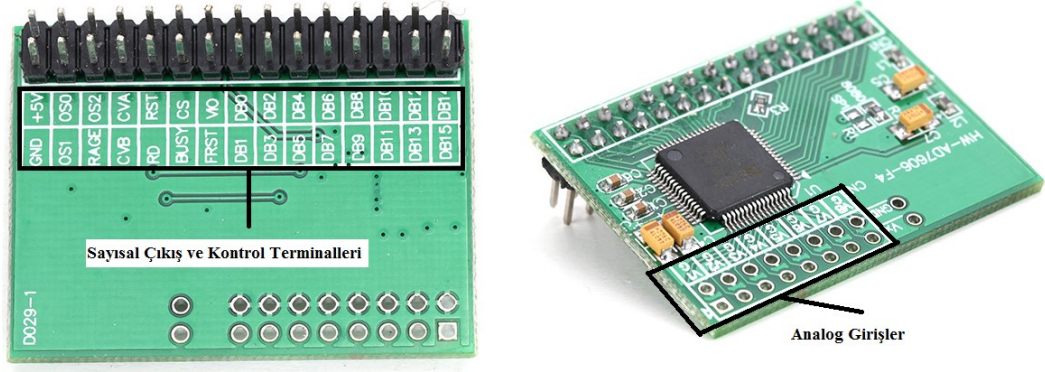
Şekil 3.8: Enstrümantasyon devresinin manyetik alan şiddetine bağlı çıkış genliği.

3.1.1.3 Analogtan Sayısala Dönüştürme

Çalışmamızda, enstrümantasyon devresinden gelen analog verileri sayısallaştırmak amacıyla AD7606 tabanlı bir analogtan sayısala dönüştürücü (analog to digital converter-ADC) modülü kullanılmıştır. Bu modül vasıtasıyla enstrümantasyon devresinden alınan analog veriler sayısallaştırılarak veri toplama ünitesine aktarılmaktadır.

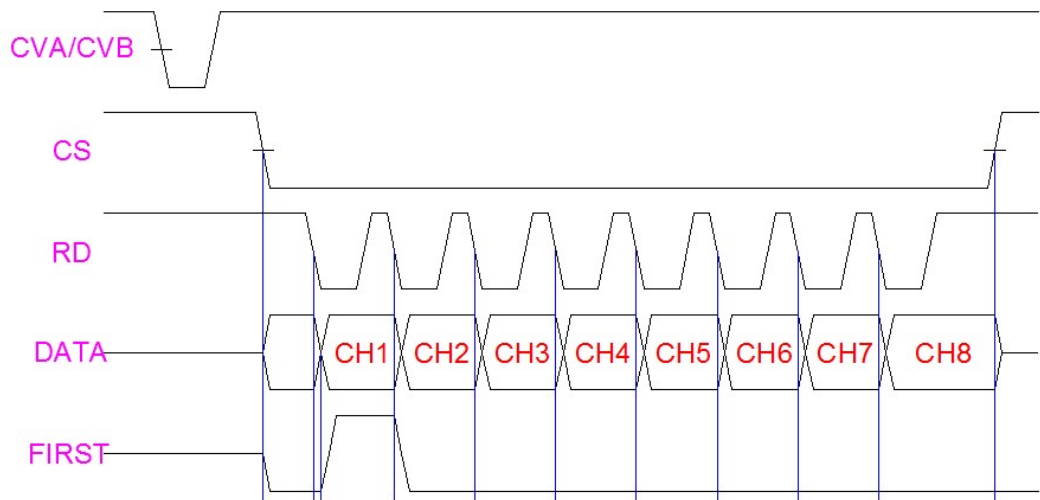
AD7606; 8 analog kanal, 16 bit çözünürlük, her kanal için 200kSPS dönüşüm hızı, $\pm 10V$ veya $\pm 5V$ aralıklarında bipolar giriş, düşük enerji tüketimi, 5V besleme gerilimi, 2nci dereceden kenar yumuşatma (antialiasing), $1M\Omega$ giriş empedansı ve analog kenetleme koruması özelliklerine sahip bir dönüştürücüdür.

Şekil 3.9'dan da görüleceği üzere AD7606 ADC modülünde analog giriş uçları ile sayısal çıkış ve kontrol terminalleri karşılıklı kenarlara yerleştirilmiştir. Sayısal çıkış ve kontrol uçlarının işlevleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.9: AD7606 ADC modülünün alttan ve üstten görünüşleri.

ADC modülünün analog girişlerinden uygulanan gerilimlere karşılık gelen sayısal verileri paralel olarak okumak için Şekil 3.10'da verilen adımların takip edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.10'da verilen sinyalleri üretmek üzere veri toplama ünitesindeki mikrodenetleyicide bir veri protokolü oluşturulmuştur. Bu protokol ile ADC modülünden veri okumak için; öncelikle CVA/CVB uçlarından düşen kenar tetiklemesi gönderilerek kanal işaretçisi birinci kanala getirildikten sonra CS ucu sayısal "0" seviyesine çekilerek modül çıkışları aktif hale getirilir. Bu işlemin ardından, RD ucundan her düşen kenar darbesi uygulandığında sıradaki kanala ait sayısal çıkışlar veri hattına yerleşir. 8 kanala ait veri okuma işleminin tamamlanmasının ardından yeni bir veri okuma işlemi için aynı adımlar tekrar edilir.



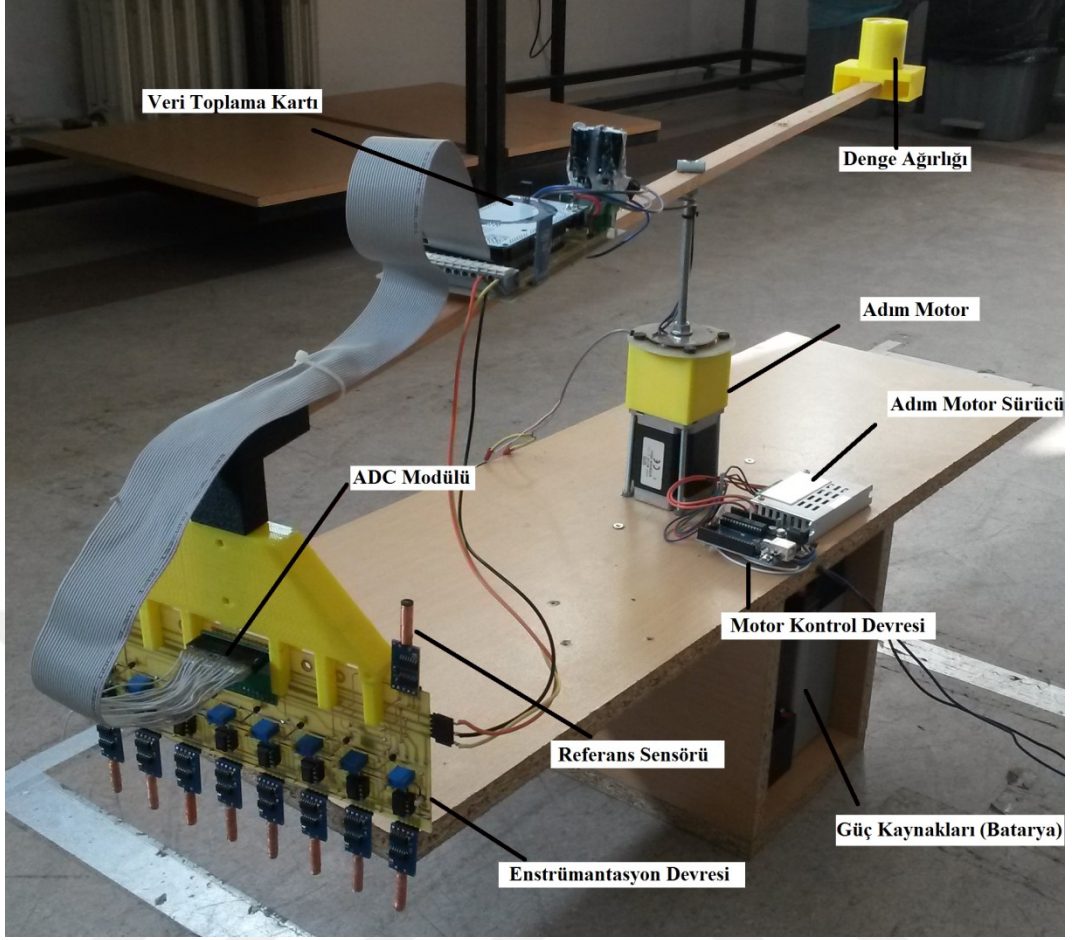
Şekil 3.10: ADC modülünden paralel veri okumak için gerekli olan veri akışı.

Tablo 3.1: ADC modülünün sayısal giriş uçlarının işlevleri.

DB[15..0]	Analog verilere karşılık gelen sayısal çıkışlar				
OS[2..0]	Aşırı örnekleme tercih bitleri. (Enstrümantasyon devresindeki filtre frekansı 1026 Hz olduğundan çalışmamızda “110” olarak tercih edilmiştir.)				
	OS[2:0]	OS Ratio	SNR 5 V Range (dB)	3 dB BW 5 V Range (kHz)	Maximum Throughput CONVST Frequency (kHz)
	000	No OS	89	15	200
	001	2	91.2	15	100
	010	4	92.6	13.7	50
	011	8	94.2	10.3	25
	100	16	95.5	6	12.5
	101	32	96.4	3	6.25
	110	64	96.9	1.5	3.125
	111	Invalid			
RANGE	Analog giriş aralığı tercih biti. (Çalışmamızda analog giriş aralığını $\pm 5V$ tercih etmek üzere RANGE girişi sayısal “1” olarak ayarlanmıştır.)				
CV[B-A]	Analogtan sayısala dönüşüm döngüsü başlatma girişleri.				
RD	Paralel veri okuma kontrol biti.				
RST	Modül resetleme biti. Bu uçtan düşen kenar tetiklemesi uygulandığında modül resetlenir.				
BUSY	Modül meşgul çıkışı				
CS	Modül yetki biti (Chip Select). CS girişine sayısal “0” uygulandığında sayısal çıkışlar aktif olur.				
FIRST	Birinci kanala ait veri paketi bayrak çıkışı				

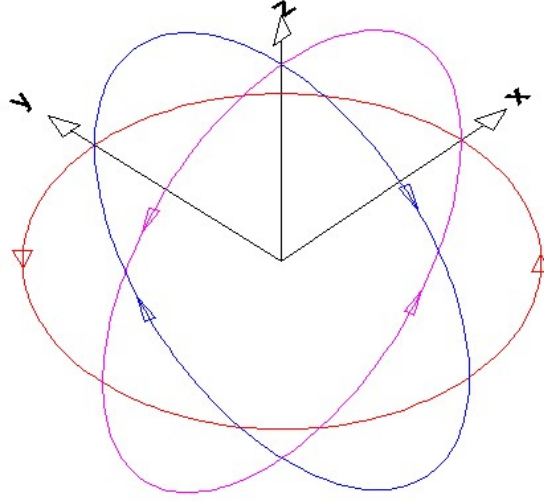
3.1.1.4 Sensör Ağının Kalibrasyonu

MAD yöntemi ile GC-P tespit sistemi için tasarlanan sensör ağının çıkışlarında, pozisyondan kaynaklı küçük değerlerde gerilim değişimleri oluşabilmektedir. Bunun sebebi sensörlerin montajı esnasında z-eksenine yaptığı küçük açı ve sensör bobinlerinin imalatı esnasında meydana gelen parametrik farklılıklardır. Kanallarda kullanılan enstrümantasyon devrelerinde gerçekleştirilecek kalibrasyon işleminin sonucunda, yukarıda bahsedilen parametrik farklılıkların oluşturduğu gerilim değişimleri önlenabilir. Bu amaçla Şekil 3.11’de görülen kalibrasyon düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan düzeneğe doğru kalibrasyon gerçekleştirmek için ölçüm alanında manyetik anomali oluşumuna sebep olacak şartlardan uzak bir ortam seçilmiştir.

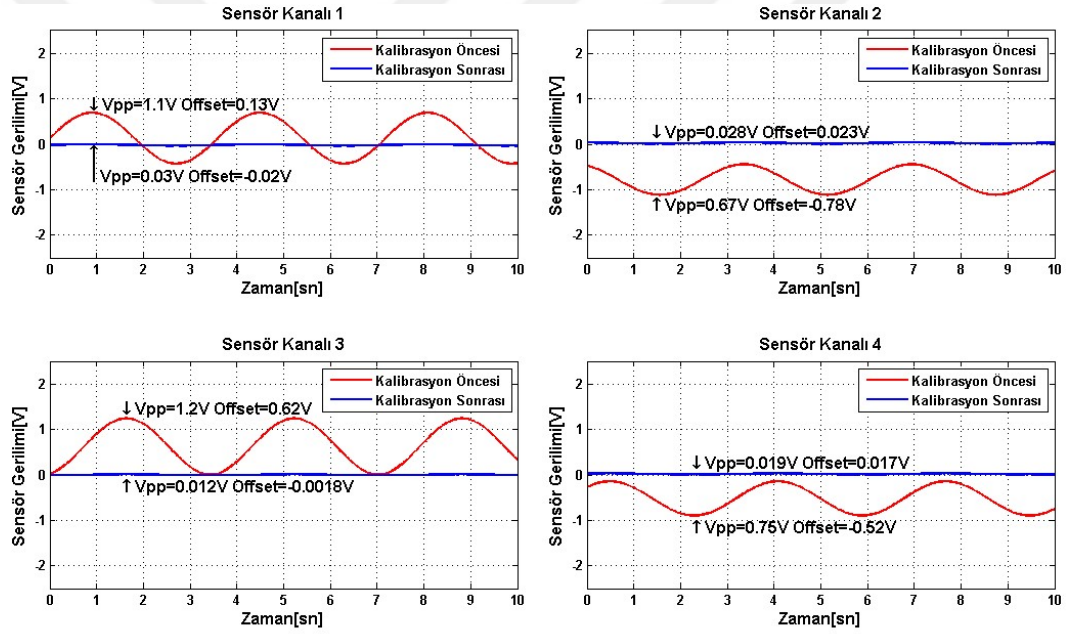


Şekil 3.11: Sensör ağıının kalibrasyonu için hazırlanan düzenek.

Kalibrasyon düzeneğine bağlanan sensör ağı Şekil 3.12’de görüldüğü gibi x-y, x-z ve y-z düzlemlerini tarayacak şekilde düzgün dairesel harekete maruz bırakılmış ve bu esnada sensör çıkışları bir veri toplama kartı ile toplanarak bilgisayara aktarılmıştır. Matlab platformunda hazırlanan ve EK A’da verilen bir program ile kanallar arasındaki gerilim seviyesi, ofset gerilimi ve kazanç farklılıkları tespit edilmiştir. Kalibrasyonun yapıldığı ortamda manyetik anomali oluşumuna sebep olacak bir etki olmadığından, kanallardan elde edilen sayısal çıkışların 0 seviyesinde seyretmesi beklenir. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi üretimsel veya kullanılan elektronik devre elemanlarının ilk montaj anındaki değerlerinin farklılıklarından kaynaklı kanalların çıkışındaki fonksiyonlar birbirinden farklı olacaktır. Bu farklılıkların minimize edilmesi için her kanala ait manyetik alan sensörünün pozisyonu ve Şekil 3.7’de görülen RV1 trimpotu uygun değerlere ayarlanmıştır. Kalibrasyon öncesinde ve sonrasında Kanal1, Kanal2, Kanal3 ve Kanal4’e ait sinyal şekilleri Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.12: Kalibrasyon düzeneğine ait dairesel dönüş eksenleri.

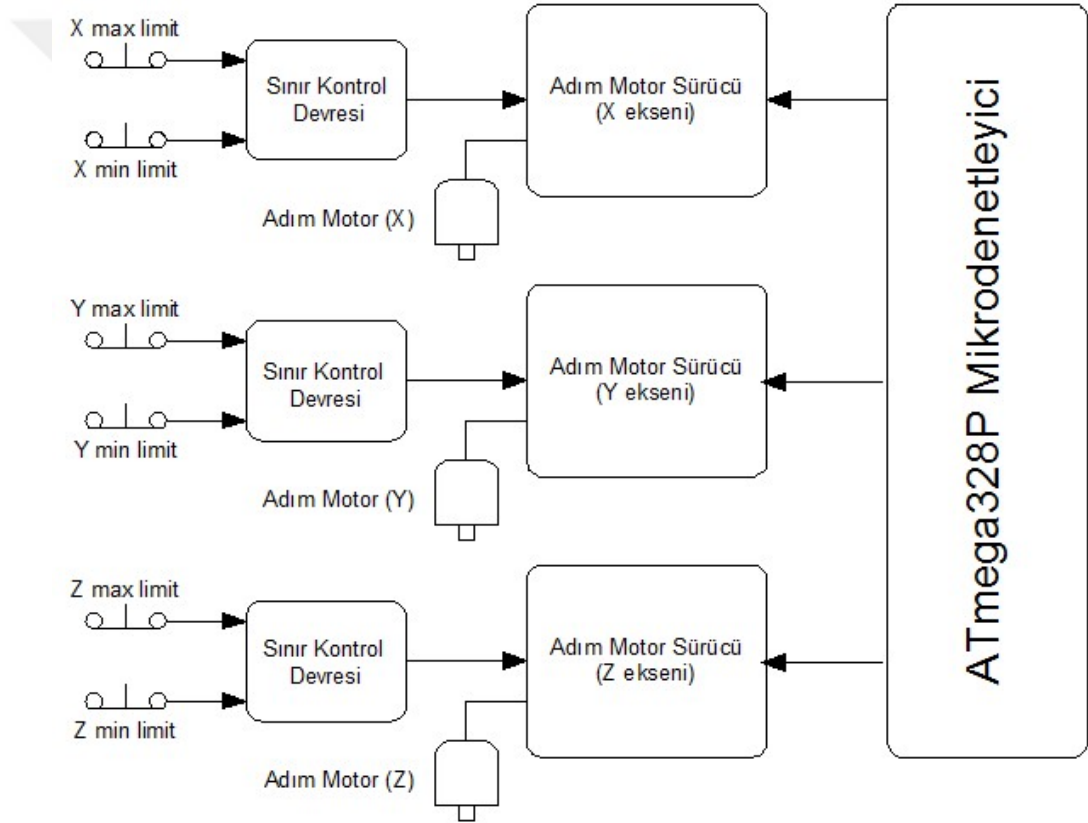


Şekil 3.13: Kalibrasyon öncesi ve sonrasında bazı kanallara ait sinyal şekilleri.

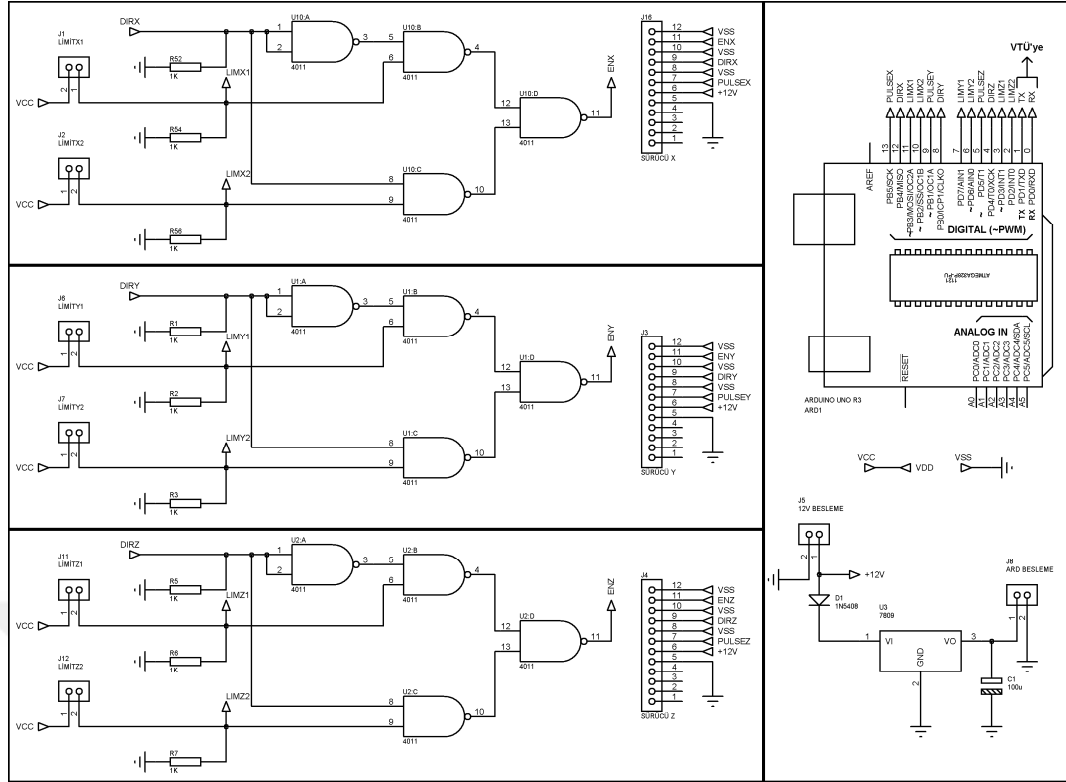
3.1.2 Kartezyen Robot Kontrol Ünitesi

Kartezyen robot; sensör ağını 3 eksenle hareket ettirerek örnek veriler toplamak üzere tasarlanmış bir düzendir. 3 adım motor ve bunlara bağlı lineer hareket mekanizmaları sayesinde sensör ağı istenilen doğrultuda hareket ettirilerek ölçüm alanı taranır. Adım motorların hareketlerinin kontrolü için adım motor sürücüler ve bu sürücüler kontrol eden ATmega328P tabanlı bir

mikrodenetleyici kullanılmıştır. KRKÜ’de kullanılan ATmega328P üzerinde geliştirilen ve EK B’de verilen program ile VTÜ’den alınan veriler doğrultusunda adım motorun hareketleri kontrol edilir. KRKÜ’ye ait blok şema Şekil 3.14’te, devre şeması ise Şekil 3.15’te verilmiştir. KRKÜ ile VTÜ arasındaki iletişim için 9600 bps hızında seri haberleşme tercih edilmiştir. Kartezyen robot y ekseninde 5 km/saat ilerleme hızına kadar ulaşabilmektedir. Bu ilerleme hızı bir insanın ortalama yaya yürüme hızına eşit olacak şekilde seçilmiştir. Her ne kadar x,y,z eksenlerinde hareket gerçekleştirilse de örnek veri elde etme aşamasında y ve z eksenlerindeki hareketler kullanılmıştır. Bunun sebebi x eksenini boyunca uzanan sensör ağının bu eksenin tamamen örtmüştüğü olmasıdır.



Şekil 3.14: KRKÜ blok şeması.



Şekil 3.15: KRKÜ devre şeması.

3.1.3 Veri Toplama Ünitesi

VTÜ; bilgisayar, sensör ağı ve KRKÜ arasında iletişimin sağlandığı merkezi ünedir. Genel olarak; bilgisayar programından gelen komutlar doğrultusunda kartezyen robot mekanizmasının koordinatlarının belirlendiği ve enstrümantasyon devresinden alınan verilerin tekrar bilgisayara yönlendirildiği birimdir. VTÜ’de ATmega2560 tabanlı bir mikrodenetleyici kartı olan Arduino Mega tercih edilmiştir. Arduino Mega’nın; 54 sayısal giriş-çıkış, 4 UART donanımı, 16MHz işlem hızı USB bağlantı özelliklerini barındırması tercihi etkileyen unsurlar olmuştur. VTÜ ile diğer üniteler arasındaki koordinasyonun sağlanması için Arduino Mega üzerinde tarafımızdan geliştirilen ve EK C’de verilen bir program yürütülmektedir. Programın geliştirilmesi esnasında; enstrümantasyon devresinde bulunan ADC modülleri ile haberleşmek üzere VTÜ-sensör ağı arasında paralel bir iletişim protokolü, sensör ağını ölçüm alanı içerisinde istenilen koordinata yönlendirmek maksadıyla VTÜ-KRKÜ arasında seri bir iletişim protokolü, bilgisayardan VTÜ’ye gelecek olan kontrol

Bilgisayar-VTÜ arasında işletilen veri iletimi protokolü çerçevesinde, bilgisayardan ürettiğimiz ASCII 'T' karakterinin bluetooth üzerinden VTÜ'ye gelmesiyle beraber, başlangıç pozisyonuna konumlanmış olan sensör ağından 32 kanala ait manyetik alan verileri okunur. Bu veriler, x eksenini boyunca oluşan manyetik alan verilerini oluşturmaktadır. Sensör ağı, kartezyen robotun y eksenini üzerinde 2,54cm'lik adımlarla 25 adım ilerletilmektedir ve her seferinde 32 adet manyetik alan verisi alınmaktadır. Böylece ölçüm alanına yerleştirilen her örnek için 32x25 boyutunda bir veri matrisi elde edilmektedir. y ekseninin her pozisyonu için alınan 32 adet manyetik alan verisi, paket halinde bluetooth üzerinden bilgisayara iletilmektedir. VTÜ'den bilgisayara ve bilgisayardan VTÜ'ye iletilen tüm veriler 9600 bps hızında ve ASCII formatındadır. Bilgisayar ile VTÜ arasında oluşturulan veri iletim protokolü ile VTÜ'den üretilen tüm manyetik alan verileri bilgisayar üzerinde bir 'txt' dosyasına kaydedilmektedir. Çalışmada kullanılan veri matrisinin yapısı Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu tabloda verilen her bir x,y çifti ADC'den okunan bir sayısal veriyi içermektedir.

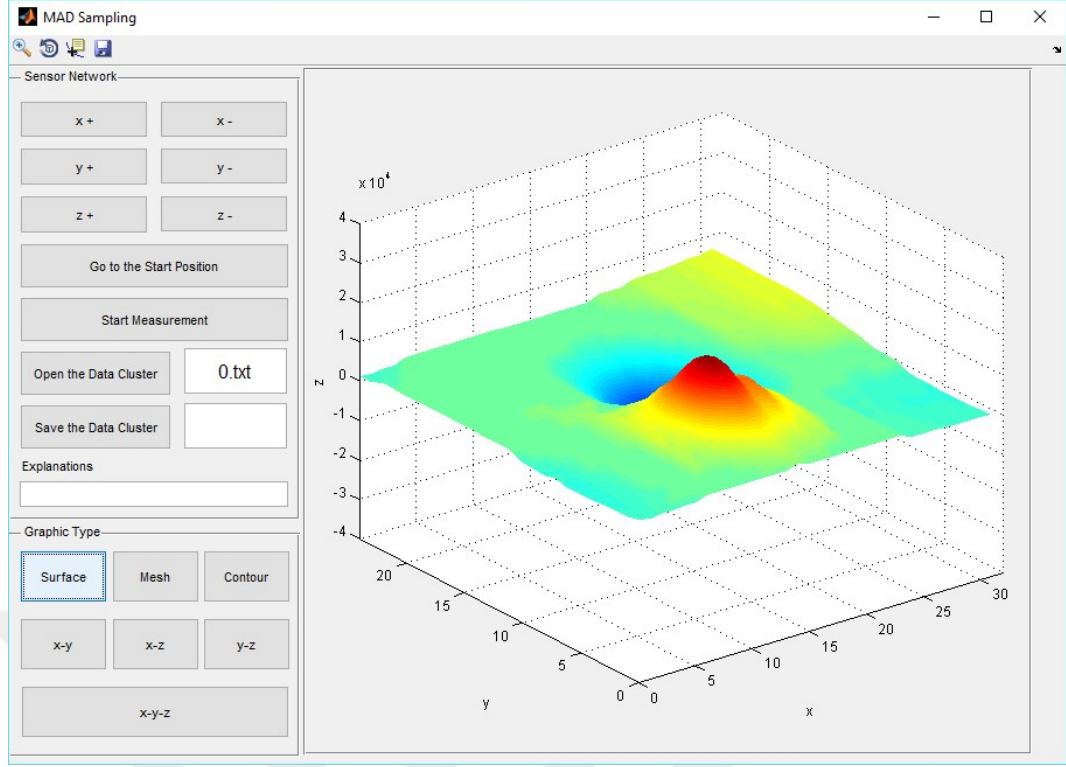
Tablo 3.2: Veri matrisinin yapısı.

y Ekseni Değerleri	1	x_1, y_1	x_2, y_1	x_3, y_1		x_{30}, y_1	x_{31}, y_1	x_{32}, y_1
	2	x_1, y_2	x_2, y_2	x_3, y_2		x_{30}, y_2	x_{31}, y_2	x_{32}, y_2
	3	x_1, y_3	x_2, y_3	x_3, y_3		x_{30}, y_3	x_{31}, y_3	x_{32}, y_3
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	.	.	.	.		.	.	.
	23	x_1, y_{23}	x_2, y_{23}	x_3, y_{23}		x_{30}, y_{23}	x_{31}, y_{23}	x_{32}, y_{23}
	24	x_1, y_{24}	x_2, y_{24}	x_3, y_{24}		x_{30}, y_{24}	x_{31}, y_{24}	x_{32}, y_{24}
	25	x_1, y_{25}	x_2, y_{25}	x_3, y_{25}		x_{30}, y_{25}	x_{31}, y_{25}	x_{32}, y_{25}
		1	2	3		30	31	32
X Ekseni Değerleri								

3.2 Bilgisayar Arayüzü

Örnek veri kümelerinin oluşturulması için geliştirilen arayüz ‘MAD Sampling’ olarak adlandırılmıştır ve kod geliştirmek için Matlab Graphical User Interfaces (GUI)’den faydalanılmıştır (Matlab kodları EK D’de sunulmuştur). Matlab GUT’de geliştirilen arayüz ile, kartezyen robotun kontrolü için gerekli olan komutların VTÜ’ye iletilmesi, ölçüm işleminin başlatılması, VTÜ’den bluetooth ile gelen verilerin kaydedilmesi, kaydedilen verilerin grafiksel incelemelerinin yapılması gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir. “MAD Sampling” arayüzüne ait bir görüntü Şekil 3.17’de görülmektedir.

MAD Sampling arayüzünde alınan veriler Tablo 3.2’de verilen formata uygun olarak ‘txt’ formatında kaydedilmektedir. Kaydedilen bu veriler sınıflandırma işlemi için örnek kümeyi teşkil etmektedir.



Şekil 3.17: “MAD Sampling” arayüz görüntüsü.

3.3 Manyetik Alan Verilerinin Sınıflandırılması

Sınıflandırma işleminde en önemli iki aşama öznitelik çıkarımı ve akabinde uygun sınıflandırıcının seçilmesidir.

3.3.1 Öznitelik Çıkarımı

Sınıflandırmada bir sinyali veya veri kümesini doğrudan kullanmak yerine onu en iyi niteleyen özelliklerinin karşılaştırılması yıllardan beri benimsenen bir yöntem olmuştur. Sınıflandırıcıda işleme sokulacak veri elemanı sayısı, tüm bileşenleri işleme almaya elverişli değilse, sınıflandırıcının işini kolaylaştıracak bir ön işleme gerek duyulur. Bu sayede sınıflandırmaya etkisi olmayan öznitelikler ayırt edilebilir. Öznitelik uzayının boyutunun artması, sınıflandırıcının başarısını azaltır. Sınıflandırıcıya gerçek zamanlı girecek her veri için özniteliklerin elde edilmesi bir zaman alacaktır. Bu durum gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılan öznitelik sayısının sınırlandırılmasını gerektirir. O halde

gerçek zamanlı ve hız problemi bulunan sistemlerde mümkün olduğu kadar az matematiksel işlem gerektiren ve sisteme giren verileri en iyi şekilde niteleyen öznitelik elemanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda, manyetik alan verilerini nitelemek maksadıyla maksimum, minimum, standart sapma, basıklık katsayısı ve aritmetik ortalama öznitelikleri tercih edilmiştir.

Maksimum değer özniteliği; veri kümesindeki en yüksek sayısal değere sahip üyeyi ifade eder.

Minimum değer özniteliği; veri kümesindeki en küçük sayısal değere sahip üyeyi ifade eder.

Standart sapma özniteliği; veri değerlerinin dağılımının özetlenmesi için kullanılan bir ölçü olup Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Standart Sapma}=\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\mu)^2}{n}} \quad (3.1)$$

Burada; x_i veri kümesine ait “i” numaralı üyeyi, μ veri kümesinin aritmetik ortalamasını, n veri kümesindeki üye sayısını ifade eder.

Basıklık katsayısı özniteliği; manyetik alan sinyalinin değişim hızını yansıtır ve değeri, temelde dağılım fonksiyonlarına uygulanan bir büyüklüktür. Dördüncü moment olarak da bilinen basıklık değeri, dağılımın dikliği ya da yayvan olması hakkında bilgi verir ve Denklem 3.2 yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Basıklık Katsayısı}=\text{BK}=\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\mu)^4}{n\sigma^4} \quad (3.2)$$

Aritmetik ortalama özniteliği ise; veri kümesindeki elemanların sayısal toplamalarının eleman sayısına bölünmesi ile elde edilir.

3.3.2 Sınıflandırma

Çalışmada kullanılan öznitelikler eşit şartlarda karşılaştırma için En Yakın Komşuluk (k Nearest Neighbor-kNN) algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır.

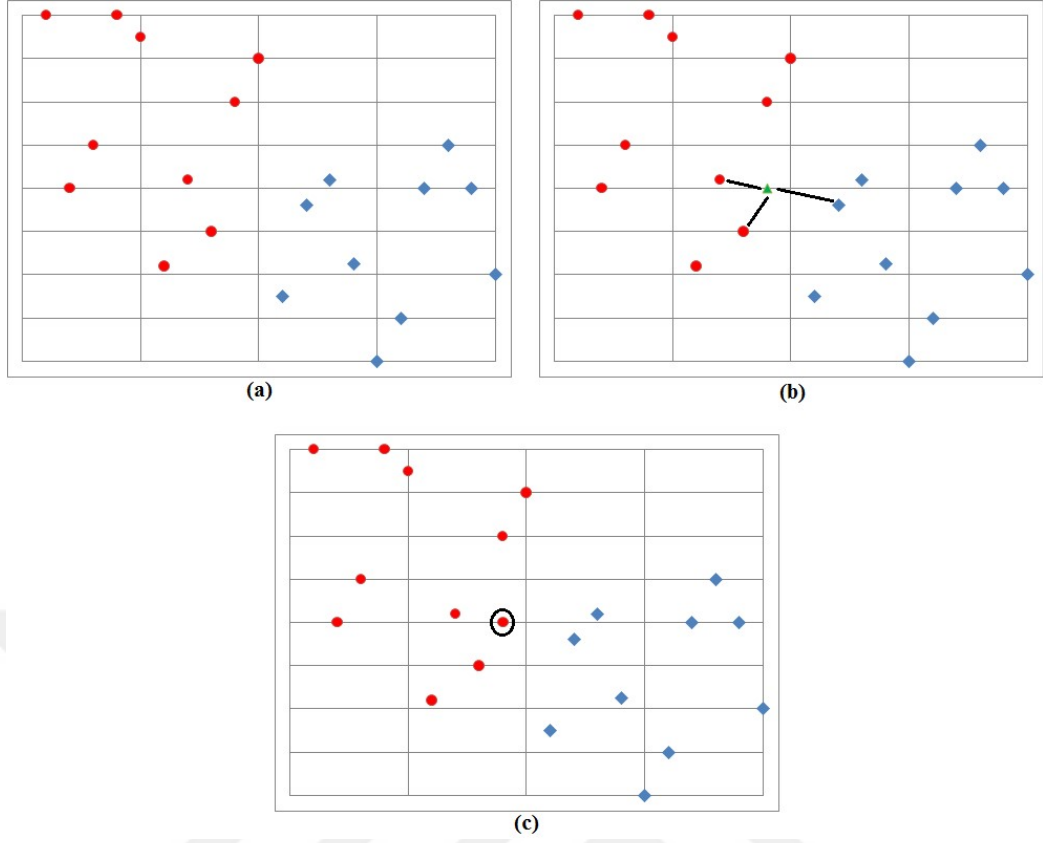
kNN algoritması; kolay uygulanabilir olması, hızlı işlem kabiliyeti, yüksek performans göstermesi ve karmaşık sınıflandırma algoritmalarına yakın başarımlarına sahip olduğu için tercih edilmiştir.

Sınıflandırıcı olarak kullanılan kNN algoritması; daha önce öznitelikleri belirlenen ve öznitelik uzayı oluşturulan bir küme içerisine, dışarıdan öznitelikleri belli olan bir veri geldiğinde, bu yeni özniteliğin öznitelik uzayındaki k özniteliğe yakınlığının kontrol edilmesidir. Şekil 3.18(a)'da 10 kırmızı 10 mavi veriden oluşan bir öznitelik uzayı verilmiştir. Bu uzaya Şekil 3.18(b)'de gösterildiği gibi sınıfı bilinmeyen ancak özniteliği bilinen yabancı bir yeşil verisi girdiğinde, bu özniteliğe en yakın kırmızı ve mavi veriler kontrol edilmektedir. k değerinin 3 alınması durumunda; yeşil veriye en yakın 2 özniteliğin kırmızı, 1 özniteliğin mavi veri olduğu görülecektir. Bu durumda Şekil 3.18(c)'de görüleceği üzere, yeşil verinin sınıfı kırmızı olarak tespit edilmiş olacaktır.

k değerinin düşük tutulması sınıflandırma başarımlarını artırabilir. Ancak bu durumda sınıflandırmanın güvenilirliği tereddütlere sebep olabilir. k değerinin yüksek tutulması güvenilirliği artırabilir. Ancak bu durumda hem sınıflandırma başarımları düşer hem de sınıflandırıcının işlem hızı yavaşlar. Bu yüzden k değerinin ve güvenirliliğin en uygun değerinin belirlenmesi için deneysel verilerin işlenmesi zaruridir.

Sınıflandırıcının etkin bir şekilde çalışıp çalışmadığına dair en önemli kriterlerin başında, başarımlar yüzdesi gelmektedir. Başarımlar yüzdesi, sınıflandırıcıya giren belli sayıdaki rastgele verinin doğru sınıflandırma oranını ifade etmektedir.

Sınıflandırıcı başarımlarını değerlendirmek için kullanılan bir diğer kriter de Güvenirlilik Katsayısı (κ)'dır. Güvenirlilik; aynı niceliğin bağımsız sınıflandırma denemeleri arasındaki kararlılık, sınıflandırılmak istenen bir veri grubunun her defasında aynı sonucu vermesinin bir ölçütü veya sınıflandırmanın tesadüfi yanlışlardan arınık olması olarak farklı şekillerde tanımlanmaktadır.



Şekil 3.18: En Yakın Komşuluk Sınıflandırma Prensipleri. a) Öznitelik Uzayı, (b) En yakın 3 komşuluğun bulunması, (c) Verinin sınıflandırılması.

Güvenirlilik, istatistiksel teknik bir terim olup, bilimsel çalışmanın ilk koşullarındandır. Araştırmalarda, aynı süreçlerin tekrarlanması ile aynı sonuçların alınabilmesi istenir. Aksi halde, hangi sonucun "güvenilir" olduğuna karar verilemez. Bu bir bakıma, araştırmalarda alınan bir sonucun, başka araştırmacılar tarafından da test edilebilmesidir. Güvenirlilik katsayısı, 0 ile 1 arasında değişen değerler alır. Güvenirlilik katsayısı aralıklarının ne anlam ifade ettiği Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Güvenirlilik katsayısı aralıklarının izahı.

κ	Yorum
< 0	Hiç uyuşma olmaması
0.0 - 0.20	Önemsiz uyuşma olması
0.21 - 0.40	Orta derecede uyuşma olması
0.41 - 0.60	Ekseriyetle uyuşma olması
0.61 - 0.80	Önemli derecede uyuşma olması
0.81 - 1.00	Neredeyse mükemmel uyuşma olması

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Bu çalışmada; yeraltında gömülü ferromanyetik içerikli cisimlerin ve gömülü el yapımı patlayıcıların geliştirilen sistem (Şekil 3.2) ile tespit edilerek sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak; ölçüm alanına nemli toprak doldurulmuş, toprak içerisine farklı boyut ve özellikli test numuneleri yerleştirilmiş, pozitif x eksen yönünde yerleştirilen 32 sensörden oluşan sensör ağı y ekseninde 25 adımda hareket ettirilmiş ve veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler gömülü numunenin en üst noktasına göre pozitif z ekseninin 5cm, 10cm, 15cm ve 20cm pozisyonlarında tekrar edilerek her test numunesi için 4 farklı mesafeden ölçümler alınmıştır. x-y-z eksen hareketleri esnasında ölçüm alanına yerleştirilen test numunesinin konumu sabit tutulmuştur. Elde edilen veri kümeleri ile;

- Yeraltında gömülü ferromanyetik içerikli cisimlerin varlığının tespiti,
- Gömülü cismin yeraltındaki konumunun tespiti,
- Gömülü cismin tarama eksenindeki genişliğinin/boyunun tespiti,
- 32x25 boyutundaki tarama verileri için öznitelik uzayının oluşturulması,
- 32x25 boyutundaki tarama verileri için istatistiksel çalışma yapılması sonucu boyut indirgeme gerçekleştirilerek 32x2 boyutundaki indirgenmiş veri matrislerinin oluşturulması,
- 32x2 boyutundaki veri matrisleri için öznitelik uzayının oluşturulması,
- 32x25 ve 32x2 boyutlarındaki veri matrislerinde farklı öznitelik grupları ve farklı k değerleri için en yakın komşuluk sınıflandırıcının kullanılmasıyla, en uygun öznitelik grubunun ve k değerinin belirlenmesi,
- Gömülü cismin eğitim kümesinde bulunan bir patlayıcıya mı yoksa yanıltıcı bir numuneye mi ait olduğunun tespiti işlemleri gerçekleştirilmiştir.

4.1 Gömülü Cisim ve Patlayıcıları Manyetik Alan Ölçümleri

Çalışmamızda 33 bileşenin yer aldığı bir numune grubu oluşturulmuştur. Bunlardan 10 tanesi standart üretimleri bulunan ve EYP'ler ile nizami harpte sıklıkla kullanılan patlayıcılardan oluşmakta olup görüntüleri Şekil 4.1'de ve genel fiziki özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Standart üretimi bulunan patlayıcı numunelerinin görüntüleri.

Tablo 4.1: Standart üretimi bulunan patlayıcı numunelerinin fiziki özellikleri.

Bombacık	El Bombası	60mm Havan	81mm Havan	M2 AP Mayını
				
$\phi=42.2\text{mm}$ $h=79\text{mm}$	$\phi=60\text{mm}$ $h=120\text{mm}$	$\phi=60\text{mm}$ $h=240\text{mm}$	$\phi=81\text{mm}$ $h=300\text{mm}$	$\phi1=17\text{mm}$ $\phi2=63\text{mm}$ $h=245\text{mm}$
M14 AP Mayını	M15 AT Mayını	M16 AP Mayını	TNT Kalıbı	Piknik Tüpü
				
$\phi=57\text{mm}$ $h=38\text{mm}$	$\phi=330\text{mm}$ $h=125\text{mm}$	$\phi=110\text{mm}$ $h=120\text{mm}$	$l=173\text{mm}$ $w=50\text{mm}$ $h=50\text{mm}$	$\phi=235\text{mm}$ $h=230\text{mm}$

Çalışmamızda, EYP yapımında kap olarak kullanılabilecek değişik boyut ve geometrilere sahip 10 farklı numune kullanılmış olup bunlara ait görüntüler Şekil 4.2’de ve bunların genel fiziki özellikleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numunelerin görüntüleri.

Tablo 4.2: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numunelerin fiziki özellikleri.

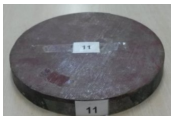
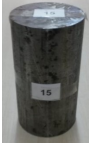
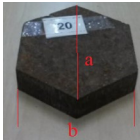
Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
$\phi_{iç}=87\text{mm}$ $\phi_{dış}=84\text{mm}$ $h=53\text{mm}$	$\phi_{iç}=53\text{mm}$ $\phi_{dış}=60\text{mm}$ $h=45,5\text{mm}$	$\phi_{iç}=105\text{mm}$ $\phi_{dış}=115\text{mm}$ $h=50\text{mm}$	$\phi_{iç}=161\text{mm}$ $\phi_{dış}=180\text{mm}$ $h=38,5\text{mm}$	$\phi_{iç}=28\text{mm}$ $l=40\text{mm}$ $w=40\text{mm}$ $h=35,5\text{mm}$
Numune 6	Numune 7	Numune 8	Numune 9	Numune 10
$\phi_{iç}=50\text{mm}$ $\phi_{dış}=60\text{mm}$ $h=95\text{mm}$	$\phi_{iç}=88\text{mm}$ $\phi_{dış}=102\text{mm}$ $h=104\text{mm}$	$\phi_{iç}=108\text{mm}$ $\phi_{dış}=128\text{mm}$ $h=50\text{mm}$	$\phi_{iç}=40\text{mm}$ $\phi_{dış}=60\text{mm}$ $h=36\text{mm}$	$\phi_{iç}=20,5\text{mm}$ $\phi_{dış}=42,5\text{mm}$ $h=62\text{mm}$

Çalışmamızda; ayrıca yanılıcı niteliği taşıyan, gerçek patlayıcı ve EYP'lerin manyetik alan görüntüleme sonuçlarına yakın sonuçlar veren toplam 13 numune kullanılmıştır. Bu numunelere ait görüntüler Şekil 4.3'de ve bunların genel fiziki özellikleri ise Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Yanılıcı özelliği taşıyan numunelerin görüntüleri.

Tablo 4.3: Yanılıcı özelliği taşıyan numunelerin fiziki özellikleri.

Numune 11	Numune 12	Numune 13	Numune 14	Numune 15	
					
$\phi=130\text{mm}$ $h=16\text{mm}$	$\phi=75\text{mm}$ $h=31\text{mm}$	$\phi=90\text{mm}$ $h=16\text{mm}$	$\phi=55\text{mm}$ $h=9\text{mm}$	$\phi=55\text{mm}$ $h=105\text{mm}$	
Numune 16	Numune 17	Numune 18	Numune 19	Numune 20	
					
$l=40\text{mm}$ $w=40\text{mm}$ $h=40\text{mm}$	$l=74\text{mm}$ $w=35\text{mm}$ $h=31\text{mm}$	$l=102\text{mm}$ $w=30\text{mm}$ $h=10\text{mm}$	$l=150\text{mm}$ $w=30\text{mm}$ $h=10\text{mm}$	$a=68\text{mm}$ $b=59\text{mm}$ $h=15\text{mm}$	
Numune 21		Numune 22		Numune 23	
	$\phi=100\text{mm}$ $h=117\text{mm}$		$\phi=68\text{mm}$ $h=34\text{mm}$		$\phi=65\text{mm}$ $h=115\text{mm}$

Taktik alanda, EYP ve mayınların tahrip gücünden maksimum şekilde faydalanmak için toprağın 2-3cm altına gömüldüğü bilindiğinden, deneysel çalışmaların bu derinlikte yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu maksatla; manyetik alan taraması yapılacak olan numunenin en üst kısmı, toprak üst yüzeyinden 2-3cm derinliğe sahip olacak şekilde nemli toprağın içerisine gömülmüştür.

