

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



**LABVIEW TABANLI MANYETİK SENSÖR AĞI KULLANAN
YENİ BİR ÇATLAK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI VE
KARAKTERİSTİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

MUSTAFA ÇORAMIK

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2018

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



**LABVIEW TABANLI MANYETİK SENSÖR AĞI KULLANAN
YENİ BİR ÇATLAK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI VE
KARAKTERİSTİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

MUSTAFA ÇORAMIK

**Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Yavuz EGE (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU
Doç. Dr. Tayfun UZUNOĞLU
Doç. Dr. Hüseyin ÇALIK
Dr. Öğr. Üyesi Tarık KUNDURACI**

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

MUSTAFA ÇORAMIK tarafından hazırlanan “**LABVIEW TABANLI MANYETİK SENSÖR AĞI KULLANAN YENİ BİR ÇATLAK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI VE KARAKTERİSTİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 13.08.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

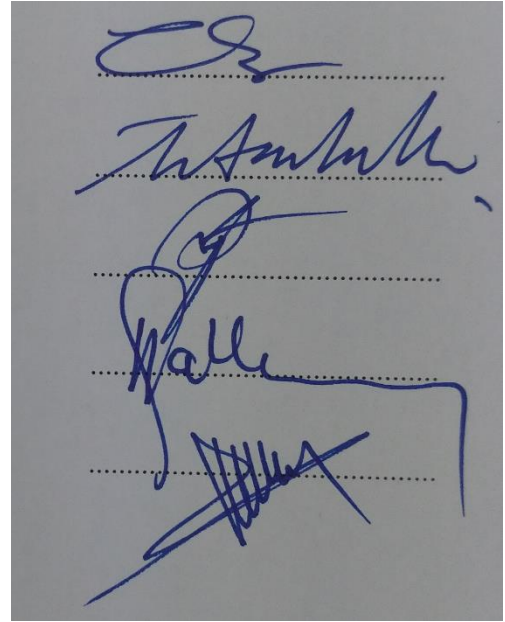
Danışman
Prof. Dr. Yavuz EGE

Üye
Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU

Üye
Doç. Dr. Tayfun UZUNOĞLU

Üye
Doç. Dr. Hüseyin ÇALIK

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Tarık KUNDURACI



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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2015-127 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**LABVIEW TABANLI MANYETİK SENSÖR AĞI KULLANAN YENİ BİR
ÇATLAK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI VE KARAKTERİSTİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
DOKTORA TEZİ
MUSTAFA ÇORAMIK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YAVUZ EGE)

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2018

Günümüzde ana enerji kaynakları olarak adlandırılan doğal gaz ve petrol, boru hatları ile uzak mesafelere taşınmaktadır. Genellikle yer altına gömülü olan bu hatlarda meydana gelebilecek kusurlar (korozyon, çatlak, göçük), can kaybı, çevre kirliliği ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Kusurların belirlenmesi amacı ile boru hatlarında tahribatsız muayene yapabilecek şekilde tasarlanan “Pipeline Inspection Gauge (PIG)” olarak adlandırılan aygıtlar kullanılmaktadır. Manyetik akı kaçakları (MFL) yöntemi de son yıllarda boru hatlarının muayenesi ile ilgili yapılan çalışmalarda oldukça fazla kullanılan tekniklerden bir tanesi olarak öne çıkmaktadır. Fakat bu çalışmalar incelendiğinde hız değişkeninin oldukça az ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada boru hatlarında meydana gelen çevresel çatlakların belirlenmesinde kullanılması amaçlanan yeni bir PIG tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hız değişkeninin incelenebilmesi için yeni bir ölçüm sistemi tasarlanarak üretilmiştir. KMZ51 AMR sensörün kullanıldığı çalışmada, sensör gerilim değerleri sıralı bir biçimde LabVIEW tabanlı bir yazılım kullanılarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Sistemde veri toplanması amacı ile NI USB-6210 veri toplama kartı ve MyRIO 1900 kullanılmıştır. Verilerin analizinde ise Origin programından yararlanılmıştır. Geliştirilen sistemden elde edilen sonuçlara göre oluşturulan yapay çatlakların varlığı ve arasındaki mesafenin tespit edilebildiği görülmüştür. Ayrıca birbirinden farklı genişliklere sahip olan çatlakların farkı da belirlenebilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar ve tecrübeler ışığında bu alanda çalışma yapacak olan araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Boru hattı muayene aygıtı, boru iletim hattı, manyetik akı kaçakları, manyetik sensör, tahribatsız muayene, LabVIEW, çatlak.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF DESIGN AND CHARACTERISTICS OF A NEW CRACK DETECTION SYSTEM USING LABVIEW BASED MAGNETIC SENSOR NETWORK

PH.D THESIS

MUSTAFA ÇORAMIK

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
PHYSICS**

(SUPERVISOR: PROF. DR. YAVUZ EGE)

BALIKESİR, AUGUST 2018

Today's main energy sources; natural gas, petrol and petroleum products are transported via pipelines that are safe at long distances. Most of these pipelines are buried and their integrity is highly important. Deformations like corruptions, dents and cracks destruct the integrity of pipeline and they can cause highly dangerous damaging results. Loss of lives, economical losses and environmental pollution can be given as an example of the problems that may occur. Devices called "Pipeline Inspection Gauge (PIG)" which are designed to make non-destructive inspection on pipelines are used for the purpose of determining defects. The magnetic flux leakage (MFL) method is also one of the most frequently used techniques in pipe line inspection studies in recent years. However, when these studies are examined, it is seen that the speed variable is handled very little. In this study, a new PIG design was designed to be used for determining the environmental cracks in the pipelines. In addition, a new measuring system was designed and manufactured to examine the speed variable. The KMZ51 AMR sensor was used in the study and the sensor voltage values were recorded on a computer using LabVIEW software. In the system, the NI USB-6210 data acquisition card and MyRIO 1900 were used for data collection. Origin program was used for the analysis of data. According to the results obtained from the developed system, it is seen that the cracks and the distance between artificial cracks can be determined. In addition, the width difference of the cracks are determined. Suggestions are made to the researchers who will later work on this field in the light of the results obtained from the study and the experiences.

KEYWORDS: Pipeline inspection gauge, pipeline, magnetic flux leakage, magnetic sensor, nondestructive testing, LabVIEW, crack.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖNSÖZ.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri	1
1.1.1 Görsel Muayene	3
1.1.2 Ultrasonik Muayene	5
1.1.2.1 Ultrasonik Muayene Yönteminin Avantajları	8
1.1.2.2 Ultrasonik Muayene Yöntemin Dezavantajları	9
1.1.3 Girdap Akımları (Eddy Akımları) ile Muayene	9
1.1.3.1 Girdap Akımları (Eddy Current) ile Muayenenin Avantajları	12
1.1.3.2 Girdap Akımları (Eddy Current) ile Muayenenin Dezavantajları	12
1.1.4 Radyografik Muayene	13
1.1.4.1 Radyografik Muayenenin Avantajları	15
1.1.4.2 Radyografik Muayenenin Dezavantajları	16
1.1.5 Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayene	16
1.1.5.1 Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayenenin Avantajları	18
1.1.5.2 Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayenenin Dezavantajları	19
1.1.6 Manyetik Parçacık (Partikül) ile Muayene (MPM).....	20
1.1.6.1 Manyetizasyon Yöntemleri	21
1.1.6.2 Parçacık Türleri	22
1.1.6.3 Demanyetizasyon	23
1.1.6.4 Manyetik Parçacık ile Muayene Yönteminin Avantajları	24
1.1.6.5 Manyetik Parçacık (Partikül) ile Muayenenin Dezavantajları	25
1.1.7 Manyetik Akı Kaçakları Yöntemi (Magnetic Flux Leakage) Yöntemi ile Muayene	26
1.2 Boru İletim Hatları ve Önemi	29
1.3 Boru Hattı Muayene Araçları - PIG (Pipeline Inspection Gauge).....	33
1.3.1 Geometri Araçları.....	34
1.3.2 Haritalama Araçları	35
1.3.3 Metal Kaybı (Korozyon) Belirleme Araçları	35
1.3.4 Çatlak Belirleme Araçları.....	36
1.4 LabVIEW Programı	37
1.4.1 Block Diagram	39
1.4.2 Front Panel	39
1.4.3 LabVIEW Programının Kullanıldığı Çalışmalar.....	41

1.5	Literatürde Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar	41
1.6	Çalışmanın Amacı.....	50
2.	ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	51
2.1	Mekanik Sistem	52
2.1.1	Profil İskelet ve Sabitleme Levhaları	53
2.1.2	AC Motor ve Redüktör.....	55
2.1.3	Kayışlar, Dişliler ve Yataklar.....	56
2.1.4	Boru Hattı.....	59
2.2	Elektronik Sistem.....	59
2.2.1	AC Motor Hız Kontrol Cihazı.....	60
2.2.2	Eksensel PIG	61
2.2.3	NI-USB 6210.....	68
2.2.4	Sensör (KMZ51)	68
2.2.5	Güç Hattı	80
2.2.6	Sinyal Yükseltme Devresi.....	81
2.2.7	Enkoder ve İlerleme Takip Devresi	85
2.2.8	Sensör Resetleme Devresi.....	87
2.2.9	Veri İzleme Ekranı	88
2.3	Yazılım.....	93
2.3.1	Veri Toplama ve Kayıt Programı	94
2.3.2	Veri İzleme Ekranı Programı	97
3.	BULGULAR	100
3.1	Testi Yapılan Çatlakların Yapısı.....	100
3.2	Deneylerin Gerçekleştirilmesi	101
3.3	Verilerin Değerlendirilmesi	104
3.4	Hız Değişkenine Göre Çatlaklar Arası Mesafenin ve Çatlak Genişliğinin Tespiti.....	113
3.4.1	0 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar	113
3.4.1.1	Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar	113
3.4.1.2	Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar	127
3.4.2	0.200 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar	143
3.4.2.1	Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar	143
3.4.2.2	Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar	150
3.4.3	0.400 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar	156
3.4.3.1	Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar	156
3.4.3.2	Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar	163
3.4.4	0.800 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar	169
3.4.4.1	Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar	169
3.4.4.2	Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar	176
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	182
5.	KAYNAKLAR.....	186
6.	EKLER.....	200
EK A	Ölçüm Sistemi Üretim Aşamaları	200
EK B	İlerleme Takip Devresi Programı	203
EK C	Farklı Hız ve Akım Değerleri için Grafik Örnekleri	212

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Doğrudan görsel muayene.....	4
Şekil 1.2: Uzaktan görsel muayene aletleri a) Boreskop, b) fiberskop c) kamera.	4
Şekil 1.3: a) Çift ve b) tek transduser ile ultrasonik muayene	6
Şekil 1.4: Ultrasonik yöntem uygulaması	7
Şekil 1.5: Girdap akımları ile muayene çalışma prensibi.	10
Şekil 1.6: İki bobinli girdap akımları yönteminin çalışma prensibi	11
Şekil 1.7: Radyografik muayenenin çalışması	14
Şekil 1.8: a) penetrasyon b) fazla penetrantın alınması c) geliştirici uygulanması d) muayenenin gerçekleştirilmesi.	18
Şekil 1.9: a) Kaçak akı çizgileri oluşumu b) manyetik parçacıkların toplanması.....	21
Şekil 1.10: Üzerinde çatlak (a) bulunmayan (b) bulunan mıknatıs etrafındaki manyetik akı çizgileri	26
Şekil 1.11: (a-e) Farklı manyetizasyon yöntemleri	27
Şekil 1.12: Search coil'in çalışma prensibi	28
Şekil 1.13: Hall etkisinin şematik gösterimi	29
Şekil 1.14: Yıllara göre EGIG üyeleri tarafından gaz hatlarında bildirilen kaza sayısı.	31
Şekil 1.15: 2004-2013 yılları arasında gaz hatlarında meydana gelen kazaların sebepleri.....	31
Şekil 1.16: Geometri aracı örneği.....	34
Şekil 1.17: Boru hattı muayene aracı tipleri.	37
Şekil 1.18: Örnek bir LabVIEW programı için a) block diagram b) front panel görüntüsü.....	40
Şekil 2.1: Sistem bileşenleri ve birbirleri ile iletişimi.	52
Şekil 2.2: Profil iskelet tasarımı.....	53
Şekil 2.3: Profil iskeletin üretim aşaması.	53
Şekil 2.4: Üretim aşamasında sabitleme levhası.	54
Şekil 2.5: Mekanik sistemin boya ve montaj sonrası görünümü.	54
Şekil 2.6: Üretim esnasında ve montaj sonrasında motor ve redüktörün görünümü.....	55
Şekil 2.7: Motor ve redüktöre ait teknik çizimler.....	56
Şekil 2.8: T10 tipi kayış ve sistemde kullanıldığı bölümler.	57
Şekil 2.9: Sistemde kullanılan dişliler.	57
Şekil 2.10: Sistemde kullanılan dişlilere ait teknik çizimler.	58
Şekil 2.11: Sistemde kullanılan yataklı rulmanlara ait teknik çizimler.	58
Şekil 2.12: Kontrol paneli genel görüntüsü ve besleme bağlantıları.	60
Şekil 2.13: Kontrol panelinde hız kontrol cihazının görünümü.	60
Şekil 2.14: Test edilmek istenen çatlak yapısına bağlı PIG tasarım işlemleri...	62
Şekil 2.15: Simüle edilen nüve boru çatlak yapısına ait manyetik alan çizgilerinin görünümü	62
Şekil 2.16: Çatlak etrafındaki simüle görüntü	63
Şekil 2.17: Eksensel PIG'e ait manyetize edici nüve yapısı.....	63
Şekil 2.18: Eksensel PIG'e ait tasarım.	64

Şekil 2.19: KMZ51 sensör ağının yan yana montajı.	65
Şekil 2.20: 16 adet KMZ51 sensörün PIG üzerine monte edilmiş hali.	65
Şekil 2.21: Çalışma kapsamında üretilen eksensel PIG.	66
Şekil 2.22: a) Şerit kablo ile sensör çıkışlarının b) güç hattının kayış üzerine sabitlenmesi.	67
Şekil 2.23: Varyak, doğrultma devresi ve PIG ile bağlantısı.	67
Şekil 2.24: a) NI-USB 6210 b) bağlantı şeması.	68
Şekil 2.25: Üzerinden akım geçen permalloy film üzerine manyetik alan uygulanması.	70
Şekil 2.26: Direnç – manyetik alan grafiği.	73
Şekil 2.27: Barber pole yapısı.	74
Şekil 2.28: Wheatstone köprüsü şeklinde bağlanmış barber pole yapısına sahip permalloy filmler.	75
Şekil 2.29: Eşdeğer wheatstone köprüsü devresi.	75
Şekil 2.30: KMZ 51 barber pole yapısı.	77
Şekil 2.31: KMZ51 ve iç yapısı.	78
Şekil 2.32: Güç hattına ait devre şeması.	81
Şekil 2.33: Sistemde kullanılan doğrultma devresi.	81
Şekil 2.34: INA114 entegresi ve pin bağlantıları.	82
Şekil 2.35: INA114 entegresinin blok yapısı.	83
Şekil 2.36: Yükseltme devresi devre şeması.	83
Şekil 2.37: Yükseltme devresi baskı kartı ve montaj aşaması.	84
Şekil 2.38: PIG üzerine monte edilen sinyal yükseltme devresi.	84
Şekil 2.39: Mile monte edilmiş enkoder.	85
Şekil 2.40: Enkodere ait A, B ve Z çıkışları.	85
Şekil 2.41: İlerleme takip devresi tasarımı.	86
Şekil 2.42: İlerleme takip devresi ve panelde görünümü.	87
Şekil 2.43: Sensör resetleme devresi.	88
Şekil 2.44: Veri izleme ekranı.	89
Şekil 2.45: MyRIO iç yapısı.	90
Şekil 2.46: My-RIO konnektör bağlantıları.	90
Şekil 2.47: Pmod CLS LCD ekran ve iç yapısı.	91
Şekil 2.48: 16 kanallı multiplexer.	92
Şekil 2.49: İzleme ekranına ait devre şeması.	93
Şekil 2.50: Veri toplama ve kayıt programı akış diyagramı.	95
Şekil 2.51: Veri toplama ve kayıt programı block diagram.	96
Şekil 2.52: Veri izleme programı akış diyagramı.	98
Şekil 2.53: Veri izleme programı block diagram.	99
Şekil 3.1: Deneyler ile tespit edilmeye çalışılan çatlak konumları.	100
Şekil 3.2: Çatlak 1'e ait üst yüzey görünümü.	101
Şekil 3.3: Ani gürültülere sahip bir sinyale %50 PF (medyan filtre) uygulanması.	106
Şekil 3.4: Sistemden elde edilen bir sensör gerilim değişiminin konuma bağlı grafiği.	107
Şekil 3.5: Sinyal işleme smooth arayüzü.	108
Şekil 3.6: Sinyale uygulanan a) Savitzky-Golay b) Adjacent-Averaging c) FFT yöntemleri.	109
Şekil 3.7: a) 20 pts b) 40 pts c) 60 pts d) 80 pts e) 100 pts PF smooth analiz sonuçları.	110
Şekil 3.8: Gaussian eğriler için Origin 9.0 arayüzü.	111

Şekil 3.9: Örnek Gauss fonksiyonu grafiği.....	112
Şekil 3.10: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler	114
Şekil 3.11: a) 2. sensör b) 9. sensör c) 14. sensör için 0 A akım değerinde peak 1- peak 3 x_c değeri farkı-hız grafiği.....	125
Şekil 3.12: a) 4. sensör b) 10. sensör c) 13. sensör için 0 A akım değerinde peak 2 - peak 4 x_c değeri farkı-hız grafiği.....	126
Şekil 3.13: a) Peak 1 b) Peak 2 alan – hız grafiği.....	136
Şekil 3.14: a) Peak 3 b) Peak 4 alan – hız grafiği.....	137
Şekil 3.15: a) Peak 1 b) Peak 2 FWHM– hız grafiği.....	138
Şekil 3.16: a) Peak 3 b) Peak 4 FWHM– hız grafiği.....	139
Şekil 3.17: a) Peak 1 b) Peak 2 H– hız grafiği.....	140
Şekil 3.18: a) Peak 3 b) Peak 4 H– hız grafiği.....	141
Şekil 3.19: 0 A, 16.93 cm/s için peak 1 ve peak 3'e ait FWHM-sensör grafiği	142
Şekil 3.20: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler	144
Şekil 3.21: 0.200 Amper için peak 1 – peak 3 x_c farkı - hız grafiği.....	149
Şekil 3.22: 0.200 Amper için peak 2 – peak 4 x_c farkı - hız grafiği	150
Şekil 3.23: 0.200 A, 18.14 cm/s için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM-sensör grafiği	155
Şekil 3.24: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler	157
Şekil 3.25: 0.400 Amper için peak 1 – peak 3 x_c farkı - hız grafiği	162
Şekil 3.26: 0.400 Amper için peak 2 – peak 4 x_c farkı - hız grafiği	163
Şekil 3.27: 0.400 A, 22.98 cm/s için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM-sensör grafiği	168
Şekil 3.28: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler	170
Şekil 3.29: 0.800 Amper için peak 1 – peak 3 x_c farkı - hız grafiği	175
Şekil 3.30: 0.800 Amper için peak 2 – peak 4 x_c farkı - hız grafiği	176
Şekil 3.31: 0.800 A, 19.35 cm/s için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM-sensör grafiği	181
Şekil A.1: Üretim aşamasındaki mekanik sistem.	200
Şekil A.2: Kontrol paneli montajı öncesi mekanik sistem.	200
Şekil A.3: Nüvelerin montajı.....	201
Şekil A.4: Sensör kartlarının montajı.	201
Şekil A.5: Kablo bağlantıları tamamlanan sensör kartları.....	201
Şekil A.6: Sensör kartlarının PIG üzerindeki konumları.....	202
Şekil A.7: Eksensel PIG ile gerçekleştirilen ilk deneme ölçümleri.....	202
Şekil C.1: 0 A, 3.63 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	212
Şekil C.2: 0 A, 3.63 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	212
Şekil C.3: 0 A, 9.68 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	212
Şekil C.4: 0 A, 9.68 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	212
Şekil C.5: 0 A, 15.72 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	213
Şekil C.6: 0 A, 15.72 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	213

Şekil C.7: 0 A, 21.77 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	213
Şekil C.8: 0 A, 21.77 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	213
Şekil C.9: 0 A, 3.63 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	214
Şekil C.10: 0 A, 3.63 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler	214
Şekil C.11: 0 A, 9.68 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	214
Şekil C.12: 0 A, 9.68 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler	214
Şekil C.13: 0 A, 15.72 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	215
Şekil C.14: 0 A, 15.72 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler	215
Şekil C.15: 0 A, 21.77 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	215
Şekil C.16: 0 A, 21.77 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler	215
Şekil C.17: 0 A, 3.63 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	216
Şekil C.18: 0 A, 3.63 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	216
Şekil C.19: 0 A, 9.68 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	216
Şekil C.20: 0 A, 9.68 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	216
Şekil C.21: 0 A, 15.72 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	217
Şekil C.22: 0 A, 15.72 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	217
Şekil C.23: 0 A, 21.77 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	217
Şekil C.24: 0 A, 21.77 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	217
Şekil C.25: 0.200 A, 4.84 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	218
Şekil C.26: 0.200 A, 4.84 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler	218
Şekil C.27: 0.200 A, 10.89 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	218
Şekil C.28: 0.200 A, 10.89 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler	218
Şekil C.29: 0.200 A, 16.93 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	219
Şekil C.30: 0.200 A, 16.93 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler	219
Şekil C.31: 0.200 A, 22.98 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	219
Şekil C.32: 0.200 A, 22.98 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler	219
Şekil C.33: 0.200 A, 4.84 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	220
Şekil C.34: 0.200 A, 4.84 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler	220
Şekil C.35: 0.200 A, 10.89 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	220
Şekil C.36: 0.200 A, 10.89 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler	220
Şekil C.37: 0.200 A, 16.93 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	221
Şekil C.38: 0.200 A, 16.93 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler	221
Şekil C.39: 0.200 A, 22.98 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	221

Şekil C.40: 0.200 A, 22.98 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler	221
Şekil C.41: 0.200 A, 4.84 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	222
Şekil C.42: 0.200 A, 4.84 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler	222
Şekil C.43: 0.200 A, 10.89 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	222
Şekil C.44: 0.200 A, 10.89 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler	222
Şekil C.45: 0.200 A, 16.93 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	223
Şekil C.46: 0.200 A, 16.93 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler	223
Şekil C.47: 0.200 A, 22.98 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	223
Şekil C.48: 0.200 A, 22.98 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler	223
Şekil C.49: 0.400 A, 6.05 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	224
Şekil C.50: 0.400 A, 6.05 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	224
Şekil C.51: 0.400 A, 12.10 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	224
Şekil C.52: 0.400 A, 12.10 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	224
Şekil C.53: 0.400 A, 18.14 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	225
Şekil C.54: 0.400 A, 18.14 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	225
Şekil C.55: 0.400 A, 24.19 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	225
Şekil C.56: 0.400 A, 24.19 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler	225
Şekil C.57: 0.400 A, 6.05 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	226
Şekil C.58: 0.400 A, 6.05 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler	226
Şekil C.59: 0.400 A, 12.10 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	226
Şekil C.60: 0.400 A, 12.10 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler	226
Şekil C.61: 0.400 A, 18.14 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	227
Şekil C.62: 0.400 A, 18.14 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler	227
Şekil C.63: 0.400 A, 24.19 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	227
Şekil C.64: 0.400 A, 24.19 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler	227
Şekil C.65: 0.400 A, 6.05 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	228
Şekil C.66: 0.400 A, 6.05 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	228
Şekil C.67: 0.400 A, 12.10 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	228
Şekil C.68: 0.400 A, 12.10 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	228
Şekil C.69: 0.400 A, 18.14 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	229
Şekil C.70: 0.400 A, 18.14 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	229
Şekil C.71: 0.400 A, 24.19 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	229
Şekil C.72: 0.400 A, 24.19 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler	229

Şekil C.73: 0.800 A, 7.26 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	230
Şekil C.74: 0.800 A, 7.26 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler	230
Şekil C.75: 0.800 A, 13.31 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	230
Şekil C.76: 0.800 A, 13.31 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler	230
Şekil C.77: 0.800 A, 14.52 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	231
Şekil C.78: 0.800 A, 14.52 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler	231
Şekil C.79: 0.800 A, 20.56 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	231
Şekil C.80: 0.800 A, 20.56 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler	231
Şekil C.81: 0.800 A, 7.26 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	232
Şekil C.82: 0.800 A, 7.26 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler	232
Şekil C.83: 0.800 A, 13.31 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	232
Şekil C.84: 0.800 A, 13.31 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler	232
Şekil C.85: 0.800 A, 14.52 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	233
Şekil C.86: 0.800 A, 14.52 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler	233
Şekil C.87: 0.800 A, 20.56 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	233
Şekil C.88: 0.800 A, 20.56 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler	233
Şekil C.89: 0.800 A, 7.26 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	234
Şekil C.90: 0.800 A, 7.26 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler	234
Şekil C.91: 0.800 A, 13.31 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	234
Şekil C.92: 0.800 A, 13.31 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler	234
Şekil C.93: 0.800 A, 14.52 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	235
Şekil C.94: 0.800 A, 14.52 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler	235
Şekil C.95: 0.800 A, 20.56 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği.....	235
Şekil C.96: 0.800 A, 20.56 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler	235

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Labview terimleri ve geleneksel karşılıkları.....	39
Tablo 1.2: Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.....	42
Tablo 2.1: Motor ve redüktöre ait teknik veriler.	56
Tablo 2.2: Dişlilere ait teknik veriler.	58
Tablo 2.3: Yataklı rulmanlara ait teknik veriler.	59
Tablo 2.4: Hız kontrol cihazına ait teknik veriler.	61
Tablo 2.5: KMZ51 pin bağlantıları.	78
Tablo 2.6: KMZ51'e ait bazı parametreler.....	79
Tablo 2.7: LCD ekran protokolleri için jumper ayarları.	91
Tablo 2.8: Multiplexer doğruluk tablosu.	92
Tablo 3.1: Hız kontrol cihazı frekans ayarı ortalama PIG hızı değerleri.	102
Tablo 3.2: Varyak çıkış gerilimi ve akım değerleri.	102
Tablo 3.3: 0 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	115
Tablo 3.4: 0 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	116
Tablo 3.5: 0 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	116
Tablo 3.6: 0 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	117
Tablo 3.7: 0 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	117
Tablo 3.8: 0 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	118
Tablo 3.9: 0 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	118
Tablo 3.10: 0 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	119
Tablo 3.11: 0 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	119
Tablo 3.12: 0 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	120
Tablo 3.13: 0 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	120
Tablo 3.14: 0 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	121
Tablo 3.15: 0 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	121
Tablo 3.16: 0 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	122
Tablo 3.17: 0 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	122
Tablo 3.18: 0 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	123
Tablo 3.19: 0 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	123
Tablo 3.20: 0 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	124
Tablo 3.21: 0 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	127
Tablo 3.22: 0 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	127
Tablo 3.23: 0 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	128
Tablo 3.24: 0 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	128
Tablo 3.25: 0 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	129
Tablo 3.26: 0 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	129
Tablo 3.27: 0 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.	130
Tablo 3.28: 0 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	130
Tablo 3.29: 0 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	131
Tablo 3.30: 0 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	131
Tablo 3.31: 0 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	132

Tablo 3.32: 0 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	132
Tablo 3.33: 0 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	133
Tablo 3.34: 0 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	133
Tablo 3.35: 0 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	134
Tablo 3.36: 0 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	134
Tablo 3.37: 0 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	135
Tablo 3.38: 0 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	135
Tablo 3.39: 0.200 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	145
Tablo 3.40: 0.200 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	145
Tablo 3.41: 0.200 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	145
Tablo 3.42: 0.200 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	145
Tablo 3.43: 0.200 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	146
Tablo 3.44: 0.200 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	146
Tablo 3.45: 0.200 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	146
Tablo 3.46: 0.200 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	146
Tablo 3.47: 0.200 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	147
Tablo 3.48: 0.200 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	147
Tablo 3.49: 0.200 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	147
Tablo 3.50: 0.200 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	147
Tablo 3.51: 0.200 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	148
Tablo 3.52: 0.200 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	148
Tablo 3.53: 0.200 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	148
Tablo 3.54: 0.200 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	148
Tablo 3.55: 0.200 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	149
Tablo 3.56: 0.200 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	149

Tablo 3.57: 0.200 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	150
Tablo 3.58: 0.200 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	151
Tablo 3.59: 0.200 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	151
Tablo 3.60: 0.200 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	151
Tablo 3.61: 0.200 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	151
Tablo 3.62: 0.200 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	152
Tablo 3.63: 0.200 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	152
Tablo 3.64: 0.200 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	152
Tablo 3.65: 0.200 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	152
Tablo 3.66: 0.200 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	153
Tablo 3.67: 0.200 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	153
Tablo 3.68: 0.200 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	153
Tablo 3.69: 0.200 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	153
Tablo 3.70: 0.200 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	154
Tablo 3.71: 0.200 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	154
Tablo 3.72: 0.200 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	154
Tablo 3.73: 0.200 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	154
Tablo 3.74: 0.200 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	155
Tablo 3.75: 0.400 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	158
Tablo 3.76: 0.400 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	158
Tablo 3.77: 0.400 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	158
Tablo 3.78: 0.400 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	158
Tablo 3.79: 0.400 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	159
Tablo 3.80: 0.400 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	159
Tablo 3.81: 0.400 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.....	159

Tablo 3.82: 0.400 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	159
Tablo 3.83: 0.400 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	160
Tablo 3.84: 0.400 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	160
Tablo 3.85: 0.400 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	160
Tablo 3.86: 0.400 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	160
Tablo 3.87: 0.400 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	161
Tablo 3.88: 0.400 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	161
Tablo 3.89: 0.400 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	161
Tablo 3.90: 0.400 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	161
Tablo 3.91: 0.400 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	162
Tablo 3.92: 0.400 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	162
Tablo 3.93: 0.400 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	163
Tablo 3.94: 0.400 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	164
Tablo 3.95: 0.400 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	164
Tablo 3.96: 0.400 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	164
Tablo 3.97: 0.400 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	164
Tablo 3.98: 0.400 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	165
Tablo 3.99: 0.400 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	165
Tablo 3.100: 0.400 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	165
Tablo 3.101: 0.400 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	165
Tablo 3.102: 0.400 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	166
Tablo 3.103: 0.400 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	166
Tablo 3.104: 0.400 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	166
Tablo 3.105: 0.400 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	166
Tablo 3.106: 0.400 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	167

Tablo 3.107: 0.400 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	167
Tablo 3.108: 0.400 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	167
Tablo 3.109: 0.400 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	167
Tablo 3.110: 0.400 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	168
Tablo 3.111: 0.800 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	171
Tablo 3.112: 0.800 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	171
Tablo 3.113: 0.800 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	171
Tablo 3.114: 0.800 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	171
Tablo 3.115: 0.800 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	172
Tablo 3.116: 0.800 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	172
Tablo 3.117: 0.800 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	172
Tablo 3.118: 0.800 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	172
Tablo 3.119: 0.800 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	173
Tablo 3.120: 0.800 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	173
Tablo 3.121: 0.800 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	173
Tablo 3.122: 0.800 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	173
Tablo 3.123: 0.800 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	174
Tablo 3.124: 0.800 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	174
Tablo 3.125: 0.800 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	174
Tablo 3.126: 0.800 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	174
Tablo 3.127: 0.800 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	175
Tablo 3.128: 0.800 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.	175
Tablo 3.129: 0.800 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	176
Tablo 3.130: 0.800 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	177
Tablo 3.131: 0.800 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	177

Tablo 3.132: 0.800 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	177
Tablo 3.133: 0.800 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	177
Tablo 3.134: 0.800 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	178
Tablo 3.135: 0.800 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	178
Tablo 3.136: 0.800 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	178
Tablo 3.137: 0.800 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	178
Tablo 3.138: 0.800 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	179
Tablo 3.139: 0.800 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	179
Tablo 3.140: 0.800 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	179
Tablo 3.141: 0.800 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	179
Tablo 3.142: 0.800 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	180
Tablo 3.143: 0.800 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	180
Tablo 3.144: 0.800 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	180
Tablo 3.145: 0.800 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	180
Tablo 3.146: 0.800 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.....	181

SEMBOL LİSTESİ

ϵ	: İndüksiyon Emk'sı
Φ_B	: Manyetik Akı
R_H	: Hall Katsayısı
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu
H	: Manyetik Alan Şiddeti
N	: Bobin Sarım Sayısı
V_H	: Hall Gerilimi
t	: Yarıiletken Kalınlığı
I_c	: Yarıiletken Üzerinden Geçen Akım
k	: Hall Katsayısı
M_R	: Magneto-resistive Etki
ρ_B	: Manyetik Alan Varlığında Özdirenç
ρ_0	: Manyetik Alan Olmadığı Durumda Özdirenç
l	: Permalloy Filmin Uzunluğu
w	: Permalloy Filmin Genişliği
t_h	: Permalloy Filmin Kalınlığı
$R(\theta)$: θ Açısına Bağlı Direnç
G	: Kazanç
E_{mag}	: Magnetostatik Enerji
E_{an}	: Anizotropi Enerjisi
a	: Gauss Eğrisi Yüksekliği
σ	: Standart Sapma

ÖNSÖZ

Eğitim hayatımın en önemli dönüm noktalarından birisi olan bu uzun soluklu çalışmada çok büyük emeği geçen, çalışkanlığı ile örnek aldığım Prof. Dr. Yavuz EGE'ye yardımları, destekleri ve anlayışı için gönülden teşekkürü borç bilirim. Kendisi ile çalışmak benim için gerçekten çok mutluluk verici bir deneyim oldu. Ayrıca bu uzun süreçte yapmış oldukları çok değerli öneriler ve yönlendirmeler için Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU ve Doç. Dr. Tayfun UZUNOğLU'na teşekkür ederim. Eğitim hayatımın başından bugüne kadar üzerimde emeği geçen, isimlerini burada sayamadığım bütün öğretmenlerime ve hocalarıma emekleri için minnettarım. Bununla birlikte TÜBİTAK ve Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne sağladıkları destekten dolayı teşekkür ederim.

Aynı çalışma grubunda yer almaktan mutluluk duyduğum Dr. Hakan ÇITAK ve Murat KABADAYI'ya arkadaşlıkları ve karşılık beklemeden yaptıkları tüm yardımlar için teşekkür ederim. Dostum Dr. Erdoğan ÖZDEMİR'e her daim yanımda olduğu ve beni desteklediği için ayrıca teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan annem Elif ÇORAMIK ve babam Salim ÇORAMIK ile en yakın arkadaşım olan kardeşim Ayşe'ye ne kadar teşekkür etsem azdır. Her güçlükte yanımda oldukları, yalnız bırakmadıkları ve güvendikleri için hepsine minnettarım. Ayrıca bu uzun süreçte bana hep destek olan ve sabreden sevgili eşim Emine ÇORAMIK ile hayatının ilk aylarında tez çalışmam sebebi ile kendisine çok az zaman ayırabildiğim kızım Emel'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. İyi ki varsınız.

Tezimi, erken yaşta aramızdan ayrılan kardeşim Emel GÜNGÖR'ün sonsuz ruhuna ithaf ederim.

1. GİRİŞ

Bu bölümde sırası ile tahribatsız muayene yöntemleri, boru iletim hatları ve önemi, boru hattı muayene araçları (pipeline inspection gauge - pig) ve türleri, LabVIEW programı ve literatürde manyetik akı kaçakları yöntemi ile gerçekleştirilen tahribatsız muayene çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

1.1 Tahribatsız Muayene Yöntemleri

American Society of Nondestructive Testing (ASNT) tahribatsız muayeneyi (non-destructive testing) “Nesnenin gelecekteki kullanımını etkilemeyecek bir teknoloji ile incelenmesidir” biçiminde tanımlamaktadır [1].

Malzemenin herhangi bir şekilde bütünlüğünü ve kullanılabilirliğini bozmadan yüzeyinde ve iç yapısında bulunan hatalarının ve metalürjik durumunun test edilmesine tahribatsız muayene denir. Tahribatsız muayene yöntemi ile malzemeler imalat esnasında veya belli bir süre kullandıktan sonra korozyon veya dış etkenler gibi nedenlerden dolayı oluşması mümkün olan, çatlak, boşluk, kesit azalması gibi hataların tespiti malzeme tahrip edilmeden gerçekleştirilir. Yüksek teknoloji ile birlikte, üretimin her safhasında ve kullanım esnasında uygulanması mümkündür. Tahribatsız muayene sadece standartlara uygun olmayan malzemeleri belirleyen bir yöntem değil, aynı zamanda iyi olan malzemenin de güvencesi olan bir yöntemdir. Ayrıca tahribatsız muayene çok geniş bir malzeme yelpazesinde (metallerden plastiklere ve seramiklere kadar) ve geniş uygulama alanında (imalat süreci kontrolü, çalışma esnasında denetleme, kusur boyutlandırma, korozyon ölçümü vb.) kullanılmaktadır [2-5].

Tahribatsız muayenenin avantajları şu şekilde sıralanabilir [6];

1. Tahribatsız muayene yönteminde parçanın benzeri değil bizzat kendisi muayene edilir. Dolayısıyla daha güvenilir sonuçlar elde edilir. Tahribatlı

muayenelerdeki numune alma sorunu ve numunenin parçanın bütününü temsil etme derecesindeki tereddüt ortadan kalkar.

2. Parçanın farklı özelliklerine ve farklı bölgelerinde hassas birçok tahribatsız muayene eş zamanlı ve art arda uygulanabilir.

3. Parça sayısı ne kadar çok olursa olsun, istenirse test numunesinin tamamı muayene edilebilir.

4. Tahribatsız muayene aynı parçada belirli zaman aralıkları ile tekrar edilebilir. Böylece yorulma ve işletme hasarının gelişimi takip edilebilir.

5. Tahribatsız muayene esnasında iş akışı bozulmaz, muayene için parçaların bir yerden bir yere taşınmasına gerek yoktur.

6. Tahribatsız muayenenin otomatik olarak gerçekleştirildiği pek çok uygulaması vardır. Yüksek hızlı muayene otomatları, üretim bantlarının hızını kesmeden plânlanan muayeneleri gerçekleştirebilirler ve uygun olmayan parçaları ayırabilirler. Bu sayede üretimde meydana gelen aksaklıkların, ortaya çıktıktan sonra en kısa zamanda ve en az kayıpla farkına varılarak düzeltilmesi mümkün olabilmektedir.

7. Tahribatsız muayene üretim sırasında esnasında yeni parçalara olduğu kadar, periyodik bakımlarda da uygulanır. Bazı hallerde parça, montajlı olduğu sisteme takılı olduğu yerden sökülmeden ve bazen de işletme hiç durdurulmadan muayene gerçekleştirilebilir. Bu durum tahribatsız muayenenin büyük bir üstünlüğü olarak düşünülebilir.

Endüstride en çok kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinin başlıcaları [2, 3, 6, 7] ;

- Görsel Muayene,
- Ultrasonik Muayene,
- Girdap Akımları (Eddy Akımı) ile Muayene,

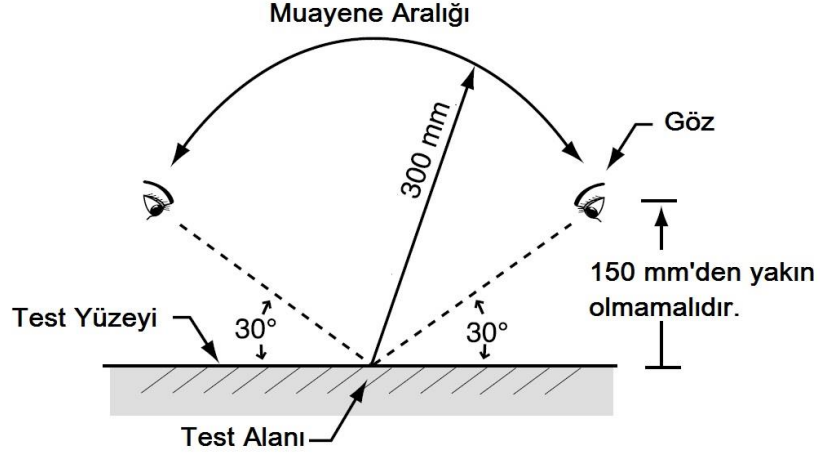
- Radyografik (Röntgen Işınları) ile Muayene,
- Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayene,
- Manyetik Parçacık (Partikül) ile Muayene,
- Manyetik Akı Kaçakları (Magnetic Flux Leakage) ile muayene olarak sıralanabilir.

Bundan sonraki alt başlıklarda sırası ile yukarıda adı geçen tahribatsız muayene yöntemlerinden bahsedilecektir.

1.1.1 Görsel Muayene

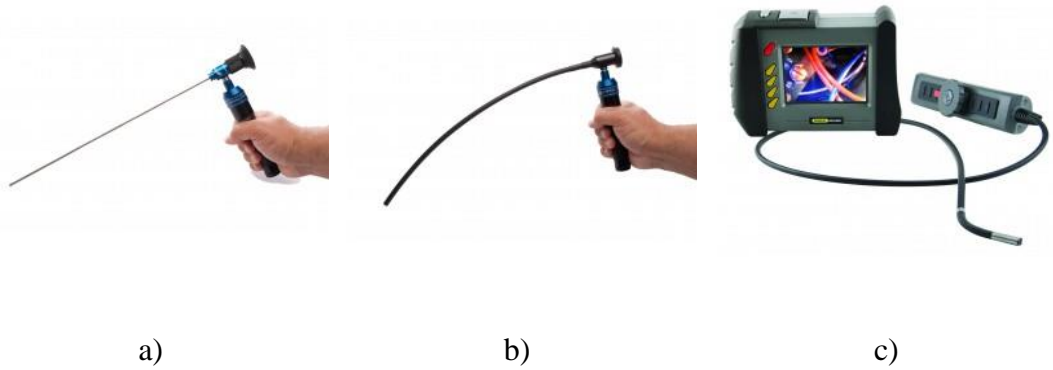
Görsel muayene tahribatsız muayene endüstrisinde ilk kullanılan, en temel ve en basit tahribatsız muayene yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntemde bir ürün yüzeyinde yer alan süreksizlikler ve yapısal bozuklukların büyüteç gibi optik yardımcılar kullanılarak ya da kullanılmadan tespit edilmeye çalışılmaktadır. Genellikle başka tahribatsız muayene yöntemleri uygulanmadan önce görsel muayenenin gerçekleştirilmesi ve bulgularının kayıt altına alınması istenmektedir. Bu yöntem metal olan ya da olmayan bütün malzemelere uygulanabilmektedir. Yeterli ışık altında ve uygun bakma açıları ile çoğu zaman ön hazırlığa ihtiyaç duymadan gerçekleştirilmektedir [3, 7- 9].

Görsel muayene doğrudan ve uzaktan olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Doğrudan muayene, ayna, kamera ya da başka aletler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Görsel muayene esnasında incelenecek cisim ile göz arasında minimum 30° lik açı olması ve incelemenin 610 mm'lik uzaklıktan daha yakında yapılması gerekmektedir (Şekil 1.1) [7].



Şekil 1.1: Doğrudan görsel muayene.

Uzaktan görsel muayene aletleri kronolojik olarak üç alt kategori altında incelenebilir; boreskoplar, fiberskoplar ve video kameralar. Boreskoplar ya da diğer adı ile endoskoplar içi boş bir tüp ve aynadan yapılmışlardır ve asıl kullanıma amaçları silahların ya da topların namlularının içini incelemektir. Yapısı gereği endoskopların sadece düz bir bölgeye erişimi mümkündür. Endoskopların bu esnek olmayan yapısı fiber optik görüntüleme yönteminin gelişimi ile yerini fiberskoplara bırakmıştır. Son olarak ise kameraların bu alanda kullanılması ile yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmeye başlanmıştır [7-9]. Bu üç uzaktan görsel muayene aletine ilişkin görüntüler Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2: Uzaktan görsel muayene aletleri a) Boreskop, b) fiberskop c) kamera [10].

Görsel muayenenin kameralar yardımı ile gelişmesi sonucunda bu yöntemin kullanım alanı da oldukça genişlemiştir. Kullanım alanları arasında;

- Tank ve kazanlar,
- Binalar,
- Fosil yakıt enerji santralleri,
- Nükleer enerji santralleri,
- Havacılık ve uzay,
- Rafineri tesisleri bulunmaktadır [7].

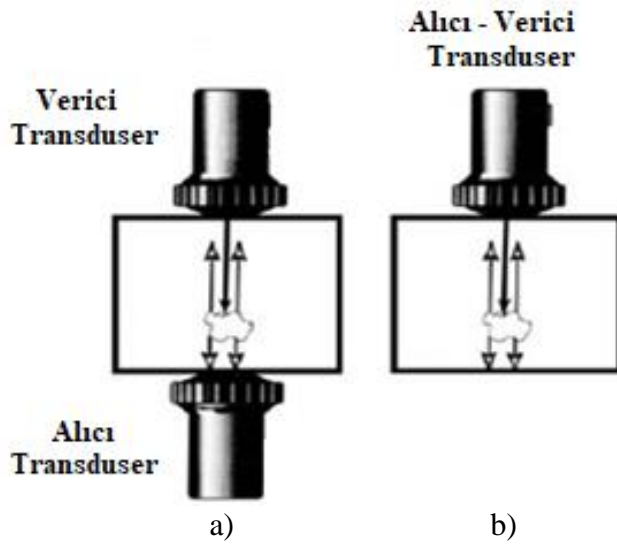
1.1.2 Ultrasonik Muayene

Ultrasonik muayene yüksek frekanslı ses dalgalarının malzeme içindeki ya da yüzeyindeki kusurların belirlenmesi amacı ile günümüzde yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesidir. İnsan kulağı yaklaşık olarak 20 Hz ile 17 kHz aralığında yer alan frekansa sahip sesleri duyabilir. Ultrasonik dalgalar ise insan kulağı tarafından duyulamayan ses dalgalarıdır. Tahribatsız muayene yöntemlerinde ultrasonik dalgalar genellikle 0.1 - 25 MHz frekans aralığında kullanılırlar.

Ultrasonik teknikler ve teori oldukça karmaşık olmasına rağmen ultrasonik muayenenin ardındaki temel kavramlar oldukça basittir. Ultrasonik dalgalar hava ve sıvılar içinde ilerleyebildiği gibi katılar içinde de ilerleyebilir. Katı içinde ilerleyen bu dalgalar hareket ederken matematiksel olarak ifade edilebilecek bir biçimde katı ile etkileşim içinde olurlar. Ayrıca ultrasonik dalgalar malzeme içinde ilerlerken enerji kaybederler ve yüzeylerden yansır. Yansıyan ses dalgaları, süreksizliğin ya da kusurun varlığının ve konumunun belirlenmesi için analiz edilir. Çatlaklar, boşluklar, gözenekler ve diğer süreksizlikler yansıtıcı yüzey oluşturdukları için kolay bir biçimde ultrasonik muayene ile belirlenebilirler. Malzeme içinde yer alan kalıntılar ve homojen olmayan diğer durumlar da kısmen yansıma ya da ultrasonik dalgaları saçmaları sebebi ile tespit edilebilir.

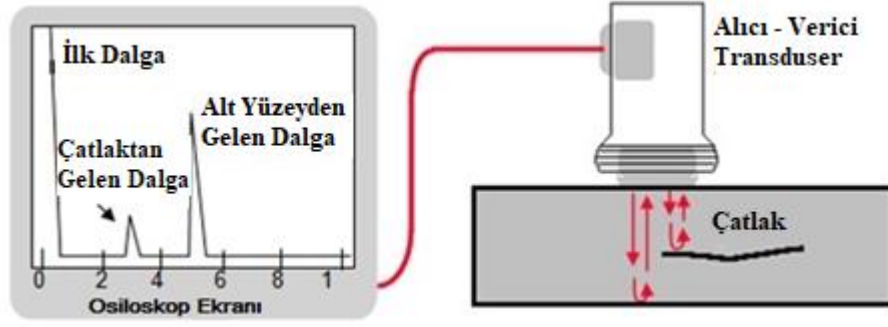
Ultrasonik muayene metallerin muayenesinde öncelikli olarak iç kusurların karakterizasyonu için kullanılmaktadır. Ayrıca yüzey kusurlarının belirlenmesinde, malzemenin kalınlığının ölçülmesinde, korozyonun derecesinin belirlenmesinde ve fiziksel özelliklerin, yapının ve elastiklik sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Ultrasonik muayenenin temel tekniği oldukça basittir. Bir transduser elektrik sinyalini ultrasonik dalgaya dönüştürür. Bu transduser test edilecek malzeme üzerine yerleştirilir ve malzemeye ultrasonik dalgayı iletir. Ultrasonik dalga malzeme içinde malzemenin geometrisine ve özelliklerine göre ilerler. Ardından bu dalga ya başka bir transduser ya da ilk dalgayı gönderen transduser ile geri alınır. Her iki yolda da alınan ultrasonik dalga tekrar elektrik sinyaline dönüştürülür ve bir osiloskop ile görüntülenir. Şekil 1.3'te her iki yöntemin çalışma biçimi verilmiştir.



Şekil 1.3: a) Çift ve b) tek transduser ile ultrasonik muayene [1].

Malzeme içinde bulunan kusurlar ultrasonik dalgalarda saçılmalara sebep olurlar. Bu saçılma bir eko (yankı) olarak ortaya çıkar. Yankının özellikleri kullanılarak kusurun konumu, büyüklüğü ve şekli hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ultrasonik dalgalar ile bu şekilde kusurun varlığının bulunmasının yanı sıra kusurun büyüklüğü de bulunabilir. Şekil 1.4'te içerisinde çatlak bulunan bir malzemede ultrasonik yöntemin uygulanması sırasında çatlak ve alt yüzeyden gelen ekoların osiloskop ekranında ortaya çıkardığı görüntü görülmektedir.



Şekil 1.4: Ultrasonik yöntem uygulaması [11].

Ultrasonik muayene sistemleri temel olarak aşağıdaki donanımları içerirler;

- Bir elektronik sinyal üretici,
- Ultrasonik dalgaları yayınlayacak bir transduser,
- Test edilecek parçaya ultrasonik dalgalar olarak enerjinin verilebilmesi için temas malzemesi (jel/sıvı),
- Malzemeden yansıyan ultrasonik dalgaları alan ve tekrar elektrik sinyaline dönüştüren bir transduser. Birçok sistemde transduser genellikle hem ultrasonik dalgaları test malzemesine gönderir, hem de malzemeden yansıyan ses dalgalarını alır.
- Transduserden gelen sinyalleri yükselten ya da gerekli olması durumunda düzenleyen bir elektronik devre,
- Test edilen malzemeden elde edilen sonuçları göstermek ya da kayıt altına almak için bilgisayar, osiloskop ya da monitör.
- Sistemin farklı bileşenlerini çalışmasının kontrol edilmesi ve sistemin koordinasyonunun sağlanması amacı ile elektronik bir zamanlayıcı ya da saat.

Ultrasonik muayene ile havacılık, boru iletim hatları, demiryolları, güç sektörü ve diğer endüstri kollarında ultrasonik muayenenin birçok uygulaması gerçekleştirilebilir. Ultrasonik test iletim hatlarında meydana gelebilecek ve yüzlerce insanın yaşamına mal olabilecek kazaların önüne geçilmesi adına çatlakların ve metal yorulmasına bağlı hasarların belirlenmesi amacı ile de kullanılmaktadır. Ayrıca

askeri helikopterlerin pervanelerinin periyodik bakımlarında ve tıp alanında da kullanımı mevcuttur [1, 8, 11].

1.1.2.1 Ultrasonik Muayene Yönteminin Avantajları

Ultrasonik muayene yönteminin getirmiş olduğu avantajlar aşağıdaki gibidir [1, 7,8, 11];

1. Malzeme içine nüfuz gücü oldukça yüksektir. Bu sayede malzeme içinde derinde yer alan kusurların tespiti sağlanabilir.

2. Oldukça küçük kusurların belirlenmesinde yüksek hassasiyete sahip olması sebebi ile kullanışlıdır.

3. Malzeme içinde yer alan kusurların konumunun, şeklinin, büyüklüğünün belirlenmesinde doğruluğu oldukça yüksektir.

4. Elektronik bir işlem olduğu için kusurların anlık olarak belirlenmesi sağlanabilir. Bu sayede hızlı bir biçimde yorumlanması gereken muayenelerin yanı sıra otomasyon, süreç kontrolü ve üretim izleme amacı ile de kullanılabilir. Ayrıca muayene sonuçları kayıt altına alınarak daha sonraki işlemler için referans olarak kullanılabilir.

5. Sağlık açısından herhangi bir risk içermez.

6. Kullanılan ekipmanlar hafiftir ve taşınabilir özelliğe sahiptir.

7. Kontrol malzemenin sadece bir yüzeyinden gerçekleştirilebilir.

8. Yüksek sıcaklıklarda doğru ekipman kullanımı ile muayene mümkün olabilir.

9. Muayene esnasında personelin alandan tahliyesi gerekli değildir.

10. Gerçekleştirilen testler kolaylıkla tekrar edilebilir.

1.1.2.2 Ultrasonik Muayene Yöntemin Dezavantajları

Ultrasonik muayene yönteminin dezavantajları/sınırlılıkları aşağıda verildiği gibidir [1, 7,8] ;

1. Ultrasonik muayenede işlemler oldukça deneyimli teknisyenler tarafından dikkatli bir biçimde gerçekleştirilmelidir.

2. Denetim prosedürlerinin uygulanabilmesi amacı ile geniş teknik bilgi gereklidir.

3. Homojen olmayan, pürüzlü, belirli bir şekle sahip olmayan, çok küçük ve ince parçalar üzerinde uygulanması zordur.

4. Yüzeyin hemen altında yer alan süreksizlikler tespit edilemeyebilir. Bunun yanı sıra ultrasonik dalgaların ilerleme yönüne paralel olan çatlaklardan ultrasonik dalgalar geri yansıyamayacağı için bu yöntem ile belirlenmeleri mümkün olmamaktadır.

5. Transduser ve incelenen malzeme arasındaki ultrasonik dalganın etkin iletimini sağlamak için jel/sıvı malzeme kullanımı gereklidir.

6. Hem ekipmanın kalibrasyonu hem de kusurların karakterizasyonu için referans standartlarına ihtiyaç vardır.

7. Ultrasonik yöntemlerin uygulanması maliyetli olabilmektedir.

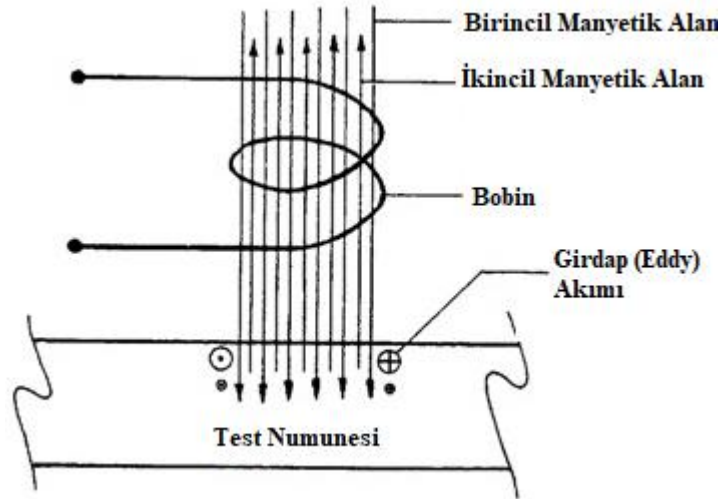
8. Çok ince kesitler üzerinde yapılan muayenelerde çözünürlük problemi ortaya çıkarabilmektedir.

1.1.3 Girdap Akımları (Eddy Akımları) ile Muayene

Girdap akımları ile muayene elektromanyetik olarak gerçekleştirilen tahribatsız muayene yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Ayrıca bu yöntem elektromanyetik açıdan en eski tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesi olarak bilinmektedir. Girdap akımları ile muayenenin

temelleri 19. yüzyılın başlarında elektrik akımı ve manyetizma arasındaki ilişkilerin bulunması ile başlamıştır. Oersted ve Faraday'ın ortaya koyduğu elektromanyetizma ve elektromanyetik indüksiyon kavramları girdap akımları yönteminin ana hatlarını oluşturmaktadır. Oersted, Faraday, Henry ve Lenz'in çalışmaları ve 1864 yılında Maxwell tarafından elektromanyetik teori denklemlerinin ifade edilmesi sonucunda girdap akımları tam anlamıyla anlaşılır hale gelmiştir [7, 12].

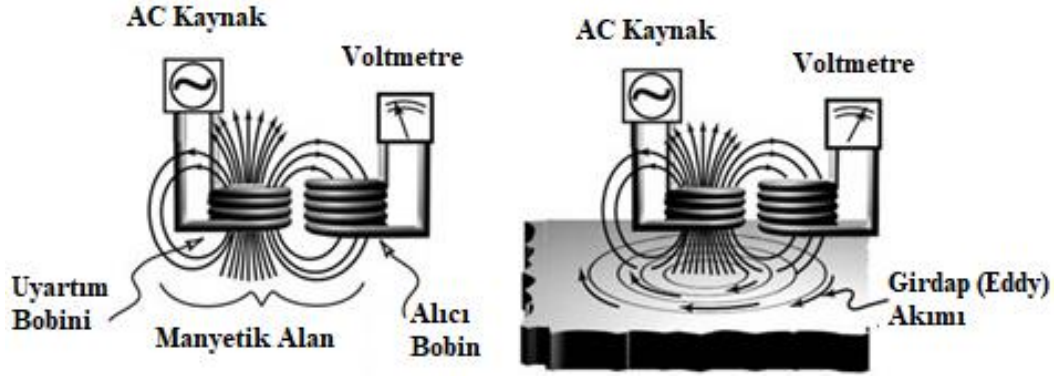
Girdap akımları ile muayene tekniğinde bir bobin üzerinden alternatif akım geçirilir. Bobin üzerinden geçen alternatif akım, bobinin merkezinde düzgün olacak biçimde bir alternatif manyetik alan ortaya çıkmasını sağlar. Bu bobin elektriksel olarak iletken olan bir malzeme yakınına getirildiğinde, alternatif manyetik alan malzeme üzerinde dairesel olacak biçimde girdap akımlarının oluşmasını sağlar. İndüklenen girdap akımları da zıt yönde ikincil bir manyetik alan oluşturur (Şekil 1.5). Meydana gelen bu ikincil manyetik alan ilk manyetik alanı zayıflatıcı yöndedir ve test bobini tarafından bu değişim ölçülebilir. Üzerinde herhangi bir kusur olmayan numune ile kıyaslandığında, çatlak ve boşluk gibi metal kayıplarının iletkenliği belirgin bir biçimde değiştirdiği bilinmektedir. İletkenlikte ortaya çıkan bu değişim de oluşan akım ve manyetik alanda farklılıklar ortaya çıkmasını sağlamaktadır [1, 9].



Şekil 1.5: Girdap akımları ile muayene çalışma prensibi [9].

Yukarıda anlatılan yöntemden farklı olarak uyarım ve toplama bobini olarak adlandırılan iki bobinin kullanıldığı girdap akımları ile muayene yöntemi de mevcuttur. Tek bobinin kullanıldığı durumda bobindeki empedans değişimine

odaklanılmaktadır. İki bobinin kullanıldığı girdap akımları ile muayene yönteminde ise, ikinci bobinin (toplama bobini) uçları arasında indüklenen gerilim okunmaktadır. Bu yöntemin her iki uygulama biçimi de aynı temeller üzerine kurulmuştur. İki bobinli girdap akımları yönteminin çalışma prensibine ait görsel Şekil 1.6'da verilmiştir [1].



Şekil 1.6: İki bobinli girdap akımları yönteminin çalışma prensibi [1].

Gerçekleştirilen muayenenin performansı malzemenin iletkenliğine, geçirgenliğine, uygulanan frekansa, kullanılan bobinin tasarımına ve lift-off olarak adlandırılan malzeme ile ölçüm sistemi arasındaki mesafeye bağlıdır. Test edilecek malzemenin iletkenliğinin fazla olması yüzeydeki süreksizliklerin belirlenme hassasiyeti için oldukça kullanışlıdır. Fakat girdap akımları malzeme içine daha az gireceği için yüzeyden uzak olan süreksizliklerin belirlenmesi güçleşecektir. Geçirgenlik değişkeni ise sadece ferromanyetik malzemeler için etkilidir. Geçirgenlik, girdap akımlarının malzeme içine nüfuz etmesini sınırlamaktadır. 50 Hz ile 10 MHz arasındaki frekanslarda gerçekleştirilen girdap akımları ile muayene yönteminde frekansın artması yüzey süreksizliklerine yönelik hassasiyetin artması anlamına gelmektedir. Frekans azaldığında ise girdap akımlarının malzemeye nüfuz etmesi artmaktadır. Bobin tasarımı da hem nüfuz etme yeteneği hem de hassasiyeti etkileyen ana unsurlardan birisidir. Bobin çapı doğrudan tespit edilebilecek en küçük süreksizliğin uzunluğu ile orantılıdır. Akı yoğunluğu, bobin ve test edilecek malzeme arasındaki mesafe ile üssel olarak değiştiği için, bobin-numune mesafesi hassasiyeti doğrudan etkilemektedir [4,7].

Girdap akımları ile tahribatsız muayene yöntemi havacılık ile ilgili yapıların ve motorların incelenmesi, tüp, boru, kablo üretim testleri; nükleer ve fosil yakıt

enerji sistemlerinin, kimyasal ve petrokimyasal fabrikaların boru hatlarında kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem manyetik olmayan metallerin üzerinde yer alan plastik kaplama ve boya kalınlığının ölçülmesinde de kullanılmaktadır [7, 13].

1.1.3.1 Girdap Akımları (Eddy Current) ile Muayenenin Avantajları

Girdap akımları ile muayenenin diğer yöntemlere göre avantajları şu şekilde ifade edilebilir [1, 4];

1. Girdap akımları yöntemi temassız olarak kullanıldığı için ultrasonik, penetrant ve manyetik parçacık yöntemlerine göre büyük bir avantaj sağlar. Bu sayede yüksek hızda muayene işlemleri gerçekleştirilebilir.

2. Penetrant ve manyetik parçacık ile muayene yöntemleri gibi yüzeyin önceden hazırlanmasına gerek yoktur.

3. X-ışınları yöntemine göre maliyeti daha düşüktür.

4. Yüksek sıcaklık altında kullanılabilen birkaç yöntemden birisidir.

5. Alan kullanımı için geliştirilen ekipmanlar hafiftir ve taşınabilir özelliğe sahiptir.

6. Bu yöntemde herhangi bir jel ya da temas malzemesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Sadece üretilen manyetik alan kullanılarak muayene gerçekleştirilir.

7. Herhangi bir radyasyon ya da benzeri bir tehlike içermediği için güvenlidir.

8. Çok değişik çaplardaki malzemelere kolayca uygulanabilir.

1.1.3.2 Girdap Akımları (Eddy Current) ile Muayenenin Dezavantajları

Girdap akımları ile muayenenin diğer yöntemlere göre avantajları şu şekilde ifade edilebilir [1, 4,7];

1. Test edilecek malzeme elektriksel olarak iletken olmalıdır.
2. Sadece yüzey ve yüzeye çok yakın bölgelerde yer alan kusurlar belirlenebilir.
3. İstenmeyen sinyalleri azaltmak için önemli derecede kullanıcı eğitimi veya karmaşık algoritmalar gerekmektedir.
4. Sadece araştırma yapılan yüzeye dik olan çatlakların belirlenmesinde kullanılabilir.
5. Ferromanyetik malzemeler için yüzeyin altında yer alan süreksizliklerin tespit edilmesi oldukça güçtür. Bunun için malzemenin manyetik olarak doyurulması gerekmektedir.
6. Muayene hızı test frekansına bağlı olarak sınırlıdır.

