



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Manyetik Kaçak Akılar Yöntemi İle Ferromanyetik Malzeme Üzerindeki Kusurların Belirlenmesi

OKAN KARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
(Türkçe) ABD

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ERDAL

EŞ-DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ÇELİK

İSTANBUL, 2018



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Manyetik Kaçak Akılar Yöntemi İle Ferromanyetik Malzeme Üzerindeki Kusurların Belirlenmesi

OKAN KARA

(523114001)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
(Türkçe) ABD

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ERDAL

EŞ-DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ÇELİK

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Okan KARA'nın “**Manyetik Kaçak Akılar Yöntemi İle Ferromanyetik Malzeme Üzerindeki Korozyon ve Çatlakların Görüntülenmesi**” başlıklı tez çalışması ”16.03.2018” tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hasan ERDAL (Danışman)
Marmara Üniversitesi (İMZA).....

Doç. Dr. Hüseyin ÇALIK (Üye)
İstanbul Üniversitesi (İMZA).....

Doç. Dr. Ahmet Emin KUZUCUĞLU (Üye)
Marmara Üniversitesi (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile **Okan KARA'nın Elektrik ve Elektronik Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı Yüksek Lisans** derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında ferromanyetik malzemelerin test edilmesinde kullanılan Tahribatsız Test yöntemlerinden Manyetik Kaçak Akı yönteminin, “Matlab Simulink” aracı kullanılarak uygulanması incelenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden de faydalanacağımı düşündüğüm değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Hasan ERDAL ve Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ÇELİK hocalarıma teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarımdan da bana 7 yıllık üniversite (lisans ve lisansüstü) hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştiren aileme ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan değerli eşim Merve KARA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Mart 2018

Okan KARA

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tahribatsız Test Yöntemlerinin İncelenmesi	2
1.1.1. MKA yöntemi.....	2
1.1.2. Akustik Emisyon Yöntemi	4
1.1.3. Ultrasonik Test Yöntemi	5
1.1.4. Girdap Akımları Yöntemi.....	6
1.1.5. Radyografi Yöntemi	7
1.2. Tahribatsız Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması	7
1.3. Sonuç	12
1.4. Benzer Çalışmalar.....	12
2. MKA YÖNTEMİ UYGULAMASI İÇİN SİSTEM VE YAZILIM TASARIMI ..	16
2.1. Kurulan MKA Sisteminin Genel Yapısı.....	16
2.1.1. Manyetize Edici Sistem Tasarımı.....	19
2.1.2. Test Edilen Malzeme Özellikleri.....	19
2.1.3. Alan Etkili Sensör Dizisi Özellikleri.....	20
2.2. Sistem Yazılım Özellikleri.....	21
2.2.1. Real Time Windows Target Modeli	21
2.2.2. Matlab-Simulink Ortamında Çalışma.....	21
2.3. ADC Kartı.....	22
3. DENEY SONUÇLARI.....	23
3.1. Giriş	23
3.2. MKA Yönteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Gerçeklenmesi	23
3.3. Kurulan MKA Sistemi ile Gerçekleştirilen Deney Sonuçları.....	30
3.3.1. 2 mm Kalınlığındaki C1040 Materyal Numunesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	32

3.3.2. 3 mm Kalınlığındaki C1040 Materyal Numunesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	41
3.3.3. 5 mm Kalınlığındaki Materyal Numunesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler.....	50
4. SONUÇ VE TARTIşMA.....	59
4.1. Giriş	59
4.2. Gelecek Çalışmalar	60



ÖZET

Manyetik Kaçak Akılar Yöntemi İle Ferromanyetik Malzeme Üzerindeki Kusurların Belirlenmesi

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü, Teknoloji Fakültesi Otomatik Kontrol Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada C1040 (az karbonlu çelik) sac numunelerinin yapısında oluşturulan yapay kusurların Tahribatsız Test Yöntemlerinden (Nondestructive Testing Methods) Manyetik Kaçak Akı (Magnetic Flux Leakage) yöntemi ile tespit edilmesi amacıyla manyetize edici sistem ve alan etkili sensör (hall effect sensör) dizisinden oluşan kusur tespit aracı tasarlanmıştır. Bu araç, hareket ettirici mekanizma vasıtasıyla üzerinde yapay kusurlar bulunan C1040 çelik numuneleri üzerinde düz doğrultuda gezdirilmiştir. Kusur tespit aracından konum algılayıcı enkoder vasıtasıyla konum bilgisi alınarak tespit edilen kusurların taranan numunenin hangi bölgesinde bulunduğu belirlenmiştir. Kusur tespit aracını numune üzerinde gezdirme esnasında alan etkili sensör dizisinden gerçek zamanlı olarak alınan sinyaller analog dijital çevirici ile bilgisayara aktararak Matlab Simulink yazılımı ortamında değerlendirilmiştir. Numune üzerinde tespit edilen kusurların genişliği, derinliği ve numune kalınlığı gibi parametrelerin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisi belirlenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Model) kullanılarak Manyetik Kaçak Akı yöntemi ile örnek sistem modeli oluşturulmuştur. Bu model ile simulasyon deneyleri FEM 4.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Manyetik Kaçak Akı yöntemi sistem parametreleri değiştirilerek simülasyon deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada kurulan Manyetik Kaçak Akı sisteminin parametreleri belirlenirken simülasyon sonuçlarından yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama deneyleri ve simulasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve uyumlu olduğu görülmüştür.

ABSTRACT

Detecting Defects on the Ferromagnetic Material Using Magnetic Flux Leakage Method.

This study is performed in Marmara University Göztepe Campus, Faculty of Technology Laboratory of Automatic Control. In this study, a defect detector vehicle formed of magnetizing system and hall effect sensor array is designed to detect artificial defects formed on C1040 (low level steel) sheet plate with Magnetic Flux Leakage method of Nondestructive Testing Methods. This vehicle is moved in a straight direction which artificial defects of different thickness size on C1040 sheet plate is done on its structure by mover mechanism. Defects, detected by getting location information from location sensing encoder of defect detector vehicle are determined in which area of the scanned plate are located. Signals, getting from hall effect sensor array taken in real-time while defect detector vehicle is moving on plate are evaluated by transferring to computer with analogue digital converter and then processing on Matlab Simulink software environment. By detecting effects of parameters such as width and depth of defects detected on plate, thickness of plate on graphics getting as a result are evaluated. Moreover, sample system model formed with magnetic flux leakage method using finite element model is performed. Simulation experiments with this model are performed by FEM4.2 software program. Simulation experiments are performed by changing system parameters of magnetic flux leakage method. In this study, it is profitted by results of simulation while determining parameters of magnetic flux laekage method. The results obtained from practised experiments and simulation experiments are evaluated and it is seen that they are compatible.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Anlamı	Birimi
G	Manyetik Akı Yoğunluğu	Gauss
V	Gerilim	V
I	Akım	A
Φ	Manyetik Akı	Wb
B	Manyetik Akı Yoğunluğu	Wb/m ² = T
H	Manyetik Alan	A/m
μ	Manyetik Geçirgenlik	H/m
t	Zaman	sn

KISALTMALAR

ADC	: Analog Digital Converter
AE	: Akustik Emisyon
GA	: Girdap Akımları
MKA	: Manyetik Kaçak Akı
TTY	: Tahribatsız Test Yöntemleri
UT	: Ultrasonik Test



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Üzerinde kusur bulunmayan materyal için MKA sistem davranışı (a), Üzerinde kusur bulunan materyal için MKA sistem davranışı (b) [12]	3
Şekil 1.2 Yapay mıknatıs ile oluşturulmuş MKA test sistemi [16]	3
Şekil 1.3 AE test sistem şeması [8]	4
Şekil 1.4 İkiz robot sistemi [9]	6
Şekil 1.5 Şematik GA test sistemi gösterimi [20]	6
Şekil 2.1 Kurulan MKA sisteminin blok diyagramı	16
Şekil 2.2 Kurulan MKA sisteminin yandan görünüşünün şematik gösterimi	17
Şekil 2.3 Kurulan MKA sisteminin üstten görünüşünün şematik gösterimi	17
Şekil 2.4 Kurulan MKA sistem donanımı resmi	18
Şekil 2.5. Kusur Tespit Aracını Hareket Ettirici Mekanizmanın Elektriksel Şeması	18
Şekil 2.6 Alan Etkili Sensör Şematik Gösterimi [39]	20
Şekil 2.7 UGN3503UA model alan etkili sensör resmi [40]	20
Şekil 2.8 MKA sistemi Matlab-Simulink modeli	22
Şekil 3.1 MKA teknolojisi FEM modeli	24
Şekil 3.2 Kusursuz materyal üzerinde gerçekleştirilen MKA yönteminin FEM simülasyon cevabı	24
Şekil 3.3 Üzerinde kusur bulunan materyalin FEM modeli simülasyon cevabı	25
Şekil 3.4 Mıknatıslar arası uzaklık 20 mm için kusurlu materyal üzerinde gerçekleştirilen deneyin simülasyon cevabı	25
Şekil 3.5 Mıknatıslar arası 50 mm için FEM simülasyon cevabı	26
Şekil 3.6 Dış kusur için FEM simülasyon cevabı	26
Şekil 3.7 İç kusur için FEM simülasyon cevabı	26
Şekil 3.8 1 mm mıknatıs yerden yükseklik değeri için FEM cevabı	27
Şekil 3.9 5 mm mıknatıs yerden yükseklik değeri FEM cevabı	27
Şekil 3.10 4 mm kalınlık için FEM simülasyon cevabı	28
Şekil 3.11 8 mm kalınlık için FEM simülasyon cevabı	28
Şekil 3.12 1 mm derinliğindeki kusur için FEM simülasyon cevabı	29
Şekil 3.13 5 mm derinlikteki kusur için FEM simülasyon cevabı	29
Şekil 3.14 20x20 mm mıknatıs için FEM simülasyon cevabı	30
Şekil 3.15 20x10 mm mıknatıs için FEM simülasyon cevabı	30

Şekil 3.16	Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bx bileşeni.....	33
Şekil 3.17	Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bz bileşeni	33
Şekil 3.18	1. Bölge için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni.....	34
Şekil 3.19	1. Bölge için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni.....	35
Şekil 3.20	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	36
Şekil 3.21	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	36
Şekil 3.22	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	37
Şekil 3.23	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	37
Şekil 3.24	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	38
Şekil 3.25	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	39
Şekil 3.26	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	39
Şekil 3.27	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	40
Şekil 3.28	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	40
Şekil 3.29	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	41
Şekil 3.30	Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bx bileşeni.....	42
Şekil 3.31	Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bz bileşeni	42
Şekil 3.32	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	43
Şekil 3.33	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	43
Şekil 3.34	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	44
Şekil 3.35	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	45
Şekil 3.36	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	45
Şekil 3.37	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	46
Şekil 3.38	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	47
Şekil 3.39	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	47
Şekil 3.40	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	48
Şekil 3.41	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	48
Şekil 3.42	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	49
Şekil 3.43	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	49
Şekil 3.44	Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bx bileşeni.....	50
Şekil 3.45	Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bz bileşeni	51
Şekil 3.46	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	51
Şekil 3.47	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	52

Şekil 3.48	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	53
Şekil 3.49	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	53
Şekil 3.50	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	54
Şekil 3.51	Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	54
Şekil 3.52	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	55
Şekil 3.53	Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	56
Şekil 3.54	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	56
Şekil 3.55	Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni	57
Şekil 3.56	Numune 3. Bölgesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni	57
Şekil 3.57	Numune 3. Bölgesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni.....	58



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 TTY karşılaştırma tablosu	11
Tablo 2.1 Doğal Mıknatısların Özellikleri [37]	19
Tablo 2.2 Alan Etkili Sensör Karakteristik Özellikleri [39]	21



1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik öneme sahip endüstriyel uygulamalarda kullanılan materyallerin, üretim ve/veya kullanım aşamasında yapılarında oluşabilen çatlak, korozyon, gözenek büyüklüğü vb. kusur ve bozulmalar büyük maddi kayba sebep olabilmektedir. Bu kaybı önlemek için belli zaman aralıklarında Tahribatsız Test Yöntemleri ve/veya Tahribatlı Test Yöntemleri (Destructive Testing Methods) kullanılarak kusurlu materyal bölgeleri önceden tespit edilmektedir. Tahribatlı test yöntemleri arasında yer alan deneyler; gömülü numune kullanma deneyi ve karot alma (numune alma) deneyleridir. Tahribatlı Test Yöntemleri ile test edilecek materyal çekme, bükme gibi kuvvetler uygulanarak muayene edilir. Bu fiziksel müdahaleler, materyale zarar vererek sonradan kullanılamayacak hale getirebilir. Tahribatsız testlerde ise amaç parçanın fiziksel bütünlüğünü ve kullanımını bozmadan onun kalitesini belirlemektir. Tahribatsız test yöntemiyle gerçekleştirilen işlemlerde, test edilen materyal hiçbir şekilde deforme olmamaktadır [1, 2, 3]. Tahribatsız Test Yöntemleri (TTY) çeşitli fiziksel prensiplere dayanmakta olup, farklı şartlar altında uygulanır. Tahribatsız oluşları ve tahribatlı tekniklere göre daha hızlı olmaları hemen her alanda yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktadır [4, 5]. Tahribatsız test uygulamaları işletme anında sistemler durdurulmadan yapılabilir [6]. Bu test yöntemleri düzenli aralıklarla kullanılarak gaz, yağ ve diğer kimyasal sıvıların taşınmasında önemli bir yere sahip olan boruların üzerinde oluşabilecek korozyon, çatlak gibi kusurlar önceden tespit edilmektedir. [7, 8]. Depo tankları, çelik teller, rüzgâr gücü yapıları, kompozit materyaller, tren rayı dişlileri, betonarme yapılar ve plastik materyaller gibi endüstride kullanılan materyallerin yapısal kontrolü TTY ile gerçekleştirilmektedir. Tahribatsız yöntemler bazı durumlarda birbirlerinin tamamlayıcısı olup bileşik olarak da kullanılabilir [6]. Girdap Akımları Testi (Eddy Current Testing) [1], Ultrasonik Test (Ultrasonic Testing) [1, 9], Akustik Emisyon (Acoustic Emission) [1, 10], Manyetik Kaçak Akı (Magnetic Flux Leakage) [11, 12, 13], ve Radyografi [2, 14] gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan TTY bulunmaktadır.

Bu çalışmada Manyetik Kaçak Akı (MKA) yöntemi ile ferromanyetik C1040 az karbonlu çelik sac materyalinin üzerindeki kusurları tespit edebilmek için kusur tespit aracı tasarlanmıştır. Bu araç hareket ettirici mekanizma ile C1040 çelik sac numuneleri üzerinde düz doğrultuda gezdirilmiştir. 2 mm, 3mm ve 5mm kalınlığındaki sac

malzemeler üzerinde 1mm, 2mm, 3mm ve 4mm çapında dairesel delik kusurlar, 1mm, 2mm, 3mm ve 4 mm çapında görece az, orta, çok derinlikte olmak üzere kör dairesel kusurlar oluşturulmuştur. Ayrıca 3mm kalınlığında olan sac üzerinde çizgisel kusurlar oluşturularak karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kusur tespit aracı, manyetize edici sistem ve alan etkili sensör modülü olmak üzere temel olarak 2 birimden oluşmaktadır. Manyetize edici sistem manyetik boyunduruk ve doğal mıknatıslardan oluşmaktadır. Doğal mıknatıs olarak yüksek manyetik gücünden dolayı Neodymium (NdFeB) mıknatıs kullanılmıştır. Manyetik boyunduruk olarak manyetik geçirgenliği yüksek demir malzemesi kullanılmıştır. Algılayıcı sensör modülünde ise UGN3503UA model alan etkili (hall effect) sensör kullanılmıştır. Sensör modülü 8 adet sensörden oluşmak üzere bir dizi halinde manyetik köprü altına yerleştirilmiştir. Sensörler farklı şekilde yerleştirilerek, sensör Bx (teğetsel) ve Bz (normal) bileşenleri ölçülmüştür. Sensör modülünden alınan bilgiler Analog Digital Converter (ADC) kart vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Matlab Simulink ortamında oluşturulan model ile ADC kartından gelen veriler kaydedilerek değerlendirilmiştir.

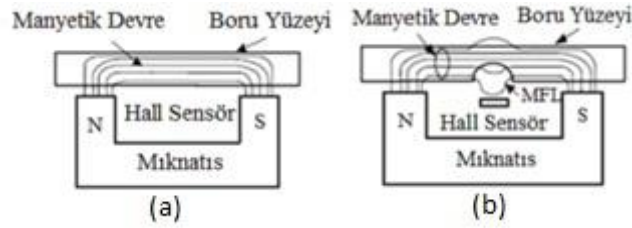
1.1. Tahribatsız Test Yöntemlerinin İncelenmesi

MKA, Akustik Emisyon (AE), Ultrasonik Test (UT), Girdap Akımları (GA) ve Radyografi olmak üzere endüstride yaygın olarak kullanılan beş adet tahribatsız yöntem vardır.

1.1.1. MKA yöntemi

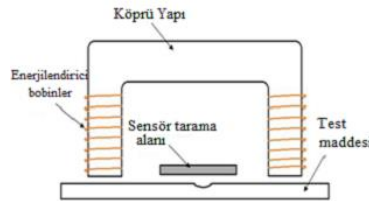
MKA yöntemi ferromanyetik materyallerin yüzey tarama şeklinde test edilmesini sağlayan tahribatsız bir test yöntemidir. Bu yöntem ile test edilen materyalde, yüzey/yüzey altı korozyon ve kusur tespiti sağlanabilmektedir. Bu yöntemde ferromanyetik materyalin test bölgesine güçlü manyetik alan uygulanarak doyuma ulaştırılması sağlanır. Güçlü manyetik alana maruz kalan materyal doyuma uğradığında, materyalin kusurlu bölgelerinden havaya doğru kaçak akılar oluşmaktadır. Kusurlu bölgelerde oluşan kaçak akılar, bir dizi alan etkili sensörler ile algılanarak kusurlar tespit edilir. MKA yönteminin başarısı, test yüzeyini manyetik doyum noktasına ulaştıracak akı yoğunluğunun uygunluğuna bağlıdır. Öyle ki, doyum noktasının altında veya üstünde etki oluşturan bir manyetik alan yoğunluğu seviyesi, kaçak akıların zayıflamasına yol açarak

kusurların algılanmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Buna ek olarak, MKA yöntemi ile elde edilecek yüzey algılama çözünürlüğü, kullanılan sensörlerin fiziksel boyutlarına bağlıdır. Daha yüksek çözünürlük için sensörler arası boşlukları hedefleyen ilave tarama işlemlerine ihtiyaç duyulur [11, 15, 16]. MKA test sisteminin temel bileşenleri, manyetik akı kaynağı; doğal veya yapay mıknatıs ile kaçak akıları ölçen sensör modülünden oluşmaktadır. Bu manyetik sensör modülü, köprü şeklindeki manyetik akı düzeneğinin ortasına yerleştirilmektedir. Şekil 1.1’de doğal mıknatıs ile oluşturulan MKA sistem şematik hali gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Üzerinde kusur bulunmayan materyal için MKA sistem davranışı (a),
Üzerinde kusur bulunan materyal için MKA sistem davranışı (b) [12]

Şekil 1(a)’da üzerinde herhangi bir kusur bulunmayan materyal için MKA sisteminin davranışı gösterilmiştir. Şekil 1(a)’da görüldüğü gibi, materyal üzerinde kusur bulunmadığında manyetik akılar materyal boyunca ilerlemiş ve herhangi bir kaçak akı oluşma durumu gözlemlenmemiştir. Şekil 1(b)’de ise üzerinde kusur bulunan materyal için MKA sistem davranışı gösterilmiştir. Şekil 1(b)’de görüldüğü gibi materyalin kusurlu bölgesinde, manyetik kaçak akılar dışa salınım yapmakta ve bu noktada manyetik sensör ile bu akılar ölçülmektedir. Şekil 2.2’de ise elektromıknatıs ile oluşturulan MKA sistemi görülmektedir.



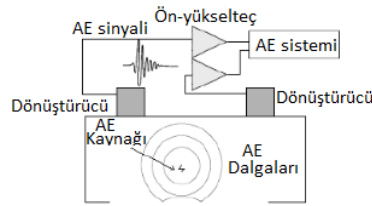
Şekil 1.2 Yapay mıknatıs ile oluşturulmuş MKA test sistemi [16]

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi MKA sistemi elektromıknatıs ile de oluşturulabilir. Çalışma prensibi açısından, doğal mıknatıs ile oluşturulan sistem ve elektromıknatıs ile oluşturulan sistem arasında fark bulunmamaktadır. Elektromıknatıslı MKA sistemi,

manyetik akının ayarlanabilirliği açısından avantajlıdır. Elektromıknatıslı sistem, ek maliyet ve tasarım sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Sürekli aynı kalınlığa sahip materyal testine yönelik tasarlanan sistemlerde doğal mıknatıs kullanımı yeterli olmaktadır [1, 16, 17].

1.1.2. Akustik Emisyon Yöntemi

AE yöntemi, test edilen materyali güvenilirlik ve yapı bütünlüğü açısından kontrol etmemizi sağlayan önemli bir tahribatsız test yöntemidir [8]. Bu yöntemde, yük ve basınç altında tutulan parçalardaki bozulmaların ürettiği elastik ses dalgaları, akustik sensörler tarafından algılanarak işlem yapılır. Akustik sensörler yüksek frekans değerine sahip sinyalleri yakalamak için kullanılan devre elemanlarıdır. Bu sensör çeşidi, yüksek frekans dalgalarını dinleyerek AE dalga formlarına dönüştürerek sinyallerin bilgisayara aktarılmasına olanak sağlar. Test edilen materyal parçasının basınç altında tutulması işleminde, parçaya yüksek frekansta ses dalgaları uygulanır. Eğer materyal, yüksek frekanstaki ses dalgaları ile basınç altında tutulmaz ise kusur tespiti yapılamaz. Bu yöntem ile materyal üzerinde oluşabilecek bozulmalar önceden algılanarak, materyal üzerinde herhangi bir bozulma olması engellenir. Metal, plastik ve beton gibi materyaller bu test yöntemi kullanılarak muayene edilebilir [1, 12]. Pasif (statik) kusurlar ve aktif kusurlar, materyal sağlığını tehdit eden kusur çeşitleridir ve AE yöntemi bu tür kusurları tespit etmede başarılıdır [18]. Şekil 2.3’de AE testi sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 1.3 AE test sistem şeması [8]

Şekil 2.3’de gösterildiği gibi AE kaynağı test edilen materyal üzerine dalgalar yayar. Dönüştürücüler (sensörler) tarafından algılanan veriler ön yükselteç aracılığı ile bilgisayara aktarılır. Dönüştürücüler test edilecek materyal biçimine göre uygun mekanizma ile materyal üzerinde gezindirilerek test işlemi yapılır [19].

1.1.3. Ultrasonik Test Yöntemi

UT, bir ultrasonik ses kaynağı tarafından üretilen yüksek frekanstaki (0,1 - 20Mhz) elastik dalgaların, test edilen materyal ortamında yayılması ve bir bozulmaya çarptıktan sonra prob tarafından kaydedilmesi prensibine dayanır. UT, ses kaynağı ve prob, karşılıklı ve eş zamanlı olarak materyali tarayacak şekilde hareket ettirilmesiyle test işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem ile kompozit materyallerin gözenek yapısı kontrol edilerek maddenin kusurlu bölgeleri tespit edilmektedir. Kompozit maddenin gözenek yapısı ile ultrasonik dalgalarındaki zayıflama arasında ilişki kurularak bu yöntem güvenli şekilde kullanılır. Materyaldeki kusurların belirlenmesi, dolaylı olarak ultrasonik dalgalarındaki zayıflamanın ölçülmesine bağlıdır. Materyale uygulanan elastik dalgaların materyal içinde yayılmaya başlamasıyla yansımalar oluşur. Bu yansıyan dalgalar prob tarafından algılanarak elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katod ışınları tüpü ekranında materyal iç yapısının habercisi olan yankılar halinde görülür. Ekran üzerinde görülen yankıların konumları ve genlikleri hatanın bulunduğu yer ve boyutları hakkında bilgi verir. Bu yöntemde, hatanın fiziksel yönelimi ultrasonik dalga demetine dik olduğunda en iyi sonuç elde edilir. Büyük taneli yapılar ultrasonik testi zorlaştırır. Ultrasonik test sistemi; ultrasonik test birimi, hareket kontrol ünitesi, ikiz robot ünitesi ve yazılım ünitesini içermektedir. Tüm ana sistem altında çalışan alt sistem parçası mekaniksel mekanizmadır. Bu sistem parçası, tüm sistem bileşenlerinin bir arada uyumlu şekilde çalışabilmesini sağlamaktadır [1, 9]. Sistem bileşenlerinden olan su devir ünitesi, sprej test işlemi aşamasında sistem için sürekli ve istikrarlı basınç elde edilmesini sağlamaktadır. Yazılım ünitesi ise gerçek zamanlı sinyal işleme, görüntü ve veri saklanması, hareket kontrolü ve sistem yönetimi gibi büyük öneme sahip işlemleri gerçekleştirmektedir. Çalışmada kullanılan ikiz robotlarla oluşturulan test ve kontrol sistem fotoğrafı Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

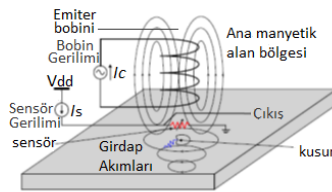


Şekil 1.4 İkiz robot sistemi [9]

Şekil 1.4’de gösterilen mekanizmada, her bir robot kolu kavisli kompozit materyal yüzeyi boyunca dalga aktarımı veya alımı yapan mekanizmaya sahiptir. İki robot kolu kusur testi aşamasında materyalin konum değiştirmesine göre karşılıklı eş zamanlı olarak konumlarını değiştirmektedirler. Dalga iletim ve emilim işlemlerinde, karşılıklı robot kollarının aynı ekseninde olduklarından emin olunmalıdır.

