

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

**BETONARME YAPILARDAKİ DEMİR DONATILARIN MANYETİK  
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Deniz PERİN**

**Balıkesir, Temmuz - 2008**

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

**BETONARME YAPILARDAKİ DEMİR DONATILARIN MANYETİK  
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Deniz PERİN**

**Balıkesir, Temmuz - 2008**

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

**BETONARME YAPILARDAKİ DEMİR DONATILARIN MANYETİK**  
**UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Deniz PERİN**

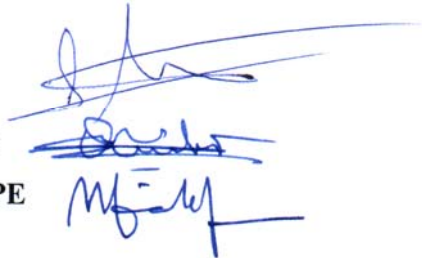
**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa GÖKTEPE**

**Sınav Tarihi: 08.07.2008**

**Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Selçuk ATALAY**

**Doç. Dr. Hakan KÖÇKAR**

**Doç. Dr. Mustafa GÖKTEPE**



**Balıkesir, Temmuz – 2008**

## **ÖZET**

### **BETONARME YAPILARDAKİ DEMİR DONATILARIN MANYETİK UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**Deniz PERİN**

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü**

**(Yüksek Lisans Tezi / Danışman: Doç. Dr. Mustafa GÖKTEPE)**

**Balıkesir, 2008**

Bu çalışmada, manyetik etkiler kullanılarak, betonarme yapılarda bulunan demir donatıların fiziksel özelliklerinin incelenebildiği bir uzaktan algılama sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemle binaların kolon ve kirişlerde kullanılan demir örgünün tahribatsız bir şekilde algılanması, demir çubukların boyutları, yerleşimi, üzerinde oluşan gerilmeler, çatlaklar ve korozyona bağlı deformasyonların incelenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen sistem ve elde edilen bulgular çalışma kapsamında tartışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** İnşaat demiri / Demir taraması / Tahribatsız test / Tarayıcı sistemler

## **ABSTRACT**

### **INSPECTIONS OF REBARS IN REINFORCED CONCRETE BY MAGNETIC REMOTE SENSING SYSTEM**

**Deniz PERİN**

**Balıkesir University , Institute of Science , Department of Physics**

**(M. Sc. Thesis / Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÖKTEPE)**

**Balıkesir - Turkey , 2008**

A magnetic remote sensing system has been developed to inspect rebars in concrete blocks. The developed system was available to inspect rebars in a concrete block as a non-destructive. This system was also capable to measure thickness, position, internal strength, cracks, oxidation of the rebars in the concrete blocks. The findings of the study has been given as a conclusion in the thesis.

**KEY WORDS :** Rebars / Rebar detection / Non-destructive testing / Scanner systems

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	xii
1. BÖLÜM	
1.1. Giriş	1
1.1.1 Radyografik Metotlar ( Radiographic Methods )	2
1.1.2 Yeraltı Radarları ( Ground Penetrating Radar – GPR )	2
1.1.3 Saçılan Işın Metodu ( Backscatter Radiometry )	3
1.1.4 Darbeli Ses Tekniği ( Impactecho )	3
1.1.5 Akustik Ölçüm Tekniği ( Acoustic Emission Monitoring )	4
1.1.6 Kaçak Akı Metodu ( Magnetic Flux Leakage - MFL )	4
1.1.7 KızılÖtesi ile Isısal Ölçüm Metodu ( Infrared Thermography )	4
1.2 Manyetik Alan ve İlgili Bağıntılar	7
1.2.1 Dairesel Bir İletkenin Bir Noktada Oluşturduğu Manyetik Alan	7
1.2.2 Bir Selonoidin Manyetik Alanı	9
1.2.3 Demir Çekirdekli Selonoidin Manyetik Alanı	12
2. BÖLÜM	
2.1 Deneysel sistem	14
3. BÖLÜM	
3.1 Sistemin modellenmesi	21
3.2 Dik okumada sistemin modellenmesi	22
3.3 Paralel okumada sistemin modellenmesi	24

4.	BÖLÜM	
4.1	Deneysel bulgular	28
	R=8 mm' lik demirlerden oluşan örgü için alınan ölçümler	30
	R=10 mm' lik demirlerden oluşan örgü için alınan ölçümler	32
	R=12 mm' lik demirlerden oluşan örgü için alınan ölçümler	33
	R=8 mm, R=10 mm, R=12 mm' lik demirlerden oluşan örgü için alınan ölçümler	34
	R=8 mm' lik demirden oluşan eksik örgü için alınan ölçümler	35
	R=10 mm' lik demirden oluşan eksik örgü için alınan ölçümler	36
	R=8 mm ve R=10 mm' lik demirden oluşan eksik örgü için alınan ölçümlerin karşılaştırılması	37
	R=10 mm ve R=8 mm' lik demirden oluşan örgü için alınan ölçümler	38
	R=10 mm ve R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için alınan ölçümler	39
	R=8 mm ve R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için alınan ölçümler	40
	R=8 mm, R=10 mm ve R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için alınan ölçümler	41
	R=8 mm'lik demirden oluşturulan D harfi için alınan ölçümler	42
	R=8 mm' lik tek demir için alınan ölçüm	45
	R=8 mm'lik bükülmüş demir için alınan ölçümler	46
	R=8 mm' lik çekiçle dövülmüş demir için alınan ölçümler	47
	R=8 mm' lik ortadan koparılmış demir için alınan ölçümler	48
	R=8 mm' lik ortadan koparılmış demir için alınan ölçümler	49
	R=8 mm' lik ortadan koparılmış demir için alınan ölçümler	50
	R=8 mm' lik ortadan koparılmış demir için alınan ölçümler	51
	R=12 mm' lik örnek demir için alınan ölçümler	52
	R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için alınan ölçümler	55
	Ararda yapılan 5 okuma için algılayıcı çıkış sinyallerinin gösterdiği değişimin grafiği	57
5.	BÖLÜM	
5.1	Sonuç ve Yorumlar	59
	KAYNAKÇA	61

## SEMBOL LİSTESİ

<b>Simge</b>	<b>Adı</b>	<b>Tanımı / Değeri</b>	<b>(SI)Birimi</b>
$H$	Manyetik alan şiddeti		A m <sup>-1</sup>
$B$	Manyetik akı yoğunluğu	$B = \mu_o(H + M)$	T
$M$	Mıknatıslık		A m <sup>-1</sup>
$\mu_o$	Boşluğun manyetik geçirgenliği	$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$	H m <sup>-1</sup>
$\mu$	Manyetik geçirgenlik	$\mu = \frac{B}{H}$	H m <sup>-1</sup>
$\phi$	Manyetik akı	$\phi = B \cdot A$	Wb
$f$	Frekans		Hz
$N$	Bobin sarım sayısı		-
$A$	Bobin kesit alanı		m <sup>2</sup>
$I$	Akım		A



## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1	Dairesel bir iletkenin merkezinden $r$ kadar uzaklıkta oluşturduğu manyetik alan	7
Şekil 1.2	Gevşek sarılmış bir selonoidin manyetik alanı	10
Şekil 1.3	Sıkı sarılı bir selonoidin manyetik alanı	10
Şekil 1.4	Sıkıca sarılmış bir selonoidin kesiti	11
Şekil 1.5	Selonoidin oluşturduğu manyetik alan çizgileri	12
Şekil 2.1	DeneySEL sistem	14
Şekil 2.2	Platform ve manyetize edici sistem	16
Şekil 2.3	Deney düzeneği	17
Şekil 2.4	Manyetize edici sistem	17
Şekil 2.5	(a)Hava çekirdekli algılayıcı bobin, (b) Demir çekirdekli algılayıcı bobin	18
Şekil 2.6	Algılayıcı bobinin konumu	19
Şekil 2.7	(a) Dik okuma, (b) Paralel okuma	19
Şekil 2.8	Okuma yönüne bağlı algılayıcı çıkış sinyalleri	20
Şekil 3.1	Boş uzayda U mıknatısının manyetik alan çizgileri	22
Şekil 3.2	Dik okumada manyetik akı çizgilerinin davranışı.	23
Şekil 3.3	Demir çekirdekli algılayıcı bobin kullanılan sistemin modellenmesi	24
Şekil 3.4	Paralel okumada manyetik akı çizgilerinin davranışı	25
Şekil 3.5	Demir çekirdekli algılayıcı bobin kullanılan sistemin modellenmesi	26
Şekil 4.1	Manyetik sistem	28
Şekil 4.2	Demir çubukların yerleştirildiği manyetik ölçüm sistemi	29
Şekil 4.3	$R=8$ mm'lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	30
Şekil 4.4	$R=8$ mm'lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	31
Şekil 4.5	$R=10$ mm'lik demirden oluşan örgü için algılayıcı	

	çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	32
Şekil 4.6	R=10 mm'lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	32
Şekil 4.7	R=12 mm'lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	33
Şekil 4.8	R=12 mm'lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	33
Şekil 4.9	R=8 mm, R=10 mm, R=12 mm'lik demirlerden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiklerinin karşılaştırılması.	34
Şekil 4.10	R=8 mm'lik demirden oluşan eksik örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	35
Şekil 4.11	R=8 mm'lik demirden oluşan eksik örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.	35
Şekil 4.12	R=10 mm'lik demirden oluşan eksik örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	36
Şekil 4.13	R=8 mm ve R=10 mm'lik demirden oluşan eksik örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiklerinin karşılaştırılması	37
Şekil 4.14	R=10 mm ve R=8 mm'lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	38
Şekil 4.15	R=10 mm ve R=8 mm'lik demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	38
Şekil 4.16	R = 12 mm ve R = 10 mm lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	39
Şekil 4.17	R=10 mm ve R=12 mm demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirme	39
Şekil 4.18	R=8 mm ve R=12 mm lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.	40
Şekil 4.19	R=8 mm ve R=12 mm demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	40

Şekil 4.20	R=8 mm, R = 10 mm ve R = 12 mm'lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	40
Şekil 4.21	R=8 mm R=10 mm ve R=12 mm demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	41
Şekil 4.22	R=8 mm'lik oluşturulan D harfi	42
Şekil 4.23	D harfi için alınan verilerle çizilen renkli üç boyutlu grafik	42
Şekil 4.24	D harfinin gri ölçeklendirmesi	43
Şekil 4.25	Tek demir ölçümü	44
Şekil 4.26	R=8 mm'lik tek için alınan ölçüm	45
Şekil 4.27	R=8 mm'lik örnek demir	45
Şekil 4.28	Bükülmüş demir çubuk	46
Şekil 4.29	Düzeltilmiş demir	46
Şekil 4.30	R=8 mm'lik bükülmüş demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	46
Şekil 4.31	Ezilmiş demir örnek	47
Şekil 4.32	R=8 mm'lik çekiçle dövülmüş demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	47
Şekil 4.33	Kırılmış demir örnek	48
Şekil 4.34	R=8 mm'lik ortadan koparılmış demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	48
Şekil 4.35	Kırılmış demir örnek	49
Şekil 4.36	R=8 mm'lik ortadan koparılmış demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	49
Şekil 4.37	Kırılmış demir örnek	50
Şekil 4.38	R=8 mm'lik ortadan koparılmış demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	50
Şekil 4.39	Kırılmış demir örnek	51
Şekil 4.40	R=8 mm'lik ortadan koparılmış demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	51
Şekil 4.41	R=12 mm'lik örnek demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	52
Şekil 4.42	R=12 mm'lik ortadan taşlanmış demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği	52

Şekil 4.43	Beton içindeki R=12 mm'lik demirle oluşturulan örgünün bir görünümü	53
Şekil 4.44	Beton içindeki R=12 mm'lik demirle oluşturulan örgünün ölçümü	53
Şekil 4.45	Hazırlanan beton yapıları örneklerin boyutları	54
Şekil 4.46	R=12 mm'lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği	54
Şekil 4.47	Beton içindeki R=12 mm'lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi	56
Şekil 4.48	Ararda yapılan 5 okuma için algılayıcı çıkış sinyallerinin gösterdiği değişimin grafiği	57

## ÖNSÖZ

Sadece bu tez aşamasında değil, tanıştığımız ilk günden itibaren bir şekilde yanımda olduğunu hissettiren, beni anlamaya çalışan ve destekleriyle beni onurlandırılan, en iyi olma yolunda bana inanan, tez uygulaması süresince kısıtlı zamanlarında bile yardımlarını benden esirgemeyen, bilgiye ve kaynaklara ulaşmamda sonsuz yardımları bulunan, sadece fizik alanında değil etik olarak ta eğitimimi tamamlama yolunda yol gösterici olan saygı değer hocam Doç. Dr. Mustafa GÖKTEPE' ye teşekkürlerimi sunmanın yeterli olmayacağını düşünüyorum. Sağolun hocam.

Ve olmazsa olmazdı diyebileceğim çok değerli hocam Dr. Yavuz Ege'ye önemli katkılarından dolayı minnettarım.

Laboratuar çalışması ve bu tezin oluşumu sırasında yardımlarından dolayı çalışma arkadaşlarım Mehmet Gökhan ŞENSOY ve Hatice YILLIK' a teşekkürlerimi sunarım.

Ve tabii ki beni bugünlere kadar öncelikle iyi bir birey olarak yetiştirmeye çalışan, her zaman yanımda olmasalar da kalben ve ruhen hiç ayrılamadığımız sevgili anneme ve aile büyüklerime minnettarım.

**Balıkesir, 2008**

**Deniz PERİN**

**Bu çalışma  
2008/07 no' lu proje olarak Balıkesir Üniversitesi  
Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından desteklenmiştir.**

**Desteklerinden dolayı  
Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine  
teşekkür ederiz.**

# 1. BÖLÜM

## 1.1. Giriş

Tahribatsız inceleme ya da değerlendirme (NDE) olarak da bilinen NDT, dahili arızaları ve bozulmaları tanımlamak, incelemek için materyallerin, bileşenlerinin ve bağlantılarının değişik yöntemlerle incelenmesini kapsar.

NDT'nin amacı, bozulmaya yol açmadan materyal özelliklerini değerlendirmek, üretim öncesi ürün kalite ve performansını sağlamak olduğu kadar, mühendislik yapılarının güvenli kullanımını da sağlamaktır.

Yapı denetimi için kullanılan NDT teknikleri ile kullanılan betonun kalitesi ve mevcut durumu incelenebilmektedir. Bunun yanında beton yapı içinde kullanılan demir donatı da gözlenebilmektedir. Var olan tekniklerle yapılan ölçümler sonucunda alınan veriler analiz edildiğinde beton yapı ve demir donatı hakkında önemli bilgilere ulaşılmaktadır. Daha fazlası olarak ta gözle görülmeyen ama yapının sağlamlığını etkileyebilen beton yapı içerisindeki gizli çatlak ve boşluklar, demir donatı üzerindeki çeşitli deformasyonlar (kırılma, kopma, paslanma vb.) genel adı ile deliminasyon doğru bir şekilde algılanabilmektedir.

Her NDT tekniğinin kendine özgü avantajı olduğu gibi kesin ve net bilgi vermede sınırları bulunmaktadır. Tek başına hiçbir NDT testi kesin bir sonuç veremeyebilir. Özellikle ölçülen materyalle ölçüm yapılacak NDT testinin belirlenmesinden sonra test değişkenlerinin düzgün bir şekilde kalibre edilmesiyle yapılacak ölçümler daha doğru sonuçlar verecektir.

Beton yapı için NDT tekniklerine göz atılırsa

- Radyografik Metotlar ( Radiographic Methods )
- Yeraltı Radarları ( Ground Penetrating Radar – GPR )
- Saçılan Işın Metodu ( Backscatter Radiometry )
- Darbeli Ses Tekniği ( Impactecho )
- Akustik Ölçüm Tekniği ( Acoustic Emission Monitoring )
- Kızıl Ötesi ile Isısal Ölçüm Metodu ( Infrared Thermography )
- Kaçak Akı Metodu ( Magnetic Flux Leakage – MFL )

### **1.1.1 Radyografik Metotlar ( Radiographic Methods )**

Bu teknikte bir kaynaktan çıkan X, beta ve gamma ışınları kullanılmaktadır [1]. 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 [1-6].

Görüntüleme, film üzerine veya anında monitöre yansıtılarak yapılmaktadır. Film üzerine yapılan ölçüm yaklaşık 30 dakika sürmektedir. Yapı kalınlığı artırıldığında ölçüm süresi artmaktadır [2].

Sistem için kalınlık limiti 600 mm olarak belirlenmiştir [2, 3]. 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 [2, 5].

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 [2, 4, 6].

Bahsedilen teknik 1968' den beri Fransa' da rutin olarak kullanılmaktadır. Genel olarak yapı incelemesinde kullanılan X - ışını kaynağı Betatron ( İngiltere ), çizgisel hızlandırıcılardan Scorpion II ( Fransa ) ve MINAC ( ABD ) olarak verilebilir.

### **1.1.2 Yeraltı Radarları ( Ground Penetrating Radar – GPR )**

Beton yapı içerisine gönderilen 1,5 GHz dolaylarında yüksek frekanslı, düşük enerjili elektromanyetik dalgalar, değişik dielektrik sabitlerine sahip bölgelerden (demir çubuklar, boşluklar ve kanallar gibi) yansımalarının ölçümü ile yapılan bir sistemdir [1,9,10].

Yapı içerisine giren bir elektromanyetik dalga, yol alırken farklı bir yüzey ile karşılaştığında dalganın bir kısmı bu yüzeyden geriye yansırken kalan kısım ise diğer bölgeye doğru hareketini devam ettirmektedir [6]. Bu farklı yüzeylerden farklı özelliklerle yansıyan dalga algılanıp işlenirse yapı hakkında değişik bilgilere ulaşılabilmektedir.



Bu yapılardan alınan sinyallerin Fourier dönüşümleri yapıldıktan sonra veriler daha net hale gelmektedir [10]. Radar ile yapılan ölçümün tam doğru olabilmesi için bu yapı hakkında önbilgiye sahip olmak gerekir [2,9,10].

Netleştirilen ve yorumlanan sinyaller demir donatının, kanalların ve boşlukların pozisyonları ve derinlikleri hakkında bilgi vermektedir [2,8,9,10]. Bu sistemi öne çıkaran özellik ise ön gerilmeli halatların algılanması sırasında demir donatı hakkında da bilgi verebilmesidir [9,10].

Kalınlık limiti olarak belirtilen genişlik yaklaşık 1 metredir [10]. Yapı kalınlığının artması gönderilen dalganın giricilik etkisini azaltacağından sistemin çözünürlüğünü de azaltmaktadır [6,9,10].

Sistem küçük çatlak ve boşluklar için etkili bir sonuç verememektedir [9,10].

### **1.1.3 Saçılan Işın Metodu ( Backscatter Radiometry )**

Bir çerçeve içine monte edilen kontrol altındaki gama kaynağı ve gama detektörünün oluşturduğu bir ölçme sistemidir. Yüzey üzerine yerleştirilen bu sistem beton yapının içine giren ve yansıyan radyasyonu ölçmektedir [8].

Bu sistem ile ön gerilmiş halatların saptanamadığı gibi sistemin sınırlamaları oldukça fazla olup etkili olarak korozyona bağlı büyük boşluklar saptanabilmektedir [8].

Elde edilen sinyaller, yüzey özellikleri ve hava koşulları tarafından etkilenebilmektedir [6].

Giricilik etkisi yoğunlukla orantılı olduğundan yakın yoğunluk değerlerine sahip bölgeler için çözünürlüğün artırılması gerekmektedir [8].

### **1.1.4 Darbeli Ses Tekniği ( Impactecho )**

Bu teknikte seçilen test yüzeyi üzerinde stres etkisi oluşturabilecek ses dalgası kullanılmaktadır. Bu dalga üç dalga çeşidi şeklinde yol almaktadır. Bunlar; beton içerisinde ilerleyebilen  $P_{-}$  (genişleyen) ve  $S_{-}$  (bükülen), yüzey üzerinde yayılan Rayleigh dalgalarıdır.  $P_{-}$  ve  $S_{-}$  dalgaları beton yapı içerisinde yol alırken boşluk, çatlak ve demir donatı etrafında değişime uğramaktadır.

Bu değişim yüzey üzerinde bulunan transduserlar tarafından algılanmaktadır [11-15].

