

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



**BETONARME YAPILARDA KULLANILAN DEMİR DONATININ
MANYETİK ETKİLER KULLANILARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

DENİZ PERİN

BALIKESİR, MAYIS – 2015

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



**BETONARME YAPILARDA KULLANILAN DEMİR DONATININ
MANYETİK ETKİLER KULLANILARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

DENİZ PERİN

BALIKESİR, MAYIS – 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Deniz PERİN tarafından hazırlanan "BETONARME YAPILARDA KULLANILAN DEMİR DONATININ MANYETİK ETKİLER KULLANILARAK İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 27.05.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

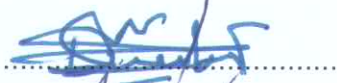
Danışman
Prof. Dr. Mustafa GÖKTEPE



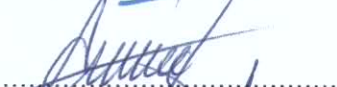
Üye
Prof. Dr. Orhan KAMER



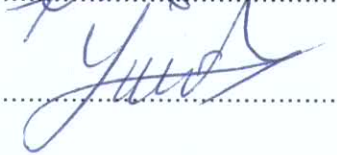
Üye
Prof. Dr. Hakan KÖÇKAR



Üye
Prof. Dr. Ali TEKE



Üye
Yrd. Doç. Dr. Yaser AÇIKBAŞ



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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler
Birim tarafından 2011 - 57 nolu proje ile desteklenmiştir.**

ÖZET

**BETONARME YAPILARDA KULLANILAN DEMİR DONATININ MANYETİK
ETKİLER KULLANILARAK İNCELENMESİ
DOKTORA TEZİ
DENİZ PERİN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MUSTAFA GÖKTEPE)
BALIKESİR. MAYIS – 2015**

Betonarme yapılardaki demir donatı, yapının devamlılığı ve sağlamlığı için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, demir donatının, manyetik özelliklerinden yararlanılarak bir algılayıcı yardımıyla fiziksel özelliklerinin incelenebildiği bir manyetik ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemle betonarme yapılarda kullanılan demir donatının tahribatsız bir şekilde algılanması, mevcut durumu hakkında bilgiler elde edilmesi ve bu bilgilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar sistemin tahribatsız test olarak kullanılması ve demirin mevcut durumunu incelemeye başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Diğer sonuçlar ve açıklamalar bu çalışmada tartışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Demir donatı, tahribatsız test, donatı algılama, manyetik kaçak akı.

ABSTRACT

INSPECTIONS OF REBARS IN REINFORCED CONCRETE BY USING MAGNETIC SENSING SYSTEM

PH.D THESIS

DENİZ PERİN

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
PHYSICS**

(SUPERVISOR: PROF. DR. MUSTAFA GOKTEPE)

BALIKESİR. MAY – 2015

Rebar is an important element of concrete structures. For this reason testing of rebar is an important issue for the structure's stability. A magnetic system has been constructed to inspect rebar and also to test structure's health. Non-destructive testing of rebar and getting the current situation of structure with this magnetic system is the main issue of the study. Several tests and experiments were done in this study. It was shown that this system is capable with inspections of rebar. Details are discussed with this thesis.

KEYWORDS: Rebar, non-destructive testing, rebar detection,
magnetic flux leakage

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Radyografik Metotlar	2
1.2 Yeraltı Radarları	3
1.3 Saçılan Işın Metodu	4
1.4 Darbeli Ses Tekniği	4
1.5 Akustik Ölçüm Tekniği	5
1.6 Kaçak Akı Metodu	6
1.7 Kızıl Ötesi ile Isısal Ölçüm Metodu	6
2. DENEYSEL SİSTEM	9
2.1 Modelleme	9
2.2 Manyetizasyon Çeşitleri	14
2.3 Paralel ve Dik Okuma	17
2.4 Yapılan Deneyler	19
3. DENEYSEL VE TEORİK SONUÇLAR	28
4. SONUÇ VE YORUMLAR	61
5. KAYNAKLAR	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Radyografik metot.....	2
Şekil 1.2:	Yer altı radarları (GPR).....	3
Şekil 1.3:	Akustik ölçüm tekniği.....	5
Şekil 1.4:	Kızıl ötesi ile ısısal ölçüm metodu.....	6
Şekil 2.1:	Demir çubuğun manyetik alan tepkisi.....	10
Şekil 2.2:	Yan yana sıralanmış demir çubukların manyetik alan tepkisi...	12
Şekil 2.3:	Eksik demir çubukların manyetik alan tepkisi.....	12
Şekil 2.4:	Dik ve paralel demirlerden oluşan gerçek örgü.....	13
Şekil 2.5:	Paralel konumlandırılan demir çubuğun manyetik alan tepkisi.....	13
Şekil 2.6:	Manyetize edici sistemler.....	15
Şekil 2.7:	Manyetize edici sistem.....	16
Şekil 2.8:	Manyetize edici sistem ve bozulan manyetik akı çizgileri.....	17
Şekil 2.9:	(a) Dik okuma, (b) Paralel okuma.....	18
Şekil 2.10:	(a) Dik okuma, (b) Paralel okuma modellemeleri.....	18
Şekil 2.11:	Deneysel sonuçlar, (a) Dik okuma,(b) Paralel okuma.....	20
Şekil 2.12:	(a) Dik okuma,(b) Paralel okuma.....	20
Şekil 2.13:	Tek bobinli c-core ile yapılan (a) Dik okuma ve (b) Paralel okuma.....	21
Şekil 2.14:	Tek bobinli c-core ile yapılan (a) Dik okuma ve (b) Paralel okuma.....	22
Şekil 2.15:	Tek bobinli manyetize edici sistem.....	23
Şekil 2.16:	Tek bobinli manyetize edici sistem.....	23
Şekil 2.17:	Tek bobinli (a) Dik okuma ve (b) Paralel okuma.....	24
Şekil 2.18:	Tek bobinli manyetize edici sistem.....	25
Şekil 2.19:	Tek bobinli manyetize edici sistem.....	26
Şekil 2.20:	Algılayıcı sistem.....	26
Şekil 3.1:	6 ekseninde hareket edebilen tarayıcı sistem.....	28
Şekil 3.2:	Alan taraması.....	29
Şekil 3.3:	Alan taramasında iki dik demir.....	30
Şekil 3.4:	Alan taramasında iki paralel demir.....	31

Şekil 3.5:	Üç boyutlu grafikler.....	32
Şekil 3.6:	Dik ve paralel demirler ile oluşturulan kare örgü.....	33
Şekil 3.7:	Dik ve paralel demirlerden kaydedilen sinyaller.....	33
Şekil 3.8:	Kare örgüden kaydedilen toplam sinyal.....	34
Şekil 3.9:	Toplam sinyal ile paralel demirin sinyal farkı.....	34
Şekil 3.10:	Toplam sinyalden, dik ve paralel demirin sinyallerin ayrılması.....	35
Şekil 3.11:	Kare örgü.....	36
Şekil 3.12:	Tarama aralığı belirlenmesi.....	36
Şekil 3.13:	Kesik donatının belirlenmesi.....	37
Şekil 3.14:	Kesik donatının belirlenmesi.....	38
Şekil 3.15:	Kesik donatının belirlenmesi.....	39
Şekil 3.16:	Kesik donatının belirlenmesi.....	40
Şekil 3.17:	Farklı süreksizliklere sahip demir donatıların belirlenmesi.....	41
Şekil 3.18:	En küçük örgünün taraması.....	42
Şekil 3.19:	En küçük örgünün incelenmesi.....	43
Şekil 3.20:	Kare örgünün incelenmesi.....	44
Şekil 3.21:	Kare örgünün incelenmesi.....	45
Şekil 3.22:	Çözünürlüğü azaltılmış kare örgünün incelenmesi.....	46
Şekil 3.23:	Çözünürlüğü azaltılmış örgünün incelenmesi.....	47
Şekil 3.24:	Gerçek demir örgünün incelenmesi.....	47
Şekil 3.25:	Çözünürlüğün artırılması	48
Şekil 3.26:	Grafiğin incelenmesi.....	49
Şekil 3.27:	Grafiğin incelenmesi.....	50
Şekil 3.28:	Küçük kaymaların yok edildiği sinyal.....	51
Şekil 3.29:	Küçük kaymaların yok edildiği sinyaller.....	52
Şekil 3.30:	Küçük kaymaların yok edildiği sinyaller.....	56
Şekil 3.31:	Küçük kaymaların yok edildiği sinyaller	57
Şekil 3.32:	Kaydedilen standart toplam sinyal.....	58
Şekil 3.33:	Minimum noktalarının birleştirilmesi	58
Şekil 3.34:	Paralel demirin sinyalinin çıkartılması.....	59
Şekil 3.35:	Paralel demirin sinyali.....	59
Şekil 3.36:	Ayırt edilen toplam sinyal.....	60

SEMBOL LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Tanımı</u>	<u>Eşitliği</u>	<u>Birimi</u>
H :	Manyetik alan şiddeti		$A\ m^{-1}$
B :	Manyetik akı yoğunluğu	$B = \mu_o(H + M)$	T
M :	Manyetizasyon		$A\ m^{-1}$
μ_o :	Boşluğun manyetik geçirgenliği	$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$	$H\ m^{-1}$
μ :	Manyetik geçirgenlik	$\mu = \frac{B}{H}$	$H\ m^{-1}$
ϕ :	Manyetik akı	$\phi = B \cdot A$	Wb
f :	Frekans		Hz
N :	Bobin sarım sayısı		-
A :	Bobin kesit alanı		m^2
I :	Akım		A

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca yol gösterici ve yardımcı olan saygı değer hocam Prof. Dr. Mustafa GÖKTEPE' ye teşekkürlerimi sunmanın yeterli olmayacağını düşünüyorum. Sağ olun Hocam...

Ve tabii ki beni bugünlere kadar öncelikle iyi bir birey olarak yetiştirmeye çalışan, her zaman yanımda olamasalar da ruhen ve kalben hiç ayrılamadığımız rahmetli babama, canımdan çok sevdiğim anneme ve her zaman olması gereken yerde, kalbimde olan Hazal AKTAŞ'a minnettarım. Olmasaydınız olmazdı...

Balıkesir, 2015

Deniz PERİN

1. GİRİŞ

Betonu donatarak güçlendirme 19. yüzyıldan itibaren yoğun bir şekilde gelişerek devam etmektedir. Betonun içerisine yerleştiren demir donatı, yapıyı güçlendirirken, korozyon, yangın ve deprem gibi olaylar da yapıyı zayıflatmaktadır. Demir donatının sağlamlığının uzun süre devam edebilmesi için bu olaylardan sonra ve düzenli zaman aralıklarında kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontroller sayesinde yapının güvenilirliği hakkında bilgi elde edilmektedir.

Tahribatsız inceleme (Non - Destructive Testing - NDT) ya da tahribatsız değerlendirme (Non - Destructive Evaluation - NDE), dahili arızaları ve bozulmaları tanımlamak ve incelemek için yapıların, bileşenlerinin ve bağlantılarının değişik yöntemlerle incelenmesini kapsar. NDT'nin amacı, incelenen yapıda bozulmaya yol açmadan kullanılan malzemenin kalitesini, mevcut durumunu kontrol ederek mühendislik yapılarının güvenli kullanımını sağlamaktır.

Yapı denetiminde, 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. Yapı için önemli olan bu bilgiler, gözle görülmeyen ama yapının sağlamlığını etkileyebilen çatlak ve boşluklar, demir donatı üzerindeki çeşitli deformasyonlar (kırılma, kopma, paslanma vb.) doğru bir şekilde algılanabilmektedir.

NDT tekniklerinin karşılaştırılabilmesi açısından yapılan literatür araştırması sonucunda bazı tahribatsız test teknikleri maddeler halinde belirtilmiştir.

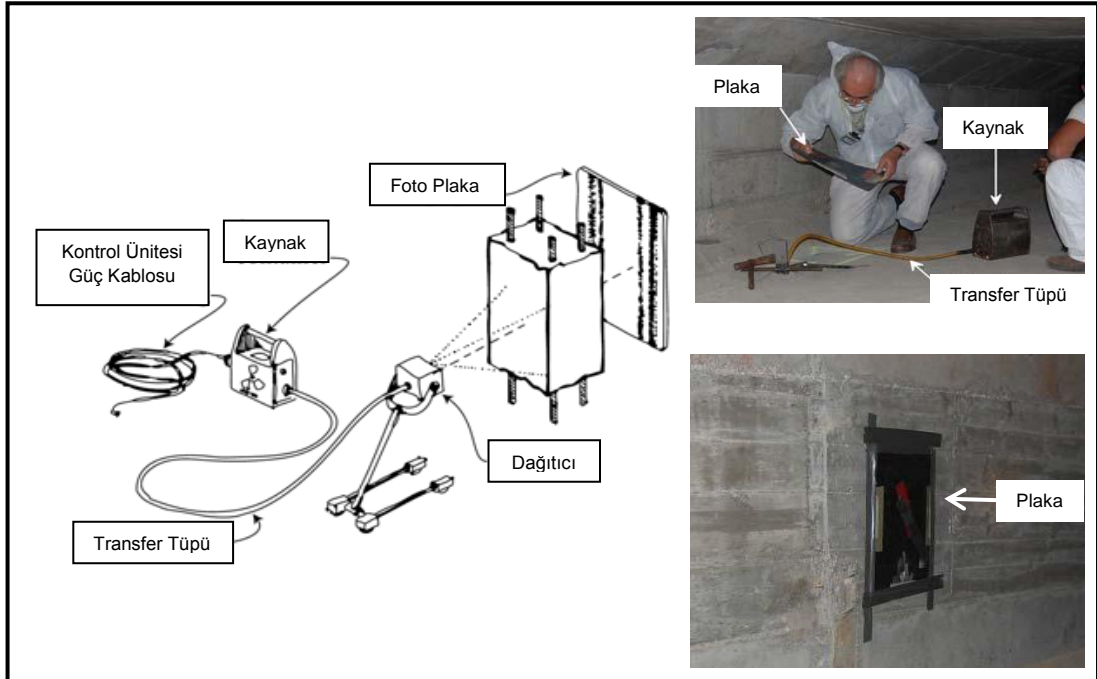
Beton yapı için kullanılabilen NDT tekniklerine göz atılırsa

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

gibi testler yer almaktadır.

1.1 Radyografik Metotlar (Radiographic Methods)

Bu teknikte, bir kaynaktan çıkan X, Beta ve Gamma ışınları kullanılmaktadır [1]. Bu sistem ile alınan ölçümlerde, ölçüm yapılan yüzeyden gönderilen ışınların, yapının diğer tarafından algılanabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu teknikle yapılacak taramada yapının iki yüzeyine birden ulaşılması gerekmektedir. Bu şekilde toplanacak veriler ile yapı hakkında bilgiler elde edilmektedir [1-5].



Şekil 1.1: Radyografik metot [1].

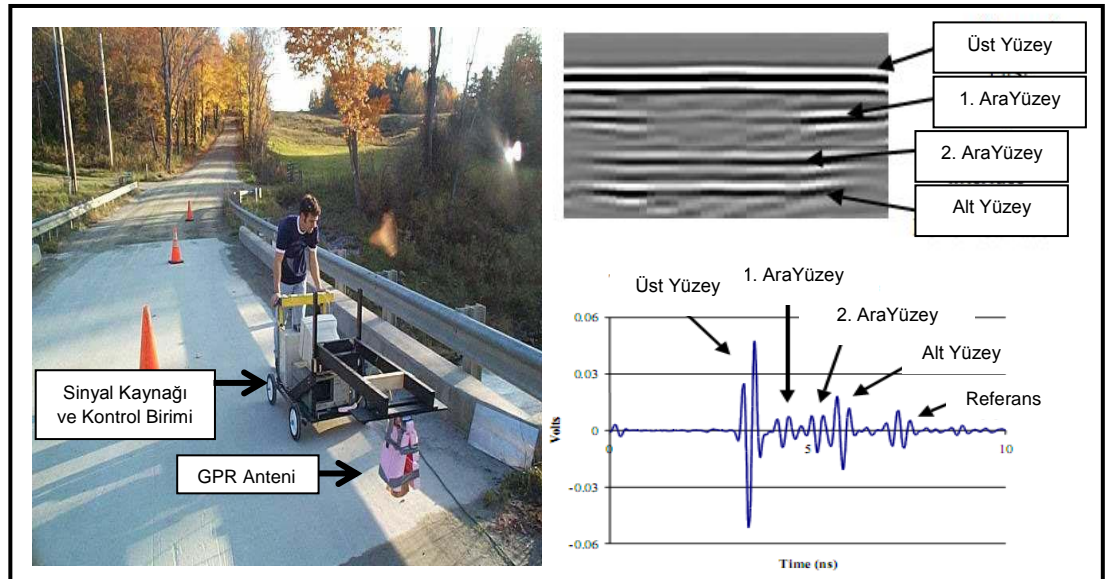
Görüntüleme, film üzerine veya anında ekrana yansıtılarak yapılmaktadır. Film üzerine yapılan ölçüm yaklaşık 30 dakika sürmektedir. Yapı kalınlığı artırıldığında ölçüm süresi artmaktadır [2].

Sistem için kalınlık limiti 600 mm olarak belirlenmiştir [2, 3]. Bu teknik; boşlukları, gerilmiş halatları ve gerilmiş halatların içinden geçtiği kanalları belirlemede uygun bir yöntemdir. Alınan veriler sonucunda bu sistemin diğer ölçümler (çatlak, paslanma vb.) için de uygun olmadığı gözlenmiştir [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 sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [2-5].

1.2 Yeraltı Radarları (Ground Penetrating Radar – GPR)

Beton yapı içerisine gönderilen 1,5 GHz dolaylarında yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların, değişik dielektrik sabitlerine sahip bölgelerden (demir çubuklar, boşluklar ve kanallar gibi) yansımalarının ölçümüne dayalı bir sistemdir [1,6-10].



Şekil 1.2: Yer altı radarları (GPR) [11].

Yapı içerisinde giren elektromanyetik dalga, yol alırken farklı bir yüzey ile karşılaştığında, dalganın bir kısmı bu yüzeyden geriye yansırken, kalan kısım ise diğer bölgeye doğru ilerlemektedir [9]. Bu farklı yüzeylerden yansıyan dalgaların algılanıp işlenmesiyle yapı hakkında bilgiler elde edilmektedir.

Bu yapılardan alınan sinyallerin, analizleri yapıldıktan sonra veriler netleşmektedir [10]. Radar ile yapılan ölçümün güvenilir olabilmesi için bu yapı hakkında ön bilgiye sahip olmak gerekmektedir [7-12].

Netleştirilen ve yorumlanan sinyaller, demir donatının, kanalların ve boşlukların pozisyonları ve derinlikleri hakkında bilgi vermektedir [8-10]. Kalınlık limiti olarak belirtilen genişlik yaklaşık bir(1) metredir [10-14]. Yapı kalınlığının artması, gönderilen dalganın giricilik etkisini azaltacağından sistemin çözünürlüğünü de azaltmaktadır [12-15]. Sistem küçük çatlak ve boşluklar için etkili bir sonuç vermemektedir [16].

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 [17]. Elde edilen sinyaller, yüzey özellikleri ve hava koşulları tarafından etkilenebilmektedir [18].

Giricilik etkisi yoğunlukla orantılı olduğundan, yakın yoğunluk değerlerine sahip bölgeler için çözünürlüğün artırılması gerekmektedir [19].

1.4 Darbeli Ses Tekniği (Impact – Echo Technique)

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

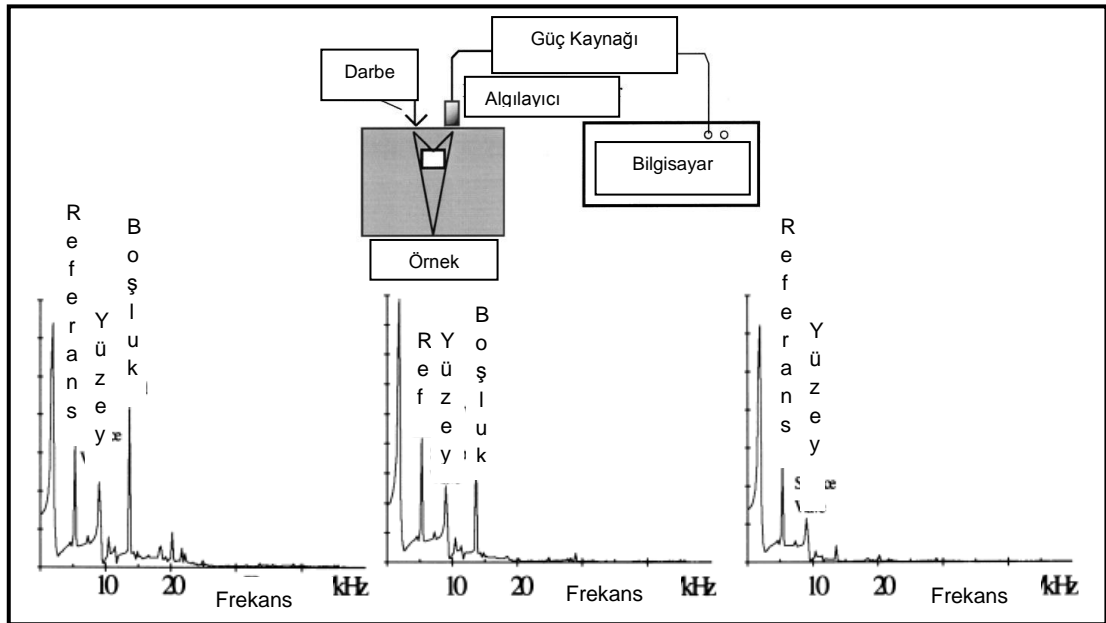
uğramaktadır. Bu değişim, yüzey üzerinde bulunan algılayıcılar tarafından algılanmaktadır [19-24].

Elde edilen ham veriler Fourier transformu kullanılarak analiz edildiğinde boşluklar, çelik halatlar ve demir donatı tespit edilebilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kusurların (deliminasyon) derinliği de belirlenebilmektedir. Darbeli ses metodu boşlukların ve demir donatının üzerindeki deformasyonların belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [19-24].

Bu ölçüm tekniği, 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 sebep olabilir [21].

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 sensörler tarafından algılanmaktadır [17-25].



Şekil 1.3: Akustik ölçüm tekniği [25].

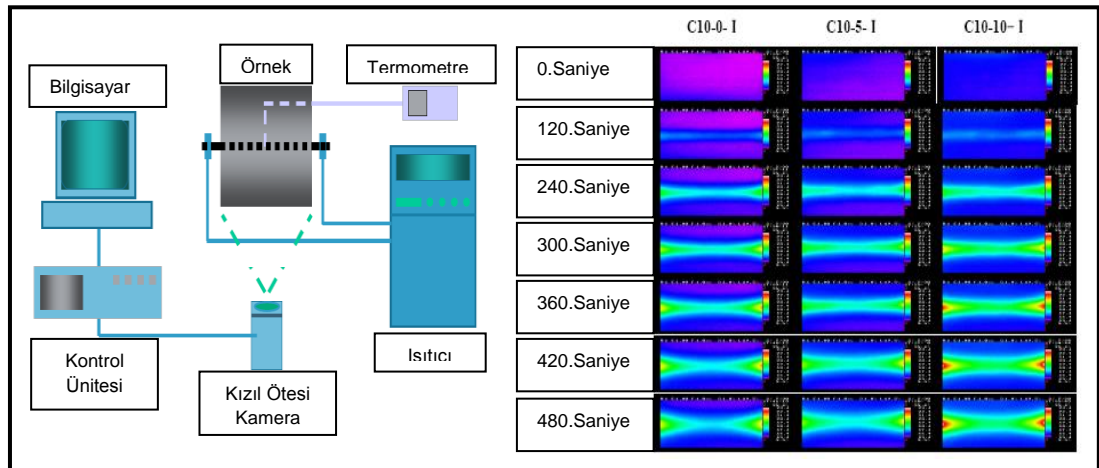
Bu teknik, beton yapının içinde ve dışında bulunan halatlar ve demir donatının tespitinin yanında beton yapının hakkında da net bilgiler toplayabilmektedir [26-28].

1.6 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 algılanması yoluyla ölçüm yapılabilmektedir. Elde edilen bu sinyaller işlenerek demir donatı hakkında bilgi elde edilebilir. Bu sayede demir çubukların yeri, derinliği ve üzerinde oluşan deformasyonlar belirlenebilir [26-40].

1.7 Kızıl Ötesi ile Isısal Ölçüm Metodu (Infrared Thermography)

Beton içinde bulunan çatlaklar ısı iletimini etkiler. Yapı içinde bulunan kusurlar veya boşluklardan dolayı oluşan farklı sıcaklık yüzeylerinin algılanması üzerine kurulmuş bir ölçüm tekniğidir [41].



Şekil 1.4: Kızıl ötesi ile ısısal ölçüm metodu [41].

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 gerilmiş halatların yerlerinin belirlenmesinde de kullanılabilir [41-43].

Yapılan literatür incelemesinde, betonarme yapı ve demir donatının değişik NDT yöntemleriyle incelenebildiği görülmüştür. Bu çalışma sırasında ise geliştirilmek istenen manyetik ölçüm sistemi genel hatlarıyla kaçak akı metodunun altında yer almaktadır. Bu prensip altında çalışacak olan sistem, alınan sonuçların analizleriyle de yapının güvenilirliği hakkında doğru bilgiye ulaşmak için kullanılacaktır. Yapı için alınacak olan genel bir ölçüm ile yapının depremlere karşı güvenli olup olmadığı test edilecektir.

