

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SU SOĞUTMALI SELENOİD ELEKTROMİKNATISIN
MANYETİK ALAN HARİTASININ ÇIKARTILMASI**

MAHMUT TEPE

FİZİK ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2019

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU SOĞUTMALI SELENOİD ELEKTROMİKNATISIN MANYETİK
ALAN HARİTASININ ÇIKARTILMASI**

Mahmut TEPE

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Bu tez 08/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Bayram TALİ
Danışman**

**Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Üye**

**Doç. Dr. İsmail BOZKURT
Üye**

**Prof. Dr. Refet KARADAĞ
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU SOĞUTMALI SELENOİD ELEKTROMİKNATISIN MANYETİK ALAN HARİTASININ ÇIKARTILMASI

Mahmut TEPE

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Bayram TALİ
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Hacı SOĞUKPINAR
Yıl : 2019, Sayfa sayısı: 62+XII

Jüri : Doç. Dr. Bayram TALİ
Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Doç. Dr. İsmail BOZKURT

Bu çalışmada, Adıyaman Üniversitesinde üretilen su soğutmalı selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşlukta oluşan manyetik alanın haritalandırılması yapılmıştır. Silindirik boşluk (kovuk) yaklaşık 20 cm çap ve 14 cm derinliğindeki bölge olup manyetik alanı ölçülecek bölgedir. Bu bölgedeki manyetik alanının ölçümü, ihtiyaca uygun olarak tasarlanıp üretilen bir robotik koluna eklenen farklı sensörler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Mekanizmanın üç boyutta hareket edebilmesi için üç adet adım motoru, mikro-denetleyiciler yardımı ile yönlendirilmiştir. Dolayısı ile bu çalışmada mekanik olarak üç boyutlu aksam tasarlanıp üretilmiştir. Mikro denetleyici yazılımı için Arduino kullanılmış ve sistem birbirine entegre edilmiştir. Daha sonra veriler alınıp analiz edilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manyetik Alan; Selenoid Mıknatıs; Robotik; Arduino; Otomasyon

ABSTRACT

MSc Thesis

MAPPING THE MAGNETIC FIELD OF WATER-COOLED SOLENOID ELECTROMAGNET

Mahmut TEPE

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Bayram TALİ
Advisor : Asst. Prof. Dr. Hacı SOĞUKPINAR
Year : 2019 , Number of pages: 62+XII

Jury : Assoc. Prof. Dr. Bayram TALİ
Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Assoc. Prof. Dr. İsmail BOZKURT

In this study, the magnetic field formed in the cylindrical space in the center of the water-cooled solenoid electromagnet produced in Adiyaman University was mapped. The cylindrical cavity is approximately 20 cm in diameter and approximately 14 cm in depth, and the magnetic field is the area to be measured. The measurement of the magnetic field in this region was carried out with the help of different sensors added to a robotic arm designed and produced according to the needs. Three step motors are guided by microcontrollers so that the mechanism can move in three dimensions. In this study, mechanically three-dimensional components are designed and produced. Arduino is programmed for microcontroller software and the system is integrated. Afterwards, the results were obtained by analyzing and analyzing the data.

Keywords: Magnetic field; Solenoid Magnet; Robotics; Arduino; Automation

DESTEKLER

Bu tez çalışması Adıyaman Üniversitesi BAP tarafından FEFLTP/2017-0001 numaralı proje ile desteklenmiştir.



BEYAN

“Su Soğutmalı Selenoid Elektromıknatısın Manyetik Alan Haritasının Çıkartılması” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Mahmut TEPE

imza

TEŞEKKÜR

Bu tezin planlanıp hazırlanmasında, deney setlerimin kurulmasında, sistemin test edip çalıştırılmasında, gerekli kodlamaların yapılmasında, veri analizlerinde, tezin yazımı sırasında öneri ve düzeltmeleriyle katkı sunan her türlü bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyip bana maddi ve manevi güç veren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Bayram TALİ'ye çok teşekkür ederim.

Simülasyon programı ile yapılan teorik çalışmalarda bana her türlü desteği sağlayan, ayrıca tezin yazımı sırasında öneri ve düzeltmeleriyle katkı sunan çok değerli ikinci danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hacı SOĞUKPINAR'a çok teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulumunda kullanılan bazı materyalleri temin etmemde bana yardımcı olan Lütfi AKAN'a ve deney verilerinin alımında bana yardımcı olan Gaffari YALÇIN arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimi okuyup olumlu eleştiriler ve düzeltmelerde bulunan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ'e ve Doç. Dr. İsmail BOZKURT'a teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca bana manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
DESTEKLER.....	III
BEYAN.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
RESİMLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Mıknatıs ve Manyetik Alan.....	1
1.1.1. Geçici Mıknatıslar (Elektromıknatıs).....	2
1.1.2. Kalıcı Mıknatıslar.....	3
1.1.3. Manyetik Alan.....	3
1.1.4. Elektrik ve Manyetik Alan Denklemleri	4
1.2. İyon Kaynağı ve Hızlandırıcılar	6
1.2.1. İyon Kaynağı.....	6
1.2.2. Hızlandırıcılar.....	7
1.2.2.1. Doğrusal (Lineer) Hızlandırıcı.....	7
1.2.2.2. Dairesel Hızlandırıcı	8
1.2.2.3. Türkiye’de Hızlandırıcı Çalışmaları	8
1.3. Robot	9
1.3.1. Robotların İşlevleri.....	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1. Su Soğutmalı Elektromıknatıs.....	14
3.2. 3D-Robotik Kol.....	17
3.3. Başlangıç Ayarları ve Ölçümler	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59

KİŞİSEL BİLGİLER.....	62
-----------------------	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Maxwell denklemleri [7].....	4
Çizelge 3.1 $z=0$ tabakasındaki x ve y eksenlerindeki ölçümler	26
Çizelge 4.1 $z=0$ tabakasındaki manyetik alan ölçüm sonuçları	29
Çizelge 4.2 Tüm z tabakalarının akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı manyetik alan ortalama değerleri	37



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Selenoid elektromıknatısın 3 boyutlu tasarımı	14
Şekil 3.2 Selenoid elektromıknatısın 10 A’de simülasyonu üstten görünüşü.....	15
Şekil 3.3 Selenoid elektromıknatısın 10 A’de simülasyonu yandan görünüşü.....	16
Şekil 3.4 3D-Robotik Kol’a hareketini sağlayan adım motoru ve entegre devresi....	19
Şekil 3.5 UGN3503U manyetik alan sensörü şematik gösterimi [38]	20
Şekil 3.6 Arduino UNO yazılımı için küçük bir kod parçası	22
Şekil 3.7 Silindirik bölge ve x-y-z eksenlerinin gösterimi.....	24
Şekil 3.8 Silindirin x-y koordinat sistemi	25
Şekil 4.1 ROOT grafik programı kodları	30
Şekil 4.2 $z=0$ tabakası için üç boyutlu x-y-z konum bilgisi içeren dağılım.....	30
Şekil 4.3 Tüm z tabakaları için üç boyutlu x-y-z konum bilgisi içeren dağılım.....	31
Şekil 4.4 z-y-x konumlarındaki koordinat bilgileri ile tüm manyetik alan ölçüm değerleri grafiği.....	31
Şekil 4.5 $z=0$ tabakasındaki $y=-5$ konumundaki x değerlerine bağlı sulu akımlı ve susuz akımlı manyetik alan değerleri grafiği	32
Şekil 4.6 $z=0$ tabakasındaki z-y-x eksen bilgileri ile akımsız, akımlı ve akımlı- akımsız farkı manyetik alan değerleri grafiği	33
Şekil 4.7 Tüm z tabakalarının akımsız manyetik alan değerleri grafiği	34
Şekil 4.8 Tüm z tabakalarının akımlı manyetik alan değerleri grafiği.....	35
Şekil 4.9 Tüm z tabakalarının akımlı, akımsız farkı manyetik alan değerleri	36
Şekil 4.10 $z=0$ tabakasındaki manyetik alan değerlerinin iki boyutlu (y-x) görünümü	37
Şekil 4.11 $z=0$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	39
Şekil 4.12 $z=1$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	41
Şekil 4.13 $z=2$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	43
Şekil 4.14 $z=3$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	44
Şekil 4.15 $z=4$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	46
Şekil 4.16 $z=5$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	47
Şekil 4.17 $z=6$ sabit ekseni ile birlikte x’i veya y’yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	49

Şekil 4.18 $z=7$ sabit ekseni ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	50
Şekil 4.19 $z=8$ sabit ekseni ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	52
Şekil 4.20 $z=9$ sabit ekseni ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler	53
Şekil 4.21 x ve y koordinat değerlerinin sabit tutulup z koordinat değişimine bağlı manyetik alan dağılım grafiği.....	54
Şekil 4.22 $x=0$, ve $y=0$ durumunda z eksenindeki deneysel veriler ile teorik verilerin karşılaştırılması grafiği	55

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1 İçinde su geçen selenoid elektromıknatısın görünümü	16
Resim 3.2 Selenoid elektromıknatısa akım veren DC ayarlı güç kaynağı.....	17
Resim 3.3 Adıyaman sanayisinde üretilen 3D Robotik Kol'un görünümü	18
Resim 3.4 Adım motorlarının hareketi için kullanılan güç kaynağı	19
Resim 3.5 3D-Robotik Kola bağlı manyetik alan sensör kolu.....	20
Resim 3.6 Adım motorları ve manyetik alan sensörünü denetleyen Arduino UNO mikro işlemcisi	21
Resim 3.7 Selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşluğun manyetik alanını ölçen sistemin tamamı	23
Resim 3.8 x ve y eksenlerinin başlangıç noktalarının selenoid kasağın ön ve arka taraflarına ipler bağlanarak belirlenmesi	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Amper
B	: Manyetik alan şiddeti
I	: Akım şiddeti
L	: Uzunluk
mT	: Milli Tesla
n	: Sarım sayısı
μ_0	: Uzayın manyetik geçirgenliği

Kısaltmalar

AR&GE	: Araştırma Geliştirme
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
HGS	: Hızlandırıcı Güdümlü Sistemler
MDIS	: Mikrodalga Deşarj İyon Kaynakları
SCARA	: Selective Compliance Arm for Robotic Assembly
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TARLA	: Turkish Accelerator and Radiation Laboratory in Ankara
THM	: Türk Hızlandırıcı Merkezi
TURKAY	: Sinkrotron Işınlım Tesisi
TURKFAB	: Parçacık Fabrikası Tesisi
TURKPRO	: Proton Hızlandırıcı Tesisi
TURKSEL	: SASE SEL Tesisi

1. GİRİŞ

Elektron, proton veya iyonların doğrultularının değiştirilmesinde manyetik alan önemli bir rol üstlenmektedir. Manyetik alan oluşturma yöntemleri vardır. Bunlardan biri de bobinler yardımıyla olmaktadır. Ancak bobinlerin içinde uzun süre elektrik akımı geçtiğinde sistem ısınmaktadır. Bu ısınmayı engellemek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri de bobinleri süper iletken hale getirmek olup bunun için ortamın sıcaklığını çok düşük değerlere indirmek gerekir. Bu yöntem çok pahalı bir yöntemdir. Başka yöntemler de mevcut olup bunlardan biri de oda sıcaklığında manyetik alan üretmek için su soğutmalı bir mekanizmadır. Bu mekanizmada bobinlerin içinden su geçirilerek sistem soğutulabilmektedir.

İçinden su geçirilerek sistemi soğutup manyetik alan üreten bir bobin laboratuvarımızda mevcuttur. Bobinin sarıldığı silindirin çapı ~20 cm ve derinliği ~14 cm olup manyetik alanın oluştuğu bölgelerden biridir. Böylesi sarımlı bir elektromıknatısın oluşturacağı iç bölgedeki (kovuk) manyetik alanın davranışının nasıl olduğu merak konusudur, çünkü sarımların mükemmel olmayışı onun davranışının da mükemmel olmayacağı sonucunu doğuracaktır. Bu tezin amacı laboratuvarımızda bulunan böylesi bir elektromıknatısın [1] iç bölgede oluşturacağı manyetik alanın haritasını çıkarmaktır.

1.1. Mıknatıs ve Manyetik Alan

Demir, nikel ve kobalt gibi maddeleri çekme özelliği gösteren veya bu özelliği sonradan kazanan maddelere mıknatıs denir. Mıknatıslık özelliği gösteren maddeler manyetik alan oluştururlar. Bakır ve alüminyum gibi bazı metaller ve metal olmayan maddeler ise mıknatıslık özelliği göstermedikleri için bu tür maddeler manyetik alan da oluşturmazlar. Cisim ya da malzemeler üzerinde mıknatıslık etkisi uç noktalarda toplanır. Bu uç kısımlara mıknatısın kuzey ve güney kutbu denir. İki mıknatıs birbirine yaklaştırıldığında mıknatısların aynı kutupları birbirini iterken zıt kutuplar birbirini çeker.

Mıknatıslık özelliğini en çok gösteren maddeler ferromanyetik maddeler olup, bu maddelerin manyetiklik derecesi (bağıl manyetik geçirgenlikleri) 1'den çok büyüktür. Mıknatıslar ferromanyetik maddelere etki gösterirler. Demir, nikel ve kobalt oda sıcaklığında ferromanyetik maddeler olduğundan mıknatıslar bu tür maddelere etki göstermektedirler [2].

Mıknatıs parçalarının demir tozlarını çektiğini ilk bulan kişi Yunan filozof Thales'dir (M.Ö. 6. yy.). Daha sonra Çinli'ler yerin mıknatıslık etkisinden yararlanarak manyetik etki ile çalışan pusulayı 12. yüzyılda kullanmışlardır [3]. 1269 yılında Pierre de Maricourt, küre şeklindeki doğal bir mıknatıs yüzeyinin manyetik alan haritasını elde etmiştir. Küre biçimindeki bu doğal mıknatısın değişik noktalarına birer iğne yerleştirip bu iğnelerin yöneldiği alanları tespit ederek manyetik alan haritasını oluşturmuştur. Kürenin çapı boyunca karşılıklı iki noktasından geçen çizgilerin oluştuğunu ve bu çizgilerin tüm küreyi kuşattığını görmüş ve bu noktaları mıknatısın birer kutbu olarak isimlendirmiştir. Mıknatıslar üzerinde daha sonra yapılan çalışmalar sonucu her mıknatısın biri kuzey (N) diğeri güney (S) olmak üzere iki kutbu olduğu gösterilmiştir [4].

Mıknatıslar, maddeler üzerindeki etki sürelerine göre ikiye ayrılır. Bunlar geçici (elektromıknatıslar) ve kalıcı mıknatıslardır.

1.1.1. Geçici Mıknatıslar (Elektromıknatıs)

Elektromıknatıslar demir etrafına tel sarılıp içinden akım geçirilerek elde edilen mıknatıslardır. Akım kesildiğinde mıknatıslık özelliği kaybolduğu için bu tür mıknatıslara geçici mıknatıs da denir. Elektromıknatıs, bir bobinin içine yumuşak demir konularak oluşturulur ve bobinden akım geçtiği sürece manyetik alan oluşur, yani mıknatıslık özelliği devam eder. Elektromıknatıslardan elde edilen manyetik kuvvet kalıcı mıknatıslarda elde edilen manyetik kuvvetten daha büyük olabilir.

Elektromıknatısın oluşturduğu manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur. Elektromıknatısı oluşturan bobini, sağ elin dört parmağı akım yönünde olacak şekilde avucumuzun içine alırsak, başparmağımız her zaman kuzey kutbu yönünde manyetik

alanın yönünü gösterir. Çok büyük elektromıknatıslarda sürekli akımı oluşturmak için akü veya akım üreten motorlar kullanılır.

1.1.2. Kalıcı Mıknatıslar

Kalıcı mıknatıslar, manyetik alanı sağlamak için herhangi bir motor gücünü kullanmayan mıknatıslardır. Kalıcı mıknatıslar ne kadar geliştirilirse geliştirilsin manyetik alan, manyetik indüksiyon, manyetik akı yoğunluğu ve mıknatıslanma gibi temel özellikleri değişmez. Farklı kullanım amaçları olan kalıcı mıknatıslar, kendilerini meydana getiren malzemelerin maliyet ve performansına göre bölümlere ayrılırlar [5].

1.1.3. Manyetik Alan

Mıknatısların varlığı, etraflarında manyetik etki olarak bilinen bir alanın varlığını doğurur. Mıknatısların manyetik etkilerini gösterebildiği bu alana manyetik alan denir. Manyetik alan kısaca bir mıknatısın sahip olduğu mıknatıslık özelliğini gösterdiği alan olarak da tanımlanır. Manyetik Alan $\vec{B}$ harfi ile gösterilmekte olup vektörel bir büyüklüktür. Bu özelliği ile manyetik alan, herhangi bir noktadaki manyetik alanın şiddetini ve yönünü ifade eder ve manyetik alanın SI'daki birimi Tesla'dır (T). Manyetik alanın varlığı, etrafına demir tozları dökülen mıknatısın etrafında çizgiler oluşturmamasından anlaşılır. Bu çizgilere manyetik alan çizgileri denir. Bir mıknatısta manyetik alan çizgileri her zaman mıknatısın N kutbundan S kutbuna doğrudur. Manyetik alan günlük hayatta pek çok değişik alanda kullanılır.

Dünya, merkezinde kuzey-güney doğrultusunda yerleşik olan büyük bir mıknatıs olarak düşünülebilir. Yerin manyetik alanı, dünyanın çekirdeğinin konveksiyonel hareketleri sonucu meydana getirdiği akımlar ile oluşur. Pusulanın çalışma prensibi yerin manyetik alanı ile doğrudan ilişkilidir. Pusula ile yön bulunması sonucu pusulaların, özellikle denizcilik alanındaki gelişmelere önemli katkıları olmuştur [6].

Elektrik ve manyetizma arasında 1819 yılına kadar herhangi bir bağdaştırma yapılamamıştır. Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Oersted bu tarihte yaptığı bir deney sırasında içinden akım geçen bir telin yakınında duran bir pusulayı saptırdığını göstermiştir. 1820 yılında yani kısa bir süre sonra Michael Faraday elektrik ile manyetizma arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Andre Amper akım taşıyan bir telin diğer bir tele uyguladığı manyetik kuvveti hesaplayan yasaları elde etmiştir. Elektrik yüküne etki eden kuvvet olarak da bilinen manyetik alan kuvveti, Lorentz kuvveti ile ifade edilmiştir. Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişkiyi 1860 yılında James Clerk Maxwell birleştirmiş ve kendi adını taşıyan Maxwell denklemleri ile açıklamıştır [7].

1.1.4. Elektrik ve Manyetik Alan Denklemleri

Elektrik ve manyetik alan denklemleri genel olarak Maxwell'in dört temel denklemi olarak ifade edilir. Bunlardan iki tanesi elektrik yüklerinin hareketi ile oluşan ve elektrik alanı açıklayan Gauss Yasası ile manyetik alanın nasıl değiştiğini açıklayan Gauss'un Manyetizma Yasasıdır. Öteki iki denklem: Faraday Yasası ve zamanla değişen manyetik alanların etrafındaki elektrik alanları açıklayan Maxwell Doğrulamalı Ampere Yasasıdır [7].

Çizelge 1.1 Maxwell denklemleri [7].

İsim	İntegral Denklemleri	Türev Denklemleri	Denk.
Gauss Yasası	$\oint_{\partial\Omega} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_{\Omega} \rho dV$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	(1.1)
Manyetizma için Gauss Yasası	$\oint_{\partial\Omega} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	(1.2)
Maxwell- Faraday Denklemleri	$\oint_{\partial\Sigma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{S}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	(1.3)
Ampere Yasası	$\oint_{\partial\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \iint_{\Sigma} \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$	(1.4)

Denklem 1.1’de verilen Gauss yasası, kapalı bir yüzeyin içerisinde kalan elektriksel yük ile bu kapalı yüzeyden dışarıya akan elektriksel akı arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır [7].

Manyetizma için Gauss Yasasının, biri diferansiyel diğeri integral eşitlik olmak üzere iki farklı ifadesi denklem 1.2’de verilmiştir. Bu yasaya göre elektrik yüklerine karşılık gelebilecek manyetik yüklerin olmadığını ve bu manyetik yüklerin yerine manyetik alanın çift kutup adı verilen yapılardan oluştuğunu açıklamaktadır. Akım döngüsünü en iyi şekilde sağlayan manyetik çift kutuplar net olarak bir manyetik yük taşımayan, birbiri ile bütünleşmiş pozitif ve negatif manyetik yükler gibidir [8].

Manyetizma için Gauss Yasası’na göre manyetik alanın diverjansı sıfıra eşittir. Bu ifadeye göre manyetik tek kutupluluk yoktur. Yani bugüne kadar yapılan deneylerde tek başına N veya S kutbu algılanamamıştır. Manyetizmada manyetik çift kutupluluk temel elemandır. Bu yasaya göre kapalı herhangi bir yüzey üzerinden geçen elektrik akımı, yüzeyi saran net elektrik yükü ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Manyetik tek bir kutup ile bir elektrik yükü arasında bir benzetme düşünülürse, kapalı bir yüzeyden geçen akının bu yüzeyi saran manyetik kutupların sayısı ile doğru orantılı olarak değiştiğini ifade eden bir matematiksel bağıntının varlığı gereklidir. Şimdiye kadar doğada tek kutupluluk gözlenmediği için böyle bir bağıntının olması mümkün değildir. Bu nedenden dolayı Manyetizma için Gauss Yasası genel olarak şöyle ifade edilebilir: Kapalı herhangi bir yüzeyden geçen net manyetik akı sıfırdır. Bu ifade aynı zamanda manyetik tek kutupluluğun olmadığını başka bir şekilde açıklamaktadır. Bu yasanın başka bir ifadesine göre kapalı bir hacimden çıkan manyetik alan çizgilerinin sayısı daima kapalı hacme giren manyetik alan çizgilerinin sayısına eşittir. Buna göre manyetik alan çizgileri başlangıç ve bitiş noktaları bulunmayan kapalı döngüler olup elektrik alan çizgilerine göre farklı özellikler gösterir. Elektrik alan çizgilerinin başlangıç noktasını pozitif yükler oluştururken, bitiş noktasını ise negatif yükler oluşturur. Elektrik alan çizgileri kapalı döngüler oluşturmazken, Manyetik alan çizgileri N kutbundan S kutbuna doğru kapalı döngüler oluşturacak şekilde hareket ederler [8].