1.1.4. Girdap Akımları Yöntemi

GA, test edilen materyalin yüzey ve yüzey altı hatalarının kontrol edilmesini sağlayan tahribatsız test yöntemlerinden biridir [15]. Elektrik iletkenliğine sahip bütün materyal ve alaşımların yapısal bütünlüğünün kontrol edilmesi bu test yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ancak ferromanyetik olmayan maddeler üzerinde daha etkindir. Alternatif akım bobini tarafından oluşturulan manyetik alanın, materyal yüzeyinde dairesel girdap akımları oluşturması sonucu materyal üzerinde bobindeki manyetik alana zıt yönde ikinci bir manyetik alan oluşur. Test edilen materyal parçası üzerinde bir bozulma varsa, bozulma olan materyal parçası ve diğer materyal parça arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı yollar izleyecektir. Bu farklılık bobin veya manyetik sensör tarafından elde edilen veriler değerlendirilerek materyal test edilmiş olur [1, 19]. GA yöntemi ile materyal yaklaşık 2,5 cm’ye kadar derinliğe kadar test edilebilir. Şekil 1.5’de GA tahribatsız test sisteminin şematik yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Şematik GA test sistemi gösterimi [20]

Şekil 1.5’de gösterilen sistem materyalin tamamı üzerinde tarama işlemi yapacak şekilde hareket ettirilirse materyalin tamamı analiz edilmiş olur.

1.1.5. Radyografi Yöntemi

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (ışınım) pek çok materyale nüfuz edebilir. Materyale nüfuz eden ışıının, materyalin diğer tarafına konan ışıınma duyarlı filmleri de etkileyebilir. Bu filmler daha sonra banyo işlemine tabi tutulduklarında test edilen materyalin iç görüntüsü ortaya çıkar. Bu görüntü materyal içindeki boşluklar veya materyal kalınlık ve yoğunluk değişkenleri nedeniyle oluşur. Materyal iç yapısının bu şekilde görüntülenmesi radyografi olarak adlandırılır. Eğer materyalin arka tarafına film yerine bir detektör konularak, materyalden geçen ışıının toplanıp bir monitöre aktarılırsa bu teknik de radyoskopi olarak adlandırılır. Bu yöntemin yüksek bir ilk maliyeti ve araştırma yapan kişinin radyasyondan etkilenme tehlikesi vardır [1, 14, 21]. Döküm materyallerinin tahribatsız muayenesi konusunda akla gelen en önemli yöntemlerden biri radyografik muayenedir [22].

1.2. Tahribatsız Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tahribatsız test işleminde materyal güvenliğinin test edilmesinde uygun yöntemin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. En uygun yöntemin seçilmesi birçok etken göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Materyal türü, etkin kusur türü ve ölçeği, test ortamı, hassasiyet, maliyet, ölçek ve biçim bağımlılığı, güvenilirlik, test hızı ve güncel kullanım alanları gibi kriterler açısından TTY karşılaştırılabilir.

Test edilen materyal türü, tahribatsız test yöntemi seçilirken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir unsurdur. MKA yöntemi demir, çelik vb. ferromanyetik materyalleri test edebilmektedir. Ferromanyetik olmayan diğer materyal türleri MKA yöntemi ile test edilemez. AE yöntemi ile metaller, beton bloklar ve plastik gibi materyaller test edilmektedir. UT yöntemi, genellikle kompozit esaslı (plastik, seramik gibi) materyallerin test işleminde kullanılmaktadır. Bu yöntem, ince metalik materyallerin ve büyük tanecikli materyallerin analizlerinde kullanılmaktadır [1, 9, 17]. Yöntemin başarısı metal gibi katı maddelere geçilmesi ile birlikte azalmaktadır. Başarıdaki bu azalmanın esas kaynağı olarak metal materyallerin maddesel özellikleri gösterilmektedir. Metal materyali oluşturan atomlar birbirlerine güçlü elektromanyetik kuvvetler ile bağlanmaktadır.

Bağlanma neticesinde atomlar arası mesafeler ultrasonik ses dalgalarına oranla oldukça küçük kalmaktadır. Bu sebeple ultrasonik test yönteminin başarısı metal temelli materyallerde azalmaktadır. GA yöntemi de, metal ve metal alaşım materyallerinin yapısal bütünlüğünün kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak çalışma prensibi gereği ferromanyetik özellik sergileyen metal ve alaşımlar üzerinde etkinliği azalmaktadır. Bu nedenle metal endüstrisi ürünlerinin temelini demir, nikel ve çelik esaslı materyallerin oluşturması, GA yönteminden kaçınılmasına yol açmaktadır. Radyografi test yönteminde ise kuru gıda, seramik ve metal materyalleri test edilmektedir. Bu yöntemin insan sağlığına radyasyon kaynaklı zararları olsa da yüksek nüfuz etme avantajından dolayı kullanımı yaygındır.

Tahribatsız test işleminde dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur da kusur türü ve ölçeğidir. MKA yöntemi kullanılarak, yüzeysel çatlaklarda yüksek derecede, iç çatlaklarda ise orta derecede etkin olarak test işlemi gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca bu yöntemin korozyon tespitinde yüksek derecede etkili olduğu araştırmalar sonucu görülmüştür. Korozyon tespitinde başarısından dolayı MKA teknolojisi yaklaşık 50 yıldır korozyondan kaynaklanan metal kayıplarını önlemek için kullanılmaktadır. Metal kaybı yüzdesinin yüksek hassasiyetle belirlenmesinin yanında kusur genişliği ve derinliğinin belirlenmesi MKA yöntemi kullanılarak güvenilir şekilde yapılabilmektedir [15, 23]. AE yöntemi ise, basınçlı borularda oluşan çatlak uzanımı ve korozyon gibi aktif kusurları sistem işleyişini engellemeksizin olarak tespit edebilmektedir. Bu yöntem aktif(büyüyen) kusurların tespit edilmesinde önemli rol oynamaktadır. MKA, UT, GA ve radyografi gibi önemli tahribatsız test yöntemleri statik test yöntemleridir ve sadece var olan kusurları tespit edebilmektedir, materyalin kusur olmaya eğilimli bölgelerini tespit edememektedirler. AE yöntemi aktif kusurlarda hassas olduğundan dolayı kusur olmaya eğilimli bölgeleri tespit edebilmektedir. Ayrıca AE tekniği gerilimli korozyon (stress corrosion cracking) ve katman ayrılması gibi kusurların tespitinde önemli derecede iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca iç ve yüzeysel çatlaklar AE yöntemi ile yüksek derecede etkinlik ile tespit edilmektedir. UT yöntemi kullanılarak yüzeysel çatlakları düşük derecede iç çatlakları ise yüksek derecede etkin olarak belirlenmektedir. UT çalışma prensibi gereği, kompozit materyallerde oluşabilen kusurlar ve gözenek büyüklüğü gibi işlemlerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [9]. Ayrıca katman ayrılması, korozyon ve gözenek büyüklüğü gibi kusur türleri de UT yöntemi ile etkin olarak tespit edilmektedir.

Metal teknolojisinde en çok karşılaşılan kusurlardan biri olan artık gerilim (residual stress), tespit edilmesi zor olan kusurlardan biridir. GA yöntemi bu çeşit kusurları tespit etmekte kullanılan en popüler yöntemdir [19]. GA yöntemi ile yüzeysel çatlaklar yüksek derecede, iç çatlaklar ise düşük derecede etkinlikle belirlenmektedir. Radyografi yöntemi ile yüzeysel çatlaklar orta derecede iç kusurlar ise yüksek etkinlikle belirlenmektedir. Bu yöntem genellikle iç (dielectric) kusurları bulmak için kullanılmaktadır [24].

TTY'nin en önemli avantajlarından birisi ölçüm hassasiyetinin genel olarak yüksek olmasıdır. Fakat bazı şartlar altında yöntemlerin hassasiyeti azalabilmektedir. Örneğin GA ve MKA yöntemleri ile yüzeysel kusurlar yüksek hassasiyetle tespit edilirken yüzey altı kusurlarda ise hassasiyet azalmaktadır. AE yöntemi genel olarak yüksek hassasiyetle çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemin aktif kusurlara karşı duyarlılığı ve yüksek test doğruluğu gibi avantajları sayesinde geniş bir alanda kullanımı vardır [25]. UT yönteminde iç çatlaklar yüksek hassasiyetle belirlenirken yüzeysel kusurlarda hassasiyet düşmektedir. Radyografi yönteminde ise iç kusurlar yüksek hassasiyetle belirlenirken yüzeysel çatlakların testinde hassasiyet düşmektedir. Hassasiyet konusunda en dezavantajlı yöntem fiziksel ve yapısal kısıtlarından dolayı GA yöntemidir.

Maliyet açısından TTY çalışma şartları bakımından farklılık göstermektedir. MKA, genellikle korozyon görüntülemeye maliyet açısından en ucuz yöntem olarak bilinir [26]. MKA yöntemi ile boru test işleminde, borunun iç çapı boyutuna uygun test sistemi oluşturulacağından dolayı büyük boru boyutlarında, maliyet artmaktadır. Diğer tahribatsız yöntemlere kıyasla ilk maliyeti benzer olan AE yönteminin operasyonel maliyeti daha ucuzdur [10]. Güçlü nüfuz etme kabiliyeti, düşük maliyeti ve taşınabilir yapısı gibi avantajlarından dolayı UT yöntemi tercih edilen bir yöntemdir. GA yöntemi de metal nesnelerin test edilmesinde kullanılan düşük maliyetli yöntemdir. Radyografi yöntemi ise maliyeti fazla olmayan yöntemlerden biridir.

TTY ile test edilen materyalin biçimi, test sisteminin kurulumu aşamasında bağlayıcı olmaktadır. MKA sistem yapısı, boru ve çelik tel test işleminde, bu materyallerin boyutlarına uygun şekilde oluşturulmak zorundadır. MKA hariç diğer TTY test edilecek materyalden bağımsız olarak oluşturulur.

Gaz boru endüstrisi denetim doğruluğunu artırmak ve tarama sonuçlarının hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için MKA sinyallerinin ayrıntılı olarak analiz edilmesine ihtiyaç duymaktadır. MKA yöntemi ile test işleminde yüksek güvenilirlik için, verilerin ayrıntılı analiz edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı analiz görevlisinin eğitim seviyesinin yüksek ve analiz yapma hünnerleri yüksek olmalıdır. AE yöntemi de test edilen materyali güvenilirlik ve yapı bütünlüğü açısından kontrol etmemizi sağlayan yüksek güvenilirliğe sahip bir yöntemdir. AE sinyalleri, çatlak olan bölgede yüksek frekans ve yoğunlukta gerçekleştiğinden dolayı AE test güvenilirliği diğer yöntemlere göre daha yüksektir [8]. UT yöntemi de yüksek güvenilirliğe sahip yöntemlerden biridir. UT, MKA ve AE yöntemlerinin en önemli özelliği yüksek test doğruluğu ile güvenilir test gerçekleştirmeleridir. GA yöntemi yapısal kısıtlarından dolayı diğer yöntemlere göre test doğruluğu açısından dezavantajlı konumdadır. Radyografi yöntemi de güvenilir test yöntemlerinden biridir.

TTY, test hızı açısından birbirleriyle karşılaştırıldığında AE yöntemi bir kademe diğer yöntemlerden öne geçmektedir. AE haricinde kalan diğer yöntemler göreceli olarak yüksek hızlı çalışmaktadır.

TTY'nin yaygın kullanım alanları, yöntemlerin çalışma prensipleri, uygulama şartları, verimlilikleri gibi birçok etkene göre şekillenmiştir. Örneğin, MKA, gaz ve yağ borularının test edilmesi konusunda dünyada en yaygın kullanılan elektromanyetik tahribatsız test yöntemlerinden biridir [27]. Çelik materyali üzerindeki etkinliğinden dolayı çelik tel, petrol boruları ve çelik saclar gibi materyallerin test işleminde de MKA yöntemi kullanılmaktadır. Diğer bir tahribatsız yöntem olan AE yöntemi dinamik tahribatsız test açısından geniş bir kullanım alanına sahiptir [28]. Beton bloklar, yağ, su ve gaz boruları ve çelik tanklar AE yöntemi ile test edilmektedir. UT yöntemi ise saclar, seramik ve kompozit yüzeyler gibi materyallerin muayenesinde kullanılmaktadır. Elektromanyetik yöntemlerden biri olan GA, metal sacların testinde kullanılan bir yöntemdir. Radyografi, çalışma verimliliği ve derine nüfuz etme gibi avantajlarından dolayı, döküm materyallerinin tahribatsız muayenesinde en yaygın kullanılan yöntemdir [22]. Tablo 1.1'de TTY'nin seçilmiş kriterlere göre karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 1.1 TTY karşılaştırma tablosu

		Tahribatsız Test Yöntemleri (TTY)				
		MKA	AE	UT	GA	RADYOGRAFİ
Karşılaştırma Kriterleri	Materyal Türü	Demir, çelik, nikel, kobalt	Metaller, beton, plastik	Metaller, kompozit (plastik, seramik) materyaller	Metaller	Kuru gıda, seramik, metaller
	Etkin kusur türü ve ölçeği	Yüzeysel çatlaklar (yüksek), iç çatlaklar (orta), korozyon	İç/yüzeysel çatlaklar (yüksek), dinamik kusurlar, korozyon, katman ayrılması, gerilimli korozyon	Yüzeysel çatlaklar(düşük), iç çatlaklar (yüksek), gözenek büyüklüğü, katman ayrılması, korozyon	Yüzeysel çatlaklar (yüksek), iç çatlak (düşük), artık gerilim	İç kusurlar (yüksek), yüzeysel çatlaklar (orta)
	Test ortamı	Hava, petrol, yağ, gaz	Hava, yağ, su, gaz	Hava	Hava	Hava
	Hassasiyet	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
	Maliyet	Göreceli orta	Orta	Orta	Ucuz	Orta
	Ölçek ve Biçim Bağımlılığı	Bağımlı	Bağımsız	Bağımsız	Bağımsız	Bağımsız
	Güvenilirlik	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
	Test Hızı	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta
	Yaygın kullanım alanları	Çelik teller, petrol tankı, petrol, yağ ve doğal gaz boruları, saclar	Beton bloklar, yağ, su ve gaz boruları, tanklar	Saclar, seramik yüzeyler, kompozit yüzeyler	Metal saclar	Döküm materyalleri, Metal saclar

1.3. Sonuç

Materyallerin yapısında zamanla oluşan kusurlar, materyal yapısını bozarak büyük maddi kayıplara sebep olabilmektedir. Bu kusurların önceden TTY ile belirlenerek tamir edilmesi gerekmektedir. Muayene edilecek olan materyalin fiziksel ve kimyasal yapısına uygun tahribatsız yöntem seçilmelidir. Uygun yöntemin seçilmemesi, gereksiz maliyet oluşmasına ve test doğruluğunun azalmasına sebep olur. Uygun yöntem ile materyalin düzenli aralıklarla muayene edilmesi sonucu güvenli materyal kullanımı sağlanarak maddi kayıpların önüne geçilmiş olur. TTY karşılaştırması tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Bu tezde ferromanyetik materyallerin muayene edilmesinde etkili yöntemlerden biri olan MKA yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem ile C1040 (az karbonlu çelik) türünde ferromanyetik materyal taranarak muayene işlemi gerçekleştirilmiştir. Çeşitli kalınlıklarda C1040 materyali üzerinde çeşitli boyutlarda yapay kusurlar oluşturuldu ve materyal üzerinde tarama işlemi yapılarak deneyler gerçekleştirildi.

1.4. Benzer Çalışmalar

MKA yönteminin ferromanyetik materyallere uygulanmasında her bir sistem parametresinin ayrı bir önemi vardır. Herhangi bir sistem parametresinin değişmesi sistem verimliliğini önemli derecede etkilemektedir. Bu bağlamda bu parametreleri belirlemeye yönelik gerçekleştirilen birçok çalışma vardır. Bu çalışmalardan birisi yavuz ege [20] manyetik geçirgenlikleri birbirinden farklı (Si-Fe Şeritler, Demir çubuklar, 2826MB Amorf Şeritler ve AC20 Amorf Teller gibi) malzemelerin üzerinde herhangi bir nedenle oluşabilecek çatlakların fiziksel özelliklerinin manyetik yollarla tayin edilebilmesi ve çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının üç boyutlu davranışının tespiti için, üç boyutta istenilen noktaya bilgisayar kontrollü ya da elle (manuel) kontrolle gidebilen bir tarayıcı sistem, mıknatıslayıcı sistem ve algılayıcıdan oluşan bir çatlak dedektörü yapılarak manyetik ölçme düzeneği kurmuştur. Çalışmada konu edilen yöntemin herhangi bir modeldeki doğal çatlağın bulunmasında diğer tahribatsız test yöntemlerine bir alternatif olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Yunlai Gao ve arkadaşları [17] gerçekleştirdikleri çalışmada MKA test sisteminin verimliliği etkileyen parametreleri değiştirerek genel bir karşılaştırma yapmışlardır. Örneğin alan etkili sensörlerin yerden yüksekliklerini (lift off) kademeli şekilde

değiştirerek sistemin hassasiyetinin değişimini gözlemlemişlerdir. Ayrıca sensör yerleşimini 3 boyutlu gerçekleştirerek sensör bx, by, bz bileşenlerinin etkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak bu çalışmada korozyon ve çatlakların tespit edilmesinde GA test yöntemi ve MKA yönteminin diğer yöntemlere göre birçok avantaja sahip olduğu ve 3 boyutlu MKA sinyal işleme yönteminin düzensiz bozulmaların tespitinde uygulanabilir bir yöntem olduğunu tespit edilmiştir.

Yavuz Ege gerçekleştirdiği bir diğer çalışmada [1], MOH gibi tanecik yönlendirilmiş silisyumlu demir malzemelerin üzerinde oluşabilecek çatlakların, manyetik yollarla tayin edilebilmesi için, manyetize edici sistem ve algılayıcıdan oluşan çatlak dedektörü yaparak manyetik ölçme düzeneği kurmuştur. Çatlağın şeklinin, genişliğinin, malzemenin kalınlığının ve frekansın algılayıcıda indüklenen sinyalin seviyesini nasıl değiştirdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada çatlak gibi büyük boyutlu kusurlar incelenmiş fakat küçük çapta kusurların tespit edilme işlemi gerçekleştirilmemiştir.

A. I. Potapov ve arkadaşları [29] gerçekleştirdikleri çalışmada MKA test sistemi için belirlenmesi gereken sistem parametrelerini matematiksel modelleme yoluyla belirlemişlerdir. Ayrıca farklı test edilen malzeme türlerinde oluşturulan benzer kusur çeşitlerinde MKA sistem cevabını matematiksel olarak hesaplamışlardır. Yapılan bu çalışma matematiksel modelleme yöntemine dayanıp, bu parametreleri ispatlamaya yönelik deneysel çalışma yapılmamıştır.

Alicia Romero Ramirez ve arkadaşları [30] gerçekleştirdikleri çalışmada, MKA yöntemini kullanarak test edilen malzeme üzerinde oluşan iç ve dış kusurları birbirinden ayırt etmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak çalışmalarında iç ve dış kusur için MKA sistem cevaplarının çok benzer olduğunu ve bu iki kusur çeşidinin birbirinden ayırt edilmesinin uygulanabilir olmadığı tespit edilmiştir.

Mustafa Göktepe ve arkadaşları [31] gerçekleştirdikleri çalışmada MKA tekniği kullanarak betonarme yapıların içindeki demir donatının görüntülenmesini amaçlamışlardır. Kullanılan yöntemin tamamen tahribatsız olup incelenen sisteme hiçbir zarar vermediğini ve yapılan çalışma kapsamında paralel ve dik okuma yöntemleri karşılaştırılmış olup pratik olarak dik okuma tekniğinin çok daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Hui Min Kim ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada [32], MKA sistemini çelik malzemesinden yapılmış boru şeklindeki materyal üzerinde uygulayarak, boru materyalinin fiziksel şekline uygun sistem tasarımı oluşturmaya çalışmışlardır. Bu yönde yaptıkları çalışma sonucu dairesel MKA sistemi ortaya çıkmıştır. Sistemin dairesel olması boru materyalinin üzerinde istenilen akı yoğunluğunun oluşturulmasını sağlamıştır. Ayrıca bu sisteme uygun dairesel sensör modül sistemi geliştirmişlerdir.

Nannan Song ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada [33], ferromanyetik malzeme yapısında oluşan iç kusurları tespit edebilmek için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda zayıf sinyal prensibine dayanan manyetik alan haritalaması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yaklaşımın başarısı Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile doğrulanmıştır.

N.B.S Gloria ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada [34], kalın yüzeylerdeki korozyonları tespit etmek için ICS (İç Korozyon sensör) teknolojisini kullanmışlardır. ICS performansı yüzeyin saturationa uğratılmasını gerektirmez yani kalınlıktan etkilenmez. ICS prensibi manyetik bozukluk üzerine temellendirilmiştir. Bu teknoloji ferromanyetik boru üzerindeki küçük bölgelerin direkt olarak manyetik tepkisini ölçer. Bu yüzden materyali doyuma uğratmaya gerek kalmadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında farklı kusur derinlikleri için mıknatısın çeşitli konum şekillerine ve farklı mıknatıs lift-off değerlerine göre deneyler yapmışlardır. Belli bir seviyeye kadar mıknatıs lift-off değerinin artırılması hassasiyeti artırmıştır ancak belli bir seviyeden sonra operasyonel nedenlerden dolayı ölçüm yapılamayacağını belirtmişlerdir.

Ma Yilai ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada [35], MKA sistemi sinyalini bozan dış manyetik alanları azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu işlemi gerçekleştirmek için manyetik alanı emici metal plaka veya metal bağlantıları kullanarak bozucu manyetik alanları sensör modülünden uzaklaştırmışlardır. 2 boyutlu manyetik izolasyon çubuklarını, manyetik koruyucu olarak kullanarak bu işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucu MKA sistem verilerinin iyileştiğini tespit etmişlerdir.

Gwan Soo Park ve arkadaşları [36] gerçekleştirdikleri çalışmada test edilen materyalin kusur bölgesinde oluşan MKA sinyal değişimini artırmayı amaçlamışlardır. Bu işlemi gerçekleştirmek için alan etkili sensör modülünün arkasında back yoke (köprü yapı)

konumlandırması önerilmiştir. Köprü yapının ağırlığı ve boyutu çok küçük olmasına rağmen kaçak akılar manyetik geçirgenliği yüksek olan bu köprü yapı üzerine yoğunlaştığı için MKA sinyali %200'e kadar artırılmıştır.



