

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**



**FERROMANYETİK LEVHALARDA OLUŞAN MİKRO  
ÇATLAKLARIN ALGILANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BERKAN ACAR**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**



**FERROMANYETİK LEVHALARDA OLUŞAN MİKRO  
ÇATLAKLARIN ALGILANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BERKAN ACAR**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**BERKAN ACAR** tarafından hazırlanan “**FERROMANYETİK LEVHALARDA OLUŞAN MİKRO ÇATLAKLARIN ALGILANMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 13.06.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza


Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Remziye TÜLEK

Üye  
Prof. Dr. Sibel GÖKDEN

Üye  
Doç. Dr. Ali KARPUZ

  
.....

  
.....

  
.....

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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2012/67 no' lu proje ile desteklenmiştir.**

## **ÖZET**

**FERROMANYETİK LEVHALARDA OLUŞAN MİKRO ÇATLAKLARIN  
ALGILANMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BERKAN ACAR  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI:YRD. DOÇ. DR. REMZİYE TÜLEK)**

**BALIKESİR, HAZİRAN- 2016**

Bu çalışmada, ferromanyetik levhalarda yüzey çatlaklarını belirlemek için bir manyetik tahribatsız ölçüm sistemi kuruldu. Bu sistemle, ferromanyetik levhalar ile farklı yapay çatlak modelleri yapıldı. Manyetik akı kaçaklarını yakalamak için örneklerin yüzeyi tarandı. Algılayıcı çıkış voltajının taranan örnek uzunluğuna göre grafiği çizildi ve bunun bir sonucu olarak çatlaklar belirlendi. ferromanyetik levhalarda belirlenen çatlaklar, manyetik akı kaçakları tekniği kullanılarak gösterildi.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Çatlak Tespiti, Ferromanyetik Malzeme, Hall Sensör.

## **ABSTRACT**

### **INSPECTION OF MICRO CRACKS ON THE LAMINATED FERROMAGNETIC SAMPLES**

**MSC THESIS**

**BERKAN ACAR**

**BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**PHYSICS**

**(SUPERVISOR:YRD. DOÇ. DR. REMZİYE TÜLEK)**

**BALIKESİR, JUNE 2016**

In this study, a magnetic non-destructive measurement system was constructed to detect surface cracks on a ferromagnetic laminations. With this system, different crack models were made artificially by ferromagnetic laminations. To capture magnetic leakage flux, surface of the samples were scanned. The output voltage of the sensor versus scanned sample length was plotted, and, as a result of this, cracks were determined. Detection of the crack on ferromagnetic laminations by using magnetic flux leakage technique was presented.

**KEYWORDS:** Crack Detection, Ferromagnetic Materials, Hall Sensor.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Sıvı Penetrant Yöntemi.....	2
1.2 Akustik Ölçüm Tekniği .....	2
1.3 Radyografik Yöntemi .....	3
1.4 Girdap Akımları Yöntemi .....	3
1.5 Manyetik Parçacık Yöntemi.....	4
1.6 Kaçak Akı Yöntemi .....	4
1.7 Manyetik Maddeler .....	5
1.7.1 Diyamanyetik Maddeler.....	5
1.7.2 Paramanyetik Maddeler.....	5
1.7.3 Ferromanyetik Maddeler .....	6
1.7.3.1 Ferromanyetik Malzemelerde Domain Oluşumu .....	6
1.7.3.2 Manyetik Domain Duvarları .....	7
1.8 Manyetik Alan ve İlgili Bağlıntılar.....	8
1.8.1 Manyetik Alan .....	8
1.8.2 Dairesel Bir İletkenin Bir Nuktada Oluşturduğu Manyetik Alan	9
1.8.3 Bir Selonoidin Manyetik Alanı .....	11
1.8.4 Demir Çekirdekli Selonoidin Manyetik Alanı.....	14
2. DENEYSEL SİSTEM .....	16
2.1 2-D Tarayıcı Sistemin Bilgisayarla Kontrolü.....	17
2.2 Elektronik Sistem.....	20
2.3 Manyetize Edici Sistem.....	22
2.3.1 Hall Olayı.....	25
2.3.2 Hall Etkili Algılayıcı .....	26
3. SİSTEMİN MODELLENMESİ.....	30
3.1 Çatlak Modellerinin Oluşturulması .....	32
3.1.1 Tam Çatlak Modeli.....	32
3.1.2 Yarım Çatlak Modeli.....	33
3.1.3 Gömülü Çatlak Modeli.....	34
4. YAPILAN DENEYLER.....	35
4.1 Verilerin Toplanması.....	35
4.2 Deneysel çalışma .....	36
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	47
6. KAYNAKLAR .....	49

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1:	Tek manyetik domainin enerjisi azaltmak için bölünmesi .	6
Şekil 1.2:	180° Bloch duvarı .	7
Şekil 1.3:	İnce bir katmanda iki domain arasında yer alan Neel duvarı	8
Şekil 1.4:	Dairesel bir iletkenin merkezinden x kadar uzaklıkta oluşturduğu manyetik alan.	9
Şekil 1.5:	Gevşek sarılmış bir solenoidin manyetik alanı.	12
Şekil 1.6:	Sıkı sarılmış bir solenoidin manyetik alanı.	12
Şekil 1.7:	Sıkıca sarılmış bir solenoidin kesiti.	13
Şekil 1.8:	Solenoidin oluşturduğu manyetik alan çizgileri.	14
Şekil 1.9:	(a) Hava çekirdekli solenoid, (b) Demir çekirdekli solenoid.	14
Şekil 2.1:	Ferromanyetik örneklerin mıknatıslayıcı çekirdek üzerine yerleştirilmesi.	16
Şekil 2.2:	Deneysel sistem.	17
Şekil 2.3:	Vidalı mil tahrikli lineer hareket sistemi.	17
Şekil 2.4:	Adım motor.	18
Şekil 2.5:	CNC kontrol sistemi.	18
Şekil 2.6:	Limit switch.	19
Şekil 2.7:	CNC kontrol programı ekran görüntüsü.	20
Şekil 2.8:	Analog-dijital çevirici (ADC) programı ekran görüntüsü.	21
Şekil 2.9:	Analog-dijital dönüştürücü elektronik kartı.	22
Şekil 2.10:	Manyetize edici sistem.	23
Şekil 2.11:	Manyetize edilmiş malzeme üzerinde bulunan çatlak bölgesindeki manyetik akı çizgilerinin davranışı.	24
Şekil 2.12:	Manyetize edici bobinler.	24
Şekil 2.13:	Hall etkisi, manyetik alan yok iken.	25
Şekil 2.14:	Hall etkisi, manyetik alan var iken	25
Şekil 2.15:	Yarı iletken bir tabakada, harici olarak akım yönüne dik doğrultuda etkiyen manyetik bir alan etkisiyle oluşan Hall gerilimi	26
Şekil 2.16:	Alan etkili karışık kanallı transistör algılayıcılar: Plaka yüzeyine dik yöndeki manyetik akı bileşeni ölçülmektedir.	26
Şekil 2.17:	Hall algılayıcı çalışma prensibi: Algılayıcı çıkış gerilimi ve anahtarlama sırasıyla Hall plakası boyunca oluşan manyetik akı yoğunluğuna bağlıdır	27
Şekil 2.18:	Manyetik akı yoğunluğunun çıkış voltajına göre değişimi	27
Şekil 2.19:	Hall etkili sensör.	28
Şekil 2.20:	Elektronik üniteye Hall etkili sensörün bağlanması.	28
Şekil 2.21:	Manyetik ölçme sistemi.	29
Şekil 3.1:	Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan kaçak akı davranışı.	31
Şekil 3.2:	Çatlak üzerinde oluşan kaçak akı davranışı.	31
Şekil 3.3:	Sonlu elemanlar yöntemiyle; a) Tam çatlak, b) Yarım çatlak, c) Gömülü çatlak modellerinde hesaplanan kaçak manyetik akı davranışı.	32
Şekil 3.4:	Tam çatlak modeline bir örnek.	33
Şekil 3.5:	Yarım çatlak modeline bir örnek.	33



<b>Şekil 3.6:</b>	Gömülü çatlak modeline bir örnek. ....	34
<b>Şekil 4.1:</b>	Manyetik 2D tarayıcı sistem ve bu sistemin kontrolünü sağlayan bilgisayar. ....	35
<b>Şekil 4.2:</b>	Manyetize edilmiş demir levhanın, merkezi ve uçları arasındaki voltaj değişimi. ....	37
<b>Şekil 4.3:</b>	Hall sensörün çıkış voltajının, model yüzeyinin x taraması sırasındaki değişimi. ....	38
<b>Şekil 4.4:</b>	5 mm ve 8 mm tam çatlak modeli çıkış sinyalinin genişliğe göre değişimi. ....	39
<b>Şekil 4.5:</b>	Tam çatlak modeli çıkış sinyalinin 5 mm, 8 mm ve 12 mm derinliğe göre değişimi. ....	40
<b>Şekil 4.6:</b>	Hall etkili sensörün çıkış voltajının tam çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi. ....	41
<b>Şekil 4.7:</b>	Hall sensörün çıkış voltajının, yarım çatlak model yüzeyinin x taraması sırasındaki değişimi. ....	42
<b>Şekil 4.8:</b>	Yarım çatlak modeli çıkış sinyalinin 6 mm ve 12 mm derinliğe göre değişimi. ....	43
<b>Şekil 4.9:</b>	Hall etkili sensörün çıkış voltajının yarım çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi. ....	44
<b>Şekil 4.10:</b>	Yarım çatlak modeli çıkış sinyalinin 6 mm ve 12 mm çatlağın alt yüzeye uzaklığına göre değişimi. ....	44
<b>Şekil 4.11:</b>	Hall etkili sensörün çıkış voltajının yarım çatlak modelindeki çatlağın alt yüzeye uzaklığına göre değişimi. ....	45

## SEMBOL LİSTESİ

$H$	:Manyetik alan şiddeti
$B$	:Manyetik akı yoğunluğu
$M$	:Mıknatıslanma
$\mu_0$	:Boşluğun manyetik geçirgenliği
$\mu$	:Manyetik geçirgenlik
$\Phi$	:Manyetik akı
$f$	:Frekans
$N$	:Bobin sarım sayısı
$A$	:Bobin kesit alanı
$I$	:Akım

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamı bitirmemde bilgi ve tecrübelerini paylaşarak desteğini esirgemediği, değerli zamanını ayırarak her türlü konuda yol gösterdiği için danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Remziye TÜLEK' e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince bilgi, deneyim ve desteklerini esirgemeyen, ekip çalışması ruhunu bizlere önemseten, tez uygulaması süresince kısıtlı zamanlarında bile yardımlarını esirgemeyen, bilgiye ve kaynaklara ulaşmamda sonsuz yardımları bulunan her türlü sorunumuzla ilgilenen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa GÖKTEPE' ye içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca çalışma ortamımın hazırlanmasında yardımcı olan değerli çalışma arkadaşlarım MTL (Manyetik Teknolojiler Laboratuvarı) grup elemanları Deniz PERİN, Mehmet AYGÖREN ve Mahmut TOPKAYA' ya yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerini benden esirgemeyen, anlayışlarını ve sabırlarını yitirmeden her zaman yanımda olduklarını hissettiren, gösterdikleri desteğin yanı sıra bana aşıladıkları çalışma isteği ve başarabilme inancından ötürü sevgili anneme, babama ve aileme minnettirim.

# 1. GİRİŞ

Tahribatsız muayene yöntemi, NDT (Non Destructive Testing), test edilecek malzemenin statik ve dinamik yapıları hakkında bilgi edinmek amacıyla incelenecek olan malzemeye herhangi bir zarar vermeden veya parça bütünlüğünü bozmadan yapılacak muayene yöntemlerinin tümüne verilen isimdir. Malzemenin üretiminde ya da belli bir süre kullanılmasıyla aşınma yıpranma gibi nedenlerin sonucunda malzeme de oluşan çatlak, kesit azalması veya içyapıda meydana gelen boşluk gibi hataların tespitinde kullanılan yöntemler tahribatsız test yöntemleridir [1].

Tahribatsız muayene, üretimin başlangıcında malzeme üzerindeki hataların nereden kaynaklandığını bulup düzeltme imkanı verir. Bu yüzden üretilen malzemenin güvenliliğini artırır. Tahribatsız test yöntemi malzeme üzerinden iz veya hasar bırakmadığı için bitmiş parçalar üzerinde de uygulanabilir. Parçada hata olup olmadığı deney sonucunda belirlenir [1-2].

Endüstride en çok kullanılan tahribatsız muayene teknikleri arasında penetrant sıvı, radyografik, akustik ölçüm, girdap akımları, manyetik parçacık manyetik akı kaçakları testi yer almaktadır. Her yöntemin bir diğerine göre üstünlükleri veya kısıtlamaları vardır. Ancak hiçbir yönteme tek başına en iyisi demek doğru değildir.

Manyetize edici sistem olmadan manyetik akı kaçakları yöntemi kullanılamaz. Manyetik akı kaçakları tahribatsız test yönteminde, çatlak yerini bulabilmek için bir algılayıcıya ve bu algılayıcının hareketini sağlayan bir düzeneğe ihtiyaç vardır. Bu nedenle manyetik akı kaçaklarını tespit edebilmek ve tahribatsız olarak çatlakların konumunu bulabilmek için yeni bir manyetik ölçme sistemi oluşturulmuştur. Levha şeklinde bulunan malzemelerin manyetik akı kaçakları yöntemi için tasarlanan elektroniği, mekaniği ve tahribatsız çatlak tespitinde kullanılabilirliği incelenmiştir.

Manyetik akı kaçaklarının deneylerini yapabilmek için kurulmakta olan sistemde Hall etkili sensör kullanılmış, ferromanyetik levhalarla yapay olarak hazırlanan ve değişik çatlak şekillerinden oluşan farklı örnekler test edilmiştir.

Geliştirilen manyetik tahribatsız test sisteminde, elde edilen örneklerden alınan veriler işlenerek ulaşılan sonuçlar yorumlanmıştır.

Ferromanyetik levhalarda kullanılan NDT teknikleri

- Sıvı Penetrant Yöntemi
- Akustik Ölçüm Yöntemi
- Radyografik Yöntemi
- Girdap Akımları Yöntemi
- Manyetik Parçacık Yöntemi
- Kaçak Akı Yöntemi

Bu çalışmada Kaçık Akı Yöntemi kullanılmıştır.

### **1.1 Sıvı Penetrant Yöntemi**

Sıvı penetrant yöntemi malzeme yüzeyinde oluşan çok küçük kılcal çatlakları özel sıvılar yardımıyla belirlemek için kullanılan tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Yöntemin fiziksel ilkesi, cisim üzerine serbest bırakılan bir sıvı damlası ile cisim yüzeyi arasındaki kohezyon kuvveti nedeniyle oluşan yüzey gerilimi olarak açıklanır [1].

Boya içeren sıvı test edilecek yüzeye sürülür. Sıvının süreksizlikleri bulması ve girmesi için bir süre beklenir. Sonra yüzeyde kalan sıvı temizlenir ve bir toz uygulanır. Bu toz emici kağıt gibi davranır ve süreksizliklere girmiş olan boyalı sıvıyı tekrar yüzeye çıkarır [2]. Bu yöntem ile sadece yüzeye açık süreksizlikler belirlenebilir. Sağlıklı sonuç alınabilmesi için yüzeyin gözenekli ve aşırı pürüzlü olmaması gereklidir.

### **1.2 Akustik Ölçüm Tekniğı**

Bu metot ultrasonik ses dalgasının yapı içinde ilerlerken, çatlak ve kusurlu bölgelerin bu ilerleme hızı üzerinde oluşturduğu etkilerle ilgilenen bir ölçüm tekniğıdir. Bu etki, yapı yüzeyinde bulunan sensörlar tarafından algılanmaktadır [3-5].

Akustik emisyon yapıya 1-6 metre aralıklarla çok sayıdaki sensörün yerleştirilmesi ile yapının tümünü izleyebilir. Mekanik testler sırasında malzemedeki hataları izleme (diagnostik) alanında etkili bir metot olarak kullanılmaktadır [6]. Yüzey dalgalarıyla temas testi, ince levhalar için darbe hasarını belirlemede etkili olmaktadır [7].

### **1.3 Radyografik Yöntemi**

Bu teknikte bir kaynaktan çıkan X, beta ve gamma ışınları kullanılmaktadır [8]. Bu sistemde alınan ölçümlerde, ölçüm yapılan yüzeyden gönderilen ışınların yapının diğer tarafında dedekte edilmesi gerekmektedir. Bu sebepten bu teknikle yapılacak taramada yapının iki yüzeyine birden ulaşılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde toplanacak veriler yapıdaki değişimi rahat bir şekilde belirlemektedir [5-10].

Görüntüleme, film üzerine ya da anında ekrana yansıtılarak yapılmaktadır. Film üzerine yapılan ölçüm yaklaşık 30 dakika sürmektedir. Ölçüm süresi yapı kalınlığının artmasıyla artmaktadır [9].

Sistem için kalınlık limiti 600 mm olarak belirlenmiştir [9, 10]. Bu teknik; boşlukları, ön gerilmiş halatları ve ön gerilmiş halatların içinden geçtiği kanalları belirlemede uygun bir yöntemdir. Alınan veriler sonucunda bu sistemin diğer ölçümler (çatlaklar, paslanma vb.) için uygun olmadığı gözlemlenmiştir [4, 9].