Bahsedildiği üzere tahribatsız test tekniklerinden bazılarında yer verilmiştir. Bu testler gerek sonuçları gerekse de teori bakımından kısaca açıklanmıştır. Bunun yanında çalışma konusuna yakın olmayan ve günümüzde kullanılan tahribatlı ve yarı tahribatlı testlerden hiç bahsedilmemiştir. Bu testler ile yapılan ölçümlerde kesin sonuca ulaşılmaktadır. Ama bu sonuç sadece çok küçük bir bölge için geçerlidir. Bütün bir yapıyı algılamada kesinlikle kullanılamaz. Yapının kritik bir bölgesinden alınan bir ölçüm ile genelleme yapılarak, yapının güvenilirliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Tüm yapıdan alınan ölçümler, yapıya zarar vereceğinden, zayıflayan yapının yıkılma tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla tahribatlı testler, kesin bilgiyi sadece çok sınırlı alanlar için sağlamaktadır.

Tahribatsız testlerde ise tüm bina uygun bir şekilde tarandıktan sonra bina hakkında genel bir yorum yapılabilir ama bu yorumun kesin bir hükmü yoktur. Kullanılan çeşitli tekniklerden GPR [44-47] radar tekniği en güvenilir test tekniklerinden biri olarak bilinmektedir. Ama bu testin fazla bilgi içermesi gibi avantajının yanı sıra, elde edilen sonuçların karmaşık olması bir dezavantaj olarak söylenebilir.

Ses ölçüm teknikleri ise, [48-50] GPR benzeri karmaşık sonuçlar vermektedir. Sonuçların yorumlanması için yine uzman görüşüne başvurulmalıdır.

Bu tekniklerin arasında manyetik ölçüm sistemi bir adım daha öne çıkmaktadır. Çünkü gerek alınan sonuçların kolay analiz edilebilmesi gerekse de kullanım kolaylığı bakımından manyetik ölçümler daha kullanışlı bir test tekniğidir. Bu çalışmada yeni bir manyetik ölçüm sisteminin geliştirilip uygun sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, bahsedildiği gibi her NDT tekniğinin sonuca ulaşırken var olan avantajlarının yanında, sistemin sahip olduğu sınırlamalarını da göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Veri analizlerinin zor olduğu tekniklerin daha güvenilir sonuç verdiği ama uygulanması kolay ve analizi gerektirmeyen tekniklerin ise daha genel bir sonuç verdiği söylenebilir. Kesin sonuca ulaşmak adına birden fazla tahribatsız ölçüm tekniği kullanılmalıdır. İşte bu konuda manyetik ölçüm sistemi tek başına uygulandığında daha net ve güvenilir bir sonuç verebilmesi için üzerinde yapılacak olan değişiklikler ile elde edilen sonuçlar bu çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır.

2. DENEYSEL SİSTEM

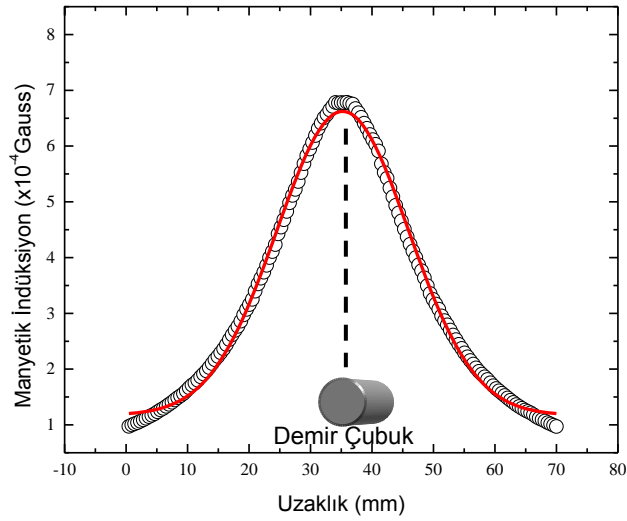
Demir donatının algılanması, tahribatsız test tekniklerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır [39]. Betonarme yapılarda bulunan gerek beton gerekse de demir donatıyı algılama konusunda tahribatsız teknikleri geliştirebilmek için yoğun bir çaba sarf edilmektedir [46]. Bunlar kısaca akustik emisyon, ultrasonik, termografik, X ve Gamma ışınları, mikro dalga, radar, girdap akımları ve bazı elektriksel ölçüm teknikleri şeklinde örneklendirilebilir. Tahribatsız testlerin, diğer testlere nazaran daha kullanışlı ve yaygın olması tahribatsız testlerin gelişimini sağlamıştır. Tahribatsız testlerin çeşitliliğinin nedenlerinden biri ise betonun ve betonla birlikte demir örgünün algılanmasının oldukça zor olmasından kaynaklanmaktadır [48].

Tüm ölçüm tekniklerinde, numuneye uygulanacak etkiyi oluşturan bir sistem ve numunenin bu etkiye karşı oluşturacağı tepkiyi ölçebilecek ayrı bir algılayıcı sistem bulunmaktadır. İlk bölümde, çeşitli tekniklerin etki ve tepki sistemleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. İkinci bölümde ise bu tekniklerin içerisinde yer alan ve bu çalışmanın konusu olan manyetik ölçüm sistemi hakkında ayrıntılı bilgiye ve elde edilen deneysel sonuçlara yer verilecektir. Sonuçlar yardımıyla da uygulanacak olan manyetik sistemin ayrıntılarına yer verilecektir.

2.1 Modelleme

Kompleks bir yapıyı algılamadan önce, onu oluşturan en basit parçayı algılamak ve tanımak, tüm yapıya yönelik uygun bir çözümlenmeye yardımcı olacaktır. Betonarme yapıda bulunan demir donatının karmaşıklığı göz önünde bulundurulursa, tüm donatının algılanmasının kolay olmayacağı açıktır. Tüm yapıyı algılama işlemine başlamadan önce tek bir donatıdan gelecek olan sinyalin belirlenip karakterize edilmesi, yapılacak algılamayı kolaylaştıracaktır. Tek donatıdan kaynaklanan sinyalin belirlenebilmesi için FEMM programı yardımıyla simülasyonlar yapılmıştır. Sınırlı uzayın içerisine

yatay, algılama yönüne dik, bir demir çubuk yerleştirildiğinde Şekil 2.1'deki grafik elde edilmektedir. Bu grafikte sabit manyetik alan altında, demire yaklaşan sensörün ölçtüğü manyetik indüksiyonun giderek arttığı ve demir çubuk üzerinde maksimum değere ulaşarak, demir çubuktan uzaklaştıkça tekrar azaldığı ve bir Gauss eğrisi elde edildiği görülmektedir. FEMM programı kullanılarak elde edilen sonuçta manyetik indüksiyon Şekil 2.1'de verildiği gibi bir Gaussian eğrisini oluşturmaktadır.



Şekil 2.1: Demir çubuğun manyetik alan tepkisi.

Grafiğe bakılırsa başlangıç değerinin düşük olduğu, daha sonra konuma bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Manyetik alanın sabit olduğu göz önünde bulundurulursa bu artışın, demir çubuktan kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Demir çubuktan uzakta manyetik indüksiyonun başlangıç değerlerine sadece manyetik alandan katkı geleceği düşünülürse eşitlik 2.1 yazılabilir.

$$B = \mu_0 H \quad (2.1)$$

Burada;

B : Manyetik indüksiyon (T),

H : Uygulanan manyetik alan (T),

μ_0 : Boş uzayın manyetik geçirgenlik katsayısı ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T.m / A$).

Demir çubuğa yaklaştıkça manyetik alanın çubuğu manyetize edeceği düşünüldüğünde, manyetik alanın tepkisi olan manyetik indüksiyona, demirin manyetizasyonu da eklenecektir. Dolayısıyla manyetik indüksiyona, demirin manyetizasyonun da eklenmesi gerekmektedir. Sonuçta demir çubuğa yaklaştıkça manyetik indüksiyon 2.2 eşitliğine göre değişim gösterecektir.

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M \quad (2.2)$$

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2.3)$$

Burada;

B : Manyetik indüksiyon (T),

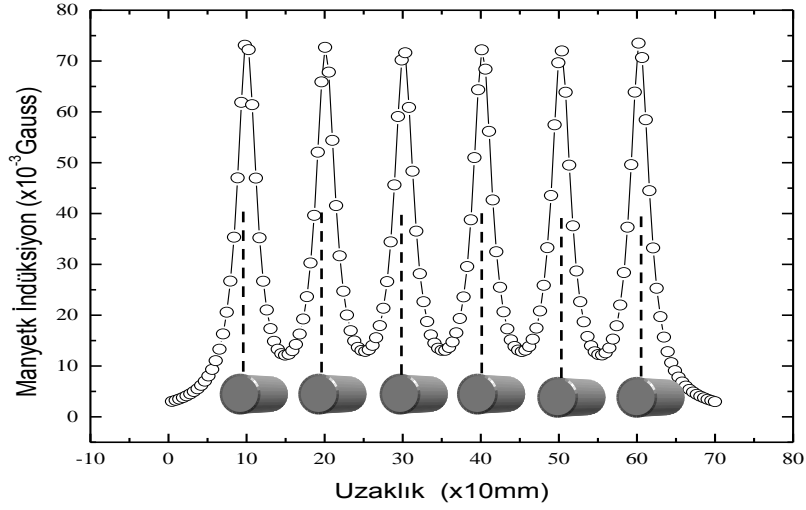
H : Uygulanan manyetik alan (T),

M : Örneğin manyetizasyonu (T),

μ_0 : Boş uzayın manyetik geçirgenlik katsayısı ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T.m / A$).

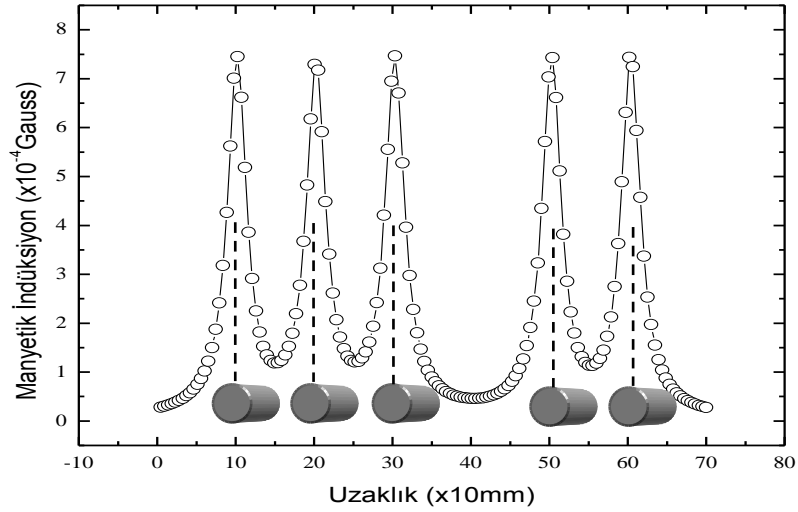
Manyetizasyondan gelen katkı demir çubuğun üzerinde maksimum olmakta ve demir çubuk geçildikten sonra manyetik indüksiyona demirin manyetizasyonundan gelen katkı giderek azalmaktadır. En son değerde ise manyetik indüksiyon tekrar 2.1 eşitliğine uymaktadır. Bu şekilde x eksenini boyunca konuma göre değişiklik gösteren manyetik indüksiyon, Gaussian bir eğri vermektedir.

Tek demirin sabit manyetik alan altında davranışının incelenmesinden sonra yan yana sıralanmış demirlerin benzer davranışı sergilemesi beklenmektedir. Yapılan modelleme sonucunda aynı özelliklere sahip demirlerin aynı tepkileri verdiği açıkça görülmüştür. Demirin bulunmadığı bölgelerde düşük kaydedilen manyetik indüksiyon değerleri, demirin bulunduğu bölgelerde yükselmektedir. Yan yana koyulan demirlerde ise aynı şekilde Gaussian eğrilerinin yan yana oluşması beklenmektedir. Yapılan modelleme sonucu, Şekil 2.2'de açıkça görülmektedir. Demirlerin etkisinde kalan değerlerin, demirin etkisinden uzaklaştıkça düştüğü kaydedilmiştir. İki demir arasında, demirlerin etkisi devam ettiğinden başlangıç değerinden yüksek bir değer elde edilmiştir.



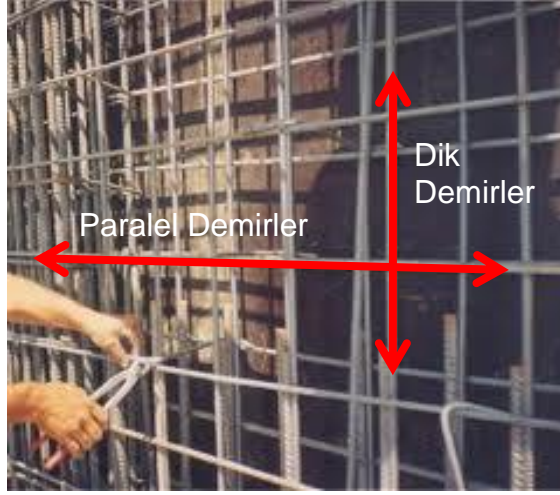
Şekil 2.2: Yan yana sıralanmış demir çubukların manyetik alan tepkisi.

Yan yana sıralanmış demir davranışlarının aynı olduğunun belirlenmesinden sonra, örgünün içerisinde bir demirin çıkarılmasının neden olduğu sinyal değişimi Şekil 2.3'te görülmektedir.



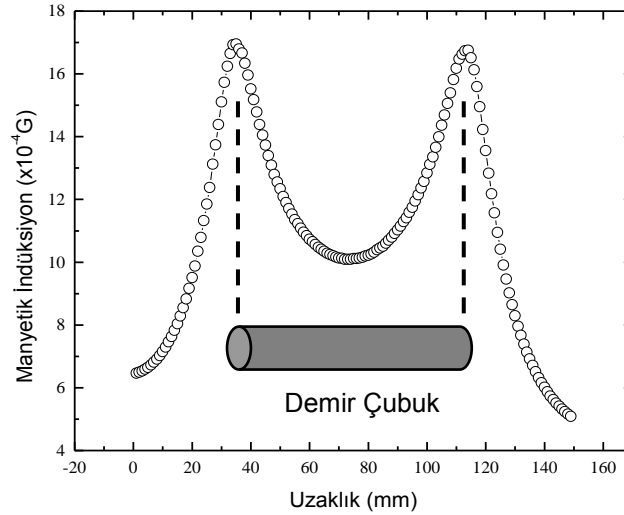
Şekil 2.3: Eksik demir çubukların manyetik alan tepkisi.

Örgü içerisinde alınan demir çubuğun manyetik davranışı bozmadığı ama sinyal seviyesinin başlangıçtaki değerine yakın bir değere yaklaştığı dikkat çekmektedir. Manyetik indüksiyonun hızlı düşüşü, eksik demirin olduğu bölgede açıkça görülmektedir.



Şekil 2.4: Dik ve paralel demirlerden oluşan gerçek örgü.

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, gerçek bir örgünün içerisinde dik demirlerden oluşan bir demir grubunun yanında, paralel demirlerden oluşan bir demir grubu da bulunmaktadır. Dolayısıyla manyetik ölçüm sisteminde hem dik, hem paralel demirlerin algılanması gerekmektedir. Diğer bir deyişle yapılan simülasyonlar tek tip demiri algılama için bir grafik vermiştir.



Şekil 2.5: Paralel konumlandırılan demir çubuğun manyetik alan tepkisi.

Ancak dik demirlerin varlığı tespit edilirken bu demirlere dik, manyetik alana paralel, demirlerin varlığı unutulmaması gerekmektedir. Bu durumun analiz edilebilmesi için, manyetik alanın yayılma yönüne paralel bir demirin

konumlandırılması sonucu oluşan manyetik indüksiyondaki değişim Şekil 2.5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, demirin uç kısımlarında manyetik indüksiyonun arttığı, demirin orta kısımlarında ise manyetik indüksiyonun azaldığı açıkça görülmektedir. Sınırlı uzayın içerisindeki manyetik akı çizgileri, manyetik alınganlığı yüksek olan demirin içerisine girmek isteyecektir. Demiri tercih eden bu manyetik akı çizgileri demirin uç kısımlarında yoğunlaşarak, bu bölgelerde değer olarak artışa sebep olmaktadır. Demirin orta kısımlarında ise herhangi bir manyetik akı çizgisinin yoğunluğu olmadığından, manyetik akı değerleri de değişmemektedir. Şekil 2.20'de bu simülasyon sonucu bulunmaktadır.

Bir başka deyişle, Şekil 2.5'teki grafikte, düşük seviyelerde olan manyetik indüksiyon, demir çubuğun uçlarına yakın bölgelerde yükselme eğilimine girmiştir. Bu yükselme demir çubuğun ortalarına doğru azalmakta fakat ilk durumuna göre daha yüksek bir değerde kalmaktadır. Bahsedilen artışın demirin manyetizasyonundan kaynaklandığı yukarıda değer olarak eşitlik 2.3'te verilmiştir. Uç kısımlardaki artış piklerinin sebebi ise manyetik alandan etkilenen demirin bir mıknatıs gibi davrandığı düşünülebilir. Bununla birlikte uç bölgelerinde uzaya çıkan akı yoğunluğunun fazla olması, bu bölgelerdeki manyetik indüksiyon değerini artırmaktadır. Bu simülasyon sonucuyla manyetik alanın demir üzerine olan etkisi ve manyetik indüksiyon değişimi hakkında bir öngörü edinilmiştir. Bu sayede algılayıcı sinyali hakkında daha doğru yorumlar yapılabilecektir.

2.2 Manyetizasyon Çeşitleri

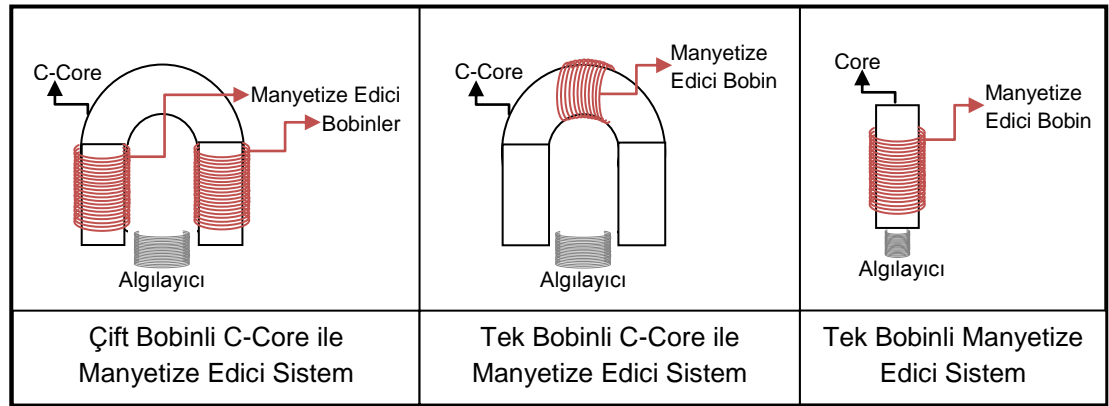
Bu çalışmanın konusu olan manyetik ölçüm sistemi için uygun manyetik alan kaynağının tasarlanması önem taşımaktadır. Manyetik ölçüm sistemi için yapılan modellemelerden sonra bazı manyetizasyon çeşitleri denenmiştir. Manyetik ölçüm sistemi, değişen manyetik akı bir elektrik potansiyel farkı indükler ve bu da bir akım üretir, prensibine göre çalışması gerekmektedir.

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (2.4)$$

ϕ : Manyetik akı (Weber)
 ε : İndüklenen elektromotor kuvvet (Volt)
 N : Sarım sayısı
 t : Zaman (Saniye)

Sistemin Faraday-Lenz Kanunu ile çalışması gerektiği ön planda tutulursa, sistemde alternatif akım kaynağı kullanılacaktır. Alternatif akım ile kendiliğinden yön değiştiren alan, algılayıcı bobinde kendiliğinden bir akım oluşturacaktır. Bu akımın uygun bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılması ile deney değerlerine ulaşılması hedeflenmektedir. Sistemin çalışma prensibi belirlendikten sonra oluşturulan modellerle yardımcıyla, uygun manyetize edici sistem seçilecektir.

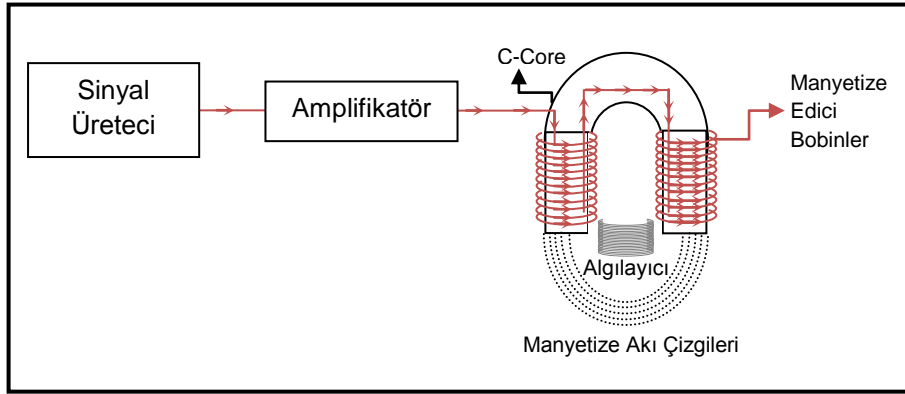
Bu çalışmada manyetik alan kaynakları olarak çift bobinli c-core, tek bobinli c-core ve tek bobin seçilmiştir.



Şekil 2.6: Manyetize edici sistemler.

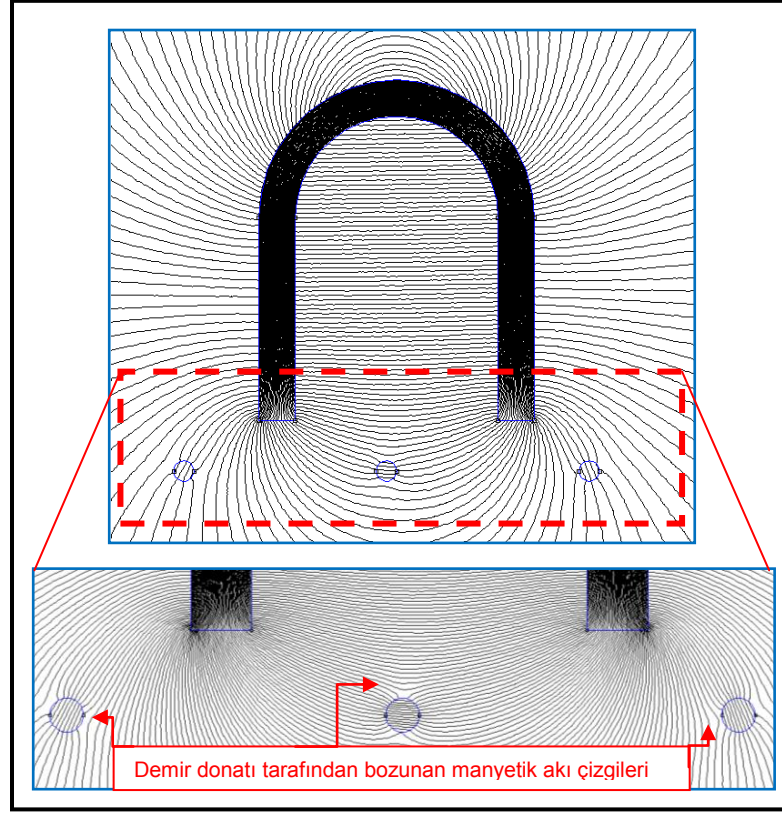
Şekil 2.6'da bobinler ile oluşturulan farklı manyetize edici sistemler şematik olarak gösterilmektedir. Bu sistemler ile yapılan ölçümlerde paralel ve dik demirlerin algılanmasında uygun manyetizasyon şekli seçilip, demir örgülerin algılanması deneylerine geçilecektir.

Manyetik ölçüm sisteminin tepki kaynağı, sabit değerli, değişken yönlü manyetik alan olarak belirlenmiştir. Alternatif akım ile oluşturulacak olan sabit değerli manyetik alan, demir çekirdek etrafına sarılmış bobinler yardımıyla elde edilmesi planlanmaktadır. Kullanılan demir çekirdeğin ise manyetik alan çizgilerini odaklamasının yanı sıra, oluşan manyetik alan büyüklüğünü arttırması hedeflenmiştir. Sistemde sinyal jeneratöründen gelen sinüs sinyali, amplifikatör yardımıyla yükseltilip bobinlerde bir manyetik alan oluşturacaktır. Oluşan bu manyetik alanı, demir çekirdek güçlendirilip, odaklayarak demir donatıya ulaşmasını sağlayacaktır. Elde edilen düzgün manyetik alan çizgileri demir donatı tarafından bozunuma uğrayacak ve bu bozunum algılayıcı tarafından yakalanacaktır. Bu bozunum sadece demir donatı ve etrafında oluşacağı için sinyalin bozulduğu bölgeler demir donatının bulunduğu bölgeler olarak kayıt edilecektir.