Alınan ölçümlerle yapılan Fourier transformu kullanılarak analiz edildiğinde boşluklar, ön gerilmeli çelik halatlar ve demir donatı tespit edilebilmektedir. Yapılacak ufak hesaplamalar sonucunda kusurların (deliminasyon) derinliği de belirlenebilmektedir. Darbeli ses metodu boşlukların ve demir donatının üzerindeki deliminasyonların belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [11-15].

Ama teknik korozyon ve kanallar hakkında bilgi verememektedir. Bunun yanında farklılıklar gösteren beton kalitesi ve hava koşulları sinyal kalitesini etkilemektedir. Hatta demir donatı altında oluşacak bir boşluk sonuçların yanlış çıkmasına bile sebep olabilir [14].

### **1.1.5 Akustik Ölçüm Tekniği ( Acoustic Emission Monitoring )**

Bu metot ultrasonik ses dalgasının yapı içinde ilerlerken, çatlak ve kusurlu bölgelerin bu ilerleme hızı üzerinde oluşturduğu etkilerle ilgilenen bir ölçüm tekniğidir. Bu etki yapı yüzeyinde bulunan transduser tarafından algılanmaktadır [5, 6, 16].

Bu teknik beton yapının içinde ve dışında bulunan halatlar ve demir donatının tespitinin yanında beton yapının hakkında da net bilgiler toplayabilmektedir [16-19].

### **1.1.7 Kaçak Akı Metodu ( Magnetic Flux Leakage - MFL )**

MFL yoğun olarak kullanılan, basit olmasının yanında ucuz bir NDT tekniğidir. Dışarıdan uygulanan manyetik alan beton yapı içinde bulunan demir çubukların üzerine geldiğinde var olan akı yoğunluğu değişime uğramaktadır. Bu değişimin detekte edilmesiyle ölçüm yapılabilir [20-22].

Elde edilen bu sinyaller işlenerek demir donatı hakkında bilgiler edinilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede demir çubukların yeri, derinliği ve üzerinde oluşan deformasyonlar belirlenebilmektedir [20-22].

### **1.1.6 KızılÖtesi ile Isısal Ölçüm Metodu (Infrared Thermography)**

Beton içinde bulunan çatlaklar ısı iletimini etkiler. Yapı içinde bulunan deliminasyon veya boşluklardan dolayı oluşan farklı sıcaklık yüzeylerinin algılanması üzerine kurulmuş bir ölçüm tekniğidir [22].

Bu teknik daha çok köprü ve viyadük ayaklarındaki beton yapı içinde bulunan çatlakların yer tespitinde, demir donatının yerinin bulunmasında ve yeni bir yöntem olan bina yapımında kullanılan ön gerilmiş halatların yerlerinin belirlenmesinde de kullanılabilir [22].

Yapılan literatür incelemesinde betonarme yapı ve demir donatının değişik NDT yöntemleriyle incelenebildiği görülmüştür. Bu çalışma sırasında ise geliştirilmek istenen manyetik ölçüm sistemi genel itibariyle kaçak akı metodunun altında yer almaktadır.

Daha önce geliştirilen manyetik sistemle yapılan ölçümlerde Eddy Akımları ve manyetik akı kaçaklarının ölçülmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu teknikle alınan ölçümler analiz edildikten sonra demir donatı tespit edilebilmiştir [23].

Yapılan bu ölçüm sistemi uzun süren bir sivil mühendislik, sayısal sinyal analizi, yazılım ve elektronik tasarım çalışmaları sonucunda ölçüm sistemi oluşturulmuştur [23]. Bu sistem ile elde edilen sonuçların teknik değerlerine baktırsa R=15 mm çapına sahip bir algılayıcı bobinle yaklaşık 300 mm'ye kadar ölçüm yapılmıştır. R=16 mm çapında demir örneği okuma yüzeyinin yaklaşık 150 mm gibi altındaki derinlikten, R=15 mm çapındaki bir örnek ise 100 mm derinlikten algılanabildiği gözlemlenmiştir [23].

Bu algılamalar, 25 mm<sup>2</sup> alanında ve 100 mikron genişliğinde yollara sahip olan bir kare bobin tarafından sağlanmaktadır.

Bu algılayıcı R=15 mm ve yaklaşık 1 mm kalınlığında korozyona sahip olan demir örneğini beton yüzeyinden 40 mm gibi bir derinlik altında detekte edebilmiştir [23].

Akustik ölçüm ile demir donatı taraması yapılan sistemlerde piezo-elektrik algılayıcılar kullanılarak veriler toplanmaya çalışılmıştır [24-26].

Yapılan ölçümlerde demir donatı algılanabilmiştir. Bu algılama tarama esnasında algılayıcı çıkışından gelen veriler bilgisayara aktarılmadan bir filtreleme biriminden geçirilmektedir. Kullanılan piezo-elektrik algılayıcı üzerine gelen başta rüzgâr olmak üzere değişik dış etmenlerden kaynaklanan gürültüler bu birimde filtrelenmektedir. Tam teknik bilgiler verilirse de yapılan köprü ve yapı taramalarında iyi sonuçlar elde edilmiştir [24-26].

Mühendislik, arkeolojik, jeolojik ve mayın arama çalışmalarında kullanılan GPR sistemi beton yapının değerlendirilmesinde ve demir donatının algılanmasında da kullanılmaktadır. 1.5 GHz dolaylarında maksimum giriciliğe ulaşabilen GPR sistemi, beton yapı değerlendirmesi ve (50–60 cm dolaylarındaki giricilik için) yüksek çözünürlükte veriler toplayabilmek için 900 MHz olarak belirlenmiştir [27]. Yapılan kalibrasyonla beton yapı, demir donatı ve ön gerilmeli çelik halatlar bahsedilen mesafelerden algılanabilmiştir. GPR ölçüm sistemi sonuçlarının daha kolay anlaşılması üzerinde yapılan büyük değişikliklerle sinyaller daha kolay algılanabilir hale gelmiştir [27-29]. Bu gelişmelerden sonra bile sinyaller yine teknisyen tarafından yorumlanması daha net bilgiye ulaşmada açıklık sağlayacaktır.

Sonuç olarak bahsedildiği gibi her NDT tekniğinin sonuca ulaşırken var olan avantajlarının yanında sınırlamalarını da göz önünde bulundurup kesin sonuca ulaşmada birden fazla ölçüm tekniği kullanılmalıdır.

Bu çalışmada ise manyetik etkiler kullanılarak, betonarme yapılarda bulunan demir donatıların fiziksel özelliklerinin incelenbildiği bir uzaktan algılama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem kullanılarak,

- Betonarme yapı içindeki demir donatının varlığının tespit edilmesi,
- Demir donatıda var olan demir çubukların kalınlığının belirlenmesi,
- Demir çubukların üzerinde oluşan gerilmelerin incelenmesi,
- Demir çubuklardaki kırılma ve kopmaların belirlenmesi,
- Demir çubuklar üzerinde oluşan korozyona bağlı deformasyonların incelenmesi çalışmaları yapılmıştır.

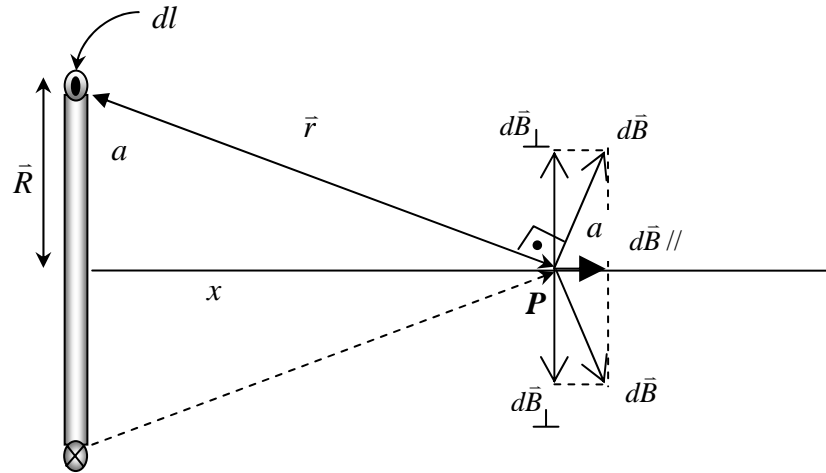
Söz konusu çalışmalar temel manyetik etkilerden yararlanılarak yapılmıştır. Bu nedenle ilk aşamada söz konusu niceliklerin incelendiği sistemde kullanılan manyetik etkilerin teorik bilgilerine yer verilecektir. Bu bağlamda ilk olarak manyetizmaya genel bir giriş ve sistem için gerekli bağıntılar incelenecektir. Sonrasında manyetik uzaktan algılama sisteminin çalışma prensibi ve sistemin açıklanmasına değinip, son olarak da bu sistemden elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

## 1.2 Manyetik Alan ve İlgili Bağlıntılar

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

### 1.2.1 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  $I dl$  akım elemanlarından oluştuğunu kabul edilirse, her elemanın daireSEL iletkenin  $P$  noktasında oluşturduğu  $d\vec{B}$  manyetik alanları aynı yönlü ve doğrultulu olacaklardır [30-32].



Şekil 1.1 Dairesel bir iletkenin merkezinden  $r$  kadar uzaklıkta oluşturduğu manyetik alan

Şekilden de anlaşılacağı gibi  $r$  ve  $dl$  arasındaki açı  $90^\circ$  'dir. Dolayısıyla  $dl$  ve  $r$ 'nin belirlediği düzlem sayfa düzlemine diktir.  $I dl$  akım elemanına karşı gelen manyetik alan elemanı  $d\vec{B}$  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 ayrılın,  $P$  noktasındaki toplam manyetik alana yalnız  $d\vec{B}_{//}$  katkıda bulunur. Çünkü  $I dl$  akım elemanın bir halka için  $x$  eksenine göre

simetriği söz konusudur. Bu durumda P noktası için  $d\vec{B}_\perp$  dik bileşenlerin toplamı sıfır olacaktır.

Toplam alan;

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

ile verilir.

Şekil 1.1' deki akım elemanları için Biot – Savart kanunu;

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

Şeklindedir [30-38]. Diğer taraftan,

$$d\vec{B}_\parallel = d\vec{B} \cos a \quad (1.3)$$

ilişkisi göz önüne alınarak

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

bulunur.

Şekil 1.1' de 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

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

bulunur. B değerleri  $d\vec{B}_\parallel$  yerine koyulursa

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

elde edilir.  $dl$  integralinin dairenin çevresini vereceğinden

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

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

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

bağıntısı elde edilir.

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

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

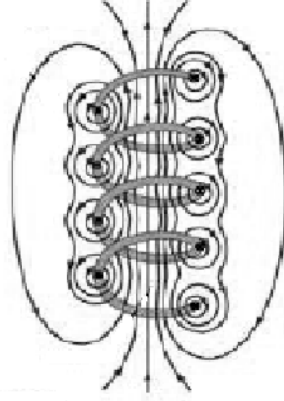
$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi x^3} (2\pi R) \quad (1.11)$$

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

şekline dönüşür [30-38].

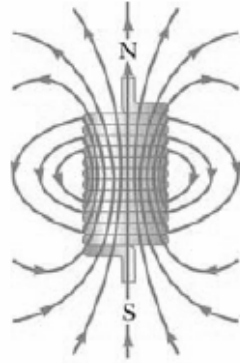
### 1.2.2 Bir Selonoidin Manyetik Alanı

Hava çekirdekli selonoid uzun bir telin helis şeklinde sarılmasıyla elde edilir. Sıkıca sarılmış selonoidin içindeki bölgenin küçük bir hacminde düzgün varsayılacak bir manyetik alan elde edilebilir. Sarımlar sıkışık olduğunda her birine bir çember gözüyle bakılabilir ve net manyetik alan tüm sarımlardan kaynaklanan alanların vektörel toplamıdır [30-34].



Şekil 1.2 Gevşek sarılmış bir selonoidin manyetik alanı

Şekil 1.6' da 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 [30-38].

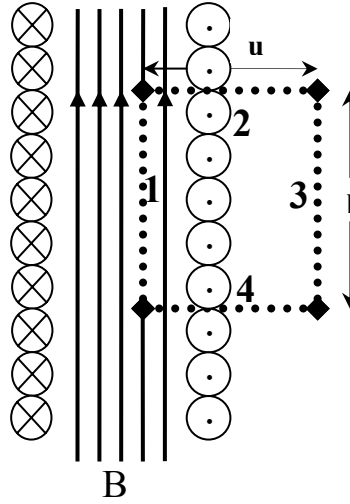


Şekil 1.3 Sıkı sarılı bir selonoidin manyetik alanı

Sarımlar sıkıca sarılmış ve selonoid sonlu uzunlukta ise, alan çizgileri Şekil 1.3' te görüldüğü gibidir. Bu durumda, alan çizgileri bir uçtan çıkarak dağılırlar, diğer uçtan toplanarak girerler. Bu alanın, selonoidin dışındaki dağılımı bir çubuk mıknatısın alanına benzer [31, 32]. 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 [31, 32].



Şekil 1.4 Sıkıca sarılmış bir selonoidin kesiti.

İdeal bir selonoidin içindeki manyetik alan ifadesini elde edebilmek için Amper yasası kullanılabilir [30-34]. Bu selonoidten bir  $I$  akımı geçirilsin. Selonoidin içinde oluşacak manyetik alan düzgün ve selonoidin eksenine paraleldir. Şekil 1.4’ 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  $B=0$ ’ dır. 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 [34].

Bu nedenle, kapalı dikdörtgensel yol boyunca integralin değeri

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

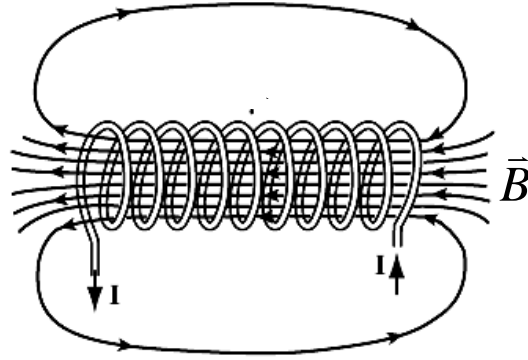
Amper yasasının sağ tarafı integralin alındığı kapalı yolun çevrelediği yüzeyden geçen toplam akımı içerir.  $l$  uzunluğunda bulunan sarım sayısı  $N$  ise,

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

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

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

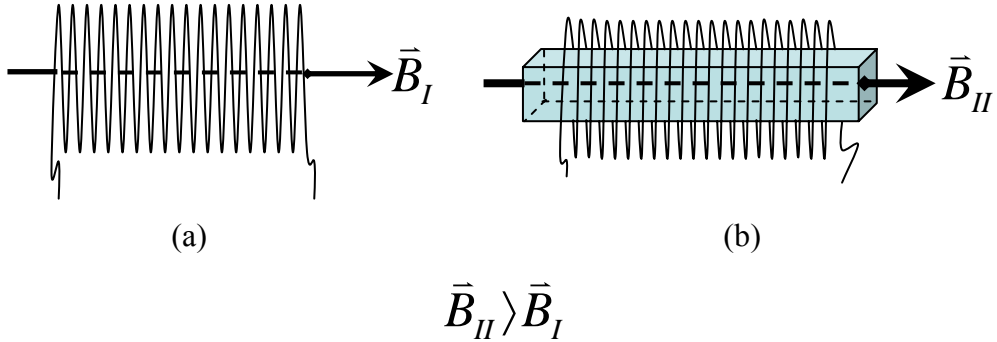
bulunur. Burada  $n = N/l$  birim uzunluktaki sarım sayısıdır.



Şekil 1.5 Selonoidin oluşturduğu manyetik alan çizgileri [43].

### 1.2.3 Demir Çekirdekli Selonoidin Manyetik Alanı

Eğer selonoidin içine bir demir çubuk yerleştirilir ve selonoide akım verilirse selonoidin içinde oluşan manyetik alan şiddeti artacaktır [39, 40].



Şekil 1.6 (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

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

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

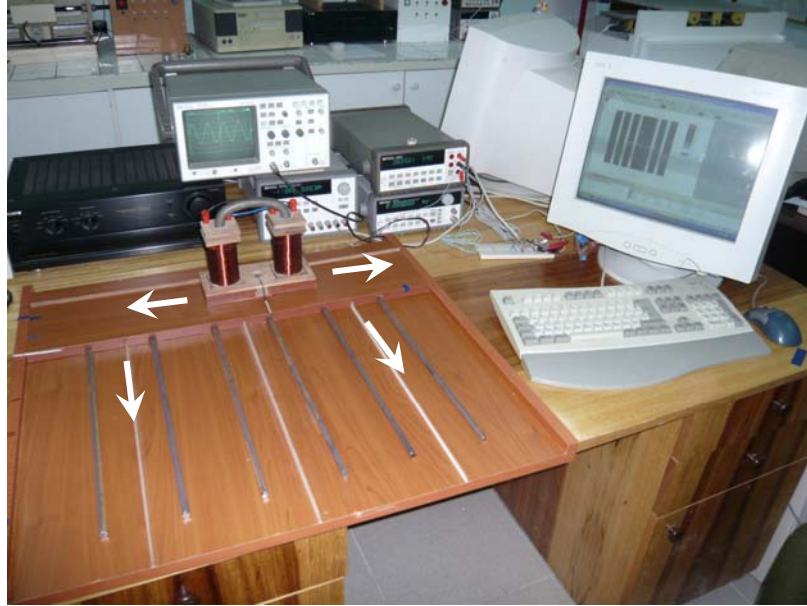
şeklinde ifade edilir [39, 40].

## 2. BÖLÜM

Sözü geçen tahribatsız test düzeneği, gerekli literatür ve teorik incelemelerden sonra bu bölümde tartışılacaktır. Deneysel 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 gerekli kavramlarla açıklanacaktır.

### 2.1 Deneysel Sistem

Sistem genel itibarıyla bir platform üzerine oturtulmuştur. Bu platformun üzerinde manyetize edici sistem hem x hem de y yönlerinde hareket ettirilip algılayıcı çıkış sinyali değerleri toplanmış grafikler çizilmiştir.



Şekil 2.1 Deneysel sistem.

Şekil 2.1’ de gösterilen oklar yönünde platform hareket ettirilebilmektedir. Sağa ve sola hareket ettirebilen U demirinin etrafına sarılmış bobinler manyetize edici sistemi oluşturmaktadır. Manyetize edici bobinler sistem için gerekli manyetik alanı sağlamaktadır. Bobinlere verilen akım bu bobinlerin içinde manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan demir çekirdeği mıknatıslar ve sistem için gerekli manyetik alan elde edilir. Bu oluşan manyetik alanın değişimi manyetik sistemin özünü oluşturmaktadır.

Mıknatıslanma ise manyetik bir malzemedeki birim hacim başına düşen dipol moment sayısı olarak ifade edilir.  $\vec{M}$  dipol moment olmak üzere mıknatıslanma

$$M = \frac{\sum_i m_i}{\Delta V} \quad (2.1)$$

burada  $m$  manyetik dipol olmak üzere bir manyetik dipolün yükü

$$m = I.S \quad (2.2)$$

şeklindedir bu eşitlikte  $I$  dipolün ürettiği mikroskobik akım,  $S$  ise manyetik dipolün sahip olduğu yörüngesinin alanıdır. Bu işlemin sonucunda manyetik dipolün birimi  $A/m^2$  elde edilir bu birim ile  $M$  mıknatıslanmanın birimine geçilirse

$$M \rightarrow \left( \frac{Am^2}{m^3} \right) \quad (2.3)$$

ifadesi sadeleştirilse

$$M \rightarrow \left( \frac{A}{m} \right) \quad (2.4)$$

ile verilir. SI da birimi A/m olarak bulunur [41].

Bobinlerde oluşan manyetik alan demir çekirdekteki manyetik momentleri mıknatıslanma vektörüne paralel olacak şekilde yönlendirir ve platformun altında manyetik akı çizgileri oluşturur.