Bu yöntemde radyoaktif maddeler kullanıldığından tehlikeli olmasının yanında uygulama esnasında deneyimli ve özel donanımlı bir elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Radyoaktif sistem test süresince insan sağlığı olumsuz yönde etkileyebilmektedir [5, 9, 12].

### **1.4 Girdap Akımları Yöntemi**

Tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinden biri olan girdap akımları yöntemi temel olarak iletkenlerin incelenmesinin esası olan elektromanyetizmaya

dayanmaktadır. Girdap akımları, elektromanyetik indüksiyon yöntemi doğrultusunda elde edilir.

Üzerinden alternatif akım geçen bir bobin, iletken bir malzemeye yaklaştırılırsa bu malzeme içinde girdap akımları oluşur. Oluşan ilave manyetik alanın ya onu uyaran bobin, ya da ayrı bir bobin tarafından ölçülmesi bu yöntemin temel prensibi olarak düşünülebilir [1]. Yüzey bozukluklarına karşı çok duyarlı olup, düzgün bir test yüzeyi gerektirir. Bobin sarımına ve tarama yönüne paralel olan tabakalar halinde dizilmiş hatalar tespit edilemezler.

### **1.5 Manyetik Parçacık Yöntemi**

Manyetik parçacık ile test yöntemi, test parçasının manyetikleştirilmesi, yüzeyine demir parçacıklarının uygulanması ve manyetikleşmeden ötürü parçacıkların aldığı şekil ve desenlerin incelenmesi prensibine dayanır [13].

Ferromanyetik malzemeler elektrik akımından istifade etmek suretiyle magnetlenir. Sonra manyetik tozlar tatbik edilmek suretiyle parçaların içerisindeki hatalar nedeniyle manyetik geçirgenliğin değişken olduğu kısımda hatanın şekline benzer şekilde yüzey ve yüzeyden en fazla 6 mm derinlikte olan hataları belirgin hale getirir [1].

Test parçasının yüzeyinde ya da yüzeyinin hemen altında bir çatlak, boşluk ve kalıntı gibi kusurlar varsa, bu kusurların yarattığı kaçak manyetik akıdan dolayı yüzeydeki demir parçacıkları o bölgeye toplanıp belirgin izler bırakırlar [13].

### **1.6 Kaçak Akı Yöntemi**

Kaçak akı yöntemi kısaca MFL (Magnetic Flux Leakage) yoğun olarak kullanılan, basit olmasının yanında ucuz bir NDT tekniğidir. Dışarıdan uygulanan manyetik alan levha üzerinde bulunan çatlaklar üzerine geldiğinde var olan akı yoğunluğu değişime uğramaktadır. Bu değişimin detekte edilmesiyle ölçüm yapılabilmektedir. Elde edilen bu sinyaller işlenerek levha üzerindeki çatlak

hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede çatlakın yeri ve derinliği belirlenebilmektedir [14, 15].

## **1.7 Manyetik Maddeler**

Faraday, yaptığı araştırmalar sonunda tüm maddelerin, manyetik alana bir tepki gösterdiğini ve bu tepki nedeniyle karşılıklı bir etkileşimin söz konusu olmasından dolayı maddelerin üç grupta toplanabildiğini göstermiştir;

Manyetik özellikleri açısından paramanyetik, ferromanyetik ve diyamanyetik olmak üzere üç madde çeşidi tanımlanır. Paramanyetik ve ferromanyetik sürekli dipol momentli atomlara sahiptir. Diyamanyetik maddelerin atomları ise sürekli dipol momente sahip değildir. Daha açık olarak cisimler az veya çok şiddetli olmak üzere manyetik özellikler gösterirler.

### **1.7.1 Diyamanyetik Maddeler**

Bağıl manyetik geçirgenlikleri  $\mu_b < 1$  olan, bir manyetik alan içerisine girdiğinde manyetik alan çizgilerine zıt yönde yönelen maddelerdir. Diyamanyetik maddeler içinde bulunduğu manyetik alanı azaltıcı yönde etki eder. Radyum, potasyum, magnezyum, hidrojen, bakır, gümüş, altın ve su diyamanyetik gruba girerler.

### **1.7.2 Paramanyetik Maddeler**

Bağıl manyetik geçirgenlikleri  $\mu_b > 1$  olan, manyetik momentleri rastgele yönelmiş maddelerdir. Bu maddeler, güçlü bir manyetik alana sokulduğunda manyetik alana paralel şekilde kendilerini yönlendirerek manyetik alanı artırıcı özellikleri vardır. Paramanyetik maddeler manyetik alan ortadan kalktığında mıknatıslanma özelliğini kaybederler ve kalıcı olarak mıknatıslanmazlar. Hava, alüminyum ve silisyum paramanyetik gruba girer.

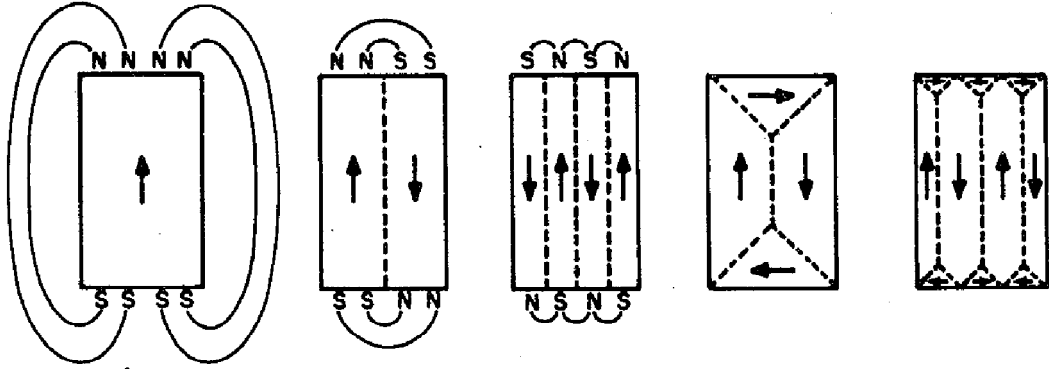


### 1.7.3 Ferromanyetik Maddeler

Bağıl manyetik geçirgenlikleri  $\mu_b \gg 1$  olan maddelerdir. Demir, nikel, kobalt ve alaşımlarını içeren maddeler bu gruba girer. Bunların alaşımlarında net manyetik momentleri manyetik alan altında sıfırdan farklıdır ve manyetik alan kaldırıldığına dahi manyetizasyonları hemen kaybolmaz. Bu malzemelere ferromanyetik malzemeler adı verilir.

#### 1.7.3.1 Ferromanyetik Malzemelerde Domain Oluşumu

Ferromanyetik malzemeler kimi zaman net bir manyetik momente sahip değildirler bu nedenle manyetize olmuş malzemeler gibi davranmayabilirler. Oda sıcaklığında bulunan bir demir, bu duruma örnektir. Ferromanyetik malzemelerin her zaman net bir manyetizasyona sahip olmamalarının sebebi, her birinin net manyetizasyonu farklı yönlere bakan domain adı verilen düzenli bölgelerden oluşuyor olmalarıdır. Bireysel manyetizasyonları farklı yönlere bakan domainlerden oluşan malzemedeki net manyetizasyon sıfır olurken, domainler içindeki manyetizasyon doyum değerindedir. Domainlerin oluşmasının sebebi varlıklarının manyetostatik enerjide düşüşe sebep olmasıdır. Bu domainler bölünerek enerjiyi azaltır (Şekil 1.1).



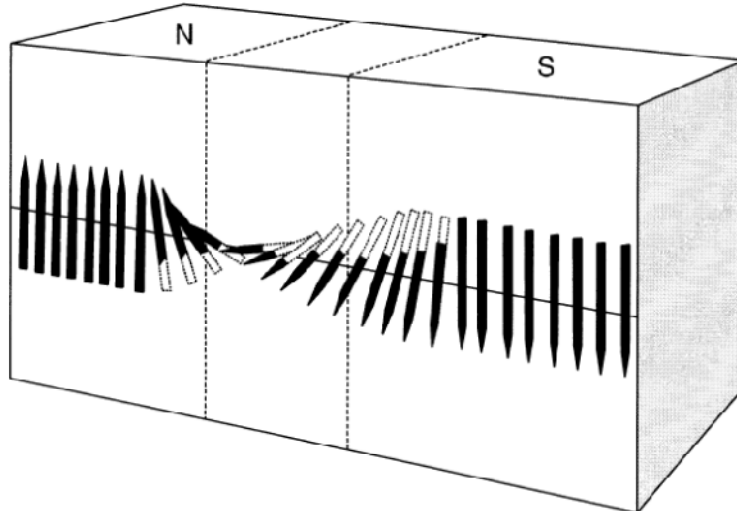
Şekil 1.1: Tek manyetik domainin enerjiyi azaltmak için bölünmesi [16].

Manyetik bir malzeme içerisinde yer alan manyetik momentler çeşitli etkileşimlere maruz kalmaktadırlar. Bunlar, demanyetize alan içindeki manyetik enerjiyi ifade eden manyetostatik enerji, manyetik anizotropi, manyetik düzenden

sorumlu olan değiş-tokuş etkileşme ve malzemeye uygulanan stres olmadığında sıfır olan manyetoelastik etkileşmedir [16].

### 1.7.3.2 Manyetik Domain Duvarları

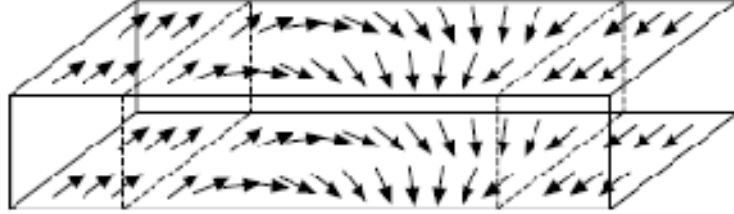
Manyetizasyon yönleri aralarındaki belli bir açıyla değişen iki komşu manyetik domain arasında, domain duvarı olarak bilinen ve sınırlı genişliği olan ara bölgelerde, momentlerin nasıl yön değiştirdiği önemlidir. İçlerinde manyetik momentlerin yön değiştirdiği, domainler arasındaki geçiş bölgelerinin oluşumu ilk kez Bloch tarafından 1932 yılında önerilmiş, Geçiş tabakaları domain duvarları ve bazen de Bloch duvarları olarak adlandırılır; fakat belirtmek gerekir ki bu sadece belirli tipteki domain duvarları için kullanılan isimdir. Domain duvarlarının farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bloch domain duvarlarının bir tarafından diğer tarafına toplam açısal yer değiştirme, özellikle kübik maddelerde anizotropi ve momentlerin yönündeki değişimin pek çok atom düzlemi üzerinden gerçekleşmesi sebebiyle, genellikle  $180^\circ$  veya  $90^\circ$  dir. Böylelikle domain duvar çeşitleri  $180^\circ$  Bloch duvarı,  $90^\circ$  Bloch duvarı ve Neel duvarı olarak sıralanır. Şekil 1.2' de iki komşu domain arasında yer alan, içerisinde manyetik momentlerin yön değiştirdiği ara bölge olan  $180^\circ$  Bloch duvarı görülmektedir [16, 17].



Şekil 1.2:  $180^\circ$  Bloch duvarı [16].

Bloch duvarında yer alan manyetik momentler komşu domainlerde yer alan manyetik momentlerden farklı düzlemde dönerler. Momentleri, domain momentleri ile aynı düzlemde dönen duvar ise Neel duvarı olarak bilinmektedir [18]. Bu durum

Şekil 1.3'te gösterilmiştir. Neel duvarı içerisindeki momentler komşu domain momentleri ile aynı düzlemde döndüğünden Neel duvarları ince tabaka şeklindeki malzemelerde oluşur. Kalın malzemelerde ise Bloch duvarına oranla oldukça yüksek demanyetizasyon enerjisi ürettiklerinden bu tür malzemelerde oluşmazlar.



Şekil 1.3: İnce bir katmanda iki domain arasında yer alan Neel duvarı [18].

## 1.8 Manyetik Alan ve İlgili Bağlılar

Bu çalışmada manyetik etkiler kullanılarak yapılacak olan incelemelere açıklık getirmek amacıyla bu bölüm içinde temel manyetizma yasaları ve madde içinde mıknatıslanma tartışılacaktır.

### 1.8.1 Manyetik Alan

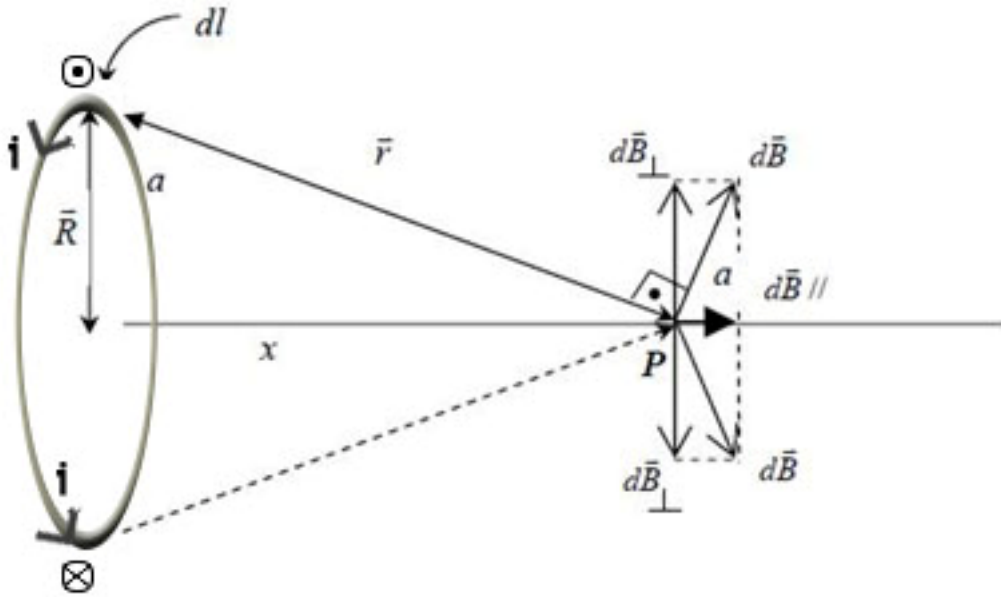
Manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketi sonucunda ortaya çıkan bir etkidir. Bir maddenin en küçük parçası olan atomlarda negatif yüklü olan elektronlar, çekirdek etrafında yörüngesel bir hareket yaptıkları gibi, kendi eksenleri etrafında da bir dönme hareketi yaparlar. Elektrik akımı bu yüklü parçacıkların hareketi sonucunda meydana gelir ve mıknatısların manyetik özellik göstermesinde etkili rol oynar. Elektrik yüklü parçacıklar hareket halinde ise ortamda bir değişiklik meydana gelir. Akım taşıyan bir bobin ya da mıknatısın bulunduğu ortamda manyetik kuvvet olarak ortaya çıkan bu değişiklik, manyetik alan olarak adlandırılır.

Manyetik alan; doğrultusu, yönü ve şiddeti ile belirlenen vektörel bir büyüklüktür. Her hangi bir ortamdaki manyetik alan, kuvvet çizgileri ya da manyetik akı çizgileri ile gösterilir. Kuvvet çizgileri, N kutbundan çıkıp S kutbuna girerek mıknatıs içinden geçerek kapalı bir yol oluşturur. İletkenlerden oluşan bir bobin göz

önüne alınır ve bu bobinden bir akım geçirilirse bir manyetik alan meydana gelir. Bu kuvvet çizgileri, bobin eksenini yönde olmak üzere bobinin bir tarafından girip diğer tarafından çıkarlar.

### 1.8.2 Dairesel Bir İletkenin Bir Noktada Oluşturduğu Manyetik Alan

Dairesel bir iletkenin yarıçapı  $R$  ve buradan geçen akım  $I$  ise, daireSEL iletkenin ekseninden  $r$  kadar uzaklıktaki P noktasındaki manyetik alan hesaplanabilir. Dairesel iletkenin sonsuz küçük  $I d\vec{l}$  akım elemanlarından oluştuğunu kabul edilirse, her elemanın daireSEL iletkenin P noktasında oluşturduğu  $d\vec{B}$  manyetik alanları aynı yönlü ve doğrultulu olacaklardır [19-22].



**Şekil 1.4:** Dairesel bir iletkenin merkezinden  $x$  kadar uzaklıkta oluşturduğu manyetik alan.

Şekilden de anlaşılacağı gibi  $\vec{r}$  ve  $d\vec{l}$  arasındaki açı  $90^\circ$ 'dir. Dolayısıyla  $d\vec{l}$  ve  $\vec{r}$ 'nin belirlediği düzlem sayfa düzlemine diktir.  $I d\vec{l}$  akım elemanına karşı gelen manyetik alan elemanı bu düzleme diktir. Böylece manyetik alan şekil düzlemi içinde olup  $\vec{r}$ 'ye dik doğrultudadır.

Manyetik alan elemanı  $d\vec{B}$  'yi devre eksenine paralel  $d\vec{B}_{//}$  ve devre eksenine dik  $d\vec{B}_{\perp}$  doğrultuda iki bileşene ayrılсын, P noktasındaki toplam manyetik alana yalnız  $d\vec{B}_{//}$  katkıda bulunur. Çünkü  $I\vec{dl}$  akım elemanın bir halka için x eksenine göre simetriği söz konusudur. Bu durumda P noktası için  $d\vec{B}_{\perp}$  bileşenlerin toplamı sıfır olacaktır.