Michael Faraday 1831 yılında elektromanyetik indüksiyon olarak ifade edilen ve zamana bağlı değişen manyetik alanın elektrik akım oluşturabileceğini açıklamıştır.

Matematiksel olarak denklem 1.3'de görülmektedir. Faraday, ilk olarak ağaçtan yapılmış bir silindirin etrafına, yan yana ve arası yalıtılmış iki sarım sararak başlamıştır. Bu sarımların bir tanesinin uçlarını bir pile diğerinin uçlarını ise bir galvanometreye bağlayarak şunu gözlemlemiştir: Pile bağlı sarımlardan akım geçerken diğer sarımdan akımın geçmediğini ortaya koymuştur. Ayrıca pili devreye bağladığı ve pili devreden kestiği durumlarda galvanometredeki anlık değişimleri fark edip bunları yorumlamış ve yaptığı deney sonucunda: Elektromanyetik indüksiyonu keşfetmiştir. Faraday'ın yaptığı deneyler, demir çekirdeğin etrafındaki sarımlarla (bobin halkası) indüklenen elektrik akımın manyetik alandaki değişim sonucu oluştuğunu açıklamıştır [9].

Maxwell Doğrulama Ampere Yasası, matematiksel olarak denklem 1.4'de görülmektedir. Bu yasaya göre manyetik alan iki şekilde oluşur. Bunlardan birincisi elektrik akımı yoluyla ikincisi ise elektrik alanını değiştirme yoluyla. Ampere Yasası'ndaki Maxwell doğrulaması hata oranı daha düşük bir eşitlik olup, bu doğrulama sadece manyetik alandaki değişimin elektrik alanın oluşmasına sebep olmadığını, aynı zamanda elektrik alanındaki değişimin de manyetik alanın oluşmasına sebep olduğunu açıklamaktadır. Bu nedenle, bu eşitlikler elektromanyetik dalgalara boşluk boyunca ilerleme kaydetmelerine imkân sağlamaktadır. Elektrik akımı ve elektrik yükleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elektromanyetik dalgalar için hesaplanan hızın ışık hızıyla aynı değerde karşımıza çıktığı görülmektedir. Maxwell Denklemleri olarak ifade edilen eşitliklerden birisi olan ve 1826 yılında Andre Marie Ampere tarafından ortaya konulan Amper Yasası, akım ileten kapalı bir halkanın çevresinde manyetik alanın oluşmasını açıklamaktadır [10].

1.2. İyon Kaynağı ve Hızlandırıcılar

1.2.1. İyon Kaynağı

Bir hızlandırıcının yapısında bulunan önemli bileşenlerden biri de iyon kaynağıdır. İyon kaynakları sadece hızlandırıcılarda kullanılmayıp iyon üretiminde, malzeme biliminde ve plazma ısıtılması gibi alanlarda da kullanılmaktadır [11, 12].

Plazmaların içerisinde yüksüz atomlar ve yüklü iyonlar yaklaşık eşit miktarda olup artı yüklü iyonlarla beraber elektronlar da bulunmaktadır. Bunun için elektron bombardımanı yöntemi kullanılarak iyon yoğunluğu istenilen şekilde artırılabilir [13].

1.2.2. Hızlandırıcılar

Hızlandırıcılar genellikle Hızlandırıcı Güdümlü Sistemlerde (HGS) protonları veya iyonları hızlandırmak için kullanılır. Hızlandırma işlemi vakumlanmış bir tüpün içinde yapılması gerekir. Bunun sebebi hızlandırılan parçacıkların ortamdaki atom ve moleküllere rastlayıp çarptığında hız kaybetmelerini önlemektir. Kullanılan vakumlanmış tüp bir doğru şeklinde ise bu tip hızlandırıcılara doğrusal (lineer) hızlandırıcı denir. Tüpün uzunluğu ne kadar çok olursa hızlandırılan parçacıkların enerjileri de o kadar yüksek olur. Bu durum tüpün yerleştirileceği tünelin maliyetini artırır. Doğrusal hızlandırıcılarda parçacık doğrusal yörüngeyi sadece bir kez geçer. Doğrusal hızlandırıcıların dışında parçacıklar ekstra bir manyetik alan ile dairesel bir yörüngede de döndürülerek hızlandırılabilir. Bu tür hızlandırıcılara dairesel hızlandırıcılar denir. Dairesel hızlandırıcılarda parçacıklar dairesel yörüngeyi periyodik olarak dolar ve her dolanmada bir miktar enerji kazanarak kapalı yörüngeleri izler [14].

1.2.2.1. Doğrusal (Lineer) Hızlandırıcı

Lineer hızlandırıcı, doğrusal bir yol boyunca sıralanan bir ya da birden fazla radyo frekansının rezonans boşluğu ile gerçekleştirildiği hızlandırıcılardır. Yüksek salınımlı frekans yaratan elektronik bir aletle oluşturulan radyo frekanslı bir elektrik alan aracılığıyla, proton ve elektronları doğrusal ve havası boşaltılmış bir odacıkta hızlandıran parçacık hızlandırıcısıdır. Yüksek salınımlı frekans oluşturan elektronik aletler, modern ve yüksek enerjili hızlandırıcılarında odacık boyunca düzenli aralıklarla düzenli bir şekilde radyo frekansı üretir. Üretilen bu radyo frekansının boşlukları arasında manyetik mercekler yardımıyla oluşturulan manyetik alan, parçacıkları aynı doğrultuda tutmasını sağlar [15].

1.2.2.2. Dairesel Hızlandırıcı

Rezonans hızlandırıcı olarak da adlandırılan daireseel hızlandırıcılarda yüklü parçacık demetleri hızlandırma düzeneklerinden ardışık hızlandırma işlemine tabi tutulur. Güçlü manyetik alan, yüklü parçacıkları daireseel bir yörüngede hareket etmeye zorlar. Diğer bir yandan bir ya da birden fazla geçit içerisinde bu parçacıklar radyo frekans salınımlı voltaj tarafından hızlandırılır. Bir sonraki geçide gelen yüklü parçacıklar, voltajın fazı 180 derece değiştiği için tekrar hızlanmaya başlarlar. Yüklü parçacıklar için bu işlem tekrarlandıkça daireseel yörünge üzerinde bulunan parçacıklar hareketlerine hızlanarak devam eder [16].

Doğrusal hızlandırıcılarda bileşenler, hızlandırma işleminde sadece bir defa kullanılabilir. Eğer çok yüksek enerjiler elde edilmek isteniliyorsa, boyu uzun doğrusal hızlandırıcılar kullanmak gerekir. Ancak doğrusal hızlandırıcıların boyunu uzun tutmak maliyeti artırmaktadır. Dairesel hızlandırıcıların avantajı burada ortaya çıkmaktadır. Çünkü hızlandırılmış tanecikler döndürölerek, hızlandırıcı istasyonundan tekrar geçirilirlerse, büyük bir kazanç elde edilir. Bu şekildeki bir hızlandırıcı ilk defa E.O. Lawrence tarafından yapılip “siklotron” diye adlandırılmıştır. Yüklü parçacıklar yassı bir silindir şeklinde bir vakum odasının merkezine gönderilir. İki yarım daire şeklindeki bölmelere ayrılan bu vakum odasında bölmeler arasında bir boşluk bulunup bu boşluğa elektrik alan uygulanır. Vakum odasının etrafında bulunan daireseel mıknatıs, parçacıkların ilerlediği her tarafa değişmeyen bir manyetik alan uygular. Böylece parçacıklar vakum odasına merkezden gönderilip boşluğa geldiklerinde elektrik alan tarafından hızlandırılırlar [17].

1.2.2.3. Türkiye’de Hızlandırıcı Çalışmaları

Ülkemizde hızlandırıcı ile ilgili çalışmalar 1997 yılında Ankara Üniversitesi öncülüğünde Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) projesi olarak başlamıştır. Proje kapsamında Türk Hızlandırıcı Merkezinin (THM) Ankara Üniversitesi Gölbaşı yerleşkesine kurulması planlanmıştır [18]. THM 5 alt projeden oluşmaktadır. Bunlarda birincisi Turkish Accelerator and Radiation Laboratory in Ankara (TARLA) projesi

olup 40 MeV enerjide doğrusal elektron hızlandırıcılarına dayalı serbest elektron lazeri ve x-ışını üretme tesisi olup şu anda bu proje için Elektron Hızlandırıcı Işınım Tesisi (TARLA) kurulmaktadır. İkinci bölümde 3 GeV enerjide elektron sinkrotron ışını üretmek amaçlanmış ve Sinkrotron Işınım Tesisi (TURKAY) tasarlanmıştır. Üçüncü bölüm 1-6 GeV enerjide doğrusal elektron hızlandırıcısı olup SASE SEL Tesisi (TURKSEL) tasarlanmıştır. Dördüncü bölüm 3-2000 MeV enerjide doğrusal proton hızlandırıcısı olup Proton Hızlandırıcı Tesisi (TURKPRO) olarak düşünülmektedir. Son olarak 1 GeV enerjide elektron, 3,6 GeV enerjide pozitron demeti üretmek için Parçacık Fabrikası Tesisi (TURKFAB) tasarlanmıştır [19].

Türk hızlandırıcı merkezi 1 GeV'lik lineer proton hızlandırıcı için 2,45 GHz'de çalışan MDIS iyon kaynağının kullanılması planlanmaktadır. Bu iyon kaynağı yaklaşık 0,1 T dış manyetik alan altında serbest protonlar üretebilmektedir [1].

Türkiye'deki hızlandırıcı çalışmalarına bağlı olarak Adıyaman Üniversitesinde (TFBAP/2014-0002) hızlandırıcı teknolojisinde kullanılan iyon kaynakları için 0,05-0,1 T aralığında manyetik alan üretebilen selenoid elektromıknatıs tasarlanarak üretilmiştir. Üretilen bu mıknatısın çekirdeğinde oluşan manyetik alan ölçülerek teorik değerlerle kıyaslanmıştır. Manyetik alan değerleri tesla metre ile ölçüldükten sonra aynı parametreler kullanılarak COMSOL simülasyonu yapılmış ve deneysel verilerle teorik hesaplar karşılaştırılmıştır. Teorik verilerle deneysel değerlerin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir [1].

1.3. Robot

Robot genel anlamda önceden programlanmış görevleri yerine getiren çok fonksiyonlu bir elektromekanik cihazdır. Robotlar tekrardan programlanabilen ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilebilen makineler olarak da tanımlanabilir.

1.3.1. Robotların İşlevleri

Teknolojinin günümüzde çok hızlı bir şekilde gelişmesiyle getirmiş olduğu yenilikler, insan hayatının çok önemli bir parçası haline gelmiştir. Teknolojik gelişmelerin yanında, iletişimin de hızla gelişmesiyle beraber insanların bu yeniliklerden haberdar olmaması neredeyse imkânsız hale gelmiştir. İnsan hayatına giren bu teknolojik gelişmelerle beraber insanlar, değişik dünya pazarlarına yönelmiş, daha kaliteli ve maliyeti az olan ürünleri imal etmeye başlamıştır. Bu durum rekabet piyasasının hızla büyümesini sağlamıştır. Bir ürünü daha kaliteli ve düşük maliyetle üretmek rekabet piyasasında artık zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle otomasyon teknolojisi üretimin ayrılmaz bir parçası durumundadır [20].

İnsanlar fizikî yapılarından dolayı bedensel gücünü kullanarak her işi yapma imkânına sahip değildir. İnsan gücünün yetmediği durumlarda kullanılmak üzere değişik amaçlı makineler üretilip geliştirilmiştir. Daha önce insan yardımı olmadan çalışmayan bu makineler zaman içerisinde gelişen teknolojiyle beraber geliştirilerek insan yardımına gerek duyulmadan otomatik olarak çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Genellikle daha düşük maliyetli ve daha kaliteli üretim için geliştirilen ve robot olarak adlandırılan bu makineler, hayatımızın birçok alanına girmiş ve insan hayatında önemli bir yer edinmişlerdir. Günümüzde ameliyat yapan robotlar, insan kolunun yaptığı görevi yapabilen yapay kol robotları, üretimde kullanılan robot kolları, derin sularda araştırma yapabilen ve hiç durmadan araştırma yapabilen montaj robotları, robotlardaki gelişmelere verilebilecek en güzel örneklerdir [20].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Manyetik alan ve robotlar ile ilgili son yıllarda çokça bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Tez konusu adım motoru ile hareket eden robot kolunun yapacağı manyetik alan ölçümleri olduğundan manyetik alan ölçümü, robot kolu ve adım motorunun kullanıldığı bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

1949 yıllarından sonra Amerika, Avrupa ve Japonya gibi dünyanın illeri gelen ülkelerinden pek çok firma robotlar üzerine çalışma yapmaya başlamıştır. Robotlarla ilgili yapılan bu çalışmalar rekabeti ve gelişmeyi beraberinde getirmiştir. Japon bilim adamı Takanobu ve arkadaşları uzaktan etkileşimi sağlanabilen ve insanlar gibi hareket edebilen robot üzerine çalışmalar yapmıştır [21]. J. N. Liou, M. Jamshidi ve G. P. Star endüstriyel robotlara uyarlanabilen kuvvet kontrolü ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında otomatik montajda takım-iş parçası etkileşimini uygun bir kuvvet aralığında tutmayı hedeflemişlerdir [22]. Hong Daehie, Steven A. Velinsky ve Kazuo Yamazaki, otoban yapımı ve otoban yapımının bakımı ve onarımında kullanılan bir mobil robotu ve bu robotun kontrol sistemi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu robotta Servo sistem kontrolü ile en iyi kontrol gerçekleştirilmiştir [23].

İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi'nde yapılan bir yüksek lisans çalışmasında internet üzerinden erişilebilecek mikro denetleyici tabanlı bir elektronik kart tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamada internet üzerinden robot kolu kontrolü başarıyla gerçekleştirilmiştir [24]. Yine aynı üniversitede yayınlanan bir makalede değişik nesneleri tanıma ve bu nesnelerle ilgili görüntü işleme sistemi ve görüntü destekli olarak bu nesneleri ayırmak için kullanılan robot manipülatörü ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur [25]. Aynı üniversitede yayınlanan başka bir makalede, sabit bir bilgisayar tarafından radyo frekanslı modemler kullanılarak kontrol edilebilen bilgisayar destekli bir non-holonmik araç sunulmuştur. Mobil robot, programlanan ya da operatörce istenilen yolu takip edebilmektedir [26]. Akdeniz Üniversitesinde yapılan bir yüksek lisans tez çalışmasında tasarlanan optik lif manyetik alan algılayıcısı ile manyetik alan değişimleri ölçülmüştür [27]. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesinde yapılan bir yüksek lisans çalışmasında HPC 46003 ile

kontrol edilebilen bir sistemde TL3103 Hall etkili sensör kullanılarak farklı voltaj değerlerine göre manyetik alan değerleri ölçülmüştür [28].

Sakarya üniversitesinde yapılan bir yüksek lisans çalışmasında bir labirent robotu tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Bu robotun yapısında 2 adet adım motoru kullanılmıştır [29]. Aynı üniversitede yapılan başka bir yüksek lisans çalışmasında mekatronik sistemler için internet tabanlı kontrol ve kartezyen robot ile ilgili bir uygulama yapılmıştır. Bu robota, üç farklı renkte plastik topların renklerin yerini değiştirerek dokuz farklı noktaya taşıma görevini yerine getirecek bir program yüklenmiştir. Bu programa plastik topların gideceği noktaların koordinatları girilerek istenen sonuca ulaşılmıştır [30].

Yine Sakarya Üniversitesinde yapılan başka bir yüksek lisans projesinde: simülasyon çalışmaları neticesinde serbestlik derecesi altı olan PUMA 560 robotunun daha önce hesaplanan moment yöntemiyle ile yörünge kontrolü yapılmıştır [31].

Başka bir çalışmada üç eklemlili bir SCARA robotu ele alınmış ve dinamiği yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Bu çalışma sonucunda yapay sinir ağları, hedeflenen çıkışları izin verilebilen çok küçük sapmalarla başarılı bir şekilde yakalamış ve iyi bir sonuç ortaya koyarak SCARA robotun modellenmesi ile ilgili ortaya çıkan modellenme problemine çok iyi cevap vermiş ve bu konuda çözüm üretebilmiştir [32].

Yine yapılan bir doktora tezinde ise üç eklemden oluşan robotik bir sistemin, görmeye dayalı kontrolü, yapay sinir ağı kullanılarak yapılmıştır [33]. Başka bir yüksek lisans çalışmasında bir labirent robotunun tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Bu robotun yapımında 2 adet adım motor kullanılmıştır. Robot ayrıca bu 2 adet adım motoruna bağlı olan iki adet tekerden oluştuğu için denge problemi yaşanmış ve bu problem ön ve arkaya konulan bilyeler ile giderilmiştir [34].

Bilgisayar-Elektrik-Elektronik Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi'nde yayınlanan bir bildiri ile mekatronik bir sistem tasarımı ile ilgili bir çalışma sunulmuştur. Bu çalışmada sistem bilgisayarlar ile haberleşip x-y koordinat düzleminde çizim yapabilmektedir. Bu sistem z ekseninde hareket etmeyi sağlayan sonlandırıcı bir eleman ile üç ekseninde de hareket etmektedir [35].

Ankara Gazi Üniversitesi'nde yapılan bir yüksek lisans çalışmasında kırmızı, yeşil ve mavi renge göre malzeme taşıyan bir robot kolu tasarlanmış ve uygulaması yapılmıştır. Bu çalışma için gerekli olan program kontrol birimine bir kez yüklenmekte ve robot yüklenen bu programa göre hareketini gerçekleştirmektedir [36].

İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde yapılan bir yüksek lisans çalışmasında genel amaçlı bir robot kolu tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada üç eksen ve bir tutucuya sahip olan bir robot manipülatöre insansı el hassasiyeti kazandırmak amaçlanmıştır [37].



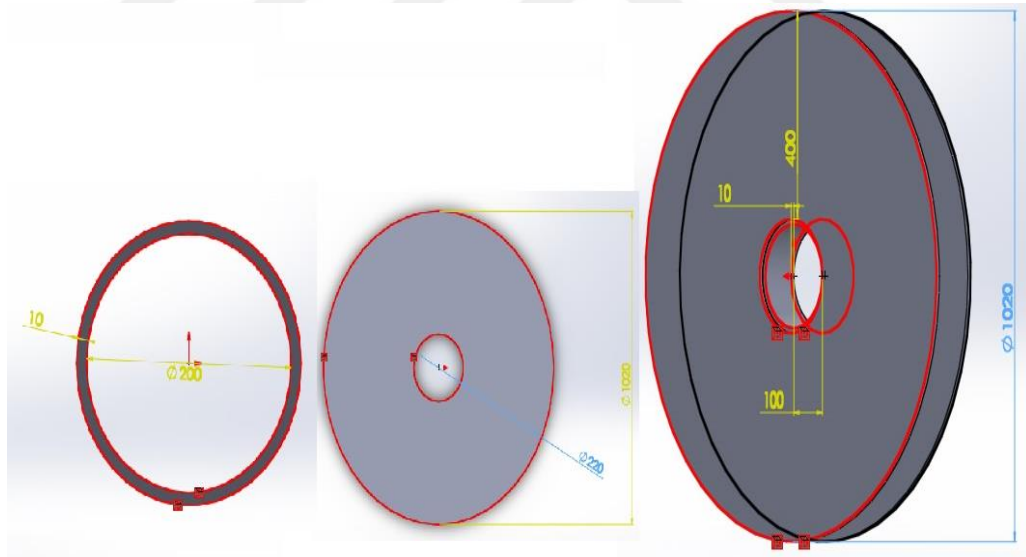
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Su Soğutmalı Elektromıknatıs

Adıyaman Üniversitesinde (TFBAP/2014-0002) hızlandırıcı teknolojisinde kullanılan iyon kaynakları için 0,05-0,1 T aralığında manyetik alan oluşturabilen ve laboratuvarımızda bulunan su soğutmalı elektromıknatıs çalışır durumda bulunmaktadır.

Bu çalışmada üç boyutta hareket eden 3D-Robotik-Kol yardımıyla verilen bölgenin manyetik alan taraması yapıлып haritalandırılmıştır.

Bu solenoid elektromıknatis için elik gövde kullanılmıştır. elik gövdenin i çapı yaklaşık 200 mm ve dış çapı ise yaklaşık 1020 mm dir. Üretilen elik kasnak tasarımı şekil 3.1’de verilmiştir.