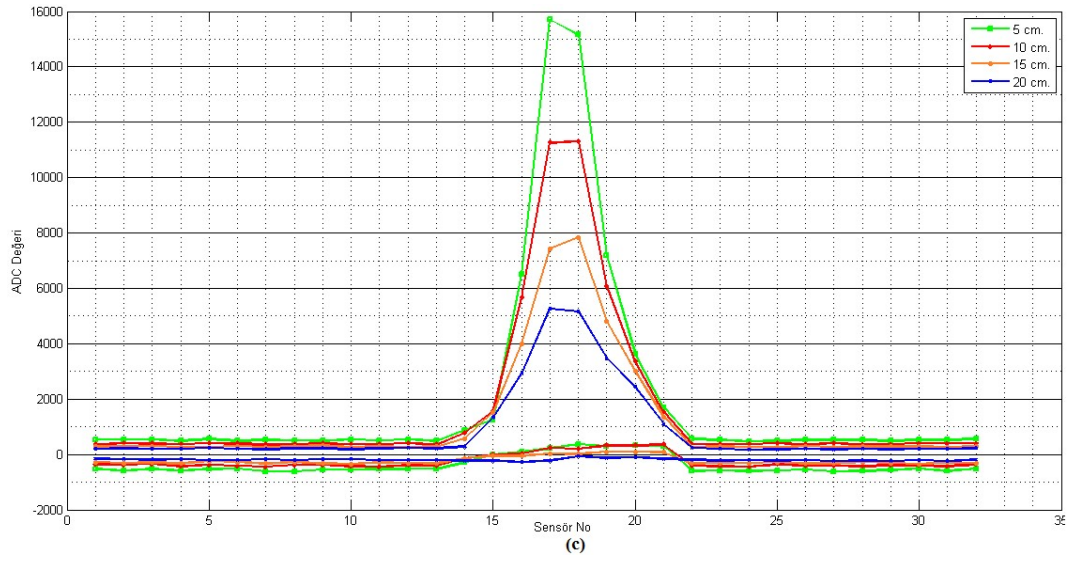
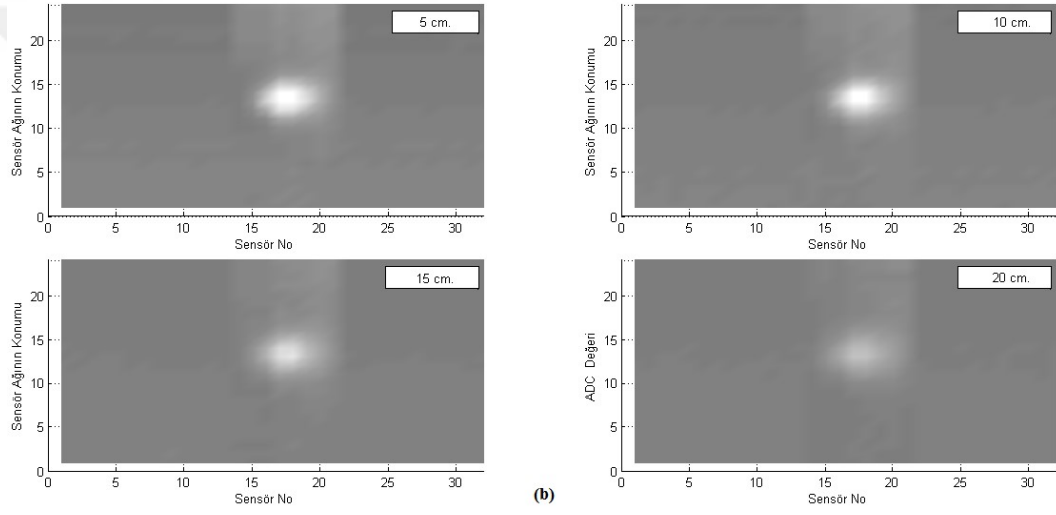
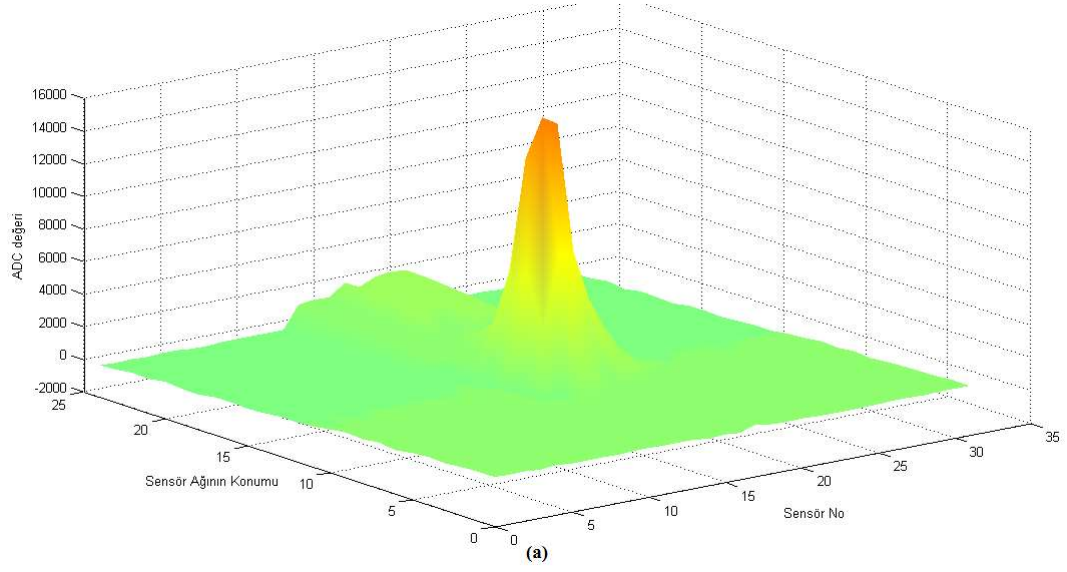
Numunenin nemli toprağın içerisine gömülmesinin akabinde, sırasıyla 5cm, 10cm, 15cm ve 20cm mesafelerden manyetik alan taramaları yapılmıştır. Aynı işlemler 33 test numunesi için tekrarlanmıştır. Verilen bu mesafeler sensör ağı ile toprağa gömülü cismin en üst noktası arasındaki mesafeleri ifade etmektedir.

Manyetik alan taramaları neticesinde elde edilen 32x25 boyutundaki veri matrislerinden faydalanılarak her numuneye ait; 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu tarama görüntüsü, 4 farklı mesafeden elde edilen 2 eksenli gri ölçek grafikleri ve 4 farklı mesafeden elde edilen x-z izdüşüm grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.4-Şekil 4.36'da verilmiştir.

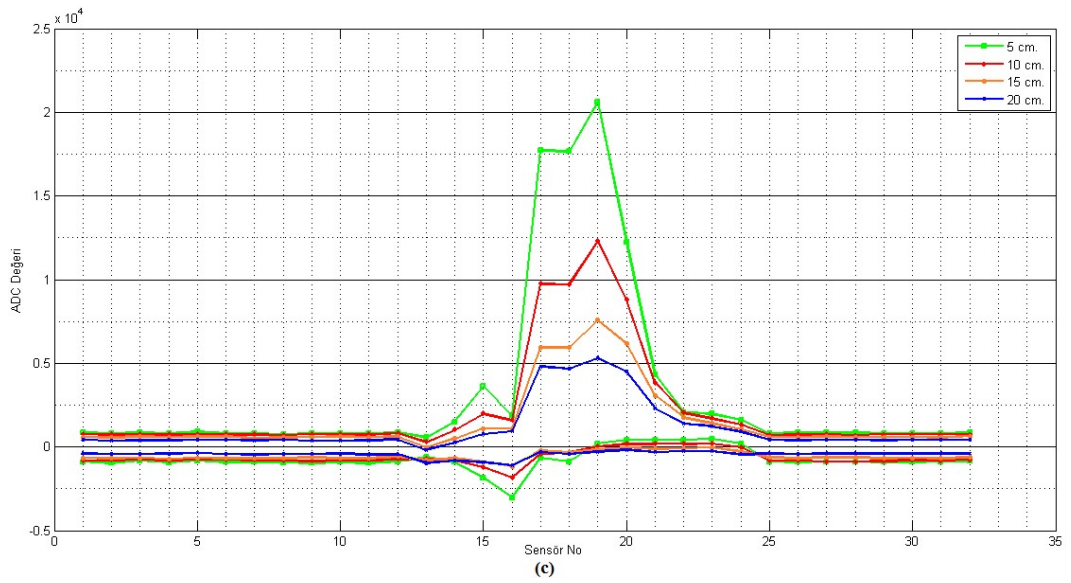
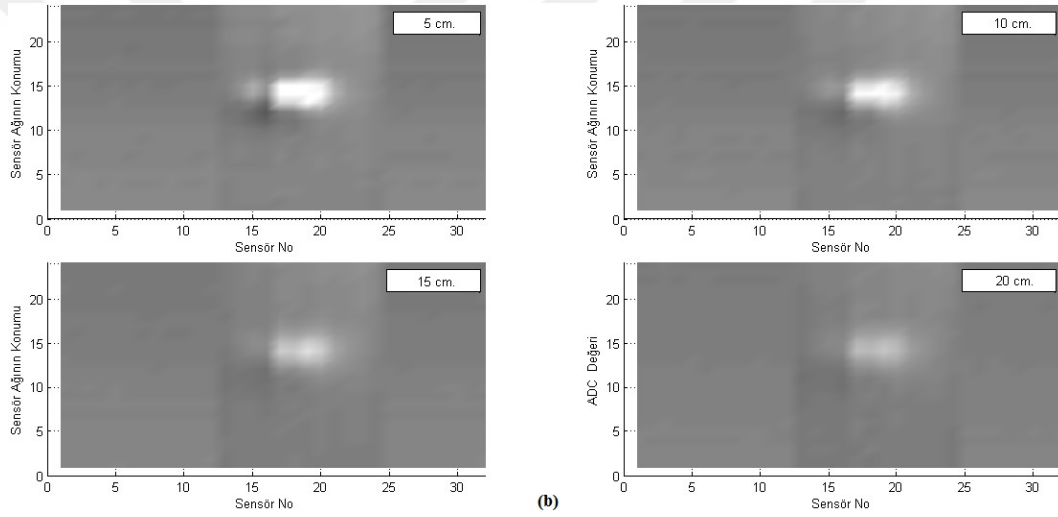
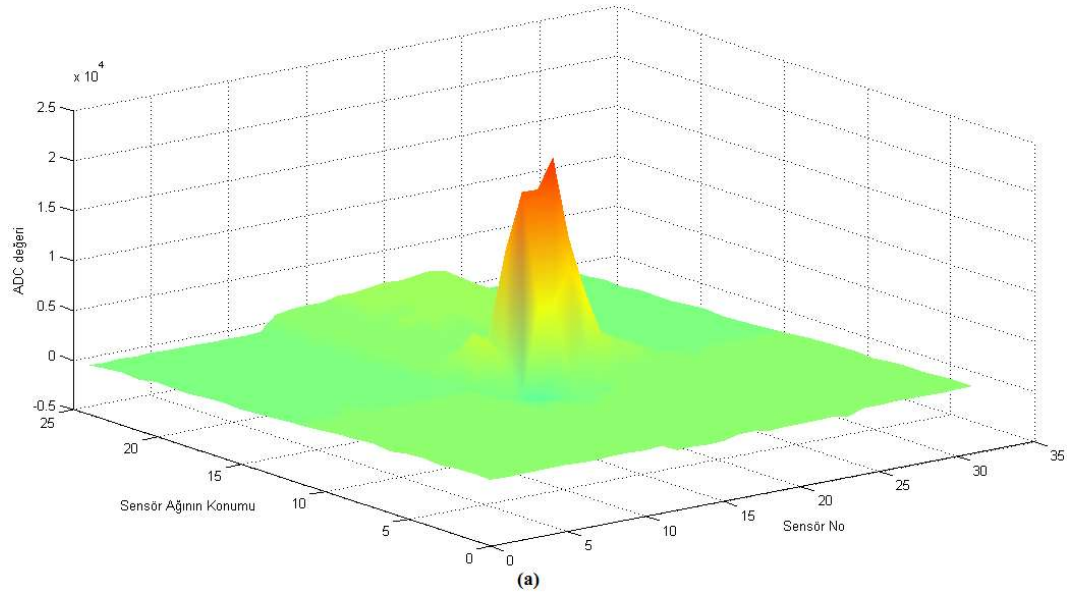
Şekil 4.4-Şekil 4.36'da verilen gri ölçek grafiklerinde, açık renkli bölgeler manyetik alan yoğunluğunun fazla, koyu renkli bölgeler ise manyetik alan yoğunluğunun az olduğu durumları ifade etmektedir. Gri ölçek grafiğinde renk bilgisi ADC kanallarından elde edilen -32768 ile 32768 aralığındaki sayısal değerlerde saklıdır. -32768 değeri %100 siyah renk oluştururken, 32768 %100 beyaz renk oluşturmaktadır. ADC'nin 0 değeri ise %50 siyah %50 beyazdan oluşan ve manyetik alanın 0 olduğu durumu ifade eden gri rengi oluşturmaktadır.

Şekil 4.4-Şekil 4.36'da verilen x-z izdüşüm grafikleri, manyetik alan taramalarında her sensör kanalınca y eksenindeki 25 adım hareketi esnasında elde edilen maksimum ve minimum sayısal değerlerinin kullanılarak çizilmesi ile elde edilmiştir.

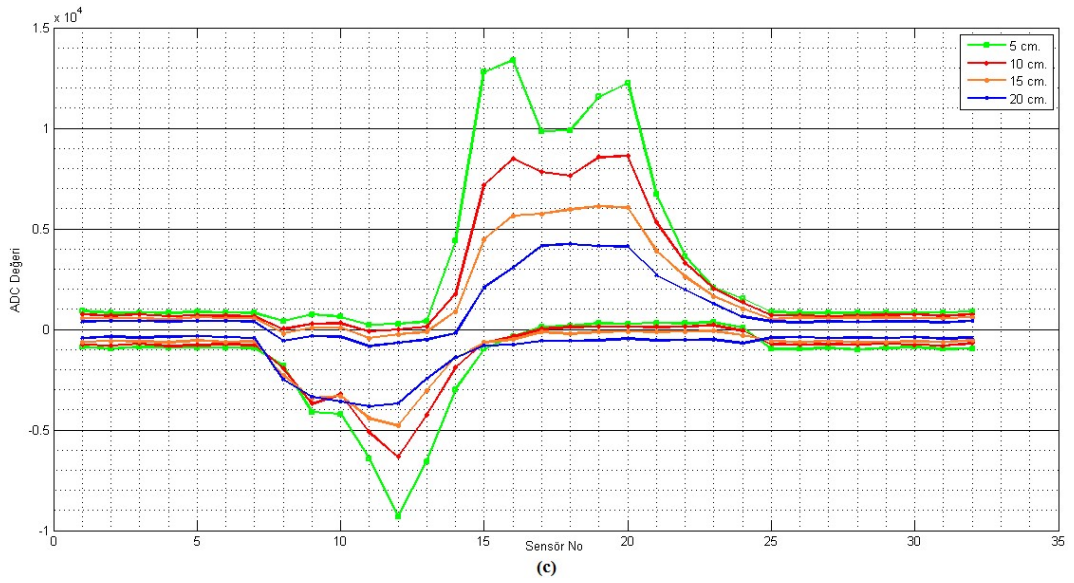
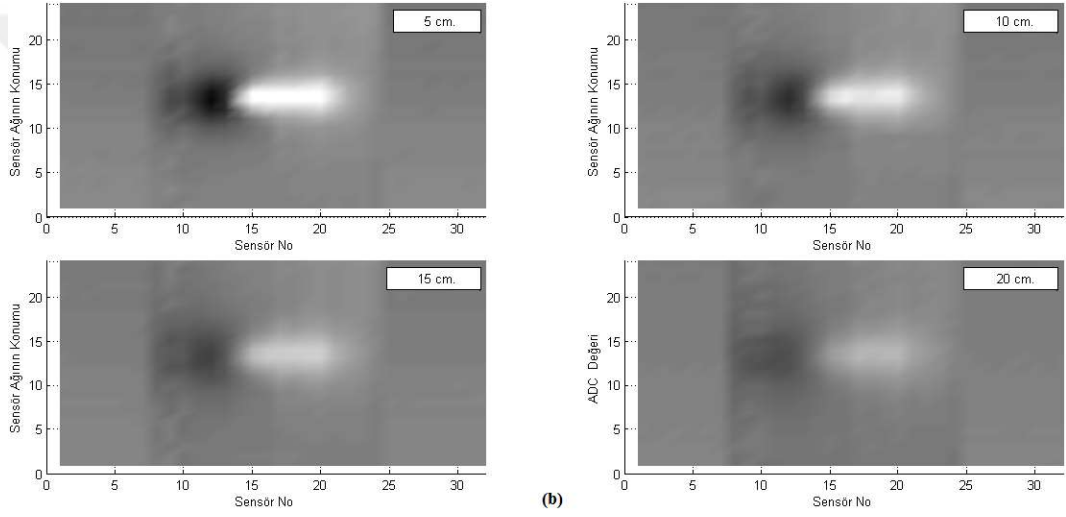
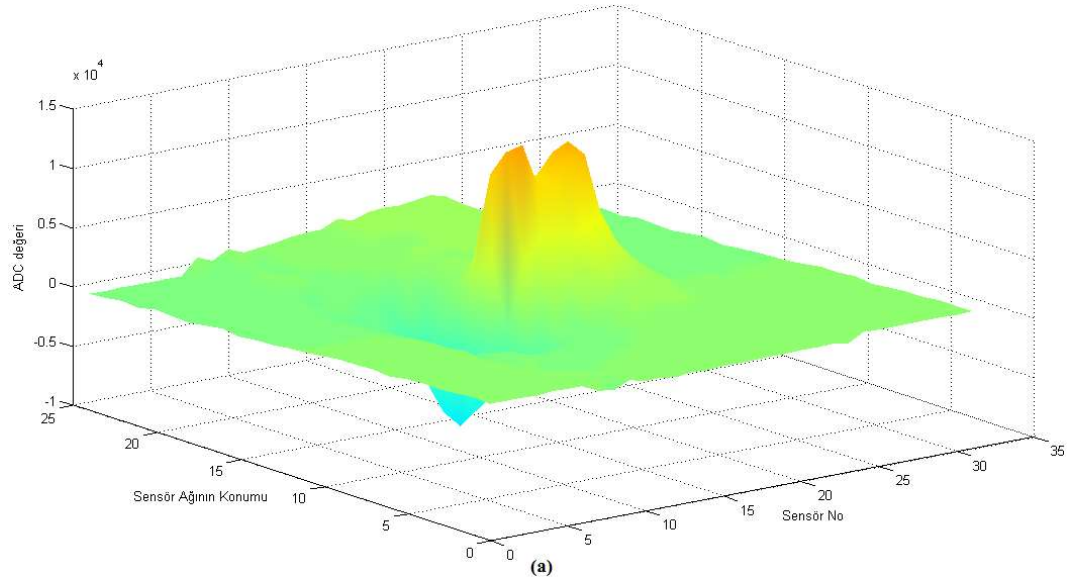
Elde edilen tüm veri matrisleri ve grafikler çalışmanın diğer kısımlarında da görüleceği üzere; GC-P'nin varlığını, konumunu, tahmini boyutunu ve türünü belirleme çalışmalarının temelini oluşturacaktır.



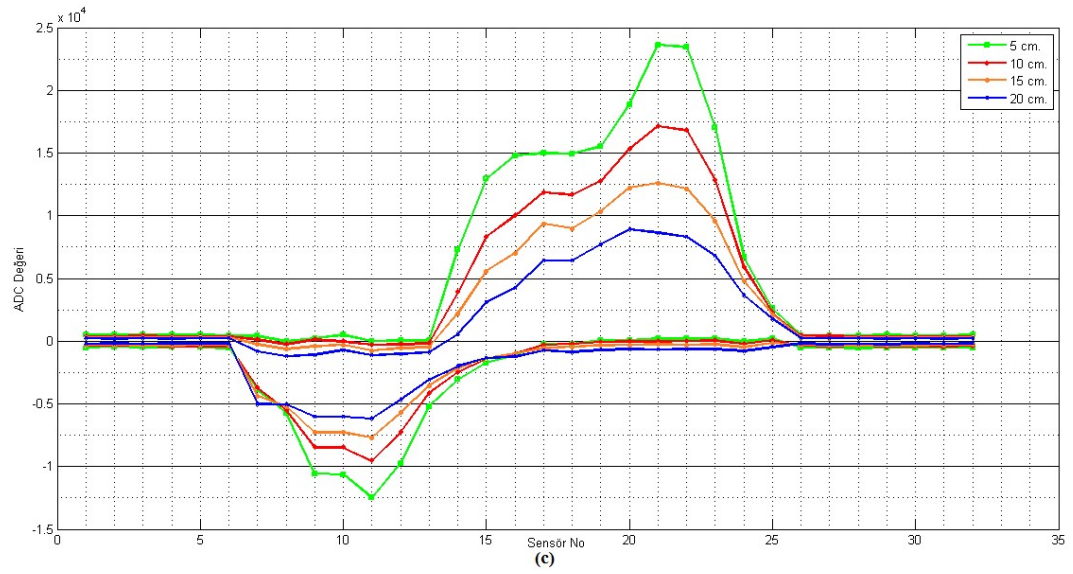
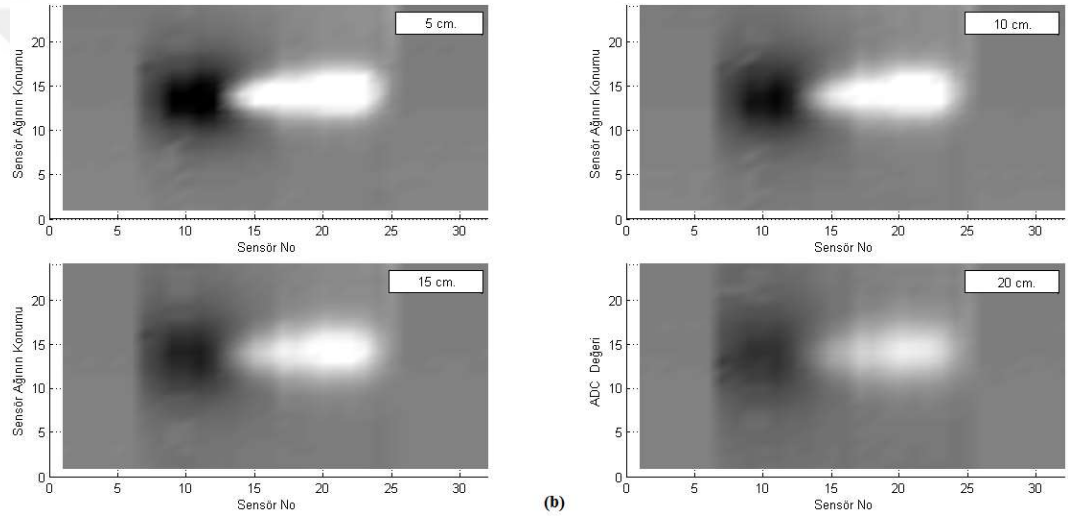
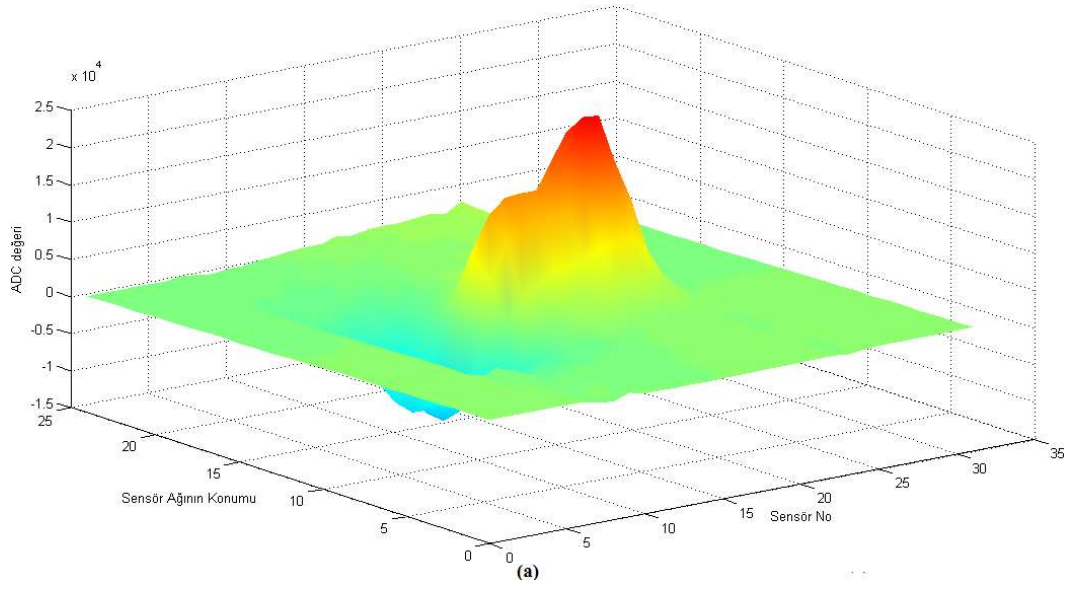
Şekil 4.4: “Bombacık” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



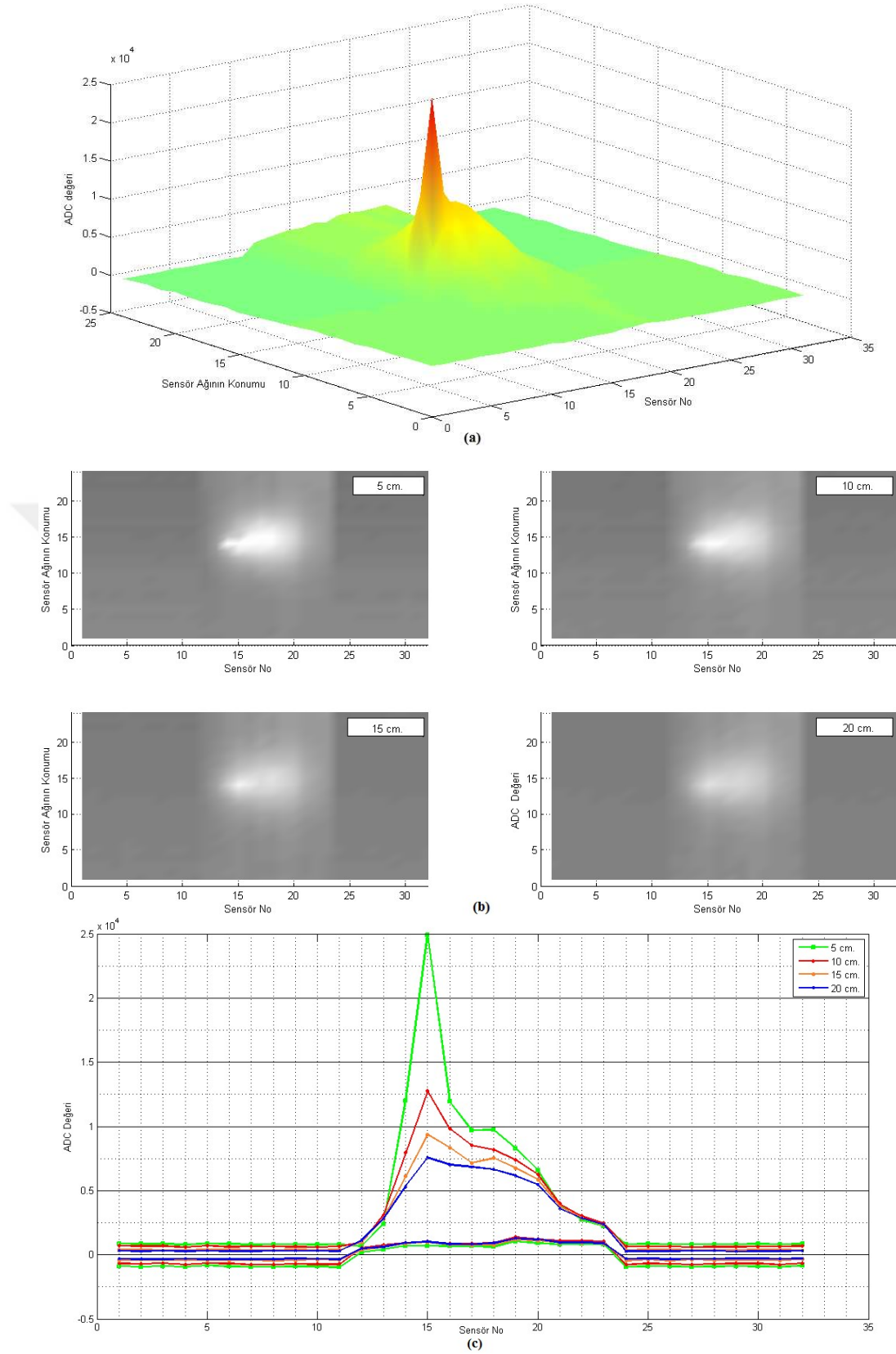
Şekil 4.5: “El Bombası” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



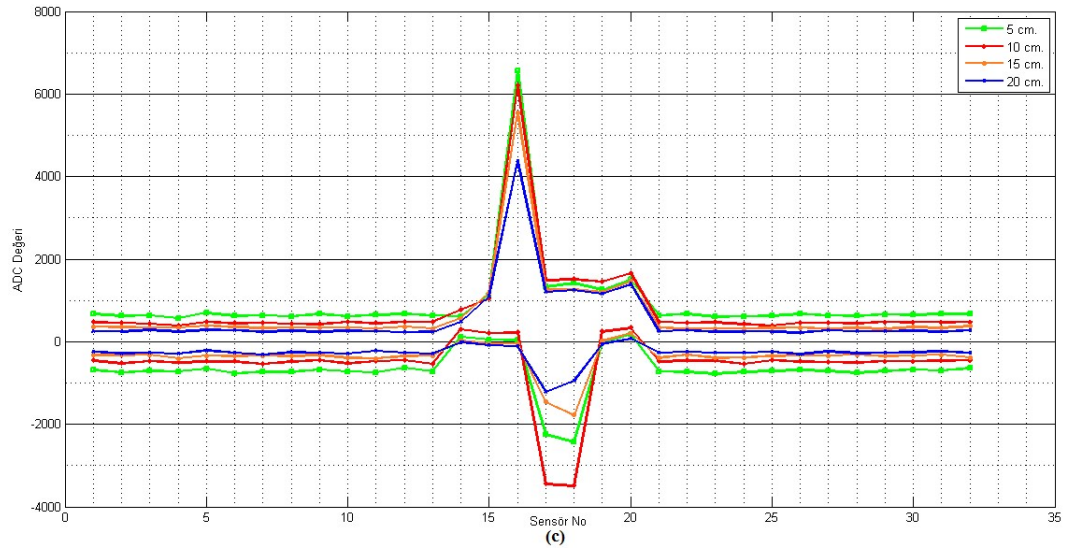
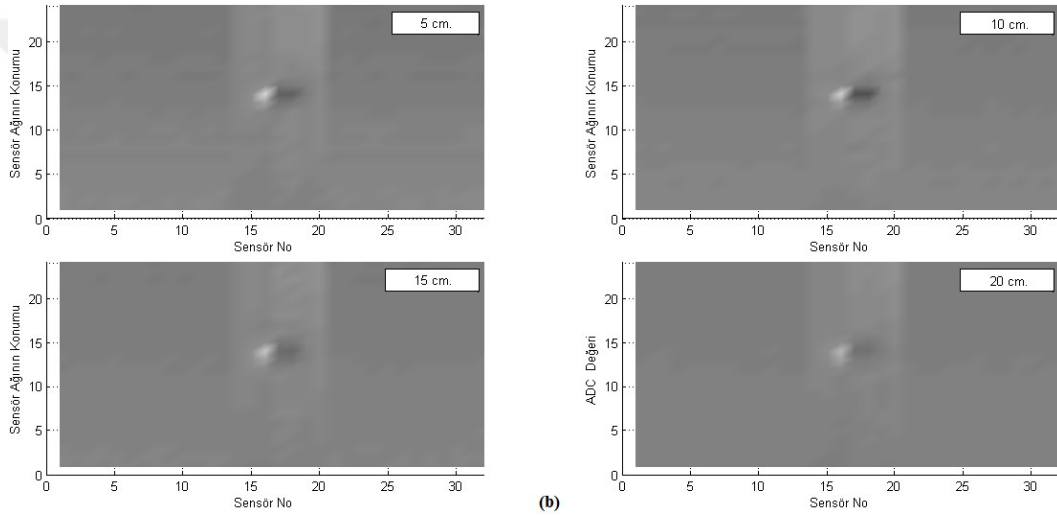
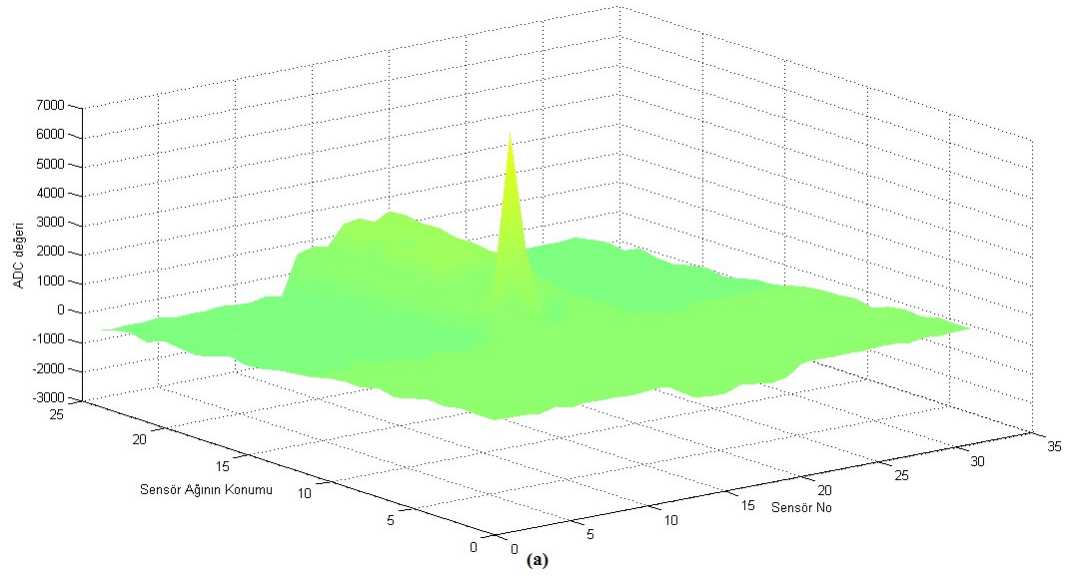
Şekil 4.6: “60 mm Havan” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



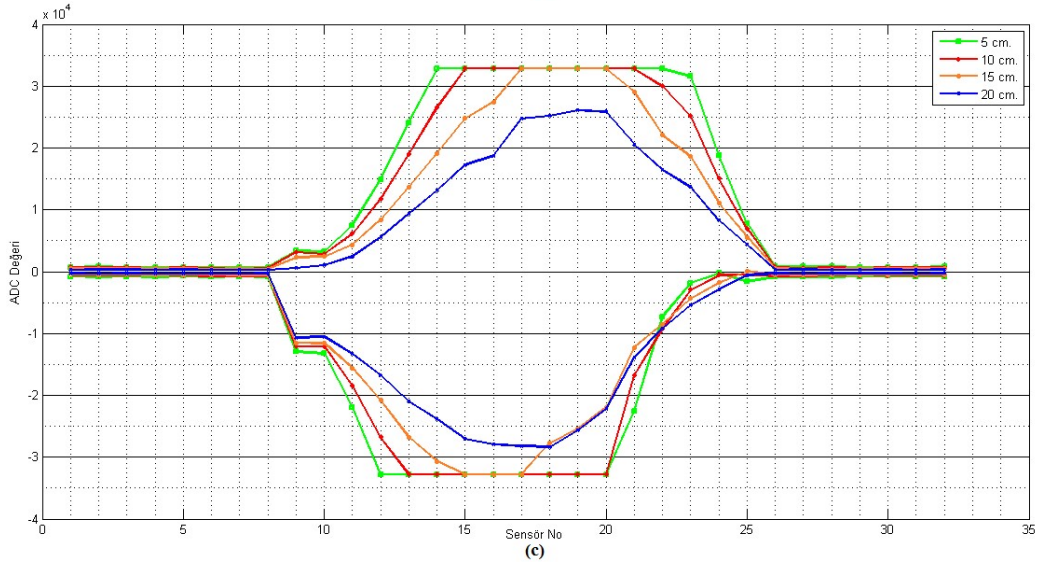
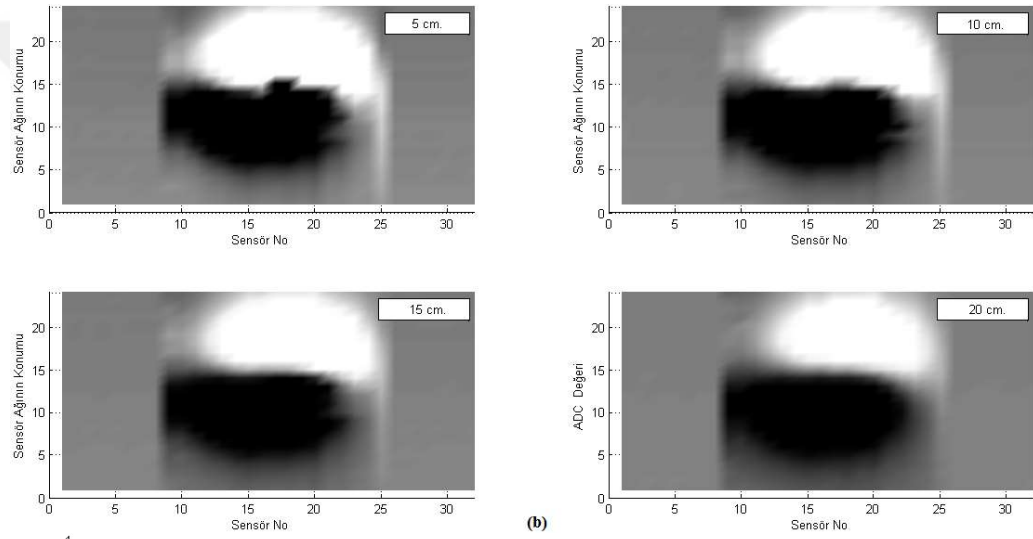
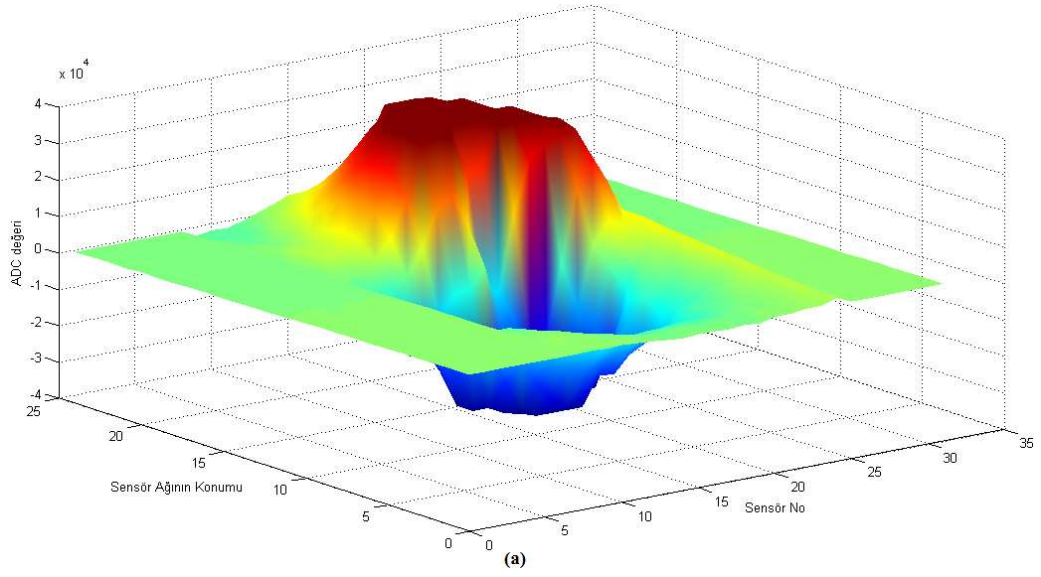
Şekil 4.7: “81 mm Havan” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



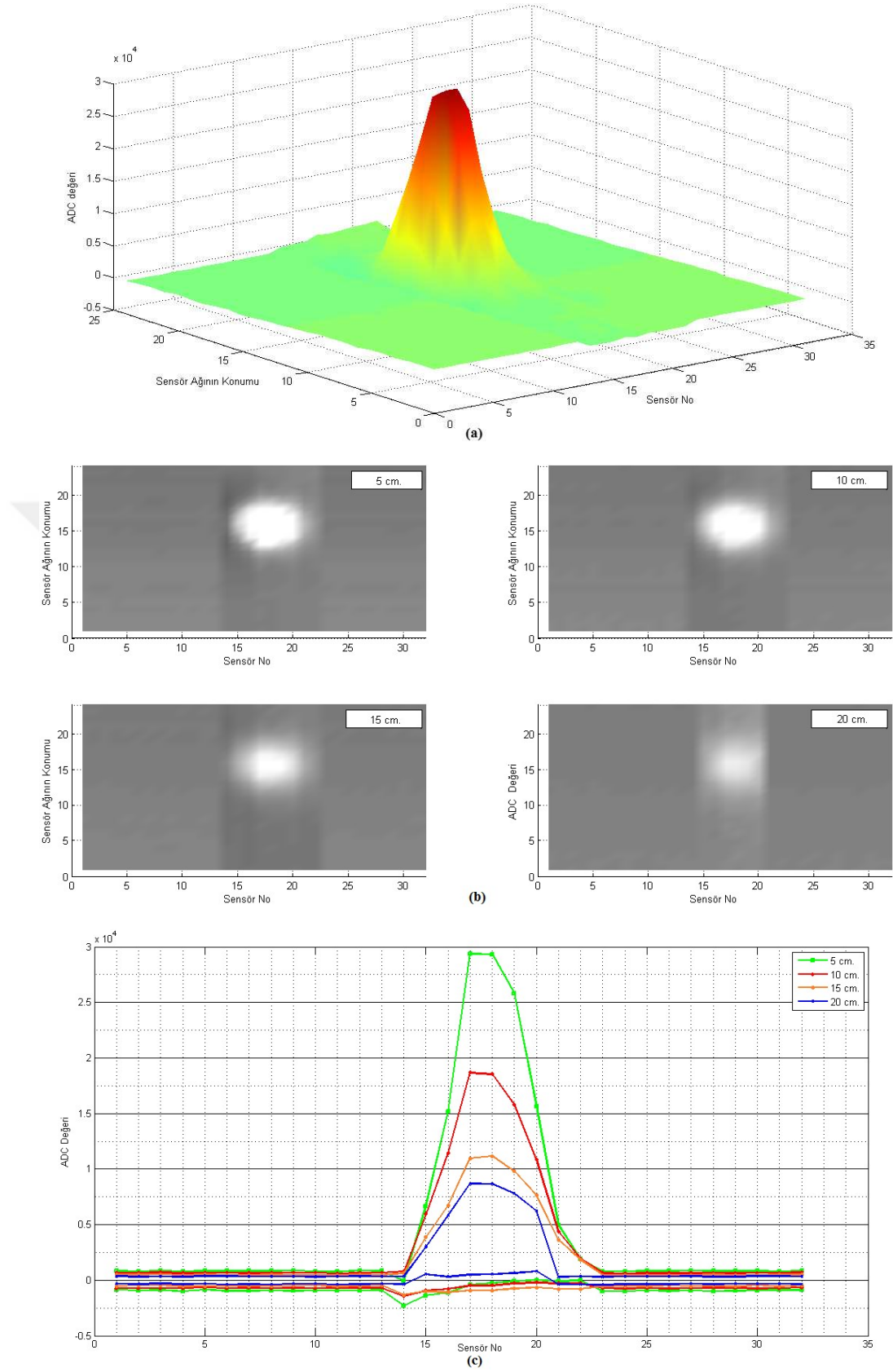
Şekil 4.8: “M2 AP Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



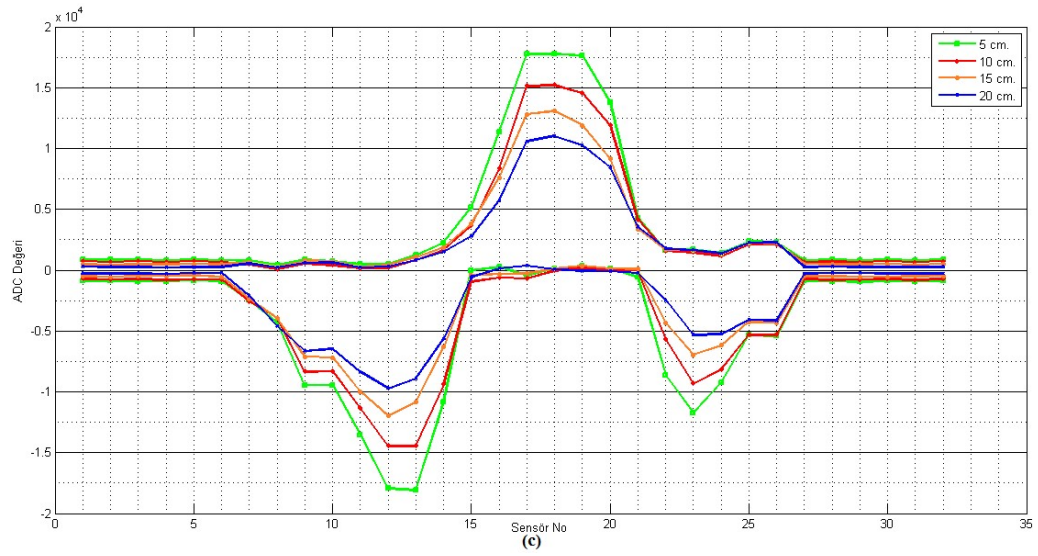
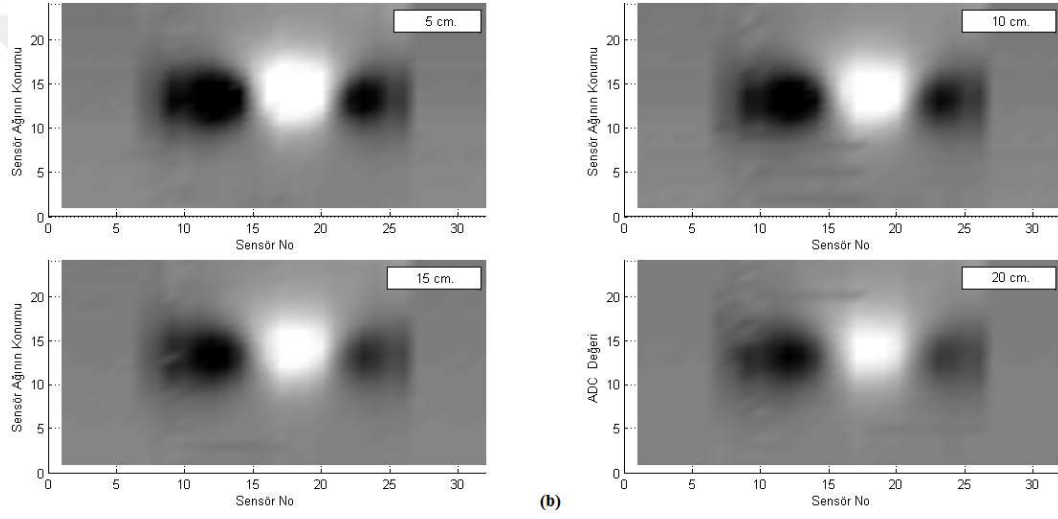
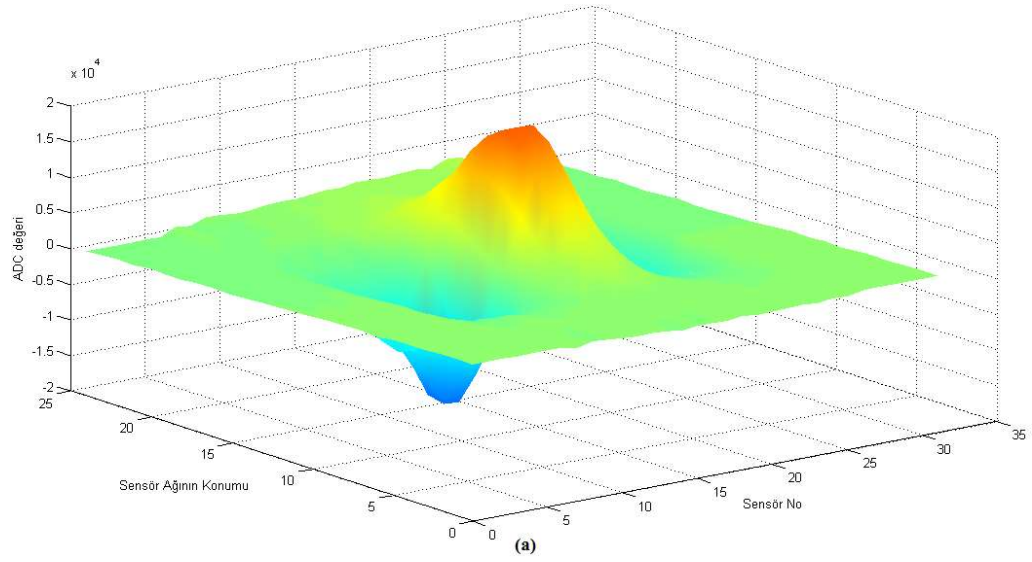
Şekil 4.9: “M14 AP Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