Toplam alan;

$$\vec{B} = \int d\vec{B}_{//} \quad (1.1)$$

ile verilir.

Şekil 1.4' teki akım elemanları için Biot – Savart kanunu;

$$|d\vec{B}| = \frac{\mu_0 I dl \sin 90}{4\pi r^2} \quad (1.2)$$

şeklindedir [19]. Diğer taraftan,

$$|d\vec{B}_{//}| = |d\vec{B}| \cos \alpha \quad (1.3)$$

ilişkisi göz önüne alınarak

$$|d\vec{B}| = \frac{\mu_0 I |d\vec{l}|}{4\pi r^2} \cos \alpha \quad (1.4)$$

bulunur.

Şekil 1.4' te görüldüğü üzere  $r$  ve  $a$  birbirleriyle ilişkili değişkenlerdir. Her iki değişkende, P noktasının çember merkezine olan uzaklığı  $x$  cinsinden ifade edilirse,

$$r = \sqrt{R^2 + x^2} \quad (1.5)$$

ve

$$\cos \alpha = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + x^2}} \quad (1.6)$$

bulunur. B değeri  $d\vec{B}_{//}$  yerine konulursa

$$|d\vec{B}_{//}| = \frac{\mu_0 I R}{4\pi(R^2+x^2)^{3/2}} dl \quad (1.7)$$

elde edilir.  $dl$  integralinin dairenin çevresini vereceğinden

$$|\vec{B}| = \int d\vec{B}_{//} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi(R^2+x^2)^{3/2}} \int dl \quad (1.8)$$

dairenin çevresi  $2\pi r$  alınır ve yerine yazılırsa

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2+x^2)^{3/2}} \quad (1.9)$$

bağıntısı elde edilir.

Şayet  $x \gg R$  ise devreye yakın noktalar göz önüne alınmaz, 1.7 eşitliği

$$|\vec{B}| = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi x^3} \int dl \quad (1.10)$$

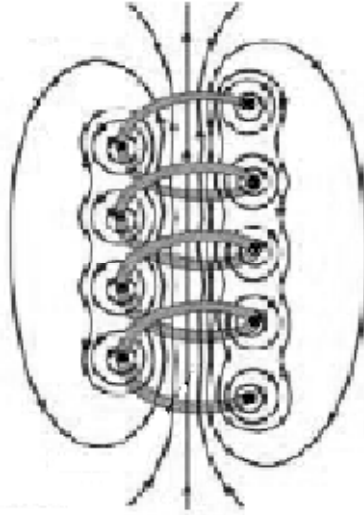
$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi x^3} (2\pi r) \quad (1.11)$$

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I R}{2x^3} \quad (1.12)$$

şekline dönüşür [19].

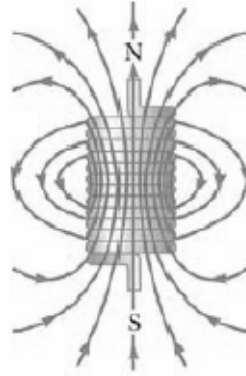
### 1.8.3 Bir Selonoidin Manyetik Alanı

Hava çekirdekli selonoid uzun bir telin helis şeklinde sarılmasıyla elde edilir. Sıkıca sarılmış selonoidin içindeki bölgenin küçük bir hacminde düzgün varsayılabilir bir manyetik alan elde edilebilir. Sarımlar sıkışık olduğunda her bir sarıma bir çember gibi düşünülebilir. Bütün sarımların oluşturduğu manyetik alanların vektörel toplamı net manyetik alanı verir [19-24].



**Şekil 1.5:** Gevşek sarılmış bir selonoidin manyetik alanı.

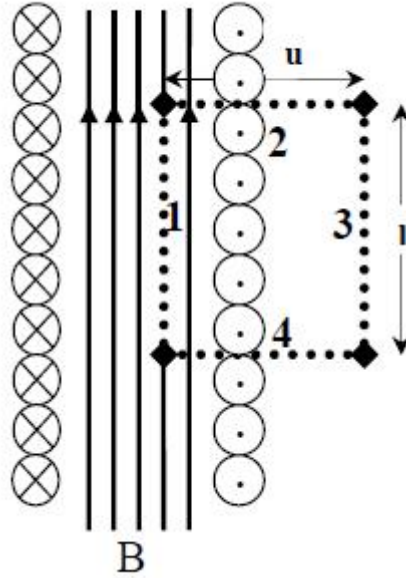
Şekil 1.5’ te gevşek sarılmış bir selonoidin manyetik alan çizgilerini göstermektedir. Bobinin içindeki alan çizgileri birbirine hemen hemen paralel, yakın ve düzgün dağılmıştır. Sarımların aralarındaki alan çizgileri birbirlerinin etkilerini yok ederler. Selonoidin dışındaki alan hem düzgün değil hem de şiddet olarak zayıftır. Çünkü üst kısımlardaki akım elemanlarından kaynaklanan manyetik alan alt kısımlardaki elemanlardan kaynaklanan alanı yok etmeye çalışır [19-24].



**Şekil 1.6:** Sıkı sarılı bir selonoidin manyetik alanı.

Sarımlar sıkıca sarılmış ve selonoid sonlu uzunlukta ise, alan çizgileri Şekil 1.6’ da görüldüğü gibidir. Bu durumda, alan çizgileri bir uçtan çıkarak dağılırlar, diğer uçtan toplanarak girerler. Bu alanın, selonoidin dışındaki dağılımı bir çubuk mıknatısın alanına benzer. Bu yüzden, selonoidin bir ucu çubuk mıknatısın kuzey kutbu gibi davranırken öteki ucu güney kutbu gibi davranır. Selonoidin uzunluğu

arttırıldıkça, içindeki alan gittikçe daha düzgün bir hale gelir, sarımlar sıkıca sarıldıkları ve selonoidin uzunluğu yarıçapına göre oldukça fazla olduğu zaman ideal bir selonoid durumuna yaklaşılır. Bu durumda, selonoidin dışındaki alan içine göre çok zayıf ve içerideki alan, oldukça büyük bir hacimde düzgün olur [19-24].



Şekil 1.7: Sıkıca sarılmış bir selonoidin kesiti.

İdeal bir selonoidin içindeki manyetik alan ifadesini elde edebilmek için Amper yasası kullanılabilir. Bu selonoidten bir  $I$  akımı geçirilsin. Selonoidin içinde oluşacak manyetik alan düzgün ve selonoidin eksenine paraleldir. Şekil 1.7' de görüldüğü gibi uzunluğu  $l$  ve genişliği  $u$  olan dikdörtgen incelenirse; bu dikdörtgenin dört kenarı boyunca  $\vec{B} \cdot d\vec{s}$ ' nin integrali alınarak, Amper yasası uygulansın. 3 numaralı kenar boyunca katkı kuşkusuz sıfırdır; çünkü bu bölgede  $B=0$ ' dir. 2 ve 4 numaralı kenarların her ikisinden gelen katkı da sıfırdır, çünkü bu yollar boyunca  $\vec{B}$  alanı  $d\vec{s}$ ' ye diktir. Uzunluğu  $l$  olan kenar 1' in integrale katkısı  $Bl$ ' dir; çünkü bu yol boyunca  $\vec{B}$  düzgün ve  $d\vec{s}$ ' ye paraleldir [19].

Bu nedenle, kapalı dikdörtgenel yol boyunca integralin değeri

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{kenar1} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \int_{kenar1} B ds \cos 0 = Bl \quad (1.13)$$

Amper yasasının sağ tarafı integralin alındığı kapalı yolun çevrelediği yüzeyden geçen toplam akımı içerir.  $l$  uzunluğunda bulunan sarım sayısı  $N$  ise,

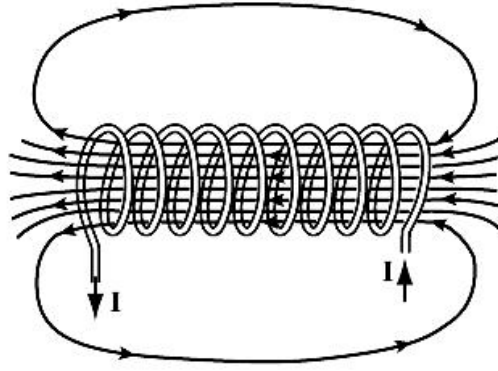


dikdörtgenin içinden geçen toplam akım  $NI$  olur. Öyleyse, Ampere yasası uygulanırsa

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bl = \mu_0 NI \quad (1.14)$$

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 n I \quad (1.15)$$

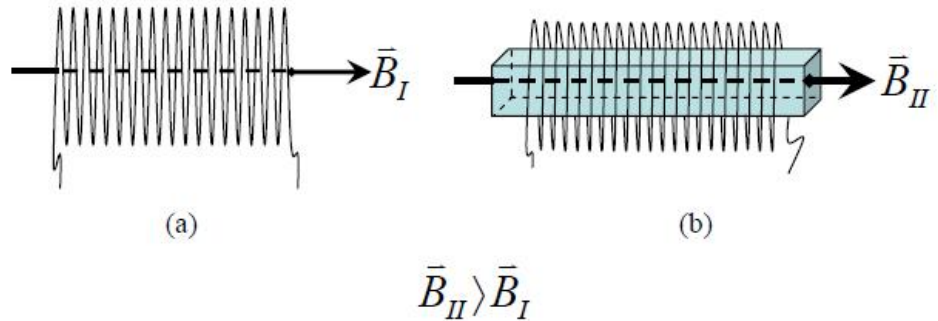
bulunur. Burada  $n = N/l$  birim uzunluktaki sarım sayısıdır.



Şekil 1.8: Selonoidin oluşturduğu manyetik alan çizgileri.

#### 1.8.4 Demir Çekirdekli Selonoidin Manyetik Alanı

Eğer selonoidin içine bir demir çubuk yerleştirilir ve selonoide akım verilirse selonoidin içinde oluşan manyetik alan şiddeti artacaktır [25, 26].



Şekil 1.9: (a) Hava çekirdekli selonoid, (b) Demir çekirdekli selonoid.

Demir çubuğun sahip olduğu manyetik momentler solenoidin oluşturduğu alan doğrultusunda sıralanmaya başlarlar ve manyetik alan içerisindeki demir çubuk mıknatıslanır. Demir çubuğunun mıknatıslanması solenoidin mıknatıslanmasını artıracaktır. Oluşan yeni manyetik alan şiddeti 1.17' deki bağıntı ile bulunabilir.

Demir çekirdeğin birim hacmindeki manyetik moment sayısı mıknatıslanma diye adlandırılır ve  $\vec{M}$  ile gösterilir. Bu manyetizasyon solenoidin oluşturduğu manyetik alana şiddetine eklenirse boşluktaki ve demir çekirdekdeki toplam akı yoğunluğu

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \quad (1.16)$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (1.17)$$

şeklinde ifade edilir [25, 26].

## 2. DENEYSEL SİSTEM

Deney düzeneği genel hatlarıyla platform, manyetize edici sistem, algılayıcı bobin ve sistemin çalışmasını sağlayan güç kaynağı, sinyal üretici, amplifikatör, osiloskop ve bilgisayardan oluşmaktadır. Bu bölümde manyetik sistemin çalışma prensibi ile ilgili gerekli kavramlarla açıklanacaktır.

2D tarayıcı sistem üzerinde taranacak olan yüzeyin manyetize edilmesini sağlayan U şeklinde manyetize edici çekirdek bulunur. Manyetize edilmiş malzemede, çatlakların fiziksel özelliklerinin tespiti için geliştirilen 2D Tarayıcı sistem üzerindeki platformda manyetik sensörün hareketi, her bir eksenin kontrolünü sağlayan iki adet adım motoru tarafından gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 2.1:** Ferromanyetik örneklerin mıknatıslayıcı çekirdek üzerine yerleştirilmesi.

Tarayıcı sistemde, yapay çatlak modelleri öncelikle manyetize edici sistemin üzerine yerleştirilerek mıknatıslanması sağlanır. Algılayıcının yerleştirildiği sistem, x eksen ve y eksen için ayrı ayrı kullanılan adım motorların kontrolüyle istenilen bölgelerde hareket ettirilmektedir. Taranan her bölge için sistem üzerinde bulunan sensördeki çıkış voltaj değerleri kaydedilmektedir. Böylelikle taranan örneğin hangi bölgesinde çatlak olduğu tespit edilmekte ve sensörün çıkış voltajının maksimum değerine göre çatlak fiziksel özellikleri de anlaşılmaktadır.

Sistem genel olarak bir platform üstüne yerleştirilmiştir. Bu platform x ve y eksenlerinde ayrı ayrı hareket ettirilip algılayıcının çıkış voltaj değerlerine göre grafikleri çizilmiştir.

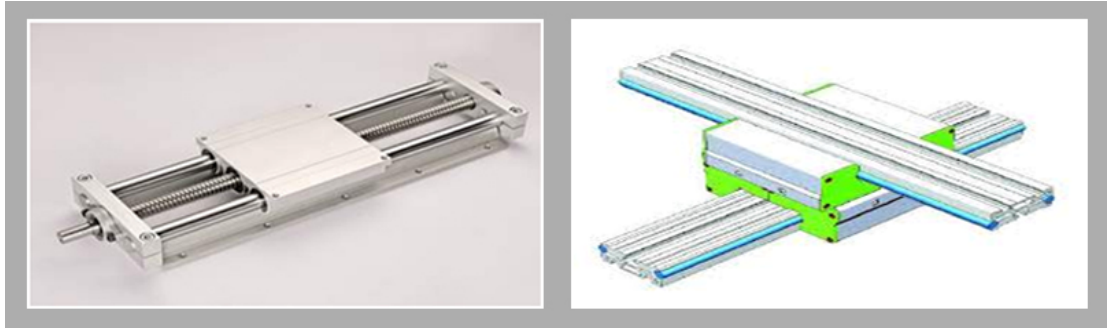


**Şekil 2.2:** Deneysel sistem.

### **2.1 2-D Tarayıcı Sistemin Bilgisayarla Kontrolü**

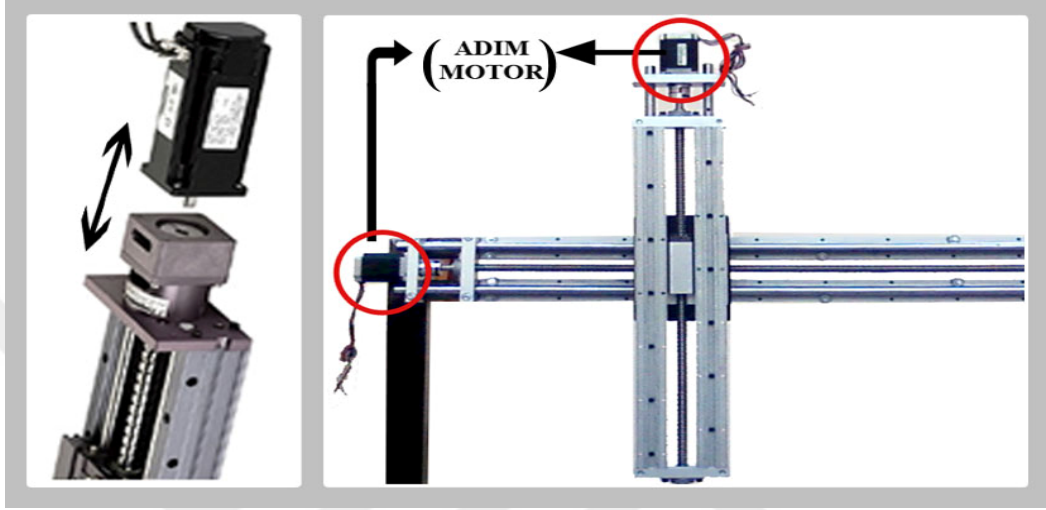
Manyetik kaçak akı yöntemi için geliştirilen tahribatsız test düzeneği, x-y eksenleri boyunca hareket eden tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayardan kontrolünü sağlayan ünitelerden meydana getirilmiştir.

2D tarayıcı sistemi hareket ettirmek için x eksenini 100 cm ve y eksenini 50 cm hareket alanına sahip vidalı mil tahrikli lineer hareket sistemi kullanılmıştır. Vidalı miller x-y ekseninde Şekil 2.3' teki gibi birbirine dik olarak bağlanmaktadır.



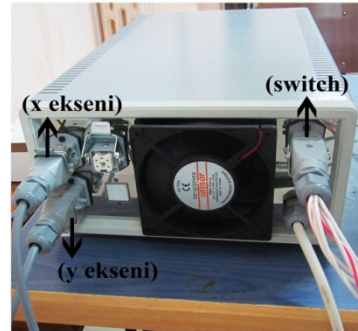
**Şekil 2.3:** Vidalı mil tahrikli lineer hareket sistemi.

2D Tarayıcı sistem, manyetik akı kaçakları testi için dizayn edilmiş olup sistem üzerinde bulunan algılayıcının eksenlerdeki hareketi kullanılan adım motorlarıyla gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden adım motorların bilgisayarla kontrolü sağlanarak sistemdeki algılayıcı örnek üzerinde istenilen konuma getirilebilir. Adım motor vidalı millerin yan kısmına Şekil 2.4’ te gösterildiği gibi monte edilmiştir.



Şekil 2.4: Adım motor.

Adım motorların çıkış uçlarına uygun veriler gönderilerek tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolü sağlanır. Adım motorların istenilen hareketi yapması CNC kontrol sistemi tarafından gerçekleştirir. CNC kontrol sisteminin önden ve arkadan görünümü Şekil 2.5’ te verilmiştir.