Şekil 2.7: Manyetize edici sistem.

Şekil 2.7'de manyetize edici sistemin şematik gösterimi bulunmaktadır. Bu gösterimde sinyal jeneratöründen gelen sinüs sinyali amplifikatörde güçlendirilerek birbirine seri olarak bağlı bobinlerde manyetik alan oluşturmaktadır. Sabit değerde sürekli yön değiştiren alternatif akım kaynağına bağlı bobinlerde oluşan manyetik alan, demir donatı üzerine geldiğinde bozunuma uğrayıp algılayıcıda bir sinyal indükleyecektir. İndüklenen sinyal, bozunum ile orantılı olup bozunumun en fazla olduğu bölgede yani demirin üzerinde en yüksek, demirden uzak olduğu yani bozunumun olmadığı yerlerde ise en düşük değerdedir.



Şekil 2.8: Manyetize edici sistem ve bozulan manyetik akı çizgileri.

Şekil 2.8’de algılayıcıda farklı değerde bir sinyalin oluşmasına sebep olan bozunumların modellenmesi görülmektedir. Manyetik akı çizgileri, manyetik alınganlığı yüksek olan demir donatıyı tercih edeceğinden, demir etrafındaki bozunum algılayıcıda bir sinyal indükleyecektir. Bu sinyal bilgisayar ortamına aktarıldığında grafikler yardımıyla demir donatının konumu tespit edilebilmektedir.

2.3 Paralel ve Dik Okuma

Şekil 2.1 ve Şekil 2.5’te verilen grafiklerde manyetizasyon doğrultusuna dik ve paralel yerleştirilen demirin, manyetik indüksiyonda yarattığı değişim hakkında bilgi edinilmişti. Yapılan bu modellemelerde beton içerisinde bulunan demir donatının, uygulanan manyetik alan altında bulunacağı durumlar göz önünde tutulmuştur. Şekil 2.9’da deneylerde kullanılan c-core ve demir donatının konumuyla ilişkilendirilen okuma çeşitlerine yer verilmiştir.

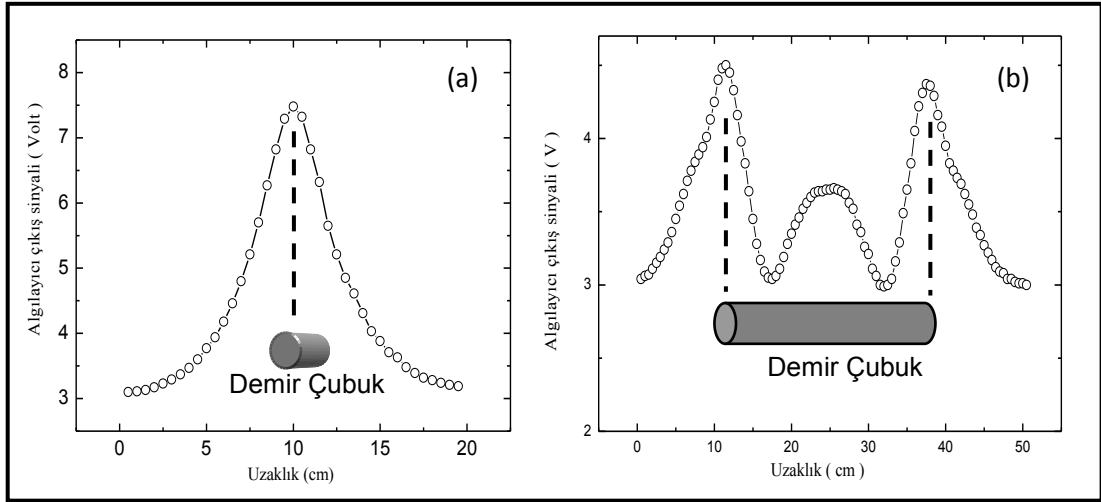
paralel okuma için elde edilen manyetik indüksiyon değişimleri sensörler yardımıyla algılanacaktır. Manyetik indüksiyonda bir değişiminin oluşabilmesi için, manyetik malzemenin özellikleri ve uygulanan dış manyetik alan önem arz etmektedir. Bu koşullar altında değişen manyetik indüksiyon, uygun sensörler yardımıyla yapılan deneyler sonraki bölümde sunulacaktır.

2.4 Yapılan Deneyler

Uygun manyetizasyonun seçimi için yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara bu bölümde yer verilecektir. Yapılan deneyler farklı şekillerde oluşturulan manyetik alanlar sonucunda elde edilen verileri kapsamaktadır. Hatırlanacak olunursa sistem, oluşturulan düzgün bir manyetik alanın demir donatı tarafından bozulması ve bu bozunumun algılayıcı tarafından algılanması üzerine kurulmuştur. Bu sistemde manyetik alan uygulama şekli ve algılama şekli değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Manyetik alan, Şekil 2.7'deki gibi bir c-core'un iki ayağının da bobin yardımıyla manyetize edilmesiyle elde edilebilir. Bu şekilde oluşturulan manyetik alan ile yapılan dik ve paralel okuma sinyalleri farklılık göstermektedir.

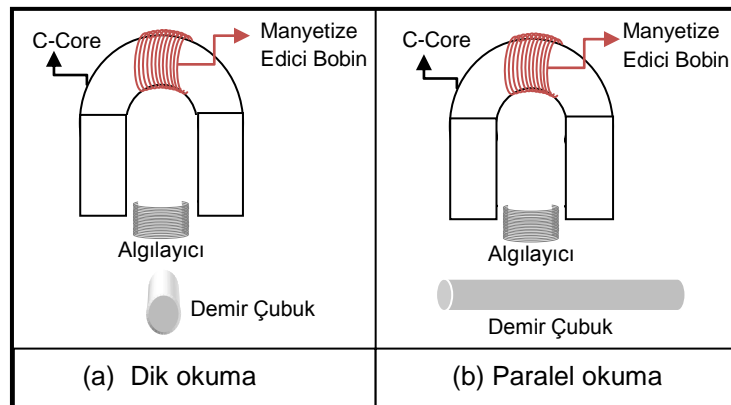
Bu sistem ile yapılan dik ve paralel okuma sonuçlarında elde edilen grafikler Şekil 2.11(a) ve Şekil 2.11(b)'de sırasıyla verilmiştir. Bu grafikler, simülasyon sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Dik okuma sonucunda sinyal seviyesi demir donatıya yaklaştıkça yükselmekte ve demir üzerinde bir maksimum değere ulaşmaktadır. Daha sonra demirden gelen katkının azalmasıyla beraber sinyal seviyesi düşmekte ve başlangıç değerine ulaşmaktadır. Paralel okumada ise sinyal seviyesi uç kısımlarda birer pik yapmaktadır. Bu piklerin arasında azda olsa bir yükselme dikkat çekmektedir. Bu yükselme demir örneğın bir mıknatıs gibi davranarak ortasındaki kutup sınırlarından birbirine geçiş yapan manyetik akıdan kaynaklanmaktadır. Simülasyonda bu yükselmenin oluşmamasının sebebi ise örneğın tüm akıyı içerisinde barındırmasıdır.



Şekil 2.11: Deneysel sonuçlar, (a) Dik okuma, (b) Paralel okuma.

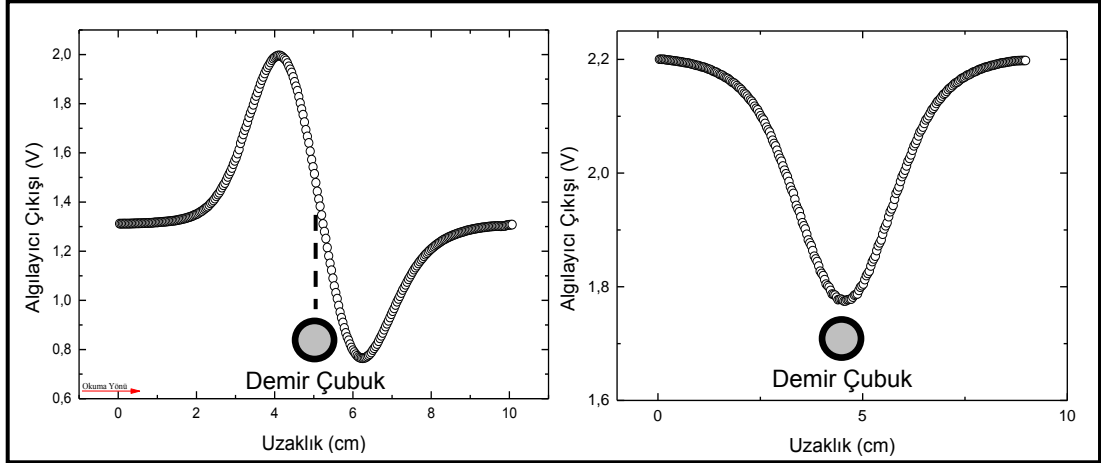
Bu manyetizasyon tekniği ile farklı iki konumdan farklı iki adet sinyal elde edilmiştir. Dik okumada Gaussian grafiği elde edilirken, paralel okuma da ise aynı demir üzerinde farklı sinyaller elde edilmektedir. Demirin mevcudiyetinin tam olarak nerede olduğu saptanamamaktadır. Demir örgüde paralel ve dik demirlerin olduğu göz önünde bulundurulursa, üst üste gelen demirlerden farklı sinyaller kaydedilecektir. Aynı demirden gelen farklı sinyallerin birbirinden ayrılmasının güç olacağı için demir örgü tam olarak algılanamayacaktır. Dolayısıyla bu manyetizasyon tekniği tercih edilmemiştir.

Manyetik alan, Şekil 2.12'deki gibi bir c-core'un üst tarafına sarılan bobin yardımıyla da elde edilebilmektedir.



Şekil 2.12: (a) Dik okuma, (b) Paralel okuma.

Bu teknikte manyetik alan üretebilmek için çift bobin yerine tek bobin kullanılmıştır. Bu şekilde yapılan deneylerde de dik ve paralel okuma sinyalleri birbirinden farklıdır. Tek bobin yardımıyla yapılan deneylerde elde edilen farklı sonuçların grafikleri Şekil 2.13'te sırasıyla verilmiştir.

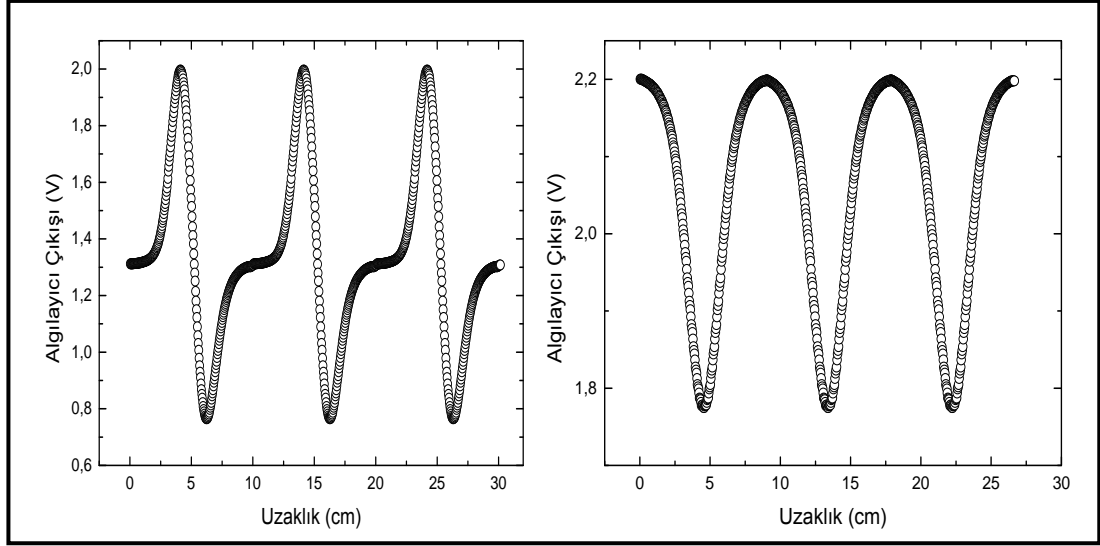


Şekil 2.13: Tek bobinli c-core ile yapılan (a) Dik okuma ve (b) Paralel okuma.

Tek bobinle manyetize edilen c-core'la dik okumada faz değiştiren bir grafik elde edilmiştir. Bu grafikte demire doğru yaklaşan manyetik alan yükselen bir grafik kaydederken, demirin tam üzerinde bu değer başlangıç değerine dönmüştür. Sensör bu noktadan sonra başlangıç değerinden düşük değerler kaydetmektedir. Bu değer bir minimum değerinden sonra tekrar yükselerek başlangıç değerine ulaşmıştır. Böylece demirin bulunduğu bölgede bir dalgalanma elde edilmiştir. Bu dalgalanmanın yön değiştirdiği nokta tam olarak demir örneğin üzeridir.

Paralel okumada ise demirin yönü değil c-core'un yönü değiştirilmiştir. Yani demir ile manyetik alan yönü yine birbirine paralel hale getirilmiştir ama demir boyunca tarama yapılmamıştır. Demir ile paralel duran manyetik alan çizgileri hemen demirin içerisine nüfuz edip, oradaki manyetik akıyı azaltarak algılayıcı çıkışında bir düşüşe neden olmuştur. Ardı ardına dizilen demir üzerinde yapılan paralel okumada Şekil 2.13'teki gibi bir algılayıcı çıkış grafiği elde edilmiştir. Bu grafikte demirin bulunduğu bölgelerde algılayıcı çıkışında azalma kaydedilmiştir. Sinyal azalmasının, diğer okuma türünde olduğu gibi

burada da çok istenilen bir durum olmadığından dolayı bu manyetizasyon tipinden uzaklaşmıştır. Dik okuma ile ardı ardına yerleştirilen üç demir tarandığında Şekil 2.14'teki gibi demirlerin bulunduğu bölgede bir dalgalanma durumu ortaya çıkmaktadır.

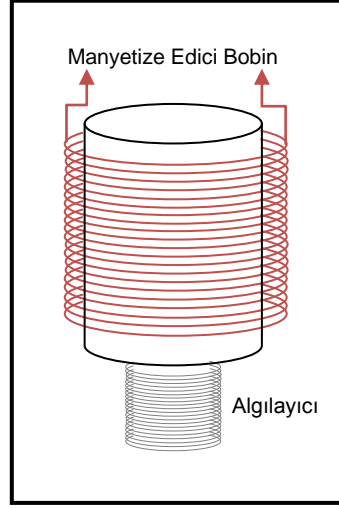


Şekil 2.14: Tek bobinli c-core ile yapılan (a) Dik okuma ve (b) Paralel okuma.

Yan yana dik demirlerden oluşturulan örgü sinyali Şekil 2.14(a)'da verilmiştir. Demirlerin faz değiştiren sinyalleri birbirini takip etmektedir. Şekil 2.14(b)'de ise manyetizasyon yönüne paralel olan demirlerin algılayıcı çıkışını düşürdüğü üç adet paralel demirin grafiği bulunmaktadır. Demirlerin bulunduğu bölgelerde sinyaller düşüş göstermektedir. Dik ile paralel demirlerden kaydedilecek olan demir örgünün toplam sinyali karmaşık bir yapıda olacağı için bu manyetizasyon şekli de demir donatının algılanmasında kullanılamayacaktır.

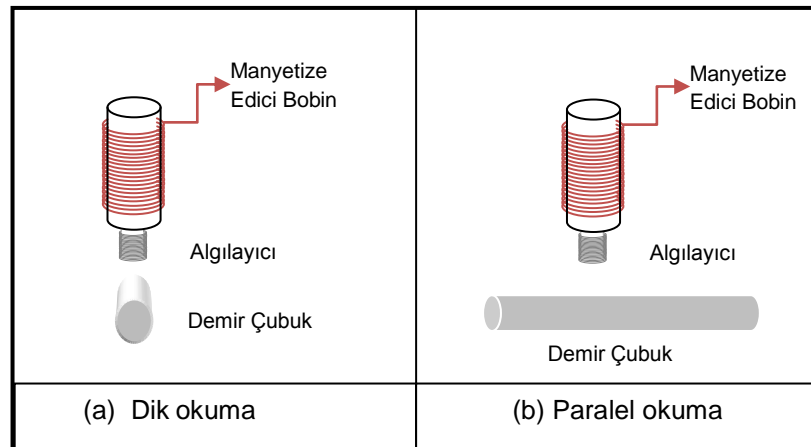
C-core, diğer bir deyişle demir çekirdeğin iki adet kutbu olduğundan dolayı yapılan manyetizasyon şekillerinde, dik ve paralel okuma gibi iki adet farklı algılayıcı çıkışı elde edilmektedir. Bu ise, karmaşık bir yapının algılanmasını oldukça zorlaştıran yeni daha karmaşık bir durum haline getirmektedir. Bu yüzden bu manyetizasyon kaynaklarından vazgeçilmiştir.

Önerilen manyetize edici sistemlerden biri de, tek bobinle manyetize eden ve manyetize eden bobinin altına yerleştirilen algılayıcı bobinden oluşan sistemdir. C-core kullanımı ile birlikte yöne bağlı oluşan okuma farklılıklarının tek bobin için oluşmayacağı düşünülmektedir. Bu şekilde yöne bağlı manyetizasyonun ve farklı sinyallerin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir.



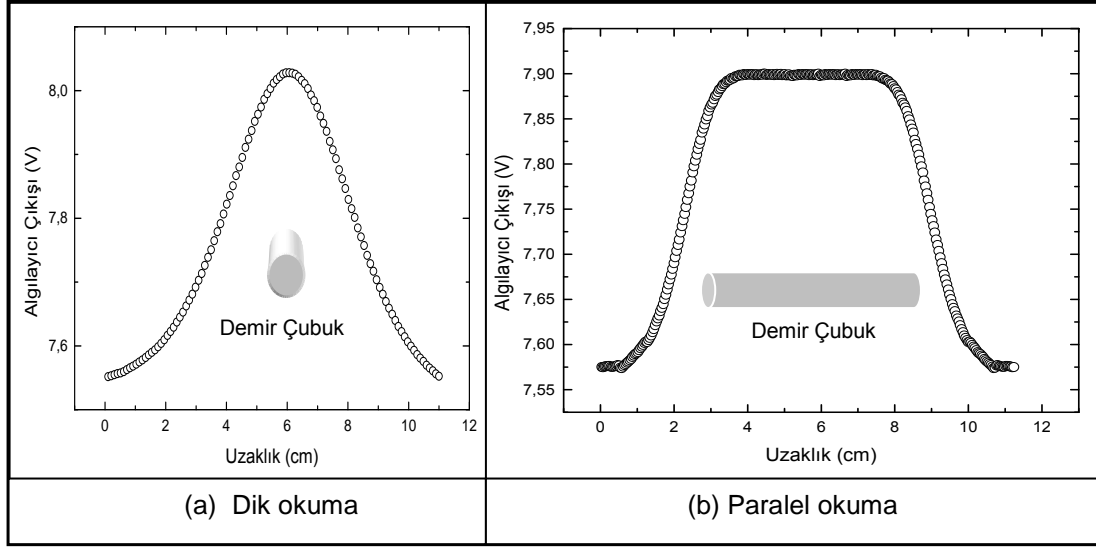
Şekil 2.15: Tek bobinli manyetize edici sistem.

Tek bobinli manyetize edici sistem ile yapılan paralel ve dik ölçümler aynen tekrarlanıp, yöne bağlı farklı sinyallerden ziyade, tek tip sinyal elde edilmesi planlanmaktadır.



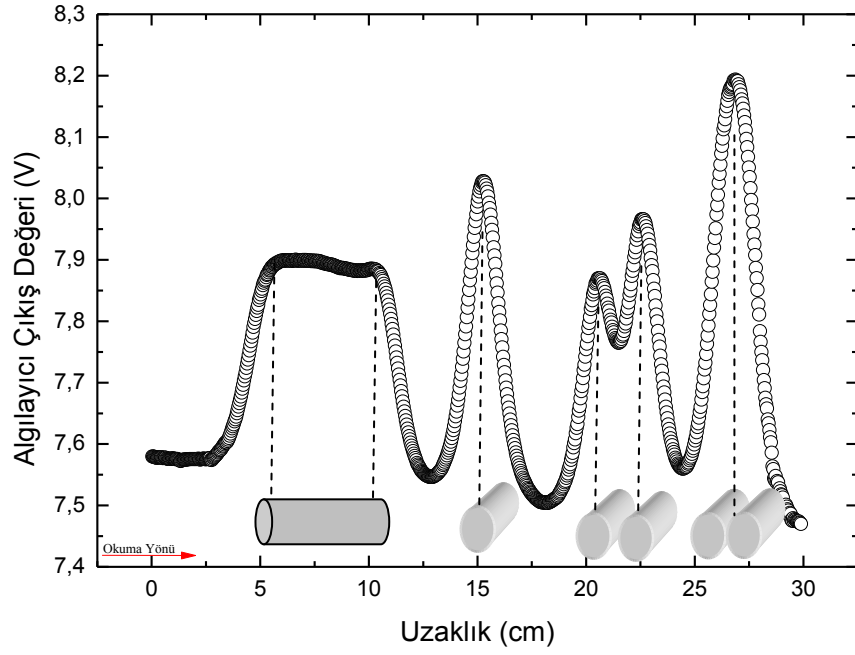
Şekil 2.16: Tek bobinli manyetize edici sistem.

Yapılan paralel ve dik okumada elde edilen sinyaller doğru manyetizasyon çeşidinin, tek bobinli manyetizasyon olduğunu göstermiştir.



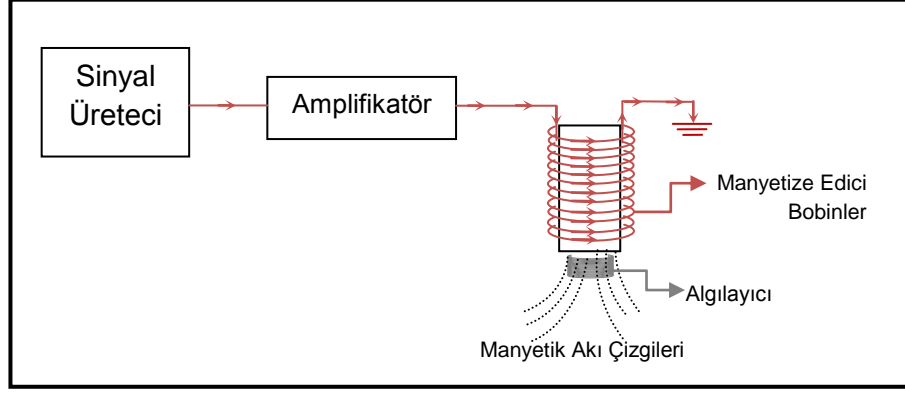
Şekil 2.17: Tek bobinli (a) Dik okuma ve (b) Paralel okuma.

Şekil 2.17'de verilen grafiklerde, her iki okuma türünde de aynı tip grafik bulunmaktadır. Grafiklerde demirin bulunduğu bölgelerde sinyal yükselip, demirden uzaklaştıkça sinyal seviyesi düşmüştür. Bu manyetizasyon kaynağının uygun olduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Çünkü demir örgünün karmaşıklığı göz önünde bulundurulursa, sadece demirin bulunduğu bölgelerde artış gösteren bir algılayıcı çıkışı, bu yapıyı algılamada yardımcı olacaktır. Grafiklere dikkat edildiğinde herhangi bir dalgalanma veya sinyal değişimi olmaması ve sadece demirin bulunduğu noktalarda artan sinyal değerleri manyetizasyonun uygunluğunun bir göstergesi olarak sunulabilir. Bu sistem için ardı ardına yerleştirilmiş okuma yönüne dik, paralel, birbiriyle bitişik ve ayrı demirlerle yeni bir ölçüm alınmıştır. Bu ölçüm sonucunda, demir örgüde bulunan paralel ve dik demirler göz önünde bulundurulmuştur. Paralel demirin yanına dik demir yerleştirilerek sinyaller karşılaştırılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18: Tek bobinli manyetize edici sistem.