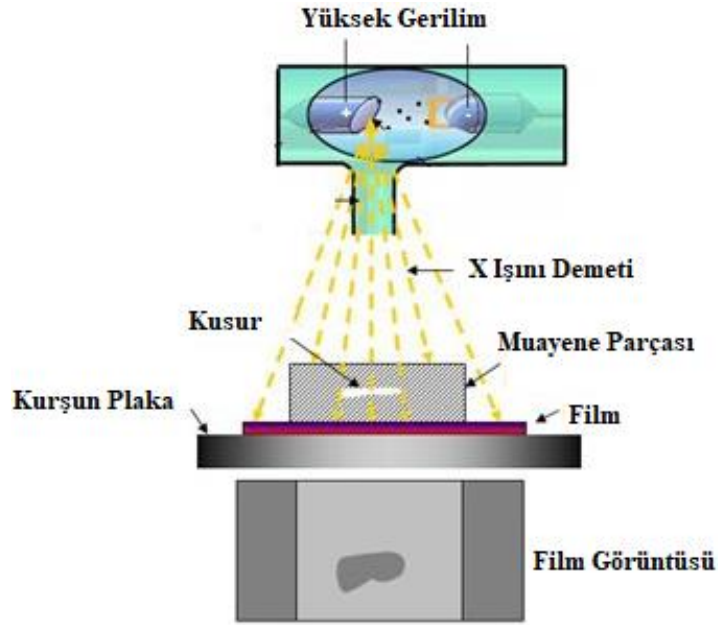
1.1.4 Radyografik Muayene

Radyografik muayene ferromanyetik olsun ya da olmasın tüm malzemelerde kullanılabilen tahribatsız bir muayene yöntemidir. Radyografi tüm malzeme çeşitleri üzerinde uygulanabilen bir yöntemdir. Ayrıca malzemenin iç yapısının incelenebildiği birkaç yöntemden bir tanesidir. Bunun yanı sıra radyografi yüz yıldan uzun bir süredir kullanılan temel bir tekniktir.

X ışınları ve gama ışınları elektromanyetik dalgalardır. Bu her iki ışının dalgaboyu çok küçük olduğu için görünür ışığı bloklayabilen malzemelerin içinden geçebilirler ve gözle görülemezler. X ışınları görünür ışıktan 100 ile 100000 kat daha fazla enerjiye sahiptir.

X ışınları ya da gama ışınları kullanılarak malzeme içindeki yapısal değişiklikler, hatalar ve kalınlık farkları kolaylıkla bulunabilmektedir. Endüstriyel olarak kullanılan radyografide en önemli kural, test edilecek malzemenin bir tarafında x ya da gama ışını kaynağının diğer tarafında ise algılayıcının bulunmasıdır. Genellikle algılayıcı (dedektör) olarak film kullanılmaktadır. Bu

filmler kayıt ve depolamayı sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Test edilen numunenin arka tarafına konulan filmin bir yüzeyi ışınların kolayca geçebileceği şekilde ayarlanmalıdır. Diğer yüzeyler ise ışığı geçirmeyecek şekilde kapatılır. Bu sayede hata payı düşürülmüş olacaktır. X ışınları malzeme içinde yer alan boşluklarda daha az, malzemenin diğer kısımlarında ise daha fazla soğurulurlar. Bu boşluklar ya da hatalar film üzerinde daha koyu lekelenmelere sebep olurlar ve bu lekelenmelere bakılarak hatalar belirlenebilir. Radyografi ile muayene yönteminin şematik olarak çalışma biçimi Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7: Radyografik muayenenin çalışması [11].

Kullanılacak ışının enerjisinin test edilecek malzemeyi delebilecek (geçebileceği) güçte seçilmesi gerekmektedir. X ışını tüpüne uygulanan gerilim sayesinde ışının delme gücü değiştirilebilir. Örneğin çelik üzerinde gerçekleştirilecek bir testte, inç başına 1000 Volt verilmesi gerekmektedir. Endüstriyel amaçla kullanılan radyografik muayenede x ışını 50 keV ile 350 keV arasında değişen enerjiye sahiptir. Benzer şekilde gama ışını kaynağı olarak ta İridyum 192 (Ir-192) ile Kobalt 60 (Co-60) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Selenyum 75 (Se-75), Ytterbiyum 169 (Yb-169) ve Tulyum 170 (Tm-170) izotopları da radyografik muayenede kullanılmaktadır.

Radyografik muayenede yer alan ve kontrol altında tutulan değişkenler; kullanılan ışınların enerjisi, maruz kalma süresi, malzemenin türü, yoğunluğu ve kalınlığı, kullanılan filmin çeşidi ve yoğunluğu, malzeme ile ışın kaynağı arasındaki uzaklık ve malzeme ile film arasındaki uzaklık olarak verilebilir [1, 7, 11].

1.1.4.1 Radyografik Muayenenin Avantajları

Radyografik muayene yönteminin diğer yöntemlere göre belirgin olan avantajları şu şekildedir [1, 2, 3, 7];

1. Diğer tahribatsız muayene yöntemlerinin aksine çalışılan malzemenin türüne herhangi bir bağıllık söz konusu değildir. Her tür malzemede kullanılabilir.

2. Uzun süredir yaygın biçimde kullanılan ve kendini ispatlamış bir yöntemdir.

3. Diğer birçok yönteme göre en büyük avantajı çıktının resimsel bir doküman olması ve yorumlanmasının daha kolay olmasıdır.

4. Hacimsel olarak inceleme yapmaya izin veren bir tahribatsız muayene yöntemidir.

5. Görüntülerin analiz edilmesi ve yorumlanması beceri ve deneyim gerektirmektedir. Fakat kullanıcı uzman yorumu olmadan da süreksizliğin var olup olmadığı kolaylıkla anlaşılabilir.

6. Süreksizliğin kalınlıkta oluşturduğu incelmeye bağlı olarak oldukça hassas olabilir.

1.1.4.2 Radyografik Muayenenin Dezavantajları

Radyografik muayene yönteminin sınırlılıkları şu şekilde ifade edilebilir [1, 2, 3, 7];

1. Radyasyonun tehlikesinin yanı sıra x-ışınlarını oluşturmak için gerekli olan yüksek gerilim ihtiyacı ve kullanımı da oldukça dikkat edilmesi gereken bir konudur.

2. Pahalı bir yöntemdir.

3. Test edilecek malzemenin yoğunluğuna ve ışının enerjisine bağlı olarak kalınlık ile ilgili sınırlılıklara sahiptir.

4. Uygulamaları zaman alıcı olabilir.

5. Radyografik muayene yöntemini kullanacak olan personelin deneyimli olması gerekmektedir.

6. Ekipmaları ve sarf malzemeleri yüksek maliyetlidir.

7. Otomasyona uygulanması esnasında sorunlar ortaya çıkabilir.

8. Malzeme içinde yer alan hatanın derinliği hakkında detaylı bilgi elde edilmesi zordur.

9. Yüzeyde yer alan hatalar için çok uygun bir yöntem değildir.

1.1.5 Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayene

Sıvı emdirme (Penetrant sıvısı) ile muayene yöntemi ferromanyetik olsun ya da olmasın tüm malzemelerin yüzeye açık olan süreksizliklerin tespitinde kullanılabilen bir yöntemdir. Bu süreksizlikler üretim esnasındaki işlemler esnasında, kullanım sonucunda ya da çevre şartları sebebi ile meydana gelebilmektedir. Yaygın bir yöntem olarak kullanılan penetrant sıvısı ile muayene yöntemi temel olarak kılcallık olayı ile ilgilidir. Muayene edilen yüzeyde yer alan yüzeye açık süreksizlikler kapiler etki ile çatlaklara nüfuz eden penetrant sıvısının geliştirici (developer) yardımı ile tekrar yüzeye çıkarılması sonucunda belirlenmektedir.

Taşınabilir bir yöntem olması da genellikle uzak konumlarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. [1, 4, 11, 14, 15].

Penetrant sıvısı ile gerçekleştirilen muayenenin aşamaları ve uygulama ayrıntıları aşağıda verildiği biçimdedir [3, 4, 8,11];

Yüzeyin hazırlanması (temizlik); Test edilecek malzemenin yüzeyi yağ, su ve diğer kirlere arındırılarak kurulur. Bu sayede çatlakların ortaya çıkması ve gözlemlenmesi daha sağlıklı biçimde gerçekleşir. Uygun biçimde temizliğin gerçekleştirilmemesi sonucunda penetrant çatlak içine girmeyebilir, kir ile birleşerek çatlakların görünmesini maskeleyebilir ya da ikaz yeteneğini kaybedebilir. Bu sebeple uygulama öncesinde boya ya da astar gibi kaplamalar ve çapaklar dikkatli bir biçimde temizlenmelidir. Temizleme işlemi kimyasal yol ile ya da mekanik yol ile gerçekleştirilebilir. Kimyasal biçimde gerçekleştirilen temizlikte yüzey temizleyici spreylere ya da sıvılar kullanılırken, mekanik temizlikte ise zımpara ya da fırça gibi aletler yardımı ile yüzey muayeneye hazırlanır.

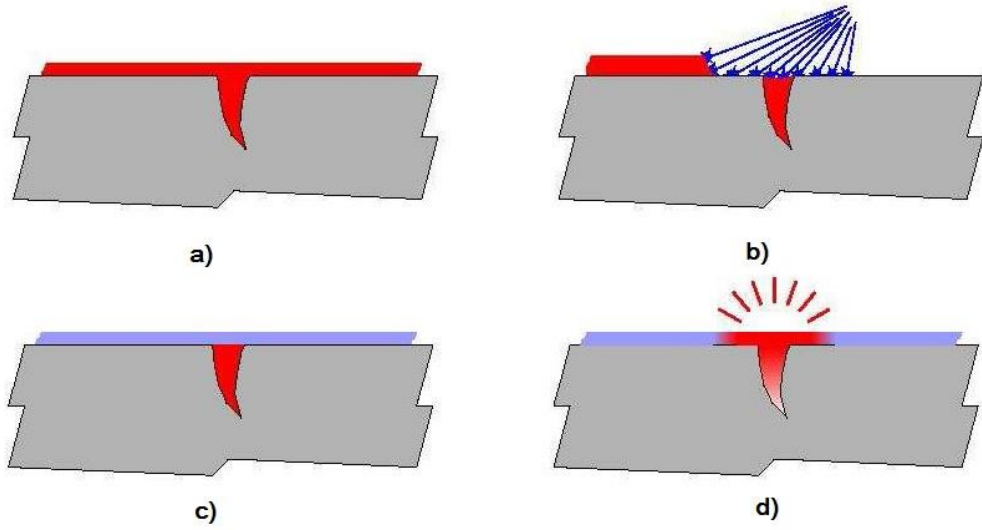
Penetrasyon; Muayenede kullanılan penetrantlar yüksek kılcallığa sahip sıvılardır. Temizlenen malzemenin üzerine penetrant bir tabaka oluşturacak şekilde fırçalama, püskürtme vb. yöntemlerle uygulanır. Küçük parçalar penetrant sıvısının içine daldırılabilir. Uygulanan penetrantın malzeme içindeki çatlaklara nüfuz edebilmesi için belli bir süre (ortalama 15 dk.) beklenmelidir. Bazı durumlarda penetrantın daha iyi nüfuz edebilmesi için parçalar ısıtılabilir. Bu aşamada kullanılan penetrant sıvılar renklerine göre renkli (genellikle kırmızı) ya da floresan, yıkanma şekline göre de su ile yıkanabilen, sonradan su ile yıkanabilen ve solventle yıkanabilen olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Şekil 1.8-a).

Fazla penetrantın alınması; Yüzeyde kalan fazla penetrant cinsine göre bir eritici ya da su ile temizlenir. Bu sayede ince çatlakların ortaya çıkması kolaylaştırılır. Yüzeyde kalan penetrant iyi biçimde temizlenmezse çatlakların belirlenmesi zorlaşabilir (Şekil 1.8-b).

Geliştirici (developer) uygulanması; Temizlenen yüzeye geliştirici (developer) adı verilen malzeme uygulanarak çatlak içindeki penetrant sıvısının yüzeye tekrar çıkması ve görünür hale gelmesi sağlanır. Geliştiriciler de kuru

geliştiriciler ya da sıvı geliştiriciler olmak üzere iki farklı biçimde kullanılabilir (Şekil 1.8-c).

Muayenenin gerçekleştirilmesi; Geliştirici uygulandıktan sonra yeterli ışık altında çatlakların varlığı ve konumu belirlenir. Floresans ile görülen penetrantlar için karanlık ortam gereklidir. Floresan penetrantlar için ultraviyole (UV) ışık kaynakları kullanılır ve bu sayede çatlaklar görünür hale getirilir (Şekil 1.8-d).



Şekil 1.8: a) penetrasyon b) fazla penetrantın alınması c) geliştirici uygulanması d) muayenenin gerçekleştirilmesi.

1.1.5.1 Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayenenin Avantajları

Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile muayene yönteminin getirmiş olduğu avantajlar aşağıdaki gibidir [1, 2, 15, 16];

1. Uygulama yöntemi diğer yöntemlere göre daha kolay, hızlı ve ekonomiktir. Büyük hacimli parçaların test edilmesinde kullanılabilir.

2. Bütün metallere uygulanır ve ferritik olmayan metallerde yüzey çatlakları için en iyi yöntemdir.

3. Penetrant sıvısı ile muayene yöntemi metallere, seramiğe, cama ve plastiğe kadar çok farklı türde malzemenin muayenesinde kullanılabilir.

4. Otomasyona uygundur.
5. Test edilen malzemenin yüzey şekli karmaşık olsa bile penetrant sıvısı ile muayene yöntemi tek uygulamada başarılı olabilmektedir.
6. Penetrant sıvısı çok küçük süreksizlikleri bile görünür hale getirerek belirlenmesini sağlayabilmektedir.
7. Malzeme üzerinde ortaya çıkan penetrant izleri süreksizliğin konumunu, yönelimini ve yaklaşık olarak uzunluğunu ortaya çıkarabilirler.

1.1.5.2 Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile Muayenenin Dezavantajları

Sıvı Emdirme (Penetrant Sıvısı) ile muayene yönteminin dezavantajları/sınırlılıkları aşağıda verildiği gibidir [1, 2, 15, 16];

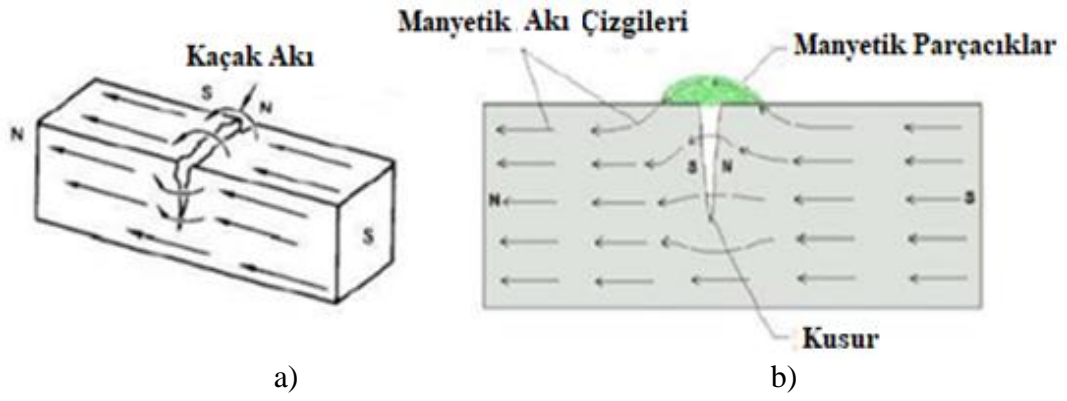
1. Penetrant sıvısı ile muayene yüzeye açık olmayan süreksizliklerin belirlenmesinde etkili değildir. Yüzey altında yer alan süreksizlikler bu yöntem ile belirlenemez.
2. Aşırı pürüzlü ve gözenekli yüzeylerin testinde sağlıklı sonuç alınamaz, yanlış sonuçlar elde edilebilir.
3. Hassasiyeti düşüktür.
4. Önemli miktarda eriyen malzeme kullanılır.
5. Penetrant sıvısının yüzeyde yer alan kusuru belirleyebilmesi için ön temizliğe ihtiyaç vardır.
6. Muayene esnasında kullanılan penetrant, developer gibi sıvılara uzun süreli temas edilmesi durumunda ciltte sorunlar ortaya çıkabilir.
7. Penetrantlar genellikle petrol bazlı sıvılardır ve kullanılmaları durumunda plastik ve kauçuk gibi metal olmayan malzemelerin yumuşamasına ya da hasar görmesine olmasına sebep olabilir.

8. Sıcaklık ve nem gibi çevresel şartlar yöntemin hassasiyetini etkileyebilmektedir.

1.1.6 Manyetik Parçacık (Partikül) ile Muayene (MPM)

Manyetik parçacık ile muayene, ferromanyetik malzemeden üretilmiş yapılarda yüzey ve yüzeye yakın bulunan süreksizliklerin belirlenmesini sağlayan tahribatsız bir muayene yöntemidir. MPM temel manyetizma kuralları sayesinde gerçekleşir ve uygulanması basit bir yöntemdir [7].

Ferromanyetik bir malzeme üzerinde çatlak/kusur testi gerçekleştirilecek ise yüzeye yakın ya da yüzeyde bulunan olası hataların belirlenmesi için kullanılacak en ekonomik tahribatsız muayene tekniklerinden bir tanesi manyetik parçacıklar ile muayenedir. Öncelikle incelenecek olan malzeme manyetize edilir. Manyetize edilen malzeme içinde ve çevresinde oluşan manyetik akı çizgileri, yüzey altındaki süreksizlikler ya da yüzeydeki çatlaklar sebebi ile kusursuz numuneye göre farklılıklar gösterir. Akı çizgileri, çizgileri kesen çatlak gibi bir süreksizlik ile karşılaşılırsa, çatlağın uçları arasında Şekil 1.9-a'da gösterildiği gibi ikincil manyetik kutuplar ortaya çıkar. Küçük parçalara ayrılmış ferromanyetik parçacıklar toz ya da sıvı süspansiyon halinde test edilen malzemenin yüzeyine uygulanırsa numune üzerindeki ya da yüzeye yakın noktadaki süreksizlikler ve çatlaklar görünür hale getirilebilir (Şekil 1.9-b) [1, 12, 17]. Manyetik parçacık ile muayene yönteminde manyetik tozlar, malzeme hata bulunan yerdeki manyetik geçirgenliğin farklı olması sebebi ile yüzey ve yüzeyinden en fazla 6 mm derinlikteki hatalar üzerinde hatanın şekline benzer biçimde toplanırlar [4].



Şekil 1.9: a) Kaçak akı çizgileri oluşumu b) manyetik parçacıkların toplanması [2].

Bu yöntemde malzeme içinde oluşturulan manyetik alana dik olacak şekilde yönlenmiş olan kusurlar belirgin bir biçimde belirlenebilirken, manyetik alana paralel olan hatalar iyi bir şekilde algılanamaz [4]. Bu durumun sebebi manyetik alana paralel olan kusurların manyetik akıda çok büyük kaçaklara yol açmamasıdır.

Manyetik parçacıklar kullanılarak muayene yöntemi kullanılmaya karar verildiğinde aşağıdaki üç konu hakkında karar verilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Hangi yolla malzemenin manyetize edileceği,
- Hangi tip akım kullanılacağı ve
- Islak ya da kuru parçacıklardan hangisinin kullanılacağıdır [1].

1.1.6.1 Manyetizasyon Yöntemleri

Kullanılacak olan manyetizasyon yönteminin seçilmesinde; malzemenin şekli, malzeme üzerine uygulanacak manyetik alanın yönü, belirlenmesi hedeflenen kusurların olası yönelimleri ve buldukları konum (yüzey altında olup olmamaları) gibi faktörler göz önüne alınır [12]. Bunların yanı sıra malzemenin metalurjik özellikleri ve fiziksel durumu da uygulanacak manyetizasyon yönteminde önemlidir [9]. Test edilecek malzemenin manyetizasyonu için farklı teknikler vardır. Bunlar malzeme içinde oluşan manyetik alanın yönüne göre; boyuna manyetizasyon ve dairesel manyetizasyon olarak adlandırılırlar [16].

Boyuna Manyetizasyon; Boyuna manyetizasyon iki şekilde sağlanabilir. Bunlardan bir tanesi harici sarmal bobin (selenoid) üzerinden akım geçirilerek malzemenin manyetize edilmesidir. Diğer boyuna manyetizasyon yöntemi ise malzemenin bir elektromıknatıs (yoke) ya da sürekli mıknatıs ile temas ettirilerek içinden manyetik alan geçirilmesidir [1].

Dairesel Manyetizasyon; Ferromanyetik parçalar üzerinde dairesel manyetik alan üç yolla gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki temas kafaları kullanılarak gerçekleştirilen manyetizasyondur. Bu yöntemde malzeme üzerinden akım geçirilerek manyetize edilmesi sağlanmaktadır. Dairesel manyetizasyonu sağlamanın diğer yöntemleri ise prodlar kullanılması ya da merkezi iletken yardımı ile test edilecek numunenin manyetize edilmesidir [9].

1.1.6.2 Parçacık Türleri

MPM yönteminde genellikle küçük ve değişken şekillerde olan, kimyasal işlem görmüş demir oksit parçacıkları kullanılır. Küçük boyutları sayesinde kolay hareket edebilen bu parçacıklar küçük hataları da olabildiğince belirgin bir biçimde görünür hale getirebilir. Parçacıkların seçiminde yüksek manyetik geçirgenliğe sahip olmaları önemli bir kriterdir. Manyetik parçacıklarla muayene yönteminde kuru ve ıslak yöntem olmak üzere uygulama açısından iki farklı yöntem bulunmaktadır [1, 4].

Kuru yöntem; Manyetik parçacıklar hava ile birlikte bulut şeklinde deney yapılan test numunesine püskürtülür. Bu esnada ortamdaki hava akımının gayet iyi olması gerekmektedir. Manyetik parçacıkların hemen çökmemesi ve hatalı-kalitesiz görüntü elde edilmemesi amacı ile düşey konumda çalışmak daha avantajlıdır. Islak parçacıklardan yaklaşık olarak 10 kat daha büyük olan kuru parçacıklar esas olarak, yüzey altındaki ve yüzeydeki hataları belirlemek amacı ile prodlar ve yokeler gibi taşınabilir sistemler ile birlikte kullanılır. Tozlar genellikle sprey toz haznesi ya da otomatik toz üfleyici ile uygulanır. Bu yöntemde 300°C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür. Genellikle sıcak çalışma koşulları dışında kullanılan bir yöntem değildir [1,4].

Islak yöntem; Bu yöntemde manyetik tozlar taşıyıcı bir sıvı yardımı ile uygulanır. Bu yöntemde yaklaşık olarak 60°C sıcaklığa kadar çalışabilir. Çalışma sıcaklığı sınırlamasının sebebi ise yüksek sıcaklıklarda artan buharlaşmadır. Islak yöntemle daha küçük süreksizlikler (yüzeyden 0.02 mm derinlikteki yorulma ve taşma çatlakları) belirlenebilir. Islak parçacıklar daha akışkandır ve bu sebeple düzgün yüzeylerde ya da yüzeye yakın hataların belirlenmesinde daha hassas sonuçlar vermektedir. Taşıyıcı sıvılar genellikle su ve düşük viskoziteli parlama noktası yüksek olan petrol türevi maddelerdir. Islak yöntemde taşıyıcı olarak su kullanılmasının sakıncalı yönü suyun korozyon etkisiye sahip olmasıdır. Ayrıca korozyon geciktirici inhibitör, topaklaşmayı önleyici dispersiyon maddeleri ile 0°C'nin altında çalışılan durumlarda antifiriz gereksinimi ortaya çıkmaktadır [4].

Manyetik parçacıklar kuru olanlar için kırmızı, gri ve siyah, ıslak olanlar için florasan renginde olabilirler [1].

1.1.6.3 Demanyetizasyon

Manyetize edildikten sonra ferromanyetik parçalar üzerinde “artık manyetik alan” olarak tanımlanan belli bir miktar manyetik alan kalmaktadır. Manyetik parçacıklarla muayeneden sonra parçacıkları başka bir işleme tabi tutulmadan ya da hizmete sunmadan önce üzerlerindeki manyetik alanın kaldırılması gerekmektedir. Boyuna manyetik alanları demanyetize etmek dairesel manyetik alanları demanyetize etmekten daha kolaydır. [1, 9, 12].

Bir parçayı demanyetize etmenin yollarından bir tanesi bobin kullanılmasıdır. Üzerinden alternatif akım geçirilen bir bobin etrafında alternatif bir manyetik alan oluşacaktır. Manyetik parçacıklarla muayene yönteminde manyetize edilen parçacıkların yüzde doksanı kullanılan basit bir AC bobin ile demanyetize edilebilir. En iyi sonuç için parçacığın eksenini bobinin eksenine paralel olmalıdır. Fakat bu yöntem doğrudan akım ile manyetize edilen büyük ve ağır parçaların demanyetize edilmesinde başarılı değildir. Bunun yanı sıra malzemenin üzerinden doğrudan alternatif akım geçirerek ya da yokeler yardımıyla numuneye alternatif akım uygulanarak da demanyetizasyon sağlanabilir. Parçaların demanyetizasyon

uygulamasından sonra “artık manyetik alan” durumları tekrar kontrol edilmelidir [1, 17].

Tümüyle demanyetizasyon yapmanın bir yolu da malzemeyi Curie sıcaklığının üstüne kadar ısıtmak ve herhangi bir manyetik alana maruz kalmadan soğumasını sağlamaktır. Eğer bu işlem uygulanırsa, malzeme üzerindeki “artık manyetik alan” kaldırılmış olur ve parça tamamen demanyetize olur. Çelik numuneler için Curie sıcaklığı 720°C ile 800°C arasında değişen değerler almaktadır. Fakat çoğu tahribatsız muayene yöntemi için ısıtma yöntemi pek pratik olmamaktadır [7].

1.1.6.4 Manyetik Parçacık ile Muayene Yönteminin Avantajları

Manyetik parçacık ile muayene yönteminin avantajları aşağıda verildiği gibidir [1, 2, 4, 7, 14, 17];

1. Ucuz, uygulanması kolay ve fazla tesis masrafı gerektirmeyen bir yöntemdir.
2. Kaba yüzey temizliğinin yapılması uygulamanın gerçekleştirilmesi için yeterlidir.
3. Muayene işlemi üretimin tüm basamakları esnasında gerçekleştirilebilir.
4. Muayene edilecek parçanın yüzey hazırlığı sıvı penetrant testine göre daha az önem arz etmektedir.
5. Gerekli önlemler alındığı takdirde uygulama esnasında bilinen herhangi bir personel tehlikesi bulunmamaktadır. Bunun sebebi kullanılan manyetik alanların kısa bir süre içinde oluşturulmasıdır.
6. Test edilen malzemenin boyutu ya da şekli üzerinde neredeyse herhangi bir kısıtlama yoktur.
7. Özellikle demir içerikli malzemelerde çok ince yüzey çatlaklarının ve yüzeye yakın süreksizliklerin belirlenmesinde oldukça etkilidir.

8. MPM yöntemi üzerinde ince kaplama bulunan ya da boyalı durumdaki parçalarda da kullanılabilir.

9. Uygulamayı gerçekleştirecek olan personelin eğitimi pahalı ya da karmaşık değildir ve ölçümleri yorumlamak kolaydır.

1.1.6.5 Manyetik Parçacık (Partikül) ile Muayenenin Dezavantajları

Manyetik parçacık ile muayene yönteminin dezavantajları aşağıda verildiği gibidir [1, 2, 4, 7, 14, 17];

1. Sadece Demir, Nikel, Kobalt ve alaşımları gibi ferromanyetik malzemelere uygulanabilir. Endüstride yaygın olarak kullanılmakta olan alüminyum, bakır, titanyum gibi malzemelere uygulanması mümkün değildir.

2. Bazı durumlarda muayene ardından temizlik yapılması gerekebilir.

3. Büyük parçalar için yüksek manyetik alana ve dolayısı ile yüksek akıma gereksinim duyulabilir.

4. Bazı durumlarda incelenen malzemeyi demanyetize etmek gerekebilir.

5. Temas noktalarında ortaya çıkabilecek ısınma ve ark, malzeme özelliklerinin bozulmasına neden olabilir.

6. Sadece yüzey ve yüzeye yakın hataların tespiti mümkündür.

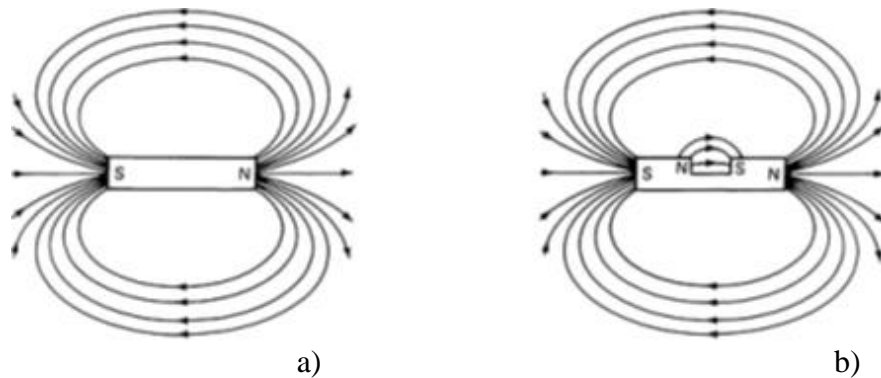
7. Karmaşık şekildeki malzemeler için manyetizasyondaki sapmalar, hata duyarlılığında farklılıklar oluşturabilir.

8. Malzeme üzerindeki hatalar, hatanın ekseni akı çizgileri tarafından kesildiğinde belirlenebilir. Bu da hatanın belirlenmesi için birden fazla yönde manyetik alan uygulanması ve muayene yapılmasını gerektirir.

1.1.7 Manyetik Akı Kaçakları Yöntemi (Magnetic Flux Leakage) Yöntemi ile Muayene

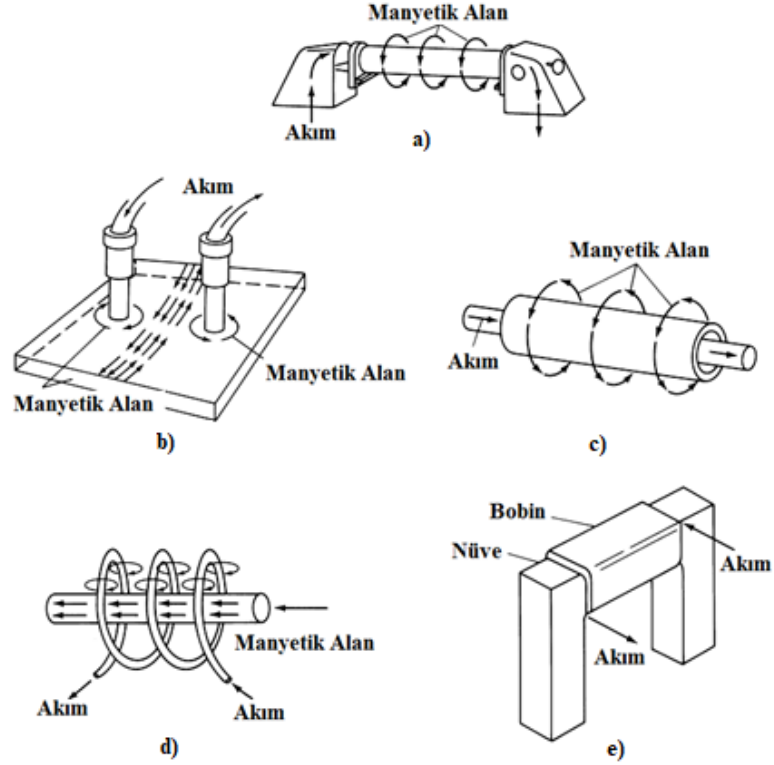
Manyetik akı kaçakları (MAK) yönteminin birincil uygulama alanları arasında tüp, boru ya da çubuk gibi eksensel olarak simetrik olan sistemlerin çatlak ya da kusurlar açısından muayene edilmesi gelmektedir. MAK yöntemi ile petrokimya endüstrisinde yer altına gömülü borular, petrol depolama tankları ve çelik halatların yanı sıra dişliler gibi düzensiz şekle sahip malzemelerin muayenesi gerçekleştirilebilmektedir [12].

Üzerinde herhangi bir çatlak ya da süreksizlik bulunmayan ferromanyetik bir malzeme manyetize edildiğinde, manyetik akı çizgileri malzemenin içinde herhangi bir kaçak bölge oluşturmadan ilerler. Manyetik akı yoğunluğu malzeme içinde malzemenin dışına göre daha fazla olmaktadır. Eğer yüzeyde herhangi bir süreksizlik bulunuyorsa bu durumda çatlak ya da süreksizliğin kenarları zıt kutuplar gibi davranır ve manyetik akı çizgileri malzemenin dışından akmaya başlar. Ortaya çıkan bu manyetik akı kaçağı bir sensör ya da prob yardımı ile tespit edilebilir. Şekil 1.10-a'da üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamış bir mıknatıs etrafında oluşan manyetik akı çizgileri verilmiştir. Eğer mıknatıs üzerinde Şekil 1.10-b' de gösterildiği şekilde bir oyuk açılırsa, bu oyukun kenarları da birer kutup gibi davranacaktır. Sonuçta ortaya çıkacak olan manyetik akı çizgileri dağılımı Şekil 1.10-b'de verildiği gibi olacaktır [7,8].



Şekil 1.10: Üzerinde çatlak (a) bulunmayan (b) bulunan mıknatıs etrafındaki manyetik akı çizgileri [8].

MAK yönteminin uygulanabilmesi için numunenin manyetize edilmesi gerekmektedir. Üzerinde testin gerçekleştirileceği malzemede manyetik alan doğrudan ya da dolaylı olarak oluşturulabilir. Malzeme üzerinde manyetik alan oluşturulmasına yönelik yöntemler Şekil 1.11’de verilmiştir [8].



Şekil 1.11: (a-e) Farklı manyetizasyon yöntemleri [8].

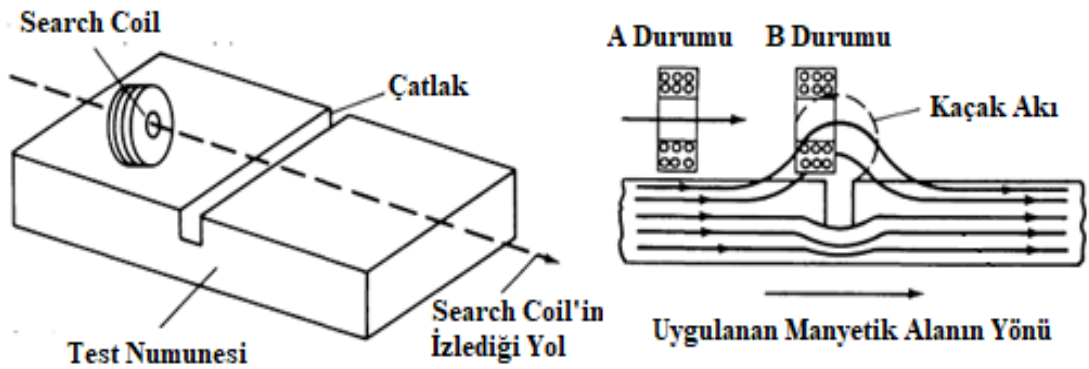
Şekil 1.11’de görüldüğü üzere malzemelerin manyetize edilmesi için numune üzerinde doğrudan akım geçirilebileceği (a-b) gibi, tüp (boru) şeklindeki malzemeler için merkezi iletken kullanılarak (c) ya da üzerinden akım geçen bir bobin içine numune yerleştirilerek de (d) manyetizasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Tüm bunların dışında mıknatıs ya da elektromıknatıs (e) yardımı ile manyetizasyon da bu amaçla kullanılabilir. Elektromıknatıs kullanımı akım değişkeninin kontrol edilebilmesini sağladığı için kalıcı mıknatısa göre daha geniş bir aralıkta manyetizasyon gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum elektromıknatısın kalıcı mıknatısa göre öne çıktığı durumlardan bir tanesidir. [8,12]

Manyetik akı kaçakları yönteminde, ortaya çıkması muhtemel olan kaçak akı, search coil, Hall, Giant Magneto Resistive (GMR), Anisotropic Magneto Resistive (AMR), Giant Magneto Impedance (GMI) gibi sensörler ile tespit edilebilir [12].

Search coil, ε bobin üzerinde indüklenen elektromotor kuvvetini, N bobinde yer alan sarım sayısını, φ_B 'de manyetik akıyı ifade etmek üzere;

$$\varepsilon = -N \frac{d\varphi_B}{dt} \quad (1.1)$$

eşitliği ile verilen Faraday'ın indüksiyon kanunu doğrultusunda çalışmaktadır (Şekil 1.12) [8].



Şekil 1.12: Search coil'in çalışma prensibi [8].

Şekil 1.12'te de verildiği gibi çatlak etrafında meydana gelen akı kaçağı bobin üzerinde bir gerilim indüklenmesini sağlayacaktır. Search coil'in kaçak akıyı belirleyebilmesi için bobinin hareketli olmasının dışında, zaman ile değişen manyetik alanın numuneye uygulanması da sonuç alınmasını sağlayabilmektedir [9].

Hall effect sensörler uzun ömürlü olmaları ve geniş çalışma sıcaklıklarına sahip olmaları (-40 °C ile +150°C arası) sebebi ile MAK ölçümlerinde oldukça fazla kullanılmaktadır ve otomasyona oldukça uygundur [9,12].

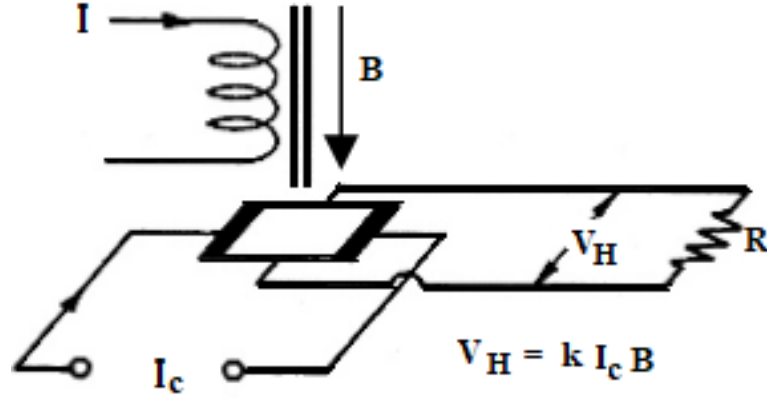
Şekil 1.13 Hall etkisinin nasıl ortaya çıktığını göstermektedir. Manyetik alan içerisine akım taşıyan bir yarıiletken yerleştirildiğinde manyetik alan ve akımın her ikisine de dik olan doğrultuda bir Hall gerilimi ortaya çıkar. Hall gerilimi;

$$V_H = \left(\frac{R_H}{t}\right) (I_C)(B \sin \theta) \quad (1.2)$$

ile ifade edilir. Burada I_C yarıiletken iletken boyunca geçen akımı, $(B \sin \theta)$ yarıiletkene etki eden manyetik alanın dik bileşenini, R_H Hall katsayısını ve t yarıiletkenin kalınlığını ifade eder. Denklem(1.2) ayrıca,

$$V_H = k(I_C)(B \sin \theta) \quad (1.3)$$

biçiminde de ifade edilebilir. k , Hall katsayısı, sıcaklık ve yarıiletken geometrisine bağlı bir katsayı olarak tanımlanabilir. Denklem (1.3)'ten görüldüğü üzere, giriş akımı (I_C) sabit tutulursa, Hall gerilimi doğrudan manyetik alanın normal bileşeni ile orantılı olacaktır. Manyetik alan ve akım alternatif olursa Hall gerilimi de alternatif, doğru olursa Hall gerilimi de doğru olacaktır [9].



Şekil 1.13: Hall etkisinin şematik gösterimi [9].

1.2 Boru İletim Hatları ve Önemi

Günümüzde petrol ve doğal gazın dünyadaki ana enerji kaynaklarını oluşturduğu söylenebilir. Boru hatları uzun mesafelerde bu enerji kaynaklarını (petrol ve gaz) taşımada en etkili yolu olarak kabul edilmektedir. Büyük miktarlarda petrol, petrol türevi ürünler ve doğal gaz iletimi için güvenli bir yol olarak görülen çelik boru hatları bu taşımada kullanılan ana materyallerdir. Ayrıca evlere gerçekleştirilen doğal gaz iletimi ile birlikte ham ve rafine petrol ürünlerinin ülkeler arasında taşınması ile kıyı nakliye terminallerine ulaştırılmasında da yüzlerce kilometrelik boru iletim hatları kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse

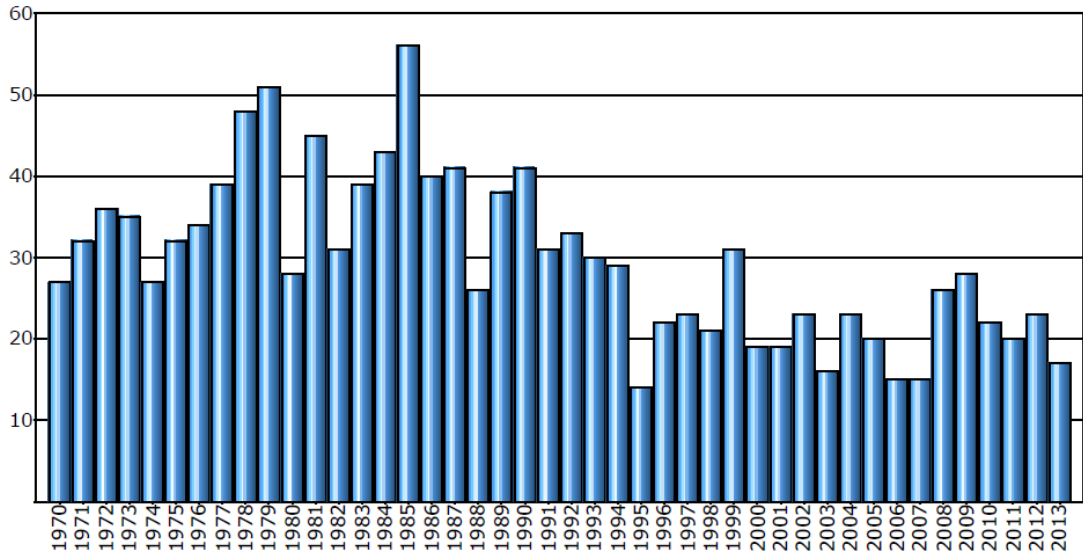
Kanada'nın ham petrol ve gaz üretiminin %97'si boru hatları ile taşınmaktadır [18-23].

Petrol, kimya ve benzer birçok endüstri alanında kullanılmakta olan boru hatları çoğunlukla yer altına gömülü bir şekilde bulunmaktadır. Sıvı ve gaz iletimi için kritik bir öneme sahip olan bu boru hatlarında gerilme korozyonu ve dış kuvvetler gibi sebepler borular üzerinde çatlaklar oluşmasına sebep olabilmektedir. Nem ya da toprak basıncı gibi farklı dış etkenler de boru hatlarının korozyona uğramalarını sağlamakta ve bu hatların deforme olmalarını kolaylaşmaktadır. Ayrıca iletim hatlarında yer alan diğer teknik bileşenler gibi borular da zaman içinde doğal olarak yıpranmaktadırlar. Olası ekonomik kayıplar ve çevre kirliliği gibi olumsuzlukların önüne geçilebilmesi amacı ile boru duvarında meydana gelebilecek çatlak gibi tehlikeler sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Bu tehlikelerin boru hattının bütünlüğü bozmadan önce tespit edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Eğer meydana gelen bu çatlaklar zamanında tespit edilemezse çevre kirliliği ve ağır ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bunların dışında en önemlisi boru hatlarında oluşan bu metal kaybı ya da küçük boyutlu kusurlar ölümcül kazaların meydana gelmesine sebep olabilir. Tüm bunlar düşünüldüğünde güvenli bir üretimin gerçekleşmesi, verimli olarak nakliye hizmetinin sağlanması ve çevrenin temiz olarak korunması amacı ile boru hatlarının rutin olarak bakımlarının ve muayenelerini yapılması gerekmektedir [18, 19, 21, 24-26].

Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı Boru Hatları ve Tehlikeli Maddeler Güvenliği İdaresi (PHMSA) verilerine göre 1995-2014 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan eyaletlerde meydana gelen ve önemli olarak adlandırılabilir boru hattı kazası sayısı 5598'dir. Bu kazalar sebebi ile 360 kişi hayatını kaybetmiş, 1365 kişi de yaralanmıştır. 20 yıllık bu süreçte meydana gelen kazaların ortalama maliyeti 352 milyon Amerikan Dolarıdır. Toplamda ortaya çıkan hasar ise yaklaşık olarak 7 milyar Amerikan Dolarıdır [27].

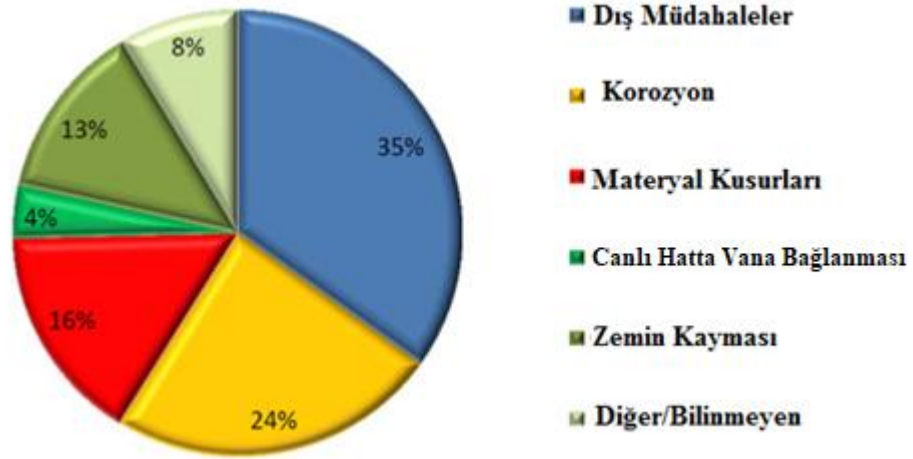
European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG) 1982 yılında Avrupa'da altı adet gaz iletim sistemi işletmecisi tarafından kurulan bir gruptur. 2015 yılı itibarı ile 17 dağıtım şirketi tarafından elde edilen verileri toplamaktadır. Bu grubun 1970 yılından 2013 yılına kadar gaz hatlarında meydana gelen kazalar ile ilgili yaptığı

çalışmada kaza sayısının yıllara göre değişim grafiği Şekil 1.14'te verildiği gibidir [28].



Şekil 1.14: Yıllara göre EGIG üyeleri tarafından gaz hatlarında bildirilen kaza sayısı.

Şekil 1.15'te ise 2004 ve 2013 yılları arasında meydana gelen kazaların sebeplerine ilişkin dağılım yine EGIG verilerine dayanılarak verilmiştir.



Şekil 1.15: 2004-2013 yılları arasında gaz hatlarında meydana gelen kazaların sebepleri.

Şekil 1.15'te görüldüğü gibi gaz iletim hatlarında meydana gelen hasarların sebepleri arasında dış müdahaleler önemli bir oran teşkil etmektedir (% 35). Dış müdahalelere yapım, bakım ya da kazı gibi işlemler örnek olarak gösterilebilir [29].

Korozyon da %24'lük oran ile dış müdahalelerden sonra boru hatlarının bütünlüğünü bozan nedenlerin başında gelmektedir Ayrıca deprem ve yer kayması gibi olaylar da (%13) boru hatlarında meydana gelen kazaların sebepleri arasında yer almaktadır.

Boru hatlarında bulunan hasarların tespiti ile ilgili yapılan çalışmalar iletim hatlarının daha güvenli çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla boru hatlarının muayenesi için farklı prensiplere göre çalışan farklı tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmaktadır. Yöntemlerin seçiminde işlem yapılacak ortam, boru hattı içerisinde taşınan ürün ve kusur tipi göz önüne alınmaktadır. Boru iletim hatlarının yer altında bulunması sebebi ile bu hatlara dışarıdan ulaşılması oldukça zordur ve ulaşmak pahalı bir işlemdir. Bu sebeple genellikle boru iletim hatlarının içinde hareket edebilen muayene aygıtları bu hatların muayenesi için kullanılmaktadır. Bu amaçla boru içinde ya da dışında meydana gelen kusurların belirlenmesi için gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde fiber optik sensörlerin [30-32], akustik emisyon yönteminin [33-35], ultrasonik yöntemin [18, 36-39], eddy akımları yönteminin [40-42] ve piezoelektrik yöntemin [43-46] kullanıldığı çalışmalara rastlanmaktadır. Boru hatlarında meydana gelen korozyon gibi hacimsel kusurlar ise genellikle manyetik akı kaçakları yöntemi kullanılarak belirlenmektedir [24, 25].

Dünya görünür petrol rezervlerinin %47.90'ının, görünür doğal gaz rezervlerinin de % 43.2'sinin Orta Doğu ülkelerinde bulunduğu bilinmektedir. Ayrıca 2015 yılı mart ayı itibarı ile ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin önemli kaynaklarının başında %38.68 ile Doğal gaz ve LNG (Sıvı Doğal Gaz) gelmektedir [47].

2015 yılı itibarı ile T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığını verilerine göre ülkemizin dahil olduğu boru hatları Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı, Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı (BTC), Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (TANAP), Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Hattı (ITG), Türkiye-Bulgaristan Enterkonnektörü (ITB) Projesi, Rusya-Türkiye-Avrupa Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (Türk Akımı) şeklindedir. Bu hatlardan bazıları tamamlanmış, bazıları ise halen devam etmekte olan projelerdir. Ülkemize doğal gaz arzı sağlayan uluslararası hatlar ise Rusya-Türkiye Doğal gaz Boru Hattı (Batı Hattı), İran-Türkiye Doğal Gaz Boru

Hattı, Rusya-Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Mavi Akım), Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE) olarak sıralanabilir [47].

Ülkemizin içinde bulunduğu coğrafya ve enerji koridoru olarak adlandırılacak konumu sebebiyle gün geçtikçe ülkemizde artan boru hattı uzunluğu dikkat çekmektedir. Yukarıda anlatılan sebepler ışığında boru hatlarının bütünlüğü, hem ekonomik hem de çevre açısından oldukça önemli bir konudur. Gerek can kayıplarının yaşanmaması gerekse enerji akışının sağlıklı bir biçimde ilerleyebilmesi için ülkemizde yer alan boru hatlarının da düzenli bir biçimde incelenmesi ve muayenesinin yapılması gerekmektedir. Muayene yöntemi olarak tahribatsız muayene yöntemlerinden akı kaçakları yöntemi oldukça kullanışlı ve tüm dünyada kullanılan bir yöntem olarak göze çarpmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada Manyetik akı kaçakları yöntemi ile boru hatlarında yer alan yapay çatlakların belirlenmesi amaçlanmaktadır.

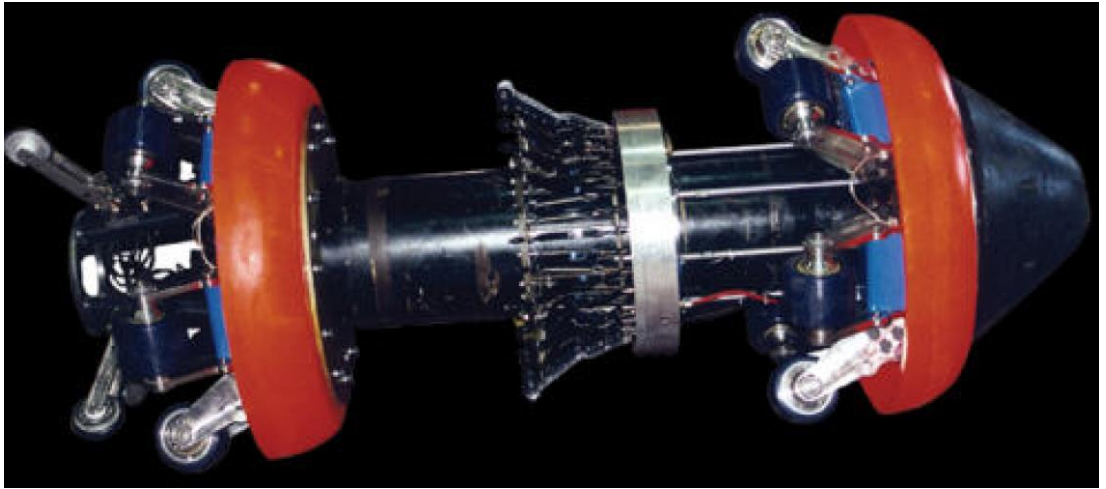
1.3 Boru Hattı Muayene Araçları - PIG (Pipeline Inspection Gauge)

Pipeline Inspection Gauge (PIG) olarak adlandırılan ve Türkçe'ye "Boru Hatları Muayene Aygıtı" olarak çevrilebilecek sistemler, boru hatlarında metal kaybını ya da bazı durumlarda ortaya çıkan şekil bozukluklarını belirlemek amacı ile kullanılan genellikle silindirik şekilde tasarlanan elektronik aygıtlardır. "Smart PIG" olarak da adlandırılan bu aygıtlar boru içinde hareket ederken boru hattının bütünlüğü (göçükler, boru duvarında meydana gelen incelmelerin konumları gibi) ile ilgili fiziksel verileri toplayarak kayıt ederler. Elde edilen bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda boru hattında potansiyel sorun alanları belirlenerek, problemler ortaya çıkmadan önce engellenme fırsatı elde edilir [48]. Bu "akıllı" PIG'leri kullanım amaçlarına göre dört başlık altında toplamak mümkündür. Bu başlıklar Geometri Araçları (Geometry Tools), Haritalama Araçları (Mapping Tools), Metal Kaybı (Korozyon) Araçları (Corrosion Tools) ve Çatlak Belirleme Araçları (Crack Detection Tools) olarak adlandırılabilir [49]. Bundan sonra gelen alt başlıklarda sırası ile yukarıda bahsi geçen araçlar yapıları ve kullanım amaçları açısından tanıtılacaktır.

1.3.1 Geometri Araçları

Geometri araçları dış kuvvet hasarı olarak adlandırılan göçme ve deformasyon gibi muhtemel şekil bozukluklarını mekanik kollar ya da elektromanyetik yöntemler ile belirleyebilen araçlardır. Şekil 1.16'da bir örneği verilen geometri araçlarının asıl amacı boru hattının fiziksel şekli ya da geometrisi hakkında bilgi toplamaktır. Aynı zamanda ana hat vanaları ile bağlantı parçalarının konumunu da geometri araçları ile belirlemek mümkün olmaktadır. Geometri araçlarını genellikle;

- Yeni boru hatlarının kullanıma alınmadan önce gerçekleştirilen kontrollerinde,
- Boruların gömülmesi esnasında boru üzerinde herhangi bir göçük ya da şekil bozukluğunun meydana gelip gelmediğinin kontrolünde,
- Boru hattında mekanik olarak meydana gelen ya da üçüncü şahıslar tarafından oluşturulması muhtemel hasarların boru çapının kontrol edilerek belirlenmesinde/ izlenmesinde,
- Kendisinden sonra boru hattında inceleme yapacak olan daha ağır ve karmaşık muayene araçlarının hareketini engelleyecek herhangi bir daralma olup olmadığını kontrol etme amacı ile kullanılmaktadır [48, 50, 51].



Şekil 1.16: Geometri aracı örneği [52].

1.3.2 Haritalama Araçları

Haritalama araçları genellikle jiroskop ve ivmeölçerden oluşan bir navigasyon sistemi ile eş zamanlı olarak çalışmaktadır. X, Y, Z eksenlerindeki açısal değişimler ve yine aynı eksenlerdeki hız değişimleri veri olarak toplanmakta ve kaydedilmektedir. Ayrıca küresel konum belirleme sistemini (GPS) de kullanabilen bu araçlar;

- Boru hatları ile ilgili takip verilerinin tutulmasında,
- Mevcut borulara ait kayıt verilerinin doğrulanmasında,
- Boru hattında meydana gelen değişikliklerin ya da yerel zemin hareketlerinin belirlenmesi,
- Boru hattındaki virajların ölçülmesinde,
- Muayene sonuçlarına göre kazı alanının belirlenmesinde kullanılabilirler [48,50].

1.3.3 Metal Kaybı (Korozyon) Belirleme Araçları

Korozyon araçları olarak adlandırılan muayene araçları genel itibarı ile iki ana başlık altında incelenmektedirler. Bu araçlar genellikle manyetik akı kaçakları (MAK) yöntemini ya da ultrasonik yöntemi kullanmaktadırlar.

Manyetik Akı Kaçakları; Bu araçlar boru hattı üzerine bir manyetik alan meydana getirirler. MAK araçları genellikle kusurların neden olduğu manyetik alandaki bozulmaların ortaya çıkarılması amacı ile kuvvetli mıknatıslar kullanırlar. Hareketi süresince boru üzerinde meydana gelen manyetik akı anomalilerinin konumunu belirleyerek metal kaybının olduğu yerlerin belirlenmesini sağlarlar. Birçok MAK aracı korozyonun boru hattının içinde mi yoksa dışında mı olduğunu belirleyebilmektedir. Bunun yanı sıra borunun sağlamlığının belirlenmesinde kullanılan korozyonun maksimum derinliği ve uzunluğu gibi bilgileri de toplarlar.

Genellikle MAK araçları korozyonun boru et kalınlığından %20 daha fazla olduğu durumları belirleme kabiliyetine sahiptir [48, 53].

Ultrasonik; Ultrasonik teknolojiyi kullanan bu araçlar bu araçlar MAK araçlarına benzer biçimde boru hattı ile ilgili fiziksel verileri toplarlar. Ultrasonik yöntemi kullanan korozyon belirleme araçları boru duvarına ultrasonik bir darbe iletir ve doğrudan duvarın kalınlığını ölçer. Bu teknolojinin kullanılabilmesi için temiz bir boru duvarı gerekmektedir. Bu yüzden ham petrol hatları gibi boru duvarında parafin birikmesi muhtemel olan durumlarda kullanılmamaktadır. Bunun yanı sıra çok ince boru duvarlarına nazaran et kalınlığı fazla olan borularda daha etkili sonuç vermektedir. Bu yüzden korozyon belirlenmesinde MAK araçları kadar yaygın bir kullanımı yoktur [48].

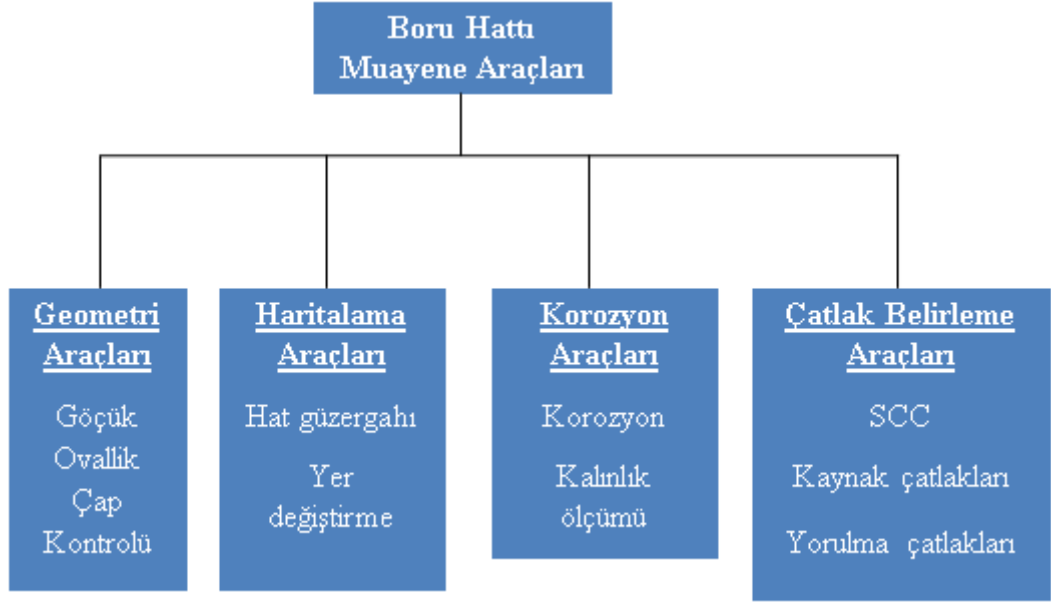
1.3.4 Çatlak Belirleme Araçları

Çatlak belirleme araçları alanında çalışmalar günümüzde de halen büyük bir hızla devam etmektedir. Boru hatları işletmecileri tarafından kullanılan araçlar genellikle ultrasonik ve enine (transverse) manyetik akı kaçağı yöntemini temel alan araçlardır [48].

Ultrasonik; Bu araç borunun iç ve dış yüzeylerinden yansıyan bir ultrasonik sinyal üretir. Eğer boru üzerinde herhangi bir çatlak bulunuyorsa çatlak üzerinden yansıyan sinyaller incelenerek belirlenebilir. Sensörler ve boru duvarı arasında sıvı bir ortama ihtiyaç duyan bu araçlar sadece sıvı taşıyan boru hatlarında kullanılabilir [48].

Enine Manyetik Akı Kaçakları; Boru üzerinde meydana gelen boyuna çatlakların belirlenmesi amacı ile boru hattını çevresel olarak manyetize eden çatlak belirleme araçlarıdır. Korozyon belirlemede kullanılan MAK araçlarından tek farkı manyetik alan yönelimlerinin farklı olmasıdır. Bu araçlar ile tespit edilecek çatlakların yeterli miktarda genişliklerinin ya da açıklıklarının bulunması gerekmektedir [48, 53].

Yukarıda bahsi geçen tüm araçlar Şekil 1.17’de özetlenmiştir [49];



scc: stress corrosion cracking

Şekil 1.17: Boru hattı muayene aracı tipleri.

Boru hatlarının tamamı yukarıda bahsi geçen PIG uygulamalarının gerçekleştirilmesi için uygun olmayabilir. Bu durumun nedenleri arasında boru hatlarında yer alan keskin dönüşler, aşırı birikinti ya da kir, hat boyunca değişen boru çapları, hatta tam olarak açılmayan vanalar ve yetersiz basınç/akış bulunmaktadır [53].

1.4 LabVIEW Programı

LabVIEW “Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench” kelimelerinin kısaltmasından elde edilen bir isimdir ve bir programlama ortamının tanımlanmasında kullanılmaktadır. LabVIEW C, C++ veya Java gibi geleneksel dillerden farklı olarak grafiksel olarak kullanılan bir programlama dilidir. LabVIEW verileri analiz etmek, ölçümlerini almak ve sonuçlarını kullanıcıya sunmak için özel olarak geliştirilmiştir [54].

National Instruments (NI) firmasının LabVIEW programını geliştirmesi ile veri akışının animasyon biçiminde canlandırılması mümkün hale gelmiştir. Grafiksel olarak tasarlanan ve ikon haline getirilmiş hazır fonksiyonların kullanılması ile klasik

programlama dillerinde karşılaşılan birçok güçlük aşılmıştır. LabVIEW programları çalışma şekli ve görünümü itibarı ile laboratuvarlarda kullanılan sinyal jeneratörü, osiloskop gibi aletlere benzemektedir. Bu sebeple programlar Sanal Enstrüman (Virtual Instruments - VI) olarak adlandırılmaktadırlar. VI'lar kaynaklardan ya da kullanıcılar tarafından girilerek elde edilen verileri kullanabilir, kayıt altına alabilir ya da görüntüleyebilirler [55].

LabVIEW normal program yazımının yanında kullanıcıya interaktif bir program oluşturma fırsatı da vermektedir, yani program çalıştığı sırada istenilen parametrelerde değişiklikler yapılması ve anlık olarak izlenmesi mümkündür [56]. Program bilgisayarın birçok çevre birimi ile iletişim kurabilmektedir. Örneğin program GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 donanımları ile sorunsuz haberleşebilmektedir. Ayrıca LabVIEW, TCP/IP ve ActiveX yazılım standartlarına da sahiptir [57].

LabVIEW programının dış dünya ile bilgisayar arasındaki bağlantıyı sağlaması amacı ile National Instruments firması tarafından üretilen veri toplama kartları olarak adlandırılan (Data Acquisition Card - DAQ) ara birimler kullanılmaktadır. Bu kartların bilgisayar ile bağlantısı USB üzerinden yapılabileceği gibi anakart üzerinden de sağlanabilmektedir. ELVIS, myDAQ, USRP ve myRIO olarak adlandırılan dört farklı eğitim kartı da bulunan NI firmasının, birbirinden farklı sayıda analog ve dijital giriş-çıkış terminallerine sahip kartların yanı sıra FPGA tabanlı kartları da bulunmaktadır. Kullanıcının terminal ve hassasiyet ihtiyacına göre seçim yapmasına olanak sağlaması ve programlama dilinin metin tabanlı (text-based) dillere göre oldukça görsel olması bu yazılım dilini ve veri toplama kartlarını öne çıkarmaktadır.

LabVIEW'de yer alan terimlerin klasik programlama dillerindeki karşılıkları Tablo 1.1'de verilmiştir [54].

Tablo 1.1: Labview terimleri ve geleneksel karşılıkları.

LabVIEW	Programlama Dilleri
VI	Program
Fonksiyon	Fonksiyon
subVI	Alt program, nesne
Front Panel	Kullanıcı ara yüzü
Block Diagram	Program Kodu
G	C, C++, Java, Pascal, BASIC, vd.