2. MKA YÖNTEMİ UYGULAMASI İÇİN SİSTEM VE YAZILIM TASARIMI

2.1. Kurulan MKA Sisteminin Genel Yapısı

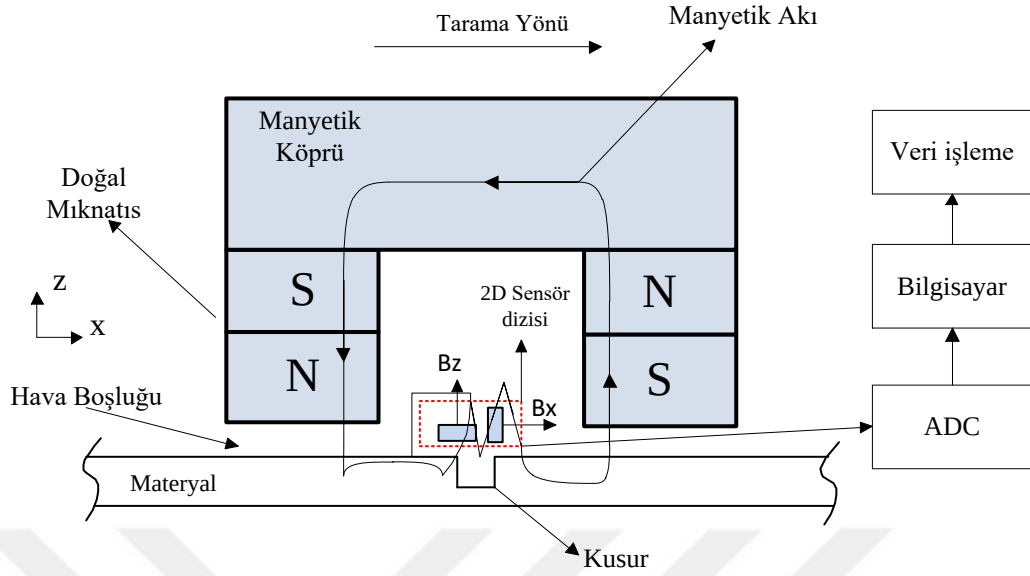
MKA yöntemi ile kararlı ve tekrarlanabilir bir test işlemi gerçekleştirilmesi için test edilen ferromanyetik malzemeye 1.6-2 Tesla arasında manyetik alan uygulanmalıdır. Bu ölçüde manyetik alan ile birlikte uygun sistem parametreleri seçilerek optimum sistem çıkışı elde edilebilir. Bu bağlamda MKA yönteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için her bir sistem parametresinin büyük bir önemi vardır. Bu parametreler; sensör yerden yükseklik (lift off), doğal mıknatıs boyutları, mıknatıs ile numune arası mesafe, mıknatıs kutuplar arası uzaklık, manyetik boyunduruk boyutu gibi parametrelerdir. Bu çalışmada mıknatıs ile numune arası mesafe 1 mm, mıknatıs boyutu 20x20 mm, manyetik köprü 20x53 mm, mıknatıs kutuplar arası uzaklık 13 mm alınarak sabitlenmiştir. Sensör yerden yükseklik değeri 0.5 ve 1 mm değerleri için deneyler gerçekleştirilmiştir.

MKA sisteminin çıkış bilgisi olarak elde edilen manyetik akılar alan etkili sensörler tarafından ölçülmektedir. Alan etkili sensörler manyetik akı bilgisini çalışma prensibi gereği çıkış gerilimi (volt) olarak ADC kartına aktarmaktadır. ADC kartına gelen analog bilgi dijital sinyallere dönüştürülerek bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarda veriler işlenerek grafik bilgisi olarak MKA sistem çıkışı ortaya çıkmıştır.



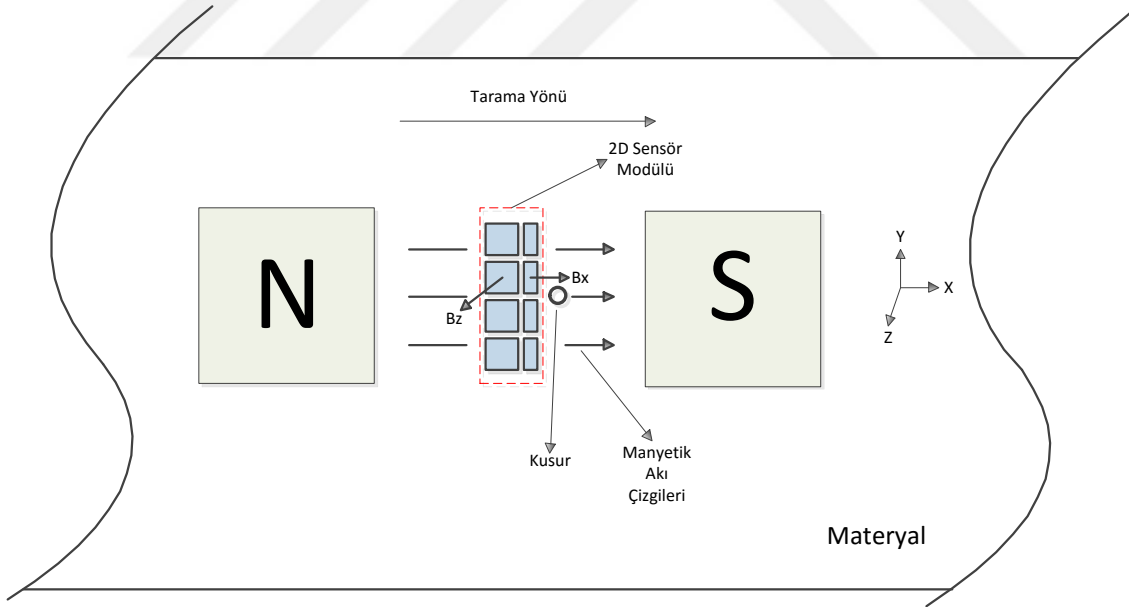
Şekil 2.1 Kurulan MKA sisteminin blok diyagramı

Şekil 2.1’de Kurulan MKA sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kurulan MKA sisteminin yandan görünüşünün şematik gösterimi

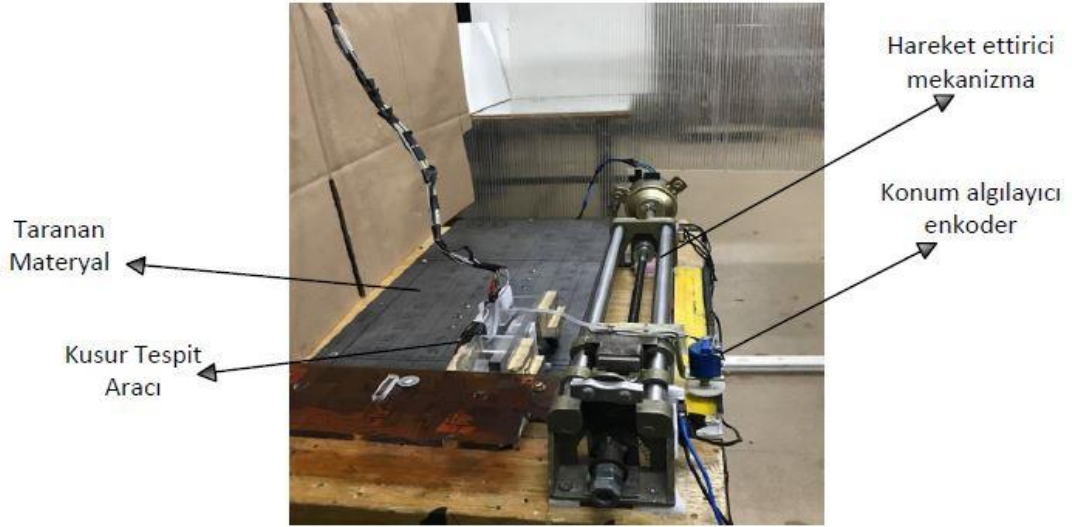
Şekil 2.2’de kurulan MKA sisteminin yandan görünüşünün şematik gösterimi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kurulan MKA sisteminin üstten görünüşünün şematik gösterimi

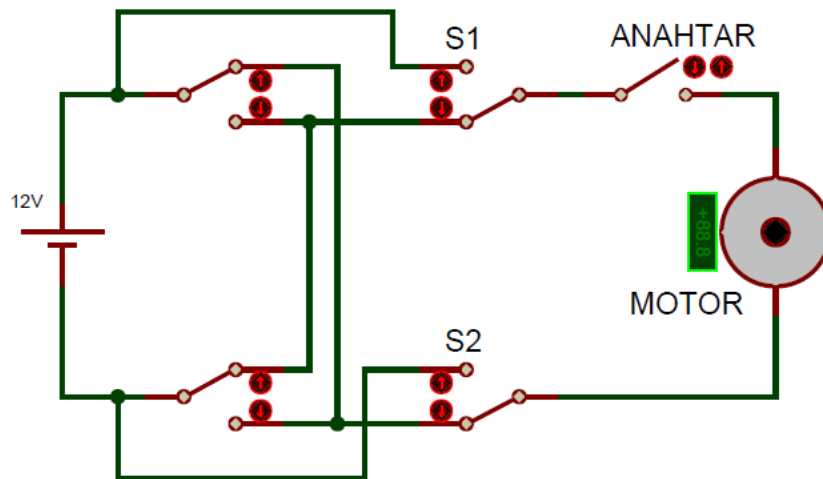
Şekil 2.3’de kurulan MKA sisteminin yandan görünüşünün şematik gösterimi gösterilmiştir.

Bu çalışmada kurulan MKA sisteminde, hareket ettirici mekanizma ile kusur tespit aracı materyal üzerinde doğrusal gezindirilerek test işlemi gerçekleştirilmiştir. Konum algılayıcı enkoder'dan sensör konum bilgisi alınmıştır.



Şekil 2.4 Kurulan MKA sistem donanımı resmi

Şekil 2.4'de kurulan MKA sistem donanımı resmi gösterilmektedir. MKA sistem donanımı; hareket ettirici mekanizma, konum algılayıcı enkoder ve kusur tespit aracı olmak üzere 3 temel donanım biriminden oluşmaktadır.



Şekil 2.5. Kusur Tespit Aracını Hareket Ettirici Mekanizmanın Elektriksel Şeması

Kusur Tespit Aracını hareket ettirici mekanizma mekanizmanın elektriksel şeması şekil 2.5’de gösterilmektedir.

2.1.1. Manyetize Edici Sistem Tasarımı

MKA teknolojisini gerçekleyebilmek için doğal mıknatıs veya elektro mıknatıs kullanılabilir. Elektromıknatıslı sistem, akı ayarlanabilirliği avantajı olmasına karşın ek maliyet ve tasarım sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu yüzden bu çalışmada doğal mıknatıs tercih edilmiştir. Doğal mıknatıs olarak Alnico, Neodymium (NdFeB), INDOX, Ferrite, Rare Earth çeşit mıknatıslar vardır. Bu mıknatısların özellikleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Doğal Mıknatısların Özellikleri [37]

Mıknatıs Sınıfı	Maliyet	Kararlılık	Tesla
Alnico	Yüksek	Orta	Yüksek
INDOX ®	Düşük	Yüksek	Düşük
Ferrite	Düşük	Yüksek	Orta
Rare Earth	Çok Yüksek	Yüksek	Yüksek
NdFeB	Orta	Yüksek	Yüksek

Tablo 2.1’de mıknatıslar maliyet, kararlılık ve manyetik akı yoğunluğu (Tesla) açısından karşılaştırmaları gösterilmiştir. Bu çalışmada bu kriterler göz önüne alındığında en avantajlı olan Neodymium mıknatıslar kullanılmıştır.

İki adet birbirine göre ters kutuplu yerleştirilmiş mıknatısların üst yüzeyine manyetik köprü görevi görmesi için demir köprü yerleştirilmiştir. Bu köprünün görevi iki mıknatıs arasında manyetik akının akmasını sağlamaktır. Demir malzemesi manyetik geçirgenliği yüksek olduğu için tercih edilmiştir.

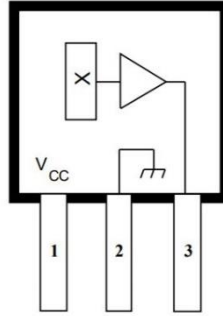
2.1.2. Test Edilen Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada C1040 çelik malzeme test edilmiştir. C1040 çeliği , piyasada karbon çeliği olarak sınıflandırılan genelde amerikan standardı olarak adlandırılarak kullanılan % 0.4

C'lu çeliklerdir . Çok sert ve iç gerilmeleri yüksek olduğu için kırılgandır [38]. Bu malzeme az karbonlu olduğundan dolayı manyetik geçirgenliği yüksek bir malzemedir.

2.1.3. Alan Etkili Sensör Dizisi Özellikleri

Algılayıcı sensör modülünde ise UGN3503UA model alan etkili (hall effect) sensör kullanılmıştır. Sensör modülü 8 adet sensörden oluşmak üzere bir dizi halinde manyetik köprü altına yerleştirilmiştir. Sensörler farklı şekilde yerleştirilerek, sensör Bx (teğetsel) ve Bz (normal) bileşenleri ölçülmüştür. Sensör modülünden alınan bilgiler ADC kart vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 2.6 Alan Etkili Sensör Şematik Gösterimi [39]

Şekil 2.6'da bu çalışmada kullanılan UGN3503UA model alan etkili sensörün şematik gösterimi gösterilmiştir. 1 nolu bacak; besleme gerilimi, 2 nolu bacak; topraklama ve 3 nolu bacak ise çıkış bacağı göstermektedir.



Şekil 2.7 UGN3503UA model alan etkili sensör resmi [40]

Şekil 2.7'de UGN3503UA model alan etkili sensörün resmi gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Alan Etkili Sensör Karakteristik Özellikleri [39]

Karakteristik	Sembol	Test Şartları	Ortalama	Birim
Besleme Gerilimi	Vcc	-	5.0	V
Pasif Çıkış	Vout	B = 0G	2.50	V
Hassasiyet	ΔV_{out}	B= 0G - $\pm 900G$	1.30	mV/G

Tablo 2.2’de UGN3503UA model alan etkili sensörün hava sıcaklığı 25 °C’de elektriksel özellikleri gösterilmiştir.

2.2. Sistem Yazılım Özellikleri

2.2.1. Real Time Windows Target Modeli

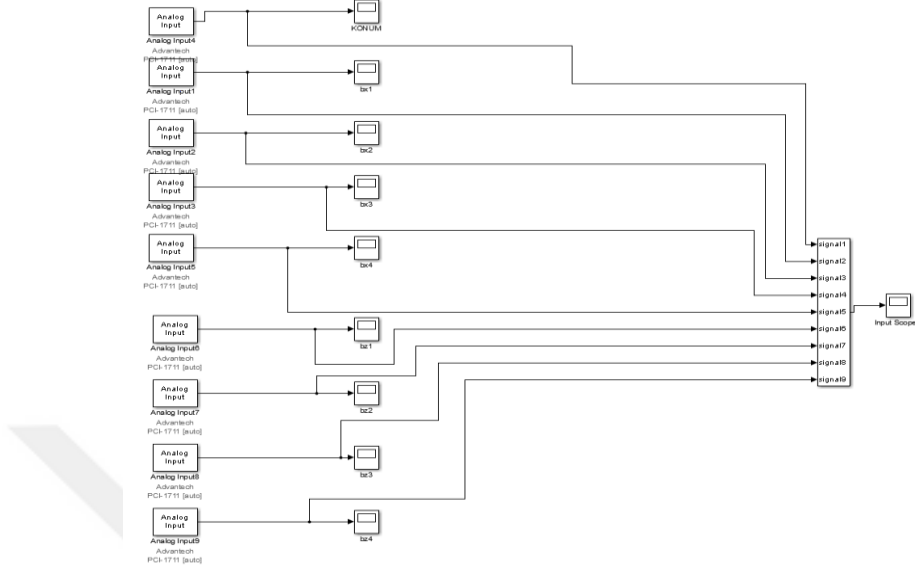
Real Time Windows Target sistemlerin çıkışlarını gerçek zamanlı olarak görüntülemek için kullanılan bilgisayar servisi. Real Time Windows Target, Simulink modelini grafik kullanıcı arabirimi olarak kullanmamıza olanak tanır [41]. Bu çalışmada alan etkili sensörlerden gelen sinyallerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi için Matlab Real Time Windows Target modeli kullanılmıştır.

2.2.2. Matlab-Simulink Ortamında Çalışma

2.2.2.1. Giriş

Simulink bize karmaşık sistemleri tasarlama ve simülasyon yapma olanağı vermektedir. Mühendislik sistemlerinde simülasyonun önemi gün geçtikçe artmaktadır. Sistemlerin tasarımında büyük oranda bilgisayar simülasyonlarından faydalanmakta, mümkün olduğunda tasarımın test aşamaları da bilgisayarlar yardımıyla yapılmaktadır. Günümüzde mühendislik alanında en çok kullanılan programlardan birisi MATLAB’dir. Simulink, MATLAB ile birlikte bütünleşik olarak çalışan bir simülasyon ortamıdır. Sürekli zamanlı ve ayrık zamanlı sistemleri veya her ikisini de içeren hibrit sistemleri desteklemektedir. İçinde birçok alt sistemi blok olarak barındırdığından sürükle-bırak yöntemiyle birçok sistemi bir-kaç dakikada kurarak simule edebilir, değişik durumlardaki sistem cevabı test edilebilmektedir [42]. Bu çalışmada Matlab ve Simulink ortamları bütünleşik şekilde kullanılmıştır. 8 adet analog input sensör modülü için, 1 adet analog

input da konum algılayıcı encoder için kullanılmıştır. Örnekleme zamanı Matlab komut penceresinden 0.01 sn girilerek işlemler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.8 MKA sistemi Matlab-Simulink modeli

Oluşturulan MKA sistem Matlab-simulink modeli şekil 2.6’da gösterilmiştir.

2.3. ADC Kartı

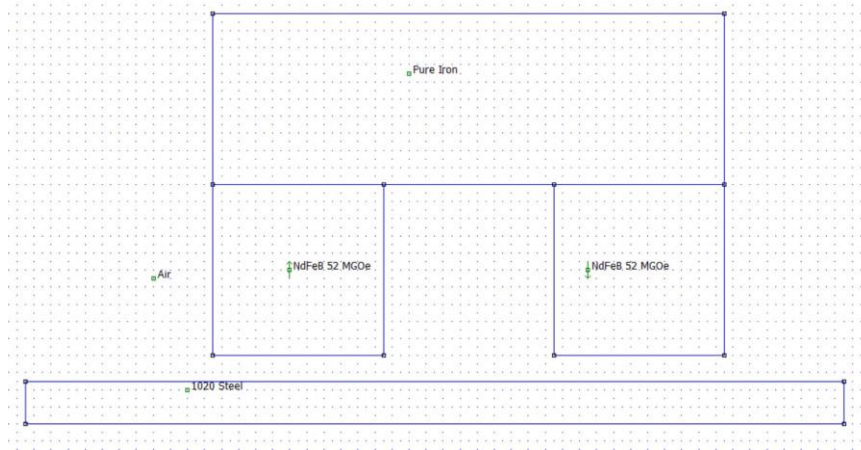
Çevremizdeki sıcaklık, ağırlık, basınç vb. büyüklükler, analog olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda bu büyüklükler, sadece 0 ve 1 gibi ikili değerler değil; belli bir aralıkta (minimum ve maksimum arasında) çok geniş bir yelpazede çeşitli değerler alabilmektedirler. Denetlenecek fiziksel büyüklükler daha çok analog değişkenler olmasına karşın; bilgiyi işleyen denetleyici donanımlar (sayısal sistemler, mikroişlemciler, bilgisayarlar) sayısal veriler ile çalışmaktadır. Bu sistemler bilgiyi daha güvenli ve daha hızlı işler ve değerlendirirler. Denetleyici çıkışında oluşan sayısal bilgi dış dünyaya aktarılırken tekrar analogla çevrilmesi gerekebilir. Bahsedilen bu fiziksel büyüklükler algılayıcı ve dönüştürücüler yardımıyla elektriksel formata dönüştürülürler. Daha sonra bu işaret bir ADC yardımıyla sayısal forma çevrilir. Sayısal sistem bu bilgiyi istenilen bir biçimde işler ve bir sonuç elde eder. Bu sonuç analog veya sayısal olarak değerlendirilebilir. Eğer elde edilen sonuç analog olarak değerlendirilecekse tekrar analogla çevrilmesi gerekir. Sayısal işareti analog işarete çevirme işlemi ise ADC ile mümkündür [43]. Bu çalışmada PCI 1711U model ADC kart kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Giriş

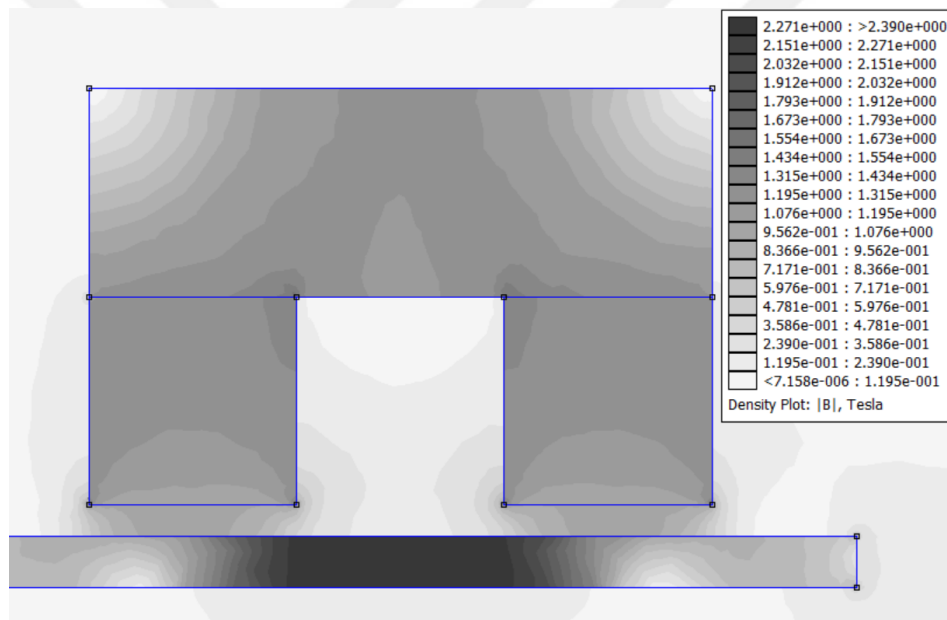
3.2. MKA Yönteminin Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Gerçeklenmesi

MKA yöntemi ile oluşturulmuş sistem, Sonlu Elemanlar Yöntemi prensibine dayanan FEM 4.2 programı ile simule edilmiştir. 1. Deney kusursuz yüzey üzerinde gerçekleştirilmiştir. FEM 4.2 yazılımı ile gerçekleştirilen deney modeli şekil’ 3.1’de gösterilmiştir. Taranan malzeme 1020C (az karbonlu çelik), köprü yapı için yüksek manyetik geçirgenliğinden dolayı saf demir ve manyetik kaynak olarak Neodymium 52 model doğal mıknatıs seçilmiştir. FEM yöntemi ile gerçekleştirilen deneylerde, MKA sistem parametrelerinin değiştirilmesinin deney sonuçlarını nasıl etkilediği incelenerek değerlendirilmiştir.



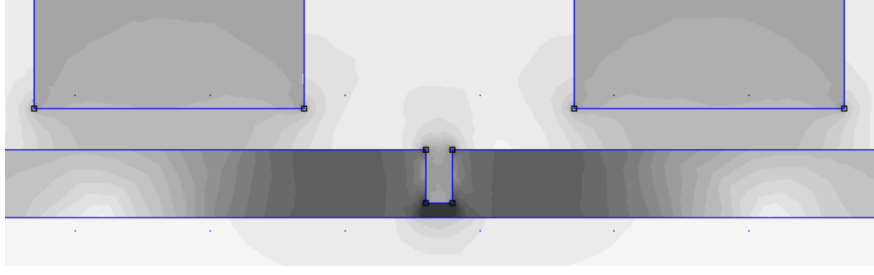
Şekil 3.1 MKA teknolojisi FEM modeli

Şekil 3.1’de MKA yöntemi FEM modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kusursuz materyal üzerinde gerçekleştirilen MKA yönteminin FEM simülasyon cevabı

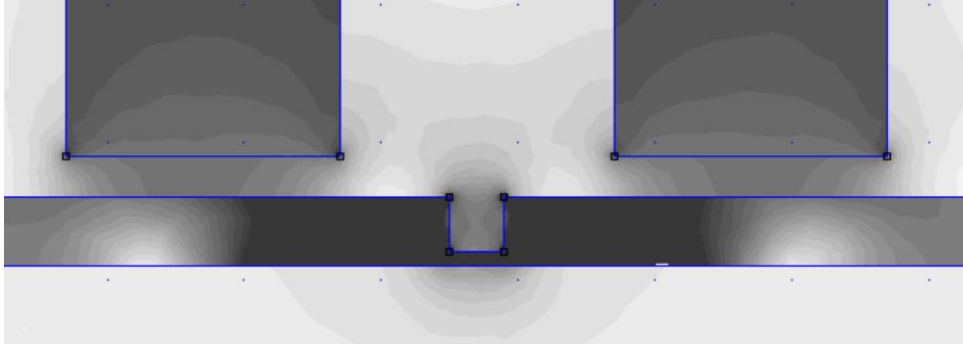
Şekil 3.2’de MKA sisteminin kusursuz yüzey üzerinde elde edilen simulasyon cevabı gösterilmektedir. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi taranan materyalde 2 Tesla civarında manyetik alan yoğunluğu oluşturularak materyal doyuma uğratılmıştır. Aşağıda gösterilen şekillerde manyetik kaçak akıları etkin şekilde görmek adına sadece taranan materyal ve mıknatıslar gösterilecektir.