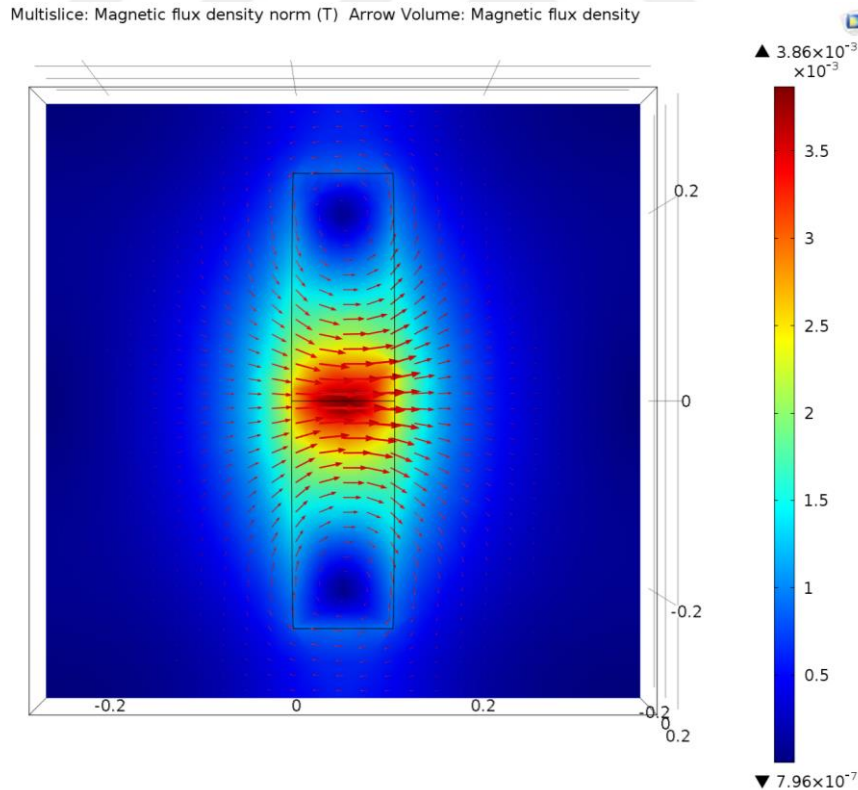
Şekil 3.1 Selenoid elektromıknatısın 3 boyutlu tasarımı

Çelik kasnak üzerine sarılan bakır boru et kalınlığı 1 mm, dış çapı 6 mm ve iç çapı 5 mm olan yüksek iletkenliğe sahiptir. Kasnak üzerine yan yana 12 sıra üst üste 42 sıra olmak üzere toplam 504 sarım yapılmıştır. Buna göre bakırdan 10-20 A

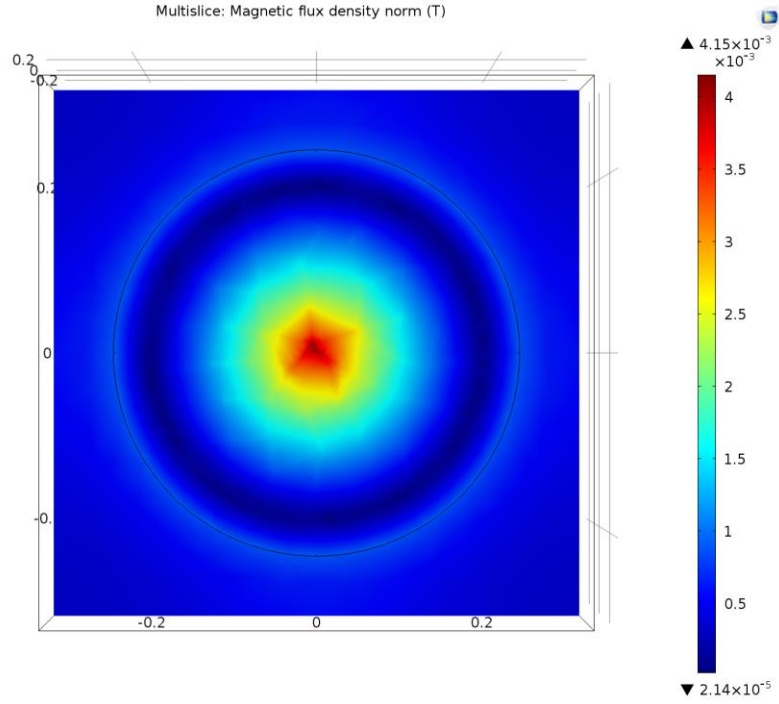
aralığında akım geçirilirse kasnağın merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti eşitlik 3.1 yardımı ile hesaplanır.

$$B = \mu_0 \frac{nI}{L} \quad (3.1)$$

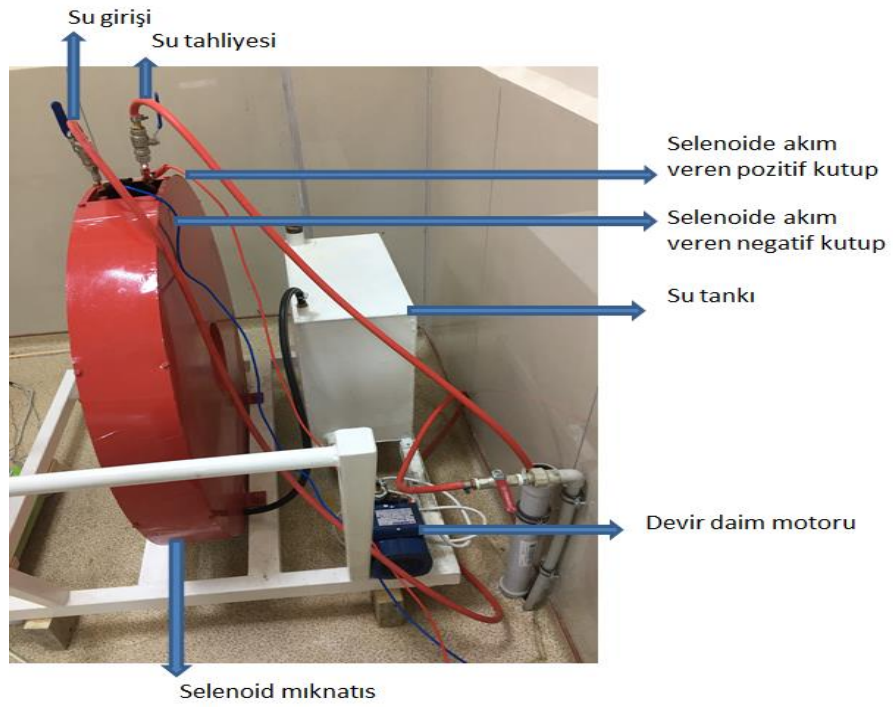
Burada, B manyetik alan şiddeti olup birimi Tesladır. μ_0 uzayın manyetik geçirgenliği (T m/A) olup bir sabittir. n sarım sayısı, I bakır borudan geçen elektrik akımı (A), L kasnak üzerinde sarım yapılan yerin uzunluğunu (m) ifade eder. Değerler eşitlik 3.1’de yerine konulursa 10-20A akımda 0,06-0,12T manyetik alan şiddeti elde edilir ($L=0,1m$, $n=500$). Elde edilen manyetik alan şiddeti Türk Hızlandırıcı Merkezi Proton Hızlandırıcısı için tasarlanan MDIS iyon kaynağı için yeterli aralığa sahiptir. Tasarlanıp üretilen solenoid mıknatısın COMSOL simülasyon programındaki sonuçları 10 A akım için Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir [1].



Şekil 3.2 Solenoid elektromıknatısın 10 A’de simülasyonu üstten görünüşü



Şekil 3.3 Selenoid elektromıknatısın 10 A’de simülasyonu yandan görünüşü



Resim 3.1 İçinde su geçen selenoid elektromıknatısın görünümü

Laboratuvarımızda mevcut olan su soğutmalı selenoid elektromıknatıs Resim 3.1’de görüldüğü gibi olup, su devir daimî yapması için selenoid elektromıknatısa su giriş ve su tahliye boruları bağlanmıştır. Ayrıca su devir daimî yapabilmek üzere yanına bir su tankı ve devir daim motoru eklenmiştir. Pozitif ve negatif uçlu bakır teller yardımıyla sarımlara akım verilmiştir. Tellerin diğer uçları Resim 3.2’de görülen DC ayarlı güç kaynağına bağlanmıştır. DC güç kaynağının akımı 8 A’e ayarlanarak selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşlukta manyetik alan oluşturulmuştur.

Selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşlukta oluşan manyetik alanın davranışını anlayabilmek ve bu boşluğun içerisinde değişik noktalardaki manyetik alanı ölçüp haritalandırmak için yeni bir cihaz tarafımızdan tasarlanarak üretilmiştir. Yapılan bu cihaza *3D-Robotik-Kol* adı verilmiş olup bu cihazla ilgili ayrıntılı açıklamalar gelecek bölümlerde anlatılmıştır.

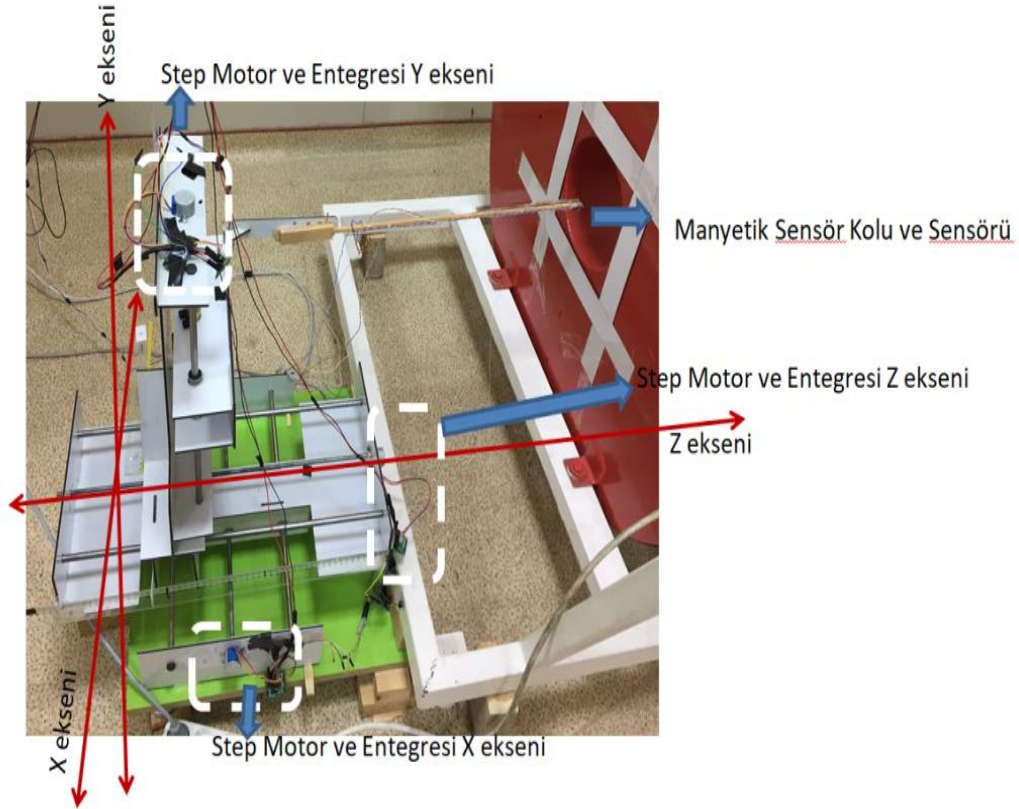


Resim 3.2 Selenoid elektromıknatısa akım veren DC ayarlı güç kaynağı

3.2. 3D-Robotik Kol

Çapı yaklaşık 20 cm ve derinliği yaklaşık 14 cm olan silindirik bölgenin dışına sarılan sarımlar dolayısıyla silindirin içinde manyetik alan oluşmaktadır. Oluşan manyetik alanın silindirin hangi noktasında ne değere sahip olduğunu anlamak ve bu

değerleri ölçmek için üç boyutlu robotik kol prototipi geliştirilmesi planlanarak üretilmiş ve *3D-Robotik-Kol* adı verilmiştir. Bu robotik kol, x-y-z eksenlerinde üç boyutta hareket edebilen ve istenilen noktada manyetik alan değeri ölçmemizi sağlayan önemli bir ayardır. Bu ayarın geliştirilme aşamaları kısaca şöyle özetlenebilir: Öncelikle nasıl bir robotik koluna ihtiyaç olduğu düşünöldü, daha sonra kolun tasarımı yapıldı. Tasarlanan kol “3D-Robotik Kol” olarak adlandırıldı. 3D-Robotik Kolun üretimi Adıyaman Üniversitesi BAP Proje biriminin desteğıyle Adıyaman Küçük Sanayi sitesinde yaptırılmıştır. 3D-Robotik Kol, Resim 3.3’de ki gibi bir görünüme sahiptir.



Resim 3.3 Adıyaman sanayisinde üretilen 3D Robotik Kol’un görünümü

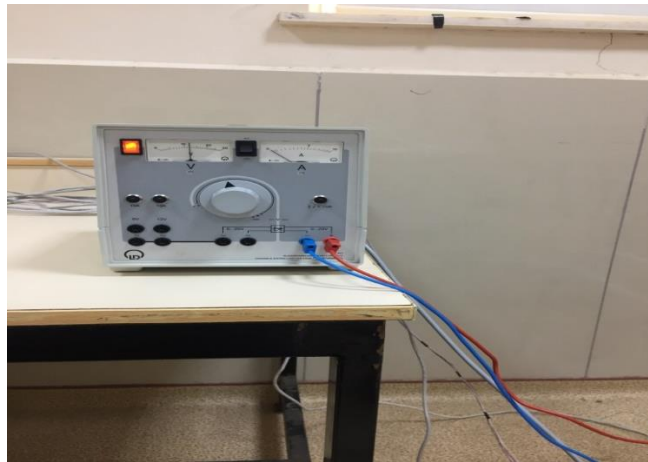
3D-Robotik Kol, x, y ve z eksenlerinde hareket edebilmesi için her bir eksene Şekilde 3.4’de görölen adım motorları entegre edilmiştir.



Şekil 3.4 3D-Robotik Kol'a hareketini sağlayan adım motoru ve entegre devresi

Bu adım motorların önemli özelliklerinden biri, bir adımda yaklaşık olarak 2 mm'lik mesafe almasıdır. Dolayısıyla x-y-z eksenlerinde yaklaşık 2 mm'lik aralıklarda hareket ederek ölçüm alıp ilgili alan taranabilir.

Bu sistem için kullandığımız adım motorunun entegresi Şekil 3.4'de görülmektedir. Adım motorunun sistemi sağlıklı bir şekilde hareket ettirebilmesi için entegrenin 9 voltluk bir gerilim ve 0,1 amperlik akımla beslenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu 9 voltluk gerilim ve 0,1 amperlik akım için Resim 3.4'deki güç kaynağı kullanılmıştır.

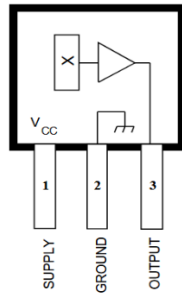


Resim 3.4 Adım motorlarının hareketi için kullanılan güç kaynağı

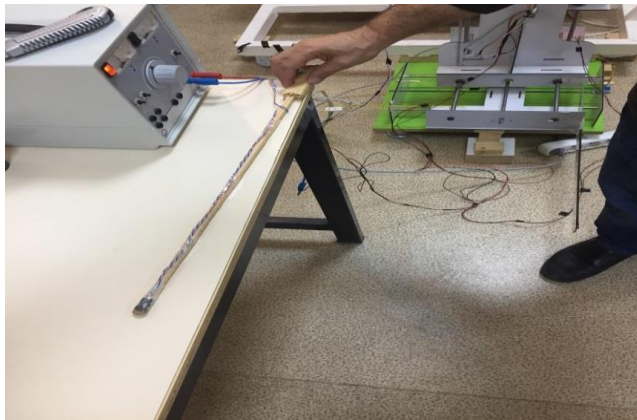
Adım motorları, Resim 3.6’da gösterilen Arduino UNO mikro işlemcisi tarafından kontrol edilerek sisteme entegre edilmektedir.

Manyetik alan, Resim 3.5’de görülen manyetik alan koluna bağlı sensör kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçümler için UGN3503U Hall etkisi sensörü kullanılmıştır. Manyetik alan sensörünün sisteme entegrasi Arduino UNO mikro işlemcisinin yardımı ile olmaktadır.

UGN3503U Hall etkisi sensörü, Şekil 3.5’deki gibi olup manyetik akıdaki küçük değişiklikleri hassas bir şekilde izleyebilmektedir. UGN3503U Hall etkisi sensörünün çalışabilmesi için 0 volt ile 8 volt arası gerilimlerle beslenmesi gerekmektedir (bu ölçümler için 6 voltluk gerilim verilmiştir), ayrıca -20 °C ile +80 °C sıcaklık aralıklarında çalışmakta olup, değişik (limitlenmemiş) aralıklarda manyetik akı değerlerini ölçebilmektedir [38].



Şekil 3.5 UGN3503U manyetik alan sensörü şematik gösterimi [38]

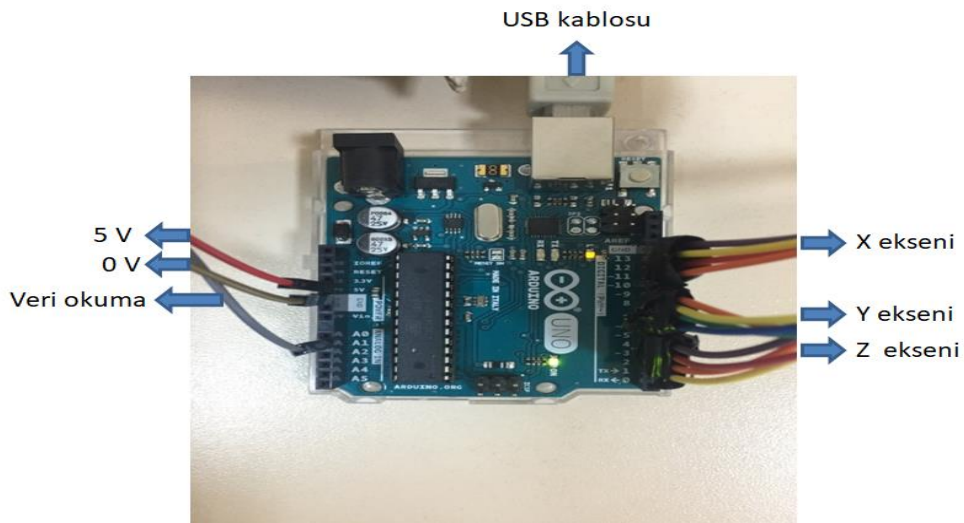


Resim 3.5 3D-Robotik Kola bağlı manyetik alan sensör kolu

Hem adım motorları hem de manyetik alan sensörü Resim 3.6’da gösterilen Arduino UNO mikro işlemcisi tarafından denetlenmektedir. Arduino UNO mikro işlemcisi USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak programlanabilme özelliğine sahiptir.

Adım motorlarının x-y-z eksenlerinde sıralı olarak hareket edebilmesi Arduino UNO’nun dijital çıkışları yardımı ile olmaktadır. UGN3503U Hall etkisi sensörü bilgilerinin okunup kaydedilmesi için ise Arduino UNO’nun analog kısmı kullanılmıştır.

Arduino UNO mikro işlemcisinin adım motorlarını hareket ettirip manyetik alan sensöründen verileri okuması için yazılımının yapılması gerekmektedir. Bu sistemin yazılımı tarafımızdan yapılmış olup küçük bir kod parçası Şekil 3.6’da görülmektedir.



Resim 3.6 Adım motorları ve manyetik alan sensörünü denetleyen Arduino UNO mikro işlemcisi

```

#include <X113647Stepper.h>
const int stepsPerRevolution_x = 64 * 32; // change this to fit the number
const int stepsPerRevolution_y = 64 * 32;
const int stepsPerRevolution_z = 64 * 32;
X113647Stepper myStepper_x(stepsPerRevolution_x, 2, 3, 4, 5);
X113647Stepper myStepper_y(stepsPerRevolution_y, 6, 7, 8, 9);
X113647Stepper myStepper_z(stepsPerRevolution_z, 10, 11, 12, 13);
boolean stop_it = true;
void direction_y(int);
void y_x_z_eksen_ayarla(int);
void tek_tek_y(int);
float MeasurementMag();
String eksen;
String tek;
// Magnetic Field
float pin_1 = A1 ;
float pin_2 = A2 ;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // opens serial port, sets data rate to 9600 bps
  myStepper_x.setSpeed(100); // 100 is speed of motor
  myStepper_y.setSpeed(100);
  myStepper_z.setSpeed(100);
  Serial.println(""); Serial.print("\t"); Serial.println("Uc Boyutlu Hareke-
  Serial.println("                                Gelistiren: Bayram TALI
  Serial.println("Eksen Ayari Yapilacak mi? e/h :");
  while (Serial.available()==0) { }
}
void loop() {
  Serial.println("Eksen Ayari Yapilacak mi? e/h :");
  while (stop_it){
    eksen = Serial.readString();

```

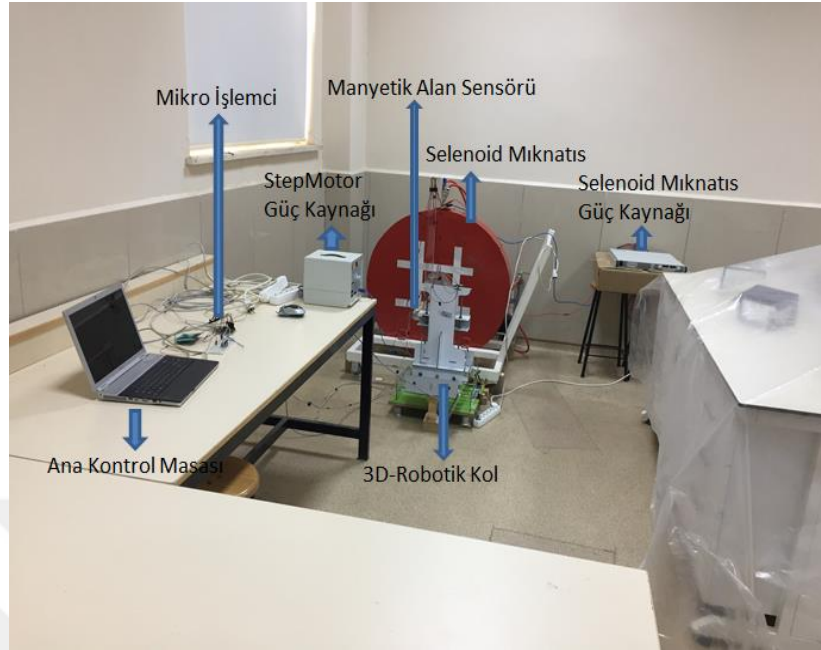
Şekil 3.6 Arduino UNO yazılımı için küçük bir kod parçası

Bu yazılım yardımıyla öncelikle adım motorları istenilen x-y-z konumuna getirilmiş, bunun için Arduino UNO'nun on iki adet dijital kapısı kullanılırken manyetik alan sensörü verilerinin okunarak kaydedilmesi için A1 analog kapısı kullanılmıştır.

Böylece selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşluğun x-y-z değerlerine bağlı olarak manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir. Manyetik alan ölçümü yapılırken daha doğru bir sonuca ulaşmak için her bir noktada önce 10 s bekleyip manyetik alan sensörünün doyuma ulaşması beklendikten sonra birer saniye aralıklarla 10 tane ölçüm yapıp ortalaması alındıktan sonra kaydedilmiştir.

3D-Robotik Kolun asıl işi manyetik alan ölçen sensörün konumunu belirlemektir. Bunu yapabilmek için aşağıdaki başlangıç ayarları yapılmıştır.