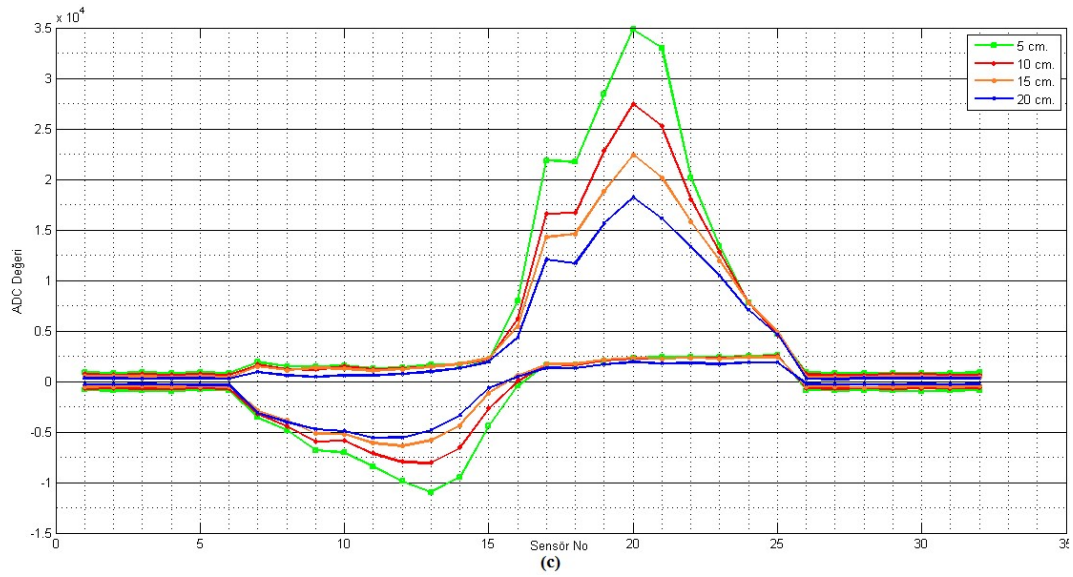
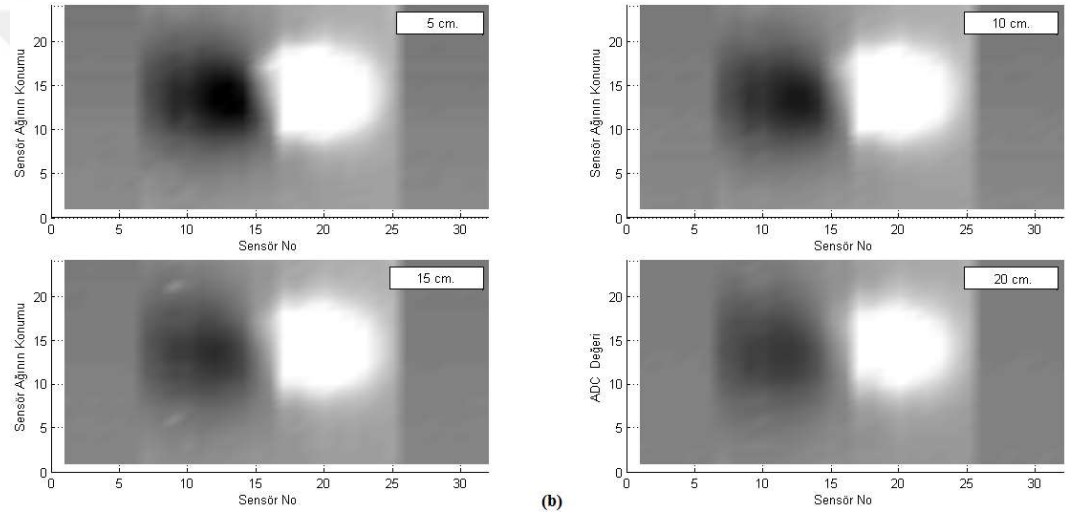
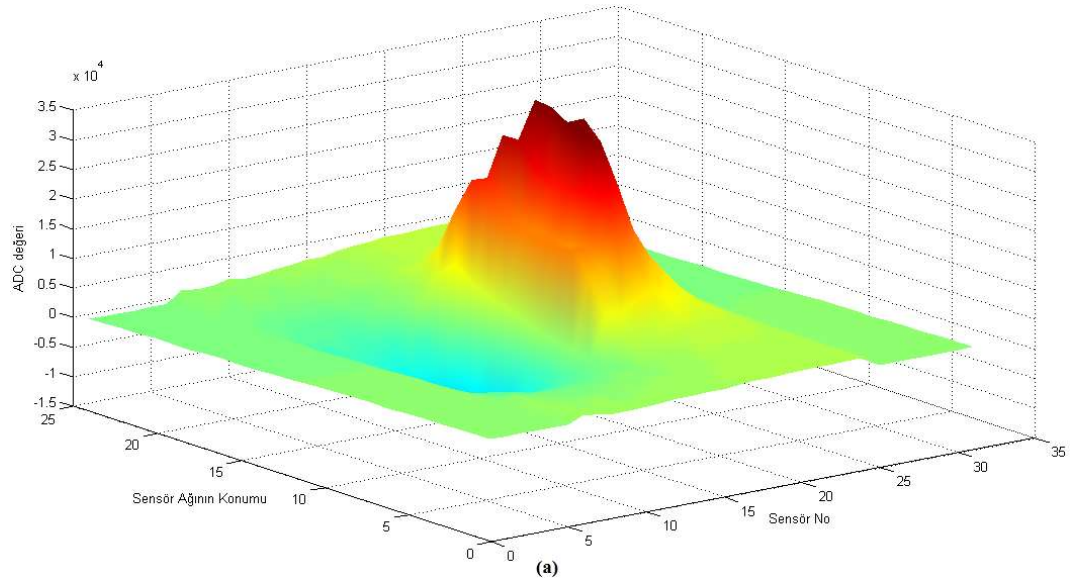
Şekil 4.10: “M15 AT Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



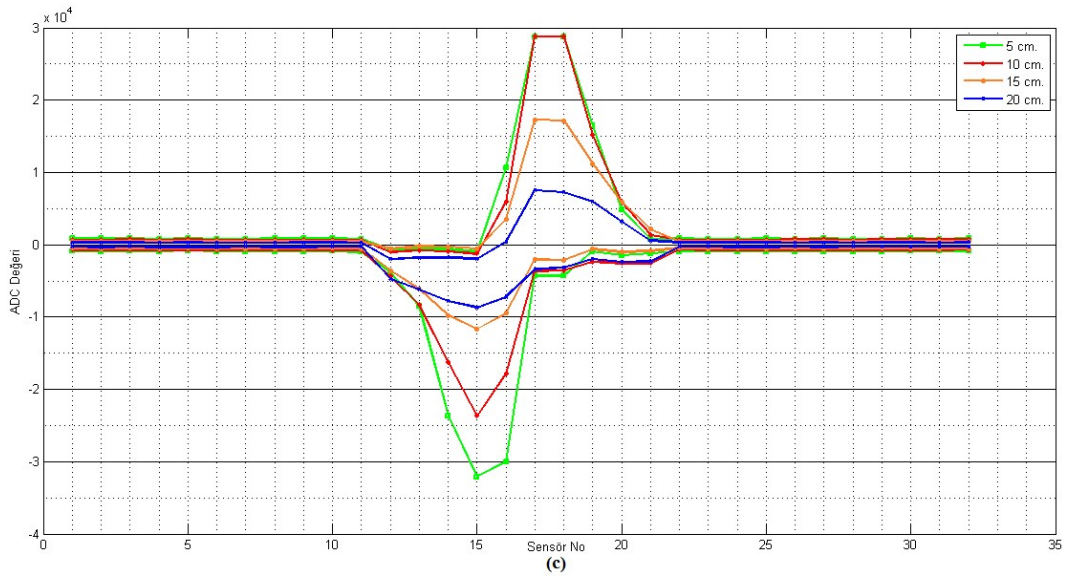
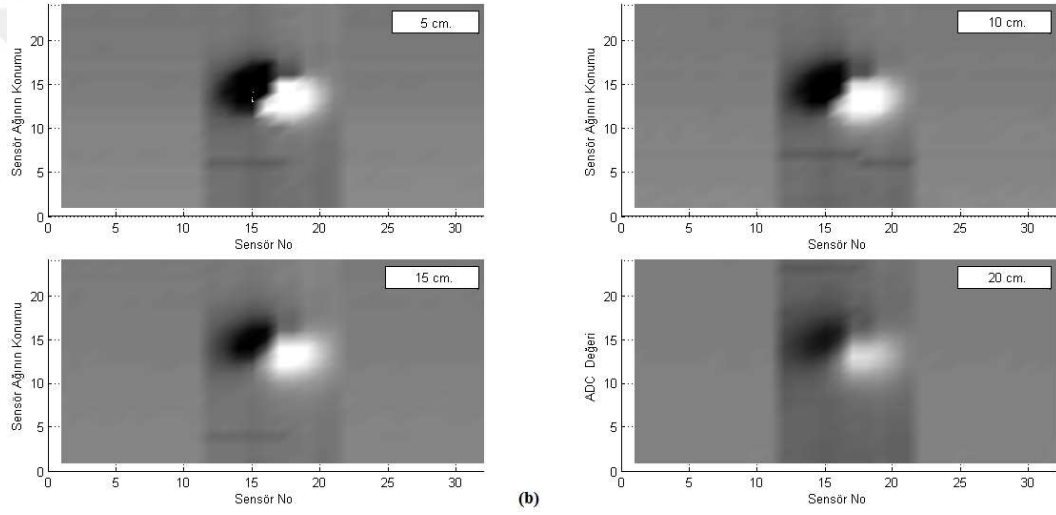
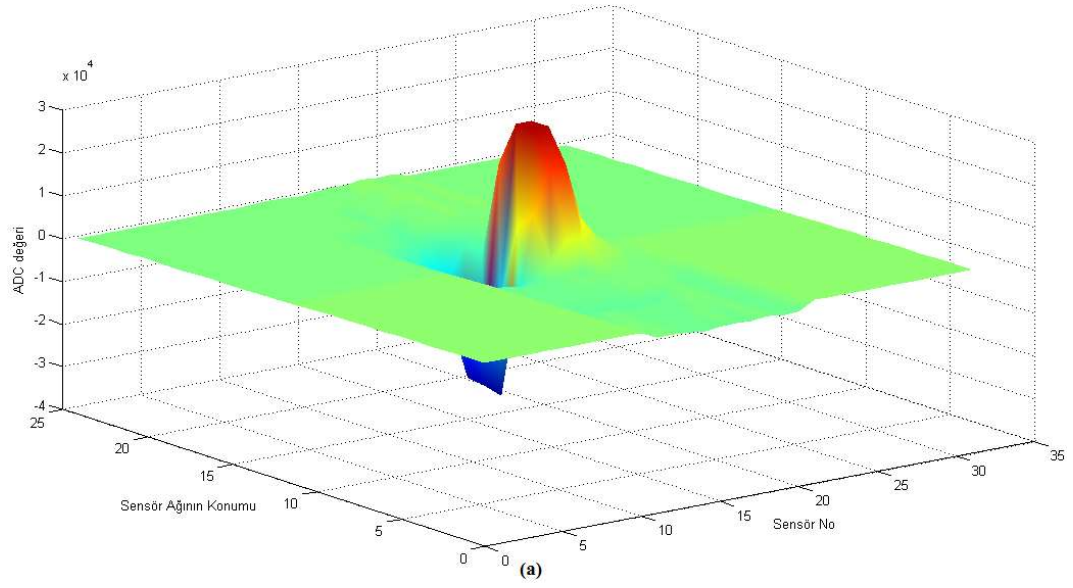
Şekil 4.11: “M16 AP Mayını” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



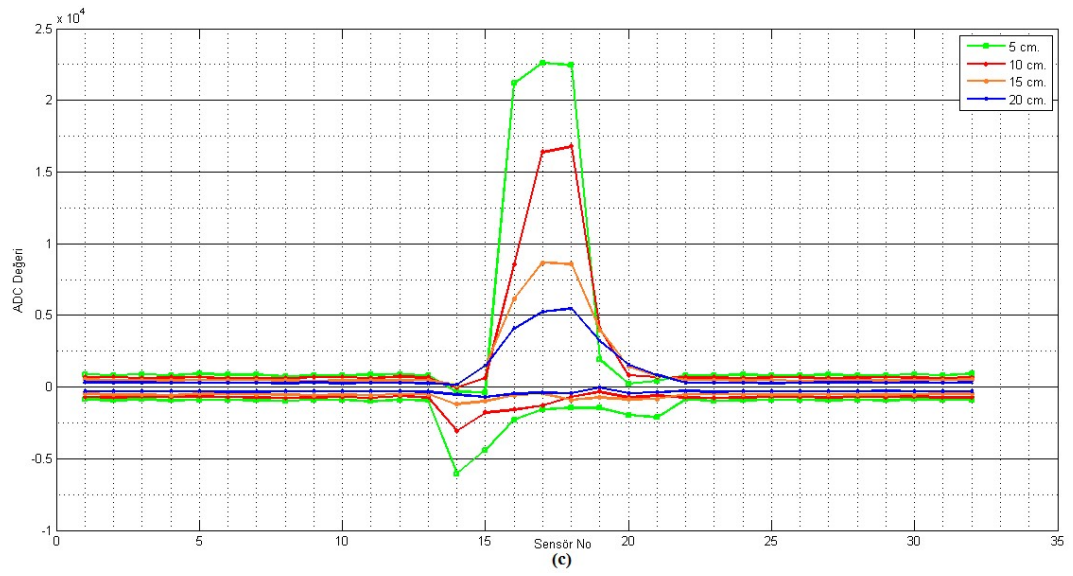
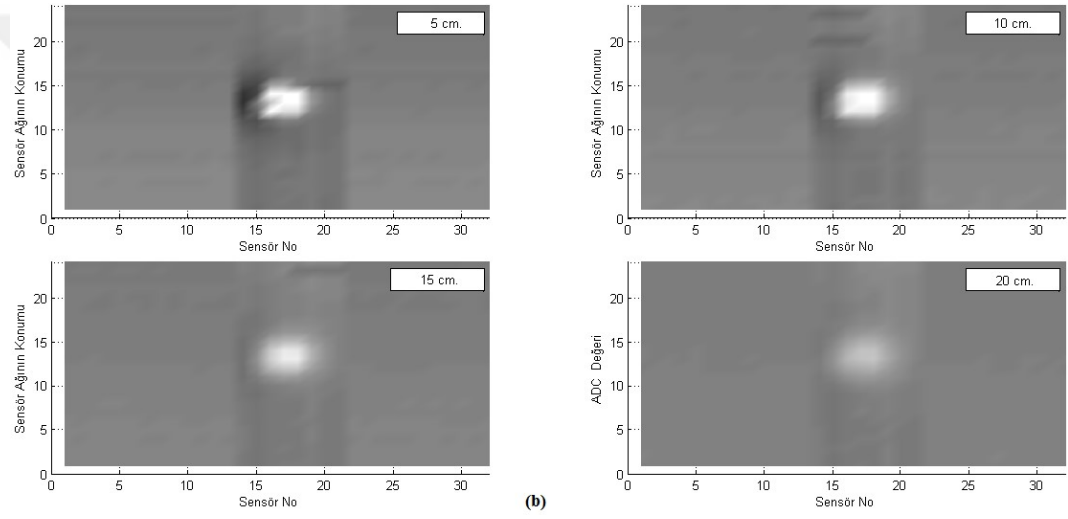
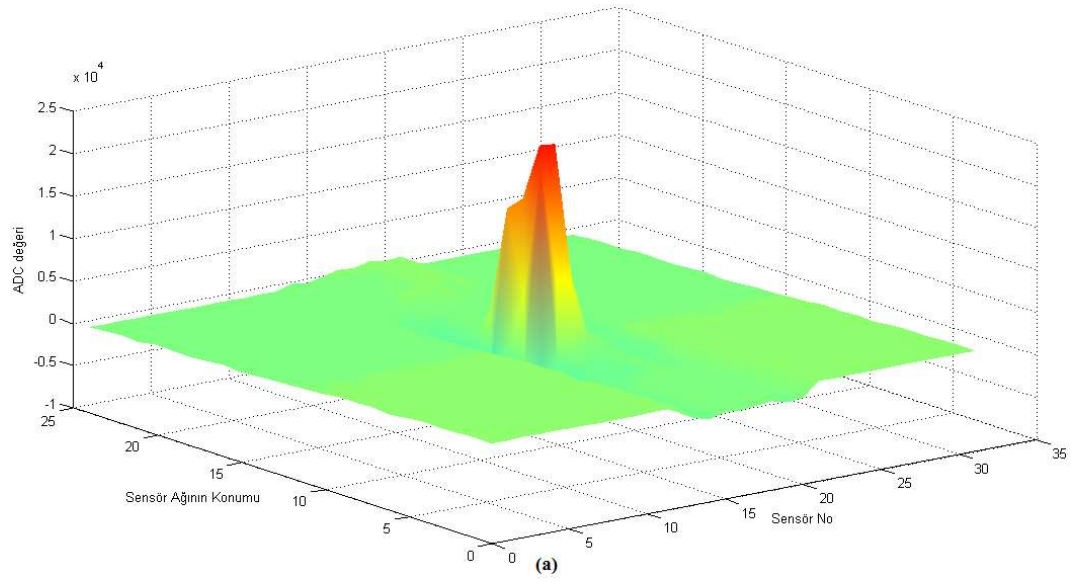
Şekil 4.12: “1kg TNT Tahrip Kalıbı” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



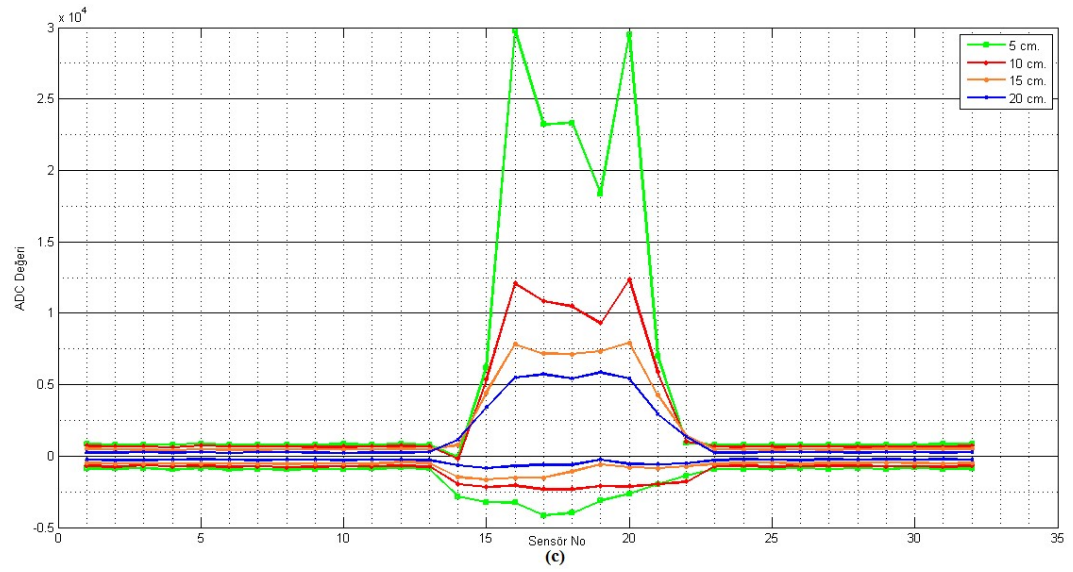
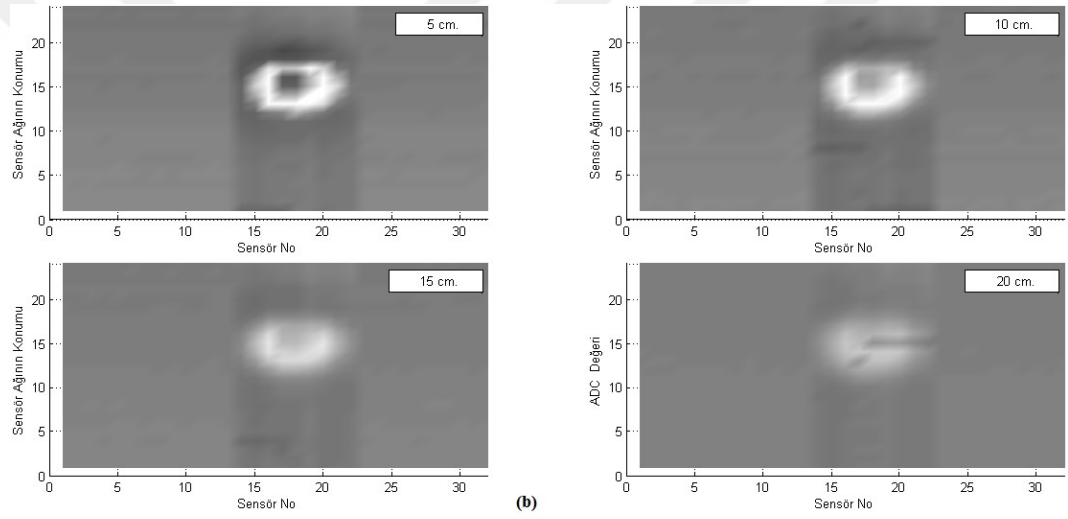
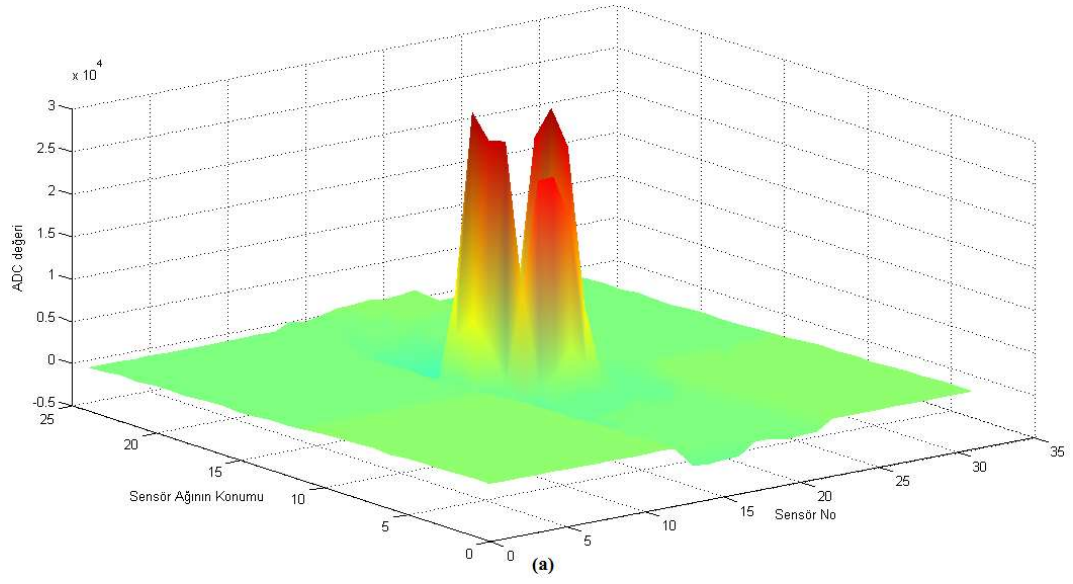
Şekil 4.13: “Piknik Tüpü” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



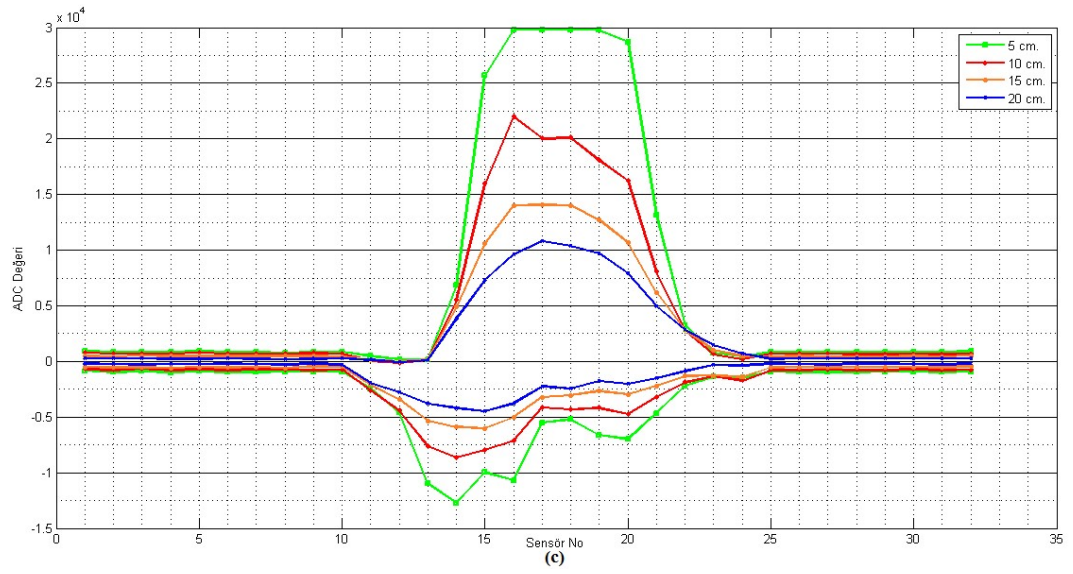
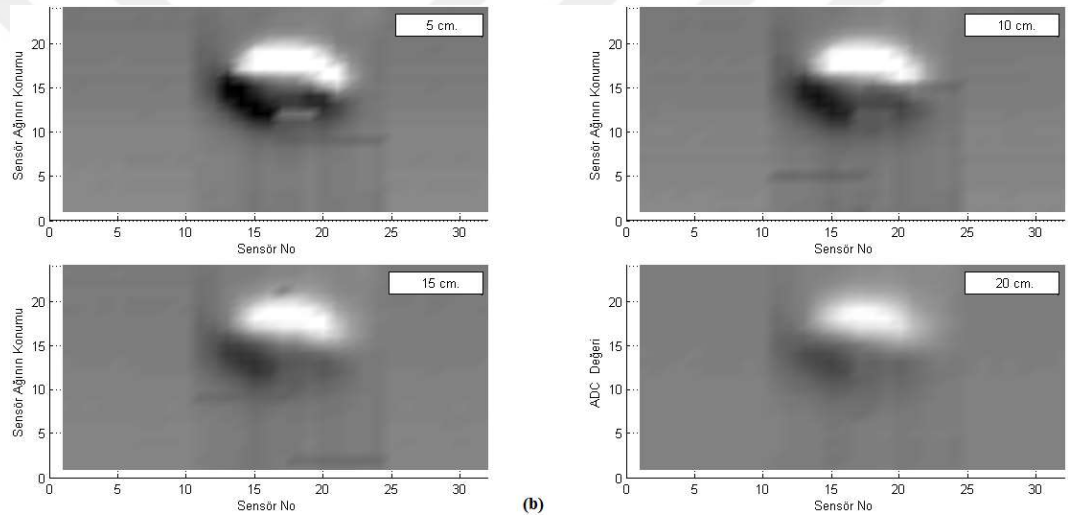
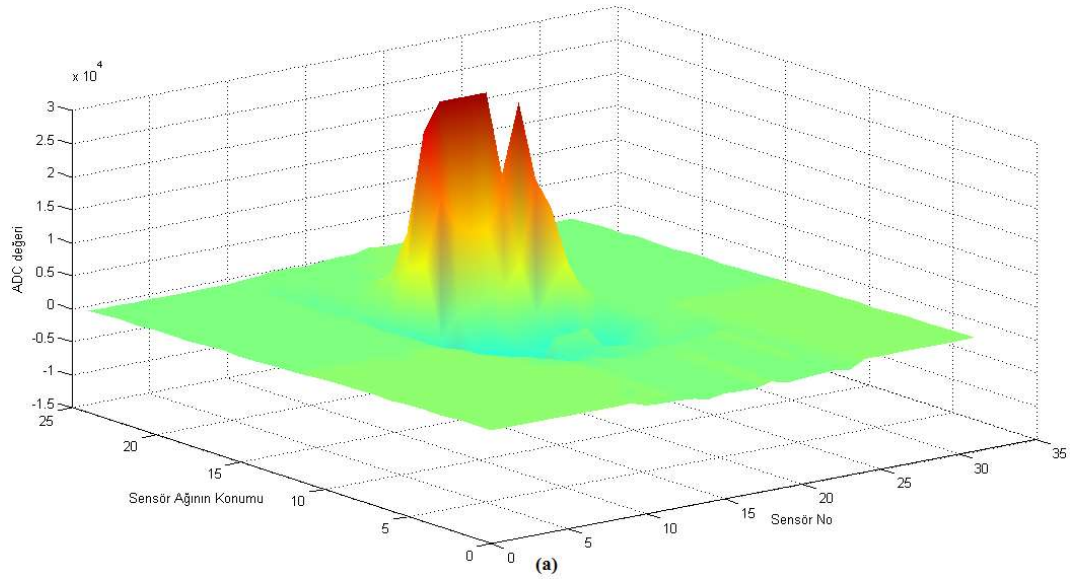
Şekil 4.14: “Numune 1” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



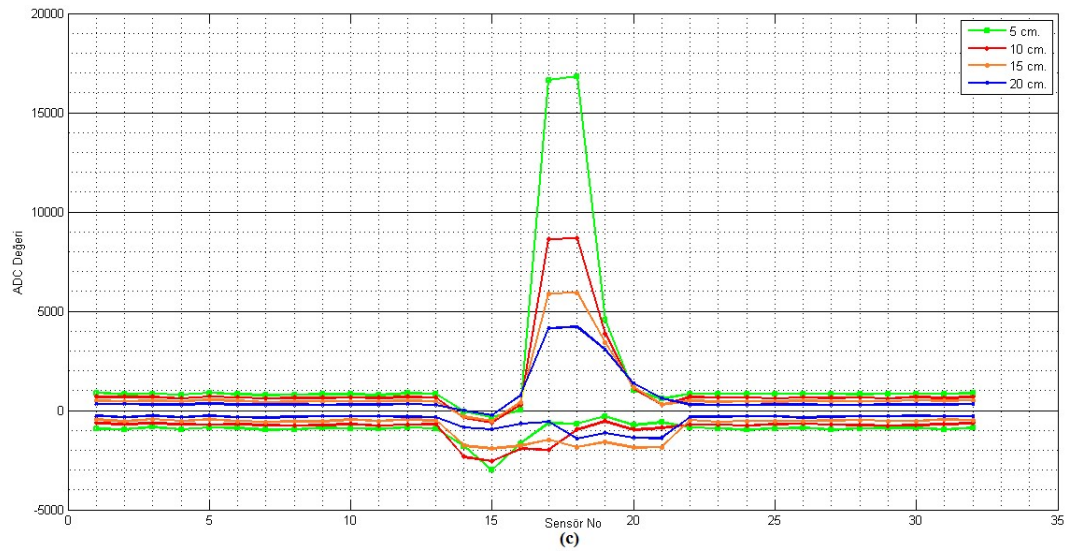
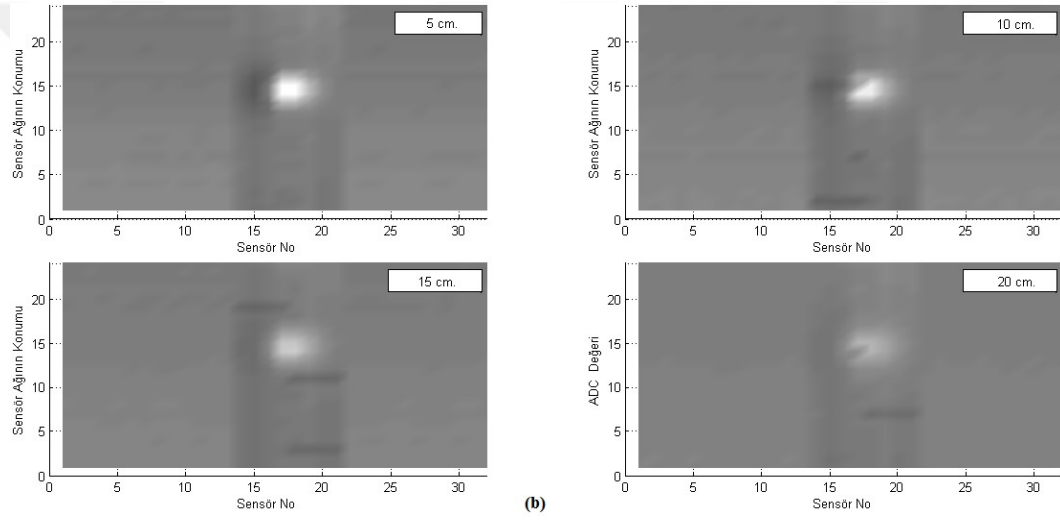
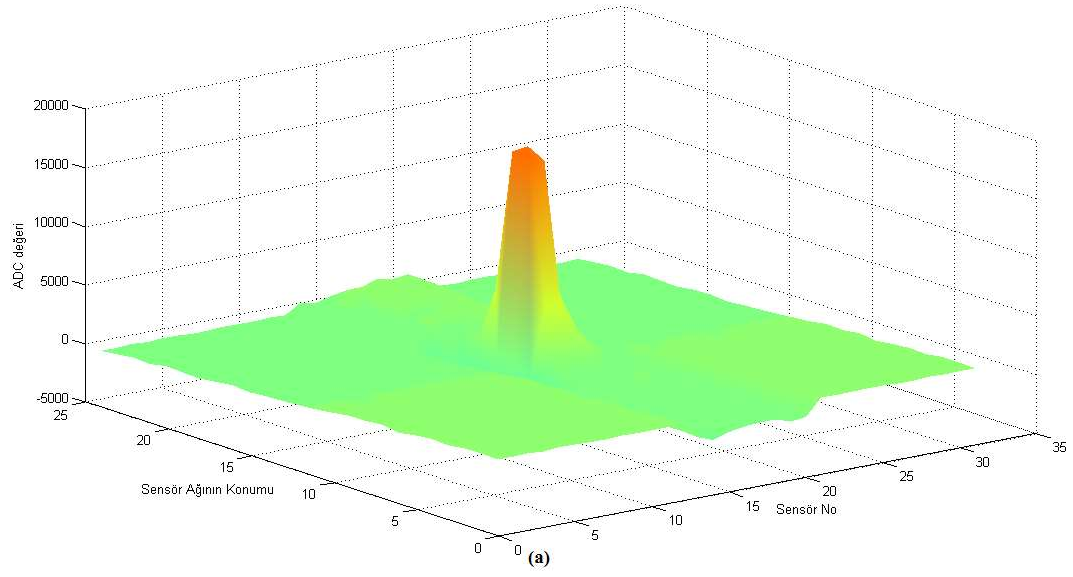
Şekil 4.15: “Numune 2” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



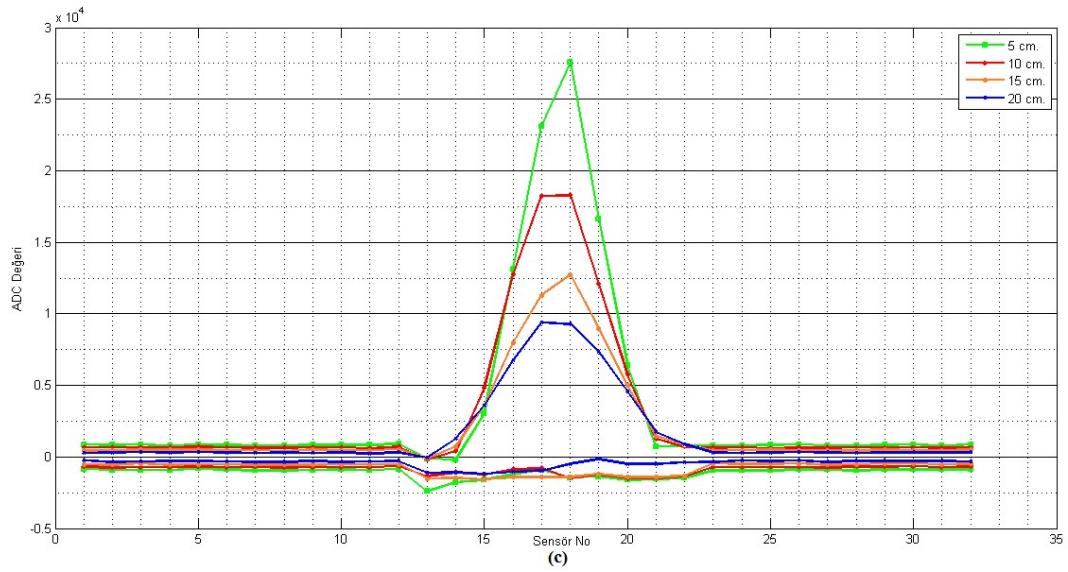
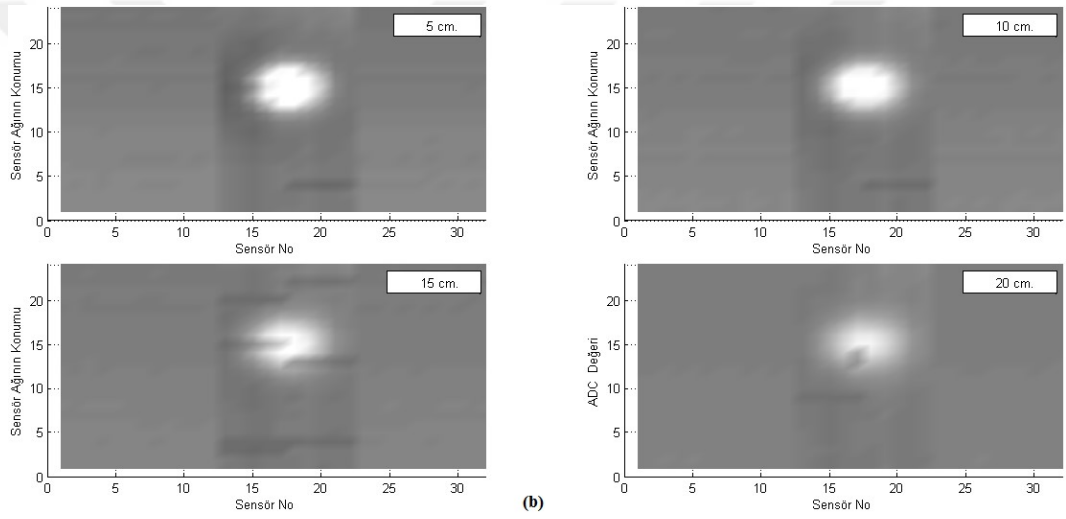
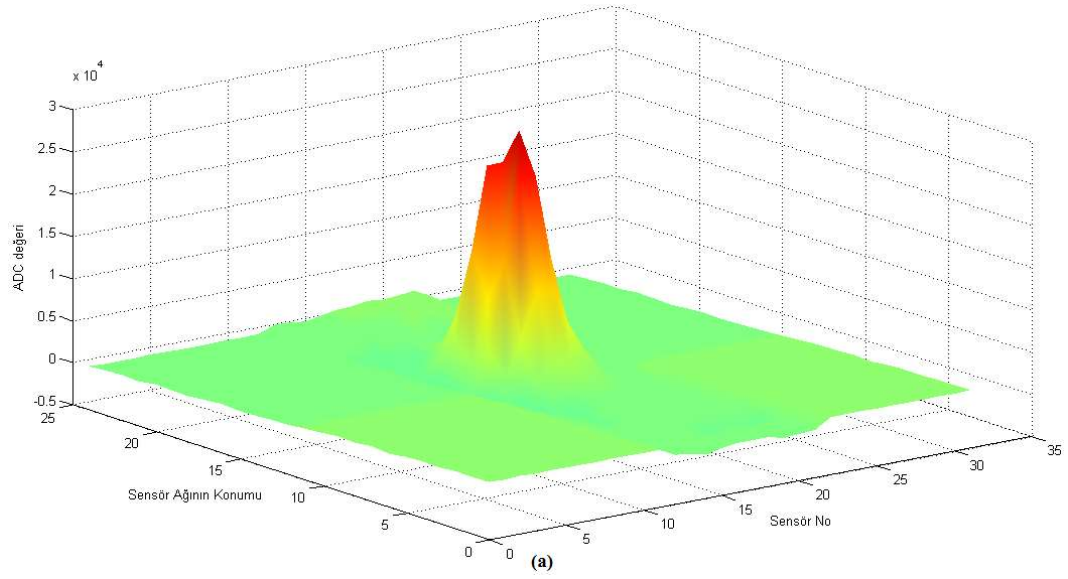
Şekil 4.16: “Numune 3” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



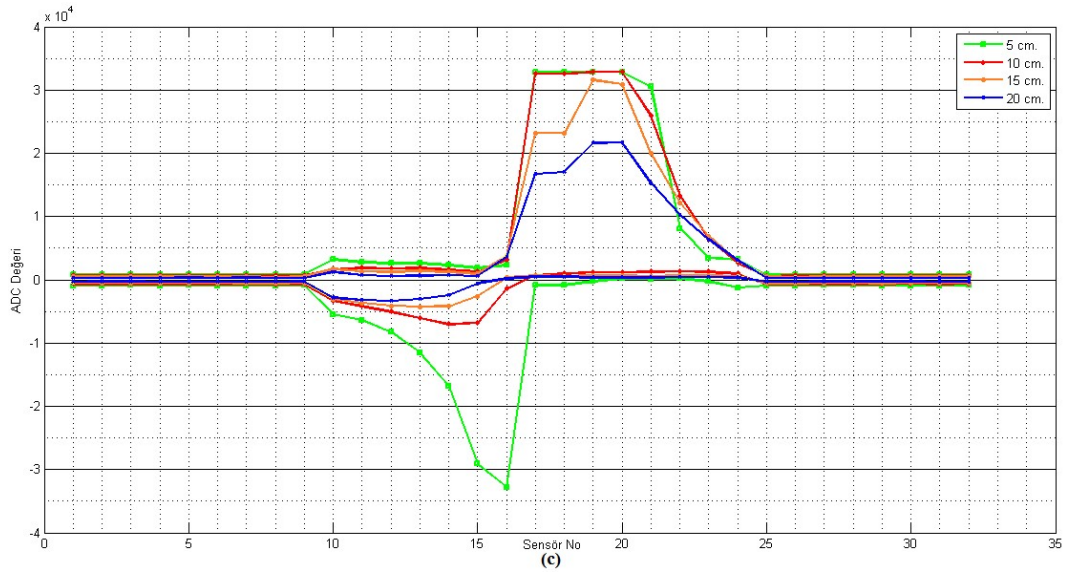
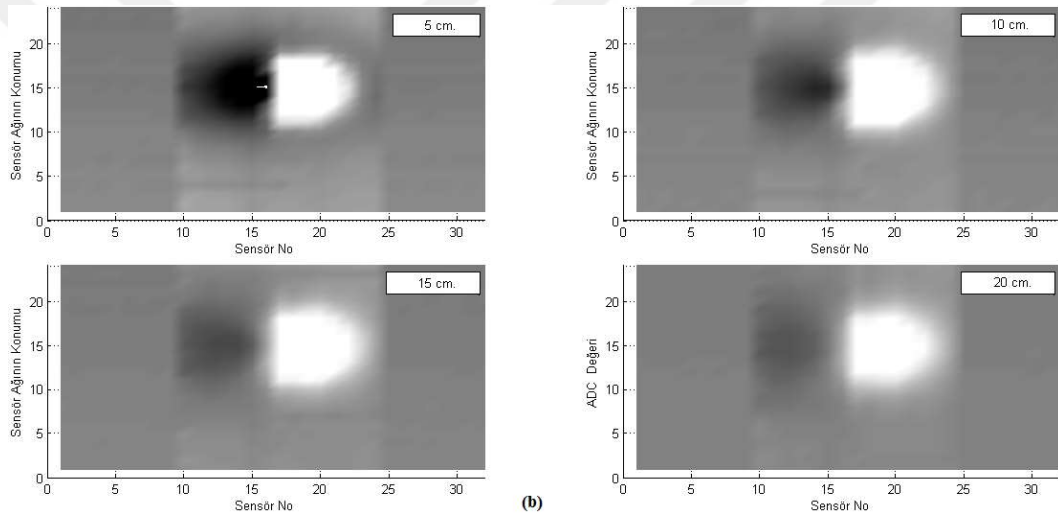
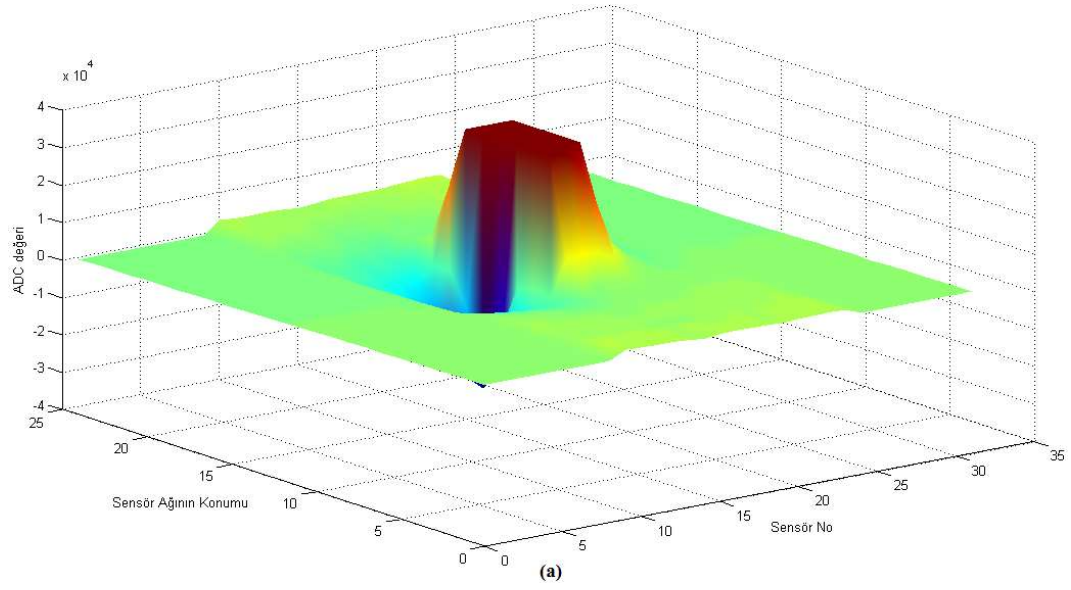
Şekil 4.17: “Numune 4” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



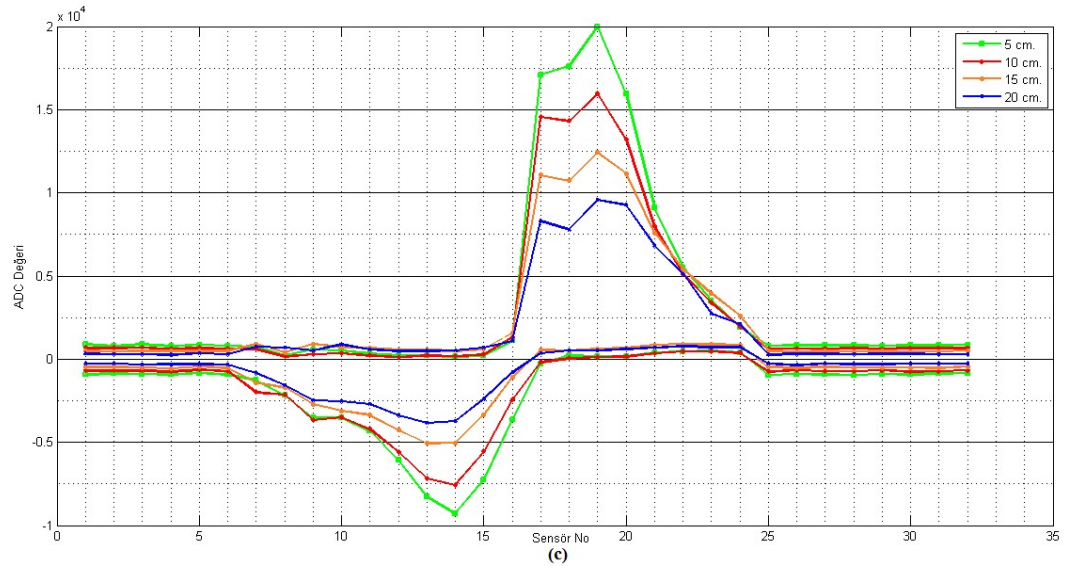
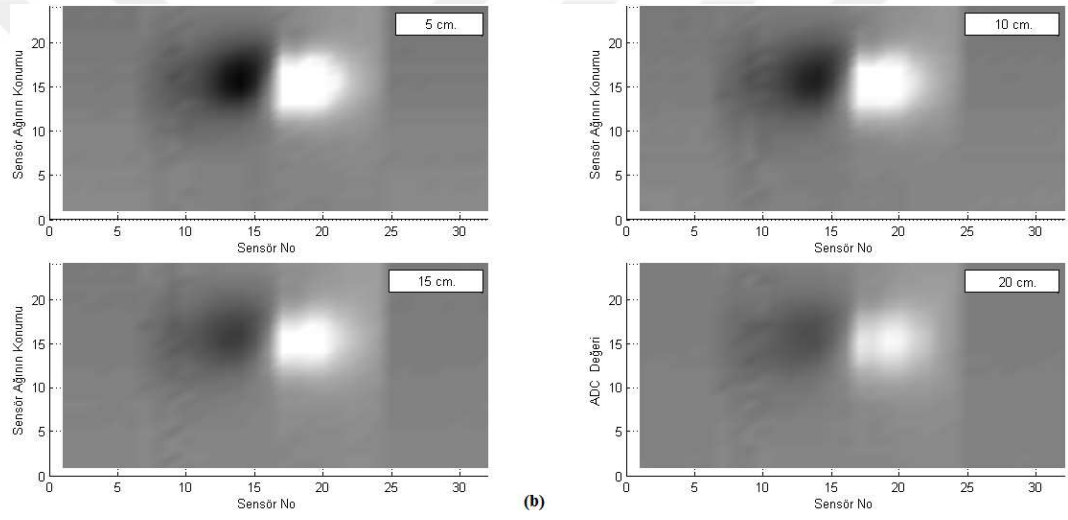
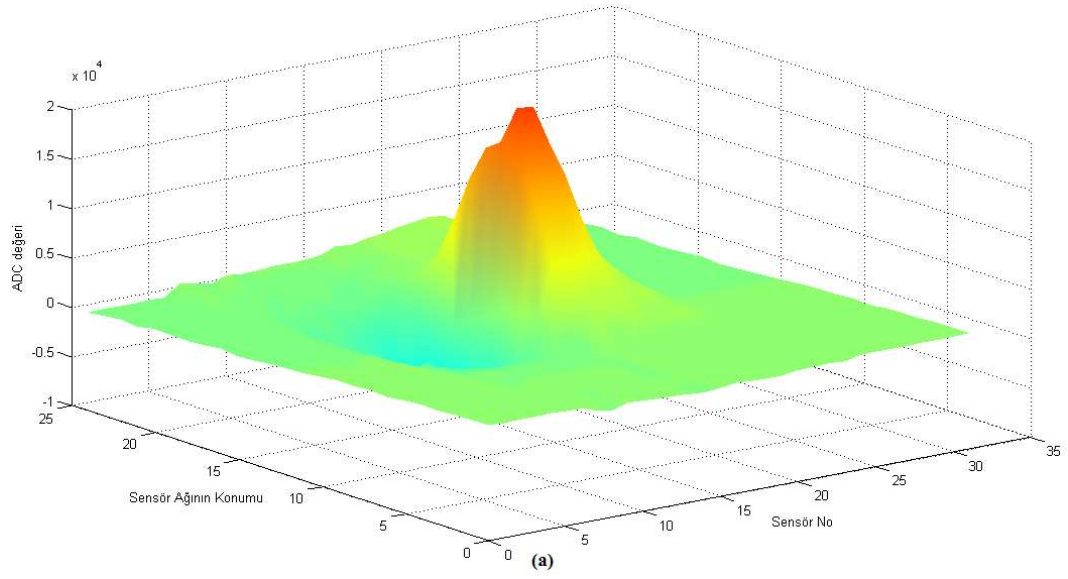
Şekil 4.18: “Numune 5” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