Şekil 3.3 Üzerinde kusur bulunan materyalin FEM modeli simülasyon cevabı

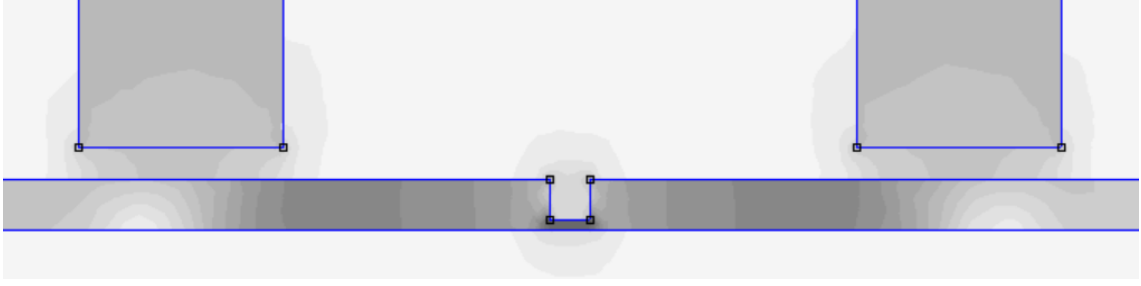
Şekil 3.3’de gösterilen model üzerinde kusur oluşturularak elde edilen deney sonucu şekil 3.4’de gösterilmiştir. Şekil 3.4’den anlaşıldığı gibi kusur üzerinde manyetik akılar havaya doğru akarak kaçak akıları oluşturmuştur.

Gerçekleştirilen araştırmalar sonucu MKA sistemi parametrelerinden “mıknatıslar arası uzaklık” parametresi sistem verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Diğer MKA sistem parametreleri sabit tutularak mıknatıslar arası uzaklık değişiminin sistem üzerindeki etkisini incelemek üzere FEM programında deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Mıknatıslar arası uzaklık 20 mm için kusurlu materyal üzerinde gerçekleştirilen deneyin simülasyon cevabı

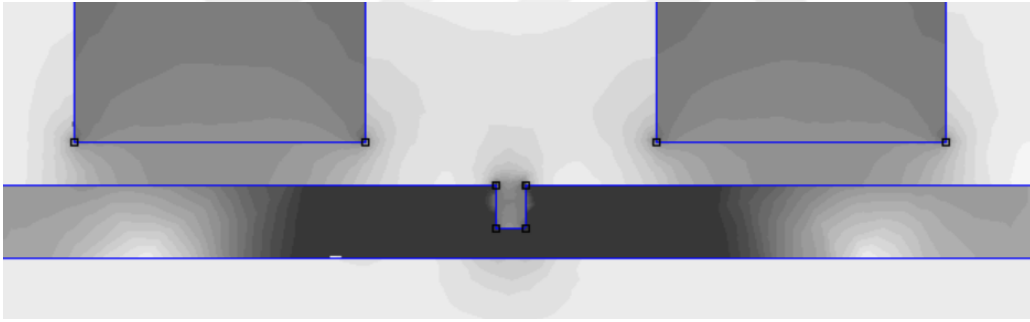
MKA sisteminde mıknatıslar arası uzaklık 20 mm alınarak FEM deney sonucu şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Mıknatıslar arası 50 mm için FEM simülasyon cevabı

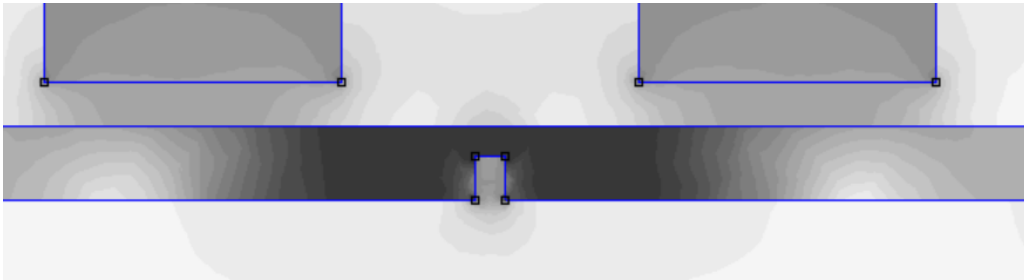
MKA sisteminde mıknatıslar arası uzaklık 50 mm alınarak FEM deney sonucu şekil 3.5’de gösterilmiştir. Mıknatıslar arası uzaklığın 20 mm’den 50 mm’ye çıkarılması ile kusur üzerinde oluşan manyetik kaçak akıların azaldığı görülmüştür.

Kusur çeşitlerinden içi kusur ve dış kusur’da oluşan kaçak akıların farkını anlayabilmek için FEM yöntemiyle deneyler yapılmıştır. Aynı boyuttaki kusur iç ve dış olmak üzere materyal üzerinde oluşturularak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6 Dış kusur için FEM simülasyon cevabı

Şekil 3.6’da dış kusur için FEM simülasyon cevabı gösterilmiştir.

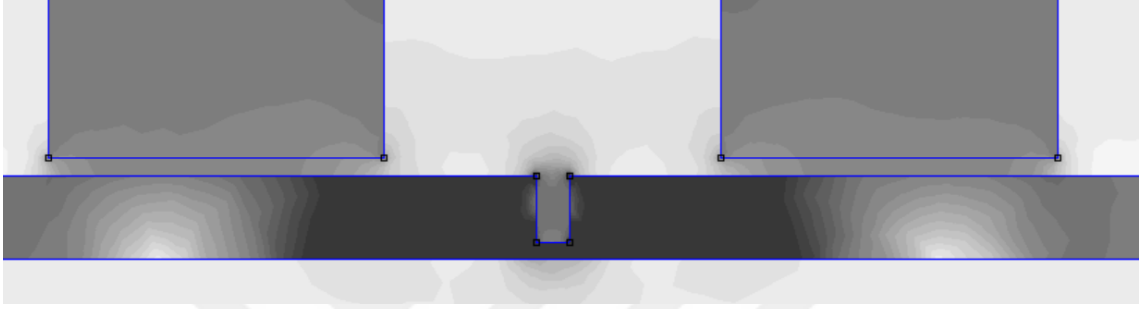


Şekil 3.7 İç kusur için FEM simülasyon cevabı

Şekil 3.7’de iç kusur için FEM simulasyon cevabı gösterilmiştir.

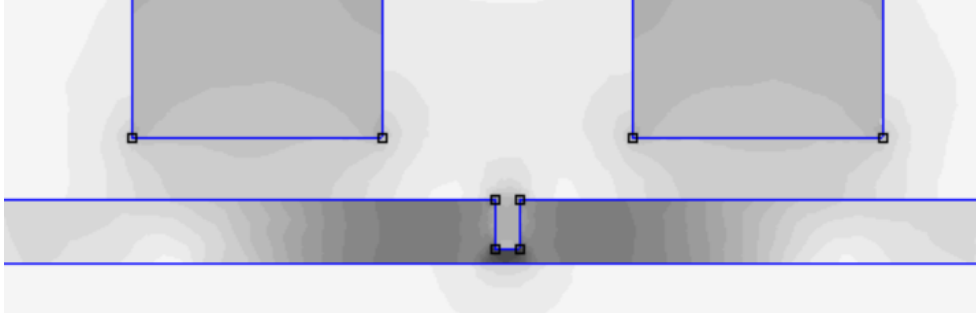
Şekil 3.6’dan ve şekil 3.7’den anlaşıldığı gibi iç ve dış kusur boyutları aynı ölçüde olmasına rağmen dış kusur için daha fazla manyetik kaçak akı oluştuğu görülmektedir.

MKA sistem parametrelerinden mıknatıs yerden yükseklik (lift off) değeri manyetik kaçak akıları kontrol etmek adına önemli bir parametredir. 1 mm ve 5 mm mıknatıs yerden yükseklik değerleri için FEM deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8 1 mm mıknatıs yerden yükseklik değeri için FEM cevabı

Şekil 3.8’de 1 mm mıknatıs yerden yükseklik için FEM simulasyon cevabı gösterilmiştir.

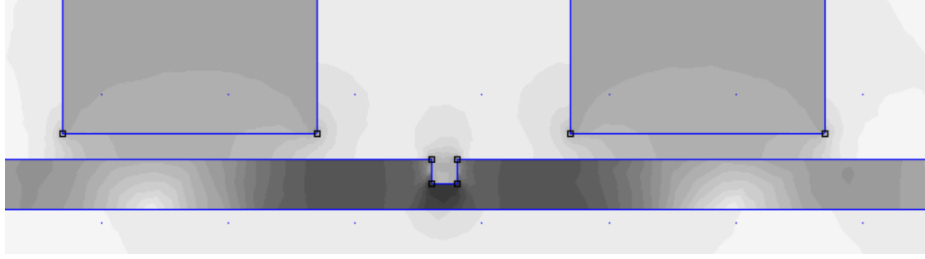


Şekil 3.9 5 mm mıknatıs yerden yükseklik değeri FEM cevabı

Şekil 3.9’da 5 mm mıknatıs yerden yükseklik değeri için FEM simulasyon cevabı gösterilmiştir. Şekil 3.8 ve şekil 3.9’dan anlaşıldığı gibi mıknatıs yerden yükseklik değerinin artmasıyla manyetik kaçak akıların azaldığı görülmektedir.

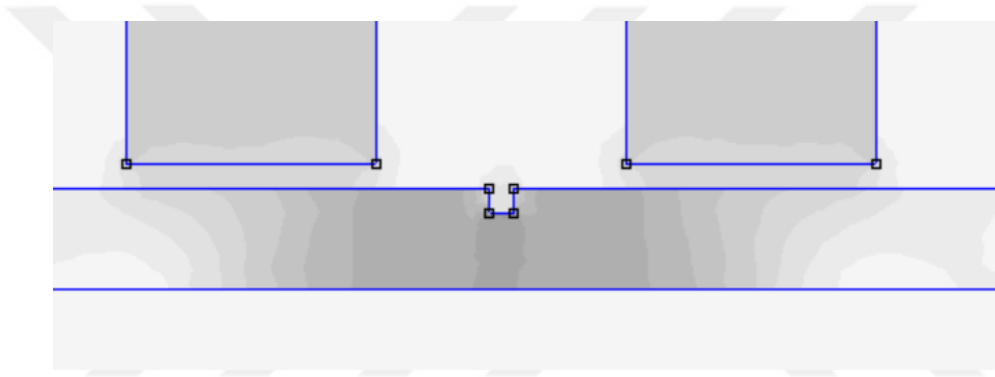
MKA sistemi kurulumunda taranacak olan materyalin kalınlığı sistem parametrelerini belirlemek adına önemli bir etkindir. Materyalin kalınlığına göre uygun sistem kurulmalıdır. Bu ilişkiyi anlamak adına FEM programıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. 4 mm kalınlık ve 8 mm kalınlığa sahip iki materyal için deneyler gerçekleştirilmiştir. Diğer

parametreler sabit tutulmuştur. İki ayrı kalınlıktaki materyal üzerine aynı boyutta kusur oluşturularak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10 4 mm kalınlık için FEM simulasyon cevabı

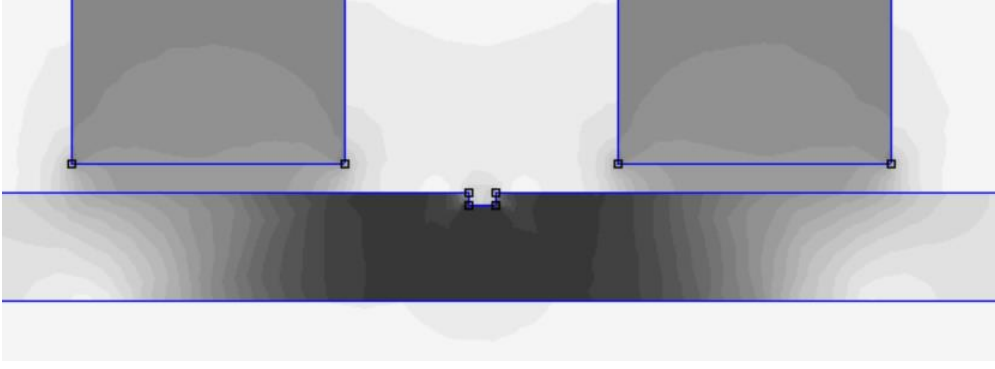
4 mm kalınlıktaki materyal için FEM simulasyon cevabı şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 8 mm kalınlık için FEM simulasyon cevabı

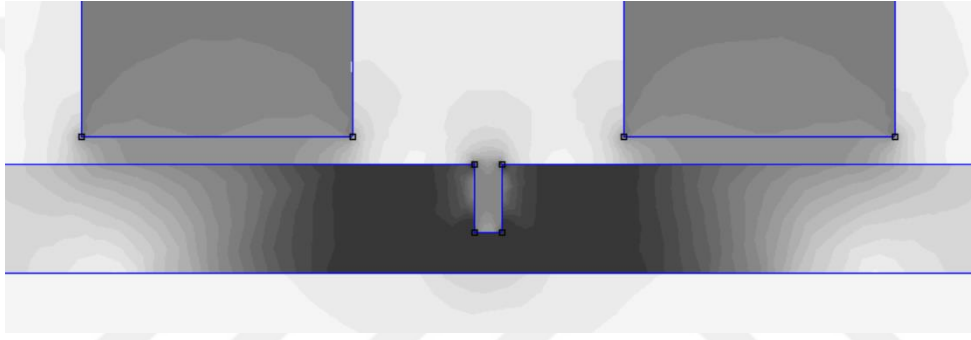
Şekil 3.10 ve 3.11’den anlaşıldığı gibi materyal kalınlığının 4mm’den 8 mm’ye yükselmesiyle manyetik kaçak akılar azalmıştır.

Materyal üzerinde bulunan kusur boyutu oluşan manyetik kaçak akı miktarını etkilemektedir. Bu ilişkiyi anlamak adına FEM programında deneyler gerçekleştirilmiştir. Aynı genişliğe sahip 1 mm ve 5 mm derinliğe sahip kusurlar için deneyler gerçekleştirilmiştir. Diğer parametreler sabit tutulmuştur.



Şekil 3.12 1 mm derinliğindeki kusur için FEM simulasyon cevabı

Şekil 3.12’de 1 mm derinliğindeki kusur için FEM simulasyon cevabı gösterilmiştir.

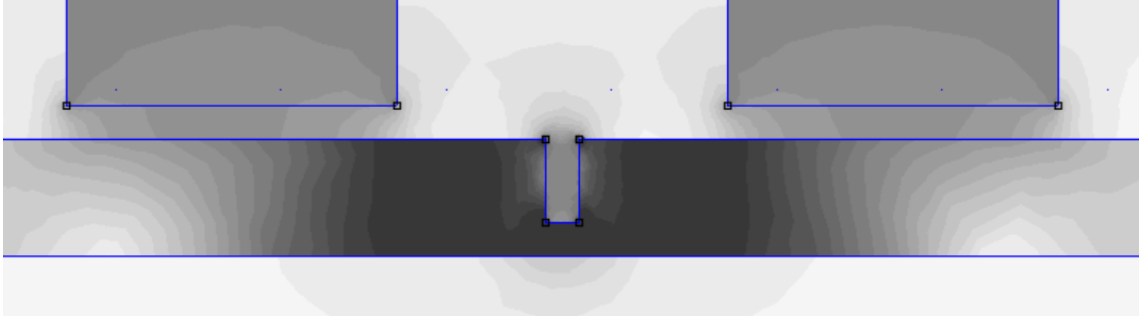


Şekil 3.13 5 mm derinlikteki kusur için FEM simulasyon cevabı

Şekil 3.13’de 5 mm kusur için FEM simulasyon cevabı gösterilmiştir.

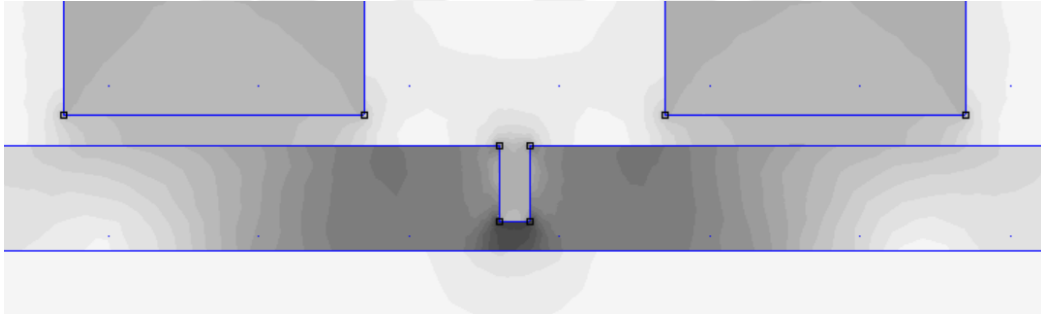
Şekil 3.12 ve şekil 3.13’den görüldüğü gibi MKA sistemi 5 mm derinlikteki kusur için daha fazla manyetik kaçak akı oluşturmuştur.

MKA sistemi kurulumu esnasında mıknatıs boyutları sistem verimliliği için büyük önem arz etmektedir. Bu ilişkiyi anlamak adına deneyler gerçekleştirilmiştir. Diğer parametrelere sabit tutulmuştur. Mıknatıs boyutları 20x10 mm ve 20x20 mm alınarak iki farklı deney gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14 20x20 mm mıkknatıs için FEM simulasyon cevabı

Şekil 3.14’de mıkknatıs boyutları 20x20 mm alınarak gerçekleştirilen deneyin FEM simulasyon cevabı gösterilmiştir.



Şekil 3.15 20x10 mm mıkknatıs için FEM simulasyon cevabı

Şekil 3.15’de mıkknatıs boyutları 20x10 mm alınarak gerçekleştirilen deneyin FEM simualsyon cevabı gösterilmiştir. Şekil 3.14 ve şekil 3.15’den anlaşıldığı gibi mıkknatıs boyutlarının küçültülmesi manyetik kaçak akı seviyesini azaltmıştır.

3.3. Kurulan MKA Sistemi ile Gerçekleştirilen Deney Sonuçları

Bu çalışmada kurulan MKA sistemi ile sensör 0.5 mm ve 1.5 mm yerden yükseklik değerleri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Alan etkili sensör modülünden Bx ve Bz bileşeni için ayrı ayrı deney sonuçları gösterilmiştir. 2 mm, 3 mm ve 5 mm kalınlıktaki C1040 materyal numuneleri için deneyler gerçekleştirilmiştir. 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm çapında tam delikler, 1 mm çapında az, orta, çok derinlikte yüzeysel ve iç kör delikler, 2 mm çapında az, orta, çok derinlikte yüzeysel ve iç kör delikler, 3 mm çapında

az, orta, çok derinlikte yüzeysel ve iç kör delikler ve 4 mm çapında az, orta, çok derinlikte yüzeysel ve iç kör delikler olmak üzere 28 çeşit farklı kusur C1040 numuneleri üzerinde oluşturulmuştur.

C1040 çeliği farklı kalınlıktaki numunelerinin üzerinde 4 ayrı test bölgesi oluşturularak kusur tespit aracıyla doğrusal şekilde gezindirilerek test işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir test bölgesi üzerinde farklı çeşit dairesel kusur barındırmaktadır. Dairesel kusurların merkezleri arası 2.5 cm'dir. 1. Numune bölgesi üzerinde sırayla 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm tam delikler, 1 mm az, 1 mm orta, 1mm çok derinlikte kör delikler, 1 mm az, 1 mm orta, 1mm çok derinlikte iç kör deliklerden oluşmaktadır. 2. Numune bölgesi üzerinde sırayla 2 mm az, 2 mm orta, 2 mm çok derinlikte kör delikler, 2 mm az, 2 mm orta, 2mm çok derinlikte iç kör delikler, 3 mm az, 3 mm orta, 3 mm çok derinlikte kör delikler ve 3 mm az iç derinlikte kör delik içermektedir. 3. Numune bölgesi ise 3 orta iç ve 3 çok derinlikte iç kör delik, 4 mm az, 4 mm orta, 4 mm çok derinlikte kör delikler ve 4 mm az, 4 mm orta, 4 mm çok derinlikte iç kör deliklerden oluşmaktadır. 4. Numune bölgesi üzerinde herhangi bir kusur oluşturulmamıştır ve bu bölge kusur bulunmayan bölge kabul edilerek referans bölgesi olarak kabul edilmiştir.

Deneyler kusur tespit aracının numune üzerinde 1.5 cm/sn hızla doğrusal ilerletilmesi sonucu gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçlarında iç kör delikler; kesik çizgiler, tam delikler ve kör delikler ise düz çizgiyle çevrelenmiş daireler ile gösterilmiştir. Deney sonuçlarında kusur gösteriminde gri tonlaması değiştirilerek deliklerin derinliklerinin değiştiği gösterilmek istenmiştir. Gri tonlamasının artmasıyla kusur derinliği artmıştır. Siyah renkli dairesel gösterimler tam delikleri ifade etmektedir. Dairesel deliklerin gösteriminde daire çapının değişimi delik boyutlarının değişimini ifade etmektedir.

Deney sonuçları, “gösterimsel farklarından dolayı” sensör Bx ve Bz bileşeni için ayrı ayrı gösterilmiştir. Üzerinde kusur bulunmayan numune bölgeleri sadece sensör yerden yükseklik 0.5 mm için test edilmiştir.

Bu çalışmada gösterilen deney sonuç grafiklerinde, grafik dikey eksen materyalin “kusurlu-kusur olmayan bölge” farkını gauss birimi ile göstermektedir. Sensör verileri alan etkili sensör Bx bileşeni için 0 G kusursuz bölgeyi ve 0 G'dan pozitif yönde artış

kusur varlığını temsil etmektedir. Deneylerde Bx bileşeni sonuçlarının daha iyi anlaşılması için “1,5 mm ve 0,5 mm sensör yerden yükseklikleri için farklı olmak üzere” şekilsel filtre tasarlanmıştır.

$$Y = X / 0,0013 \quad (3.1)$$

Bu çalışmada Y gauss, X sensör çıkış gerilimi olmak üzere 3.1 formülü ile sensör çıkış bilgisi gauss’a çevrilerek deney sonuçları gösterilmiştir.

Sensör Bz bileşeni için 0 G’dan pozitif veya negatif yönde artış veya azalış kusur varlığını gösterebilmektedir. Grafik yatay eksen konum bilgisini cm birimi ile göstermektedir.

Bu çalışmada materyale yaklaşık 2 T manyetik alan uygulanmıştır.

$$1 \text{ T} = 10000 \text{ G} \quad (3.2)$$

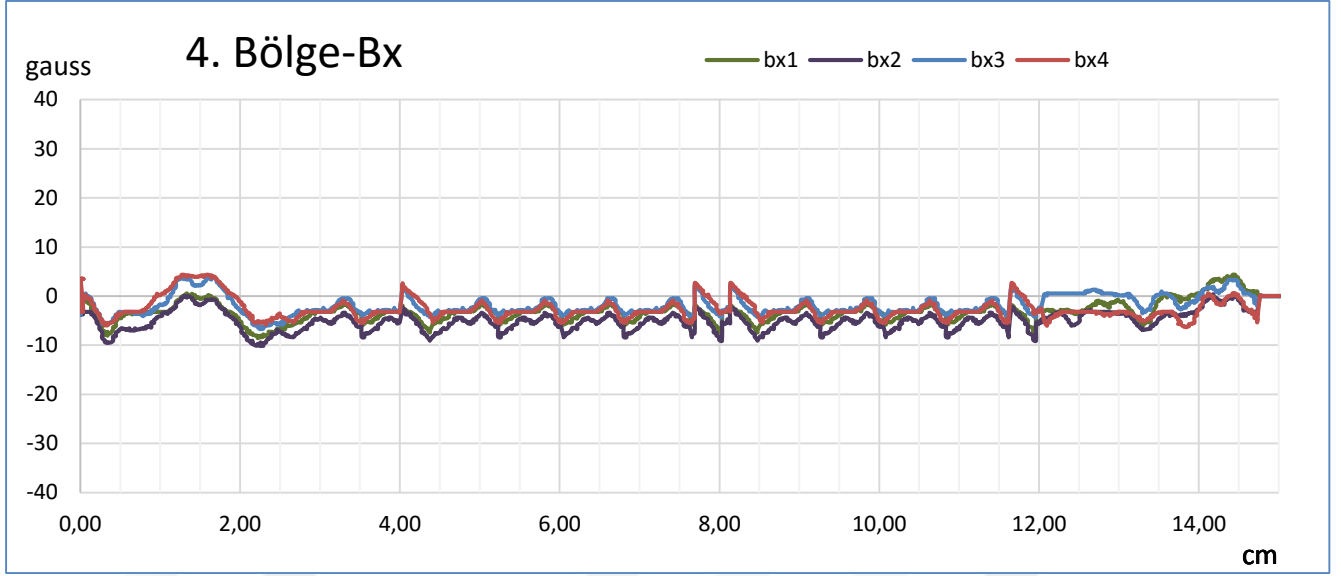
Tesla - Gauss dönüşümü formül 3.2 ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. 2 mm Kalınlığındaki C1040 Materyal Numunesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Alan etkili sensörlerin 0,5 mm ve 1,5 mm yerden yükseklik değerleri için ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir.