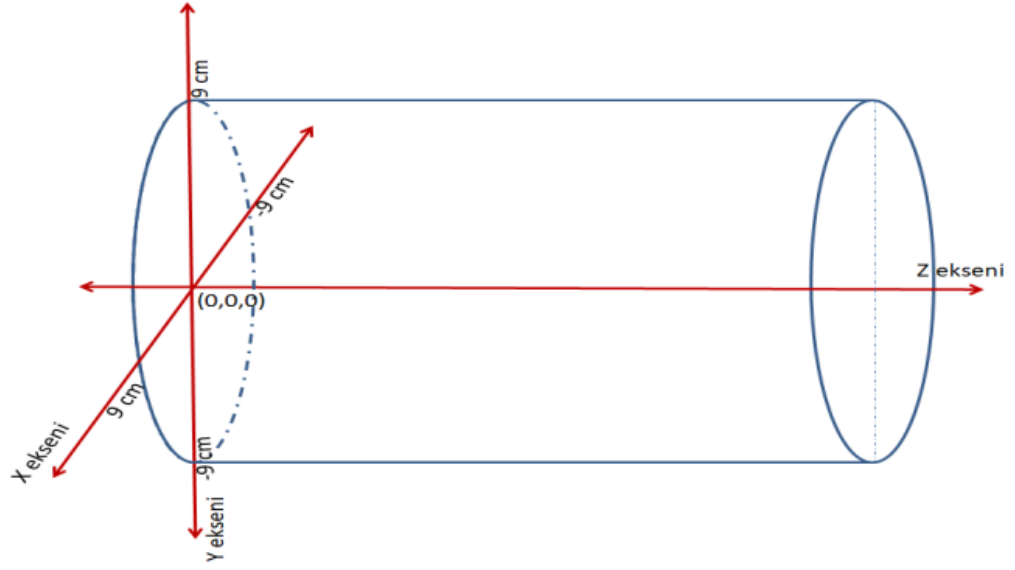
Selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşluğun manyetik alanını ölçüp verileri kaydetmek için kullanılan sistemin tamamı Resim 3.7'deki gibidir. Sistemin tamamı ana kontrol masasından kontrol edilebilecek durumdadır. Gerekli ayarlar yapılarak ölçüm almaya hazır hale getirilmiştir.



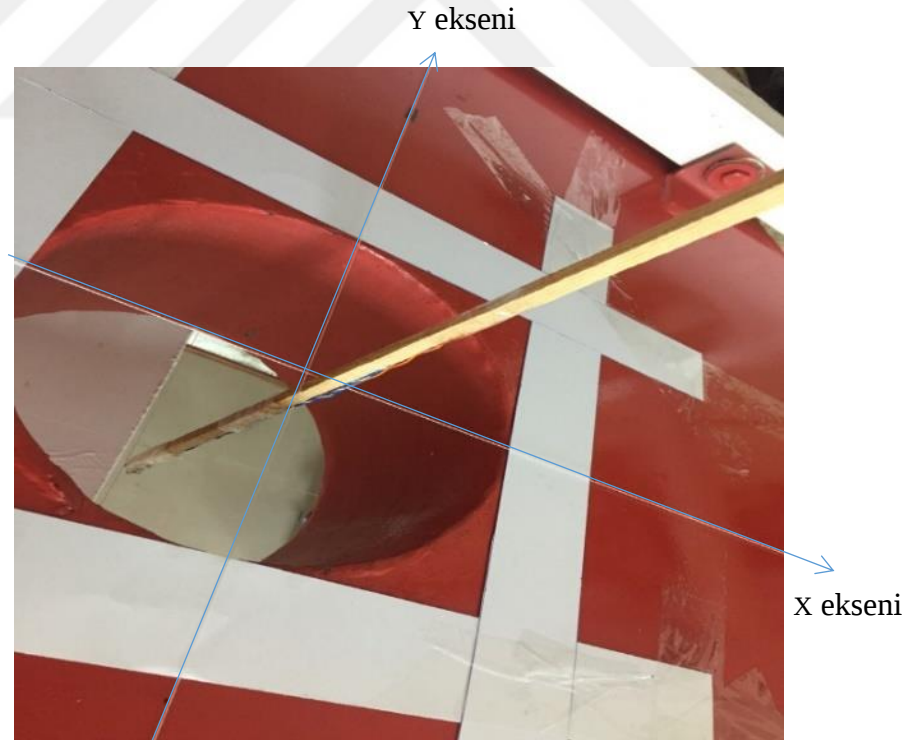
Resim 3.7 Selenoid elektromıknatısın merkezindeki silindirik boşluğun manyetik alanını ölçen sistemin tamamı

3.3. Başlangıç Ayarları ve Ölçümler

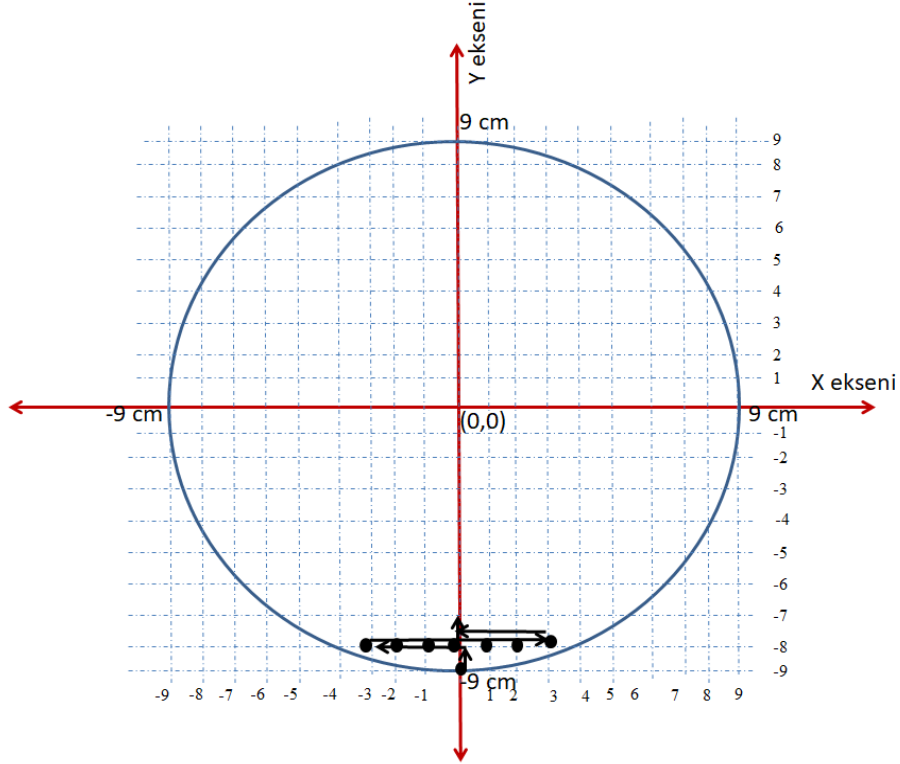
Ölçümlere başlamadan önce manyetik alan haritası çıkartılacak silindirik bölgenin (oyuğun) merkezi tespit edilmiştir. Merkezin tespiti x-y-z eksenlerine bağlı olarak yapılmıştır. Silindirik bölge ve x-y-z eksenleri Şekil 3.7'de gösterildiği gibidir. Z ekseninin sıfır noktası silindirin ön yüzü kabul edilmiş ve ölçümlere ön yüzün 2 cm gerisinden başlanmıştır. Ön yüzün 2 cm gerisindeki bu tabaka $z=0$ tabakası olarak adlandırılmıştır. Silindirin x-y eksenlerindeki başlangıç noktalarını belirlemek için Resim 3.8'deki gibi selenoid kasağın ön ve arka taraflarına ipler bağlanarak x ve y eksenlerinin başlangıç noktaları belirlenmiştir.



Şekil 3.7 Silindirik bölge ve x-y-z eksenlerinin gösterimi



Resim 3.8 x ve y eksenlerinin başlangıç noktalarının selenoid kasağın ön ve arka taraflarına ipler bağlanarak belirlenmesi



Şekil 3.8 Silindirin x-y koordinat sistemi

Başlangıç ayarları yapıldıktan sonra z ekseninde 2 cm aralıklarla toplam 10 tabaka olmak üzere ölçümler yapılmıştır. Her z tabakası sabit tutularak x ve y eksenleri değiştirilip Şekil 3.8'deki gibi ölçümler alınmıştır. Y ekseninde 1 cm aralıklarla ölçümler -9 cm ile +9 cm arasında yapılmıştır. X ekseninde 1 cm aralıklarla ve her aralıkta Çizelge 3.1'de görüldüğü üzere değişen sayıda ölçümler -9 cm ile +9 cm arasında alınmıştır. Böylece $z=0$ tabakası için x ve y eksen ölçüm sayıları ayrıntılı olarak Çizelge 3.1'de görülmekte olup bu tabakada toplam 257 tane ölçüm alınmıştır. Çizelge 3.1'de verilen x ve y eksen ölçüm sayıları diğer z tabakaları için de tekrarlanarak 10 tabakada toplam 2570 adet ölçüm alınmıştır.

Çizelge 3.1 $z=0$ tabakasındaki x ve y eksenlerindeki ölçümler

Y eksen (cm)	X eksen (cm)	Ölçüm sayısı
9	0	1
8	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	7
7	-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5	11
6	-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6	13
5	-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	15
4	-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	17
3	-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	17
2	-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	19
1	-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	19
0	-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	19
-1	-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	19
-2	-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	19
-3	-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	17
-4	-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	17
-5	-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	15
-6	-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6	13
-7	-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5	11
-8	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	7
-9	0	1

Z eksen sabit tutularak $z=0$ tabakası için y ve x eksenleri değiştirilerek koordinatlarının belirlenip manyetik alan ölçümü alınması Şekil 3.8'deki gibi olmaktadır. Bu ölçümlerin nasıl alındığına örnek verilecek olunursa: Önce sistem $z=0$ tabakasında sabitlenmiş olup, ilk adım olarak 3D-Robotik Kola bağlı manyetik alan sensör kolu $y=-9$ cm noktasına getirilmiş ve $x=0$ cm noktasından 1 tane manyetik alan ölçümü alınıp kaydedilmiştir. İkinci adımda y ekseninde 1 cm hareket edip $y=-8$ cm noktasına getirilmiş ve x ekseninde -3 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ noktalarında) 7 noktada manyetik alan ölçümü yapıp kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek üçüncü ölçüm için hazır hale getirilmiştir. Üçüncü adımda y ekseninde 1 cm daha hareket edip $y=-7$ cm

noktasına getirilmiş ve x ekseninde -5 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5$ noktalarında) 11 noktada manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek dördüncü adım için hazır hale getirilmiştir. Dördüncü adımda y ekseninde 1 cm daha hareket edip $y=-6$ cm noktasına getirilmiş ve x ekseninde -6 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ noktalarında) 13 noktada manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek beşinci adım için hazır hale getirilmiştir. Beşinci adımda y ekseninde 1 cm hareket edip $y=-5$ cm noktasına getirilmiş ve x ekseninde -7 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ noktalarında) 15 noktada manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek altıncı adım için hazır hale getirilmiştir. Altıncı adımda y ekseninde 1 cm daha hareket edip $y=-4$ cm noktasına getirilmiş ve x ekseninde -8 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ noktalarında) 17 noktada manyetik alan ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek yedinci adım için hazır hale getirilmiştir. Yedinci adımda y ekseninde 1 cm daha hareket edip $y=-3$ cm noktasına getirilmiş x ekseninde -8 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ noktalarında) 17 noktada manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek sekizinci adım için hazır hale getirilmiştir. Sekizinci adımda y ekseninde 1 cm daha hareket edip $y=-2$ cm noktasına getirilmiş ve x ekseninde -9 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ noktalarında) 19 noktada manyetik alan ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek dokuzuncu adım için hazır hale getirilmiştir. Dokuzuncu adımda y ekseninde 1 cm daha hareket edip $y=-1$ cm noktasına getirilmiş ve x ekseninde -9 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ noktalarında) 19 noktada manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir, ardından x ekseninin başlangıcı olan $x=0$ cm noktasına gelerek onuncu adım için hazır hale getirilmiştir. Onuncu adımda y ekseninde 1 cm hareket edip $y=0$ cm noktasına

getirilmiş ve x ekseninde -9 cm noktasına getirilerek 1 cm aralıklarla ($x=-9, -8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ noktalarında) 19 noktada manyetik alan ölçümleri yapıp kaydedilmiştir. Bu durum yani y ekseninin 1 cm hareket edip durduktan sonra x eksenindeki manyetik alan ölçümleri $y=9$ cm noktasına kadar devam etmiş ve $z=0$ tabakasında toplam 257 tane ölçüm alınıp kaydedilmiştir. $z=0$ tabakasındaki bu ölçümler bittikten sonra bir sonraki tabaka olan $z=1$ tabakası için x ve y eksenine bağlı ölçümler yukarıda anlatıldığı gibi tekrar edilmiş ve bu tabakada da 257 tane ölçüm alınıp kaydedilmiştir. Ölçümler bu şekilde $z=9$ tabakasına kadar z’de toplam 10 tabaka olmak üzere konum ve manyetik alanlar ölçülerek kaydedilmiştir. Bu ölçümler iki aşamada yapılmıştır; önce selenoid elektromıknatısa akım verilmeden yukarıda anlatıldığı üzere tüm silindirik bölgede 2570 adet ölçüm alınarak kaydedilmiştir (bu ölçümler, gürültü veya pedestal değerleri olarak biliniyor), sonra yukarıda anlatıldığı gibi selenoid elektromıknatısa akım verilerek tüm silindirik bölgede 2570 adet ölçüm yapılarak kaydedilmiştir (bu ölçümler, gürültü ile birlikte sinyal değerleri olarak biliniyor). Böylece, akımsız ve akımlı toplam 5140 adet ölçüm alınarak veri alma süreci tamamlanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Önceki bölümlerde ölçümlerin alınabilmesi için başlangıç ayarları ve diğer ayar ayrıntılarıyla ilgili detaylar verilmiştir. Bu bölümde verilerin Şekil 3.6'daki Arduino UNO yazılımı yardımıyla nasıl alındığı ve Şekil 4.1 ROOT analiz kodları yardımıyla nasıl analiz edildiği anlatılmıştır.

Arduino Uno mikro işlemcisinin kodları $z=0$ tabakası için önce elektromıknatısa akım verilmeden çalıştırılmış ve z - y - x eksenlerindeki manyetik alan bilgileri ölçülüp kaydedilmiştir. Akım verilmeden elde edilen bu ölçüm sonuçları pedestal değeri (B_0) olarak kabul edilmiştir. Daha sonra selenoid mıknatısa akım verilerek z - y - x noktalarındaki manyetik alan ölçülüp kaydedilmiştir (B_1). Sadece verilen akımın ürettiği manyetik alanı anlayabilmek için B_1 sinyal değerinden B_0 pedestal değeri çıkartılmıştır ($B_1-B_0=B_2$). Bu ölçümler tüm z - y - x noktaları için yapıp veriler Tablo 4.1'deki gibi bir txt dosyasına kaydedilmiştir. Bu ölçümler selenoid elektromıknatısa 8 Amperlik akım verilerek elde edilmişlerdir.

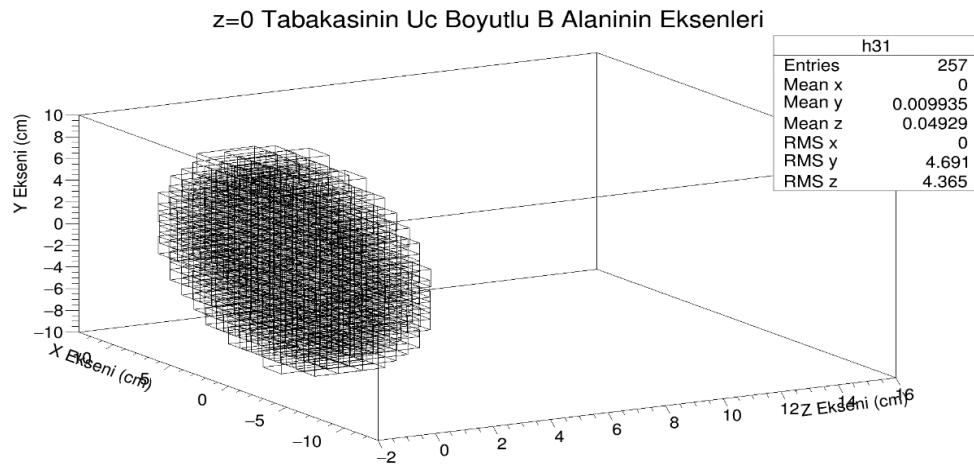
Çizelge 4.1 $z=0$ tabakasındaki manyetik alan ölçüm sonuçları

Z(cm)	Y(cm)	X(cm)	B0(Gauss)	B1(Gauss)	B1-B0(Gauss)
0	-9	0	3,59	6,49	2,90
0	-8	-3	3,75	6,70	2,95
0	-8	-2	3,59	6,97	3,38
0	-8	-1	3,64	7,13	3,49
0	-8	0	3,67	7,07	3,40
0	-8	1	3,62	7,13	3,51
0	-8	2	3,59	6,91	3,32
0	-8	3	3,56	6,73	3,17
0	-7	-5	3,72	6,65	2,93
0	-7	-4	3,62	7,26	3,64
.....					

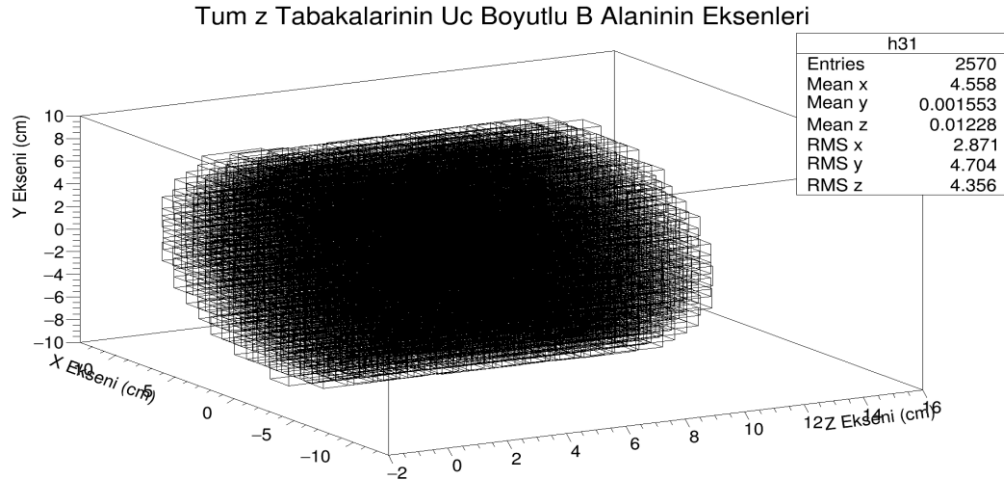
Elde edilen veriler, Şekil 4.1 ROOT analiz kodları yardımıyla analiz edilmiştir. Bu kodlar yardımıyla $z=0$ tabakasındaki x-y konum bilgileri Şekil 4.2’de görülmektedir. Ayrıca ROOT makrosu tüm x-y-z konum bilgisi verileri için çalıştırıldığında sonuçları üç boyutlu olarak Şekil 4.3’de görülmektedir.

```
{
gROOT->Reset();
gStyle->SetOptStat(1);
// Kullanılacak değişkenler
Float_t z=-1;
Float_t b0=-1;
// Verilerin olduğu txt dosyası
ifstream in("z_0_akimsiz-akimli_v1.txt");
// Ntuple üretim için
TFile *f = new TFile("test_olcum.root","RECREATE");
TNTuple *ntuple = new TNTuple("ntuple","data from ascii file","z:y:x:b0:b1:b2");
// Canvasların deklarasyonu
TCanvas *c1 = new TCanvas("c1","c1",700,400);
c1->Divide(3,2);
// Bir boyutlu dağılımların deklarasyonu
TH1F *h11 = new TH1F("h11","Z Eksen Dağılımı",25,-2,23);
// İki boyutlu dağılımların deklarasyonu
TH2F *h21 = new TH2F("h21","z = 0 tabakasındaki akimsiz iki boyutlu B alan",25,-12,13,25,-12,13);
// Üç boyutlu dağılımların deklarasyonu
auto h31 = new TH3F("h31","üç boyutlu B alan",18,-2,16,26,-13,13,20,-10,10);
// Ntuple ve histogramların doldurulması
Int_t ix=0;
while (readflag==0) {
// txt dosyasını gidip her bir kolonu alıp aşağıdaki değişkenlere atar z,y,x,b
in >> z >> y >> x >> b0 >> b1 >> b2;
readflag=in.rdstate();
if(readflag!=0) break;
// bir boyutlu histogramlar doldurulur
h11->Fill(z);
// iki boyutlu histogramlar doldurulur
h21->Fill(x, y, b0);
if (z==0 && y==0) h220->Fill(x, b0);
// üç boyutlu histogramlar doldurulur
h31->Fill(z, x, y, b0);
nlines++;
ix++;
}
c1->cd(1);
h11->Draw("");
printf(" found %d points\n",nlines);
in.close();
f->Write();
}
```

Şekil 4.1 ROOT grafik programı kodları

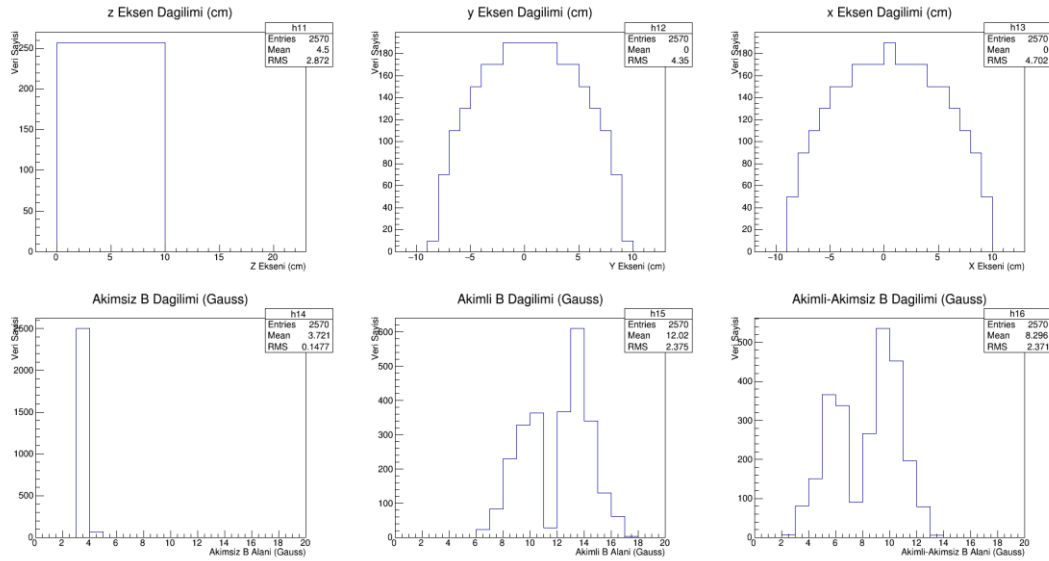


Şekil 4.2 $z=0$ tabakası için üç boyutlu x-y-z konum bilgisi içeren dağılım



Şekil 4.3 Tüm z tabakaları için üç boyutlu x-y-z konum bilgisi içeren dağılım

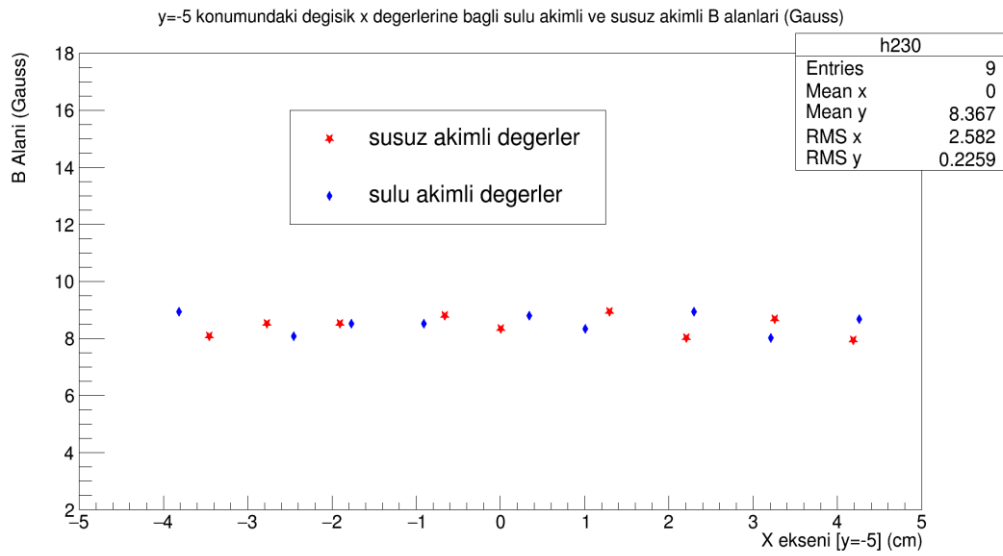
Bu verilerin analizi için ROOT programı çalıştırıldığında z-y-x esenlerindeki koordinat bilgileri ile tüm manyetik alan ölçüm bilgisi Şekil 4.4'teki gibi olmuştur.