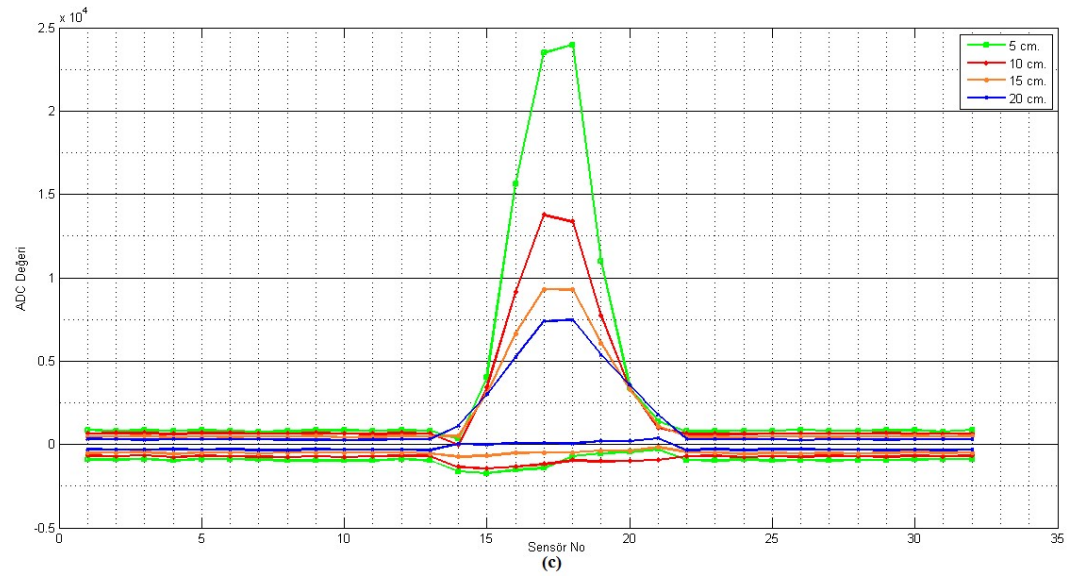
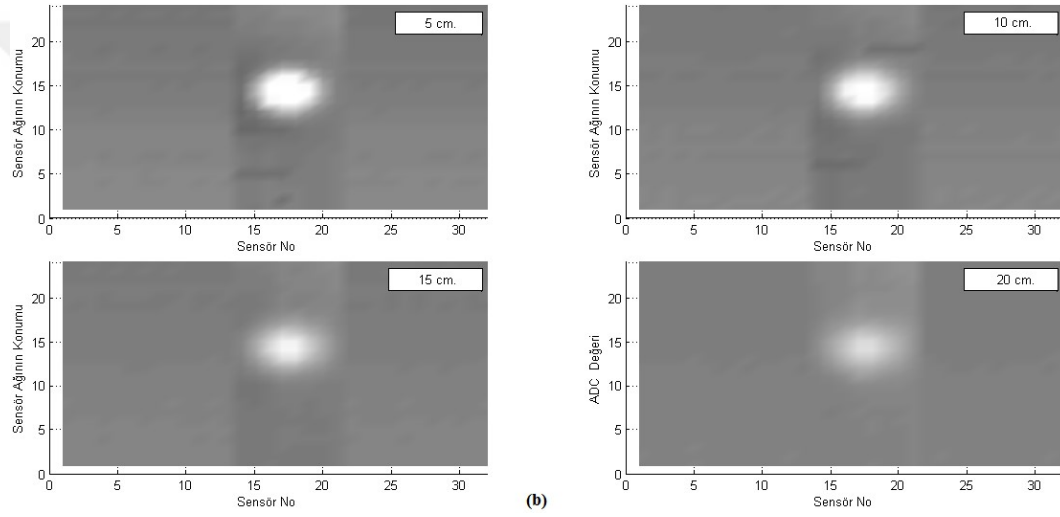
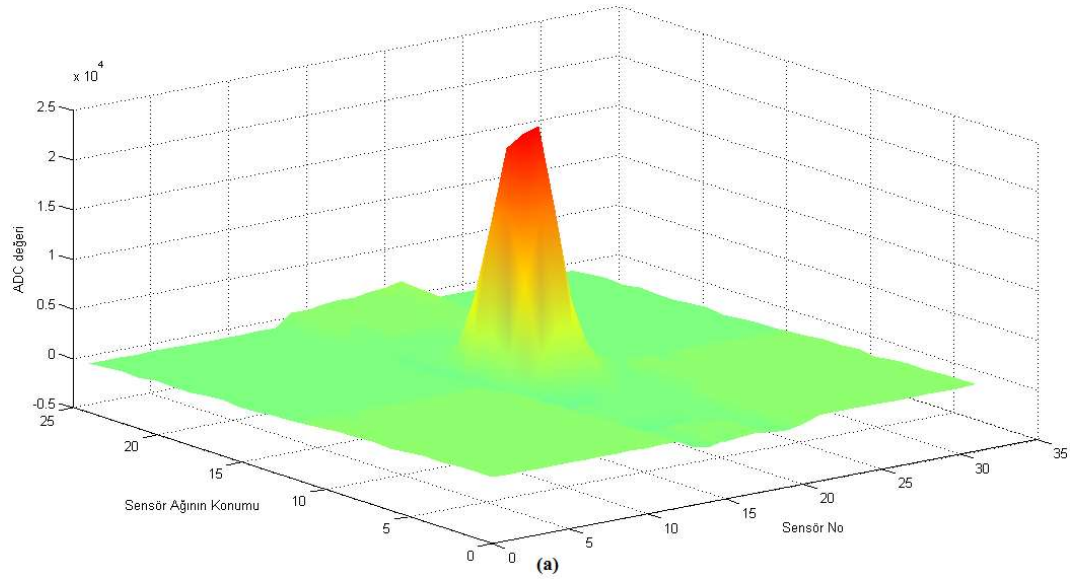
Şekil 4.19: “Numune 6” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



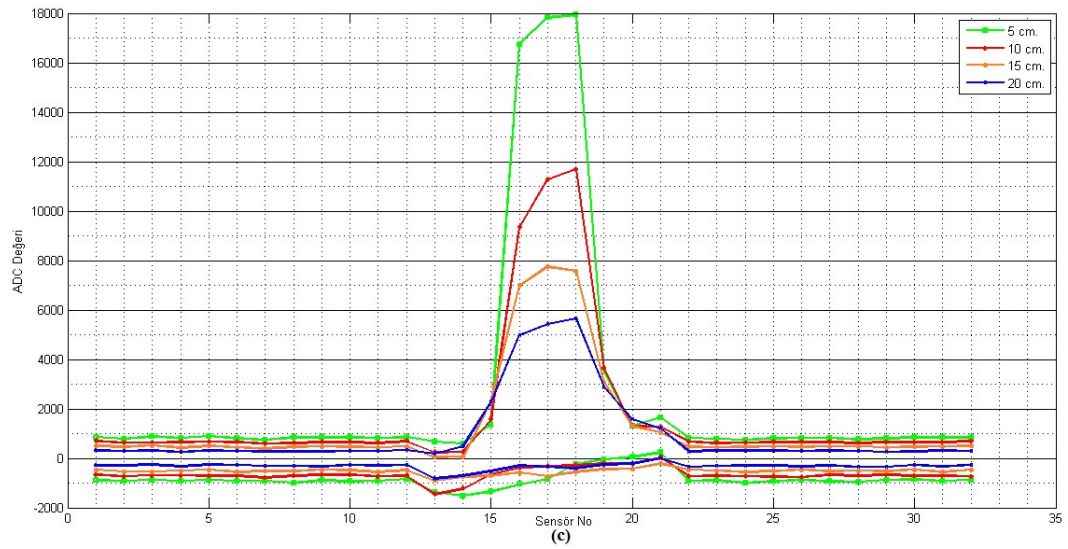
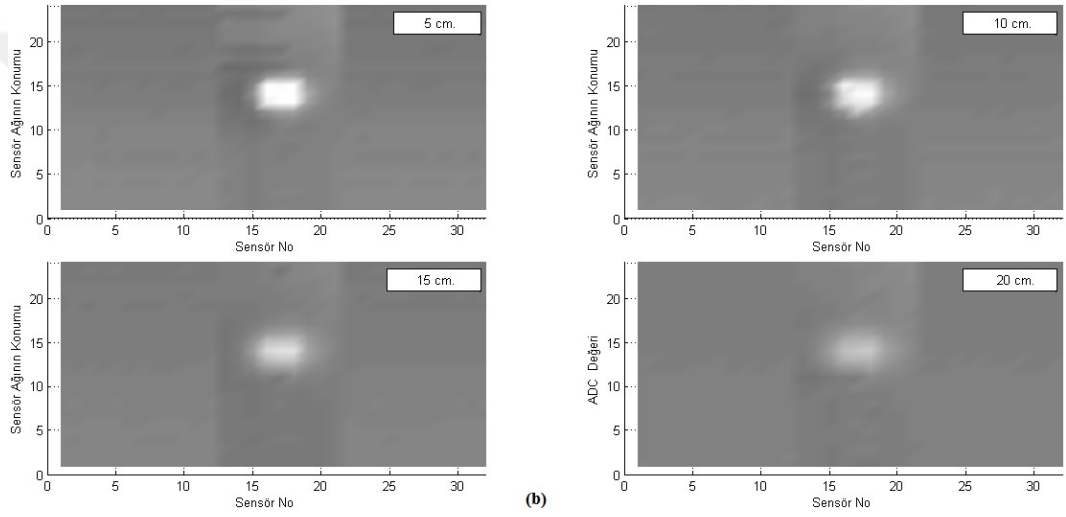
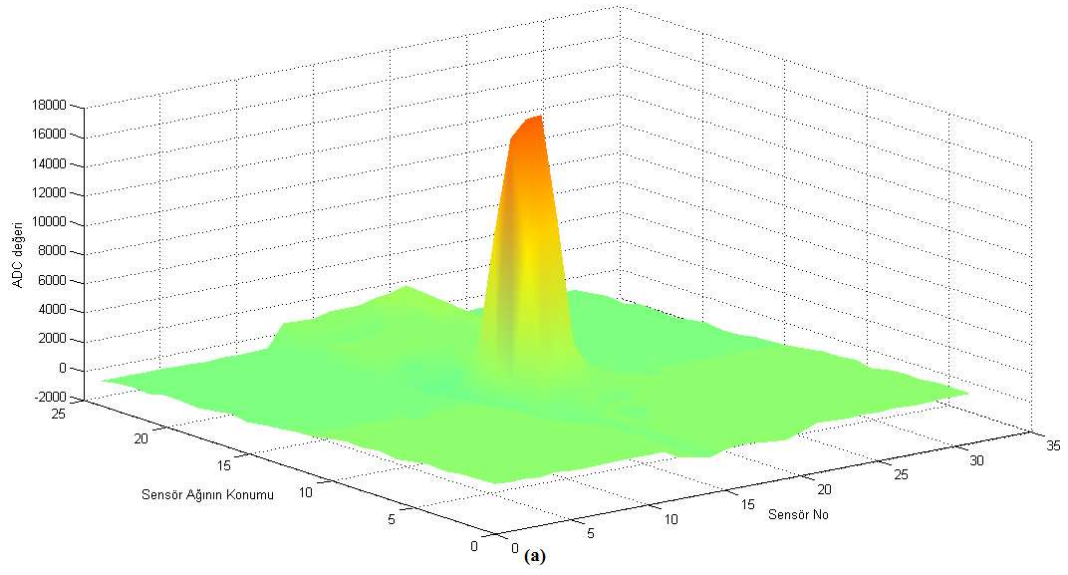
Şekil 4.20: “Numune 7” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



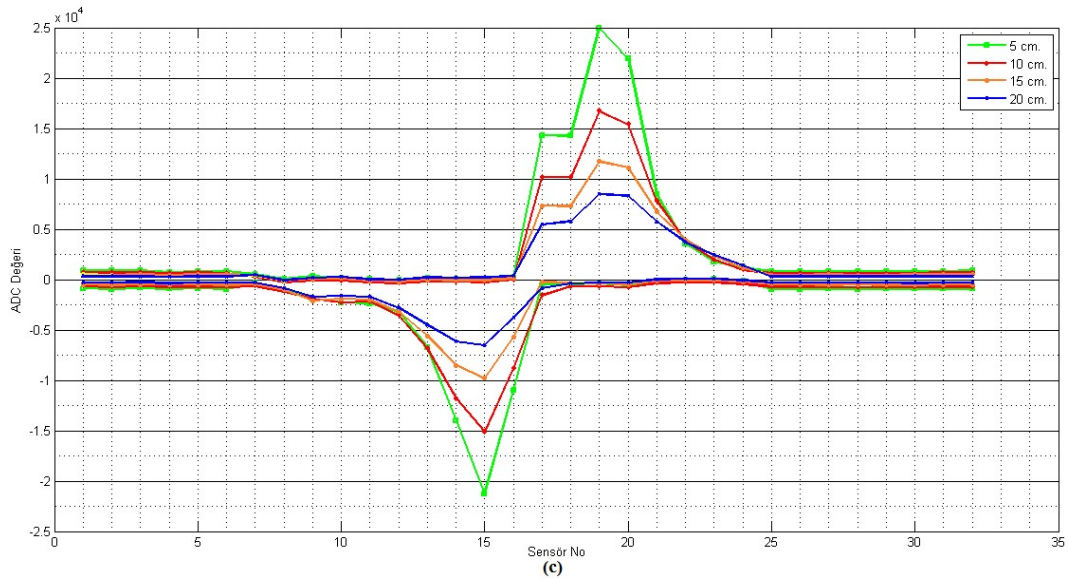
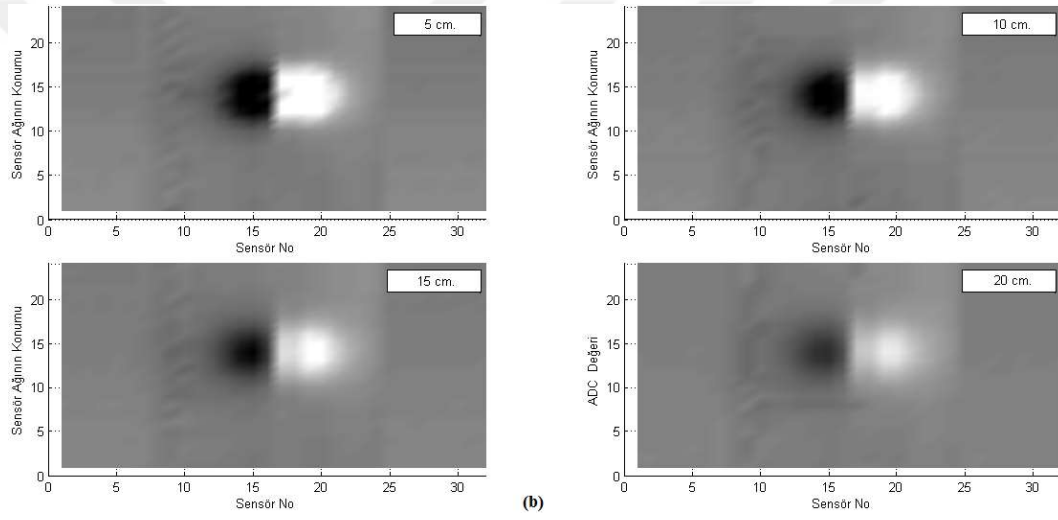
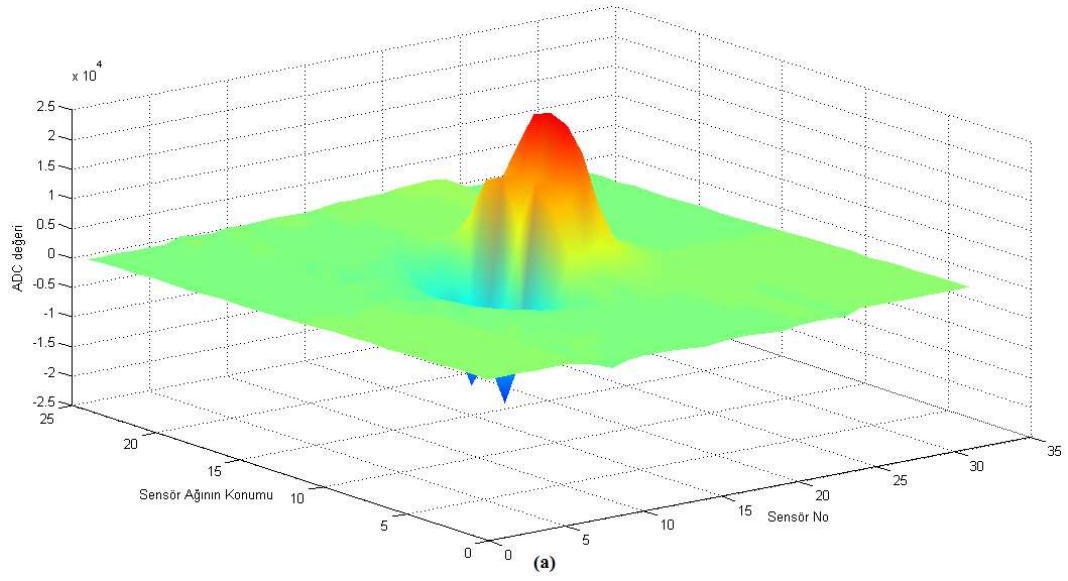
Şekil 4.21: “Numune 8” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



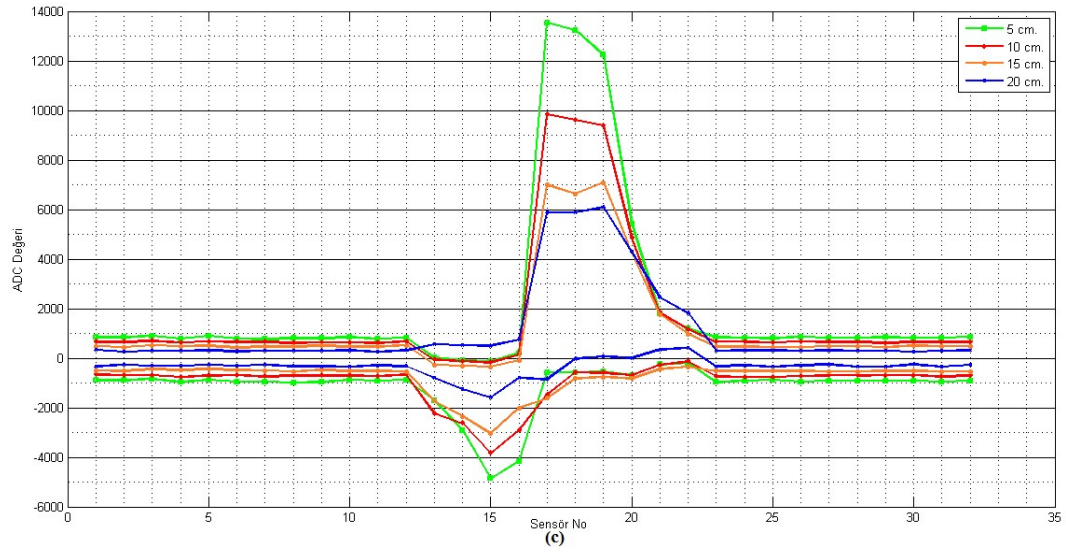
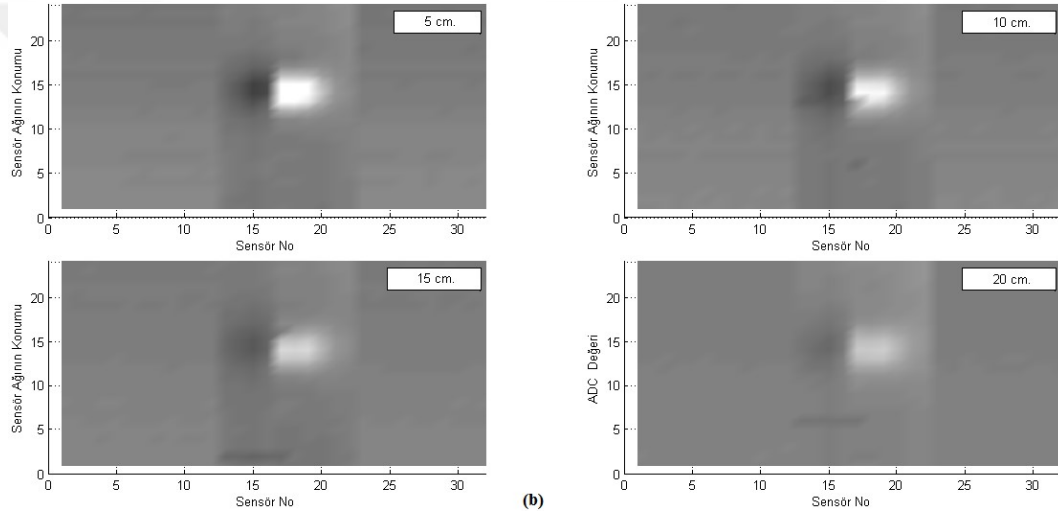
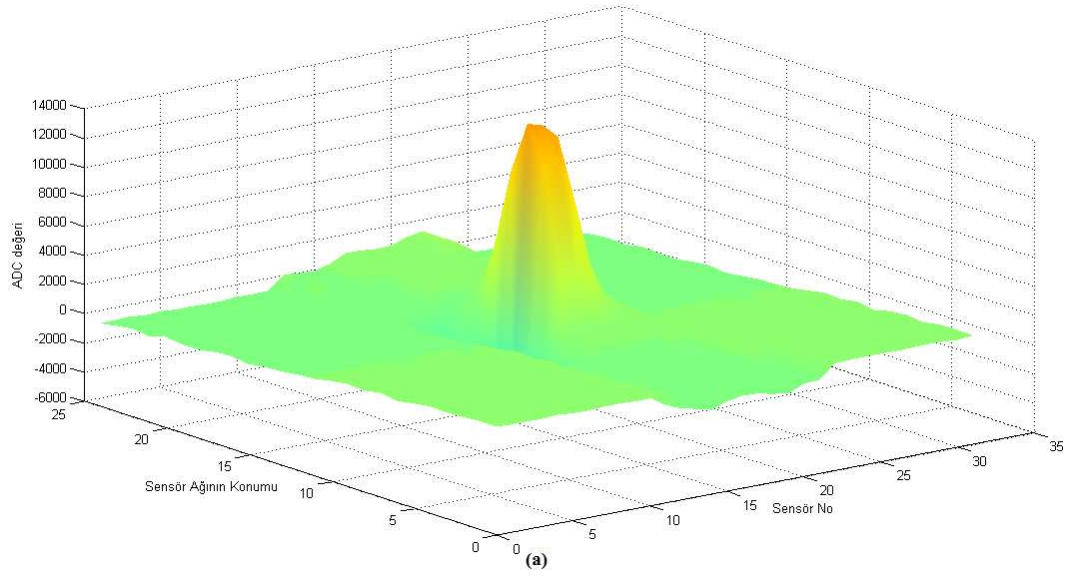
Şekil 4.22: “Numune 9” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



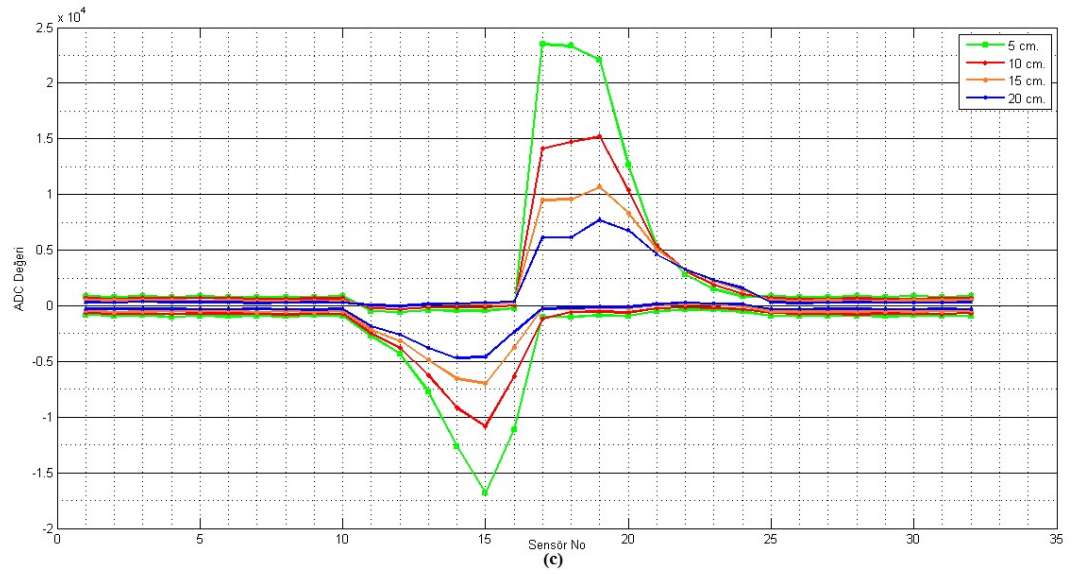
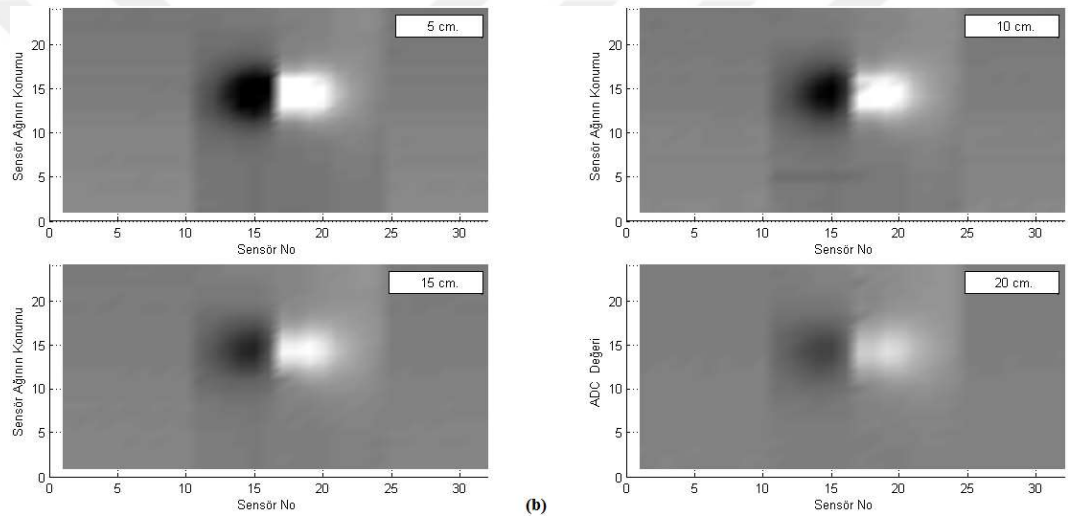
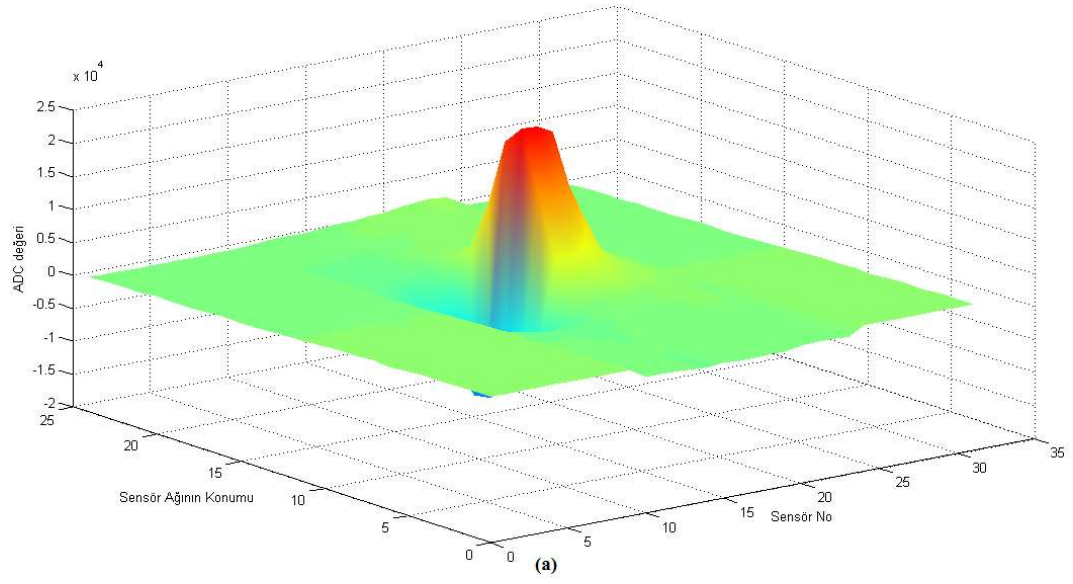
Şekil 4.23: “Numune 10” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



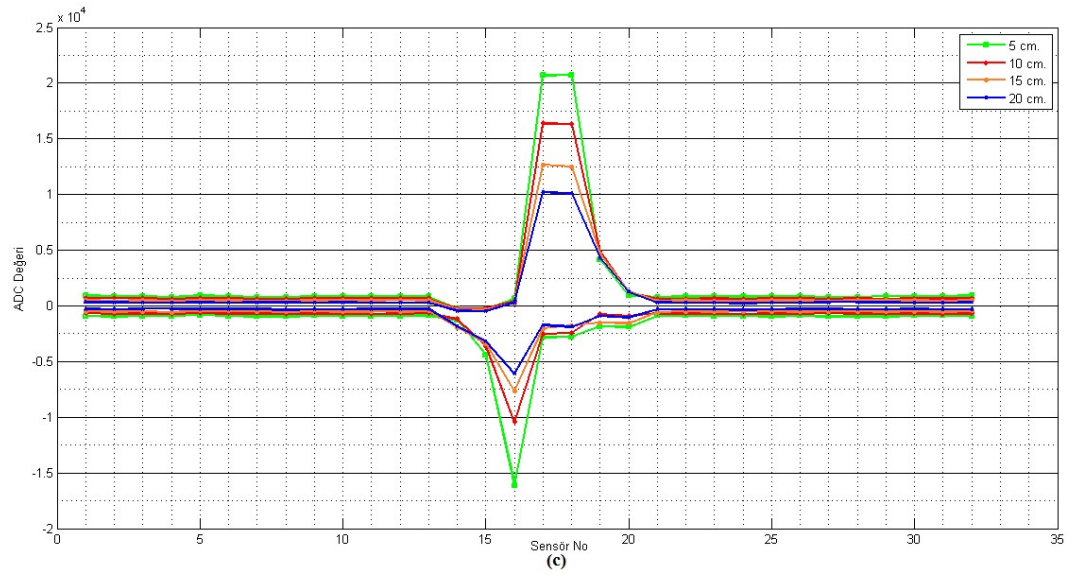
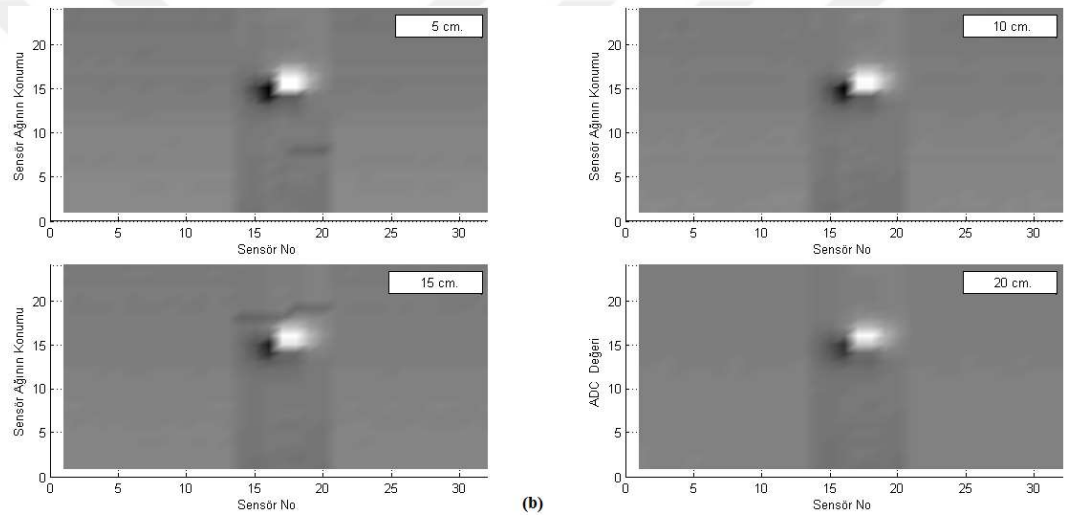
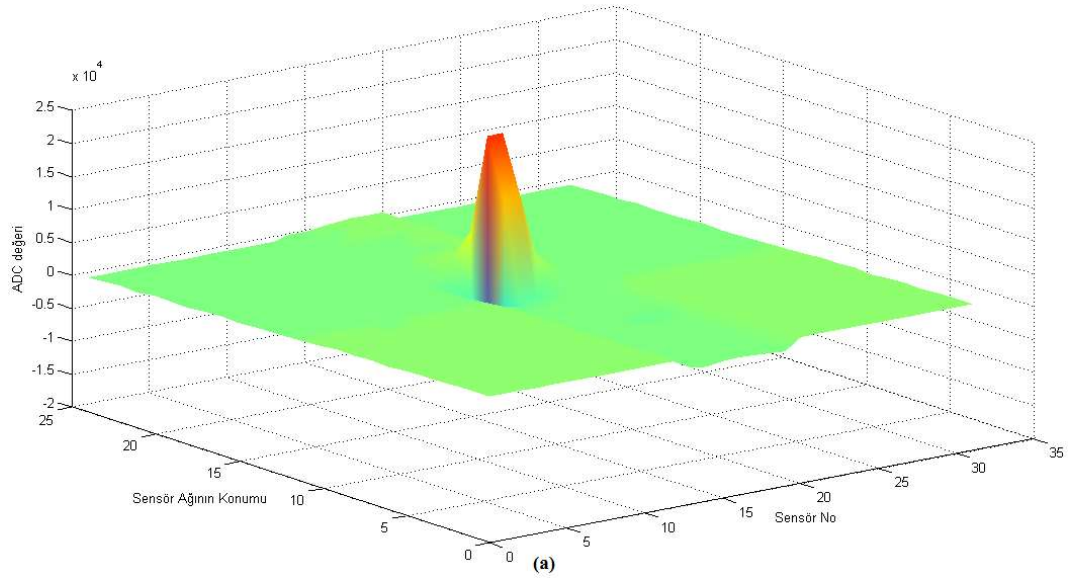
Şekil 4.24: “Numune 11” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



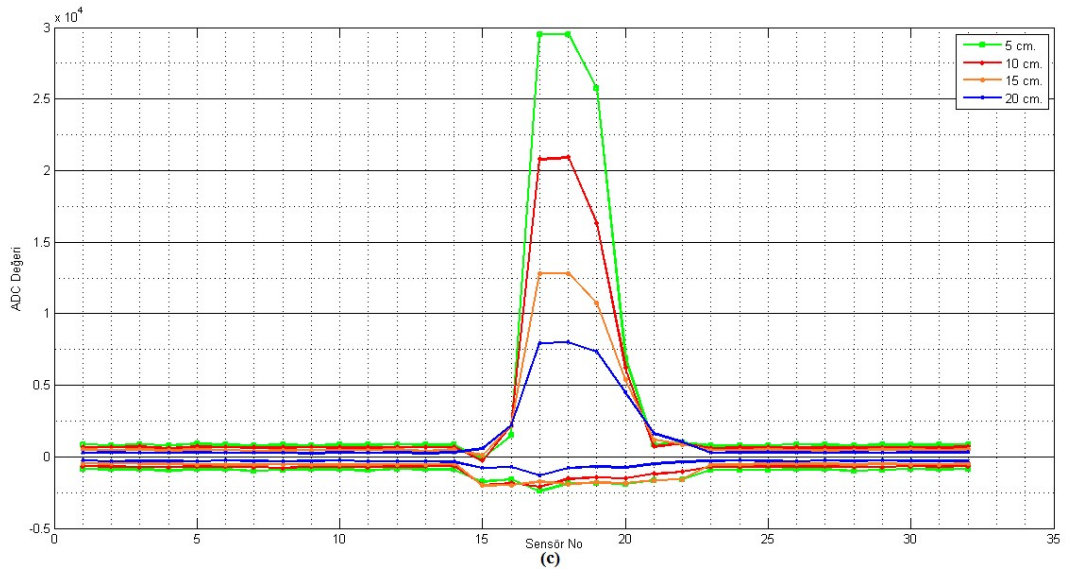
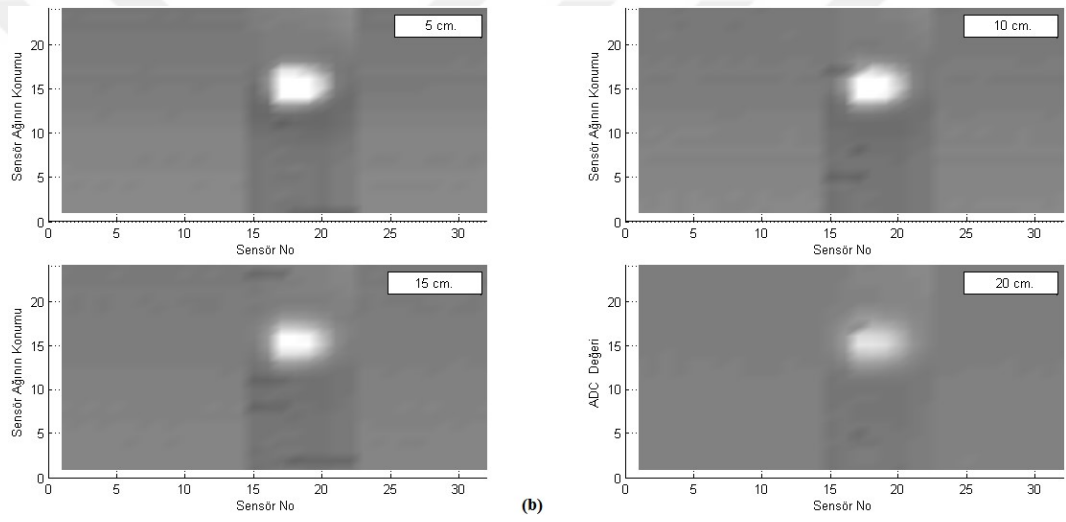
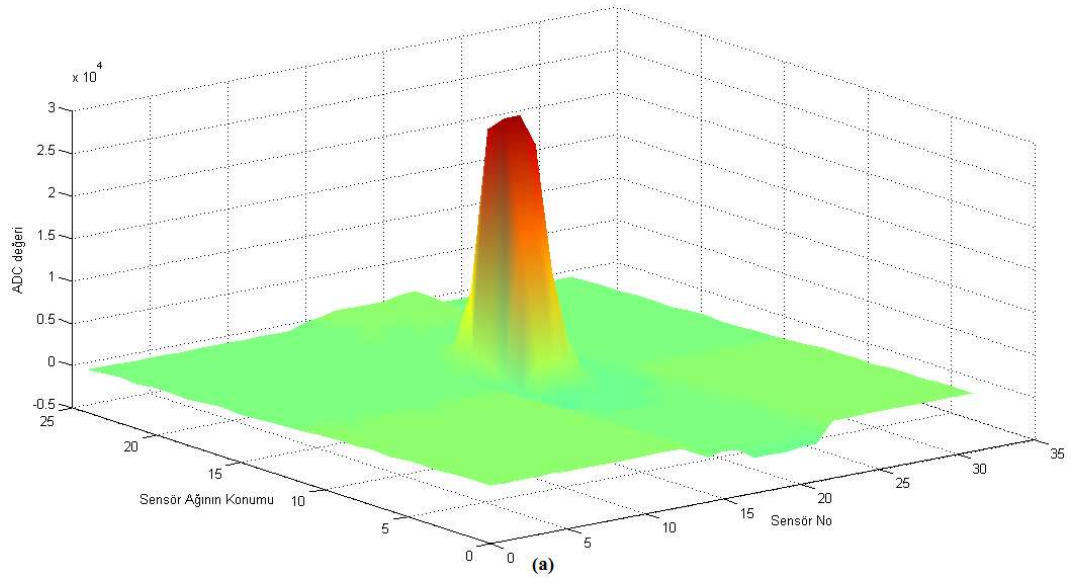
Şekil 4.25: “Numune 12” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



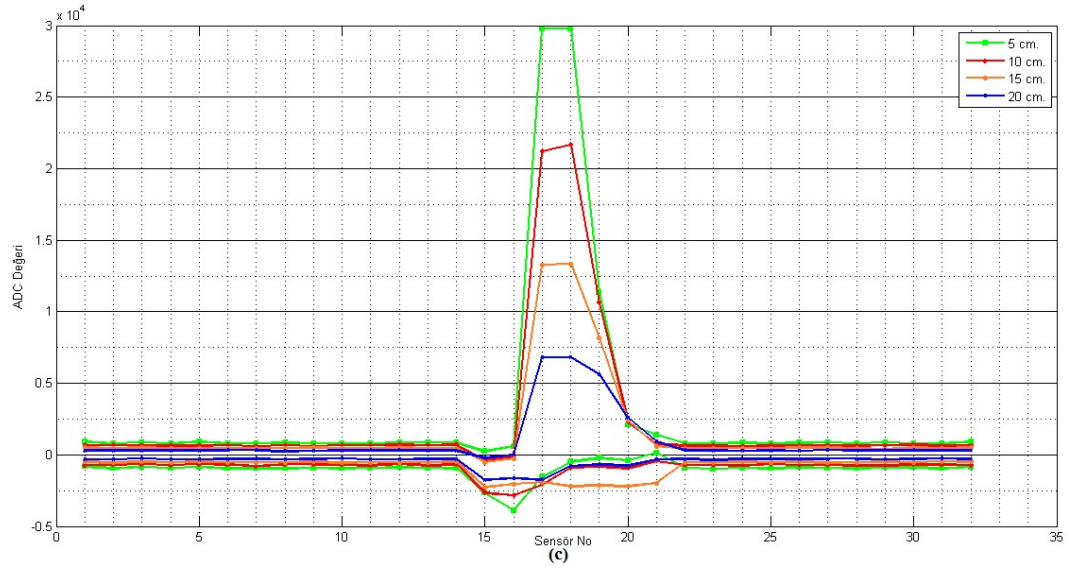
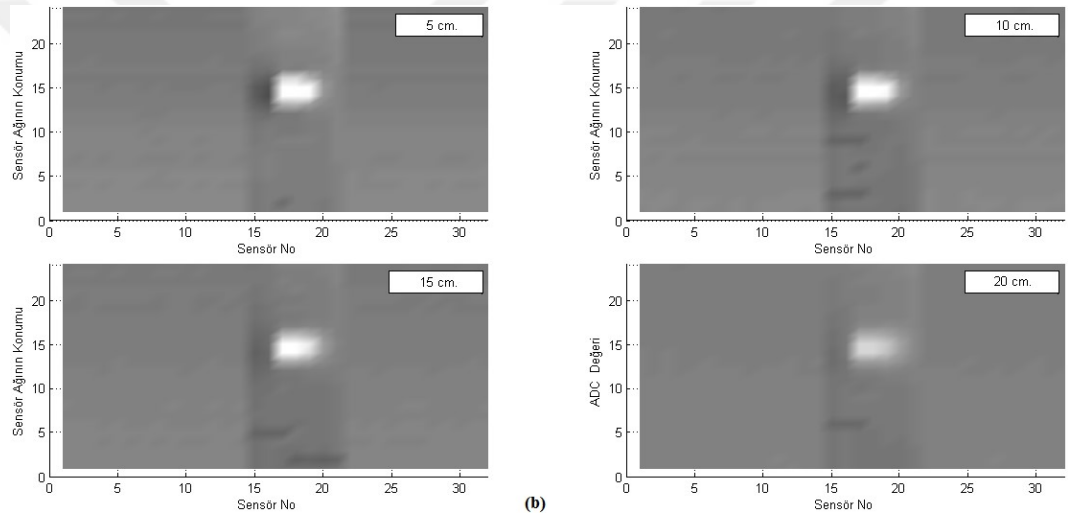
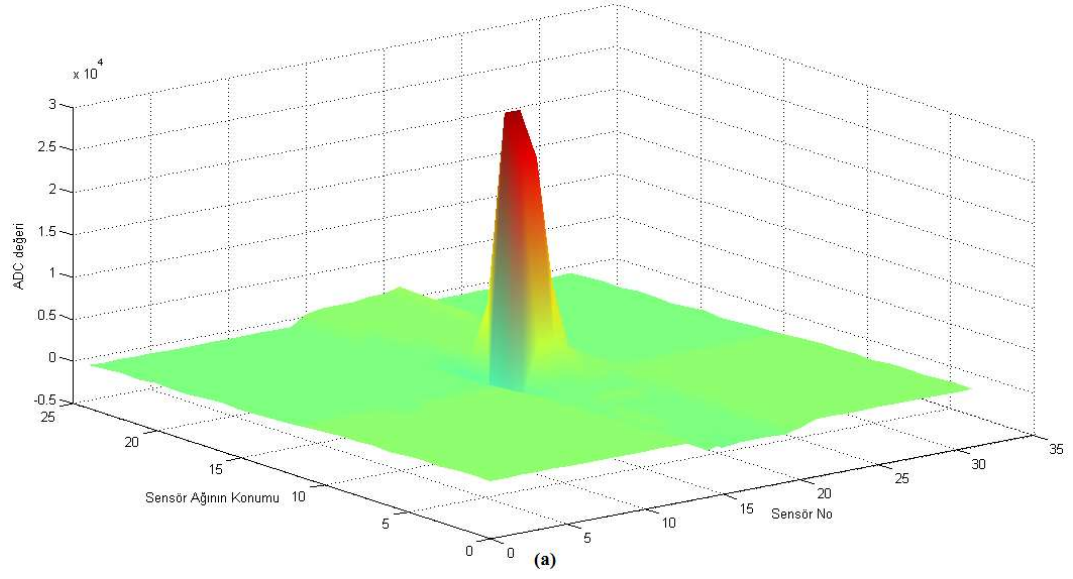
Şekil 4.26: “Numune 13” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