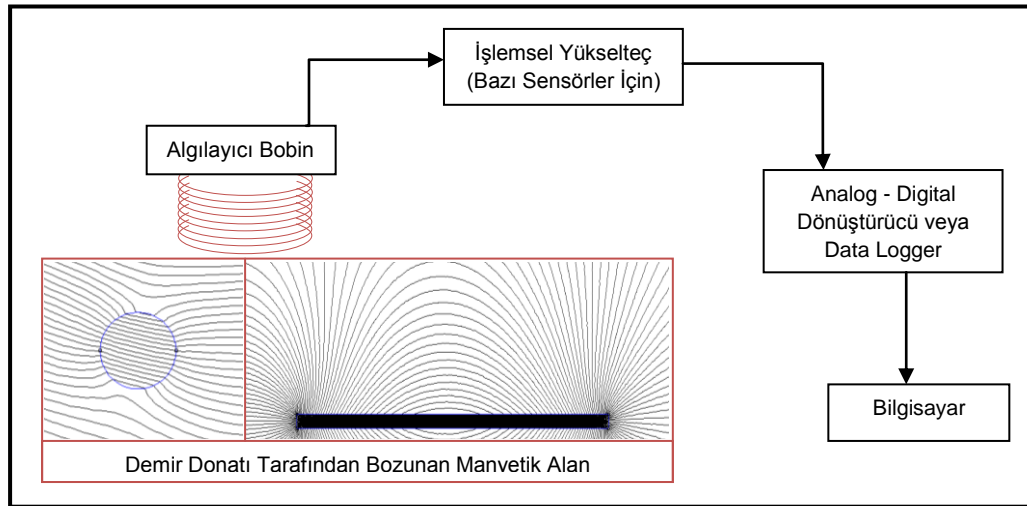
Burada soldan sağa sırasıyla 7 cm boyunda yan bir demir, onun yanında dik duran tek bir demir, ardından aralarında 2 cm bulunan iki demir ve son olarak ta yan yana duran iki dik demir üzerinden bir ölçüm alınmıştır. Demire yaklaştıkça sabit olan sinyal seviyesi, artış göstermektedir. Bu artış demirin üzerine geldiğinde sabit kalıp, demir boyunca da devam etmiştir. Demir örnekten uzaklaştıkça sinyal başlangıç seviyesine geri dönmüştür. Daha sonra yaklaşan tek dik demir sinyal seviyesini yine arttırmakta ve demir üzerindeyken bir pik yaptırmaktadır. Demirden uzaklaştıkça sinyal seviyesi yine başlangıç değerine gerilemektedir. Tek demirden sonra aralarında 2 cm mesafe bulunan demirlere yaklaşan sistem, yine artan bir sinyal kaydetmektedir. Birbirinden farklı büyüklükteki iki pik, ikinci demirin yarıçapının, birinci demirin yarıçapından daha büyük olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla birinci demirden sonra ikinci demire yaklaşırken sinyal seviyesi artış göstermektedir. Daha sonra bu sinyaller birleşerek artan bir pik verecektir. Bu durum bitişik demirler üzerinde kaydedilmiştir. Bitişik demirlerden gelen sinyal, değer olarak normal sinyalden fazladır ve açıkça fark edilmektedir. Bu şekilde sistem, bir örgü içerisinde demirin bulunabileceği durumları göz önünde bulundurarak oluşturulan örgüyü uygun bir şekilde algılamıştır.



Şekil 2.19: Tek bobinli manyetize edici sistem.

Manyetizasyonun sağlanması ile uygun algılayıcı çıkışları elde edilmiştir. Bundan sonraki süreçte çeşitli demir örgülerin oluşturulup deney sonuçlarının elde edilmesi gerekmektedir. Bobin içerisinden geçirilen alternatif akım ile oluşturulan manyetik alan, yine algılayıcı bobin yardımıyla analog sinyale dönüştürülecektir.

Algılayıcı sistem olarak bobin düşünülmüştür. Değişen manyetik alan, algılayıcı bobinin üzerinde bir potansiyel fark indükleyeceğinden, bu fark uygun sistem ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 2.20: Algılayıcı sistem.

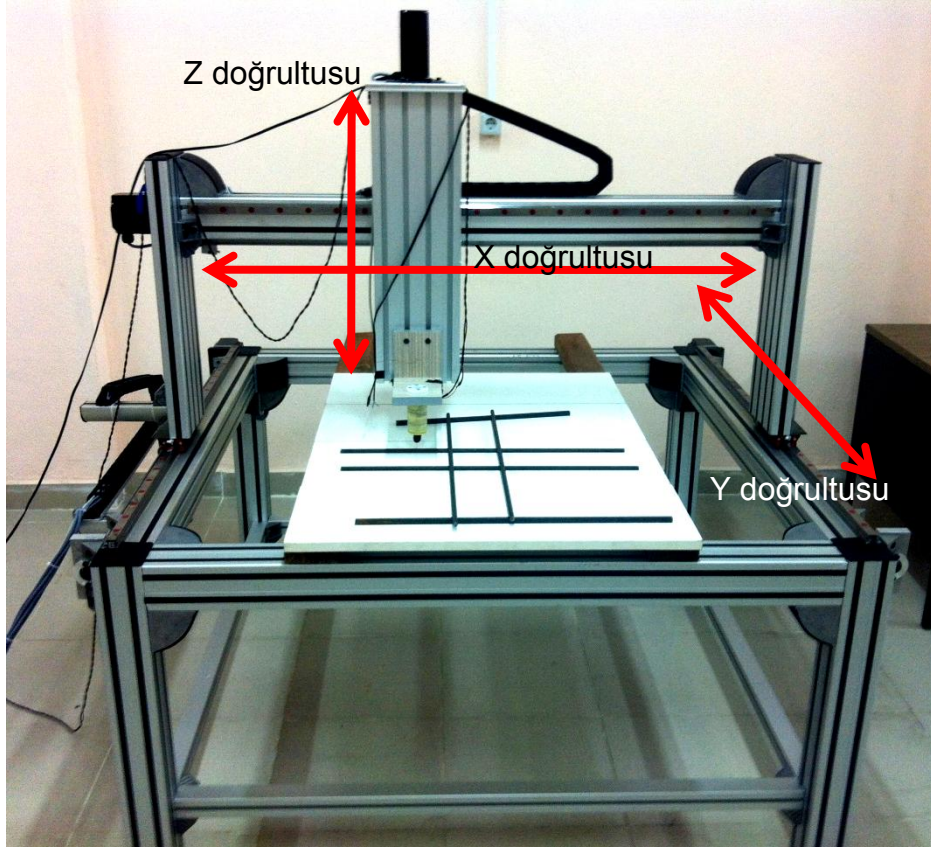
Şekil 2.20'de, bozulan manyetik alan çizimleri modellemede verilmiştir. Bozulan manyetik akı çizimleri, algılayıcı bobin üzerinde bir potansiyel fark

indüklemektedir. Bu fark işlemsel yükselteçler ile yükseltip sayısal çeviriciler ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu çalışma da ise kullanılan Hewlett Packard Data Logger ve Hantek Data Logger sistemi ile alınan ölçümlerde işlemsel yükselteç kullanılmamıştır. İndüklenen sinyaller datalogger üzerinden bilgisayar ortamına doğru bir şekilde aktarılmıştır. Aktarılan veriler ile çizilen grafikler yardımıyla demir donatı hakkında bilgilere ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda uygun manyetizasyon şekli seçilip ve sinyallerin bilgisayara aktarılması sağlanmıştır. Bu çalışmada, bu sistemler kullanılarak demir donatının algılanmasına geçilmiştir.

3. DENEYSEL VE TEORİK SONUÇLAR

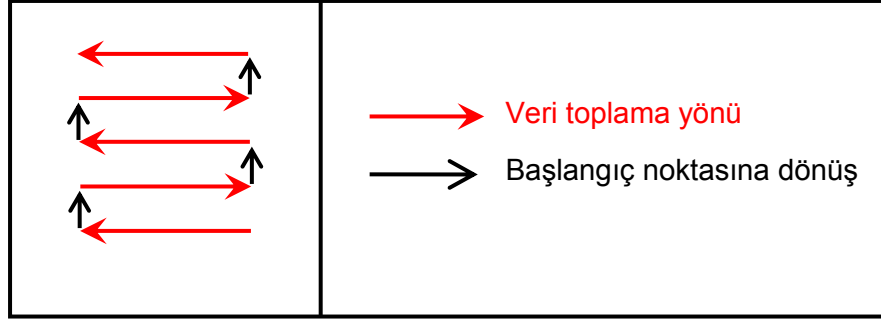
Manyetize edici ve algılama sisteminden sonra tarayıcı sisteminde oluşturulması gerekmektedir. Tarayıcı sistem, manyetize edici sistemi demir örgünün üzerinde hareket ettirerek, bütün donatının algılanması için kullanılmaktadır. Bu sayede manyetik alan tüm donatının üzerine uygulanarak tüm örgü algılanacaktır. Toplam hareket alanı 1000mmX1000mm, yükseklik olarak ise 500 mm olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.1: 6 ekseninde hareket edebilen tarayıcı sistem.

Tarayıcı sistem, adım motorları ile hareket ettirilirken, adım motorları da bilgisayar kontrollü adım motor sürücülerinden oluşan bir panel tarafından kontrol edilmektedir. Kullanılan bilyeli vidalı miller ve taşıyıcı arabalar ile hassasiyet oldukça artırılmıştır. Tüm tarayıcı sistem sigma profil ile

oluşturulmuştur. Tarayıcı sistemin bu kadar mukavemetli ve hassas olması demire yaklaşırken ve demirden uzaklaşırken kaydedilecek sinyallerin uygun bir şekilde tespit edilebilmesi için tasarlanıp geliştirilmiştir. Bunun ile birlikte demir donatıyı algılayabilmek için uygun bir tarama şekli seçilmesi gerekmektedir.

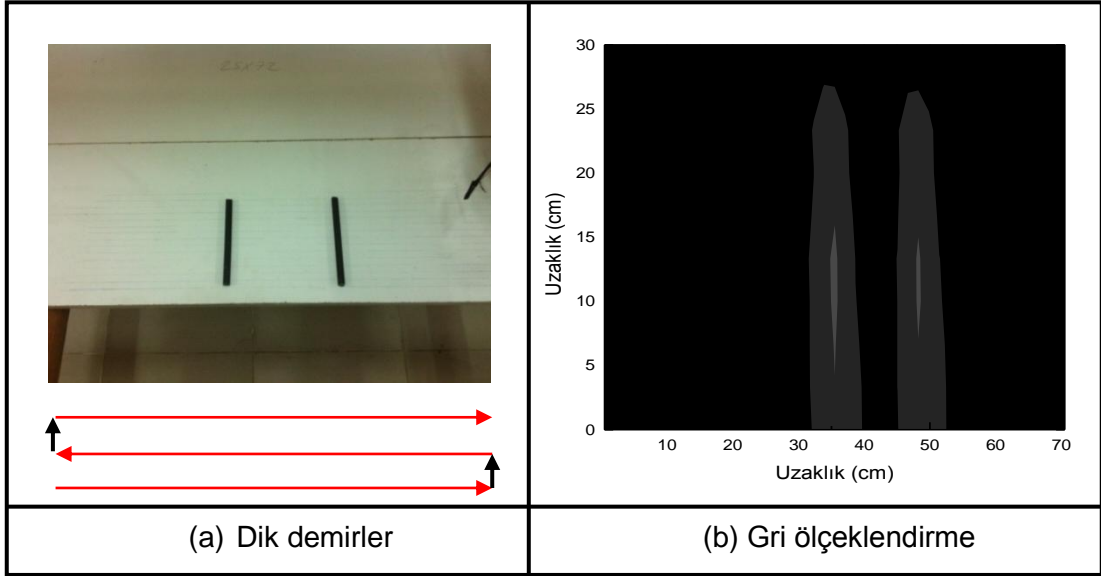


Şekil 3.2: Alan taraması.

Sistem, sensörü sola doğru veri toplayarak ilerletir, sonrasında sensör ileriye ve sağa doğru tekrar veri toplayarak geriye gelir. Bu tekrar edilerek alan taraması bitirilir ve bu anlatım Şekil 3.2'de açıkça belli olmaktadır. Sensör, kırmızı hatlar boyunca veriler toplar, siyah hatlar boyunca ise sadece ilerler. Her 2 mm ileriye hareket ettikten sonra sağa veya sola ilerleyerek sinyaller kaydedilmiştir. Bu sayede yapının bütüne yakın kısmı taranarak, yapı hakkında bilgiler toplanabilmiştir. Bütün deneylerde uygulanan tarama şekli aynı olup sinyaller hassaslıkla kaydedilmiştir.

Deney düzeneğinin ayarlamalarından sonra tek demirin algılanmasına geçilmiştir. Tarayıcı sistemin hareketli ucuna tek bir manyetize edici bobin ve bobinin hemen altına ise algılayıcı bobin monte edilerek deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde paralel ve dik demirler algılayıcı çıkışını değiştirmemektedir. Yani demirin bulunduğu bölgelerde sinyal seviyesinde artış, demirin olmadığı bölgelerde ise sinyal seviyesinde düşüş gözlenmiştir.

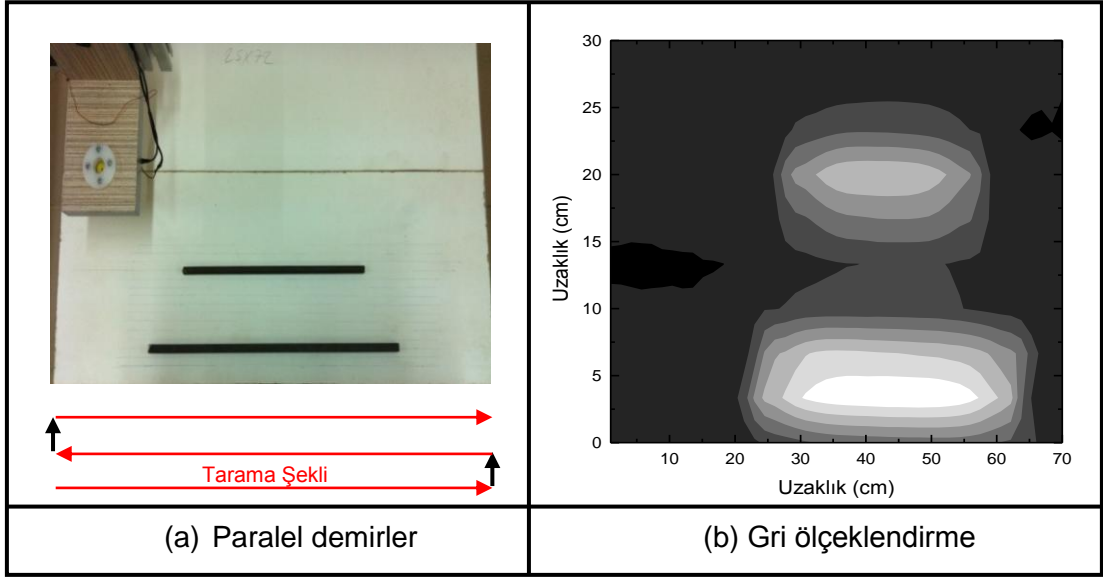
Tek demirin davranışı önceden yapılan deneylerden bilindiği üzere, sistem ile paralel ve dik demirden oluşturulan küçük bir örgü için veriler toplanmıştır.



Şekil 3.3: Alan taramasında iki dik demir.

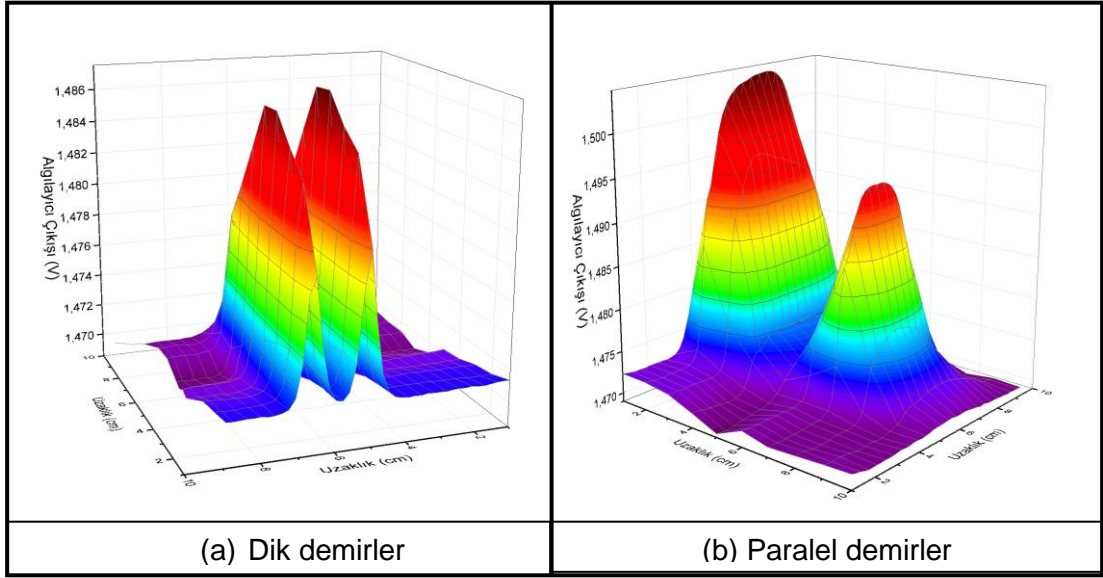
Okuma yönüne dik iki demir yerleştirilerek alınan ölçüm Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Şekil 3.3(a)'dan anlaşılacağı gibi okuma yönü ile demirler birbirlerine göre diktir. Tarama şekli bir kez daha hatırlatılarak sinyaller kaydedilmiştir. Algılanan sinyaller, demirlere yakın bölgelerde yüksek demirlerden uzak bölgelerde ise düşük olarak kaydedilmiştir. Deney sonucuna göre elde edilen gri ölçeklendirme Şekil 3.3(b)'de verilmiştir. Grafiğe bakılırsa demirin olmadığı yerler siyah iken demirin bulunduğu bölgeler griye kaymıştır. Sadece dik demirlerin bulunduğu bir tarama alanında demirlerin bulunduğu noktalar net bir şekilde elde edilmiştir. Okumanın belirli bir yükseklikten yapıldığı ve tarama adımlarının sıklığı göz önünde bulundurulursa renk tonundaki değişim daha açık görülecektir.

Bu deneyden hemen sonra okuma yönüne paralel olarak yerleştirilen demirler ve deney sonucu Şekil 3.4'te bulunmaktadır.



Şekil 3.4: Alan taramasında iki paralel demir.

Şekil 3.4(a)'da tarama yönüyle aynı yönde birbirlerine paralel demirler açık şekilde görülmektedir. Bu demirlerden uzun olanı 10 mm çapa sahip iken kısa olan ise 8 mm çapa sahiptir. Sonrasında tarama şekli gösterildiği gibi alınan ölçüm Şekil 3.4(b)'de verilmiştir. Gri ölçeklendirmede 10 mm çapa sahip uzun demir daha belirgin bir bölge oluştururken, 8 mm çapa sahip demir ise biraz daha gri bir alan oluşturmuştur. Demirlerin boyları, konumları ve çapları arasındaki farkı kolay bir şekilde ayırt edilebilen bir grafik elde edilmiştir. Deney sonucunda ise 10 mm çapında demirin bulunduğu bölge daha beyaz tonlara sahip iken, 8 mm demir bölgesi gri tonlara sahiptir. Gri tonların katmanları arasındaki geçiş, tarama adımlarının genişliği ve sıklığı ile doğru orantılıdır. Tarama adım aralığının belirlenebilmesi için de deneyler yapılmıştır. Bu deneylerden sonra tarama adım sıklığı belirlenmiştir. Sadece çizgisel grafik ile belli olan demir ve demire yakın bölgelerin, gri ölçeklendirmede de belirgin bir hal aldığı açıkça görülmüştür. Bununla birlikte alan taraması sonucunda üç boyutlu grafiklerde çizilmiştir. Bu grafiklere bakıldığında demirin bulunduğu bölgeler pik yapıp belirgin bir hal almıştır.



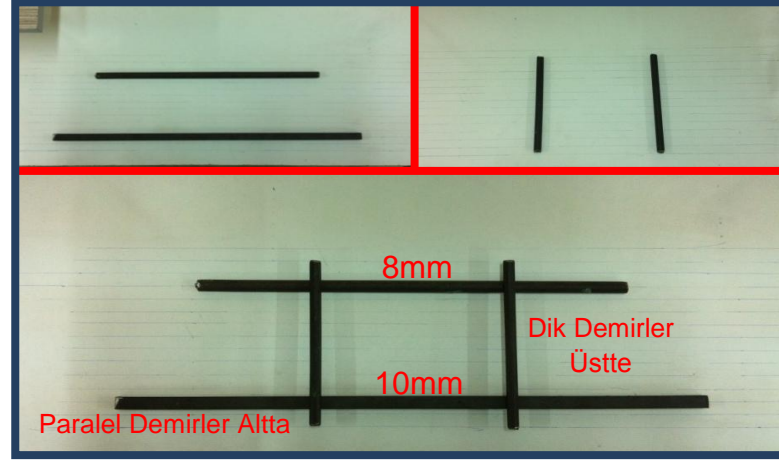
Şekil 3.5: Üç boyutlu grafikler.

Şekil 3.5'te verilen üç boyutlu grafiklerde ise sinyallerin değişimi daha açık bir şekilde görülmektedir. Normal bir değerde kaydedilen sinyaller düz bir alan oluştururken, bu alan iki demir tarafından bozulmuştur. Demirlerin bulunduğu bölgelerde sinyal yükselip renk değiştirerek iki adet yükselti oluşturmuştur. Bu tepeler demirlerin bulunduğu bölgelerdir. İki demir arasında ve demirler dışındaki bölgelerde sinyal seviyesi normal seviye olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde paralel demirler için de normal seviye iki adet sinyal ile bozulmuştur. 10 mm çapındaki demir sinyali, 8 mm çapındaki demirin sinyalinden daha yüksek kaydedilmiştir. Bu fark, gri ölçeklendirmede de olduğu gibi açıkça görülmektedir.

Dik demirlerin boyutları birbirine yakın olduğundan ortaya çıkan grafikte de kontrast yoğunlukları aynı olup yaklaşık olarak birbirine denktir. Paralel demirlerde ise boy ve kalınlık farkı açıkça görülmektedir. Kontrast farkı 10 mm'lik demirde daha fazla iken 8 mm'lik demirde daha azdır. Demirlerin bulunduğu alan ise net bir şekilde belli olmaktadır.

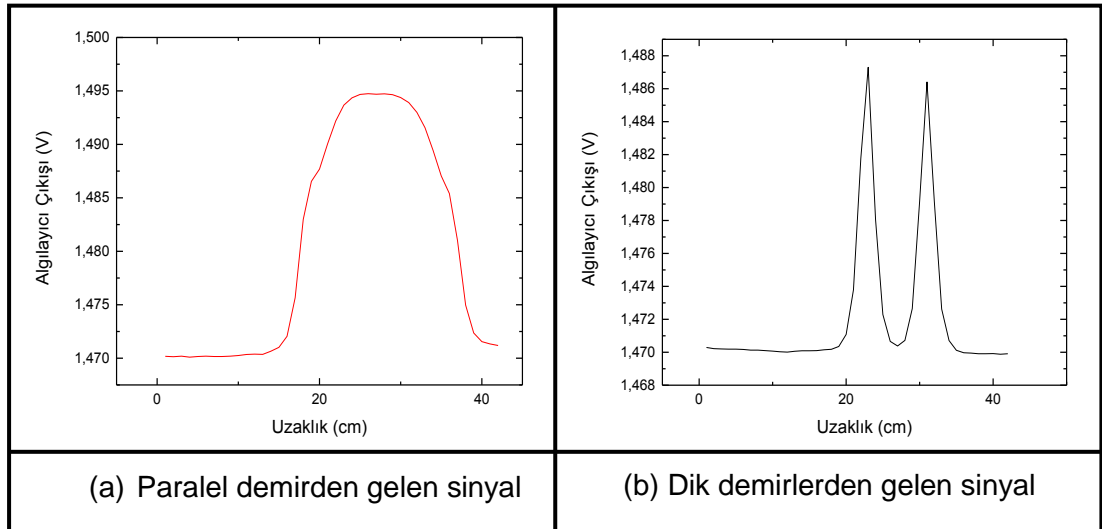
Paralel ve dik demirlerin ayrı ayrı grafikleri elde edildikten sonra basit bir kare örgü oluşturulup sistemin dik ve paralel demirler ile birlikte bir ölçümü

test edilmiştir. Kare Örgü, altta paralel iki demir (bunların birisi 8 mm diğeri ise 10 mm) ve üstte ise bu demirlere dik iki adet (8 mm'lik iki demir) demirden oluşmaktadır. Bahsedilen demirler Şekil 3.6'da açıkça görülmektedir.



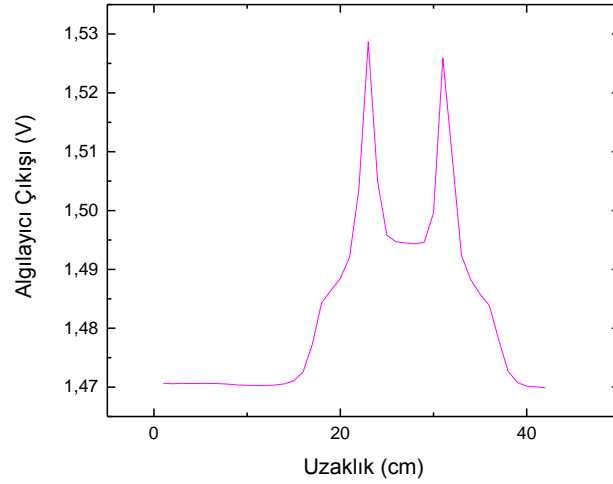
Şekil 3.6: Dik ve paralel demirler ile oluşturulan kare örgü.

Fotoğraflardaki demirler sırasıyla yerleştirildikten sonra, alan taraması şeklinde sinyaller okunmuş, bu sinyaller düzenlenip iki ve üç boyutlu grafikler çizilmiştir.