Şekil 2.5: CNC kontrol sistemi.

Adım motorların her biri CNC kontrol sisteminin arkasına x ve y eksenini olarak bağlanır (Şekil 2.5). CNC kontrol sistemi ve bilgisayar arasındaki bağlantı ise

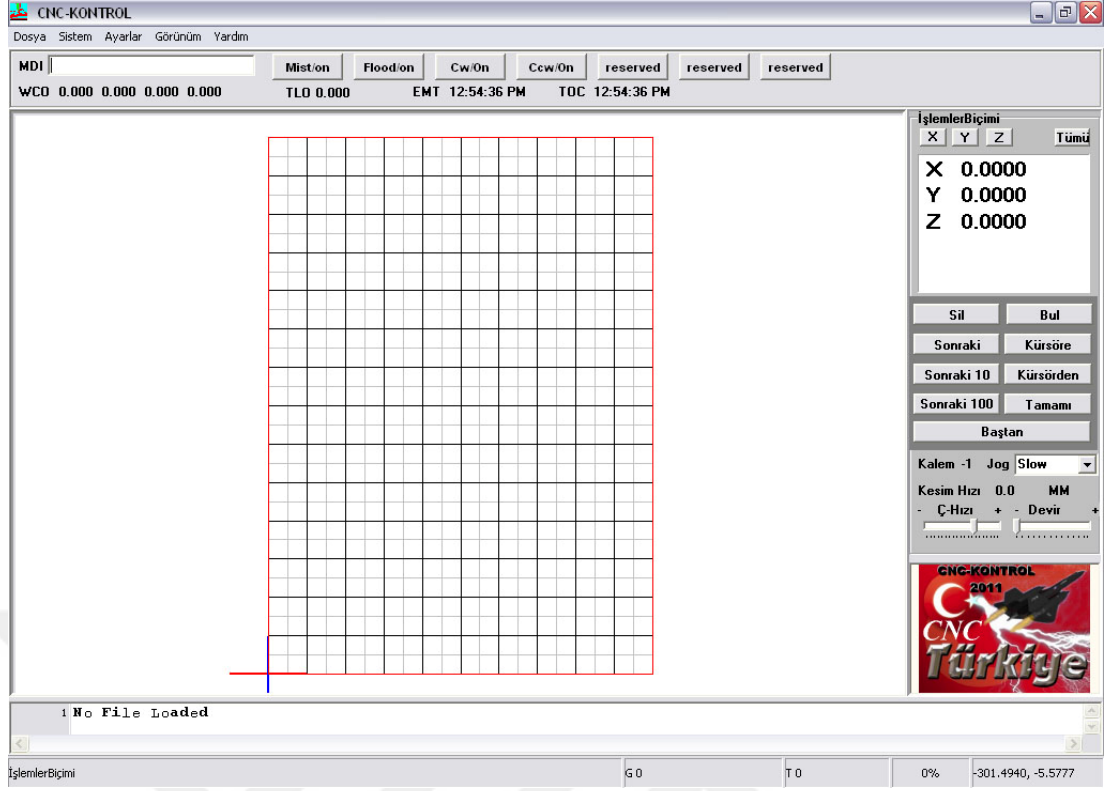
bir seri port yardımıyla yapılır. Bu sistem CNC kontrol programı ile bilgisayar tarafından kontrol edilir (Şekil 2.7). CNC kontrol programı ile adım hızı belirlenerek x-y eksenlerinde gidilen adım miktarı görüntülenebilir. Algılayıcı sensör istenilen konuma getirilerek test parçası üzerinde tarama yapılır.

Kesikli hareket arayüzüyle her adım motorunun kaç adım aralıklarla ne kadar adım gideceği belirlenir ve daha sonra “başlat” komut butonuyla program çalıştırılır. Program çalışmasıyla harekete geçen adım motorlar algılayıcıyı istenilen noktalara götürür. Program otomatik olarak x-y ekseninde tarama yaparken tarama sistemine bağlanan limit switch yardımıyla sistemin x-y eksenindeki taraması otomatik olarak durdurulabilir (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6:** Limit switch.

Bununla birlikte herhangi bir durumda program tamamlanmadan ya da deney bitmeden “Ani Durdur” komutuyla çıkılabilir.



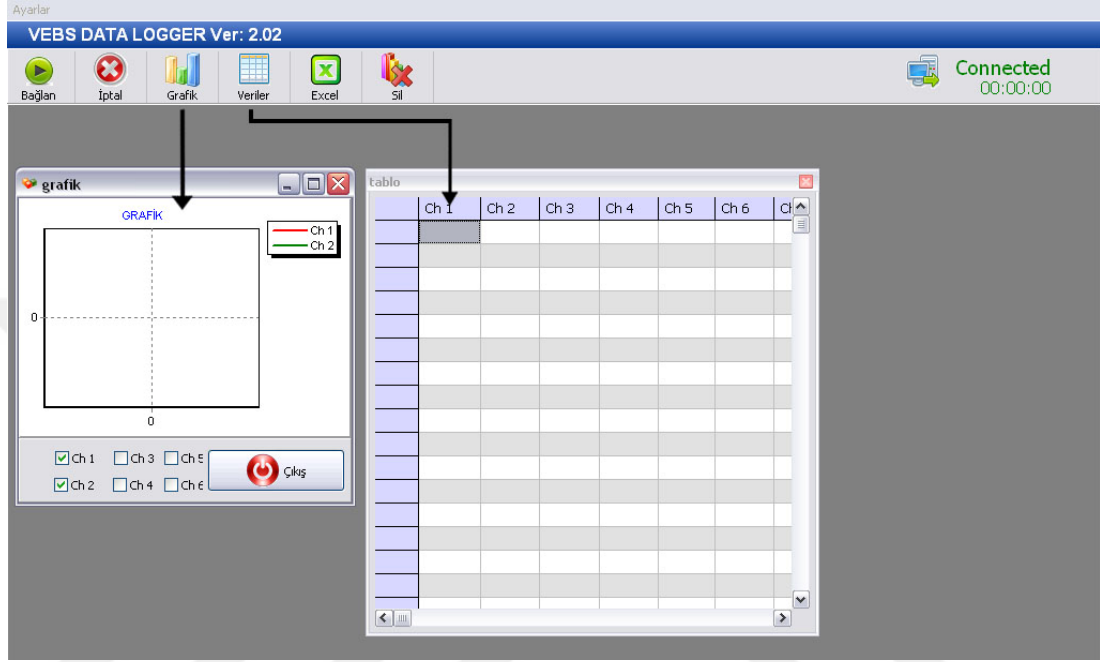
Şekil 2.7: CNC kontrol programı ekran görüntüsü.

## 2.2 Elektronik Sistem

Günümüzde deneysel çalışmalarda analog sinyallerin büyüklüğü voltmetre ile belirlenebildiği gibi osiloskop ekranında da bu analog sinyali izleme imkanı vardır. Birkaç ölçümlük deneylerde bu araçlardan yararlanılabilir. Fakat sadece bir deneyde 6000-7000 analog veri alınacaksa bu araçları kullanmak hem işgücü kaybına hem de ölçüm zamanının artmasına sebep olacaktır. Bu yüzden deneyde alınacak analog bilgilerin bir bilgisayar kanalıyla otomatik olarak okutulması gerekmektedir.

Genelde endüstride, malzemelerdeki mekanik çatlakların belirlenmesinde sıkça kullanılan tahribatsız test sistemlerinde, analog veriler bilgisayarla otomatik olarak alınmaktadır. Özellikle girdap akımları, akustik emisyon ve manyetik akı kaçakları testlerinde kullanılan manyetik algılayıcıların malzeme üzerindeki hassas hareketlerinde, algılayıcıda oluşan analog sinyalin otomatik olarak alınması ölçüm hassasiyetini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Böyle bir testte ölçüm güvenirliliğinin yüksek olması hem verimi arttırmakta hem de mali kayıpları önlemektedir.

Bu doğrultuda literatürdeki diğer tarayıcı sistemlerde incelenerek, endüstride kullanılan ferromanyetik malzemelerin manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için, iki boyutta hareket edebilen adım motor kontrollü tarayıcı sistemde algılayıcıdan gelen analog verilerin bilgisayara aktarıldığı bir program kullanılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Analog-dijital çevirici (ADC) programı ekran görüntüsü.

Program çalıştırıldığında ilk olarak menü arayüzü ekrana gelir. Algılayıcıdan gelen sinyalleri okuyabilmek için elektronik sistemin program ile bağlantısı “Bağlan” komut butonu ile sağlanır. Taranan konuma göre algılayıcının topladığı veriler “tablo” kısmında görüntülenir ve “grafik” bölümünden gelen sinyallerin grafikleri çizilir.

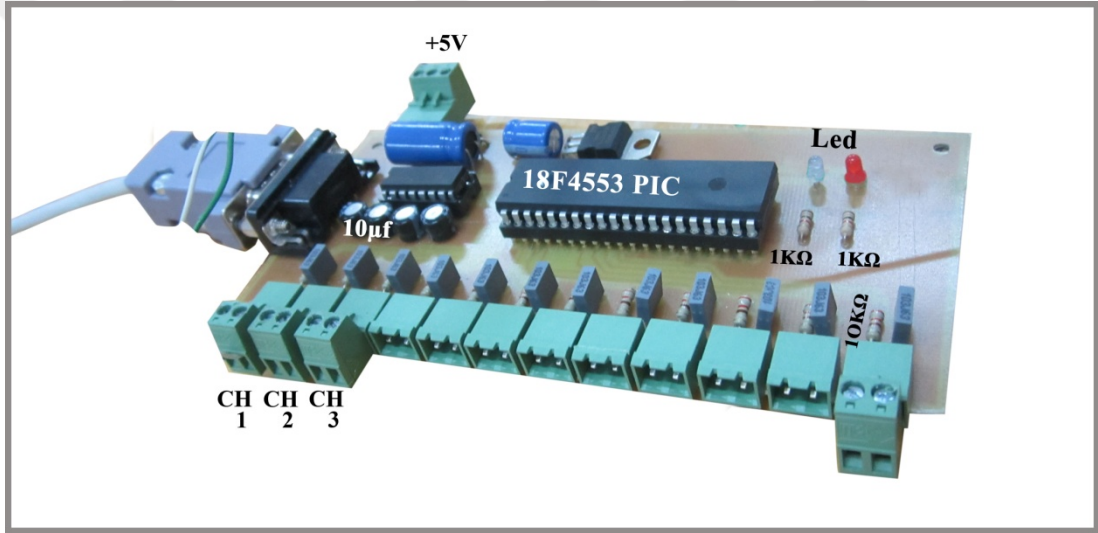
Analog-dijital dönüştürücü elektronik kart üzerinde 1 adet 18F4553 PIC, 12 adet 103j63 kondansatör, 4 adet 10µf kondansatör, 2 adet 1KΩ direnç, 12 adet 10KΩ direnç ve 2 adet led bulunur.

Kullanılan analog-dijital dönüştürücü elektronik kartı +5V ile beslenir ve bir seri port kablosu ile bilgisayara bağlanır. 12 adet çıkış kanalına sahip bu elektronik kartın her bir çıkışına birer algılayıcı bağlanabilir. Bu algılayıcılardan gelen veriler eş zamanlı olarak Şekil 2.8’ deki “tablo” bölümünde yer alan “Ch 1, Ch 2” kısımlarında



görüntülenir ve grafikleri çizilir. Ayrıca bu program sayesinde verilerin bir klasör altında saklanmasını sağlar. Konum bilgileriyle birlikte algılayıcıdan gelen veriler “Excel” dosyasına kaydedilir. Deney bitiminde “Bağlantıyı Kes” komutu ile program sonlandırılır.

Manyetik akı kaçakları testinde bir malzemede herhangi bir sebepten dolayı oluşan çatlakın fiziksel özelliklerini doğru olarak belirlemede algılayıcının algılama kabiliyetinin yanı sıra algılayıcıda oluşan analog voltajın doğru olarak bilgisayara aktarılması da önemli bir faktördür. Bu yüzden analog-dijital çeviricinin (ADC) önemi büyüktür. Analog-dijital çeviricinin sabit hatasının minimum düzeyde olması sistemin çatlak belirlemedeki hassasiyetini artırır.



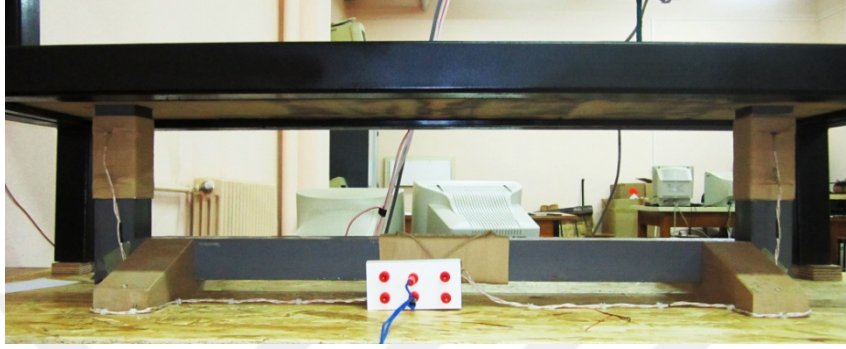
**Şekil 2.9:** Analog-dijital dönüştürücü elektronik kartı.

2D Tarama sisteminde kullanılan CNC kontrol sisteminin ve elektronik ünitenin bilgisayarla bağlantısı birer seri port kablosu ile sağlanmıştır. Aynı zamanda hem tarayıcı sistemin kontrolünü sağlamak hem de verileri görüntüleyebilmek için iki adet bilgisayar kullanılmıştır.

### 2.3 Manyetize Edici Sistem

Sistemin çalışması için gereken manyetik alan, manyetize edici bobinler tarafından elde edilir.

Bobinler U şeklindeki çekirdek etrafına sarılarak manyetize edici sistemi oluşturur. Bobinlere gereken akım verilerek bobin içerisinde manyetik alan oluşturulur. Böylece sistem için gerekli olan manyetik alan elde edilerek demir çekirdeğin mıknatıslanması sağlanır. Manyetize edici sistemin özünü oluşturan, buradaki manyetik alan değişimidir (Şekil 2.10).



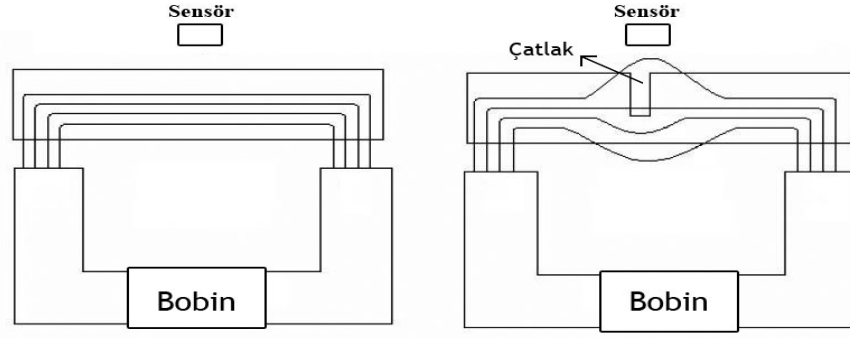
**Şekil 2.10:** Manyetize edici sistem.

Bobinler tarafından üretilen manyetik alan, demir çekirdekte oluşan manyetik momentlerinin yönünü mıknatıslanmanın yönüne paralel olarak yönelmesini sağlar. Ayrıca platform üzerinde manyetik akı çizgileri meydana getirir (Şekil 2.11).

Oluşan bu manyetik akı yoğunluğu

$$\vec{B} = \mu \vec{M} \quad (1.9)$$

Şeklinde yazılır. Eşitlikteki malzemenin manyetik geçirgenliği  $\mu$ , malzemenin mıknatıslanması  $\vec{M}$  ve manyetik akı yoğunluğu da  $\vec{B}$  olarak gösterilir.



**Şekil 2.11:** Manyetize edilmiş malzeme üzerinde bulunan çatlak bölgesindeki manyetik akı çizgilerinin davranışı.

Matematiksel olarak hesaplanan mıknatıslanma ve manyetik akı yoğunluğu aynı zamanda kolay bir şekilde ölçülebilir. İçi boş bir selonoidin belli bir kesitindeki manyetizasyonu veya manyetik alanı o kesit etrafına sarılan bir sarımla bulunabilir. Eğer selonoid demir çekirdekli ise manyetizasyonu veya manyetik alanını hesaplamak yine mümkündür. Bunun için hesaplanacak kesit etrafına sarılan bir sarımla manyetik akı veya manyetik alan toplamı da ölçülebilir [19].



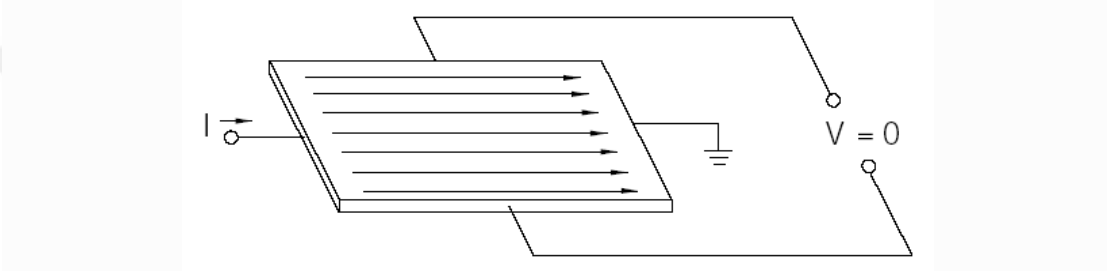
**Şekil 2.12:** Manyetize edici bobinler.