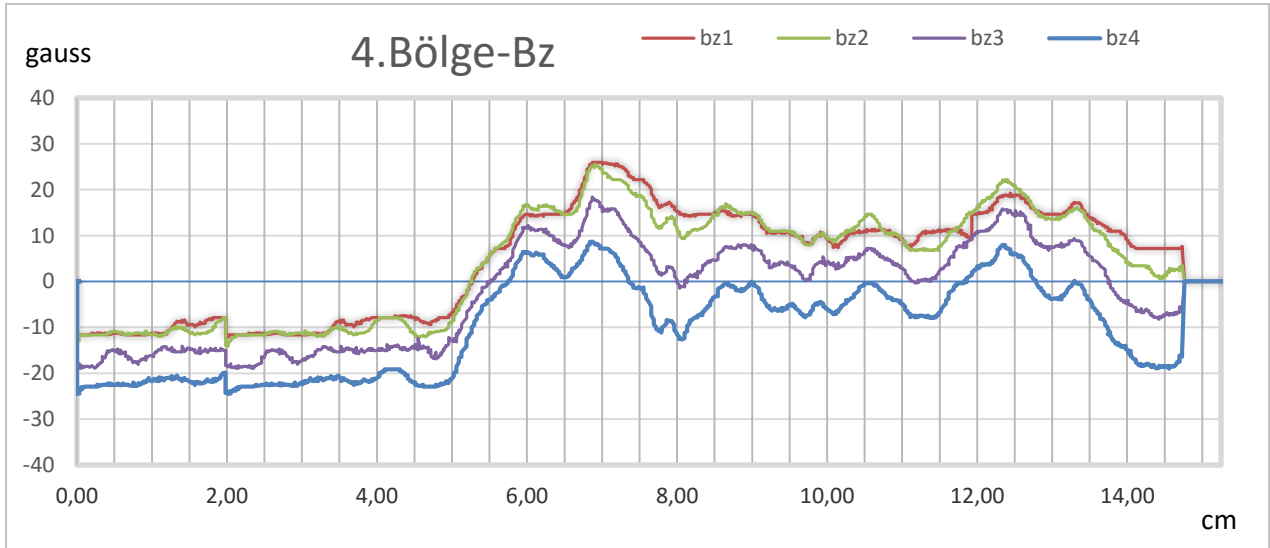
3.3.1.1. Alan etkili sensörlerin yerden yükseklik 0,5 mm değeri için gerçekleştirilen deneyler

Üzerinde kusur bulunmayan 2 mm kalınlığındaki materyal numunesinin 4. bölgesi üzerinde deney işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16 Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bx bileşeni

Üzerinde kusur bulunmayan 4. numune bölgesi üzerinde test işlemi deney sonucu sensör Bx bileşeni şekil 3.16'da gösterilmiştir.

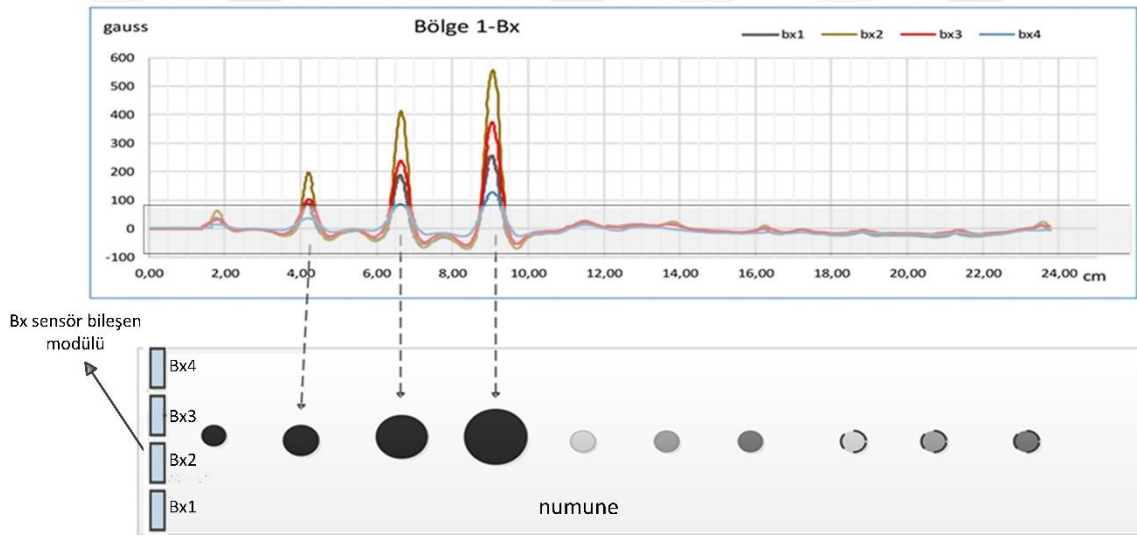


Şekil 3.17 Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bz bileşeni

Gerçekleştirilen deneylerde yapay kusurlar şematik olarak gösterilmiştir. İçi siyah dolu daireler sırayla 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm çapında tam deliklerden oluşmaktadır. Gri tonlamalı diğer kusurlar ise 1 mm çapında gri tonlamasının artmasıyla derinliğin görece olarak az-orta-çok olarak arttığı kör kusurlardır. Kesik çizgi ile gösterilen kusurlar iç kör kusurları göstermektedir. Kusurlar haricinde kalan diğer bölgeler üzerinde kusur bulunmayan bölgeleri şematik olarak göstermektedir.

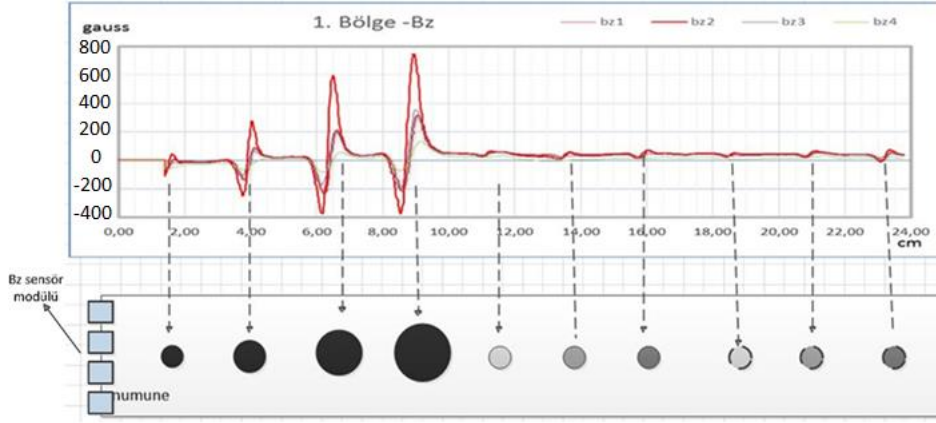
Üzerinde kusur bulunmayan 4. numune bölgesi üzerinde test işlemi deney sonucu sensör Bz bileşeni şekil 3.17’de gösterilmiştir.

2 mm kalınlığındaki numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18 1. Numune Bölge için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

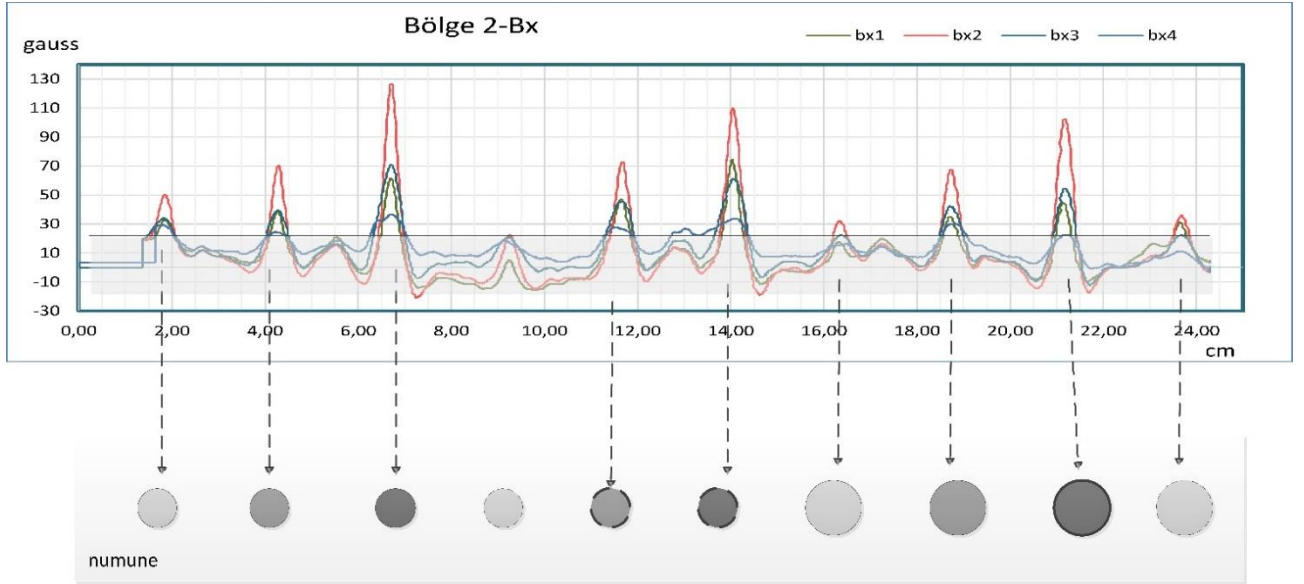
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak elde edilen sensör Bx bileşeni şekil 3.18’de gösterilmiştir. Deney sonununun daha iyi anlaşılması için şekil 3.18’de tespit edilen yapay kusurların şematik hali gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Numune 1. Bölge için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

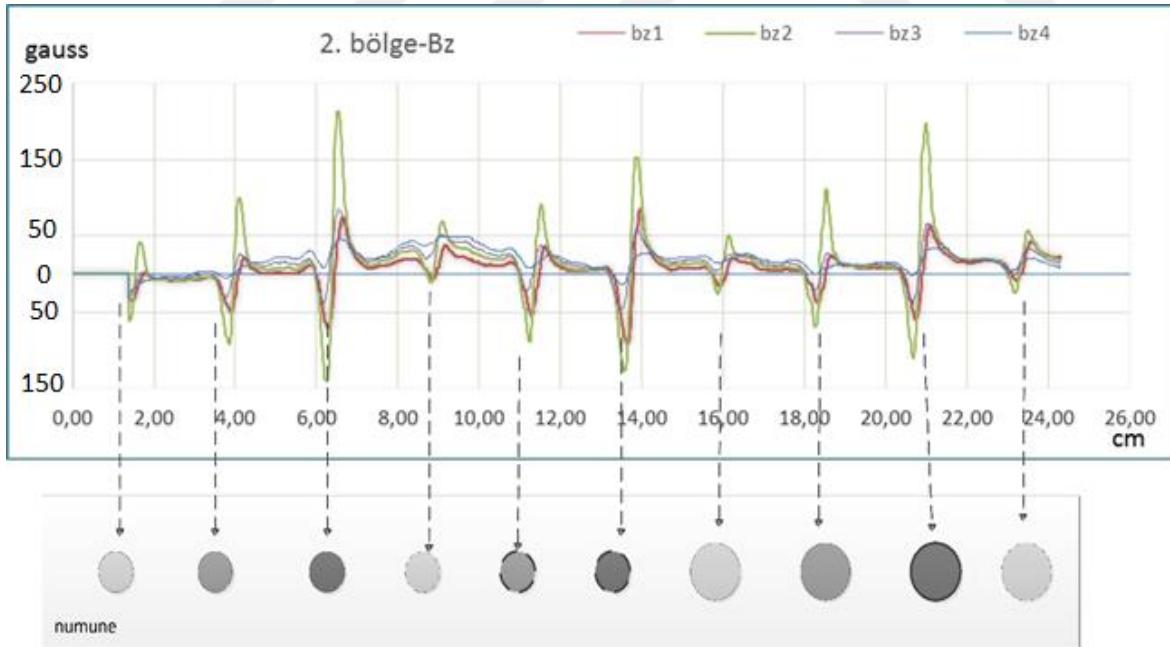
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.19'da gösterilmiştir.

2 mm kalınlığındaki numunenin 2. Bölgesinde deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.20 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

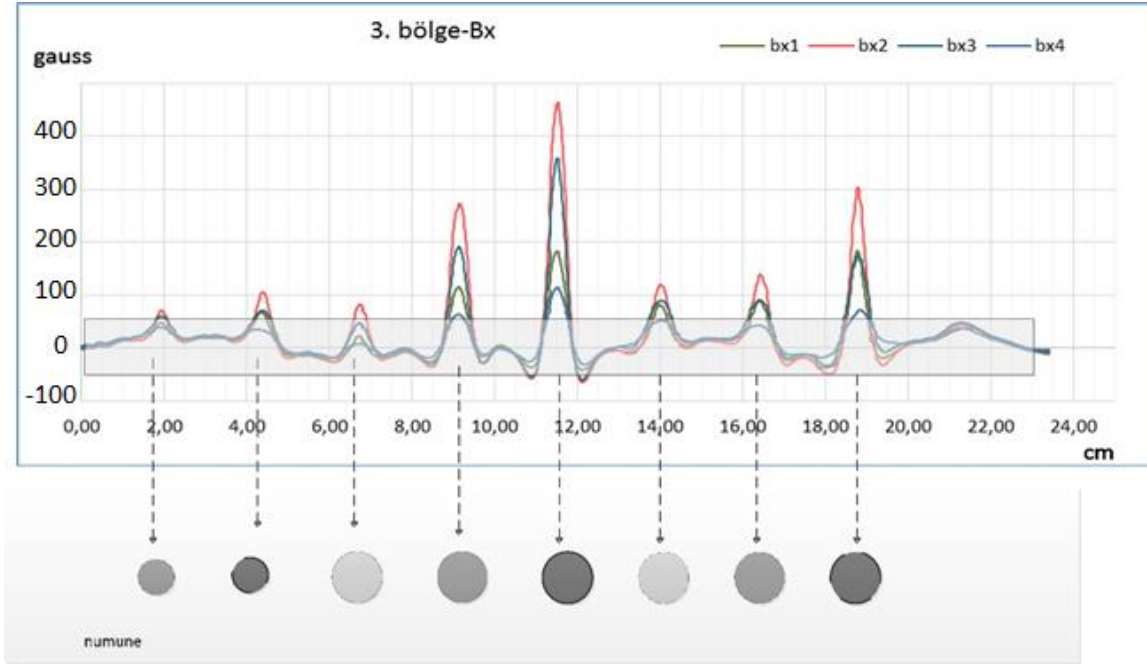
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

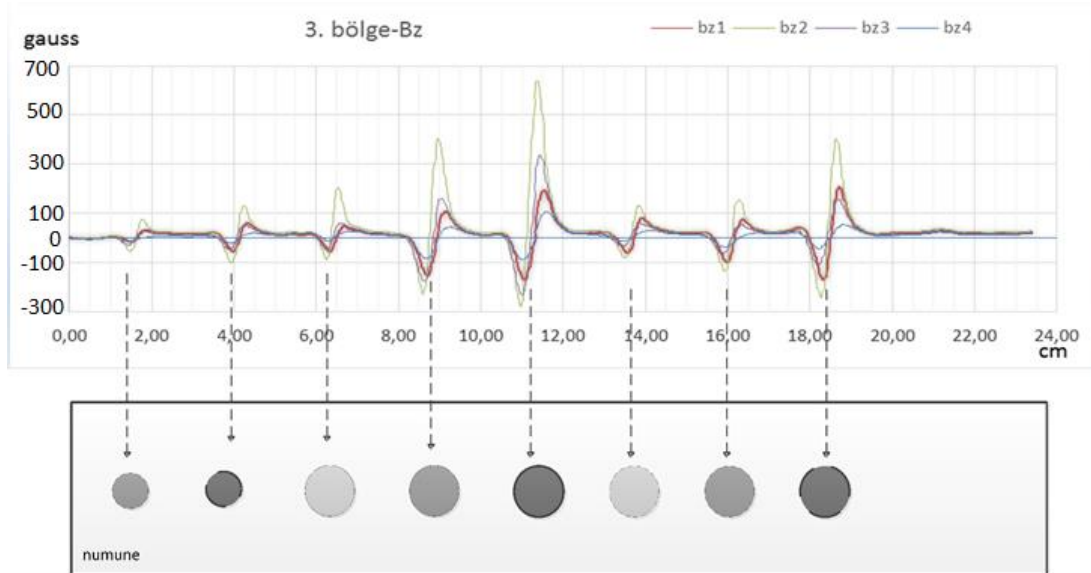
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.21’de gösterilmiştir.

2 mm kalınlıındaki numunenin 3. Bölgesinde deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.22 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.22’de gösterilmiştir.

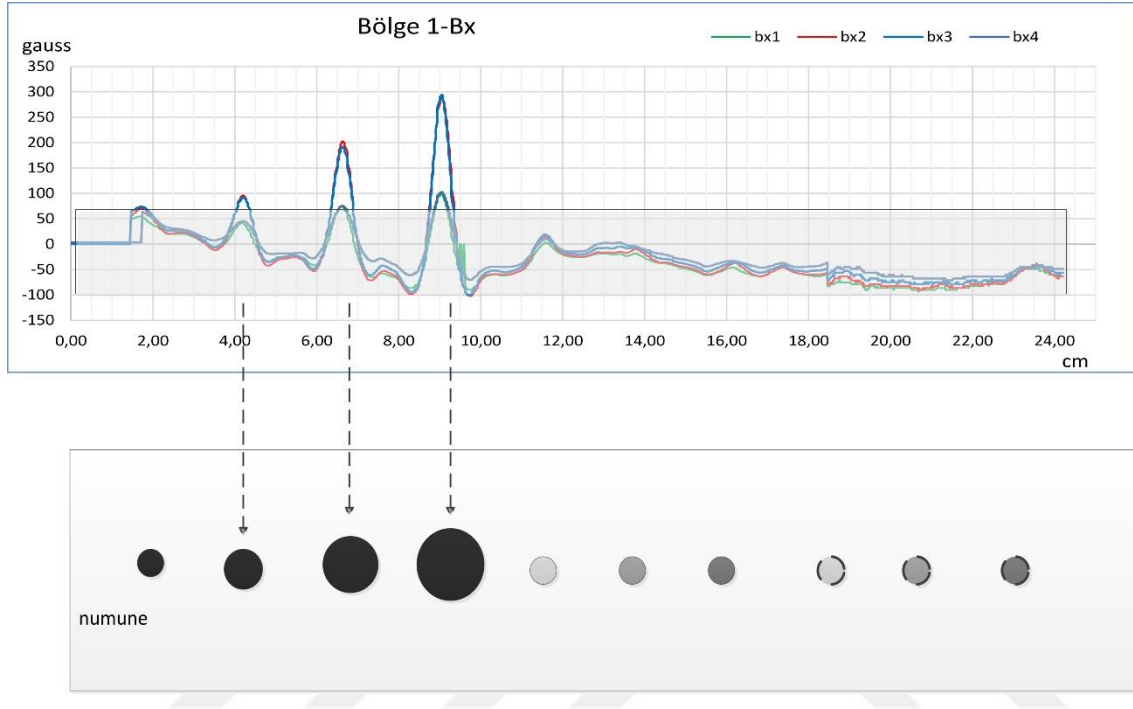


Şekil 3.23 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.23’de gösterilmiştir.

3.3.1.2. Alan Etkili Sensörlerin yerden yükseklik 1.5 mm için Deney Sonuçları

Numunenin 1. Bölgesi üzerinde alan etkili sensör yerden yükseklik 1,5 mm için tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.24 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

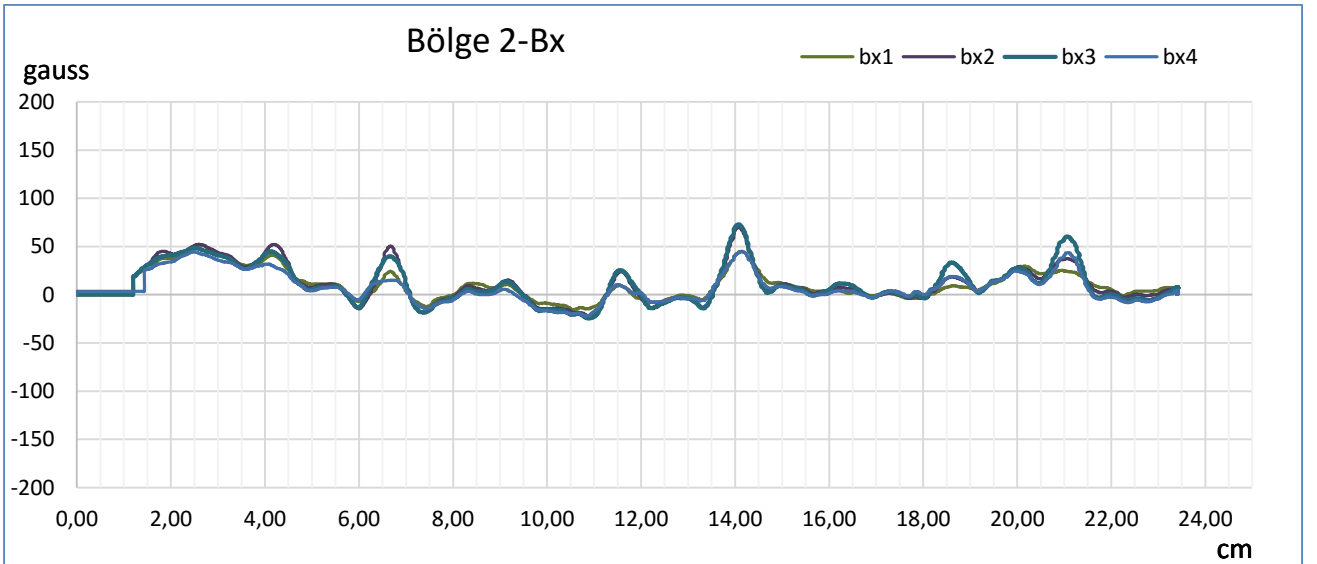
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

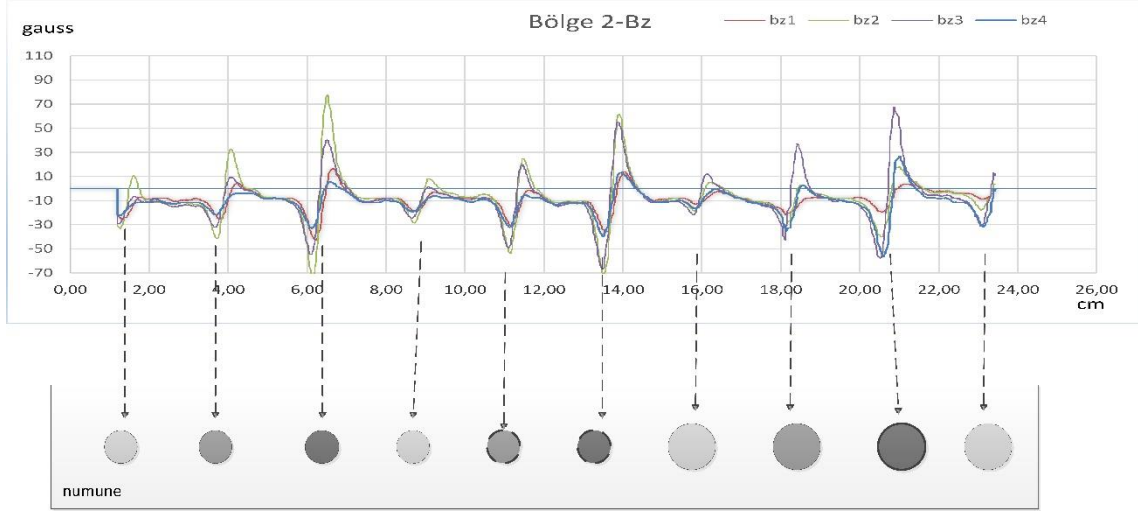
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.25'de gösterilmiştir.