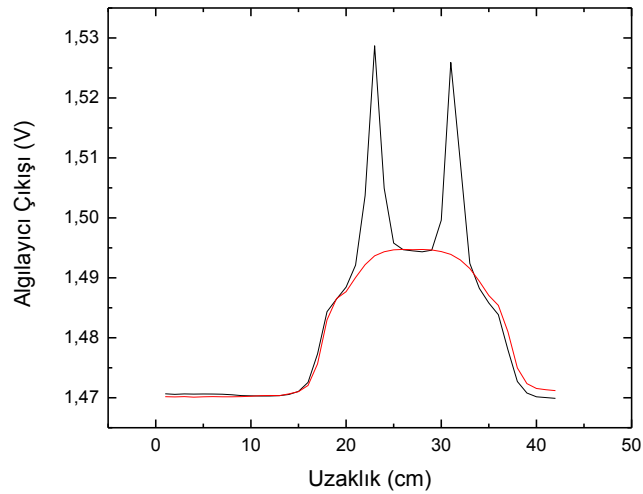
Şekil 3.7: Dik ve paralel demirlerden kaydedilen sinyaller.

Şekil 3.6'da verilen paralel ve dik demirler ile yapılan deneylerde kaydedilen sinyaller Şekil 3.7'de sırasıyla verilmiştir. Dik demirlerde iki adet pik gözlenirken, paralel demirlerde, demir boyunca artan değerler kaydedilmiştir. Bu demirler ile oluşturulan küçük bir kare örgü Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu örgü, paralel demirler altta, dik demirler ise üstte olacak şekilde konumlandırılmıştır. Dolayısıyla benzer sinyaller elde edilmesi beklenmektedir.



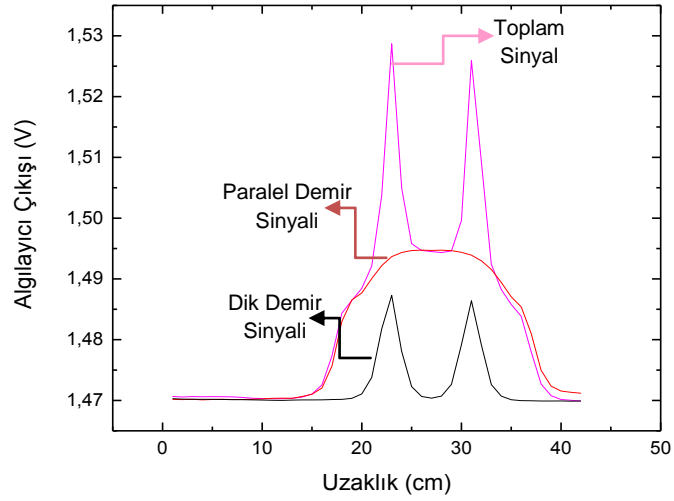
Şekil 3.8: Kare örgüden kaydedilen toplam sinyal.

Şekil 3.8'deki grafiğe bakılacak olunursa, paralel demirden gelen sinyal dik demirlerden gelen sinyal ile birleşip toplam bir sinyal oluşturmuştur.



Şekil 3.9: Toplam sinyal ile paralel demirin sinyal farkı.

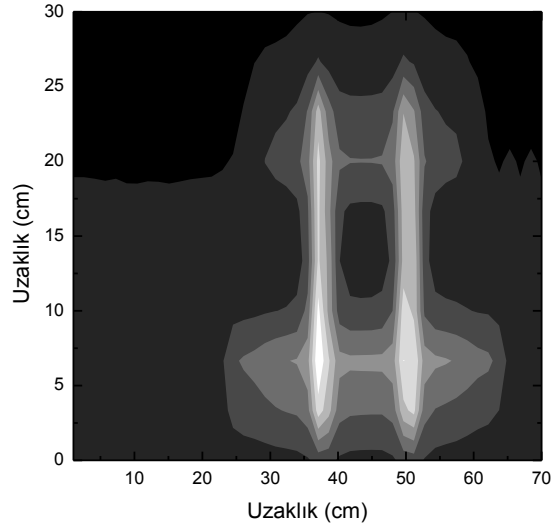
Paralel ve dik demirlerden gelen toplam sinyal incelemeye alınır; paralel demirin üzerine, dik demirin sinyali eklendiği açıkça görülmüştür. Bir örgü içerisindeki paralel ve dik demirlerin anlamlı bir şekilde algılanabilmesi için toplam sinyalden, dik demir ve paralel demir sinyallerinin ayrılması gerekmektedir.



Şekil 3.10: Toplam sinyalden, dik ve paralel demirin sinyallerin ayrılması.

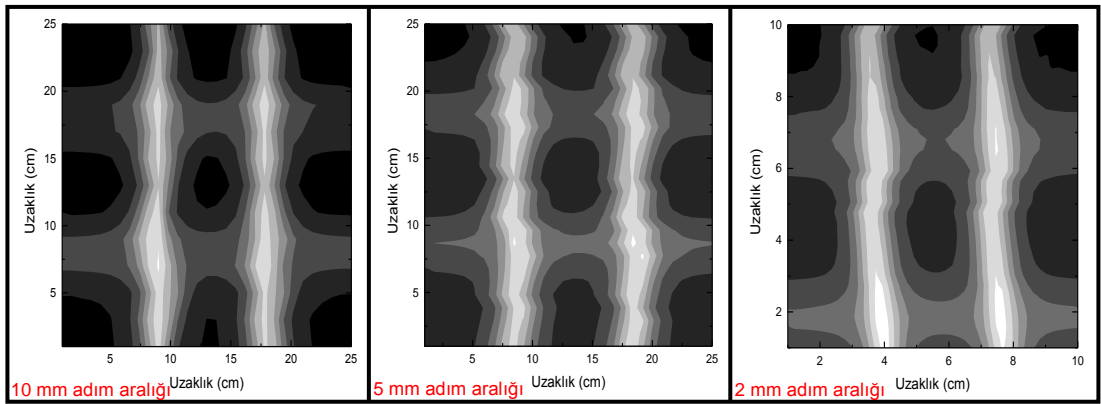
Şekil 3.10'daki grafikte, kaydedilen sinyaller birbirinden ayrılmıştır. Kare örgüden kaydedilen toplam sinyal içerisinde bulunan 10 mm çapında paralel demir sinyali ve 8 mm çapında dik demir sinyali birbirinden kolaylıkla ayrılmıştır. Piklere sahip grafik dik demirlerden alınırken, geniş bir yüksekliğe sahip sinyal ise paralel demire aittir. Sinyal değerleri arasındaki fark çapların farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Kare örgüden elde edilen sinyaller yardımıyla bir gri ölçeklendirme grafiği çizilmiştir. Bu grafikte demirlerin yerleri tespit edilebilmiştir. Detaya inilebilen grafik olmamıştır. Bahsedildiği üzere gri ölçeklendirme ve üç boyutlu grafikler için tarama adım aralığının belirlenmesi, grafiklerdeki çözünürlüğü arttıracığından demir hakkında daha doğru bilgilere ulaşılması planlanmaktadır.



Şekil 3.11: Kare örgü.

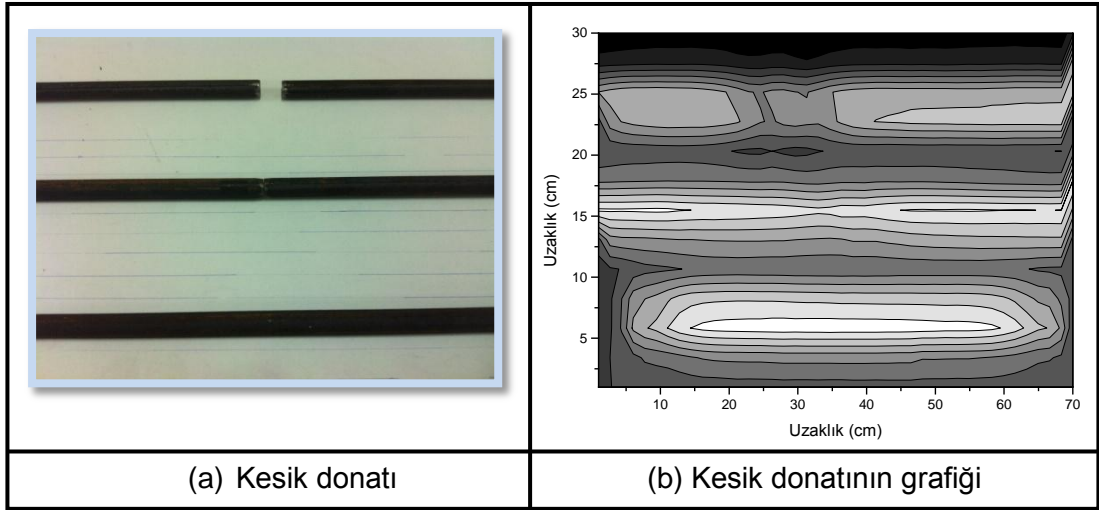
Alan taramasında (70 cm x 30 cm) algılayıcı 1 cm aralıklar ile ilerletilip sinyaller kaydedilmiştir. Demirin etrafındaki bölgelerde ve demirlerin üzerinde kontrast griye kayarken, diğer bölgeler siyah olarak kaydedilmiştir. Dik demirler algılayıcıya yakın olduğundan tıpkı Şekil 3.10'daki gibi yüksek değerler vererek belirgin hal almıştır. Bu grafiğin kare bir örgüden kaydedildiği açıkça belli olmaktadır. Bundan sonraki deneylerde bu grafiğin üzerinde yapılacak olan işlemler ile demirler hakkında daha fazla bilgi alınabilmesi için sinyallerin işlenmesi ve tarama adım aralığının düzenlenmesine geçilecektir.



Şekil 3.12: Tarama aralığı belirlenmesi.

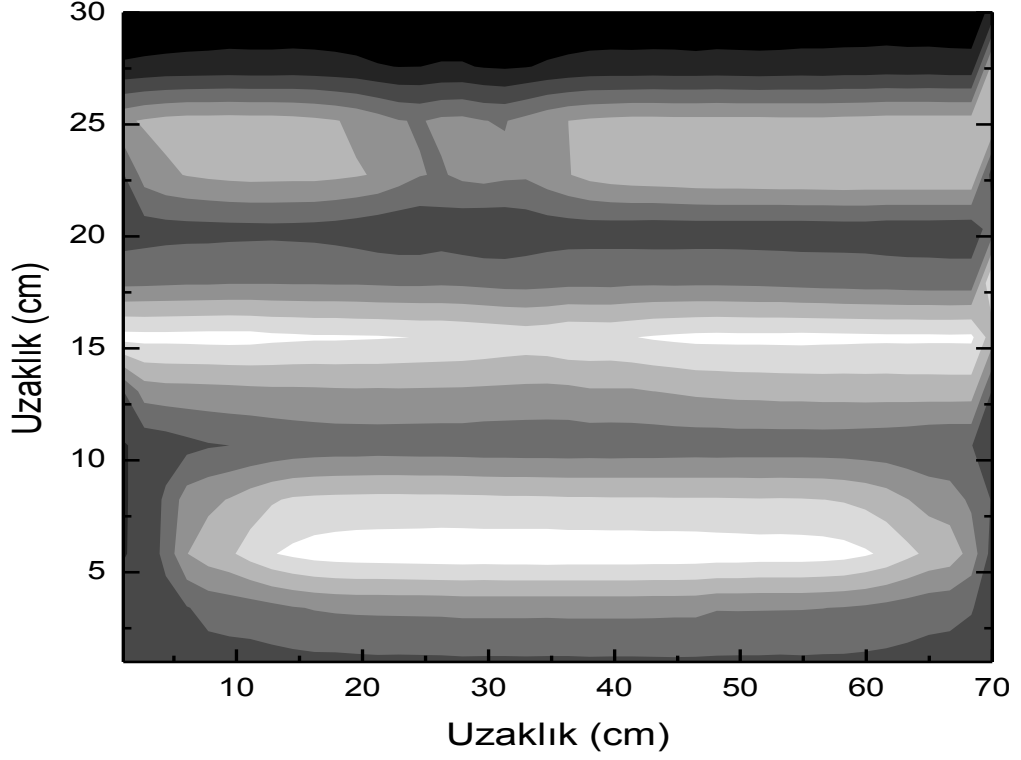
Kare örgünün farklı adım aralıkları ile elde edilmiş olan grafikleri Şekil 3.12'de verilmiştir. Uygun tarama aralığının belirlenmesi, donatı hakkında daha fazla bilgiye ulaşılmasını sağlayacağı için yapılan deneylerde her 2 mm de tarama yapılması uygun görülmüştür. Bu aralık ile kaydedilen sinyaller donatı hakkında uygun sinyallerin elde edilmesi için önemlidir.

Dik, paralel ve kare örgünün tespitinden sonra adım aralığı da belirlenmiştir. Bu deneylerden sonra sağlam demir ile birbirinden ayrılmış demir sinyalleri karşılaştırılmıştır.



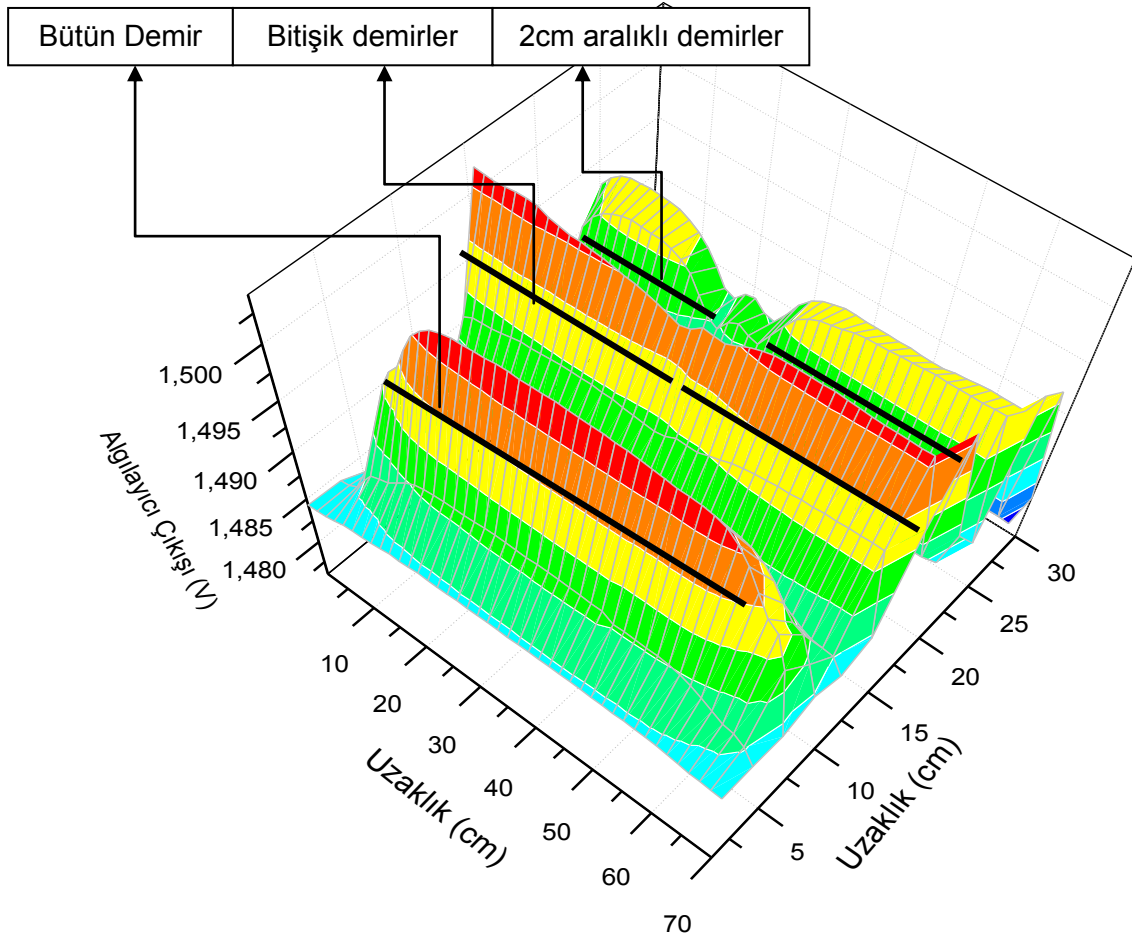
Şekil 3.13: Kesik donatının belirlenmesi.

Şekil 3.13(a)'da sırasıyla birbirinden 2 cm ayrı, bitişik iki demir ve son olarak sağlam demir tarama alanına yerleştirilmiştir. Bu demirlerin tarama grafiği de Şekil 3.13(b)'de verilmiştir. Tarama alanındaki sağlam demir ve birbirinden farklı mesafelerde ayrılmış iki demir farklı sinyaller vermiştir. Bu tarama sonucunda elde edilen sinyallerden sonra yapılan detaylı taramada kaydedilen sinyaller Şekil 3.14'te verilmiştir. Bu grafikte sinyaller daha doğru bir şekilde analiz edilebilmiştir.



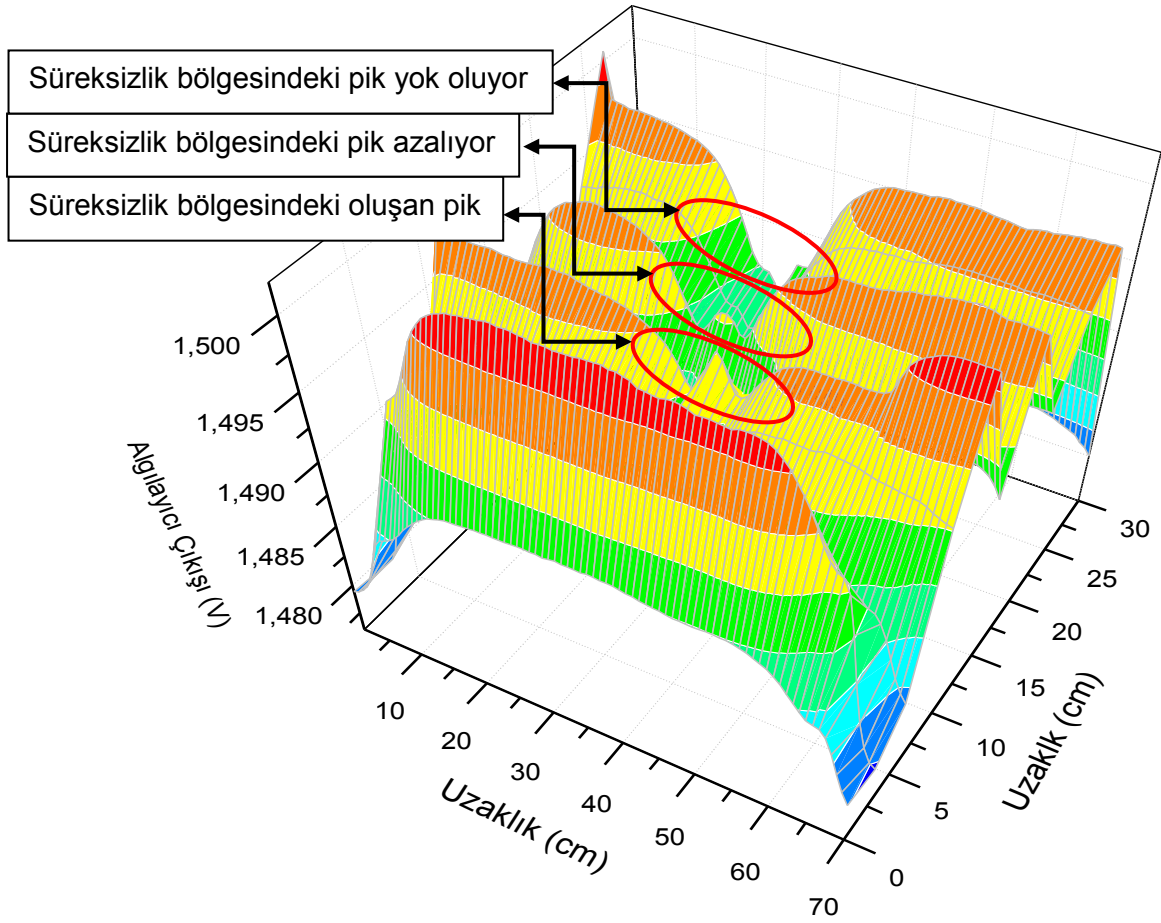
Şekil 3.14: Kesik donatının belirlenmesi.

Yapılan detaylı taramada aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla yerleştirilen bütün demir, bitişik iki demir ve birbirinden 2 cm uzaktaki iki demir grafikte açıkça görülmüştür. Bütün demirden kaydedilen sinyal sürekli ve değer olarak daha yüksektir ki beyaza kayan bir renk vermiştir. Sinyalin sürekli olmasından demirin bütün olduğu anlaşılabilir. Hemen üzerindeki birbirine bitişik iki demir, birbirinden ayrılmış iki sinyal vermiştir. Beyaz bölgelerin birbirinden ayrılması bunu açıkça göstermektedir. Bununla birlikte beyaz bölgelerde daralma olması manyetizasyonun bütün demir ile parçalı demirlerde değiştiği, parçalı demirde daha düşük değerde olduğu yorumu yapılabilir. Aralarında 2 cm mesafe bulunan demirlerde, sinyal seviyesinin düştüğü ve kontrastın da gri tonlara kaydığı görülmektedir. Demirler arasındaki mesafe arttığında sinyallerin birbirinden ayrıldığı açıkça görülmüştür. Bütün demir ve parçalı demirler arasında sinyal seviyesinin farklı olduğu kaydedilmiştir. Bu sistem yardımıyla örgüde bulunan demirlerdeki süreksizlikler tespit edilebilmektedir.



Şekil 3.15: Kesik donatının belirlenmesi.

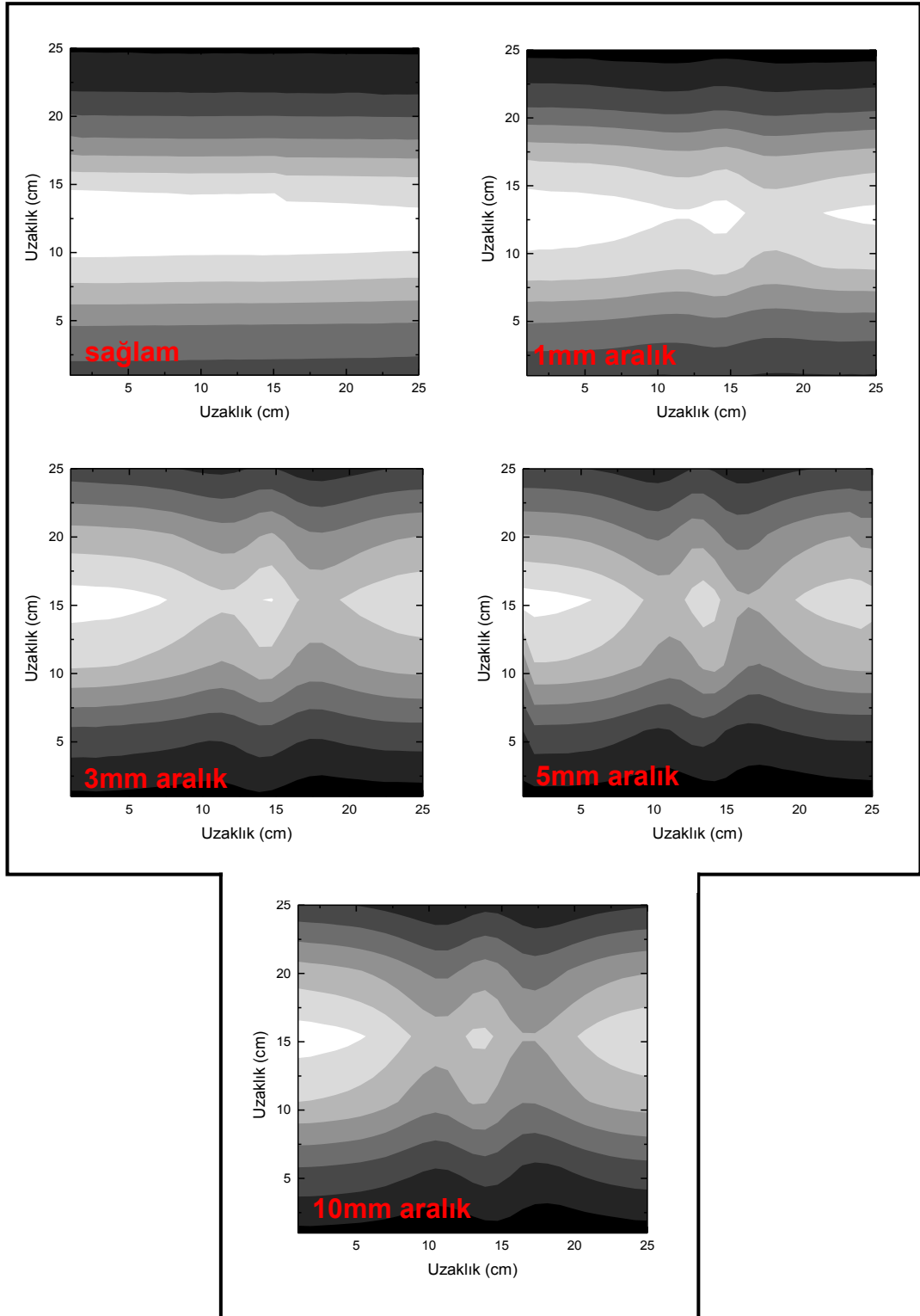
Üç boyutlu grafikte sinyal yükseklikleri daha belirgin bir haldedir. Bu grafikte, bütün demirden kaynaklanan manyetizasyon sinyali en yüksek değerdedir ve kırmızı bölgede kaydedilmiştir. Bitişik demirlerden gelen manyetizasyon sinyali ise değer olarak turuncu bölgeden kırmızı bölgeye az miktarda geçiş yapmıştır. Bitişik demirlerin kesişme bölgesinde, sinyalin normal seviyesinden düşük değerler alması küçük bir dalgalanma yaratırken, bu bölgenin süreksiz bir bölge olduğunu belirtmektedir. Aralarındaki mesafe 2 cm'ye çıkan demirlerin sinyali, diğer iki sinyalden düşük bir seviyede kalırken değer olarak sarı bölgeye karşılık gelmektedir. Bununla birlikte süreksizlik bölgesinde oluşması beklenen sinyal dalgalanması, bu bölgenin tam ortasında ufak bir pik oluşturmuştur. Demir üzerindeki süreksizlikler manyetizasyon etkisini azaltırken, süreksiz bölgelerde sinyal dalgalanması ortaya çıkarmaktadır. Bu sayede donatı üzerindeki süreksizlikler tespit edilebilmektedir.