Manyetize edici düzeneğin üzerinde bulunan x-y ekseninde hareket eden sistemin ucunda algılayıcı olarak Hall etkili lineer sensör kullanılmıştır. Hall sensörün üzerinde bulunduğu platform x ve y ekseninde hareket ettirilerek sensörden alınan sinyaller toplanıp grafikleri çizilmiştir.

### 2.3.1 Hall Olayı

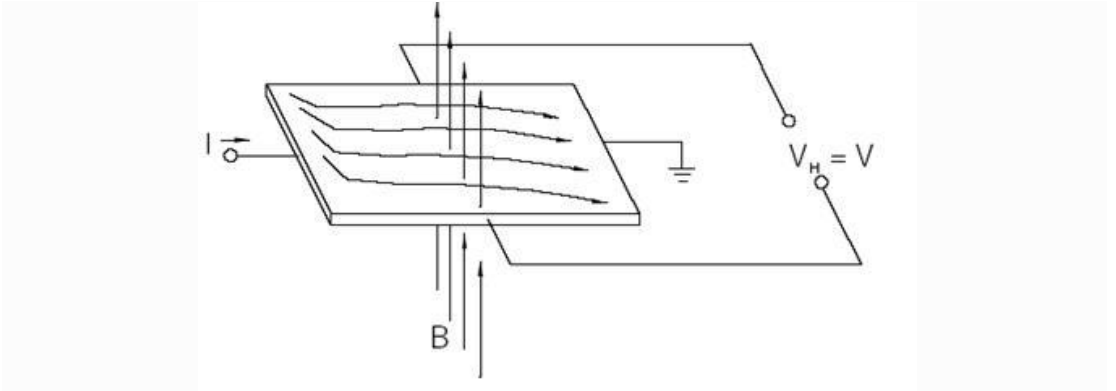
Hall etkisi 1879'da Dr Edwin Hall tarafından bulunmuştur. Dikdörtgen biçimindeki ince bir tabakanın kendisine dik bir manyetik alanın etkisinde kaldığında iki kenarı arasında bir potansiyel fark oluşur. Bu fark iletken üzerinden geçen akım ve iletkene dik manyetik akı yoğunluğuna bağlıdır [27].

Şekil 2.13'te ince bir yarı iletken tabakadan (hall elemanı) akım geçmektedir. Çıkış uçları akım yönüne diktir. Manyetik alan yok iken akım dağılımı düzgün ve potansiyel fark sıfırdır.



Şekil 2.13: Hall etkisi, manyetik alan yok iken.

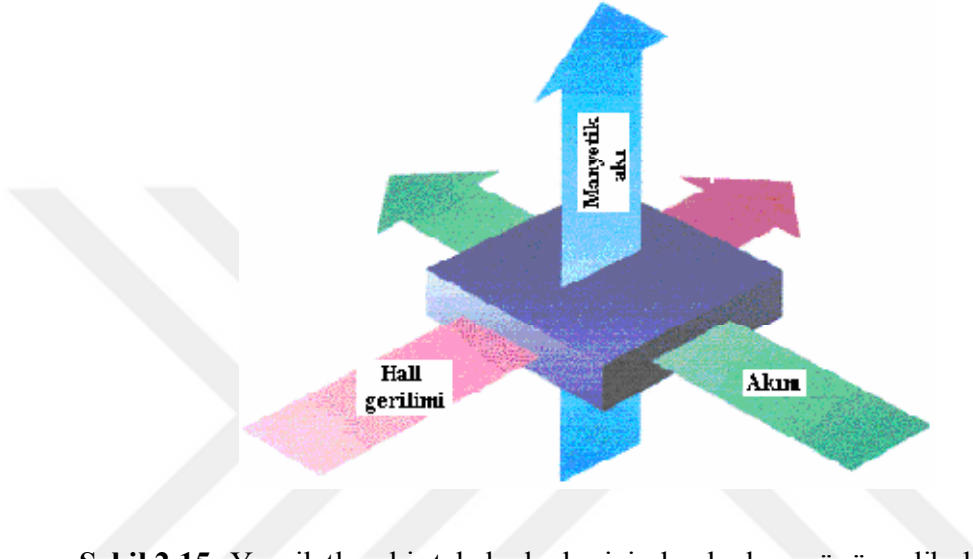
Şekil 2.14'teki gibi iletken tabakaya dik bir manyetik alan var iken Lenz kanununa göre akımın düzgün dağılımı bozulur ve bunun sonucunda çıkış uçları arasında potansiyel fark oluşur. Bu gerilim Hall Gerilimi'dir ve akım ve manyetik alanın etkileşimi sonucu oluşmaktadır [27].



Şekil 2.14: Hall etkisi, manyetik alan var iken

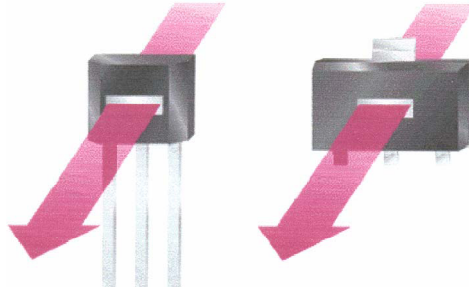
### 2.3.2 Hall Etkili Algılayıcı

Hall algılayıcının çalışması Hall etkisinin fiziksel prensibine dayanmaktadır. Bir iletken dik yönde bir manyetik alanın uygulanması durumunda, bir elektrik iletkeni içinde akım yönüne ters yönde bir gerilimin (Hall gerilimi) oluşturulduğu anlamına gelmektedir. Hall etkisi daha çok yarı iletkenler ile anıldığından, en uygun Hall elemanı olarak yarı iletken malzemeden yapılmış küçük bir plaka kullanılır [28].



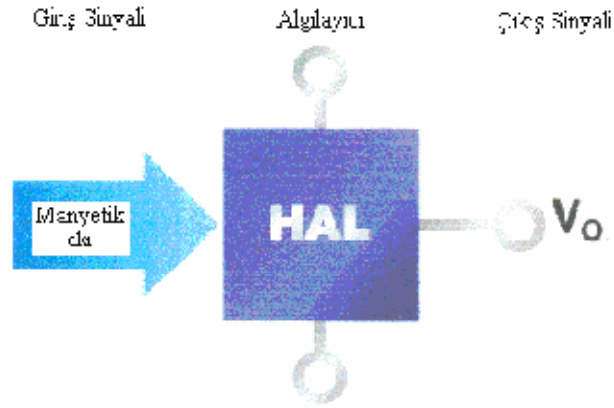
**Şekil 2.15:** Yarı iletken bir tabakada, harici olarak akım yönüne dik doğrultuda etkiyen manyetik bir alan etkisiyle oluşan Hall gerilimi [28].

Hall eleman tüm değerlendirme devresiyle beraber bir silikon plakaya yerleştirilmiştir. Bu plaka modern alan etkili karışık kanallı transistör teknolojisine göre üretilmektedir.



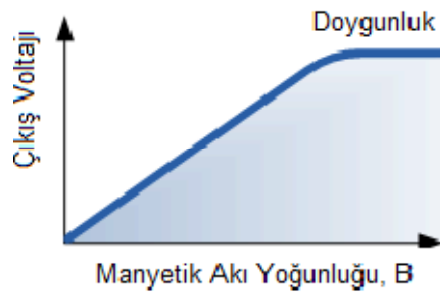
**Şekil 2.16:** Alan etkili karışık kanallı transistör algılayıcılar: Plaka yüzeyine dik yöndeki manyetik akı bileşeni ölçülmektedir [28].

Akım terminalli Hall plakası ve Hall gerilimi için yüzeye yerleştirilir. Bu algılayıcı elemanı plaka yüzeyine dik doğrultudaki manyetik akıyı ölçer ve algılayıcı plakaya yerleştirilen değerlendirme devreleri içinde işlenen orantılı bir elektrik sinyali yollar.



**Şekil 2.17:** Hall algılayıcı çalışma prensibi: Algılayıcı çıkış gerilimi ve anahtarlama sırasıyla Hall plakası boyunca oluşan manyetik akı yoğunluğuna bağlıdır [28].

Hall etkili sensörler manyetik alana etkileşebilen algılayıcılardır. Sensörden çıkan sinyaller, içinde bulunduğu manyetik alan yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Sensörün etrafında oluşan manyetik akı yoğunluğu belli bir değere ulaştığında sensör bunu algılayarak bir çıkış voltajı üretir. Bu voltaja Hall voltajı ( $V_H$ ) denir.

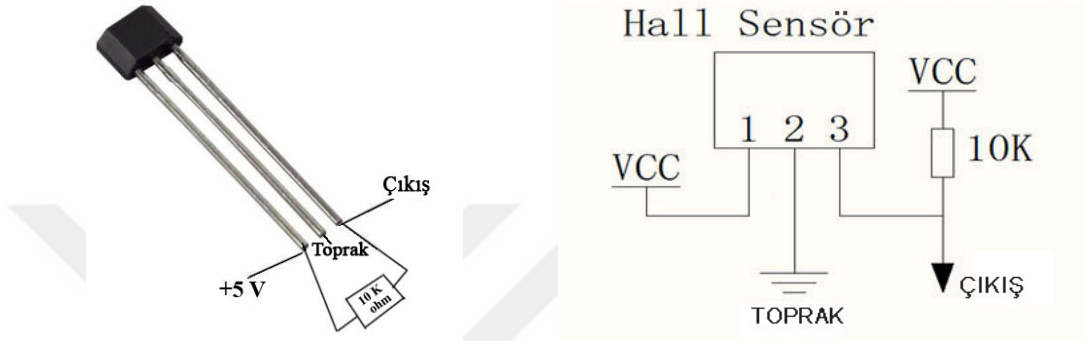


**Şekil 2.18:** Manyetik akı yoğunluğunun çıkış voltajına göre değişimi [29].

Hall etkili lineer sensörler için çıkış voltajı Hall sensörü üzerinden geçen manyetik alan ile doğrudan orantılı olmak üzere amplifikatörün çıkışından alınır. Şekil 2.18'te ki grafikten görüldüğü gibi lineer sensörler güçlü manyetik alanla artan, düşük manyetik alanla azalan sürekli voltaj çıkışı verirler. Manyetik alan artışıyla

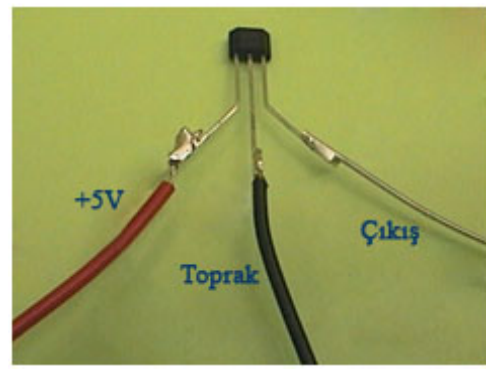
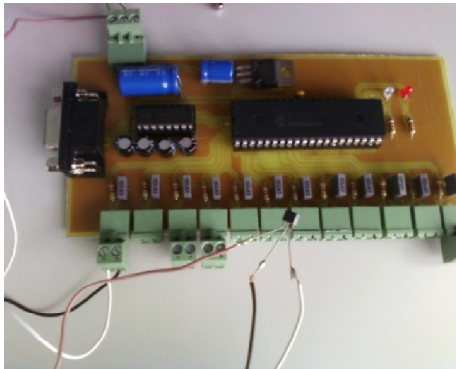
voltajın artışı güç kaynağının sınırlarında doyuma ulaşır. Bundan sonra manyetik alanda oluşacak herhangi bir değişme çıkışı etkilemez [29].

Hall sensörlerin transistörlere benzer bir yapısı vardır (Şekil 2.19). Üç ucu bulunan sensörün ikisi besleme ucu olarak kullanılırken üçüncüsü sensör tipine göre dijital veya analog çıkış ucu olarak kullanılır. Elektronik üniteye Hall etkili sensörün bağlanması Şekil 2.20 'de verilmiştir.



Şekil 2.19: Hall etkili sensör.

Hall etkili sensör 0-5V aralığında çalışmaktadır. Hall sensörün giriş ucu +5V ile beslenir. Çıkış ucundan alınan analog sinyaller elektronik üniteye bilgisayara aktarılır. Elektronik üniteye yerleştirilen ADC sistemi yardımıyla taranan test parçacığı üzerindeki sinyal değerleri ADC programı tarafından tabloya yerleştirilir ve grafikleri çizilir.

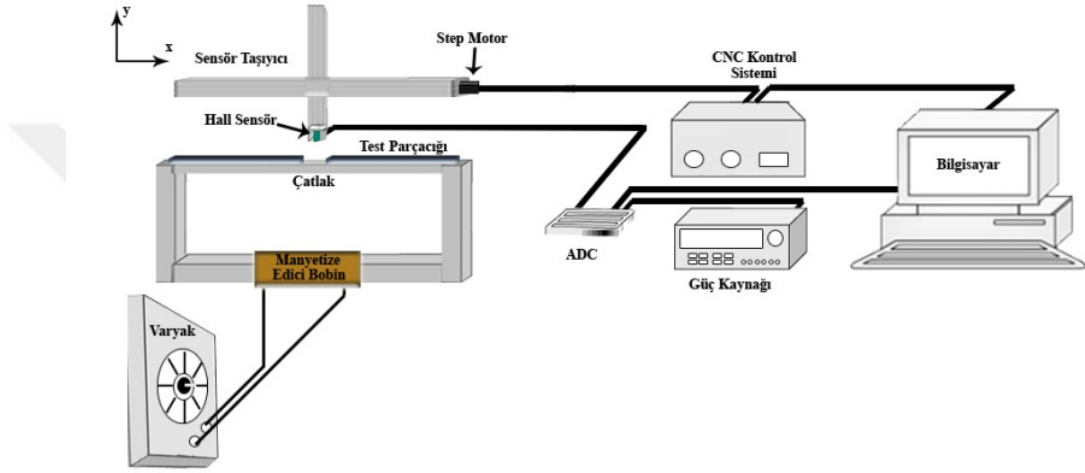


Şekil 2.20: Elektronik üniteye Hall etkili sensörün bağlanması.

Hall etkili sensörlerin nokta okuma yapan sensörler olması bu çalışma için kolaylık sağlamaktadır. Eğer bobin gibi bölgesel okuma yapan sensör kullanılmış

olsaydı belli bir kalibrasyon katsayısı belirlemek gerekecekti. Daha hassas ölçüm yaptığı ve kolaylık sağladığı için Hall sensörler tercih edilmiştir.

U şeklindeki çekirdek, bobinler yardımıyla mıknatıslanması sağlanmış ve test edilecek levhalarda bu çekirdek üzerine konularak manyetize edilmiştir. Çalışmanın daha sonraki kısmında, manyetize edici sistem, sistemin elektronik ünitesi ve 2D Tarayıcı sistem için gereken tüm bağlantılar yapılarak, çatlakların tahribatsız şekilde belirleneceği yeni bir manyetik ölçme sistemi kurulmuştur.



Şekil 2.21: Manyetik ölçme sistemi.



### 3. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Bu çalışmaya başlamadan önce geliştirilmek istenen manyetik sistem, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile modellenmiştir.

Bu yöntem karmaşık bir probleme, problemi basite indirgeyerek bir çözüm bulma yöntemidir. Kısaca tasarımda bulunan sonsuz noktayı sonlu adete indirgeyerek gerçeğe yakın değerleri bulmaya yarar.

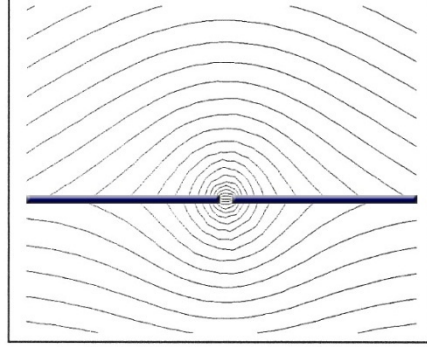
Sonlu Elemanlar Yöntemi ya da Sonlu Elemanlar Metodu, kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen veya fonksiyonel minimizasyonu olarak formüle edilebilen problemleri çözmek için kullanılan nümerik bir tekniktir. Sonlu elemanlardaki yaklaşık fonksiyonlar, araştırılan fiziksel alanın nodal değer terimlerinde belirlenmektedir. Sürekli fiziksel problem, bilinmeyen nodal değerli kesikli sonlu eleman problemine dönüştürülmektedir ve tanımlanan uzayda çözülmektedir. Dünyadaki herhangi bir nesnede sonsuz nokta bulunur [30].

Yöntemi bu çalışmada kullanma amacı manyetik sistem ve çalışmasını modelleyip açıklamaktır. Modelleme sırasında manyetik akı çizgileri için sınırlı bir uzay çizilmiştir. Bu uzayda manyetize edici eleman olarak U mıknatısı kullanılmıştır. Sınırlandırılan uzayın içinde bulunan U mıknatısından çıkan manyetik akı çizgileri gözlemlenmiştir.