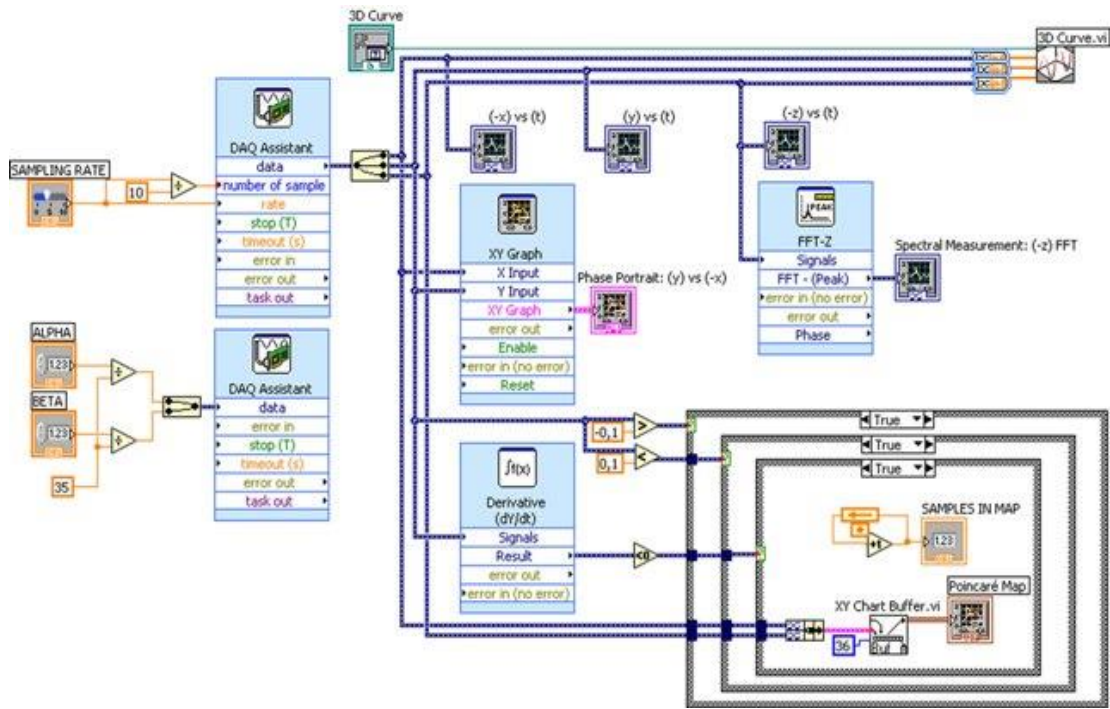
Tablo 1.1’de verildiği gibi LabVIEW ekranı “Block Diagram” ve “Front Panel” olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Block Diagram kodların yazımının gerçekleştirildiği bölüm, Front Panel ise kullanıcı ara yüzünün bulunduğu bölümdür [55].

1.4.1 Block Diagram

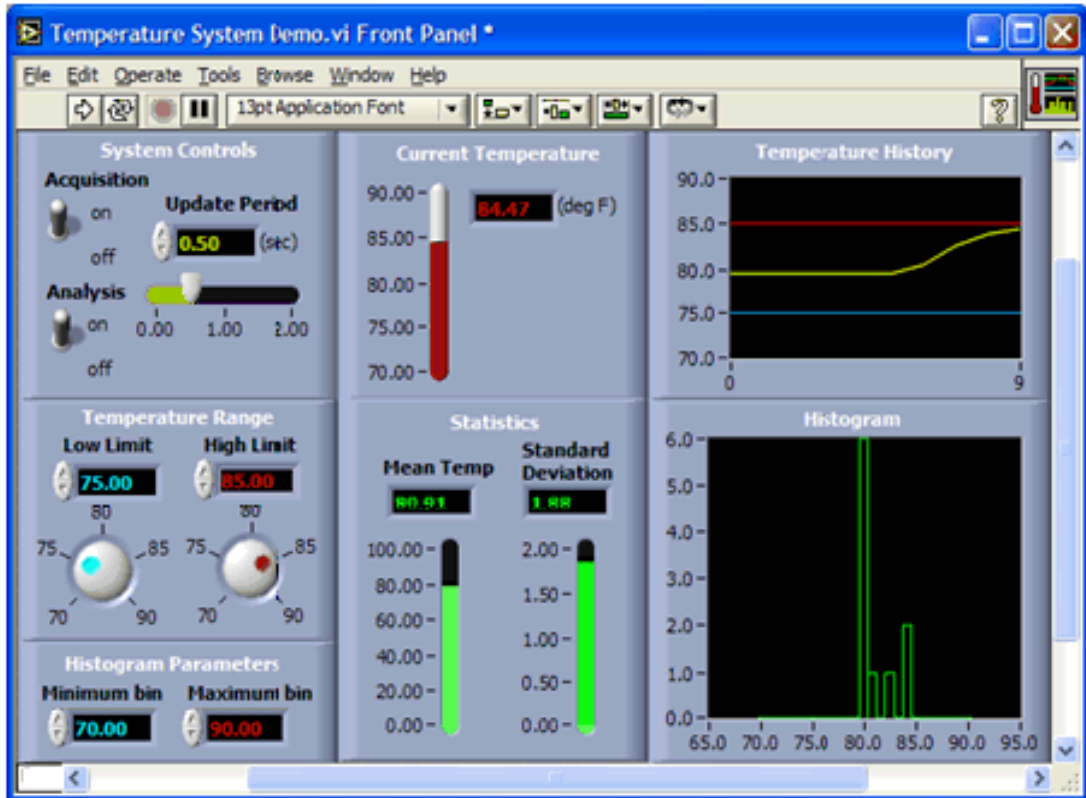
Kaynak kodların yer aldığı kısımdır. Block Diagram içinde alt programlar (SubVI), fonksiyonlar, sabitler ya da döngüler gibi farklı programlama elemanları bulunmaktadır. Bu programlama elemanları kod temelli programların aksine satırlardan değil küçük nesnelere (ikonlardan) oluşmaktadır. Nesnelere arasındaki veri akışını sağlamak için uygun bağlantı hatları çizilerek program yazılmaktadır [54]. Şekil 1.18-a’da örnek bir LabVIEW programında yer alan Block Diagram yapısı verilmiştir.

1.4.2 Front Panel

Bir VI’ın interaktif kullanıcı ara yüzüdür. Front Panel’de basılabilir düğmeler, grafikler, kullanıcı girişleri ve program çıktıları yer alabilir. Bu panele fare ya da klavye yardımı ile veri girişi gerçekleştirilebilmektedir. Programa ait çıktılar da yine bu panelde kullanıcıya sunulmaktadır. Program çıktıları arasında anlık grafikler, göstergeler (indikatör) ya da tablolar yer alabilir [54]. Örnek bir LabVIEW programında yer alan Front Panel yapısı Şekil 1.18-b’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.18: Örnek bir LabVIEW programı için a) block diagram b) front panel görüntüsü.

1.4.3 LabVIEW Programının Kullanıldığı Çalışmalar

LabVIEW programı veri toplama ve kontrol amaçları ile farklı birçok çalışmada başarılı bir biçimde kullanılmıştır. Uygulama alanı oldukça fazla olan programın özellikle sağlık [58-60], yiyecek ve içecek kontrolü [61, 62], astronomi [63], eğitim (sanal laboratuvarlar geliştirilmesi) [64, 65], görüntü işleme [61, 66] alanlarında kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca birden fazla sensörden verilerin alındığı ve bu verilerin değerlendirildiği çalışmalarda [67, 68], gerçek zamanlı sistemlerde [59, 60, 69], nükleer enerji santralleri ile ilgili çalışmalarda [70], yüksek hassasiyet gerektiren test ve ölçüm cihazların tasarlanması ve geliştirilmesinde [71-73], temassız hareket algılama sistemlerinde [74] ve elektromanyetik görüntüleme alanlarında [75] da gerçekleştirilmiş uygulamaları bulunmaktadır.

1.5 Literatürde Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde boru hatları ya da levhalar üzerinde gerçekleştirilen tahribatsız muayene yöntemleri ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalar belli parametrelere göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma; belirlenmeye çalışılan kusurların/çatlakların/korozyonların şekilleri ve boyutları, kullanılan yöntem, eğer boru üzerinde gerçekleştirildi ise borunun boyutları ve cinsi, çalışmanın deney ya da simülasyon içerip içermemesi ile eğer verildi ise sensör tipi ve sensör numune mesafesi biçiminde yapılmıştır.

Tablo 1.2: Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak	Deney gerçekleştirilen numune								Sensör		S/D	
			Boru (mm)				Levha				Tipi	Mesafe (mm)		
		Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli	Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme			Boyutları (g*u*d)	
76	PEC	5*15*2;5*18*2;5*20*2; 5*22*2;5*25*2;5*28*2; 5*15*2;8*15*2;10*15*2; 12*15*2;15*15*2;18*15*2; 5*15*0.5;5*15*1;5*15*1.5; 5*15*2;5*15*2.5;5*15*3;	D. P	188.5	178.5		50	Low-carbon steel					S	
77	PEC	1*16*2; 1*20*2;1*24*2; 1*20*3;1*20*4;	D. P							Al	200*200*5		S/D	
78	MFL	10*10*2; 10*5*2; 6*10*2;10*10*6	D. P			720	10	X52					S	
79	U	r =5 mm	Oyuk							Al	700*700*4	U	S/D	
80	CMFL	0.2*25*%20; 0.2*50*%20; 0.2*70*%20;1*25*%20; 17.5*25*%20; 0.2*25*%40; 0.2*25*%60	D. P				17.5					Hall	S/D	
81	MFL	R= 15mm, d = 5mm	Oyuk			610	9	X70	635			Hall	D	
		15*53*4.4	Oyuk (Racetrack)											
82	MFL	10*10*6; 10*10*3; 10*10*1.2	D. P		195/2		12	Oil pipe	1400			GMR	2	D
83	MFL	R=12mm,d=12mm; R=12, d= 6 mm; R=12 mm,d= 2.5 mm; R=12mm, d=1.2 mm	Oyuk				12	X52				Hall	S/D	

Tablo 1.2 (devam): Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak		Deney gerçekleştirilen numune							Sensör		S/D	
				Boru (mm)				Levha			Tipi	Mesafe (mm)		
		Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli	Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme			Boyutları (g*u*d)	
84	MFL	25.4 mm * 12.7 mm (2D)		609.6/ 2			12.7 / 25.4							S
85	MFL	0.5*2*0.5; 0.5*8*0.5; 0.5*16*0.5; 0.5*32*0.5; 0.5*8*0.3; 0.5*8*0.8; 0.3*8*0.5; 0.8*8*0.5	D. P								75*200*1.5	MO	3	
86	PMR, PMFL	0.25*63*0.5; 0.25*63*3; 0.25*63*5; 0.25*63*10	D. P							Çelik	63*-*63	GMR		D
		1,2,3,4 mm derinlikte 3 mm genişlikte	D. P								-*-*10			
		3 mm çapında 0.5 mm derinlikte	Oyuk								-			
87	RFEC	3.81mm; 2.857mm; 1.905mm ve 0.952 mm derinlikte, 25.4 mm uzunlukta				215.9	4.7625							D
88	MFL	R=40 mm, d=2.4 mm alan içinde R=8 mm d=7.2 mm	Oyuk				12	X52						S
89	MFL	3*10*1.5	D. P		297/2			X56				Hall		D
90	MFL	0.5*2*0.5; 0.5*8*0.5; 0.5*16*0.5; 0.5*8*0.3; 0.5*8*0.8	D.P								75*200*1.5	GMI	2;2.5;3	D
91	PMFL											Hall		S/D
92	U	Korozyon Ölçümü	Boruda incelme	250/2	240/2		5	Perspex	2000			U	6;7;8;9;1 0;11;12;1 3;14;15 inch	D
93	MFL	52.5*52.5*3.5; 35*35*5.25; 52.5*52.5*17.5; 52.5*52.5*8.75	D.P			30 inch	17.5	Metal				Hall		S/D

Tablo 1.2 (devam): Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak		Deney gerçekleştirilen numune								Sensör		S/D	
				Boru (mm)				Levha (mm)				Tipi	Mesafe(mm)		
		Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli	Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme	Boyutları (g*u*d)				
94	MFL	-	Pitting, Crevice, Erosion, Stress Corrosio n					304 stainless steel pipeline				Hall		S	
95	CMFL	0.2*25*3.5; 0.2*50*3.5; 0.2*70*3.5; 1*25*3.5; 17.5*25*3.5; 0.2*25*7; 0.2*25*10.5	D.P					Gas pipe				Hall		S/D	
96	MFL	22.5*22.5*22.5 (Üçgen); 8mm ve 16 mm uzunluğunda (D.P); 9.0005 mm ve 13.5088 mm genişliğinde (D.P); 0.23 mm ve 1.4 mm derinlik (D.P)	Üçgen, D.P	17.2/2	12.6/2		2.3	Steam Generator Tube	100			Hall		S	
97	MFL	1*20*1	D.P					Steel pipe				Gauss- meter		S/D	
98	MFL	10*-*2; 10*-*4; 10*-*6; 10*-*8; 10*-*10, 2*-*10; 4*-*10; 6*-*10; 8*-*10; 10*30*%25	D.P									Hall	50; 225	S/D	
99	MFL	R=8mm	Oyuk							Q235 low carbon steel	50*180*4	Magneto meter		D	
100	MFL	15*12*1.37;	D.P	219/2	195/2		12	X52				Hall		D	
					193/2		13								
					273/2		247/2								13
					323/2		296/2								14.5
		-*5*2; -*10*1.8; -*15.5*1.6;- *33.4*2.5; -*12*2; -*10*1.3													

Tablo 1.2 (devam): Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak		Deney gerçekleştirilen numune							Sensör		S/D	
				Boru (mm)				Levha (mm)			Tipi	Mesafe (mm)		
		Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli	Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme			Boyutları (g*u*d)	
101	Optik	R= 2; 3; 4; 5 mm	Oyuk		3 inch				600 foot			CCTV camera		D
102	LMOM	1*1*0.2; 0.5*4*0.3	D.P											S
103	MFL	0.5*-*2; 3*-*8.1; 3*-*2; 3*-*4.2;	D.P							Steel		GMR		D
104	MFL	d = 1; 2.8; 4.2 mm	Oyuk								r= 400mm, d=6.7 mm	Hall	1 mm	D
105	MAT	9*2*3	D.P							Low Carbon Steel	3 adet 180*170*3 plaka	Coil		D
106	MFL	1*14*1; 1.6*14*1	D.P							M3 steel	300*300*10		1;1.5	S
107	ACFM	1*20*2; 1*20*4; 1*20*6; 1*20*8; 1*10*2; 1*30*2; 1*40*2	D.P	65/2	47/2			Mild Steel	300				2	S/D
108	MFL	5*10*8; 10*10*8; 20*10*8; 10*10*10.4; 10*40*8; 10*5*8; 10*20*8; 10*10*%20;10*10*%50;10*10*%80	D.P							X52	500*120*14		1,2,3,4,5, 6	S
109	MFL	2*-*5	Şekilsiz								70*70*35	-	1	S/D
		0.33*33*6	D.P							Steel	52*17*6.25	AMR		
			Şekilsiz							Rail track	-			
110	MFL	2D (-*10*4; -*10*5; -*10*6; -*10*7; -*10*8;)	D							Steel	2D (-*500*8; -*500*9; - *500*10)		0.5	S

Tablo 1.2 (devam): Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak		Deney gerçekleştirilen numune								Sensör		S/D	
				Boru (mm)				Levha (mm)				Tipi	Mesafe (mm)		
		Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli	Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme	Boyutları (g*u*d)				
111	U	-	SCC	160.2/2	152.4/2		3.9	AISI 304	50;270			EMAT		D	
112	MO	1*12*10								Al	20*27*12	MO film		D	
113	MFL	2D (1*-*10)	D							Steel 1008	2D(-*20*480)		1	S/D	
		0.4*-*8	D.P							471Mn Rail		Hall			
114	LAMI	R= 1.6; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 d = %20; %40; %60; %80	Oyuk			32	3		3000				Hall		D
						57	4								
						89	6								
						114	8								
						159	10								
						273	16								
219	20														
115	U	0.04*25*1.2	D.P							Al	-*-*2	EMAT		D	
		0.0238*16.6*3±0.6	D.P							316 stainless steel	-*-*10				
116	IT	3*30.3*8	D:P							Mild Steel	84.10*30.30*10.40	Infrared Camera	650	D	
		3*30.25*3.3									84.05*30.25*10.39				
		5.50**30.31*3									83.94*30.31*10.40				
		3*30.31*5									84.10*30.31*10.40				

Tablo 1.2 (devam): Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak		Deney gerçekleştirilen numune								Sensör		S/D	
				Boru (mm)				Levha (mm)				Tipi	Mesafe (mm)		
				Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme	Boyutları (g*u*d)				
Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli														
117	IT	3*-*8; 3*-*3.3; 3*-*5.5; 5*-*3	D.P								Mild Steel		Infrared Camera	650	D
118	MFL; ECPT	0.4*20*2; 0.4*20*4; 0.4*20*8; 0.4*50*2; 0.4*5*4; 1*20*8	D.P								Steel 1008	50*140*10		0.5	S/D
		0.4*20*2; 0.4*20*4; 0.4*20*8; 0.4*50*2; 0.4*5*4; 1*20*8 (D.P)	D.P ve şekilsiz çatlak								Rail track material		Hall; IR camera	0.5;1;1.5; 2 (Hall); 200 (IR cam)	
119	MFL	18*18*0.714; -*25*%10; -*25*%20; -*25*%30; -*25*%40; -*25*%50; - -*25*%60; -*25*%70; -*25*%80; - -*25*%90; -**10; -**20; -**30; - -*40; -**50; -**60; -**70; -* *80; -**90; -**100	D:P								API5LX65	600*800*7.1 4; 600*800*9.5 25; 600*800*12. 7; 600*800*14. 27; 600*800*17. 45; 600*800*24. 59			S
120	EC	(R,d) = (1*0.86); (1.5*0.315);(1.5*0.86);(1.8*0.499);(1.8*0.697);(2.7*0.315);(2.7*0.499);(2.7*0.697);(2.7*0.86);(4.6*0.155);(4 .6*0.315);(4.6*0.335);(4.6*0.499);(4 .6*0.697);(4.6*0.86);(4.2*0.86);(4*0 .86)	Oyuk		17.28/2		0.86	Titanium					BMC		S/D
		3*-*0.163	Boru Çevresin ce Dairesel												

Tablo 1.2 (devam): Literatürde gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgiler.

No	Yöntem	Çatlak		Deney gerçekleştirilen numune								Sensör		S/D
				Boru (mm)				Levha (mm)						
		Boyutları (g * u * d) (R/r * d) (mm)	Şekli	Dış r	İç r	R	Et kalınlığı	Malzeme	u	Malzeme	Boyutları (g*u*d)	Tipi	Mesafe (mm)	
121	EC	0.1*15*%10; 0.1*15*%20; 0.1*15*%40; 0.1*15*%60; 0.1*15*%100	D.P	22.22/ 2			1.27	Inconel 600				EC Probe		D
122	U	1.2*-*1.5; 1.2*-*3; 1.2*-*4.5; 1.2*-* *6; 1.2*-*7.5; 1.2*-*9; 1.2*-*10.5	-	101/2	80/2		10.5	Q235 Steel	100			PZT		D

PEC: Pulsed eddy current, **MFL:** Magnetic flux leakage, **MO:** Magneto optic, **CMFL:** Circumferential MFL, **ACFM:** Alternating current field measurement, **EC:** Eddy current, **BMC :** Bobbin-type magnetic camera, **EMAT:** Electromagnetic acoustic transducer, **U:** Ultrasonic, **LAMI:** Local area magnetization and inspection, **RFEC:** Remote field eddy current, **IT:** Infrared thermography, **PMFL:** Pulsed magnetic flux leakage, **ECPT:** Eddy current pulsed thermography, **PMR:** Pulsed magnetic reluctance, **(g*u*d):** (genişlik*uzunluk*derinlik), **r:** yarıçap, **R:** Çap, **Al:** Alüminyum, **D.P :** Dikdörtgenler prizması, **D:** Dikdörtgen, **S/D:** Simülasyon/deney, **CCTV:** Closed-circuit TV, **LMOM:** Laser-based magneto-optic microscopy, **ICS:** Internal corrosion sensor, **MAT:** Magnetic adaptive testing, **SCC:** Stress corrosion cracking

Çatlak belirleme amacı ile için yapılan çalışmalar incelendiğinde en yaygın yöntem olarak MFL yönteminin kullanıldığı görülmüştür [78, 81-85, 88-90, 93, 94, 96-100, 101, 102, 106, 108-110, 113, 118, 119]. Bu yöntemde genel olarak Hall sensörler kullanılmıştır [81, 83, 89, 93, 94, 96, 98, 100, 104, 113, 118]. Bunun yanı sıra AMR [109], GMR [82, 103], Magnetometer [99], Gaussmeter [97], GMI [90], Magneto-optic [85] sensörlerin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Hall sensör fiyatları piyasada 0.5 Amerikan Doları'ndan başlamaktadır. Kullanım amacı ve hassasiyetine bağlı olarak bu fiyat değişmekte ve artmaktadır. Ayrıca Hall sensörler günümüzde kolay ulaşılabilir durumdadır. Yüksek manyetik alanda bile doyuma ulaşmamaları da en önemli özelliklerinden birisidir. Tüm bu sebeplerin, araştırmalarda Hall sensör kullanımının fazla olmasında etkili olduğu düşünülebilir.

Yapılan çalışmalarda X52 çelik boru kullanımının oldukça yaygın olduğu görülmektedir [78, 83, 88, 100]. Bu durumun ana sebebi olarak X52 çeliğinden üretilen boruların kullanım alanlarının geniş olması gösterilebilir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde hız faktörünü temel alan çalışmaların azlığı öne çıkmıştır. Bu durum, sensörlerin farklı hızlardaki ölçüm kabiliyetlerinin ölçülmesi adına literatürdeki bir eksiklik olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı hızlarda deney yapılabilecek deney düzeneği kurulabilmesi için boru içinde hareket eden PIG'in hızlanıp yavaşlayabileceği uzun bir boru hattına ihtiyaç vardır. Laboratuvar ortamında böyle bir sistemin kurulması da oldukça zordur. Sonuç olarak hız faktörüne bağlı deneylerin azlığı bu sebepler ile ilişkilendirilebilir.

Yapılan çalışmaların neredeyse hepsinde oluşturulan kusurların keskin şekillere sahip, yapay kusurlar olduğu görülmüştür. Kusurların birçoğu dikdörtgenler prizması şeklinde [76-78, 105-108, 115-119] açılmıştır. Ayrıca, oyuk şeklinde açılan kusurların belirlenmeye çalışıldığı çalışmalar da mevcuttur [99, 101, 104, 114, 120]. Bu durum, gerçek çatlaklar bulunsa ve incelense bile uzunluk, derinlik ve genişlik gibi parametrelerin değiştirilmesinin gerçek çatlaklarda mümkün olmaması ile açıklanabilir.

Çalışmaların gerçekleştirilme biçimleri (deney, simülasyon, deney/simülasyon) incelendiğinde, her üç biçimin de yaygın olarak kullanıldığı

görülmüştür. Sadece simülasyon yapılan çalışmaların deney ile desteklenerek geçerliliklerinin kanıtlanmasının bu alana daha fazla katkı vereceği düşünülebilir. Yani sadece simülasyon ortamında gerçekleştirilen her bir çalışmanın gerçeğe olabildiğince yakın ortamlarda denenmesinin çalışmaların kullanılabilir son ürünler elde edilmesine daha fazla fayda sağlayacağı düşünülebilir.

1.6 Çalışmanın Amacı

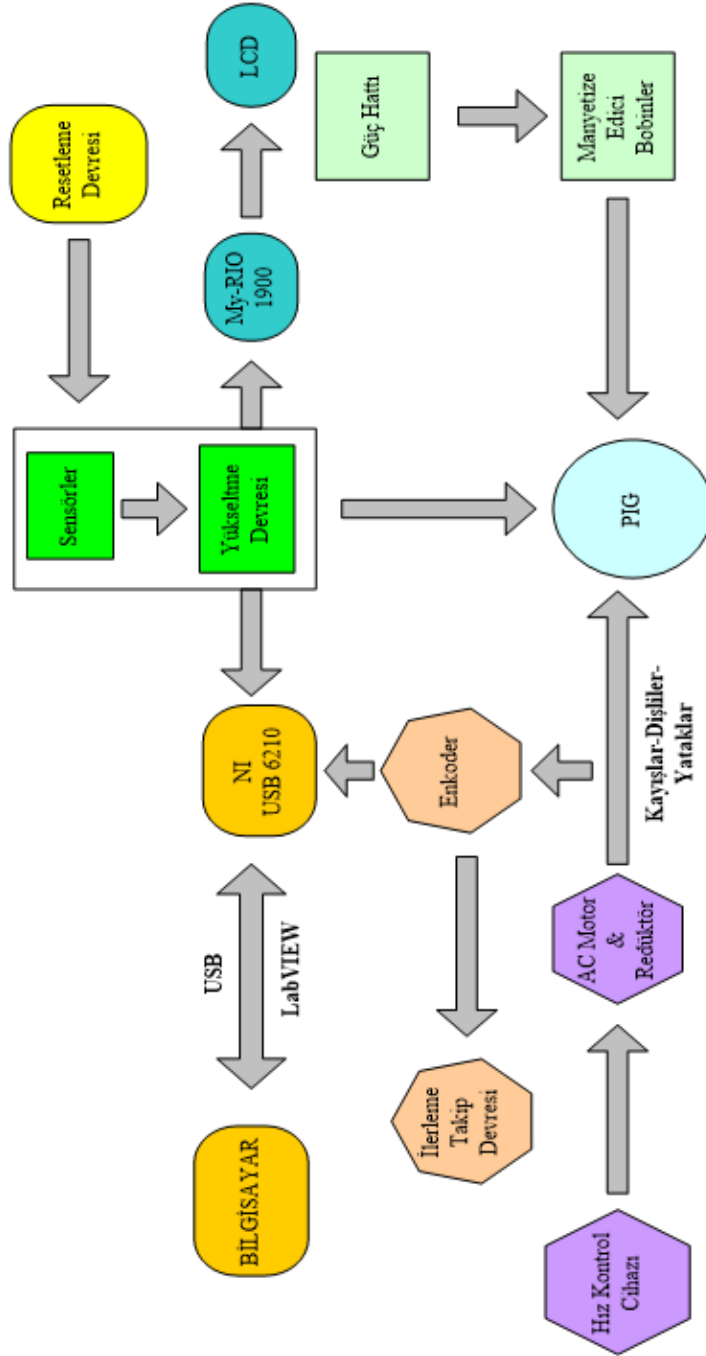
Bu bölüme kadar olan başlıklarda boru iletim hatlarının önemi ve bu hatlarda meydana gelen kazaların sebepleri detayları ile incelenmiştir. Korozyon ve çatlakların bu sebepler arasındaki yeri yadsınamaz. Bunun yanı sıra ülkemizin bir enerji koridoru olması ve enerji iletiminin büyük bir bölümünün boru hatları ile yapılması, düzenli boru hattı muayenesinin önemini bir kat daha arttırmaktadır. Yapılan literatür taramasında ülkemizde boru hatlarının muayenesi üzerine yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu doğrultuda bu araştırmada farklı manyetizasyon şartlarında örnek bir boru hattı üzerinde oluşturulacak çatlakların belirlenebilmesi amacı ile manyetik akı kaçakları yöntemini kullanan yeni bir PIG'in tasarlanıp imal edilmesi hedeflenmiştir.

Bununla birlikte literatürde var olan PIG'lerin hıza bağlı çatlak belirleyebilme kabiliyetleri hakkında bir bilgiye rastlanmadığından, imal edilecek bu PIG'in çatlak belirleyebilme kabiliyetinin hızına bağlı olarak optimize etmek çalışmanın ikinci hedefi olmuştur. Diğer hedef ise, PIG'in bobinlerine uygulanan akım genliğinin bu optimizasyonu nasıl etkilediğini bulmak olarak belirlenmiştir. Ayrıca PIG'in mekanik kontrolü ve sensörlerden elde edilen verilerin kaydedilmesi amacı ile grafiksel programlama dili olan LabVIEW programının kullanımı bu çalışmayı diğerlerinden ayırmaktadır.

2. ÖLÇÜM SİSTEMİ

Ölçüm sistemi; mekanik sistem, elektronik sistem ve yazılım olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Mekanik sistem; boru numunesinin yerleştirileceği profil iskelet, sekiz adet sabitleme levhası, PIG'in (boru hattı muayene aygıtı) hareketini sağlayan AC motor ve redüktör, kayışlar, dişliler ve yataklar ile PIG'in içine yerleştirildiği boru hattından oluşmaktadır. Elektronik sistemde ise AC motor hız kontrol cihazı, PIG, sensörler, sinyal yükseltme devreleri, sensör resetleme devresi, NI-USB 6210 veri toplama kartı, NI myRIO-1900, enkoder, güç hattı (doğrultma devresi), ilerleme kontrol devresi ve LCD ekranlar bulunmaktadır. Yazılım kısmı ise grafiksel programlama dili olan LabVIEW kullanılarak yazılan, sistemden verilerin alınmasını, kaydedilmesini ve görüntülenmesini sağlayan iki farklı programdan oluşmaktadır. Ölçüm sistemine ait alt sistemler ve bu sistemleri oluşturan elemanların birbirleri ile olan iletişimleri Şekil 2.1'de yer alan şematik gösterimde verilmiştir.

Tezin bundan sonraki kısmında yukarıda kısaca bahsedilen mekanik sistem, elektronik sistem ve yazılım kısımları sırası ile ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



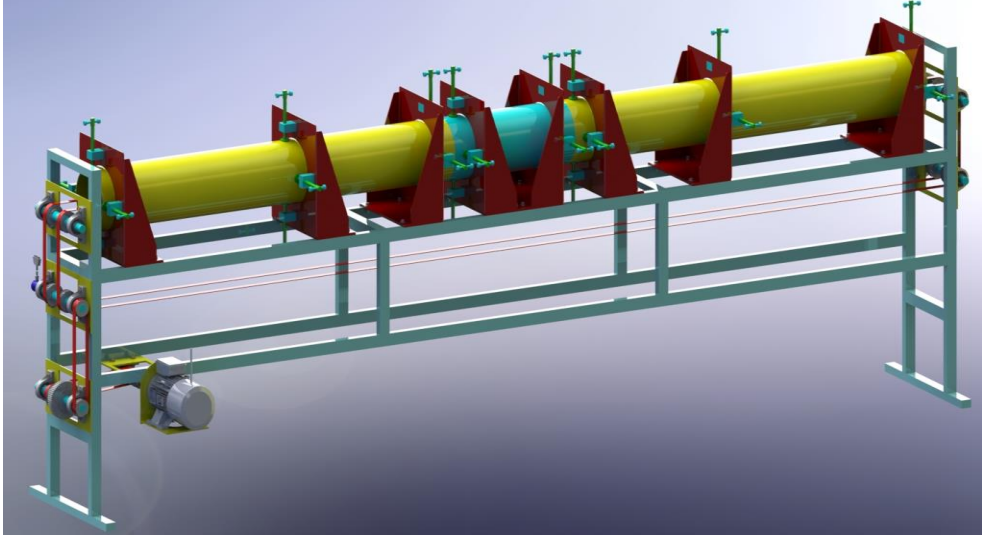
Şekil 2.1: Sistem bileşenleri ve birbirleri ile iletişimi.

2.1 Mekanik Sistem

Mekanik sistem, profil iskelet üzerine konumlandırılmış AC motor ve redüktör, motor hız kontrol cihazı, kayışlar, yataklar ve dişliler ile PIG'in içine yerleştirildiği boru hattını içermektedir. Ayrıca sistemde, PIG'in içinde hareket edeceği borunun sabitlenmesi amacı ile sekiz adet levha kullanılmıştır.

2.1.1 Profil İskelet ve Sabitleme Levhaları

Sistemi taşıyan iskelet 40 x 60 mm ve 40 x 40 mm ebatlarında profil demirden yapılmıştır. İskeletin dıştan dışa ölçüleri 174 x 540 cm'dir. İskeletin tasarım aşamasına ait çizim Şekil 2.2'de ve üretim aşamasına ait fotoğraf Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.2: Profil iskelet tasarımı.



Şekil 2.3: Profil iskeletin üretim aşaması.

5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılarak yapılan sekiz adet sabitleme levhasının her birinde 90 mm uzunluğunda dört adet cıvata bulunmaktadır. Bu cıvataların kullanım amacı sistemde yer alan boruların sabitlenmesi ve dengelenmesidir. Deney esnasında PIG'in düz bir zeminde hareket etmesi için bu cıvatalar ve su terazisi kullanılarak borular profil iskelet üzerinde konumlandırılmıştır. Sabitleme levhalarının üretim aşamasına ait fotoğraf Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Üretim aşamasında sabitleme levhası.

Üretimi tamamlanan ve boyanan sistem iskeleti ve sabitleme levhalarına ait fotoğraf Şekil 2.5'te verilmiştir.

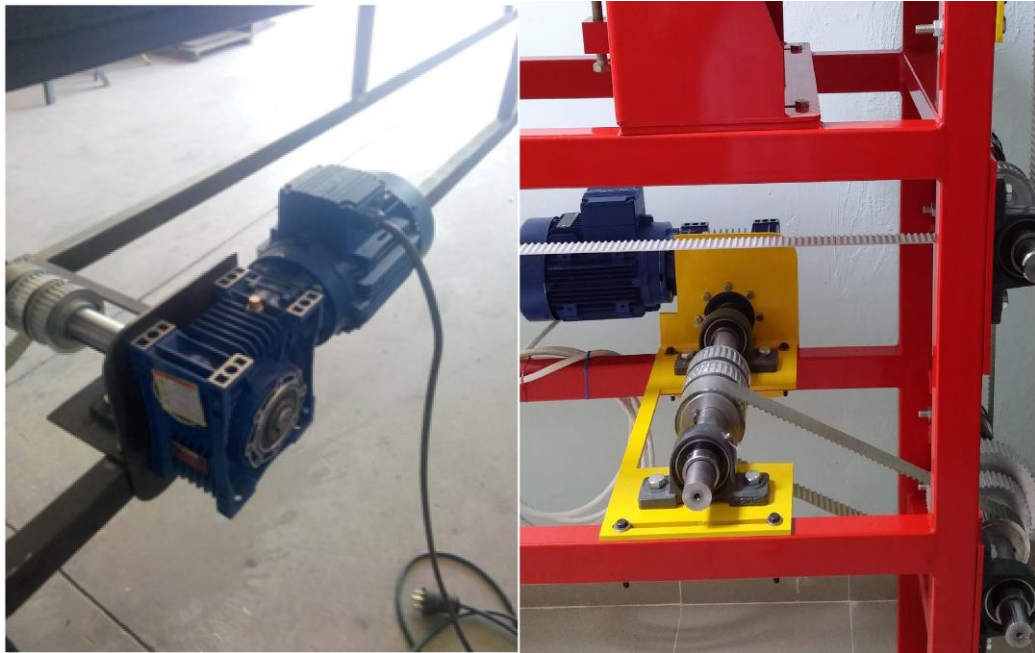


Şekil 2.5: Mekanik sistemin boya ve montaj sonrası görünümü.

Sistemi taşıyan ana iskelet üzerine test edilecek boru numunesi, sabitleme levhaları ve PIG yerleştirildiğinde, bu bileşenler oldukça ağır oldukları için, iskeletin orta kısmında az da olsa bir esneme meydana gelmektedir. Bu eğilmenin ortadan kaldırılması amacı ile Şekil 2.5’te de görüldüğü gibi “T” şeklinde profilden yapılmış ve yüksekliği ayarlanabilir bir destek üretilmiştir. Sistemin ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilen bu destek sayesinde deneyler gerçekleştirilirken PIG’in hareketi sırasında oluşan esneme minimum düzeye indirilmiştir. Mekanik sistemin üretim aşamasına ait fotoğraflar Ek A’da verilmiştir.

2.1.2 AC Motor ve Redüktör

Sistemde PIG’in boru numunesi içinde hareketinin sağlanması amacı ile bir AC motor ve ona bağlı bir redüktör kullanılmıştır. Bahsi geçen elemanlar kontrol panelinin tersi tarafta konumlandırılarak deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkabilecek olası sorunların (motor / redüktör / dişliler ile el teması ya da herhangi bir malzeme sıkışması gibi) önüne geçilmeye çalışılmıştır. Üretim esnasında ve montaj gerçekleştirildikten sonra sistem üzerinde motor ve redüktörün görüntüleri Şekil 2.6’da verilmiştir.



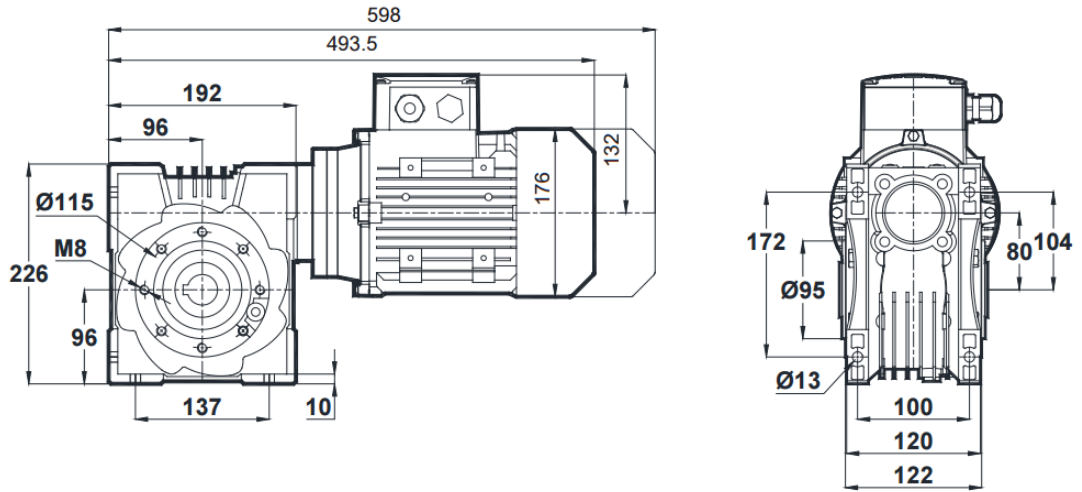
Şekil 2.6: Üretim esnasında ve montaj sonrasında motor ve redüktörün görünümü.

Sistemde kullanılan motor tam yük altında 1,50 kW güce ve dakikada 1440 devir çıkışa sahiptir. Motor ve redüktöre ait teknik özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Motor ve redüktöre ait teknik veriler.

Motor							Redüktör	
Tam Yük Değeri				Kalkış			Güç (kW)	Devir (rpm)
Güç (kW)	Devir (rpm)	Akım (A)	Moment (Nm)	Güç Faktörü (cosφ)	Akım (I/INA)	Moment (MA/MN)		
1.50	1440	3.40	9.95	0.77	6.00	2.30	1.50	106

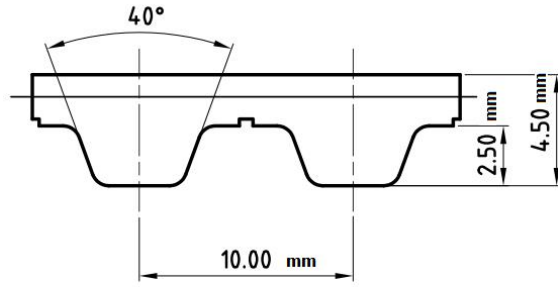
Tam yük altında motor maksimum 3.40 A akım çekmektedir. Boyutlarının incelenmesi açısından motor ve redüktöre ait teknik çizimler Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7: Motor ve redüktöre ait teknik çizimler.

2.1.3 Kayışlar, Dişliler ve Yataklar

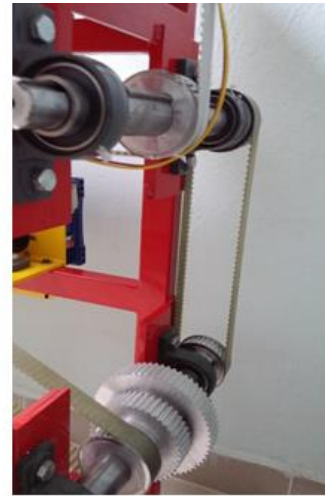
Sistemde üç farklı bölümde poliüretan çelik telli zaman kayışı (polyurethane steel cord timing belt) kullanılmıştır. Bu kayışlardan birisi açık uçlu (open end), diğer ikisi de kapalı uçludur (endless). T10 tipi olan bu kayışların teknik çizimi ve sistemde kullanıldığı bölümlere ait örnekler Şekil 2.8’de verilmiştir.



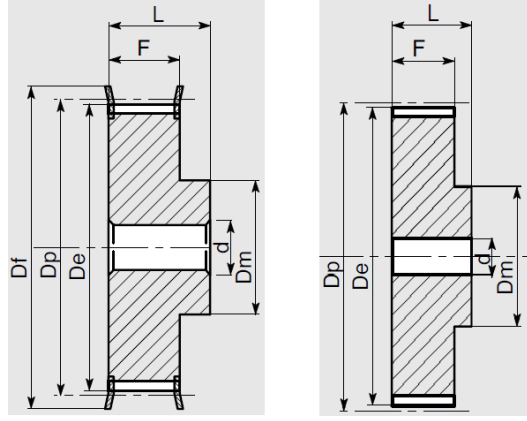
Şekil 2.8: T10 tipi kayış ve sistemde kullanıldığı bölümler.

Motordan elde edilen hareketin PIG'e aktarılması amacı ile kullanılan elemanlardan birisi olan kayışlar 32 mm genişliğe ve 10 mm hatve mesafesine sahiptir. Sistemde hareket edecek ve veri toplamayı sağlayacak olan PIG içerisinde demir-karbon alaşım nüveler bulunmaktadır. Bu sebeple ağırlığı oldukça fazla olan PIG'in çekilmesi ve hareket ettirilmesi sırasında ortaya herhangi bir sorun çıkmaması (kayış kopması gibi) adına kullanılan kayışlar seçilirken içerisinde çelik teller olmasına dikkat edilmiştir.

Sistemde iki farklı tipte toplam 12 adet dişli kullanılmıştır (T32-T10-32F-AL). Bu dişliler arasındaki aktarım da kayışlar ile sağlanmıştır. Alüminyum malzemeden yapılan dişlilerin kullanıldığı bazı bölümler ve dişlilere ait teknik çizimler Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9: Sistemde kullanılan dişliler.



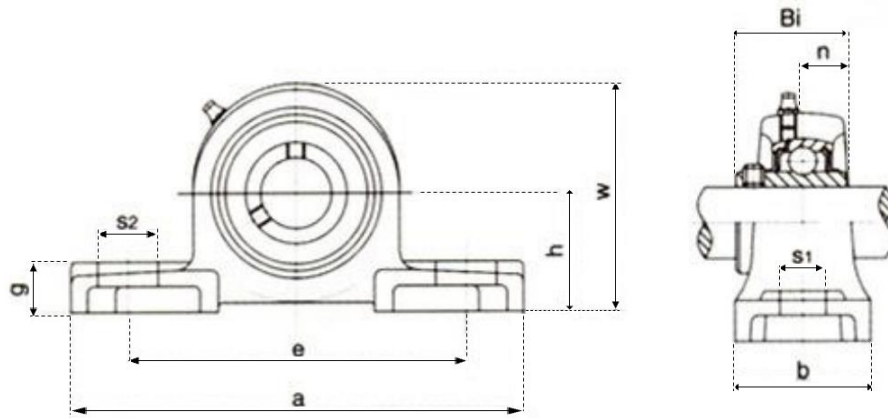
Şekil 2.10: Sistemde kullanılan dişlilere ait teknik çizimler.

Dişlilere ait teknik veriler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Dişlilere ait teknik veriler.

Dişli Sayısı	Diş Sayısı	De (mm)	Df (mm)	Dp (mm)	Dm (mm)	F (mm)	L (mm)	D (mm)
10	32	100	106	102	65	37	47	50
1	44	138.20	-	144.20	88	37	47	50
1	60	189.10	-	191.10	110	37	47	50

Sistemde dişlilerin ana iskelete sabitlenmesi ve hareket etmesi amacı ile 12 adet yataklı rulman (ball bearing unit) bulunmaktadır (WBF P208 UC208). Yataklı rulmanların sistemdeki kullanımı Şekil 2.9’da, rulmanlara ait teknik çizim ise Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11: Sistemde kullanılan yataklı rulmanlara ait teknik çizimler.

Yataklı rulmanlara ait teknik veriler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: Yataklı rulmanlara ait teknik veriler.

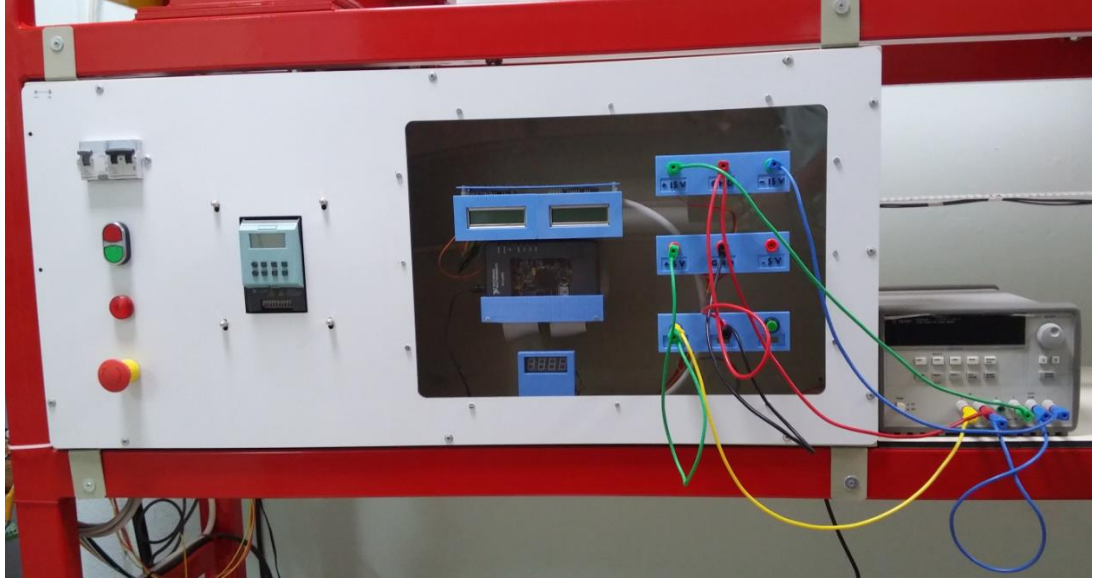
Şaft çapı (mm)	h (mm)	a (mm)	e (mm)	b (mm)	S1 (mm)
40	49.2	184	137	54	17
S2 (mm)	g (mm)	w (mm)	n (mm)	Bi (mm)	Ağırlık (kg)
21	18	98	19.0	49.2	1.83

2.1.4 Boru Hattı

Gerçekleştirilecek olan deneylerde, doğal gaz iletim hatlarını aktif olarak bulunan Yüksek Frekans Kaynaklı (High Frequency Welding) borular kullanılmıştır. Bu borular kaynak dolgu malzemesi kullanılmadan çelik üzerinden geçirilen yüksek frekanslı akım yardımı ile birleştirilmektedir. Birleştirme işleminin ardından borunun iç ve dış yüzeyinde bulunan çapaklar temizlenmektedir. HFW çelik kaynaklı borular petrol, doğalgaz, su ve diğer akışkanların taşıma ve dağıtım hatlarında, ısıtma, soğutma ve havalandırma borularında, çelik yapı elemanı olarak ve diğer genel amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçüm sisteminde kullanılan borunun iç çapı, dış çapı ve et kalınlığı sırasıyla, 31.7 cm, 32.5 cm ve 0.4 cm'dir.

2.2 Elektronik Sistem

Elektronik sistemde AC motor hız kontrol cihazı, PIG, sensörler, sinyal yükseltme devreleri, sensör resetleme devresi, NI-USB 6210 veri toplama kartı, NI-myRIO-1900, enkoder, ilerleme takip devresi, güç hattı ve LCD ekranlar bulunmaktadır. Elektronik sistem bileşenlerine ait bağlantılar kontrol paneli içinde toplanmıştır. Ayrıca sistemde yer alan sensörler, yükseltme devreleri, resetleme devresi ve ilerleme kontrol devresine ait besleme gerilimleri için kontrol panelinin sağ tarafına güç girişleri konumlandırılmıştır. Güç kaynağı ile elektronik sistem arasındaki bağlantı bu girişler vasıtası ile sağlanmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Kontrol paneli genel görüntüsü ve besleme bağlantıları.

2.2.1 AC Motor Hız Kontrol Cihazı

Sistemde yer alan motorun hızının ayarlanması amacı ile Siemens Sinamics G110 (hız kontrol cihazı) kullanılmıştır. Cihazın kontrol panelindeki görünümü Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13: Kontrol panelinde hız kontrol cihazının görünümü.

Programlanabilir özelliğe sahip olan cihaz, şebeke frekansının değiştirilmesini sağlamaktadır. 47 Hz ile 63 Hz aralığında giriş frekansına sahip olan hız kontrol cihazının çıkış frekansı 0 ile 650 Hz aralığındadır. Şebeke frekansında sağlanan bu değişim ile motorun devir sayısı değiştirilmektedir. Bu sayede sistemde

farklı hızlarda deneyler yapılması sağlanarak hız değişkenine ait inceleme yapılması amaçlanmıştır. Kontrol cihazına ait teknik veriler Tablo 2.4'te verilmiştir.

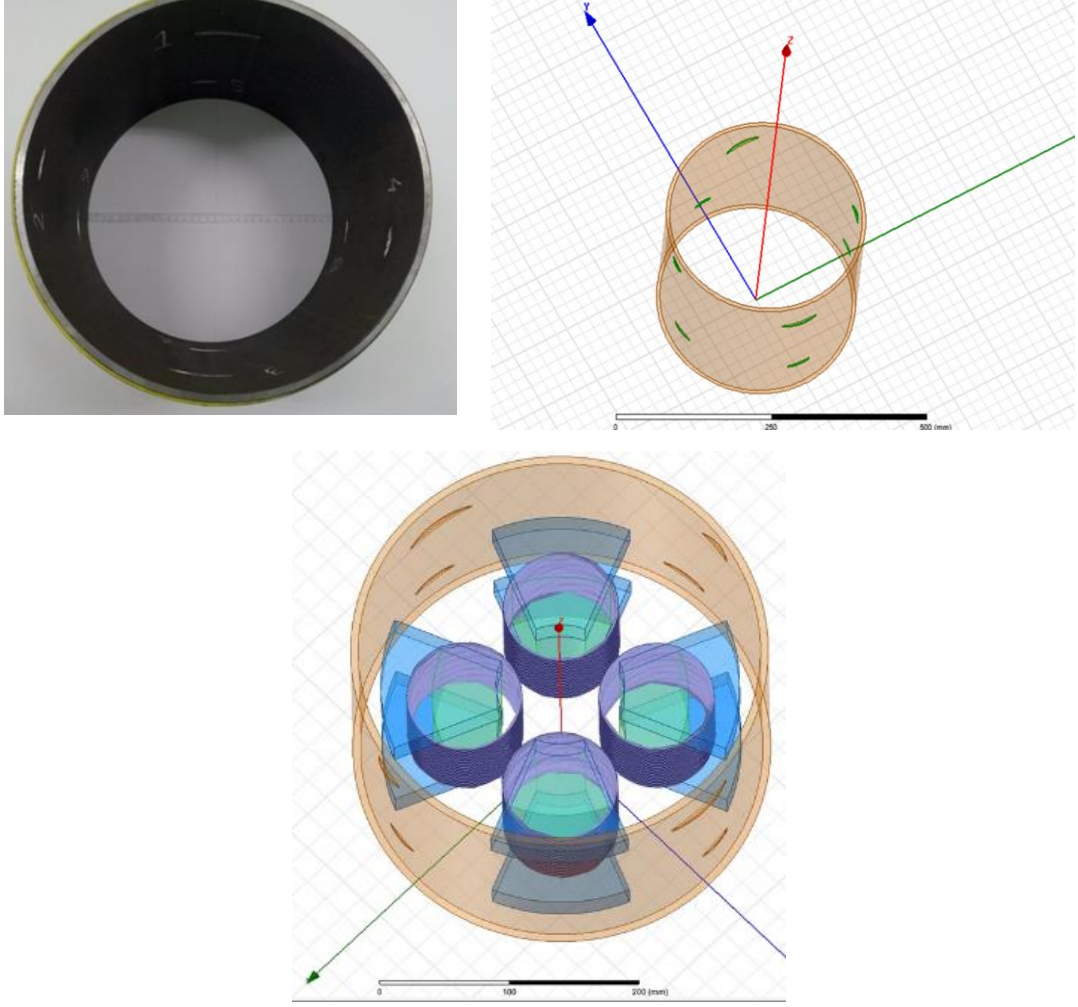
Tablo 2.4: Hız kontrol cihazına ait teknik veriler.

Güç (kW)	Giriş			Çıkış		Çalışma Sıcaklığı (°C)
	Akımı (A)	Gerilimi (V)	Frekansı (Hz)	Akımı (A)	Frekansı (Hz)	
1.1	14.7	200 - 240	47 - 63	6.0	0 - 650	-10... +40

Tablo 2.4'te görüldüğü gibi giriş akımı 14.7 A olan cihazın çıkış akımı 6.0 A'dir. Ayrıca çalışma sıcaklığı olarak -10 °C ile +40 °C aralığı verilmiştir.

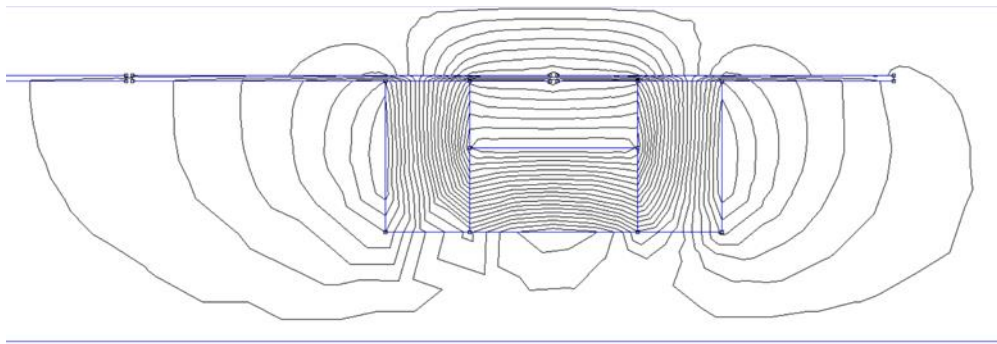
2.2.2 Eksensel PIG

Boru hattında bulunan çevresel çatlakların belirlenmesi amacı ile eksensel bir PIG tasarlanarak üretilmiştir. Bu tasarımda tespiti, planlanan çatlak geometrisine göre nüvenin nasıl bir geometrik yapıda olması gerektiği ve akım gereksinimi ANSYS Maxwell simülasyon programı ile belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada çizgi şeklinde çevresel çatlakların belirlenmesi hedeflendiğinden öncelikle çatlak bölgesindeki manyetik akının davranışı belirlenmiş, buna bağlı olarak sensörlerin konumlarına karar verilmiştir. Bu bilgiler ışığında PIG'in yapısı ortaya çıkarılmıştır. Bu aşamadan sonra PIG'in imalat çalışmaları başlamıştır. Şekil 2.14'te çevresel çatlaklara sahip bir boru hattı, bu borunun ANSY Maxwell programında simüle edilen çizimi görülmektedir. Ayrıca simüle edilen nüve ve sarımların çevresel çatlakların bulunduğu boru numunesi içindeki simüle görüntüsü de Şekil 2.14'te bulunmaktadır.



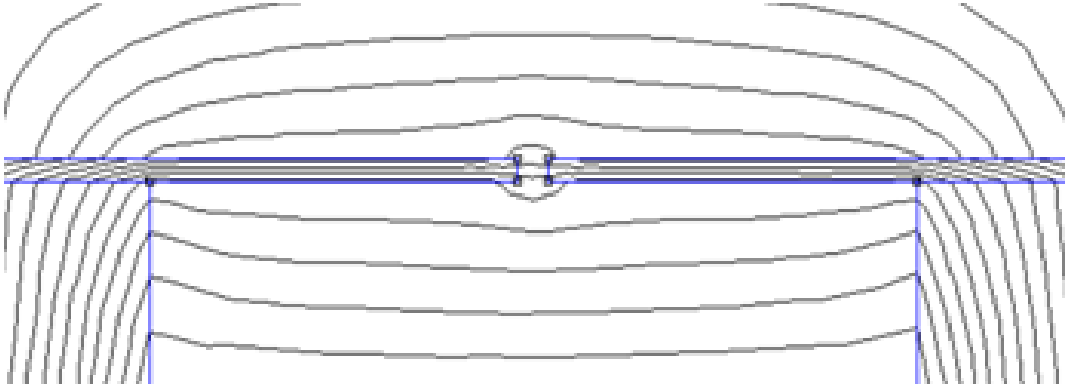
Şekil 2.14: Test edilmek istenen çatlak yapısına bağlı PIG tasarım işlemleri.

Üzerinde çevresel çatlak bulunan bir borunun, tasarlanan nüve tarafından manyetize edilmesi sonucunda oluşan manyetik alan dağılımı Şekil 2.15'te verilmiştir.



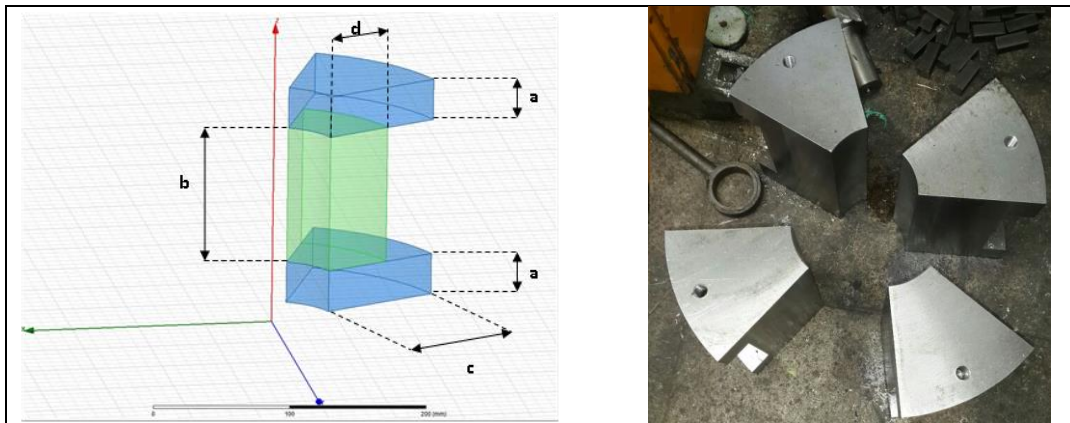
Şekil 2.15: Simüle edilen nüve boru çatlak yapısına ait manyetik alan çizgilerinin görünümü

Çatlak etrafında oluşan manyetik alan çizgilerinin yakın bir görünümü ise Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16: Çatlak etrafındaki simüle görüntü

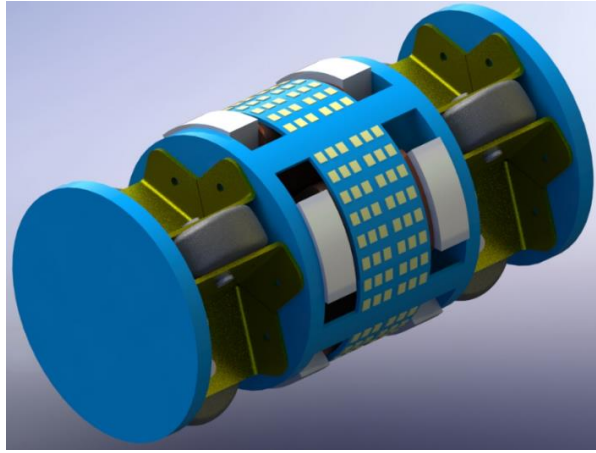
PIG’in deneylerin gerçekleştirileceği boru hattı içinde hareketi, üzerlerine her iki kenarlarından sabitlenen kayışlar ile sağlanmıştır. Eksensel PIG, 16 adet manyetik sensör (KMZ51), 16 adet sinyal yükseltme devresini içeren elektronik kart, %2'den fazla karbon oranı içeren demir-karbon alaşımlı nüveye sahip 4 adet bobin ve 6 adet tekerlekten oluşmaktadır. PIG’in üretiminde ana malzeme olarak manyetik özellik içermeyen kestamit ve alüminyum kullanılmıştır. Eksensel PIG içerisinde yer alan ve boru hattının manyetize edilmesini sağlayan nüveli bobinlere ait tasarım ve nüvelerin üretim aşaması Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17: Eksensel PIG’e ait manyetize edici nüve yapısı.

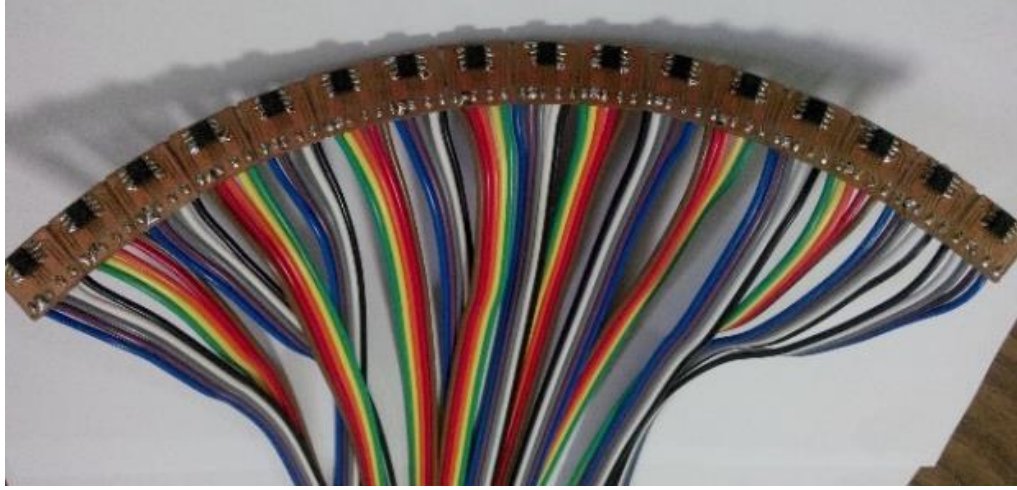
PIG’de yer alan demir-karbon alaşımından oluşan nüveler, boruyu boyuna manyetize edebilecek geometride tasarlanmıştır. Nüvelerin pabuçları $a = 5$ cm

genişliğinde, pabuçlar arasındaki mesafe de $b = 10$ cm olarak belirlenmiştir. Nüvelerin üzerine 1 mm çapında bakır kablolar sarılarak 1200 sarımlı 4 bobin imal edilmiştir. Nüvelerin pabuçları arasındaki mesafe 10 cm olduğu için her bir katta 1000 tur olacak şekilde 12 kat sarım yapılmıştır. Nüve üzerine 12 kat sarım yapılmasının sebebi sensör kartlarının nüvelerin ortasına denk gelecek şekilde konumlandırılacak olmasıdır. Sensör kartlarından çıkan besleme ve çıkış gerilimine ait bağlantı kablolarının geçebilmesi için bir boşluğa ihtiyaç duyulmaktadır. Bobinler, manyetik sensörler ve yükseltme devrelerini içerecek biçimde tasarlanan eksensel PIG'e ait çizim Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18: Eksensel PIG'e ait tasarım.

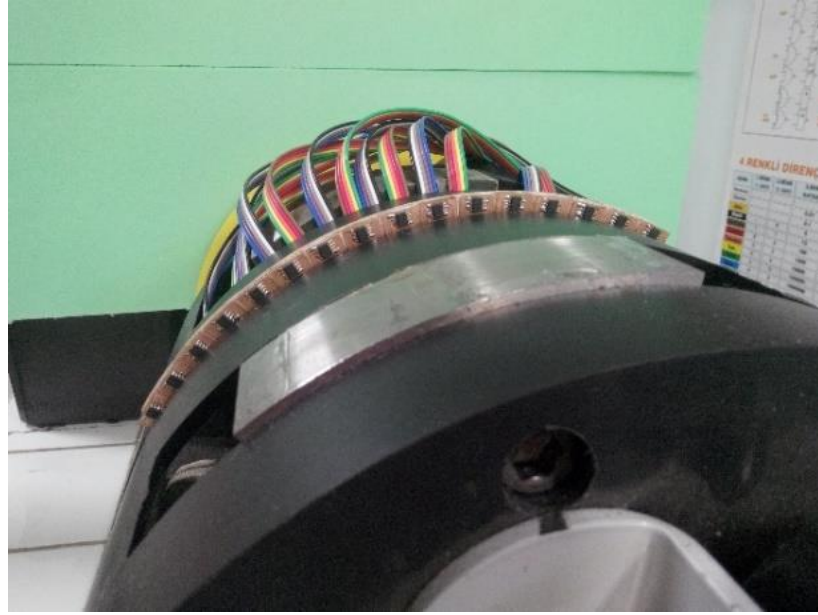
Şekil 2.18'de de görüldüğü gibi PIG'in hareketini sağlayacak olan tekerlekler birbirleri ile 120° açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede sensörlerin ya da nüvelerin boru duvarına çarpması engellenmiştir. Ayrıca sensör ve boru duvarı arasındaki mesafenin de sabit olması sağlanmıştır. Tasarım aşamasının ardından ağırlıklı olarak kestamit ve alüminyumdan oluşan eksensel PIG'e ait mekanik yapı üretilmiştir. Daha sonra ölçüm sisteminde algılayıcı olarak kullanılacak KMZ51 sensör ağı, eksensel PIG'in tasarımına, daha önce yapılan simülasyonlara ve testlerin gerçekleştirileceği boru hattının yarıçapına uygun olarak dairesel bir yapıda Şekil 2.19'da görüldüğü gibi yan yana biçimde yerleştirilmiştir. Sensör kartlarının arasındaki mesafe minimum düzeyde tutularak algılama hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca sensörlerin yan yana konumlandırılmasında aralarındaki mesafenin sabit olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 2.19: KMZ51 sensör ağının yan yana montajı.