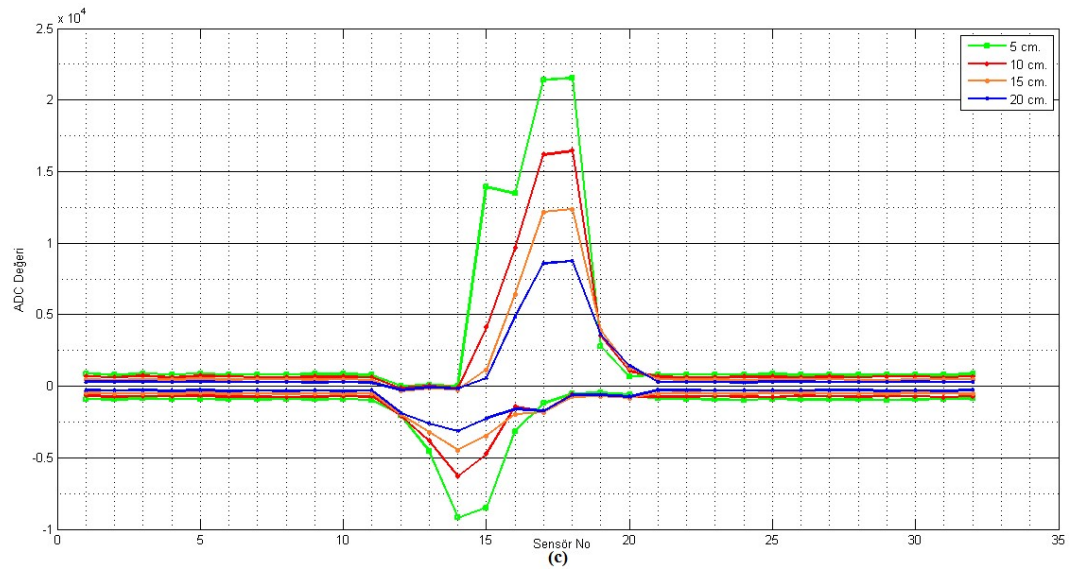
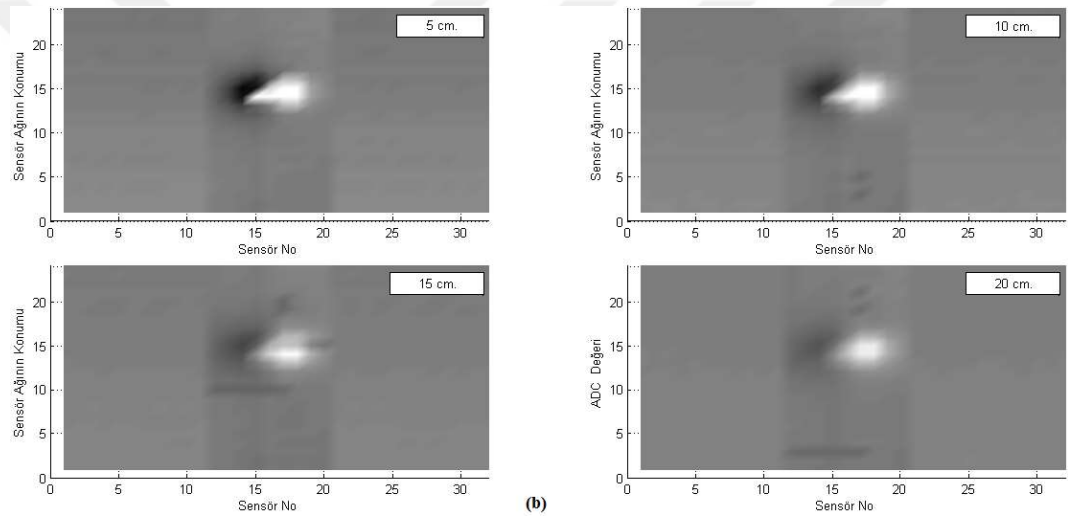
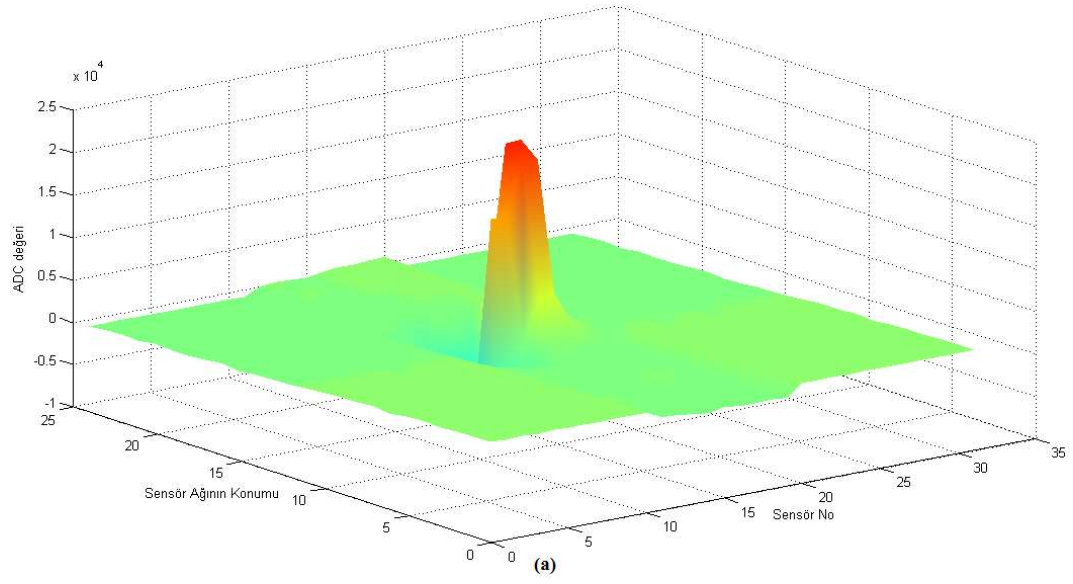
Şekil 4.27: “Numune 14” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



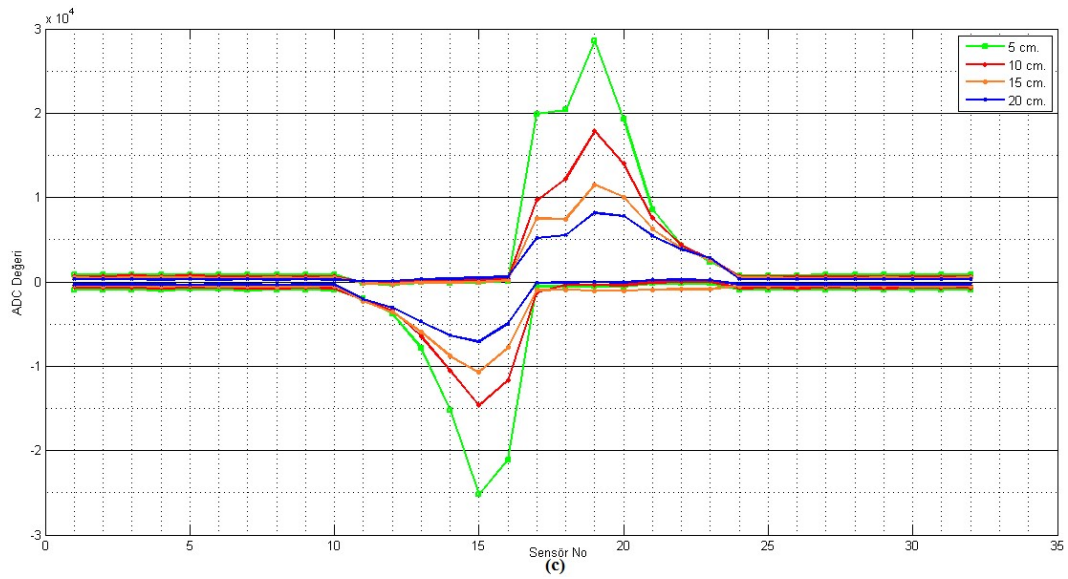
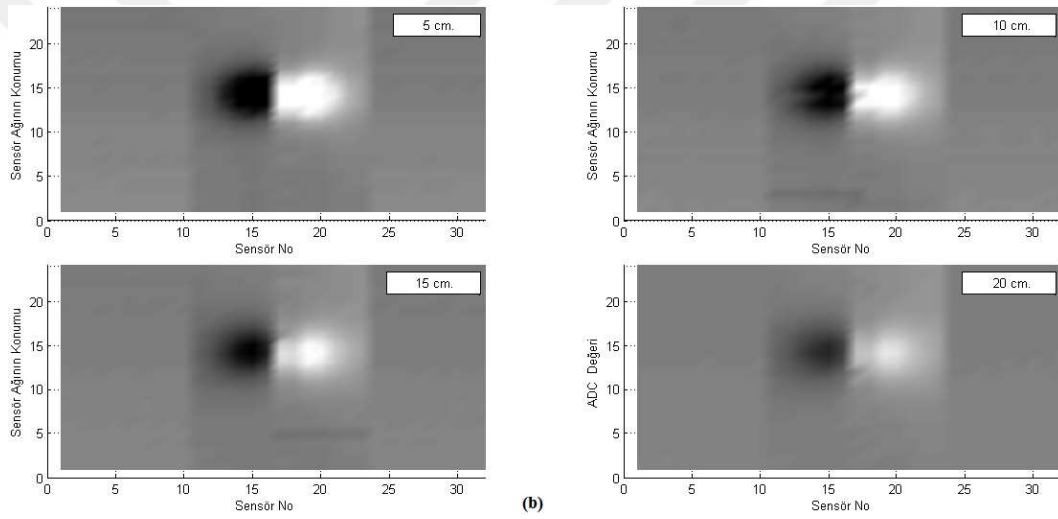
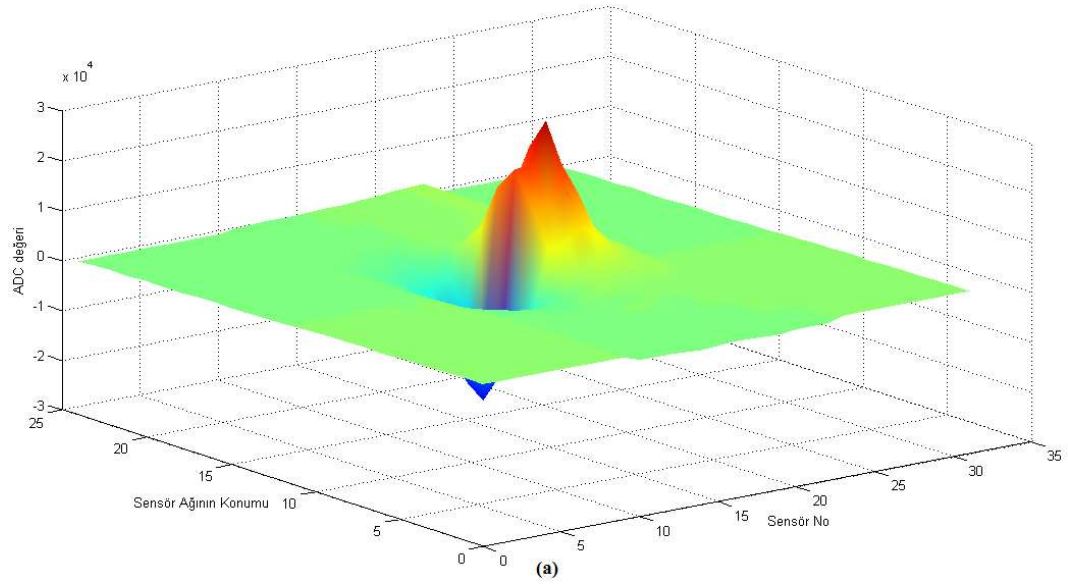
Şekil 4.28: “Numune 15” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



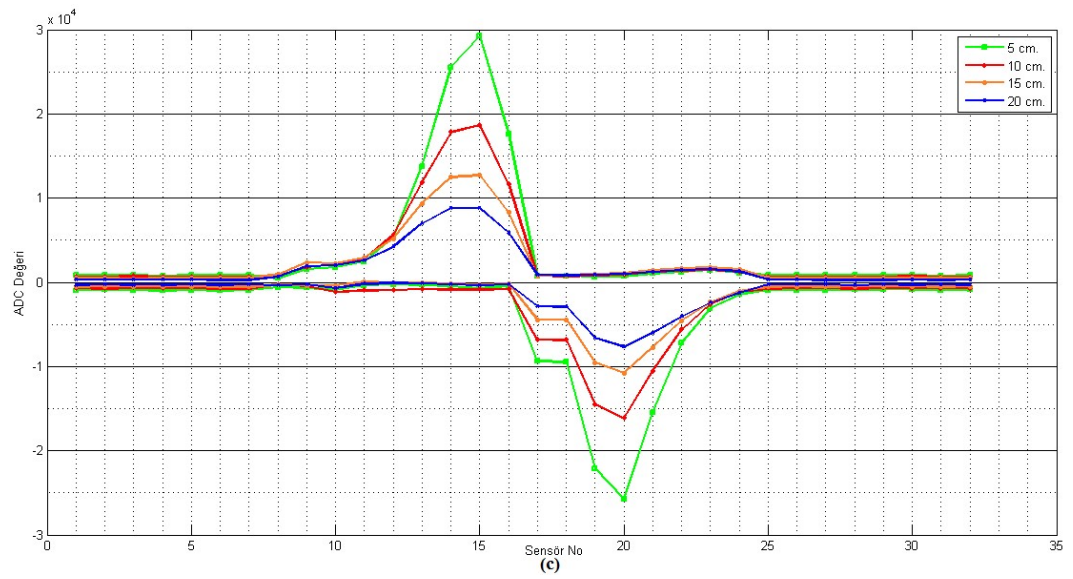
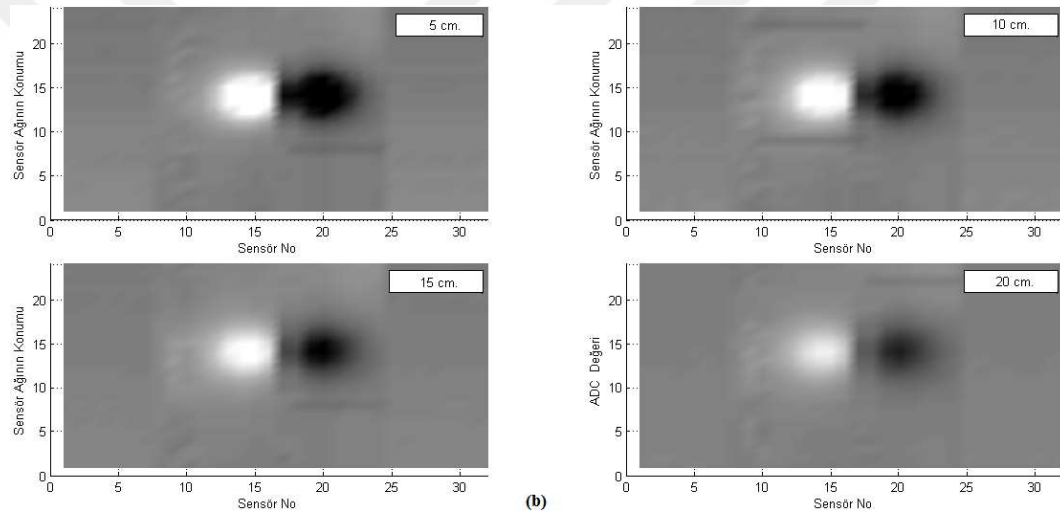
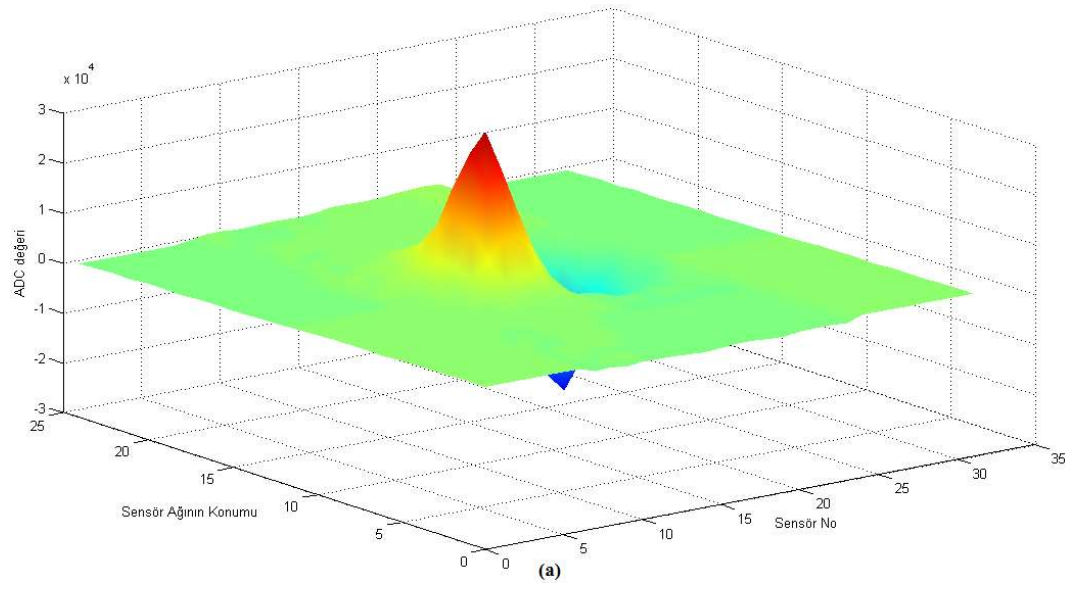
Şekil 4.29: “Numune 16” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



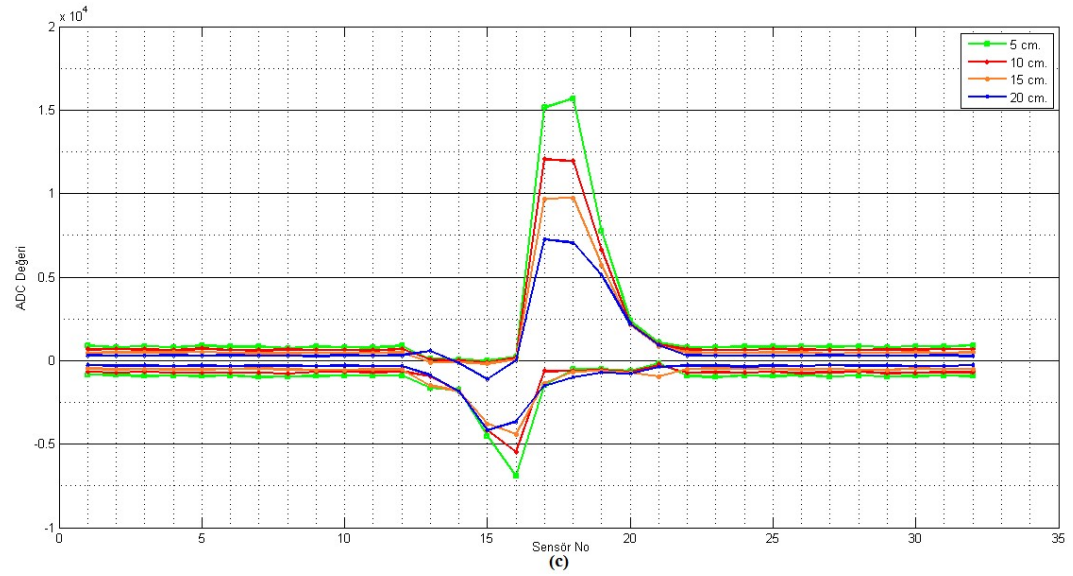
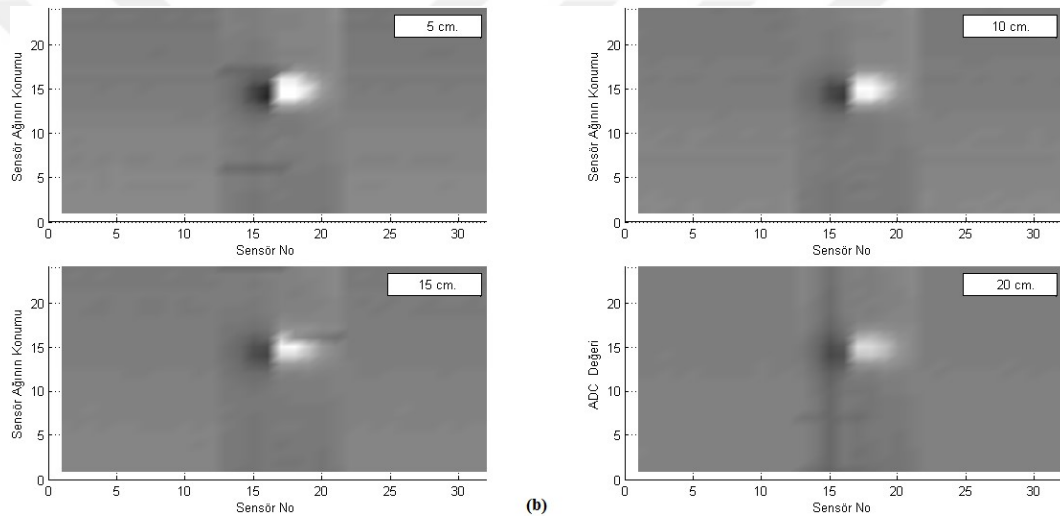
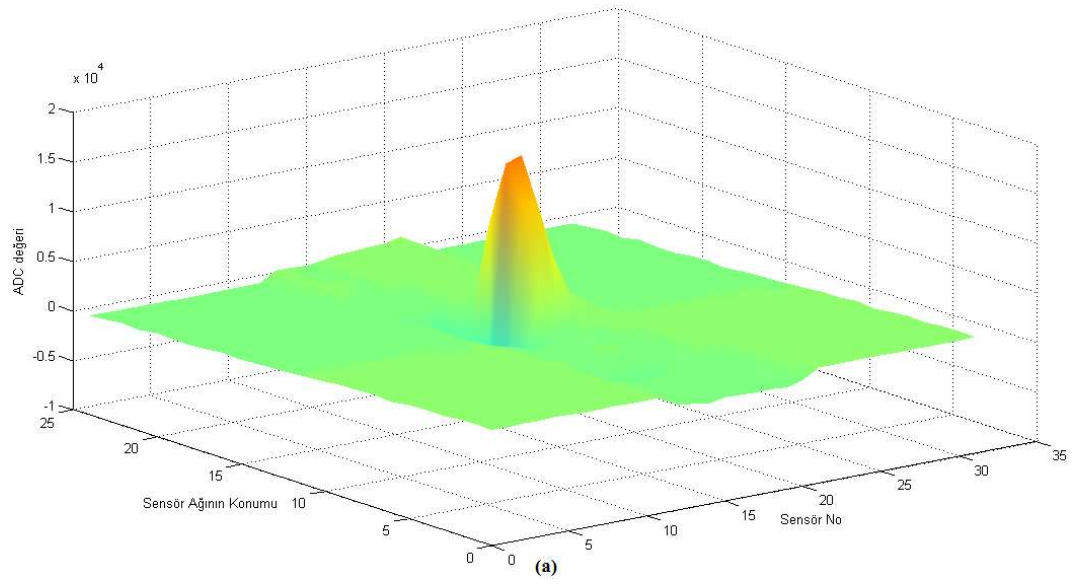
Şekil 4.30: “Numune 17” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



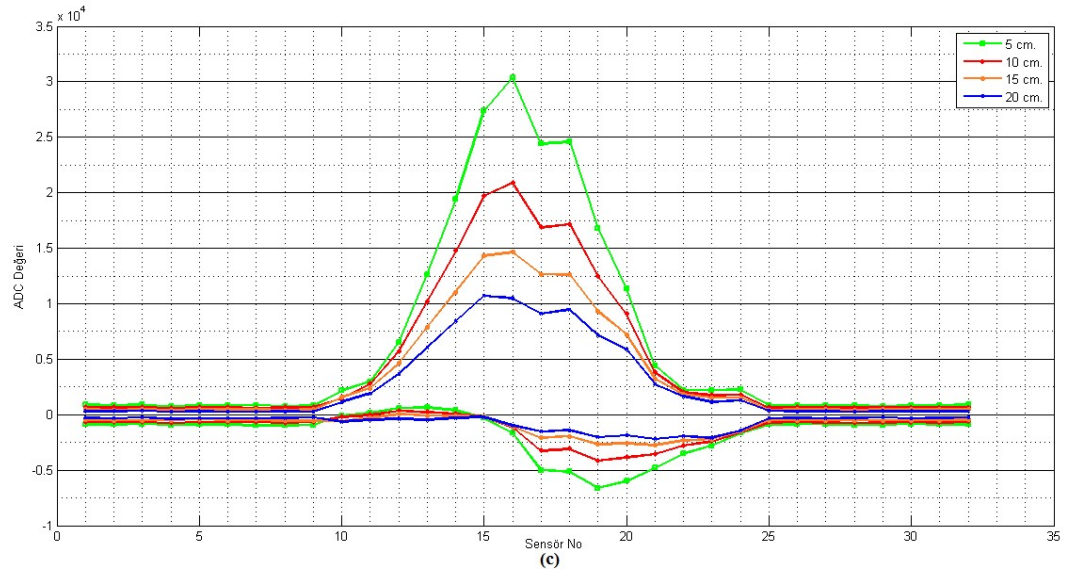
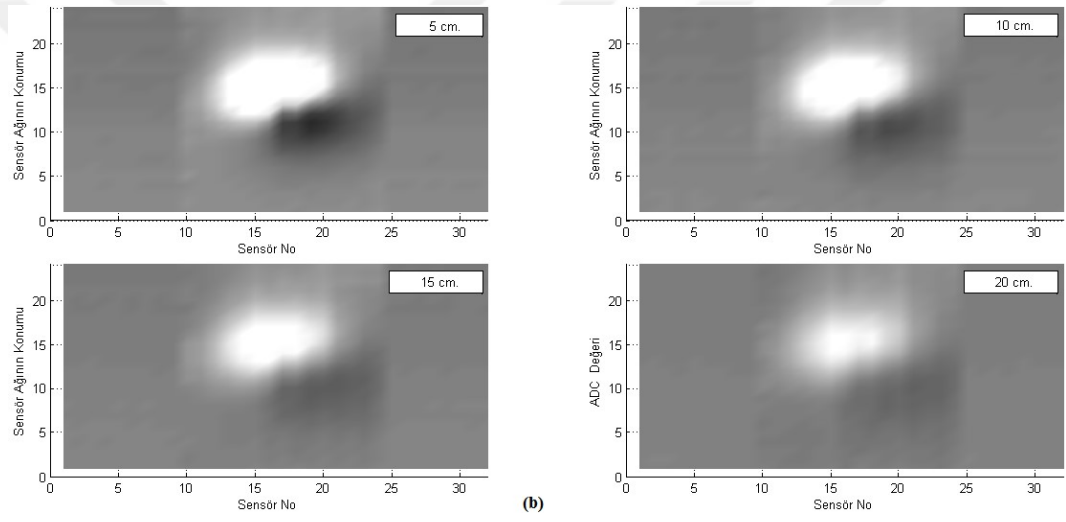
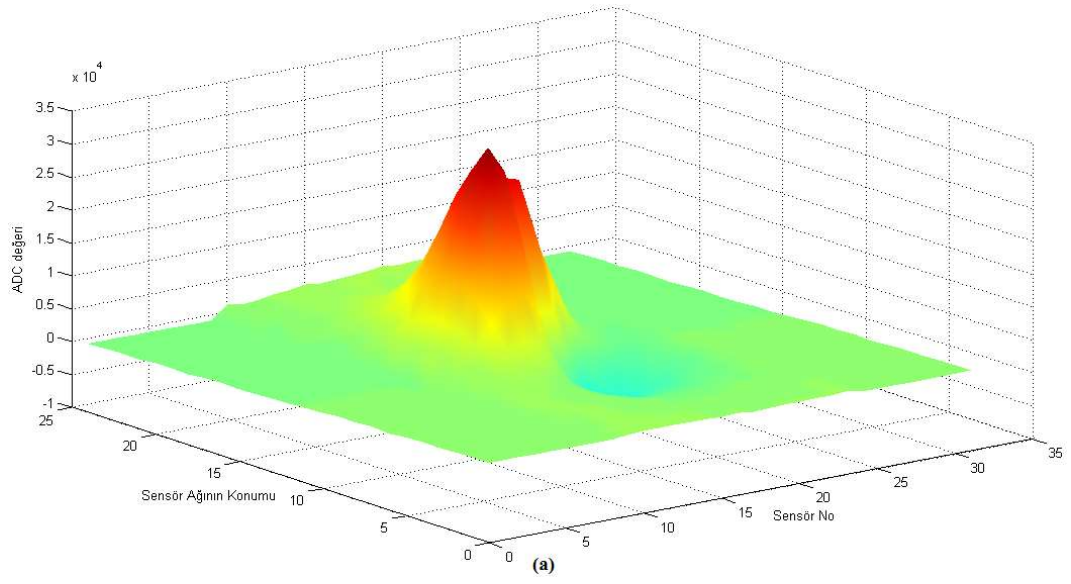
Şekil 4.31: “Numune 18” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



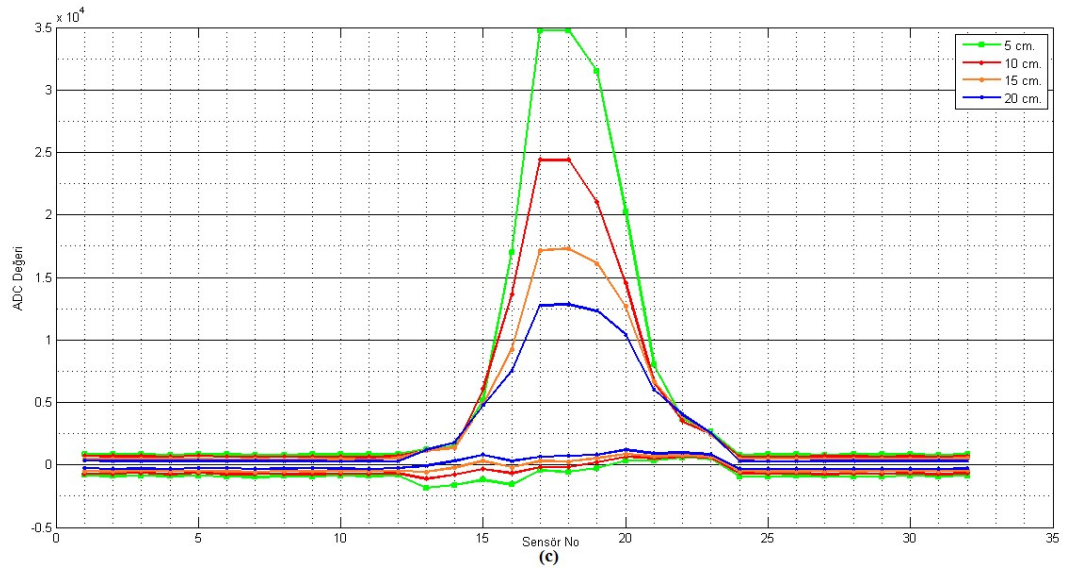
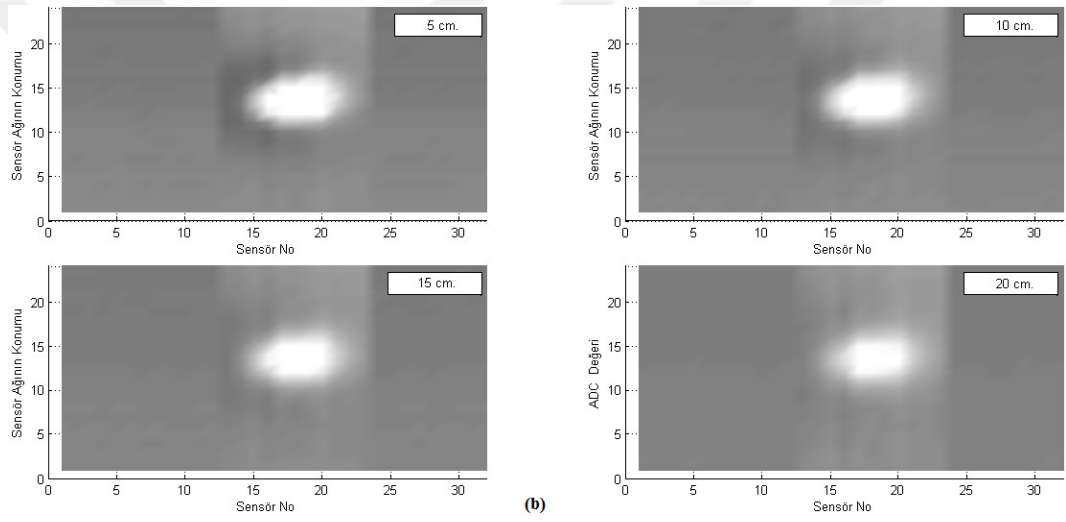
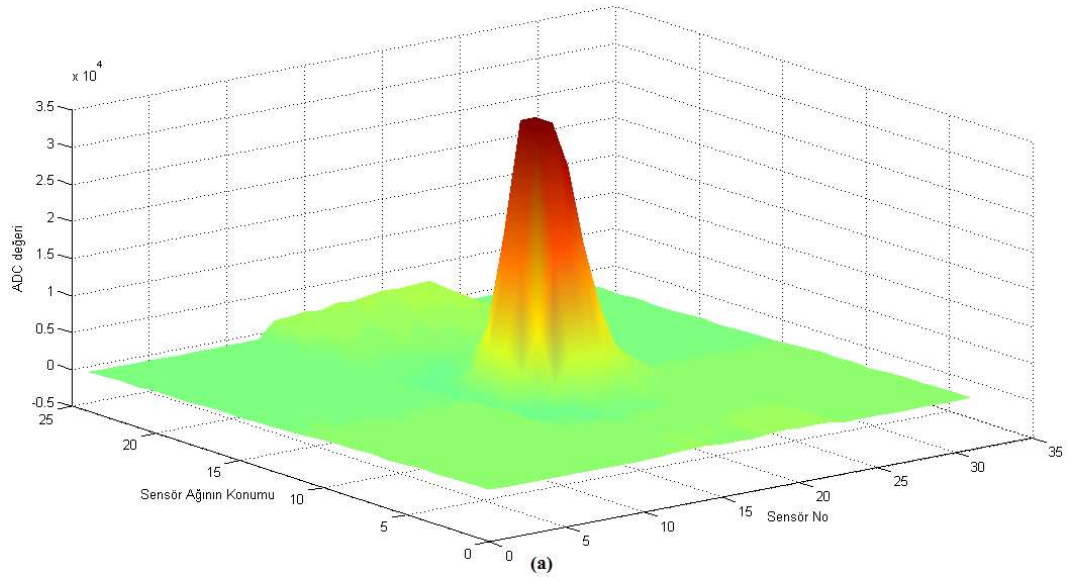
Şekil 4.32: “Numune 19” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



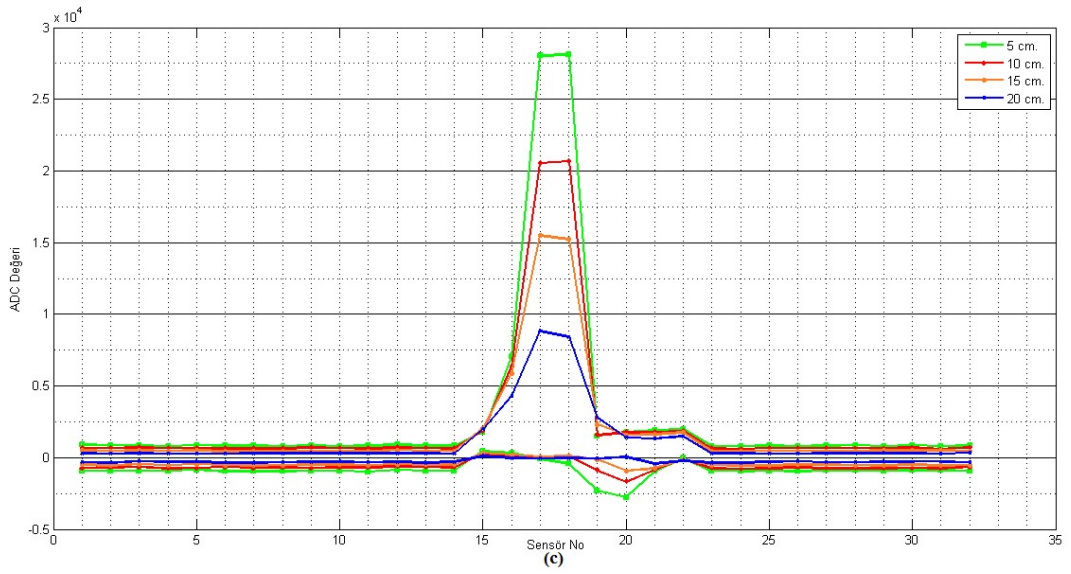
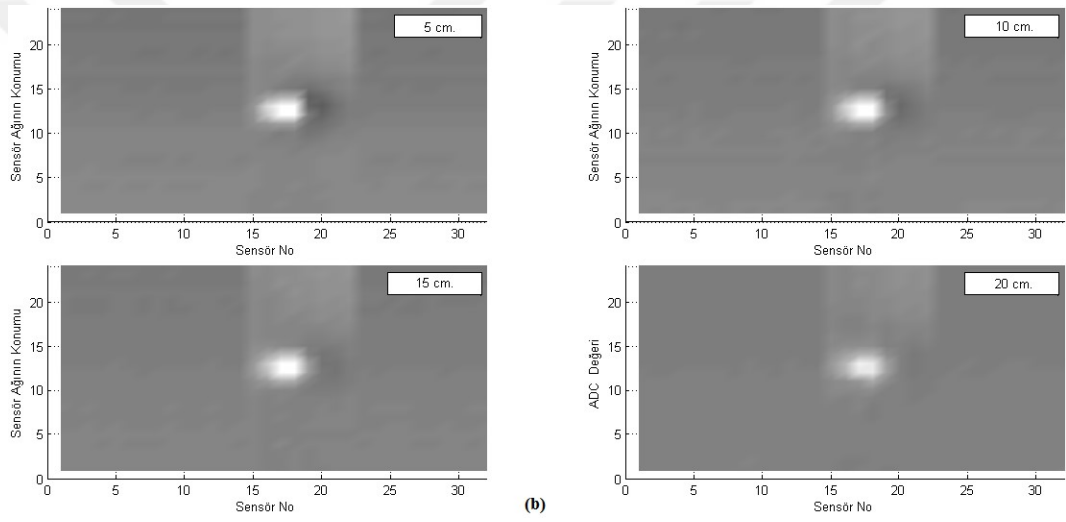
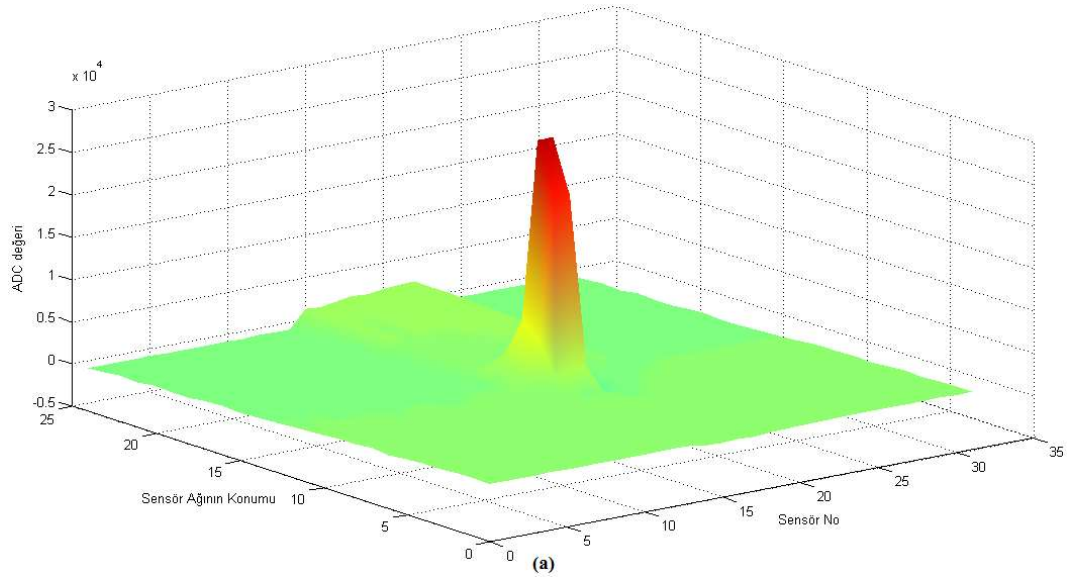
Şekil 4.33: “Numune 20” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



Şekil 4.34: “Numune 21” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



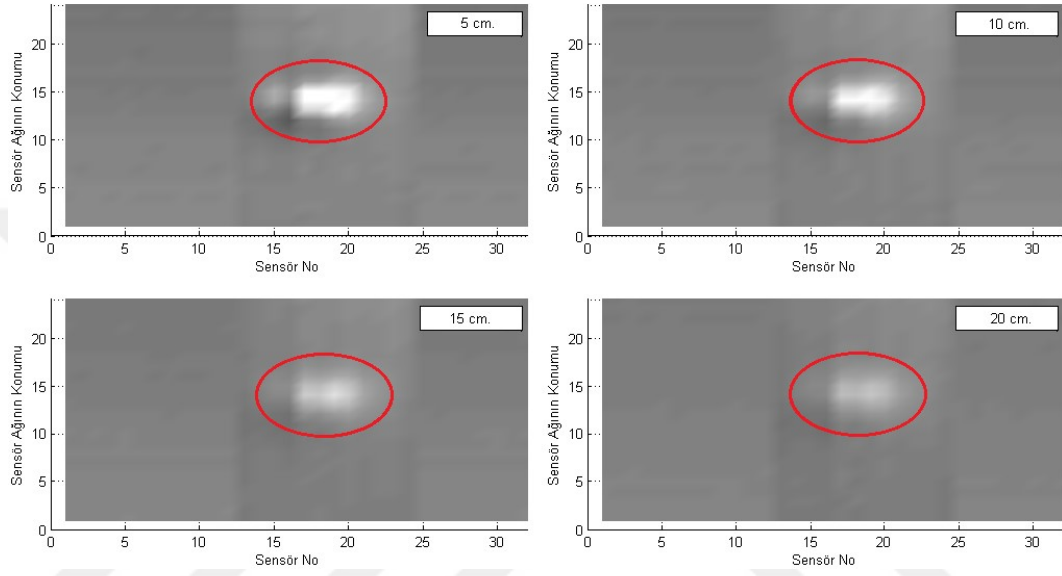
Şekil 4.35: “Numune 22” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.



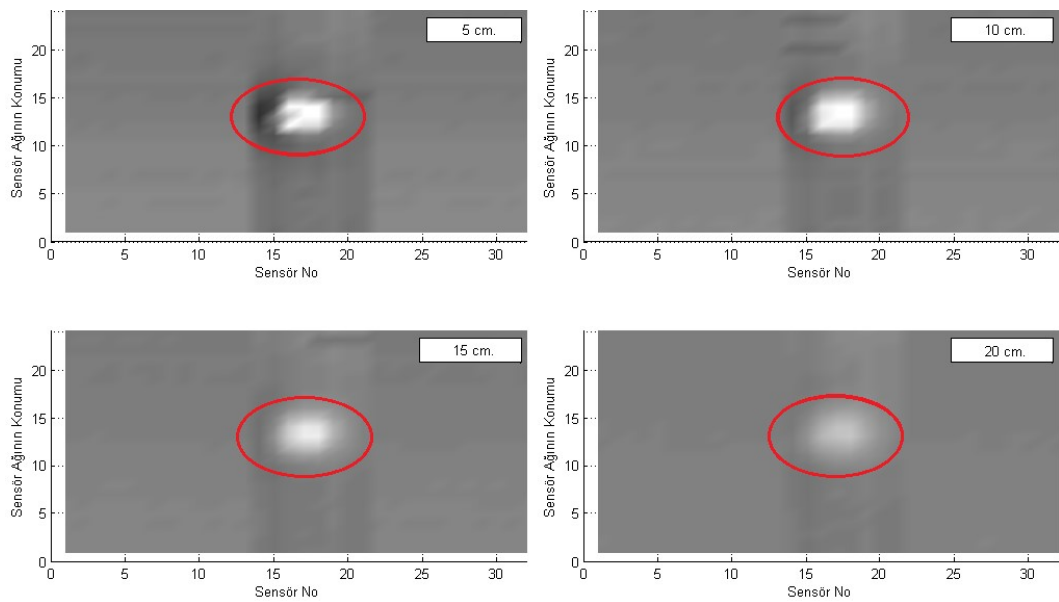
Şekil 4.36: “Numune 23” için manyetik alan tarama sonuçları. a) 5cm mesafeden elde edilen 3 boyutlu görüntü, b) Gri ölçek grafikleri, c) x-z izdüşüm grafikleri.

4.2 Gömülü Cisim ve Patlayıcı Tespiti

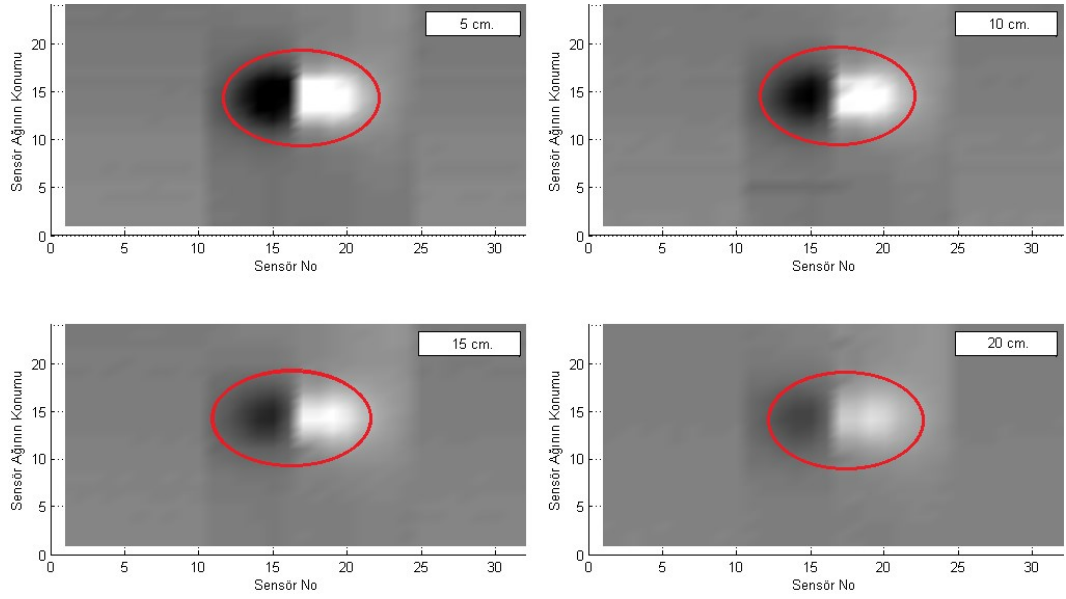
Numunelerin manyetik alan taramaları sonucu elde edilen görüntüleri incelendiğinde, geliştirilen ölçme düzeneği ile gömülü durumda bulunan numunelerin tamamının yeraltındaki varlıklarının tespit edilebildiği belirlenmiştir. “El bombası”, “Numune 2”, ve “Numune 13” için elde edilen görüntüler sırasıyla Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.37: “El Bombası” için 2 eksenli gri ölçek grafiği.



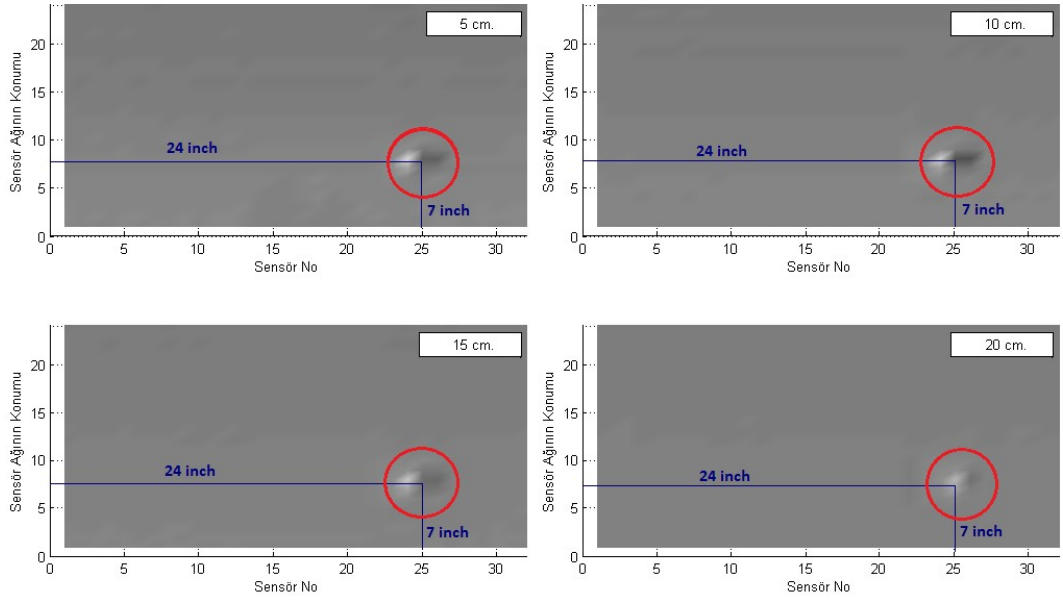
Şekil 4.38: “Numune 2” için 2 eksenli gri ölçek grafiği.