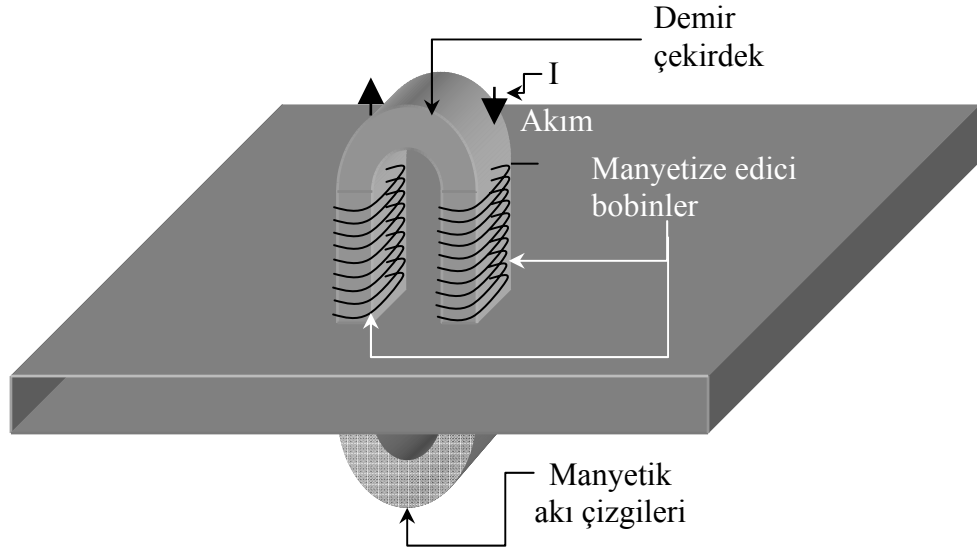
Aynı zamanda oluşan bu manyetik akı yoğunluğu

$$B = \mu M \quad (2.5)$$

olarak da yazılabilir. Burada  $\mu$  malzemenin manyetik geçirgenliği,  $M$  ise malzemenin mıknatıslanmasıdır.  $B$  ise manyetik akı yoğunluğu olarak ifade edilir ve SI'daki birimi Tesla'dır. [36, 39, 40].

Oluşan manyetik akı yoğunluğu ve mıknatıslanma hesaplanabildiği gibi kolay bir şekilde de ölçülebilir. Hava çekirdekli bir solenoidin etrafına sarılacak ufak bir sarımla solenoidin o kesitindeki manyetik alan ya da solenoidin manyetizasyonu bulunabilir. Demir çekirdekli bir solenoidin manyetik alanı veya manyetizasyonu hesaplanmak istenirse yine solenoidin üzerine yapılacak bir sarımla o kesitteki toplam manyetik alan ya da manyetik akıyı ölçülebilir. Demir çekirdek üzerine yapılacak bir sarımla ise demir çekirdeğin manyetizasyonu bulunabilir. [34].

Bu sistem için oluşan manyetik alan şiddeti gaussmetre kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümde demir çekirdeğin bir kolunda oluşan manyetik alan şiddeti  $B \sim 100$  gauss olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.2 Platform ve manyetize edici sistem.

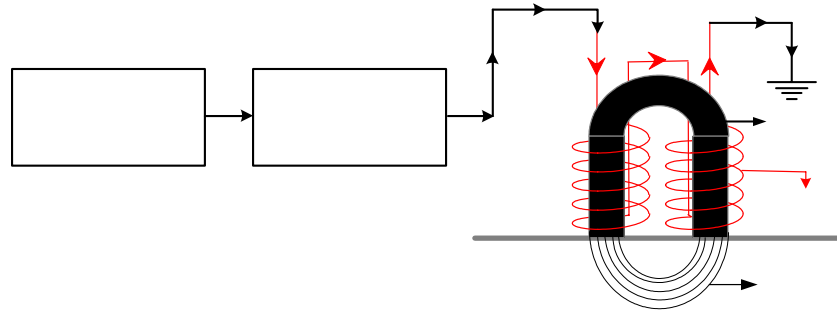
Oluşturulan platform üzerindeki demir çekirdekli bobinlere akım verildiğinde bobinlerin içinde ve dışında manyetik alan oluşmaktadır. Bobinlerin içinde oluşan bu alan demir çekirdek tarafından odaklanır ve platformun altında Şekil 2.1' deki gibi kapalı bir yol izleyen manyetik akı çizgilerini oluşturur.

Deney düzeneği Şekil 2.3’ de yer almaktadır. Bu düzenekte bir taban üzerine yerleştirilmiş demir örnekler bulunmaktadır. Demir çubuk örneklerinin üzerine de aşağı yukarı hareketi sağlayacak bir platform yerleştirilmiştir. Bu kısım için manyetik olmayan bir malzeme seçilmiştir. Platform aracılığıyla, bir betonarme yapıda bulunan kolon veya kirişteki beton yüzeyi ile beton içinde bulunan demir donatı arasında pas payı olarak adlandırılan fark yükseklik olarak sağlanmaya çalışılmıştır. Son olarak da üste manyetize edici bobinler sağa ve sola hareket edebilecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2.3 Deney düzeneği.

Sistemin çalışmasına bakılacak olursa,



Şekil 2.4 Manyetize edici sistem.

HP33120A sinyal jeneratöründen alınan 6 Volt 80 Hz saf sinüs sinyalini SONY 505ES amplifikatöründe yükselttikten sonra demir çekirdek etrafına sarılmış bobinlere verildi. Bu bobinler yukarıda da bahsedildiği üzere platformun altında Şekil 2.2'deki gibi düzgün manyetik akı çizgileri oluşturmaktadır. Bobinler platform üzerinde Şekil 2.1' de gösterilen oklar doğrultusunda sağa ve sola hareket ettirilir ve bu hareket esnasında bir demir bileşenle karşılaşılırsa oluşan düzgün manyetik akı çizgileri bozunuma uğramaktadır. Bu bozunum ise Şekil 2.5' teki algılayıcı bobinlerle algılanmaktadır.



Algılayıcı bobinde manyetik akıyı yoğunlaştırabilmek ve sinyalin seviyesini artırabilmek için akı yoğunlaştırıcı olarak demir çekirdek kullanılmaktadır. Manyetize edici bobinlerin oluşturduğu ve demir çubukların bozduğu manyetik akı demir çekirdekli algılayıcı bobinin üzerinde bir etki oluşturur. Geliştirilmekte olan bu manyetik sistem bu etkinin algılanması üzerine kurulmuştur. Bu etki ise Faraday-Lenz yasasının bir uygulaması şeklindedir. Faraday- Lenz yasası gereğince şiddeti  $T$  değişen bir manyetik alan içersinde, sabit duran bir iletkende elektrik akımı indüklenir [37, 39]. Bu etki algılayıcı bobine bağlı olan bir işlemsel yükselteç tarafından yükselttilerek osiloskopa ve dijital voltmetreye aktarılmıştır. Sistemde her x ve y noktası için algılayıcı çıkış sinyali ölçülüp veriler toplanmıştır. Farklı demir örnekler için algılayıcı çıkış sinyalleri değişmektedir. Çünkü her farklı demir manyetik alanı farklı bir şekilde etkilemektedir ve algılayıcı bobin üzerine farklı bir etki yaratmaktadır. Bu sayede farklı demir donatılar ve farklı özelliklerdeki demirler sistem tarafından algılanmaktadır. Bu algılama yapılırken algılayıcı bobinin konumu önem kazanmaktadır. Algılayıcı bobinlerin konumu yapılan frekans ve



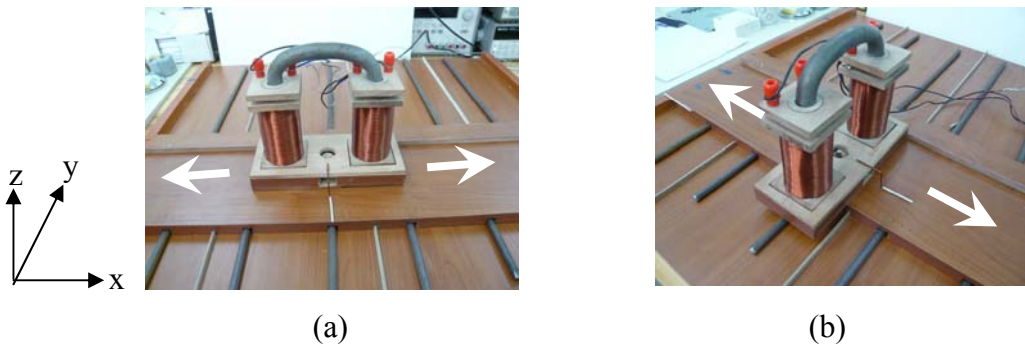
konum çalışmalarından sonra belirlenmiştir. Algılayıcı bobinler manyetize edici bobinlerin tam ortasında yaklaşık 1 cm altında yer almaktadır. Bu konum Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Algılayıcı bobinin konumu.

Algılayıcı bobinin konumu Şekil 2.6' daki gibidir. Bobin bu konumdayken sistemde en iyi çıkış sinyali elde edilmektedir.

Sistemde algılayıcı bobinin konumunun yanı sıra manyetize edici sistemin yönü de verilerin toplanmasında önemli bir etmendir. Manyetize edici sistem ile iki doğrultuda okuma bulunmaktadır. Bu okumalar paralel okuma ve dik okuma olarak adlandırılmıştır. (Şekil 2.7).

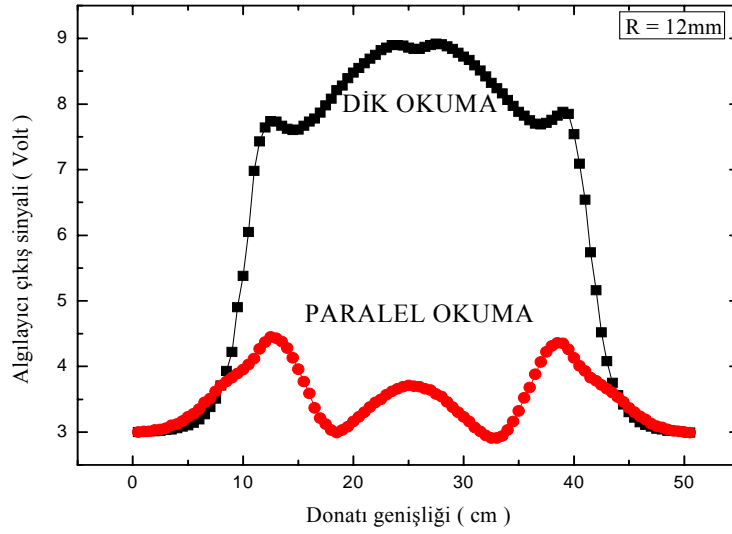


Şekil 2.7 (a) Dik okuma, (b) Paralel okuma.

Şekil 2.7 (a)' da gösterilen dik okumada manyetize edici sistem ile örnek demirler arasındaki açı  $90^0$  olacak şekilde hareket ettirilirse, sistemden demir donatı için maksimum algılayıcı çıkış sinyali elde edilmektedir. Bunun sebebi olarak da, platform altında oluşan akı, demir örnek üzerine geldiğinde, demir örnek ve

algılayıcı bobinin arasında toplanıp Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi algılayıcı çıkış sinyalini maksimum yapmaktadır.

Paralel okuma da ise manyetik akı bu kez demir donatı üzerinden kapalı eğrisini tamamlamaya çalışmaktadır. Bu okumada manyetik akı demir örneği tercih edeceğinden algılayıcı bobin üzerine bir sinyal indüklenmeyecektir. Dolayısıyla paralel okuma demir donatı hemen gözlemlenebilecek açık bir bilgi içermemektedir.



Şekil 2.8 Okuma yönüne bağlı algılayıcı çıkış sinyalleri.

Paralel ve dik okuma karşılaştırıldığında, paralel okuma demir donatı varlığını belirgin bir şekilde göstermektedir ve donatı için dik okuma kadar açık ve hemen kullanılabilir bir bilgi içermemektedir. Paralel okumayla alınan ölçümler üzerinde gerekli bilgilere ulaşmak için analiz yapılması gerekmektedir. Dik okuma ile yapılan ölçümlerde demir donatının varlığının yanında donatı hakkında bilgilere de daha kolay bir şekilde ulaşıldığından yapılan ölçümlerde dik okuma tercih edilmiştir.

Sonuç olarak sistem ile alınan ölçümlerde dik okuma kullanılmıştır. Sistem sonlu elemanlar yöntemiyle de modellenip manyetik akı çizgilerinin davranışları tartışılacaktır.

### 3. BÖLÜM

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

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 [42].

Yöne bağlı olan iki okuma şekli bu modellenme çalışmasıyla ayrıntılı incelenmiştir. Bu bölüm içinde yer verilecek olan modellemelerde, paralel okumada akı çizgilerinin değişimi daha fazla olmasına rağmen sistem için dik okuma tercih edilmiştir. Kısacası manyetik sistem ve çalışması modellenip açıklanacaktır.

Modelleme sırasında manyetik akı çizgileri için sınırlı bir uzay çizilmiştir. Bu uzayda manyetize edici eleman olarak 147200(A/m) alana sahip bir U mıknatısı kullanılmıştır. Sınırlandırılan uzayın içinde bulunan U mıknatısından çıkan 150 manyetik akı çizgisi bu modellenme için yeterli bulunmuştur. Sistemde yer alan demir örnek modellenen bu uzay içerisinde saf demir olarak alınmıştır. Boş uzay ise hava ile doldurulmuştur. Bu özelliklerdeki sistemin modellenmesi aşağıda verilmiştir.

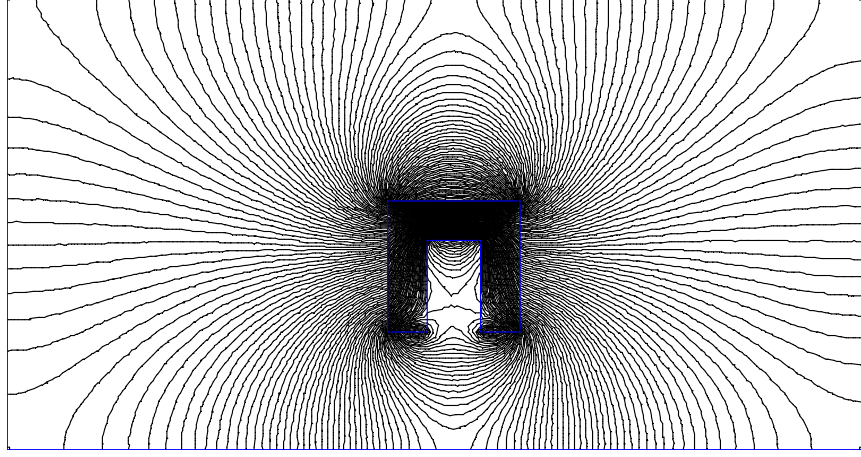
Manyetik sistemde bulunan U demir çekirdeğin etrafına sarılmış bobinler, modelleme yapılırken U mıknatısı olarak alınmıştır ve bu bölüm içinde yapılacak açıklamalarda modellenen manyetize edici sistemden mıknatıs olarak bahsedilecektir.

#### 3.1 Sistemin Modellenmesi

Yukarıda verilen özelliklerde bir modelleme yapıldığında manyetik alan çizgileri U mıknatısın etrafında Şekil 3.1' deki gibi dağılım göstermektedir.

Manyetik akı çizgilerinin hepsi mıknatısın içinden uzaya doğru yayılmaktadır. Şekilden de görüleceği gibi manyetik akı çizgilerinin en yoğun bulunduğu bölge, mıknatısın içi olup burası akı çizgilerinin yoğunluğu nedeniyle siyah renk ile belirtilmiştir. Akı çizgilerinin yoğunluğu mıknatısın kenarlarına doğru

azaldığından siyah renkli görünüm biraz daha seyrekleşmiştir. Uç noktalarda ise yoğunluk hala devam etmektedir.



Şekil 3.1 Boş uzayda U mıknatısının manyetik alan çizgileri.

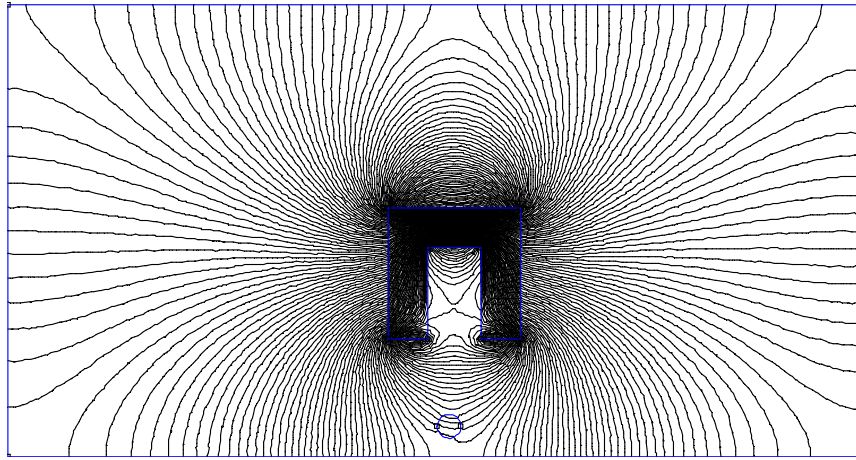
Bir manyetik alan çizgisi, mıknatısın bir kutbundan uzaya çıktıktan sonra diğer kutbunda son bulur. Genelleştirilirse N kutbundan çıkan akı çizgisi kadar S kutbuna akı çizgisi girer [30–35].

Şekilde görüldüğü gibi akı çizgileri kapalı bir yol izler ve bu çizgiler mıknatıstan uzaklaştıkça seyrekleşip, düzensizleşirler. Şekilde en düzgün manyetik alan mıknatısın bacaları arasında yaklaşık 1 cm altında bulunmaktadır. Aynı zamanda bu alan gerçek sistemde algılayıcı bobinin bulunduğu bölgeye karşılık gelmektedir. Bu bölgede oluşacak ufak bir değişim diğer bölgelere göre algılayıcı bobinin üzerinde daha büyük bir etkiye yol açmaktadır. Bu sebepten dolayı gerçek sistemde algılayıcı bobin bacaların tam ortasında yaklaşık 1 cm altında yer almaktadır.

### 3.2 Dik Okumada Sistemin Modellenmesi

Şimdiye kadar bahsedildiği gibi manyetik sistem ile akı çizgilerinin değişimini algılamakta ve bu değişimden elde edilen verilerle demir donatı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır. Bölüm 3.1’ de boş uzaydaki manyetik akı çizgilerin davranışı modellenmiş ve açıklanmıştır. Aynı değerlerle yapılan ve sistemde dik okumaya karşılık gelen modeldeki akı çizgilerinin davranışı Şekil 3.2’ de açıkça

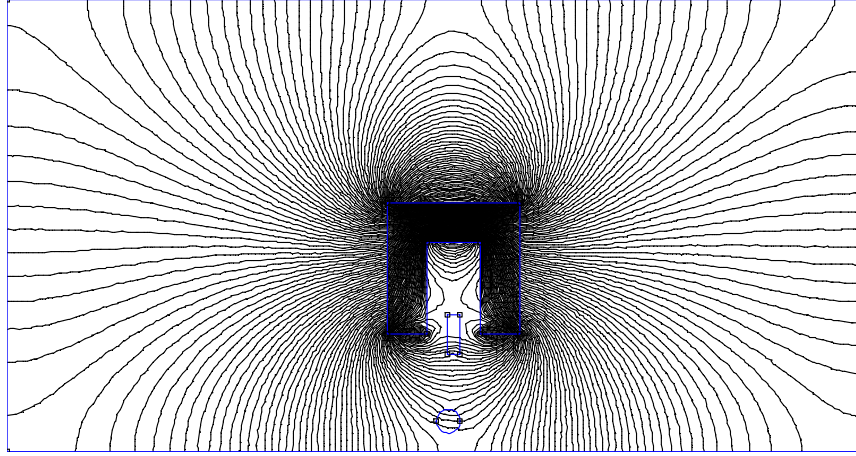
görülmektedir. Burada mıknatısın bacakları arasında ve sayfa düzlemine dik demir çubuk bulunmaktadır. Demir çubuk bu konuma yerleştirilirken gerçek sistemdeki yükseklik farkı korunmuştur. Demir çubuk için dik okumaya karşılık gelen geometrik yapısından dolayı akı çizgileri demir çubuğun içinden fazla miktarda geçememekte ve üzerinde toplanmaktadır. Bu durumda da bacaklar arasındaki akı yoğunluğunu değiştirmektedir. Bu değişim ise algılayıcı bobin üzerinde bir etki oluşmaktadır. Algılayıcı çıkışı işlemsel yükselteçle yükseltılarak okuma yapılmıştır.