Manyetik sistemde bulunan U demir çekirdeğin etrafına sarılmış bobinler, modelleme yapılırken U mıknatısı olarak alınmıştır ve bu bölüm içinde yapılacak açıklamalarda modellenen manyetize edici sistemden mıknatıs olarak bahsedilecektir

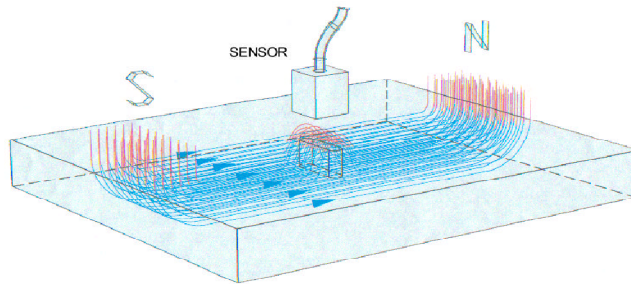
Bir manyetik alan çizgisi, mıknatısın bir kutbundan uzaya çıktıktan sonra diğer kutbunda son bulur. Genelleştirilirse N kutbundan çıkan akı çizgisi kadar S kutbuna akı çizgisi girer. Akı çizgilerinin yoğunluğu mıknatısın kenarlarına doğru azalarak biraz daha seyrekleşmiştir. Uç noktalarda ise yoğunluk artmaktadır [20-24, 31].

Şimdiye kadar bahsedildiği gibi manyetik sistem ile akı çizgilerinin değişimini algılamakta ve bu değişimden elde edilen verilerle ferromanyetik levhalarda çatlak hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır.



**Şekil 3.1:** Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan kaçak akı davranışı.

Şekilde 3.1’de görüldüğü gibi ferromanyetik levhada süreksizlik veya çatlak varsa, çatlakın bulunduğu kısımdaki manyetik akı havaya doğru bir pik oluşturarak akı dolanımını tamamlar. Kısaca levhadaki çatlak, çatlak bölgesindeki manyetik akının hem  $B_x$  hem de  $B_y$  bileşeni oluşmaktadır. Eğer  $B_y$  bileşeni herhangi bir algılayıcı ile algılatılabilirse o bölgede çatlakın varlığından söz etmek mümkündür (Şekil 3.2). Bu çalışmada birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan yapay çatlak modellerinin x-y taraması sonrasında, Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının değerleri okunarak taranan x-y konumuna göre değişimi incelenmiş ve bu grafiklerden yararlanarak çatlakın şekli tespit edilmiştir.



**Şekil 3.2:** Çatlak üzerinde oluşan kaçak akı davranışı.

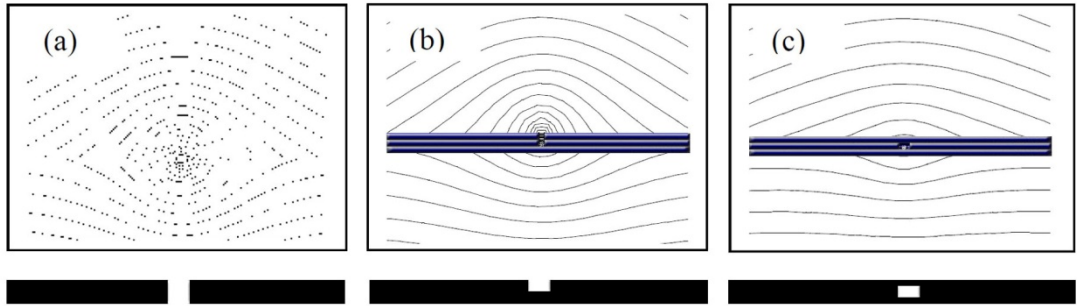
Yapılan deneylerde manyetik ölçme sistemiyle elde edilen veriler ışığında değişik yapay çatlak modelleri oluşturulmuş, çatlak hakkında hangi bilgilere

ulaşılabilceği anlaşılmaya çalışılmıştır. Çatlak modelleri aşğıdaki gibi oluşturulmuştur.

### 3.1 Çatlak Modellerinin Oluşturulması

Yapılan deneylerde 6 mm kalınlığa, 80 cm ve 40 cm uzunluklara sahip demir levhalar üst üste konularak yapay çatlak modelleri oluşturulmuştur. Doğada değişik şekillere sahip çatlak modelleriyle karşılaşmak mümkündür. Bu modellerin şekli, derinliği, genişliği ve konumu birbirinden farklı olabilir. Dolayısıyla malzeme üzerinde meydana gelen doğal çatlakların bulunabilmesi için yüzeyi düzlemsel olan ferromanyetik levhalar kullanılarak tam çatlak, yarım çatlak ve gömülü çatlak modeli olacak şekilde üç farklı çatlak modeli oluşturulmuştur.

Manyetize edilmiş sistem üzerine konulan levhalarda Şekil 3.3' te görülen farklı çatlak modellerinde oluşan akı kaçakları da farklılık gösterir. Hall etkili sensör kaçak akı davranışlarına göre bir çıkış voltajı okur. Çıkış voltajındaki değerlere göre çatlağın konumu, derinliği ve genişliği tespit edilebilir [30].



Şekil 3.3: Sonlu elemanlar yöntemiyle; a) Tam çatlak, b) Yarım çatlak, c) Gömülü çatlak modellerinde hesaplanan kaçak manyetik akı davranışı.

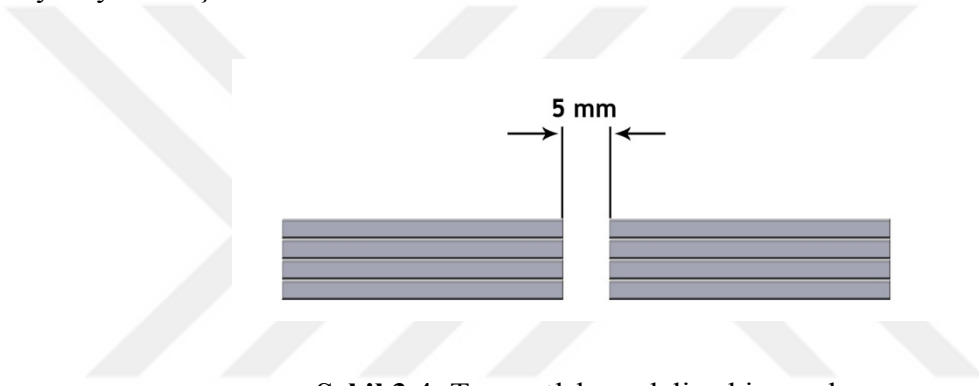
#### 3.1.1 Tam Çatlak Modeli

Bu modelde levha üzerinde oluşan çatlak, levhanın bir yüzeyinden başlayıp diğer yüzeyine kadar ulaşmaktadır.

Tam çatlak modelinde çatlakın genişliği ve çatlakın derinliği olmak üzere iki fiziksel özellik değişken tutulmuştur.

Bu model için yapılan deneylerde çatlakın derinliği 6 mm' den 36 mm' ye ve çatlakın genişliği 5 mm' den 10 mm' ye kadar çıkarılmış ve her bir model için Hall sensör kullanılmıştır. Tüm modeller U şeklindeki mıknatıslayıcı sistem üzerine yerleştirilmiştir. U çekirdekdeki bobinler varyak yardımıyla beslenerek manyetik alan şiddetinin oluşması sağlanmıştır. Bu manyetik alan, tam çatlak modeli için çatlakın net bir şekilde bulunabileceği baz alınarak deneme testleriyle belirlenmiştir.

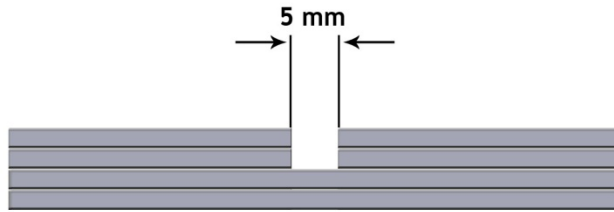
Tam çatlak modelinde Şekil 3.4'te verildiği çatlak, malzemenin alt ve üst yüzeyine ulaşmaktadır.



Şekil 3.4: Tam çatlak modeline bir örnek.

### 3.1.2 Yarım Çatlak Modeli

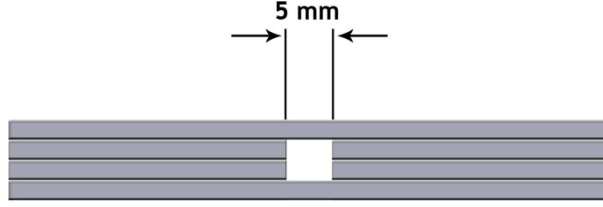
Şekil 3.5'te görülen yarım çatlak modelinde çatlak, malzemenin üst yüzeyine ulaşabildiği halde alt yüzeyine ulaşamamaktadır.



Şekil 3.5: Yarım çatlak modeline bir örnek.

### 3.1.3 Gömülü Çatlak Modeli

Œekil 3.6'da verilen gömülü çatlak modelinde ise çatlak, malzemenin alt ve üst yzeeye ulaŒamamaktadır.



Œekil 3.6: Gömülü çatlak modeline bir rnek.

## 4. YAPILAN DENEYLER

Balıkesir Üniversitesi Manyetik Teknolojiler Laboratuvarında sistem kurulmuş ve deneyler yapılmış. Sistemin genel bir fotoğrafı Şekil 4.1’ de verilmiştir. Buradaki sistemde demir örnekler rahat bir şekilde değiştirilerek çeşitli çatlak modelleri düzenlenmiş elde edilen verilerle de grafikler çizilmiştir.



**Şekil 4.1:** Manyetik 2D tarayıcı sistem ve bu sistemin kontrolünü sağlayan bilgisayar.

Manyetik sistem için gerekli bilgiler birinci bölümden bu yana verilmektedir. Sistemin çalışması ve modellenmesi açıklandıktan sonra sistemde demir levhalardaki yapay çatlak modellerinin verileri toplanmış grafik haline dönüştürülmüştür. Bu grafiklere ve grafik yorumlarına bu bölümde yer verilecektir.

### 4.1 Verilerin Toplanması

Bu kısım verilerin toplanma aşaması olup farklı fiziksel özellikte bulunan her bir yapay çatlak model için uygulanacak işlem sırası açıklanacaktır.

Manyetize edici sistemin üzerine yapay çatlak modellerinin uygun şekilde konmasıyla, modelin mıknatıslanmasının sağlanır. 2D tarayıcı sistemin kontrolünü sağlayan “CNC kontrol sistemi” ve “CNC kontrol programı” vasıtasıyla, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcıyı, tarama işlemi için başlangıç noktasına çekilir. Analog-dijital çevirici programı çalıştırılarak verilerin yazıldığı tablo ve grafik ekranı

açılır. CNC kontrol programında x ve y eksen butonları kullanılarak, tarama yapılacak bölgenin sınırları ve örnek üzerinde hangi noktalardan veri alınacağı belirlenip program çalıştırılır. Algılayıcıdan gelen veriler görüntülenir ve Excel programına aktarılması sağlanır. 2D Tarayıcı sistem tekrar ilk konumuna getirilerek farklı çatlak modelleri için, aynı işlemler tekrarlanır.

## 4.2 Deneysel çalışma

Bu çalışmada yapılan deneylerde, tam çatlak modeli, yarım çatlak modeli ve gömülü çatlak modeli olacak şekilde üç farklı çatlak modeli anlatılmıştır.

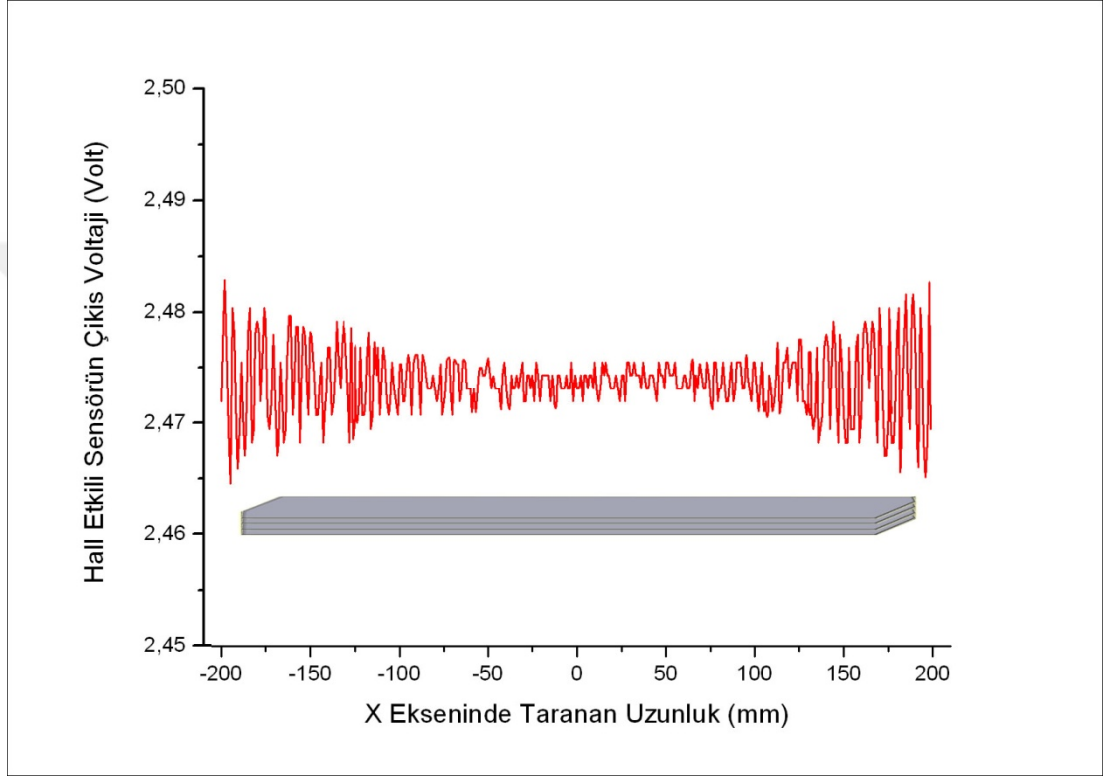
Yapay tam çatlak modellerinde çatlağın genişliği ve çatlağın derinliği olmak üzere iki farklı değişken üzerinde durulmuştur. Yapılan deneylerde tam çatlak modeli için, çatlağın derinliği 6 mm'den 36 mm'ye, çatlağın genişliği ise 5 mm'den 10 mm'ye kadar çıkarılmış ve tüm modellerde Hall etkili sensör kullanılmıştır.

Demir levhalarla oluşturulan yapay yarım çatlak modellerinde ise çatlak genişliği, çatlak derinliği ve çatlak modelinin alt yüzeye mesafesi olmak üzere üç değişken üzerinde durulmuştur. Yapılan deneylerde yapay yarım çatlak modelleri için, çatlağın derinliği 6 mm'den 36 mm'ye, çatlağın genişliği ise 5 mm'den 10 mm'ye kadar çıkarılmıştır. Çatlak modelinin alt yüzeyine olan mesafesi ise 6 mm'den 12 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Aynı zamanda tüm modellerde Hall etkili sensör kullanılmıştır.

Yapay gömülü çatlak modellerinde de çatlak derinliği, çatlak genişliği, çatlak modelinin üst yüzeye olan mesafesi ve çatlak modelinin alt yüzeye olan mesafesi olmak dört değişken üzerinde durulmuştur. Yapılan deneylerde yapay gömülü çatlak modelleri için, çatlak derinliği 6 mm' den 12 mm'ye, çatlak genişliği ise 5 mm'den 10 mm'ye kadar çıkarılmıştır. Çatlak modelinin üst ve alt yüzeyine olan mesafesi ise 6 mm'den 12 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Aynı zamanda tüm modellerde Hall etkili sensör kullanılmıştır.

Şekil 4.2' de gösterilen ve üzerinde çatlak bulunmayan demir levhalar x eksenli boyunca taranması sonucunda Hall sensörün çıkış voltajındaki değişim levhanın

merkezinde sabit gürültü değerine yakınken uç kısımlara doğru arttığı tespit edilmiştir. Voltaj değerinin uç kısımlarındaki artış o bölgelerde akı kaçağı olduğunu göstermektedir. Farklı yapay çatlak modelleri oluşturularak test edilmiştir. Test edilen örneklerden alınan çıkış voltaj değerleri, malzeme üzerindeki süreksizlik bölgelerinde bir akı kaçağı oluşacağından değişecek ve bu değişim değerlerine bakılarak çatlak tespit edilecektir.

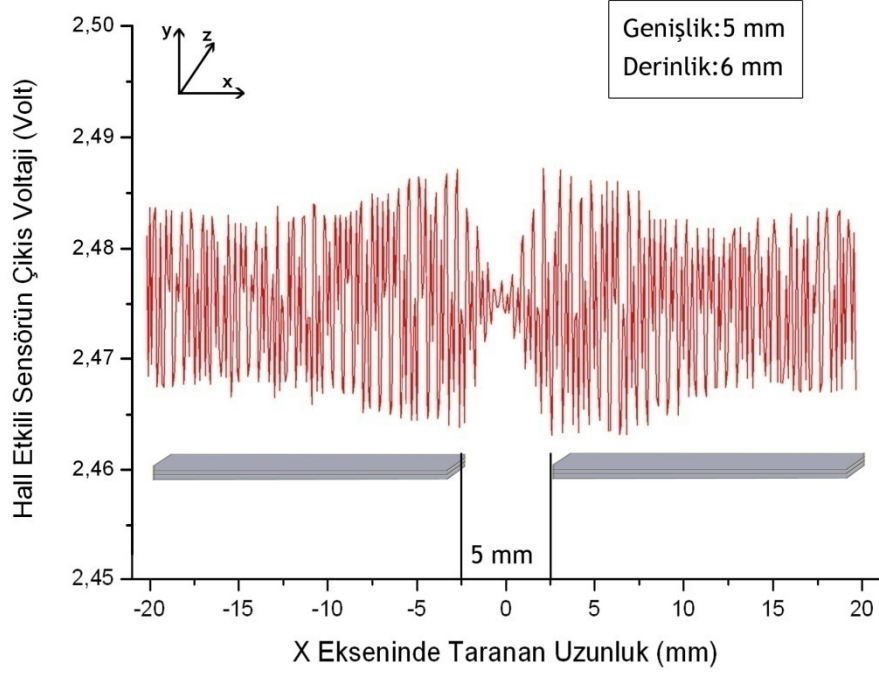


**Şekil 4.2:** Manyetize edilmiş demir levhanın, merkezi ve uçları arasındaki voltaj değişimi.

Tüm modellere daha önceden bahsettiğimiz veri toplama işlem basamakları uygulanmış ve bu veriler dahilinde grafik oluşturulmuştur.