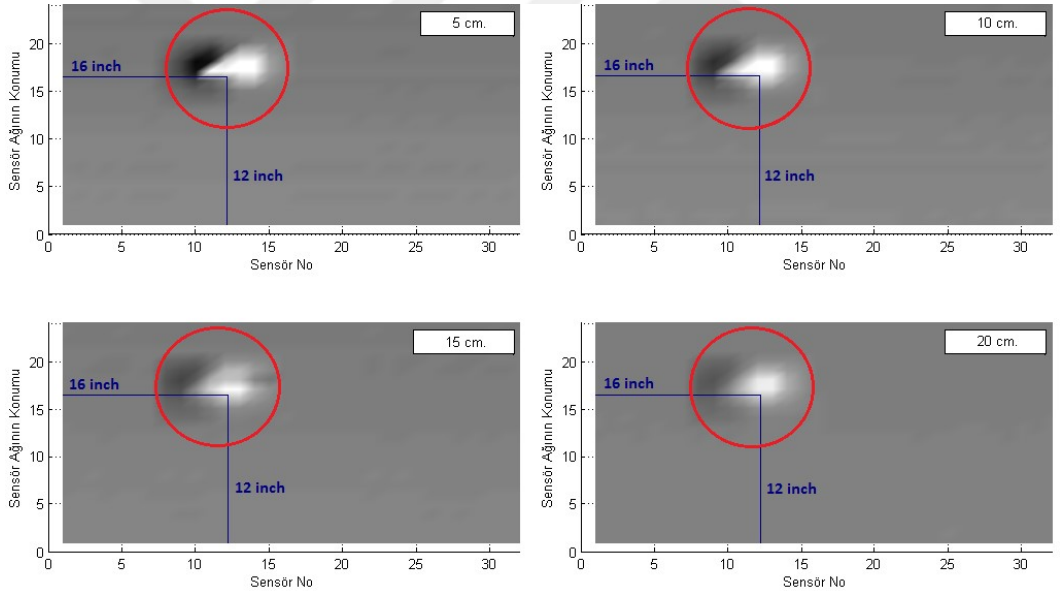
Şekil 4.39: “Numune 13” için 2 eksenli gri ölçek grafiği.

4.3 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Gömülü Olduğu Konumun Belirlenmesi

Şekil 4.4’ten başlayıp Şekil 4.36’ya kadar verilen gri ölçek grafikleri incelendiğinde numunelerin, ölçüm alanının merkezine yakın bir noktada gömülü olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Gömülü cismin konumunu tespit etmek amacıyla, “M14 AP mayını” ve “Numune 17” test malzemeleri olarak seçilmiştir. Şekil 4.40’tan görüleceği üzere, test alanının 0,0 noktasından y-ekseninde 7 adım (7 inch) ve x-ekseninde 25 adım (25 inch) uzaklığa “M14 AP mayını” yerleştirilmiş ve tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.41’de görüleceği üzere, test alanının 0,0 noktasından y-ekseninde 16 adım (16 inch) ve x-ekseninde 12 adım (12 inch) uzaklığa “Numune 17” yerleştirilmiş ve tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. “M14 AP mayını” için konuma göre yapılan tarama sonucu elde edilen gri ölçek grafikler (Şekil 4.9 ve Şekil 4.40) ve “Numune 17” için konuma göre yapılan tarama sonucu elde edilen gri ölçek grafikler (Şekil 4.30 ve Şekil 4.41) kendi aralarında karşılaştırıldığında, numunelerin tasarlanan ölçüm alanının merkezinden farklı bir konuma yerleştirilmesi durumunda oluşan görüntünün konumunun da değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bilgilerden hareketle siyah ve beyaz renklerinin yoğunlaştığı bölgelerden faydalanılarak, cismin yeraltındaki konumu belirlenebilir.



Şekil 4.40: “M14 AP Mayını” nın gömülü olduğu konumun belirlenmesi.



Şekil 4.41: “Numune 17” nin gömülü olduğu konumun belirlenmesi.

4.4 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Derinliğinin Ölçüm Sonuçlarına Etkisi

GC-P'nin gömülü olduğu derinliğin ölçümlere etkisini incelemek ve değerlendirmek amacıyla; tüm numunelerin manyetik alan taramalarına ait gri ölçek ve x-z izdüşüm grafikleri ele alınmıştır. Bu şekiller incelendiğinde (Şekil

4.4-Şekil 4.36) ; farklı derinliklerdeki numunelerin benzer sinyal formlarına sahip oldukları, ölçüm derinliği arttıkça elde edilen sinyallerin tepe genliği değerlerinde derinlikle ters orantılı olarak değişimler olduğu gözlemlenmiştir.

4.5 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Fiziki Boyut-Görüntü İlişkisi

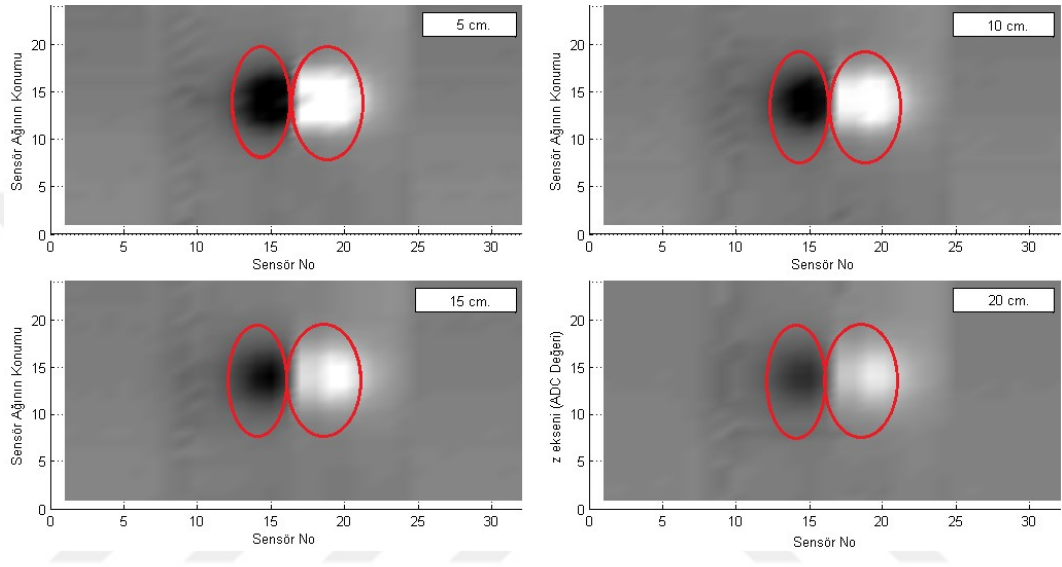
Farklı geometri ve boyutlardaki GC-P'lerin oluşturmuş oldukları manyetik alan görüntülerini değerlendirmek ve farklılıkları ortaya koymak amacıyla; “Numune 11”, ve “Numune 15” için taramalar gerçekleştirilmiştir. Taramalar neticesinde ortaya çıkan iki eksenli gri ölçek grafiği ve y eksenini boyunca sensörlerin algıladığı minimum-maksimum gerilim değerlerinin incelemesi yapılmış olup Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te verilmiştir.

“Numune 11”; çapı 130mm, yüksekliği 16mm olan silindirik bir malzemedir. Bu numuneye ait Şekil 4.42 gri ölçek grafiği incelendiğinde, hem beyaz hem de siyah yoğunlaşma olan bölgelerin bulunduğu göze çarpmaktadır. Aynı numune için x-y izdüşüm grafiği incelendiğinde (Şekil 4.24) , manyetik anomaliye bağlı olarak pozitif ve negatif ADC değer değişimlerinin meydana geldiği dikkat çekmektedir.

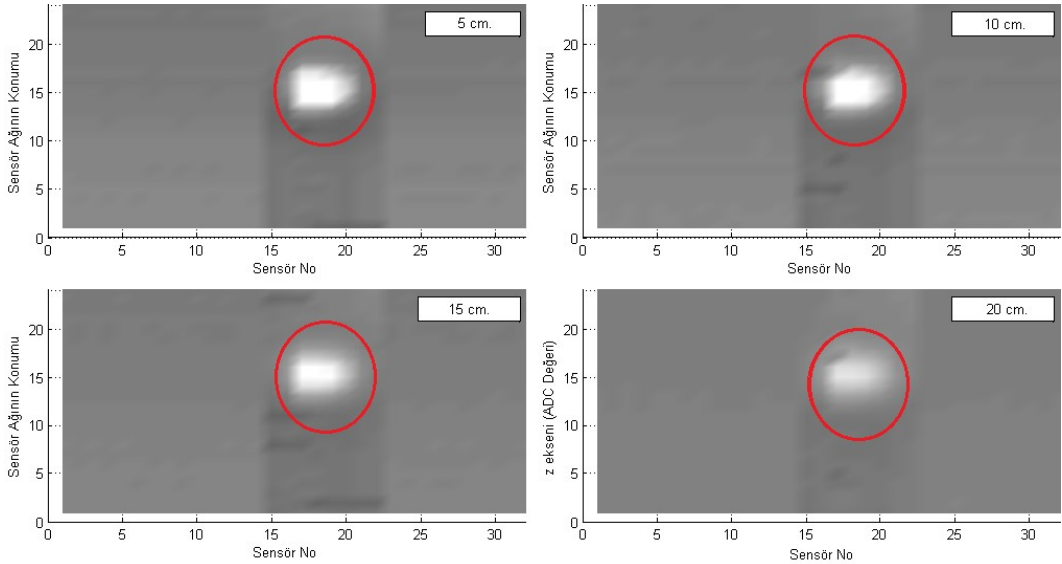
“Numune 15”; çapı 55mm yüksekliği 105mm olan silindirik bir malzemedir. Bu numuneye ait Şekil 4.43 gri ölçek grafiği incelendiğinde, yalnızca beyaz renkte yoğunlaşma olan bölgelerin bulunduğu göze çarpmaktadır. Aynı numune için x-y izdüşüm grafiği incelendiğinde (Şekil 4.28), manyetik anomaliye bağlı olarak yalnızca pozitif yönde ADC değer değişimlerinin meydana geldiği dikkat çekmektedir.

“Numune 11” ve “Numune 15'te” oluşan bu görüntülerin sebebini Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te verilen temsili çizimler ile açıklamak mümkündür. Şöyleki, sensör ağında bulunan her sensör z eksenine paralel manyetik alan çizgilerini ölçecek şekilde konumlandırılmıştır. Sensörler vektörel olarak +z eksenini doğrultusundaki manyetik alan çizgileri için negatif gerilim üretirken, vektörel olarak -z eksenini doğrultusundaki manyetik alan çizgileri için pozitif gerilim üretmektedir. Diğer bir deyişle, numuneye giren manyetik alan çizgileri pozitif,

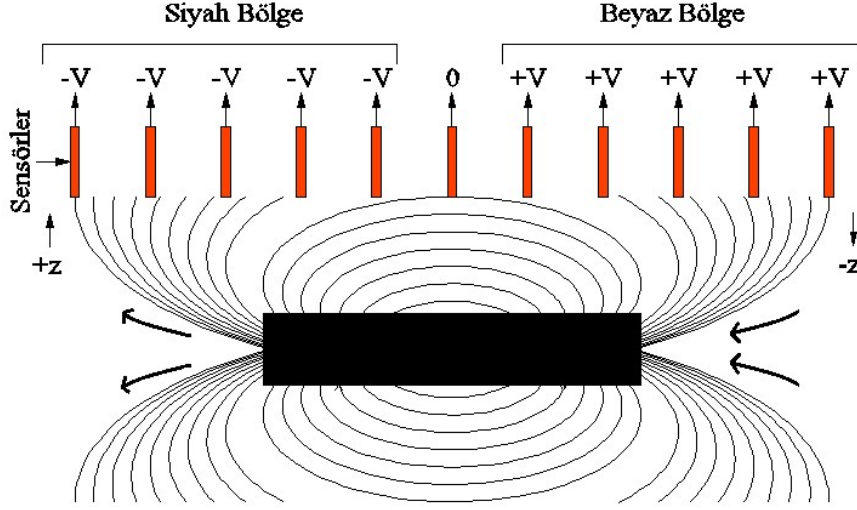
ıkan manyetik alan çizgileri negatif gerilim değişimlerine sebep olur. şekil 4.44'te görüleceği üzere, çapı (veya boyu), yüksekliğinden daha fazla olan numunelerde oluşan manyetik anomali sensör ağını hem +z hem de -z yönünde manyetik alan çizgelerine maruz bırakmakta, dolayısıyla sensörlerde hem pozitif yönde hem de negatif yönde gerilim değişimlerine yol açmaktadır. Böylelikle, apı (veya boyu), yüksekliğinden daha fazla olan numunelerin gri ölçek grafiklerinde hem beyaz hem de siyah bölgeler meydana gelmektedir.



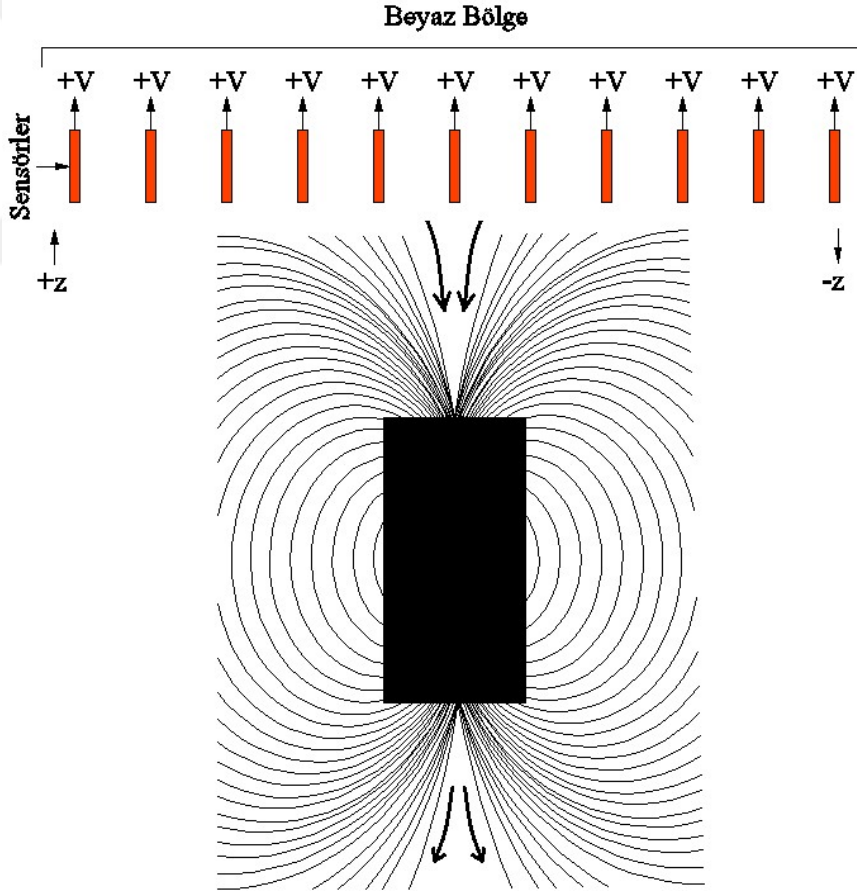
şekil 4.42: “Numune 11” için fiziki boyut-görüntü ilişkisi.



şekil 4.43: “Numune 15” için fiziki boyut-görüntü ilişkisi.



Şekil 4.44: Çapı (veya boyu), yüksekliğinden daha büyük olan numuneler için manyetik alanın sensör ağı üzerinde oluşturmuş olduğu anomali.



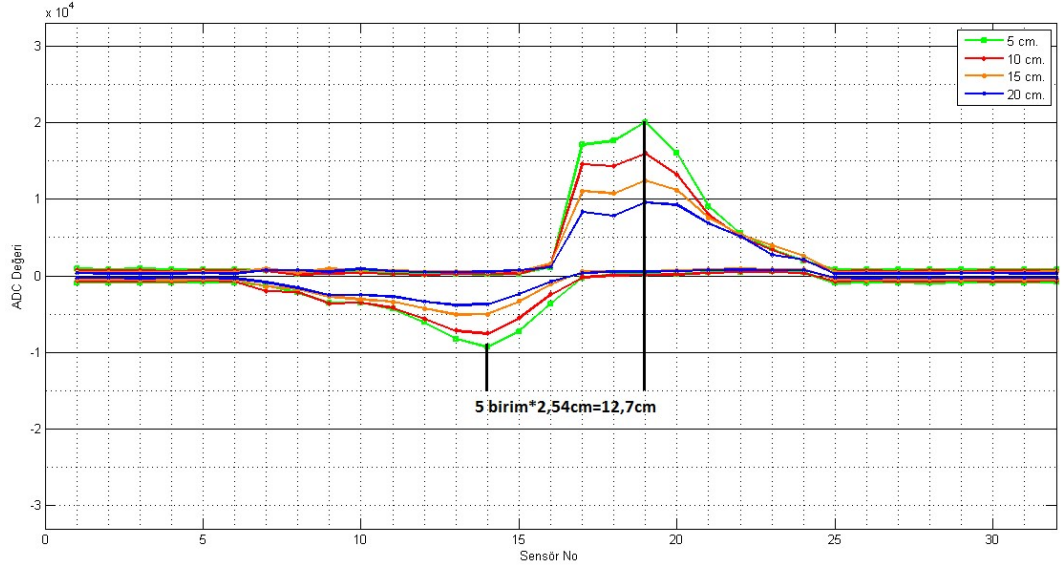
Şekil 4.45: Çapı (veya boyu), yüksekliğinden daha küçük olan numuneler için manyetik alanın sensör ağı üzerinde oluşturmuş olduğu anomali.

Şekil 4.45'te görüleceği üzere, çapı (veya boyu), yüksekliğinden daha az olan numunelerde ise numuneye giren manyetik alan çizgileri uzun bir yol alırlar ve dönüş çizgileri, sensör ağını etkisi altına alamayacak şekilde devrelerini tamamlarlar. Bu durum, sensör ağının yalnızca $-z$ yönünde ya da yalnızca $+z$ yönünde manyetik alan çizgilerine maruz kalmasına sebep olur. Böylelikle sensör çıkışları yalnızca bir yönde gerilim üretir ve gri ölçek grafiğinin yalnızca beyaz veya yalnızca siyah bölge açısından yoğun olduğu durumlar elde edilir.

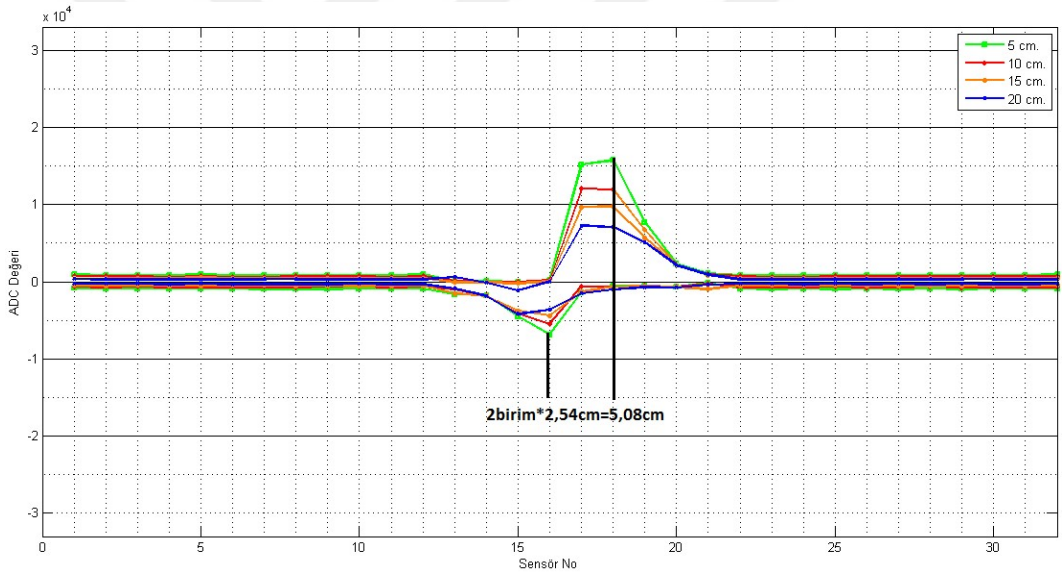
4.6 Gömülü Cisim ve Patlayıcının Tarama Eksenindeki Cephe Genişliğinin Tespiti

GC-P'nin tarama eksenindeki tahmini boyutlarının belirlenmesi amacıyla yapılan taramalardan “Numune 8” ve “Numune 20”ye ait tarama sonuçları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Şekil 4.21 ve Şekil 4.33'teki x-z izdüşüm grafikleri incelendiğinde, her iki numunenin de pozitif ve negatif tepe genliklerine sahip oldukları göze çarpmaktadır. Sinyallerin pozitif ve negatif tepeleri arasındaki uzaklık ile numunenin tarama eksenindeki boyutunun doğru orantılı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. x-eksenindeki her bir sensörün arasındaki mesafenin 2,54cm (1inch) olduğu düşünüldüğünde pozitif ve negatif tepe sinyallerinin arasındaki mesafe ile 2,54cm'nin çarpımı numunenin tarama eksenindeki yaklaşık boyunu vermektedir. “Numune 8”in gerçek çapı 12,8cm'dir. Şekil 4.46'da verilen grafikte yapılan değerlendirme sonucunda numunenin çapı 12,7cm olarak belirlenmiştir. “Numune 20”nin karşılıklı 2 kenar arası mesafesi 5,9cm'dir. Şekil 4.47'de verilen grafikte yapılan değerlendirme sonucunda numunenin çapı 5,08cm olarak belirlenmiştir. Sensörler arası mesafenin 2,54cm olmasından dolayı tahmin sonuçlarında $\pm 2,54$ cm'lik hatalar meydana gelebilmektedir.

Pozitif ve negatif tepe genliğini aynı anda üretme yeteneğine sahip tüm numunelerde, pozitif ve negatif tepe noktaları üzerinde yapılan değerlendirme sonucunda gömülü cisim ve patlayıcının cephe genişliğinin belirlenebileceği kanaatine varılmıştır.



Şekil 4.46: “Numune 8” için tarama eksenindeki cephe genişliğinin bulunması.



Şekil 4.47: “Numune 20” için tarama eksenindeki cephe genişliğinin bulunması.

4.7 32x25 Veri Matrislerinin Öznitelik Uzaylarının Oluşturulması

33 farklı numunenin her birisinden 4 farklı yükseklikten alınan kayıtlar neticesinde 132 farklı veri matrisi oluşmuştur. 32x25 boyutundaki bu veri matrislerinin tamamı için maksimum, minimum, standart sapma, basıklık katsayısı ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde her veri kümesi için 5 farklı öznitelik uzayı oluşmuş ve oluşturulan

öznitelik değerleri Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de verilmiştir. 132 örnek veriden 80 tanesi GC-P (40 tanesi standart üretimi bulunan patlayıcı numuneler, 40 tanesi EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numuneler), 52 tanesinin ise yanıtıcı malzeme olarak ele alındığı görülmektedir. Elde edilen istatistiksel sonuçlara ilişkin grafikler Şekil 4.48’de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde maksimum özniteliklerinin (Max) pozitif çarpık, minimum özniteliklerinin (Min) negatif çarpık, basıklık katsayısı (Basıklık) özniteliklerinin pozitif çarpık, standart sapma (SS) özniteliklerinin pozitif çarpık ve aritmetik ortalama (Ort) özniteliklerinin normal dağılıma yakın bir eğilim izledikleri ortaya çıkmaktadır.

Öznitelik dağılımının normal dağılımlı olması sınıflandırıcı başarımını arttırırken, pozitif veya negatif çarpık dağılımlı olması sınıflandırma başarımını azalttığı bilinen bir husustur. Ayrıca tek bir özniteliğin sınıflandırma aşamasında kullanılması, tesadüf sonuçların ortaya çıkmasına sebep olduğu da bilinmekte ve tercih edilmemektedir. Bu bilinenler ve deneysel çalışmalarımız sonucu elde edilen grafiksel sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, normal dağılıma yakın bir sonuç veren aritmetik ortalama özniteliği ile diğer özniteliklerin bir veya birkaçının bir arada kullanımıyla başarımı daha yüksek sınıflandırma yapılabileceği öngörülebilir. Bu öngörüü desteklemek maksadıyla; örnek olarak maksimum-minimum-basıklık katsayısı uzayı, maksimum-minimum-standart sapma uzayı, basıklık katsayısı- standart sapma-aritmetik ortalama uzayı ve maksimum-minimum-aritmetik ortalama uzayı oluşturulmuş ve sırasıyla Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de verilmiştir.

Bu öznitelik uzayları incelendiğinde, normal dağılıma yakın dağılım gösteren aritmetik ortalama özniteliği ihtiva etmeyen uzayların çarpık bir dağılım gösterdiği (Şekil 4.49, Şekil 4.50), aritmetik ortalama özniteliğinin bulunduğu uzayların ise normal dağılıma yaklaştıkları (Şekil 4.51, Şekil 4.52) gözlemlenmiştir.

Tablo 4.4: Standart üretimi bulunan patlayıcı numuneleri için öznitelik değerleri.

32x25	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Bombacık	5	15710	-618	1315,80	67,51	346
	10	11302	-447	1062,56	50,76	305
	15	7836	-348	810,97	35,82	240
	20	5256	-272	591,51	28,28	162
El Bombası	5	20639	-3047	1693,97	64,55	437
	10	12298	-1853	1160,98	38,02	322
	15	7571	-1160	842,98	23,98	205
	20	5320	-1108	670,28	21,09	127
60 mm Havan	5	13389	-9308	2049,94	14,10	301
	10	8610	-6364	1612,12	9,10	193
	15	6123	-4798	1312,81	6,25	50
	20	4228	-3844	1063,64	3,97	-150
81 mm Havan	5	23629	-12487	3716,58	11,60	311
	10	17120	-9563	3047,37	8,64	183
	15	12602	-7708	2551,41	6,43	24
	20	8922	-6173	2086,79	4,21	-219
M2 AP Mayını	5	24934	-976	1962,80	34,23	861
	10	12728	-776	1713,33	7,89	915
	15	9372	-470	1521,69	6,05	841
	20	7578	-358	1442,14	4,29	838
M14 AP Mayını	5	6569	-2436	551,71	23,22	132
	10	6202	-3491	517,66	28,68	151
	15	5538	-1777	404,42	43,07	118
	20	4367	-1215	336,98	36,74	100
M15 AT Mayını	5	32767	-32768	12513,33	2,37	516
	10	32767	-32768	11637,77	2,72	236
	15	32767	-32768	10029,81	3,21	-193
	20	26053	-28373	8273,42	2,62	-845
M16 AP Mayını	5	29341	-2298	3417,31	37,13	668
	10	18665	-1465	2363,50	28,65	497
	15	11165	-1328	1580,57	21,43	278
	20	8673	-416	1349,57	14,65	454
1 kg TNT Tahrip Kalıbı	5	17759	-18083	3901,92	7,48	65
	10	15189	-14460	3332,33	6,72	-68
	15	13073	-11978	2842,59	6,07	87
	20	11024	-9704	2458,05	5,56	80
Piknik Tüpü	5	34813	-10966	6064,95	8,83	1718
	10	27430	-8067	5123,14	6,67	1613
	15	22402	-6397	4420,73	5,22	1602
	20	18220	-5576	3790,87	4,21	1271

Tablo 4.5: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numuneler için öznitelik değerleri.

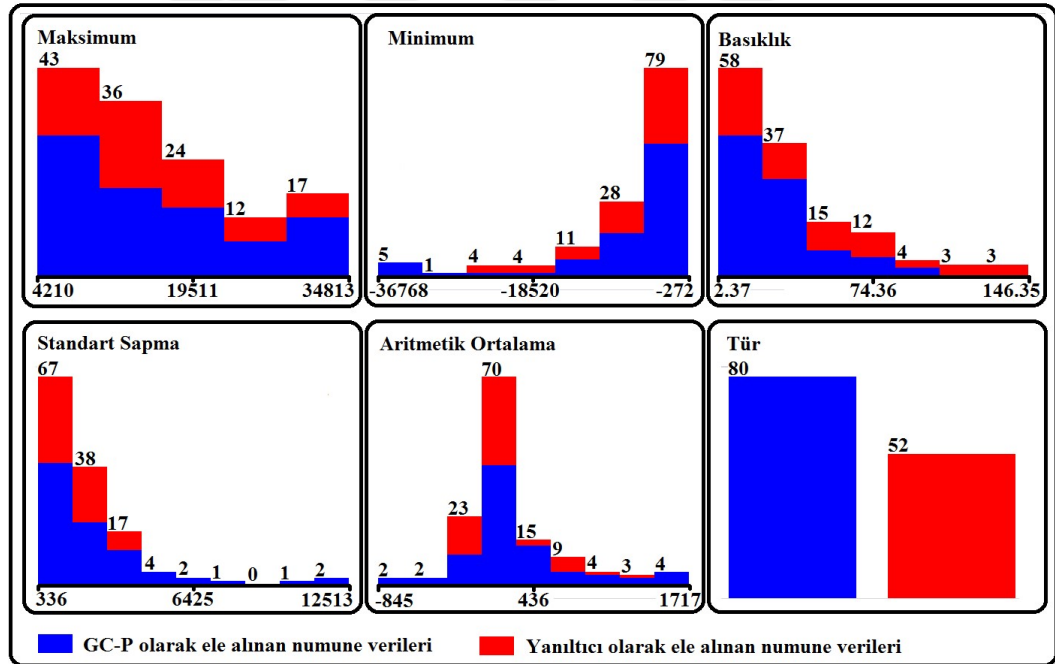
32x25	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Numune 1	5	28767	-32125	4055,25	36,38	-307
	10	28767	-23711	3285,23	38,95	-319
	15	17290	-11675	2022,56	28,50	-117
	20	7537	-8680	1565,11	7,50	-579
Numune 2	5	22607	-6044	1889,06	86,38	-39
	10	16775	-3083	1418,86	73,02	63
	15	8681	-1203	904,14	44,35	100
	20	5463	-720	634,10	30,45	114
Numune 3	5	29767	-4142	3022,47	59,50	191
	10	12302	-2340	1605,25	26,69	73
	15	7918	-1662	1188,45	19,72	126
	20	5861	-868	857,09	19,99	138
Numune 4	5	29767	-12749	3706,99	33,19	98
	10	21954	-8634	2730,57	24,22	-23
	15	14061	-6020	2069,68	18,48	69
	20	10779	-4499	1631,41	15,37	144
Numune 5	5	16830	-3015	1366,37	104,36	34
	10	8660	-2566	822,58	47,97	-62
	15	5940	-1928	672,24	29,99	-65
	20	4210	-1421	469,89	28,88	9
Numune 6	5	27574	-2417	2491,97	58,39	240
	10	18274	-1512	1940,70	43,36	227
	15	12720	-1571	1369,80	35,77	144
	20	9368	-1189	1124,29	28,62	222
Numune 7	5	32767	-32768	6663,51	15,30	947
	10	32767	-7042	5689,38	18,06	1510
	15	31606	-4282	4550,20	18,44	1311
	20	21708	-3389	3389,13	14,72	1012
Numune 8	5	19991	-9303	3059,82	13,89	356
	10	15941	-7587	2614,69	11,75	289
	15	12425	-5049	2154,65	8,82	520
	20	9569	-3845	1769,57	7,26	442
Numune 9	5	23981	-1719	2202,19	64,78	291
	10	13743	-1444	1406,14	44,03	173
	15	9301	-730	1072,43	34,91	192
	20	7464	-350	929,94	23,57	301
Numune 10	5	17943	-1513	1495,31	79,13	204
	10	11697	-1462	1086,83	53,28	152
	15	7747	-890	792,82	42,31	76
	20	5658	-817	623,71	32,06	130

Tablo 4.6: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 11-Numune 20) için
öznitelik değerleri.

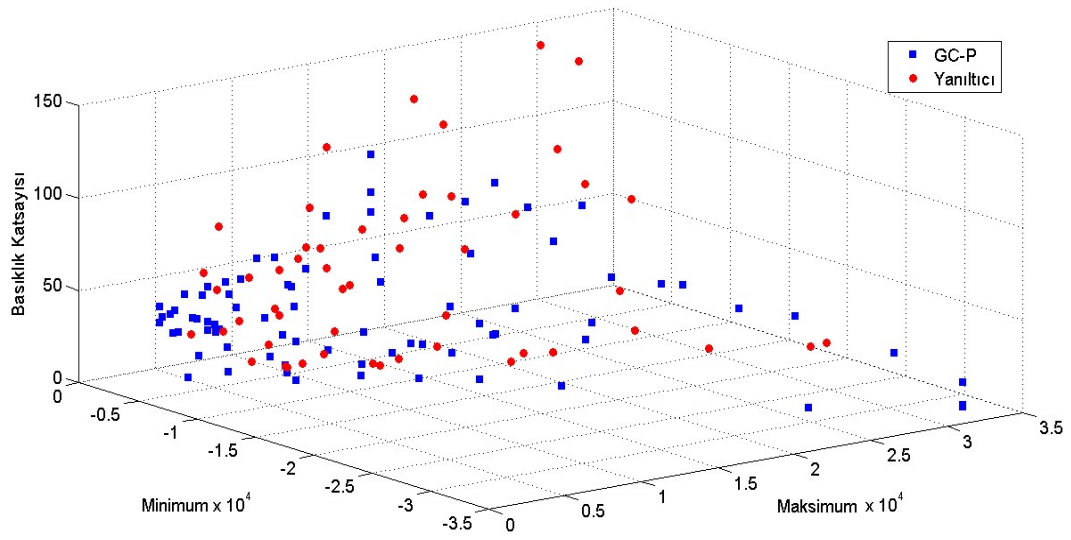
32x25	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Numune 11	5	24912	-21284	3343,82	22,59	137
	10	16737	-15099	2536,90	16,46	-54
	15	11715	-9785	1913,94	12,46	50
	20	8489	-6537	1510,16	9,16	103
Numune 12	5	13538	-4865	1454,03	39,85	91
	10	9840	-3848	1124,58	32,71	51
	15	7084	-3043	902,58	23,47	-19
	20	6093	-1592	804,07	20,47	231
Numune 13	5	23481	-16829	3031,00	25,77	-45
	10	15157	-10831	2157,77	17,87	40
	15	10670	-6969	1654,88	12,71	160
	20	7710	-4683	1292,35	8,90	193
Numune 14	5	20751	-16164	1536,70	107,74	-22
	10	16344	-10481	1224,78	96,84	-29
	15	12652	-7669	1006,66	78,74	-59
	20	10189	-6113	834,08	69,62	-74
Numune 15	5	29517	-2396	2605,44	86,84	197
	10	20889	-2107	1829,23	74,96	106
	15	12810	-2027	1259,42	51,98	77
	20	7984	-1329	875,98	41,08	119
Numune 16	5	29767	-3890	2137,03	137,33	194
	10	21651	-2849	1600,98	113,15	42
	15	13353	-2265	1100,76	79,25	-13
	20	6811	-1761	694,37	52,84	27
Numune 17	5	21525	-9202	1903,11	77,09	15
	10	16423	-6328	1453,89	77,06	-14
	15	12367	-4454	1005,02	63,24	-80
	20	8729	-3151	871,05	50,06	-37
Numune 18	5	28554	-25218	3399,98	26,48	72
	10	17842	-14677	2307,96	18,47	116
	15	11512	-10723	1812,45	13,42	32
	20	8176	-7088	1423,36	9,69	160
Numune 19	5	29236	-25721	3419,40	28,04	24
	10	18668	-16151	2523,39	20,29	112
	15	12683	-10757	1916,08	15,18	211
	20	8791	-7649	1464,19	12,21	134
Numune 20	5	15698	-6909	1333,65	62,67	48
	10	12022	-5484	1079,93	55,43	32
	15	9739	-4417	873,90	54,85	-23
	20	7248	-4182	789,88	30,71	-49

Tablo 4.7: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 21-Numune 23) için öznitelik değerleri.

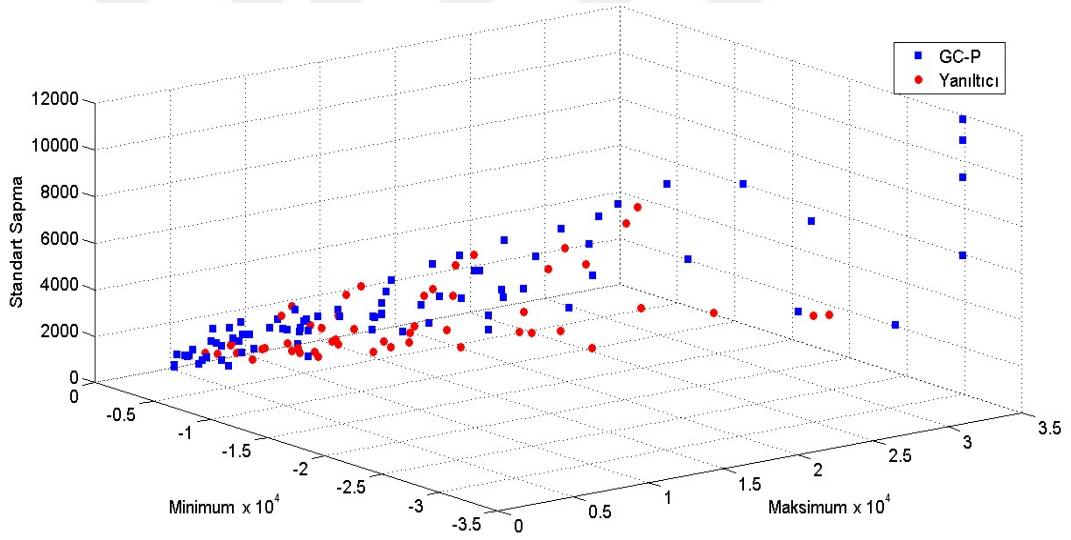
32x25	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Numune 21	5	30372	-6610	4239,33	16,86	1252
	10	20880	-4148	3196,13	13,32	988
	15	14640	-2744	2461,11	10,74	764
	20	10689	-2231	1942,53	8,69	573
Numune 22	5	34767	-1857	3670,90	50,52	861
	10	24383	-1134	2725,88	37,73	779
	15	17272	-569	2175,76	27,72	754
	20	12838	-357	1820,69	18,28	785
Numune 23	5	28101	-2758	1929,87	146,35	311
	10	20666	-1686	1505,29	126,05	284
	15	15494	-913	1161,01	106,08	255
	20	8831	-441	750,67	71,68	186



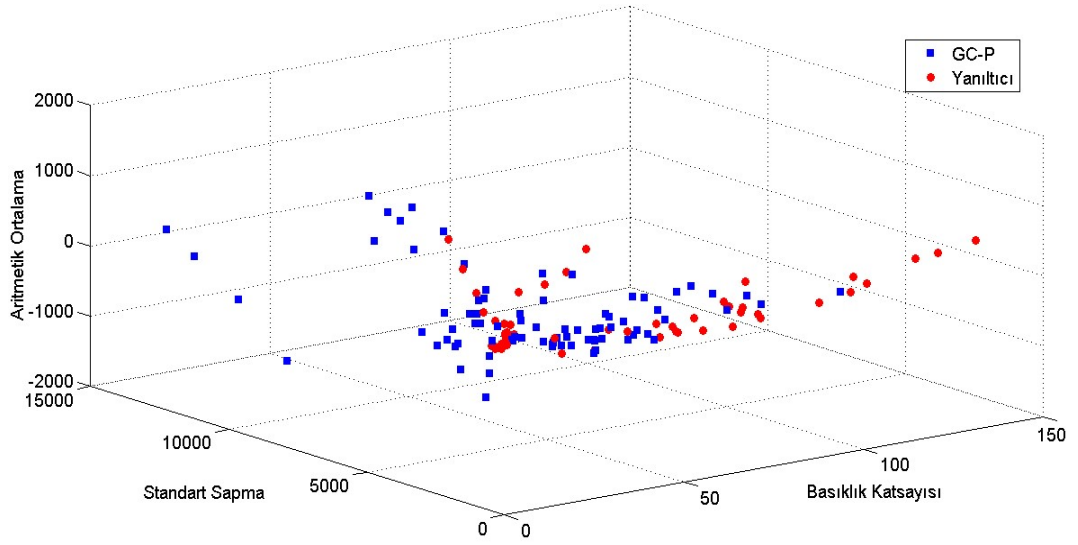
Şekil 4.48: 32x25 veri matrisleri için istatistiksel sonuçlar.



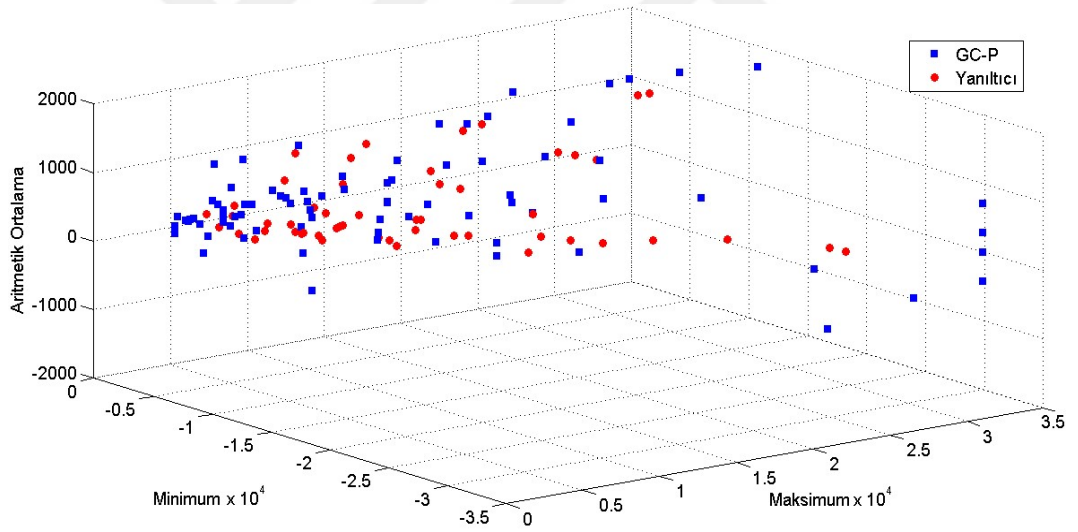
Şekil 4.49: 32x25 veri matrisleri için maksimum-minimum-basıklık katsayısı uzayı.



Şekil 4.50: 32x25 veri matrisleri için maksimum-minimum-standart sapma uzayı.



Şekil 4.51: 32x25 veri matrisleri için basıklık katsayısı-standart sapma-aritmetik ortalama uzayı.



Şekil 4.52: 32x25 veri matrisleri için maksimum-minimum-aritmetik ortalama uzayı.

Tüm öznitelik kombinasyonlarının, sınıflandırmaya etkilerini incelemek amacıyla 11 farklı öznitelik grubu oluşturulmuş ve sınıflandırma başarımı ile ilgili incelemelerde kullanılmıştır. Oluşturulan öznitelik grupları ve elemanları Tablo 4.8’de verilmiştir. Bu öznitelik grupları oluşturulurken; minimum ve maksimum öznitelikleri birlikte bir anlam ifade ettiklerinden, oluşturulan gruplarda birlikte kullanılmış veya kullanılmamışlardır.

Tablo 4.8: Öznitelik grupları ve elemanları.

	Maksimum	Minimum	Standart Sapma	Basıklık Katsayısı	Aritmetik Ortalama
Grup1	√	√		√	
Grup2	√	√	√		
Grup3	√	√			√
Grup4	√	√		√	√
Grup5	√	√	√	√	
Grup6	√	√	√		√
Grup7			√	√	√
Grup8			√	√	
Grup9				√	√
Grup10			√		√
Grup11	√	√	√	√	√

4.8 32x25 Veri Matrislerinin Sınıflandırılması

32x25 boyutundaki veri matrislerinin sınıflandırılması çalışmasında; 132 veri dizisinin 80 tanesi GC-P, 52 tanesi yanıltıcı malzeme sınıfı olarak tanımlandıktan sonra kNN sınıflandırma girdisi olarak Tablo 4.8’de verilen her bir öznitelik kombinasyonu, k=3, k=5 ve k=7 değerleri için sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Sınıflandırma sonucu ortaya çıkan Başarım (%), Güvenirlik Katsayısı (κ) ve Doğru Sınıflandırılan Eleman (DSE) sayıları kayıt altına alınmış ve elde edilen değerler Tablo 4.9’da verilmiştir. Değerlendirme sonucunda, Tablo 3.3 dikkate alınarak, güvenirlilik katsayısının 0,6’dan büyük olarak elde edildiği şartlar kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarını elde etmek için Weka 3.8.1 programından faydalanılmıştır.

Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, başarımın Grup11 özniteliklerinde k=3 olduğu durumda en fazla olduğu görülmektedir. En iyi sonuçların alındığı şart için sınıflandırma süresi 42mS olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen bu sonuç, saniyede 24 tane veri çerçevesinin işlenerek sınıflandırılabilmesi anlamına gelmektedir.

32x25 veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmalarda 7 şart için (Grup4 k=3, Grup7 k=3 ve k=7, Grup8 k=5 ve k=7, Grup11 k=3 ve k=7) güvenilirlik katsayısı 0,6'nın üzerinde gerçekleştirmiştir. Bu durum, sınıflandırmaya tabi tutulan veriler arasında “önemli derecede uyuma olması” anlamına gelmektedir.

Tablo 4.9: 32x25 veri matrisleri için kNN sınıflandırma sonuçları.

	kNN (En Yakın Komşuluk Sınıflandırma)								
	k=3			k=5			k=7		
	(%)	K	DSE	(%)	K	DSE	(%)	K	DSE
Grup1	76,51	0,50	101	75,75	0,48	100	73,48	0,42	97
Grup2	78,78	0,55	104	75,75	0,48	100	73,48	0,42	97
Grup3	78,78	0,55	104	75,01	0,48	99	68,93	0,34	91
Grup4	83,33	0,64	110	75,75	0,49	100	79,54	0,57	105
Grup5	79,54	0,56	105	79,54	0,55	105	77,27	0,50	102
Grup6	80,30	0,59	106	76,51	0,51	101	71,96	0,40	95
Grup7	82,57	0,64	109	79,54	0,58	105	81,06	0,61	107
Grup8	79,54	0,56	105	81,81	0,62	108	81,06	0,61	107
Grup9	79,54	0,57	105	79,54	0,56	105	78,78	0,54	104
Grup10	78,03	0,53	103	77,27	0,52	102	72,72	0,42	96
Grup11	86,36	0,70	114	79,54	0,57	105	81,81	0,62	108
Ortalama	80,30	0,58	106	77,82	0,53	103	76,37	0,49	101
Genel Başarım(%): 78,16 Genel K : 0,53 Genel DSE : 103									

4.9 32x25 Veri Matrislerinde Boyut İndirgeme

Numune tarama işlemleri esnasında, elde edilen gri ölçek grafiklerinin yanı sıra x-z izdüşüm grafikleri de incelenmiştir. Bu grafiklerin her numuneye özgü bazı özellikleri içerdiği görülmüştür. Bu noktadan hareketle, 32x25'lik veri paketlerinin sınıflandırmada kullanılması yerine, x-z izdüşüm sinyallerinden elde edilen veri paketlerinin kullanımının sınıflandırma başarımında ve sınıflandırma

hızında performans artışına sebep olacağı öngörülmüştür. Bu öngörüü desteklemek maksadıyla; her numune için 32x2'lik veri matrisleri oluşturulmuştur. 32x2 boyutlu veri matrislerini oluştururken, 32x25 boyutundaki veri matrisleri kaynak olarak kullanılmıştır. Diğer bir deyişle 32x25 boyutundaki veri matrislerinin boyutlarında indirgeme yapılarak, numunenin özelliklerini barındıran 32x2 boyutunda yeni bir veri matrisi oluşturulmuştur. Böylelikle 32x25 veri matrisinde 800 olan tekil veri sayısı, 32x2 veri matrisinde 64'e indirgenmiştir. Bu indirgeme ile sınıflandırma hızında önemli miktarlarda artma meydana gelmesi beklenmektedir.

Tablo 4.10: 32x2 veri matrislerinin oluşturulma aşamaları.