Şekil 3.2 Dik okumada manyetik akı çizgilerinin davranışı.

Dik okumada manyetik sistemin akı çizgilerinin davranışı Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Bu modellemede algılayıcı olarak Şekil 2.5 (a)’ da gösterilen hava çekirdekli bobin düşünülmüştür. Ama gerçek sistemde yapılan ölçümlerde demir çekirdekli algılayıcı bobin kullanılmıştır. Algılayıcı bobinde bulunan demir çekirdeğin manyetik alan üzerine etkisi Şekil 3.3’ te gösterilen modellemeyle verilmiştir. Şekil 3.3’ teki modelde algılayıcı bobin ortasında yer alan demir çekirdek gerçek sistemde bulunduğu konumuyla aynı olan mıknatısın bacakları arasına yerleştirilmiştir. İkinci bölümde sistem açıklanırken demir çekirdeğin manyetik akıyı yoğunlaştırmak ve algılayıcı çıkış sinyalinin şiddetini artırmak amacıyla yerleştirildiğinden bahsedilmiştir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’ teki manyetik akı çizgilerine dikkat edilirse, modellerde demir çekirdeğin kullanılmasıyla akı çizgileri konum olarak biraz daha yukarıya yönelmiştir. Hatta demir örneğin içindeki akı çizgileri bile bu demir çekirdekten etkilenip yukarı doğru yönelmiştir. Yukarıya

doğru yönelen bu akı çizgileri algılayıcı bobinin sinyal Őiddetinin artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.3 Demir ekirdekli algılayıcı bobin kullanılan sistemin modellenmesi.

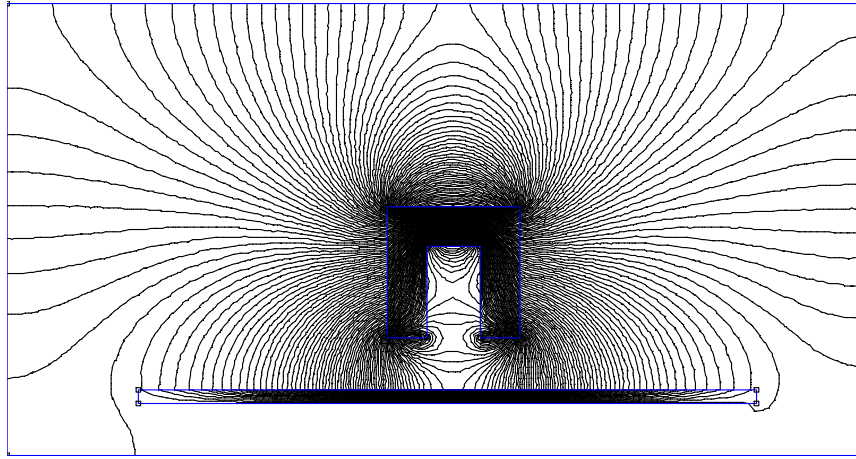
Dik okuma için hava çekirdekli ve demir çekirdekli algılayıcı bobinlerin üzerinde etki oluŐturan manyetik akı çizgilerinin modellenmesine Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’ te yer verilmiştir. Modeller gerçek manyetik sistem ile birebir rtuŐme sağlamaktadır. Yapılan lmler sırasında algılayıcı bobin içerisinde kullanılan demir çekirdek ile sinyal Őiddetindeki değişiklik açıkça görülmüştür.

### 3.3 Paralel Okumada Sistemin Modellenmesi

İkinci bölümde, Şekil 2.8’ de verilen grafikte, paralel okuma ve dik okuma için algılayıcı çıkış sinyallerinin değişiklik gösterdiğini, paralel okumada sadece demirin varlığının tespit edildiğini, demir örnek hakkında hemen görülebilecek açık bir özel bilgi vermediği yapılan açıklamada da belirtilmiŐti. Daha nceki bölümlerde, bu tahribatsız manyetik lme sistemi manyetize edici sistemin platform altında oluşturduğu düzgün manyetik akı çizgilerinin demir örnek üzerine geldiğinde bir değişime sebep olduğu ve bu deđiŐiminde algılayıcı bobin üzerinde bir etki oluŐturduđundan bahsedildi.

Sistem FEM ile modellendiğinde manyetik akı çizgilerinin değişimi paralel okumada daha net olarak gözlemlenmektedir. Ama sistem için uygun okuma olarak dik okuma seçilmiştir. Bunun sebebine yapılan modellenmeler ile değinilecektir.

Paralel okuma modellendiğinde akı çizgileri Şekil 3.4’ te görüldüğü gibi bir dağılım göstermektedir. Bu modelde manyetik akı çizgileri dik okumadaki gibi demir örneğin üzerinde toplanmayıp, demir örneğin içinden geçmeyi tercih etmiştir. Bunun sebebi demir örneğin kolay mıknatıslanma yönünün boyuna olması ve akı çizgilerinin hava yerine kolay mıknatıslanma yönünde bulunan demir örneğini tercih ederek kapalı eğrisini tamamlamaya çalışmasıdır.



Şekil 3.4 Paralel okumada manyetik akı çizgilerinin davranışı.

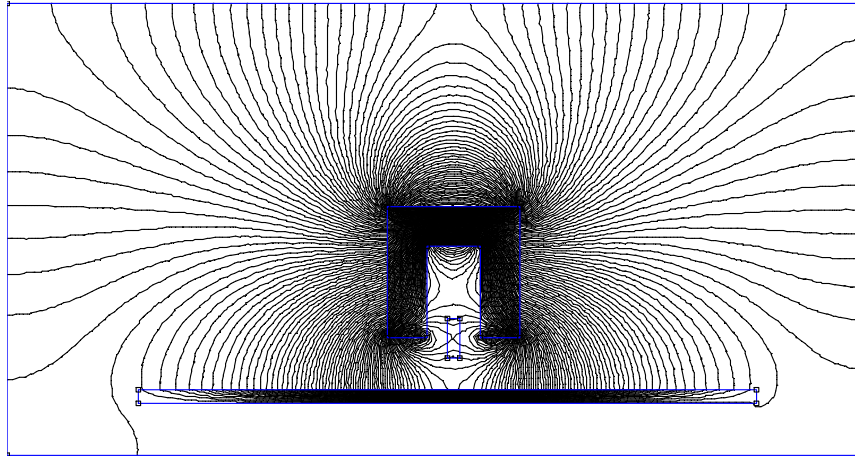
Şekil 3.4’ te görüldüğü üzere sayfa düzlemine paralel duran demir örnek manyetik akı çizgilerinin çoğunu üzerine toplamıştır. İlk bakıldığında paralel okumada çizgileri daha fazla değişmektedir. Ama bu değişim sistem için uygun olmayıp algılayıcı bobin üzerine güçlü bir sinyal indüklememektedir.

Algılayıcı bobinde bir sinyalin indüklenmesi için manyetik akı çizgilerinin bobinin bulunduğu bölgelerde değişmesi gerekmektedir. Paralel okumada ise akı çizgileri genel olarak demir örneğin yakınlarında bir bölgede değişime uğradığından bu değişim örneğin üzerinde yaklaşık 3 cm yukarıda bulunan algılayıcı bobin tarafından algılanamamaktadır. Bobinin demir çubuktan bu uzaklığının sebebi pas payı olarak adlandırılan mesafeden kaynaklandığı önceki bölümde açıklanmıştı. Dolayısıyla manyetize edici bobin ve demir örnek arasındaki bu pas payı farkının korunması gerektiğinden ve oluşan sinyal değişimi bu mesafeden algılanmasını gerektirmektedir. Bu mesafedeki algılamada demir örnek için belirgin bir özel bilgi taşımamaktadır.



Paralel okumada algılayıcı bobin tarafından algılanan akı değişimi yoğun olarak örneğin uç noktalarında değişip örneğin orta bölümlerinde ise bu değişim azalmakta algılayıcı çıkış sinyalini etkilemektedir. Bununla ilgili grafiğe ikinci bölümün sonunda Şekil 2.8' de yer verilmiştir. Paralel okumada sinyalin maksimum değere ulaştığı yerler demir örneğin uç noktalarını göstermektedir. Demir örneğin tam ortasında sinyalin değeri tekrar yükselip sonra yine azaltmaktadır. Bu paralel okuma grafiği herhangi bir bilgi içermemektedir.

Paralel okumada algılayıcı sinyalinin yükselmesi için demir çekirdek tekrar kullanıldı ama bu okumada akı çizgileri demir örneği tercih ettiğinden sinyal çıkışında çok büyük bir değişiklik gözlenemedi.



Şekil 3.5 Demir çekirdekli algılayıcı bobin kullanılan sistemin modellenmesi.

Demir çekirdekli algılayıcı bobin kullanılarak paralel okumayla değişik örnekler tarandı. Bu örnekler üzerinde bulunan ezilme, burkulma ve kesik gibi kusurlarda manyetik akı davranışını değiştirmeyip, bobin üzerinde bir sinyal indüklememiştir. Manyetik akı, demiri tercih edip örnek üzerinden yolunu tamamlamaya devam etmiştir. Ya da manyetik akı bu bölgede bir  $B_y$  bileşeni oluşturduysa bile bu algılayıcı bobine kadar ulaşmamış veya algılayıcı bobinde gürültüyle beraber küçük değişimler yaratmış olabilir. Bu değişimler sinyalde güçlü bir etki oluşturmadığından çizilen grafiklere de yansımamıştır.



Sonuç olarak yapılan modellemelerde paralel okumada akı değişimi algılayıcı bobinin bulunduğu bölgede az olduğundan çıkış sinyalinde güçlü bir etki oluşturmamaktadır. Dik okumada ise demir örnek ile demir çekirdekli algılayıcı bobin arasında toplanan akı, sinyal çıkışında sadece demirin varlığı hakkında değil, demir hakkında diğer özel bilgilere ulaşmamızı da sağlamıştır. Bu yapılan ölçümler ve modellenmeler sonucunda sistem için dik okuma tercih edilmiştir. Dördüncü bölümde tartışılacak ölçümlerin hepsi dik okuma ile yapılmıştır.

## 4. BÖLÜM

Bu bölümde sözü geçen manyetik sistemin uygulamaları ve elde edilen sonuçları tartışılacaktır. Sistemin genel bir fotoğrafı Şekil 4.1’ de verilmiştir. Buradaki sistemde demir örnekler rahat bir şekilde değiştirilerek çeşitli örgüler düzenlenmiş elde edilen verilerle de grafikler çizilmiştir.



Şekil 4.1 Manyetik sistem.

Manyetik sistem için gerekli bilgiler birinci bölümden bu yana verilmektedir. Sistemin çalışması modellenmesi açıklandıktan sonra sistemle, yapılan değişik demir örgülerin verileri toplanmış grafik haline dönüştürülmüştür. Bu grafiklere ve grafik yorumlarına bu bölümde yer verilecektir.

### 4.1 Deneysel bulgular

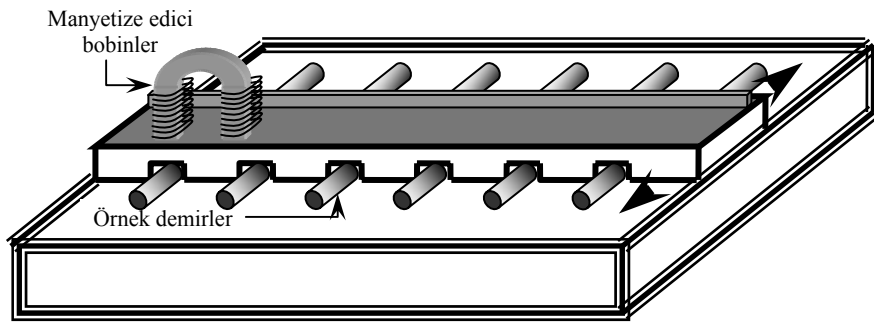
Bu çalışmada ilk olarak manyetize edici bobinlere verilen sinyalin ve sinyal yükseltmesinin kalibrasyonu yapıldı. Sinyal üreticinden alınan 1 Volt genlikli sinüs sinyalinin frekansı 10 Hz’ ten, 250 Hz’ e kadar çıkartılıp algılayıcı bobinin çıkış sinyali gözlemlendi. Bu gözlem, manyetize edici sistemin konumu demir örnek üzerindeyken ve iki demir örnek arasındayken algılayıcı çıkış sinyal değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Aynı gözlemler, yani demir örnekli ve örneksiz algılayıcı çıkış değerlerinin karşılaştırılması 10 Volt genliğine kadar çıkıp aynı frekans aralığında (10 – 250 Hz) tekrarlandı. Ve sistem genlik olarak 6 Voltta kalibre edildi. Genliğin

kalibrasyonundan sonra frekans değişimi gözlemlendi. Genlik kalibrasyonu sırasında yapılan frekans değişimlerinde sistemden genel olarak 50 ila 100 Hertz arasında iyi sonuçlar alınmıştı. Bu değer aralığında daha düşük artırmalarla yapılan gözlemlerde sistem için 80 Hz' in uygun olduğu belirlenmiştir. Sistemde manyetize edici bobinler ve sinyal jeneratörü arasında bulunan amplifikatör, her seferinde algılayıcı çıkış sinyalinin -ki bu sinyal bir sinüs sinyalidir- osiloskopta kırpmaya uğrayıncaya kadar değer olarak yükseltilmiştir. Bu şekildeki yükseltme her değer için yapıldığından standart bir yükseltme elde edilmeye çalışılmıştır. Kalibrasyonun sonunda yükseltme 6 V ve 80 Hz içinde tekrarlanmıştır.

Manyetize edici sistemle gerekli tartışmalar ve kalibrasyonlardan sonra ölçümlere geçilmiştir.

şekil 4.1 ve 4.2' de görüldüğü gibi bir taban üzerine demir örnekler sıralanmıştır. Bu taban 70 x 70 cm ölçülerindedir ve üzerinde her 10 cm de bir demir örnek bulunmaktadır. Bu örnek demirlerin boyutları 60 cm' dir.

İkinci bölümde sistem açıklanırken bahsedildiği gibi platform y doğrultusunda, manyetize edici sistem ise x doğrultusunda, hareket ettirilip her x değeri için y değerleri toplanmıştır. Bu değerlerle, demirlerin yerini ve kalınlıklarının bulunması için algılayıcı çıkış sinyaline karşı donatı genişliğinin iki boyutlu grafiği çizilmiştir. Toplanan değerler matrisine çevrilerek gri ölçeklendirme grafikleri de elde edilmiştir.

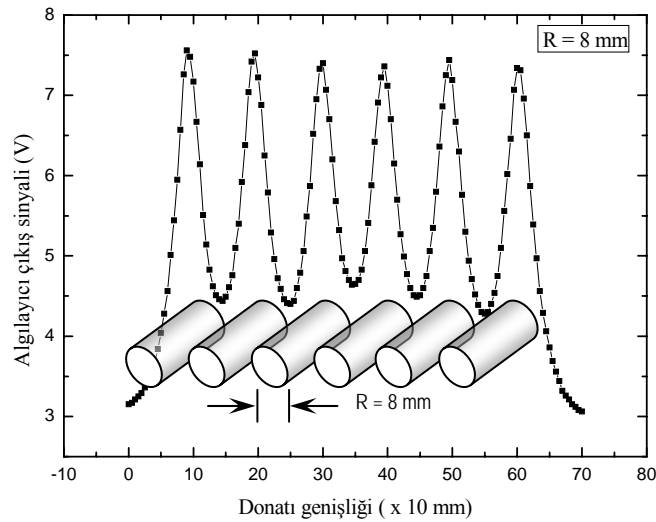


şekil 4.2 Demir çubukların yerleştirildiği manyetik ölçüm sistemi.

Manyetize edici sistem platform üzerinde hareket ettirildiğinde algılayıcı bobinin çıkış değeri değişmektedir. Başlangıçta bitişlerde sırasıyla sağında ve solunda bulunan tek demir örnekten dolayı algılayıcı çıkış sinyali en düşük değerini göstermektedir. Algılayıcı çıkışı, demir örnek üzerinde en yüksek, iki demir örnek

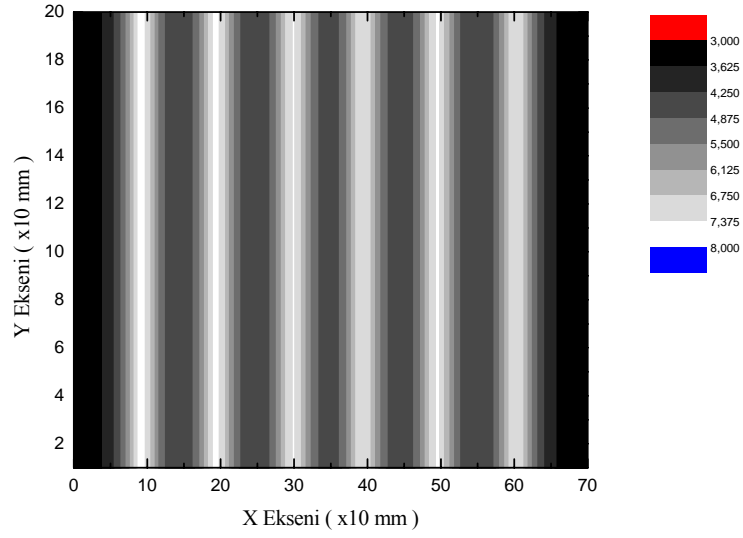
arasında ise bu en yüksek ve en düşük sinyal değerinin arasında ikinci bir minimum değer göstermektedir.

R=8 mm' lik inşaat demiri için alınan ölçüm değerlerinde Şekil 4.3' te görüldüğü üzere başlangıç ve bitiş noktalarındaki algılayıcı çıkış sinyali grafiğinin en düşük değerleri göstermektedir. Sistem demir örneğe doğru yaklaşırken algılayıcı çıkış sinyalinin arttığı görülmektedir. Bu artış demir örneğin üzerine geldiğinde en yüksek değerine ulaşmış bu değerden sonra düşmeye başlamıştır. Algılayıcı çıkışı iki demir örnek arasında geldiğinde düşüşünü tamamlayıp ikinci bir minimum noktasından sonra tekrar artmaya başlayacaktır. Bu şekilde taranan düzlemde algılayıcı çıkışının maksimum olduğu noktalar, demir örneğin bulunduğu, minimum olduğu noktalar ise iki demir arası veya demir örneğin bulunmadığı noktalardır.



Şekil 4.3 R=8 mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

Bu açıklamayla birlikte Şekil 4.3' teki grafik anlam kazanmaktadır. Yapılan demir çubuk çizimleriyle de sinyalinin maksimum olduğu noktalarda demir örneğin bulunduğu, minimum olduğu noktalarda ise iki demir arasına işaret edilmek istenmektedir.

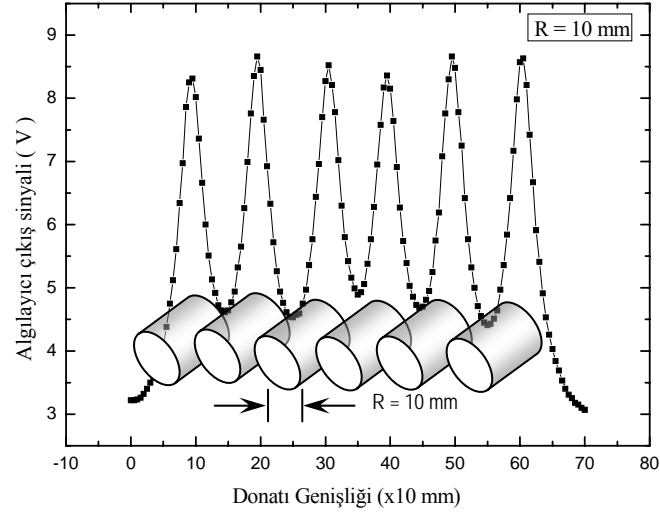


Şekil 4.4 R=8 mm' lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi.