16 adet KMZ51 sensörün kullanıldığı sensör ağının PIG üzerine yerleştirilmesinden sonra ortaya çıkan görüntü Şekil 2.20’de görüldüğü gibidir.

Sistemde kullanılan sensöre ait detaylı teknik bilgiler “2.2.4 Sensör (KMZ51)” başlığı altında ilerleyen bölümlerde verilmiştir.



Şekil 2.20: 16 adet KMZ51 sensörün PIG üzerine monte edilmiş hali.

PIG üzerinde yer alan sensörler nüvenin tam merkezinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen görüntülere bakılarak boru üzerinde çatlak sebebi ile oluşabilecek akı kaçaklarının sensörlerde maksimum gerilim farkı oluşturması amaçlanmıştır. Ayrıca nüvenin dışında kalan kısımlarda

meydana gelebilecek akı kaçaqlarının belirlenmesi ve karakterizasyonunun yapılabilmesi amacı ile nüve pabuçları dışında kalan kısımlara da sensörler yerleştirilmiştir. Eksensel PIG'e ait üretim sonrasında ortaya çıkan son görüntü Şekil 2.21'de verilmiştir. PIG üretim aşamalarına dair detaylı fotoğraflar EK A'da verilmiştir.



Şekil 2.21: Çalışma kapsamında üretilen eksensel PIG.

PIG ile veri toplama kartı olarak kullanılan NI-USB 6210 arasındaki bağlantılar şerit kablolar ile sağlanmıştır. Şerit kablolar PIG'i hareket ettiren çelik telli kayış üzerine Şekil 2.22-a'da gösterildiği gibi sabitlenerek, kabloların sistem üzerinde hareket etmesi sağlanmıştır. Ayrıca nüve üzerinde yer alan sarımlar 0.75 mm çapında ve şerit kabloların tersi yönünde konumlandırılmış bakır kablolar aracılığıyla beslenmiştir. Veri hattına benzer biçimde güç kabloları da yine kayış üzerine sabitlenmiştir. Güç hattına ait kabloların bağlantı görüntüsü Şekil 2.22-b'de verilmiştir.



a)



b)

Şekil 2.22: a) Şerit kablo ile sensör çıkışlarının b) güç hattının kayış üzerine sabitlenmesi.

Ayrıca sarımların beslenmesi amacı ile bir varyak ve doğrultma devresinden oluşan güç hattından yararlanılmıştır. Şekil 2.23'te görülen güç hattı elemanları sistemde kolay kontrol edilebilmesi amacı ile kontrol panelinin altına yerleştirilmiştir. Güç hattına ait detaylı bilgi “2.2.5 Güç Hattı” başlığı altında ilerleyen bölümlerde verilmiştir.



Şekil 2.23: Varyak, doğrultma devresi ve PIG ile bağlantısı.

2.2.3 NI-USB 6210

Manyetik sensörlerden elde edilen gerilim değerleri, yükseltme devreleri ile yükseltildikten sonra NI USB-6210 veri toplama kartı ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. National Instruments firması tarafından üretilen USB-6210 multifunction DAQ cihazında, 16 adet analog giriş (input) (16 bit, 250kS/s), 4 adet dijital giriş (input) ve 4 adet dijital çıkış (output) kanal bulunmaktadır. Ayrıca cihaz 2 adet 32 bit sayıcıya (counter) sahiptir. Cihaz maksimum analog giriş 91.6µV hassasiyet ile okuma gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca üzerinde +5V çıkış gerilimi verebilen bir pini bulunan USB-6210'un verebildiği maksimum akım değeri 50 mA ile sınırlandırılmıştır. Veri toplama kartı (NI USB-6210) ve bağlantı şeması Şekil 2.24'te verilmiştir.



Şekil 2.24: a) NI-USB 6210 b) bağlantı şeması.

2.2.4 Sensör (KMZ51)

1856 yılında William Thomson (Lord Kelvin) tarafından keşfedilen Magnetoresistive etki (MR) dış bir manyetik alan varlığında iletken malzemenin direncinin değişmesi temel prensibine dayanmaktadır. MR etkinin büyüklüğü

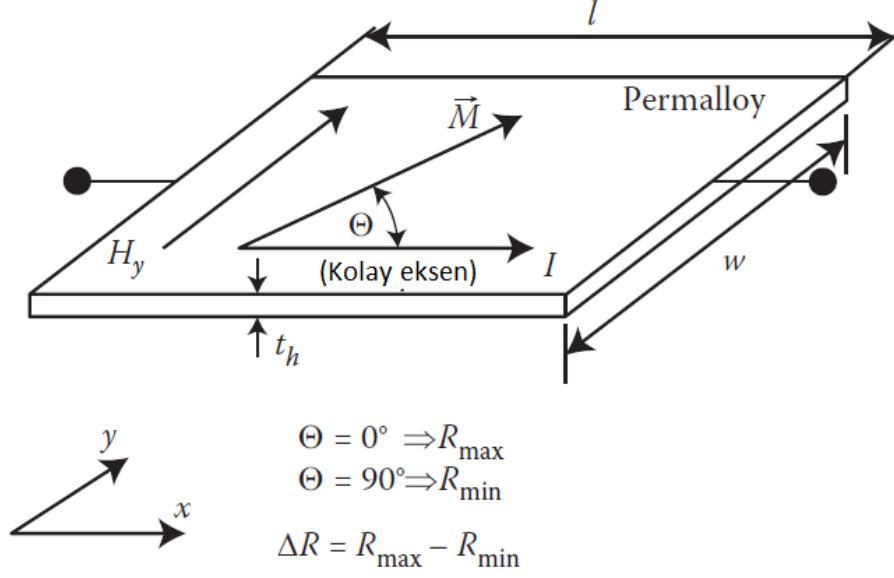
birimsiz olan M_R büyüklüğü ile tanımlanır ve iletkenin yapılmış olduğu malzemenin türüne

$$M_R = \frac{\rho_B - \rho_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

şeklinde verilen denklem ile bağlıdır. Denklem (2.1)'de yer alan ρ_B , herhangi bir B manyetik alanı varlığında iletkenin öz direncini ($\Omega.m$), ρ_0 da bahsi geçen manyetik alan uygulaması olmadığı durumda iletkeninin öz direncini ($\Omega.m$) ifade etmektedir. Malzeme ve yapıya bağlı olarak MR etkileri şu şekillerde sınıflandırılabilir;

- Ordinary magnetoresistance (OMR) etki (manyetik olmayan metaller)
- Anisotropic magnetoresistance (AMR) etki (ferromagnetik alaşım)
- Giant magnetoresistance (GMR) etki (çoklu ferromanyetik alaşımlar ve metalik tabakalı yapılar)
- Tunneling magnetoresistance (TMR) etki (çoklu ferromanyetik alaşımlar ve ince izolasyonlu tabakalı yapılar)
- Ballistic magnetoresistance (BMR) etki (çoklu ferromanyetik alaşımlı katman ve ferromanyetik olmayan nokta yapılar)
- Colossal magnetoresistance etki (Perovskite yapılar; $A_{1-x}B_xMnO_3$, $A = La, Pr, Nd$ ya da Sm , $B = Ca, Sr$ ya da Ba)

Şekil 2.25'te verildiği gibi ferromanyetik bir malzemedan üretilen ($Ni_{81}Fe_{19}$) ince bir film düşünelim. Bu filmin üretimi esnasında x eksenine paralel olacak şekilde güçlü bir manyetik alan uygulanır. Üretim bittikten sonra kaldırılan bu manyetik alan film için kolay eksen olarak adlandırılan $+x$ yönündeki manyetizasyonu sağlar. Film ferromanyetik bir malzeme olduğu için bundan sonra manyetik alanın yönünü muhafaza edecektir.



Şekil 2.25: Üzerinden akım geçen permalloy film üzerine manyetik alan uygulanması.

Film üzerine herhangi bir dış manyetik alan uygulaması yapılmıyor ise bileşke manyetik alan olarak adlandırılan \vec{M} , kolay eksen yönünde olur. \vec{M} vektörü ve film üzerinden geçen akım (+x yönünde) arasındaki açı olarak tanımlanan Θ da sıfır olacaktır ($\Theta=0^\circ$). Bu durumda sensörün direnci olarak tanımlanan R , maksimum değeri olan R_{\max} 'ı alır. Eğer film üzerine +y yönünde H_y büyüklüğünde bir dış manyetik alan etki ederse, bileşke manyetik alan vektörü olan \vec{M} bu durumdan etkilenir ve Θ değeri sıfırdan farklı bir değer alır. H_y manyetik alanı oldukça büyük olursa \vec{M} vektörünü neredeyse tamamen kendine paralel olacak şekilde ($\Theta \approx 90^\circ$) çevirebilir. Bu durumda R direnci, minimum değeri olan R_{\min} 'i alır. Yani Θ , H_y manyetik alan büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Sensörün R direncinin Θ açısına bağlılığı;

$$R(\Theta) = \rho_{\perp} \frac{l}{wt_h} + (\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}) \frac{l}{wt_h} \cos^2(\Theta) \quad (2.2)$$

formülü ile verilir. Burada ρ_{\perp} ve ρ_{\parallel} olarak ifade edilen nicelikler öz dirençlerdir ve sırası ile \vec{M} vektörünün kolay eksene dik ve paralel olması durumlarındaki değerleri ifade etmektedir. l filmin uzunluğunu, w genişliğini, t_h ifadesi de kalınlığını belirtmektedir. Genel olarak $l > w \gg t_h$ durumu geçerlidir. Denklem (2.2) düzenlenirse;

$$R(\Theta) = R_0 + (R_{max} - R_{min})\cos^2(\Theta) \quad (2.3)$$

denklemleri elde edilir. R_0 ($= R_{min}$) direnci \vec{M} manyetik alan vektörünün kolay eksene dik olması durumunda ortaya çıkan direnç değeridir. Son olarak Denklem (2.3) daha sade bir ifade ile;

$$R(\Theta) = R_0 + \Delta R \cdot \cos^2(\Theta) \quad (2.4)$$

biçiminde ifade edilebilir. R_0 ve ΔR değerleri malzeme ve geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Permalloy için ΔR , R_0 'ın %2-3'ü kadardır. Ayrıca Denklem (2.3)'te gerekli düzenlemeler yapılarak ve $R_0 = R_{min}$ eşitliği kullanılarak;

$$R(\Theta) = R_{max}\cos^2(\Theta) + R_{min} - R_{min}\cos^2(\Theta) \quad (2.5)$$

$$R(\Theta) = R_{max}\cos^2(\Theta) + R_{min}(1 - \cos^2(\Theta)) \quad (2.6)$$

$$R(\Theta) = R_{max}\cos^2(\Theta) + R_{min}\sin^2(\Theta) \quad (2.7)$$

eşitlikleri elde edilebilir.

H_{max} AMR sensörün doyuma ulaşmadan okuyabileceği en büyük manyetik alan değeri olmak üzere Θ açısı ile H_y arasında;

$$\cos^2(\Theta) = 1 - \left(\frac{H_y}{H_{max}}\right)^2 \quad \text{ve} \quad \sin^2(\Theta) = \left(\frac{H_y}{H_{max}}\right)^2 \quad (2.8)$$

eşitlikleri bulunmaktadır. H_y dış manyetik alanı \vec{M} vektörünü tamamen kendisine çevirecek kadar büyük bir değer aldığı anda yani H_{max} 'a gittiğinde Θ açısı da 90° 'ye gidecektir. Sonuç olarak eşitlik;

$$R(H_y) = R_0 + (R_{max} - R_{min}) \left[1 - \left(\frac{H_y}{H_{max}}\right)^2 \right] \quad (H_y \leq H_{max}) \quad (2.9)$$

biçiminde ifade edilebilir. $H_y > H_{max}$ durumu içinse R direnci R_0 değerine eşit olacaktır.

Şekil 2.25'ten farklı olarak malzeme üzerine uygulanan manyetik alanın sadece y eksenini boyunca olmadığını düşünelim. Uygulanan H dış manyetik alan vektörü H_x ve H_y bileşenlerine sahip olsun. Böyle bir sistemde magneto-resistive özellik gösteren bir malzemenin manyetik alan altındaki toplam enerjisi magnetostatik enerji (E_{mag}) ve anizotropi enerjisinin (E_{an}) toplamı biçiminde ifade edilebilir;

$$E = E_{mag} + E_{an} \quad (2.10)$$

K_u anizotropi sabiti ve Θ manyetizasyon vektörü \vec{M} ile kolay eksen arasındaki açıyı temsil etmek üzere Denklem (2.10);

$$E = -\vec{H} \cdot \vec{B} + K_u \sin^2(\Theta) \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. H_{max} sensörün doyuma ulaştığı manyetik alan şiddeti olmak üzere enerji ifadesi;

$$E = -\mu_0 H_{max} H_y \sin \Theta - \mu_0 H_{max} H_x \cos \Theta + \frac{1}{2} \mu_0 H_{max} H_k \sin^2(\theta) \quad (2.12)$$

biçiminde açık olarak yazılabilir. Burada H_k anizotropi alanı olarak adlandırılır ve

$$H_k = \frac{2K_u}{H_{max}} \quad (2.13)$$

ile tanımlanır. Θ açısını bulmak için

$$\frac{\partial E}{\partial \Theta} = 0 \quad (2.14)$$

eşitliği kullanılırsa;

$$\frac{\partial E}{\partial \Theta} = -\mu_0 H_{max} H_y \cos \Theta + \mu_0 H_{max} H_x \sin \Theta + \mu_0 H_{max} H_k \sin(\theta) \cos(\theta) = 0 \quad (2.15)$$

elde edilir. Denklem (2.15)'te gerekli düzenlemeler ve sadeleştirmeler yapılırsa;

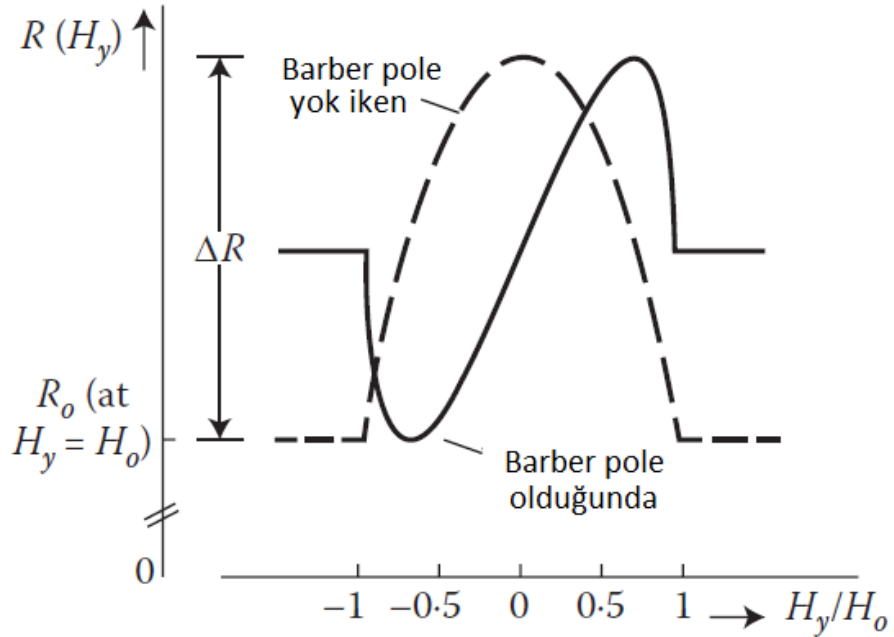
$$H_k \sin(\Theta) \cos(\Theta) = H_y \cos(\Theta) - H_x \sin(\Theta) \quad (2.16)$$

denklemini elde edilir. Kolay eksen ile manyetizasyon vektörü \vec{M} arasında kalan açı olan Θ 'nın çok küçük değerler aldığı bilinmektedir. Bu durumda Denklem (2.16)'da yer alan $\cos(\Theta) \approx 1$ ve $\sin(\Theta) \approx \tan(\Theta)$ olarak alınır;

$$\sin \Theta = \frac{H_y}{H_k + H_x} \quad (2.17)$$

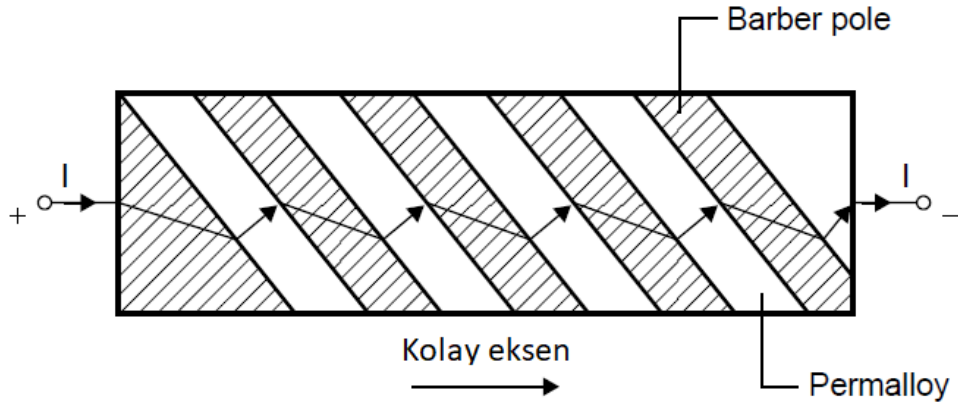
eşitliği elde edilir. Elde edilen Denklem (2.17) ile daha önce elde edilen Denklem (2.8) karşılaştırıldığında H_{max} değerinin, uygulanan H manyetik alanının x bileşeni (H_x) ile anizotropi alanının (H_k) toplamı olarak ifade edilebileceği görülmektedir.

Standart bir AMR sensör ince bir permalloy (demir-nikel) filminden oluşur. Böyle bir filme ait direnç - manyetik alan (R-H) grafiği Şekil 2.26'da verildiği gibidir. Bu grafik Denklem (2.9) kullanılarak elde edilebilir. H_o permalloy malzemeye üretim esnasında uygulanan manyetik alan olmak üzere, dışarıdan uygulanan H_y manyetik alanı sifıra yaklaştığında H_y/H_o oranı da 0'a yaklaşacaktır. Ayrıca bu durumda duyarlılık çok düşük olacaktır. Ayrıca Denklem (2.9)'a göre H_y 'nin yönü (işareti) değişse bile direnç, farklı iki manyetik alan değeri için aynı değeri alacaktır. Barber pole olarak adlandırılan ve alüminyum şeritlerin permalloy üzerine kolay eksen ile 45° açı yapacak biçimde yerleştirilmesi sonucu oluşan yapı sayesinde bu durum ortadan kalkabilmektedir (Şekil 2.27). Şekil 2.26'da barber pole kullanıldığı durumda direnç değerinin manyetik alana bağlı değişimi devamlı çizgiler ile verilmiştir.



Şekil 2.26: Direnç – manyetik alan grafiği.

Alüminyumun elektriksel geçirgenliği permalloydan daha iyi olduğu için (direnci daha küçük olduğundan) akım alüminyum şeritler üzerinde daha uzun bir yoldan gitmeyi tercih edecek, permalloydan geçerken ise kısa yolu tercih edecektir. Bu durumda akım 45° yön değiştirerek ilerleyecektir. Akım ile toplam manyetizasyon vektörü (\vec{M}) arasındaki açı Θ ile $(\Theta-45^\circ)$ arasında değişecektir. Bu durumda sensörün karakteristiği barber pole olmayan duruma göre değişecek ve Şekil 2.26'da devamlı çizgi ile ifade edilen hale gelecektir. Sonuç olarak H_y vektörünün yönü bu sayede ayırt edilebilir bir hal alacaktır. Ayrıca Şekil 2.26'dan da görüldüğü gibi sensörün lineer çalışma aralığı küçük H_y değerleri için elde edilmiş olacaktır.



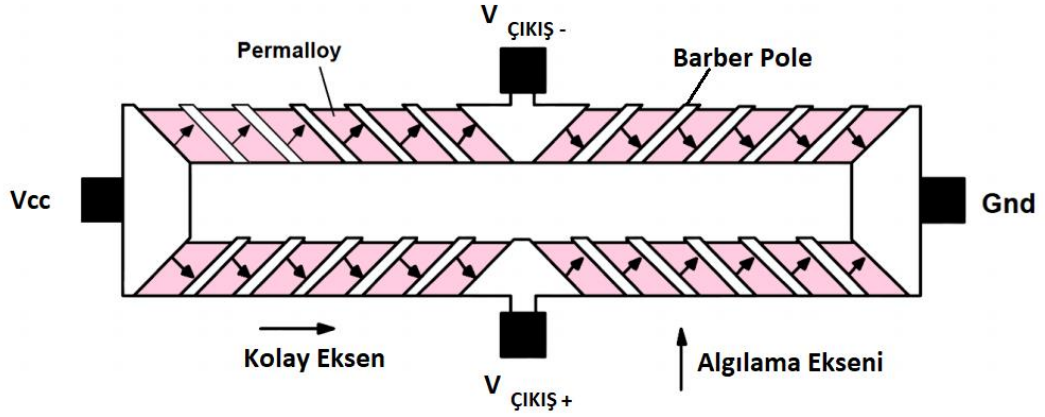
Şekil 2.27: Barber pole yapısı.

Barber pole ile üretilen bir AMR sensör için direnç ifadesini veren denklem artık;

$$R(H_y) = R_0 + \frac{\Delta R}{2} \pm \Delta R \frac{H_y}{H_{max}} \sqrt{1 - \left(\frac{H_y}{H_{max}}\right)^2} \quad (2.18)$$

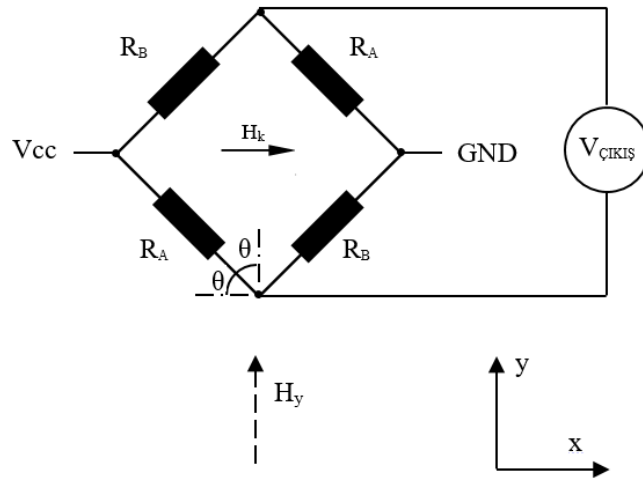
biçiminde yazılabilir. Karekök içinde yer alan $\frac{H_y}{H_{max}}$ ifadesi sıfıra gittiğinde denklem lineer hale gelecektir. Denkleminde yer alan \pm ifadesi ise barber pole yapısının (alüminyum şerit) permalloy malzeme üzerine $+45^\circ$ ya da -45° olarak yerleştirilmesine bağlı şekilde değişecektir.

Wheatstone köprüsü şeklinde birbirine bağlanan barber pole yapısına sahip permalloy filmler (dirençler) ile manyetik alanın yönü ve büyüklüğünün ölçülmesi mümkündür. Bu şekilde bağlanmış dört direnç, her bir direnç üzerinden geçen akımın yönü, besleme ve çıkış gerilim uçları Şekil 2.28’de verilmiştir. Manyetik alan varlığında köprü çıkış geriliminde manyetik alan ile orantılı bir değişiklik meydana gelecektir.



Şekil 2.28: Wheatstone köprüsü şeklinde bağlanmış barber pole yapısına sahip permalloy filmler.

Şekil 2.28’de verilen Wheatstone köprüsü ile elde edilecek çıkış gerilimini ayrıntılı inceleyebilmek için bu devrenin eşdeğeri Şekil 2.29’da verildiği gibi tekrar çizilmiştir.



Şekil 2.29: Eşdeğer wheatstone köprüsü devresi.

Barber pole yapısı gereği kolay eksen ve akım arasında $+45^\circ$ ya da -45° fark olması gerekir. Bu durumun sağlanabilmesi için eşdeğer devrede dirençler üzerinden akım barber pole yokmuş gibi düz olarak geçecek şekilde ve kolay eksen (H_k) +x eksenini yönünde olacak şekilde çizilmiştir. Eşdeğer devrede Wheatstone köprüsü için çıkış gerilimi

$$V_{\text{çıkış}} = V_{cc} \left(\frac{R_B - R_A}{R_A + R_B} \right) \quad (2.19)$$

formülü ile ifade edilebilir. Burada R_A ve R_B değerleri permalloy filmlerin H_y dış manyetik alanı altında sahip oldukları direnç değerleridir. R_A ve R_B direnç değerleri, R_0 minimum direnç değerini ifade etmek üzere Denklem (2.18) ve daha önce elde edilen $H_{max}=H_k+H_x$ denklemi kullanılarak yazılacak olursa;

$$R_A(H_y) = R_0 + \frac{\Delta R}{2} - \Delta R \frac{H_y}{H_k + H_x} \sqrt{1 - \left(\frac{H_y}{H_k + H_x} \right)^2} \quad (2.20)$$

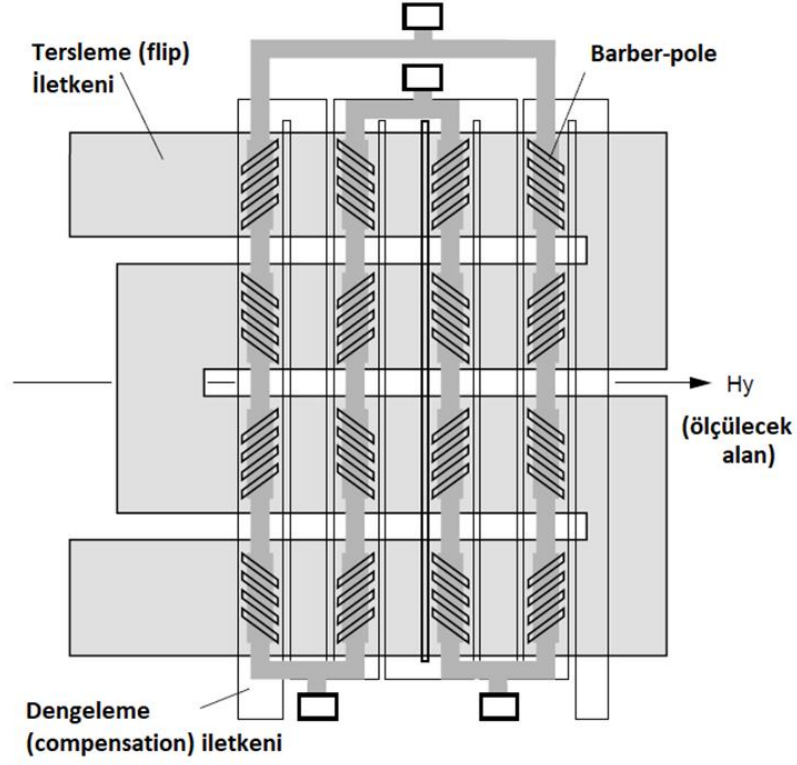
$$R_B(H_y) = R_0 + \frac{\Delta R}{2} + \Delta R \frac{H_y}{H_k + H_x} \sqrt{1 - \left(\frac{H_y}{H_k + H_x} \right)^2} \quad (2.21)$$

elde edilir. Denklem (2.19)'da Denklem (2.20) ve (2.21)'i yerine yazarsak;

$$V_{\text{çıkış}} = V_{cc} \frac{2\Delta R}{2R_0 + \Delta R} \frac{H_y}{H_k + H_x} \sqrt{1 - \left(\frac{H_y}{H_k + H_x} \right)^2} \quad (2.22)$$

ile çıkış gerilimine ait denklem elde edilir. Bu denkleme göre çıkış gerilimini etkileyen değişkenler dış manyetik alanın yanı sıra film üretilirken kolay eksen yönünde yapılan manyetizasyonun şiddetidir.

Sistemde algılayıcı olarak kullanılan KMZ51 AMR sensörler Wheatstone köprüsü biçiminde birbirine bağlanmış dört adet permalloy dirençten oluşmaktadır. Şekil 2.30'da KMZ51 sensöre ait barber pole yapısına sahip permalloy filmlerin dizilimi, dengeleme ve tersleme iletkenleri görülmektedir.

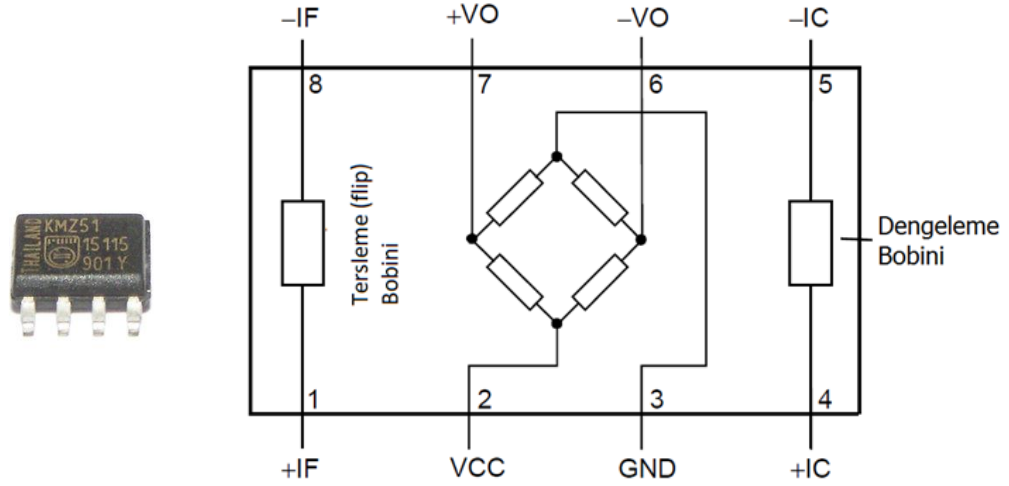


Şekil 2.30: KMZ 51 barber pole yapısı.

Philips firması tarafından üretilen KMZ51 Anizotropik Magneto-resistive (AMR) sensörler dahili olarak dengeleme bobini (compensation coil) ve tersleme bobini (flip coil) içermektedir. KMZ51;

- yüksek hassasiyet ve yüksek güvenilirlik
- düşük ofset gerilimi
- temassız ölçüm / algılama
- geniş çalışma frekans aralığı (0 Hz - 1 MHz)
- yüksek çalışma sıcaklığı (125 °C'ye kadar)
- uzun çalışma ömrü, yüksek stabilite ve sağlamlık özelliklerine sahiptir.

8 bacaklı bir yapıya sahip olan KMZ51 sensörü ve pin bağlantılarının iç yapı ile ilişkisini gösteren çizim Şekil 2.31'de verilmiştir.



Şekil 2.31: KMZ51 ve iç yapısı.

KMZ51'e ait pin bağlantıları ve açıklamaları Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5: KMZ51 pin bağlantıları.

Pin	Sembol	Açıklama
1	$+I_{flip}$	Tersleme bobini
2	V_{cc}	Köprü besleme gerilimi
3	GND	Toprak
4	$+I_{comp}$	Dengeleme bobini
5	$-I_{comp}$	Dengeleme bobini
6	$-V_o$	Köprü çıkış gerilimi
7	$+V_o$	Köprü çıkış gerilimi
8	$-I_{flip}$	Tersleme bobini

1 ve 8 numaralı pinler yardımı ile tersleme bobini, 4 ve 5 numaralı pinler ile dengeleme bobini beslenen sensörün çıkış gerilimleri 6 ve 7 numaralı pinlerden alınmaktadır. KMZ51'e ait bazı parametreler Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6: KMZ51'e ait bazı parametreler.

Sembol	Parametre	Minimum	Tipik	Maksimum	Birim
V _{cc}	Köprü besleme gerilimi	-	5	8	V
S	Hassasiyet (dengelenmemiş)	12	16	-	$\frac{mV/V}{kA/m}$
V _{offset}	Offset gerilimi	-1.5	-	+1.5	V
R _{bridge}	Köprü direnci	1	-	3	k Ω
R _{comp}	Dengeleme bobini direnci	100	170	300	Ω
A _{comp}	Dengeleme bobini alan faktörü	19	22	25	$\frac{A/m}{mA}$
R _{flip}	Tersleme bobini direnci	1	2	3	Ω
I _{flip(min)}	Tavsiye edilen minimum tersleme akımı	800	1000	1200	mA
t _{flip(min)}	Minimum tersleme pals zamanı	1	3	100	μs

Tablo 2.6'da da görüldüğü gibi 8V'a kadar köprü besleme gerilimi uygulanabilen KMZ51'in köprü direnci 1 k Ω ile 3 k Ω arasında değişmektedir.

Sensör ile gerçekleştirilen ölçümler esnasında farklı sebepler ile ölçüm etkilenebilir hatta sensör çıkış gerilimi sabitlenerek ölçüm yapılamaz hale gelebilir. Sensör üzerinde Şekil 2.31'de görüldüğü gibi iki farklı bobin bulunmaktadır. Bu bobinlerden dengeleme (compensation) bobini

$$H_{comp} = A_{comp} \times I_{comp} \quad (2.23)$$

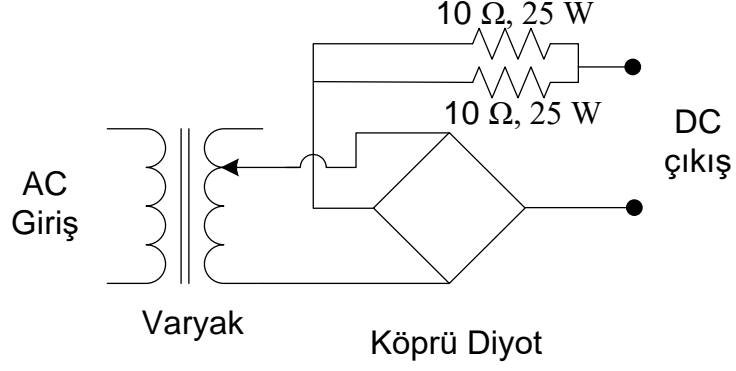
formülü ile verilen büyüklükte bir manyetik alan oluşturmaktadır. Ortaya çıkan H_{comp} manyetik alanının büyüklüğü, dış manyetik alanın büyüklüğüne (H_{ext}) eşit olduğunda sensör çıkış gerilimi sıfır olacaktır. Fakat bu çalışmada dış etkenlere bağlı manyetik alan büyüklüğü standart hata olarak kabul edilmiştir ve dengeleme bobini topraklanmıştır. Bunun dışında permalloy film güçlü bir manyetik alana gelişi güzel biçimde maruz kalırsa filmin manyetik domainleri de gelişi güzel biçimde yönelecektir. Bu durumun sonucunda da Wheatstone köprüsünün çıkış gerilimi doğru değerleri göstermeyecektir. Filmdeki manyetik domainlerin yeniden düzenlenmesi ile ortaya çıkan bu problem çözülebilir. Bu amaçla güçlü bir manyetik

alan kısa süreliğine Wheatstone köprüsünü oluşturan filmler üzerine uygulanır. KMZ51’de böyle durumlarda kullanılması amacı ile flip bobin bulunmaktadır. Üzerinden 800 mA ile 1200 mA arasında bir akımın kısa süreliğine geçirilmesi sonucunda film tekrar istenilen yönde manyetize edilmiş olacaktır. Flip bobinin tetiklenmesi ile domainlerin tekrar ilk konuma gelmeleri amacı ile bir tetikleme devresi kurulmuştur. Tetikleme devresine ait bilgiler “2.2.8 Sensör Resetleme Devresi” başlığı altında verilmiştir.

2.2.5 Güç Hattı

PIG’ler üzerindeki manyetize edici bobinlerin beslenmesi amacı ile bir varyak ve bir doğrultma devresinden oluşan güç hattı geliştirilmiştir. Varyaklar genellikle sabit AC gerilim kaynağından ayarlanabilir (değişken) bir AC gerilim kaynağı elde etmek için kullanılan aygıtlardır. Varyağın diğer bir adı da ayarlı ototransformatör olarak geçmektedir. Normal transformatörlerde primer ve sekonder olmak üzere iki adet sarım bulunmaktadır. Varyaklar ise toroidal bir sac nüve üzerine bir bakır telin tek sarım olacak şekilde sarılması ile elde edilir. Yani varyaklarda primer ve sekonder görevini bu sarım gerçekleştirir ve bunların arasında herhangi bir elektriksel izolasyon bulunmaz. Varyak kontrolünde genellikle servo motorlar kullanılmaktadır. Fakat el ile kontrol edilebilen manuel varyaklar da mevcuttur.

Sistemde kullanılan servo motor kontrollü varyaktan elde edilen AC çıkış geriliminin bobinlerin beslenmesi için kullanabilmek adına bir doğrultma devresinden yararlanılmıştır. Çünkü sistemde kullanılan nüvelerin tek yönlü olarak manyetize edilmesi gerekmektedir. Tasarlanan doğrultma devresinde 4 köprü diyot ve 8 adet 25 W’lık 10 Ω direnç kullanılmıştır. Şekil 2.32’de güç hattına ait devre şeması görülmektedir.



Şekil 2.32: Güç hattına ait devre şeması.

Doğrultma devresinin devre şemasına göre elektronik kartı basılarak devre elemanları yerleştirilmiş ve güvenlik amacı ile 3D yazıcı kullanılarak koruyucu bir kılıf yapılmıştır. Elde edilen doğrultma devresi Şekil 2.33’de verilmiştir.



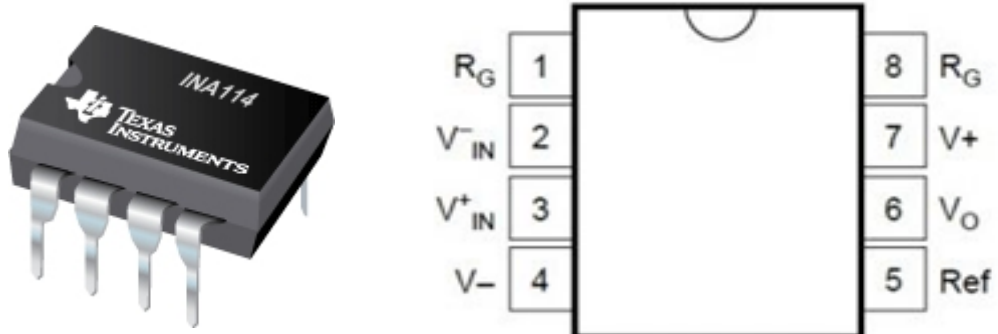
Şekil 2.33: Sistemde kullanılan doğrultma devresi.

Güç hattından elde edilen çıkış gerilimi de 0.75 mm’lik kablolar kullanılarak (Şekil 2.22.b) kayışlar üzerinden nüvelere aktarılmıştır.

2.2.6 Sinyal Yükseltme Devresi

Sensörlerden elde edilen çıkış sinyallerinin yükseltilmesi amacı ile INA114 entegresi kullanılarak bir yükseltme devresi tasarlanmıştır.

INA114 düşük maliyetli, geniş kullanım alanı bulunan ve hassas biçimde çalışan işlemsel bir yükselteçtir. Üç opamp devresinden oluşan entegre, tek bir harici direnç kullanılarak 1 ile 10000 kat arasında yükseltme yapabilmektedir. Dahili giriş koruması sayesinde ± 40 V aralığında hasar görmeden çalışabilmektedir. Entegrenin besleme gerilimi ± 2.25 V ile ± 18.0 V aralığındadır. Pin bağlantıları Şekil 2.34'te verilen INA114'ün 2 ve 3 numaralı pinleri sırası ile giriş geriliminin negatif ($-V_{in}$) ve pozitif ($+V_{in}$) uçları için ayrılmıştır. 4 ve 7 numaralı pinler kullanılarak besleme gerilimi uygulanan entegrenin 6 numaralı pininden çıkış alınmaktadır. 5 numaralı pini referans gerilim girişi olan INA114'ün 1 ve 8 numaralı pinleri arasında bağlanan harici bir direnç, kazanç (yükseltme) katsayısını belirlemektedir. Maksimum $50\mu V$ giriş dengeleme (offset) gerilimine sahip olan INA114 çoğu uygulamada harici offset ayarlamasına ihtiyaç duymamaktadır. Giriş direnci yaklaşık $10^{10} \Omega$ olan INA114, maksimum 2nA giriş kutuplama akımına (input bias current) sahiptir. Giriş dengeleme geriliminin sıcaklıkla değişimi de $0.25\mu V/^{\circ}C$ 'dir.

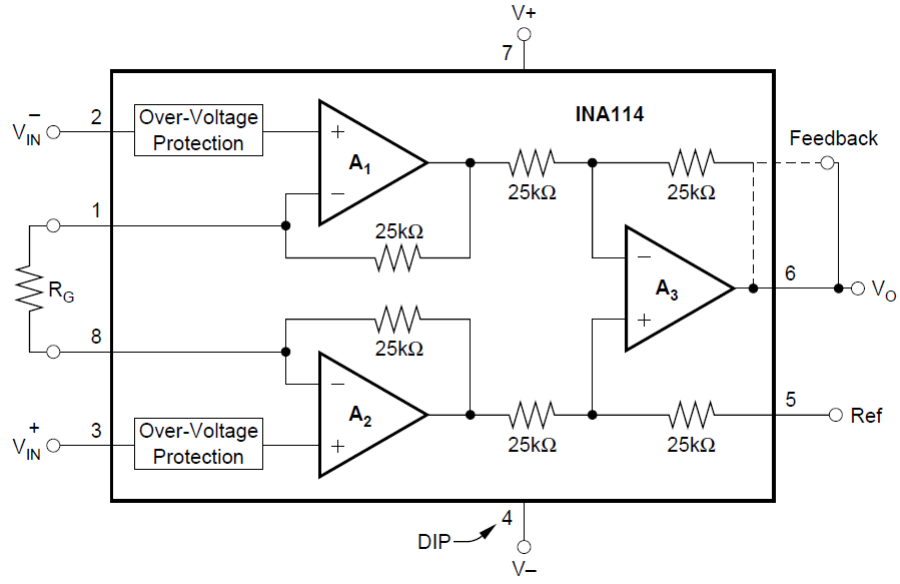


Şekil 2.34: INA114 entegresi ve pin bağlantıları.

Şekil 2.31'de pin bağlantıları verilen INA114 için kazanç formülü;

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (2.24)$$

ile verilmektedir. Şekil 2.35'de INA114'e ait blok yapısı görülmektedir.

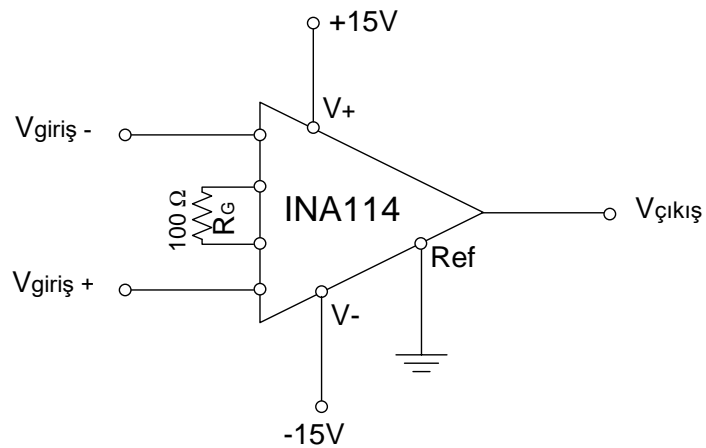


Şekil 2.35: INA114 entegresinin blok yapısı.

Ölçüm sisteminde INA114 entegresinin 1 ve 8 pinleri arasında $R_G = 100\Omega$ yükseltme direnci kullanılarak;

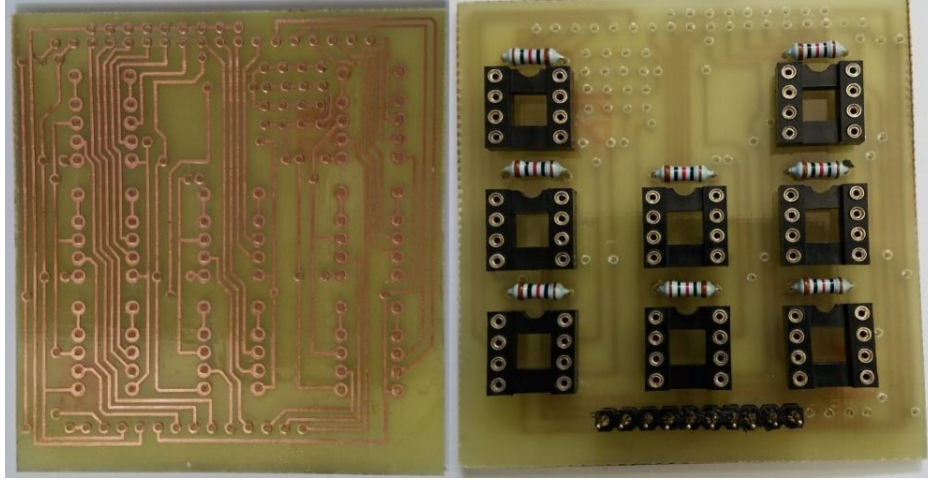
$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{100\Omega} = 501 \quad (2.25)$$

kat yükseltme yapılmıştır. Ayrıca referans pini her bir entegre için toprak seviyesine çekilmiştir. Sinyal yükseltme devresine ait devre şeması Şekil 2.36’da verilmiştir.



Şekil 2.36: Yükseltme devresi devre şeması.

Sistemde yer alan her bir sensör için yükseltme devresine ihtiyaç vardır. Bu amaçla her bir baskı devre kartı üzerinde 8'er adet olmak üzere toplamda 2 kart basılmış ve 16 adet yükseltme devresi kurulmuştur. Yükseltme devresine ait baskı devre kartı ve komponentlerin yerleştirilme aşaması Şekil 2.37'te verilmiştir.



Şekil 2.37: Yükseltme devresi baskı kartı ve montaj aşaması.

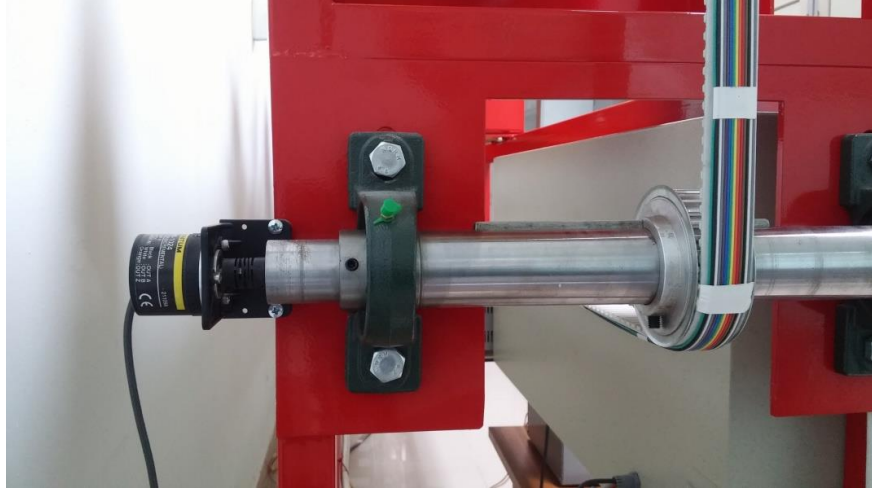
Komponentleri yerleştirilen ve şerit kablo kullanılarak sensör-besleme bağlantıları yapılan kartlar PIG içerisinde sabit olacak şekilde monte edilmiştir (Şekil 2.38).



Şekil 2.38: PIG üzerine monte edilen sinyal yükseltme devresi.

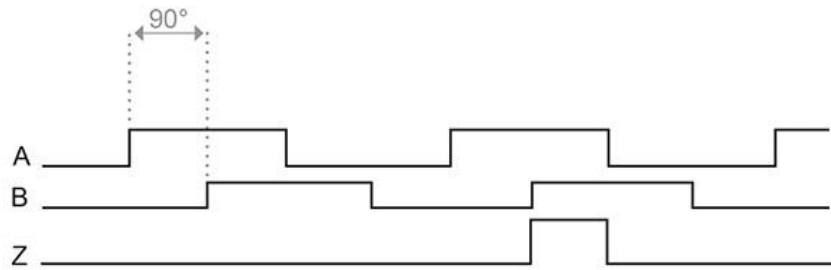
2.2.7 Enkoder ve İlerleme Takip Devresi

Sistemde PIG'in konumunun kontrol paneli üzerinden izlenmesi amacı ile bir adet enkoder, kontrol paneline yakın olan millerden birisine monte edilmiştir (Şekil 2.39).



Şekil 2.39: Mile monte edilmiş enkoder.

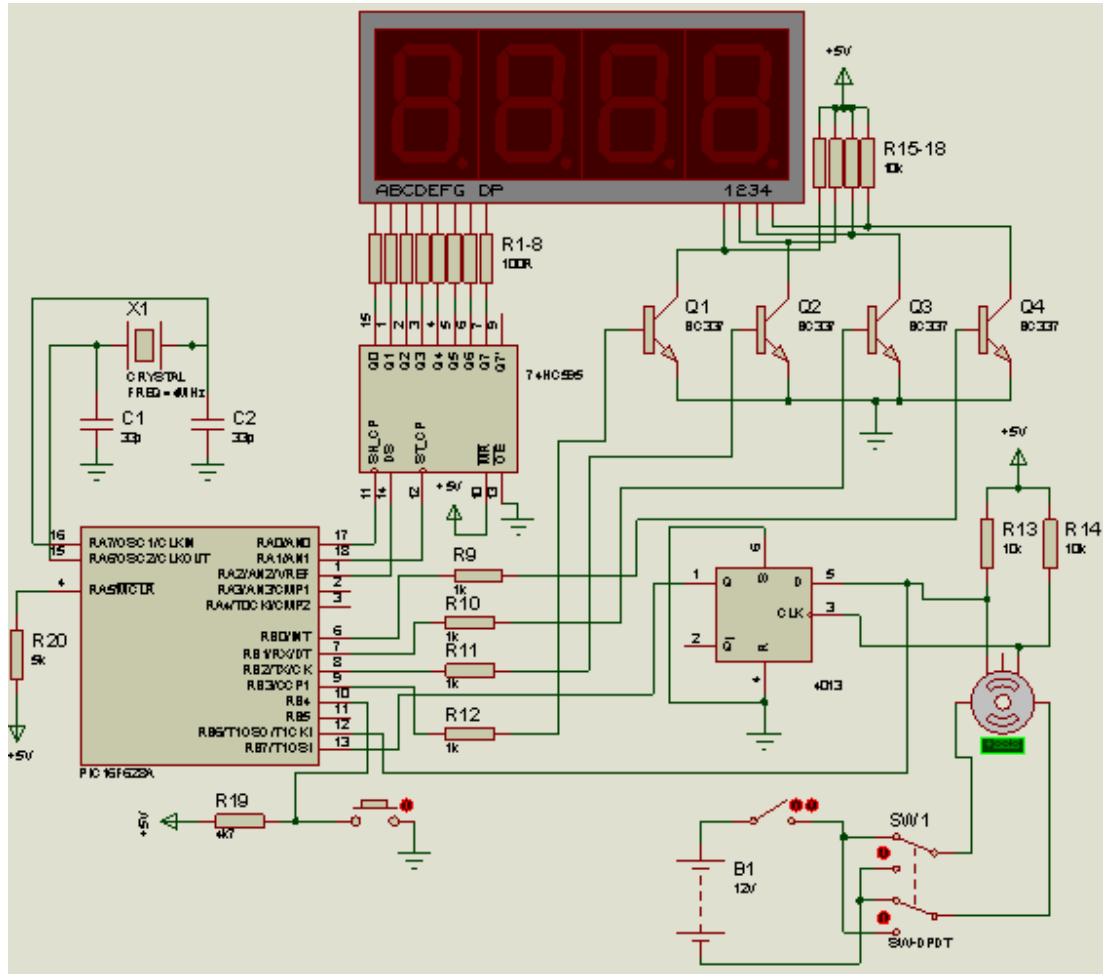
5-24 V aralığında DC besleme yapılabilen enkoder her turda 1024 pals çıkışı vermektedir. A, B ve Z çıkışları bulunan enkoderin A ve B çıkışları arasında 90° faz farkı bulunmaktadır. Z çıkışı ise tur başına 1 pals üretmektedir (Şekil 2.40).



Şekil 2.40: Enkodere ait A, B ve Z çıkışları.

NI USB-6210 veri toplama kartına girilen bu palslar, yazılım kısmında bahsedilecek olan veri toplama programının tetiklenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca enkoderin çıkışı “ilerleme takip devresi” olarak adlandırılan bir devrenin girişini oluşturmaktadır. Bu sayede PIG'in hareketi, enkoderin dönme açısının ekranda gösterilmesi sonucunda takip edilebilmektedir. Ekranda, sıfır dereceden başlayarak

enkoderin dönme açısı kullanıcıya gösterilmektedir. Dönme açısını gösteren devreye ait devre şeması Şekil 2.38’de verilmiştir.



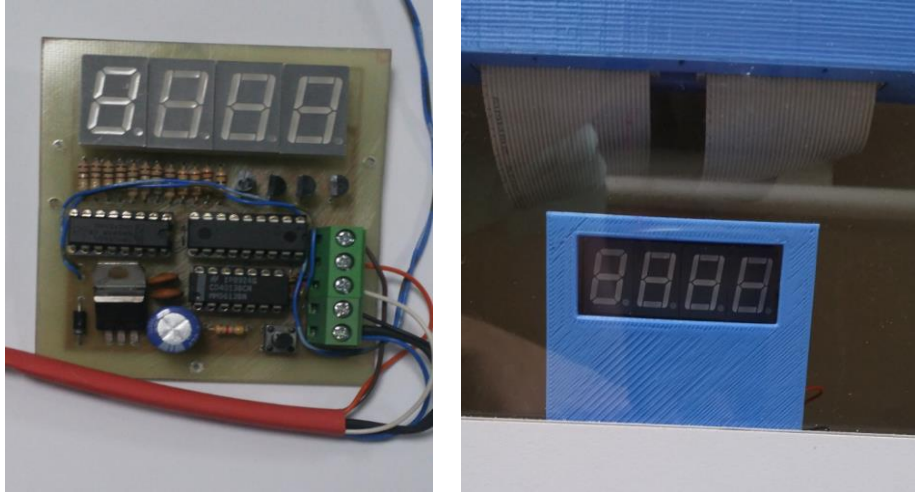
Şekil 2.41: İlerleme takip devresi tasarımı.

Devrede mikroişlemci olarak PIC 16F628A kullanılmıştır. 8-bit çözünürlüğe sahip olan 16F628A, uygun maliyetli ve yüksek performanslı olması sebebi ile oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. 20 MHz maksimum çalışma frekansına sahip olan mikroişlemci 4 MHz’lik dahili bir osilatöre sahiptir. 18 pinli olarak üretilen mikroişlemcinin 16 pini giriş ve çıkış (I/O) olarak programlanabilmektedir. C programlama dili kullanılarak yazılan ve mikroişlemci içine gömülen program Ek B’de verilmiştir.

Devrede kullanılan 74HC595, 8-bit seri girişli ve 8 bit seri ya da paralel çıkış verebilen 16 pinli bir shift-register entegresidir. Önerilen besleme gerilimi +5.0 V olan entegre, -40 °C ile +125 °C arasında çalışabilmektedir. Devrede kullanılan bir

diğer eleman da CD4013 flip-flop entegresidir. 3-15 V besleme giriş aralığına sahip olan entegre enkoderin hangi tarafa döndüğünün tespit edilmesi amacı ile kullanılmıştır.

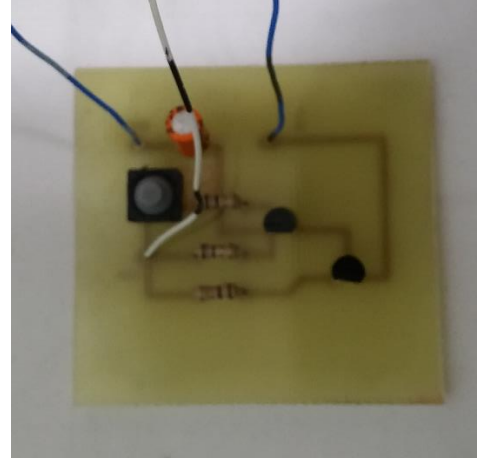
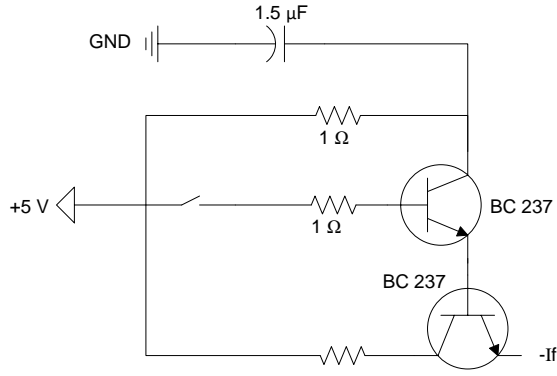
Baskı devre kartı basılan ilerleme takip devresi ile 3D yazıcı kullanılarak elde edilen kutusu içine yerleştirildikten sonra kontrol panelindeki görüntüsü Şekil 2.42’de verilmiştir.



Şekil 2.42: İlerleme takip devresi ve panelde görünümü.

2.2.8 Sensör Resetleme Devresi

Güçlü manyetik alan etkisi altında KMZ51 AMR sensörün doyuma gelmesi durumunda, sensörlerin çıkış gerilimleri değişmeyip sabit kalmaktadır. Bu durumun giderilmesi için resetleme devresi tasarlanmış ve sensörlerin -If pinleri kısa süreli tetiklenmiştir. Tetikleme sırasında sensörlerin flip bobinleri üzerinden yaklaşık 1 A’lık akım geçmekte ve sensörler doyumdan çıkmaktadır. Resetleme devresine ait devre şeması ve devre Şekil 2.43’te verilmiştir.



Şekil 2.43: Sensör resetleme devresi.

Sensör resetleme devresine ait anahtar ön panelde güç girişlerinin altına konumlandırılmıştır. Bu sayede sistemde ölçümlere başlamadan önce ya da sensörlerin doyuma ulaşması durumunda anahtar yardımı ile kolaylıkla resetleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

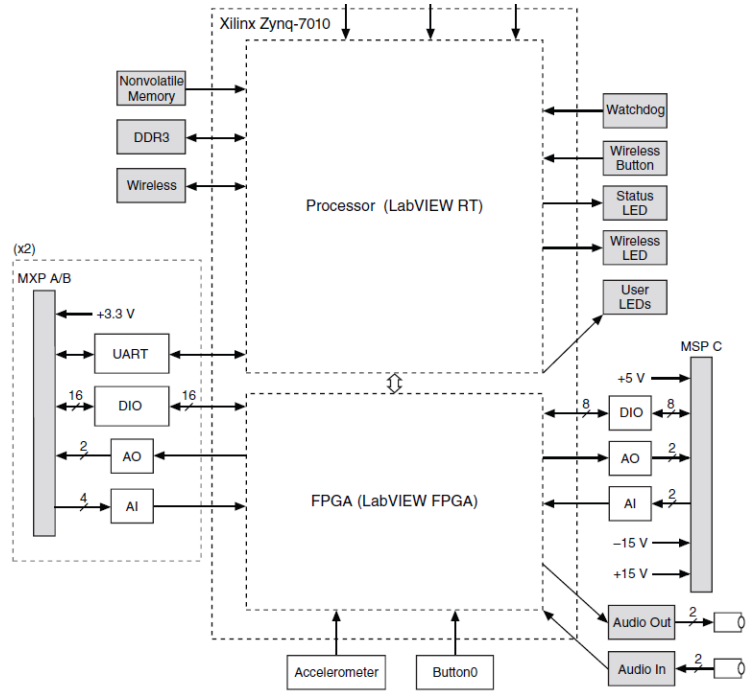
2.2.9 Veri İzleme Ekranı

Elektronik sistemde, sensörlerden gelen verileri anlık olarak görüntülemek amacı ile NI myRIO-1900, iki adet Pmod CLS LCD ekran ve multiplexer kullanılarak veri izleme ekranı oluşturulmuştur. Sensörlerden gelen gerilimin myRIO'ya zarar vermemesi amacı ile bir koruma devresi kullanılmıştır. NI myRIO-1900 ile toplanılan veriler UART protokolü kullanılarak LCD ekrana aktarılmaktadır. LabVIEW kullanılarak yazılan program, bağımsız (stand alone) biçimde çalışacak şekilde myRIO içine gömülmüştür. Bahsi geçen veri görüntüleme programına ait ayrıntılar yazılım başlığı altında detaylı bir biçimde verilecektir. myRIO, LCD ekranlar ve koruma devresinin kontrol paneline sabitlenmesi amacı ile 3D yazıcı ile yazdırılan sabitleme parçaları kullanılmıştır (Şekil 2.44).



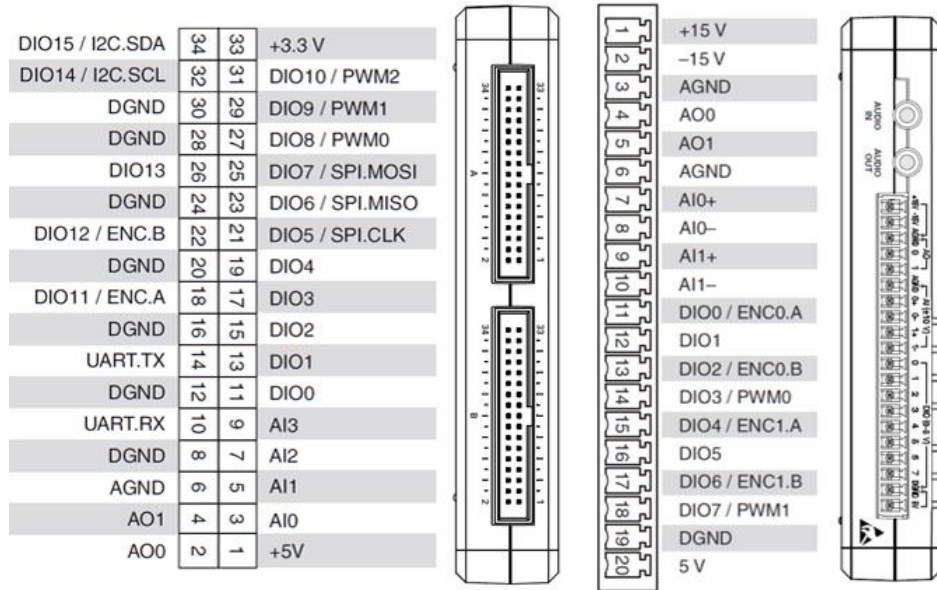
Şekil 2.44: Veri izleme ekranı.

NI myRIO-1900 kontrol, robotik ve mekatronik gibi sistemlerde kullanılabilen taşınabilir ve programlanabilen bir cihazdır. Analog input (AI), analog output (AO), digital input ve output (DIO), güç çıkışı, ses giriş ve çıkışı kanalları bulunan NI myRIO-1900 bilgisayara USB üzerinden ya da kablosuz olarak bağlanabilmektedir. Cihaz, 8 adet 0 – 5 V aralığında, 2 adet de ± 10 V aralığında analog giriş kanalına (12 bit, 500 kS/s) sahiptir. 0 – 5 V aralığında çıkış verebilen 4, ± 10 V aralığında çıkış verebilen 2 analog çıkış kanalı (12 bit, 345 kS/s) bulunmaktadır. Digital input/output olarak kullanılabilen kanal sayısı 40'tır. Xilinx Z-7010 işlemciye sahip olan cihazda +3.3 V, +5.0 V, +15.0 V ve -15.0 V çıkış veren terminaller bulunmaktadır. Aygıt ait içyapı şeması Şekil 2.45'te verilmiştir.