Elde edilen tam çatlak modelindeki grafikleri bu model üzerindeki çatlak genişliğinin ve derinliğinin bulunmasında nasıl kullandığımız, 6 mm çatlak derinliğinde ve 5 mm çatlak genişliğinde tam çatlak modelin sonuçlarına bakarak Şekil 4.3' teki grafikte gösterilmiştir.





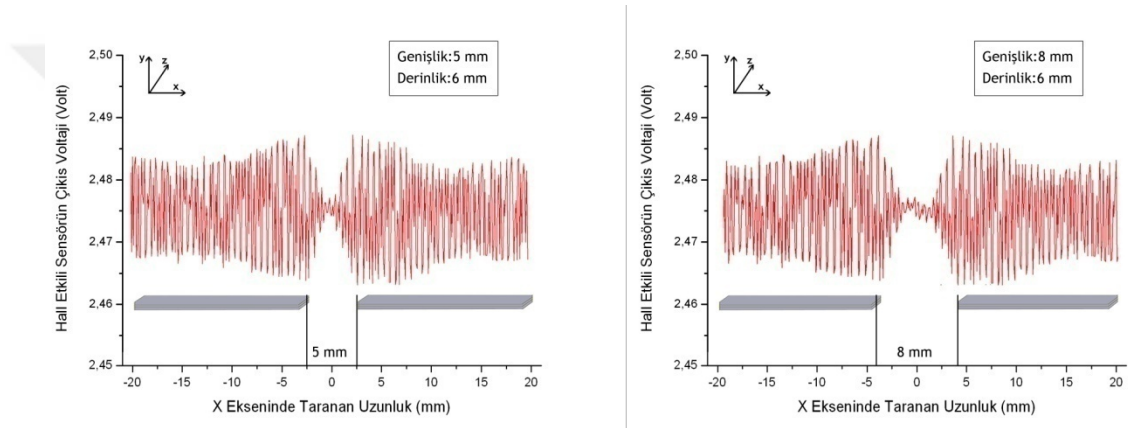
**Şekil 4.3:** Hall sensörün çıkış voltajının, model yüzeyinin x taraması sırasındaki değişimi.

Yapılan bu deneyde model üzerindeki çatlak merkezi 40 mm taranan uzunluğun tam orta noktasına yerleştirilmiştir ve model yüzeyinin x taraması yapılmıştır. Hall sensörün çıkış voltaj değişimleri tarama boyunca elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre Hall sensörün çıkış voltaj değişimleri çatlağın merkezine doğru arttığı, çatlak merkezinde sabit gürültü voltajı değerine ulaştığı daha sonra tekrar artıp azaldığı Şekil 4.3' e bakılarak görülebilir.

Şekil 4.3' te de görüldüğü gibi Hall sensördeki çıkış voltaj değerinin çatlağın merkezine doğru artması manyetik akı kaçağının  $B_y$  bileşeninin arttığını, çatlağın merkezinde ise  $B_y$  bileşeninin sıfır olduğunu göstermektedir.  $B_y$  bileşeninin sıfır olması çatlak merkezinde sabit gürültü değerine ulaşması anlamına gelmektedir. Bunun sebebi tarayıcı sistem üzerinde bulunan Hall sensörün model yüzeyindeki kaçak manyetik akının dik olan etkilerini yani  $B_y$  bileşenini okumasıdır. Bu yüzden kullanılan yapay modeldeki gibi herhangi bir doğal tam çatlak modelinde çatlak merkezini bulabilmek için, taranan mesafedeki çıkış voltaj değişim değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değişime bakarak modeldeki çatlak merkezi, sensörün

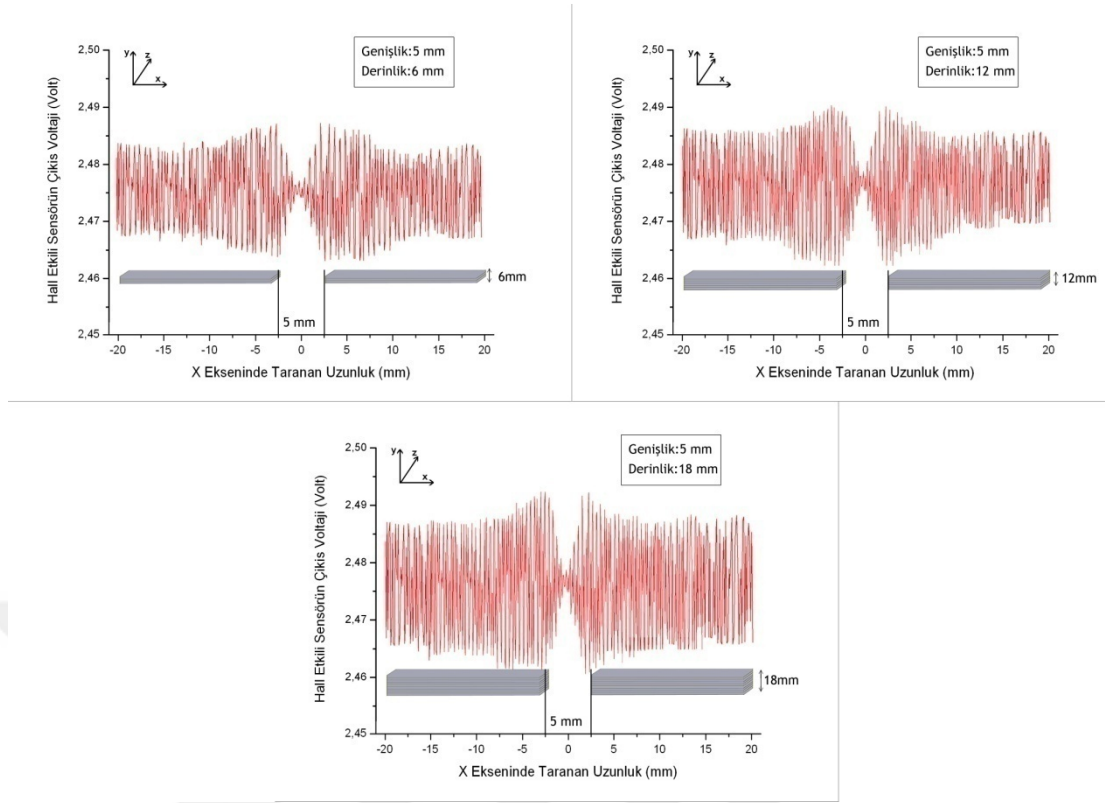
üzerinden alınan sinyallerin sabit gürültü değerine ulaştığı nokta olarak gösterilir. Aynı zamanda bu grafikten yararlanarak çatlak genişliğide bulunabilir.

Grafiğe bakıldığında çatlak genişliğini, çıkış voltajındaki maksimum iki pik arasındaki uzaklık vermektedir. Yapay çatlak modelindeki çatlak genişliği ile Şekil 4.4' te verilen iki pik arasındaki uzaklığın aynı olması bunu doğrulamaktadır. Deneysel veriler bu çalışma için noktasal okuma yapan Hall etkili algılayıcılar ile elde edilmiştir. Bu yüzden Şekil 4.4' te çıkış voltajındaki maksimum iki pik arasındaki uzaklık çatlak genişliğini doğrudan vermektedir. Kullanılan Hall sensör ne kadar küçük bölgede veri alırsa çatlak konumu da o kadar gerçeğe yakın olacaktır.



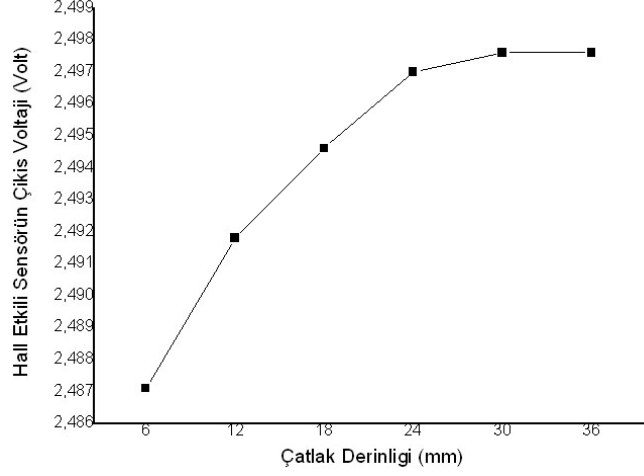
**Şekil 4.4:** 5 mm ve 8 mm tam çatlak modeli çıkış sinyalinin genişliğe göre değişimi.

Demir örneklerle yapılan deneyde, farklı derinlikteki yapay tam çatlak modellerinin Hall sensörün çıkış sinyallerine göre nasıl değiştiği Şekil 4.5' te verilmiştir. Bu grafikler demir levhalardaki çatlak derinliğinin artırılmasıyla Hall etkili sensörün çıkış voltaj sinyallerinin maksimum değerinin verilerine göre çizilmiştir.



**Şekil 4.5:** Tam çatlak modeli çıkış sinyalinin 5 mm, 8 mm ve 12 mm derinliğe göre değişimi.

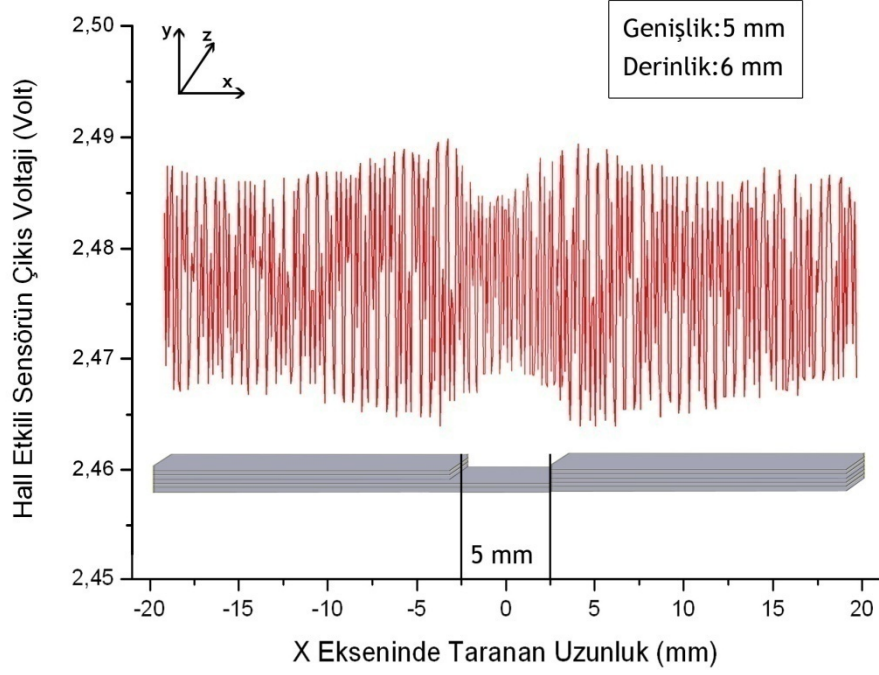
Şekil 4.6' ya bakıldığında, demir levhalarla kullanılarak yapılan deneyde yapay tam çatlak örnekleri için çatlakın derinliği 6 mm'den 36 mm'ye kadar 6 mm aralıkla sabit şekilde artırılmasına rağmen, Hall sensörün çıkış sinyallerine bakılarak artışın aynı düzeyde olmadığı görülmektedir. Ayrıca grafikte görüldüğü gibi 30 mm çatlak derinliğine kadar çıkış sinyallerinin arttığı daha büyük derinliklerde çıkış sinyallerinin sabit kaldığı görülmektedir. Bunun sonucunda, demir örnekleriyle oluşturulan herhangi bir tam çatlak modelinde, çatlak derinliği 30 mm' yi geçerse kullanılan bu yöntem çatlak derinliğini belirlemek için yeterli olmayacaktır. Aynı zamanda genişliği 5 mm olan bir doğal tam çatlak modeli için yüzey taraması yapıldığında, Hall etkili sensörün maksimum çıkış sinyallerinin çatlak derinliği göre değişimi Şekil 4.6' da verilmiştir.



**Şekil 4.6:** Hall etkili sensörün çıkış voltajının tam çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi.

5 mm'den farklı genişlikteki doğal tam çatlak modellerin derinliğini bulabilmek için, derinlikleri farklı yapay modeller, doğal modelin çatlak genişliğine göre hazırlanmalı ve bu modellerin tarama işlemi bittikten sonra Hall etkili sensördeki çıkış sinyallerinin maksimum değerleriyle Şekil 4.6' daki gibi bir grafik çizilmelidir. Bu grafiğe bakarak doğal modelden alınan maksimum çıkış sinyallerinin ne büyüklükte bir çatlak derinliğine karşılık geldiği belirlenebilir.

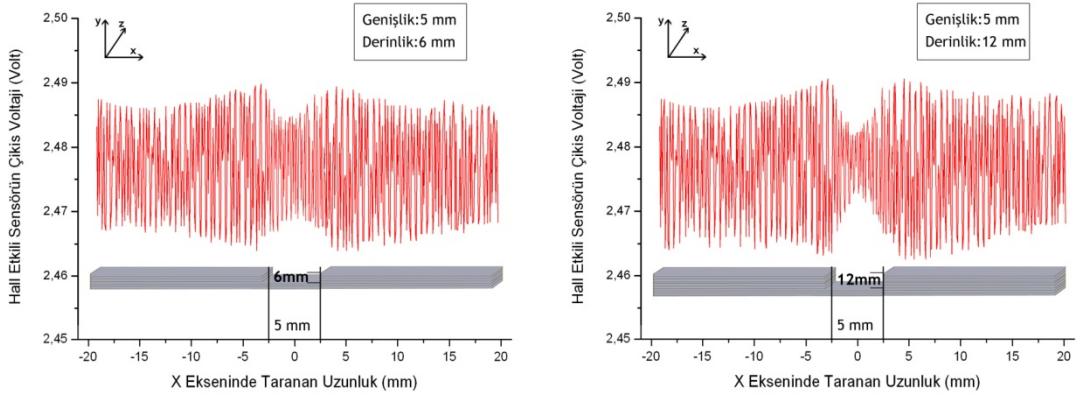
Demir levhalarla oluşturulmuş yarım çatlak modelinde x taraması esnasında çıkış sinyallerindeki değişim grafiği Şekil 4.7' de verilmiştir. Bu grafikte çatlak genişliği 5 mm, çatlak derinliği 6 mm ve çatlakın alt yüzeye uzaklığı 6mm olan yarım çatlak modelin kullanılmıştır.



**Şekil 4.7:** Hall sensörün çıkış voltajının, yarım çatlak model yüzeyinin x taraması sırasındaki değişimi.

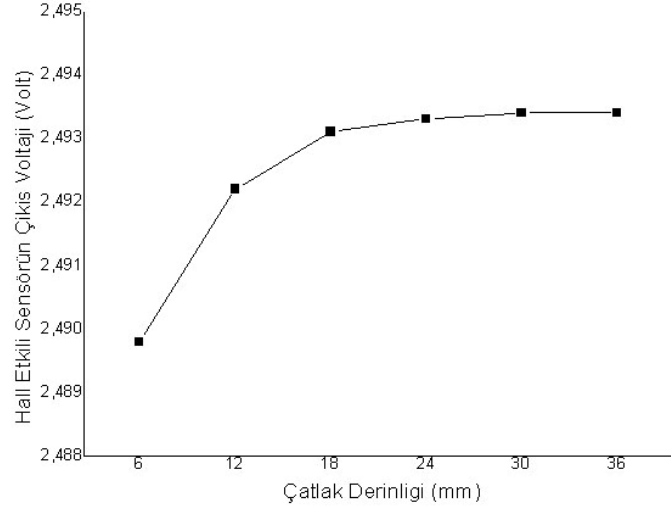
Yapılan bu deneyde model üzerindeki çatlak merkezi 40 mm taranan uzunluğun tam orta noktasına yerleştirilmiştir ve model yüzeyinin x taraması yapılmıştır. Hall sensörün çıkış voltaj değişimleri tarama boyunca elde edilmiştir. Tam çatlak modelinde olduğu gibi elde edilen verilere göre Hall sensörün çıkış voltaj değişimleri çatlağın merkezine doğru arttığı, çatlak merkezinde sabit gürültü voltajı değerine ulaştığı daha sonra tekrar artıp azaldığı görülebilir (Şekil 4.7). Elde edilen çıkış sinyallerindeki bu değişim Şekil 4.7’ de anlaşıldığı gibi kaçak manyetik akı davranışının çatlak modellerine bağlı olmadığını göstermektedir. Bu yüzden tam çatlak modellerinde çatlak derinliğini, çatlak genişliğini veya çatlak merkezini belirleyebilmek için kullanılan yöntemler yarım çatlak modelleri içinde geçerlidir. Dolayısıyla yapay modelin çatlak genişliği Şekil 4.7’ de görüldüğü gibi maksimum iki pik arası uzaklık olan 5 mm ve çatlak merkezi ise 0 mm olarak söylenir.