Şekil 3.16: Kesik donatının belirlenmesi.

Kesik donatının farklı sinyaller oluşturduğu gözlemlendikten sonra herhangi bir sebepten dolayı örgü içerisinde oluşabilecek değişik mesafeli demirler tekrar tarama alanına yerleştirilmiştir. Şekil 3.16'da verilen grafikte bütün demirden başlayıp sırasıyla bitişik iki demir, 5 mm aralıklı iki demir, 15 mm aralıklı iki demir, 25 mm aralıklı iki demirden alınan ölçümlerin grafikleri bulunmaktadır. Bütün demirin dışındaki demirlerin sinyallerinde süreksizlik bölgelerinde dalgalanmalar elde edilmiştir. Süreksiz bölgelerin mesafelerine göre sinyallerde pikler oluşmuş ve bu piklerin değerleri azalıp yok olmuştur. İlk bakışta grafik üzerinde herhangi bir değerlendirme yapmadan, oluşan dalgalanma nedeniyle süreksizliğin bulunduğu yorumu yapılabilir. Piklerin boyutlarından da süreksizlik aralığının tahmini yapılabilir. Yapılacak detaylı incelemede mesafenin boyu ve konumu tespit edilebilir. Bir önceki deney ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Aralıklı demirler açıkça belli olmaktadır. ,

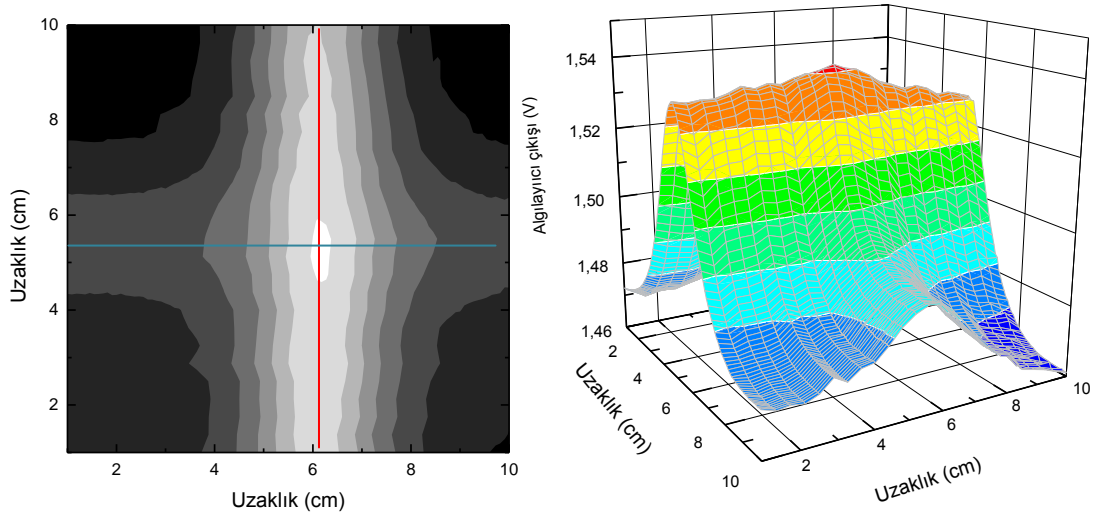
Üç boyutlu grafik ile belli olan süreksizlikler, iki boyutlu çizgi grafiği ile analiz edilebilir.



Şekil 3.17: Farklı süreksizliklere sahip demir donatıların belirlenmesi.

Demir donatının sahip olduğu farklı süreksizlikler ile elde edilebilecek tüm grafikler Şekil 3.17'de verilmiştir. Örgü içerisinde bulunan demir donatı üzerinde çeşitli sebeplerle(deprem, korozyon, vb.) oluşabilecek süreksizlik durumları düşünülüp hazırlanmıştır. Bu yüzden tüm grafikler tüm olasılıkları yansıtmaktadır. 1 mm, 3 mm, 5 mm, 10 mm aralıklı demirler açıkça belli olurken süreksizlik bölgesinin ortasındaki pikler mesafeye göre değişim göstermiştir. Bu deneyler sonucunda uygun tarama adım aralığı ile donatının arasındaki süreksizlikler açıkça tespit edilmiştir.

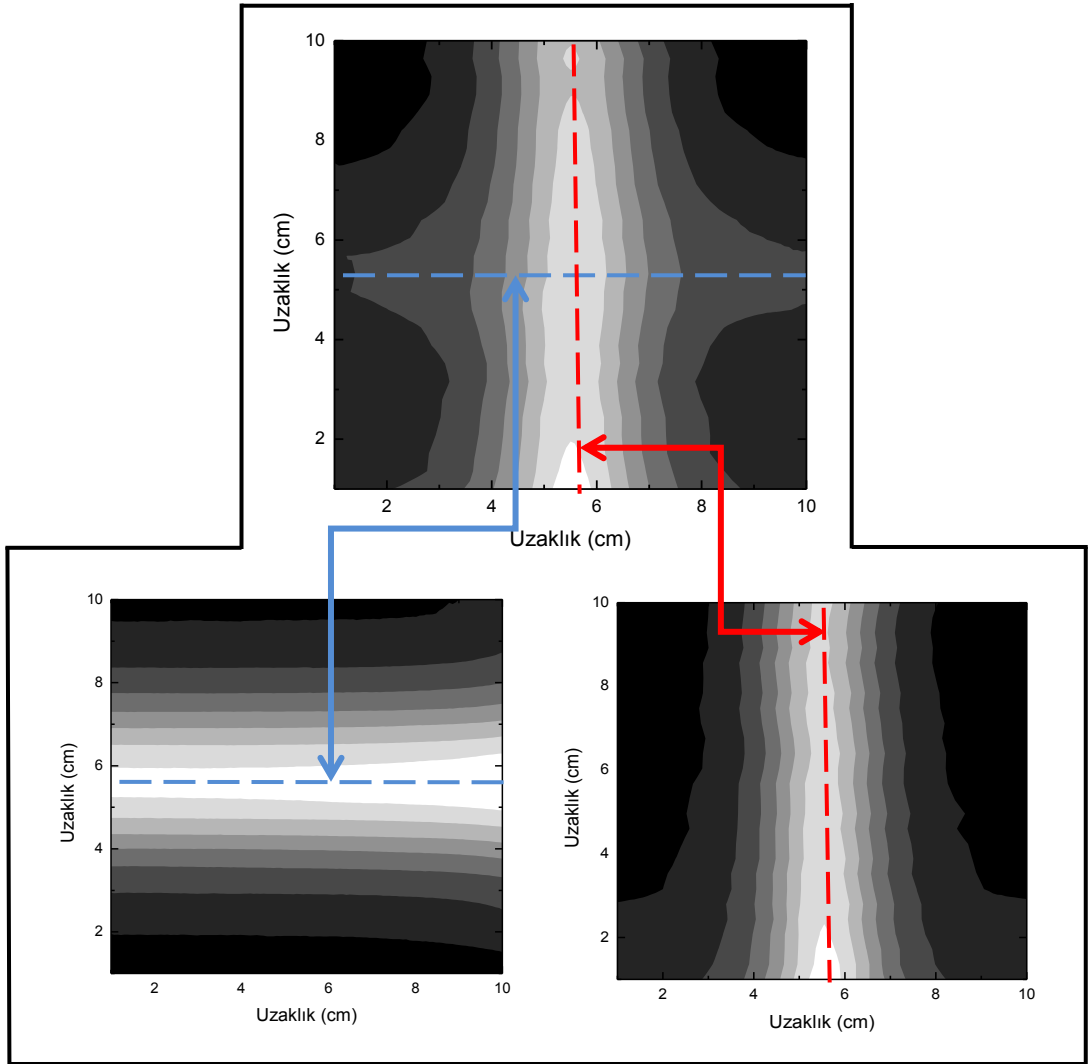
Demir donatının doğru bir şekilde algılanabilmesi için yapılan deneylerden bir tanesi de üst üste konulmuş demirlerden oluşan artı şeklindedir. Donatı algılanmasında en çok karşılaşılabilecek olan modelin bu olmasından dolayı bir dik ve bir paralel demirden oluşan artı şekli taranmıştır.



Şekil 3.18: En küçük örgü taraması.

Şekil 3.18'de görüldüğü üzere gri ölçeklendirmede okuma yönüne dik kırmızı çizgi ile gösterilen demir, algılayıcı bobine daha yakın olduğu için o demir etrafında ölçeklendirme renkleri daha fazladır. Mavi renkte çizgi ile gösterilen ve okuma yönüne paralel olan demir ise algılayıcı bobine uzak kaldığı için gri ve tek renkte ortaya çıkmıştır. Seviye farkından dolayı üstteki demirden gelen sinyal daha detaylıdır. Yine seviye farkından dolayı, alt

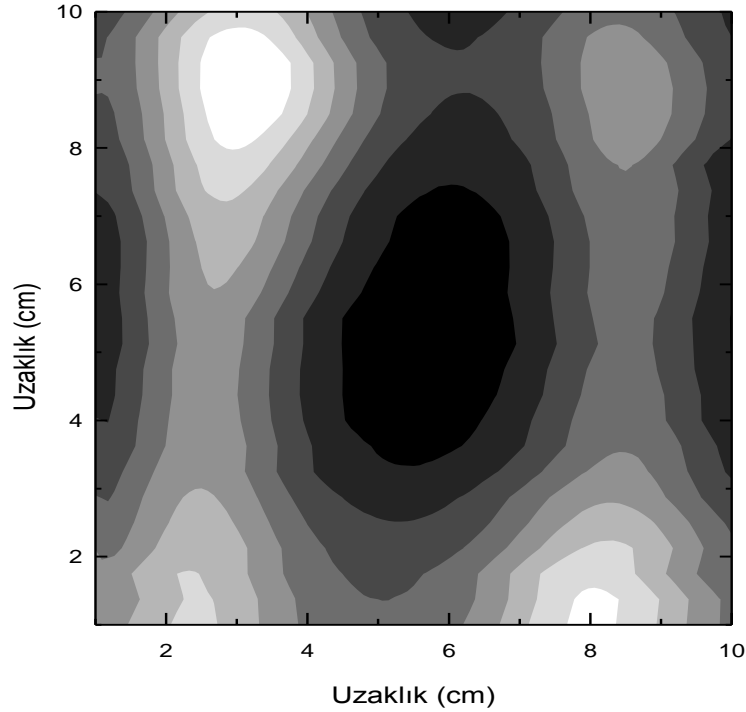
demirden gelen sinyalin katkısı daha azdır. Ancak birleşim bölgesindeki beyaz noktada ise iki demirin de katkısı olduğu için en yüksek algılayıcı çıkış değeri kaydedilmiştir. Üç boyutlu gösterimde ise üst demirden gelen katkının fazla olduğu açıkça görülmektedir. Üst demirden gelen katkı turuncu bölgelere çıkarken, alt demirden gelen katkı yeşil bölgeye kadar çıkabilmiştir. Ama sinyalde demirin büküğü alan açıkça belli olmaktadır.



Şekil 3.19: En küçük örgünün incelenmesi.

Şekil 3.19'daki en küçük örgü biriminin artı şekli, altta paralel demir, üstte ise dik demirden oluşmaktadır. Bu demirler birbirinden ayrıldığında dik

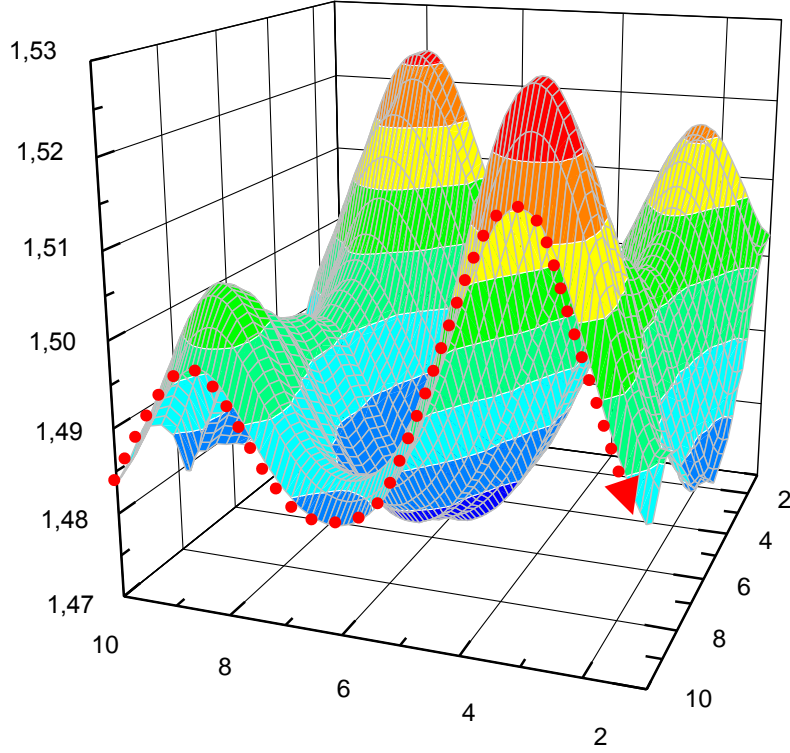
ve paralel demir açıkça grafikte gösterilmiştir. Bundan sonraki durumlar buna benzer olarak incelenip açıklanacaktır.



Şekil 3.20: Kare örgünün incelenmesi.

En küçük birleşim noktasındaki paralel ve dik demirlerin incelenmesinden sonra en küçük örgü olan kare örgü incelenmiştir. Bu kare örgü daha önce oluşturulan ve incelenen demir donatılardan ve ideal olarak oluşturulan kare örgüden uzak olup tamamıyla sahada kullanılan demir örgüdür. Bu örgü laboratuarda oluşturulan örgülerden biraz daha farklı ölçülere ve yapıya sahiptir. Demirler arası uzaklık ve yükseklik standartların dışında olup değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.20'de bulunan grafikte iki adet parlak ve belirgin bölgelerin yanında, yine iki adet gri tonlarda bölgeler bulunmaktadır. Bu örgüde bulunan demirlerin çapları aynı olduğu göz önünde bulundurulursa bahsi geçen parlak bölgeler farklı yükseklikte olup algılayıcıya daha yakın bölgelerdir. Sadece algılayıcıya yakınlığın söz konusu olmadığı bu bölgelerde paralel ve dik demirlerin birleştiği düşünülürse, demir yoğunluğundan kaynaklanan bir sinyal yükselmesi de meydana gelmiştir. Bundan sonraki grafiklerin yine inşaatlarda kullanılan demir örgüler üzerinden

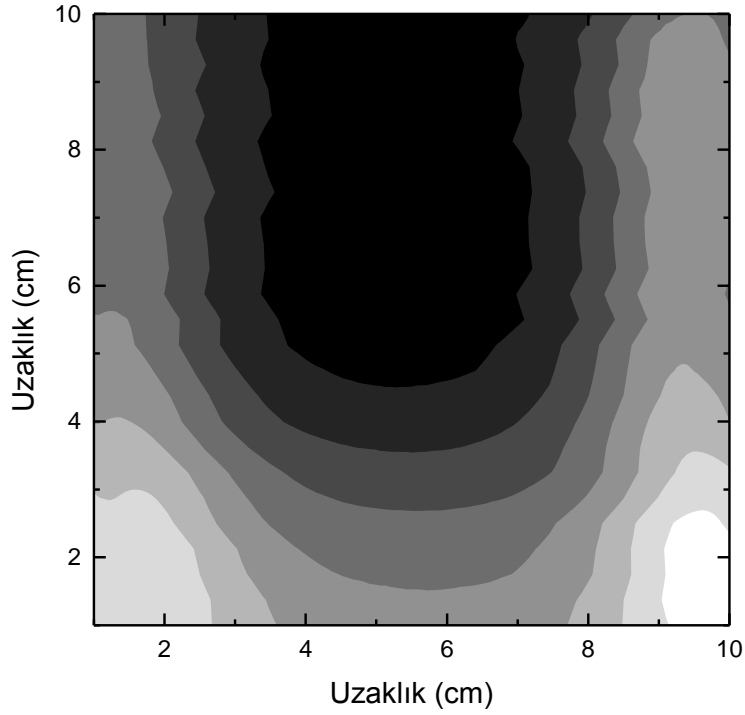
elde edileceği düşünöldüğünde, parlak bölgelerin birleşim ve yükseklik farkı olan bölgeler olduğu yorumu yapılabilir.



Şekil 3.21: Kare örgünün incelenmesi.

Kare örgünün üç boyutlu grafiğinde söz edilen yüksek sinyaller açıkça belli olmaktadır. Birleşim noktalarındaki yükselmelerden dolayı algılayıcıya olan yakınlık, sinyal seviyesini kırmızı bölgelere ulaştırırken, diğer iki nokta yeşil ve sarı bölgelerde kalmıştır. Birleşim bölgelerindeki paralel ve dik demirler rahatlıkla gözlenebilmiştir.

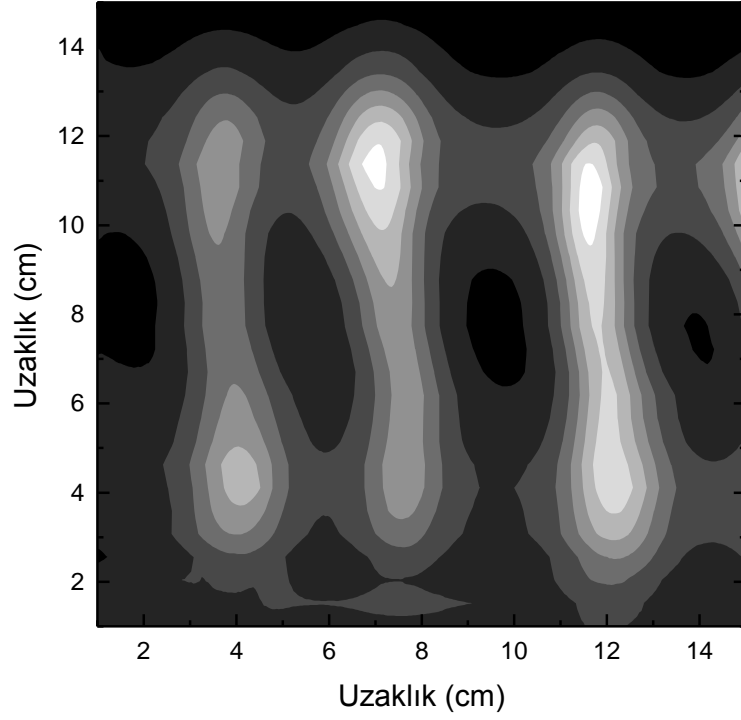
Tarama alanı biraz daha küçültölürse demirlerin arasındaki siyah bölge daha belirgin hale gelmektedir. Bununla birlikte sinyalin siyah bölgeye doğru kayarken renk değiştirmesi katmanlar halinde belli olmaktadır. Daha küçük bir alan taramasında grafiğin çözünürlüğü arttığından geçişler düzgün ve belirgin bir hal almaktadır. Şekil 3.22'de bulunan grafik yardımıyla yapılan açıklama daha kolay bir şekilde anlaşılacaktır.



Şekil 3.22: Çözünürlüğü artırılmış kare örgünün incelemesi.

Grafikten de belli olduğu gibi parlak bölgeler kesişim bölgeleri olup, gri bölgeler ise alt taraftaki demirlerden kaynaklanan sinyallerden oluşmaktadır. Bu grafik ile, istenildiği takdirde çözünürlüğün artırılabilceği görülmüştür. Diğer bir deyişle, örgünün herhangi bir noktasında var olan süreksizlik, korozyon, yabancı malzeme içeren çeşitli bölgelerin üzerine yapılacak olan çözünürlüğü yüksek tarama ile bu bölgelerin tespitinin sağlanabileceği ön görülmüştür.

Çözünürlüğün artırılmasının yanı sıra donatı hakkında daha hızlı bilgi elde edilebilmesi için çözünürlük azaltılarak tüm örgünün tarama sonucu Şekil 3.23'te verilmiştir. Bu tarama sayesinde de demirler rahatlıkla görülmüştür. Demir donatıların ideal koşullarda birleştirilmediği için aralarındaki yükseklik farkları sinyallere yansımıştır. Bazı bölgeler parlak iken bazı bölgeler gri tonlarda kalmıştır. Dik demirlerin aralarındaki uzaklık farkı eşit olmadığı gibi, dik demirlerin boylarının da eşit olmadığı görülmektedir.

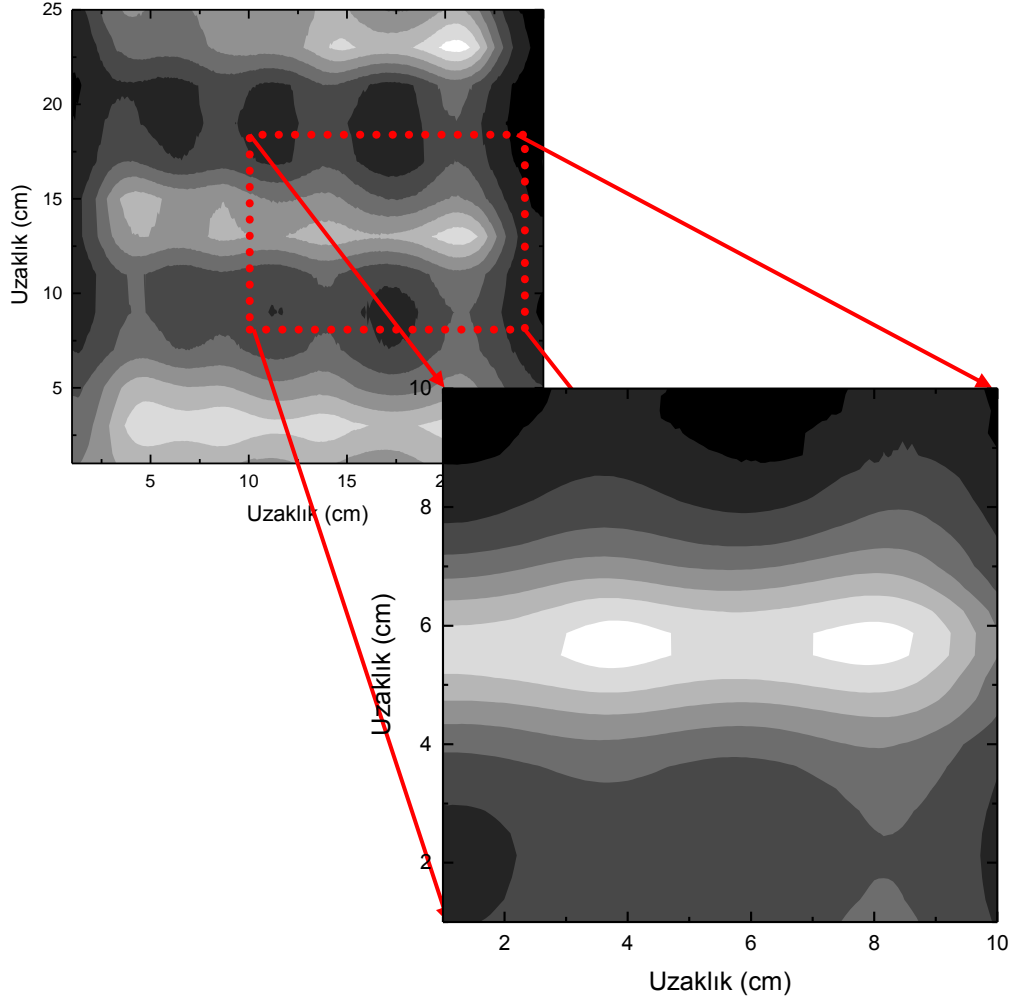


Şekil 3.23: Çözünürlüğü azaltılmış örgünün incelemesi.

Şekil 3.24'te verilen görüntüde inşaat sektöründe kullanılan örgünün bir örneği bulunmaktadır. Bu örgü laboratuvar koşullarında oluşturulan ideal örgüden uzak olup düzensiz bir yapıya sahiptir. Örgünün grafiği Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.24: Gerçek demir örgünün incelemesi.