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.26 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

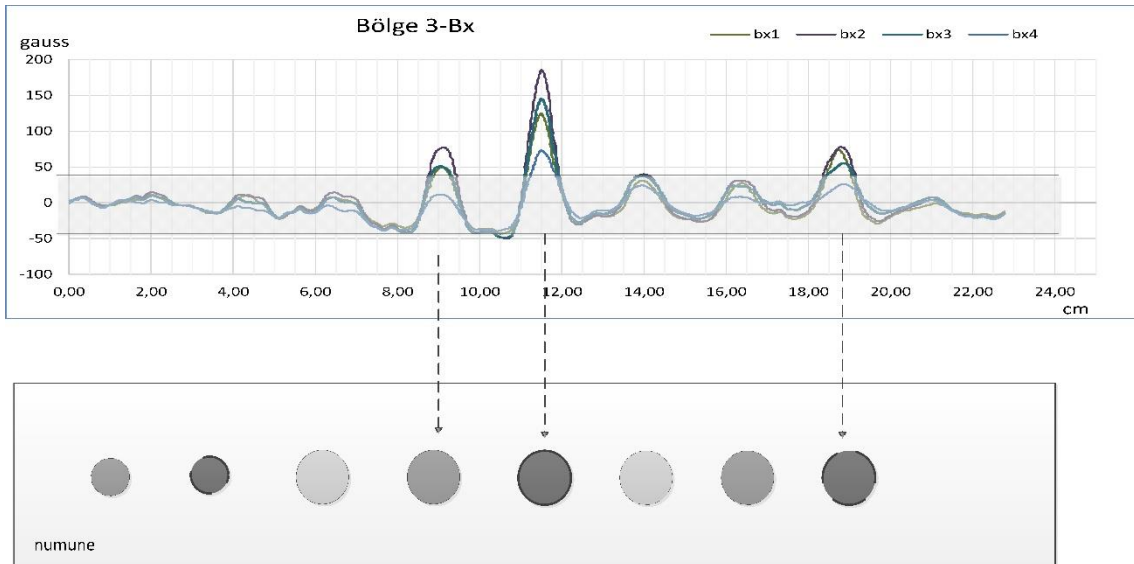
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.26'de gösterilmiştir. Şekil 3.26'da gösterilen deneyde taranan materyalde herhangi bir kusur tespit edilememiştir. Bu yüzden kusur şeması gösterilmemiştir.



Şekil 3.27 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

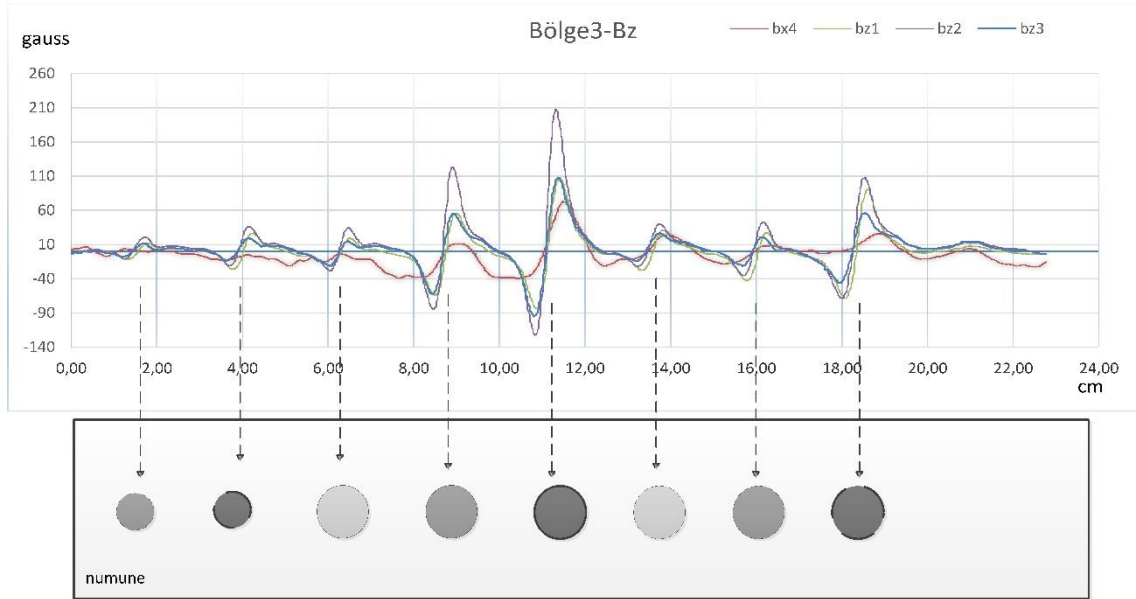
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.27'de gösterilmiştir.

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.28 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.29 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni.

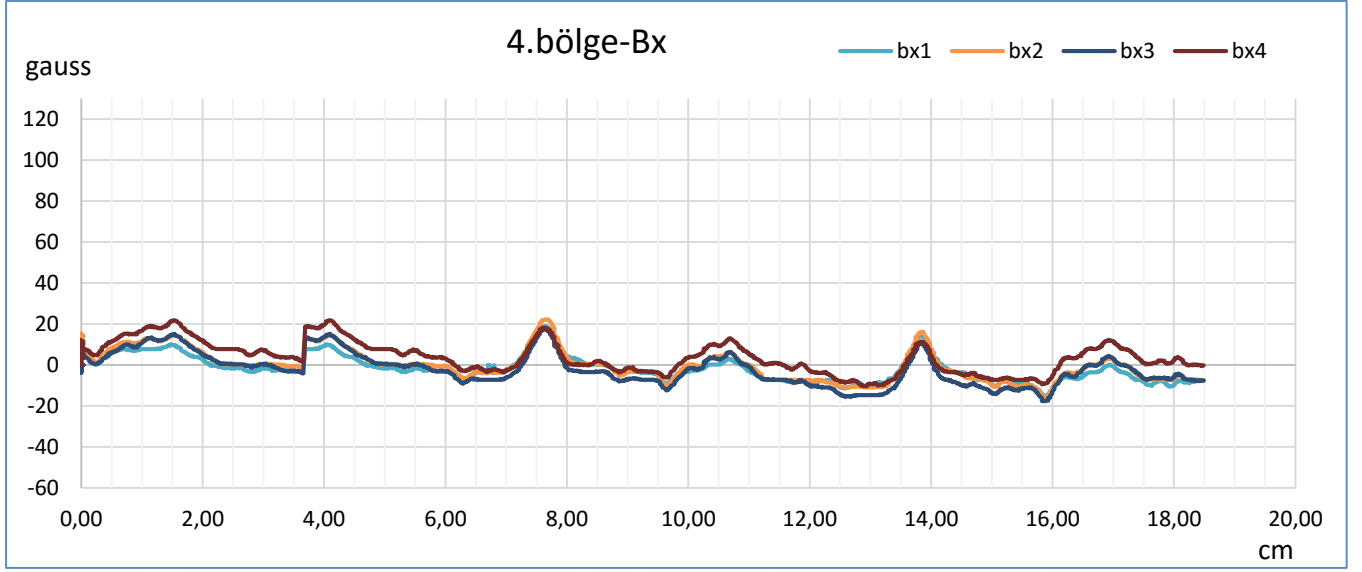
Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.29’da gösterilmiştir.

3.3.2. 3 mm Kalınlığındaki C1040 Materyal Numunesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Alan etkili sensörlerin 0,5 mm ve 1 mm yerden yükseklik değerleri için ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir.

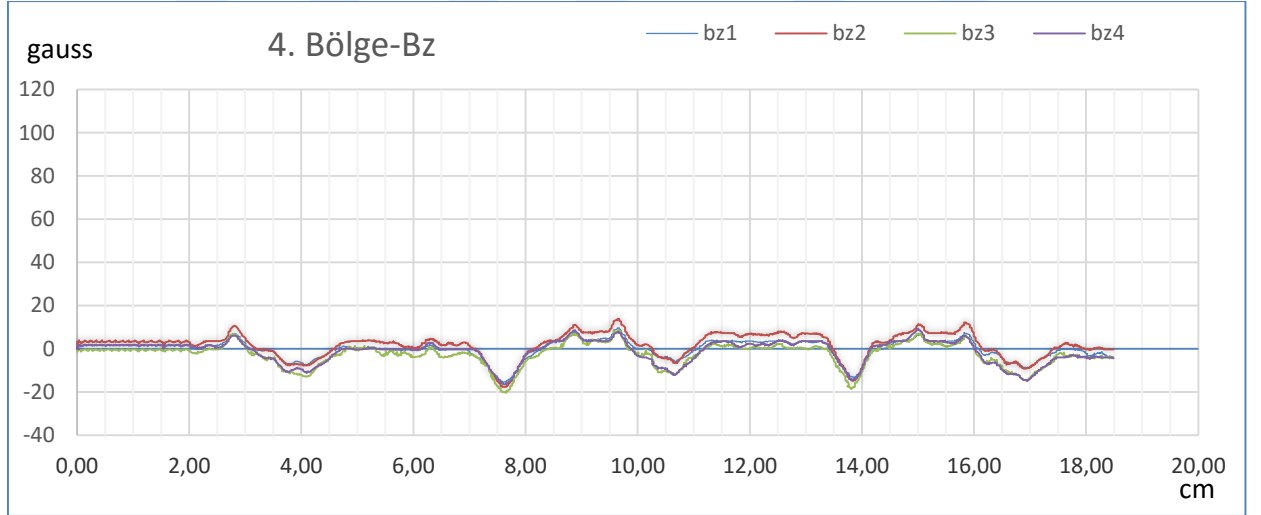
3.3.2.1. Alan Etkili Sensörlerin Yerden yükseklik 0.5 mm için Gerçekleştirilen Deneyler

Üzerinde kusur bulunmayan 3 mm kalınlığındaki materyal numunesinin 4. bölgesi üzerinde deney işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.30 Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bx bileşeni

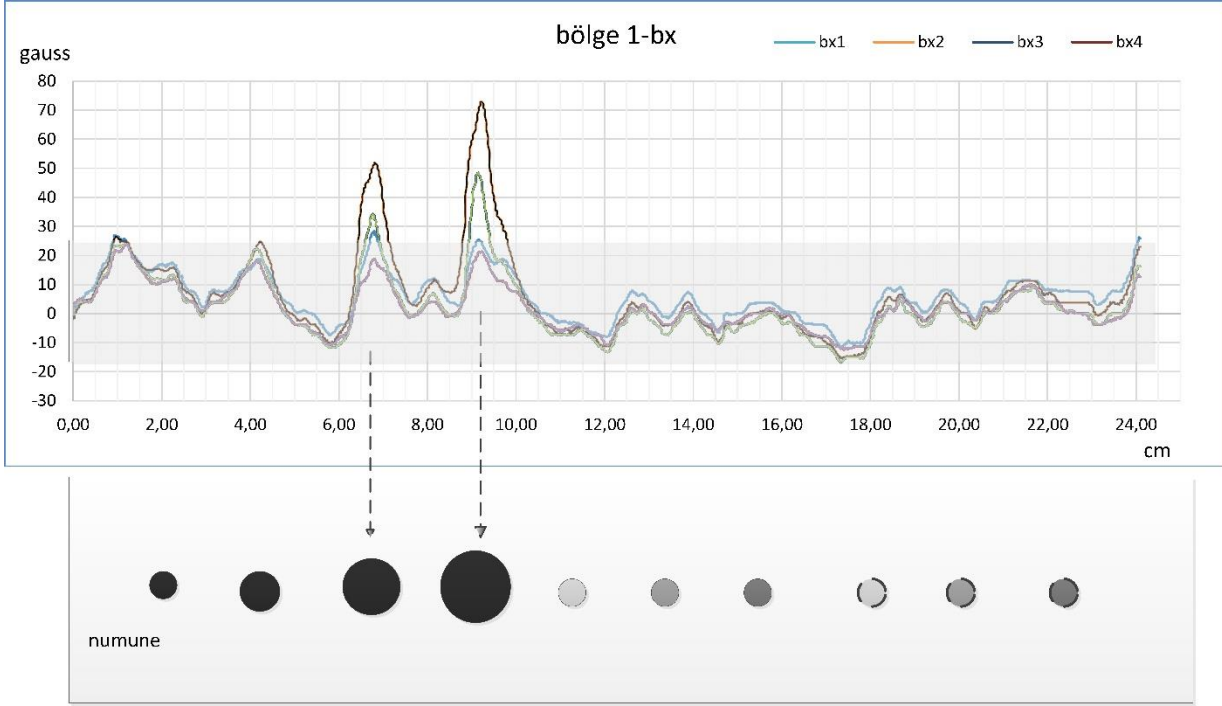
Üzerinde kusur bulunmayan 4. numune bölgesi üzerinde test işlemi deney sonucu sensör Bx bileşeni şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.31 Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bz bileşeni

Üzerinde kusur bulunmayan 4. numune bölgesi üzerinde test işlemi deney sonucu sensör Bz bileşeni şekil 3.31'de gösterilmiştir.

3 mm kalınlığındaki materyal numunesinin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.32 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

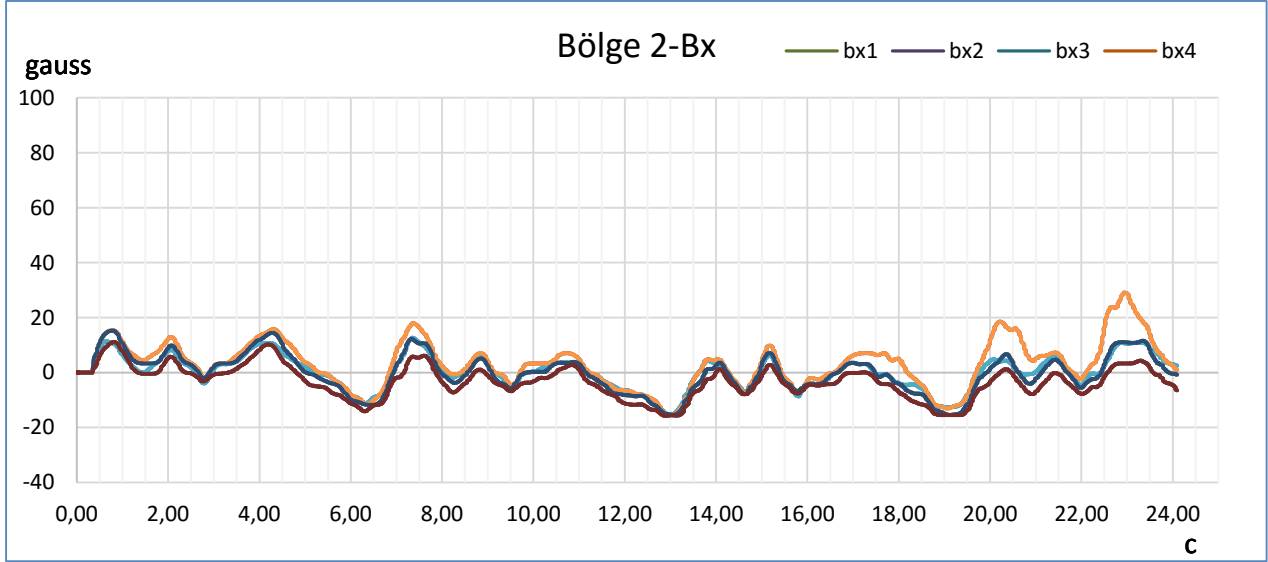
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3.33 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

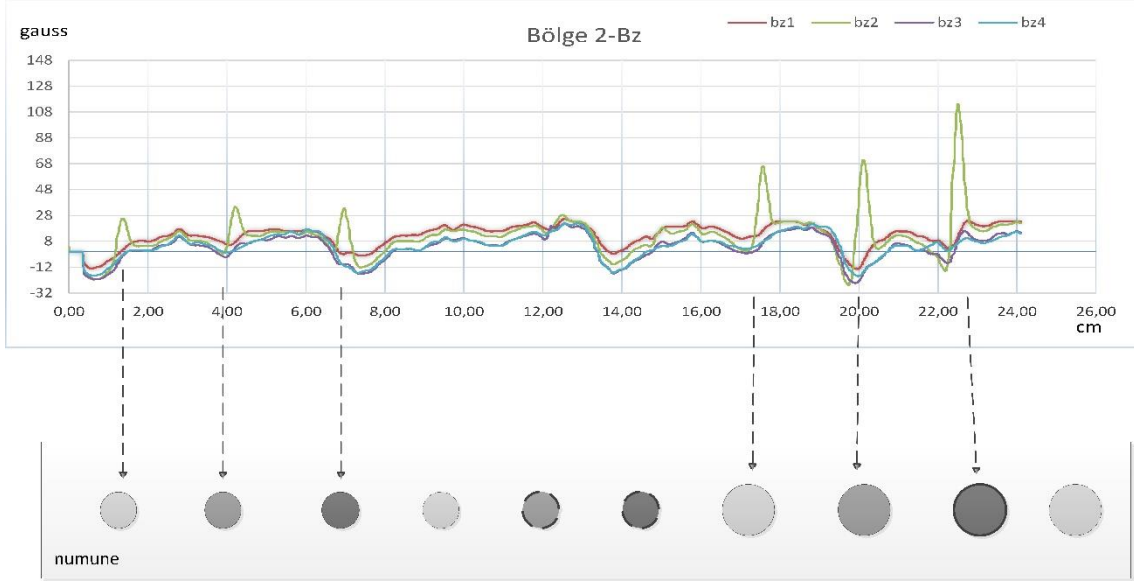
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.33’de gösterilmiştir.

3 mm kalınlığındaki materyal numunesinin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.34 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

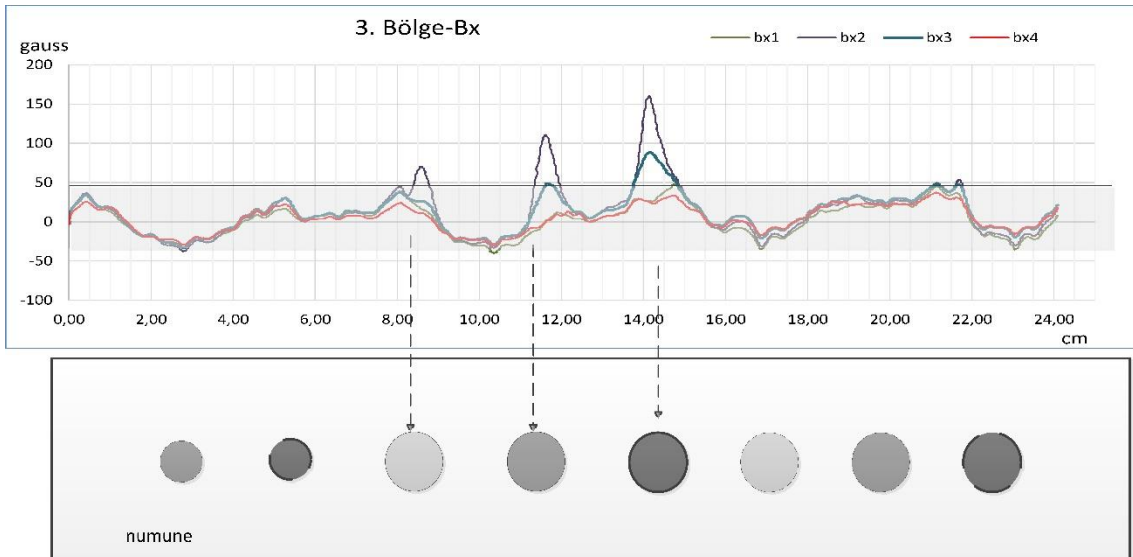
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.34’de gösterilmiştir. Şekil 3.34’de gösterilen deneyde taranan materyalde herhangi bir kusur tespit edilememiştir. Bu yüzden kusur şeması gösterilmemiştir.



Şekil 3.35 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

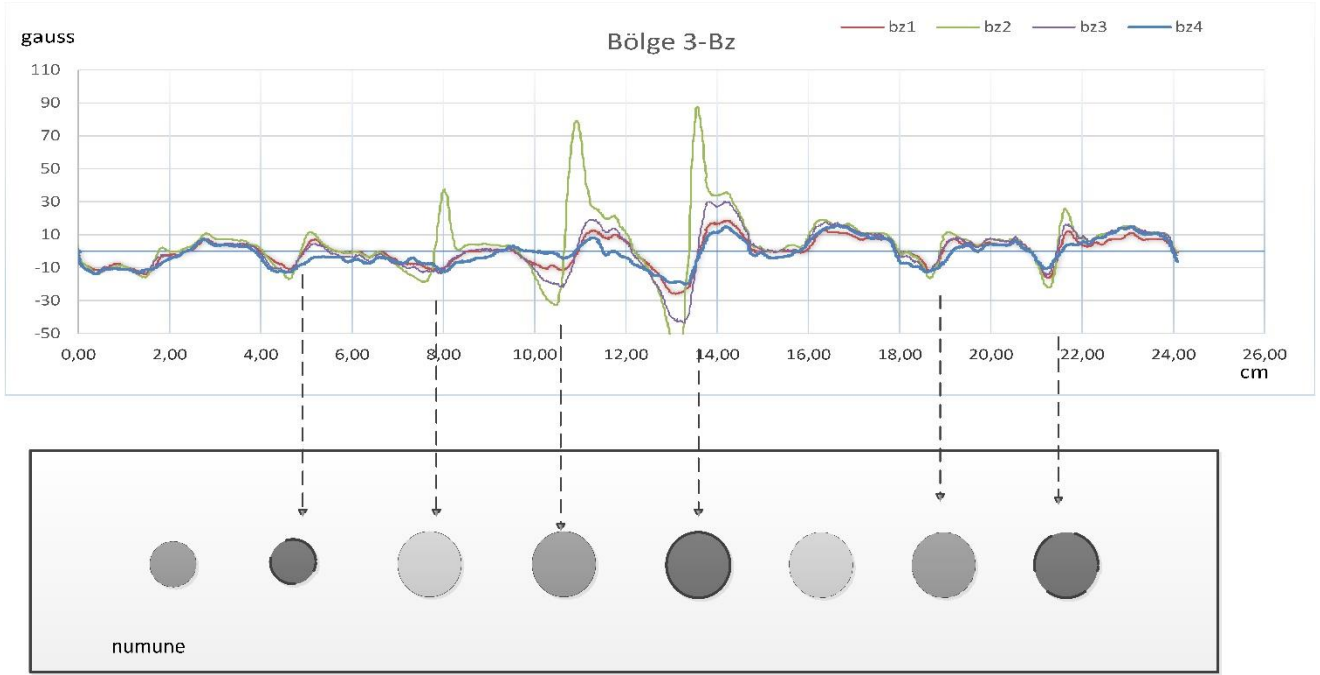
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.35’de gösterilmiştir.

3 mm kalınlığındaki materyal numunesinin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.36 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.36’da gösterilmiştir.

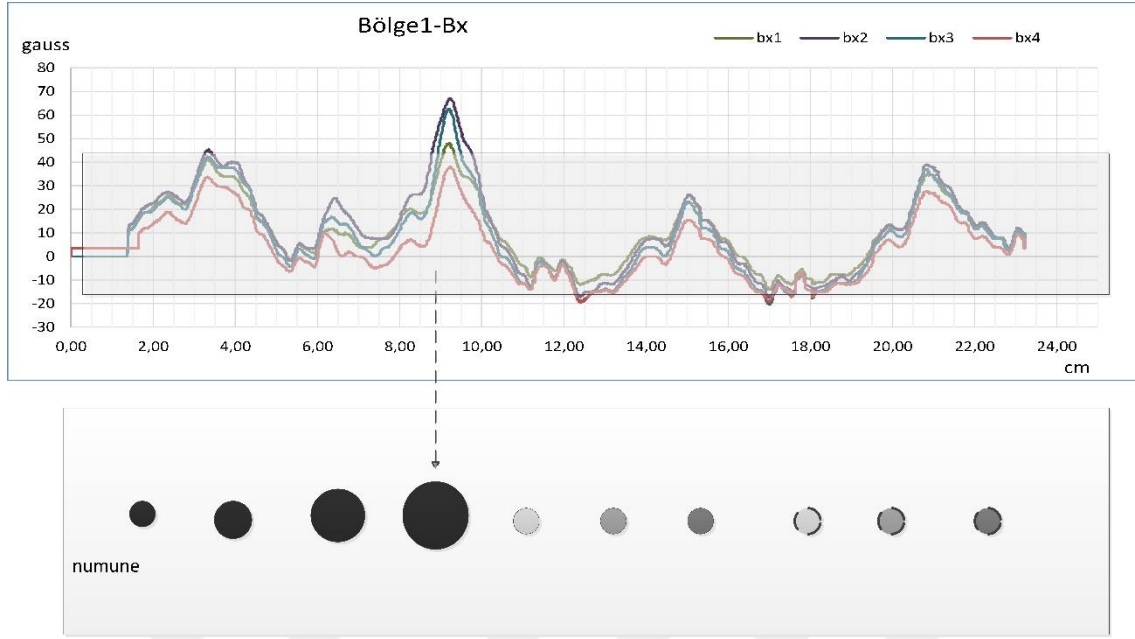


Şekil 3.37 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.37’de gösterilmiştir.