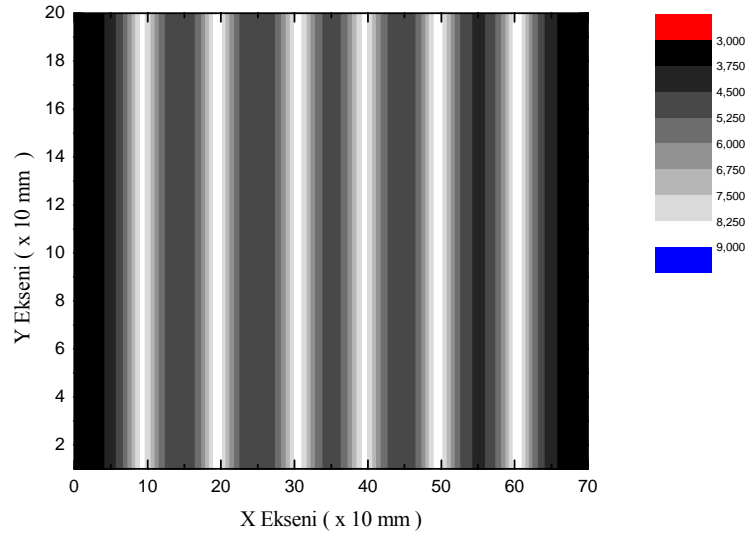
x doğrultusunda 70 cm y doğrultusunda 20 cm taranan bölgedeki verilerin oluşturduğu matrisle çizilen gri ölçeklendirme grafiği Şekil 4.4' te verilmiştir. Bu grafikte ise algılayıcı çıkış sinyalinin yüksek olduğu yani demir örneklerin bulunduğu bölgeler beyaz, algılayıcı çıkışının düşük yani demir örneğin bulunmadığı bölgeler gri ve siyah ile gösterilmiştir. Şekil 4.3' te görüldüğü üzere başlangıç ve bitiş noktalarında algılayıcı çıkışı en düşük değerine gidiyordu. Bu düşük değer gri ölçeklendirmede siyah tonlamaya doğru kaymaktadır. Demir örneklerin bulunduğu bölgeler beyaz, iki demir örnek arasında ise gri tonlamaya doğru kaymaktadır. Şekil 4.3' teki bir minimum noktasından bir maksimum noktasına geçişteki gözlenen artış gri ölçeklendirmede renk tonları arasında gözle görülür yumuşak bir geçişe neden olmuştur. Sonuç olarak iki boyutlu grafiklerde maksimum değerlerinde, gri ölçeklendirmede ise beyaz bölgelerinde demir örneğin varlığından söz edilmelidir. Bu ölçümler 10 mm ve 12 mm' lik demirler içinde tekrarlanıp aynı sonuçlar elde edilmiştir.

R=10 mm' lik demir örnekten oluşan örgü tarandığında R=8 mm' lik demirin sahip olduğu grafiklere benzer grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.5' te verilen grafikte değişen sadece algılayıcı çıkış değeridir. R=10 mm' lik demir örnek için algılayıcı

çıkış sinyali ile  $R=8$  mm' lik demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin arasında değer olarak bir fark bulunmaktadır ve bu fark gri ölçeklendirmeye demir bölgelerinin tonlamasının biraz daha beyaza kayması olarak yansımıştır. Algılayıcı çıkış sinyalinin karakteri değişmemiştir. Bu da Şekil 4.5 ve 4.6' daki grafiklerden açıkça görülmektedir.

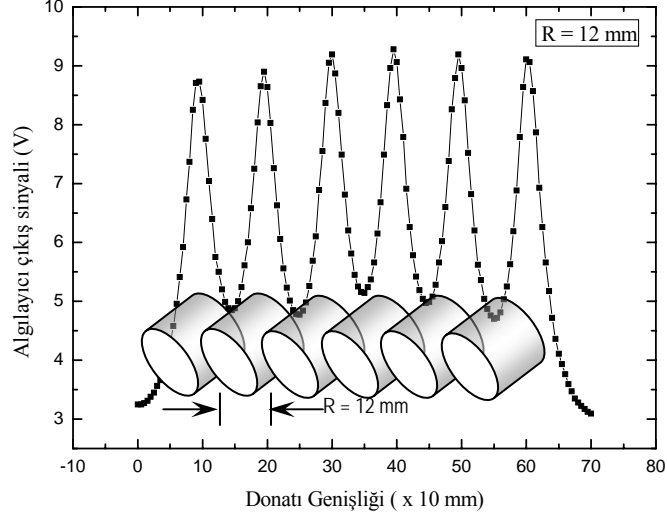


Şekil 4.5  $R=10$  mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

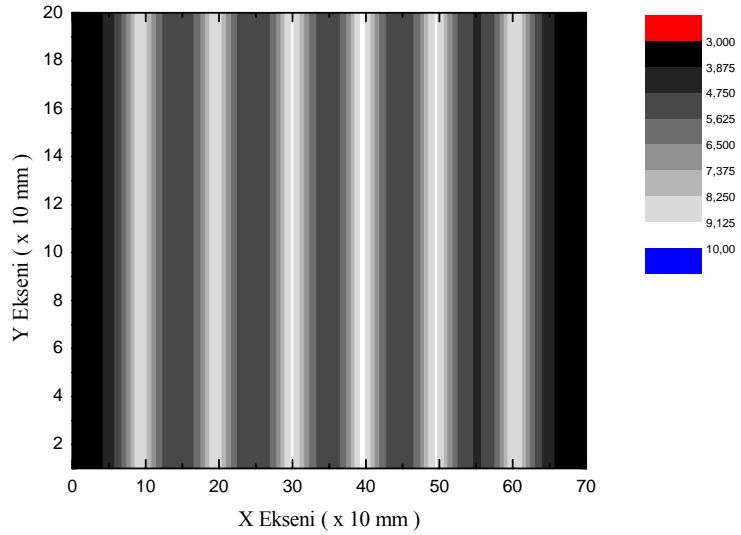


Şekil 4.6  $R=10$  mm' lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi.

R=12 mm olduğunda yine algılayıcı çıkış sinyalinde bir artış gözlenmekte bu artış gri ölçeklendirmede demirlerin bulunduğu bölgedeki tonlamanın biraz daha beyaza kaymasına sebep olmaktadır.

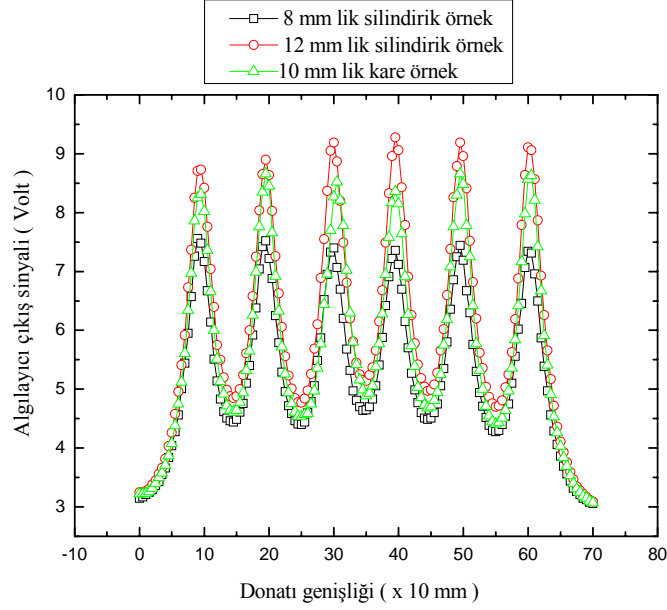


Şekil 4.7 R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.



Şekil 4.8 R=12 mm' lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi.

Demir örnekler için algılayıcı çıkış değerlerinin farklı olduğu bahsedilmiştir. Bu üç demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalleri karşılaştırılırsa başlangıç ve bitiş noktalarındaki değerler aynı fakat çapı büyüyen demirlerin maksimum noktalarındaki değerleri de büyümektedir. Bununla beraber iki demir arası minimum değerde artmaktadır. Bu karşılaştırma açık bir şekilde grafikte gözlemlenmektedir.



Şekil 4.9 R=8 mm, R=10 mm, R=12 mm' lik demirlerden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiklerinin karşılaştırılması.

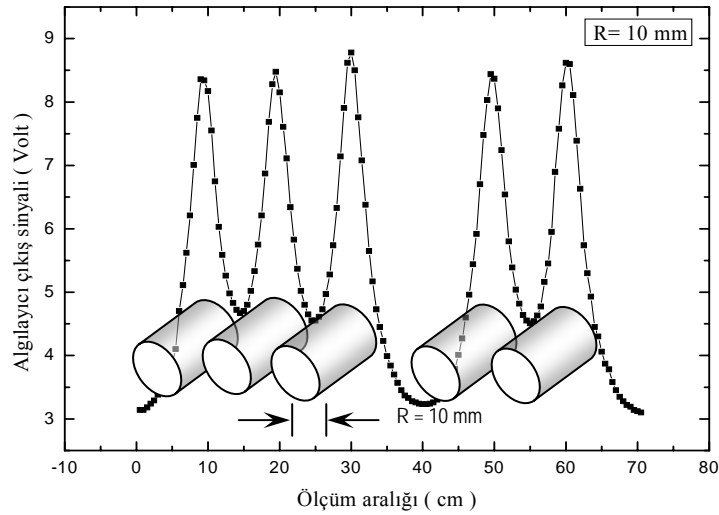
Şekil 4.9' de verilen grafikte yukarıdan aşağıya sırasıyla R=12 mm, R=10 mm, R=8 mm' lik demir örneklerden oluşan örgünün algılayıcı çıkış sinyalleridir. Çap kalınlığının algılayıcı çıkış sinyaline etkisi beton içindeki demir donatının kalınlığının sabit yükseklikten algılanabileceği varlığının ise yüksekliğe bağlı kalınlıktan güvenilir bir şekilde algılanabileceği gözlemlenmiştir.





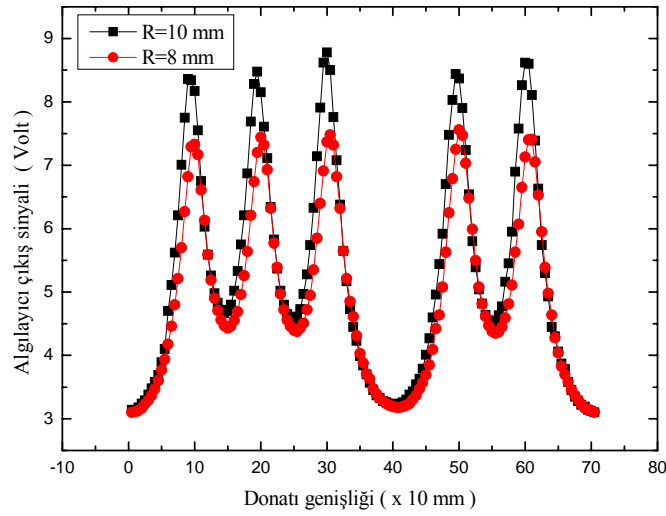
Eksik örgü grafiğine bakılır ve tekrar açıklama yapılırsa eksik demir örneğin bulunduğu bölgede algılayıcı çıkış sinyali başlangıç değerine dönmüştür. Bu bölgedeki manyetik akı yoğunluğu başlangıç değerleriyle aynı olduğunun göstergesidir. Çıkartılan eksik demirden dolayı örnek demirler arasındaki mesafe artığından buradaki manyetik akı yoğunluğu diğer örnekler arasındaki akı yoğunluğundan daha düşük hatta başlangıç ve bitiş değerlerine karşılık gelmektedir.

Gri ölçeklendirmede algılayıcı sinyal çıkışının diğer bir deyişle o bölgedeki manyetik akı yoğunluğunun değerine göre atanan tonlamada siyah olan bölgeler manyetik akının en az olduğu beyaz olan bölgeler manyetik akının maksimum olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Bu tonlama farkı belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.11’ de manyetik akının az olduğu iki demir örnek arasındaki bölge siyah ile belirtilmiştir. Bu bölgenin tonlaması  $R=10$  mm ve  $R=12$  mm’ lik demir örnekler için çizilen gri ölçeklendirme grafiğinde tonlaması griye doğru kaymaktadır. Bunun sebebi ise manyetik akının örnek demirler arasında demirin kalınlığına göre değer olarak değişiklik göstermesidir. En düşük akı yoğunluğu başlangıç ve bitiş bölgelerinde karşımıza çıkmaktadır. Demir örnekler arasında iki boyutlu grafiklerinde anlatılan ikinci minimum noktasının ve gri ölçeklendirmede yer alan iki demir arasındaki bölgenin tonlama farkının sebebinin oluşturduğu bu akı farkıdır.



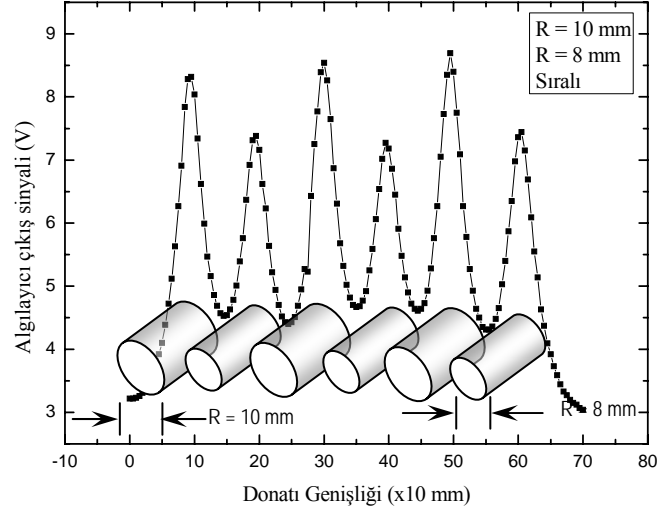
Şekil 4.12  $R=10$  mm’ lik demirden oluşan eksik örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

R=10 mm' lik demir örneklerden oluşan eksik örgü grafiğinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sistem yine eksik demir örneğin bulunduğu noktada en düşük çıkış değerini vermiştir. Buradaki algılayıcı çıkışı ile R=8 mm' lik demir örneklerden oluşan örgüde eksik demir örnek bölgesindeki algılayıcı çıkışı aynı değerlerde gözlemlenmektedir. Çap kalınlığı farkından dolayı yine maksimum ve iki demir arasındaki minimum noktaları arasında algılayıcı çıkış farkı gözlemlenmiştir.



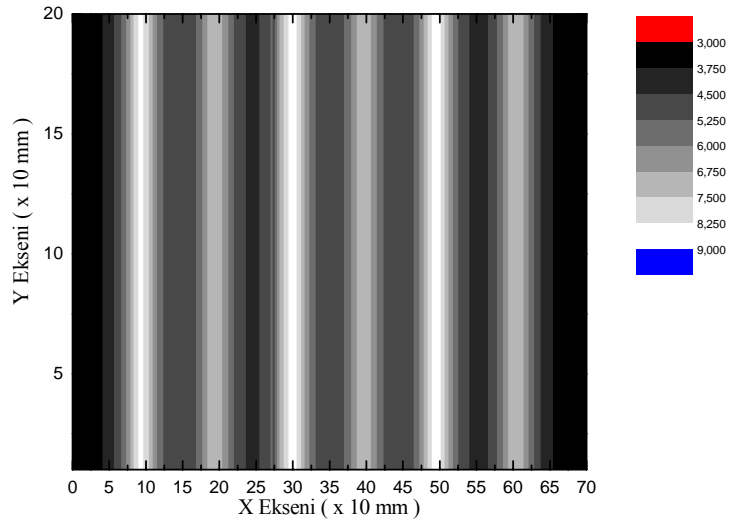
Şekil 4.13 R=8 mm ve R=10 mm' lik demirden oluşan eksik örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiklerinin karşılaştırılması.

Yapılan karşılaştırmada demir kalınlıklarının farkı yine algılanmıştır. Algılayıcı çıkış sinyali kalınlık farkından dolayı yükselmiştir. Bu ölçümde eksik donatı doğru bir şekilde algılanmıştır.

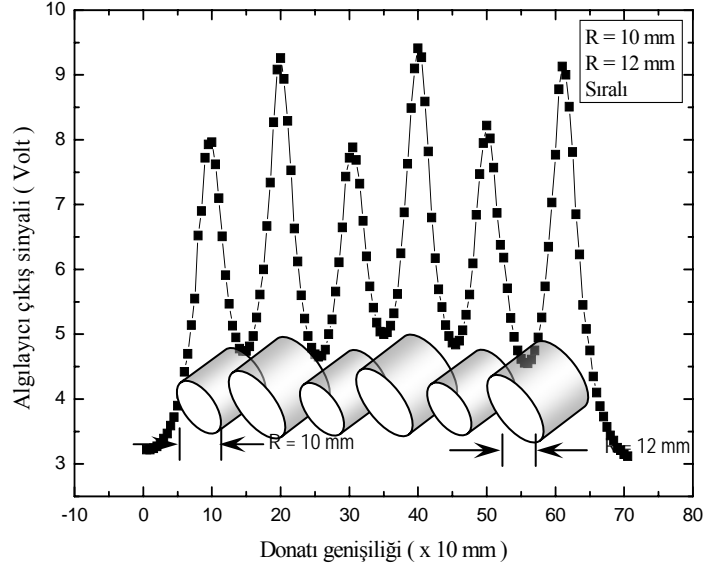


Şekil 4.14 R=10 mm ve R=8 mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

Değiştirilen örgülerle alınan grafiklerde R=10 mm ve R=8 mm demir örnekler ile oluşturulan örgünün grafiği Şekil 4.14' te verilmiştir. Kalınlık farkından dolayı maksimum ve minimum noktalarındaki algılayıcı çıkış sinyali değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik ise gri ölçeklendirmeye yansımış R=8 mm' lik örnek demir ile R=10 mm' lik örnek demir arasında oluşan tonlama farkı açıkça Şekil 4.15' te gözlemlenmiştir.

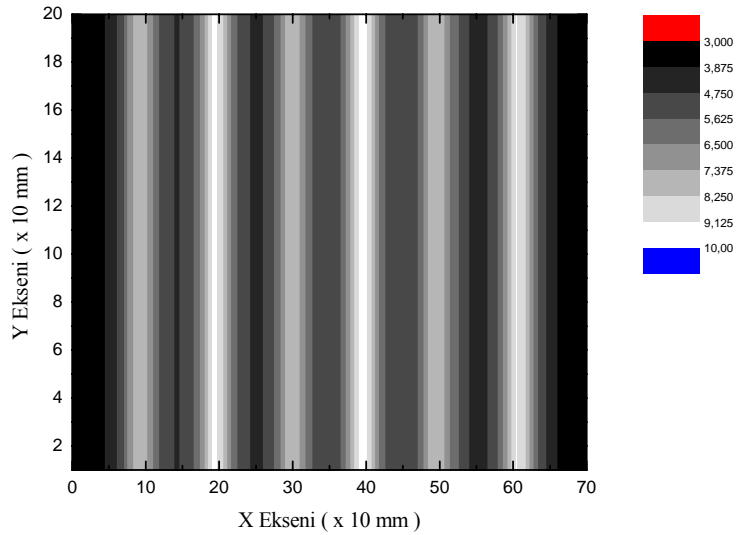


Şekil 4.15 R=10 mm ve R=8 mm' lik demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirme.



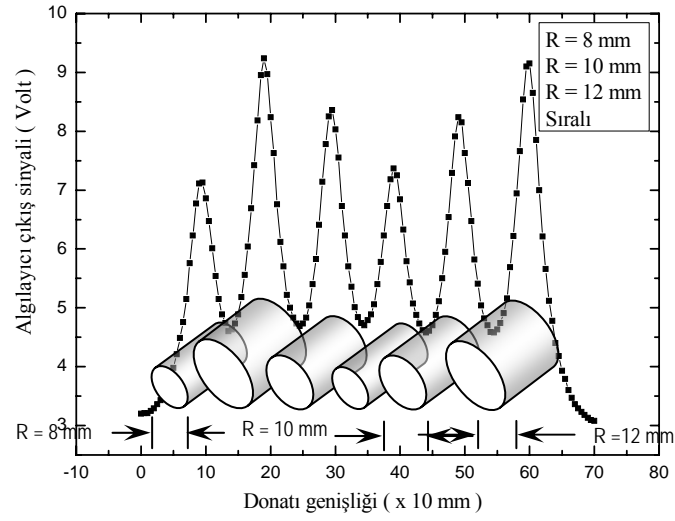
Şekil 4.16 R=10 mm ve R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

Değiştirilen örgülerle alınan grafiklerde R=12 mm ve R=10 mm demir örnekler ile oluşturulan örgünün grafiği Şekil 4.16' da verilmiştir. Kalınlık farkından dolayı maksimum noktadaki algılayıcı çıkış sinyali değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik ise gri ölçeklendirmeye yansımış R=10 mm' lik örnek demir ile R=12 mm' lik örnek demir arasında oluşan tonlama farkı açıkça Şekil 4.17' de gözlemlenmiştir.