Şekil 4.4 z-y-x konumlarındaki koordinat bilgileri ile tüm manyetik alan ölçüm değerleri grafiği

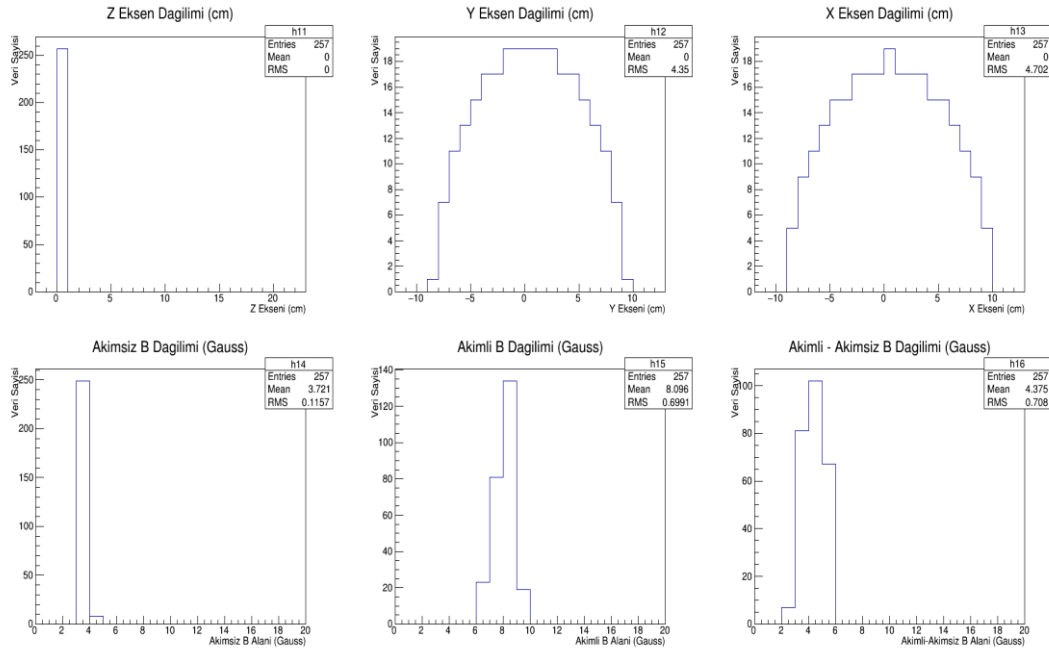
Solenoid elektromıknatısa 8 Amperlik akım verilirken sarımları oluşturan bakır borulardan su geçirildiğinde elde edilen manyetik alan değerleri ile bakır borulardan su geçirilmeden elde edilen manyetik alan değerleri Şekil 4.5'de görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde bakır borulardan su geçirilmeden elde edilen susuz akımlı

manyetik alan değerleri ile bakır borulardan su geçirilerek elde edilen sulu akımlı manyetik alan değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Benzer grafiklere daha fazla nokta için bakılmış ve hepsinde yaklaşık aynı değerler bulunduğu görülmüştür. Bu değerlerin birbirine çok yakın olması bakır borudan su geçiririnin manyetik alan değerini değiştirmede sonucuna varılmıştır. Bu nedenle ölçümlere bakır borulardan su geçirmeden devam edilmiştir.



Şekil 4.5 $z=0$ tabakasındaki $y=-5$ konumundaki x deşerlerine bağlı sulu akımlı ve susuz akımlı manyetik alan deşerleri grafiği

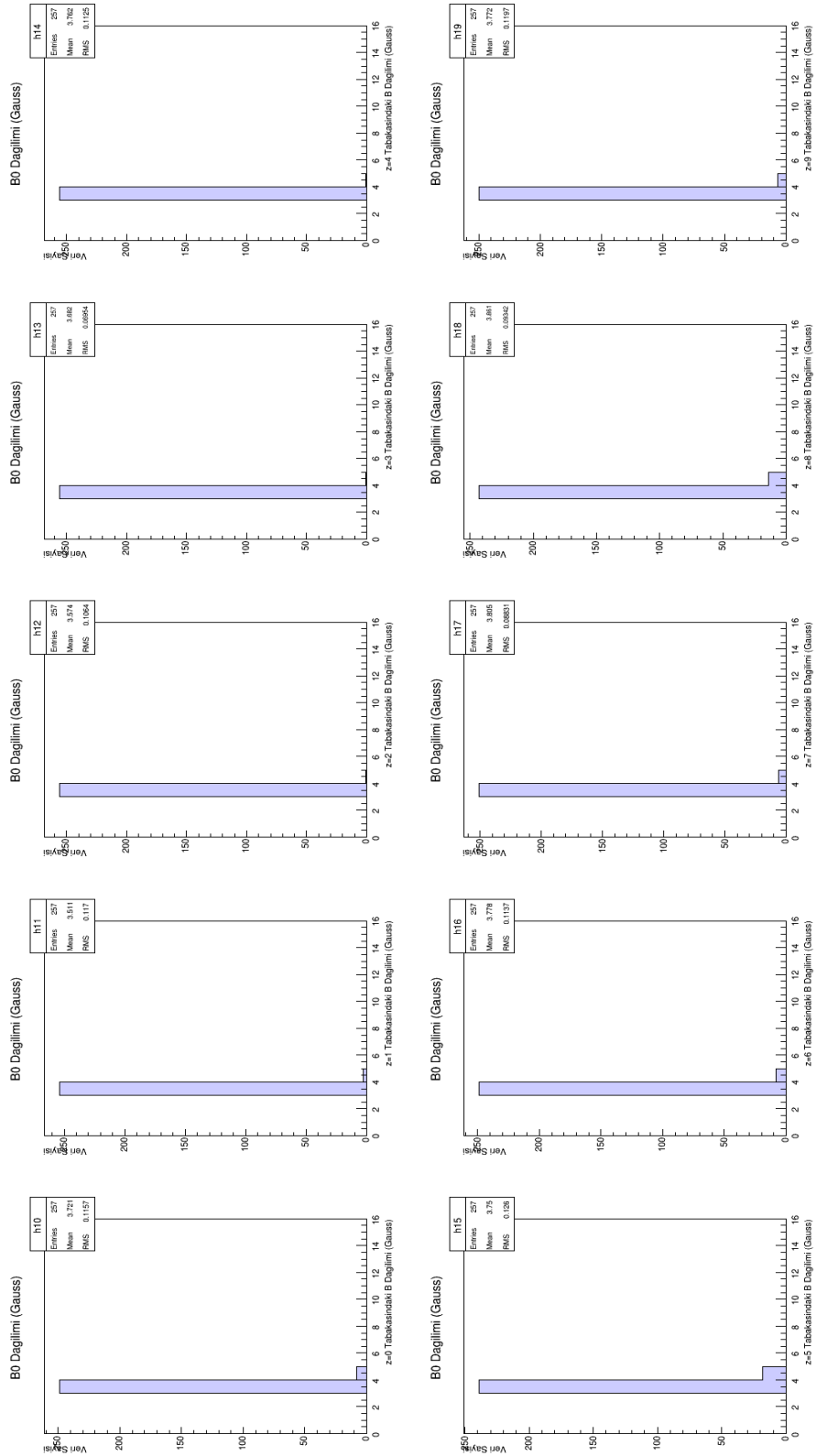
Üç boyutlu manyetik alan ölçümlerini analiz etmek için z ekseninde tabaka tabaka gitmeye ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 4.6'da $z=0$ tabakasındaki x - y ekseninin ölçüm sonuçları görölmektedir. $Z=0$ tabakasındaki bu ölçümlerin z - y - x eksen bilgileri ile akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı manyetik alan deşerleri Şekil 4.6'da görölmektedir.



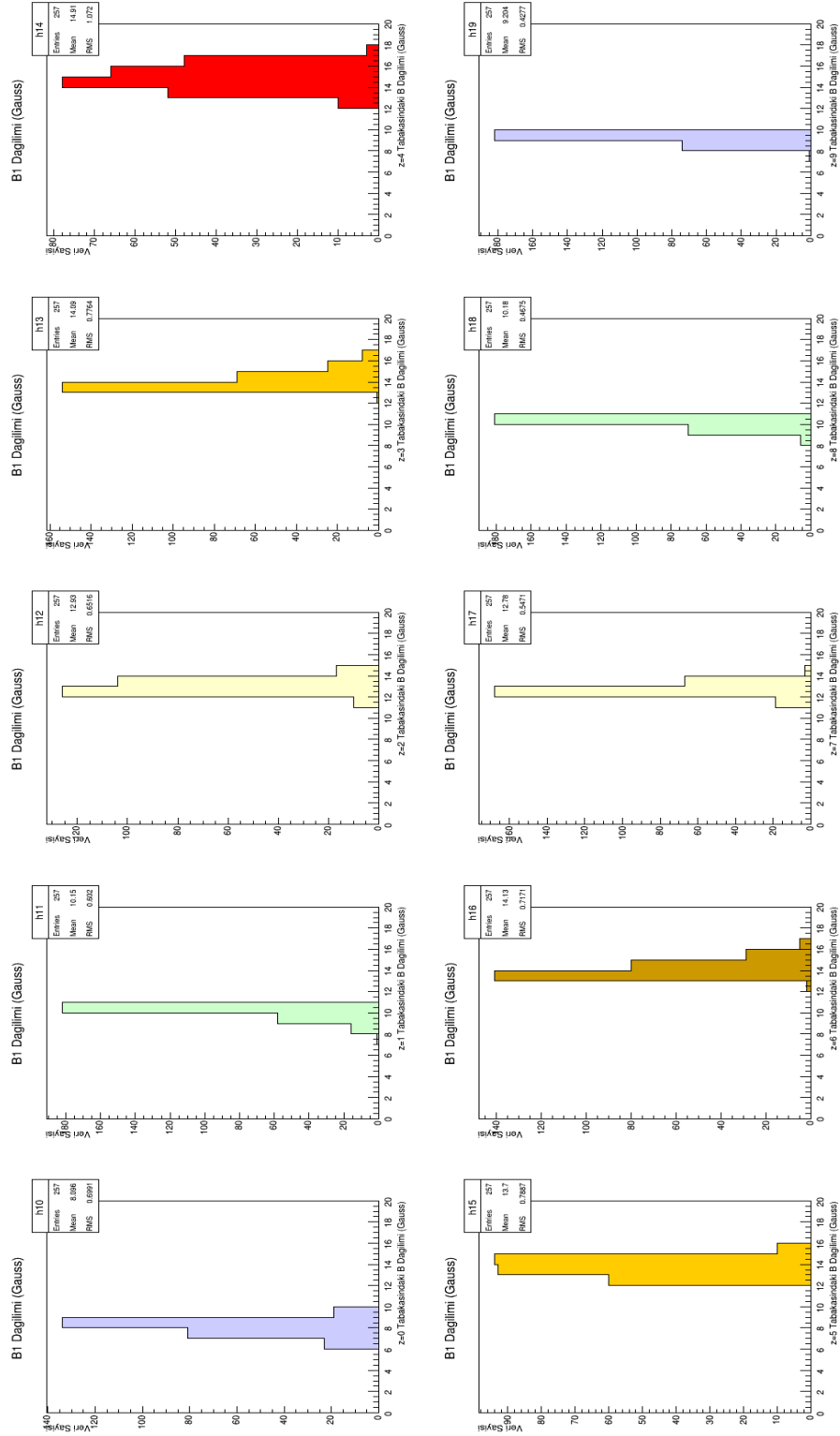
Şekil 4.6 z=0 tabakasındaki z-y-x eksen bilgileri ile akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı manyetik alan değerleri grafiği

Şekil 4.6'ya bakıldığında z=0 tabakası için 257 tane ölçüm yapıldığı z eksen dağılım bilgilerinden görülebilir. Y ve x eksen dağılım bilgilerini de bu grafiklerden görmek mümkündür. Ayrıca z=0 tabakasında akımsız manyetik alan dağılım grafiğinden manyetik alan değerinin ortalama 3.721 Gauss, z=0 tabakasındaki akımlı manyetik alan dağılım grafiğinden manyetik alan değerinin ortalama 8.096 Gauss olduğu görülmektedir. Sadece verilen akımın ürettiği manyetik alan değerini anlayabilmek için, akımlı manyetik alan değerinden akımsız manyetik alan değeri çıkarılarak akımın ürettiği manyetik alan değeri z=0 tabakasında ortalama 4.375 Gauss olarak hesaplanmıştır.

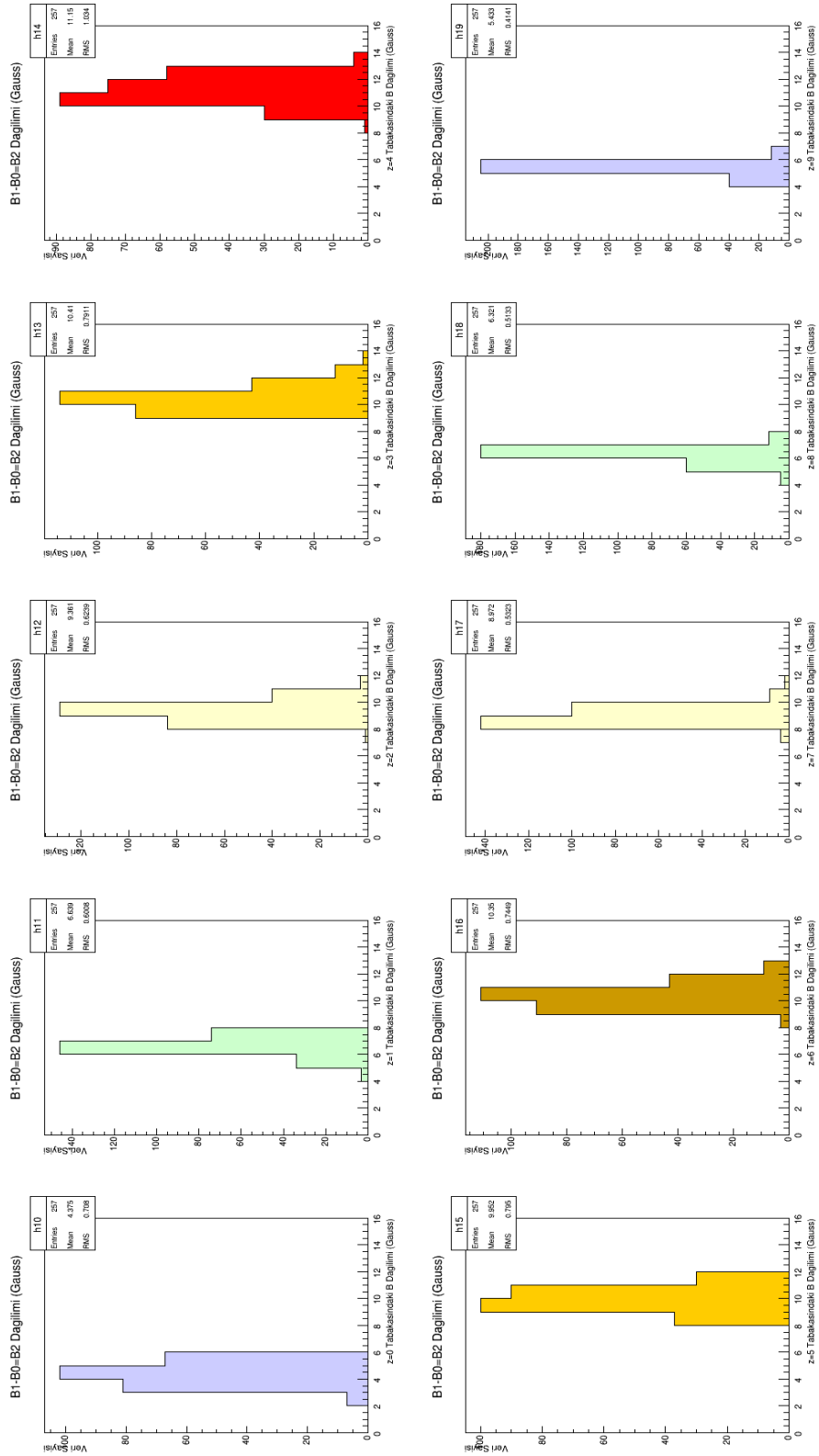
Diğer tabakalardaki manyetik alan dağılımlarının akımsız değerleri Şekil 4.7'de, akımlı değerleri Şekil 4.8'de, akımlı değerler ile akımsız değerlerin farkı ise Şekil 4.9'de görülmekte olup her tabakaya karşılık gelen ortalama değerler ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Tüm z tabakalarının akımsız manyetik alan değerleri grafiği



Şekil 4.8 Tüm z tabakalarının akımlı manyetik alan değerleri grafiği

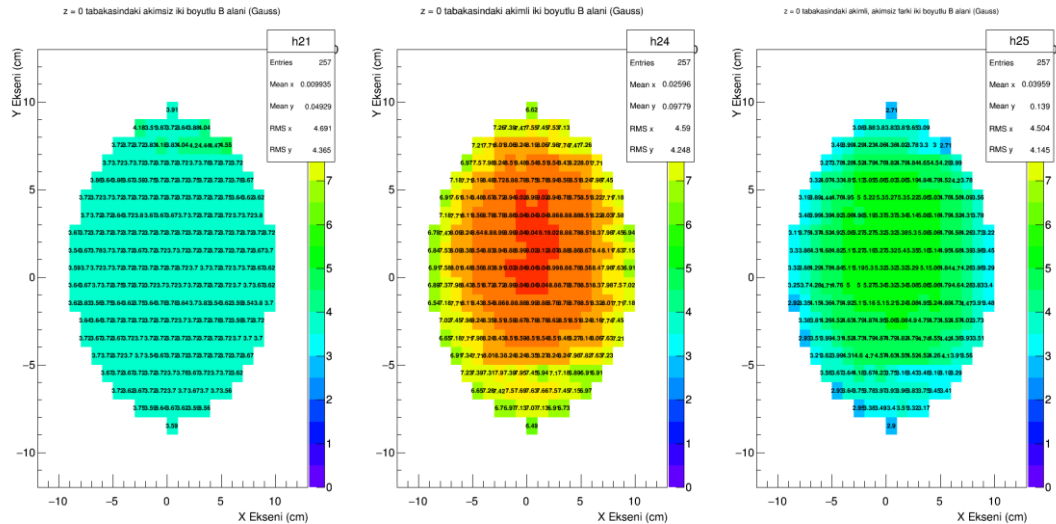


Şekil 4.9 Tüm z tabakalarının akımlı, akımsız farkı manyetik alan değerleri

Çizelge 4.2 Tüm z tabakalarının akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı manyetik alan ortalama değerleri

Ölçümü Alınan Z Tabakası	Manyetik Alan Ortalama Değerleri (Gauss)		
	B0 (Akımsız Değerler)	B1 (Akımlı Değerler)	B1-B0=B2 (Akımlı, Akımsız Farkı Değerleri)
Z = 0	3,721	8,096	4,375
Z = 1	3,511	10,15	6,639
Z = 2	3,574	12,93	9,361
Z = 3	3,682	14,09	10,41
Z = 4	3,762	14,91	11,15
Z = 5	3,750	13,70	9,952
Z = 6	3,778	14,13	10,35
Z = 7	3,805	12,78	8,972
Z = 8	3,861	10,18	6,321
Z = 9	3,772	9,204	5,433
Ortalama Değer	3,721	12,020	8,296