Yapay çatlak modelinde derinlik ise Hall sensörün maksimum çıkış sinyallerinin değerine göre belirlenir. Şekil 4.8’ de çıkış sinyallerinin derinliğe göre nasıl değiştiği verilmektedir.



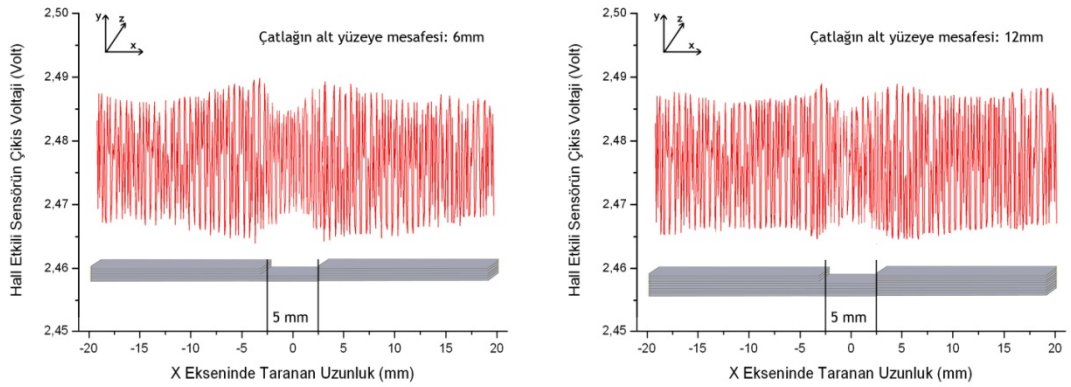
**Şekil 4.8:** Yarım çatlak modeli çıkış sinyalinin 6 mm ve 12 mm derinliğe göre değişimi.

Şekil 4.9’ a bakıldığında, demir levhalarla kullanılarak yapılan deneyde yapay yarım çatlak örnekleri için çatlak derinliği 6 mm’ den 36 mm’ ye kadar 6 mm aralıklarla sabit şekilde arttırılmıştır. Hall sensörün çıkış sinyallerine bakılarak artış miktarını giderek azaldığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.9’ daki grafiğe bakılarak çatlak derinliği 30 mm ‘yi geçmesi durumunda sinyallerin sabit kaldığı görülmektedir, Bunun sonucunda, demir örnekleriyle oluşturulan herhangi bir yarım çatlak modelinde, tam çatlak modelinde olduğu gibi çatlak derinliği 30 mm ‘den fazla olması durumunda kullanılan bu yöntemin çatlak derinliğini bulmada yeterli olmayacağı söylenebilir. 5 mm çatlak genişliğine sahip bir doğal yarım çatlak modeli için yüzey taraması yapıldığında, Hall etkili sensörün maksimum çıkış sinyallerinin çatlak derinliğine göre değişimi Şekil 4.9’ da verilmiştir.



**Şekil 4.9:** Hall etkili sensörün çıkış voltajının yarım çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi.

Demir örneklerle yapılan deneyde, çatlakın alt yüzeye farklı uzaklığındaki yapay yarı çatlak modellerinin Hall sensörün çıkış sinyallerine göre nasıl değiştiği Şekil 4.10’ da verilmiştir. Bu grafikler demir levhalardaki çatlak derinliğinin artırılmasıyla Hall etkili sensörün çıkış voltaj sinyallerinin maksimum değerinin verilerine göre çizilmiştir.

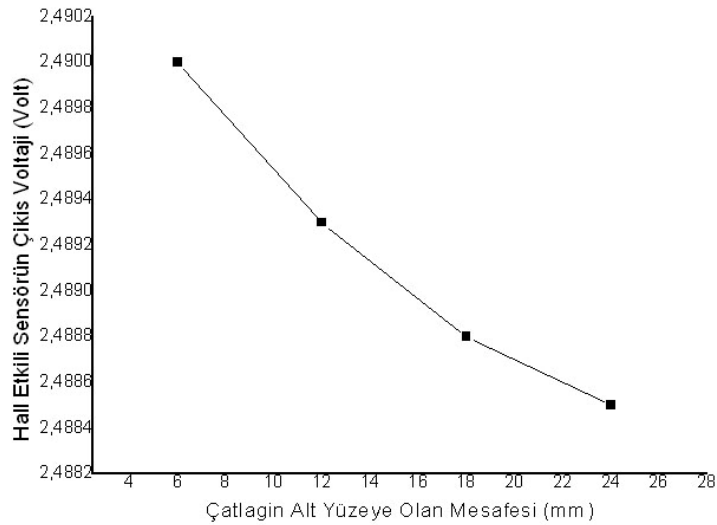


**Şekil 4.10:** Yarı çatlak modeli çıkış sinyalinin 6 mm ve 12 mm çatlakın alt yüzeye uzaklığına göre değişimi.

Yapay yarı çatlak modellerinde çatlakın alt yüzeye uzaklığındaki artışa bağlı olarak Hall etkili sensörün çıkış sinyalleri parabolik bir şekilde azaldığı Şekil 4.11’de görülmektedir.

Ferromanyetik levhalardan oluşan 5 mm çatlak genişliğine ve 6 mm çatlak derinliğine sahip doğal yarım çatlak modelinin alt yüzeyine uzaklığını bulabilmek için Şekil 4.11’ deki grafikten yararlanılabilir. Örnek olarak ferromanyetik levhalar ile oluşturulan doğal yarım çatlak modellerin yüzey taraması sırasında Hall etkili sensörden çıkan sinyalin maksimum değeri 2,4893V gösteriyorsa, grafiğe bakılarak çatlağın alt yüzeye uzaklığı 12 mm olduğu belirlenebilir. Aynı zamanda bu çalışmada, ferromanyetik levhalarla oluşturulmuş yapay yarım çatlak modelleri için çatlak alt yüzeye 24 mm’ den daha uzak ise Hall sensörden çıkan sinyallerin neredeyse sabit kaldığı belirlenmiştir.

Bunun sonucunda, ferromanyetik levhalarla oluşturulan herhangi bir doğal yarım çatlak modelinde, alt yüzeye uzaklığın 24 mm’ den fazla olması durumunda kullanılan bu yöntemin çatlağın alt yüzeyine uzaklığını belirlemek için yeterli olmayacaktır. Dolayısıyla bu yöntem yarım çatlak modelleri için çatlağın alt yüzeyine uzaklığını belirlemede bir kısıtlama getireceğini söylemek mümkündür.



**Şekil 4.11:** Hall etkili sensörün çıkış voltajının yarım çatlak modelindeki çatlağın alt yüzeye uzaklığına göre değişimi.

Model üzerindeki tarama esnasında Hall sensörün çıkış sinyallerindeki değişime bağlı olarak çizilen grafiklerle tam çatlak veya yarım çatlak doğal modellerinde çatlak genişliğini ve çatlak merkezini belirlemek mümkündür. Herhangi bir doğal modelde oluşan çatlak derinliği ve çatlağın alt yüzeye mesafesi



gibi fiziksel özellikleri belirleyebilmek için, daha önceden aynı fiziksel özelliklere sahip yapay modellerden alınan veriler gerekmektedir.

Bu çalışmada yapılan deneylerde maksimum çatlak derinliği 30 mm, çatlak genişliği 10 mm ve çatlağın alt yüzeye uzaklığı 30 mm olan yarım çatlak ve tam çatlak modelleri taranmış ve tarama sonucunda elde edilen maksimum çıkış sinyallerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla Hall sensörün çıkış sinyallerindeki maksimum değerinin değişimini model üzerindeki çatlakta oluşan fiziksel özellikler belirlemektedir. Doğal modellerin taranmasıyla elde edilen sensör çıkış sinyalleri daha önceden taranan yapay modellerden elde edilen veriler ışığında karşılaştırılıp, doğal modelin üzerinde oluşan çatlağın tam çatlak modeli veya yarım çatlak modeli olduğu tespit edilir. Ayrıca test edilen doğal modelin derinliği, genişliği ve çatlağın alt yüzeye olan mesafesi de doğrudan bulunabilir.

Yapılan bu çalışmada aynı zamanda çatlak derinliği, çatlak genişliği, çatlağın alt yüzeyine uzaklığı ve çatlağın üst yüzeyine uzaklığı ele alınarak 12 farklı gömülü çatlak modelleri de test edilmiştir. Fakat Hall etkili sensörün çıkış sinyalleri bütün modellerde değişiklik göstermemiştir.

Tüm modeller için yapılan deneyde Hall etkili sensörün çıkış voltajında bir sabit gürültü değeri elde edilmiştir. Bu nedenle ferromanyetik levhalarda oluşan herhangi bir gömülü çatlağın bulunamayacağı söylenebilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bir manyetik ölçme sisteminin ferromanyetik örnekler üzerinde hasas ölçümler yaparak örnek üzerinde bulunan çatlak konumunu gerçek değere yakın olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Manyetik ölçme sistemi, bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar ve yapılan açıklamalar dâhilinde tartışılmıştır.

Herhangi bir sebepten dolayı ferromanyetik levhalar üzerinde oluşan çatlakların, manyetik ölçme yöntemi ile konumunun belirlenebilmesi için, levha üzerinde taranan bölgenin uzunluğuna bağlı değişim grafikleri Hall sensörün çıkış sinyallerine göre çizilmelidir. Grafiğe bakılarak sensör çıkış voltajı sabit gürültü değerini gösterdiği anda çatlak konumu doğrudan tespit edilir. Ayrıca bu yöntemin çatlak yerinin tespitinde de herhangi bir kısıtlaması bulunmamaktadır. Fakat taranan bölgenin hassaslığı arttırılırsa çatlak konumu da o kadar gerçek değere yakın bulunabilir.

Hall sensördeki çıkış voltajın taranan bölge uzunluğuna göre değişim grafiğine bakılarak, çıkış voltajındaki maksimum iki nokta arasındaki mesafe bir tam çatlağın veya doğal yarım çatlağın genişliğini doğrudan tespit etmemizi sağlayacaktır. Bunun için kullanılan sensörün nokta okuma yapan algılayıcı olmasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda bu yöntem çatlak genişliğini belirlemede bir sınırlama getirmemektedir.

Yapay gömülü çatlak modeliyle yapılan testler, tasarlanan manyetik ölçme sistemiyle gömülü çatlağın fiziksel özelliğinin bulunamayacağını göstermiştir. Görüldüğü üzere tasarlanan düzenekle, tam çatlak ve yarım çatlak modelinin manyetik yolla tespit yöntemi ile çatlak derinliği (30 mm'ye kadar), çatlağın alt yüzeye olan uzaklığı (24 mm' ye kadar) çatlak konumu ve çatlak genişliği rahatlıkla tespit edilebilmiştir. Ancak bu yöntemin diğer tahribatsız test yöntemlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Herhangi bir tam çatlak veya doğal yarım çatlak derinliğini bulabilmek için ise, daha önceden derinliği bilinen yapay çatlak modellerinden elde edilen verileri bilmemiz gerekir. Derinliğini bulmak istediğimiz malzeme tarandıktan sonra Hall

sensörün çıkış voltajındaki maksimum değer, önceden elde edilen yapay çatlak modelleri ile ilgili değerle karşılaştırılıp çatlağın derinliği konusunda bize bilgi verir. Fakat yapay tam ve yarım çatlak modelleriyle yapılan testler, çatlağın derinliğinin 30 mm'yi geçmesi durumunda çatlak derinliğinin bulunamayacağını göstermiştir.

Herhangi bir doğal yarım çatlak örneğindeki çatlağın alt yüzeye uzaklık bilgisi hakkında yorum yapabilmek için ise, daha önceden hesaplanan çatlağın alt yüzeye uzaklığının verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili model tarandıktan sonra Hall sensördeki çıkış voltajın maksimum değeri, daha önce hesaplanan yapay yarım çatlakların bilinen değerleriyle karşılaştırılıp örnek üzerindeki çatlağın alt yüzeye uzaklığı hakkında bilgi verir. Fakat yapay yarım çatlak modelleriyle yapılan testler, çatlağın alt yüzeye uzaklığının 24 mm'yi geçmesi durumunda model üzerindeki çatlağın alt yüzeye uzaklığının bulunamayacağını göstermiştir. Aynı zamanda bu yöntem sayesinde, Hall sensör çıkış voltajının değişim karakteristiğinden, çatlağın bulunduğu bölgedeki kaçak manyetik akı davranışı hakkında da bilgi edinilmiştir. Yapay model ile yapılmış testler, kaçak manyetik akının çatlağın bulunduğu bölgedeki davranışının, bize çatlak modelinden bağımsız olduğunu göstermiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Topuz, A., *Tahribatsız Muayeneler*, İstanbul: YTÜ yayın evi, 23-146 (1993).
- [2] Görür, N. “Tahribatsız Muayene Yöntemleri Eğitim Notları”, *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü*, (2002).
- [3] Report, J. L., Brachet-roland, M., “Survey Of Structures By Using Acoustic Emission Monitoring”, *IABSE Symposium*,(39), Washington, 33-38, (1992).
- [4] Anon, “Inspection Of Prestressing Cables In Bridges”, *Indian Concrete Journal*, (61), 31-33, (1987).
- [5] Oral Buyukozturk, “Imaging Of Concrete Structures”, *NDT&E International*, (31), 233-243, (1998).
- [6] Flonenko, S., Babak, “V. Technical diagnostics of materials and elements by the method of acoustic emission”, *The World Congress Aviation in the XXI Century*, Ukraine National Aviation University, Ukraine, (2003).
- [7] Krautkramer, J. and Krautkramer H., *Ultrasonic Testing of Materials*, Berlin: Springer-Verlag, (1990).
- [8] Leeming, M. B., Lane, J. S., Wade, P. J., “Post-Tensioned Bridge Investigation – The Way Forward”, *Construction / Repair*, 193-197 (1995).
- [9] Stain, R. T., Dixon, S., “ Inspection Of Cables in Post - Tensioning Bridge – What Techniques Are Available ”, *Construction / Repair*, 297-300 (1994).

- [10] Williams, H. T., Hulse M.E. “From Theory To Field Experience With Inspection Of Post-Tensioned Bridges”, *Construction / Repair*, 199-202 (1995).
- [11] Göktepe M., Perin D. ve Oral A., “Betonarme yapılarıdaki demir donatların manyetik kaçak akı yöntemiyle incelenmesi”, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 29-30, (2012).
- [12] Nagi, M., Whiting, D, “Corrosion Of Prestressed Reinforcing Steel In Concrete Bridges: State-Of-The-Art ”, *Concrete Bridges in Aggressive Environments*, 17-41 (2009).
- [13] Tepe, E. “Yüzey Tahribatsız Muayene Metotları”, *TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi*, (50), 24-29 (2009).
- [14] Gimmel, B., “Magnetoelastic Force Measurement In Prestressed Concrete”, *TABSE Symposium*, (57), 329-334, Lisbon, (1989).
- [15] Andrews, F., “Non-destructive Testing (NDT) of Concrete in Structure Technical Note”, *GeoPave* (2006).
- [16] Guimaraes A.P., *Magnetism and Magnetic Resonance in Solids* John Wiley & Sons, (1998).
- [17] Hubert A., Schafer R., *Magnetic Domains*, Springer, (2000).
- [18] Solyom J. *Fundamentals of the Physics of Solids, Volume 1-Structure and Dynamics*, Springer, (2002).
- [19] Serway, R. A. ve Beichner R.J., (ed: K. Çolakoğlu), *Fen ve Mühendislik İçin Fizik*, 2.cilt, Ankara: Palme Yayıncılık, (1996).
- [20] Jiles, D., *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, London: CRC Press, (2016).

- [21] Tacer, E., “Elektromanyetik Enerji Dönüşümü”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Ders notları 1. ve 2. bölümler*, İstanbul, (2007).
- [22] Cullity, B. D., *Introduction to Magnetic Materials*, University Of London: Addison-Wesley, (1972).
- [23] Derek, C., *Magnetism Principles and Applications*, UK: Wiley, (2003).
- [24] Hooliday, D. and Resnik, R., (ed: C. Yalçın), *Fiziğin Temelleri*, Ankara: Arkadaş Yayınevi, (1990).
- [25] Bayrak, M., *Temel Elektrik ve Manyetizma*, Ankara: Atlas Yayın Dağıtım, (2002).
- [26] Köroğlu, H., *Elektrik ve Manyetizma*, Ankara: Kalite Matbaası,, (1978).
- [27] Yüksek, M., “Manyetik Akı Sisteminin Tasarımı ve Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2011).
- [28] Emerald, P., “Hall-Effect Current-Sensing Techniques”, *Allegro MicroSystems.*, USA, 34-36 (1994).
- [29] Öztürk Y. ve Akdağ C., “Hall Etkisinin İncelenmesi ve Sensör Olarak Uygulanması”, *Özel Ege Lisesi*, İzmir, 10-14, (2014).
- [30] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu\\_elemanlar\\_yöntemi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_yöntemi), (2016).
- [31] Göktepe M. ve Ege, Y., “Manyetize edilmiş ferromanyetik malzemedeki yüzey çatlaklarının belirlenmesi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XIX, S.1, (2006).