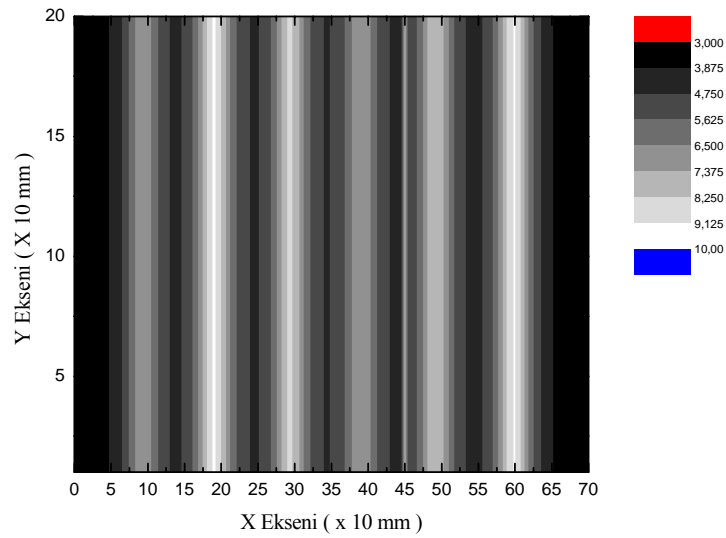
Şekil 4.17 R=10 mm ve R=12 mm' lik demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirme.



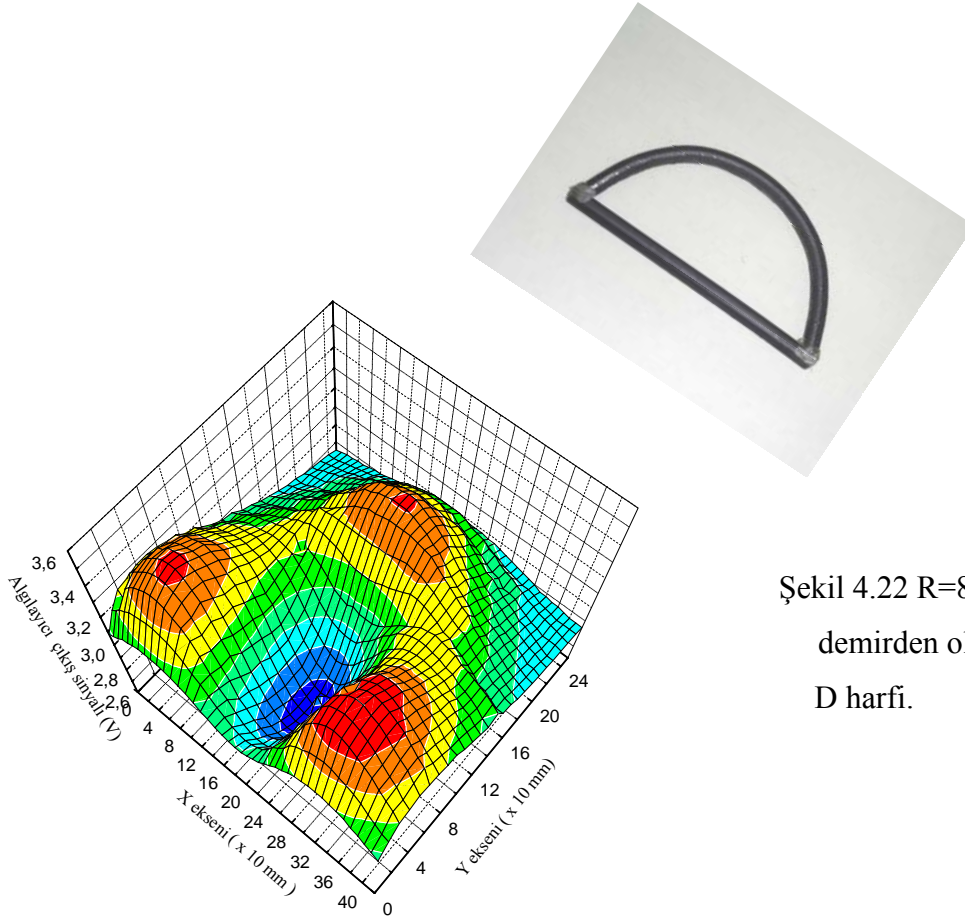


Şekil 4.20 R=8 mm, R=10 mm ve R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

Değiştirilen örgülerle alınan grafiklerde bu kez tüm demir örneklerden oluşan örgü tarandı. Örgünün grafiği Şekil 4.20' de verilmiştir. Kalınlık farkından dolayı maksimum noktalarındaki algılayıcı çıkış sinyali değişiklik göstermektedir. Bu değişiklik ise gri ölçeklendirmede güzel bir görüntü oluşturmuştur. Örnek demirlerin kalınlık farkından dolayı oluşan tonlama farkı açıkça Şekil 4.21' de gözlemlenmiştir



Şekil 4.21 R=8 mm, R=10 mm ve R=12 mm' lik demir örneklerden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi.

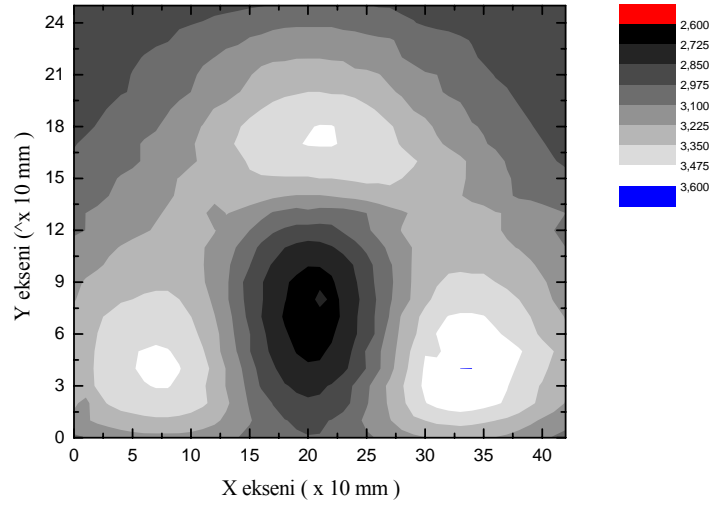


Şekil 4.22 R=8 mm'lik demirden oluşturulan D harfi.

Şekil 4.23 D harfi için alınan verilerle çizilen renkli üç boyutlu grafik.

Manyetik sistemle R=8mm' lik demirden oluşturulan bir D harfi tarandı. Bu taramada D harfinin dairesel kısmı belirgin bir şekilde algılanabildi. Doğrusal kısım ise çizilen grafikte açık bir şekilde görünmemektedir. Bunun sebebi olarak ta paralel ve yan okuma arasındaki sinyal farkı verilebilir. D harfini tararken dairesel kısım için dik okumaya karşılık gelen ölçüm doğrusal kısım için paralel okumaya geldiğinden sinyal şiddeti düşmektedir. Aslında yapılan ölçümde doğrusal kısımda algılanmaktadır fakat bu kısımdaki sinyal şiddeti dairesel kısımda alınan ve dik ölçüme karşılık gelen sinyal şiddetinden daha düşük olduğundan gri ölçeklendirme çok belirgin bir şekilde görülmemektedir





Şekil 4.24 D harfinin gri ölçeklendirmesi.

Gri ölçeklendirmede dairesel kısım açıkça belli olmakta doğrusal kısım için düşük sinyal çıkışı renklendirmede belirsizleşmektedir. Üç boyutlu renkli grafikte D harfi biraz daha iyi görülebilmektedir.

Bu grafiklerden sistemin yöne bağlı okuması bir dezavantaj olarak ortaya çıkmıştır. Sistem farklı kalınlıklardaki demir örgüyü algılamış ama bir iki boyutlu bir örnek taramasında çok belirgin ve iyi bir sonuç verememiştir. Bu farklı seviyelerdeki sinyallerle oluşturulan grafik ve ölçümler yapılacak olan bir yazılımla çözülmesi hedeflenmektedir.

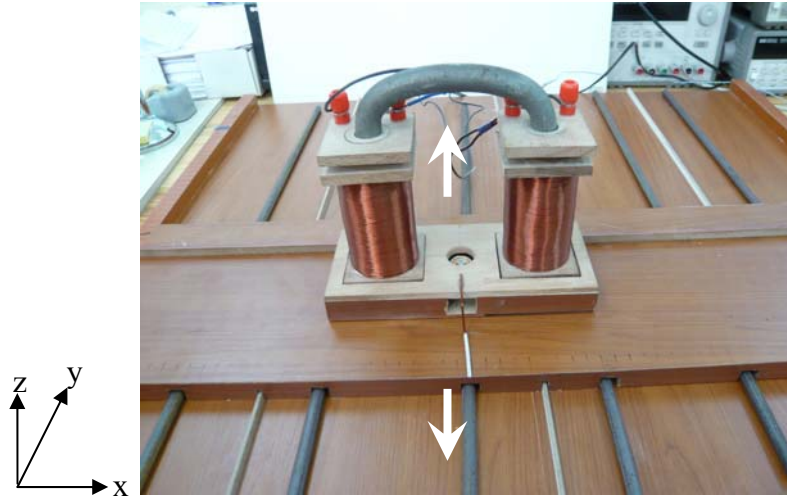
Farklı demir örneklerle yapılan ölçümlerde, demir örneklerin kalınlığının ve örgü içindeki varlığının tespiti doğru bir şekilde yapılmıştır. Farklı kalınlardaki demir örneklerden oluşturulan örgülerde de kalınlık tespiti doğru bir şekilde yapılmıştır.

Bu ölçümler tamamlandıktan sonra tek demirle yapılan ölçümlere geçilmiştir. Bu ölçümlerde ise giriş bölümünde verilen niceliklerden

- Demir çubukların üzerinde oluşan gerilmeler,
- Demir çubuklardaki kırılma ve kopmalar,
- Demir çubuklar üzerinde oluşan korozyona bağlı deformasyonlar

belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu ölçümler tek demir örnek ile yapılmıştır. Tek demir örnek taban üzerinde oturtulup manyetize edici sistem tam demir örnek üzerine getirilip platform hareket ettirilerek ölçümler alınmıştır.

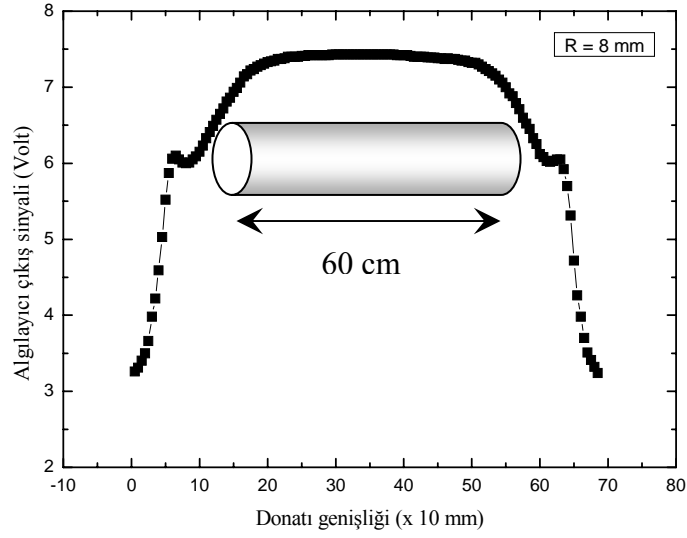


Şekil 4.25 Tek demir ölçümü.

Bu ölçüm alınırken manyetize edici sistem x ekseninde hareket ettirilmemiştir. Demir örnekler, y ekseninde boyuna tarama yapılarak veriler toplanmıştır.

Yapılan ilk ölçümde  $R=8$  mm' lik demir örnek taranmıştır. Bu ölçümde kullanılan demir örnekte herhangi bir etki yoktur. Bu ölçüm  $R=8$  mm' lik demir için bir referans özelliği taşımaktadır.

Demir üzerinde herhangi bir etki yok ise algılayıcı sinyal çıkışından elde edilen verilerle çizilen grafik şekil 4.26' da verilmiştir.



Şekil 4.26  $R=8$  mm' lik tek demir için alınan ölçüm.

Bu ölçümlerde algılayıcı çıkış sinyali demir boyunca bir değerde sabitlenmiştir. Demir üzerinde herhangi bir etki olmadığından grafikte bir sapma görülmemiştir. Demir örneğin bir fotoğrafı 4.27' de verilmiştir.



Şekil 4.27  $R=8$  mm' lik örnek demir.

Bu demir taranırken manyetize edici sistem demire yaklaşırken algılayıcı çıkış sinyali yükselmektedir. Demirin üzerindeyken ise sabit bir değerde kalmaktadır. Demirden uzaklaştıkça sinyal yine düşmektedir.

Şekil 4.27’deki demir örnek Şekil 4.28’deki gibi bükülüp düzeltilirse Şekil 4.29’deki gibi bir görünüm almaktadır. Demirin bu şekilde bükülmesiyle, bükülen bölgedeki atomlar üzerine bir etki uygulanır. Bu etki iç tarafta bası, dış tarafta ise asılma gerilmesi olarak adlandırılır. Bu etkiler bu bölgedeki domain yapılarının düzenini değiştireceğinden algılayıcı sinyal çıkış değeri de değiştirecektir.

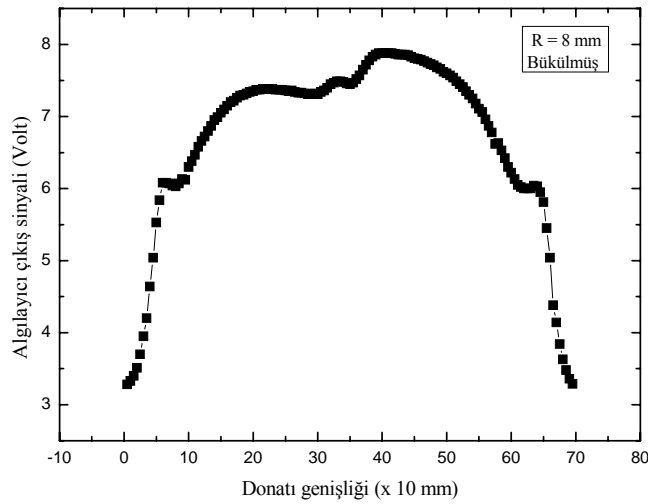


Şekil 4.28 Bükülmüş demir çubuk.



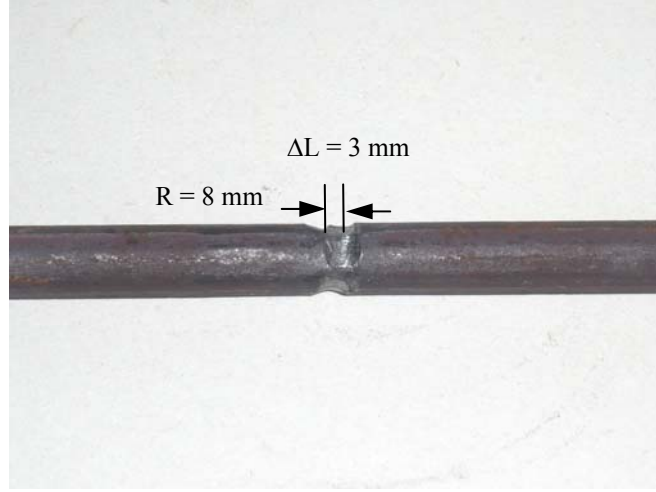
Şekil 4.29 Düzeltilmiş demir.

Önceki bölümlerde sistemin açıklamasında manyetize edici sistemin platform altında oluşturduğu manyetik akı çizgilerinden bahsedilmişti. Her farklı demir örnek akı çizgilerini farklı şekilde etkilemektedir. Bu örnekte ise değişen geometrik yapıya bağlı olarak ortaya çıkan gerilmelerin değiştirdiği domain yapıdan dolayı sistem bükülmüş demiri belirgin bir şekilde algılamıştır. Örnek ilgili grafik Şekil 4.30’da verilmiştir. Eğrinin değiştiği yerde bükülme noktasına karşılık gelmektedir.



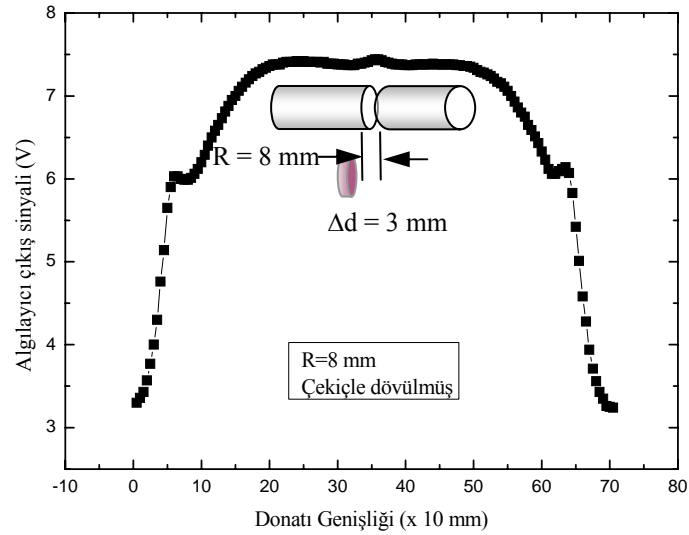
Şekil 4.30 R=8 mm’lik bükülmüş demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.

Demir örnek üzerinde oluşabilecek bir ezilme için hazırlanan örneğin algılayıcı çıkış grafiğine bakılırsa sistem bu ezilmeyi algılamış grafikte ufak bir pik vermiştir.



Şekil 4.31 Ezilmiş demir örnek.

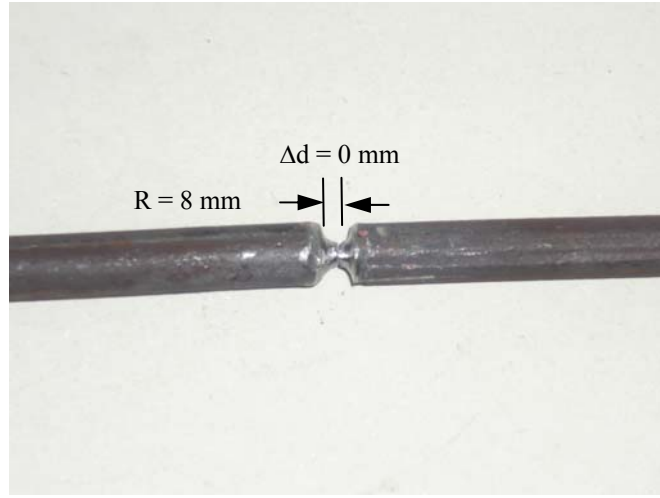
R=8 mm' lik demir örnek çekiçle dövülmüştür. Ezilen bölgenin genişliği yaklaşık 3 mm derinliği ise 1 mm' dir. Bu ezilmiş bölgeye gelen akı çizgilerinin davranışı değiştiğinden sistemde ufak ta olsa bir pik gözlemlenmiştir.



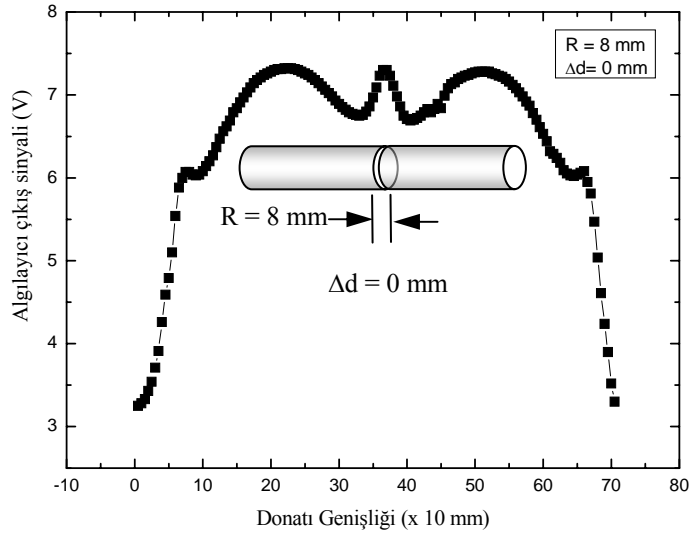
Şekil 4.32 R=8 mm' lik çekiçle dövülmüş demir için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.