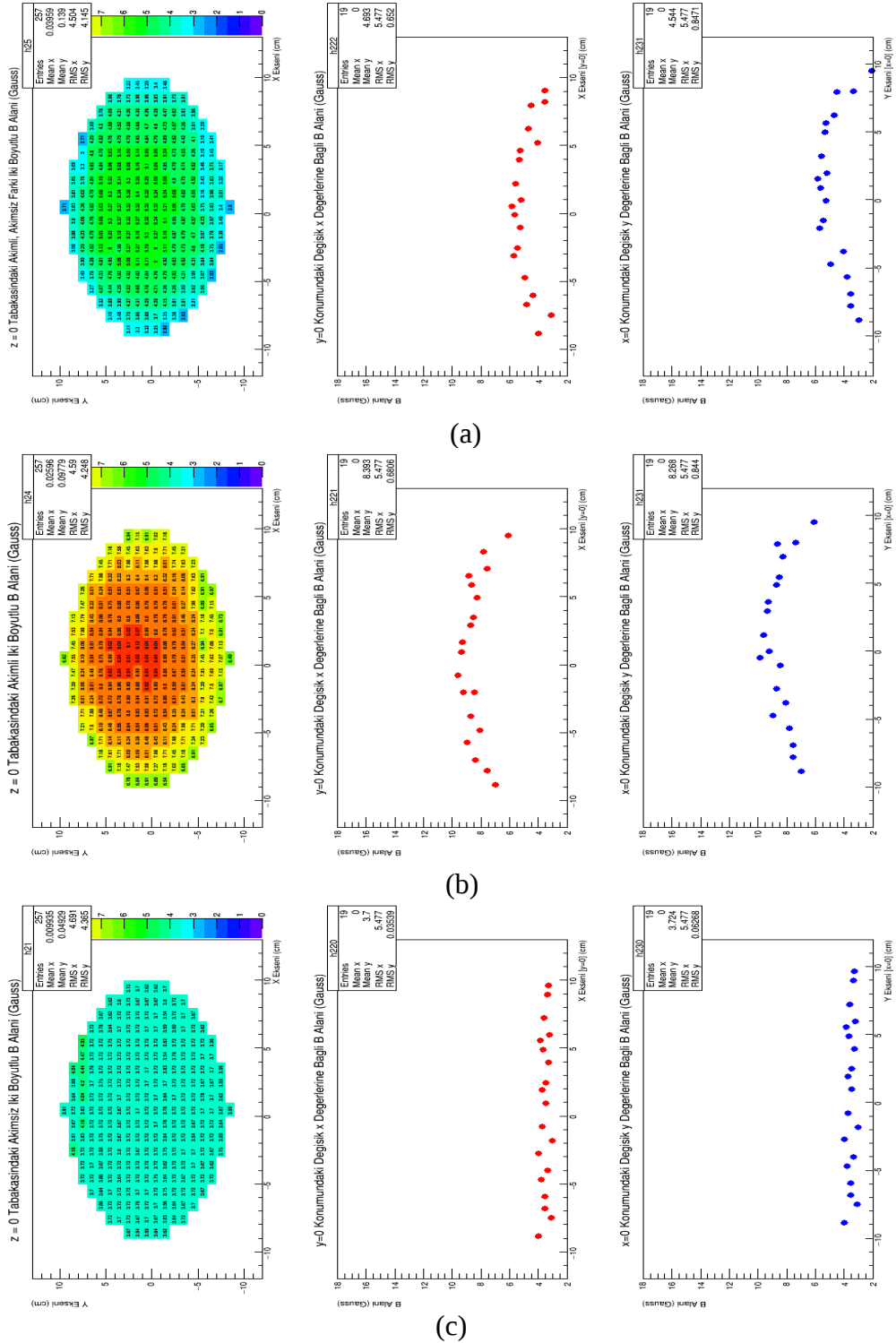
Z=0 tabakasındaki manyetik alan değerlerinin iki boyutlu (y-x) görünümü Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10 z=0 tabakasındaki manyetik alan değerlerinin iki boyutlu (y-x) görünümü

Şekil 4.10’da soldaki dağılım akımsız değerleri, ortadaki dağılım akımlı değerleri, sağdaki dağılım ise akımlı değerler ile akımsız değerlerin farkını göstermektedir. Bu dağılımların daha ayrıntılı analizini yapabilmek için $z=0$ sabit eksenini ile birlikte x ’i veya y ’yi sabit tutup, sabit tutmadığımız eksenin ölçüm değerleri Şekil 4.11’de görülebilir.

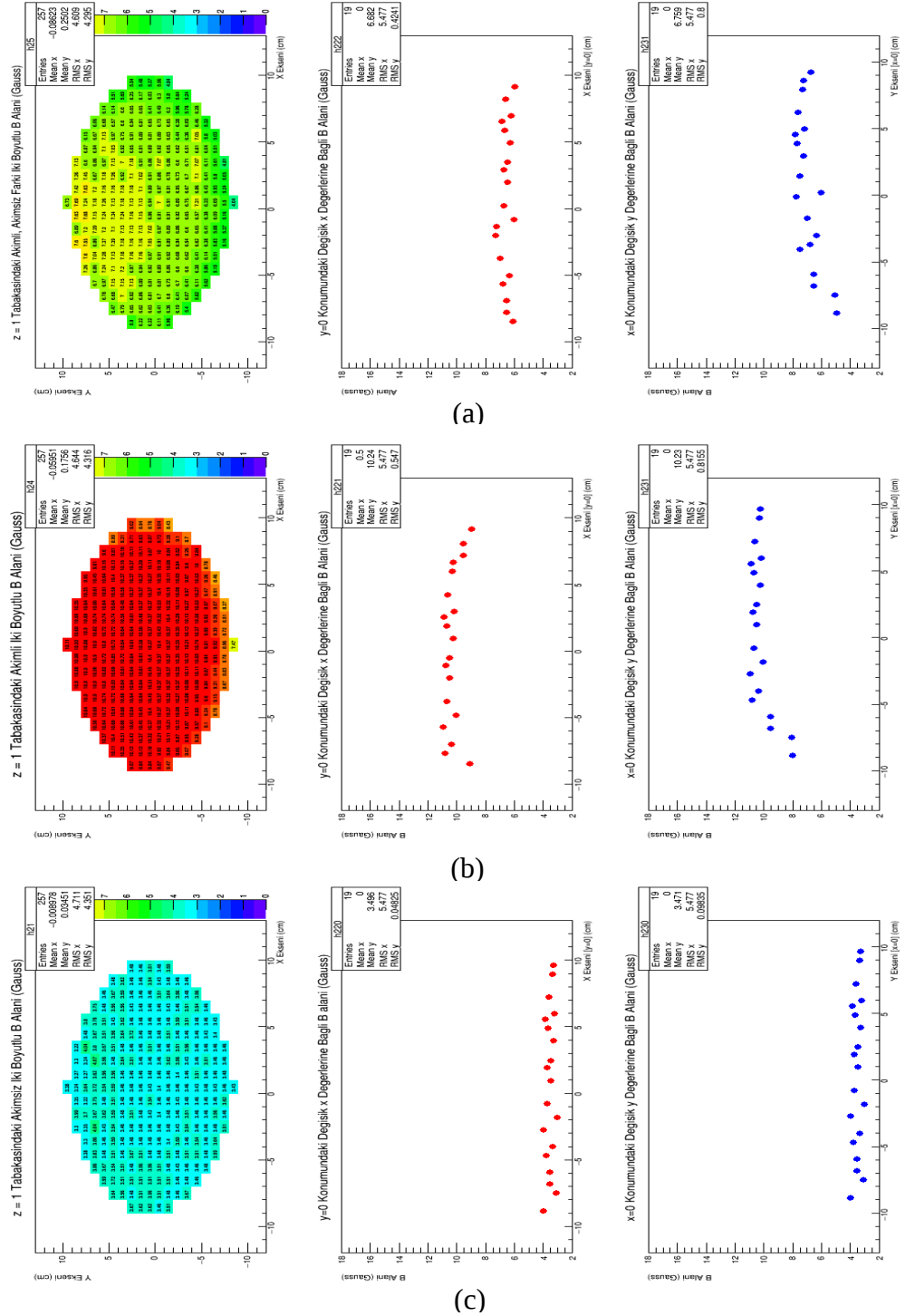




Şekil 4.11 $z=0$ sabit eksenini kullanarak x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

$Z=0$ tabakası için Şekil 4.11.c'ye bakıldığında soldaki şekil y - x değerlerine bağlı akımsız iki boyutlu manyetik alan değerlerini içermektedir. Bu dağılımın x eksenindeki değerlerine bakmak için y 'yi $y=0$ 'da sabit tutmak gerekir. Bu durumda x ekseninin -9 cm $+9$ cm aralığındaki manyetik alan değerleri Şekil 4.11.c'nin ortasındaki dağılımda görülmektedir. Bu dağılımın y eksenindeki değerlerine bakmak için x 'i $x=0$ 'da sabit tutmak gerekir. Bu durumda y ekseninin -9 cm $+9$ cm aralığındaki manyetik alan değerleri Şekil 4.11.c'nin en sağındaki dağılımda görülmektedir. $Z=0$ tabakası için Şekil 4.11.b'ye bakıldığında soldaki şekil y - x değerlerine bağlı iki boyutlu akımlı manyetik alan değerlerini içermektedir. Bu dağılımın x eksenindeki değerlerine bakmak için y 'yi $y=0$ 'da sabit tutmak gerekir. Bu durumda x ekseninin -9 cm $+9$ cm aralığındaki manyetik alan değerleri Şekil 4.11.b'nin ortasındaki dağılımda görülmektedir. Bu dağılımın y eksenindeki değerlerine bakmak için x 'i $x=0$ 'da sabit tutmak gerekir. Bu durumda y ekseninin -9 cm $+9$ cm aralığındaki manyetik alan değerleri Şekil 4.11.b'nin en sağındaki dağılımda görülmektedir. $Z=0$ tabakası için Şekil 4.11.a'ya bakıldığında soldaki şekil y - x değerlerine bağlı akımlı değerler ile akımsız değerlerin farkı olan manyetik alanı içermektedir. Bu dağılımın x eksenindeki değerlerine bakmak için y 'yi $y=0$ 'da sabit tutmak gerekir. Bu durumda x ekseninin -9 cm $+9$ cm aralığındaki manyetik alan değerleri Şekil 4.11.a'nın ortadaki dağılımda görülmektedir. Bu dağılımın y eksenindeki değerlerine bakmak için x 'i $x=0$ 'da sabit tutmak gerekir. Bu durumda y ekseninin -9 cm $+9$ cm aralığındaki manyetik alan değerleri Şekil 4.11.a'nın en sağındaki dağılımda görülmektedir.

$Z=0$ tabakası ölçümlerinin grafiksel olarak ayrıntılı incelenmesinden sonra diğer z tabakalarının manyetik alan değerlerinin grafikleri de aşağıdaki gibi çıkarılıp yorumlanmıştır.



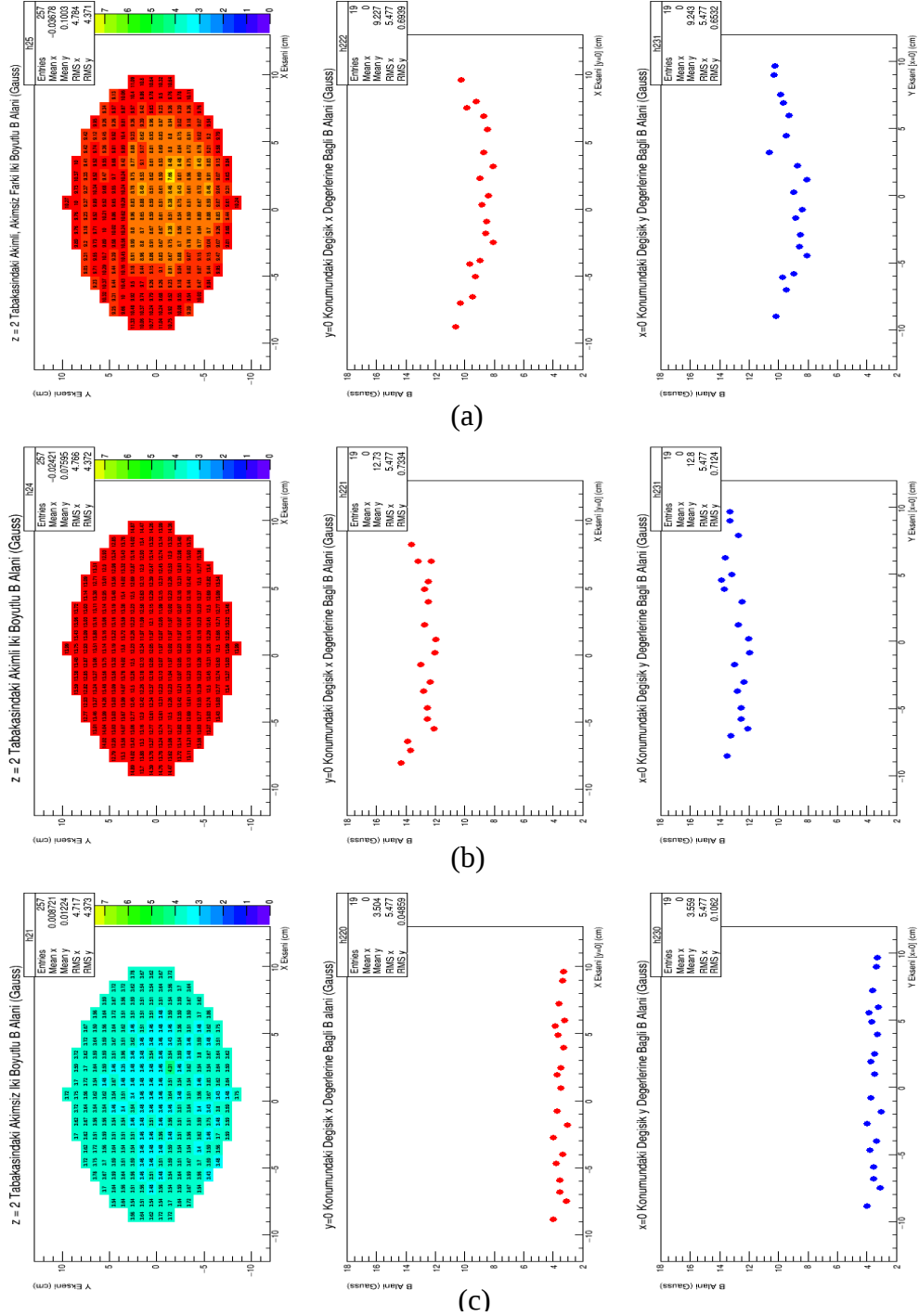
Şekil 4.12 z=1 sabit eksen ile birlikte x'i veya y'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

$Z=1$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.12'deki gibi görülmektedir.

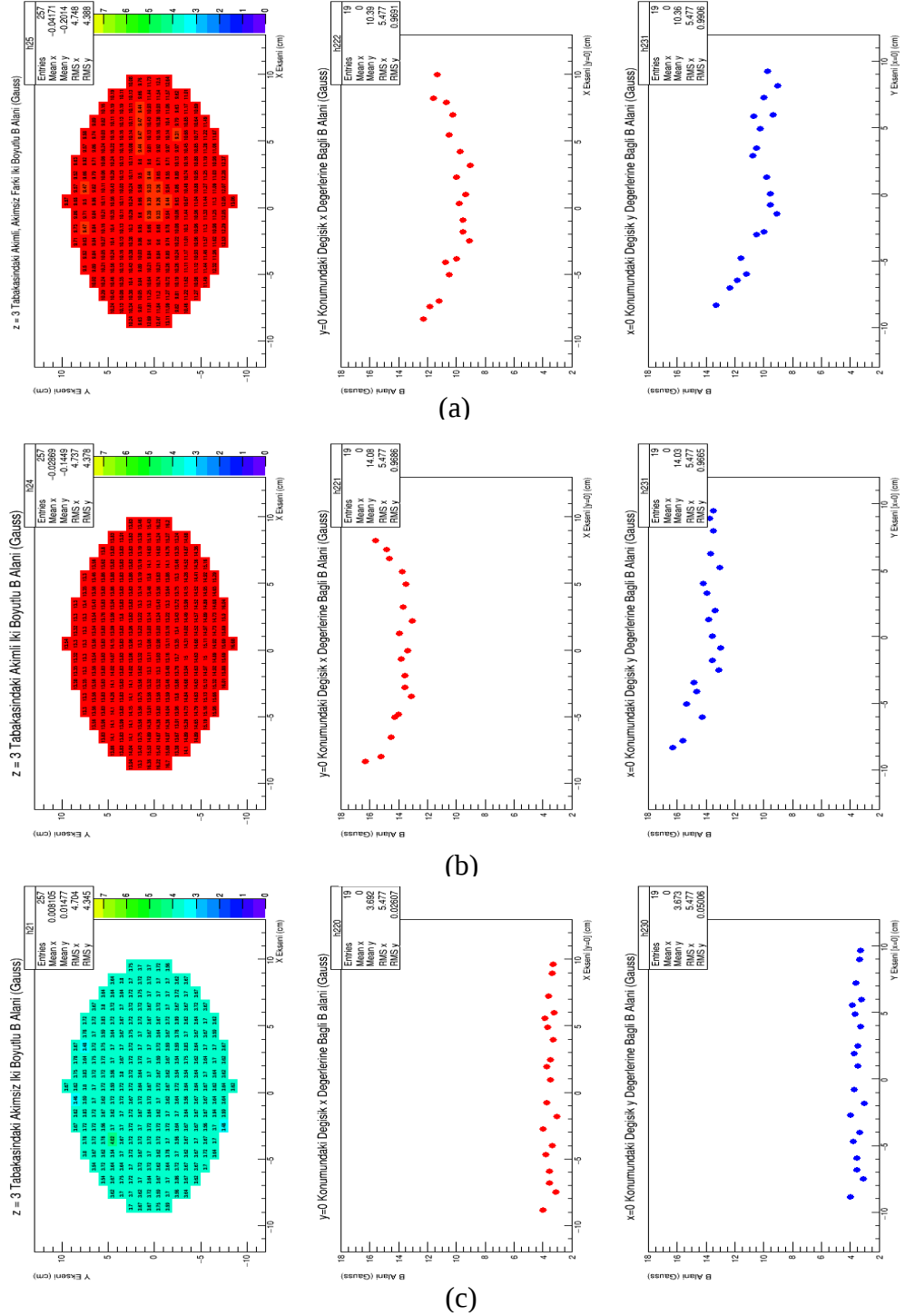
Şekil 4.12.c'deki değerler $z=1$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu değerler $z=0$ tabakasında Şekil 4.11.c'deki verileri ile karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç beklentiler yönünde gerçekleşmiştir, çünkü selenoid elektromıknatıs manyetik alan üretmemektedir. Şekil 4.12.b'deki değerler $z=1$ tabakası için akımlı manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu veriler $z=0$ tabakasında Şekil 4.11.b'de verilen akımlı değerlerle karşılaştırıldığında değerlerde bir yükselme olduğu görülmüştür. Bunun nedeni silindirin merkezine yaklaştıkça manyetik alanın artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.12.a'daki değerler ise akımlı ölçüm sonuçları ile akımsız ölçüm sonuçlarının farkını, yani sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleri olup değerlerde yükselme gözlenmektedir. Bunun nedeni, silindirin merkezine yaklaştıkça manyetik alanın artmasından kaynaklanmaktadır.

$Z=2$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.13'deki gibi görülmektedir.

Şekil 4.13.c'deki değerler $z=2$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu değerler $z=1$ tabakasında Şekil 4.12.c'deki akımsız değerlerle karşılaştırıldığında değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Değerlerin birbirine yakın olmasının nedeni selenoid elektromıknatısın manyetik alan üretmemesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.13.b'deki değerler $z=2$ tabakası için akımlı manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu ölçüm sonuçları $z=1$ tabakasında yani Şekil 4.12.b'de verilen akımlı manyetik alan ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında değerlerde bir yükselme olduğu görülmüştür. Bu durum silindirik bölgenin merkezine yaklaştıkça manyetik alanın artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca $z=2$ tabakasında hem x hem de y ekseninde manyetik alan ölçümlerinin başlangıç ve bitiş değerlerinin yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bunun sebebinin ise silindirik bölgenin etrafının ferromanyetik etki gösteren demirle kaplı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Şekil 4.13.a'daki değerler ise akımlı değerler ile akımsız değerlerin farkı olan, yani sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır.



Şekil 4.13 $z=2$ sabit eksenini ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler



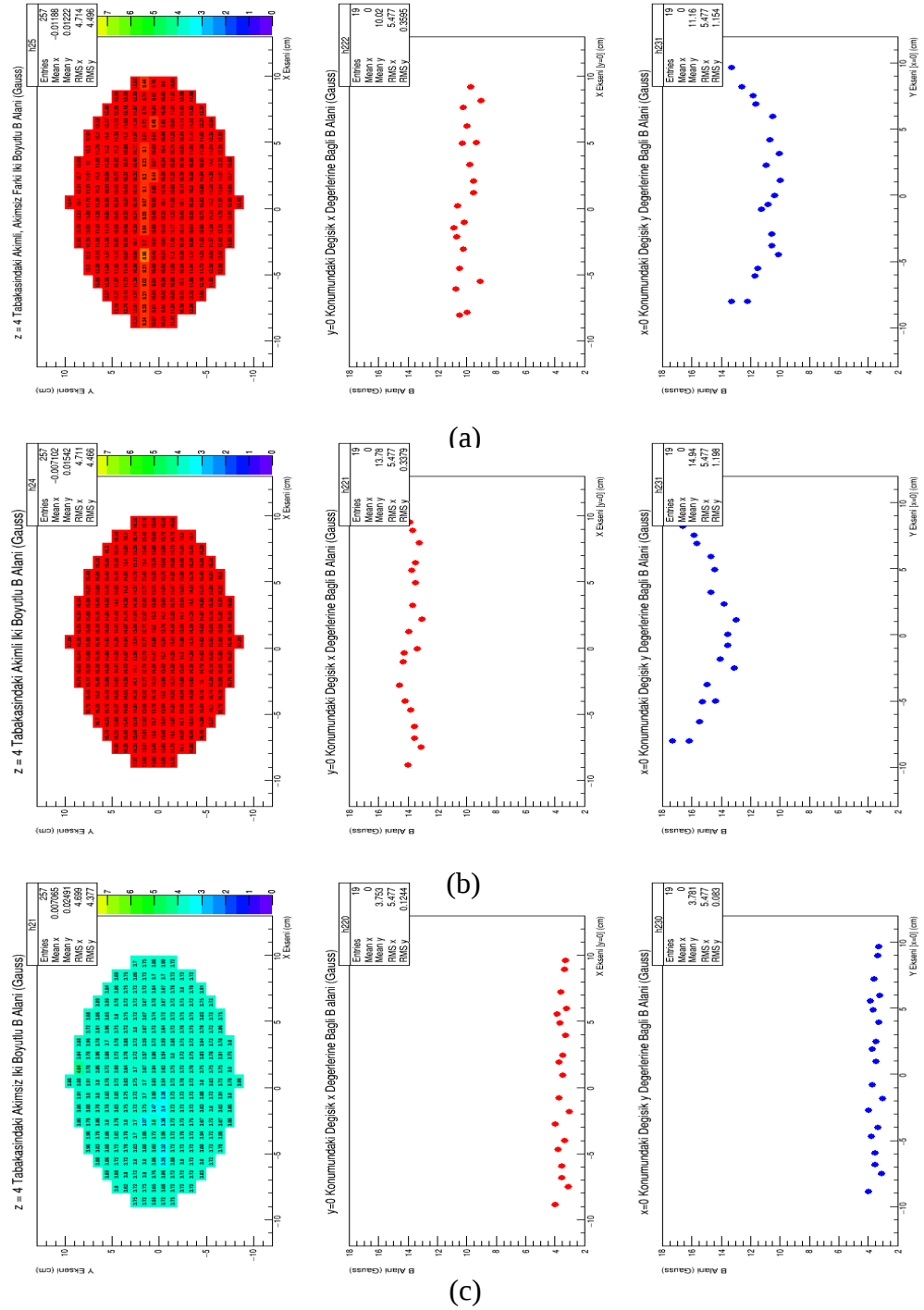
Şekil 4.14 z=3 sabit eksen ile birlikte x'i veya y'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

$Z=3$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.14'deki gibidir.