3.3.2.2. Alan Etkili Sensörler Yerden Yükseklik 1.5 mm için Gerçekleştirilen Deneyler

3 mm kalınlığıdaki C1040 materyali üzerinde 1.5 mm alan etkili sensör yerden yüksekliği için deneyler gerçekleştirildi.



Şekil 3.38 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

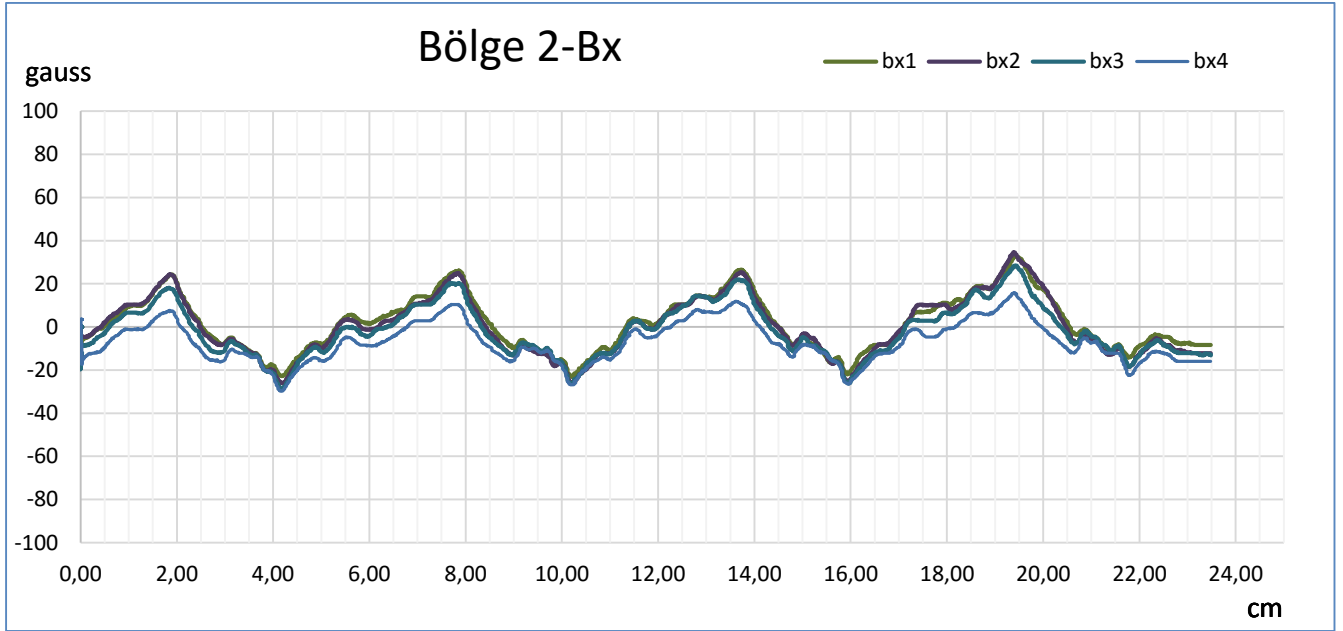
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.39 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

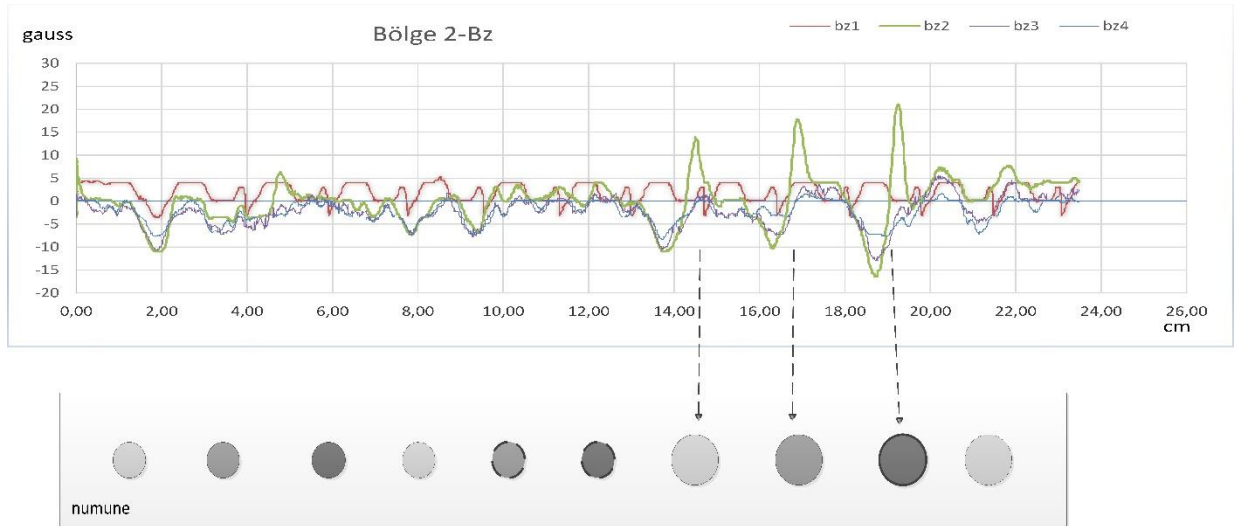
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.39’da gösterilmiştir.

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.40 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

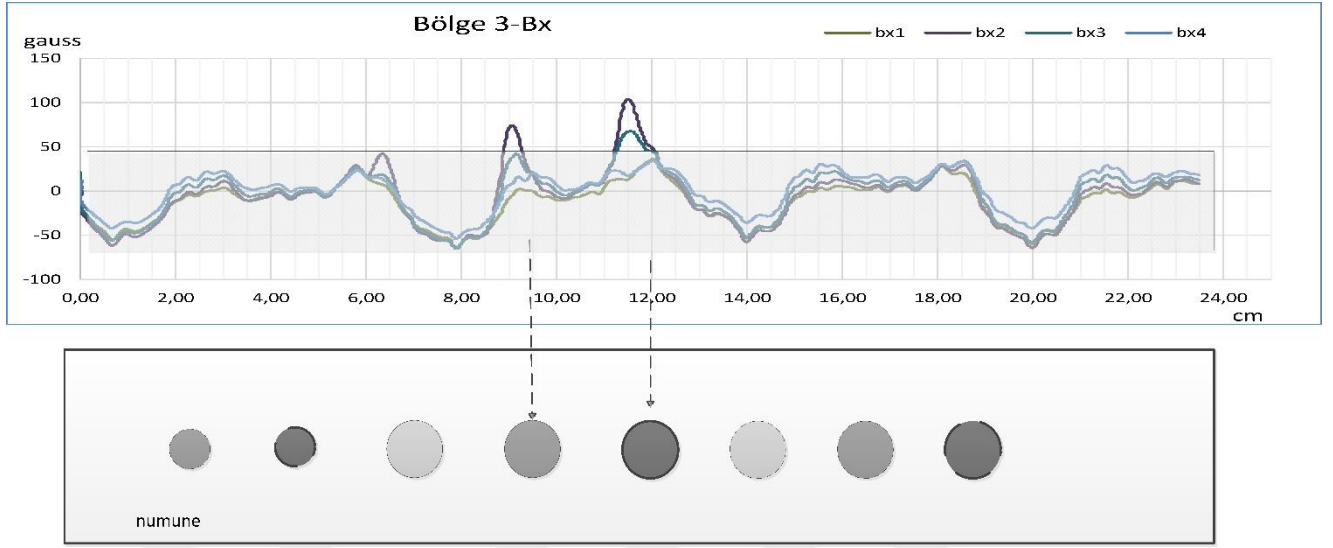
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.40'da gösterilmiştir. Şekil 3.40'da gösterilen deneyde taranan materyalde herhangi bir kusur tespit edilememiştir. Bu yüzden kusur şeması gösterilmemiştir.



Şekil 3.41 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.41'de gösterilmiştir.

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.42 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.42'de gösterilmiştir.



Şekil 3.43 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

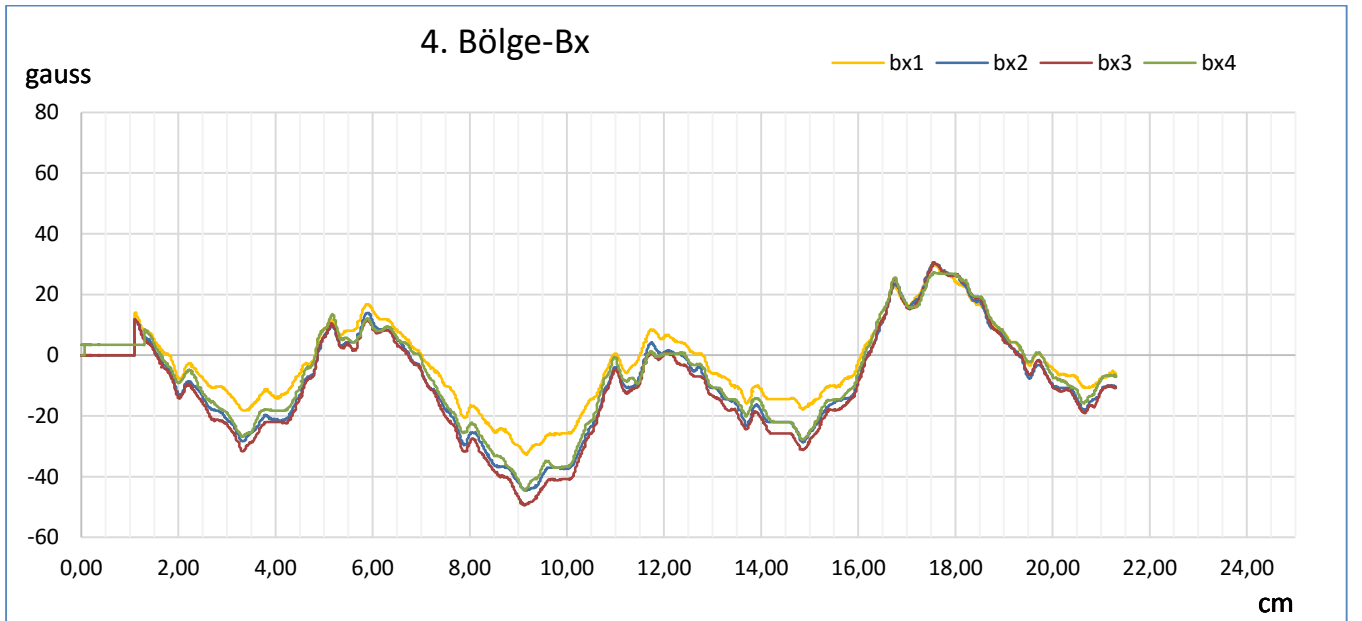
Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.43'te gösterilmiştir.

3.3.3. 5 mm Kalınlığndaki Materyal Numunesi Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Alan etkili sensörlerin 0,5 mm ve 1 mm yerden yükseklik değerleri için ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir.

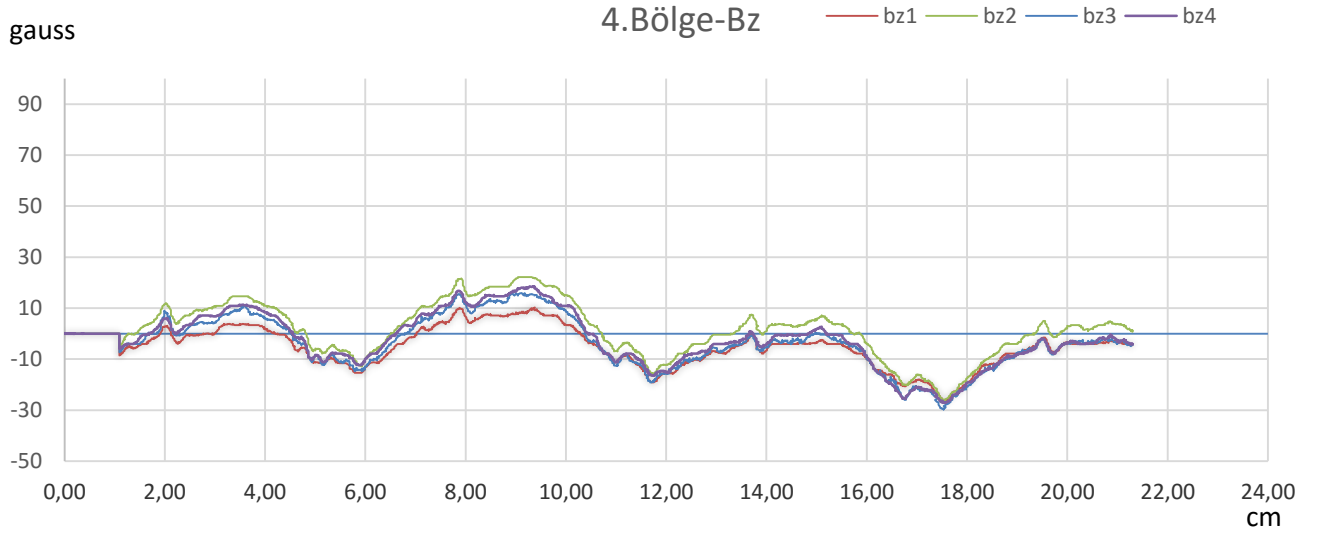
3.3.3.1. Alan Etkili Sensörlerin Yerden Yüksekli 0,5 mm Değeri İçin Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Üzerinde kusur bulunmayan 5 mm kalınlığndaki materyal numunesinin 4. bölėesi üzerinde deney işlemi gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.44 Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölėesi sensör Bx bileşeni

Üzerinde kusur bulunmayan 4. numune bölėesi üzerinde test işlemi deney sonucu sensör Bx bileşeni şekil 3.44'de gösterilmiştir.



Şekil 3.45 Üzerinde kusur bulunmayan 4. Numune bölgesi sensör Bz bileşeni

Üzerinde kusur bulunmayan 4. numune bölgesi üzerinde test işlemi deney sonucu sensör Bz bileşeni şekil 3.45’de gösterilmiştir.

Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.46 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

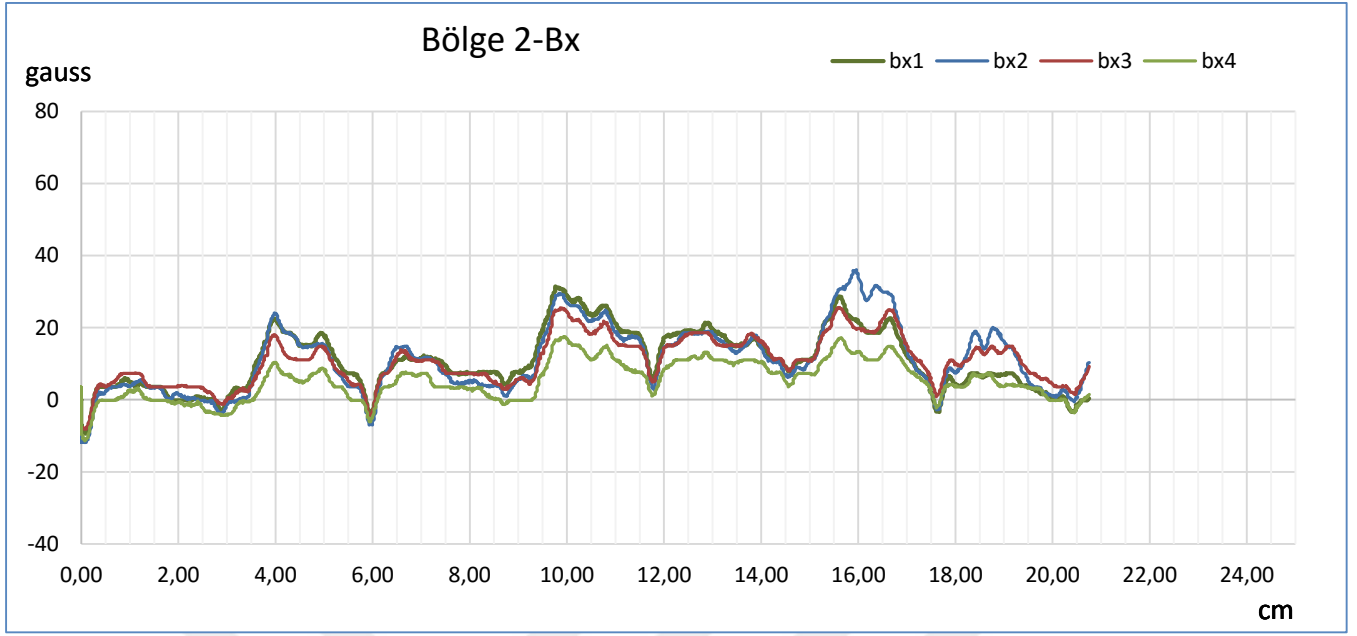
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.46’da gösterilmiştir.



Şekil 3.47 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

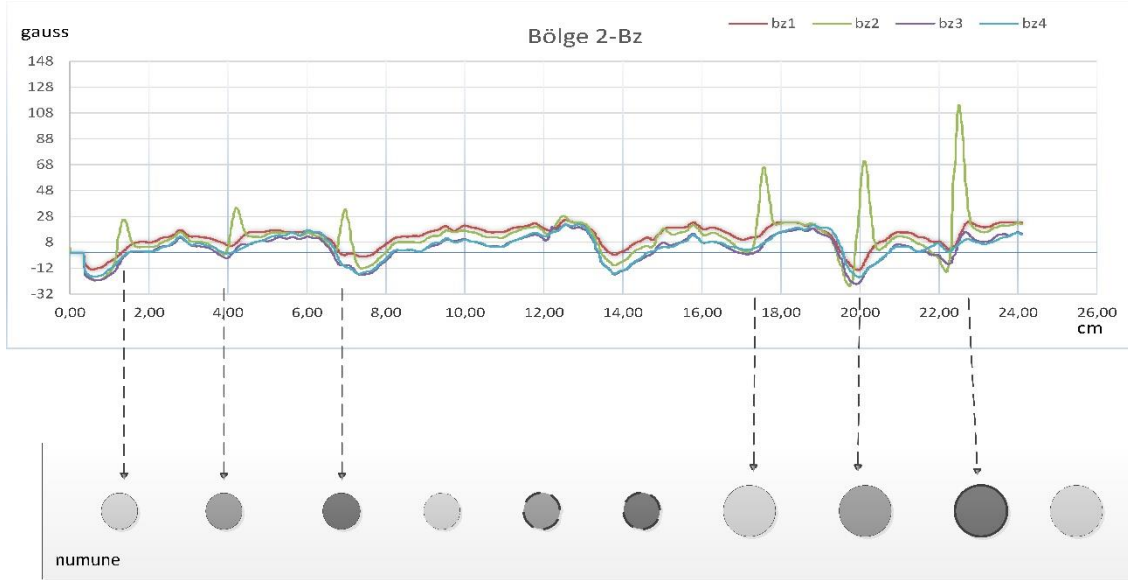
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.47'de gösterilmiştir.

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



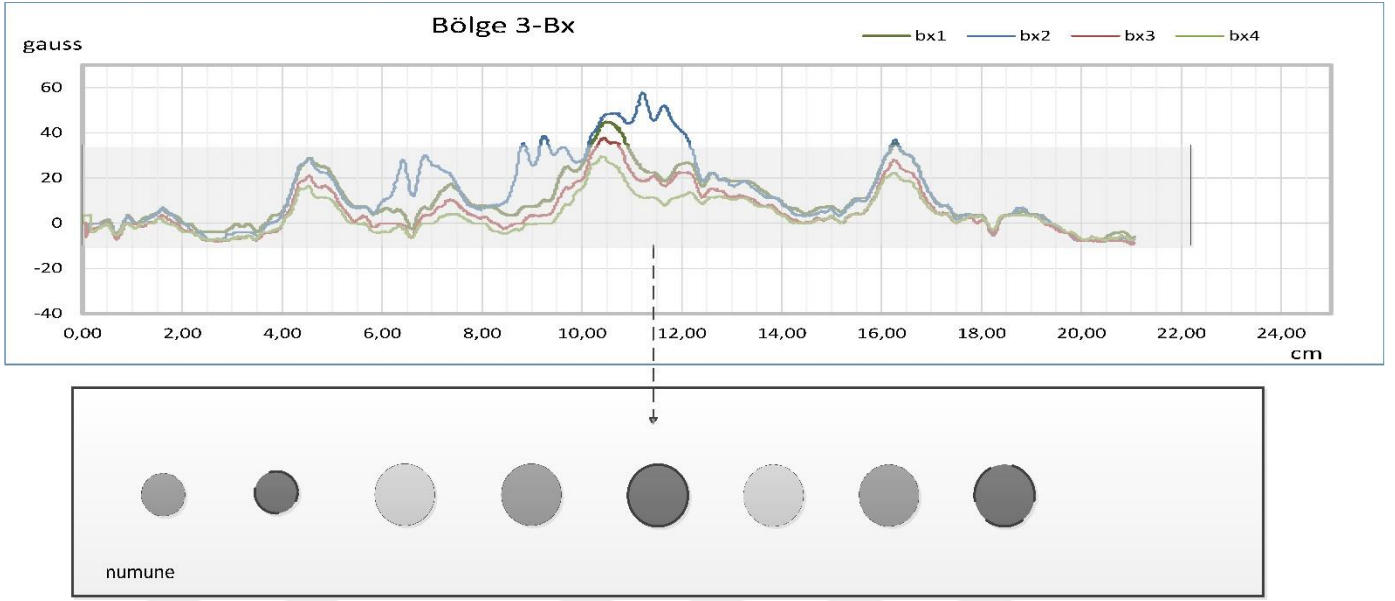
Şekil 3.48 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.48’de gösterilmiştir. Şekil 3.48’de gösterilen deneyde taranan materyal numunesinde herhangi bir kusur tespit edilememiştir. Bu yüzden kusur şeması gösterilmemiştir.



Şekil 3.49 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.49’da gösterilmiştir.



Şekil 3.50 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.50’de gösterilmiştir.

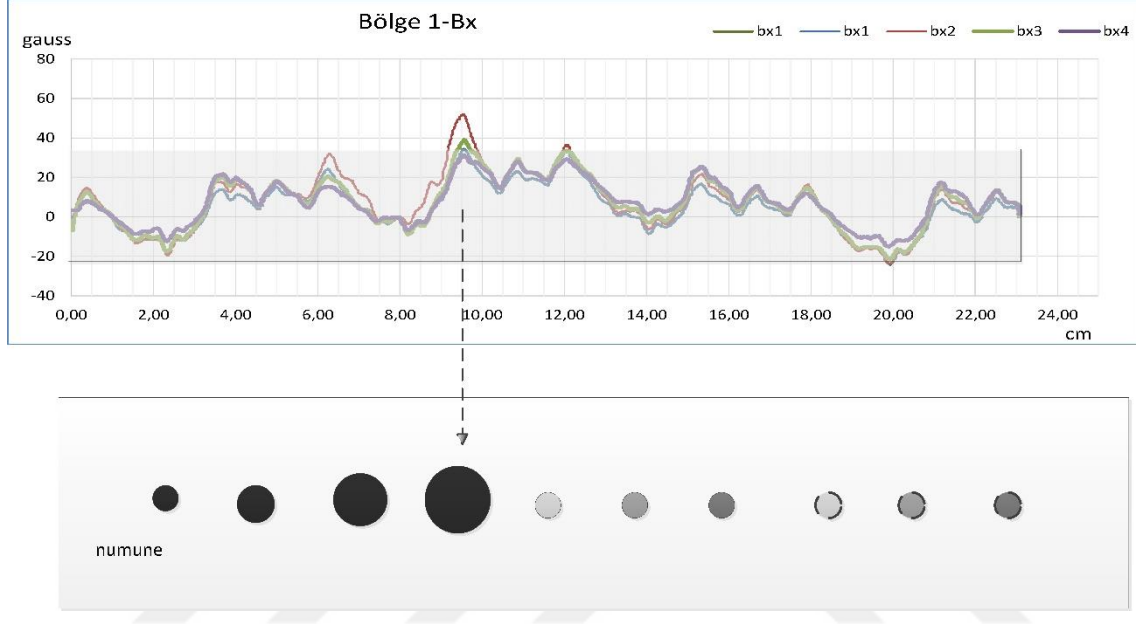


Şekil 3.51 Numune 3. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.51’de gösterilmiştir.