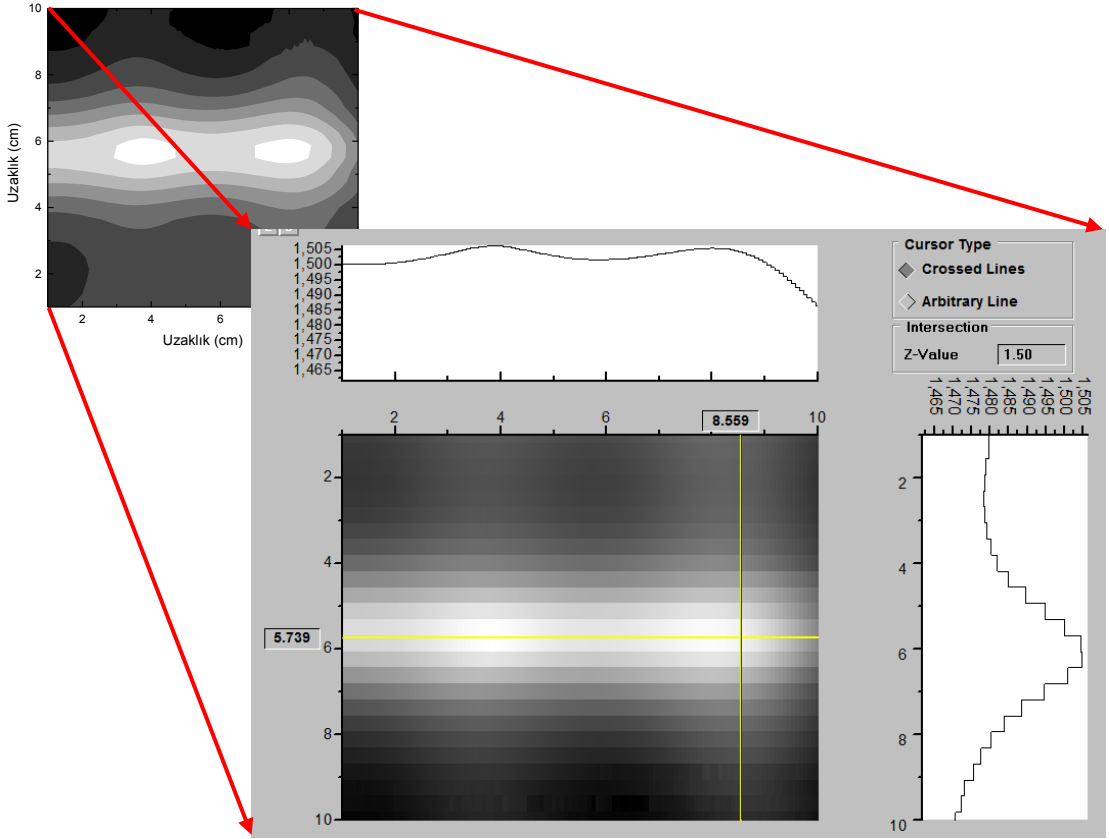


Şekil 3.25: Çözünürlüğün artırılması.

25 cm x 25 cm tarama alanından alınan grafikte 4 adet dik demirin üzerinde 3 adet paralel demir olduğu Şekil 3.25'te görülebilmektedir. Bu grafikte yapılacak olan ikinci bir incelemede 10 cm x 10 cm tarama alanındaki grafik yine Şekil 3.25'te verilmiştir.

Daha önce değinildiği gibi hızlı bir tarama sonrasında uygun görülen bölgelere, ikinci bir ayrıntılı tarama yapılması ön görülmüştür. Şekil 3.25'te verilen grafikler bu duruma uygun bir örnek teşkil etmektedir. Yapılan hızlı tarama sonucunda 4 adet dik ve bunların üzerinde 3 adet paralel demir tespit edilmiştir. Grafikte de belirtilen bölgeye yapılan ikinci bir detaylı taramada da elde edilen grafikte kesişim bölgeleri ve dik demirler açık bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte demire yaklaşma ve uzaklaşma sırasındaki

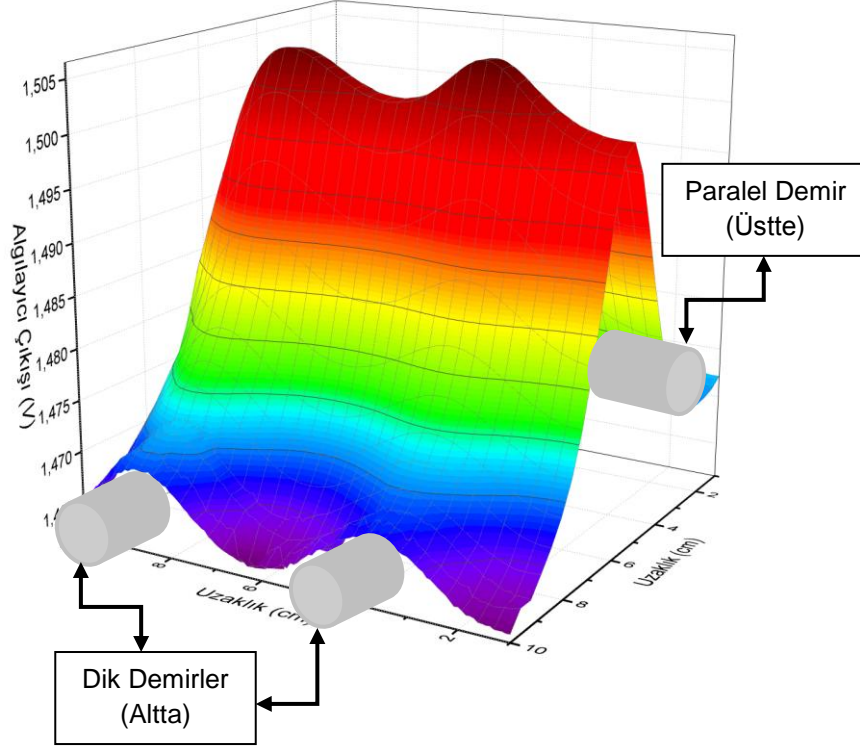
değişim katmanları net bir şekilde görülmektedir. Bu detaylı grafik için ayrıntıya inilecek olursa Şekil 3.26 elde edilecektir.



Şekil 3.26: Grafiğin incelenmesi.

Hızlı taramadan sonra çözünürlüğü arttırılan ikinci tarama da altta iki adet dik demir, üstte ise bir adet paralel demirin olduğu ve kesişim bölgelerinin de açıkça belli olduğu grafik, Şekil 3.25 ile birlikte yorumlanmıştı. Bir önceki bölümde demirin bulunduğu bölgelerde sinyal artışının olduğu ve tam demirin üzerindeyken en yüksek değere ulaşmış, bu noktadan sonra azalarak bir Gaussian eğrisi oluşturduğuna değinilmişti. Gri ölçeklendirme grafiğinde bu değerler katmanlar şeklinde ve grinin tonları cinsinden elde edilmişti. Şekil 3.26'da ise gri ölçeklendirmeden tekrar iki boyutlu Gaussian eğrilerinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Grafiğin üst tarafında iki adet Gaussian tepesinin olduğu ki bu tepeler alttaki dik demirleri temsil etmektedir. Buna karşılık ise sağ tarafta bir Gaussian eğrisi ki bu eğri de paralel demiri temsil etmektedir. Açıkçası iki boyutlu grafiklerden üç boyutlu

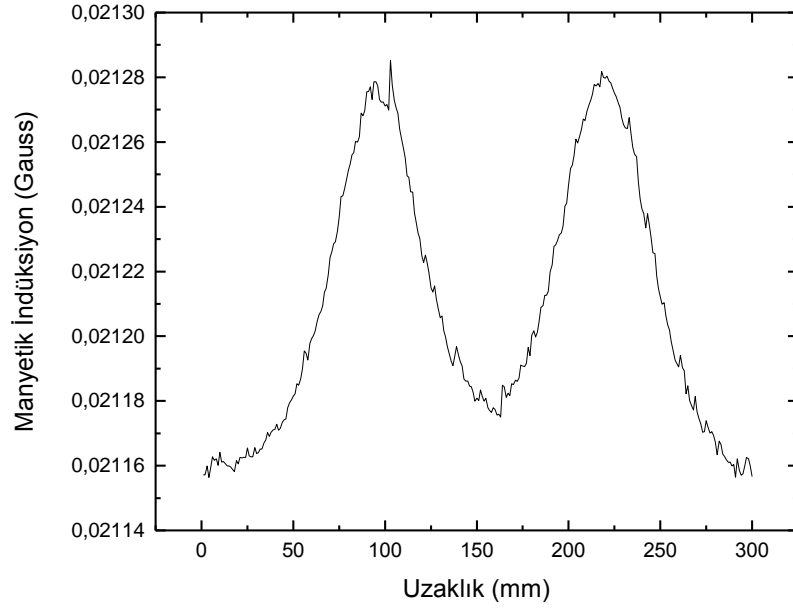
grafiklere ve gri ölçeklendirmelere dönüştürülen sinyaller, üç boyutlu ve gri ölçeklendirmeden iki boyutlu grafiklere de dönüştürülebilmektedir.



Şekil 3.27: Grafiğin incelenmesi.

Şekil 3.27’de verilen üç boyutlu grafikte mavi bölgelerdeki bükülmeler ve kırmızı bölgedeki yükselmeler dik demirlere ait iken, sinyalin kırmızı bölgeye kadar yükselmesinin sebebi ise paralel demirden kaynaklanmaktadır. Demirlerin üst üste geldiği birleşme noktaları kırmızı bölgedeki tepe noktalarında kendini göstermektedir. Birleşme noktaları yine belli olup demirler açık bir şekilde seçilebilmektedir.

Sinyaller elde edildikten sonra çizilen gerek gri ölçeklendirme gerekse de üç boyutlu grafikler ile donatı hakkında bilgiler elde edilmektedir. Sinyallerin elde edilmesinden sonraki süreçte daha dikkatli bir şekilde incelenerek daha doğru bilgilere ulaşılabilir. Bu bilgiler ise sinyal işlemenin sonucunda ulaşılacak bilgilerdir.



Şekil 3.28: Küçük kaymalarla kaydedilmiş bir sinyal.

Şekil 3.28’de kaydedilmiş bir sinyal bulunmaktadır. Bu sinyal daha öncede kaydedilmiş Gaussian eğrilerinden farklı olarak ana değerlerin etrafında küçük sapmalara sahiptir. Bu sapmalar tarayıcı sistemin hareketinin sırasında titremesinden kaynaklanmaktadır. Bu şekilde kaydedilen sinyal ile çizilen iki boyutlu, üç boyutlu veya gri ölçeklendirme grafikleri de sağlıklı bir görüntü vermeyecektir. Bu sinyalin düzeltilmesi gerekmektedir. Düzeltme ise bir ortalama işlemi gibi algılanabilir.

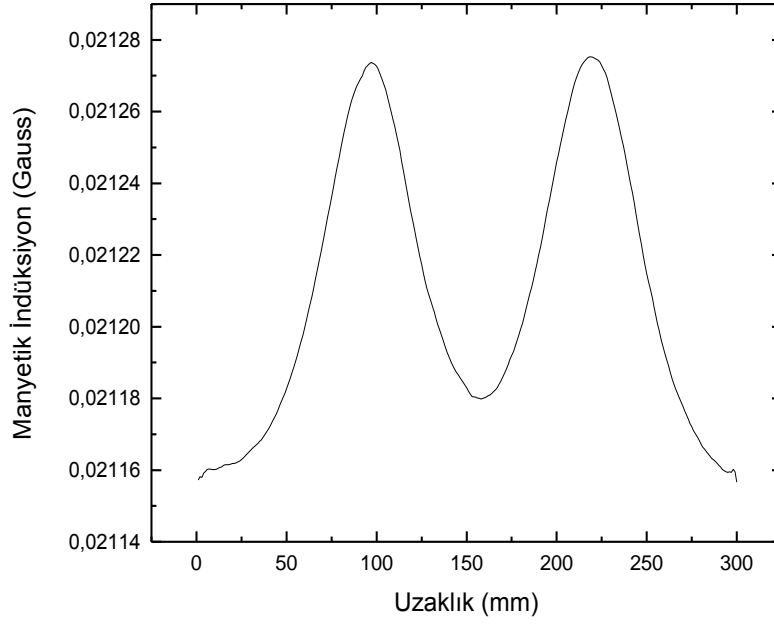
$$y_s(i) = \frac{1}{2N+1} (y(i+N) + y(i+N-1) + \dots + y(i-N)) \quad (3.1)$$

$$y_s(1) = y(1) \quad (3.1.a)$$

$$y_s(2) = \frac{1}{3} (y(1) + y(2) + y(3)) \quad (3.1.b)$$

$$y_s(5) = \frac{1}{5} (y(1) + y(2) + y(3) + y(4) + y(5)) \quad (3.1.c)$$

Komşu ortalama modeli ile sinyal üzerindeki küçük sapmaları yok ederek, düzgün bir sinyal elde edilmiştir. Komşu sinyallerin ortalamaları alınarak elde edilen değerler ile çizilen yeni sinyal Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29: Küçük kaymaların yok edildiği sinyal.

Küçük sapmaların yok edildiği sinyal ile çizilecek olan gri ölçeklendirme ve üç boyutlu grafikler daha doğru bilgiler verecektir. Bu şekilde bütün sinyaller üzerinde düzeltme yapılabilir ve daha doğru sinyaller elde edilebilir. Bu grafikte sinyal değerleri manyetik indüksiyon cinsinden yazılmıştır. Bu dönüşüm aşağıdaki denklem ile yapılabilmektedir.

$$\hat{B} = \frac{V_{av}}{4.4NfA} \text{ (Tesla)} \quad (3.2)$$

Volt cinsinden kaydedilen algılayıcı çıkışı 3.2 Eşitliği yardımıyla manyetik indüksiyona çevrilebilir. Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de verilen grafiklerdeki değerler bu eşitlik sayesinde dönüştürülmüştür. Bu eşitlik elde edilmeye çalışılırsa aşağıdaki işlemler sırası takip edilmelidir.

Sistemde algılayıcı olarak kullanılan bobinde indüklenen manyetik indüksiyon $B(t)$

$$B(t) = \sum_{r=1} a_r \sin(r\omega t + \varphi_r) \quad (3.3)$$

$B(t)$ ' nin pik değeri τ zamanında gerçekleştiği düşünülürse, π/ω kadar bir süre geçtiğinde manyetik indüksiyon

$$\hat{B} = B(\tau) = \sum_{r=1} a_r \sin(r\omega\tau + \varphi_r) \quad (3.4)$$

denklemleri ile verilecektir. Bundan dolayı genellikle

$$\hat{B} = B(\tau + \pi/\omega) \neq \pm B(\tau) \quad (3.5)$$

ifadesi geçerli olur. Sadece tek harmoniklerde ($r = 1, 3, 5, \dots$) ifade

$$\hat{B} = B(\tau + \pi/\omega) = \sum_{r=1} a_r \sin(r\pi + r\omega\tau + \varphi_r) \quad (3.6)$$

şeklini alır. Bu eşitlik akının pozitif ve negatif piklerinin temel frekansının yarı periyodu kadarlık bir zaman ile ayrıldığını vurgular. Denklem (3.5) ile verilen manyetik indüksiyon $t = \tau + n\pi/\omega$ zamanında sıfır değerini alır. Temel frekansın yarı periyodu üzerinden alınan dB/dt ifadesinin ortalama değeri bundan dolayı

$$dB/dt = \sum_{r=1} a_r r\omega \cos(r\omega t + \varphi_r) \quad (3.7)$$

$$B(t) = \sum_{r=1} a_r \sin(r\omega t + \varphi_r) \quad (3.8)$$

Tek harmoniklerde denklem

$$\left(\frac{dB}{dt}\right)_{ort.} = \frac{\omega}{\pi} \int_{\tau}^{\tau+\frac{\pi}{\omega}} \sum_{r=1} a_r r\omega \cos(r\omega t + \varphi_r) dt \quad (3.9)$$

$$= 2\omega\hat{B}/\pi \quad (3.10)$$

eşitliğin sağ ve sol tarafı toparlayıp \hat{B} eşitliği aşağıdaki hali alır.

$$\hat{B} = \frac{\pi}{2\omega} \left(\frac{dB}{dt} \right)_{ort.} \quad (3.11)$$

haline dönüşür. Bu nedenle tek harmoniklerde, akı yoğunluğunun pik değeri algılayıcı bobindeki ortalama voltajın ölçümü ile elde edilebilir.

Faraday Yasası gereğince algılayıcı bobinde indüklenen voltaj, akı yoğunluğunun değişim oranı ile orantılı olup

$$V = -NA \frac{dB}{dt} \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N sarım sayısı ve A algılayıcı bobinin tesir kesit alanıdır. Eksi işareti, indüklenen voltajın onu oluşturan akı değişimine zıt yönde olduğunu anlatır. Pik akı yoğunluğu için elde edilen denklemler ile elektromanyetik indüksiyon yasası birleştirilerek

$$\hat{B} = \frac{V_{ort.}}{4fNA} \quad (3.13)$$

denklemini elde edilir. Denklemden de görüldüğü gibi sinyal bozuk olmadığı sürece bir voltmetre yardımıyla indüklenen voltajı ölçerek verilen bir numune için pik akı yoğunluğunu bulmak mümkündür.

Algılayıcı bobinin içine bir numune yerleştirildiği zaman indüklenen voltaj

$$V_{ind} = N_s \left[\mu_0 \frac{d}{dt} (A_c - A_s) H + \frac{d}{dt} A_s B \right] \quad (3.14)$$

ile verilir. Burada B, numunenin tesir kesit alanı A_s ve algılayıcı bobinin tesir kesit alanı A_c üzerindeki manyetik akı yoğunluğudur. Numune yokken indüklenen voltaj,

$$V_0 = N_s \mu_0 \frac{d}{dt} A_c H \quad (3.15)$$

şeklinde yazılabilir. Zaman sabiti RC ile alınan integralden elde edilen toplam voltaj numunenin manyetik indüksiyonu ile orantılıdır.

$$V_0 = N_s \left(\frac{d}{dt} A_s B - \mu_0 \frac{d}{dt} A_s H \right) \quad (3.16)$$

$$V_{out} = \frac{N_s}{RC} (A_s B + \mu_0 A_c H - \mu_0 A_s H) \quad (3.17)$$

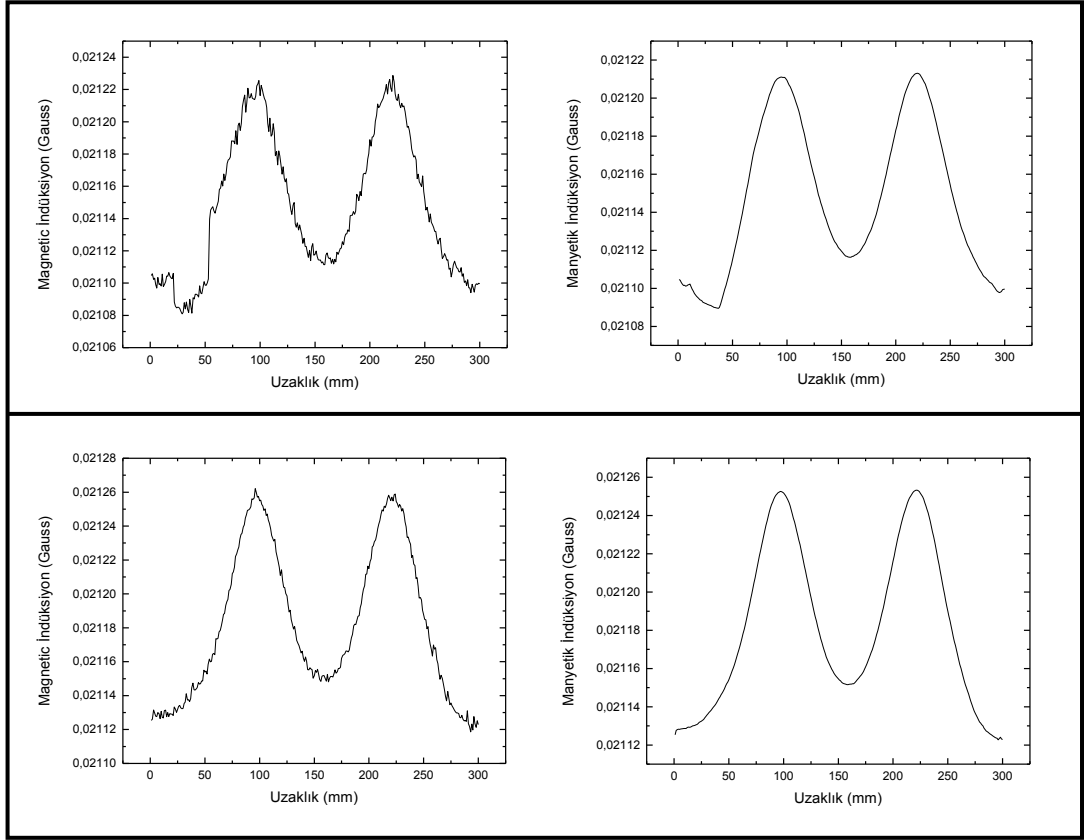
İntegral yerine ortalama ölçüm yapan bir voltmetre kullanılırsa indüklenen voltaj

$$V_{ort} = 4N_s f [A_s \hat{B} + \mu_0 H (A_c - A_s)] \quad (3.18)$$

ile ifade edilir. Burada f, manyetize edici frekanstır. Bu denklemin tekrar düzenlenmesi sonucu

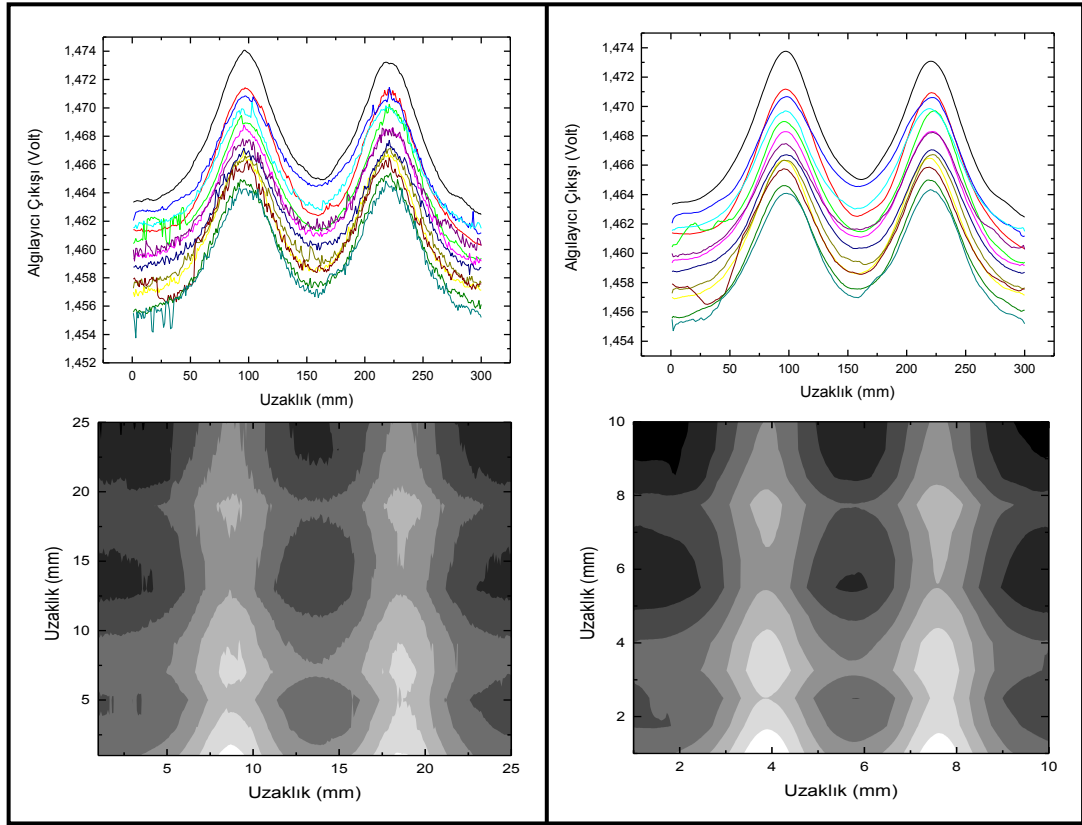
$$\hat{B} = \frac{V_{ort}}{4fNA} \quad (3.19)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitlik, materyalin neden olduğu akı yoğunluğunun doğrudan ölçülmesine izin verir.



Şekil 3.30: Küçük kaymaların yok edildiği sinyaller.

Yapılan küçük düzeltmeler ile sinyaller net olarak ortaya çıkmıştır. Bu düzeltme tüm toplanan sinyaller için yapılmış olup grafiklerin net bir şekilde ortaya çıkması sağlanmıştır. Bu sinyaller ile çizilen grafikler net görüntü verirken işlenmemiş sinyaller bulanık grafikler oluşturmaktadır. Bunun bir örneği ise Şekil 3.31’de verilmiştir. Sol sütunda sapmalara sahip sinyallerin grafikleri bulunmaktadır. İki boyutlu grafikte renkli sinyal değerleri tarama deneyinden kaydedilen değerlerdir. Kare örgüye ait olan bu sinyaller ile çizilen gri ölçeklendirme, tarama deney grafiğinin hemen altında yer alırken küçük sapmaların bu gri ölçeklendirmeye de yansıdığı görülmüştür. Gri bölge sınırlarında küçük sapmalar diğer bölgelere kılcal geçişler yaparak grafiği karıştırmıştır. Küçük sapmalar düzeltildiğinde gri ölçeklendirmedeki bazı bölgeler yok olurken bazı bölgeler açığa çıkmaktadır.