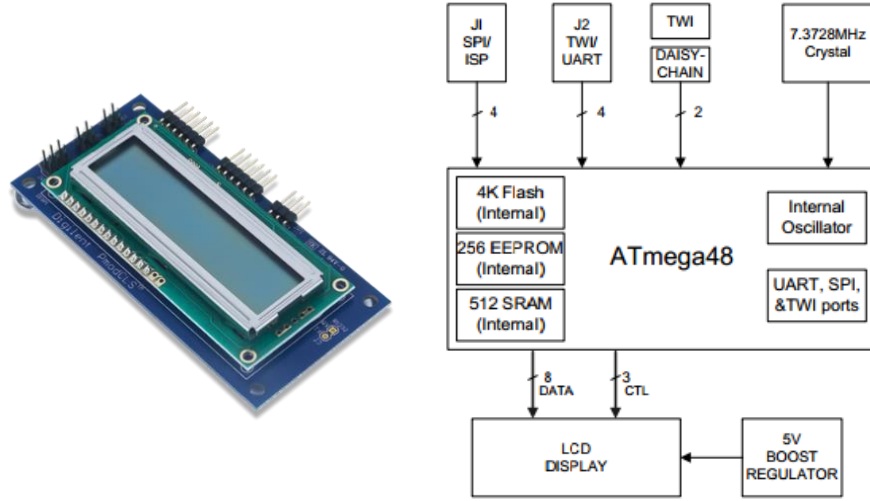
Şekil 2.45: MyRIO iç yapısı.

Real time ve FPGA olarak programlanabilen myRIO üzerinde ayrıca ivmeölçer, ses giriş ve çıkışı ve durum ledleri bulunmaktadır. SPI, UART ve I²C protokolleri ile seri iletişim yapabilen aygıtta 3 adet konnektör bulunmaktadır. Bu konnektörlere ait bağlantı şeması Şekil 2.46’da verilmiştir.



Şekil 2.46: My-RIO konnektör bağlantıları.

Sistem üzerinde yer alan bir diğer bileşen de Pmod CLS LCD ekranlardır. Atmel ATmega48 mikroişlemciye sahip olan ve 16x2 karakter gösterim alanı bulunan ekranlar SPI, I²C ve UART protokolleri ile iletişim kurabilmektedir (Şekil 2.47).



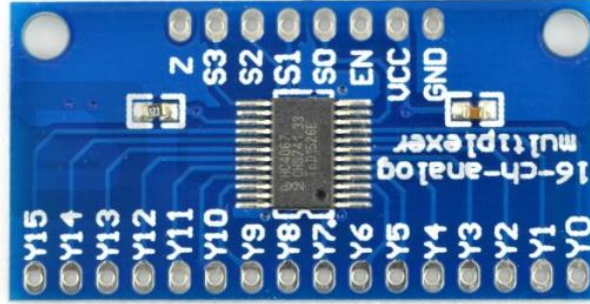
Şekil 2.47: Pmod CLS LCD ekran ve iç yapısı.

Mode jumper olarak adlandırılan MD0, MD1 ve MD2 pinlerinin ayarlanması sonucunda bahsi geçen bu üç protokol arasında geçiş yapılabilmektedir. Protokol ayarına ilişkin jumper ayarları Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7: LCD ekran protokolleri için jumper ayarları.

MD2, MD1, MD0	Protokol	Detay
0, 0, 0	UART	2400 baud
0, 0, 1	UART	4800 baud
0, 1, 0	UART	9600 baud
0, 1, 1	UART	Baud rate in EEPROM
1, 0, 0	I ² C	Address: 0x48
1, 0, 1	I ² C	Adress in EEPROM
1, 1, 0	SPI	
1, 1, 1	Specified in EEPROM	Specified in EEPROM

MyRIO'nun analog input sayısının sınırlı olması sebebi ile sistemde multiplexer kullanılarak verilerin sırası ile ekranda görüntülenmesi sağlanmıştır. Kullanılan 16 kanallı analog multiplexer (Şekil 2.42) S0, S1, S2 ve S3 uçlarından girilen logic değerlere göre istenilen kanal ile Z kanalı arasını kısa devre yapma imkânı vermektedir.



Şekil 2.48: 16 kanallı multiplexer.

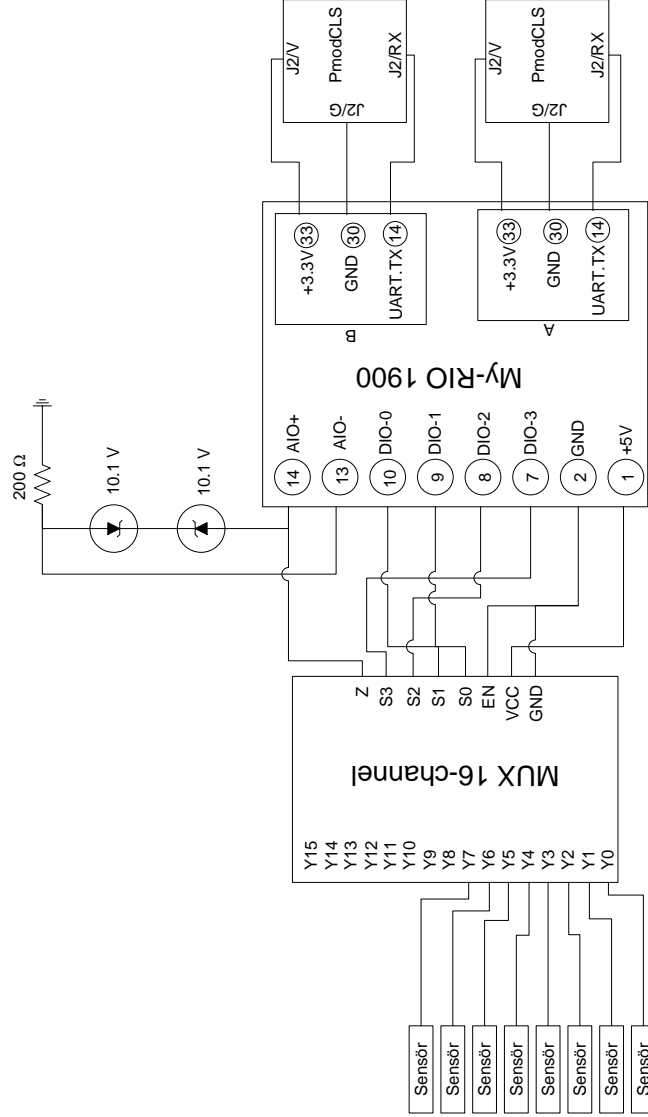
Multiplexerın kanal kontrolü ve alınan sensör gerilim değerlerinin LCD'ye yazılması işlemi myRIO ve dolayısı ile LabVIEW yardımı ile sağlanmıştır. Girilen sinyal değerlerine karşılık açılan kanallara ait doğruluk tablosu Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8: Multiplexer doğruluk tablosu.

Giriş					Açılan Kanal	Giriş					Açılan Kanal
E	S3	S2	S1	S0		E	S3	S2	S1	S0	
L	L	L	L	L	Y0 - Z	L	H	L	L	L	Y8 - Z
L	L	L	L	H	Y1 - Z	L	H	L	L	H	Y9 - Z
L	L	L	H	L	Y2 - Z	L	H	L	H	L	Y10 - Z
L	L	L	H	H	Y3 - Z	L	H	L	H	H	Y11 - Z
L	L	H	L	L	Y4 - Z	L	H	H	L	L	Y12 - Z
L	L	H	L	H	Y5 - Z	L	H	H	L	H	Y13 - Z
L	L	H	H	L	Y6 - Z	L	H	H	H	L	Y14 - Z
L	L	H	H	H	Y7 - Z	L	H	H	H	H	Y15 - Z

Oluşturulan izleme ekranında sensörlerin çıkış gerilimlerinin 10 V'u geçmesi myRIO'ya zarar verebileceği için bir kırpıcı devre geliştirilmiştir. İki adet 10.1 V'luk zener diyot kullanılan bu kırpıcı devre ile yaklaşık -10 V ile +10 V aralığındaki

sinyallerin myRIO'ya girmesi sağlanmıştır. NI myRIO-1900, iki adet Pmod CLS LCD ekran ve multiplexer kullanılarak oluşturulan izleme ekranına ait devre şemasının son hali Şekil 2.49'da verilmiştir.



Şekil 2.49: İzleme ekranına ait devre şeması.

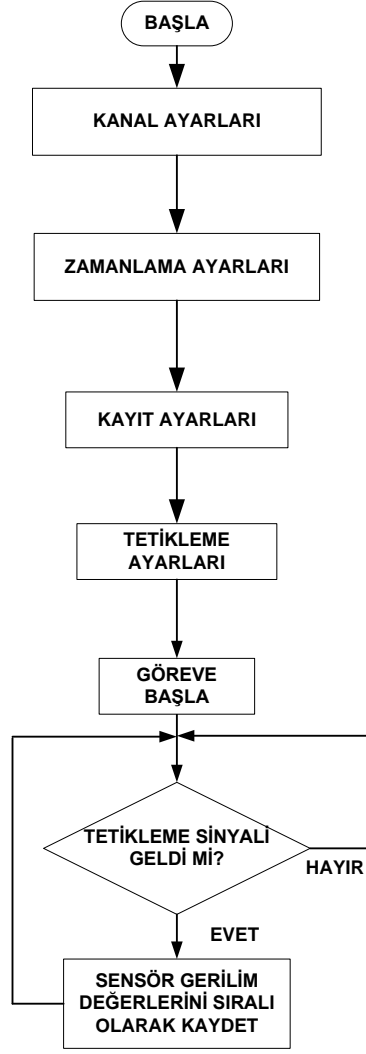
2.3 Yazılım

Sistemde, LabVIEW grafiksel programlama dili kullanılarak iki farklı program yazılmıştır. Bu programlardan ilki, sensörlerden gelen verilerin bilgisayar ortamına kaydedilmesi amacı ile kullanılmıştır. Diğer program ise PIG'den alınan sensör gerilim değerlerinin kontrol panelinde yer alan LCD ekranlarda

görüntülenmesini sağlamıştır. Bahsi geçen her iki programa dair detaylar bu bölüm altında yer alan alt başlıklarda incelenmiştir.

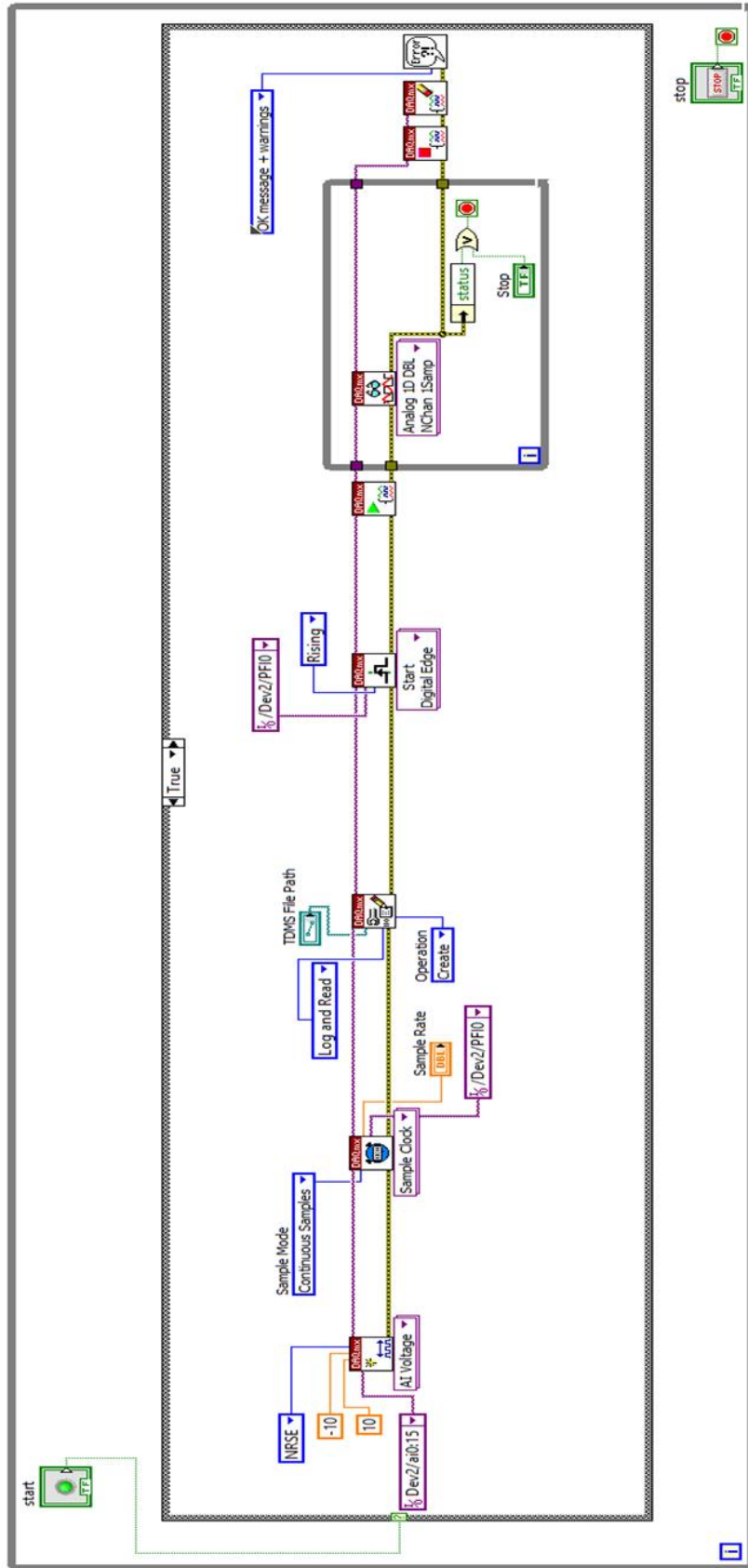
2.3.1 Veri Toplama ve Kayıt Programı

Veri toplama kayıt programı enkoderden gelen tetikleme sinyallerini kullanarak, sensör gerilim değerlerinin bilgisayara kaydedilmesi amacı ile yazılmıştır. Ölçüm sisteminde yer alan borular her ne kadar birbiri ile aynı seviyede konumlandırılmaya çalışılsa da sistem içerisinde hareket eden PIG'in hızı küçük eğim farklılıkları ve tekerleklerin bağlantı noktalarından geçişleri sırasında değişebilmektedir. Bu değişimin ölçüm sonuçlarını etkilememesi için enkoderden elde edilen tetikleme sinyalleri kullanılmıştır. Kontrol paneli üzerinde yer alan hız kontrol cihazı ile sistemin tarama hızı değiştirildiğinde, enkoder tarafından üretilen sinyallerin frekansı PIG'in o anki hızına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişime bağlı olarak USB-6210 veri toplama kartı farklı frekanslarda tetiklenmekte ve sensör gerilim değerleri program aracılığıyla açılan .xls uzantılı bir dosyada kaydedilmektedir. Programa ait akış diyagramı Şekil 2.50'de verilmiştir.



Şekil 2.50: Veri toplama ve kayıt programı akış diyagramı.

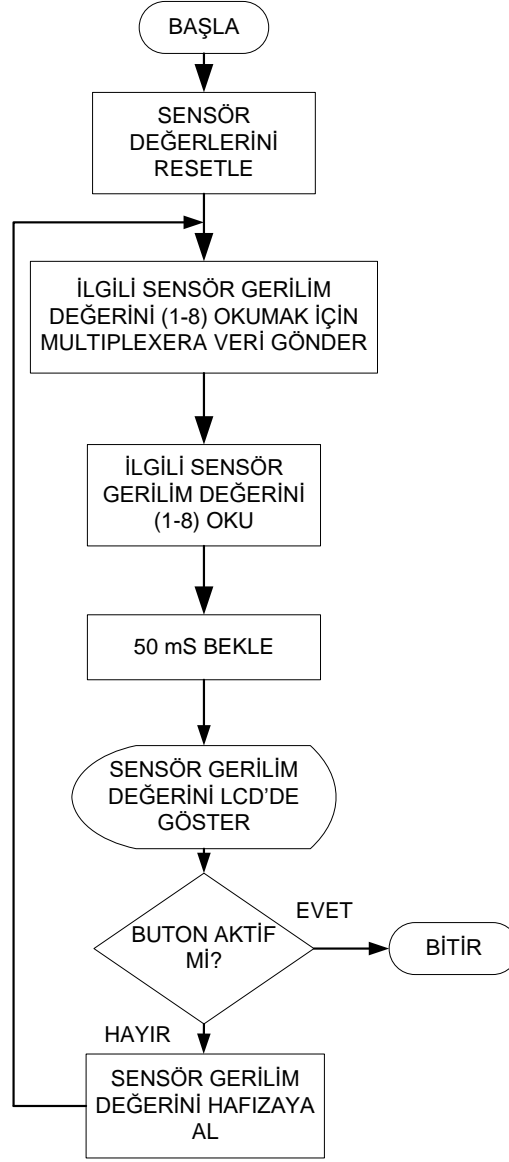
Programda öncelikle kanal, zamanlama, kayıt ve tetikleme ayarları kullanıcının girdiği değerlere göre yapılmaktadır. Tetikleme sinyali geldiği anda sistem üzerinde yer alan tüm sensörlerden gelen gerilim değerleri sıralı bir biçimde .xls uzantılı olarak bilgisayarda istenilen konuma kaydedilmektedir. Herhangi bir tetikleme sinyali alınmadığı durumda ise program bekleme konumunda kalmaktadır. Programa ait block diagram Şekil 2.51’de verildiği gibidir.



Şekil 2.51: Veri toplama ve kayıt programı block diagram.

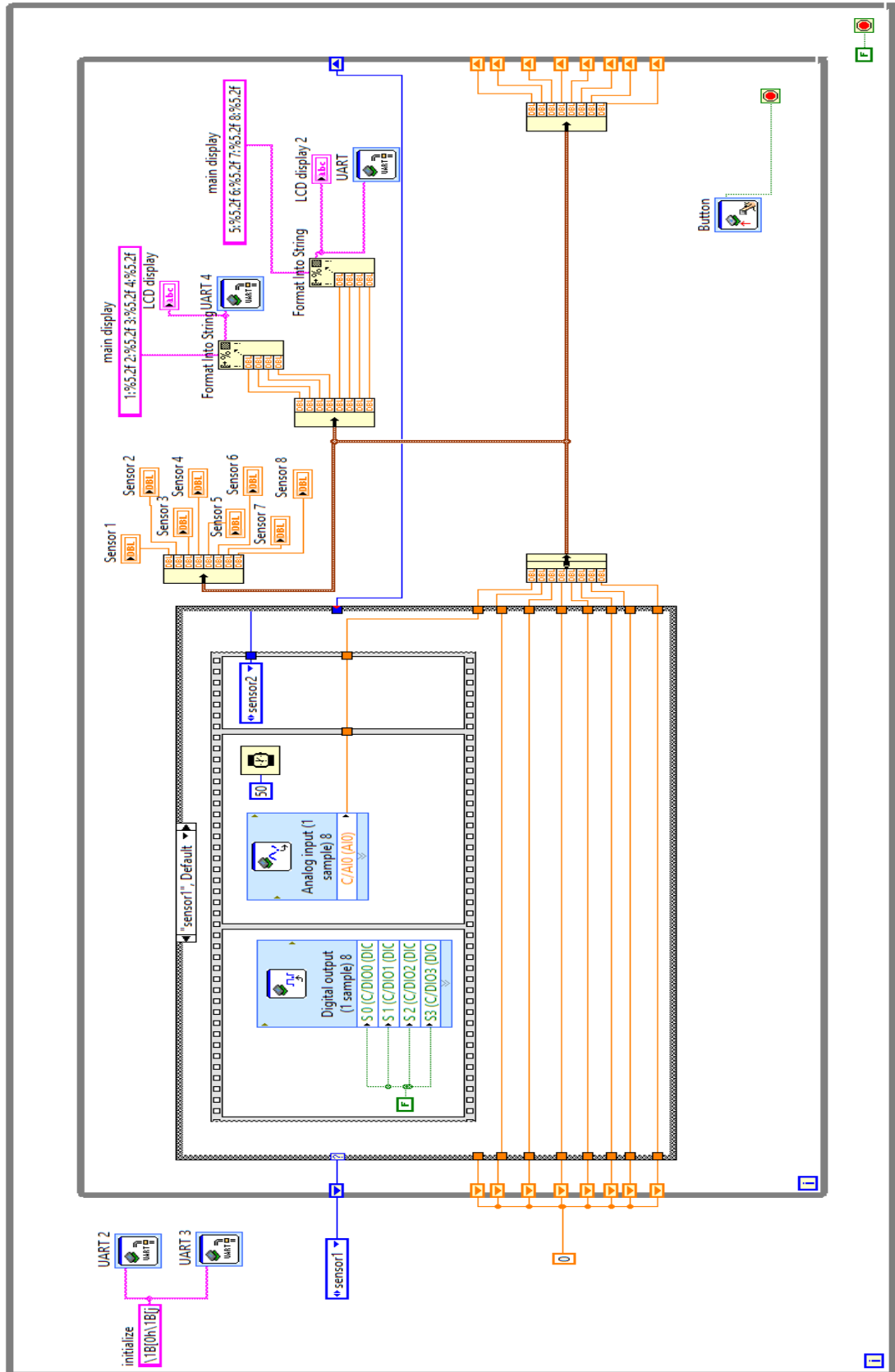
2.3.2 Veri İzleme Ekranı Programı

Sensör gerilim değerlerinin kontrol panelinde yer alan iki LCD ekranlarda görüntülenmesi amacı ile veri izleme ekranı programı yazılmıştır. myRIO-1900’de analog giriş (± 10 V) iki kanal ile sınırlandırılmıştır. Bu sebeple sistemde multiplexer kullanılarak sensör gerilim değerleri sıralı olarak LCD ekranda yazdırılmaktadır. Multiplexer’a ait doğruluk tablosu ve detayları “veri izleme ekranı” alt başlığında anlatılmıştır. Multiplexer’ın S0, S1, S2 ve S3 uçları, doğruluk tablosuna (Tablo 2.8) uygun bir şekilde myRIO tarafından dijital olarak tetiklenmektedir. Bu sayede her bir sensörün girişi sırasıyla multiplexer’ın ortak ucu olan Z kanalına bağlanmış olur. LabVIEW programında yer alan “shift-register” yapısı kullanılarak hafızada tutulan sensör gerilim değerleri de UART protokolü kullanılarak Pmod CLS LCD ekranlarda görüntülenmiştir. myRIO üzerinden iki adet UART çıkışı alınabildiği ve her bir LCD ekrana istenilen hassasiyette 4’er adet sensör değeri sığıdığı için PIG üzerinde yer alan toplam 8 adet sensörün gerilim değeri görüntülenebilmiştir. LabVIEW kullanılarak yazılan programa ait akış diyagramı Şekil 2.52’de verilmiştir.



Şekil 2.52: Veri izleme programı akış diyagramı.

Veri izleme ekranı programında “state machine” ana yapısı kullanılmıştır. Ayrıca program yazımında “flat sequence” ve “case structure” yapıları da kullanılmıştır. Sensör gerilim değerleri program yapısı gereği 1 numaralı sensörden başlayarak 8 numaralı sensöre kadar 50 ms aralıklar ile okunmakta ve ekrana yazdırılmaktadır. MyRIO üzerinde yer alan buton da sistemi durdurması amacı ile kodlanmıştır ve bu butona basıldığı takdirde program durmaktadır. Programa ait block diagram Şekil 2.3’te verilmiştir.

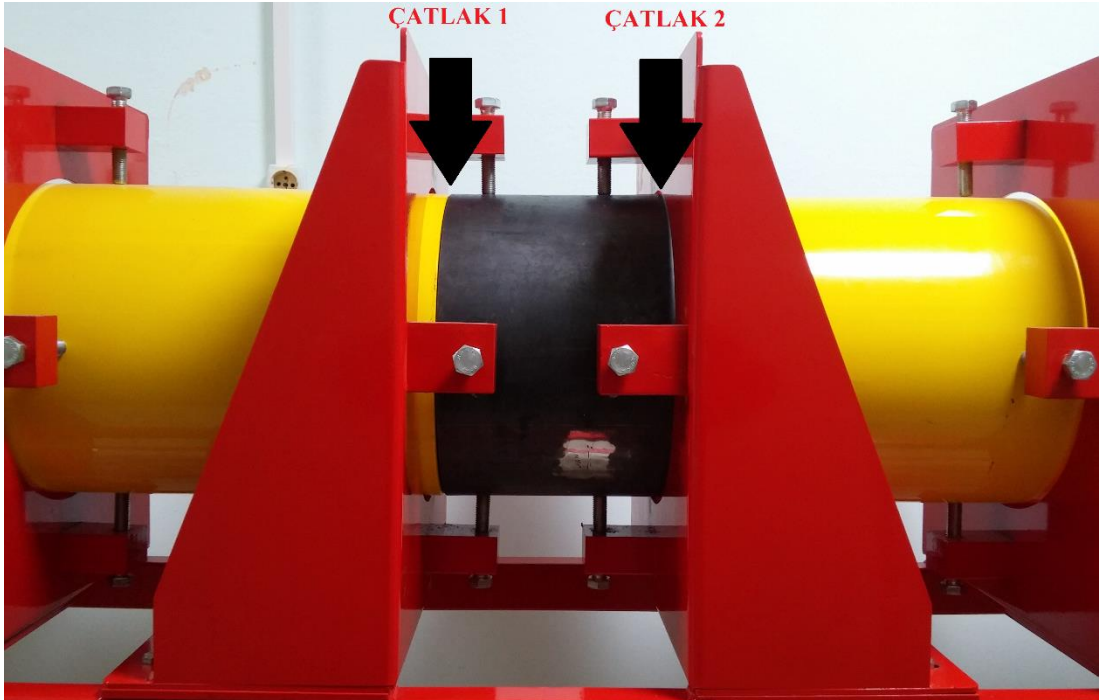


Şekil 2.53: Veri izleme programı block diagram.

3. BULGULAR

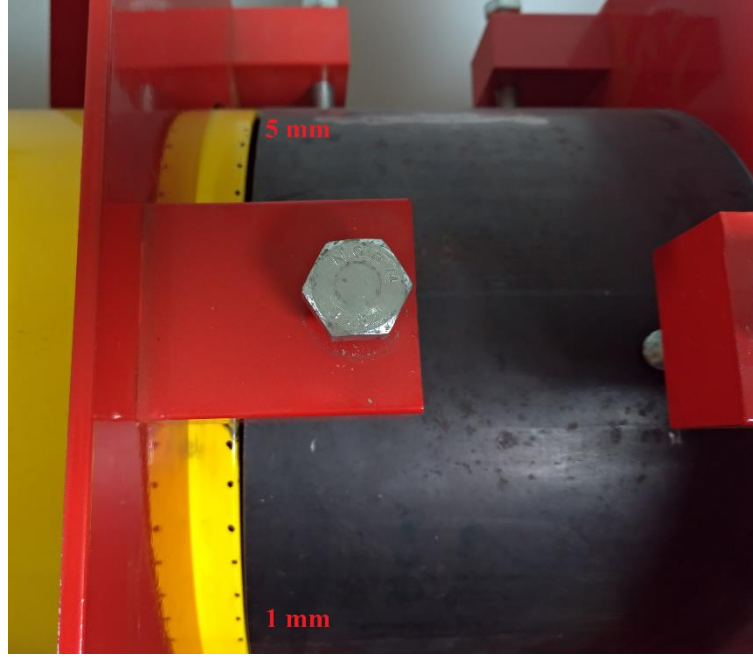
3.1 Testi Yapılan Çatlakların Yapısı

Tasarlanan ölçüm sisteminde iki farklı çevresel çatlak yapısı oluşturularak tespit edilmeye çalışılmıştır. Çatlaklardan ilki 1 mm'den başlayarak 5 mm'ye kadar artan bir genişliğe sahiptir. İkinci olarak oluşturulan çatlak ise 1 mm sabit genişliktedir. Her iki çatlak da yüzeye açık çatlaklardır. Çatlak uzunlukları 30 cm olarak belirlenmiştir. Çatlakların boru hattı üzerindeki konumları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Deneyle tespit edilmeye çalışılan çatlak konumları

Çatlaklar arasındaki mesafe 250 mm olarak belirlenmiştir. Çatlak 1'e ait üst yüzey görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Çatlak 1'e ait üst yüzey görünümü

PIG'in hareketi esnasında 1. Sensör, çatlak 1 için 1 mm genişliğin bulunduğu konumdan geçmektedir. 16. Sensör ise 5 mm çatlak genişliğinin (çatlak 1) bulunduğu hizadan geçmektedir. Çatlak 2 sabit genişliğe sahip olduğundan 1. Sensörden 16. Sensöre kadar tüm sensörler 1 mm genişlik üzerinden geçmektedirler.

3.2 Deneilerin Gerçekleştirilmesi

Gerçekleştirilen deneylerde değişkenler PIG'in hızı ve manyetik alan olarak belirlenmiştir. Hız kontrol cihazı yardımı ile PIG'in hızı değiştirilmiştir. Ayrıca varyak ve doğrultma devresi kullanılarak nüveler üzerinden farklı akımlar geçirilmiş ve manyetik alan değeri değiştirilmiştir. Deneyler sistemin hızlanması ve yavaşlaması için gereken mesafeler de göz önüne alınarak Tablo 3.1'de verilen ortalama hızlarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: Hız kontrol cihazı frekans ayarı ortalama PIG hızı değerleri.

Frekans Ayarı (Hz)	PIG Hızı (cm/s)	Frekans Ayarı (Hz)	PIG Hızı (cm/s)
3.00	3.63	12.00	14.52
4.00	4.84	13.00	15.72
5.00	6.05	14.00	16.93
6.00	7.26	15.00	18.14
7.00	8.47	16.00	19.35
8.00	9.68	17.00	20.56
9.00	10.89	18.00	21.77
10.00	12.10	19.00	22.98
11.00	13.31	20.00	24.19

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi deneyler birbirinden farklı 18 hız değerinde gerçekleştirilmiştir. Maksimum hız olarak ise 24.19 cm/s belirlenmiştir. Maksimum hız değeri belirlenirken en önemli kriter deneylerin gerçekleştirileceği boru hattının uzunluğu olmuştur. PIG’in deneyin gerçekleştirileceği hıza ulaşabilmesi ve ardından durabilmesi için belli bir mesafe kat etmesi gerekmektedir. Bu açıdan yapılan ön denemelerde bahsi geçen 24.19 cm/s hız üzerine çıkılması durumunda PIG’in boru hattı içinde durmasının mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Tablo 3.1’de verilen hız değerlerinin yanı sıra farklı akım değerleri için de deneyler tekrar edilmiştir. Öncelikle nüve üzerinden herhangi bir akım geçirilmeden tüm hız değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Ardından Tablo 3.2’de yer alan varyak çıkış gerilimi ve akım değerlerinde 18 farklı hız değeri için deneyler yapılmıştır.

Tablo 3.2: Varyak çıkış gerilimi ve akım değerleri.

Varyak Çıkış Gerilimi (V)	Nüve üzerinden geçen akım (A)
0.0	0.000
2.5	0.200
5.9	0.400
11.5	0.800

DeneYlerin gerçekleştirilmesi sırasında izlenen sıra ise aşağıda verildiği gibidir;

1. LabVIEW tabanlı veri kaydetme programının alıştırılması,
2. Verilerin kaydedileceği konumun program üzerinden girilmesi,
3. Kontrol panelinden motor sistemine g verilmesi
4. Varyak yardımı ile gerekli gerilim değerinin ayarlanarak nüveye akım verilmesi
5. Güç kaynağından kontrol panelinde yer alan besleme hattına g verilmesi,
6. Resetleme butonu kullanılarak deney başlamadan sensörlerin resetlenmesi,
7. Deneyin gerçekleştirileceği hız değerinin hız kontrol cihazı üzerinden gerekli frekans değerini ile ayarlanması,
8. Veri kaydetme programının aktif hale getirilmesi,
9. PIG'in hareket etmesini sağlayan motorun alıştırılması,
10. Deneyin gerçekleştirilmesi ve verilerin bilgisayara kaydedilmesi,
11. PIG'in durdurulması,
12. Bilgisayar programının durdurulması,
13. Sensör besleme hattının kapatılması,
14. Nüve üzerindeki akımın kesilmesi,
15. Sistemin başlangıç konumuna çekilmesi.

3.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Ölçüm sisteminden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Origin Pro 9.0 grafik analiz programı kullanılmıştır. MATLAB LabVIEW Microsoft Excel gibi programlar ile birlikte çalışabilen Origin, kullanıcıya farklı filtreler kullanarak sinyal işleme imkânı vermektedir. Origin programında sinyal işleme (signal processing) sekmesi kullanılarak dönüşüm (transform), smoothing, filtreleme ve wavelet analizi yapılabilmektedir. Programda;

- Fast Fourier Transform and Inverse Fast Fourier Transform (FFT/IFFT)
- Short-time Fourier Transform (STFT)
- 2D FFT/2D IFFT
- Hilbert Transform

dönüşüm işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Verilerin filtrelenmesi amacı ile kullanılacak FFT Filtre, IIR (Infinite Impulse Response) Filtre Design ve 2D FFT Filtre de yine sinyal işleme sekmesi altında bulunmaktadır. FFT Filtre seçenekleri arasında;

- Low Pass
- Low Pass Parabolic
- High Pass
- Band Pass
- Band Block
- Threshold bulunmaktadır.

IIR Filter Design altında da;

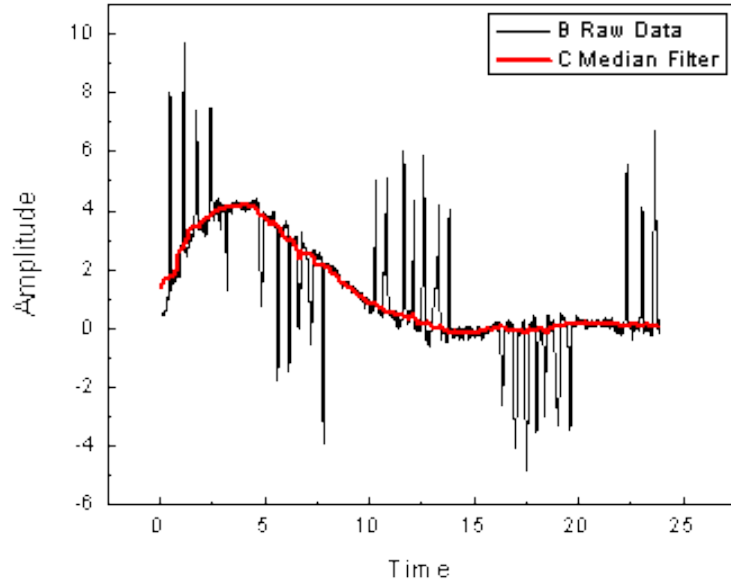
- Butterworth

- Chebyshev Type I
- Chebyshev Type II
- Elliptic yöntemleri kullanılabilir.

Ayrıca programda sinyal işleme sekmesi altında verileri smooth etmek için birden farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler;

- Savitzky-Golay
- Adjacent-Averaging
- FFT Filtre
- Percentile Filtre (PF)
- Lowess and Loess
- Binomial'dir.

Bu yöntemler kullanılarak analizi yapılacak olan sinyalde yer alan gürültüler ortadan kaldırılabilir. Yukarıda bahsi geçen smooth yöntemleri sinyale ve sinyal üzerinde yer alan gürültünün karakteristiğine bağlı olarak birbirinden farklı olarak çalışmaktadır. Örneğin Savitzky-Golay ve Adjacent Averaging arka plan gürültülerini (background noise) ortadan kaldırmak için kullanılacak etkili filtrelerdir. Percentile Filtre (PF) (özellikle 50% PF ya da medyan filtre) sinyal üzerindeki olağandışı genliğe sahip olan ani gürültülerin ortadan kaldırılmasında kullanılan en etkili yöntemlerden bir tanesidir. Bu filtrede (%50 PF) sinyalin değeri, kendisini çevreleyen (kullanıcı tarafından belirlenen sayıdaki) veri grubu içindeki medyan değeri ile değiştirilmektedir. Eğer percentile değeri %50'den farklı bir değer olarak belirlenir ise bu durumda veri grubu kendi içinde büyüklük açısından sıralanarak belirlenen yüzdeliğe karşılık gelen değer yeni sinyal olarak alınmaktadır. %50 PF (Medyan Filtre) uygulanan örnek bir sinyale ait ekran görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Ani gürültülere sahip bir sinyale %50 PF (medyan filtre) uygulanması.

Percentile filtre, Adjacent-Averaging ve Savitzky-Golay yöntemleri kullanılırken, hareketli pencere olarak adlandırılan (moving window) veri seti içerisinde yer alan değerler yardımı ile sinyal smooth edilir. Giriş verileri f_i , çıkış verileri g_i ile tanımlanırsa;

$$\{f_i | i = 1, 2, \dots, N\} \quad (3.1)$$

$$\{g_i | i = 1, 2, \dots, N\} \quad (3.2)$$

Her bir g_i değeri, $npts$ pencere noktası olarak (point of window) adlandırılan değişkeni ifade etmek üzere;

$$\{f_m | i - \text{floor}(npts/2) < m < i + \text{floor}(npts/2)\} \quad (3.3)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada m olarak elde edilen değerler her bir yöntemde kullanılacak olan verileri ifade etmektedir. Smooth yöntemi olarak FFT seçildiğinde, hareketli pencere içindeki noktalar değil tüm sinyal işlenmektedir. Hangi veriler üzerinde işlemin yapılacağı belirlendikten sonra seçilen yöntemle göre algoritma değişmektedir. P , programa girilen percentile değerini ifade etmek üzere dağılım ampirik dağılım fonksiyonu ile hesaplanır;

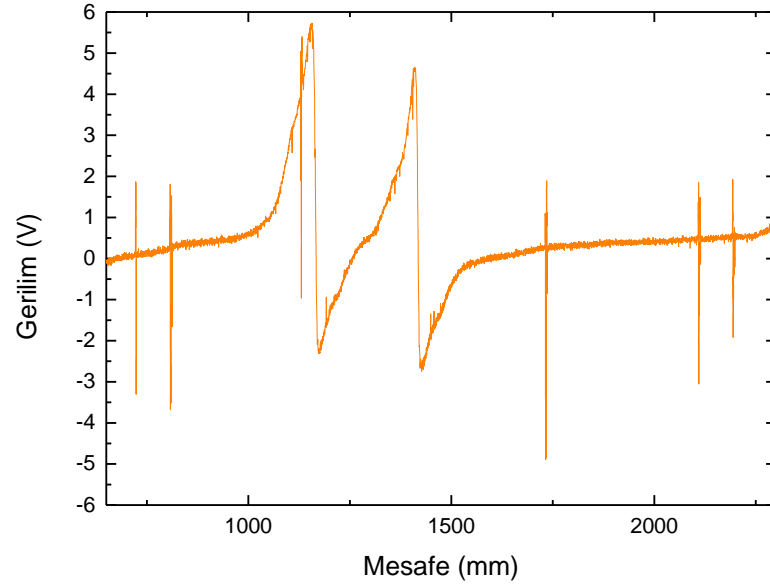
$$npts \cdot \frac{p}{100} = j + g \quad (3.4)$$

burada j , $npts \cdot \frac{p}{100}$ çarpımının tam sayı kısmını, g de kesirli kısmını ifade etmektedir. x_j hareketli pencere (moving window) içindeki j inci ($j = 0, 1, 2, \dots, npts - 1$) noktayı ifade etmek üzere y dağılımı

$$y = \begin{cases} x_j, & g = 0 \\ x_{j+1}, & g > 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

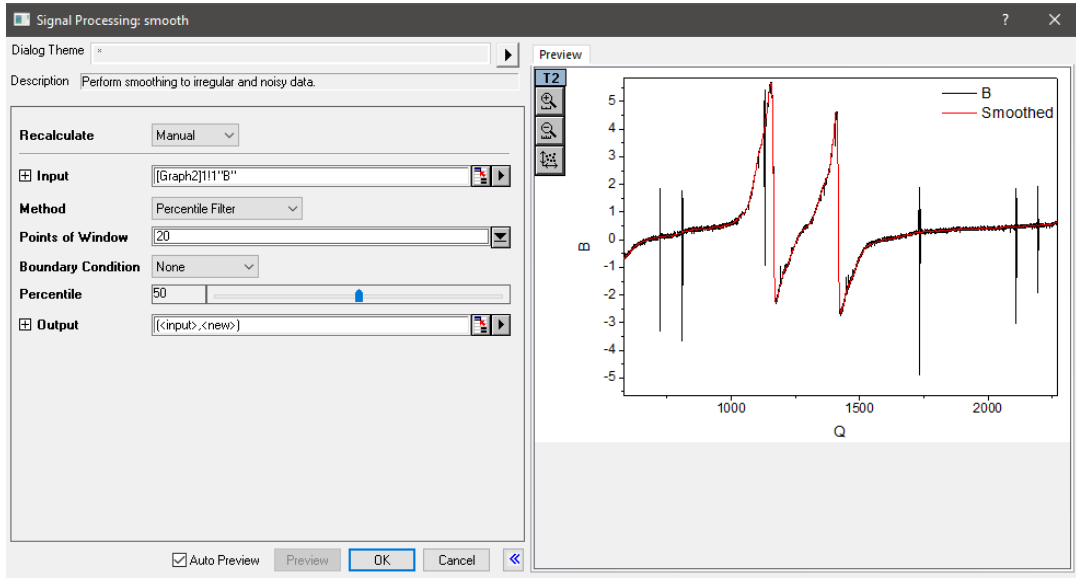
ile bulunmaktadır.

Ölçüm sistemi kullanılarak elde edilen veriler analiz edilmeden önce herhangi bir işleme tabi tutulmamış ve Origin 9.0 kullanılarak her bir sensör için konuma bağlı grafikler çizdirilmiştir. Çizdirilen grafikler incelendiğinde sensör gerilim değişimi üzerinde ani peak değerlerinin olduğu gözlemlenmiştir. PIG sistem içinde hareket ederken doğal olarak sistemde titreşimler oluşmaktadır. Ortaya çıkan bu peaklerin de bu sebeple oluştuğu düşünülmüştür (Şekil 3.4).



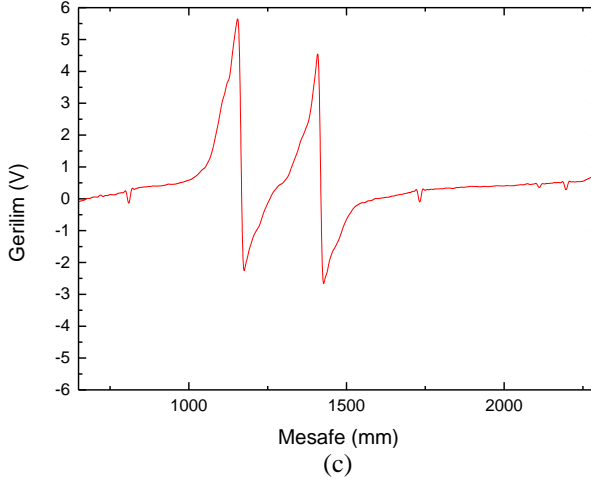
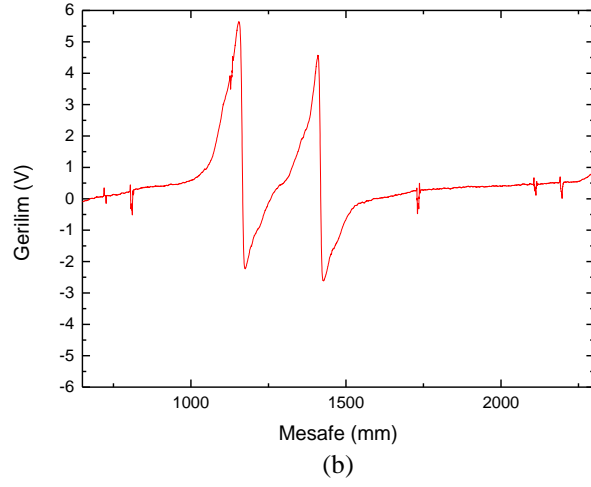
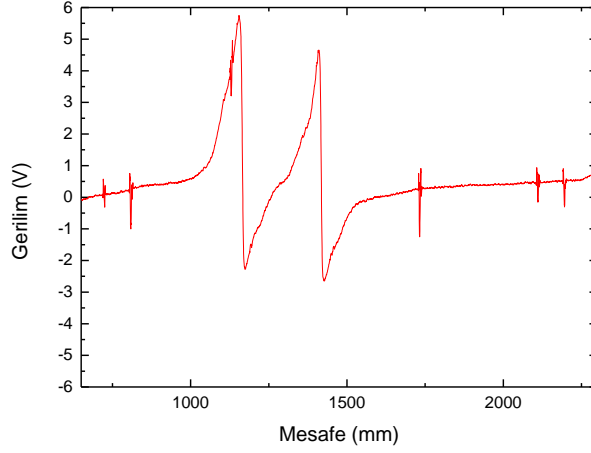
Şekil 3.4: Sistemden elde edilen bir sensör gerilim değişiminin konuma bağlı grafiği

Şekil 3.2 incelendiğinde sinyal üzerinde yüksek genlikli ani gürültüler olduğu görülmektedir. Smooth işlemi için kullanılacak yöntemler Savitzky-Golay, Adjacent-Averaging, FFT ve PF'dir. Her bir yöntem ham verilere uygulanmıştır ve points of window (pts) olarak adlandırılan hareketli pencere içindeki veri sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.5'te analize ait arayüz verilmiştir.



Şekil 3.5: Sinyal işleme smooth arayüzü.

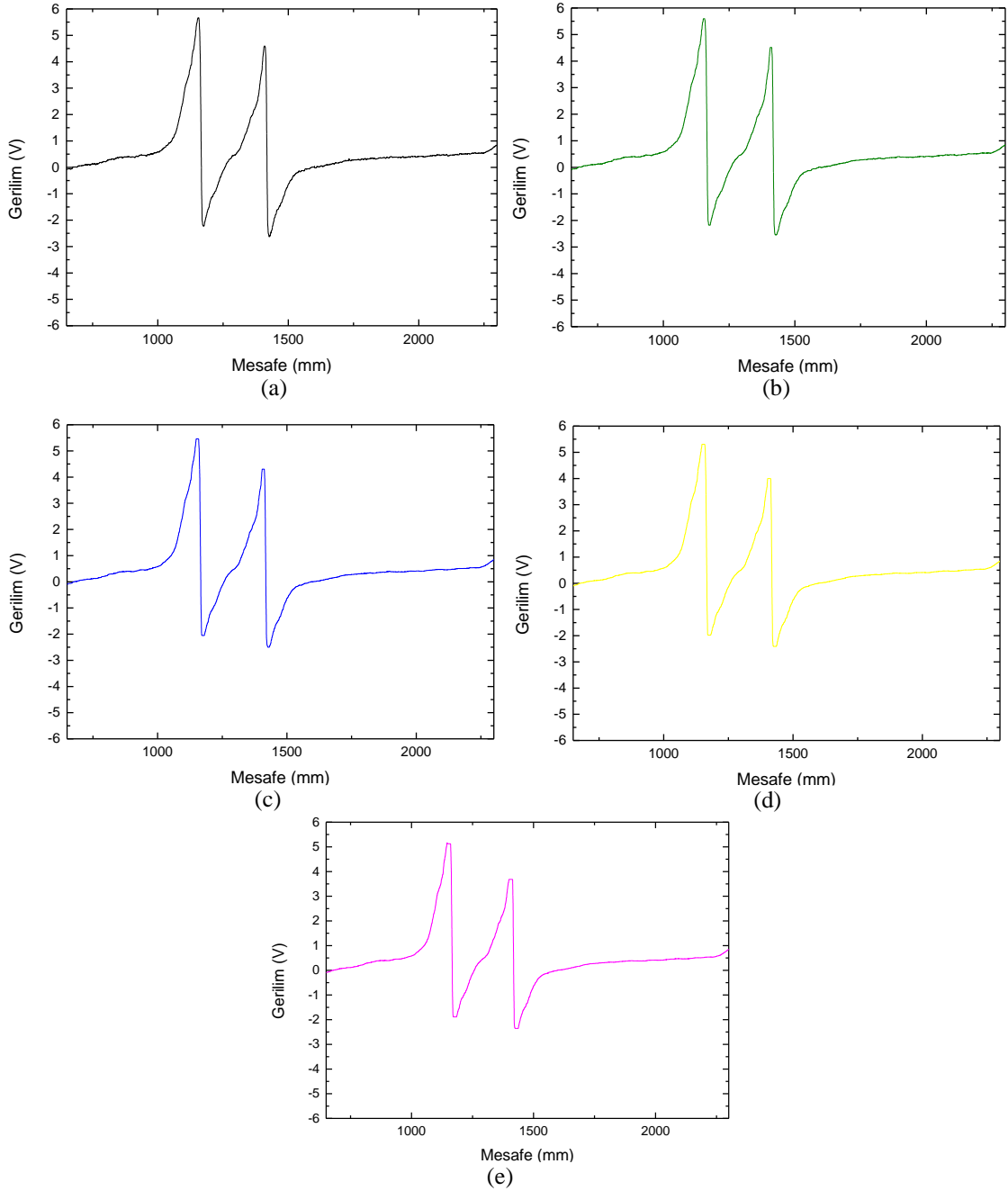
Analiz sonrasında ortaya çıkan grafikler Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: Sinyale uygulanan a) Savitzky-Golay b) Adjacent-Averaging c) FFT yöntemleri.

Şekil 3.6 incelendiğinde farklı yöntemler için farklı genliklerde olmak üzere gürültünün devam ettiği görülmektedir. Bu sebeple sinyale yüksek genlikli ani gürültüler için kullanılabilen %50 Percentile filtre (20 pts PF smooth) uygulaması

yapılmıştır (Şekil 3.7 a). PF uygulamasının ardından bu yöntemin sensör çıkış gerilimine uygulanabileceğine karar verilmiştir. Points of window değişkeninin analiz üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile “20 pts PF smooth” analizinin ardından sırası ile 40 pts, 60 pts, 80 pts ve 100 pts için yinelenmiştir (Şekil 3.7 b-e).

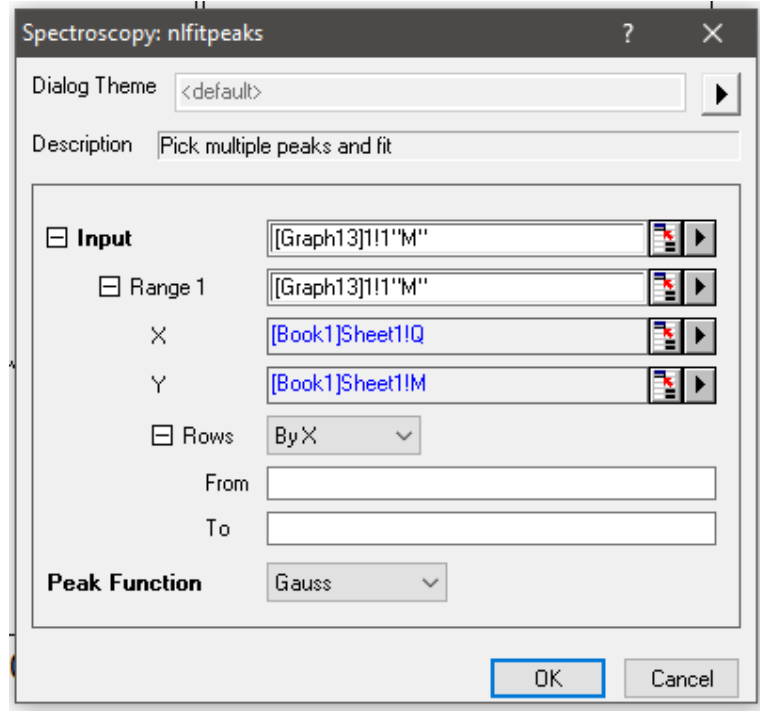


Şekil 3.7: a) 20 pts b) 40 pts c) 60 pts d) 80 pts e) 100 pts PF smooth analiz sonuçları.

Şekil 3.7 incelendiğinde karakteristik olarak sonuçlar benzer çıkmasına rağmen pts değeri arttıkça peaklerin maksimum değerlerinin kırıldığı ve veri kaybı meydana geldiği görülmüştür. Bu sebeple yapılacak olan analizlerde hem veri

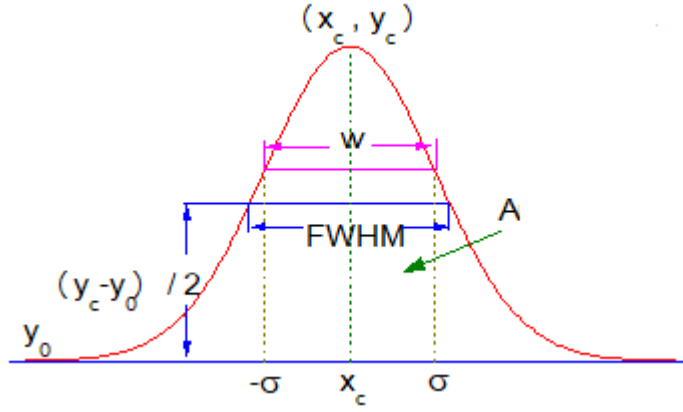
kaybının az olması hem de gürültünün yok edilmesi amacı ile 20 pts PF'nin kullanılmasına karar verilmiştir.

20 pts PF uygulanan verilerin analizinde, benzer sensör çıkış gerilimlerinin elde edildiği çalışmalarda izlenen yollar göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmalarda benzer karaktere sahip sensör çıkış gerilimlerinin 2 farklı Gaussian eğriden oluştuğu belirtilmiştir [123]. Bu amaçla ölçüm sisteminden elde edilen sensör çıkış gerilimleri, sistemde iki farklı çatlak olması sebebi ile Origin 9.0 programı kullanılarak kendisini oluşturan 4 Gaussian bileşenine ayrılmıştır. Bahsi geçen analizi gerçekleştirmek için programda sırası ile Analysis-Peaks and Baseline-Multiple Peak Fit seçilmiştir. Ardından çıkan ekranda (Şekil 3.8) Gaussian eğrilerin aranacağı aralık girilerek Peak Function olarak Gauss seçilmiştir.



Şekil 3.8: Gaussian eğriler için Origin 9.0 arayüzü

Gauss fonksiyonuna ait örnek bir grafik Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9: Örnek Gauss fonksiyonu grafiği

Gauss fonksiyonu;

$$f(x) = a \cdot e^{\frac{-(x-b)^2}{2c^2}} \quad (3.6)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu denklemlerde a eğrinin yüksekliğini; b eğrinin peak noktasının x bileşenini ve c de standart sapmayı ifade etmektedir. Bu denklemlerde a ile ifade edilen yükseklik değeri yerine, A eğri altındaki alanı ve w, x ekseninde eksi bir artı bir standart sapma (σ) arasındaki mesafeyi vermek üzere;

$$h = \frac{A}{w \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \quad (3.7)$$

değeri yazılabilir. b değerinin yerine ise Şekil 3.7'de de görüldüğü gibi peak noktasının x bileşeni olan x_c yazılabilir. Ayrıca c değerinin (standart sapma σ) yerine

$$\sigma = w/2 \quad (3.8)$$

eşitliği göz önüne alınarak değeri yazıldığında sonuç olarak Gauss denklemi Şekil 3.9 için;

$$y = y_0 + \frac{A}{w \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \cdot e^{\frac{-2(x-x_c)^2}{w^2}} \quad (3.9)$$

olarak ortaya çıkacaktır. Denklem 3.9'da yer alan y_0 değeri offset değeri olarak düşünülebilir. Analiz sonucunda Şekil 3.9'da da gösterilen farklı parametreler

yorumlanarak çatlak ve çatlakların konumları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Yorumlanan parametrelerin ilki x_c olarak ifade edilen peak noktasının x bileşenidir. Ayrıca σ ve w 'ya;

$$FWHM = 2\sqrt{2\ln 2} \sigma \quad (3.10)$$

$$FWHM = \sqrt{2\ln 2} w \quad (3.11)$$

denklemleri ile bağlı olan ve yarı yükseklikteki tam genişlik değerini veren FWHM (full width at half maximum) incelenen bir diğer parametredir. Bu parametre bundan sonra gelen ilgili tablolarda "F" kısaltması ile verilmiştir.

3.4 Hız Değişkenine Göre Çatlaklar Arası Mesafenin ve Çatlak Genişliğinin Tespiti

Ölçüm sisteminde yer alan hız kontrol cihazı yardımıyla PIG'in hızı değiştirilerek çatlaklar arası mesafenin belirlenmesi ve çatlak genişliğinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu başlık altında yer alan alt başlıklarda farklı manyetize edici akım değerleri için deneysel sonuçlar verilmiştir.

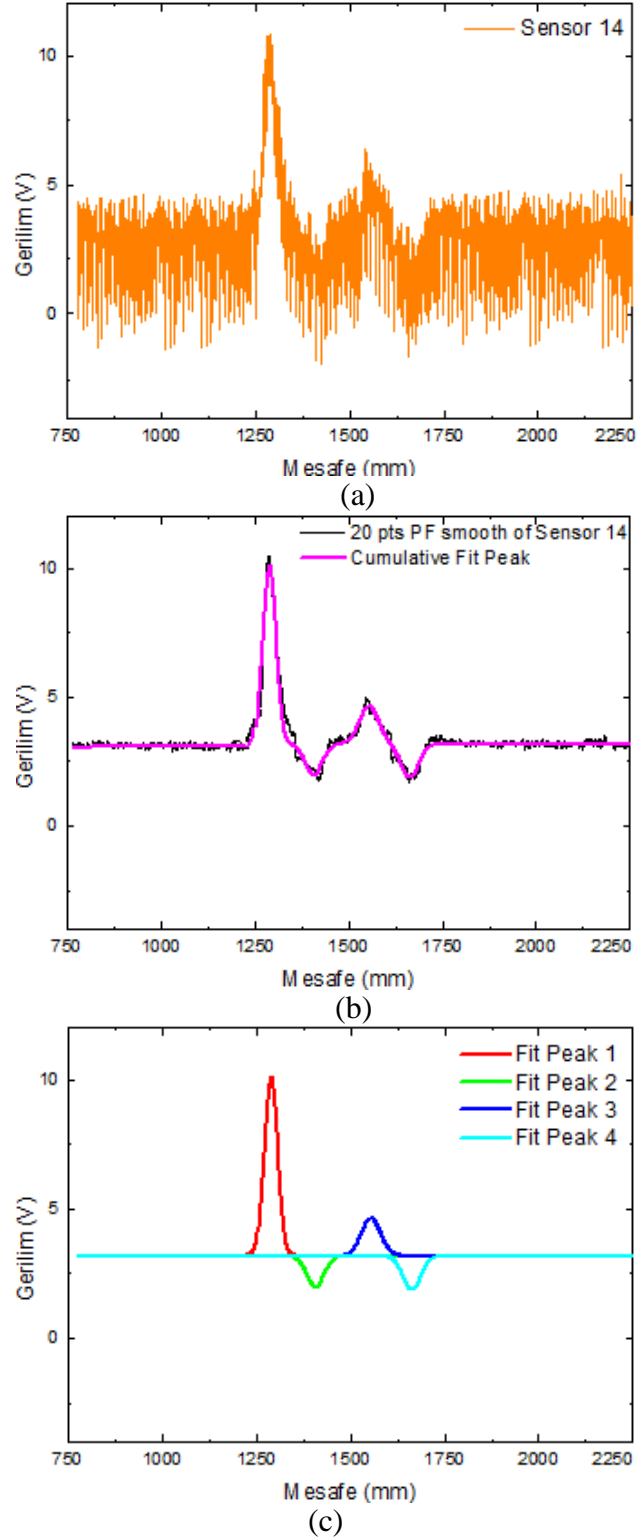
3.4.1 0 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar

Manyetize edici akım olarak 0 Amper seçilmesi sonucunda yani Dünya'nın manyetik alanı kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar alt başlıklarda verilmiştir.