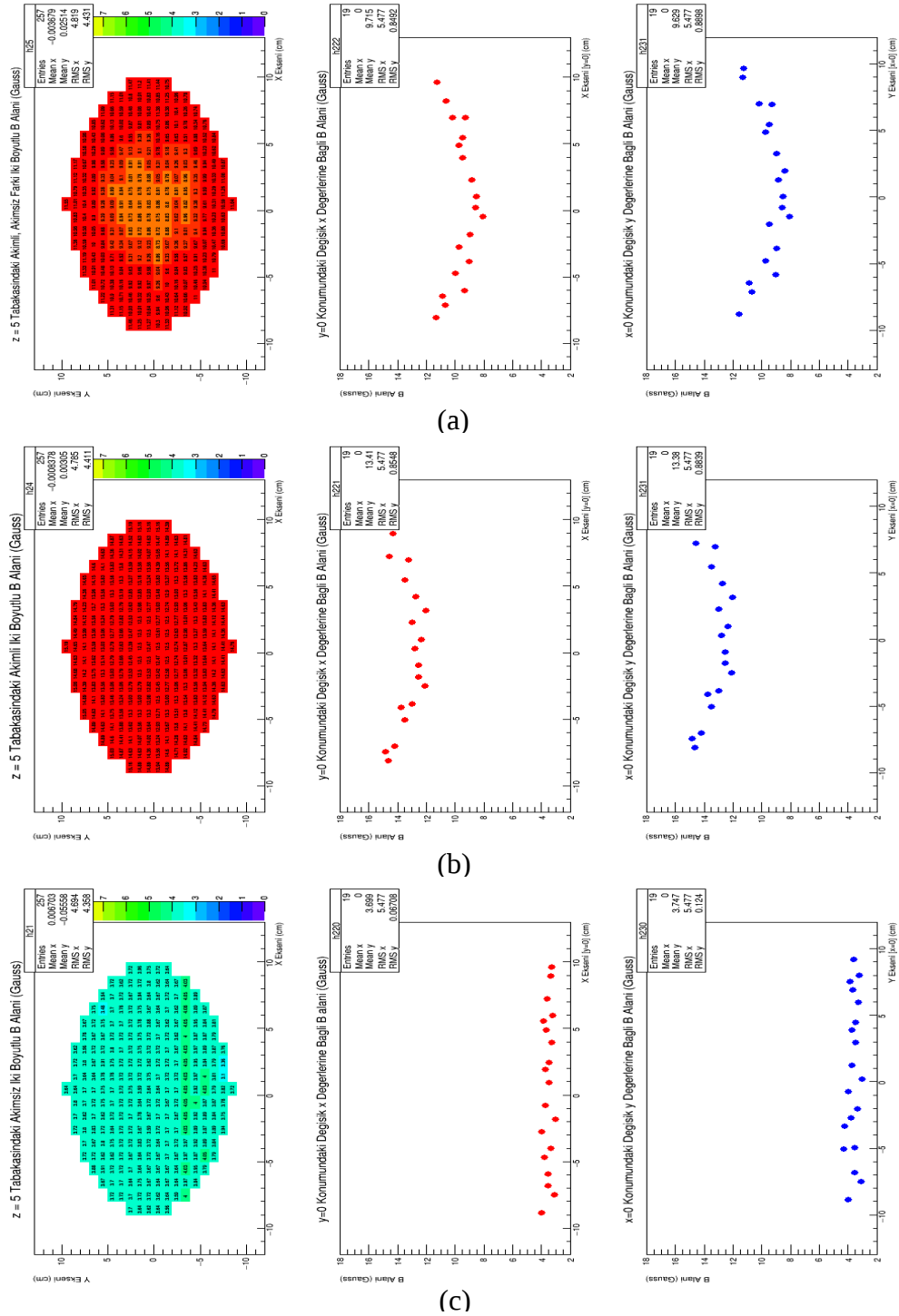
Şekil 4.14.c'deki değerler $z=3$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu değerler $z=2$ tabakasında Şekil 4.13.c'deki akımsız değerlerle karşılaştırıldığında değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Selenoid elektromıknatis manyetik alan üretmediği için bu sonuç beklentiler yönünde oluşmuştur. Şekil 4.14.b'deki değerler $z=3$ tabakasındaki akımlı manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu değerler 4.13.b'deki değerlerle karşılaştırıldığında değerlerde bir yükselme olduğu görülmüştür. Bu durum silindirik bölgenin merkezine iyice yaklaşıldığından dolayı manyetik alanın artması gerektiği ve beklendiği gibi de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca 4.14.b'deki değerler incelendiğinde hem x hem de y ekseninde başlangıç ve bitiş değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durumun da daha önce $z=2$ tabakası için belirtilen sebepten dolayı, yani silindirik bölgenin etrafının ferromanyetik etki gösteren demirle kaplı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Şekil 4.14.a'daki veriler ise $z=3$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleridir.

$Z=4$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.15'deki gibidir.

Şekil 4.15.c'deki değerler $z=4$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu değerler $z=3$ tabakasında Şekil 4.14.c'deki değerlerle karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 4.15.b'deki veriler $z=4$ tabakası için akımlı manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar bir önceki tabaka olan $z=3$ tabakasında Şekil 4.14.b'deki akımlı değerlerle karşılaştırıldığında değerlerde bir yükselme olduğu gözlenmiştir. $Z=4$ tabakası merkez tabakası olduğundan dolayı değerler maksimum olmuştur. Yine Şekil 4.15.b'deki değerler ayrıntılı olarak incelendiğinde x ve y eksenlerindeki başlangıç değerleri ile bitiş değerlerinin yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bu durumun silindirik bölgenin etrafının demirle kaplı olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Şekil 4.15.a'daki veriler ise $z=4$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleridir.



Şekil 4.15 $z=4$ sabit eksen ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler



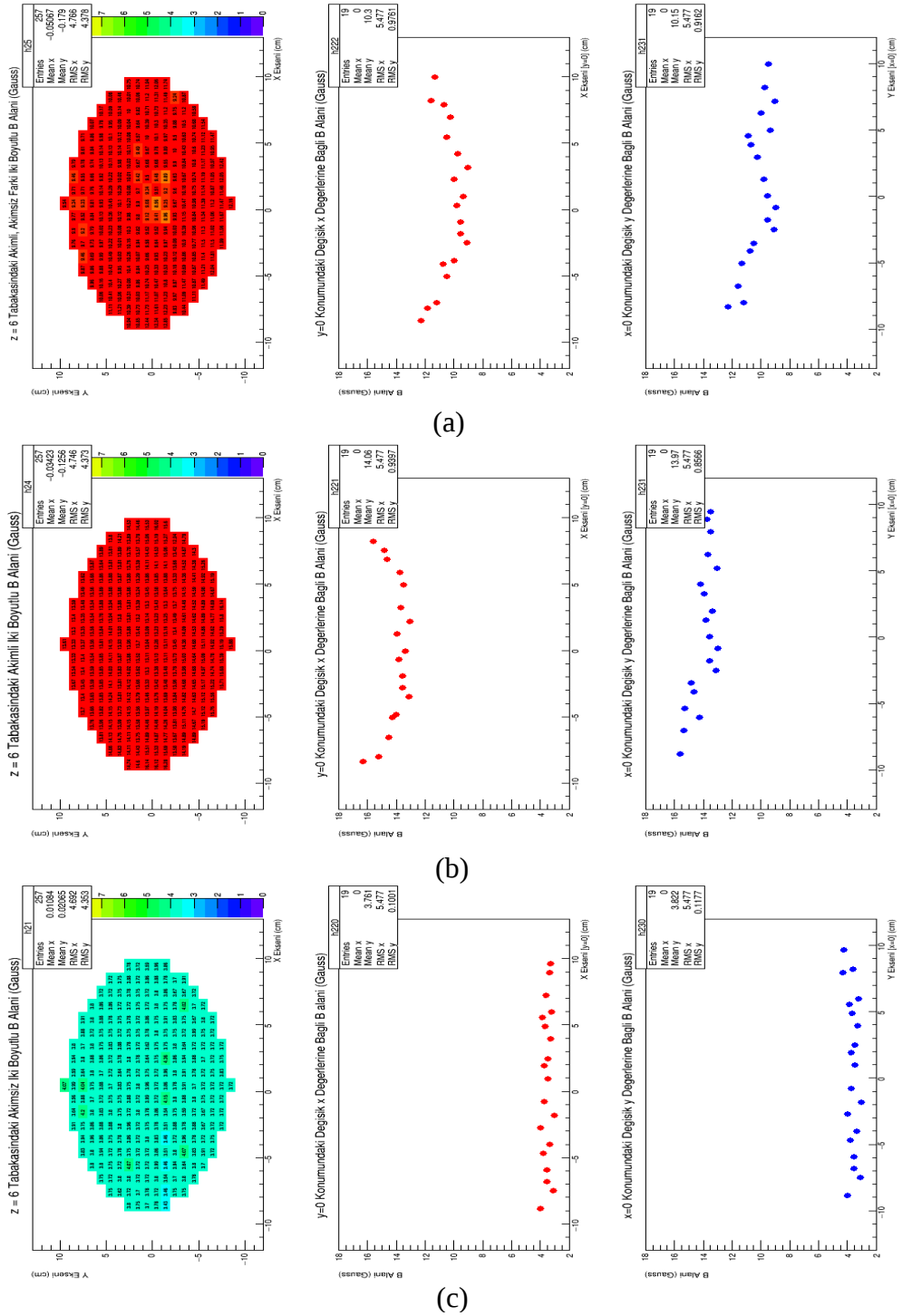
Şekil 4.16 $z=5$ sabit eksen ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

$Z=5$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.16'daki gibidir.

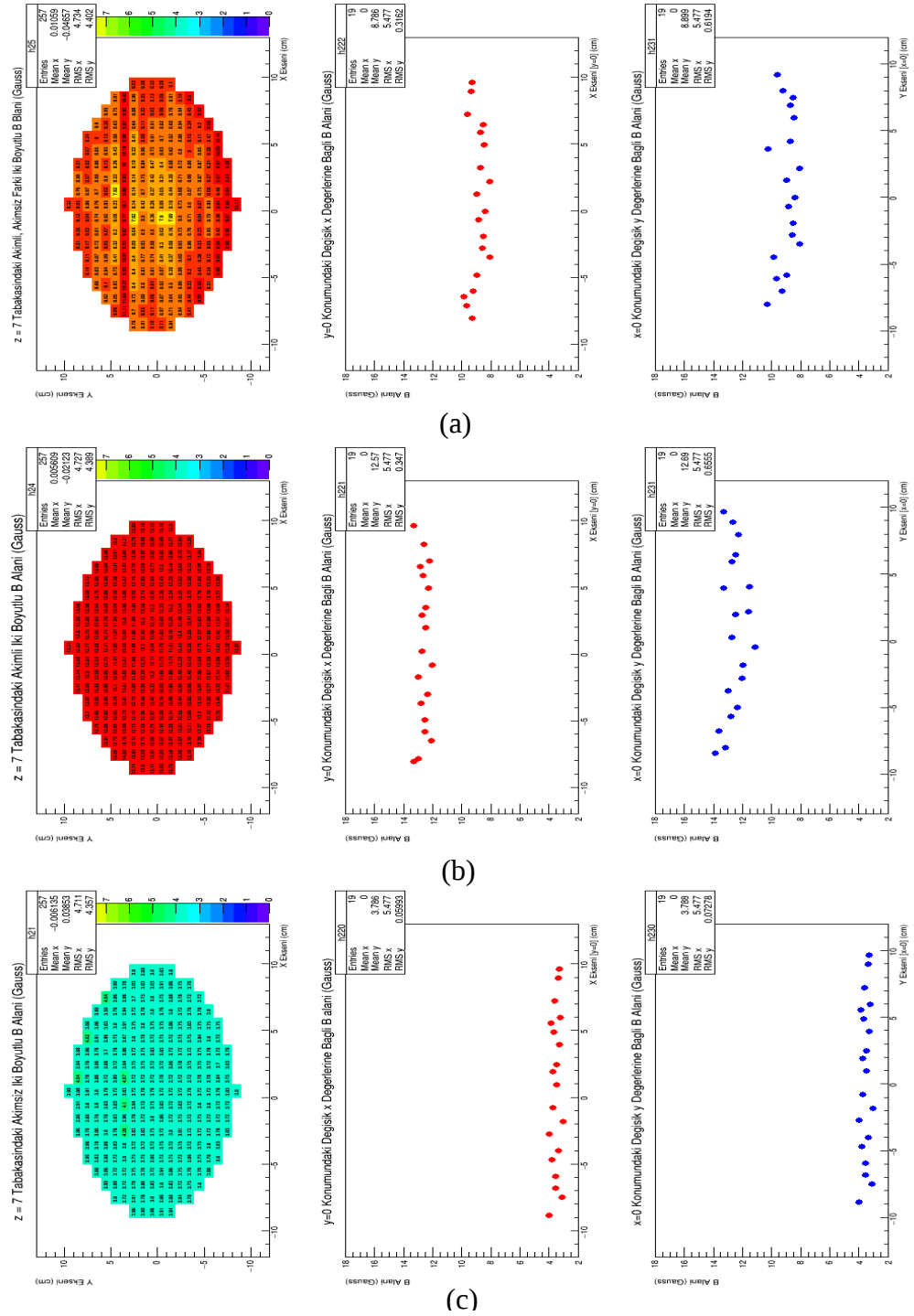
Şekil 4.16.c'deki değerler $z=5$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar $z=4$ tabakasında Şekil 4.15.c'de verilen akımsız değerlere çok yakın olduğu gözlenmiştir. Değerlerin birbirine yakın olmasının sebebi selenoid elektromıknatısın manyetik alan üretmemesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.16.b'deki değerler $z=5$ tabakası için akımlı manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar $z=4$ tabakasında Şekil 4.15.b'de verilen akımlı değerlerle karşılaştırıldığında değerlerde çok az bir düşüş gözlenmiştir. $Z=5$ tabakası da merkez tabakası olduğundan dolayı akımlı manyetik alan verileri yüksek çıkmıştır. Bu veriler ayrıntılı olarak incelendiğinde hem x hem de y eksenindeki kenar değerlerinin yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bu durum daha önce de belirtildiği gibi silindirik bölgenin ferromanyetik etki gösteren demirle kaplı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.16.a'daki veriler ise $z=5$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleridir.

$Z=6$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.17'deki gibidir.

Şekil 4.17.c'deki değerler $z=6$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu değerler $z=5$ tabakasında Şekil 4.16.c'deki akımsız değerlerle karşılaştırıldığında çok fazla bir değişimin olmadığı, hatta değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durum daha önce de belirtildiği gibi selenoid elektromıknatısın manyetik alan üretmemesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.17.b'deki değerler $z=6$ tabakası için akımlı manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar $z=5$ tabakasında Şekil 4.16.b'deki akımlı değerlerle karşılaştırıldığında çok fazla bir yükseliş ya da azalışın olmadığı gözlenmiştir. Bu durum $z=6$ tabakasının da merkeze yakın tabaka olmasından kaynaklanmaktadır. Yine Şekil 4.17.b'deki verilerin de hem x hem de y ekseninde daha önce belirtilen sebepten dolayı, yani mıknatısın etrafının demirle kaplı olması kenarlardaki manyetik alan değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür. Şekil 4.17.a'daki veriler ise $z=6$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleridir.



Şekil 4.17 z=6 sabit eksen ile birlikte x'i veya y'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler



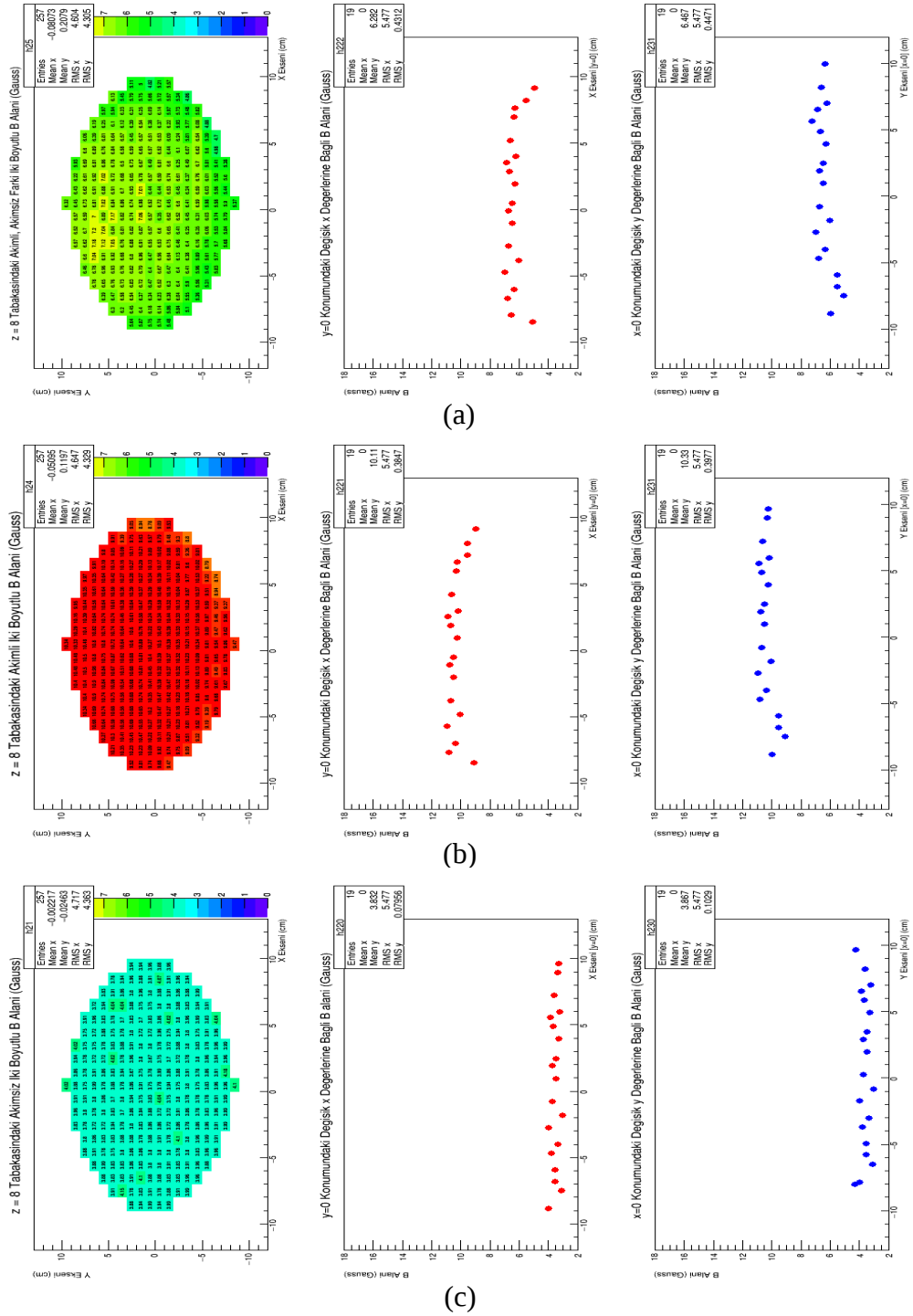
Şekil 4.18 $z=7$ sabit eksen ile birlikte x'i veya y'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

$Z=7$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.18'deki gibidir.