3.3.3.2. Alan Etkili Sensörlerin Yerden Yükseklik 1,5 mm Değeri İçin Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Numunenin 1. Bölgesi üzerinde alan etkili sensör yerden yükseklik 1,5 mm için tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.52 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

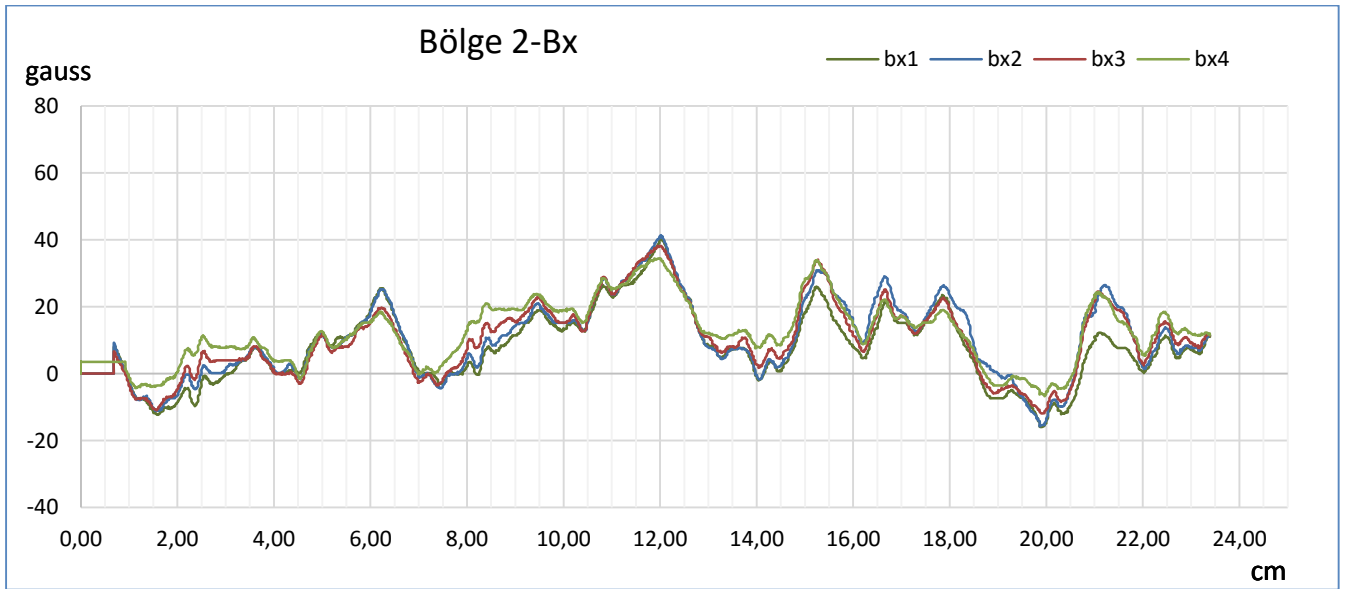
Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.52'de gösterilmiştir.



Şekil 3.53 Numune 1. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 1. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.53’de gösterilmiştir.

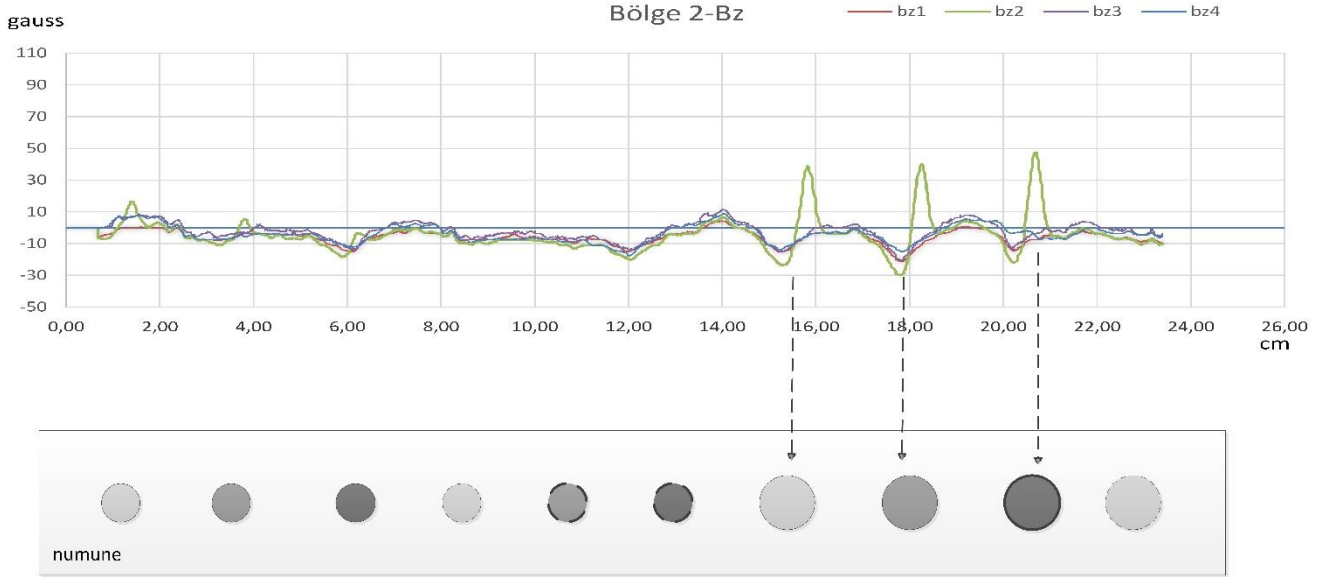
Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.54 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.54’de gösterilmiştir. Şekil 3.54’de gösterilen deneyde taranan materyal

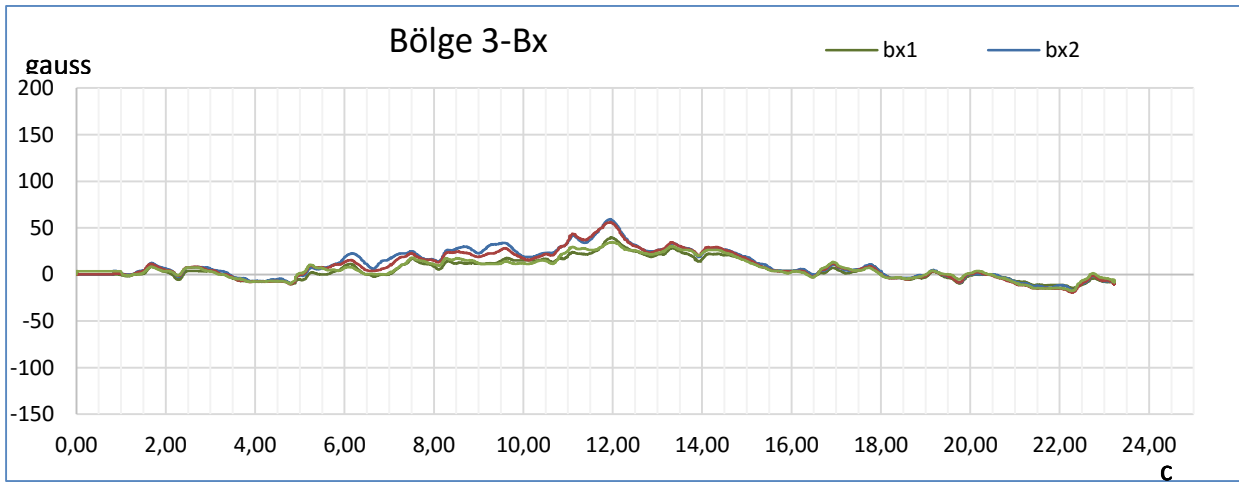
numunesinde herhangi bir kusur tespit edilememiştir. Bu yüzden kusur şeması gösterilmemiştir.



Şekil 3.55 Numune 2. Bölgesi için gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 2. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.55’de gösterilmiştir.

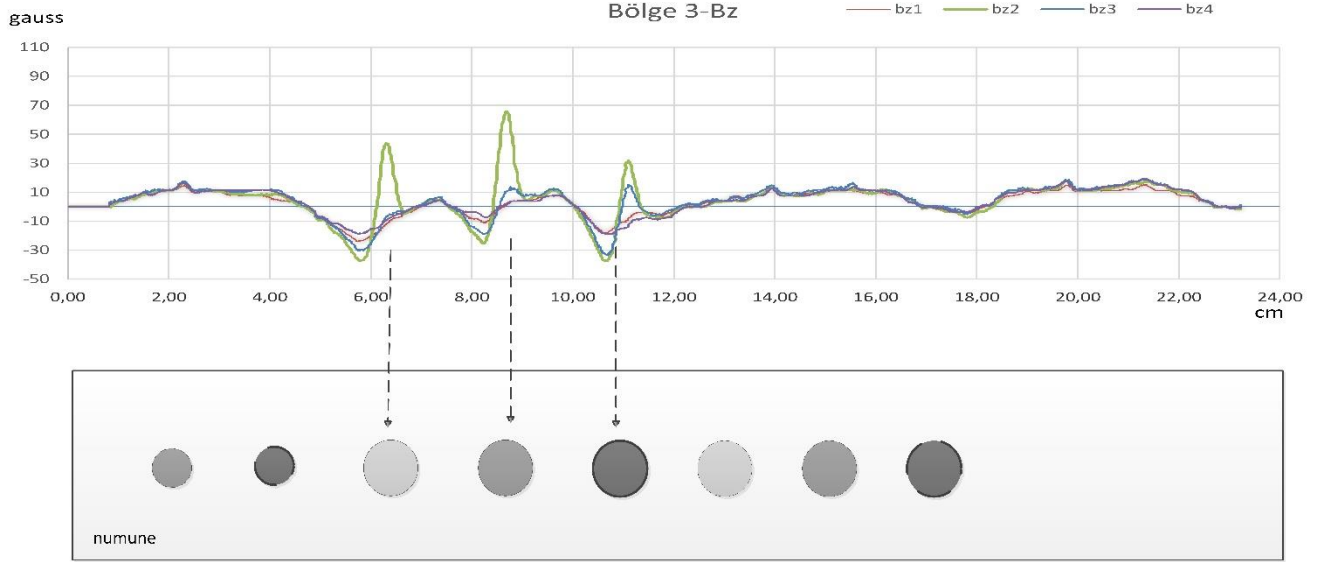
Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.56 Numune 3. Bölgesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucu Bx bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bx bileşeni şekil 3.56’da gösterilmiştir. Şekil 3.56’da gösterilen deneyde taranan materyal

numunesinde herhangi bir kusur tespit edilememiştir. Bu yüzden kusur şeması gösterilmemiştir.



Şekil 3.57 Numune 3. Bölgesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucu Bz bileşeni

Numunenin 3. Bölgesi üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve sensör Bz bileşeni şekil 3.57'de gösterilmiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Bu çalışmada MKA yöntemi ile ferromanyetik C1040 az karbonlu çelik sac materyalinin üzerindeki kusurları tespit etmek için kusur tespit aracı tasarlanmıştır. Bu araç, hareket ettirici mekanizma vasıtasıyla yapısında çeşitli yapay kusurlar oluşturulmuş C1040 materyali üzerinde düz doğrultuda gezdirilmiştir. Kusur tespit aracından sürekli konum bilgisi alınarak tespit edilen kusurların malzemenin hangi bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir. Kusur tespit aracı ile 2mm, 3mm ve 5mm kalınlığındaki C1040 materyali taranarak kusurlu bölgeler tespit edilmiştir. Algılayıcı sensör modülünde UGN3503UA model alan etkili (hall effect) sensör kullanılmıştır. Sensör modülü 8 adet sensörden oluşmak üzere bir dizi halinde manyetik boyunduruk altına yerleştirilmiştir. Sensörler farklı şekilde yerleştirilerek, sensör Bx (teğetsel) ve Bz (normal) bileşenleri ölçülmüştür. Sensör modülünden alınan bilgiler ADC kart vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Matlab Simulink ortamında oluşturulan model ile ADC kartından gelen veriler kaydedilerek değerlendirilmiştir.

- Sonuç olarak kusurların tespit edilmesinde en iyi hassasiyet 2 mm kalınlıktaki materyal numunesi üzerinde elde edilmiştir. 2 mm kalınlıktaki materyal üzerinde tüm kusur çeşitleri tespit edilmiştir.
- Materyal kalınlığı arttıkça sistem hassasiyetinin azaldığı görülmüştür.
- Materyal kalınlığı arttıkça sistem kararlılığının azaldığı görülmüştür.
- Sensör yerden yükseklik değerinin 0.5 mm'den 1.5 mm'ye çıkarılmasıyla sistem hassasiyetinin azaldığı görülmüştür.
- Kusur derinliğinin veya çapının artmasıyla, sonuçların iyileştiği ve kusurun tespit edilebilme olasılığının arttığı görülmüştür.
- Bazı kusurları sensör Bz bileşeni tespit ederken aynı şartlarda Bx bileşeninin tespit edemediği görülmüştür dolayısıyla sensör Bz bileşeninin Bx bileşenine göre kusur tespit işleminde daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.
- Tam delikler kör deliklere göre, kör delikler de iç kör deliklere göre daha fazla manyetik kaçak akı oluşturarak daha yüksek gauss değerleri ortaya çıkarmıştır.
- Kör kusurlar ve iç kör kusurlar birbirinden ayırt edilememiştir.

Deney sonuçlarının FEM programı ile gerçekleştirilen simülasyon deneyleri ile uyumlu sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

4.2. Gelecek Çalışmalar

İlk olarak; sensör modülünün tasarımı iyileştirilerek daha geniş alanı taramak hedeflenmektedir. Ayrıca MKA sisteminin daha hassas ölçüm gerçekleştirebilmesi için sistem parametrelerinin iyileştirilerek geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Mıknatıs boyutu, manyetik köprü malzemesi, sensör modeli ve mıknatıs yerden yükseklik değeri gibi parametrelerin tekrar değerlendirilerek sistem sonuçlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Tüm bu hassasiyet artırıcı işlemlerin ardından taranan materyalin yapısı hakkında daha fazla bilgi sahibi olunabileceği düşünülmektedir. Ayrıca uygun algoritma geliştirilerek test edilen materyalin yüzey kusur haritasının bilgisayarda görüntülenmesi hedeflen çalışmalar arasındadır.

Kaynaklar

- [1] Ege, Yavuz.(1998).Ferromanyetik Malzemeler Üzerindeki Çatlakların Manyetik Yöntemle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Türkiye, s. 2-6.
- [2] Kaya, Y., & Kahraman, N. (2013). Farklı Özellikteki Malzemelerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi ve Birleştirmelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(1).
- [3] Başyigit, C., Çomak, B., Kılınçarslan, Ş., & Kamacı, Z. Depremde Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Beton Kalitesini Belirlemede Yeni Yaklaşımlar: Görüntü İşleme Örneği.
- [4] Göktepe, M., Perin, D., & Oral, A. Betonarme Yapılardaki Demir Donatıların Manyetik Kaçak Akı Yöntemiyle İncelenmesi.
- [5] Gülenç, B., Candan, İ., & Kahraman, N. (2006). Mıg-Mag Kaynağı İle Birleştirilen Boruların Tahribatlı Ve Tahribatsız Muayenesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(4).
- [6] Yakupoğlu, A. (2015). Girdap Akımı Probu İle Yüzey Çatlaklarının Algılanması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, s. 1-5.
- [7] Gloria, N. B. S., Areiza, M. C. L., Miranda, I. V. J., & Rebello, J. M. A. (2009). Development of a magnetic sensor for detection and sizing of internal pipeline corrosion defects. NDT & e International, 42(8), 669-677.
- [8] Sun, L., Li, Y., Li, C., Wang, L., & Wu, J. (2010, Temmuz). Active defects detection and localization using acoustic emission method. In Intelligent Control and Automation (WCICA), 2010 8th World Congress on (ss. 5348-5351). IEEE.
- [9] Wang, H., Li, Y., Pan, Q., Xu, C., Zhao, X., & Xia, S. (2012, Ağustos). Ultrasonic transmission method for testing curved composite parts. In Mechatronics and Automation (ICMA), 2012 International Conference on (ss. 2093-2097). IEEE.
- [10] bin Ibrahim, R. (2016, Ağustos). Acoustic emission technique for early leakage detection of in-service control valve. In Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2016 6th International Conference on (ss. 1-5). IEEE.
- [11] Silverwing (UK) limited magnetic flux leakage technology, http://www.silverwingndt.com/downloads/technical/magnetic_flux_leakage_technology.pdf, (13.06.2017).

- [12] LiYing, S., YiBo, L., LiBo, S., & LingGe, L. (2012, Temmuz). Comparison of Magnetic Flux Leakage (MFL) and Acoustic Emission (AE) techniques in corrosion inspection for pressure pipelines. In Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese (ss. 5375-5378). IEEE.
- [13] Göktepe, M., & Ege, Y. (2007). Amorf Meetalik Cam Şeritlerindeki Çatlakların Manyetik Akı Kaçakları Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilim Dergisi, 7(1).
- [14] Tuğrul, A. B., Baydoğan, N., Altınsoy, N., Dizar, D., & Yağcı, E. Otomotiv Parçalarının Radyografik İncelenmesi.
- [15] Kandroodi, M. R., Shirani, F., Araabi, B. N., Ahmadabadi, M. N., & Bassiri, M. M. (2013, Haziran). Defect detection and width estimation in natural gas pipelines using MFL signals. In Control Conference (ASCC), 2013 9th Asian (ss. 1-6). IEEE.
- [16] Wijerathna, B., Vidal-Calleja, T., Kodagoda, S., Zhang, Q., & Miro, J. V. (2013, Nisan). Multiple defect interpretation based on gaussian processes for mfl technology. In SPIE Smart Structures and Materials+ Nondestructive Evaluation and Health Monitoring (ss. 86941Z-86941Z). International Society for Optics and Photonics.
- [17] Gao, Y., Tian, G. Y., Li, K., Ji, J., Wang, P., & Wang, H. (2015). Multiple cracks detection and visualization using magnetic flux leakage and eddy current pulsed thermography. Sensors and Actuators A: Physical, 234, 269-281.
- [18] Świt, G., Krampikowska, A., & Chinh, L. M. (2016, Ekim). A prototype system for acoustic emission-based structural health monitoring of My Thuan bridge. In Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Chengdu), 2016 (ss. 1-6). IEEE..
- [19] Keshtgar, A., & Modarres, M. (2013, Ocak). Acoustic emission-based fatigue crack growth prediction. In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2013 Proceedings-Annual (ss. 1-5). IEEE.
- [20] Ferromanyetik malzemelerin yüzey manyetik akı profilinin dedeksiyonu ve uygulamaları ,Yavuz ,2005
- [21] Robini, M. C., Labruyere, J. P., & Magnin, I. E. (2006, Ekim). Radiographic inspection of thick metal components, Part I: fitting the standard linear image formation model. In Nuclear Science Symposium Conference Record, 2006. IEEE (Cilt. 2, ss. 964-968). IEEE.
- [22] Sonat, E. Evren., & Yelbay, H: İlker. (2008) Dökümlerin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Standartlar. Proceedings of 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, İstanbul Türkiye, Nisan 2008, ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araş./Uyg. Merkezi.

- [23] Orazem, M. (Ed.). (2014). Underground pipeline corrosion (No. 63). Elsevier.
- [24] Liske, O., Yakymiv, R., & Melnychuk, A. (2012). Radiowave methods of non-destructive testing.
- [25] Zhao, J., Sheng, H., & Zhou, X. (2016, Kasım). Study on the application of acoustic emission testing technique in monitoring 16Mn steel welding defects. In Advanced Mechatronic Systems (ICAMEchS), 2016 International Conference on (ss. 318-321). IEEE.
- [26] Coughlin, C. R., Clapham, L., & Atherton, D. L. (2000). Effects of stress on MFL responses from elongated corrosion pits in pipeline steel. NDT & E International, 33(3), 181-188.
- [27] Ravan, M., Amineh, R. K., Koziel, S., Nikolova, N. K., & Reilly, J. P. (2010). Sizing of 3-D arbitrary defects using magnetic flux leakage measurements. IEEE transactions on magnetics, 46(4), 1024-1033.
- [28] Shao, Y., Yu, Y., Zhang, Y., Wei, S., & Li, X. (2016, Kasım). Analysis of acoustic emission signal characteristics based on the crack pattern of stress corrosion cracking. In Sensing Technology (ICST), 2016 10th International Conference on (ss. 1-5). IEEE.
- [29] Potapov, A. I., Syas'ko, V. A., & Pudovkin, O. P. (2015). Optimization of the parameters of primary measuring transducers that use the MFL technology. Russian Journal of Nondestructive Testing, 51(8), 513-519.
- [30] Experimental study to differentiate between top and bottom defects for MFL tank floor inspections, Alicia Romero Ramirez
- [31] Betonarme Yapılardaki Demir Donatıların Manyetik Kaçak Akı Yöntemiyle İncelenmesi, Mustafa Göktepe
- [32] A Study on the Measurement of Axial Cracks in the Magnetic Flux Leakage NTD system (2012), Hui Min Kin
- [33] Detecting Internal Defects of a Steel Plate by Using Low-Frequency Magnetic Flux Leakage Method, Nannan Song.
- [34] Development of a magnetic sensor for detection and sizing of internal pipeline corrosion defects, NDT&E International42, (2009)669–677.
- [35] The Application of Magnetic Shielding Effect in Drill Pipe Magnetic Leakage Flux Testing, 2013 Fifth Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Ma Yilai.

[36] Gwan Soo Park and Eun Sik Park, Improvement of the Sensor System in Magnetic Flux Leakage-Type Nondestructive Testing (NDT), IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 38, NO. 2, MARCH 2002.

[37] http://www.allianceorg.com/pdfs/MMPA_0100-00.pdf, STANDARD SPECIFICATIONS FOR PERMANENT MAGNET MATERIALS, 26.02.2018

[38] Her Yönüyle 1040 Çeliği'nin Özellikleri, <http://www.muhendisalemi.com/her-yonuyle-1040-celigi/>, 25.02.2018.

[39] RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS, http://www.bristolwatch.com/hall_effect/ugn3503.pdf, 08.03.2018

[40] Anasayfa > Sensör > Hall Effect Sensörleri, <https://www.direnc.net/ugn3503-hall-effect-sensoru>, 08.03.2018

[41] Real Time Windows Target, <https://www.matlabhelponline.com/real-time-windows-target-assignment-help-17707>, 25.02.2018

[42] BMÜ-421 Benzetim ve Modelleme MATLAB SIMULINK, http://web.firat.edu.tr/iaydin/MATLAB%20SIMULINK_Hafta_4.pdf, 25.02.2018

[42] TÜRKÇE ANALOG DİJİTAL ÇEVİRİCİ BİLGİLERİ, <http://320volt.com/turkce-analog-dijital-cevirici-bilgileri/>, 25.02.2018

EK A:

PCI 1711U ADC kartının I/O konektör pin atamaları [42]

AI0	68	34	AI1
AI2	67	33	AI3
AI4	66	32	AI5
AI6	65	31	AI7
AI8	64	30	AI9
AI10	63	29	AI11
AI12	62	28	AI13
AI14	61	27	AI15
AIGND	60	26	AIGND
DA0_REF	59	25	DA1_REF
DA0_OUT	58	24	DA1_OUT
AOGND	57	23	AOGND
DI0	56	22	DI1
DI2	55	21	DI3
DI4	54	20	DI5
DI6	53	19	DI7
DI8	52	18	DI9
DI10	51	17	DI11
DI12	50	16	DI13
DI14	49	15	DI15
DGND	48	14	DGND
DO0	47	13	DO1
DO2	46	12	DO3
DO4	45	11	DO5
DO6	44	10	DO7
DO8	43	9	DO9
DO10	42	8	DO11
DO12	41	7	DO13
DO14	40	6	DO15
DGND	39	5	DGND
CNT0_CLK	38	4	PACER_OUT
CNT0_OUT	37	3	TRG_GATE
CNT0_GATE	36	2	EXT_TRG
+12V	35	1	+5V

:

EK B:**PCI 1711U ADC kartının MKA sisteminde kullanılan pin atamaları**

İsim	Port	Açıklama
Hall_BX1	AI0	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BX2	AI2	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BX3	AI4	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BX4	AI6	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BZ1	AI1	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BZ2	AI3	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BZ3	AI5	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Hall_BZ4	AI7	Alan Etkili Algılayıcı Okuma
Konum Algılayıcı enkoder	AI9	Konum bilgisi okuyucu

ÖZGEÇMİŞ

Okan KARA; 1990 yılında Trabzon/Yomra doğumludur. İlkokul ve ortaokul öğrenimini Trabzon Fatih İlköğretim Okulunda tamamlamıştır. Lise öğrenimini 2007 yılında Trabzon Merkez Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar ve Kontrol Öğretmenliği Bölümü'nden mezun oldu. 2015 yılı yazında 3 aylık ingilizce dil eğitimini Amerikada tamamladı. 2016 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği lisans tamamlama programını bitirdi. 2014 yılında başladığı Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine tez aşamasında devam etmektedir. 2016 yılı eylül ayından beri Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak başladığı görevine halen devam etmektedir.