3.4.1.1 Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Bu başlık altında ilgili akım değeri için çatlaklar arası mesafenin belirlenmesi amacı ile elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Şekil 3.10 a'da 6.05 cm/s hız değeri için 14. Sensör'den elde edilen ham verilere ait grafik görülmektedir. Ham verilere 20 pts PF uygulanması sonucunda ortaya çıkan grafik ve Gaussian bileşenlerin toplamı olan kümülatif Gaussian eğrisi Şekil 3.10 b'de verilmiştir. Şekil 3.10 b'de kümülatif Gaussian eğri ile 20 pts PF sonrasında elde edilen grafiğin birbiri ile benzer olması Gauss eğrilerinin toplamının filtre edilen veri ile uyumlu

olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca Şekil 3.10 c’de elde edilen dört farklı Gaussian eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.10: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler

Çatlaklar arası mesafenin araştırılmasında Peak 1 ve Peak 3 ile Peak 2 ve Peak 4'ün x_c değerleri arasındaki fark mm cinsinden hesaplanarak Tablo 3.3 – Tablo 3.20 aralığında yer alan tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 3.3: 0 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	3.63	1	265.71	269.27
		2	256.44	257.75
		3	269.96	261.67
		4	256.08	253.59
		5	247.99	263.64
		6	275.05	279.19
		7	247.39	256.25
		8	250.62	256.32
		9	250.59	257.17
		10	272.23	269.11
		11	271.88	267.94
		12	272.05	274.48
		13	270.25	265.72
		14	263.01	260.32
		15	265.63	262.12
		16	258.52	298.47

Tablo 3.4: 0 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	4.84	1	255.25	274.73
		2	270.06	260.56
		3	257.70	249.54
		4	252.75	249.65
		5	239.30	270.38
		6	250.15	333.65
		7	213.28	259.62
		8	211.72	228.97
		9	243.28	252.26
		10	258.34	252.35
		11	256.20	251.82
		12	273.63	268.34
		13	261.78	252.27
		14	260.34	257.86
		15	252.48	353.80
		16	254.37	314.53

Tablo 3.5: 0 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	6.05	1	254.00	265.33
		2	263.44	249.19
		3	260.15	244.77
		4	250.84	248.41
		5	247.56	245.26
		6	252.86	281.57
		7	210.18	209.87
		8	241.41	250.16
		9	247.43	250.25
		10	271.64	256.44
		11	266.31	259.82
		12	263.98	267.57
		13	262.92	262.18
		14	257.90	254.21
		15	200.77	251.67
		16	252.75	312.33

Tablo 3.6: 0 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	7.26	1	250.82	265.44
		2	259.53	249.22
		3	258.37	241.40
		4	247.65	246.81
		5	245.55	246.62
		6	251.16	230.40
		7	198.04	190.62
		8	240.11	246.97
		9	241.87	249.31
		10	268.68	251.59
		11	259.42	241.22
		12	267.07	263.04
		13	263.67	257.73
		14	256.46	251.83
		15	258.56	263.42
		16	252.19	294.02

Tablo 3.7: 0 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	8.47	1	251.53	271.10
		2	259.25	248.77
		3	255.19	246.85
		4	248.76	245.69
		5	241.51	251.09
		6	246.40	319.78
		7	215.40	251.65
		8	208.95	225.46
		9	240.32	248.75
		10	252.65	247.85
		11	255.76	245.77
		12	268.95	260.26
		13	259.80	245.53
		14	256.43	253.92
		15	251.99	349.11
		16	251.77	290.00

Tablo 3.8: 0 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	9.68	1	249.11	262.12
		2	256.62	247.56
		3	259.82	249.55
		4	244.53	244.79
		5	237.91	247.91
		6	245.09	268.53
		7	193.88	188.17
		8	201.25	212.09
		9	238.17	246.13
		10	252.49	245.92
		11	254.99	242.35
		12	264.59	260.47
		13	255.57	246.27
		14	254.96	253.53
		15	246.08	358.38
		16	249.17	289.01

Tablo 3.9: 0 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	10.89	1	247.12	270.88
		2	261.98	254.05
		3	263.78	236.71
		4	249.69	241.98
		5	236.48	257.56
		6	249.97	210.02
		7	242.30	247.68
		8	214.16	248.03
		9	242.94	247.92
		10	270.28	251.96
		11	265.88	257.13
		12	265.40	261.99
		13	264.06	254.65
		14	255.362	253.03
		15	257.76	260.49
		16	247.55	263.74

Tablo 3.10: 0 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	12.10	1	248.96	268.45
		2	262.99	253.82
		3	263.89	235.78
		4	247.30	245.18
		5	244.10	249.46
		6	245.11	312.65
		7	198.45	205.44
		8	234.27	247.04
		9	241.78	249.11
		10	259.98	240.47
		11	266.51	255.81
		12	257.91	260.48
		13	266.35	253.92
		14	254.31	252.60
		15	240.19	369.80
		16	251.37	261.50

Tablo 3.11: 0 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	13.31	1	248.63	270.34
		2	258.76	256.05
		3	254.16	245.46
		4	247.04	246.60
		5	241.70	253.79
		6	200.90	216.71
		7	198.86	204.17
		8	198.07	209.18
		9	242.65	250.11
		10	259.60	243.36
		11	253.57	247.46
		12	266.81	260.03
		13	263.71	256.34
		14	255.58	255.19
		15	250.36	413.75
		16	250.09	283.47

Tablo 3.12: 0 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	14.52	1	249.99	271.61
		2	257.62	255.66
		3	255.82	244.37
		4	246.84	246.52
		5	244.94	250.28
		6	230.77	225.23
		7	203.74	237.60
		8	199.47	215.92
		9	244.00	250.97
		10	267.22	263.04
		11	257.51	243.55
		12	267.25	263.22
		13	264.09	256.49
		14	255.97	253.52
		15	252.43	377.33
		16	251.67	299.61

Tablo 3.13: 0 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	15.72	1	232.94	242.63
		2	257.69	253.96
		3	253.92	245.22
		4	245.25	247.19
		5	239.23	253.48
		6	242.93	270.85
		7	207.01	240.86
		8	214.22	265.94
		9	241.08	243.75
		10	261.23	243.95
		11	267.71	254.27
		12	265.47	259.12
		13	262.68	254.05
		14	251.56	252.87
		15	254.55	247.53
		16	250.27	310.99

Tablo 3.14: 0 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	16.93	1	231.64	243.77
		2	260.08	252.77
		3	253.46	245.90
		4	243.88	251.42
		5	239.62	254.37
		6	235.77	266.30
		7	206.91	243.11
		8	209.92	251.44
		9	239.75	249.65
		10	273.68	250.41
		11	251.80	246.31
		12	270.26	258.30
		13	256.80	243.63
		14	256.34	255.47
		15	246.54	353.03
		16	250.54	299.09

Tablo 3.15: 0 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	18.14	1	251.05	263.50
		2	257.33	252.72
		3	263.10	251.11
		4	247.19	245.16
		5	240.11	253.86
		6	228.78	246.99
		7	240.39	249.26
		8	236.02	251.91
		9	243.64	249.16
		10	265.48	260.33
		11	265.12	236.26
		12	264.95	263.93
		13	261.30	255.98
		14	256.52	253.17
		15	245.61	325.80
		16	249.84	286.22

Tablo 3.16: 0 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	19.35	1	242.75	275.62
		2	256.92	254.23
		3	259.05	239.46
		4	254.09	237.82
		5	246.89	245.90
		6	267.53	259.18
		7	241.87	247.45
		8	235.87	248.41
		9	246.27	249.36
		10	264.64	259.10
		11	263.39	254.19
		12	265.82	259.55
		13	263.80	254.00
		14	255.36	253.64
		15	248.84	389.05
		16	248.80	270.83

Tablo 3.17: 0 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	20.56	1	243.63	268.95
		2	257.95	252.95
		3	262.58	251.57
		4	247.05	241.08
		5	242.85	246.92
		6	255.54	248.73
		7	237.11	249.42
		8	234.48	251.06
		9	243.72	249.73
		10	262.52	258.82
		11	250.48	265.05
		12	265.16	258.08
		13	258.91	254.14
		14	254.64	253.57
		15	239.80	320.25
		16	249.06	284.63

Tablo 3.18: 0 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	21.77	1	245.50	267.43
		2	258.38	253.40
		3	257.74	251.82
		4	248.31	236.90
		5	241.59	244.80
		6	257.85	249.25
		7	236.58	248.84
		8	237.55	251.75
		9	242.31	247.03
		10	250.52	244.92
		11	249.13	244.96
		12	262.31	238.96
		13	248.99	249.60
		14	247.30	252.18
		15	250.43	260.20
		16	246.40	257.30

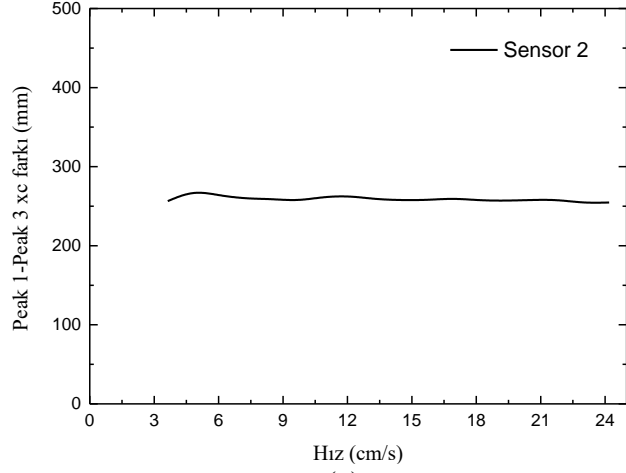
Tablo 3.19: 0 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	22.98	1	229.71	237.95
		2	254.00	255.13
		3	261.43	253.63
		4	262.69	249.77
		5	255.52	234.88
		6	263.15	249.80
		7	234.23	249.00
		8	238.65	247.79
		9	247.80	247.54
		10	264.08	262.67
		11	314.21	286.82
		12	260.21	260.42
		13	258.10	256.16
		14	253.65	245.96
		15	254.51	255.52
		16	251.24	303.45

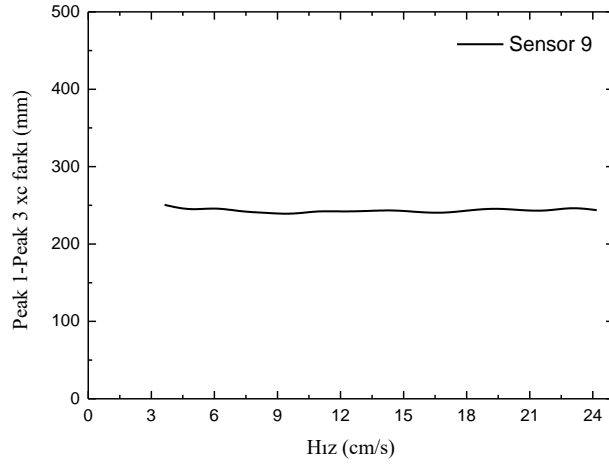
Tablo 3.20: 0 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	24.19	1	228.11	248.24
		2	254.66	254.88
		3	262.96	252.53
		4	251.20	240.47
		5	246.34	244.08
		6	241.17	229.06
		7	198.95	203.05
		8	201.95	213.38
		9	243.66	249.65
		10	264.50	258.45
		11	262.04	255.84
		12	261.30	258.95
		13	261.78	254.29
		14	256.10	252.68
		15	253.20	258.48
		16	243.81	263.63

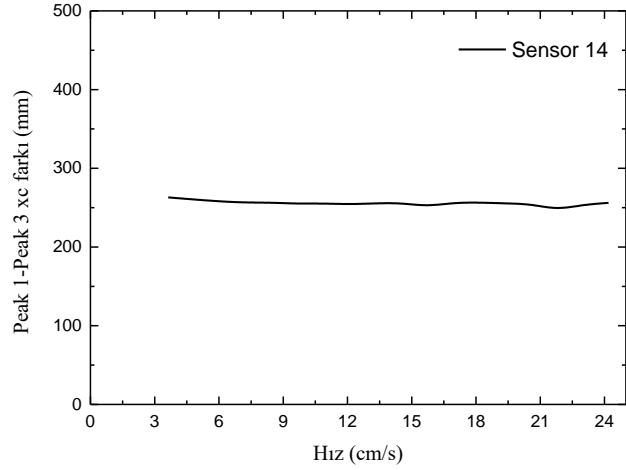
Tablo 3.3 ile Tablo 3.20 arasında yer alan tablolar incelendiğinde, iki çatlak arasında yer alan 250 mm'lik mesafenin, x_c değerlerinin Peak 1- Peak 3 farkı ve Peak 2 - Peak 4 farkına ortalama olarak oldukça yakın çıktığı görülmektedir. Rastgele seçilen bazı sensörlerin x_c değerleri arasındaki farkın hıza bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 3.11 a-c ve Şekil 3.12 a-c'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde hız değerinin değişimine bağlı olarak x_c değerleri arasındaki farkın değişiminde anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir.



(a)

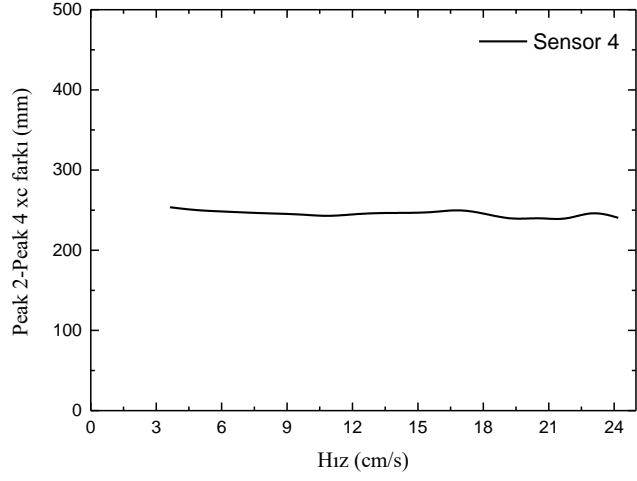


(b)

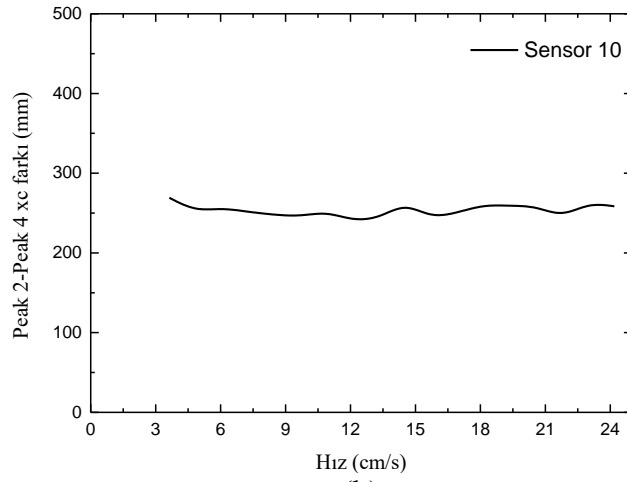


(c)

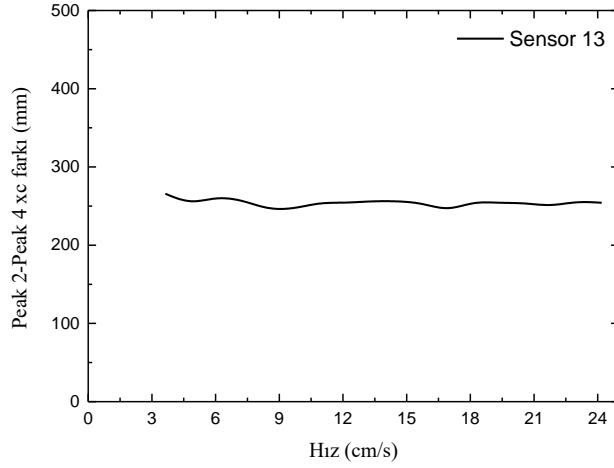
Şekil 3.11: a) 2. sensör b) 9. sensör c) 14. sensör için 0 A akım değerinde peak 1-peak 3 x_c değeri farkı-hız grafiği



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.12: a) 4. sensör b) 10. sensör c) 13. sensör için 0 A akım değerinde peak 2 - peak 4 x_c değeri farkı-hız grafiği

3.4.1.2 Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Tablo 3.21: 0 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	183.13	47.91	3.59	316.78	123.98	2.40	168.06	38.21	4.13	327.26	129.24	2.38
2	550.00	91.65	5.64	323.98	56.23	5.41	329.72	81.46	3.80	167.01	37.55	4.18
3	649.82	94.01	6.49	430.13	53.43	7.56	608.26	86.36	6.62	517.05	61.55	7.89
4	844.45	107.38	7.39	580.00	67.38	8.09	669.55	74.67	8.42	636.05	111.95	5.34
5	982.46	117.62	7.85	686.32	77.45	8.33	567.64	74.70	7.14	667.80	186.28	3.37
6	412.11	101.20	3.83	84.16	30.85	2.56	270.27	79.31	3.20	588.85	471.55	1.17
7	1009.95	139.18	6.82	775.72	84.27	8.65	583.22	77.02	7.11	725.31	170.16	4.00
8	1057.20	125.61	7.91	795.75	84.91	8.80	580.10	76.36	7.14	732.50	159.44	4.32
9	1266.07	116.96	10.17	945.12	81.34	10.92	708.59	75.26	8.85	818.92	139.93	5.50
10	915.83	97.14	8.86	391.16	54.72	6.72	561.57	108.94	4.84	419.98	73.39	5.38
11	987.60	94.49	9.82	484.30	55.85	8.15	613.52	104.75	5.50	512.62	75.37	6.39
12	483.06	84.33	5.38	135.44	29.96	4.25	232.45	119.14	1.83	146.93	59.84	2.31
13	920.51	84.49	10.23	414.33	40.33	9.65	446.00	88.46	4.74	355.51	57.70	5.79
14	974.99	91.44	10.02	648.25	53.12	11.46	262.22	39.45	6.24	323.63	76.91	3.95
15	399.26	85.95	4.36	112.67	27.40	3.86	24.78	21.87	1.06	28.61	52.66	0.51
16	218.76	38.67	5.31	383.50	82.29	4.38	89.43	31.64	2.66	860.35	440.79	1.83

Tablo 3.22: 0 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	175.26	42.62	3.86	267.80	92.28	2.73	171.67	40.04	4.03	397.05	150.11	2.48
2	451.54	85.95	4.94	214.70	38.93	5.18	370.17	78.87	4.41	305.90	55.45	5.18
3	726.71	96.17	7.10	490.81	55.09	8.37	596.48	64.10	8.74	598.50	91.55	6.14
4	930.74	109.71	7.97	616.11	66.33	8.73	654.98	73.39	8.38	617.87	112.41	5.16
5	1036.93	122.87	7.93	675.59	72.79	8.72	538.72	75.47	6.71	834.88	275.24	2.85
6	629.05	133.91	4.41	361.47	80.14	4.24	186.08	67.30	2.60	885.70	619.04	1.34
7	1951.49	178.80	10.25	1312.97	94.79	13.01	521.61	69.12	7.09	2162.95	548.51	3.70
8	2119.06	171.27	11.62	1413.96	93.13	14.26	591.23	73.59	7.55	1990.39	474.30	3.94
9	1447.63	123.88	10.98	1029.90	78.70	12.29	748.17	74.67	9.41	1092.91	188.73	5.44
10	1092.93	109.88	9.34	567.63	67.19	7.94	468.68	75.23	5.85	490.95	110.17	4.19
11	1203.40	104.17	10.85	721.50	67.73	10.01	513.25	71.03	6.79	561.32	102.14	5.16
12	463.99	86.60	5.03	137.10	30.72	4.19	197.51	98.69	1.88	156.89	62.46	2.36
13	894.57	87.45	9.61	420.01	42.40	9.31	405.18	60.51	6.29	420.25	82.61	4.78
14	961.70	92.07	9.81	623.21	51.79	11.31	239.16	36.99	6.07	325.35	78.34	3.90
15	423.26	89.89	4.42	154.68	37.58	3.87	43.96	45.12	0.92	485.62	591.32	0.77
16	245.54	40.18	5.74	388.67	81.05	4.51	85.11	30.97	2.58	1127.15	507.90	2.08

Tablo 3.23: 0 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	144.06	35.10	3.86	241.52	89.58	2.53	143.37	34.83	3.87	304.65	124.97	2.29
2	436.77	84.81	4.84	219.13	39.92	5.16	331.53	51.63	6.03	304.58	68.99	4.15
3	605.00	92.61	6.14	376.33	50.37	7.02	596.81	66.53	8.43	568.44	83.82	6.37
4	859.79	106.29	7.60	569.19	64.53	8.29	628.91	71.50	8.26	601.71	111.48	5.07
5	970.49	120.50	7.57	602.77	73.08	7.75	552.23	74.23	6.99	590.52	171.39	3.24
6	544.44	118.17	4.33	249.84	80.20	2.93	166.87	70.41	2.23	482.09	521.46	0.87
7	1932.39	169.09	10.74	1252.89	91.34	12.89	605.23	75.60	7.52	1437.00	398.99	3.38
8	1053.67	131.91	7.50	752.97	81.26	8.70	561.16	76.26	6.91	747.21	196.84	3.57
9	1209.56	113.57	10.01	830.81	76.92	10.15	723.39	76.06	8.94	738.04	128.53	5.39
10	1011.03	102.73	9.25	485.04	62.11	7.34	685.32	98.83	6.51	608.42	82.19	6.95
11	920.49	97.98	8.83	478.93	59.00	7.63	553.37	100.94	5.15	467.07	75.36	5.82
12	444.50	85.86	4.86	140.76	32.76	4.04	184.60	112.74	1.54	132.95	60.21	2.07
13	815.04	82.74	9.25	325.33	34.78	8.79	403.56	91.71	4.13	298.74	55.55	5.05
14	893.71	88.63	9.47	573.43	50.65	10.63	234.12	37.27	5.90	284.69	73.22	3.65
15	362.83	81.52	4.18	94.77	28.40	3.13	2.86	2.71	0.99	9.96	14.33	0.65
16	205.33	38.87	4.96	327.63	79.66	3.86	76.23	30.27	2.37	1061.29	515.74	1.93

Tablo 3.24: 0 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	161.28	37.24	4.07	244.71	83.63	2.75	161.57	36.71	4.13	309.53	119.15	2.44
2	443.91	86.99	4.79	210.09	39.64	4.98	316.11	53.46	5.55	300.66	76.09	3.71
3	606.64	92.70	6.15	378.97	50.65	7.03	608.19	65.28	8.75	580.09	80.98	6.73
4	862.04	105.58	7.67	595.61	66.18	8.45	615.88	69.50	8.32	601.43	111.60	5.06
5	947.02	117.30	7.58	606.35	72.65	7.84	566.34	74.00	7.19	563.18	145.35	3.64
6	515.26	123.18	3.93	273.74	76.55	3.36	235.60	77.47	2.86	252.94	175.20	1.36
7	2541.36	170.66	13.99	1721.82	98.99	16.34	691.52	75.01	8.66	1669.93	367.69	4.27
8	1106.97	134.56	7.73	803.25	81.08	9.31	599.57	76.12	7.40	773.27	179.98	4.04
9	1269.82	110.40	10.81	923.95	78.05	11.12	723.26	73.74	9.21	796.33	139.32	5.37
10	1028.35	100.68	9.60	497.20	60.41	7.73	755.01	95.40	7.43	648.97	80.99	7.53
11	993.18	98.33	9.49	539.19	59.80	8.47	762.44	82.27	8.71	736.94	94.68	7.31
12	436.72	83.18	4.93	123.09	29.61	3.91	195.53	98.04	1.87	144.07	61.47	2.20
13	800.21	82.59	9.10	329.73	35.49	8.73	387.35	84.72	4.30	313.91	56.85	5.19
14	908.70	88.95	9.60	564.49	49.06	10.81	249.29	38.53	6.08	292.55	73.83	3.72
15	421.65	91.73	4.32	163.32	40.72	3.77	41.40	31.69	1.23	83.80	96.57	0.82
16	214.65	38.84	5.19	406.37	91.10	4.19	90.78	29.81	2.86	989.19	445.87	2.08

Tablo 3.25: 0 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	168.75	38.53	4.11	286.73	92.54	2.91	169.93	37.42	4.27	411.65	160.29	2.41
2	469.83	87.88	5.02	239.02	42.10	5.33	317.54	52.39	5.69	308.51	75.61	3.83
3	683.64	95.75	6.71	437.14	52.09	7.88	545.94	62.46	8.21	565.21	91.55	5.80
4	927.80	108.20	8.06	617.20	65.05	8.91	637.26	69.99	8.55	617.72	112.56	5.16
5	1028.87	120.79	8.00	642.52	72.21	8.36	546.57	74.03	6.94	697.65	216.74	3.02
6	626.06	128.69	4.57	338.21	73.92	4.30	186.60	69.72	2.51	671.55	573.95	1.10
7	1843.68	172.57	10.04	1172.14	88.98	12.38	551.68	70.42	7.36	2114.50	530.57	3.74
8	2038.03	164.80	11.62	1363.63	91.24	14.04	567.73	72.90	7.32	1722.91	448.41	3.61
9	1326.68	121.73	10.24	959.77	78.22	11.53	724.56	74.59	9.13	944.11	176.35	5.03
10	1088.80	107.32	9.53	594.09	67.97	8.21	487.88	73.56	6.23	496.89	110.25	4.23
11	1068.91	103.76	9.68	576.03	62.14	8.71	586.02	78.68	7.00	610.14	102.88	5.57
12	480.04	90.81	4.97	168.24	39.01	4.05	201.39	96.02	1.97	177.43	68.11	2.45
13	874.51	86.77	9.47	406.21	40.85	9.34	480.79	65.09	6.94	486.56	80.90	5.65
14	947.51	91.67	9.71	617.86	52.46	11.06	225.21	35.53	5.95	302.03	76.78	3.70
15	400.34	88.10	4.27	152.76	37.07	3.87	40.23	37.06	1.02	443.90	570.65	0.73
16	221.80	40.40	5.16	410.36	91.12	4.23	95.75	32.72	2.75	1009.58	438.62	2.16

Tablo 3.26: 0 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	159.72	37.61	3.99	286.73	94.62	2.85	167.99	38.28	4.12	381.29	146.39	2.45
2	432.86	82.89	4.91	210.64	38.91	5.09	322.62	53.19	5.70	304.54	74.84	3.82
3	658.71	92.77	6.67	414.60	50.85	7.66	515.08	77.62	6.23	398.95	51.39	7.29
4	855.12	105.35	7.63	595.76	65.63	8.53	620.91	70.20	8.31	609.59	114.24	5.01
5	868.50	120.81	6.75	602.73	73.22	7.73	531.80	73.67	6.78	677.71	201.93	3.15
6	464.87	122.72	3.56	270.59	75.41	3.37	139.05	64.95	2.01	380.71	470.39	0.76
7	2253.68	173.61	12.19	1495.88	97.31	14.44	635.25	73.15	8.16	1684.21	377.78	4.19
8	2061.35	167.69	11.55	1382.36	94.02	13.81	570.85	71.19	7.53	1688.76	429.71	3.69
9	1167.97	115.12	9.53	879.89	77.12	10.72	716.01	73.71	9.13	888.49	157.73	5.29
10	976.03	106.28	8.63	487.33	63.01	7.27	467.70	75.70	5.80	480.43	106.61	4.23
11	997.81	100.30	9.35	541.04	60.38	8.42	619.86	78.40	7.43	624.31	97.34	6.02
12	409.97	83.18	4.63	120.35	30.13	3.75	174.33	96.17	1.70	141.77	59.17	2.25
13	859.10	85.42	9.45	401.29	40.41	9.33	388.71	58.54	6.24	400.83	80.84	4.66
14	924.69	90.78	9.57	602.06	51.50	10.98	207.17	32.49	5.99	304.65	77.15	3.71
15	400.31	85.92	4.38	144.90	35.87	3.80	52.13	45.76	1.07	464.56	569.73	0.77
16	213.94	38.46	5.23	387.94	88.43	4.12	92.53	31.52	2.76	899.89	430.15	1.97

Tablo 3.27: 0 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	160.29	38.65	3.90	277.43	89.94	2.90	182.92	42.84	4.01	534.45	219.40	2.29
2	480.80	86.36	5.23	215.61	38.53	5.26	346.60	76.33	4.27	249.07	47.07	4.97
3	661.75	91.52	6.79	412.13	49.75	7.78	1005.50	70.49	13.40	958.09	75.92	11.86
4	874.15	105.69	7.77	560.43	62.42	8.43	677.79	71.66	8.89	611.98	101.19	5.68
5	1071.26	125.74	8.00	655.85	69.94	8.81	579.74	76.15	7.15	821.14	251.89	3.06
6	606.58	123.80	4.60	274.01	69.40	3.71	207.29	79.56	2.45	304.02	301.89	0.95
7	1137.60	132.04	8.09	795.35	79.28	9.42	654.25	74.23	8.28	837.42	175.49	4.48
8	1797.58	147.58	11.44	1264.77	87.32	13.61	514.23	71.56	6.75	1554.18	471.13	3.10
9	1310.37	113.74	10.82	921.20	77.72	11.13	701.49	72.80	9.05	784.27	138.30	5.33
10	1107.72	102.97	10.11	486.79	59.61	7.67	691.97	95.40	6.81	601.76	80.26	7.04
11	1017.08	95.57	10.00	448.03	51.90	8.11	589.86	100.24	5.53	511.61	73.56	6.53
12	524.15	86.08	5.72	150.86	32.56	4.35	212.09	102.98	1.93	149.59	58.29	2.41
13	914.12	84.54	10.16	390.88	38.36	9.57	435.04	83.10	4.92	385.87	60.33	6.01
14	969.20	92.40	9.85	634.17	52.60	11.33	223.48	33.62	6.25	309.30	75.97	3.82
15	444.10	90.72	4.60	159.01	37.25	4.01	50.89	32.94	1.45	95.64	86.16	1.04
16	231.41	39.34	5.53	422.48	88.25	4.50	118.79	37.25	3.00	793.57	353.35	2.11

Tablo 3.28: 0 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	167.18	38.99	4.03	295.60	95.69	2.90	182.59	40.87	4.20	476.77	183.13	2.45
2	460.78	85.61	5.06	210.26	38.26	5.16	332.22	74.28	4.20	250.02	47.58	4.94
3	682.34	92.87	6.90	430.04	50.77	7.96	1145.40	75.92	14.17	1113.22	82.21	12.72
4	869.54	104.02	7.85	588.58	65.48	8.44	634.26	70.65	8.43	594.19	107.64	5.19
5	991.56	118.44	7.87	624.39	72.38	8.10	578.26	72.72	7.47	594.66	154.81	3.61
6	617.72	121.22	4.79	312.07	72.45	4.05	197.54	74.81	2.48	594.94	538.78	1.04
7	2421.28	169.27	13.44	1658.08	99.03	15.73	606.63	71.48	7.97	1698.38	414.92	3.85
8	1209.78	133.62	8.51	898.42	80.65	10.47	629.83	76.11	7.77	859.68	196.71	4.11
9	1357.56	112.45	11.34	1006.29	78.91	11.98	765.41	72.71	9.89	879.23	135.98	6.07
10	1061.03	102.90	9.69	512.45	60.95	7.90	675.46	81.12	7.82	632.95	95.86	6.20
11	1049.04	96.88	10.17	514.24	56.42	8.56	616.29	98.00	5.91	555.74	76.41	6.83
12	527.45	86.84	5.71	172.84	35.24	4.61	201.22	106.83	1.77	139.70	56.77	2.31
13	912.67	83.62	10.25	406.92	38.56	9.91	485.70	80.16	5.69	436.61	61.58	6.66
14	973.71	91.02	10.05	656.62	53.05	11.63	238.07	35.92	6.23	316.66	76.59	3.88
15	380.05	84.07	4.25	124.81	32.25	3.64	47.69	46.52	0.96	378.40	570.38	0.62
16	229.14	39.17	5.50	395.88	84.70	4.39	111.55	32.31	3.24	753.25	345.12	2.05

Tablo 3.29: 0 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	176.60	41.06	4.04	285.90	93.35	2.88	194.20	44.46	4.10	533.70	199.39	2.51
2	426.75	82.38	4.87	213.24	39.20	5.11	340.60	79.60	4.02	230.98	46.35	4.68
3	697.97	95.13	6.89	466.30	54.77	8.00	610.27	62.97	9.11	604.88	89.35	6.36
4	834.38	103.14	7.60	595.26	66.73	8.38	635.49	72.03	8.29	606.46	109.30	5.21
5	894.26	116.43	7.22	628.17	74.40	7.93	547.05	72.29	7.11	656.67	170.16	3.63
6	1177.78	157.41	7.03	919.96	113.11	7.64	205.44	67.88	2.84	470.76	389.82	1.13
7	2023.48	168.07	11.31	1424.52	96.14	13.92	570.27	73.92	7.25	1539.01	401.65	3.60
8	2321.39	159.36	13.69	1665.19	96.39	16.23	585.07	73.85	7.44	1584.05	397.72	3.74
9	1288.95	110.92	10.92	957.73	78.05	11.53	666.16	71.70	8.73	841.12	143.17	5.52
10	1032.34	99.03	9.79	511.81	61.46	7.82	662.47	81.93	7.60	624.52	96.28	6.09
11	1148.19	97.63	11.05	703.56	63.99	10.33	555.05	71.70	7.27	601.68	96.33	5.87
12	516.45	86.15	5.63	207.01	39.84	4.88	241.72	93.76	2.42	207.27	63.42	3.07
13	921.05	82.43	10.50	452.30	41.56	10.22	412.12	81.66	4.74	355.74	57.46	5.82
14	957.06	87.98	10.22	661.22	52.92	11.74	220.03	34.70	5.96	300.59	75.60	3.74
15	425.76	89.38	4.47	176.43	41.39	4.00	38.75	38.58	0.94	590.13	648.40	0.86
16	248.41	37.22	6.27	449.86	85.93	4.92	98.34	31.95	2.89	1002.36	428.01	2.20

Tablo 3.30: 0 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	191.39	41.36	4.35	290.85	95.36	2.87	198.94	43.03	4.34	493.81	176.92	2.62
2	423.74	79.34	5.02	194.08	35.47	5.14	315.22	77.98	3.80	193.34	41.55	4.37
3	667.24	95.80	6.54	432.48	53.79	7.55	609.31	64.88	8.82	599.07	88.01	6.39
4	865.61	104.75	7.76	604.10	66.72	8.51	575.35	70.10	7.71	551.14	110.52	4.68
5	973.36	115.92	7.89	641.94	74.10	8.14	564.77	74.03	7.17	530.27	137.54	3.62
6	533.05	145.53	3.44	342.17	84.91	3.79	165.58	76.53	2.03	276.77	365.53	0.71
7	1996.33	165.42	11.34	1430.84	96.44	13.94	504.18	69.30	6.84	1634.40	473.37	3.24
8	2254.49	154.28	13.73	1670.28	96.44	16.27	553.46	74.67	6.96	1388.74	395.93	3.30
9	1281.40	111.59	10.79	911.78	78.37	10.93	634.45	70.74	8.43	829.59	149.30	5.22
10	878.80	89.67	9.21	306.41	46.63	6.17	454.56	105.74	4.04	323.12	66.72	4.55
11	1117.12	96.58	10.87	680.23	64.83	9.86	690.35	77.20	8.40	704.77	90.84	7.29
12	505.89	82.93	5.73	158.48	31.95	4.66	217.31	97.56	2.09	172.11	61.16	2.64
13	894.04	81.97	10.25	411.52	39.53	9.78	419.32	84.06	4.69	368.44	60.11	5.76
14	953.60	88.47	10.13	623.03	51.61	11.34	225.66	36.43	5.82	289.01	74.15	3.66
15	403.09	90.53	4.18	156.25	41.08	3.57	33.99	40.80	0.78	398.67	638.99	0.59
16	244.03	37.90	6.05	451.55	87.44	4.85	91.81	29.48	2.93	1092.63	460.57	2.23

Tablo 3.31: 0 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	215.45	76.33	2.65	162.29	34.50	4.42	295.86	70.55	3.94	878.65	347.43	2.38
2	441.95	80.11	5.18	219.29	37.92	5.43	322.49	75.54	4.01	203.96	41.58	4.61
3	739.69	97.60	7.12	475.19	53.23	8.39	592.93	62.97	8.85	596.26	92.38	6.06
4	892.32	105.64	7.93	615.75	66.35	8.72	573.73	70.51	7.64	549.09	118.88	4.34
5	975.26	116.13	7.89	663.79	72.87	8.56	565.28	74.84	7.10	642.84	185.39	3.26
6	511.09	127.85	3.76	320.77	80.27	3.75	162.32	67.36	2.26	425.24	468.27	0.85
7	1902.12	161.93	11.04	1333.75	92.41	13.56	507.92	71.41	6.68	1645.21	471.86	3.28
8	1608.66	154.16	9.80	1130.39	85.99	12.35	444.92	70.28	5.95	1715.71	524.05	3.08
9	1349.71	114.16	11.11	959.99	77.73	11.60	667.22	73.49	8.53	905.11	165.79	5.13
10	1079.24	99.71	10.17	457.80	56.02	7.68	582.73	77.08	7.10	540.47	93.69	5.42
11	1330.53	112.58	11.10	262.53	36.16	6.82	495.72	68.95	6.75	544.64	96.79	5.29
12	523.86	83.61	5.89	202.61	38.18	4.99	215.16	94.47	2.14	181.81	61.24	2.79
13	927.14	82.85	10.51	459.80	42.06	10.27	433.00	80.82	5.03	378.86	57.46	6.19
14	1006.01	84.50	11.18	753.87	55.74	12.71	226.88	35.60	5.99	284.38	73.62	3.63
15	410.86	96.18	4.01	150.71	38.68	3.66	69.76	52.39	1.25	99.76	90.94	1.03
16	242.61	37.90	6.01	440.02	87.82	4.71	88.39	30.08	2.76	1280.03	504.27	2.38

Tablo 3.32: 0 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	218.22	70.22	2.92	161.57	32.45	4.68	325.71	74.16	4.13	919.44	344.18	2.51
2	474.18	82.76	5.38	232.00	39.28	5.55	343.46	73.56	4.39	239.07	44.46	5.05
3	754.84	99.94	7.10	489.93	55.10	8.35	566.24	62.25	8.55	580.44	94.88	5.75
4	897.54	109.22	7.72	600.72	65.61	8.60	541.06	69.79	7.28	564.19	135.93	3.90
5	1014.34	117.38	8.12	678.53	73.37	8.69	589.18	74.16	7.46	682.66	189.61	3.38
6	612.87	145.17	3.97	395.29	90.59	4.10	149.35	70.54	1.99	467.28	445.74	0.98
7	1994.89	163.50	11.46	1431.02	95.28	14.11	468.28	68.52	6.42	1757.26	486.87	3.39
8	1892.70	156.15	11.39	1370.38	91.18	14.12	484.19	69.01	6.59	1825.46	496.39	3.45
9	1353.19	117.68	10.80	936.38	76.41	11.51	637.66	71.17	8.42	984.43	191.52	4.83
10	1056.17	99.73	9.95	492.25	59.83	7.73	767.73	91.03	7.92	716.99	81.62	8.25
11	1139.88	99.20	10.79	700.97	65.37	10.07	508.39	69.20	6.90	550.79	96.22	5.38
12	503.06	84.66	5.58	178.64	35.67	4.70	244.62	89.24	2.58	216.69	67.58	3.01
13	942.47	85.66	10.34	484.45	44.73	10.17	445.95	61.98	6.76	448.30	77.76	5.42
14	940.86	89.44	9.88	617.51	51.22	11.33	192.57	30.75	5.88	285.00	75.24	3.56
15	405.21	90.40	4.21	173.75	42.58	3.83	40.05	43.75	0.86	547.30	606.56	0.85
16	231.12	37.83	5.74	439.83	88.19	4.69	83.12	29.75	2.62	1057.93	482.96	2.06

Tablo 3.33: 0 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	195.59	42.34	4.34	304.08	98.64	2.90	200.61	42.53	4.43	455.52	151.88	2.82
2	415.94	79.28	4.93	217.81	38.98	5.25	314.57	73.37	4.03	211.53	40.94	4.85
3	678.42	94.03	6.78	418.15	50.37	7.80	613.49	80.09	7.20	515.14	56.83	8.52
4	811.21	103.98	7.33	539.85	64.34	7.88	564.67	71.02	7.47	535.56	110.12	4.57
5	921.04	113.79	7.60	644.31	74.24	8.15	554.68	72.87	7.15	622.68	168.96	3.46
6	574.38	159.10	3.39	405.28	95.64	3.98	150.47	66.90	2.11	344.14	402.16	0.80
7	992.74	128.90	7.24	788.79	84.68	8.75	530.76	70.30	7.09	716.58	169.01	3.98
8	1054.11	128.08	7.73	810.17	81.82	9.30	516.12	71.70	6.76	793.19	193.40	3.85
9	1320.57	110.22	11.26	938.65	78.00	11.30	655.00	70.11	8.78	768.34	132.14	5.46
10	951.48	91.94	9.72	363.50	50.70	6.74	529.51	101.41	4.91	394.23	68.14	5.44
11	1097.65	94.91	10.86	620.19	60.38	9.65	1185.05	80.79	13.78	1158.88	85.54	12.73
12	496.18	81.08	5.75	167.44	31.69	4.96	216.84	104.89	1.94	157.44	57.94	2.55
13	927.53	81.56	10.68	428.78	39.06	10.31	431.19	84.90	4.77	355.11	56.57	5.90
14	910.90	84.70	10.10	584.46	48.48	11.32	206.45	31.44	6.17	261.65	68.87	3.57
15	405.61	87.77	4.34	128.37	33.59	3.59	41.78	46.34	0.85	334.13	560.55	0.56
16	248.10	37.82	6.16	447.81	87.98	4.78	101.77	32.81	2.91	981.65	421.63	2.19

Tablo 3.34: 0 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	190.57	41.01	4.37	267.92	79.08	3.18	217.13	50.79	4.02	618.65	244.98	2.37
2	473.61	79.10	5.62	219.08	36.28	5.67	357.69	76.54	4.39	208.14	38.89	5.03
3	716.89	93.98	7.17	438.25	50.74	8.11	764.35	65.96	10.89	714.85	79.98	8.40
4	861.54	102.86	7.87	547.34	62.38	8.24	822.32	78.24	9.87	727.44	94.96	7.20
5	951.24	111.84	7.99	601.91	70.62	8.01	623.24	75.73	7.73	559.62	122.57	4.29
6	525.00	113.50	4.35	322.65	89.85	3.37	204.63	91.26	2.11	148.62	70.61	1.98
7	1014.27	125.87	7.57	781.07	82.78	8.86	559.34	73.57	7.14	707.42	168.80	3.94
8	1079.80	125.54	8.08	815.54	77.62	9.87	583.15	75.64	7.24	819.74	192.75	4.00
9	1268.40	111.24	10.71	835.14	74.16	10.58	623.42	71.37	8.21	697.52	128.57	5.10
10	1068.85	92.45	10.86	390.79	49.31	7.45	528.97	101.20	4.91	353.30	64.33	5.16
11	1188.22	97.30	11.47	654.61	62.16	9.89	594.73	93.13	6.00	519.61	71.25	6.85
12	566.28	85.73	6.21	214.25	39.07	5.15	239.05	95.75	2.35	195.22	61.13	3.00
13	945.24	83.14	10.68	455.24	41.45	10.32	413.47	78.09	4.97	359.00	55.42	6.09
14	939.25	88.30	9.99	618.83	51.17	11.36	225.79	33.98	6.24	290.73	74.52	3.66
15	450.23	90.19	4.69	170.65	39.22	4.09	46.79	42.29	1.04	684.62	633.78	1.01
16	247.10	38.28	6.06	406.39	82.48	4.63	104.35	33.25	2.95	865.40	398.39	2.04

Tablo 3.35: 0 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	200.23	43.48	4.33	288.52	84.67	3.20	228.26	49.94	4.29	653.43	234.08	2.62
2	483.91	78.55	5.79	225.35	36.68	5.77	359.10	72.26	4.67	226.46	39.80	5.34
3	723.11	94.33	7.20	420.74	48.84	8.09	632.38	82.88	7.17	527.92	58.82	8.43
4	887.08	103.26	8.07	588.61	64.35	8.59	701.12	75.61	8.71	634.47	104.69	5.69
5	1002.94	112.07	8.41	680.55	75.00	8.52	584.44	73.51	7.47	560.77	133.87	3.94
6	484.12	116.22	3.91	282.29	81.16	3.27	196.16	69.33	2.66	175.36	112.23	1.47
7	1027.34	132.61	7.28	786.08	83.15	8.88	542.17	71.79	7.09	745.51	178.48	3.92
8	1090.00	121.76	8.41	820.88	80.64	9.56	531.63	74.10	6.74	741.33	181.08	3.85
9	1346.06	108.86	11.62	914.42	76.64	11.21	640.60	70.69	8.51	735.14	131.43	5.25
10	1048.20	92.38	10.66	400.13	48.87	7.69	550.89	102.42	5.05	350.11	62.07	5.30
11	1172.00	101.58	10.84	578.34	48.92	11.11	749.13	130.79	5.38	462.40	61.60	7.05
12	585.66	84.79	6.49	219.13	37.73	5.46	241.02	92.39	2.45	186.04	58.44	2.99
13	954.10	83.13	10.78	481.17	43.04	10.50	406.73	83.16	4.59	326.95	53.85	5.70
14	1002.37	88.48	10.64	701.37	55.76	11.82	193.27	29.00	6.26	271.23	71.35	3.57
15	444.50	89.53	4.66	174.96	38.97	4.22	54.79	55.04	0.94	366.48	510.06	0.67
16	241.90	38.58	5.89	424.62	85.81	4.65	100.95	31.13	3.05	1011.79	429.05	2.22

Tablo 3.36: 0 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	149.39	35.92	3.91	206.20	74.19	2.61	178.61	42.07	3.99	308.94	121.06	2.40
2	403.29	80.34	4.72	207.77	38.39	5.08	381.51	74.39	4.82	260.78	45.51	5.38
3	581.73	91.28	5.99	392.61	50.89	7.25	608.01	84.04	6.80	496.27	57.01	8.18
4	665.64	98.03	6.38	491.27	64.24	7.18	799.22	78.85	9.52	710.64	95.05	7.02
5	740.09	103.16	6.74	522.87	70.09	7.01	628.29	75.92	7.77	516.80	113.11	4.29
6	309.31	83.70	3.47	248.86	104.85	2.23	260.09	72.92	3.35	196.20	88.23	2.09
7	659.88	103.60	5.98	561.82	76.27	6.92	503.42	76.27	6.20	490.98	122.34	3.77
8	655.54	108.06	5.70	523.08	77.25	6.36	425.85	71.82	5.57	466.91	133.48	3.29
9	937.18	105.73	8.33	696.25	75.39	8.68	595.42	72.49	7.72	616.15	115.72	5.00
10	727.79	96.97	7.05	471.39	66.45	6.66	510.46	76.77	6.25	503.29	97.59	4.84
11	860.10	97.12	8.32	588.70	65.95	8.39	533.30	72.03	6.96	560.85	96.12	5.48
12	412.03	86.91	4.45	224.28	49.38	4.27	379.09	72.86	4.89	376.63	80.09	4.42
13	700.76	88.01	7.48	495.14	56.01	8.31	283.60	49.85	5.34	343.51	83.03	3.89
14	708.60	78.35	8.50	560.18	53.00	9.93	211.08	36.31	5.46	259.91	72.76	3.36
15	189.20	82.40	2.16	113.02	46.27	2.29	39.13	33.70	1.09	84.86	96.10	0.83
16	148.27	30.61	4.55	357.96	91.42	3.68	107.89	34.79	2.91	346.22	199.32	1.63

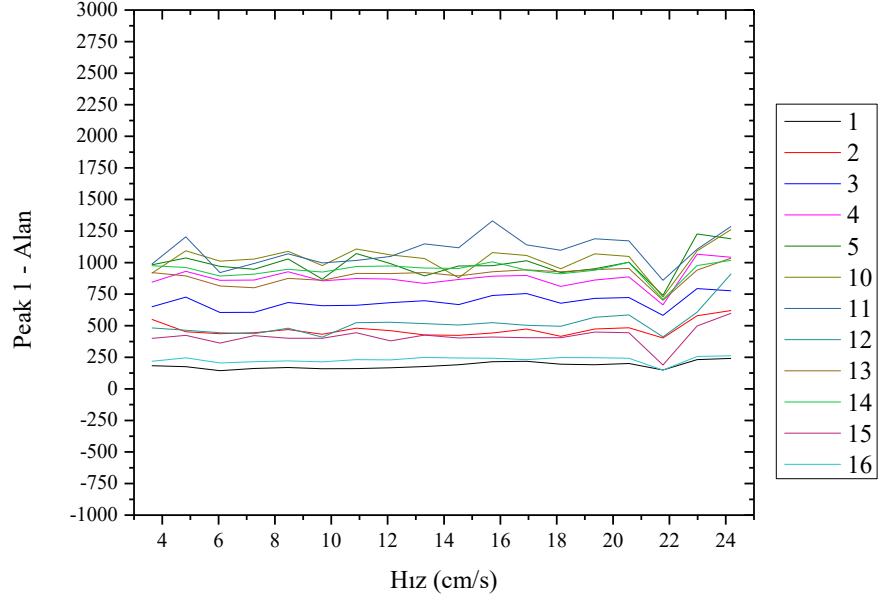
Tablo 3.37: 0 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	231.04	69.36	3.13	161.52	30.63	4.95	358.85	76.31	4.42	979.03	335.08	2.74
2	579.27	77.13	7.06	246.76	33.83	6.85	436.63	81.99	5.00	209.93	36.59	5.39
3	793.78	91.96	8.11	423.58	45.45	8.76	667.36	84.39	7.43	504.59	55.08	8.61
4	1065.90	106.02	9.45	616.26	61.45	9.42	792.11	92.45	8.05	633.90	72.07	8.26
5	1227.11	110.62	10.42	720.38	69.00	9.81	968.81	82.58	11.02	792.50	99.35	7.49
6	920.93	113.94	7.59	481.93	73.79	6.14	377.06	93.46	3.79	227.16	71.81	2.97
7	1348.49	136.86	9.26	944.27	83.34	10.64	562.22	75.59	6.99	728.43	201.18	3.40
8	1259.06	125.00	9.46	909.71	80.54	10.61	586.95	73.95	7.46	791.37	178.50	4.17
9	1502.98	107.60	13.12	957.66	73.68	12.21	706.13	73.20	9.06	728.35	112.68	6.07
10	1092.34	84.77	12.11	319.46	39.96	7.51	644.14	117.44	5.15	365.86	61.29	5.61
11	1105.17	76.37	13.59	165.76	22.78	6.83	2297.45	178.39	12.10	1765.90	116.43	14.25
12	607.13	81.71	6.98	190.12	32.03	5.58	271.43	103.06	2.47	168.43	51.74	3.06
13	940.89	81.09	10.90	439.52	38.79	10.64	457.66	88.20	4.87	342.88	52.77	6.10
14	976.46	86.13	10.65	654.05	51.55	11.92	269.52	38.27	6.62	288.95	65.48	4.15
15	497.71	89.18	5.24	172.93	36.13	4.50	64.01	45.95	1.31	88.23	86.02	0.96
16	256.69	39.17	6.16	452.75	90.94	4.68	86.97	28.13	2.90	1200.65	493.84	2.28

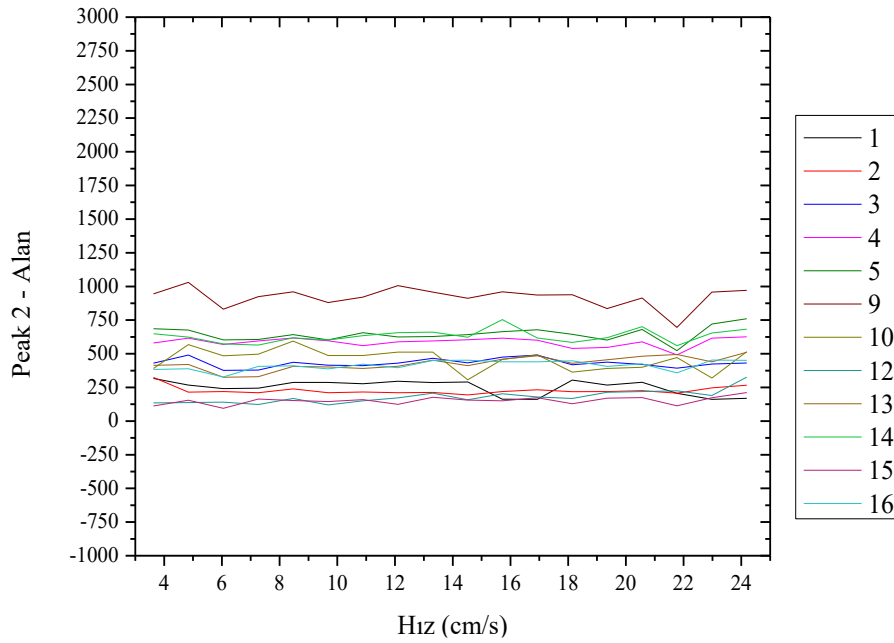
Tablo 3.38: 0 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	241.09	69.90	3.24	168.70	31.62	5.01	357.99	77.98	4.31	1066.20	357.77	2.80
2	620.05	79.01	7.37	265.89	34.00	7.35	458.46	82.33	5.23	239.87	38.40	5.87
3	776.60	93.50	7.80	431.73	46.82	8.66	658.12	83.35	7.42	538.80	57.77	8.76
4	1041.92	105.20	9.30	625.99	61.81	9.51	779.93	76.41	9.59	699.74	102.24	6.43
5	1188.30	114.12	9.78	760.30	72.55	9.85	683.36	74.60	8.61	632.24	126.93	4.68
6	769.08	124.59	5.80	427.16	75.78	5.30	283.66	79.44	3.35	379.06	260.83	1.37
7	2566.88	163.11	14.78	1813.09	97.74	17.43	677.97	73.55	8.66	1674.27	381.97	4.12
8	2255.43	157.64	13.44	1569.74	90.95	16.21	638.07	75.25	7.97	1611.93	385.75	3.93
9	1433.80	106.88	12.60	971.12	73.55	12.40	688.47	72.45	8.93	793.62	131.49	5.67
10	1261.86	95.17	12.46	515.57	53.33	9.08	651.92	102.47	5.98	489.22	68.62	6.70
11	1286.30	94.59	12.78	701.50	58.53	11.26	681.52	94.80	6.75	589.10	68.13	8.12
12	911.16	84.94	10.08	326.18	38.81	7.90	387.79	100.38	3.63	273.40	56.26	4.57
13	1035.87	82.76	11.76	511.19	42.28	11.36	489.02	82.49	5.57	417.98	57.00	6.89
14	1017.91	88.06	10.86	682.43	51.98	12.33	227.84	31.90	6.71	297.83	70.57	3.96
15	598.51	89.08	6.31	212.02	36.23	5.50	86.15	47.61	1.70	113.34	94.37	1.13
16	262.40	35.23	7.00	451.11	80.16	5.29	133.69	40.89	3.07	932.93	366.86	2.39

Analiz sonucunda ortaya çıkan Gaussian eğrilere ait Tablo 3.21 - Tablo 3.38'de yer alan A (alan), F (FWHM) ve H (yükseklik) verileri kullanılarak her peak değeri için hıza bağlı grafikler Şekil 3.13 - Şekil 3.18 aralığında verilmiştir.

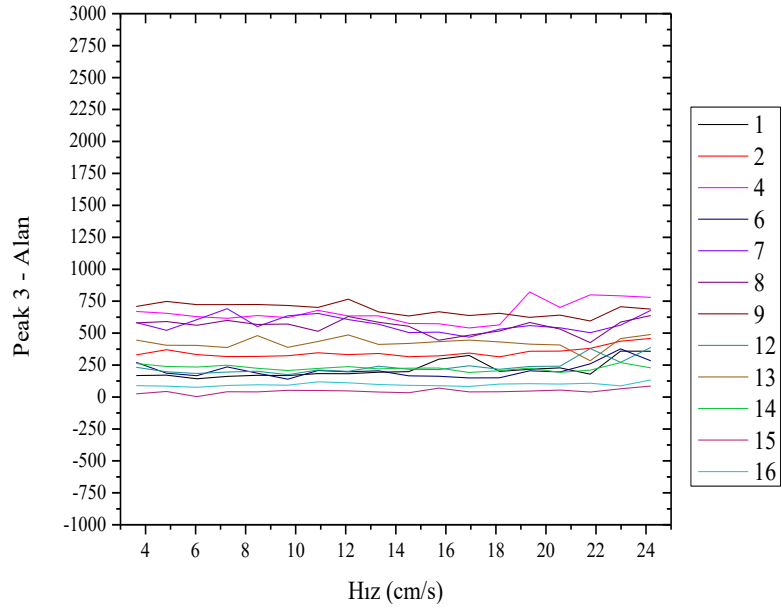


(a)

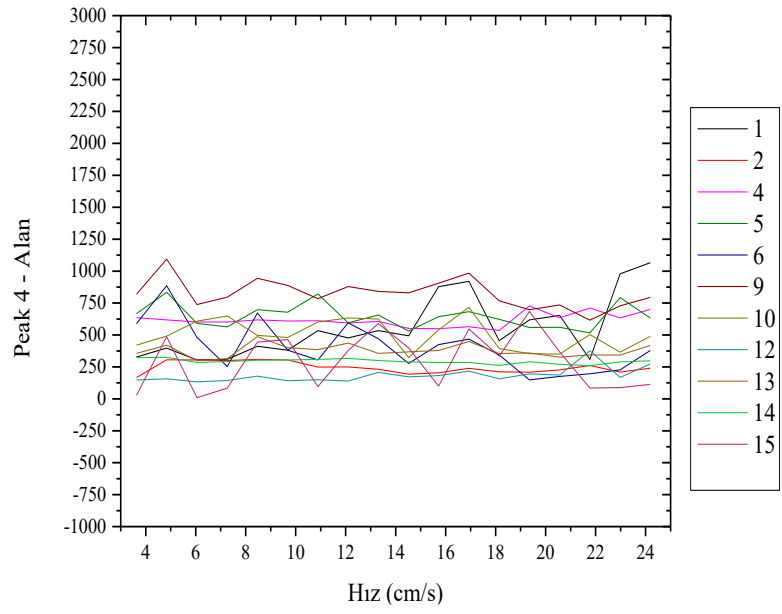


(b)

Şekil 3.13: a) Peak 1 b) Peak 2 alan – hız grafiği

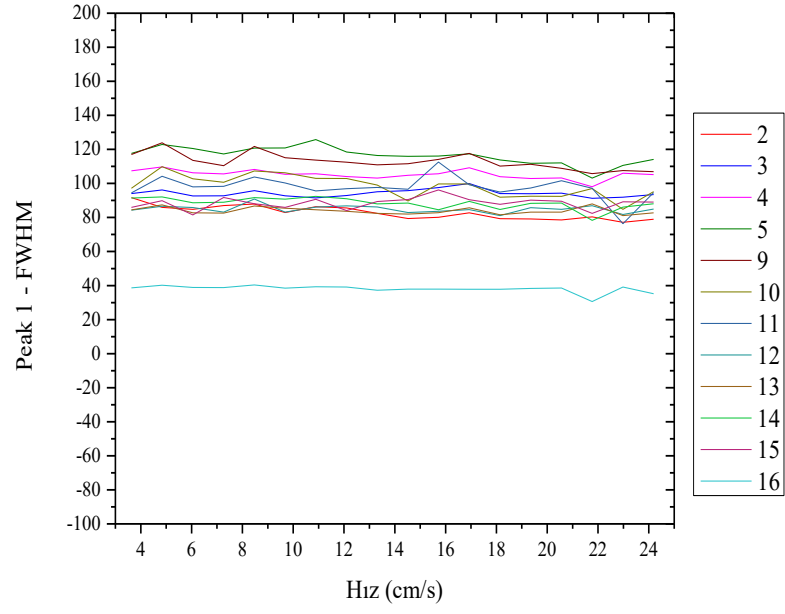


(a)

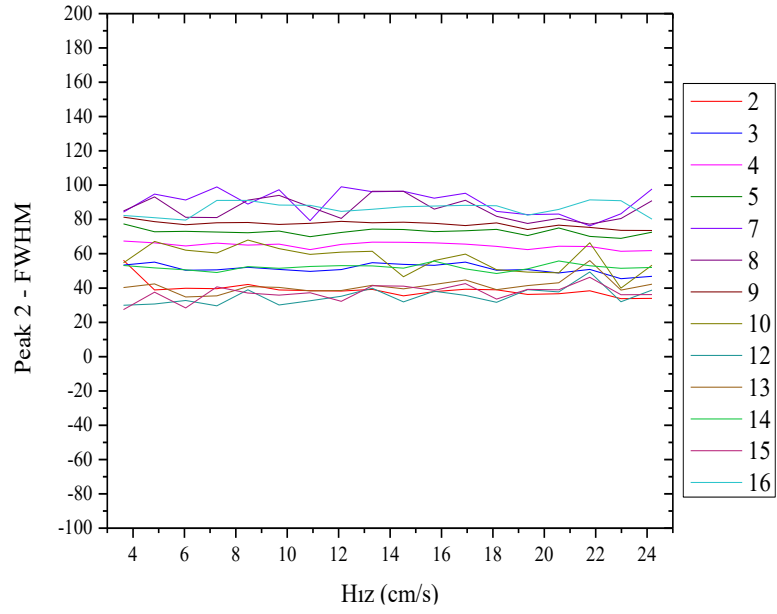


(b)

Şekil 3.14: a) Peak 3 b) Peak 4 alan – hız grafiği

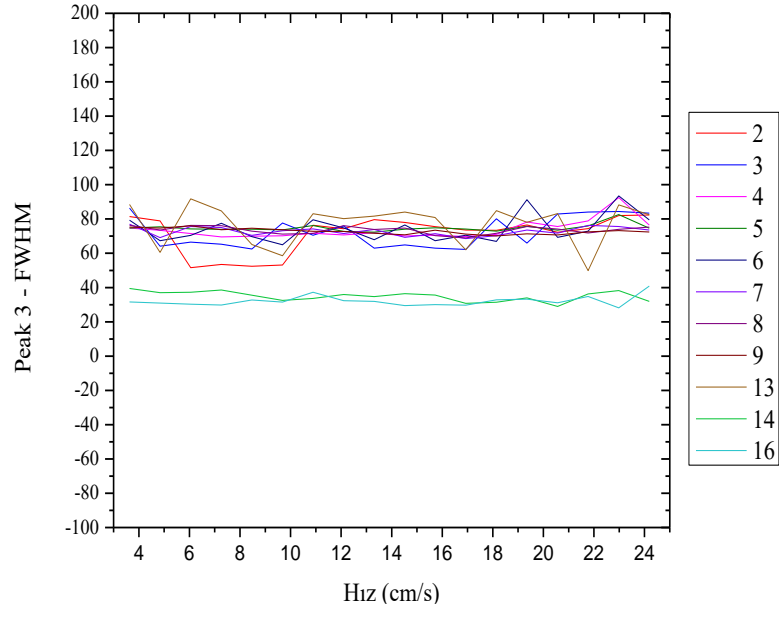


(a)

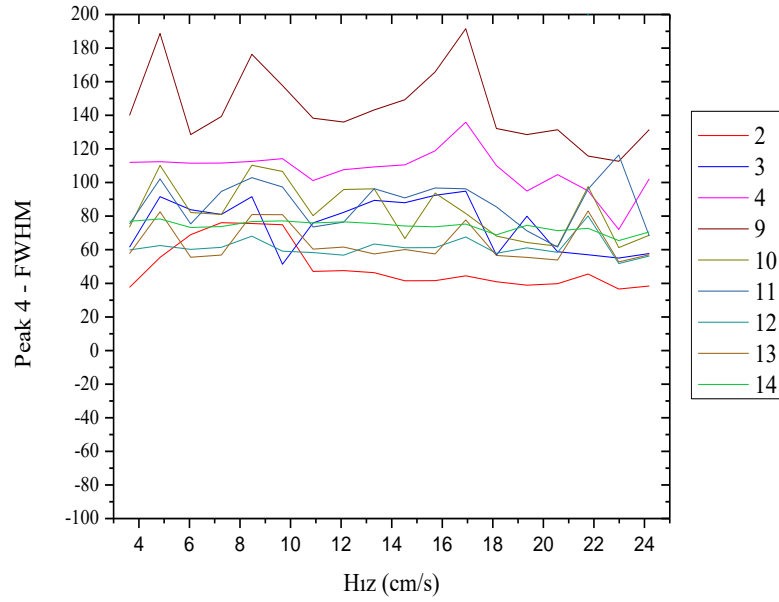


(b)

Şekil 3.15: a) Peak 1 b) Peak 2 FWHM– hız grafiği

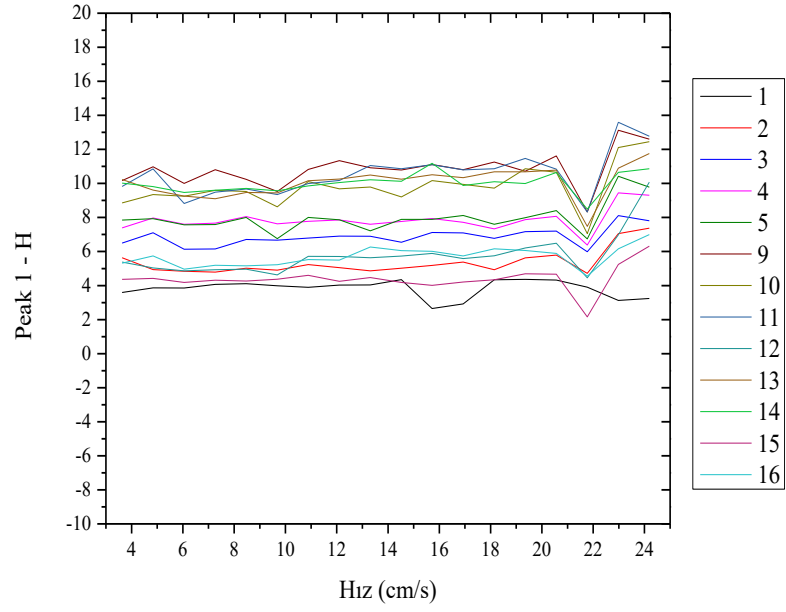


(a)

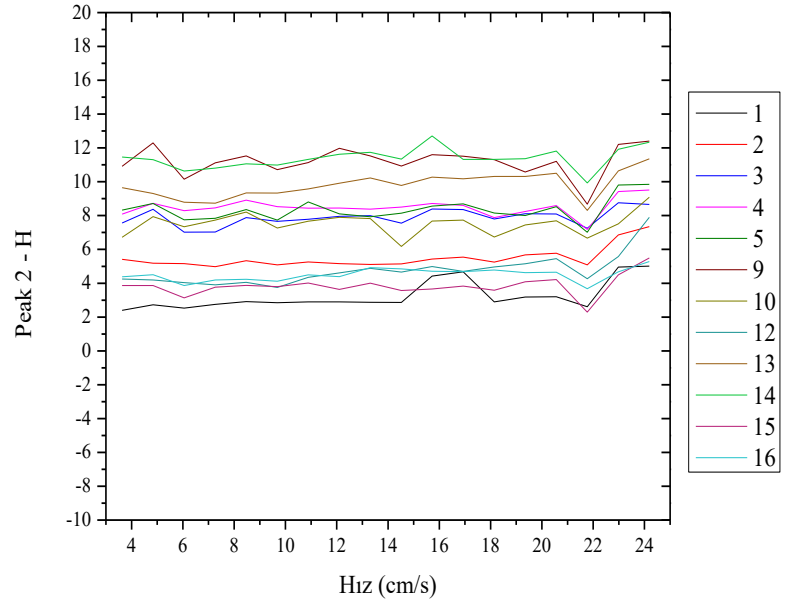


(b)

Şekil 3.16: a) Peak 3 b) Peak 4 FWHM– hız grafiği

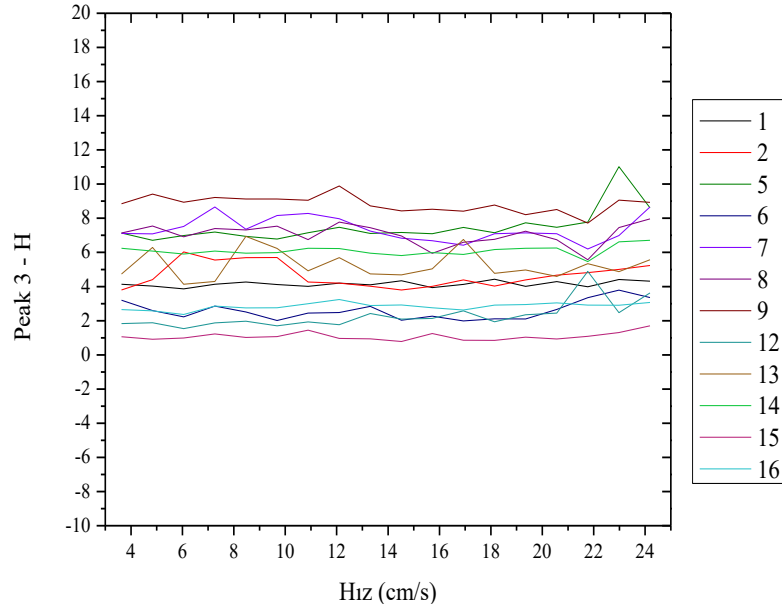


(a)

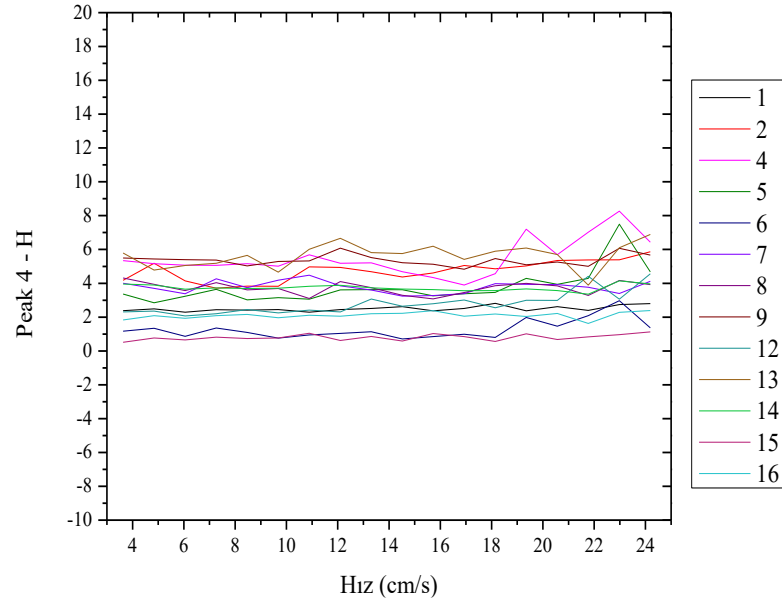


(b)

Şekil 3.17: a) Peak 1 b) Peak 2 H– hız grafiği



(a)

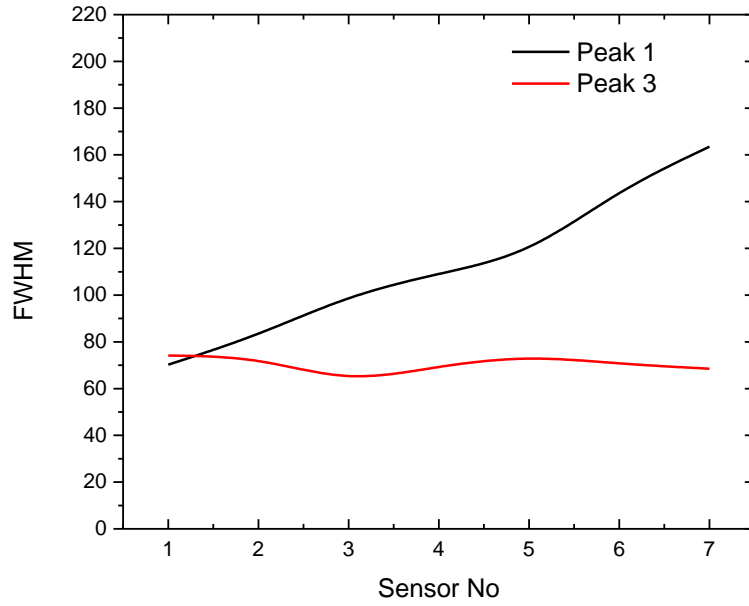


(b)

Şekil 3.18: a) Peak 3 b) Peak 4 H– hız grafiği

Şekil 3.11- Şekil 3.16 incelendiğinde sensörlerden elde edilen veriler kullanılarak çizilen Gaussian eğrilere ait Peaklerden Peak 1, Peak 2 ve Peak 3 için Alan, FWHM ve yükseklik değerlerinin 0 Amper akım değerinde hıza bağlı olarak çok fazla değişmediği görülmektedir. Peak 4'e ait grafikler incelendiğinde ise özellikle Alan ve FWHM parametreleri için bir lineerlik gözlemlenememiştir. Fakat lineer olmayan bu grafiklerde hız bağlı olarak herhangi bir yönde artış ya da azalma da tespit edilememiştir.