	1	2	3	4	.	.	.	32
1	X ₁ ,y ₁	X ₂ ,y ₁	X ₃ ,y ₁	X ₄ ,y ₁	.	.	.	X ₃₂ ,y ₁
2	X ₁ ,y ₂	X ₂ ,y ₂	X ₃ ,y ₂	X ₄ ,y ₂	.	.	.	X ₃₂ ,y ₂
3	X ₁ ,y ₃	X ₂ ,y ₃	X ₃ ,y ₃	X ₄ ,y ₃	.	.	.	X ₃₂ ,y ₃
4	X ₁ ,y ₄	X ₂ ,y ₄	X ₃ ,y ₄	X ₄ ,y ₄	.	.	.	X ₃₂ ,y ₄
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
25	X ₁ ,y ₂₅	X ₂ ,y ₂₅	X ₃ ,y ₂₅	X ₄ ,y ₂₅	.	.	.	X ₃₂ ,y ₂₅



	1	2	3	4	.	.	.	32
1	Max (Sütun1)	Max (Sütun2)	Max (Sütun3)	Max (Sütun4)	.	.	.	Max (Sütun32)
2	Min (Sütun1)	Min (Sütun2)	Min (Sütun3)	Min (Sütun4)	.	.	.	Min (Sütun32)

32x2 veri matrislerinin oluşturulması aşamasında, öncelikle 32x25 veri matrisindeki x,y çiftlerinin her sütunu için maksimum ve minimum değerleri bulunmuştur. x,y çiftlerinin maksimum değerleri 32x2 veri matrisinin 1'inci satırını, minimum değerleri 2'nci satırını oluşturmuştur. Bu işlemlerin nasıl gerçekleştiği Tablo 4.10'da sunulmuştur. Elde edilen yeni boyuttaki matrislerin

öznitelikleri çıkarılmış ve sınıflandırma işlemleri 32x2 boyutlu veri matrisleri kullanılarak tekrar edilmiştir.

4.10 32x2 Veri Matrislerinin Öznitelik Uzaylarının Oluşturulması

32x25 boyutlu veri matrislerinde boyut indirgeme sonucunda, 33 farklı numune için 32x2 boyutunda 132 farklı veri matrisi oluşmuştur. 32x2 boyutundaki bu veri matrislerinin tamamı için maksimum, minimum, standart sapma, basıklık katsayısı ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde her veri kümesi için 5 farklı öznitelik uzayı oluşturulmuş ve oluşturulan uzaylar için öznitelik değerleri Tablo 4.11, Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14’de verilmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlara ilişkin grafikler Şekil 4.53’te verilmiştir. 132 örnek veriden 80 tanesi GC-P, 52 tanesi ise yanıltıcı malzeme olarak ele alınmıştır.

İstatistiksel sonuçlar incelendiğinde maksimum özniteliklerinin (Max) pozitif çarpık, minimum özniteliklerinin (Min) negatif çarpık, basıklık katsayısı (Basıklık) özniteliklerinin pozitif çarpık, standart sapma (SS) özniteliklerinin pozitif çarpık ve aritmetik ortalama (Ort) özniteliklerinin normal dağılıma yakın bir eğilim izledikleri ortaya çıkmaktadır. 32x2 veri matrisleri için elde edilen sonuçlar, 32x25 veri matrisleri için elde edilen ve Şekil 4.48’de verilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında; minimum ve maksimum öznitelik değerlerinin eşit ve çarpıklıklarının aynı olduğu, basıklık ve standart sapma özniteliklerinin pozitif çarpıklıktan normal dağılıma doğru eğilim gösterdiği, ortalama değer özniteliğinin ise yine normal dağılıma yakın eğilim gösterdiği göze çarpmaktadır. 32x2 veri matrisi ile çıkarılan özniteliklerden basıklık ve standart sapma özniteliklerinin normal dağılıma doğru eğilim göstermesi, oluşturulan yeni matrisin sınıflandırma başarımını artıracığına dair öngörüü desteklemektedir.

Tablo 4.11: Standart üretimi bulunan patlayıcı numuneleri için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.

32x2	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Bombacık	5	15710	-618	2984,17	17,64	817
	10	11302	-447	2252,93	15,14	659
	15	7836	-348	1591,28	12,83	469
	20	5256	-272	1123,08	11,21	320
El Bombası	5	20639	-3047	4363,58	11,52	1225
	10	12298	-1853	2648,19	9,30	754
	15	7571	-1160	1737,07	7,43	460
	20	5320	-1108	1315,76	6,90	317
60 mm Havan	5	13389	-9308	4186,45	2,99	851
	10	8610	-6364	2961,91	2,44	541
	15	6123	-4798	2214,99	2,11	272
	20	4228	-3844	1658,71	1,87	-37
81 mm Havan	5	23629	-12487	7256,20	2,21	1712
	10	17120	-9563	5511,03	2,05	1164
	15	12602	-7708	4316,54	1,86	693
	20	8922	-6173	3250,17	1,64	198
M2 AP Mayını	5	24934	-976	4213,10	15,28	1589
	10	12728	-776	2856,71	5,07	1317
	15	9372	-470	2357,39	3,91	1148
	20	7578	-358	2075,36	3,13	1062
M14 AP Mayını	5	6569	-2436	1165,67	14,15	120
	10	6202	-3491	1155,08	13,75	118
	15	5538	-1777	883,36	22,03	142
	20	4367	-1215	707,47	20,24	128
M15 AT Mayını	5	32767	-32768	19116,52	-0,17	441
	10	32767	-32768	18216,40	0,02	200
	15	32767	-32768	15990,86	0,38	30
	20	26053	-28373	13055,30	0,39	-856
M16 AP Mayını	5	29341	-2298	6607,48	10,90	1885
	10	18665	-1465	4307,96	9,25	1273
	15	11165	-1328	2704,75	7,74	736
	20	8673	-416	2079,94	8,52	671
1 kg TNT Tahrip Kalıbı	5	17759	-18083	6729,87	2,47	-363
	10	15189	-14460	5602,07	2,44	-382
	15	13073	-11978	4610,37	2,43	-151
	20	11024	-9704	3925,13	2,22	-126
Piknik Tüpü	5	34813	-10966	8909,12	4,90	2522
	10	27430	-8067	7104,19	4,30	2159
	15	22402	-6397	5921,35	3,67	1997
	20	18220	-5576	4950,58	3,30	1566

Tablo 4.12: EYP’lerde kap olarak kullanılabilecek numuneler için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.

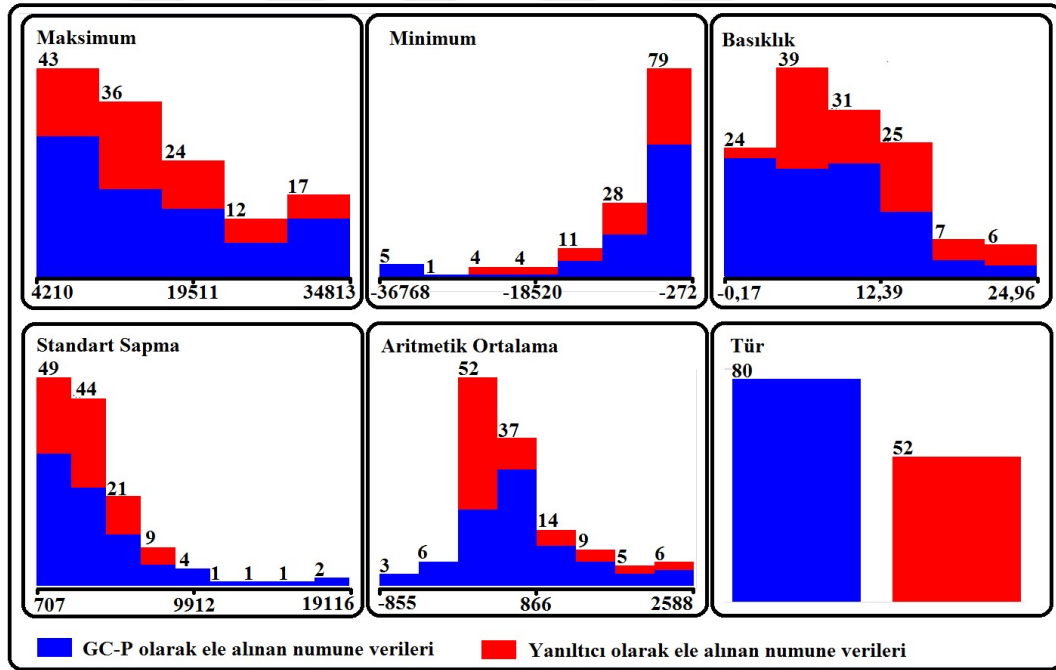
32x2	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Numune 1	5	28767	-32125	8648,86	8,16	-396
	10	28767	-23711	7195,78	9,40	-85
	15	17290	-11675	4299,30	8,47	112
	20	7537	-8680	2653,77	4,10	-482
Numune 2	5	22607	-6044	4957,81	15,13	698
	10	16775	-3083	3237,89	18,44	561
	15	8681	-1203	1852,50	12,64	366
	20	5463	-720	1195,97	10,56	283
Numune 3	5	29767	-4142	7120,37	8,61	1707
	10	12302	-2340	3336,21	5,45	727
	15	7918	-1662	2265,58	4,84	576
	20	5861	-868	1645,19	5,26	481
Numune 4	5	29767	-12749	9594,96	4,02	1740
	10	21954	-8634	6369,65	4,04	997
	15	14061	-6020	4387,72	3,62	699
	20	10779	-4499	3228,70	3,51	577
Numune 5	5	16830	-3015	3146,24	22,12	434
	10	8660	-2566	1825,27	13,90	124
	15	5940	-1928	1382,14	9,49	17
	20	4210	-1421	980,14	9,35	80
Numune 6	5	27574	-2417	5295,85	14,58	1151
	10	18274	-1512	4006,32	11,45	939
	15	12720	-1571	2771,48	9,71	585
	20	9368	-1189	2189,79	8,75	576
Numune 7	5	32767	-32768	11105,03	4,92	1231
	10	32767	-7042	8890,14	6,96	2588
	15	31606	-4282	7370,30	8,18	2269
	20	21708	-3389	5316,71	7,09	1679
Numune 8	5	19991	-9303	5170,48	6,01	726
	10	15941	-7587	4314,34	5,43	574
	15	12425	-5049	3386,85	4,61	728
	20	9569	-3845	2668,26	4,30	606
Numune 9	5	23981	-1719	4857,84	14,93	1131
	10	13743	-1444	2930,77	11,89	638
	15	9301	-730	2070,37	10,31	539
	20	7464	-350	1680,08	9,15	554
Numune 10	5	17943	-1513	3856,62	15,27	834
	10	11697	-1462	2448,23	13,86	538
	15	7747	-890	1732,47	11,67	374
	20	5658	-817	1279,55	10,01	325

Tablo 4.13: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 11-Numune 20) için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.

32x2	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Numune 11	5	24912	-21284	6240,66	7,67	375
	10	16737	-15099	4618,45	6,02	78
	15	11715	-9785	3327,07	5,05	140
	20	8489	-6537	2498,91	4,25	175
Numune 12	5	13538	-4865	3129,08	10,96	449
	10	9840	-3848	2386,73	9,54	305
	15	7084	-3043	1784,44	8,24	186
	20	6093	-1592	1474,52	8,68	373
Numune 13	5	23481	-16829	6247,98	7,67	416
	10	15157	-10831	4200,81	6,18	323
	15	10670	-6969	2964,73	5,14	337
	20	7710	-4683	2149,20	4,32	303
Numune 14	5	20751	-16164	4394,82	16,82	204
	10	16344	-10481	3372,87	16,88	235
	15	12652	-7669	2632,53	15,80	156
	20	10189	-6113	2141,72	15,18	125
Numune 15	5	29517	-2396	6200,76	16,27	1222
	10	20889	-2107	4321,45	15,79	838
	15	12810	-2027	2827,17	12,77	471
	20	7984	-1329	1813,30	11,47	416
Numune 16	5	29767	-3890	5502,96	23,17	999
	10	21651	-2849	4086,44	20,68	684
	15	13353	-2265	2713,15	16,44	330
	20	6811	-1761	1508,74	12,57	227
Numune 17	5	21525	-9202	4892,54	10,64	646
	10	16423	-6328	3456,74	13,68	419
	15	12367	-4454	2589,60	14,04	254
	20	8729	-3151	1880,52	12,49	181
Numune 18	5	28554	-25218	7463,67	6,84	352
	10	17842	-14677	4678,67	5,93	252
	15	11512	-10723	3400,14	4,69	32
	20	8176	-7088	2489,05	4,05	195
Numune 19	5	29236	-25721	7671,88	7,10	89
	10	18668	-16151	5247,61	5,80	136
	15	12683	-10757	3712,35	4,85	304
	20	8791	-7649	2700,87	4,15	224
Numune 20	5	15698	-6909	3204,93	15,07	343
	10	12022	-5484	2543,02	13,93	267
	15	9739	-4417	2106,50	13,05	169
	20	7248	-4182	1682,81	10,21	99

Tablo 4.14: Yanıltıcı özelliği taşıyan numuneler (Numune 21-Numune 23) için boyut indirgeme sonucu elde edilen öznitelik değerleri.

32x2	Mesafe	Max	Min	SS	BK	Ort
Numune 21	5	30372	-6610	7716,01	4,99	2381
	10	20880	-4148	5521,97	4,34	1771
	15	14640	-2744	4074,16	3,82	1331
	20	10689	-2231	3064,29	3,38	971
Numune 22	5	34767	-1857	7868,76	10,82	2390
	10	24383	-1134	5542,57	9,78	1826
	15	17272	-569	4104,67	8,45	1491
	20	12838	-357	3167,61	7,07	1299
Numune 23	5	28101	-2758	5084,92	24,96	1001
	10	20666	-1686	3757,09	23,82	810
	15	15494	-913	2838,63	22,06	679
	20	8831	-441	1670,73	17,45	454

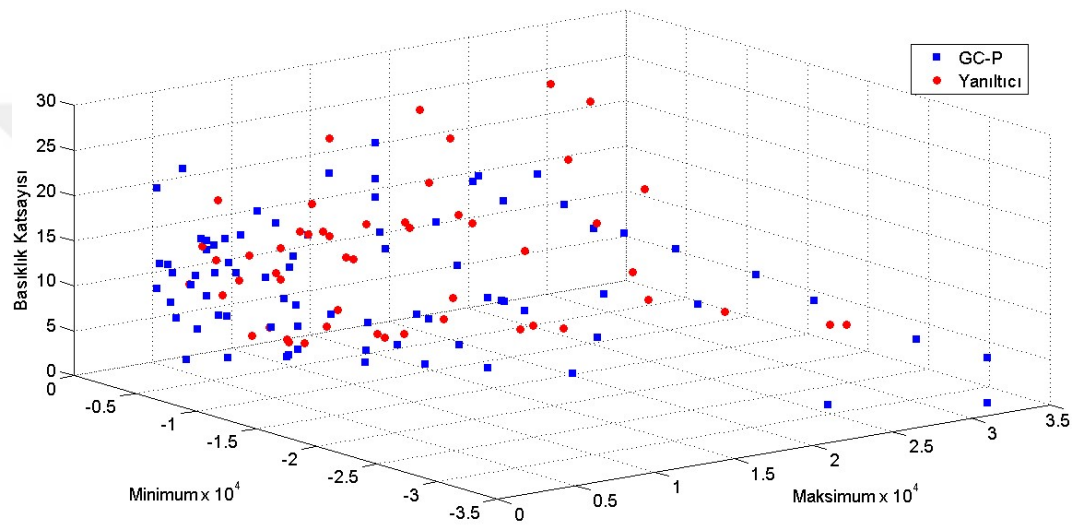


Şekil 4.53: 32x2 veri matrisleri için istatistiksel sonuçlar.

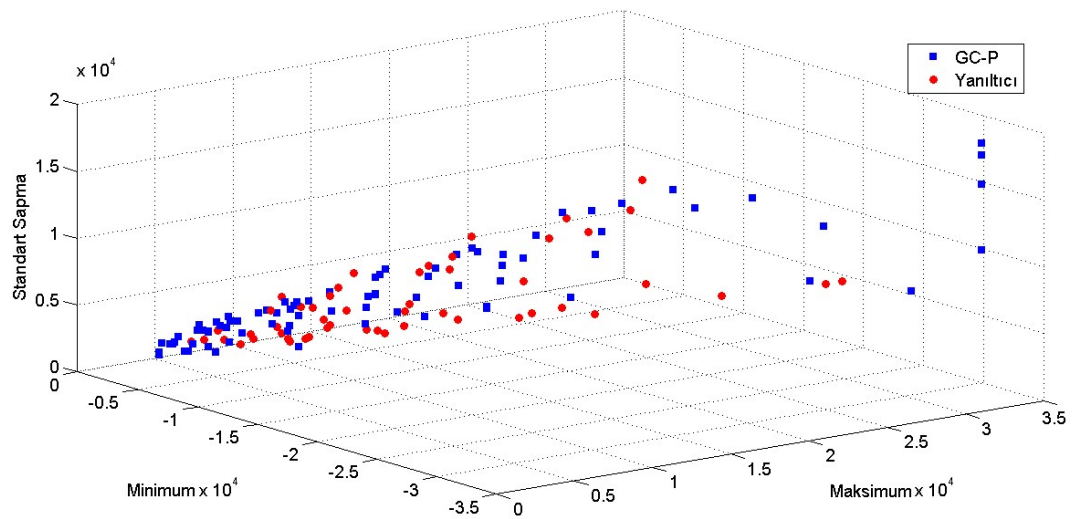
Öznitelikler arasında kombinasyonlar gerçekleştirerek sınıflandırma yapmanın başarımı artırdığı bilinmektedir. Farklı öznitelik kombinasyonlarının sınıflandırmaya etkisini incelemek amacıyla Tablo 4.8 'de verilen gruplar için öznitelik uzayları oluşturulmuştur. Örnek olarak maksimum-minimum-basıklık katsayısı uzayı, maksimum-minimum-standart sapma uzayı, basıklık katsayısı-

standart sapma-aritmetik ortalama uzayı ve maksimum-minimum-aritmetik ortalama uzayı oluşturulmuş ve sırasıyla Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56 ve Şekil 4.57’de verilmiştir.

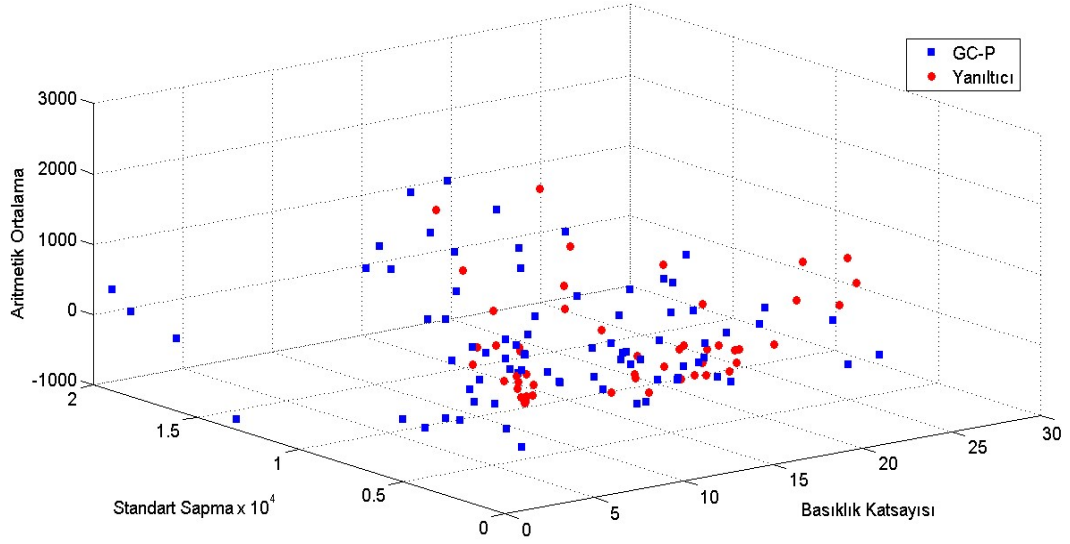
32x2 veri matrislerinin farklı öznitelik kombinasyonları incelendiğinde, içerisinde normal dağılıma yakın aritmetik ortalama özniteliği bulunan kombinasyonların sonuçlarının da normal dağılıma yakın eğilim gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca veri matrisinde yapılan indirgeme ile öznitelik kombinasyonlarında gerçekleşen veri çakışmalarında da azalma gözlemlenmiştir.



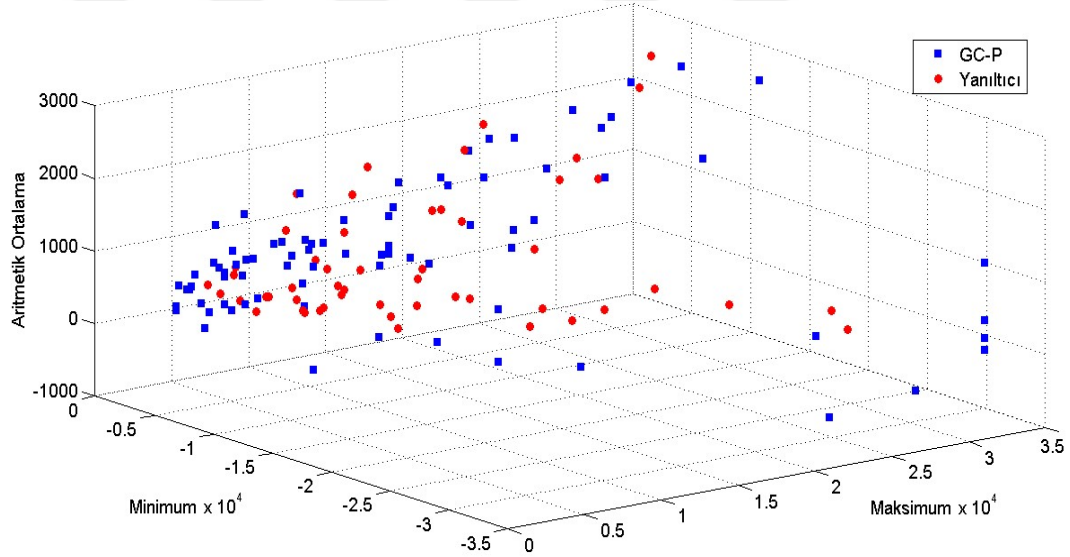
Şekil 4.54: 32x2 veri matrisleri için maksimum-minimum-basıklık katsayısı uzayı.



Şekil 4.55: 32x2 veri matrisleri için maksimum-minimum-standart sapma uzayı.



Şekil 4.56: 32x2 veri matrisleri için basıklık katsayısı-standart sapma-aritmetik ortalama uzayı.



Şekil 4.57: 32x2 veri matrisleri için maksimum-minimum-aritmetik ortalama uzayı.

4.11 32x2 Veri Matrislerinin Sınıflandırılması

Sınıflandırmaya yönelik çalışmada; 32x2 boyutundaki 132 veri dizisinin 80 tanesi GC-P, 52 tanesi yanıltıcı malzeme sınıfına dahil edilmiştir. Ardından kNN sınıflandırma girdisi olarak Tablo 4.8’de verilen her bir öznelilik kombinasyonu, $k=3$, $k=5$ ve $k=7$ değerleri için sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Sınıflandırma sonucu ortaya çıkan Başarım (%), Güvenirlik Katsayısı (κ) ve

Doğru Sınıflandırılan Eleman (DSE) sayıları kayıt altına alınmış ve Tablo 4.15'te verilmiştir. Değerlendirme sonucunda, Tablo 3.3 dikkate alınarak, güvenilirlik katsayısının 0,6'dan büyük olarak elde edildiği şartlar kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir.

Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, başarımın Grup10 ve Grup11 özniteliklerinde k=3 olduğu durumda en fazla olduğu görülmektedir. 32x25 veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmada en iyi başarım % 86,36 gerçekleşmişti. 32x2 veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmada en iyi başarımın % 87,12 elde edilmesi, başarımda bir artışın olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4.15: 32x2 veri matrisleri için kNN sınıflandırma sonuçları.

	kNN (En Yakın Komşuluk Sınıflandırma)								
	k=3			k=5			k=7		
	(%)	K	DSE	(%)	K	DSE	(%)	K	DSE
Grup1	84,09	0,64	111	78,78	0,53	104	81,81	0,61	108
Grup2	81,06	0,61	107	74,24	0,46	98	70,45	0,36	93
Grup3	83,33	0,64	110	81,06	0,61	107	73,48	0,42	97
Grup4	86,36	0,70	114	84,09	0,65	111	82,57	0,62	109
Grup5	83,33	0,63	110	78,78	0,53	104	81,81	0,61	108
Grup6	84,09	0,66	111	81,06	0,61	107	75,00	0,46	99
Grup7	85,60	0,69	113	84,84	0,67	112	78,78	0,54	104
Grup8	77,27	0,52	102	70,45	0,37	93	69,69	0,36	92
Grup9	87,12	0,72	115	79,54	0,55	105	81,81	0,61	108
Grup10	87,12	0,72	115	78,78	0,53	104	77,27	0,50	102
Grup11	84,84	0,67	112	82,57	0,62	109	82,57	0,62	109
Ortalama	84,02	0,65	111	79,47	0,56	105	77,75	0,52	103
Genel Başarım(%): 80,41 Genel K : 0,58 Genel DSE : 106									

Tablo 4.15'te en iyi sonuçların alındığı şartlar için sınıflandırma süresi 3,62 mS olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen bu sonuç, saniyede 276 tane veri

çerçevesinin işlenerek sınıflandırılabilmesi anlamına gelmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, 32x25 veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmaya göre, gerek hız ve gerekse saniyede işlenen veri çerçevesi sayısında belirgin bir performans artışı olduğunu göstermiştir.

32x2 veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmalarda 21 şart için (Grup1 k=3 ve k=7, Grup2 k=3, Grup3 k=3 ve k=5, Grup4 k=3, k=5 ve k=7, Grup5 k=3, k=5 ve k=7, Grup6 k=3 ve k=5, Grup7 k=3 ve k=5, Grup9 k=3 ve k=7, Grup10 k=3, Grup11 k=3, k=5 ve k=7) güvenilirlik katsayısı 0,6'nın üzerinde gerçekleştirmiştir. Bu durum, Tablo 3.3'e göre sınıflandırmaya tabi tutulan veriler arasında "önemli derecede uyuma olması" anlamına gelmektedir.

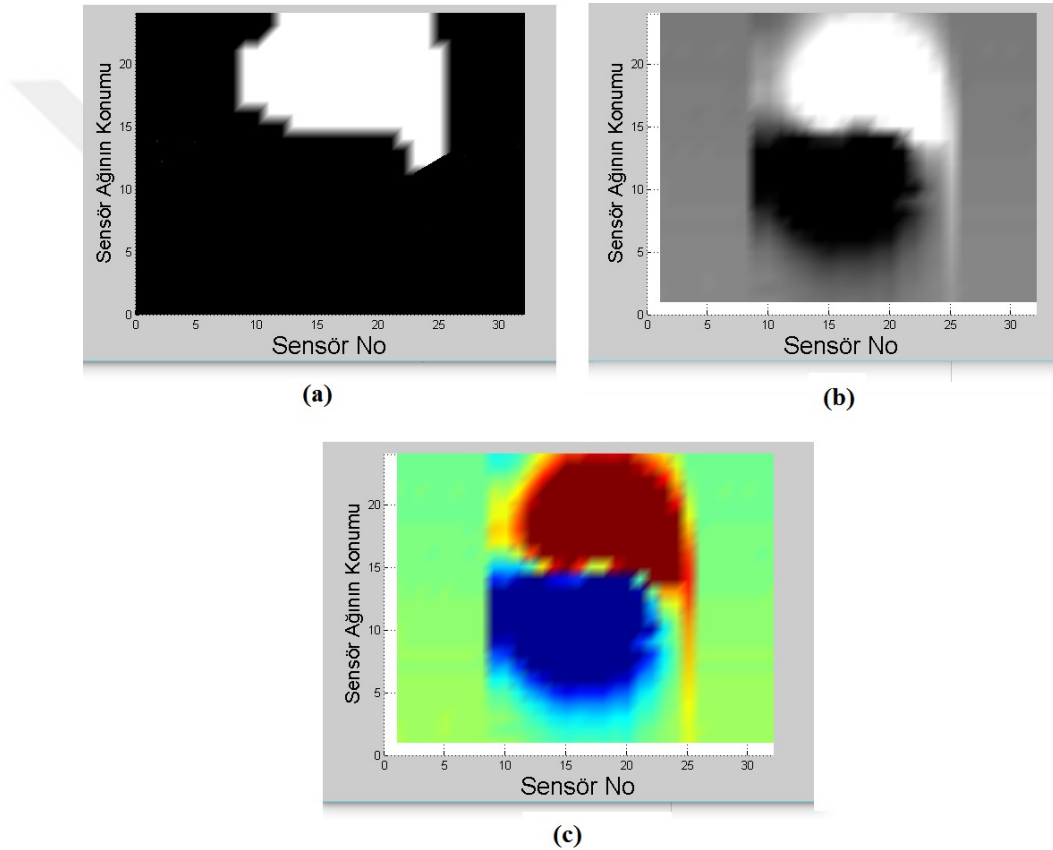


5. SONUÇLAR

Günümüzde, güvenlik güçleri için yeraltında gömülü patlayıcı ve/veya yanıtıcı cisimlerin varlığının, boyutunun ve konumunun tespit edilmesi önem arz etmektedir. Özellikle güvenlik güçlerinin kullanmış olduğu yer altı görüntüleme sistemleri; arazinin durumu, tehlikenin boyutu ve gömülü cismin tuzaklanmış olması gibi durumlara göre farklı teknikleri kullanmayı gerekli kılmaktadır. Literatür incelendiğinde; GC-P tespitine yönelik çalışmalarda yeni bir yöntem geliştirmekten ziyade, farklı birkaç tekniği bir arada kullanan, operatör tarafından kullanımı kolay olan, düşük yanlış alarm oranına sahip, güvenilir ve oldukça minimum güç tüketimli sistemleri ortaya koymak üzerine yoğunlaşıldığı göze çarpmaktadır. Pratikte kullanılan her yöntem ve sistem kendine özgü avantajları ve dezavantajları ihtiva etmektedir. Bu durumda, farklı birkaç tekniği bir arada kullanarak GC-P tespitinin gerçekleştirilmesi eğiliminin popüler olması doğal karşılanabilir. Bu noktadan hareketle; elektromanyetik indüksiyon ve yere etki eden radar gibi arazide sık tercih edilen GC-P tespit teknikleri ile entegre olarak çalışmamızda kullanmış olduğumuz, pasif ölçüm tekniği kullanarak gerçekleştirilen manyetik anomali tekniğinin kullanılabileceği ve başarılı sonuçlar alınabileceği değerlendirilmektedir. Pasif ölçüm tekniğini esas alan manyetik anomali tekniğinin tek başına kullanımında diğer yöntemlere göre bazı avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkacaktır. Bu bölümde, çalışmamızda kullanılan yöntemin kullanılması sonucu elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilen çalışmaların sonuçları ile kıyaslanarak avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Bu amaçla; yeraltında gömülü ferromanyetik içerikli cisimlerin varlığının tespiti, gömülü cismin yeraltındaki konumunun belirlenmesi, gömülü cismin tarama eksenindeki cephe genişliğinin/boyutunun tahmini, GC-P tanıma ve sınıflandırma başarımının değerlendirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Manyetik anomali yöntemi kullanılarak, tamamen pasif ölçümlerle, ferromanyetik içerikli cisimlerin yeraltındaki varlığı tespit etme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan ölçümleri için gömülü cisme herhangi bir sinyal yayını yapılmamış, dış manyetik alan olarak dünyanın doğal manyetik

alanından faydalanılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen 32x25 boyutlu veri matrislerinin işlenmesi sonucunda siyah-beyaz ölçek, gri ölçek ve renkli görüntüler elde edilmiştir. Örneğin Şekil 5.1’de, 10cm mesafeden “M15 AP mayını” için gerçekleştirilen manyetik alan taraması sonucu elde edilen görüntüler toplu halde verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde, yeraltında gömülü bir cismin varlığı anlaşılabilmektedir. İleriki kısımlarda değinileceği üzere, cismin türü (patlayıcı olup olmadığı) hakkında bilgi sahibi olmak için sınıflandırma ve sinyal işleme aşamaları gerçekleştirilmiştir. Benzer görüntüler, deneysel çalışmalar esnasında kullanılan 33 numune için de elde edilmiştir.



Şekil 5.1: M15 AT mayını için 10cm mesafeden yapılan manyetik alan tarama sonucu görüntüleri. a) Siyah-beyaz, b) Gri ölçek, c) Renkli.

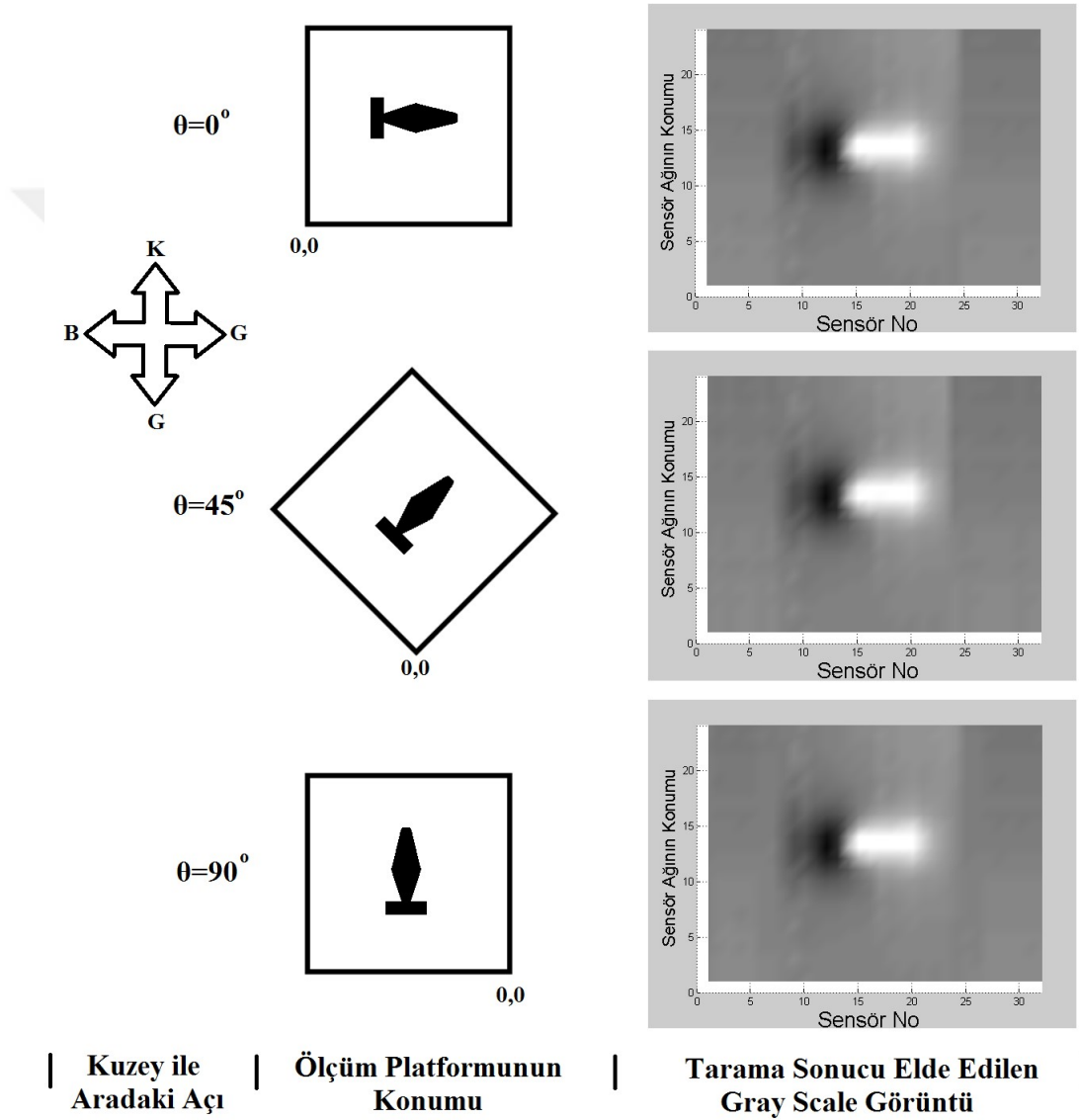
Deneysel çalışmalarda; gömülü cisimlerin varlığını tespit etmeye yönelik olarak, 20cm’ye kadar yükseklikler için 33 numunenin tamamında anlamlı gri ölçek grafikleri elde edilmiştir. Tezde, her numune için 5cm, 10cm, 15cm ve 20cm yükseklikler için elde edilen tüm gri ölçek görüntüleri Şekil 4.4-Şekil 4.36’da verilmiştir. Behboodian ve arkadaşları 8cm [33], Rajesh ve arkadaşları

10 cm [151], Cho ve arkadaşları 6cm [52], Zyada ve arkadaşları 2cm [152], Swiderski ve arkadaşları 11cm [153] mesafeden gömülü cisimlerin varlıklarını tespit etmiş ve görüntüleme işlemleri yapmışlardır. Yukarıdaki literatürlerde anlamlı sonuçlar elde edilen ölçüm yükseklikleri ile bu çalışmada tüm numuneler için anlamlı sonuçlar elde edilen yükseklikler kıyaslandığında yaklaşık %82 oranında başarımlı artışı elde edilmiş olup, bu başarımlı tamamen yukarıdaki literatürlerde kullanılan aktif ölçüm tekniklerinin aksine tamamen pasif ölçümlerle gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar gerek ölçüm yüksekliğinin artışıyla sağlanması, gerekse pasif ölçüm tekniği kullanılması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın özgün taraflarından bir tanesi de, geliştirilen sensör ağı ve ölçüm devresi sayesinde, sensör ağının pozisyonundan kaynaklı gerilim değişimlerinin azaltılmış olmasıdır. Geliştirilen ölçüm platformunun kuzey istikameti ile yaptığı farklı açılardaki pozisyonları için aynı numuneye uygulanan farklı tarama sonuçları incelendiğinde gri ölçek grafiklerde belirgin farklılıklar oluşmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ölçüm platformunun 3 farklı pozisyonunda, 60mm havan üzerinde 5cm mesafeden gerçekleştirilen tarama işleminin gri ölçek grafikleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Taramalar esnasında bu havan mermisinin ölçüm platformu içerisindeki yeri sabit tutulmuş ancak platformun kuzey istikameti ile yaptığı açı değiştirilmiştir. Şekil 5.2’den de görüleceği üzere platformun pozisyonu değişmesine yani havan mermisi ile dünyanın doğal manyetik alanının yapmış olduğu açı değişmesine rağmen gri ölçek grafiğinde gözle görülür bir değişim meydana gelmediği sonucuna varılmıştır. Bu sonuç da, çalışmamızın temelini oluşturan ölçüm devresinin, dünyanın doğal manyetik alanının ölçümler üzerinde oluşturmuş olduğu etkilerden ziyade yalnızca gömülü cisimlerin ortamda oluşturmuş oldukları manyetik anomalilere odaklanılmış olduğunu ve çalışmanın ne kadar doğru bir hipotez üzerine kurgulandığını göstermiştir.

Vyhnanek ve arkadaşları, manyetik anomali yöntemini kullanarak ve tamamen pasif ölçümler gerçekleştirerek geliştirdikleri sistemde 1cm çapında çelik nüveli bir küreyi 4cm, 6cm ve 8cm yükseklikten taramışlar ve tarama neticesinde 3 boyutlu grafikler elde etmişlerdir [121]. Çıtak, manyetik anomali

yöntemini kullandığı çalışmasında sensör olarak KMZ51 AMR sensörü kullanmış ve pasif ölçümler gerçekleştirmiştir [108]. Bu çalışmada; M14 AP mayını 0,5cm, M16 AP mayını 10,5cm, M15 AT mayını 16,5cm mesafeden algılandığı belirtilmiştir. Her iki çalışmada da, ölçüm sisteminde kullanılan sensör ağının pozisyonunun ölçüm sonuçlarını etkilemesi en önemli dezavantaj olarak karşımıza çıkarken, çalışmamızda bu dezavantajın ortadan kaldırılması önemli bir sonuç olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.2: Ölçüm platformunun farklı konumları için 60mm Havana ait manyetik alan tarama sonuçları.

Numunelerin ap-yükseklik/genişlik-boy ilişkisi ve tarama eksenindeki fiziksel boyutu (ap veya genişlik) 2,54cm hassasiyet ile tahmin edilebilmektedir. Bu değerin elde edilmesinde; sensör ağında, manyetik alan ölçümleri için kullanılan TE100 fluxgate sensörünün fiziksel boyutu etkili olmaktadır. Tarama eksenindeki tahmini boyutu belirlemek için, numunelere ait tarama bilgilerinin sadece x-z izdüşümlerinden, çap-yükseklik/genişlik-boy ilişkilerini belirlemek için ise x-z izdşmnlerinden ve gri lk grafiklerden faydalanılmıştır. Literatürde GC-P'nin boyutlarının tespitine yönelik yapılan iki önemli çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda; şensoy ve ıtak; manyetik anomali yöntemini kullanarak numune taramalarını gerçekleştirmişler ve elde ettikleri verilerden faydalanarak numunelerin çap, çapın yüksekliğine oranı ve genişlik gibi bilgilerini tahmin etmişlerdir [105, 108] . ıtak, numune tarama işlemi sonrasında elde ettiği gri lk grafiklerden faydalanarak gömülü cismin çap-yükseklik/genişlik-boy ilişkisini ve tarama eksenindeki çapını (veya genişliğini) belirlemiştir. şensoy ise numune taramalarından elde ettiği x-z izdüşüm grafiklerinin maksimum ve minimum noktalarını değerlendirerek gömülü cismin çap veya genişliğini tespit etmiştir. Her iki çalışmada da gömülü cismin çap veya genişliğinin hangi çözünürlükle tahmin edildiği belirtilmemiştir. Yapılan alışma ile bu iki literatür karşılaştırıldığında, 2,54cm'lik hassasiyet ile tarama eksenindeki cephe genişliğinin belirlenebilir olması bu çalışmanın üstünlüğünü göstermektedir. Bu tür çalışmalarda tahmin edilen çap veya genişliğin gerçek ölçülere yakınlığı, ölçüm sisteminin çözünürlüğü yani manyetik alan ölçümleri için kullanılan sensörler arası mesafe ile doğrudan ilişkilidir.

Çalışmamızda, 33 farklı numunenin taranması sonucu elde edilen 32x25 veri matrisleri ve bu veri matrislerinin indirgenmesiyle elde edilen 32x2 boyutundaki veri matrisleri kNN sınıflandırmasına tabi tutulmuştur. 32x25 boyutlu veri matrisleri için değerlendirme yapıldığında; genel başarımın %78,16 olduğu, genel güvenirlik katsayısının 0,53 olarak elde edildiği, 0,6'dan büyük güvenirlik katsayısı şartını sağlayan 7 farklı öznitelik kombinasyonunun bulunduğu ve 103 tane veri kümesinin doğru olarak sınıflandırıldığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Aynı sınıflandırma kriterleri ile 32x2 boyutlu veri matrisleri için değerlendirme yapıldığında; en iyi başarım % 87,12 olmasına rağmen genel başarımın %80,41 olduğu, genel güvenirlik katsayısının 0,58 olarak elde edildiği,

0,6'dan büyük güvenilirlik katsayısı şartını sağlayan 21 farklı öznelik kombinasyonunun bulunduğu ve 106 tane veri kümesinin doğru olarak sınıflandırıldığı sonuçlarına varılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir. 32x25 boyutlu veri matrislerinde en iyi şartları sağlayan sınıflandırma kombinasyonu için sınıflandırma süresi 42ms ve saniye başına işlenen veri çerçevesi sayısı 24 olarak elde edilmesine rağmen 32x2 boyutlu veri matrisleri için en iyi şartları sağlayan sınıflandırma kombinasyonunda sınıflandırma süresi 3,62mS ve saniyede başına işlenen veri çerçevesi sayısı 276 olarak elde edilmiştir. Sınıflandırma sonuçları karşılaştırıldığında, 32x2 boyutundaki veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmaların, 32x25 boyutlu veri matrisleri ile yapılan sınıflandırmalara nazaran daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Çalışmamızda elde edilen tüm sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde; sınıflandırıcımızın geleneksel GC-P tespit cihazlarında %50 olan yanlış alarm oranını %19,59 seviyelerine indirgeyebileceği, gerçek zamanlı bir GC-P tespit sisteminde etkin bir şekilde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Literatürde, manyetik anomali yönteminin ve pasif ölçüm tekniğinin kullanıldığı GC-P tespit çalışması için kNN sınıflandırıcısının kullanımına rastlanılmamıştır. GC-P tespit çalışmasında kNN sınıflandırıcısının kullanımı açısından çalışmamız özgün bir değer taşımaktadır.

Tablo 5.1: kNN Sınıflandırma Sonuçları.

	32x25 Veri Matrisi Sınıflandırması	32x2 Veri Matrisi Sınıflandırması
Genel Başarım(%)	78,16	80,41
Genel K	0,53	0,58
K>0,6 Şartını Sağlayan Kombinasyon Sayısı:	7	21
Genel DSE	103	106

Gömülü cisim ve patlayıcıların sınıflandırılmasına yönelik olan çalışmada; Nazlıbilek ve arkadaşları, manyetik alan ölçümleri sonucu elde ettikleri verilerin standart sapma değerlerini bulmuş, “Back-Most (BM) nesne tanıma ve sınıflandırma algoritması” adını verdikleri yöntem ile 33 yabancı nesne, 1 demir

nüve, 1 M15 AT mayını, 1 M16 AP mayını içerisinde M15 ve M16 mayınlarını ayırt etmişlerdir. Bu çalışmada sınıflandırmanın % başarımı ve süresi ile ilgili bir bilgiye yer verilmemiştir. Aynı grup tarafından yapılan diğer çalışmada; Nazlıbilek ve arkadaşları, yapay sinir ağı kullanarak, numune taramaları neticesinde elde ettikleri verileri eğitmişler ve 23 farklı numune içerisindeki M2 AP mayını ve M16 AP mayınını ayırt etmişlerdir [154]. Sezgin ve arkadaşları, EMI ile gömülü metalik cisimlerin teşhisinin nasıl gerçekleştirilebileceği konusunda çalışmışlar, tarama verilerindeki ayırt edici öznelilikler çıkartılıp yapay sinir ağı tabanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirmişlerdir [155]. Çalışmada; saklı katman nöron sayısı 40, öğrenme oranı 0,0125 seçilmiştir. 162 veri için yapılan sınıflandırmada başarımlar %92,6 olarak çıkmış, sınıflandırma süresi ile bir sonuca yer verilmemiştir. Literatürde yer alan bu çalışmalarda elde edilen sınıflandırma sonuçları ile yaptığımız sınıflandırma çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; bu çalışma ile beraber yüksek başarımlar oranları ile gerçek zamanlı gömülü patlayıcı tespit ve sınıflandırma işlemlerinde kullanılabilecek, düşük yanlış alarm oranına sahip bir sistem ortaya konulduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Sınıflandırma başarımlarını artırmak ve buna bağlı olarak yanlış alarm oranını azaltmak için, numunelere ait daha fazla tanımlayıcı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için çalışmamızda 5cm, 10cm, 15cm ve 20cm mesafelerden yapılan taramalar bazı ara değerler için de gerçekleştirilerek, veri uzayının eleman sayısı artırılabilir. Bunun yanı sıra 33 olan numune sayısı artırılarak tanımlaması yapılan patlayıcı veya yanıltıcı malzeme sayısı artırılabilir ve böylelikle sınıflandırma başarımlarında artış sağlanabilir. Veri uzayının boyutunda meydana gelecek artışın, sınıflandırma hızını yavaşlatacağı göz ardı edilmemesi gereken bir husustur.

33 farklı numuneden manyetik alan taramaları neticesinde elde edilen 32x25 boyutundaki ham veri kümelerinin ve 32x2 boyutlu veri matrislerinin, çalışmamızda kullanılanlardan farklı öznelilik değerleri hesaplanarak sınıflandırma başarımlarına etkilerinin incelenmesi ve farklı sınıflandırma metodlarına uygulanması farklı çalışma konularına temel teşkil edebilir.

Mobil bir aracın ön bölümüne çalışmamız kapsamında geliştirilen sensör ağı ve ölçüm donanımı, arka kısmına ise GPR ve EMI yöntemlerini kullanan tespit sistemleri yerleştirilerek taktik sahada etkin bir şekilde kullanılabilecek bir gömülü patlayıcı tespit sistemi ortaya konulabilir. Farklı yöntemlerin bu şekilde bir arada kullanılması sayesinde, sistemlerin tek başlarına kullanımıyla ortaya çıkan mahsurların büyük bir kısmı ortadan kaldırılmış ve güvenlik güçleri için emniyetli bir intikal sahası oluşturulmuş olacaktır.