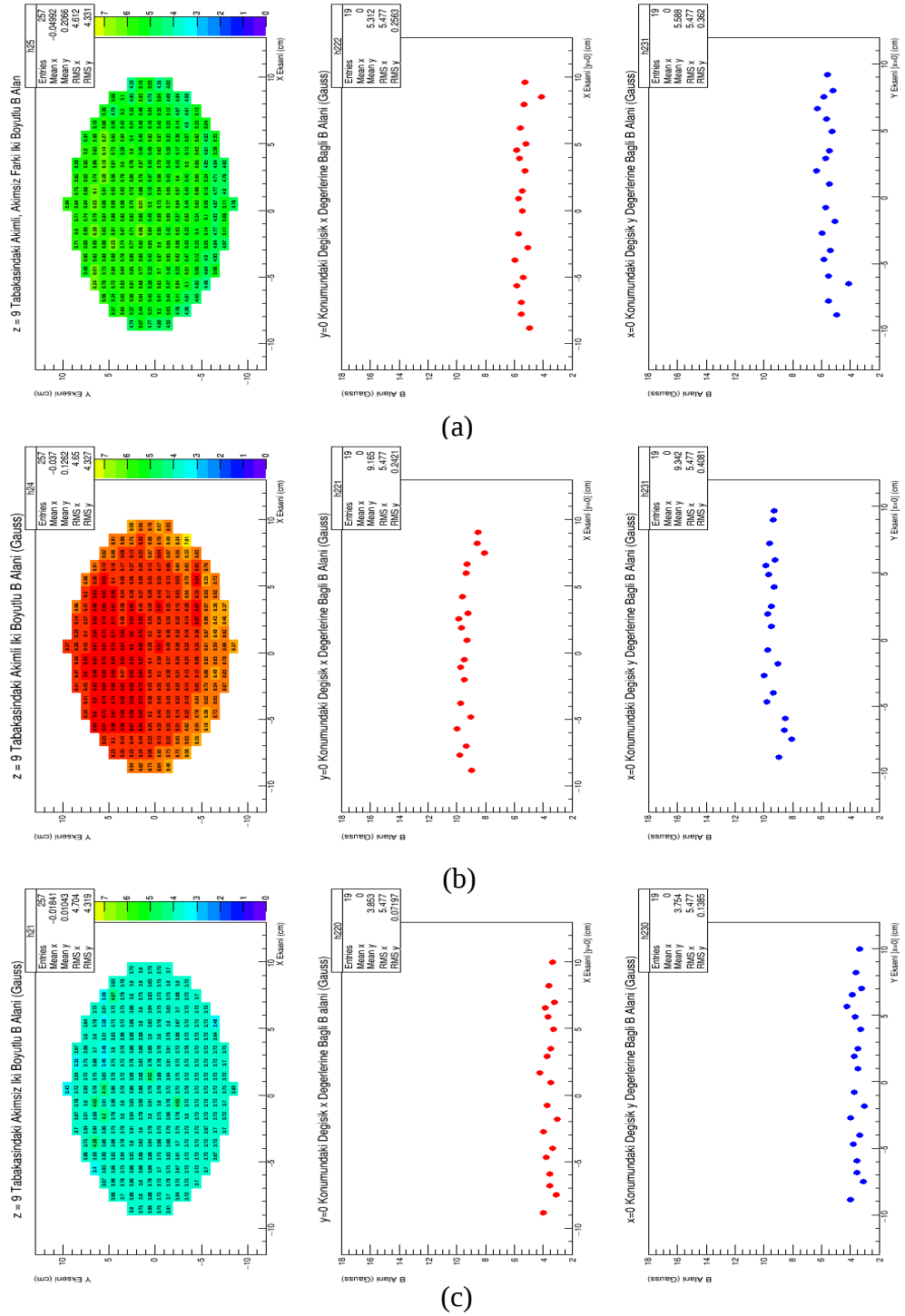
Şekil 4.18.c'deki değerler $z=7$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar Şekil 4.17.c'deki değerlerle karşılaştırıldığında fazla bir farklılığın olmadığı ve değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.18.b'deki değerler $z=7$ tabakası için akımlı değerler olup bu değerlerin $z=6$ tabakasında Şekil 4.17.b'deki akımlı değerlere göre azaldığı görülmüştür. Bu durum selenoid elektromıknatısın merkezinden uzaklaştıkça manyetik alanın azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.18.b'deki değerlerin x ve y eksenleri için başlangıç ve bitiş noktalarında yüksek çıkması ise daha önce de belirtildiği gibi silindirik bölgenin etrafının demirle kaplı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.18.a'deki veriler ise $z=7$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleridir.

$Z=8$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.19'daki gibidir.

Şekil 4.19.c'deki değerler $z=8$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçların $z=7$ tabakasında Şekil 4.18.c'deki verilen akımsız değerlere yakın olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.19.b'deki değerler $z=8$ tabakası için akımlı manyetik alan ölçüm sonuçlarıdır. Bu sonuçlar Şekil 4.18.b'deki akımlı değerlerle karşılaştırıldığında bir azalma olduğu görülmüştür. Bu durum selenoid elektromıknatısın merkezinden uzaklaştıkça manyetik alanın azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.19.a'daki veriler ise $z=8$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleridir. Bu değerler $z=7$ tabakasında Şekil 4.18.a'daki değerlerle karşılaştırıldığında değerlerde bir düşüş görülmüştür. Bu durum selenoid elektromıknatısın merkezinden uzaklaştıkça manyetik alanın azalmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.19 $z=8$ sabit eksen ile birlikte x 'i veya y 'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

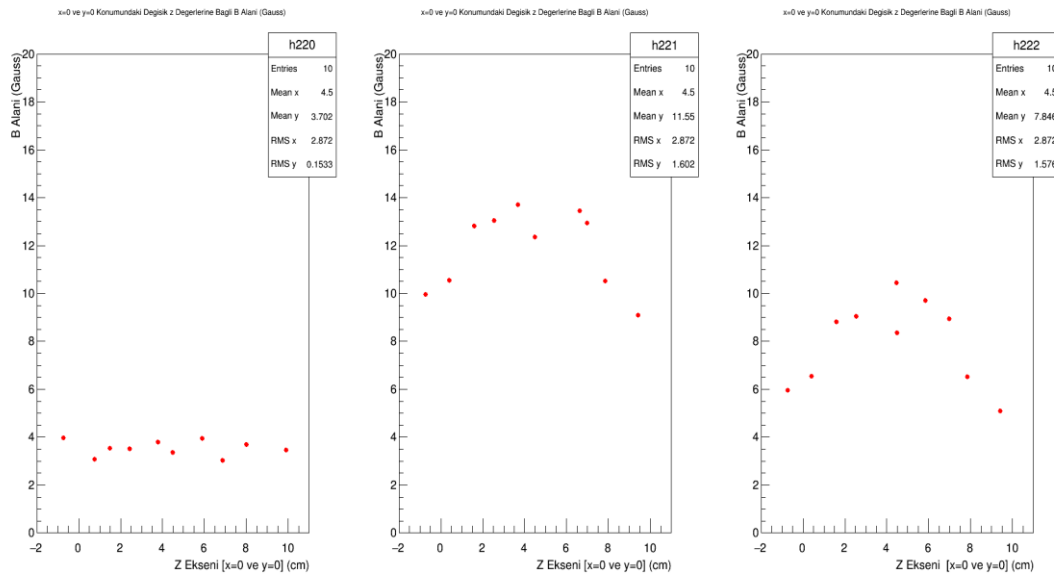


Şekil 4.20 z=9 sabit eksenli ile birlikte x'i veya y'yi sabit tutup sabit tutulmayan eksenin ölçüm değerleri grafiği a) akımlı, akımsız farkı değerleri b) akımlı değerler c) akımsız değerler

$Z=9$ tabakası için akımsız, akımlı ve akımlı-akımsız farkı iki boyutlu manyetik alan değerleri Şekil 4.20'deki gibidir.

Şekil 4.20.c'deki değerler $z=9$ tabakası için akımsız manyetik alan ölçüm sonuçları olup bu sonuçların $z=8$ tabakasında Şekil 4.19.c'deki akımsız değerlere yakın olduğu gözlenmiştir. Selenoid elektromıknatıs manyetik alan üretmediği için bu durum tüm z tabakalarında beklentiler doğrultusunda gerçekleşmiştir. Şekil 4.20.b'deki değerler $z=9$ tabakası için akımlı manyetik ölçüm sonuçları olup bu değerlerin bir önceki tabaka olan $z=8$ tabakasında Şekil 4.19.b'de verilen akımlı değerlere göre azaldığı görülmüştür. Bu durum selenoid elektromıknatısın merkezinden iyice uzaklaştığı için manyetik alanın azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.20.a'daki veriler ise $z=9$ tabakası için sadece akımın etkisini gösteren manyetik alan değerleri olup bu değerler $z=8$ tabakasında Şekil 4.19.a'daki değerlere göre azaldığı gözlenmiştir. Bu durum selenoid elektromıknatısın merkezinden uzaklaştıkça manyetik alanın azalmasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca x ve y koordinat değerlerinin sabit tutarak z koordinat değişimine bağlı manyetik alan dağılımı akımsız değerler için Şekil 4.21'deki sol grafikten, akımlı değerler için ortadaki grafikten, akımlı değerler ile akımsız değerlerin farkı olan manyetik alan değerleri de sağ grafikten görülebilir.

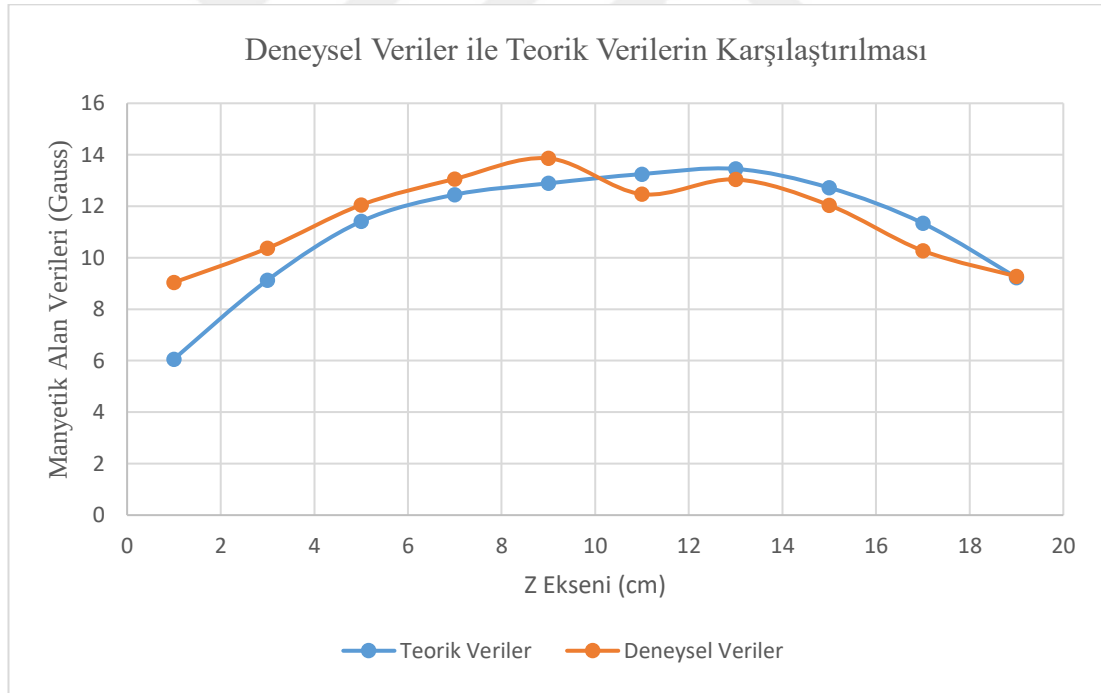


Şekil 4.21 x ve y koordinat değerlerinin sabit tutulup z koordinat değişimine bağlı manyetik alan dağılım grafiği

Şekil 4.21'deki sonuçlara bakılarak manyetik alanın ölçüm alınan kovuğun ön bölgesinde düşük, silindirin merkezine yaklaştıkça arttığı ve silindirin arkasına doğru uzaklaştıkça tekrar azaldığı görülmektedir.

Tüm z tabakalarındaki deneysel ölçümler tamamlandıktan sonra COMSOL benzetim programı kullanılarak teorik çalışma da yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında deneysel verilerde kullanılan aynı parametreler kullanılarak sanal ortamda selenoid mıknatıs aynen tasarlanıp merkezindeki silindirik boşluğun manyetik alanı hesaplanmıştır. Teorik çalışma sonucunda $x=0$, ve $y=0$ durumunda z ekseninde elde edilen veriler Şekil 4.22' deki grafikte verilmiştir.

Ayrıca $x=0$, ve $y=0$ durumunda z eksenindeki deneysel veriler ile teorik verilerin karşılaştırılması yapılmış ve bu karşılaştırmayı gösteren grafik Şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.22 $x=0$, ve $y=0$ durumunda z eksenindeki deneysel veriler ile teorik verilerin karşılaştırılması grafiği

Şekil 4.22 grafiği incelendiğinde elde edilen deneysel veriler ile teorik verilerin benzer davranış gösterdiği görülmekte olup, bire bir aynı değildirler. Deneysel

verilerin bilinen kusurlar doğrultusunda kalibre edilmesi durumunda benzetim sonuçlarına çok daha yakın olacağı açıktır. Ancak yine de deney ve teorik veriler birbirlerini doğrulamaktadır. Bu da yaptığımız çalışmanın doğruluğunu ortaya koymaktadır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türk Hızlandırıcı Merkezinde tasarlanıp üretilmesi hedeflenen MDIS iyon kaynağı için daha önce Adıyaman Üniversitesinde tasarlanıp üretilen su soğutmalı selenoid elektromıknatısın merkezinde oluşan manyetik alan haritasının çıkarılması hedeflenmiştir.

Hedefe ulaşmak için üç boyutlu hareket eden bir robot kolu tasarlanarak Adıyaman şartlarında üretilmiştir. Üç boyutlu bu robot kolunun hareketi için üç adet adım motoru kullanılmıştır, ayrıca manyetik alan ölçmek için sisteme Hall Etki prensibi ile çalışan sensör eklenmiştir. Adım motorları cm cinsinden hareketi sağlarken, Hall Etki sensörü manyetik alanı Gauss biriminde ölçmektedir. Mikro denetleyici olarak Arduino-UNO mikro işlemcisi kullanılmış ve gerekli kodlamalar tarafımızca yapılmıştır. Tasarlanıp üretilen robot kolu x ve y eksenleri boyunca 1 cm aralıklarla ve z eksenini boyunca ise 2 cm aralıklarla hareket edip duracak ve manyetik alan ölçecek şekilde programlanmıştır. Bu koşullarda tüm hacmi 2570 adımda tarayabilmektedir. Ölçülen her değer bilgisayar ortamına otomatik olarak kaydedilmiştir.

Ölçümler iki aşamada yapılmıştır, ilk aşamada selenoid mıknatısa akım verilmeden konum ve manyetik alan değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. İkinci aşama olarak da selenoid mıknatısa 8 Amperlik akım verilerek konum ve manyetik alan değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Z eksenine bağlı olarak manyetik alan, tabaka tabaka ölçülerek sonuçlar grafik halinde verilmiştir. Ölçümler $z=0$ tabakasından yani silindirik boşluğun ön kısmından başlanarak 10 tabaka olacak şekilde silindirik boşluğun arka tarafına doğru yapılmıştır. Her tabakada x-y dairesel düzlemde 257 adet ölçüm alınarak grafiksel olarak incelenmiştir. Ölçüm sonuçları ilgili grafik ve tablolarda gösterilmiştir. Ancak genel olarak tüm z tabakalarının akımsız manyetik alan ölçüm sonuçlarının ortalaması 3,721 Gauss, akımlı manyetik alan ölçüm sonuçlarının ortalaması 12,020 Gauss, akımlı manyetik alan ile akımsız manyetik alan ölçüm sonuçlarının farkı ise 8,296 Gauss olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada deneysel ölçümlerin yanı sıra teorik veriler de elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Teorik sonuçlar için deneysel verilerde kullanılan

parametrelerin aynısı kullanılarak sanal ortamda selenoid elektromıknatıs tasarlanıp manyetik alan ölçümü yapılmıştır. Bunun için COMSOL simülasyonu kullanılmıştır. Yapılan teorik çalışmada hesaplanan bulgularla deneysel çalışmada ölçülen bulgular arasında bir uyum olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçların kalibrasyonu yapılması durumunda teorik sonuçlarla daha iyi uyumun olacağı açıktır. Ancak yine de teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların uyuşması yapılan çalışmanın tutarlılığını göstermektedir.

Bu çalışma çok kısıtlı bir bütçe ile yapılmış olup 3D-Robotik Kolun sadece selenoid mıknatısın merkezindeki silindirik boşluğun manyetik alanını tarayıp ölçmenin yanında, sanayide, savunma sanayiinde ve tarımsal alanlarda da kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] H. Soğukpınar, B. Tali, E. Algın, S. Çerçi, D. S. Çerci, K. E. Engin, A. İ. Kaya "Balkan Physics Letters", *Prototype Solenoid Electromagnet Design and Production for Turkish Proton Accelerator's mdis Ion Sourc*, vol. 24, pp.1-14, 2016.
- [2] "Mıknatıs", *wikipedia.org*, <https://tr.wikipedia.org/wiki/M%C4%B1knat%C4%B1s> [Erişim tarihi: 03- Haziran- 2017].
- [3] "Mıknatıslık", *wikipedia.org*, <https://tr.wikipedia.org/wiki/M%C4%B1knat%C4%B1sl%C4%B1k#Tarih.C3.A7e> [Erişim tarihi: 03-Haziran- 2017].
- [4] "Manyetik alan", *wikipedia.org*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_alan#Tarihi [Erişim tarihi: 03-Haziran- 2017].
- [5] A. Ekineker, "Fırçalı doğru akım motorlarının dizaynında manyetik sınırların etkisinin analizi", Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, 2011.
- [6] "YerinManyetik alanı", *wikipedia.org*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetik_alan#YerinManyetik_Alan.C4.B1 [Erişim tarihi: 28-Haziran- 2017].
- [7] "Maxwelldenklemleri", *wikipedia.org*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Maxwell_denklemleri#Elektrik_ve_manyetik_alanlara_g.C3.B6re_denklemler [Erişim tarihi: 01-Haziran- 2017].
- [8] "Manyetizma için gauss yasası", *kuark.org*, <http://www.kuark.org/2013/07/manyetizma-icin-gauss-yasasi/> [Erişim tarihi: 03-Haziran- 2017].
- [9] "Faraday yasası", *kuark.org*, <http://www.kuark.org/2013/07/faraday-yasasi/> [Erişim tarihi: 04-Haziran- 2017].
- [10] "Ampere yasası", *kuark.org*, <http://www.kuark.org/2013/07/ampere-yasasi/> [Erişim tarihi 04-Haziran- 2017].
- [11] R.L. Witkover, J.Alessi, ve diğerleri, *Conversions of the BNL 200 MeV Linac to H- and Polarized H- Acceleration*. Linear Accelerator Conference (LINAC 84), Seeheim, 1984.
- [12] P.G. Bricault, M. Dombsky, J. Lassen, F. Ames, *Progress in Development of ISOL RIB Ion Sources and Targets for High Power*. 18th International Conference on Cyclotrons and their Applications, Roma, 2007
- [13] S. Turner, (Editör), "CAS- CERN Accelerator School", *Cyclotrons, Linacs and Their Applications*, Cenevre:CERN, 1996, pp. 95-104.
- [14] S. Erkan, "Hızlandırıcı güdümlü sistemlerde kullanılan bazı hedef materyallerinde yüksek enerjili protonlarla meydana getirilen reaksiyon ürünlerinin kütle dağılımlarının incelenmesi ", Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, 2014
- [15] "Hızlandırıcılar", *TürkçeBilgiPortali*, <http://www.birdunyabilgi.org/?s=h%C4%B1zland%C4%B1r%C4%B1c%C4%B1lar> [Erişim tarihi: 06-Temmuz- 2018].
- [16] E.G. Yalçiner, "Proton hızlandırıcılarının nükleer uygulama alanları ile protonlarla oluşturulan nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin incelenmesi", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, 2008.

- [17] "Hızlandırıcılar", *Nüveforum*, <http://www.nuveforum.net/1110-tanecik-fiziği/32543-tanecik-parçacık-hızlandırıcılar-ısı-ışık-demetlerine-enerji-kazandıran-aygıtlar> [Erişim tarihi: 06-Temmuz- 2018].
- [18] "Turkish Accelerator Center project", *ankara.edu*, <http://thm.ankara.edu.tr> [Erişim tarihi: 12-Aralık- 2018].
- [19] Ö. Yavas, XII. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları Yaz Okulu (UPHDYO), Ankara, 2018.
- [20] Altınay Robotik ve Otomasyon A.S, "Makine Magazin Dergisi", *Dünya Robot Nüfusu-1997*, vol. 23, pp. 89-94, 1998.
- [21] H. Takanobu, H. Tabayashi, S. Narita ve A. Takanishi, "J. Of. Intelligent and Robotic Systems", *Remote interaction between human and humanoid robot*, vol. 25, pp. 371 – 385,1999.
- [22] J. N. Liou, M. Jamshidi ve G. P. Star, " Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", *Adaptive edge-following force control of an industrial robot*, vol. 6, pp. 331-337, 1989
- [23] D. Hong, A. Steven, Velinsky ve Kazuo Yamazaki, "Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", *Tethered mobile robot for automating highway maintenance operation*, vol. 13, Pages 297-307, 1997
- [24] M. Ali Yarım, "Robot control over internet using TCP/IP protocol", Yüksek lisans tezi, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, 2004.
- [25] A. Ayberk, "Bir robot manipülatörün görsel ve yörünge kontrolü ", Yüksek lisans tezi, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Ağustos 2001.
- [26] A. Gören, "Bilgisayar destekli uzaktan kumandalı manipülatör Araç ve transfer sistemi " Yüksek lisans tezi, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi, Ağustos 2001.
- [27] E. Kendir, "Optik lif manyetik alan algılayıcısı ve manyetik alan ölçümü", Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, 2011.
- [28] G. Ünal, "HPC kontrolü ile manyetik alan ölçümü", Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, 1993.
- [29] A. Çetiner, "Labirent robotu tasarımı ve uygulaması", Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2003.
- [30] A. Çalışkan, "Mekatronik sistemlerde internet tabanlı kontrol ve kartezyen robot üzerinde bir uygulama", Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2004.
- [31] B. Bostan, " Puma 560 robotunun hesaplanmış moment metoduyla kontrolü", Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2004.
- [32] A.E. Tiryaki, R. Kozan, "Scara Robot Dinamiğinin Yapay Sinir Ağları Kullanarak Modellenmesi", *Mühendis ve Makine Cilt: 46 Sayı: 550*, 2005
- [33] R. Köker, "Üç eklemlili bir robot kolunun görmeye dayalı olarak model tabanlı veri kontrolü", Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, 2002.
- [34] O. Yağlı, "Labirent robotu tasarımı ve gerçekleştirilmesi", Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2005.
- [35] S. Yazıcı, M. Kılıvan, H.M. Ertunç, M.C. Erol, "Bilgisayar Kontrollü Kartezyen Robot Tasarım", *Elektrik-Elektronik -Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, 2003.
- [36] S.Çiçek, "Renge göre (kırmızı, yeşil, mavi) malzeme taşıyan robot kolu tasarımı ve uygulaması", Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, 2006.

- [37] O.E. Alp, "Genel amaçlı robot kolu tasarımı", Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2012
- [38] "Hall-Effect-Sensoru", *robishop.com*, <https://www.robishop.com/UGN3503-Hall-Effect-Sensoru,PR-5732.html> [Erişim tarihi: 11- Kasım- 2018].



KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mahmut TEPE
Doğum Yeri : Samsat / ADIYAMAN
Doğum Tarihi : 01.01.1975
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mtepe0202@hotmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Fizik	Adıyaman Üniversitesi	
Lisans	Fizik	Harran Üniversitesi	1999
Lise	Sayısal	Samsat Lisesi	1993

Yayınlar