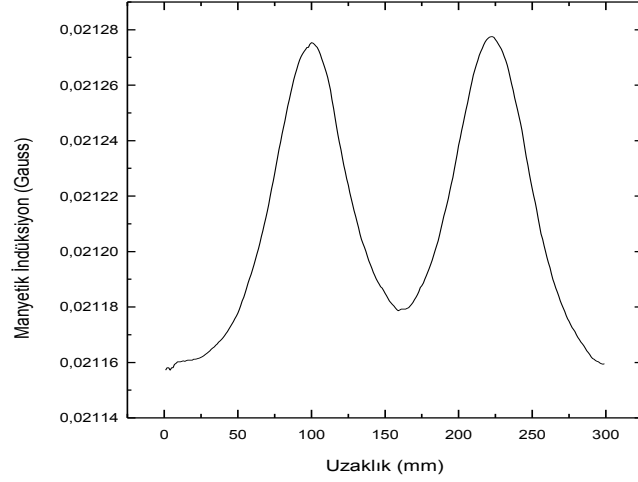


Şekil 3.31: Küçük kaymaların yok edildiği sinyaller.

İşlenen sinyaller iki boyutlu çizgi grafiğinde net bir görüntü vermiştir. Sinyaller birbirinden kolaylıkla ayrılabilir durumdadır. Bu sinyaller ile çizilen gri ölçeklendirme grafiğinde ise gri bölgeler ve katmanlar birbirinden kesin çizgiler ile ayrılmış olup sınırlar bellidir. Bununla birlikte orta bölümde önceki grafikte olmayan siyah bir bölüm ve birleşim yerlerinde ise genişleyen beyaz bölümler dikkat çekmiştir.

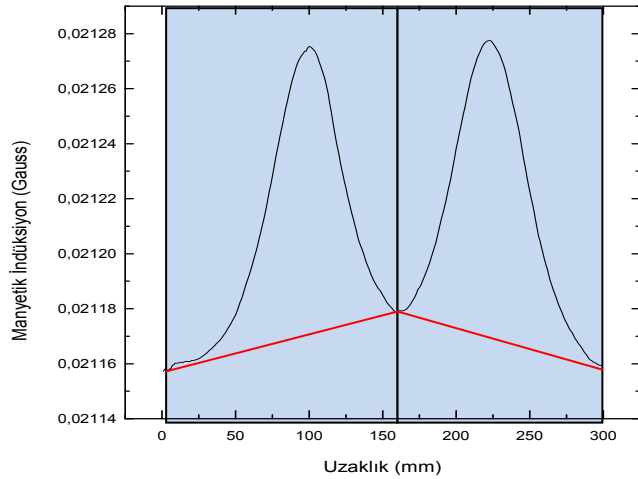
Titremelerin yok edilmesinden sonra çizilen grafikler ile donatı hakkında daha net bilgiye sahip olunmuştur. Bunun yanında daha öncede bahsedildiği gibi algılayıcı tarafından toplam sinyal olarak adlandırılan paralel ve dik demirlerden kaynaklanan bir sinyal elde edilmektedir. Bu sinyalin algılayıcı tarafından ayırt edilebilmesi mümkün olmadığından, sinyaller kaydedildikten sonra ayırma işlemi yapılabilmektedir. Toplam sinyalin içerisinde dik ve paralel demirlerden gelen sinyaller bulunmaktadır. Bu sinyaller birbirinden dikdörtgenlere bölme yöntemi ile ayrılmıştır.

Standart olarak yapılan bir tarama da kaydedilen sinyal Şekil 3.32’de verilmiştir. Sinyalin başlangıç ve bitiş değerleri ile iki tepe nokta arasındaki en düşük değerler birbirinden farklıdır. Bu piklerin sadece başlangıç ve bitiş değerlerinin birleştirilip sıfıra kadar indirilirse, sadece dik demirden kaynaklanan sinyal ortaya çıkartılabilir. Anlatılanlar grafikler yardımıyla açıklanacak olursa aşağıdaki adımlar incelenebilir.



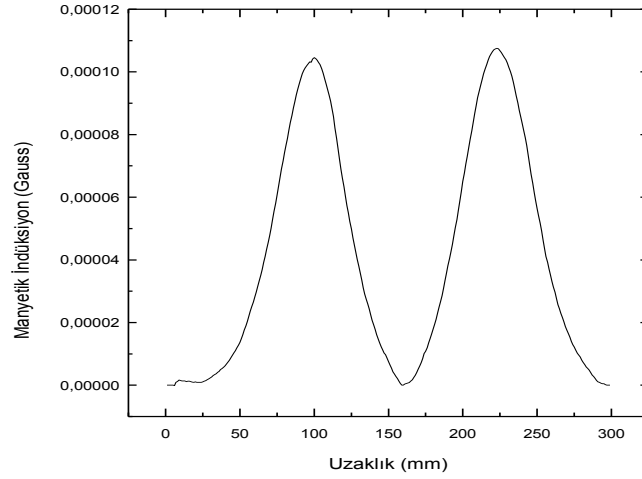
Şekil 3.32: Kaydedilen standart toplam sinyal.

Bu sinyalin en düşük değerleri birleştirilip sıfır değerine indirgenirse gerçek dik demir sinyalleri elde edilir. Bu indirgenme dikdörtgenlere ayırma yöntemi ile yapılabilmektedir. Üç adet minimum noktası, iki adet dikdörtgen ile birleştirilmiştir.



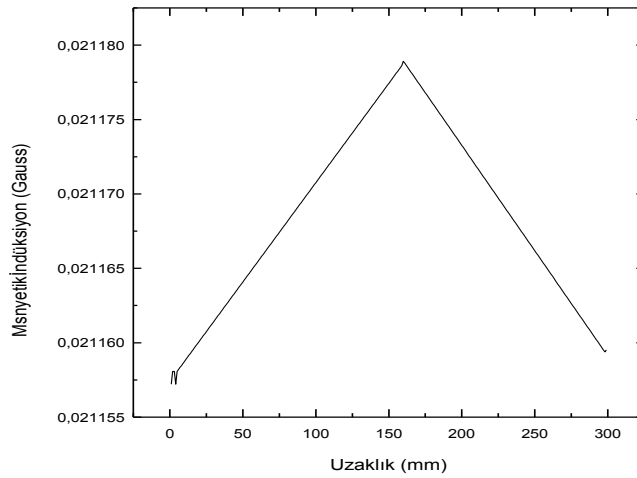
Şekil 3.33: Minimum noktalarının birleştirilmesi.

Şekil 3.33'te görüldüğü üzere minimum noktaları iki kırmızı çizgi ile birleştirilmiştir. Çizgilerden de görüldüğü üzere minimum noktalarındaki kayma, sinyalin ara değerini artırmıştır. Bu artış alttaki paralel demirden kaynaklanmaktadır. Kırmızı eğri değerleri, toplam sinyalden çıkartılırsa Şekil 3.34'teki grafik elde edilecektir.



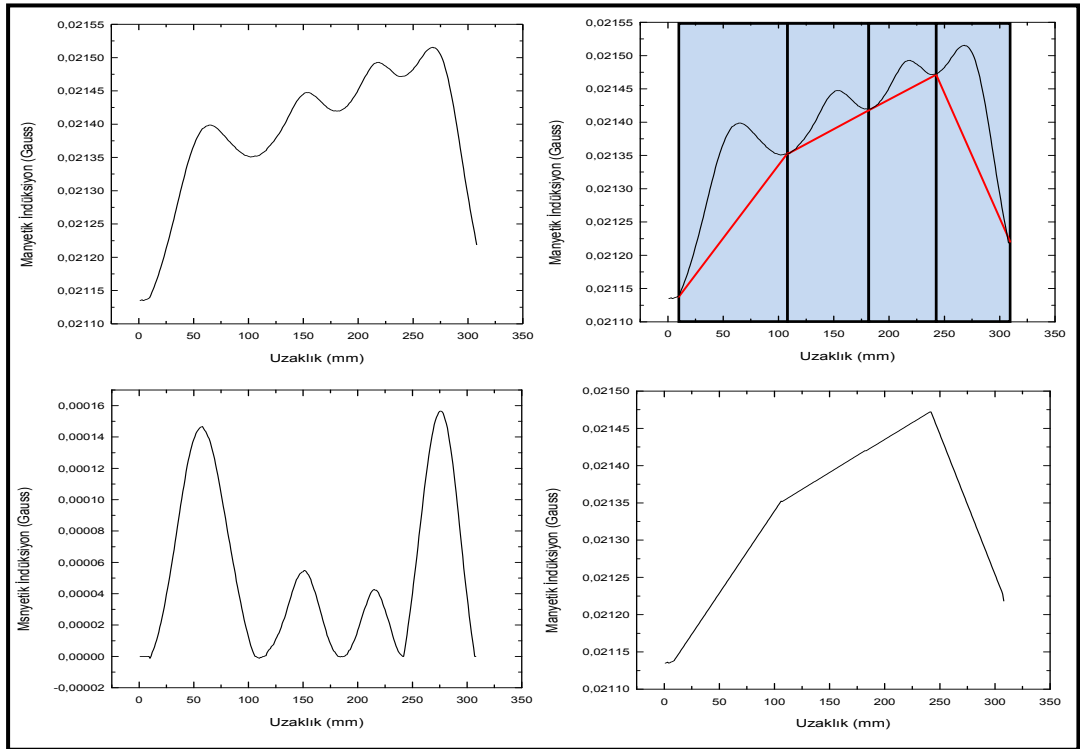
Şekil 3.34: Paralel demirin sinyalinin çıkartılması.

Sadece dik demirlerden kaynaklanan sinyal, toplam sinyalin içerisinde çıkartılmıştır. Elde edilen bu grafik daha önce tek dik demir için verilen Şekil 2.17'deki grafik ile aynıdır. Dolayısıyla yapılan işlemlerin doğruluğu sağlanmış olmaktadır. Şekil 3.35'te ise çıkarılan ve paralel demirden kaynaklanan sinyal bulunmaktadır.



Şekil 3.35: Paralel demirin sinyali.

Farklı demir sinyallerinin toplamından oluşan toplam sinyalin birbirinden ayrılması için çeşitli tekniklerden, dikdörtgenlerle ayırma tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte yukarıda da bahsedildiği gibi en düşük sinyal değerleri birbirleri arasında birleştirilerek bir alt sınır oluşturulur. Bu alt sınır üst değerlerden çıkarılarak aradaki fark elde edilir . Bu sayede aradaki fark ve kalan değer olarak iki yeni değer oluşturulmuştur. Adım adım anlatılan ayırma yöntemi, farklı donatılar için de kullanılmıştır.



Şekil 3.36: Ayırt edilen toplam sinyal.

Şekil 3.36'da ayırt edilen 4 adet dik demir grafiği bulunmaktadır. Bunun yanında ise paralel demirden gelen sinyal rahatlıkla görülmektedir. Sinyalin sahip olduğu pik sayısı, minimum noktalarını birleştiren dikdörtgen sayısı ile aynı olup ayırma işlemi yapılmıştır.

Sonuç olarak sistem ile çeşitli deneyler yapılmıştır. Sistemin var olan kolon ve kirişlerdeki demire göre davranışları karakterize edilmiştir. Bundan sonraki deneylerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar incelenerek donatı hakkında bilgiye ulaşılmıştır.

4. SONUÇ 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 geliştirilmesinde önemli bir adım atılmıştır. Bu tez aşamasında 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 tespitinin yanında, demir donatı üzerinde çeşitli etkilerden dolayı oluşmuş deformasyonların belirlenmesini de içermektedir. Hazırlanan ve süreksizlik içeren örneklerle alınan ölçümler sonucunda sistem yine belirgin algılamalarla öne çıkmıştır. Bu örnekler betonarme yapıda bulunan demir donatının maruz kalabileceği hasarlar göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Depremlerden ve bina hareketlerinden dolayı beton yapı içindeki demir donatının üzerinde oluşabilecek kopmalar, donatıda korozyona bağlı oluşabilecek deformasyonlar, çeşitli nedenlerden oluşabilecek süreksizlikler için yapay örnekler hazırlanmış ve yapılan ölçümlerin sonuçları tartışılmıştır. Bununla birlikte karmaşık bir yapı olan örgü, bahsedilen yöntemler ile basite indirgenerek düzgün bir şekilde algılanabilmiştir. Algılama sırasında karşılaşılan titreme ve eksen farklılığından kaynaklanan demir sinyallerinin karışması, uygun bir şekilde giderilerek sonuca ulaştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlar ışığında sistemin demir örgüyü algılayabildiği açıkça görülmüştür. Bunun yanında geliştirilen bu ölçüm sisteminin, tüm ölçüm sistemleri gibi sınırlı olduğu durumları da açığa çıkarmıştır. Sadece demir donatı hakkında bilgi verebilen bu sistem beton yapı hakkında bilgi verememektedir. Beton

üzerinde bulunan deformasyonlar geliştirilen manyetik sistem ile tespit edilememektedir.

Sonuç olarak bu sistem kullanılarak,

- Betonarme yapı içindeki demir donatının varlığı,
- Demir donatıda var olan demir çubukların sıklığı,
- Demir çubuklardaki kırılma ve kopmalar,
- Demir örgünün geometrik yapısı,
- Birleşme noktalarındaki uyumsuzluk,
- Beton içindeki demirin yüzeye olan yükseklik farkları,

net bir çözünürlük ile algılanmıştır.

Sistem ile alınan ölçümlerde, bu çalışma için hazırlanan örgü içindeki tüm demir örnekler algılanmıştır. Geliştirilmekte olan manyetik ölçüm sistemi ile demir donatı hakkında daha geniş bilgiye ulaşılması için sistemin geliştirilmeye devam edilmesi gerekmektedir. Geliştirilecek olan manyetize edici sistem ile alınan ölçümlerin, daha kapsamlı hazırlanacak olan yazılım ile sinyal analizinin sonucunda daha net bilgilere ulaşılması planlanmaktadır.

Bu projenin amacı, betonarme yapı içinde bulunan demir donatıyı algılamak üzerine kurulmuştur. Yapılan ölçümlerle de bu amacın gerçekleştirildiği ve projenin bu aşamasının tamamlandığı söylenebilir. Her NDT tekniğinin bazı avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, sistemin daha net bilgilere ulaşmasında sınırlamalar getirmektedir. Dolayısıyla karmaşık yapı ölçümlerinde yetersiz kalan sistemler ölçüm güvenirliliğinin artması için diğer bir sistemin ölçümüne de gereksinim duymaktadır. Manyetik sistemin gelişimi süresince yapılacak olan yeniliklerle diğer sistemlerin ölçümüne gerek duymadan elde edilen sonuçlar ile yapının analizinin tamamlanması hedeflenmektedir. Bunun da sağlanması için veri toplamanın yanında, bu veriler ile yapılacak olan detaylı

sinyal analizi ile demir donatı hakkında daha belirgin sonuçların alınması beklenmektedir. Bahsedilen analizin bundan sonraki teorik çalışmalarda geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bahsedilen değişikler 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.

Sonuç olarak tüm test ölçümlerindeki kısıtlamalar, geliştirilmekte olan manyetik ölçüm sisteminde de bulunmaktadır. Bu kısıtlamaların, sinyal analiz teknikleri ve yapılacak olan yazılım düzenlemeleriyle giderilerek en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Manyetik sistemin geliştirilerek diğer tahribatlı veya tahribatsız sistemlere gerek duymadan tam anlamıyla bir analiz yapılması için çalışmalar devam edecektir. Bu çalışmalar sonucunda aynı zamanda ticari amaçlı olarak kullanılabilir, etkili, düşük maliyetli, tahribatsız, yüksek çözünürlüklü analiz verebilen, kullanımı kolay bir test sistemine ulaşılması hedeflenmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Pimentel, M., Figueiras, J., Mariscotti, M., Thieberger, P., “Gamma-Ray inspection of post tensioning cables in a concrete bridge”, *Advances in construction materials*, 1, 563-574, (2007).
- [2] Daigle M., Fratta, D., Wang, L.,B., “Ultrasonic and X-ray tomographic imaging of highly contrasting inclusions in concrete specimens”, *GeoFrontier Conference*, (2005).
- [3] Shivaramu, “A Gamma scaretting technique for inspecting concrete structures”, *Proc. National seminar on non-destructive evaluation*, (2006).
- [4] Mohamed, A., B., Al-Sheikly, M., Livingston, R., Saleh, H., “Monte Carlo simulations of a portable prompt gamma system for nondestructive determination of chloride in reinforced concrete”, *Nuclear Instruments and methods in physics research B*, 266, 3397-3405, (2008).
- [5] Lualdi, M., Zanzi, L., Binda, L., “Acquisition and processing requirements for high quality 3D reconstructions from GPR investigations”, *International Symposium (NDT-CE)*, (2003).
- [6] He, X., Zhu, Z., Liu, Q., Lu, G., “Review of GPR rebar detection”, *PIERS proceedings*, 804-813, (2009).
- [7] Topczewski, L., Fernandes, F., M., Cruz, P., J., S., Lourenço, P., B., “Practical implications of GPR investigation using 3D data reconstruction and transmission tomography”, *Journal of building appraisal*, 3, 1, 59-76, (2007).

- [8] Bavusi, M., Loperte, A., Lapenna, V., Soldovieri, F., "Rebar and defects detection by a GPR survey at a L'Aquila school damaged by the earthquake of April 2009", *IEEE 978-1-4244-4604-9*, (2010).
- [9] Chang, C., Lin, H., C., Lien, H., S., "Measurement radius of reinforcing steel bar in concrete using digital image GPR", *Construction and building materials*, 23, 1057-1063, (2009).
- [10] Wang, W., Z., Slabaugh, G., Fang, T., "Partial differential equation-based GPR signature discrimination for automatic detection of bridge deck delamination", *4th IEEE conference on automation science and engineering*, (2008).
- [11] Huston, D., Pelczarski, N., Esser, B., Maser, K., Weedon, W., "Damage assessment in roadways with ground penetrating radar", *Nondestructive Evaluation of highways, utilities and pipelines*, 4, 483, (2000).
- [12] Rhazi, J., Dous, O., Laurens, S., "A new application of the GPR technique to reinforced concrete bridge decks", *4th Middle East NDT conference and exhibition*, (2007).
- [13] Ékes, C., "GPR: A new tool for structural health monitoring of infrastructure", *Structural health monitoring & intelligent infrastructure 3rd conference*, (2007).
- [14] Li, J., Xing, H., Chen, X., Sun, Y., Liu, R., Chen, H., "Extracting rebar's reflection from measured GPR data", *Tenth international conference on ground penetrating radar, NDT:4*, (2004).
- [15] Soldovieri, F., Prisco, G., Hugenschmidt, J., "Microwave tomography for GPR diagnostic of reinforced concrete", *Proceedings of the 39th European Microwave Conference*, (2009).
- [16] Hugenschmidt, J., Mastrangelo, R., "GPR inspection of concrete bridges", *Cement & Concrete Composites* 28, 384-392, (2006).

- [17] Martz, H., E., Schneberk, D.,J., Roberson, G.,P., Monteiro, P., J., "Computerized tomography analysis of reinforced concrete", *ACT materials journal*, (1993).
- [18] Buyukozturk, O., "Imaging of concrete structures", *NDT&E international*, 31, 4, 233-243, (1998).
- [19] Price, W.,I.,J., "Highway bridge inspection: principles and practices in Europe", *TABSE symposium*, 38, 15-29, (1982).
- [20] Song, K., Cho, G., "Bonding state evaluation of tunnel shotcrete applied onto hard rocks using the impact-echo method", *NDT&E international*, 42, 487-500, (2009).
- [21] Liang, M., Su, P., "Detection of the corrosion damage of rebar in concrete using impact-echo method", *Cement & Concrete research*, 31, 1427-1436, (2001).
- [22] Cheng, C., Sansalone, M., "Detecting flaws in concrete beams and columns using the impact-echo method", *ACT materials journal*, (1992).
- [23] Pratt, D., Sansalone, M., "Impact-echo interpretation using artificial intelligence", *ACT materials journal*, (1992).
- [24] Petersen, C.,G., "Doctor impact-echo testing of the injection of a post-tension cable steel duct", *Report-German instruments A/S*, (1993).
- [25] McCann, D.,M., Forde, M.,C., "Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures", *NDT&E International*, 34, 71-84, (2001).
- [26] Schupack, M., "Evaluation of corrosion in bonded and unbonded post-tension structures", *How to make today's repairs durable for tomorrow*, (1991).

- [27] Steger, G., R., Ghorbanpoor, A., Shew, T., E., "Magnetic field disturbance signal processing" *Proceeding of IEEE conference 2*, 474-479, (1989).
- [28] Ghorbanpoor, A., Shew, T., E., "Detection of flaws in bars and cables in concrete bridges structures", *Transportation research record*, 1211, 84-91, (1989).
- [29] Andrews, F., "Non-destructive testing (NDT) of concrete in structure", *Technical Note, GeoPave*, (2005).
- [30] Prabakar, J., Bharathkumar, B., H., Chellappan, A., "Prediction of rebar profile in a earth retaining RCC structure using cover meter survey", *Construction and building Materials*, 21, 873-878, (2007).
- [31] Gaydecki, P., Fernandes, B., Quek, S., Benitez, D., Miller, G., Zaid, M., "Inductive and magnetic field inspection systems for rebar visualization and corrosion estimation in reinforced and pre-stressed concrete", *Non-destructive testing and evaluation*, 22, 4, 255-298, (2007).
- [32] McFee, J., E., Ellingson, R., O., Elliot, J., Das, Y., "A magnetometer to estimate location and size of long, horizontal ferrous rods", *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 45, 1, 153-158, (1996).
- [33] Kurz, H., J., Rieder, H., Stoppel, M., Taffe, A., "Control and data acquisition of automated multi-sensor systems in civil engineering", *Non destructive testing in civil engineering*, (2009).
- [34] Carino, N., J., "Non-Destructive test methods", *Concrete construction engineering handbook*, 19, 1-68, (1997).
- [35] Healhcote, L., Gaydecki, P., "A methodology to extract dimensional information from steel bars using a magnetic field imaging camera (mFIC)", *Measurement science and technology*, 21, 075501, (2010).

- [36] Mancio, M., Zhang, J., Monteiro P.,J., M., “Nondestructive surface measurement of corrosion of reinforcing steel in concrete”, *Canadian civil engineering*, 21, 2, 12-14, (2004).
- [37] Makar, J., Desnoyers, R., “Magnetic field techniques for the inspections of steel under concrete cover”, *NDT&E international*, 34, 445-456, (2001).
- [38] Song, H., Saraswathy, V., “Corrison monitoring of reinforced concrete structures – A review”, *International journal of electrochemical science*, 2, 1-28, (2007).
- [39] *NDT Systems for durability assessment, service life estimation, fat-track construcion, corrosion survey, structural integrity, repair quality structural monitoring*, Catalog NDT, German instruments, (2010).
- [40] Weise, F., Köhnen, J., Wiggenhauser, H., Hillenbrand, C., Berns, K., “Non-Destructive sensors for inspection of concrete structures with a climbing robot”, *IABSE symposium, International association for bridge and structural engineering*, 7, 109-115, (2002).
- [41] Roh, Y., Chung, L., Cho, S., Yoon, S., Noh, J., “Construction of measurement system for stable infrared thermographical image”, *ICCES*, 8, 4, 157-163, (2008).
- [42] Chung, L., Paik, I., Cho, S., Roh, Y., “Infrared thermographic technique to measure corrosion in reinforcing bar”, *Key engineering materials*, 321-323, 821-824, (2006).
- [43] Maierhofer, Ch., Arndt, R., Rölling, M., “Influence of concrete properties on the detection of voids with impulse-thermography”, *Infrared physics & technology*, 49, 2113-2117, (2007).
- [44] Yu, T., Buyukozturk, O., “A distant real time radar NDE tecnique for the in-depth inspection of glass fiber reinforced polymer-

retrofitted concrete columns”, Nondestructive characterization for materials, ETATS-UNIS, 6934, 1-12, (2008).

- [45] Krause, H., Winkler, T., Dang, C., Owsiejewicz, D., Sawade, G., Dumat, F., “A novel radar magnetic technique for dielectric permittivity mapping of bridge decks in order to determine moisture and salinity of concrete”, ECNDT, (2006).
- [46] Bungey, J., H., “Sub-surface radar testing of concrete: a review”, Construction and building materials, 18, 1-8, (2004).
- [47] Hugenschmidt, J., Kalogeropoulos, A., Soldovieri, F., Prisco, G., “Processing strategies for high-resolution GPR concrete inspections”, *NDT&E International* 43, 334-342, (2010).
- [48] Lyons, R., Ing, M., Austin, S., “Influence of diurnal and seasonal temperature variations on the detection of corrosions in reinforced concrete by acoustic emission”, Corrosion science, 47, 413-433, (2005).
- [49] Assouli, B., Simescu, F., Debicki, G., Idrissi, H., “Detection and identification of concrete cracking during corrosion of reinforced concrete by acoustic emission coupled to the electrochemical techniques”, *NDT&E international*, 38, 682-689, (2005).
- [50] Cole, P., Watson, J., “Acoustic emission for corrosion detection”, Third Middle East NDT Conference, (2005).