Çatlak genişliği 1. çatlak için ilk sensörden başlayarak artmakta iken, 2 numaralı çatlak için sabit kalmaktadır. Sisteme herhangi bir akım uygulaması yapılmadığı durumda sıralı 7 sensör için peak 1 ve peak 3'e ait FWHM (yarı yükseklikteki tam genişlik değeri) karşılaştırıldığında Şekil 3.19'da görülen grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.19: 0 A, 16.93 cm/s için peak 1 ve peak 3'e ait FWHM-sensör grafiği

Şekil 3.19'da görülen grafik incelendiğinde peak 1'e ait FWHM değerinin giderek arttığı, peak 3'e ait FWHM değerinin ise sabit sayılabilecek bir seviyede kaldığı görülmektedir. Bu durum da 1 numaralı çatlığa ait genişliğin peak 1, 2 numaralı çatlığa ilişkin genişlik bilgisinin peak 3 kullanılarak elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

0 amper akım değeri için yapılan analizler sonucunda elde edilen grafik örnekleri Ek C'de verilmiştir. Şekil 3.13 ile Şekil 3.18 arasında verilen grafikler ile x_c değerleri arasındaki farklardan elde edilen veriler göz önüne alındığında, sonuçların sensörden sensöre değişmediği ve parametrelere ait karakterlerin ortak olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan hareketle tezin bu bölümünden sonra gelecek olan 0.200 Amper, 0.400 Amper ve 0.800 Amper akım değerlerine karşılık gelen deneyler için rasgele seçilen altışar sensöre ait değerler incelenmiştir. Bu sensörlere ait detaylı grafikler ise yine Ekler bölümünde verilmiştir.

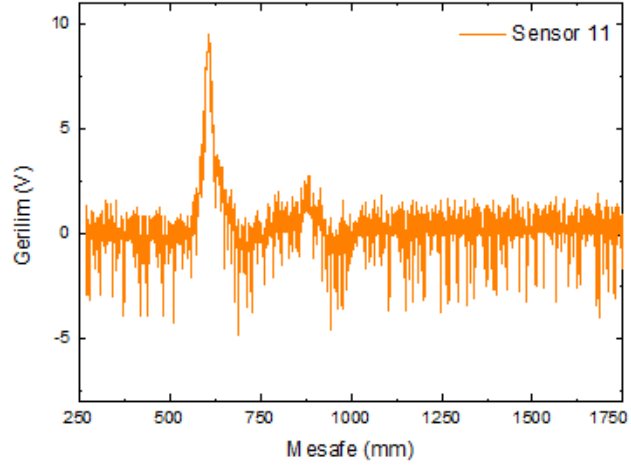
3.4.2 0.200 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar

Manyetize edici akım olarak 0.200 Amper seçilerek elde edilen deneysel sonuçlar alt başlıklarda verilmiştir.

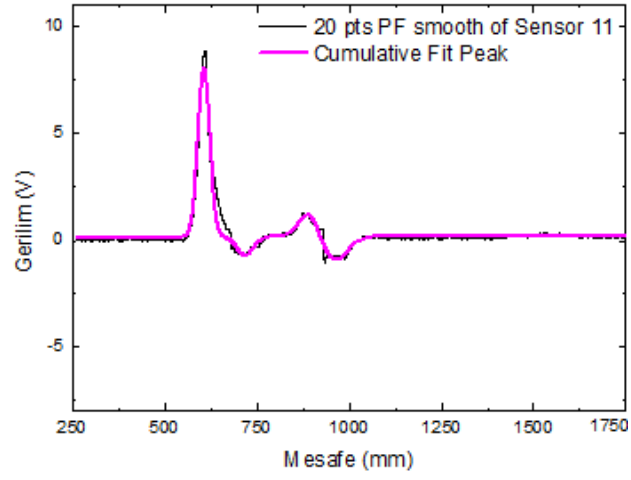
3.4.2.1 Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Bu başlık altında ilgili akım değeri için çatlaklar arası mesafenin belirlenmesi amacı ile elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Şekil 3.20 a'da 16.93 cm/s hız değeri için 11. Sensör'den elde edilen ham verilere ait grafik görülmektedir. Ham verilere 20pts PF uygulanması sonucunda ortaya çıkan grafik ve Gaussian bileşenlerin toplamı olan kümülatif Gaussian eğrisi Şekil 3.20 b'de verilmiştir. Şekil 3.20 b'de kümülatif Gaussian eğri ile 20 pts PF sonrasında elde edilen grafiğin birbiri ile benzer olması Gauss eğrilerinin toplamının filtre edilen veri ile uyumlu olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca Şekil 3.20 c'de elde edilen dört farklı Gaussian eğrisi verilmiştir.

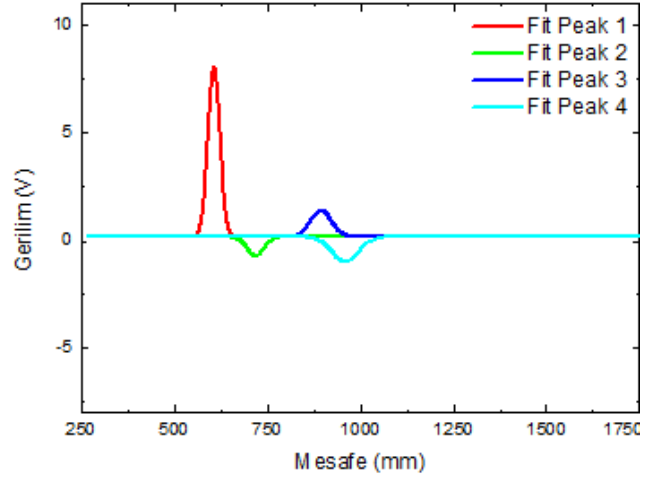
Tablo 3.39 ile Tablo 3.56 arasında ise sensör ağından rasgele seçilen 1. Sensör, 7. Sensör, 9. Sensör, 10. Sensör, 11. Sensör ve 15. Sensör'e ait x_c değerleri farkı verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.20: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler

Tablo 3.39: 0.200 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	3.63	1	259.79	275.98
		7	290.81	251.66
		9	293.92	230.34
		10	276.40	263.28
		11	289.20	256.98
		15	308.23	245.74

Tablo 3.40: 0.200 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	4.84	1	251.67	257.40
		7	320.67	249.32
		9	294.18	230.87
		10	256.02	259.91
		11	291.72	257.76
		15	288.10	228.09

Tablo 3.41: 0.200 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	6.05	1	249.02	265.78
		7	308.11	253.60
		9	290.67	233.23
		10	261.41	252.55
		11	292.15	236.02
		15	280.40	246.56

Tablo 3.42: 0.200 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	7.26	1	246.48	274.36
		7	264.59	250.77
		9	288.79	227.99
		10	268.61	253.30
		11	286.93	236.15
		15	279.43	234.95

Tablo 3.43: 0.200 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	8.47	1	247.15	259.16
		7	280.33	254.62
		9	284.76	233.57
		10	267.02	253.84
		11	286.43	256.79
		15	286.08	240.04

Tablo 3.44: 0.200 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	9.68	1	252.35	259.98
		7	308.06	216.65
		9	300.31	216.71
		10	295.25	206.06
		11	280.51	213.82
		15	273.80	229.97

Tablo 3.45: 0.200 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	10.89	1	253.91	258.69
		7	288.54	202.72
		9	286.00	219.75
		10	256.45	253.46
		11	290.46	244.22
		15	295.87	265.21

Tablo 3.46: 0.200 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	12.10	1	250.65	264.19
		7	297.07	197.39
		9	288.92	220.04
		10	278.09	248.08
		11	291.41	230.97
		15	284.02	243.87

Tablo 3.47: 0.200 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	13.31	1	261.85	268.33
		7	295.72	240.35
		9	284.20	209.20
		10	302.15	209.24
		11	312.05	232.85
		15	275.91	336.48

Tablo 3.48: 0.200 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	14.52	1	258.93	266.42
		7	268.29	253.22
		9	281.52	207.68
		10	273.47	250.45
		11	277.73	246.69
		15	283.49	256.06

Tablo 3.49: 0.200 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	15.72	1	250.63	249.20
		7	292.63	250.60
		9	292.65	196.78
		10	266.43	246.29
		11	277.35	246.33
		15	269.42	202.92

Tablo 3.50: 0.200 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	16.93	1	244.28	255.51
		7	288.63	245.89
		9	285.04	210.07
		10	250.88	251.36
		11	286.41	240.90
		15	287.00	237.18

Tablo 3.51: 0.200 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	18.14	1	244.15	247.64
		7	277.39	242.45
		9	288.85	209.10
		10	297.90	203.23
		11	291.76	225.33
		15	275.07	188.77

Tablo 3.52: 0.200 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	19.35	1	242.71	259.50
		7	297.82	207.90
		9	289.03	218.26
		10	251.88	251.33
		11	304.77	224.70
		15	277.61	259.87

Tablo 3.53: 0.200 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	20.56	1	246.00	268.46
		7	260.55	220.66
		9	288.21	207.29
		10	291.49	204.94
		11	308.16	238.32
		15	265.48	261.46

Tablo 3.54: 0.200 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.200	21.77	1	245.36	267.36
		7	250.97	239.37
		9	303.41	209.95
		10	249.48	245.30
		11	282.75	236.84
		15	273.74	266.80

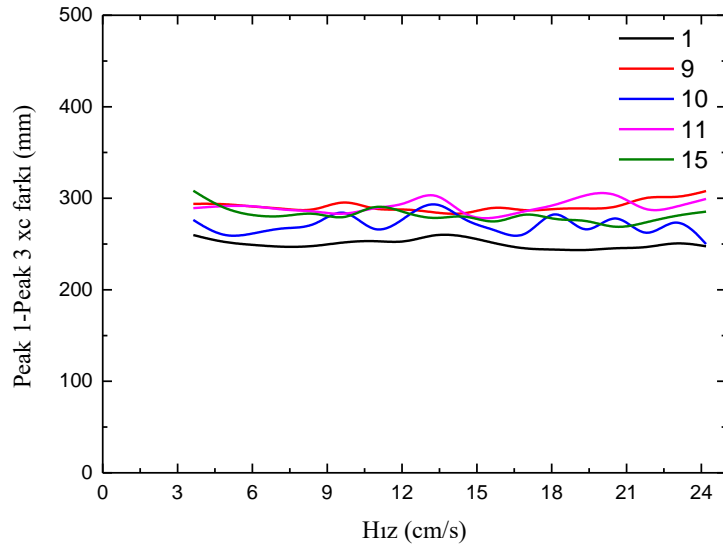
Tablo 3.55: 0.200 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	22.98	1	252.82	260.99
		7	289.32	244.49
		9	299.64	220.12
		10	285.30	246.24
		11	290.66	228.85
		15	281.35	289.86

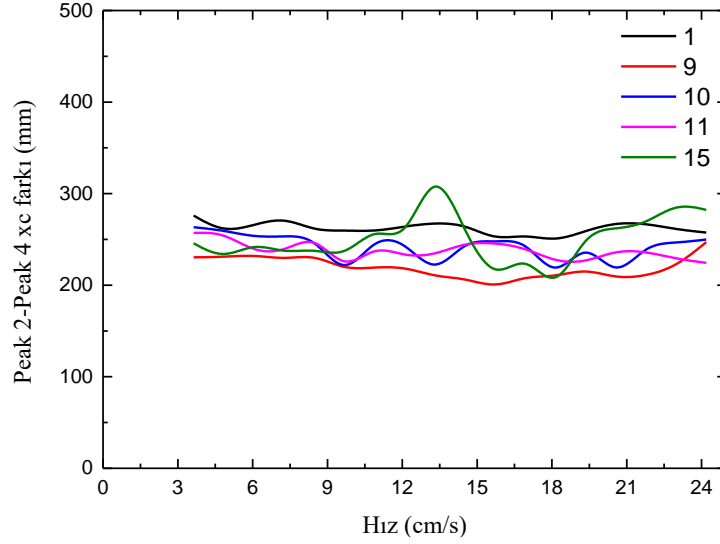
Tablo 3.56: 0.200 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.000	24.19	1	247.49	257.48
		7	305.34	192.17
		9	307.97	247.10
		10	250.01	249.86
		11	299.33	224.45
		15	285.40	282.23

Tablo değerleri ışığında sensörlerin x_c değerleri arasındaki farkın hıza bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.21: 0.200 Amper için peak 1 – peak 3 x_c farkı - hız grafiği



Şekil 3.22: 0.200 Amper için peak 2 – peak 4 x_c farkı - hız grafiği

Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 incelendiğinde Gaussian eğrilere ait x_c değeri farklarının 200-300 mm arasında değiştiği görülmektedir. 0.200 Amper akım değeri için elde edilen sonuç peak 2 – peak 4 arasındaki x_c farkının, peak 1 – peak 3 arasındaki farka göre çatlaklar arasındaki mesafeyi belirlemede daha etkili olduğunu göstermektedir.

3.4.2.2 Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Tablo 3.57: 0.200 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	20.25	34.82	0.55	55.14	102.27	0.51	22.01	38.07	0.54	57.21	133.74	0.40
7	220.66	34.43	6.72	63.23	65.49	0.98	43.58	59.71	0.47	95.71	87.55	1.29
9	300.26	33.16	8.51	66.23	60.27	1.03	171.51	95.98	1.68	193.09	168.87	1.07
10	320.63	37.25	8.09	88.27	65.47	1.27	46.55	60.06	0.73	114.99	100.89	1.07
11	351.35	42.05	7.85	40.28	53.00	0.71	116.19	71.71	1.52	128.14	145.23	0.83
15	295.41	66.35	4.18	19.59	41.09	0.45	76.72	106.97	0.67	56.70	71.33	0.75

Tablo 3.58: 0.200 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	15.64	27.98	0.53	46.21	98.89	0.44	26.42	43.89	0.57	53.64	116.94	0.43
7	226.40	31.17	6.82	55.35	74.08	0.70	80.65	128.53	0.59	173.19	109.23	1.49
9	313.39	33.59	8.77	69.07	60.38	1.07	161.76	102.98	1.48	198.49	158.25	1.18
10	319.26	36.26	8.27	91.22	70.80	1.21	6.80	15.39	0.42	123.52	90.64	1.28
11	307.94	38.66	7.48	57.31	58.12	0.93	110.91	62.75	1.66	90.90	103.91	0.82
15	260.65	59.90	4.09	44.16	73.35	0.57	60.83	66.87	0.85	58.65	105.21	0.52

Tablo 3.59: 0.200 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	17.38	33.98	0.48	63.86	115.48	0.52	26.64	47.75	0.52	93.00	186.16	0.47
7	263.08	34.62	7.14	82.39	67.82	1.14	53.77	140.18	0.36	151.56	108.74	1.31
9	323.06	34.44	8.81	74.46	61.22	1.14	147.07	83.07	1.66	214.04	153.15	1.31
10	343.26	39.00	8.27	103.51	70.48	1.38	21.80	20.35	1.01	120.50	81.95	1.38
11	331.85	40.76	7.65	52.38	59.74	0.82	126.21	76.58	1.55	141.81	132.45	1.01
15	281.77	63.44	4.17	23.04	36.26	0.60	33.60	46.50	0.68	12.12	38.06	0.30

Tablo 3.60: 0.200 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	19.27	30.08	0.60	42.27	75.26	0.53	24.91	46.80	0.50	54.49	130.36	0.39
7	281.78	36.18	7.32	76.89	69.25	1.04	33.10	42.10	0.74	93.82	72.97	1.21
9	327.92	34.99	8.80	63.77	60.52	0.99	187.15	96.39	1.82	246.91	164.48	1.41
10	338.44	38.53	8.25	90.37	68.45	1.24	39.91	84.61	0.44	130.12	91.85	1.33
11	359.63	44.38	7.61	30.99	56.52	0.52	95.83	60.87	1.48	92.68	93.93	0.93
15	295.61	62.35	4.45	21.52	36.92	0.55	70.78	103.57	0.64	29.21	59.03	0.46

Tablo 3.61: 0.200 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	13.96	27.46	0.48	58.09	109.83	0.50	21.08	38.24	0.52	66.60	150.39	0.42
7	266.53	34.45	7.27	63.23	64.47	0.92	23.58	49.71	0.45	105.71	83.55	1.19
9	337.95	35.08	9.05	60.88	58.72	0.97	134.45	82.57	1.53	143.08	146.35	0.92
10	336.21	37.77	8.36	84.41	65.74	1.21	34.09	37.02	0.86	108.70	87.58	1.17
11	353.28	39.35	8.43	37.33	45.11	0.78	115.09	75.77	1.43	136.84	123.32	1.04
15	285.23	61.87	4.33	14.34	36.84	0.37	38.64	60.93	0.60	36.66	102.77	0.34

Tablo 3.62: 0.200 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	21.48	42.72	0.47	47.01	100.01	0.44	22.84	41.25	0.52	53.95	124.45	0.41
7	287.18	36.32	7.43	68.53	62.18	1.04	202.18	92.38	2.06	291.14	126.04	2.17
9	321.61	34.37	8.79	65.34	60.37	1.02	268.71	117.57	2.15	333.33	137.33	2.28
10	336.64	37.57	8.42	78.59	60.95	1.21	242.20	101.04	2.25	377.22	151.02	2.35
11	379.27	42.09	8.47	8.40	17.74	0.45	105.34	75.36	1.31	110.34	102.12	1.02
15	276.78	61.92	4.20	50.48	86.42	0.55	64.73	78.49	0.77	54.49	124.93	0.41

Tablo 3.63: 0.200 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	17.90	36.28	0.46	57.09	111.51	0.48	20.97	42.53	0.46	63.49	135.57	0.44
7	278.98	33.67	7.78	71.31	63.76	1.05	259.60	99.67	2.45	361.68	172.01	1.98
9	321.43	33.93	8.90	105.20	64.19	1.54	206.96	103.17	1.88	276.14	167.08	1.55
10	338.52	37.54	8.47	83.69	63.07	1.25	11.44	17.58	0.61	148.74	92.34	1.51
11	352.14	39.20	8.44	80.08	59.24	1.27	96.43	71.72	1.26	151.87	111.46	1.28
15	307.08	66.11	4.36	41.85	109.13	0.36	75.90	112.92	0.63	64.22	74.14	0.81

Tablo 3.64: 0.200 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	19.49	40.02	0.46	53.97	99.92	0.51	21.88	38.79	0.53	66.90	140.12	0.45
7	276.67	33.95	7.66	61.58	63.55	0.91	367.71	109.32	3.16	501.81	151.23	3.12
9	308.58	32.17	9.01	99.42	63.74	1.47	179.79	96.01	1.76	246.84	153.05	1.52
10	343.63	37.88	8.52	92.20	62.18	1.39	46.83	61.85	0.71	140.59	87.32	1.51
11	348.92	39.44	8.31	84.01	61.17	1.29	114.47	79.81	1.35	168.32	124.68	1.27
15	270.22	59.32	4.28	55.30	89.50	0.58	29.07	40.47	0.67	41.49	79.87	0.49

Tablo 3.65: 0.200 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	44.91	80.48	0.52	72.09	121.14	0.56	22.92	41.34	0.52	56.68	127.42	0.42
7	297.12	35.37	7.12	105.11	77.91	1.34	20.71	30.31	0.57	119.27	87.19	1.30
9	316.28	32.62	9.11	86.75	63.77	1.28	243.18	102.44	2.23	311.67	157.13	1.86
10	345.61	37.74	8.60	80.73	62.40	1.22	259.11	99.33	2.45	356.48	130.36	2.57
11	328.58	38.02	8.12	66.48	59.70	1.05	208.45	118.21	1.66	236.77	98.00	2.27
15	294.26	63.66	4.34	49.72	73.55	0.64	48.99	49.64	0.93	63.12	341.93	0.17

Tablo 3.66: 0.200 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	32.38	57.47	0.53	65.78	124.92	0.49	19.56	39.22	0.47	55.90	126.61	0.41
7	287.11	33.23	8.12	108.11	74.89	1.36	19.17	32.73	0.55	122.28	84.71	1.36
9	322.25	33.61	9.01	99.20	65.48	1.42	278.24	107.20	2.44	415.81	184.30	2.12
10	346.75	38.50	8.46	106.67	64.46	1.55	52.73	63.68	0.78	138.98	82.22	1.59
11	332.86	37.06	8.44	80.14	65.40	1.15	66.87	58.62	1.07	136.75	92.75	1.39
15	283.87	59.85	4.46	24.36	37.37	0.61	37.62	30.48	1.16	40.55	77.31	0.49

Tablo 3.67: 0.200 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	16.66	29.06	0.54	47.01	103.77	0.43	20.72	33.91	0.57	53.22	99.18	0.50
7	308.79	36.81	7.88	53.64	61.39	0.82	26.67	48.89	0.51	85.90	81.79	0.99
9	340.12	35.81	8.92	95.69	65.95	1.36	357.05	102.43	3.27	481.57	153.13	2.95
10	357.71	39.38	8.53	94.68	63.14	1.41	46.88	39.35	1.12	115.62	87.29	1.24
11	332.04	36.83	8.47	72.90	63.87	1.07	63.38	63.50	0.94	130.49	89.29	1.37
15	272.99	60.38	4.25	44.75	67.66	0.62	63.46	70.64	0.84	79.15	164.24	0.45

Tablo 3.68: 0.200 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	15.53	27.06	0.54	42.92	94.48	0.43	24.64	41.80	0.55	57.53	123.36	0.44
7	300.87	34.18	8.82	53.64	60.22	0.92	24.67	46.89	0.52	95.91	88.79	0.95
9	299.74	33.13	8.50	84.12	61.04	1.29	179.12	85.84	1.96	256.42	158.81	1.52
10	304.76	34.52	8.29	90.15	62.46	1.36	13.67	20.93	0.61	142.87	88.83	1.51
11	317.64	37.72	7.91	55.69	53.79	0.97	87.33	67.30	1.22	113.01	86.11	1.23
15	263.42	58.34	4.24	70.04	122.33	0.54	13.26	20.27	0.61	33.66	76.66	0.41

Tablo 3.69: 0.200 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	11.48	21.86	0.49	48.71	110.14	0.42	20.63	38.25	0.51	52.96	111.98	0.44
7	236.06	32.29	6.87	83.70	74.76	1.05	6.23	14.26	0.41	97.76	79.17	1.16
9	308.97	33.25	8.73	84.99	60.69	1.32	223.68	100.91	2.08	254.13	135.84	1.76
10	324.73	36.97	8.25	88.05	61.30	1.35	334.36	103.87	3.02	464.74	131.43	3.32
11	329.71	37.46	8.27	46.71	56.83	0.77	196.71	90.93	2.03	230.72	112.40	1.93
15	254.83	56.20	4.26	28.49	50.97	0.53	86.20	65.59	1.23	104.93	119.84	0.82

Tablo 3.70: 0.200 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	16.77	30.40	0.52	44.74	93.76	0.45	22.52	44.88	0.47	55.20	132.23	0.39
7	228.29	32.79	6.54	62.72	59.30	0.99	200.18	89.94	2.09	280.27	130.23	2.02
9	302.75	33.34	8.53	105.24	66.47	1.49	182.12	85.30	2.01	239.28	133.52	1.68
10	315.09	36.41	8.13	116.27	67.33	1.62	14.74	14.93	0.93	142.36	84.11	1.59
11	332.27	37.66	8.29	59.88	58.70	0.96	189.04	94.84	1.87	244.34	107.54	2.13
16	289.67	61.70	4.41	35.55	74.00	0.45	25.01	37.47	0.63	36.24	83.53	0.41

Tablo 3.71: 0.200 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	19.06	33.67	0.53	48.60	99.39	0.46	20.64	38.85	0.50	59.64	138.56	0.40
7	269.63	29.35	7.99	69.15	79.10	0.92	11.20	29.95	0.39	99.51	65.79	1.42
9	321.99	33.43	9.05	75.17	63.20	1.12	216.56	93.47	2.18	278.86	146.53	1.79
10	332.55	36.76	8.50	100.46	63.16	1.49	311.85	102.20	2.87	463.05	147.82	2.94
11	323.23	34.13	8.90	66.49	63.18	0.99	98.57	116.23	0.80	155.69	81.33	1.80
15	291.34	63.12	4.34	38.07	90.09	0.40	96.37	132.22	0.68	64.08	66.08	0.91

Tablo 3.72: 0.200 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	16.04	28.40	0.53	55.38	123.09	0.42	17.80	39.22	0.43	55.57	147.27	0.35
7	222.27	31.24	6.68	74.71	71.34	0.98	1.13	7.48	0.14	96.69	76.92	1.18
9	305.92	33.82	8.50	82.18	63.87	1.21	310.34	95.71	3.05	394.43	122.30	3.03
10	305.30	35.75	8.02	124.53	67.01	1.75	7.83	16.80	0.44	139.93	81.39	1.62
11	317.51	36.54	8.16	50.45	54.99	0.86	76.45	69.97	1.03	105.39	84.40	1.17
15	283.18	59.06	4.50	70.23	128.38	0.51	37.52	52.06	0.68	52.23	140.82	0.35

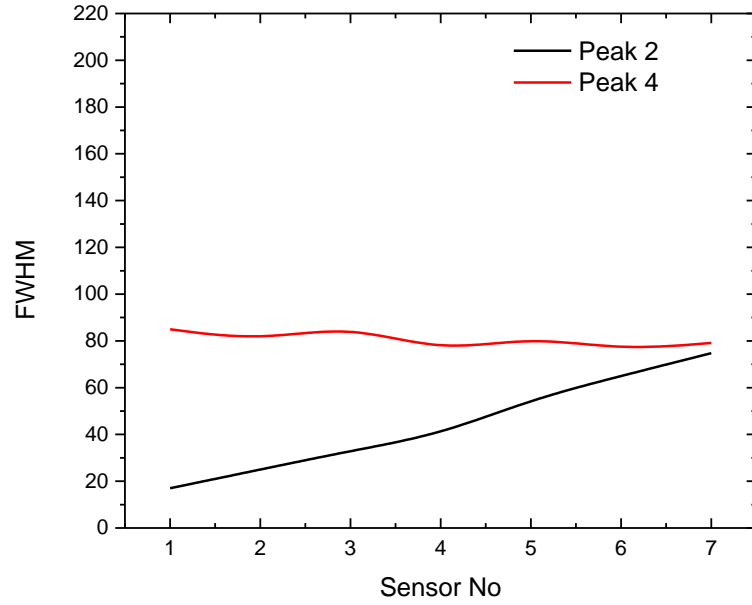
Tablo 3.73: 0.200 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	24.00	41.51	0.54	67.29	131.34	0.48	18.67	34.12	0.51	62.91	126.77	0.47
7	279.63	31.53	8.33	67.04	72.00	0.87	10.00	26.55	0.35	94.45	63.78	1.39
9	318.23	32.65	9.16	71.55	62.48	1.08	139.79	74.45	1.76	225.61	125.33	1.69
10	332.37	36.80	8.49	77.62	59.42	1.23	68.44	140.61	0.46	192.53	97.48	1.86
11	343.21	36.48	8.84	23.79	54.60	0.41	120.63	82.53	1.37	143.39	95.34	1.41
15	329.71	60.83	5.09	48.00	98.10	0.46	50.10	51.53	0.91	70.28	86.75	0.76

Tablo 3.74: 0.200 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
1	20.18	37.28	0.51	48.02	106.08	0.43	22.49	46.93	0.45	46.83	128.25	0.34
7	294.33	36.80	7.51	65.08	59.44	1.03	1379.22	103.96	12.46	1473.31	111.83	12.38
9	355.97	37.70	8.87	84.05	63.75	1.24	32.41	35.77	0.85	162.06	98.51	1.55
10	371.10	42.89	8.13	109.80	64.57	1.60	11.36	16.22	0.66	168.48	80.10	1.98
11	391.21	40.72	9.03	58.24	58.68	0.93	149.63	83.16	1.69	205.22	103.87	1.86
15	350.32	62.64	5.25	81.34	93.04	0.82	98.26	95.10	0.97	85.43	64.62	1.24

Sisteme 0.200 Amper akım uygulaması yapıldığı durumda sıralı 7 sensör için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM (yarı yükseklikteki tam genişlik değeri) karşılaştırıldığında Şekil 3.23'te görülen grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.23: 0.200 A, 18.14 cm/s için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM-sensör grafiği

Şekil 3.23'te görülen grafik incelendiğinde peak 2'ye ait FWHM değerinin giderek arttığı, peak 4'e ait FWHM değerinin ise sabit sayılabilecek bir seviyede kaldığı görülmektedir. Bu durumda 1 numaralı çatlığa ait genişliğin peak 2, 2 numaralı çatlığa ilişkin genişlik bilgisinin peak 4 kullanılarak elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

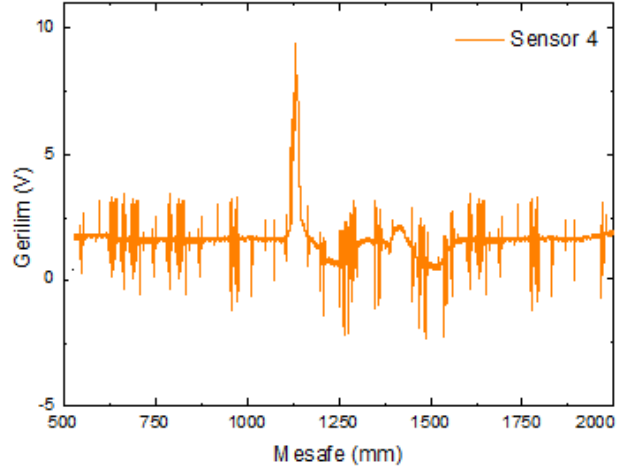
3.4.3 0.400 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar

Manyetize edici akım olarak 0.400 Amper seçilerek elde edilen deneysel sonuçlar alt başlıklarda verilmiştir.

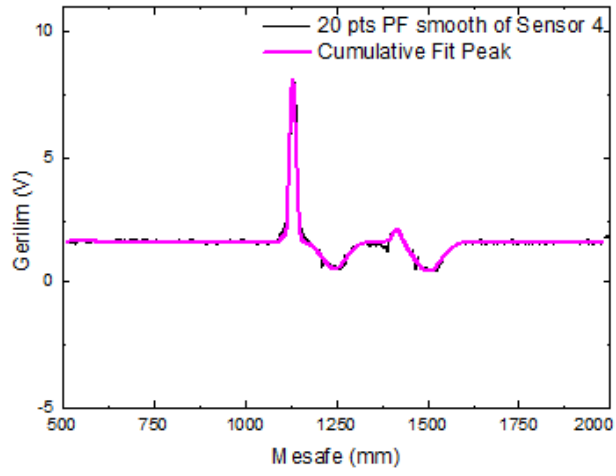
3.4.3.1 Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Bu başlık altında ilgili akım değeri için çatlaklar arası mesafenin belirlenmesi amacı ile elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Şekil 3.24 a'da 12.10 cm/s hız değeri için 4. sensör'den elde edilen ham verilere ait grafik görölmektedir. Ham verilere 20pts PF uygulanması sonucunda ortaya çıkan grafik ve Gaussian bileşenlerin toplamı olan kümülatif Gaussian eğrisi Şekil 3.24 b'de verilmiştir. Şekil 3.24 b'de kümülatif Gaussian eğri ile 20 pts PF sonrasında elde edilen grafiğin birbiri ile benzer olması Gauss eğrilerinin toplamının filtre edilen veri ile uyumlu olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca Şekil 3.24 c'de elde edilen dört farklı Gaussian eğrisi verilmiştir.

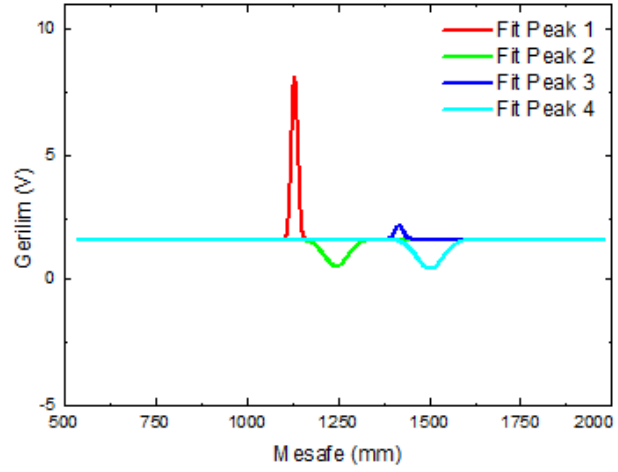
Tablo 3.57 ile Tablo 3.74 arasında ise sensör ağından rasgele seçilen 3. Sensör, 4. Sensör, 5. Sensör, 7. Sensör, 8. Sensör ve 14. Sensör'e ait x_c değerleri farkı verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.24: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler

Tablo 3.75: 0.400 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	3.63	3	268.43	265.50
		4	304.59	263.14
		5	238.97	260.47
		7	245.55	163.99
		8	266.02	263.32
		14	188.42	259.77

Tablo 3.76: 0.400 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	4.84	3	243.40	253.91
		4	289.45	258.43
		5	260.83	262.67
		7	248.66	160.45
		8	262.36	260.70
		14	286.15	256.09

Tablo 3.77: 0.400 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	6.05	3	250.96	255.91
		4	283.56	257.24
		5	235.88	251.32
		7	250.66	162.33
		8	260.33	259.18
		14	264.44	255.68

Tablo 3.78: 0.400 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	7.26	3	280.70	215.35
		4	261.39	259.22
		5	168.16	250.02
		7	247.32	164.32
		8	259.65	257.31
		14	270.88	257.88

Tablo 3.79: 0.400 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	8.47	3	244.14	246.84
		4	275.26	253.59
		5	198.53	251.58
		7	246.79	165.65
		8	253.58	251.51
		14	265.60	255.28

Tablo 3.80: 0.400 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	9.68	3	264.21	252.52
		4	280.17	254.76
		5	260.52	255.15
		7	247.59	163.86
		8	251.46	255.13
		14	312.03	243.50

Tablo 3.81: 0.400 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	10.89	3	240.51	208.25
		4	280.49	254.63
		5	236.05	253.65
		7	222.08	183.01
		8	240.19	240.32
		14	264.25	258.37

Tablo 3.82: 0.400 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	12.10	3	290.47	227.51
		4	284.87	256.96
		5	206.81	250.70
		7	216.21	199.79
		8	197.01	230.78
		14	296.81	250.92

Tablo 3.83: 0.400 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	13.31	3	238.19	246.25
		4	257.08	254.64
		5	231.70	252.59
		7	221.46	176.92
		8	248.57	250.62
		14	150.28	257.79

Tablo 3.84: 0.400 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	14.52	3	214.86	253.60
		4	266.59	255.86
		5	216.47	247.77
		7	224.82	197.50
		8	254.09	254.12
		14	298.37	244.81

Tablo 3.85: 0.400 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	15.72	3	255.29	241.27
		4	296.67	248.06
		5	187.02	235.95
		7	227.90	175.55
		8	257.10	250.87
		14	307.35	248.86

Tablo 3.86: 0.400 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	16.93	3	292.97	253.08
		4	281.32	253.84
		5	192.36	217.10
		7	232.95	177.84
		8	249.33	252.39
		14	112.71	253.36

Tablo 3.87: 0.400 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	18.14	3	264.20	244.80
		4	277.70	250.01
		5	197.88	230.42
		7	226.89	184.64
		8	253.20	253.92
		14	309.42	239.66

Tablo 3.88: 0.400 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	19.35	3	256.93	245.75
		4	315.81	240.30
		5	193.28	225.85
		7	224.08	179.03
		8	250.88	253.12
		14	114.34	246.52

Tablo 3.89: 0.400 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	20.56	3	269.62	245.27
		4	271.17	255.24
		5	195.35	220.32
		7	222.62	183.09
		8	256.92	259.22
		14	185.14	251.62

Tablo 3.90: 0.400 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	21.77	3	243.33	237.08
		4	284.17	250.80
		5	193.59	214.59
		7	223.39	185.42
		8	255.89	254.96
		14	119.61	249.60

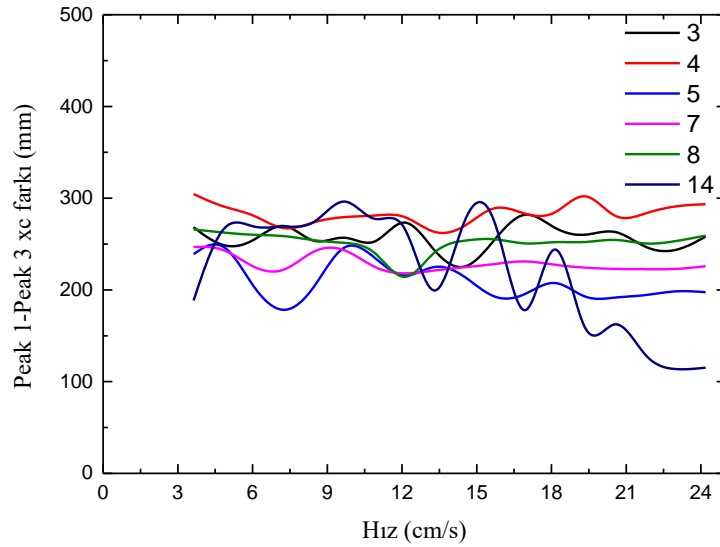
Tablo 3.91: 0.400 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	22.98	3	240.03	251.14
		4	292.11	252.47
		5	199.80	209.44
		7	222.15	187.50
		8	252.98	251.66
		14	111.90	251.19

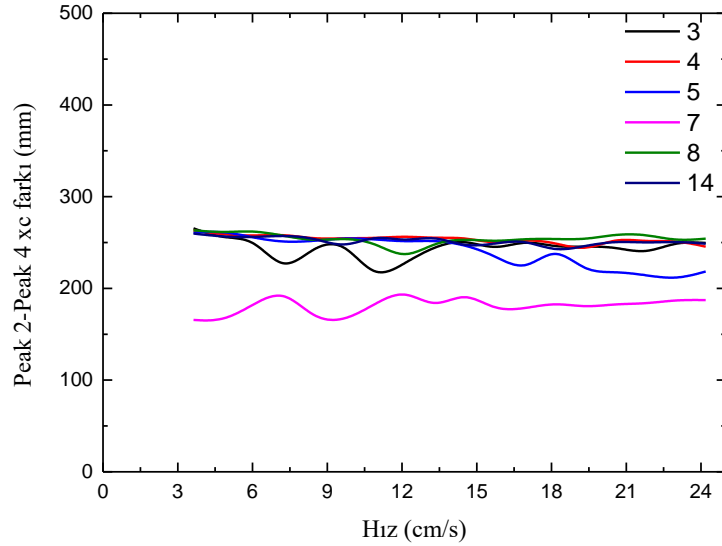
Tablo 3.92: 0.400 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.400	24.19	3	258.23	249.58
		4	293.49	245.39
		5	197.48	218.43
		7	225.82	187.18
		8	259.25	254.31
		14	115.33	248.68

Tablo değerleri ışığında sensörlerin x_c değerleri arasındaki farkın hıza bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.25: 0.400 Amper için peak 1 – peak 3 x_c farkı - hız grafiği



Şekil 3.26: 0.400 Amper için peak 2 – peak 4 x_c farkı - hız grafiği

Şekil 3.25 ve Şekil 3.26 incelendiğinde Gaussian eğrilere ait x_c değeri farklarının 200-300 mm arasında değiştiği görülmektedir. 0.400 Amper akım değeri için elde edilen sonuç peak 2 – peak 4 arasındaki x_c farkının, peak 1 – peak 3 arasındaki farka göre çatlaklar arasındaki mesafeyi belirlemede daha etkili olduğunu göstermektedir.

3.4.3.2 Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Tablo 3.93: 0.400 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	330.11	41.88	7.40	55.79	61.64	0.85	47.64	50.21	0.89	73.51	89.45	0.77
4	222.59	25.58	8.17	75.01	65.52	1.08	6.40	24.41	0.25	96.37	84.38	1.07
5	194.29	22.69	8.04	110.22	83.81	1.24	41.79	80.95	0.48	122.57	98.71	1.17
7	197.32	25.72	7.99	1091.91	208.15	5.15	1092.19	148.78	6.45	25.12	36.33	0.82
8	212.21	26.67	7.47	155.40	102.83	1.42	3.47	12.70	0.26	166.99	108.25	1.45
14	281.35	38.37	6.89	151.59	74.61	1.91	159.07	329.18	0.45	145.80	69.08	1.98

Tablo 3.94: 0.400 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	256.82	40.78	5.92	47.47	61.22	0.73	12.22	30.58	0.38	59.97	90.45	0.62
4	145.60	22.67	6.03	82.78	71.90	1.08	12.62	41.53	0.29	98.39	84.53	1.09
5	159.17	20.39	7.33	127.26	82.96	1.44	19.43	28.68	0.64	153.26	102.66	1.40
7	185.18	20.12	7.65	714.69	198.96	4.95	1207.18	133.98	6.87	32.16	32.44	0.89
8	190.92	23.64	7.59	113.78	86.44	1.24	14.33	21.26	0.63	122.84	91.14	1.27
14	315.57	40.81	7.26	112.81	64.01	1.66	135.12	251.51	0.50	171.40	78.80	2.04

Tablo 3.95: 0.400 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	298.11	42.23	6.63	55.20	64.27	0.81	26.04	30.51	0.80	73.45	94.83	0.73
4	164.50	23.43	6.60	99.64	73.63	1.27	21.57	46.16	0.44	114.58	92.13	1.17
5	173.19	21.25	7.66	113.24	86.13	1.24	30.27	111.43	0.26	112.68	88.91	1.19
7	187.19	24.24	7.96	795.43	192.16	6.01	1098.71	147.98	6.92	34.61	35.14	0.90
8	212.21	26.67	7.47	155.40	102.83	1.42	3.47	12.70	0.26	166.99	108.25	1.45
14	300.46	40.97	6.89	71.52	52.66	1.28	94.48	61.31	1.45	80.27	54.88	1.37

Tablo 3.96: 0.400 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	232.37	41.22	5.30	53.06	58.23	0.86	95.62	72.76	1.23	136.51	143.69	0.89
4	130.14	21.55	5.67	82.87	70.91	1.10	0.26	0.50	0.49	106.34	86.71	1.15
5	163.41	20.74	7.40	171.76	93.34	1.73	100.99	146.57	0.65	121.83	90.37	1.27
7	190.16	20.12	8.36	985.19	208.61	5.41	1129.88	143.89	6.12	36.91	33.94	0.95
8	194.28	24.23	7.53	93.10	78.62	1.11	14.13	25.82	0.51	111.84	91.16	1.15
14	316.59	41.17	7.22	69.10	56.14	1.16	62.96	71.13	0.83	112.92	67.27	1.58

Tablo 3.97: 0.400 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	269.10	40.41	6.26	51.68	65.62	0.74	5.12	12.86	0.37	78.74	96.76	0.76
4	150.18	22.48	6.28	90.26	74.25	1.14	2.73	15.22	0.17	95.58	83.43	1.08
5	173.19	21.25	7.66	113.24	86.13	1.24	30.27	111.43	0.26	112.68	88.91	1.19
7	192.98	21.42	8.46	1495.69	228.76	6.14	1019.71	153.98	6.22	41.01	38.94	0.99
8	240.57	26.17	8.63	111.21	85.12	1.23	8.18	29.26	0.26	115.37	93.32	1.16
14	257.27	38.47	6.28	69.12	52.85	1.23	76.95	67.39	1.07	116.74	66.71	1.64

Tablo 3.98: 0.400 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	274.40	37.68	6.84	61.15	65.91	0.87	27.49	44.74	0.58	77.09	79.42	0.91
4	157.65	21.93	6.75	96.14	77.14	1.17	11.97	59.86	0.19	109.50	90.33	1.14
5	168.45	20.43	7.75	121.55	79.38	1.44	11.34	16.66	0.64	146.49	103.75	1.33
7	199.55	21.52	8.71	1652.65	221.49	7.01	1190.30	155.08	7.21	37.40	35.07	1.00
8	232.59	26.18	8.35	118.58	87.94	1.27	28.30	30.76	0.86	134.19	95.68	1.32
14	251.24	36.66	6.44	80.89	52.30	1.45	151.21	130.38	1.09	198.11	83.88	2.22

Tablo 3.99: 0.400 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	271.14	39.09	6.52	63.58	63.86	0.94	26.18	34.61	0.71	126.71	145.76	0.82
4	149.39	21.68	6.47	87.63	71.76	1.15	6.20	14.92	0.39	96.38	87.56	1.03
5	186.57	21.86	8.02	84.68	70.49	1.13	30.99	72.44	0.40	97.37	82.88	1.10
7	202.01	22.08	8.59	1267.78	161.26	7.39	1059.27	131.51	7.57	125.73	74.57	1.58
8	240.57	26.17	8.63	111.21	85.12	1.23	8.18	29.26	0.26	115.37	93.32	1.16
14	254.48	36.12	6.62	75.24	54.41	1.30	70.66	76.41	0.87	98.14	65.88	1.40

Tablo 3.100: 0.400 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	245.49	36.43	6.33	63.98	74.26	0.81	63.65	106.86	0.56	106.97	95.60	1.05
4	145.26	20.85	6.55	84.51	74.14	1.07	20.55	30.16	0.64	102.40	82.81	1.16
5	168.31	20.12	7.86	109.02	80.64	1.27	55.30	94.61	0.55	106.67	92.57	1.08
7	198.99	21.48	8.70	612.10	177.09	3.25	342.73	116.26	2.77	172.11	89.78	1.80
8	247.78	26.56	8.77	196.62	113.47	1.63	100.67	87.28	1.08	117.55	90.38	1.22
14	257.57	37.37	6.47	73.43	55.25	1.25	123.15	177.84	0.65	157.48	83.92	1.76

Tablo 3.101: 0.400 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	280.40	38.89	6.77	55.93	59.72	0.88	7.35	21.16	0.33	83.37	99.56	0.79
4	155.64	21.42	6.83	94.64	73.32	1.21	2.12	6.19	0.32	112.06	87.56	1.20
5	184.28	21.74	7.96	96.28	75.05	1.21	40.38	75.16	0.50	114.63	88.28	1.22
7	216.21	23.08	8.80	1133.33	159.38	6.68	945.33	127.46	6.97	115.92	69.53	1.57
8	251.56	28.06	8.42	100.23	77.16	1.22	16.40	38.20	0.40	104.46	84.25	1.16
14	242.41	34.67	6.57	154.86	72.30	2.01	280.48	337.82	0.78	139.41	74.74	1.75

Tablo 3.102: 0.400 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	282.25	39.68	6.68	53.12	60.38	0.83	14.78	56.23	0.25	64.39	75.01	0.81
4	140.55	21.14	6.24	89.30	76.87	1.09	4.70	10.72	0.41	105.31	86.91	1.14
5	184.48	21.10	8.22	91.73	76.05	1.13	43.20	103.02	0.39	98.40	90.26	1.02
7	189.60	20.77	8.58	595.65	203.43	2.75	284.80	96.58	2.77	166.92	88.16	1.78
8	233.88	26.66	8.24	119.50	90.46	1.24	13.55	23.66	0.54	130.36	94.59	1.29
14	256.81	35.86	6.73	73.43	56.00	1.23	148.20	188.42	0.74	152.96	82.59	1.74

Tablo 3.103: 0.400 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	278.46	39.33	6.65	52.29	62.79	0.78	25.39	81.60	0.29	65.72	88.64	0.70
4	150.24	22.35	6.31	98.62	78.67	1.18	89.05	253.10	0.33	118.84	86.83	1.29
5	185.29	21.87	7.96	149.73	88.26	1.59	91.72	96.51	0.89	90.18	88.22	0.96
7	212.23	22.90	8.71	1145.98	168.78	6.38	944.58	127.27	6.97	104.31	67.35	1.45
8	244.87	27.90	8.24	111.21	82.28	1.27	14.25	20.68	0.65	120.01	97.55	1.16
14	250.05	36.16	6.50	70.48	54.34	1.22	110.66	168.59	0.62	144.44	87.96	1.54

Tablo 3.104: 0.400 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	270.57	38.99	6.52	56.20	60.19	0.88	15.87	24.81	0.60	63.98	86.84	0.69
4	148.67	21.65	6.45	93.50	78.45	1.12	24.34	36.49	0.63	104.83	90.81	1.08
5	155.67	21.01	6.96	259.59	118.43	2.06	171.41	90.89	1.77	115.74	92.91	1.17
7	171.37	22.86	7.04	729.16	197.09	3.48	472.97	116.32	3.82	97.21	68.14	1.34
8	233.88	26.66	8.24	119.50	90.46	1.24	13.55	23.66	0.54	130.36	94.59	1.29
14	212.93	31.95	6.26	111.86	71.65	1.47	336.97	708.97	0.45	111.24	77.18	1.35

Tablo 3.105: 0.400 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	249.70	37.87	6.19	46.33	59.56	0.73	35.62	56.58	0.59	59.33	91.94	0.61
4	188.10	24.34	7.26	69.84	68.92	0.95	19.30	31.52	0.58	73.29	81.23	0.85
5	184.48	21.10	8.22	91.73	76.05	1.13	43.20	103.02	0.39	98.40	90.26	1.02
7	201.27	22.62	8.36	864.80	187.71	4.33	588.50	121.05	4.57	122.01	72.33	1.58
8	254.84	27.97	8.56	138.74	96.48	1.35	11.05	20.24	0.51	151.29	106.60	1.33
14	268.55	38.30	6.59	57.18	52.32	1.03	257.92	178.25	1.36	203.61	92.36	2.07

Tablo 3.106: 0.400 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	242.26	36.24	6.28	54.23	62.70	0.81	22.05	41.67	0.50	57.44	86.65	0.62
4	165.13	22.36	6.94	78.62	70.45	1.05	174.50	169.33	0.97	183.73	97.69	1.77
5	185.29	21.87	7.96	149.73	88.26	1.59	91.72	96.51	0.89	90.18	88.22	0.96
7	194.05	21.69	8.40	944.84	187.93	4.72	642.74	131.26	4.60	115.66	71.13	1.53
8	245.16	27.10	8.50	127.56	94.22	1.27	18.25	23.61	0.73	136.64	98.17	1.31
14	225.22	34.01	6.22	135.53	77.00	1.65	462.87	522.36	0.83	96.75	65.14	1.40

Tablo 3.107: 0.400 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	238.31	37.41	5.98	46.81	59.94	0.73	54.43	52.71	0.97	64.28	100.98	0.60
4	158.53	22.59	6.59	76.30	73.01	0.98	19.81	24.49	0.76	91.91	82.31	1.05
5	155.67	21.01	6.96	259.59	118.43	2.06	171.41	90.89	1.77	115.74	92.91	1.17
7	217.78	23.62	8.66	759.68	171.57	4.16	551.65	116.78	4.44	116.46	70.43	1.55
8	272.33	30.27	8.45	124.88	95.36	1.23	9.66	23.74	0.38	130.83	88.27	1.39
14	246.82	35.12	6.60	112.37	71.84	1.47	394.85	475.75	0.78	120.47	73.85	1.53

Tablo 3.108: 0.400 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	269.13	38.73	6.53	45.37	60.06	0.71	24.62	41.52	0.56	67.87	117.87	0.54
4	155.43	22.06	6.62	70.45	71.24	0.93	5.11	15.46	0.31	86.63	83.83	0.97
5	179.89	21.57	7.83	327.12	125.89	2.44	217.82	93.02	2.20	134.71	93.72	1.35
7	219.81	24.65	8.96	859.68	176.59	4.36	561.15	119.88	4.64	125.49	75.48	1.59
8	245.16	27.10	8.50	127.56	94.22	1.27	18.25	23.61	0.73	136.64	98.17	1.31
14	228.83	33.77	6.37	152.21	80.48	1.78	434.99	407.77	1.00	96.50	67.45	1.34

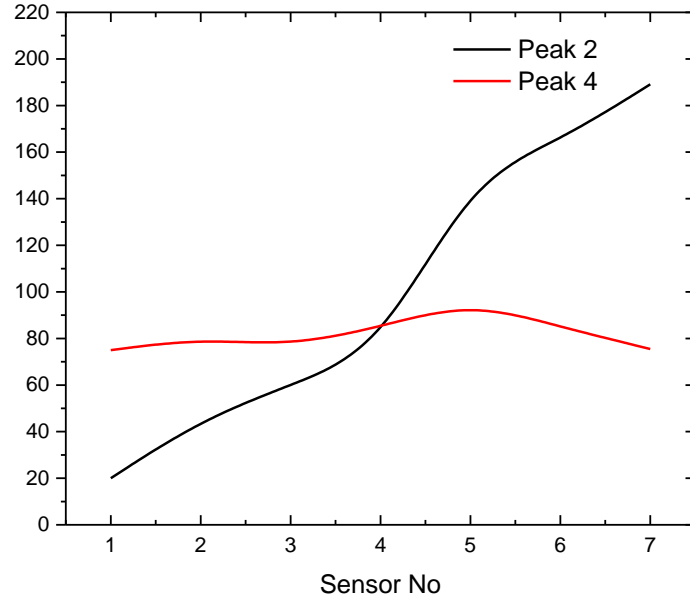
Tablo 3.109: 0.400 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	240.98	36.89	6.14	50.22	60.04	0.79	8.29	19.14	0.41	58.24	76.76	0.71
4	160.31	21.63	6.96	86.17	75.19	1.08	3.25	17.72	0.17	98.68	85.02	1.09
5	174.76	19.98	8.22	368.85	148.63	2.33	230.73	92.46	2.34	150.45	95.70	1.48
7	205.85	22.64	8.54	672.97	189.12	3.34	426.19	111.20	3.60	137.35	75.45	1.71
8	258.98	28.83	8.44	107.37	79.88	1.26	17.39	28.56	0.57	126.02	94.60	1.25
14	218.73	33.25	6.18	105.46	67.17	1.47	451.92	934.08	0.45	107.93	74.02	1.37

Tablo 3.110: 0.400 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
3	262.11	38.20	6.45	38.14	57.53	0.62	31.14	69.99	0.42	56.95	81.29	0.66
4	170.37	22.49	7.12	82.68	77.12	1.01	79.25	192.08	0.39	115.16	93.53	1.16
5	188.73	21.68	8.18	287.06	133.04	2.03	153.21	85.70	1.68	147.61	103.95	1.33
7	219.14	23.98	8.59	689.56	199.21	3.25	406.46	110.03	3.47	138.07	79.88	1.62
8	257.71	28.42	8.52	129.80	92.06	1.32	6.07	9.16	0.62	144.46	104.52	1.30
14	221.41	34.17	6.09	112.95	70.97	1.50	434.92	689.28	0.59	102.86	71.33	1.35

Sisteme 0.400 Amper akım uygulaması yapıldığı durumda sıralı 7 sensör için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM (yarı yükseklikteki tam genişlik değeri) karşılaştırıldığında Şekil 3.27'de görülen grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.27: 0.400 A, 22.98 cm/s için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM-sensör grafiği

Şekil 3.27'de görülen grafik incelendiğinde peak 2'ye ait FWHM değerinin giderek arttığı, peak 4'e ait FWHM değerinin ise sabit sayılabilecek bir seviyede kaldığı görülmektedir. Bu durum da 1 numaralı çatlığa ait genişliğin peak 2, 2 numaralı çatlığa ilişkin genişlik bilgisinin peak 4 kullanılarak elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

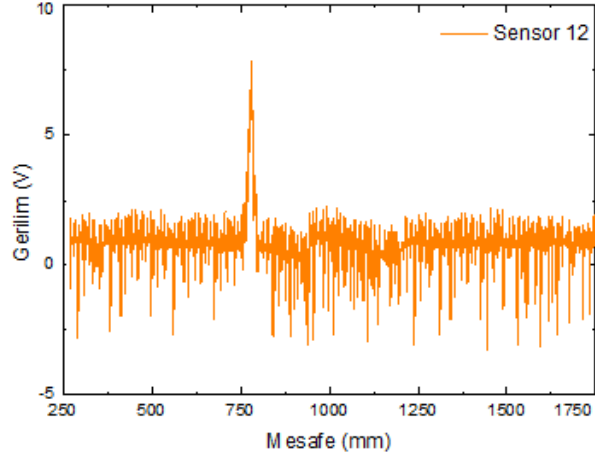
3.4.4 0.800 Amper Manyetize Edici Akım için Deneysel Sonuçlar

Manyetize edici akım olarak 0.800 Amper seçilerek elde edilen deneysel sonuçlar alt başlıklarda verilmiştir.

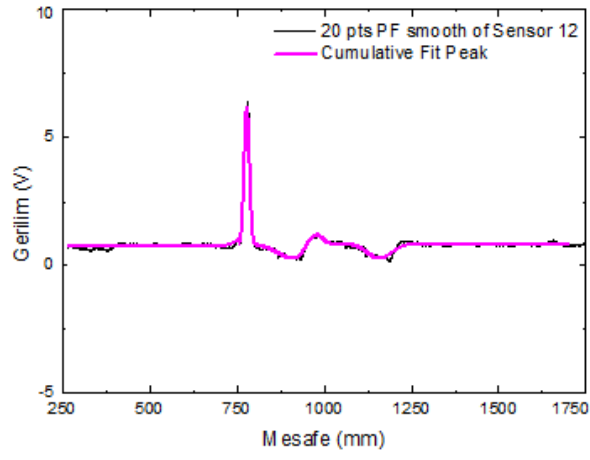
3.4.4.1 Çatlaklar Arası Mesafe Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Bu başlık altında ilgili akım değeri için çatlaklar arası mesafenin belirlenmesi amacı ile elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur. Şekil 3.28 a'da 20.56 cm/s hız değeri için 12. Sensör'den elde edilen ham verilere ait grafik görölmektedir. Ham verilere 20pts PF uygulanması sonucunda ortaya çıkan grafik ve Gaussian bileşenlerin toplamı olan kümülatif Gaussian eğrisi Şekil 3.28 b'de verilmiştir. Şekil 3.28 b'de kümülatif Gaussian eğri ile 20 pts PF sonrasında elde edilen grafiğin birbiri ile benzer olması Gauss eğrilerinin toplamının filtre edilen veri ile uyumlu olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca Şekil 3.28 c'de elde edilen dört farklı Gaussian eğrisi verilmiştir.