Bu örnek üzerinde bu eziğin derinliği artırılmıştır fakat sinyal çok değişmemiştir. Sistem için örnek demiri koparmadan yapılan tüm farklı derinliklerdeki ölçümlerde algılayıcı çıkış sinyalinde çok büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Ama deformasyon grafikte bir pik vermiştir.

Sistemde ezilen bölge son olarak kırılmıştır ve demir örnek ikiye ayrılmıştır. Şekil 4.33’deki demir inceltilem kısımdan koparılmıştır. Algılayıcı çıkışı sinyali bu kez artı yönde belirgin bir pik vermiştir.

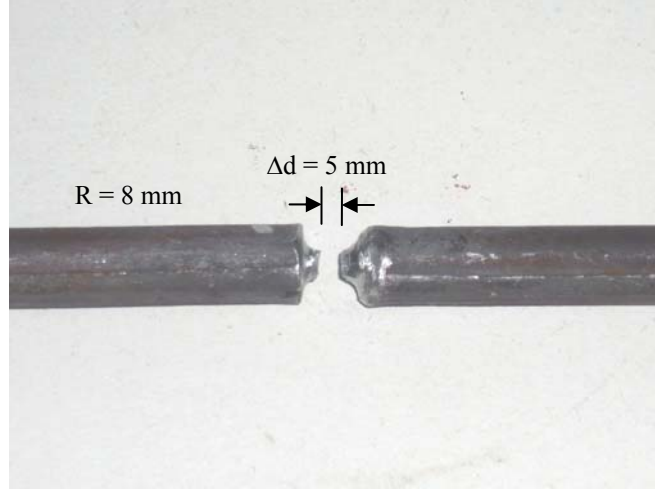


Şekil 4.33 Kırılmış demir örnek.

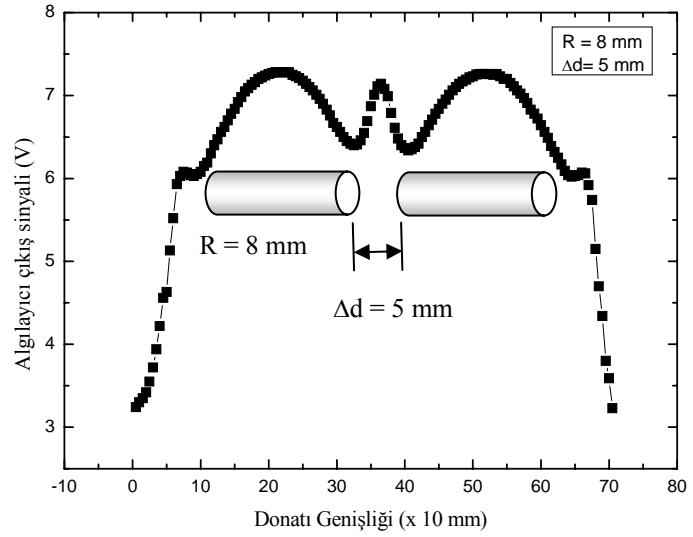


Şekil 4.34 R=8 mm’lik ortadan koparılmış demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.

Koparılan demir örnek ile yapılan ilk ölçümde bitişik olarak duran demirler arasında artı yönde bir pik gözlemlenmiştir. Bu demirler arasındaki mesafe Şekil 4.32’ de görüldüğü gibi 5 mm olduğunda alınan ölçüm grafiğinde aynı karakterde bir pik vermiştir.

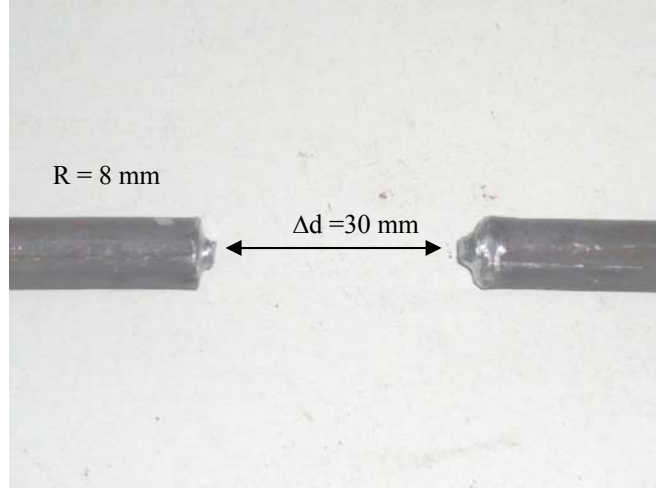


Şekil 4.35 Kırılmış demir örnek.

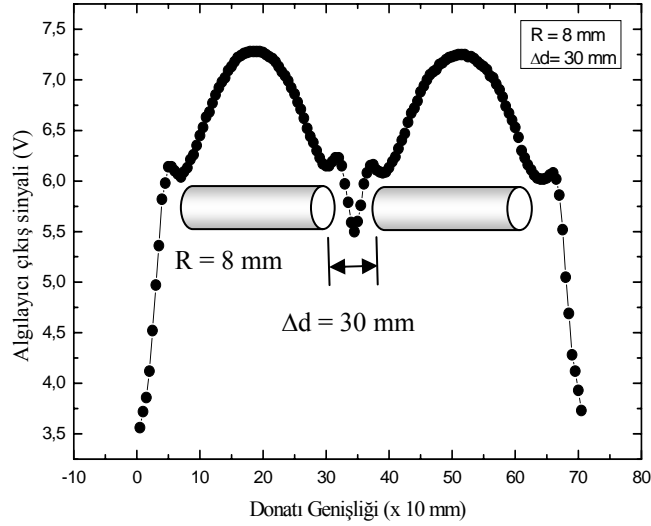


Şekil 4.36  $R=8 \text{ mm}$ ' lik ortadan koparılmış demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.

Örnek demirler arası mesafe 30 mm çıktığında sinyal karakter değiştirmiştir. Pik yön olarak eksi yöne dönmüştür. Sistem koparılan bu demir örneği artık farklı iki demir olarak algılamaktadır.



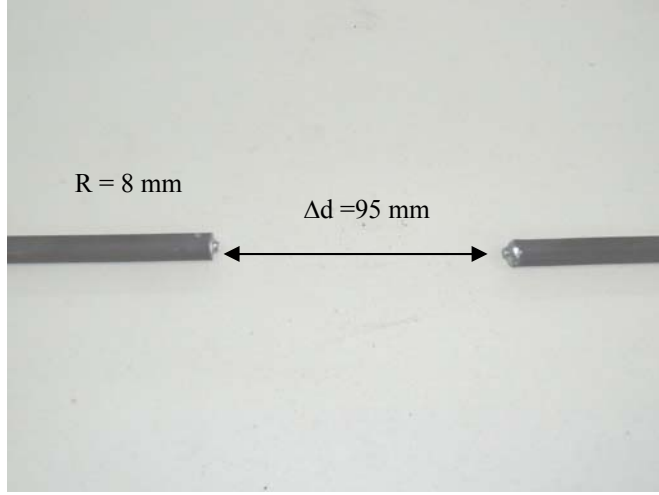
Şekil 4.37 Kırılmış demir örnek.



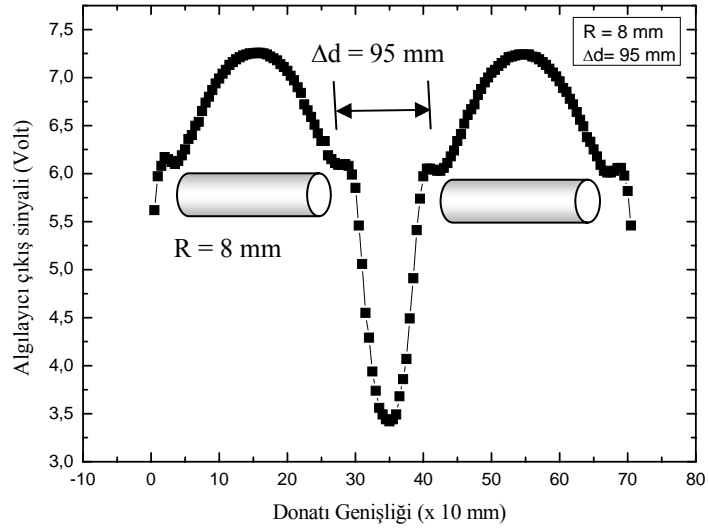
Şekil 4.38 R=8 mm' lik ortadan koparılmış demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.



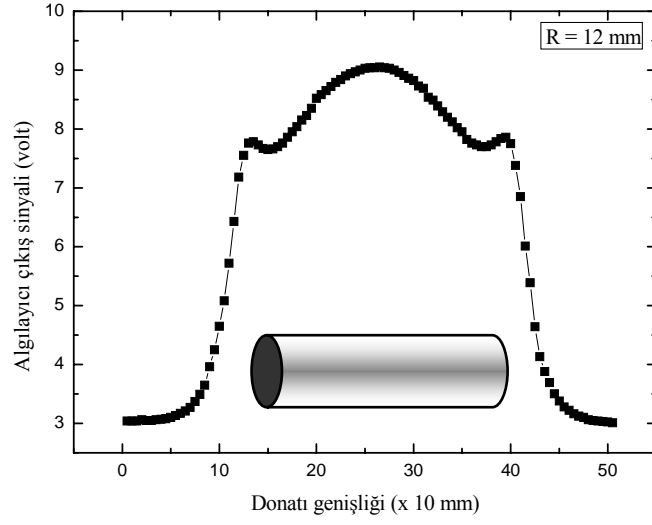
Örnek demirler arası mesafe 95 mm çıktığında sinyal değişen karakterini korumuştur. Pikin yönü eksi yönde kalmıştır. Sistem koparılan bu demir örneği artık farklı iki demir olarak algılamaktadır.



Şekil 4.39 Kırılmış demir örnek.

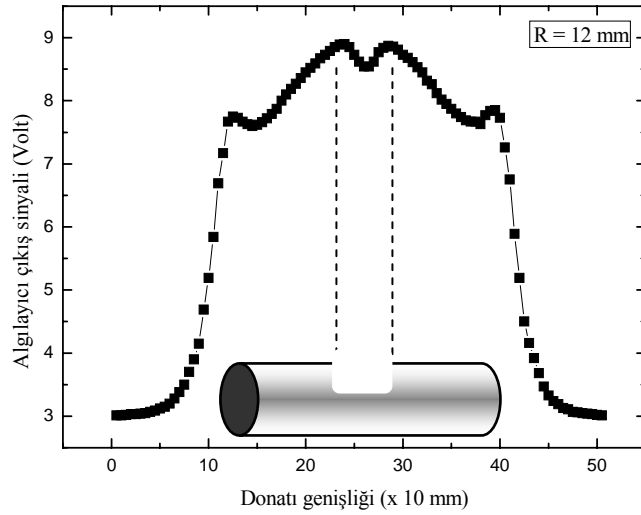


Şekil 4.40 R=8 mm' lik ortadan koparılmış demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.



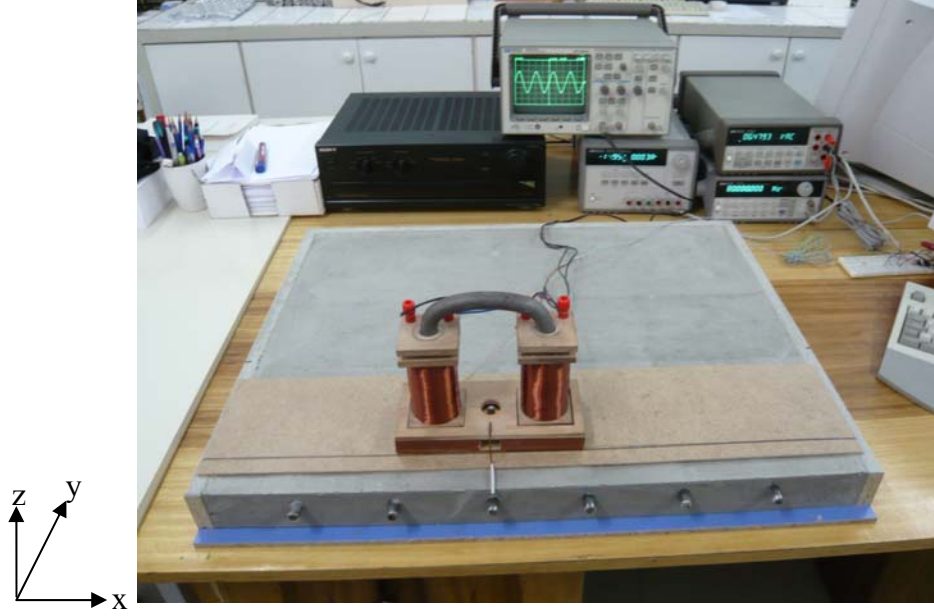
Şekil 4.41 R=12 mm' lik demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.

R=12 mm L=300 mm boyunda örnek demir için algılanan verilerle çizilen grafik Şekil 4.41' ta yer verilmiştir. Bu örneğin boyu kısa olduğundan Şekil 4.26' daki gibi bir grafik elde edilmemiştir. Bu demirin üzerinde 20 mm genişliğinde 5 mm derinliğinde bir yarık açıldığında bu yarık grafiğe ters yönde bir geniş pik olarak yansımıştır.

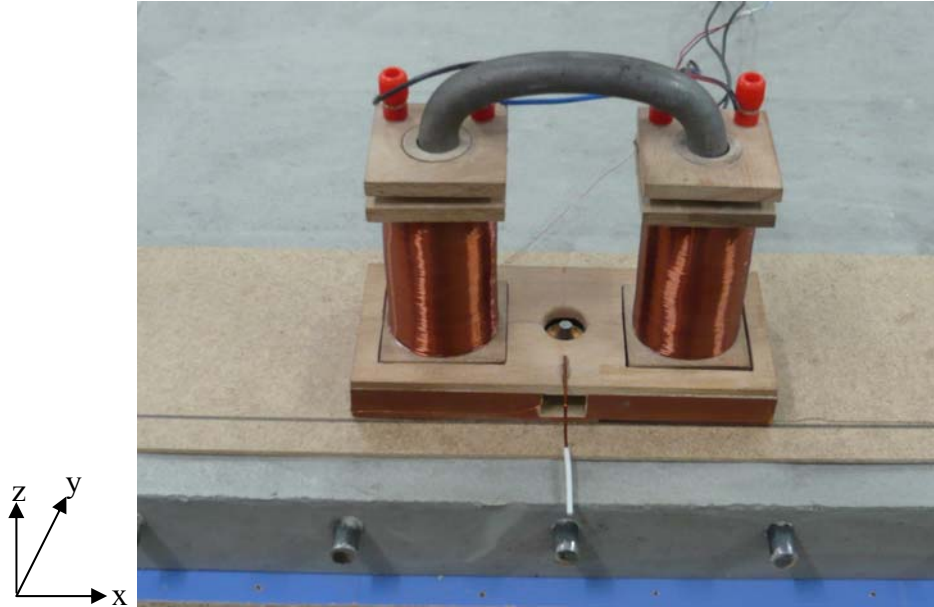


Şekil 4.42 12 mm' lik ortadan taşlanmış demir örnek için algılayıcı çıkış sinyalinin grafiği.

Beton içinde  $R=12\text{ mm}$ ' lik örnek demirlerden oluşan örgünün ölçümlerinde alınan grafikler Şekil 4.45 ve Şekil 4.46' da verilmiştir. Beklenen grafikler elde edilmiştir.

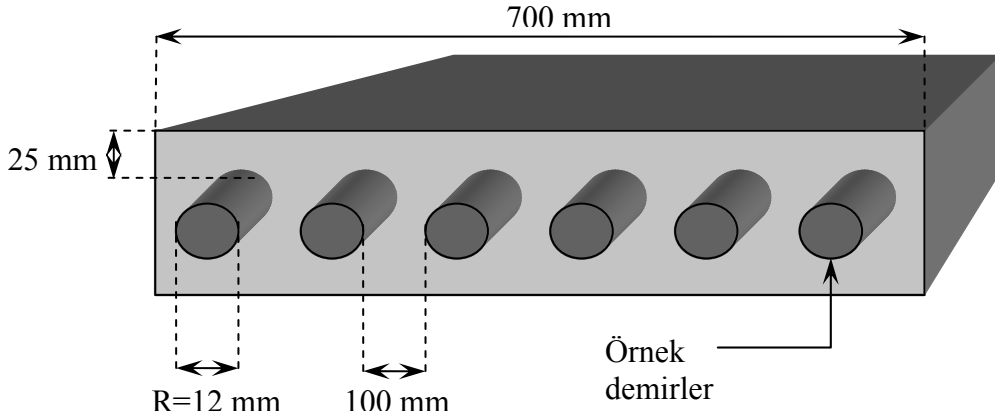


Şekil 4.43 Beton içindeki  $R=12\text{ mm}$ ' lik demirle oluşturulan örgünün bir görünümü.



Şekil 4.44 Beton içindeki  $R=12\text{ mm}$ ' lik demirle oluşturulan örgünün ölçümü.

Sistem ile yapılacak gerçek ölçümlerin örneği olan beton yapı içindeki demir örnekler Şekil 4.43 ve Şekil 4.44' te görülmektedir. Bu hazırlanan örnek için ölçüm bilgileri Şekil 4.45' te verilmiştir. 70 x 70 cm' lik bir taban üzerine 5 cm yüksekliğinde içinde R=12 mm' lik demir örnekler bulunan bir beton yapı hazırlanmıştır.



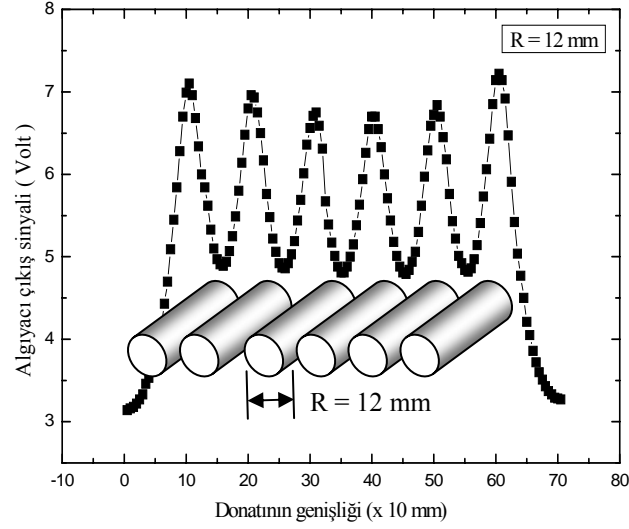
Şekil 4.45 Hazırlanan beton yapı örneğinin boyutları

Bu hazırlanan gerçek örneğin algılayıcı çıkış sinyali yapılan tüm ölçümlerdeki algılayıcı çıkış sinyalinin karakterini doğrulayacaktır. Sistem ile yapılan tüm ölçümler bir taban üzerine oturtulmuş platform ile sabit bir yükseklikten alınmıştır. Şekil 4.43 ve Şekil 4.44' te görülen örnek sistem ile yapılacak gerçek ölçümlere uygundur. Bu örnek ile de alınan sonuçların daha önce alınan ölçüm sonuçlarına paralel bir sonuç vermesi beklenmektedir.

Yapılan ölçüm sonunda beton yapı içinde bulunan demir örnekler için algılayıcı çıkış sinyalinin karakter değiştirmedeği görülmüştür. Beton yapı ölçümlerde de yine demir örneğin bulunduğu bölgelerde algılayıcı çıkış sinyali bir maksimum değerine ulaşmıştır. Manyetik akı farkından dolayı minimum değerlerde yine başlangıç bitiş noktalarında ve 2 demir arasında gözlenmektedir.