6. KAYNAKLAR

- [1] Monin, L. and Gallimore, A., *The Devil's Gardens: A History of Landmines*, London, Pimlico, (2002).
- [2] International Campaign to Ban Landmines and Cluster Munition Coalition (ICBL-CMC), "Landmine Monitor", *Landmine Report*, Report 2014, (2014).
- [3] Resmi Gazete, "Milli Mayın Faaliyet Merkezi Kurulmasına İlişkin Kanun ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun", (09 Ocak 2017), <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150203-12.htm>, (2015).
- [4] Muscio, A., Corticelli, M.A., "Land Mine Detection by Infrared Thermography Reduction of Size and Duration of the Experiments", *IEEE Transaction On Geoscience and Remote Sensing*, 42 (9), 1955-1964, (2004).
- [5] Brooks, F.D., Buffler, A. and Allie, M.S., "Detection of anti-personnel landmines using neutrons and gamma-rays", *Radiation Physics*, 71 (3-4), 749-757, (2004).
- [6] Ege, Y., Kakilli, A. and Kılıç, O., "Performance Analysis of Techniques Used for Determining Land Mines", *International Journal of Geosciences*, 5 (10), 1163-1189, (2014).
- [7] E.M.A. Hussein, E.J. Waller, "Landmine Detection: the Problem and the Challenge", *Applied Radiation and Isotopes*, 53 (4-5), 557-563, (2000).
- [8] Fatah, A.A., Arcilesi, R.D. and Clindock J.A., *Guide for the Selection of Explosives Detection and Blast Mitigation Equipment for Emergency First Responders*, Washington, Preparedness Directorate Office of Grants and Training, (2008).

- [9] Şen, N., Üzek, U. ve Aksoy Ç., “Farklı Yapıdaki Organik Patlayıcı Maddelerin LC-MS-MS ile Belirlenmesi”, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10 (1), 95-106, (2015).
- [10] Gortney, W.E., *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, USA, (2010).
- [11] Gortney, W.E., *Counter-Improvised Explosive Device Operations*, USA, (2012).
- [12] Bingöl, O., “PKK ve El Yapımı Patlayıcılar (EYP): Asimetrik Güç, Stratejik Zafiyet”, *Merkez Strateji Enstitüsü Raporu*, Rapor No:011, (2015).
- [13] Bingöl, O., “EYP (El Yapımı Patlayıcılar)” , *Merkez Strateji Enstitüsü Raporu*, Sonuç Raporu:1, (2015).
- [14] Bingöl, O., “EYP (El Yapımı Patlayıcılar)”, *Merkez Strateji Enstitüsü Raporu*, Sonuç Raporu:2, (2015).
- [15] Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu, “Bakır Elektrikli Kapsul”, (09 Ocak 2017), <http://www.mkek.gov.tr/tr/Urunler.aspx?UrunID=168>, (2017).
- [16] Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu, “Alüminyum Elektrikli Kapsul”, (09 Ocak 2017), <http://www.mkek.gov.tr/tr/Urunler.aspx?UrunID=169>, (2017).
- [17] Barrowes, B.E., Shubitidzeb, F. and Grzegorzyc, T.M., “Pedemis: a Portable Electromagnetic Induction Sensor with Integrated Positioning”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [18] Miller, J.S., Billings, S. and Keranen, J., “Large loop EMI sensor for detection of deeply buried munitions in magnetic soils”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [19] McFee, J.E., Faust, A.A. and Andrews, H.R., “Improved Thermal Neutron Activation Sensor For Detection of Bulk Explosives”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).

- [20] Fernandéz, J.P., Barrowes, B. and Bijamov, A., “Optimizing EMI transmitter and receiver configurations to enhance detection and identification of small and deep metallic targets”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [21] Shubitidze, F., Fernandéz, J.P. and Shamatava, I., “Inversion-free discrimination of unexploded ordnance in real time”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [22] Goldberg, S., Glenn, T. and Wilson, J.W., “Landmine Detection Using Two-Tapped Joint Orthogonal Matching Pursuits”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [23] Malof, J.M., Morton, K.D. and Collins, L.M., “Processing forward-looking data for anomaly detection: single-look, multi-look, and spatial classification”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [24] Shaw, A.K., Rahn, D. and Depoy, R., “Fusion of UHF-SAR with LIDAR Elevation for Precise Buried Object Detection”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [25] Baysoy, D.Y., “ Nükleer Teknikler Kullanan Bir Mayın Algılama Sisteminin Tasarımı ve Sayısal Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).
- [26] Kalender, O., “Geçmişten Günümüze Mayın Belirleme Çalışmaları ve Manyetik Anomali Yöntemi ile Kara Mayınlarının Belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 11 (1), 1-8, (2008).
- [27] Kim, M.S. and Lee, S.K., “Detection of Leak Acoustic Signal in Buried Gas Pipe Based on the Time–Frequency Analysis”, *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries*, 22 (6), 990-994, (2009).
- [28] Bentley, P.G., Dawson, D.G. and Prine, D.W., “An Evaluation of Acoustic Emission for the Detection of Defects Produced During Fusion Welding of Mild and Stainless Steels”, *NDT International*, 15 (5), 243-249, (1982).

- [29] Choudhury, A. and Tandon, N., “Application of Acoustic Emission Technique for the Detection of Defects in Rolling Element Bearings”, *Tribology International*, 33 (1), 39-45, (2000).
- [30] Jemielniak, K. and Otman, O., “Tool Failure Detection Based on Analysis of Acoustic Emission Signals”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 76 (1-3), 192-197, (1998).
- [31] Zaitseva, V., Nazarova, V. And Gusevb, V., “Novel Nonlinear-Modulation Acoustic Technique for Crack Detection”, *Ndt&E International*, 39 (3), 184-194, (2006).
- [32] Khalil, A., Hotait, H., Mrad, M. and Rabbani,T., “Experimantel Mine Detection Using Acoustic to Seismic Approach”, *American University of Beirut Faculty of Engineering and Architecture Department of Electrical and Computer Engineering*, Beirut, Lübnan, May 23, (2006).
- [33] Behboodian, A., Scott, W.R. and McClellan, J.H., “Signal Processing Of Elastic Surface Waves For Localizing Buried Land Mines”, *Signals-Systems and Computers '99*, 2, 827-830, (1999).
- [34] Zeng, Y.Q. and Liu,Q.H., “Acoustic Detection Of Buried Object In 3-D Fluid Saturated Porous Media: Numerical Modeling”, *IEEE Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 39 (6), 1165-1173, (2001).
- [35] Khalil, A., Hotait, H., Mrad, Mohamad. and Rabbani, T., “Experimantel Mine Detection Using Acoustic to Seismic Approach”, *American University of Beirut Faculty of Engineering and Architecture Department of Electrical and Computer Engineering*, Beirut, Lübnan, May 23, (2006).
- [36] Robledo, L., Carrasco, M. and Mery, D., “A Survey of Land Mine Detection Technology”, *International Journal of Remote Sensing*, 30 (9), 2399-2410, (2009).
- [37] Griffin, S. and Pippett, T., “Ground Penetrating Radar”, *Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration*, CRCLEME Open File Report 144, 80-89, (2002).

- [38] Conyers, L.B., *Ground-penetrating Radar for Archaeology*, Altamira Press, Walnut Creek, California, (2004).
- [39] Harry, M.J., *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*, Elsevier Science, (2009).
- [40] Frigui, H. and Gader, P., "Detection and Discrimination of Land Mines in Ground-Penetrating Radar Based on Edge Histogram Descriptors and a PossibilisticK-Nearest Neighbor Classifier", *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, 17 (1), 185-199, (2009).
- [41] Evren, E., "Ground Penetrating Radar / JEORADAR", (9 Ocak 2017), <http://web.itu.edu.tr/evrene/GPR.html>, (2013).
- [42] Davis, J.L., and Annan, A.P., "Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy", *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551, (1989).
- [43] Green, A., Gross, R., Holliger, K., Horstmeyer, H., and Baldwin, J., "Results of 3-D georadar surveying and trenching the San Andreas fault near its northern landward limit", *Tectonophysics*, 368,7-23, (2003).
- [44] Harari, Z., "Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stritigraphic features and groundwater in sand dunes", *J. Applied Geophysics*, 36, 43-52, (1996).
- [45] Changryol, K., Daniels, J. J., Guy, E., Radzevicius, S. J., and Holt, J., "Residual hydrocarbons in a water-saturated medium: A detection strategy using ground penetrating radar", *Environmental Geosciences*, 7 (4), 169-176, (2000).
- [46] Sambuelli, L., Socco, L.V., and Brecciaroli, L., "Acquisition and processing of electric, magnetic and GPR data on a Roman site (Victimulae, Salussola, Biella)", *Journal of Applied Geophysics*, 41, 189-204, (1999).

- [47] Belli, K., Rappaport, C. and Wadia, F.S., “Forward Time Domain Ground Penetrating Radar Modeling of Scattering from Anomalies in the Presence of Steel Reinforcements”, *Research In Nondestructive Evaluation*, 20(4), 193-214, (2009).
- [48] Cardelli, E., Marrone, C., and Orlando, L., “Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods”, *Journal of Applied Geophysics*, 52, 93-102, (2003).
- [49] Millot, P. And Berges, A., “Ground Based S.A.R. Imaging Tool For The Desing Of Buried Mine Detector”, *Detection of Abandoned Land Mines Conference '96*, 431, 157-159, (1996).
- [50] Tanaka, R. and Sato, M., “A GPR System Using A Broadband Passive Optical Sensor For Land Mine Detection”, *10th International Conference On Ground Penetrating Radar*, 171-174, (2004).
- [51] Rhebergen, J.B. and Van Wijk, R., “Model Based Detection and Identification of Land –Mine Signatures in GPR Data”, *10th International Conference on Ground Penetrating Radar*, 677-680, (2004).
- [52] Cho, S.J., Tanaka, R. and Sato, M., “Bistatic GPR By Using an Optical electric Field Sensor”, *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 348-351, (2005).
- [53] Chun, C.Z., Ling, J.K. and Zeheng, O.Z., “Research On Fast Synthetic Aperture Imaging Method For Ground Penetrating Radar in Subsurface Object Detection”, *Communications-Circuits and Systems Conference*, 2, 777-779, (2004).
- [54] Chan, L.C., Peters, Jr.Leon. and Moffatt, D.L., “Improved Performance Of a Subsurface Radar Target Identification System Through Antenna Desing” *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, 29 (2), 307-311, (1981).
- [55] TÜBİTAK, “ETMTS-2”, (09 Ocak 2017), <https://www.tubitak.gov.tr/tr/ar-ge-faaliyetlerimiz/urun-ve-projeler/icerik-uc-boyutlu-mayin-dedektoru>, (2017).

- [56] Zeng, Y.Q., “Acoustic Detection Of Buried Object In 3-D Fluid Saturated Porous Media: Numerical Modeling”, *IEEE Transaction On Geoscience And Remote Sensing*, 39 (6), 1165-1173, (2001).
- [57] Ege, Y., “Ferromanyetik Malzemelerin Yüzey Manyetik Akı Profilinin Dedeksiyonu ve Uygulamaları”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Ana Bilim Dalı, Balıkesir, (2005).
- [58] Collins, L., Gao, P. and Tantom, S., “Model-based Statistical Signal Processing Using Electromagnetic Induction Data for Landmine Detection and Classification”, *IEEE Workshop On Statistical Signal Processing Proceedings'01*, 162-165, (2001).
- [59] Sun, Y.S., Ouyang, T.H., Yang, X.L. and Zhu, H.O., “Magnetic Carpet Probe for Large Area Instant Crack/Corrosion Detection and Health Monitoring”, *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 894, 926-933, (2007).
- [60] Soleimani, M., “Improving the Temporal Resolution of Magnetic Induction Tomography for Molten Metal Flow Visualization”, *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, 59 (3), (2010).
- [61] Keiswetter, D., Won, I.J., Barrow, B. and Bell, T., “Object Identification Using Multifrequency EMI Data”, *Proceedings of The Symposium on The Application of Geophysics to Engineering And Environmental Problems*, 743-751, (1999).
- [62] Riggs, L.S., Mooney, J.E. and Lawrence, D.E., “Identification of Metallic Mine-Like Objects Using Low Frequency Magnetic Fields”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39 (1), (2001).
- [63] Sower, G.D. and Cave, S.P., “Detection and Identification of Mines From Natural Magnetic and Electromagnetic Resonances”, *Detection Technologies for Mines and Minelike Targets*, 2496, 1015-1024, (1995).
- [64] Ramachandran, G., Gader, P.D. and Wilson, N., “ GRANMA:Gradient Angle Model Algorithm on Wideband EMI Data for Land-Mine Detection”, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7 (3), (2010).

- [65] Rennie, C., Arendse, B., Inggs, M.R. and Langman, A., “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*, 458, 182-186, (1998).
- [66] Svensson, L. and Lundberg, M., “Dual-Band Land Mine Detection Using a Bayesian Approach”, *Acoustic-Speech and Signal Processing*, 2, 1297-1300, (2002).
- [67] Blauch, A.J., Schiano, J.L. and Ginsberg, M.D., “Landmine Detection Using Feedback NQR”, *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets IV Conference*, Orlando, (1999).
- [68] Ostafin, M. and Nogaj, B., “¹⁴N-NQR Based Device for Detection of Explosives in Landmines”, *Measurement*, 40 (1), 43-54, (2007).
- [69] Bray, P.J., Emerson, J.F., Donghoon, L., Feller, S.A., Bain, D.L. and Feil, D.A., “NMR and NQR Studies of Glass Structure”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 129 (1-3), 240-248, (1991).
- [70] Brinkmann, D., “NMR/NQR in the Antiferromagnetic Parent Compounds of High-Temperature Superconductors” *Journal of Alloys and Compounds*, 326 (1-2), 7-14, (2001).
- [71] Ainbinder, N. E., Azheganov, A. S., Danilov, A. V. and Shestakova, N. K., “Application of the NQR method for studying Polymer Materials”, *Journal of Molecular Structure*, 345, 105-112, (1995).
- [72] Osan, T.M., Cerioni, L.M.C., Forguez, J., Olle, J.M. and Pusiol, D.J., “NQR: From Imaging to Explosives and Drugs Detection”, *Physica B*, 389 (1), 45-50, (2007).
- [73] Deas, R.M. and Belvoir, F., “Landmine Detection by Nuclear Quadrupole Resonance (NQR)”, (9 Ocak 2017), <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA431654>, (2004).

- [74] Garroway, A.N., Buess, M.L., Miller, J.B., Suits, B.H., Hibbs, A.D., Barrall, G.A., et al, "Remote sensing by nuclear quadrupole resonance" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(6):1108-1118, (2001).
- [75] Baysoy, D.Y. ve Subaşı, M., "Nötronlarla İndüklenmiş Gama Işınlının Ölçülmesiyle Kara-Mayınlarının Tespit Edilmesi", *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 61-69, (2009).
- [76] McFee, J.E., Faust, A.A., Andrews, H.R., Kovaltchouk, V., Clifford, E.T. and Ing, H., "A Comparison of Fast Inorganic Scintillators for Thermal Neutron Analysis Landmine Detection", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 56 (3), (2009).
- [77] Clifford, E.T.H., McFee, J.E., Ing, H., H.R. Andrews, D. Tennant, E. Harper and A.A. Faust, "A Militarily Fielded Thermal Neutron Activation Sensor for Landmine Detection", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 418-425, (2007).
- [78] Bom, V., Ali, M.A. and van Eijk, C.W.E., "Land Mine Detection With Neutron Back Scattering Imaging Using a Neutron Generator", *IEEE Transactions On Nuclear Science*, 53 (1), 356-360, (2006).
- [79] Bom, V.R., Datema, C.P. and van Eijk, C.W.E., "The status of the Delft University Neutron Backscatter Landmine Detector (DUNBLAD)", *Applied Radiation and Isotopes*, 61, 21-25, (2004).
- [80] Nayak, P.K., Wierczinski, B. and Lahiri, S., "Rare-Earth Elemental Analysis of Banded Ion-Formations by Instrumental Neutron Activation Analysis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 278 (1), 179-184, (2008).
- [81] Vieira, B. J., Landsberger, S. and Freitas, M. C., "Evaluation of Atmospheric Airborne Particles in Lisbon, Portugal Using Neutron Activation Analysis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 270 (1), 47-53, (2006).

- [82] Abugassa, I.O., Bashir, A.T., Doubali, K., Etwir, R.H., Abu-Enawel, M. and Abugassa, S.O., "Characterization of Trace Elements in Medicinal Herbs by Instrumental Neutron Activation Analysis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 278 (3), 559-563, (2008).
- [83] Okada, Y. and Hirai, S., "Determination of Trace Elements in Certified Iron and Steel Standard Materials by Instrumental Neutron Activation Analysis", *Journal of The Iron and Steel Institute of Japan*, 93 (2), 111-115, (2007).
- [84] Tracerco, D.B., "The Development of Novel Radioisotope Inspection Techniques to Allow Determination of Liquid Levels within Submerged Tankers and the Integrity of Subsea Structures", *Oceans 2007 Europe International Conference*, 1-3, 83-87, (2007).
- [85] Glascock, M. D. and Neff, H., "Neutron Activation Analysis and Provenance Research in Archaeology", *Measurement Science and Thechnology*, 14 (9), 1516-1526, (2003).
- [86] Miri-Hakimabad, H., Vejdani-Noghreiyani, A. and Panjeh, H., "The Safety of a Landmine Detection System Using Graphite and Polyethylene Moderator", *Iran Journal of Radiation*, 5 (3), (2007).
- [87] Sood, D.D., Rosengard, U. and Trkov, A., "Development of Nuclear Technique for the Detection of Landmines", *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VIII*, 5089 Pages, 13-24, (2003).
- [88] Miri-Hakimabad, H., Panjeh, H. and Vejdani-noghreiyani, A., "Experimental optimization of a landmine detection facility using PGNA method", *Nuclear Science and Techniques*, 19 (2), 109-112, (2008).
- [89] Im, H.J., Cho, H.J. and Song, B.J. "Analytical Capability of an Explosives Detection by a Prompt Gamma-ray Neutron Activation Analysis", *Nuclear Instruments and Methods in Physics*, 566 (2), 442-447, (2006).

- [90] Burgett, R., Aranchuk, V., Aranchuk, I. ,“Experimental investigation of buried landmine detection using time division multiplexing of multi-beam laser Doppler vibrometer channels”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357 , (2012).
- [91] Aranchuk, V., Lala, A.K., Hessa, C.F., Sabatierb, J.M. and Burgett, R.D., ”Speckle noise in a continuously scanning multi-beam laser Doppler vibrometer for acoustic landmine detection”, *The International Society for Optical Engineering* , 6217, (2006).
- [92] Han, J.S. and Park, J.H., “Detection of Corrosion Steel Under an Organic Coating by Infrared Photography”, *Corrosion Science*, 46 (4), 787-793, (2004).
- [93] Price, S.D. and Egan, M.P., “Spaced Based Infrared Detection and Characterization of Near Earth Objects”, *Advances in Space Research*, 28 (8), 117-1127, (2001).
- [94] Brett, D.J.L., Aguiar, P., Clague, R., Marquis, A.J., Schöttl, S., Simpson, R. and Brandon, N.P., “Application of Infrared Thermal Imaging to the Study of Pellet Solid Oxide Fuel Cells”, *Journal Of Power Sources*, 166 (1), 112-119, (2007).
- [95] Meola, C., “A New Approach for Estimation of Defects Detection with Infrared Thermography”, *Materials Letters*, 61 (3), 747-750, (2007).
- [96] Deans, J., Gerhard, J. and Carter, L.J., “Analysis of a Thermal Imaging Method for Landmine Detection, Using Infrared Heating of the Sand Surface”, *Infrared Physics & Technology*, 48 (3), 202-216, (2006).
- [97] Lopez, P., Vilarino, D.L., Cabello, D., Sahli, H. And Balsi, M., “CNN Based 3D Thermal Modeling of the Soil for Antipersonnel Mine Detection”, *7th IEEE International Workshop Conference*, 307-314, (2002).
- [98] Tobely, T.E. and Salem, A., “Position Detection of Unexploded Ordnance From Airborne Magnetic Anomaly Data Using 3-D Self Organized Feature Map”, *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, 322-327, (2005).

- [99] Nazlıbilek, S., Kalender O. ve Ege Y., "Mine Identification and Classification by Mobile Sensor Network Using Magnetic Anomaly", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60 (3), 1028-1036, (2011).
- [100] Ege, Y., Kalender, O. ve Nazlıbilek, S., "Direction finding of moving ferromagnetic objects inside water by magnetic anomaly", *Sensors and Actuators A*, 147, 52-59, (2008).
- [101] Nazlıbilek, S., Kalender, O. ve Ege, Y., "A multi-sensor network for direction finding of moving ferromagnetic objects inside water by magnetic anomaly", *Measurement*, 42, 1402-1416, (2009).
- [102] Clem, T.R., "Sensor Technologies for Hunting Buried Sea Mines", *Oceans 02 MTS/IEEE Conference*, 1, 452-460, (2002).
- [103] Sheinker, A., Salomonski, N., Ginzburg, B., Frumkis, L. and Kaplan, B.Z., "Aeromagnetic Search Using Genetic Algorithm", *Progress In Electromagnetics Research Symposium '05*, 492-495, (2005).
- [104] El Tobelyl, T. and Salem, A., "Position Detection of Unexploded Ordnance From Airborne Magnetic Anomaly Data Using 3-D Self Organized Feature Map", *5th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, 1-2, 322-327, (2005).
- [105] Şensoy, M.G., "Manyetik Karakteristikteki Malzemelerin Manyetik Alanda Oluşturdukları Anomali İle Belirlenmesi Ve Oluşan Anomaliye Göre Manyetik Malzemenin Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2010).
- [106] Gooneratne, C.P., Mukhopahyay, S.C. and Gupta, G.S. "A Review of Sensing Technologies for Landmine Detection, Unmanned Vehicle Based Approach", *2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents*, 401-407, (2004).
- [107] Lenz, J.E., "A Review of Magnetic Sensors", *Proceedings of The IEEE*, 78 (6), (1990).

- [108] Çıtak, H., “Fiziksel Özelliği Bilinmeyen Gömülü Manyetik Malzemelerin Üst Yüzey Manyetik Akı Profiline Manyetik Sensör Ağı İle Belirlenmesi ve Malzemeyi Tanımlamadaki Etkinliği”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2014).
- [109] Caruso, M.J. and Withanawasam, L.S., “Vehicle Detection and Compass Applications Using AMR Magnetic Sensors”, *Honeywell*, 1-13, (2017).
- [110] Kang, M.H., Choi, B.W., Koh, K.C., Lee, J.H. and Park, G.T., “Experimental Study of a Vehicle Detector with an AMR Sensor”, *Sensors and Actuators A-Physical*, 118 (2), 278-284, (2005).
- [111] Klein, L.A., Kelley, M.R. and Mills, M.K., “Evaluation of Overhead and In-Ground Vehicle Detector Technologies for Traffic Flow Measurement”, *Journal of Testing and Evaluation*, 25 (2), 205-214, (1997).
- [112] Dimitropoulos, K., Grammalidis, N., Gragopoulos, I., Gao, H., Heuer, Th., Weinmann, M., et al, “Detection, Tracking and Classification of Vehicles and Aircraft Based on Magnetic Sensing Technology”, *Word Academy of Science, Engineering and Teechnology*, 2 (7), 940-945, (2006).
- [113] Wen, Y. and Pan, N., “Vehicle Detection Based on Magnetic Declination”, *Proceedings Of The 27th Chinese Control Conference*, 6, 586-590, (2008).
- [114] Chauhan, V., Singh, O.P., Kushwah, V., Singh, V. and Singh, B., “Ultra-Low-Frequency (ULF) and Total Electron Content (TEC) Anomalies Observed at Agra and Their Association with Regional Earthquakes”, *Journal of Geodynamics*, 48, 68-74, (2009).
- [115] Kushwah, V., Singh, V. and Singh, B., “Ultra Low Frequency (ULF) Amplitude Anomalies Observed at Agra (India) and Their Association with Regional Earthquakes”, *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, 367-372, (2009).
- [116] Woloszyn, M., “Detection of Ferromagnetic Objects in Local Anomaly of the Baltic Sea”, *Polish Maritime Research*, 15 (2), 77-82, (2008).

- [117] Baldoni, J.A. and Yellen, B.B., “Magnetic Tracking System: Monitoring Heart Valve Prostheses”, *Transactions on Magnetics*, 43 (6), 2430-2432, (2007).
- [118] Nagano, T., Ohno, Y., Uesugi, N., Ikeda, H., Ishiyama, A. and Kasai, N., “Multi-Source Localization by Genetic Algorithm Using MEG”, *IEEE Transactions on Magnetics*, 34 (5), 2976-2979, (1998).
- [119] Galanzha, E.I., Shashkov, E.V., Kelly, T., Woo-Kim, J., Yang, L. and Zharov, V.P., “In Vivo Magnetic Enrichment and Multiplex Photoacoustic Detection of Circulating Tumour Cells”, *Nature Nanotechnology*, 4 (12), 855-860, (2009).
- [120] Söyler S., Kurt E. ve Dağ O., "Optimization of the Magnetic Anomaly Signals from a New Land Mine Detection Device", *Recent Researches in Applications of Electrical and Computer Engineering*, 178-183, (2012).
- [121] Vyhnánek, J., Janosek, M. and Ripka, P., “AMR Gradiometer For Mine Detection”, *Sensors and Actuators A: Physical*, (2012).
- [122] Vyhnánek, J., Janosek, M. and Ripka, P., “AMR Gradiometer For Mine Detection And Sensing”, *Procedia Engineering*, 25, 362-366, (2011).
- [123] Vyhnánek J., Janosek M. and Ripka P., "CW Metal Detector Based on AMR Sensor Array", *Sensors*, 1515-1517, (2011).
- [124] Ege, Y., Kakilli A. ve Çıtak H., “New magnetic measurement system for determining metal covered mines by detecting magnetic anomaly using a sensor network”, *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 53 (3), 199-211, (2015).
- [125] Michael, J.C., Carl, H.S., “A New Perspective on Magnetic Field Sensing”, *Honeywell*, 1-19, (2017).
- [126] Hauser, H., Stangl, G., Fallmann, W., Chabicovsky, R., Riedling, K. “Magnetoresistive Sensors”, Properties and Applications of Thin Ferromagnetic Films, June, (2000).

- [127] Soloviev, I.N., Bichurin, M.I. and Petrov, R.V., "Magnetoelectric Magnetic Field Sensors", *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, 1359-1362, (2012)
- [128] Hall, E., "On a New Action of the Magnet on Electric Currents", *American Journal of Mathematics*, 2 (3), 287–292 (1879).
- [129] Jensson, M., "Hall Effect Sensor", (9 Ocak 2017), <http://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>, (2016).
- [130] Blackwood, J., "SQUID magnetometer", (10 Ocak 2017), <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/Squid.html>, (2016).
- [131] Baibich, M.N., Broto, J.M., Fert, A., Nguyen, F., Petroff, F., Eitenne, P., et al, "Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices," *Phys. Rev. Letters*, 61, 2472-2475, (1988).
- [132] Kohden, "Principle of the AMR Sensor", (10 Ocak 2017), https://hkd.co.jp/english/amr_tec_amr/, (2011).
- [133] Philips Semiconductors, *Magnetic field sensors*, Philips Semiconductors, 1-58, (1998).
- [134] Jogschies, L., Klaas, D., Kruppe, R., Rittinger, J. and Taptimthong, P., "Recent Developments of Magnetoresistive Sensors for Industrial Applications", *Sensors*, 15, 28665-28689, (2015).
- [135] KMZ51 Magnetic Field Sensor, Data Sheet, Philips Semiconductors, (2000).
- [136] Ripka, P., "Review of Fluxgate Sensors", *Sensors and Actuators A*, 33, 129-141, (1992).
- [137] Fidan, A., "Amorf Ferromanyetik Malzemelerin Fluxgate Manyetik Alan Sensörleri Olarak Kullanımı", *Doktora Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Malatya, (2014).
- [138] Ripka, P., "Advances in Fluxgate Sensors", *Sensors and Actuators A*, 106, 8-14, (2003)

- [139] Liakopoulos, T.M. and Chong H.A., “A micro-fluxgate magnetic sensor using micromachined planar solenoid coils”, *Sensors and Actuators A*, 77, 66–72, (1999).
- [140] Ando, B., Baglio, S., Bulsara, A.R and Trigona, C., “Design and characterization of a microwire fluxgate magnetometer”, *Sensors and Actuators A*, 151, 145- 153, (2009).
- [141] Ripka, P., *Magnetic Sensors and Magnetometers*, Artech, Boston, (2001)
- [142] Kuang, K., *Magnetic Sensors-Principles and Applications*, InTech, Croatia, 19-40, (2012).
- [143] Huang, W.S., Jeng, T. and Lu, C.C., “Harmonic frequency characterisations of a CMOS micro fluxgate sensor for low magnetic field detection”, *Procedia Engineering*, 5, 993–996, (2010).
- [144] Lei, J., Lei, C. and Zhou, Y., “ Fabrication and characterization of a new MEMS fluxgate sensor with nanocrystalline magnetic core”, *Measurement* 45, 535–540, (2012).
- [145] Kubik, J., Pavel, L. and Ripka, P., “PCB racetrack fluxgate sensor with improved temperature stability”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 130-131, 184-188, (2006).
- [146] Forslund, A., “Designing a Miniaturized Fluxgate Magnetometer”, Master of Science Thesis, *Royal Institute of Technology*, Stockholm, (2006).
- [147] Butta, M., “Orthogonal Fluxgates” , (10 Ocak 2017), <https://www.greyc.fr/sites/default/files/electronique/4%202012%20Mattia%20Ortho%20Fluxgatt.pdf>, (2012).
- [148] Primdahl, F., “The Fluxgate Mechanism, Part I: The Gating Curves of Parallel and Orthogonal Fluxgates”, *IEEE Transaction on magnetics*, Mag-6 (2), 376-383, (1970).
- [149] Atalay, S., Kolat, S., Bayri, N. ve İzgi, T., “Bobinsiz Fluxgate Manyetik Alan Sensörü, Tübitak”, (2011).

- [150] Mayer, S., “Magnetic Field Sensor FLC 100”, (10 Ocak 2017), http://www.stefan-mayer.com/images/datasheets/Data-sheet_FLC-100.pdf, (2016).
- [151] Rajesh, K.R, Murali, R., Mohanachandran,R., “Realisation of Ultrasonic Doppler Vibrometer array for Landmine Detection”, *International Ultrasonics Symposium Proceedings '12*, 1027-1030,(2012).
- [152] Zyadaa, Z., Matsunob, T., Hasegawac, Y., Satoa, S. and Fukudaa, T., ”Advances in GPR-based landmine automatic detection”, *Journal of the Franklin Institute*, 348, 66-78, (2011).
- [153] Swiderski, W., Hlost, P., Jarzemski, J., Szugajew, L. and Usowicz, J., “Role of moisture and density of sand for microwave enhancement of thermal detection of buried mines”, *Detection and Sensing of Mines-Explosive Objects and Obscured Targets*, 8357, (2012).
- [154] Nazlıbilek, S., Ege, Y., Kalender, O., ve Şensoy, M.G., “Identification of materials with magnetic characteristics by neural Networks”, *Measurement*, 45(4), 734-744, (2012).
- [155] Sezgin, M., Kaplan, G., Birim, M. ve Bahadırlar, Y.,”Gömülü Metalik Cisimlerin Yapay Sinir Ağına Dayalı Teşhisi”, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları '07*, 1-4, (2007).



EKLER

7. EKLER

EK A Ölçüm Kanalları Arası Gerilim Farklılıkların Algılanması İçin Geliştirilen Matlab Programı

```
Clear;A=importdata('kalibrasyon1.txt')

for i=1:1:1400
for j=1:1:4
A(i,j)=A(i,j)*(5/32768);
end;
end;

for i=1:1400
CH1_1(i)=A(i,1);
CH2_1(i)=A(i,2);
CH3_1(i)=A(i,3);
CH4_1(i)=A(i,4);
end;

Vpp1_1=max(CH1_1)-min(CH1_1);
Vpp2_1=max(CH2_1)-min(CH2_1);
Vpp3_1=max(CH3_1)-min(CH3_1);
Vpp4_1=max(CH4_1)-min(CH4_1);
Offset1_1=max(CH1_1)-(Vpp1_1/2);
Offset2_1=max(CH2_1)-(Vpp2_1/2);
Offset3_1=max(CH3_1)-(Vpp3_1/2);
Offset4_1=max(CH4_1)-(Vpp4_1/2);
V_max=2.5;
V_min=-2.5

subplot(4,1,1);plot(CH1_1,'Color','red');axis([0 1000 V_min V_max]);hold on;
title(['Vpp:',num2str(Vpp1_1,2),'V',' Offset:',num2str(Offset1_1,2),'V']);
grid on;
set(gca,'XTickLabel',{'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','10'})
ylabel('Sensör Kanalı1')

subplot(4,1,2);plot(CH2_1,'Color','red');axis([0 1000 V_min V_max]);hold on;
title(['Vpp:',num2str(Vpp2_1,2),'V',' Offset:',num2str(Offset2_1,2),'V']);
grid on;
set(gca,'XTickLabel',{'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','10'})
ylabel('Sensör Kanalı2')

subplot(4,1,3);plot(CH3_1,'Color','red');axis([0 1000 V_min V_max]);hold on;
title(['Vpp:',num2str(Vpp3_1,2),'V',' Offset:',num2str(Offset3_1,2),'V']);
grid on;
set(gca,'XTickLabel',{'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','10'})
ylabel('Sensör Kanalı3')

subplot(4,1,4);plot(CH4_1,'Color','red');axis([0 1000 V_min V_max]);hold on;
title(['Vpp:',num2str(Vpp4_1,2),'V',' Offset:',num2str(Offset4_1,2),'V']);
grid on;
set(gca,'XTickLabel',{'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','10'})
ylabel('Sensör Kanalı4');
```

EK B KRKÜ için Geliştirilen Mikrodenetleyici Programı

```
const int pulsex=13;const int dirx=12;const int lim1x=11;const int lim2x=10;const int pulsey=9;
const int diry=8;const int lim1y=7;const int lim2y=6;const int pulsez=5;const int dirz=4;const int
lim1z=3;const int lim2z=2;int time_pulse=100;int time_olcum=1;char veri[25];

void setup() {
Serial.begin(9600);initial();}

void loop() {
if (Serial.available() > 0)
{Serial.readBytesUntil(13,veri,20);}
if (veri[0]=='-' && veri[1]=='Z') { for (int index_z=0; index_z <= 10; index_z++){z_arti();}
for (int i=0; i < 25; i++){veri[i]='0'; }}
if (veri[0]=='+' && veri[1]=='Z') { for (int index_z=0; index_z <= 10; index_z++){z_eksi(); }
for (int i=0; i < 25; i++){veri[i]='0';}}
if (veri[0]=='H' && veri[1]=='M') {gohome();x_arti ();x_arti();y_arti();y_arti();}
if (veri[0]=='X' && veri[1]=='Y') {gohome();x_arti ();x_arti();y_arti();y_arti();}
for (int index_x=0; index_x <=60; index_x++){
for (int index_y=0; index_y <= 60; index_y++){
delay(3*time_olcum); Serial.print(analogRead(A0)); Serial.write(9);delay(time_olcum);
y_arti();delay(time_olcum);}
Serial.println(" "); x_arti();
for (int index_y=0; index_y <=60; index_y++){y_eksi();}} }
for (int i=0; i < 25; i++){veri[i]='0';}}
void x_arti() {for (int i=0; i < 800; i++){
digitalWrite(dirx,LOW);digitalWrite (pulsex,HIGH);delayMicroseconds (time_pulse);
digitalWrite (pulsex,LOW); delayMicroseconds (time_pulse);}}

void x_eksi() {for (int i=0; i < 800; i++){digitalWrite(dirx,HIGH);digitalWrite (pulsex,HIGH);
delayMicroseconds (time_pulse);digitalWrite (pulsex,LOW);delayMicroseconds (time_pulse);}}

void y_arti() {for (int i=0; i < 800; i++){digitalWrite(diry,LOW);digitalWrite (pulsey,HIGH);
delayMicroseconds (time_pulse);digitalWrite (pulsey,LOW);delayMicroseconds (time_pulse);}}

void y_eksi() {for (int i=0; i < 800; i++){digitalWrite(diry,HIGH);digitalWrite (pulsey,HIGH);
delayMicroseconds (time_pulse);digitalWrite (pulsey,LOW);delayMicroseconds (time_pulse);}}

void z_arti() {for (int i=0; i < 800; i++){digitalWrite(dirz,LOW);digitalWrite (pulsez,HIGH);
delayMicroseconds (time_pulse);digitalWrite (pulsez,LOW);delayMicroseconds (time_pulse);}}

void z_eksi() {for (int i=0; i < 800; i++){digitalWrite(dirz,HIGH);digitalWrite (pulsez,HIGH);
delayMicroseconds (time_pulse);digitalWrite (pulsez,LOW);delayMicroseconds (time_pulse);}}

void gohome(){digitalWrite(diry,HIGH);digitalWrite(dirx,HIGH);
while (digitalRead(lim2x)==0||digitalRead(lim2y)==0){digitalWrite (pulsex,HIGH);
digitalWrite (pulsey,HIGH);delayMicroseconds (time_pulse);digitalWrite (pulsex,LOW);
digitalWrite (pulsey,LOW);delayMicroseconds (time_pulse);}}

void initial(){
pinMode (pulsex,OUTPUT);pinMode (dirx,OUTPUT);pinMode (lim1x,INPUT);
pinMode (lim2x,INPUT); pinMode (pulsey,OUTPUT); pinMode (diry,OUTPUT);
pinMode (lim1y,INPUT);pinMode (lim2y,INPUT);pinMode (pulsez,OUTPUT);
pinMode (dirz,OUTPUT);pinMode (lim1z,INPUT);pinMode (lim2z,INPUT);Serial.begin(9600);}
```

EK C VTÜ için Geliştirilen Mikrodenetleyici Programı

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial Genotronex(A15, A14); // RX, TX
short ADC16 ;const int CS3=52;const int CS2=53;const int CS4=51;const int ADC_GND=50;
const int OS0=49;const int OS1=48;const int OS2=47;const int RANGE=46;const int CVA=45;
const int CVB=44;const int RST=43;const int RD=42;const int CS1=41;const int BUSY=40;
const int VIO=39;const int FIRST=38;const int DB0=37;const int DB1=36;const int DB2=35;
const int DB3=34;const int DB4=33;const int DB5=32;const int DB6=31;const int DB7=30;
const int DB8=29;const int DB9=28;const int DB10=27;const int DB11=26;const int DB12=25;
const int DB13=24;const int DB14=23;const int DB15=22;int BluetoothData;
int veri[3000];char xx[5];int i;int x,y,z;int q;

void setup() {
pinMode (CS1,OUTPUT);pinMode (CS2,OUTPUT);pinMode (CS3,OUTPUT);
pinMode (CS4,OUTPUT);pinMode (ADC_GND,OUTPUT);pinMode (OS0,OUTPUT);
pinMode (OS1,OUTPUT);pinMode (OS2,OUTPUT);pinMode (RANGE,OUTPUT);
pinMode (CVA,OUTPUT);pinMode (CVB,OUTPUT);pinMode (RST,OUTPUT);
pinMode (RD,OUTPUT);pinMode (BUSY,INPUT);pinMode (VIO,OUTPUT);
pinMode (FIRST,INPUT);pinMode (DB0,INPUT);pinMode (DB1,INPUT);
pinMode (DB2,INPUT);pinMode (DB3,INPUT);pinMode (DB4,INPUT);
pinMode (DB5,INPUT);pinMode (DB6,INPUT);pinMode (DB7,INPUT);
pinMode (DB8,INPUT);pinMode (DB9,INPUT);pinMode (DB10,INPUT);
pinMode (DB11,INPUT);pinMode (DB12,INPUT);pinMode (DB13,INPUT);
pinMode (DB14,INPUT);pinMode (DB15,INPUT);
digitalWrite(ADC_GND,LOW);digitalWrite(CS1,HIGH);digitalWrite(CS2,HIGH);
digitalWrite(CS3,HIGH);digitalWrite(CS4,HIGH);digitalWrite(OS2,HIGH);
digitalWrite(OS1,HIGH);digitalWrite(OS0,LOW);
digitalWrite(RANGE,LOW);digitalWrite(VIO,HIGH);
digitalWrite(RD,HIGH);digitalWrite(CVA,LOW);digitalWrite(CVB,LOW);
digitalWrite(RST,LOW);delay(10);digitalWrite(RST,HIGH);delay(10);
digitalWrite(RST,LOW);delay(10);
pinMode(7,OUTPUT);pinMode(4,OUTPUT);pinMode(A13,INPUT);pinMode(10, OUTPUT);
digitalWrite(10, HIGH);digitalWrite(7,HIGH);digitalWrite(4,LOW);delay(1000);
digitalWrite(7,LOW);digitalWrite(4,LOW);delay(100);
Serial.begin(9600);Serial3.begin(9600);Genotronex.begin(9600);}

void loop() {
kalibrasyon1();}

void kalibrasyon1(){
if (Genotronex.available() > 0) {BluetoothData=Genotronex.read();
if (BluetoothData=='H'){Serial3.println("HM");}
if (BluetoothData=='X'){Serial3.println("+X");}
if (BluetoothData=='x'){Serial3.println("-X");}
if (BluetoothData=='Y'){Serial3.println("+Y");}
if (BluetoothData=='y'){ Serial3.println("-Y");}
if (BluetoothData=='B'){
Serial3.println("Hy");}
if (BluetoothData=='S'){Serial3.println("#X");}
if (BluetoothData=='Z'){Serial3.println("+Z");}
if (BluetoothData=='z'){Serial3.println("-Z");}
if (BluetoothData=='T'){x=0;y=0;z=0;
for (int y=0; y <=24; y++){Genotronex.print("Start ");
Genotronex.print(y); Genotronex.write(9);delay(5000);digitalWrite(CS4,LOW);
paket_oku();digitalWrite(CS4,HIGH);digitalWrite(CS3,LOW);paket_oku();
digitalWrite(CS3,HIGH);digitalWrite(CS2,LOW);paket_oku();digitalWrite(CS2,HIGH);
digitalWrite(CS1,LOW);paket_oku();digitalWrite(CS1,HIGH);Genotronex.println(" Stop");
Serial.println(" Stop");delay(1000);
```

```

if (y<24) {Serial3.println("+Y");}}
if (x<3){delay(1000);Genotronex.print("Start End Stop");Serial3.println("HM");//y home git
delay(30000);}}
if (BluetoothData=="K"){digitalWrite(CS4,LOW);paket_oku();digitalWrite(CS4,HIGH);
digitalWrite(CS3,LOW);paket_oku();digitalWrite(CS3,HIGH);digitalWrite(CS2,LOW);
paket_oku(); digitalWrite(CS2,HIGH);digitalWrite(CS1,LOW);paket_oku();
digitalWrite(CS1,HIGH);Genotronex.println(" ");Serial.println(" ");}
digitalWrite(7,HIGH);digitalWrite(4,LOW);delay(1000);digitalWrite(7,LOW);
digitalWrite(4,LOW);}xx[0]=' ';}

void paket_oku(){
first_oku();
veri_oku(); Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(":");
Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(":");
Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(ADC16);Serial.write(9);
veri_oku();Genotronex.print(ADC16);Genotronex.write(9);Serial.print(ADC16);Serial.write(9);}

void first_oku()
{digitalWrite(RD,HIGH);digitalWrite(CVA,HIGH);digitalWrite(CVB,HIGH);
digitalWrite(CVA,LOW);digitalWrite(CVB,LOW);
digitalWrite(CVA,HIGH);digitalWrite(CVB,HIGH);}

void veri_oku(){
digitalWrite(RD,LOW);digitalWrite(RD,HIGH);
ADC16=0;
if (digitalRead(DB15)==HIGH){ADC16=32768;}
if (digitalRead(DB14)==HIGH){ADC16=ADC16+16384;}
if (digitalRead(DB13)==HIGH){ADC16=ADC16+8192;}
if (digitalRead(DB12)==HIGH){ADC16=ADC16+4096;}
if (digitalRead(DB11)==HIGH){ADC16=ADC16+2048;}
if (digitalRead(DB10)==HIGH){ADC16=ADC16+1024;}
if (digitalRead(DB9)==HIGH){ADC16=ADC16+512;}
if (digitalRead(DB8)==HIGH){ADC16=ADC16+256;}
if (digitalRead(DB7)==HIGH){ADC16=ADC16+128;}
if (digitalRead(DB6)==HIGH){ADC16=ADC16+64;}
if (digitalRead(DB5)==HIGH){ADC16=ADC16+32;}
if (digitalRead(DB4)==HIGH){ADC16=ADC16+16;}
if (digitalRead(DB3)==HIGH){ADC16=ADC16+8;}
if (digitalRead(DB2)==HIGH){ADC16=ADC16+4;}
if (digitalRead(DB1)==HIGH){ADC16=ADC16+2;}
if (digitalRead(DB0)==HIGH){ADC16=ADC16+1;}}

```

EK D “MAD Sampling” Arayüzüne ait Matlab GUI Kodları

```
function varargout = MADSampling(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @MADSampling_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @MADSampling_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function MADSampling_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
    REF=importdata('REF.txt');
    A=importdata('BOS0.txt');
    for j=1:1:25
        for i=1:1:32
            CH1(j,i)=(A(j,1+i));
        end;
    end;
    surf(CH1)
    axis([0 32 0 24 -40000 40000]);
    ylabel('y')
    xlabel('x')
    zlabel('z')
    shading interp
    handles.output = hObject;
    guidata(hObject, handles);

function varargout = MADSampling_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function figure1_ResizeFcn(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)%+X
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'X');
fclose(fileID);

function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'x');
fclose(fileID);

function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'Y');
fclose(fileID);
```

```

function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'y');
fclose(fileID);

function pushbutton9_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'Z');
fclose(fileID);

function pushbutton10_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'z');
fclose(fileID);

function pushbutton11_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'H');
fclose(fileID);

function pushbutton11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

    function pushbutton13_Callback(hObject, eventdata, handles)
Sampling_start_flag=importdata('sampling_finish_flag.txt');
File_name=get(handles.edit1,'string');

if Sampling_start_flag==0
    msgbox('Process Continue or No data')
else
    if isempty(File_name)
        msgbox('Input A File Name')
    end
    copyfile('sampling_read.txt',File_name)
    fileID = fopen('sampling_finish_flag.txt','w');
    fprintf(fileID,'0');
    fclose(fileID);
    set(handles.edit1,'String','');
    msgbox('Data Saved')
end

function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)

A=importdata('BOS0.txt');
for j=1:1:25
for i=1:1:32
    CH1(j,i)=(A(j,1+i));
    end;
end;

for j=1:1:25
for i=1:1:32
    if (abs(CH1(j,i))<1000)
        CH1(j,i)=0;
    end
end;
end;
surf(CH1)
axis([0 32 0 24 -40000 40000]);
ylabel('y')
xlabel('x')

```

```

zlabel('z')
shading interp

```

```

REF=importdata('REF.txt');
A=importdata(get(handles.edit3,'string'));

```

```

for j=1:1:25
for i=1:1:32
    CH1(j,i)=(A(j,1+i));
end;
end;
CH1(j,i)=0;
surf(CH1)
axis([0 32 0 24 -40000 40000]);
ylabel('y')
xlabel('x')
zlabel('z')
shading interp

```

```

function pushbutton15_Callback(hObject, eventdata, handles)
fileID = fopen('commands.txt','w');
fprintf(fileID,'T');
fclose(fileID);

```

```

function pushbutton16_Callback(hObject, eventdata, handles)
REF=importdata('REF.txt');
A=importdata(get(handles.edit3,'string'));
for j=1:1:25
for i=1:1:32
    CH1(j,i)=(A(j,1+i));
end;
end;

```

```

surf(CH1)
axis([0 32 0 24 -40000 40000]);
ylabel('y')
xlabel('x')
zlabel('z')
shading interp

```

```

function pushbutton17_Callback(hObject, eventdata, handles)
REF=importdata('REF.txt');
A=importdata(get(handles.edit3,'string'));
for j=1:1:25
for i=1:1:32
    CH1(j,i)=(A(j,1+i));
end;
end;
mesh(CH1)
axis([0 32 0 24 -40000 40000]);
ylabel('y')
xlabel('x')
zlabel('z')

```

```

function pushbutton18_Callback(hObject, eventdata, handles)
REF=importdata('REF.txt');
A=importdata(get(handles.edit3,'string'));
for j=1:1:25
for i=1:1:32

```

```

    CH1(j,i)=(A(j,1+i));
end;
end;
contour(CH1);
axis([0 32 0 24 -40000 40000]);
ylabel('y')
xlabel('x')
zlabel('z')

function pushbutton19_Callback(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton20_Callback(hObject, eventdata, handles)
view([0,90])

function pushbutton21_Callback(hObject, eventdata, handles)
view([0,0])

function pushbutton22_Callback(hObject, eventdata, handles)
view([90,0])

function pushbutton23_Callback(hObject, eventdata, handles)
view([-38,30])

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function uipushtool5_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
F = getframe(handles.axes4);
Image = frame2im(F);
imwrite(Image, 'Image.bmp')

```