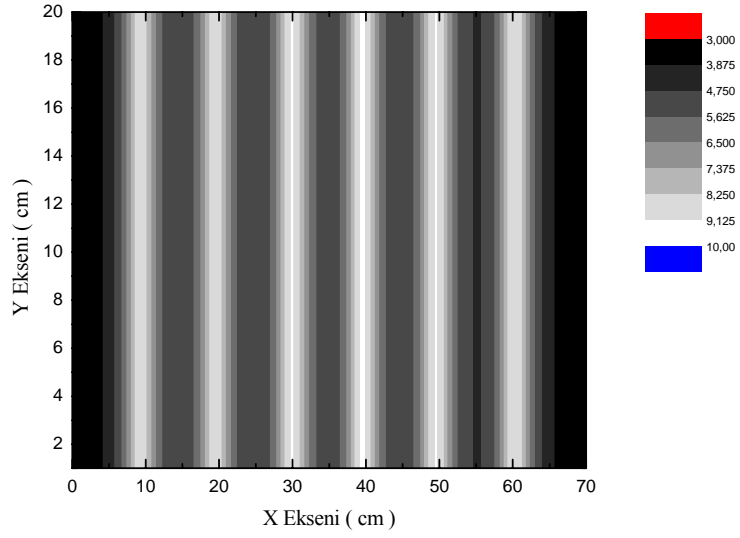
Genel bir yargıya varılırsa kullanılan deney düzeneğine beton yapının bir örneği olarak bakılabilir. Bu sonuçtan sonra yapılan tüm ölçümler beton yapı içinde de tekrarlandığında yaklaşık değere ulaşabileceği bu sonuçlardan çıkartılabilir.

Alınan ölçümler ve gri ölçeklendir Şekil 4.46 ve Şekil 4.47’ de verilmiştir.



Şekil 4.46 R=12 mm' lik demirden oluşan örgü için algılayıcı çıkış sinyalinin donatı genişliğine göre grafiği.

Algılayıcı çıkış sinyali demir örneği kalınlığına göre değişmekteydi. Manyetik sistemin bu kalınlık farklarını doğru algılayabilmesi için alınan ölçümlerde ölçülen yüzey ile demir örneğin arasındaki mesafe sabit tutulmalıdır. Bu yükseklik küçük değişimlerde ( $\pm 2-3$  mm ) sinyal üzerinde bir değişim vermektedir. Alınan bu ölçümler ortak bir değer etrafında toplandığından bu farklılık grafiklerde çok belirgin bir eğri değişimi yaratamamaktadır. Bahsedilen yükseklik ölçümlerde kullanılan platformda yaklaşık 1.5 cm iken beton yapıları örnekte 2.5 cm olmuştur. Bu yükseklik farkından dolayı algılayıcı çıkış sinyalinde bir azalma görülmüştür. Bu azalma Şekil 4.46' da bulunan grafikte belirginleşmiştir. Platformda alınan R=12 mm' lik demir örnek için alınan ölçümlerde algılayıcı çıkış sinyali 9.5 Volt seviyelerindeyken beton yapıları örnekte bulunan yükseklik farkından dolayı bu değer 7.5 Volt değerlerine kadar düşmüştür. Bu düşüş gri ölçeklendirmeye de yansımıştır.



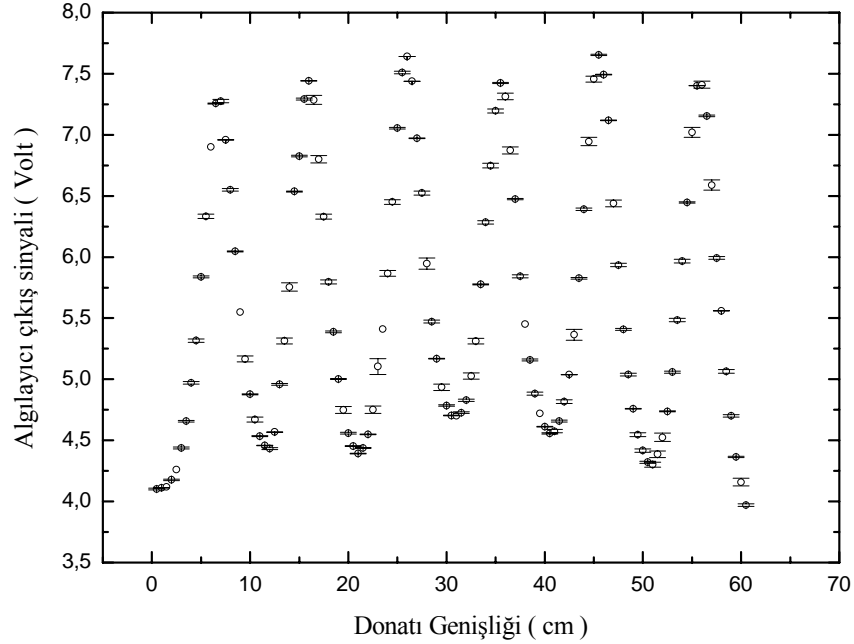
Şekil 4.47 Beton içinde  $R=12 \text{ mm}^2$  lik demirden oluşan örgünün gri ölçeklendirmesi.

Algılayıcı çıkış sinyalindeki büyük değişimden ziyade örnek hazırlanırken beton yapının ölçüm yüzeyi standart bir şekilde düzletilemediğinden yapılan ölçüm kendi içinde de farklılık göstermektedir. Algılayıcı çıkış sinyalinin aynı demir örnek için büyük ve küçük değişimler göstermesi yükseklik farkı az ve çok olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu ortaya çıkan değişim manyetik ölçüm sisteminin en önemli sorununu teşkil etmektedir.

Bu önemli sorun sistem için bir sonraki aşamada yapılacak olan yazılım ile çözülmesi planlanmaktadır. Bu yazılımda elde edilen verilerin işlenmesi, işlemlerden sonra çıkarılan sonuçların daha iyi yorumlanmasında yardımcı olacaktır.

Buraya kadar açıklanan sistem ile çeşitli ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler öncesinde belli değerlerde kalibre edilen sistem ile farklı örnek için yeni bir kalibrasyon yapılmamıştır. Sistem ile yapılan ölçümlerin tekrarlanabilirliğini öğrenmek için, aynı demir kullanılarak aynı y doğrultusundaki her x noktası sistem ile 5 tarama yapıldı. Yapılan bu taramalarda elde edilen sonuçlar ile hata hesabına gidilirse bu her x noktası için bu değer toplanıp 5'e bölünerek aritmetik ortalaması alındı. Bu ortalama alınan ölçüm ile alınan x noktası değerlerinden çıkarıldı. Son olarak ta sabit y değeri için değişen x değerleri, bu değerlerde okunan algılayıcı çıkış

sinyali ve aritmetik ortalama ile algılayıcı çıkış sinyalinin farkında doğan hata değeri farklı 3 sütuna yazılarak grafik çizdirildi. Çizilen bu grafik Şekil 4.48’ de verilmiştir.



Şekil 4.48 Ararda yapılan 5 okuma için algılayıcı çıkış sinyallerinin gösterdiği değişimin grafiği.

Grafikte algılayıcı çıkış sinyal değerleri (o) ile gösterilmiştir. Bu işaretçinin altında ve üstünde yer alan (-) yatay çizgiler algılayıcı çıkış sinyalinin gösterdiği değişiklik simgelemektedir. Şekil 4.48’ den görölüğü gib i bu çizgileri birleştiren (|) dikey hata çubukları olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 4.48’ de bulunan hata çubuklarının çok kısadır. Buda sistemin tekrar edilebilirliği, algılayıcı çıkış sinyalinin sistem için geğerli olan değişkenler değiştirilmeden her y noktasına karşılıklı gelen x noktasındaki sinyal değerinin her okuma için çok küçük farklarla değiştiğini göstermektedir. Yine Şekil 4.48’ den bazı noktalarda yatay ve dikey çubuklar bulunmamaktadır. Bu noktalardaki sinyal değeri yapılan tüm ölçümler için aynı değerlerde olduğunun bir göstergesidir.

Yapılan hata hesabı ve çizilen grafikler ile sistemin güvenilirliğini göstermektedir. Aynı sinyal girişi, aynı yükseltmeyle yapılacak olan taramada kullanılan aynı demir örnekler için her seferinde birbirine çok yakın değerlere ulaşılmaktadır.

Kısacası manyetik ölçüm sistemi yapılan ölçümler tekrarlanabilmektedir. Tekrarlama sırasında ise okunan değerlerden çok farklı değerlerin aksine çok küçük değişimlerle yeni değerler elde edilmektedir. Bununla birlikte manyetik ölçüm sistemi için dezavantaj olarak algılayıcı çıkış sinyalinin demir örnekler ile ölçüm yüzeyi arasında kalan mesafeye yani yüksekliğe bağımlı olmasıdır. Bu problemin ise yazılım yardımıyla çözülmesi planlanmaktadır.



## 5. BÖLÜM

### 5.1 So nuç ve Yorumlar

Bu çalışma sırasında bir manyetik ölçüm sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu tez içerisinde de yapılan açıklamalar ve elde edilen sonuçlar dâhilinde manyetik algılama sistemi tartışılmıştır.

Sözü edilen çalışmayla birlikte manyetik ölçüm sisteminin birinci aşaması tamamlanmıştır. Bu aşamada sistem ile manyetik etkiler kullanılarak demir örnekler incelenmiş ve demir donatıyı test edebilecek tahribatsız bir ölçüm aracı olarak kullanabileceği gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, betonarme yapıdaki demir donatının varlığının ve kalınlığının tespitinin yanında, demir donatı üzerinde çeşitli etkilerden dolayı oluşmuş deformasyonların belirlenmesini de içermektedir.

Bu çalışma için hazırlanan farklı kalınlıklardaki demirler ile yapılan ölçümler sonuç vermiş sistem farklı kalınlıklardaki demir örnekleri sabit yükseklik altında belirgin bir şekilde algılamıştır.

Hazırlanan örnekler arasında dövülmüş, taşlanmış, koparılmış, burkulmuş geometrik yapısı bir şekilde değiştirilmiş örneklerle alınan ölçümler sonucunda sistem yine belirgin algılamalarla öne çıkmıştır. Bu örnekler betonarme yapı bulunan demir donatının maruz kalabileceği hasarlar göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Depremlerden ve bina hareketlerinden dolayı beton yapı içindeki demir donatının üzerinde oluşabilecek gerilmeler, donatıda korozyona bağlı oluşabilecek deformasyonlar, çeşitli nedenlerden -en çok karşılaşılan deformasyon çeşidi delme- dolayı kolon ve kirişlerdeki demir donatıda oluşabilecek kırılma ve kopmalar için yapay örnekler hazırlanmış ve yapılan ölçümlerin sonuçları tez içerisinde tartışılmıştır.

Sonuç olarak bu sistem kullanılarak,

- Betonarme yapı içindeki demir donatının varlığı,
- Demir donatıda var olan demir çubukların kalınlığı,
- Demir çubukların üzerinde oluşan gerilmeler,
- Demir çubuklardaki kırılma ve kopmalar,
- Demir çubuklar üzerinde oluşan korozyona bağlı deformasyonlar

sistem ile sabit yükseklik altında net bir çözünürlükte algılanmıştır.

Sistem ile alınan ölçümlerde, bu çalışma için hazırlanan örgü içindeki tüm demir örnekler algılanmıştır. Sistem karmaşık yapıdaki demir örgüyü algılamada yetersiz kalmıştır. Geliştirilmekte olan manyetik ölçüm sistemi ile demir donatı hakkında daha geniş bilgiye ulaşılması için sistemin yöne ve yüksekliğe bağıllığının giderilmesi gerekmektedir. Yöne bağıllıkla, paralel ve dik okumalardan bahsedilmek istenmiştir. Bu sorununu şuan sistemde kullanılan manyetize edici bobinleri sayısını bire düşürerek çözümlenmesi planlanmaktadır. Yüksekliğe bağımlılık problemini ise tasarlanacak olan yeni manyetize edici sistem ile alınan ölçümlerin, hazırlanacak olan yazılım ile sinyal analizinin sonucunda giderilmesi planlanmaktadır.

Bu projenin amacı betonarme yapı içinde bulunan demir donatıyı algılamak üzerine kurulmuştur. Yapılan ölçümlerle de bu amacın gerçekleştirildiği ve projenin birinci aşamasının tamamlandığı söylenebilir.

Her NDT tekniğinde kullanılan sinyal analizi ve Fourier dönüşümleri geliştirilmekte olan manyetik sistem ile alınan ölçümler için kullanılmamıştır. Dolayısıyla sistem sözü geçen karmaşık yapı ölçümlerinde yetersiz kalmıştır. Bunun yanında ölçüm yüksekliğine bağılı kalınması bu sistem için öne çıkan ciddi dezavantajlardır. Literatür kısmında açıklanan çalışmalarda alınan ölçümler sonucunda demir donatı algılamasındaki karmaşık yapı ve yükseklik problemi sinyal analizi ve Fourier dönüşümü yapılarak çözümlenmiştir. Tez içerisinde tartışılan manyetik sistemi ile alınan ölçümlerde böyle bir analiz gerçekleştirilmemiştir. Manyetik sistemde yapılacak değişimden sonra alınan verilerde yapılması planlanan sinyal analizi ile demir donatı hakkında daha belirgin sonuçların alınması beklenmektedir. Bahsedilen analiz bu projenin daha sonraki çalışmalarında geliştirilecektir.

Bahsedilen değişiklikler sonucunda betonarme yapıdaki demir donatıyı belirlenmede kullanılacak bir prototipin elde edilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen bu prototiple hızlı, belirgin ve doğru verilerle diğer NDT ölçüm tekniklerine bir alternatif olması amaçlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Leeming, M. B., Lane, J. S., Wade, P. J., “Post-Tensioned Bridge Investigation – The Way Forward”, Construction / Repair, pp193-197
- [2] Stain, R. T., Dixon, S., “ Inspection Of Cables in Post - Tensioning Bridge – What Techniques Are Available ”, Construction / Repair, January / February 1994, pp 297-300
- [3] Williams, H. T., Hulse M.E. “From Theory To Field Experience With Inspection Of Post-Tensioned Bridges”, Construction / Repair, pp 199-202
- [4] Nagi, M., Whiting, D, “Corrosion Of Prestressed Reinforcing Steel In Concrete Bridges: State-Of-The-Art ”, Concrete Bridges in Aggressive Environments, SP-15 1, ed.R E pp17-41
- [5] Anon, “Inspection Of Prestressing Cables In Bridges”, Indian Concrete Journal, February 1987, Vol 61, No. 2 pp 31-33
- [6] Oral Buyukozturk, “Imaging Of Concrete Structures”, NDT&E International 1998, Vol. 31, No.4 pp233-243
- [7] Price, W. I. J, “Highway Bridge Inspection: Principles And Practices In Europe”, TABSE Symposium, Washington, 1982, Vol 38, pp15-29
- [8] Martz, H. E., Schneberk, D. J., Roberson, G. P., Monteiro, P. J., “Computerized Tomography Analysis Of Reinforced Concrete”, ACT materials Journal, May/June 1993, pp 259-264
- [9] Hillemeier, B., “New Methods In The Rehabilitation Of Prestressed Concrete Structures”, IABSE Symposium, Lisbon, 1998, Vol 57 / 1, pp 311-316
- [10] Flohrer, C., bernhardt, B., “Detection Of Prestressed Steel Tendons Behind Reinforcement Bars, Detection Of Voids In Concrete Structures – A Suitable Application For Radar Systems”, International Conference on NDT in Civil Engineering, April, 1992, Vol 1, pp 227-234
- [11] Cheng, C., Sansalone, M., “Effects Of Impact-Echo Signals Caused By Steel Reinforcing Bars And Voids Around Bars”, ACT Materials Journal, September/October, 1993, pp 421-434
- [12] Lin, Y., Sansalone, M., “Detecting Flaws In Concrete Beams And Columns Using The Impact-Echo Method”, ACT Materials Journal, July / August, 1992, pp 394-405

- [13] pratt, D., Sansalone, M., “Impact-Echo Interpretation Using Artificial Intelligence”, ACI Materials Journal, March / April, 1992, pp 178 187
- [14] Carino, N. J., Sansalone, M., “Detection Of Voids In Grouted Ducts Using The Impact Echo Method”, ACT Materials Journal, May / June 1992, pp 296-303
- [15] Petersen, C.G., “Docter Impact Echo Testing Of The Injection Of A Post-Tensioned Cable Steel Duct”, Report-German Instruments A/S, September, 1993
- [16] Report, J. L., Brachet-roland, M., “Survey Of Structures By Using Acoustic Emission Monitoring”, IABSE Symposium, Washington, 1992 Vol 39, pp 33-38
- [17] Schupack, M., “Evaluation Of Corrosion In Bonded And Unbonded Post-Tensioned Structures”, “How To Make Todays Repairs Duruable For Tomorrow”, March 21 1998, Houston, Texas
- [18] Steber, G. R., Ghorbanpoor, A., Shew, T. E., “Magnetic Field Disturbance Signal Processing”, Proceeding of IEEE Conferance, 1989, Vol 2, pp 474-479
- [19] Ghorbanpoor, A., Shew, T.E., “Detection Of Flaws In Bars And Cables In Concrete Bridge Structures”, Transportation Research Record, 1989, No. 1211 pp 84-91
- [20] Gimmel, B., “Magnetoelastic Force Measurement In Prestressed Concrete”, TABSE Symposium, Lisbon 1989, Vol 57/1, pp 329-334
- [21] Ali, M.G., Maddocks, A. R., “Evaluation of Corrosion of Prestressing Steel in Concrete Using Non-destructive Techniques”, GHD Pty Ltd. Sydney
- [22] Andrews, F., “Non-destructive Testing (NDT) of Concrete in Structure”, Technical Note, GeoPave
- [23] Gaydecki, P., Burdekin, FM., “A Multi-Sensor Array Inductive Scanner for Rapid Imaging of Reinforced and Pre-Stressed Concrete”, DIAS, Manchester, United Kingdom (2003).
- [24] Stryk, J., Pospíšil, K., “Rebar Corrosion in Concrete Bridges and its Detection by Acoustic Emission Method”, Transport Research Centre Road Department, Czech Republic (2002).
- [25] Cole, P., Watson, J., “Acoustic Emission For Corrosion Detection”, Cambridge, United Kingdom, (2005).
- [26] Yoshida, Y., Irie, H., “NDT For Concrete Using The Ultrasonic Method”, Tsukuba, Japan, (2006).

- [27] Gehring, D. M., Gehris, V. D., Bryant, J.T., “Ground Penetrating Radar for Concrete Evaluation Studies”, Texas, ABD
- [28] Azevedo, S. G., Mast, J. E., Nelson, S. D., Rosenbury, E. T., Jones, H. E., McEwan, T. E., Mullenhoff, D. J., Hugenberg, R. E., Stever, R. D., Warhus, J. P., Wieting, M. G., “HERMES: A High-Speed Radar Imaging System For Inspection of Bridge Decks”, Scottsdale, December 1996.
- [29] Huston, D., Pelczarski, N., Eser, B., “Damage Detection In Roadways With Ground Penetrating Radar”, University Of Vermont, Burlington, ABD
- [30] Tacer, E., “ Elektromanyetik Enerji Dönüşümü “, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi, Ders notları 1. ve 2. bölümler, İstanbul, ( 2004-2005 ).
- [31] Cullity, B. D., “Introduction To Magnetic Materials”, University Of Notre Dame (1972).
- [32] Jiles, D., “ Introduction to Magnetism and Magnetic Materials “, (1991).
- [33] Derek, C., “ Magnetism Principles and Applications “, University of Nottingham, Nottingham UK.
- [34] Serway, R. A., Serway, Çeviren: K. Çolakoğlu, 2.cilt, Palme Yayıncılık, Ankara, (1996).
- [35] Hooliday, D., Resnik, R., Fiziğin Temelleri, Çeviren: C. Yalçın, Arkadaş Yayınevi, Ankara, (1990).
- [36] Griffiths, D. J., “Elektromanyetik Teori”, Çeviren: Prof. Dr. B. Ünal, Gazi Kitabevi, (2003).
- [37] Neff, P., H., “Basic Electromagnetic Field”, Harper & Row Publishers New York (1987).
- [38] Binns, K.J., Lowrensen, P.J., Trowbirdge, C.W., “Analytical and Numerical Solutions of Electric and Magnetic Fields”, John Wiley & Sons Publications.
- [39] Bayrak, M., “Temel Elektrik ve Manyetizma”, Atlas Yayın Dağıtım, (2002).
- [40] Köroğlu, H., “Elektrik ve Manyetizma”, Kalite Matbaası, Ankara, (1978).
- [41] Ege, Y., “Ferromanyetik Malzemeler Üzerindeki Çatlakların Manyetik Yöntemle Belirlenmesi “, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (1998).
- [42] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), 2008
- [43] [www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com), 2008