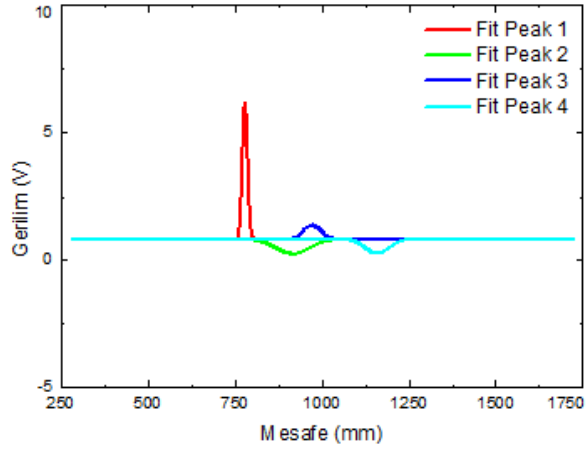
Tablo 3.111 ile Tablo 3.128 arasında ise sensör ağından rasgele seçilen 2. Sensör, 5. Sensör, 7. Sensör, 8. Sensör, 9. Sensör ve 12. Sensör'e ait x_c değerleri farkı verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.28: a) Ham data grafiği b) 20 pts PF uygulanan data ve kümülatif Gaussian grafiği c) Gaussian eğriler

Tablo 3.111: 0.800 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	3.63	2	292.50	269.65
		5	225.21	209.67
		7	225.97	222.97
		8	232.29	202.23
		9	229.23	218.51
		12	208.28	245.10

Tablo 3.112: 0.800 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	4.84	2	295.57	267.75
		5	219.24	208.84
		7	223.54	229.02
		8	227.73	205.56
		9	230.91	257.76
		12	203.53	244.05

Tablo 3.113: 0.800 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	6.05	2	201.75	250.79
		5	218.30	198.92
		7	222.16	216.87
		8	228.36	202.71
		9	227.36	243.40
		12	203.08	245.14

Tablo 3.114: 0.800 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	7.26	2	185.59	262.16
		5	210.81	213.95
		7	221.31	307.34
		8	224.75	203.18
		9	220.23	390.37
		12	268.24	263.61

Tablo 3.115: 0.800 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	8.47	2	183.57	252.86
		5	212.61	206.54
		7	220.13	224.64
		8	224.61	206.91
		9	224.67	253.53
		12	267.24	265.12

Tablo 3.116: 0.800 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	9.68	2	185.62	251.96
		5	214.47	197.59
		7	220.90	213.79
		8	224.90	202.48
		9	217.25	247.80
		12	201.40	244.69

Tablo 3.117: 0.800 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	10.89	2	249.99	255.54
		5	208.64	205.75
		7	216.12	225.53
		8	220.00	203.00
		9	219.27	234.98
		12	265.18	262.35

Tablo 3.118: 0.800 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	12.10	2	179.92	250.17
		5	207.03	201.13
		7	219.93	207.90
		8	222.29	194.73
		9	225.54	212.87
		12	211.71	216.35

Tablo 3.119: 0.800 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	13.31	2	190.62	241.96
		5	209.23	200.28
		7	220.67	212.48
		8	219.92	204.98
		9	215.49	221.55
		12	208.97	217.23

Tablo 3.120: 0.800 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	14.52	2	180.11	240.35
		5	213.54	190.54
		7	217.45	211.09
		8	219.70	198.95
		9	210.19	211.45
		12	216.51	215.45

Tablo 3.121: 0.800 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	15.72	2	162.22	226.46
		5	207.24	199.73
		7	213.82	195.88
		8	214.12	203.17
		9	219.16	205.71
		12	210.48	215.35

Tablo 3.122: 0.800 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	16.93	2	185.18	219.79
		5	213.62	199.58
		7	222.08	196.98
		8	222.38	196.37
		9	224.36	200.71
		12	211.61	202.45

Tablo 3.123: 0.800 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	18.14	2	205.49	239.66
		5	204.00	200.13
		7	219.07	194.49
		8	216.96	205.32
		9	217.61	222.21
		12	209.60	222.23

Tablo 3.124: 0.800 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	19.35	2	174.49	218.33
		5	203.56	196.16
		7	216.72	193.12
		8	213.64	200.36
		9	216.18	208.17
		12	264.51	259.24

Tablo 3.125: 0.800 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	20.56	2	167.92	236.25
		5	194.59	220.11
		7	213.12	198.29
		8	214.66	197.52
		9	218.66	205.64
		12	192.05	242.35

Tablo 3.126: 0.800 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	21.77	2	188.28	233.92
		5	210.83	202.51
		7	215.40	197.13
		8	219.42	193.84
		9	211.58	218.97
		12	193.65	295.17

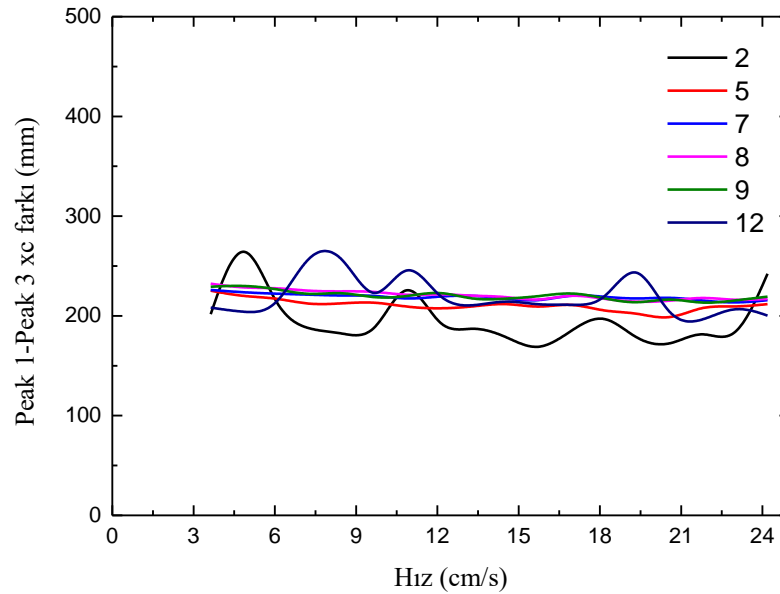
Tablo 3.127: 0.800 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	22.98	2	222.39	240.69
		5	208.54	196.79
		7	212.51	198.20
		8	215.18	195.42
		9	215.42	234.62
		12	211.40	271.65

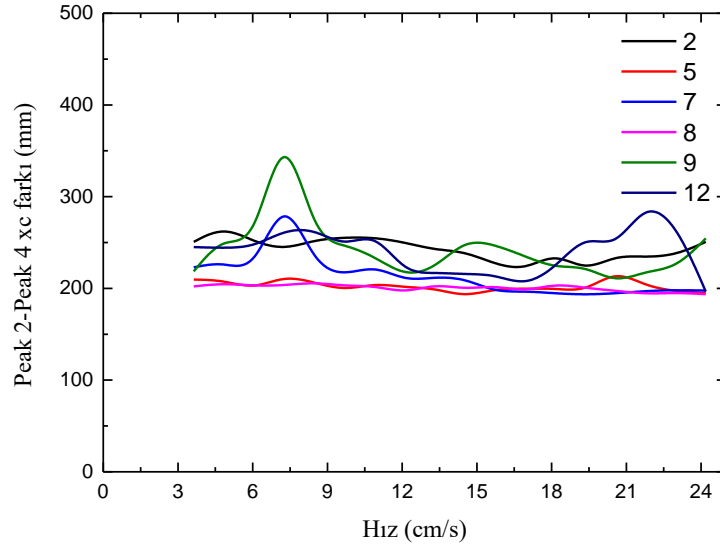
Tablo 3.128: 0.800 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında peak değerleri farkı.

Akım (A)	Hız (cm/s)	Sensör	Peak 1-3 x_c farkı (mm)	Peak 2-4 x_c farkı (mm)
0.800	24.19	2	242.31	250.67
		5	211.81	194.98
		7	215.73	197.57
		8	217.02	193.74
		9	219.32	254.60
		12	200.27	196.59

Tablo değerleri ışığında sensörlerin x_c değerleri arasındaki farkın hıza bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 3.29: 0.800 Amper için peak 1 – peak 3 x_c farkı - hız grafiği



Şekil 3.30: 0.800 Amper için peak 2 – peak 4 x_c farkı - hız grafiği

Şekil 3.29 ve Şekil 3.30 incelendiğinde Gaussian eğrilere ait x_c değeri farklarının 200-300 mm arasında değiştiği görülmektedir. 0.800 Amper akım değeri için elde edilen sonuç peak 2 – peak 4 arasındaki x_c farkı ile peak 1 – peak 3 arasındaki fark arasında çatlaklar arasındaki mesafeyi belirleme açısından anlamlı fark olmadığını göstermektedir.

3.4.4.2 Çatlak Genişliği Tespiti için Deneysel Sonuçlar

Tablo 3.129: 0.800 A akım 3.63 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	40.84	17.58	2.18	73.21	105.28	0.65	43.00	87.40	0.46	50.99	81.55	0.59
5	102.98	16.35	5.92	380.82	222.47	1.61	223.17	93.24	2.25	89.32	76.04	1.10
7	124.99	19.67	5.97	728.15	242.67	2.82	280.51	85.36	3.09	215.16	104.06	1.94
8	137.30	23.05	5.60	661.63	211.46	2.94	387.69	112.88	3.23	107.53	75.43	1.34
9	159.51	21.76	6.89	1017.48	249.34	3.83	370.17	95.70	3.63	211.47	90.51	2.19
12	123.42	22.40	5.18	113.98	142.28	0.75	43.71	57.13	0.72	72.48	95.15	0.72

Tablo 3.130: 0.800 A akım 4.84 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	36.55	16.73	2.05	51.47	78.75	0.61	9.27	29.65	0.29	55.29	88.56	0.59
5	81.11	13.34	5.71	381.25	218.78	1.64	234.90	89.58	2.46	90.68	74.88	1.14
7	131.15	17.00	7.25	638.09	328.73	1.82	204.86	73.88	2.60	121.78	78.29	1.46
8	128.60	18.67	6.47	435.70	220.64	1.86	244.38	93.18	2.46	96.76	78.30	1.16
9	149.07	16.22	8.64	849.12	458.33	1.74	163.69	65.31	2.35	115.77	82.18	1.32
12	91.25	15.65	5.48	87.04	111.02	0.74	55.72	72.21	0.72	57.60	86.15	0.63

Tablo 3.131: 0.800 A akım 6.05 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	40.84	17.58	2.18	73.21	105.28	0.65	43.00	87.40	0.46	50.99	81.55	0.59
5	90.07	14.27	5.93	336.25	185.17	1.71	262.64	93.27	2.65	74.26	69.06	1.01
7	150.82	19.79	7.16	501.56	281.26	1.68	199.62	74.32	2.52	113.31	75.23	1.41
8	129.50	20.41	5.96	358.69	211.92	1.59	230.67	85.23	2.54	85.65	75.05	1.07
9	143.65	17.81	7.58	641.21	373.60	1.61	126.32	64.54	1.84	110.05	78.46	1.32
12	92.14	16.94	5.11	76.63	113.79	0.63	41.98	59.70	0.66	52.32	84.10	0.58

Tablo 3.132: 0.800 A akım 7.26 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	38.83	16.55	2.20	71.27	87.95	0.76	2.27	11.51	0.19	74.18	89.89	0.78
5	85.32	13.15	6.09	340.41	224.51	1.42	160.77	76.96	1.96	101.76	81.85	1.17
7	169.93	20.21	7.90	805.63	493.67	1.53	125.90	61.11	1.94	121.56	91.40	1.25
8	125.05	17.96	6.54	390.77	229.20	1.60	212.35	92.03	2.17	81.62	71.57	1.07
9	153.97	17.25	8.38	1097.62	630.20	1.64	92.58	55.64	1.56	141.73	104.15	1.28
12	82.75	14.89	5.22	58.23	84.02	0.65	3.49	8.97	0.37	67.08	96.62	0.65

Tablo 3.133: 0.800 A akım 8.47 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	40.54	15.19	2.51	72.06	92.72	0.73	31.76	83.11	0.36	59.29	83.27	0.67
5	90.16	13.81	6.13	344.68	217.72	1.49	203.50	87.39	2.19	83.44	74.89	1.05
7	134.71	17.66	7.17	616.98	333.67	1.74	192.23	76.08	2.37	103.55	70.58	1.38
8	121.94	18.23	6.28	400.58	250.35	1.50	200.71	82.13	2.30	90.46	78.06	1.09
9	137.69	17.02	7.60	668.98	474.93	1.32	126.46	66.85	1.78	70.11	63.15	1.04
12	80.80	15.79	4.81	59.98	86.96	0.65	2.66	8.46	0.30	68.57	103.37	0.62

Tablo 3.134: 0.800 A akım 9.68 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	39.53	15.64	2.37	101.69	111.86	0.85	21.79	49.62	0.41	81.38	86.59	0.88
5	87.39	14.38	5.71	311.71	197.07	1.49	226.81	87.35	2.44	68.91	68.49	0.95
7	140.53	19.53	6.76	616.54	288.78	2.01	249.79	69.83	3.36	119.65	76.92	1.46
8	146.17	22.86	6.01	322.94	197.65	1.53	223.25	91.04	2.30	62.26	59.04	0.99
9	146.61	18.24	7.55	615.15	363.33	1.59	115.86	65.82	1.65	134.39	96.63	1.31
12	95.55	18.06	4.97	76.43	126.40	0.57	35.10	55.60	0.59	55.64	86.29	0.61

Tablo 3.135: 0.800 A akım 10.89 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	38.83	16.55	2.20	71.27	87.95	0.76	2.27	11.51	0.19	74.18	89.89	0.78
5	89.68	13.61	6.19	293.05	202.55	1.36	161.16	85.38	1.77	79.14	73.73	1.01
7	142.12	18.55	7.20	704.34	344.99	1.92	183.24	67.71	2.54	121.78	81.51	1.40
8	117.26	18.48	5.96	428.23	230.51	1.75	208.06	91.65	2.13	89.17	73.90	1.13
9	133.54	16.52	7.59	484.10	363.96	1.25	113.98	69.62	1.54	83.99	77.95	1.01
12	86.63	15.85	5.13	66.66	98.39	0.64	0.93	6.39	0.14	70.56	109.39	0.61

Tablo 3.136: 0.800 A akım 12.10 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	39.53	15.64	2.37	101.69	111.86	0.85	21.79	49.62	0.41	81.38	86.59	0.88
5	94.41	14.95	5.93	247.92	175.66	1.33	167.85	85.60	1.84	68.93	71.74	0.90
7	153.71	19.85	7.28	631.83	270.35	2.20	234.19	79.99	2.75	118.00	71.80	1.54
8	137.18	21.26	6.06	525.04	207.97	2.37	305.78	108.05	2.66	79.21	66.84	1.11
9	140.00	18.12	7.26	423.79	263.07	1.51	168.53	73.56	2.15	94.27	77.59	1.14
12	101.16	18.02	5.28	149.21	182.31	0.77	89.76	88.29	0.96	52.28	79.94	0.61

Tablo 3.137: 0.800 A akım 13.31 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	30.26	13.69	2.08	130.46	130.45	0.94	48.81	69.91	0.66	89.97	89.79	0.94
5	90.87	14.50	5.89	268.32	176.95	1.42	196.07	91.03	2.02	67.59	68.92	0.92
7	141.51	19.10	6.96	555.64	281.42	1.85	207.91	74.81	2.61	110.18	74.35	1.39
8	113.58	18.94	5.63	424.39	235.00	1.70	179.78	89.85	1.88	97.59	77.65	1.18
9	123.81	16.99	6.85	355.24	256.47	1.30	106.28	74.35	1.34	109.95	91.93	1.12
12	93.89	17.93	4.92	141.51	179.37	0.74	86.22	83.67	0.97	54.58	83.67	0.61

Tablo 3.138: 0.800 A akım 14.52 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	46.15	17.06	2.54	94.18	100.99	0.88	38.24	71.17	0.50	65.63	80.84	0.76
5	94.53	16.13	5.51	303.88	175.56	1.63	238.43	95.49	2.35	61.59	67.17	0.86
7	139.23	20.41	6.41	527.48	229.42	2.16	234.18	73.91	2.98	157.71	96.50	1.54
8	152.77	25.66	5.59	408.28	202.71	1.89	225.20	91.89	2.30	95.79	79.88	1.13
9	142.92	20.55	6.53	477.96	217.80	2.06	245.22	97.57	2.36	91.92	73.84	1.17
12	98.26	19.05	4.85	156.38	220.09	0.67	77.89	88.71	0.82	51.84	76.14	0.64

Tablo 3.139: 0.800 A akım 15.72 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	44.22	15.86	2.62	200.37	102.93	1.83	156.02	111.85	1.31	66.01	81.79	0.76
5	82.88	13.60	5.73	257.38	184.26	1.31	177.74	85.19	1.96	68.45	71.55	0.90
7	139.42	18.75	6.99	296.26	173.37	1.61	224.56	81.75	2.58	75.35	69.98	1.01
8	138.84	22.29	5.85	335.36	195.09	1.61	199.01	81.00	2.31	93.73	81.19	1.08
9	122.18	17.56	6.54	479.85	266.52	1.69	146.89	74.17	1.86	136.36	100.14	1.28
12	88.25	16.72	4.96	159.42	197.79	0.76	80.15	88.84	0.85	58.05	81.40	0.67

Tablo 3.140: 0.800 A akım 16.93 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	45.39	16.56	2.57	161.30	114.35	1.33	118.80	96.25	1.16	68.63	83.52	0.77
5	98.30	15.66	5.90	264.92	202.87	1.23	167.13	82.68	1.90	64.93	68.42	0.89
7	150.65	23.53	6.02	630.49	231.19	2.56	301.39	85.78	3.30	117.64	74.06	1.49
8	160.52	28.41	5.31	415.29	206.32	1.89	228.48	95.67	2.24	84.97	72.18	1.11
9	142.92	20.55	6.53	477.96	217.80	2.06	245.22	97.57	2.36	91.92	73.84	1.17
12	113.08	22.65	4.69	156.56	162.23	0.91	114.79	98.17	1.10	45.36	77.33	0.55

Tablo 3.141: 0.800 A akım 18.14 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	42.41	16.26	2.45	98.99	99.50	0.93	54.93	147.58	0.35	72.84	88.27	0.78
5	89.75	14.44	5.84	218.03	160.17	1.28	170.19	85.26	1.88	60.19	72.34	0.78
7	133.13	19.95	6.27	487.72	215.21	2.13	276.79	88.77	2.93	91.84	66.93	1.29
8	141.39	25.46	5.22	392.84	214.73	1.72	190.35	90.08	1.99	114.63	96.16	1.12
9	122.18	17.56	6.54	479.85	266.52	1.69	146.89	74.17	1.86	136.36	100.14	1.28
12	89.08	18.23	4.59	187.85	234.60	0.75	76.41	79.11	0.91	61.52	80.71	0.72

Tablo 3.142: 0.800 A akım 19.35 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	42.33	16.09	2.47	176.70	111.44	1.49	120.97	100.77	1.13	69.07	84.46	0.77
5	82.95	14.10	5.53	223.45	156.37	1.34	167.80	92.37	1.71	57.01	69.03	0.78
7	154.69	21.14	6.88	345.59	189.87	1.71	251.11	80.46	2.93	75.10	66.41	1.06
8	121.11	21.09	5.39	416.51	208.72	1.87	207.02	88.05	2.21	101.04	82.67	1.15
9	136.14	18.37	6.96	351.03	208.96	1.58	126.32	72.52	1.64	149.95	113.22	1.24
12	93.97	17.86	4.94	52.77	86.59	0.57	2.19	8.43	0.24	61.50	89.16	0.65

Tablo 3.143: 0.800 A akım 20.56 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	53.47	17.07	2.94	144.21	101.52	1.33	93.60	140.84	0.62	75.82	86.86	0.82
5	88.41	14.61	5.69	171.30	169.54	0.95	87.65	56.69	1.45	83.42	87.51	0.90
7	179.58	27.11	6.22	231.70	167.48	1.30	189.35	78.16	2.28	60.52	66.54	0.85
8	128.53	19.88	6.07	604.72	220.08	2.58	305.68	110.58	2.60	102.45	77.39	1.24
9	152.12	18.05	7.92	443.49	221.78	1.88	220.70	80.88	2.56	111.36	85.00	1.23
12	102.36	17.75	5.42	67.41	110.97	0.57	35.98	54.16	0.62	46.43	77.43	0.56

Tablo 3.144: 0.800 A akım 21.77 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	50.29	16.25	2.91	93.56	105.49	0.83	38.87	62.12	0.59	68.53	82.24	0.78
5	88.36	14.57	5.70	312.46	229.14	1.28	151.28	93.00	1.53	71.17	69.81	0.96
7	137.97	20.19	6.42	830.17	218.22	3.57	426.29	112.83	3.55	126.51	79.44	1.50
8	132.66	22.91	5.44	508.28	207.70	2.30	302.73	103.72	2.74	89.00	76.46	1.09
9	136.14	18.37	6.96	351.03	208.96	1.58	126.32	72.52	1.64	149.95	113.22	1.24
12	116.02	21.21	5.14	157.96	330.24	0.45	19.22	45.13	0.40	49.55	76.79	0.61

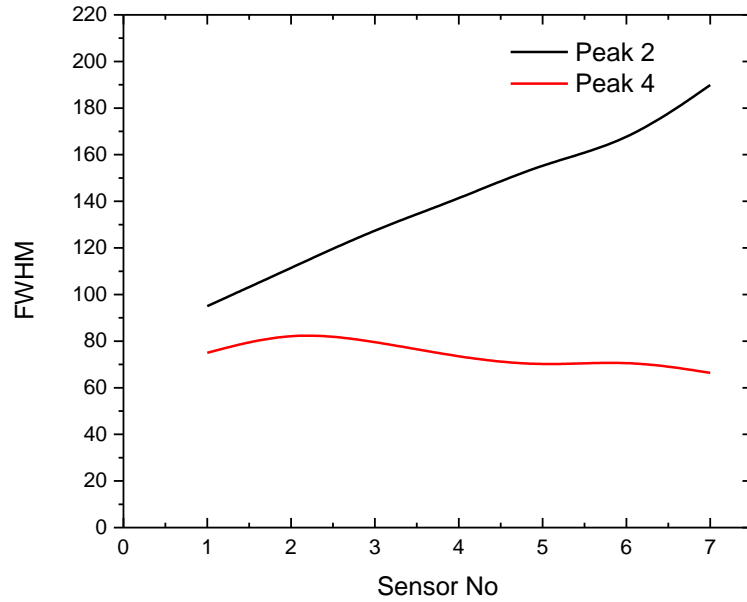
Tablo 3.145: 0.800 A akım 22.98 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	53.47	17.07	2.94	144.21	101.52	1.33	93.60	140.84	0.62	75.82	86.86	0.82
5	82.93	14.39	5.42	386.07	230.69	1.57	187.56	104.31	1.69	69.14	68.40	0.95
7	179.58	27.11	6.22	231.70	167.48	1.30	189.35	78.16	2.28	60.52	66.54	0.85
8	149.17	28.37	4.94	383.53	193.96	1.86	225.09	98.65	2.14	81.07	78.07	0.98
9	152.12	18.05	7.92	443.49	221.78	1.88	220.70	80.88	2.56	111.36	85.00	1.23
12	107.30	21.01	4.80	177.52	341.34	0.49	39.46	75.54	0.49	47.29	74.66	0.60

Tablo 3.146: 0.800 A akım 24.19 cm/s hız için sensör bazında Gauss parametreleri.

S	Peak 1			Peak 2			Peak 3			Peak 4		
	A	F	H	A	F	H	A	F	H	A	F	H
2	41.59	14.66	2.66	75.22	83.75	0.84	11.06	20.89	0.50	71.76	83.50	0.81
5	92.15	15.25	5.68	304.41	209.54	1.36	189.85	92.04	1.94	60.50	64.22	0.89
7	168.39	26.27	6.02	388.18	203.58	1.79	244.73	75.28	3.05	93.48	73.34	1.20
8	135.78	26.10	4.89	532.62	200.57	2.49	314.84	110.54	2.68	84.37	70.53	1.12
9	134.28	20.83	6.06	208.55	147.85	1.33	49.15	58.26	0.79	290.49	221.68	1.23
12	103.00	21.38	4.53	217.12	131.52	1.55	201.60	103.43	1.83	33.10	65.90	0.47

Sisteme 0.800 Amper akım uygulaması yapıldığı durumda sıralı 7 sensör için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM (yarı yükseklikteki tam genişlik değeri) karşılaştırıldığında Şekil 3.31'de görülen grafik elde edilmiştir.



Şekil 3.31: 0.800 A, 19.35 cm/s için peak 2 ve peak 4'e ait FWHM-sensör grafiği

Şekil 3.31'de görülen grafik incelendiğinde peak 2'ye ait FWHM değerinin giderek arttığı, peak 4'e ait FWHM değerinin ise sabit sayılabilecek bir seviyede kaldığı görülmektedir. Bu durum da 1 numaralı çatlığa ait genişliğin peak 2, 2 numaralı çatlığa ilişkin genişlik bilgisinin peak 4 kullanılarak elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırmada farklı manyetizasyon şartlarında örnek bir boru hattı üzerinde oluşturulacak çatlakların belirlenebilmesi amacı ile manyetik akı kaçakları yöntemini kullanan yeni bir PIG'in tasarlanıp imal edilmesi hedeflenmiştir. Bununla birlikte literatürde var olan PIG'lerin hıza bağlı çatlak belirleyebilme kabiliyetleri hakkında bir bilgiye rastlanmadığından, imal edilecek bu PIG'in çatlağı belirleyebilme kabiliyetinin hızına bağlı olarak optimize etmek çalışmanın ikinci hedefi olmuştur. Diğer hedef ise, PIG'in bobinlerine uygulanan akım genliğinin bu optimizasyonu nasıl etkilediğini bulmak olarak belirlenmiştir.

Birbirinden farklı iki çatlağın varlığının ve fiziksel özelliklerinin belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada dünyanın manyetik alanının yanı sıra nüvelere uygulanan üç farklı akım değerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amaçlarından birisi olan hız değişkeninin incelenmesi amacı ile de her bir manyetik alan değeri için 18 farklı hız değerinde deneyler tekrar edilmiştir.

Aralarında 250 mm bulunan iki çatlak arasındaki mesafenin belirlenmesi aşamasında, sıfır akım değeri için peak 1 ve peak 3 arasındaki x_c mesafenin ölçülmesinin doğru sonuç verdiği görülmüştür. 0.200 Amper ve 0.400 Amper manyetize edici akım değeri için ise, çatlaklar arası mesafenin belirlenmesinde peak 2 ve peak 4'e ait x_c farkının daha doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir. 0.800 Amper manyetize edici akım değeri için ise peak 1 – peak 3 ile peak 2 – peak 4 arasındaki x_c farkı değerleri arasında anlamlı bir farklılık gözlemlenememiştir. Literatürde manyetik akı kaçakları yönteminin kullanıldığı çatlak belirleme alışmaları içinde dünyanın manyetik alanının tek başına kullanıldığı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu durum çalışmanın farklılıklarından bir tanesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Çatlaklar arası mesafenin belirlenmesinde hız değişkeni incelendiğinde; deneyde kullanılan ölçüm sisteminin sınırları dahilinde, hız değişkeninin herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yani tasarlanan PIG'in 3.63 cm/s ile 24.19 cm/s hıza sahip olmasının çatlakların ve bu çatlaklar arasındaki mesafenin belirlenmesinde

herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu aralıkta istenilen herhangi bir hızda sağlıklı sonuç elde edilebilmektedir.

Deneilerin gerçekleştirildiği çatlaklar için ikinci olarak genişlik farkı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Gaussian eğrilere ait yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) değerleri incelenmiştir. Burada alan değeri hem yükseklik hem de dolaylı olarak FWHM değerine bağlı olduğundan incelenmesinin bir anlam ifade etmediği düşünülmüştür. Manyetize edici akımın sıfır olduğu durumda peak 1 ve peak 3'e ait FWHM değerleri karşılaştırıldığında başlangıç noktalarının aynı olduğu fakat sensör numarası ilerledikçe aradaki farkın açıldığı görülmüştür. Bu da ilk çatlağın genişliğinin değişen yönde artması, çatlak 2'nin ise sabit genişlikte olması durumunu sağlamaktadır.

Xc değerlerinin karşılaştırılmasında 0 Amper dışındaki manyetize edici akım değerlerinde peak 2 ve peak 4'ün kullanılmasına benzer biçimde, FWHM değerlerinin karşılaştırılmasında da bu iki peak'e ait değerler kullanılmıştır. 0.200 Amper, 0.400 Amper ve 0.800 Amper için peak 4'e ait FWHM değerleri seçili sıralı sensör numarasının artması ile sabit kalırken peak 2'ye ait FWHM değeri ise artmaktadır. Bu da genişliğin artmasının sensör çıkış gerilimlerinde bir değişiklik oluşturduğu şeklinde yorumlanmıştır. FWHM değerlerinin hız ile bir değişim gösterme eğiliminde olmadığı daha önce belirlendiğinden deneylerin gerçekleştirildiği hız aralığı için genişlik belirlemenin karakteristik olarak aynı sonucu vereceği düşünülmektedir.

Çatlakların tespiti, aralarındaki mesafenin belirlenmesi ve genişlikleri ile sensör çıkış gerilimleri arasındaki ilişkiler bir bütün olarak ele alındığında; daha önce literatürde gerçekleştirilmeyen bu çalışma ile tasarlanan PIG ile bahsedilen tüm bu parametrelerin 24.19 cm/s hıza kadar tespit edilebileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında, aynı alanda çalışma yapmayı planlayan araştırmacılara ışık tutması açısından bazı önerilerde bulunulabilir;

1. Gerçekleştirilen bu çalışmada algılayıcı olarak Philips KMZ 51 Anizotropik Magnotoresistive (AMR) sensör kullanılmıştır. Sensör teknolojisinin gelişimine

paralel olarak algılama hassasiyetinin arttırılması adına daha hassas manyetik sensörler kullanılarak benzer bir ölçüm sisteminin çatlak belirlemedeki yeterliliği araştırılabilir.

2. Çalışmada kullanılan manyetik alanın değişkenliği, nüveler üzerindeki sarımlardan geçirilen akım şiddetinin değiştirilmesi ile sağlanmıştır. Kullanılan bu yöntemden farklı olarak boru hattını manyetize edici manyetik alan değeri nüveler üzerinde yer alan sarım sayılarını değişken kılabilecek bir yapının üretilmesi ile de sınıanabilir.

3. Manyetize edici alanın, nüveler üzerindeki sarımlardan geçen akım ile kontrolünün dışında PIG tasarımında farklı manyetik alan şiddetine ve geometrik şekillere sahip güçlü kalıcı mıknatıslar kullanılması da farklı bir yöntem olarak kullanılabilir.

4. Geliştirilen ölçüm sisteminde PIG'in hareketi çelik telli kayışlar yardımı ile sağlanmaktadır. Fakat bu hareket esnasında PIG her ne kadar düz gidiyor gibi görünse de, özellikle hızın arttığı durumlarda, ufak bir burulma hareketi meydana gelmektedir. Bu burulma hareketi sonucunda da PIG tam doğrusal olmayan bir biçimde gitmemektedir. PIG'in tam merkezinden bir mil geçirilmesi sonucunda tam doğrusal bir hareket gerçekleştirileceği ve sensörlerden elde edilen çıkış gerilimi değerlerinin daha sağlıklı olacağı düşünülebilir.

5. Ölçüm sisteminde kullanılan NI-USB 6210 veri toplama kartı 16 bit analog veri toplama çözünürlüğüne sahiptir. Veri toplama kartı olarak daha hassas veri toplama kartlarının kullanılması da benzer şekilde elde edilecek ölçümlerin daha sağlıklı olmasını sağlayabilir.

6. NI-USB 6210 veri toplama kartı analog veri toplama aralığı olarak +10 V/-10 V aralığında çalışmaktadır. Bu sebeple yüksek manyetize edici akım ve dolayısı ile yüksek manyetik alan değerlerinde sistemden veri toplanması mümkün olmayacaktır. Analog veri giriş aralığı daha yüksek olan veri toplama kartlarının kullanılması benzer ölçüm sistemlerinde daha geniş bir manyetik alan aralığında çalışma yapılmasına müsaade edecektir.

7. Sistemde kullanılan nüvelerin boru hattı ile teması söz konusu değildir. Metal fırçalar kullanılarak nüvelerin yani manyetik alan kaynağının boru hattına temas ettirilmesi sağlanırsa manyetik alan çizgilerinin boru üzerinden akışı arttırılabilir. Bu sayede ortaya çıkabilecek akı kaçaklarının şiddetinin de artabileceği düşünülebilir.

8. Sistemde kullanılan manyetik sensör ağı tek sıra şeklindedir. Sensör kartları her ne kadar minimum boyutlarda tutulmaya çalışılsa da sensörler arasında belli bir mesafe kalmıştır. Bu durumun ortadan kaldırılması ve daha hassas bir ölçümün sağlanması adına sensör ağının tasarımı değiştirilebilir. Bunun için de sensörlerin birbirinin izdüşümünde olmadığı paralel katmanlar şeklindeki bir tasarım kullanılabilir.

9. Gerçekleştirilecek olan çalışmalarda farklı nüve boyları kullanılarak nüve geometrisinin etkisi incelenebilir.

10. Ölçüm sisteminde boru hattının uzunluğu 5.40 metredir. Bu uzunluk arttırılarak daha yüksek hızlarda çatlak belirleme işlemi gerçekleştirilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Shull, P. J. (Ed), *Nondestructive evaluation. theory. techniques and applications*, New York: Marcel Dekker Inc., (2002).
- [2] Non-Destructive Inspection Co., “Tahribatsız malzeme muayene [online]”, (30 Aralık 2014), www.tmmndt.com/content_images/ndt_yontemler.pdf, (2007).
- [3] “Tahribatsız muayene [online]”, (30 Kasım 2014), www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_03_00_aca05.pdf
- [4] Topuz, A., *Tahribatsız muayeneler*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, (1993).
- [5] Scruby, C. B., “NDE research makes a difference”, (eds: Tamburrino, A., Melikhov, Y., Chen, Z. and Udpa, L.) *Electromagnetic nondestructive Evaluation (XI)*, 31, Amsterdam: IOS Press, 10-17. (2008).
- [6] Oğuz, B., *Kaynakların muayenesi ark kaynağı*, Oerlikon Yayın, (1989).
- [7] Hellier, C. J., *Handbook of nondestructive evaluation*, New York: The McGraw-Hill Companies Inc., (2003).
- [8] ASM Handbook Comitee, *Nondestructive evaluation and quality control*, ASM International (1997).
- [9] Mix, P. E., *Introduction to nondestructive testing - a training guide*, New Jersey: John Wiley & Sons. Inc., (2005).
- [10] <http://borescopestore.com/rigid-borescopes/standard-rigid-borescopes/zibrascope-rigid-borescope.html>, (30 Aralık 2014).
- [11] T.C Milli Eğitim Bakanlığı, *Metal teknolojisi- tahribatsız muayene*, Ankara, (2011).

- [12] Chen, C. H. (Ed.), *Ultrasonic and advanced methods for nondestructive testing and material characterization*, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., (2007).
- [13] Boving, K. G. (Ed.), *NDE handbook non-destructive examination methods for condition monitoring*, Copenhagen: Butterworths. (1989).
- [14] Eick, C. W., *Asnt level ii study guide magnetic particle testing method*, USA: The American Society for Nondestructive Testing. Inc., (2003).
- [15] Boisvert, B. and Eick, C., *Asnt level iii study guide liquid penetrant method*, USA: The American Society for Nondestructive Inc., (2000).
- [16] T.C Milli Eğitim Bakanlığı, *Uçak bakım - uçaklarda tahribatsız muayene*, Ankara, (2012).
- [17] Halmshaw, R., *Introduction to the non-destructive testing of welded joints*, Cambridge:Abington Publishing, (2006)
- [18] Reber, K., Beller, M., Willems, H. and Barbian, O. A., “A new generation of ultrasonic in-line inspection tools for detecting, sizing and locating metal loss and cracks in transmission pipelines”, *IEEE Ultrasonics Symposium*, Germany, 665-671, (2002).
- [19] Kim, H. M., Rho, Y. W., Yoo, H. R., Cho, S. H., Kim, D. K., Koo, S. J. and Park, G. S., “A study on the measurement of axial cracks in the magnetic flux leakage ndt system”, *8th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, Korea, 624-629, (2012).
- [20] Ireland, R. C. and Torres C. R., “Finite element modelling of a circumferential magnetizer”, *Sensors and Actuators A*, 129, 197–202, (2006).
- [21] Jian, F., Jun-Feng, Z., Sen-Xiang, L., Hong-Yang, W. and Rui-Ze, M., “Three-axis magnetic flux leakage in-line inspection simulation based on finite-element analysis”, *Chin. Phys. B*, 22 (1), 1-4, (2013).
- [22] Carvalho, A. A., Rebello, J. M. A., Sagrilo, L. V. S., Camerini, C. S. and Miranda I. V. J., “MFL signals and artificial neural networks applied to

detection and classification of pipe weld defects”, *NDT&E International*, 39 , 661–667, (2006).

- [23] <http://www.cepa.com/library/factoids>, (30 Aralık 2014).
- [24] Wang, S., Huang, S., Zhao, W. and Wei, Z., “3D modeling of circumferential SH guided waves in pipeline for axial cracking detection in ILI tools”, *Ultrasonics*, 56, 325–331, (2015).
- [25] Du, G., Kong, Q., Lai, T. and Song, G., “Feasibility study on crack detection of pipelines using piezoceramic transducers”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9 (10),1-7 , (2013).
- [26] Xiang, L., Xunbo, L., Liang, C., Guangxu, Q., Peifu F. and Zuoying, H., “Steel pipeline testing using magnetic flux leakage method”, *IEEE International Conference on Industrial Technology*, China, 1-4, (2008).
- [27] <http://phmsa.dot.gov/pipeline/library/data-stats>, (30 Aralık 2014).
- [28] EGIG, “Gas pipeline incidents, 9th report of the european gas pipeline incident data group, (period 1970 – 2013)”, (2015).
- [29] Kishawy, H. A. and Gabbar, H. A., “Review of pipeline integrity management practices”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 87 373-380, (2010).
- [30] Tapanes, E., “Fibre optic sensing solutions for real-time pipeline integrity monitoring”, *Australian Pipeline Industry Association National Convention*, 3, 27-30, (2001).
- [31] Li, H. N., Li, D. S. and Song, G. B., “Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering”, *Engineering Structures*, 26 (11), 1647–1657, (2004).
- [32] Yan, S. Z. and Chyan, L. S., “Performance enhancement of BOTDR fiber optic sensor for oil and gas pipeline monitoring”, *Optical Fiber Technology*, 16 (2), 100–109, (2010).

- [33] Anastasopoulos, A., Kourousis, D. and Bollas, K., “Acoustic emission leak detection of liquid filled buried pipeline”, *Journal of Acoustic Emission*, 27, 27–39, (2009).
- [34] Ozevin, D. and Harding, J., “Novel leak localization in pressurized pipeline networks using acoustic emission and geometric connectivity”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 92, 63–69, (2012).
- [35] Mostafapour, A. and Davoodi, S. “Analysis of leakage in high pressure pipe using acoustic emission method”, *Applied Acoustics*, 74 (3), 335–342, (2013).
- [36] Okamoto, J., Adamowskia, J. C., Tsuzukia, M. S. G., Buiochia, F. and Camerinib, C. S., “Autonomous system for oil pipelines inspection”, *Mechatronics*, 9 (7), 731–743, (1999).
- [37] Pan, E, Rogers, J., Datta, S. K. and Shah, A. H., “Mode selection of guided waves for ultrasonic inspection of gas pipelines with thick coating”, *Mechanics of Materials*, 31 (3), 165–174, (1999).
- [38] Ravanbod, H., “Application of neuro-fuzzy techniques in oil pipeline ultrasonic nondestructive testing”, *NDT & E International*, 38 (8), 643–653, (2005).
- [39] Hertlein, B., “Stress wave testing of concrete: a 25-year review and a peek into the future,” *Construction and Building Materials*, 38, 1240–1245, (2013).
- [40] Vasic, D., Bilas, V. and Ambrus, D., “Pulsed eddy-current nondestructive testing of ferromagnetic tubes”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 53 (4), 1289–1294, (2004).
- [41] Nestleroth, J. B. and Davis, R. J. “Application of eddy currents induced by permanent magnets for pipeline inspection”, *NDT & E International*, 40 (1), 77–84, (2007).
- [42] Keshwani R. and Bhattacharya, S., “Design and optimization of eddy current sensor for instrumented pipeline inspection gauge”, *Sensor Review*, 28 (4), 321–325, (2008).

- [43] Park, G., Cudney, H. H. and Inman, D. J., “Feasibility of using impedance-based damage assessment for pipeline structures,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30 (10), 1463–1474, (2001).
- [44] Peairs, D. M., Park, G. and Inman, D. J., “Improving accessibility of the impedance-based structural health monitoring method”, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 15 (2), 129–140, (2004).
- [45] Tseng, K. K. and Wang, L., “Smart piezoelectric transducers for in situ health monitoring of concrete,” *Smart Materials and Structures*, 13 (5), 1017–1024, (2004).
- [46] Du, G. F., Hu, J. J. and Wan, C., “The study situation and analysis of oil & gas pipeline health detection,” *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*, 551–560, (2012).
- [47] T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü No: 8, Strateji Geliştirme Başkanlığı, (2015).
- [48] Kishawy, H. A. and Gabbar, H. A., “Review of pipeline integrity management practices” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 87 373-380, (2010).
- [49] Barbian, A., Beller, M., Hartmann, S. and Schneider, U., “High resolution ultrasonic in-line inspection: added value and special applications”, *6th Pipeline Technology Conference*, Germany, 1-15, (2011).
- [50] Nace International Task Group, “In-line nondestructive inspection of pipelines”, Item No. 24211, (2000).
- [51] Camp, H. J., “Demonstration of pipe and pipeline integrity by means of intelligent pigging systems [online]”, (08 Temmuz 2018), <http://www.pipeline-conference.com/sites/default/files/papers/222%20de%20la%20Camp.pdf>, (2006).
- [52] Cepa, *Stress corrosion cracking, recommended practices*, Canada: Canadian Energy Pipeline Association, (2017).

- [53] Southern California Gas Company, “In-line inspection of pipelines [online]”, (08 Temmuz 2018), <https://www.socalgas.com/documents/news-room/fact-sheets/In-LinePipelineInspection.pdf>, (2013).
- [54] Travis, J. and Kring, J., *Herkes için labview 1*, (Çev: A. Mavi) Pegem Akademi Yayıncılık, (2013).
- [55] Ünsaçar, F. ve Eşme E., *Grafik programlama dili labview*, Ankara: Seçkin Yayıncılık, (2009).
- [56] Ün, M. O., “Labview tabanlı hedef takip sisteminin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Deniz Harp Okulu*, İstanbul, (2013).
- [57] İleri, S., “Modüler eib sisteminin labview ile gerçek zamanlı ve web tabanlı kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi*, İstanbul, (2009).
- [58] Krishnan, C., Washabaugh, E. P. and Seetharaman, Y., “A low cost real-time motion tracking approach using webcam technology”, *Journal of Biomechanics*, 48 (3), 544-548, (2015).
- [59] Ekici, M., “Labview tabanlı damar içi uygulanan besin ve ilaç hazırlama sistemi tasarımı ve gerçek zamanlı kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (2009).
- [60] Guidi, G., Maffei, N., Ciarmatori, A., Mistretta, M., Gottardi, G., Costi, T., Guidi, G., Maffei, N., Vecchi, C., Baldazzi, G. and Bertoni, F., “Real-time lung tumour motion modeling for adaptive radiation therapy using lego mindstorms”, *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 15 (2), (2015).
- [61] Wang, W. and Li, C., “A multimodal machine vision system for quality inspection of onions”, *Journal of Food Engineering*, 166, 291–301, (2015).
- [62] Quezada, S. D., Pérez, R. P. and Fernández, F. “Automatic system distillation for fruit wine”, *IEEE Latin America Transactions*, 13 (6), 1882-1887, (2015).
- [63] Dindar, M., Dindar, S., Kandemir, E., Bayar, C., Helhel, S. and Ozisik, T., “TUY 40 telescope control system based on labview”, *Acta Physica Polonica A*, 128(2B), 73-74, (2015).

- [64] Espino, P., Rendón, J., Valdez, J., Davizón, Y., Nuñez, J. and Hinojosa, C., “Design of a labview application for the teaching of mechanical vibrations in a mechatronics engineering program”, *IEEE Latin America Transactions*, 13 (7), 2347-2355, (2015).
- [65] Arıcı, İ., “Labview tabanlı bir elektronik deney seti geliştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*, Muğla, (2014).
- [66] Liu, Y. and Xu, Q., “Design of a flexure-based auto-focusing device for a microscope”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16 (11), 2271-2279, (2015).
- [67] Arsava, K. S., Kim, Y., Kim, K. H. and Shin, B. S., “Smart fuzzy control of reinforced concrete structures excited by collision-type forces”, *Expert Systems with Applications*, 42 (21), 7929-7941, (2015).
- [68] Kumar, A. and Hancke, H. P., “A zigbee-based animal health monitoring system”, *IEEE Sensors Journal*, 15 (1), 610-617, (2015).
- [69] Aytekin, Ç., Rezaeitabar, Y., Dogru, S. and Ulusoy, İ., “Railway fastener inspection by real-time machine vision”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 45 (7), 1101-1107, (2015).
- [70] Pack, J., Fu, Z. and Aydogan, F., “Modeling primary and secondary coolant of a nuclear power plant system with a unique framework (mcuf)” *Progress in Nuclear Energy*, 83, 197-211, (2015).
- [71] Zhu, W., Liu, J., Yang, H. and Yan, C., “Design of High Precision Temperature Measurement System based on Labview”, *International Journal of Advanced Computer Science and Application*, 6(6), 153-155, (2015).
- [72] Yang, B., Smith, A. M. and Long, S., “Second generation laser-heated microfurnace for the preparation of microgram-sized graphite samples”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 361, 363-371, (2015).

- [73] Shi, H. S., and Tuazon, B. J., “An instrumented drop-bar impact testing apparatus for investigating the impact fracture behaviors of structural steels”, *International Journal of Impact Engineering*, 84, 124-133, (2015).
- [74] Tang, K., Chen, X., Zheng, W., Han, Q. and Li, P., “A non-contact technique using electrostatics to sense three-dimensional hand motion for human computer interaction”, *Journal of Electrostatics*, 77, 101-109, (2015).
- [75] Darrer, B. J., Watson, J. C., Bartlett, P. and Renzoni, F., “Toward an automated setup for magnetic induction tomography”, *IEEE Transactions On Magnetics*, 51(1), (2015).
- [76] Liu, S., Xin, W. and Ding, K., “Simulation of corrosion on detection for pulsed eddy current”, *Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 1839-1842, (2010).
- [77] Yang, B., Zhao, Y. and Zhang, W., “Quantification of crack, defect using a new pulsed eddy current probe, *Nondestructive Testing and Evaluation*, 26(2), 155-168, (2011).
- [78] Yang, L., Su, Y. and Gao, S., “ANSYS simulation analysis of the tri-axial pipeline magnetic flux leakage in-line inspection”, *Advanced Materials Research*, 490, 2086-2090, (2012).
- [79] Ke, W., Castaings, M. and Bacon, C., “3D finite element simulations of an air-coupled ultrasonic NDT system”, *NDT&E International*, 42, 524–533 (2009).
- [80] A Study on the Measurement of Axial Cracks in the Magnetic Flux Leakage NDT System Hui Min Kim, Yong Woo Rho, Hui Ryong Yoo, Sung Ho Cho, Dong Kyu Kim, SungJa Koo, GwanS oo Park, 8th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, August 20-24, 2012, Seoul, Korea
- [81] Babbar, V. and Clapham, L., “Residual magnetic flux leakage: a possible tool for studying pipeline defects”, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 22 (4), 2003.

- [82] Chen, L., Que, P. W. and Jin, T., “A giant-magneto-resistance sensor for magnetic-flux-leakage nondestructive testing of a pipeline”, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 41 (7), 462–465, (2005).
- [83] Steel Pipeline Testing Using Magnetic Flux Leakage Method, LI Xiang, LI Xunbo, CHEN Liang, QIN Guangxu, FENG Peifu , HUANG Zuoying, IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008.
- [84] Finite element modelling of a circumferential magnetiser ,R.C. Ireland, C.R. Torres, *Sensors and Actuators A* 129, 2006, 197–202.
- [85] Tehranchi, M. M., Hamidi, S. M., Eftekhari, H., Karbaschi, M. and Ranjbaran, M., “The inspection of magnetic flux leakage from metal surface cracks by magneto-optical sensors”, *Sensors and Actuators A*, 172, 365– 368, 2011.
- [86] Wilson, J. W. and Tian, G. Y., “Pulsed electromagnetic methods for defect detection and characterization”, *NDT&E International*, 40, 275–283, (2007).
- [87] Kima, D., Udpa, L. and Udpa, S., “Remote field eddy current testing for detection of stress corrosion cracks in gas transmission pipelines”, *Materials Letters*, 58, 2102–2104, (2004).
- [88] Chen, L., Que, P., Huang, Z. and Jin, T., “Three-dimensional finite element analysis of magnetic flux leakage signals caused by transmission pipeline complex corrosion”, *Journal of the Japan Petroleum Institute*, 48 (5), 314-318, (2005).
- [89] Jin, T., Que, P., Chen, T. and Zhang, Q., “Automatic data acquisition system for offshore oil pipeline magnetic flux leakage on-line inspection”, *Journal of the Japan Petroleum Institute*, 48 (6), 380-385 (2005).
- [90] Tehranchia, M. M., Ranjbaran, M. and Eftekhari, H., “Double core giant magneto-impedance sensors for the inspection of magnetic flux leakage from metal surface cracks”, *Sensors and Actuators A*, 170, 55– 61, (2011).

- [91] Sophian, A., Tian, G. Y. and Zairi, S., “Pulsed magnetic flux leakage techniques for crack detection and characterization”, *Sensors and Actuators A*, 125, 186–191, (2006).
- [92] Firdausz, M. A., Idroas, M., Zakaria, Z., Zin, A. R. M. and Ibrahim, M. N., “The use of reflection mode ultrasonic transceiver sensor in pipeline inspection guage to monitor pipeline internal corrosion”, *Jurnal Teknologi*, 70(3), 97–101, (2014).
- [93] Park, G. S. and Park, S. H., “Analysis of the velocity-induced eddy current in mfl type ndt”, *IEEE Transactions on Magnetics*, 40(2), 663-666, (2004)
- [94] Zakaria, Z., Mansor, M. S. B., Jahidin, A. H., Azlan, M. S. Z. and Rahim, R. A., “Simulation of magnetic flux leakage (mfl) analysis using femm software”, *2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*, Malaysia, 481-486, (2010).
- [95] Kim, H. M., Yoo, H. R., Rho, Y. W. and Park, G. S., “Detection method of cracks by using magnetic fields in underground pipeline”, *10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, Korea, 734-737, (2013).
- [96] Prabhakaran, M., Karuppasamy, P., Abudhahir, A. and Rao, B. P. C., “Modeling of mfl system to inspect ferro magnetic tubes”, *International Conference on Innovations In Intelligent Instrumentation, Optimization And Signal Processing*, 27-33, (2013).
- [97] Sun, Y. and Kang, Y., “A new mfl principle and method based on near-zero background magnetic field”, *NDT&E International*, 43, 348–353, (2010).
- [98] Liu, B., Cao, Y., Zhang, H., Lin, Y. R., Sun, W. R. and Xu, B., “Weak magnetic flux leakage: a possible method for studying pipeline defects located either inside or outside the structures”, *NDT&E International*, 74, 81–86, (2015).

- [99] Xiao-meng, L., Hong-sheng, D. and Shi-wu, B., “Research on the stress-magnetism effect of ferromagnetic materials based on three-dimensional magnetic flux leakage testing”, *NDT&E International*, 62, 20-54, (2014).
- [100] Mao, B., Lu, Y., Wu, P., Mao, B. and Li, P., “Signal processing and defect analysis of pipeline inspection applying magnetic flux leakage methods”, *Intelligent Service Robotics*, 7(4), 203-209, (2014).
- [101] Safizadeh, M. S. and Azizzadeh, T., “Corrosion detection of internal pipeline using ndt optical inspection system”, *NDT&E International*, 52, 144–148, (2012).
- [102] Cheng, Y., Liu, X. and Deng, Y., “An innovative exciting coil design for magneto-optic imaging in nondestructive evaluation”, *2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1795–1800, (2013).
- [103] Manios, E. and Pissas, M., “A new cracks detection device for magnetic steels”, *EPJ Web of Conferences*, 75, 1-4, (2014).
- [104] Gloria, N. B. S., Areiza, M. C. L., Miranda, I. V. J. and Rebello J. M. A., “Development of a magnetic sensor for detection and sizing of internal pipeline corrosion defects”, *NDT&E International*, 42, 669–677, (2009).
- [105] Vertesy, G., Tomas, I., Uchimoto, T. and Takagi, T., “Nondestructive investigation of wall thinning in layered ferromagnetic material by magnetic adaptive testing”, *NDT&E International*, 47, 51–55, (2012).
- [106] Zhang, Y., Ye, Z. and Wang, C., “A fast method for rectangular crack sizes reconstruction in magnetic flux leakage testing”, *NDT&E International*, 42, 369–375, (2009).
- [107] Li, W., Yuan, X., Chen, G., Yin, X. and Ge, J., “A feed-through ACFM probe with sensor array for pipe string cracks inspection”, *NDT&E International*, 67, 17–23, (2014).

- [108] Zuoying, H., Peiwen, Q. and Liang, C., “3D FEM analysis in magnetic flux leakage method”, *NDT&E International*, 39, 61–66, (2006).
- [109] Li, Y., Wilson J. and Tian, G. Y., “Experiment and simulation study of 3D magnetic field sensing for magnetic flux leakage defect characterization”, *NDT&E International*, 40, 179–184, (2007).
- [110] Li, Y., Tian, G. Y. and Ward, S., “Numerical simulation on magnetic flux leakage evaluation at high speed”, *NDT&E International*, 39, 367–373, (2006).
- [111] Hernandez-Valle, F., Clough, A. R. and Edwards, R. S., “Stress corrosion cracking detection using non-contact ultrasonic techniques”, *Corrosion Science*, 78, 335–342, (2014).
- [112] Cheng, Y. H., Zhou, Z. F. and Tian, G. Y., “Enhanced magneto-optic imaging system for nondestructive evaluation”, *NDT&E International*, 40, 374–377, (2007).
- [113] Wang, P., Gao, Y., Tian, G. Y. and Wang, H., “Velocity effect analysis of dynamic magnetization in high speed magnetic flux leakage inspection”, *NDT&E International*, 64, 7–12, (2014).
- [114] Cheng, S., Wu, X. and Kang, Y., “Local area magnetization and inspection method for aerial pipelines”, *NDT&E International*, 38, 448–452, (2005).
- [115] Dixon, S., Burrows, S. E., Dutton, B. and Fan, Y., “Detection of cracks in metal sheets using pulsed laser generated ultrasound and EMAT detection”, *Ultrasonics*, 51, 7–16, (2011).
- [116] Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Soumya, C., Mahendran, V., Pillai, V. P. M., Philip, J. and Jayakumar, T., “Infrared thermography based defect detection in ferromagnetic specimens using a low frequency alternating magnetic field”, *Infrared Physics & Technology*, 64, 125–133, (2014).
- [117] Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Sebastian, L. T., Philip, J. and Jayakumar, T., “Effect of non-magnetic inclusions in magnetic specimens on defect

- detection sensitivity using active infrared thermography”, *Infrared Physics & Technology*, 68, 52–60, (2015).
- [118] Gao Y., Tian, G. Y., Li, K., Ji, J., Wang, P. and Wang, H., “Multiple cracks detection and visualization using magnetic fluxleakage and eddy current pulsed thermography”, *Sensors and Actuators A*, 234, 269–281, (2015).
- [119] Nimje P. K., Kannan C. and Amir Q. M., “Finite element modelling & experimental simulation of magnetic leakage flux from metal loss defects in steel pipelines”, *Asia Pacific Conference on Non-Destructive Testing*, Mumbai, India, (2013).
- [120] Le, M., Lee, J., Jun, J. and Kim, J., “Estimation of sizes of cracks on pipes in nuclear power plants using dipole moment and finite element methods”, *NDT&E International*, 58, 56–63, (2013).
- [121] Joubert, P. -Y., Le Bihan, Y. and Placko, D., “Localization of defects in steam generator tubes using a multi-coil eddy current probe dedicated to high speed inspection”, *NDT&E International*, 35, 53-59, (2002).
- [122] Du, G., Kong, Q., Lai, T. and Song, G., “Feasibility study on crack detection of pipelines using piezoceramic transducers”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9 (10), 1-7, (2013).
- [123] Ege, Y., “Ferromanyetik malzemelerin yüzey manyetik akı profilinin dedeksiyonu ve uygulamaları”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi*, Balıkesir, (2005).

EKLER

6. EKLER

EK A Ölçüm Sistemi Üretim Aşamaları



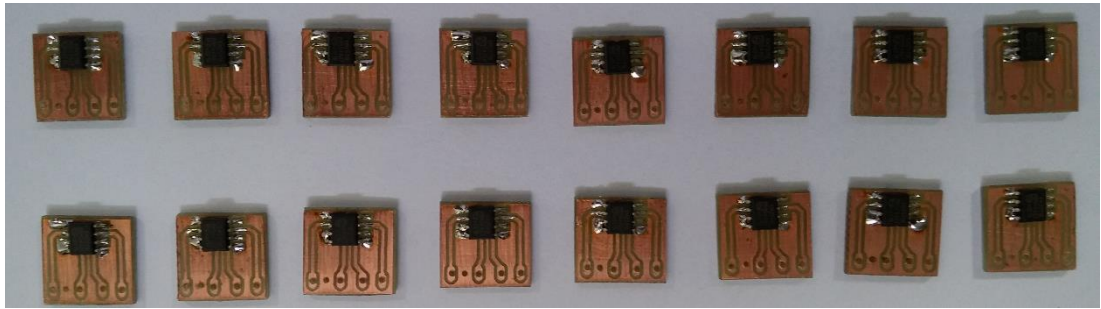
Şekil A.1: Üretim aşamasındaki mekanik sistem.



Şekil A.2: Kontrol paneli montajı öncesi mekanik sistem.



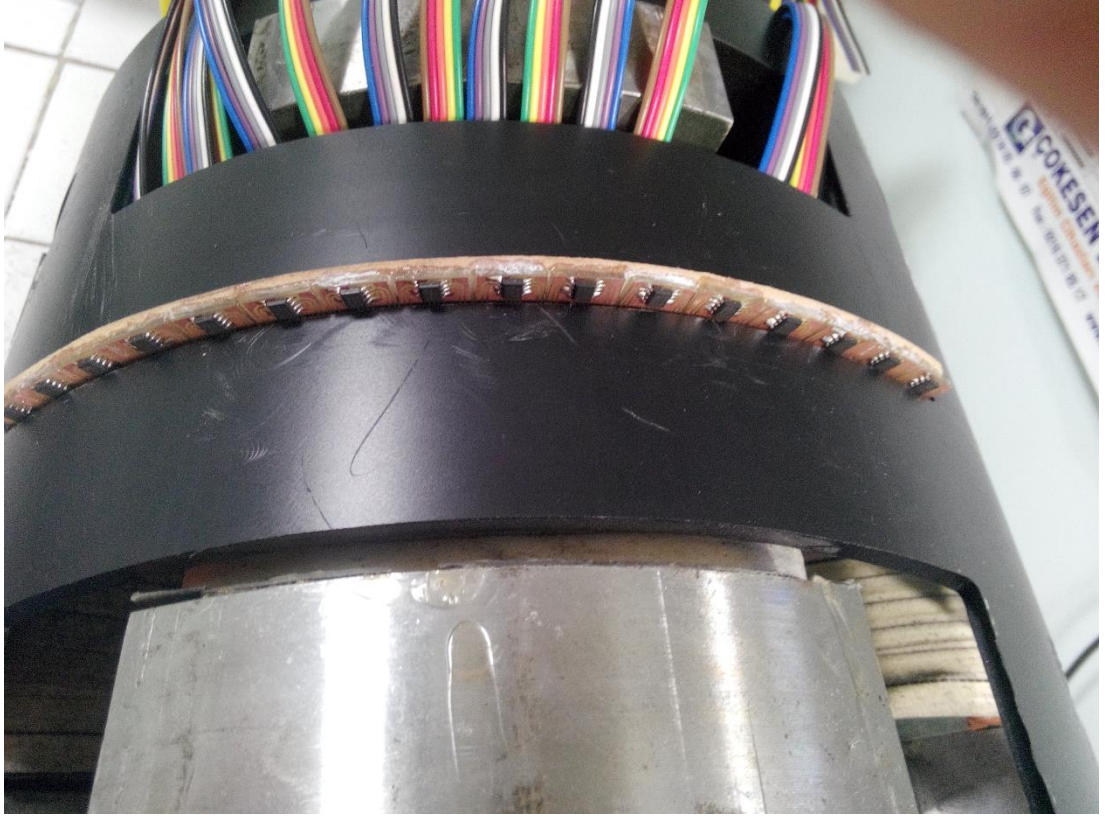
Şekil A.3: Nüvelerin montajı.



Şekil A.4: Sensör kartlarının montajı.



Şekil A.5: Kablo bağlantıları tamamlanan sensör kartları.



Şekil A.6: Sensör kartlarının PIG üzerindeki konumları.



Şekil A.7: Eksensel PIG ile gerçekleştirilen ilk deneme ölçümleri

EK B İlerleme Takip Devresi Programı

```
#include <16F628A.h>
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO       //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18)
used for I/O
#FUSES NOMCLR
#use delay(int=4000000)
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#IFDEF EXP_OUT_ENABLE
#define EXP_OUT_ENABLE PIN_A1
#define EXP_OUT_CLOCK  PIN_A0
#define EXP_OUT_DO     PIN_A2
#define NUMBER_OF_74595 1
#ENDIF
void write_expanded_outputs(BYTE* eo) {
  BYTE i;
  output_low(EXP_OUT_CLOCK);
  output_low(EXP_OUT_ENABLE);
  for(i=1;i<=NUMBER_OF_74595*8;++i) { // Clock out bits from the eo array
    if((*eo+(NUMBER_OF_74595-1))&0x80)==0)
      output_low(EXP_OUT_DO);
    else
      output_high(EXP_OUT_DO);
    shift_left(eo,NUMBER_OF_74595,0);
    output_high(EXP_OUT_CLOCK);
    output_low(EXP_OUT_CLOCK);
  }
  output_high(EXP_OUT_ENABLE);
```

```

output_low(EXP_OUT_ENABLE);
}
#define seg0 pin_b0
#define seg1 pin_b1
#define seg2 pin_b2
#define seg3 pin_b3
#define yon pin_b7
#define button pin_b4
const int digit[10]={0x3F,0x06,0x5B,0x4F,0x66,0x6D,0x7D,0x07,0x7F,0x6F};
const int anim[22]={0x79,0x54,0x58,0x5C,0x5E,0x79,0x50,0x00,0x50,0x79,0x6D,0x5C,0x38,0x1C,0x78,0x10,0x5C,0x54,0x00,0x00,0x00,0x00};
signed int16 encoder_loc=0;
unsigned int16 counter=0,old_counter=0,fark=0;
unsigned int16 encoder_res=0;
unsigned int8 syc=0,btn_syc2=0,buffer=0;
unsigned int8 data[4];
unsigned int1 nokta=0,exit=0;
float angle=0;
void menu (void);
void show_display (unsigned int16 value);
void clear_display(void);
void menu_animation(void);
//***** Timer0 Kesmesi *****
#define int_timer0 // Timer0 kesmesi
void Timer0_kesmesi () // Kesme fonksiyonu ismi
{
switch(syc)
{
case 0:
output_low(seg3);
buffer=data[0];
write_expanded_outputs(&buffer);
output_high(seg0);

```

```

break;
case 1:
output_low(seg0);
if(nokta){bit_set(data[1],7);}else{bit_clear(data[1],7);}
buffer=data[1];
write_expanded_outputs(&buffer);
output_high(seg1);
break;
case 2:
output_low(seg1);
buffer=data[2];
write_expanded_outputs(&buffer);
output_high(seg2);
break;
case 3:
output_low(seg2);
buffer=data[3];
write_expanded_outputs(&buffer);
output_high(seg3);
break;
}
syc++;if(syc>3)syc=0;
set_timer0(193);
clear_interrupt(int_timer0);
}
void main()
{
set_tris_a(0x00);
set_tris_b(0xD0);
output_a(0x00);
output_b(0x00);
setup_timer_0(T0_INTERNAL | T0_8_BIT | T0_DIV_16 );
setup_timer_1(T1_EXTERNAL | T1_DIV_BY_1);
enable_interrupts(INT_timer0);

```

```

set_timer0(193); //2ms aralıklarla kesme oluşsun.
set_timer1(0);
enable_interrupts(INT_timer0);
encoder_res=(((unsigned int)16)read_eeprom(1)<<8 | read_eeprom(0));
delay_ms(100);
enable_interrupts(GLOBAL); //Kesmeler Açılıyor.
if(encoder_res>4096)menu();
nokta=1;
show_display(0);
while(TRUE)
{
counter=(get_timer1())%encoder_res;//Timer1 İn modu alınıyor.
if(counter!=old_counter)// Sayaçta Değişim varsa
{
if(counter<old_counter){
fark=(encoder_res-old_counter)+counter;
}else{
fark=counter-old_counter;
}
if(input(yon))//Sağa Dönüyorsa
{
encoder_loc+=fark;
if(encoder_loc>=encoder_res)encoder_loc=encoder_loc-encoder_res;
}
else
{
encoder_loc-=fark;
if(encoder_loc<0)encoder_loc=encoder_res-abs(encoder_loc);
}
old_counter=counter;
angle=(float)(encoder_loc*360.0)/encoder_res;
show_display(angle*10);
}
if(!input(button))

```

```

{
while(!input(button))
{
btn_syc2++;
if(btn_syc2>100)
{
exit=1;
break;
}
delay_ms(10);
}
btn_syc2=0;
if(!exit)
{
encoder_loc=0;
counter=0;old_counter=0;
fark=0;
set_timer1(0);
angle=(float)(encoder_loc*360.0)/encoder_res;
show_display(angle*10);
}
}
if(exit)
{
exit=0;
nokta=0;
clear_display();
menu();
}
}
}

void menu(void){
clear_display();
menu_animation();

```

```

unsigned int8 menu_syc=read_eeprom(2);if(menu_syc>15)menu_syc=0;
unsigned int8 btn_syc=0;
int1 exit_flag=0;
while(TRUE)
{
switch(menu_syc)
{
case 0:
encoder_res=100;
show_display(encoder_res);
break;
case 1:
encoder_res=256;
show_display(encoder_res);
break;
case 3:
encoder_res=360;
show_display(encoder_res);
break;
case 4:
encoder_res=400;
show_display(encoder_res);
break;
case 5:
encoder_res=512;
show_display(encoder_res);
break;
case 6:
encoder_res=600;
show_display(encoder_res);
break;
case 7:
encoder_res=720;
show_display(encoder_res);

```

```
break;
case 8:
encoder_res=1000;
show_display(encoder_res);
break;
case 9:
encoder_res=1024;
show_display(encoder_res);
break;
case 10:
encoder_res=1800;
show_display(encoder_res);
break;
case 11:
encoder_res=2048;
show_display(encoder_res);
break;
case 12:
encoder_res=3000;
show_display(encoder_res);
break;
case 13:
encoder_res=3600;
show_display(encoder_res);
break;
case 14:
encoder_res=4000;
show_display(encoder_res);
break;
case 15:
encoder_res=4096;
show_display(encoder_res);
break;
}
```

```

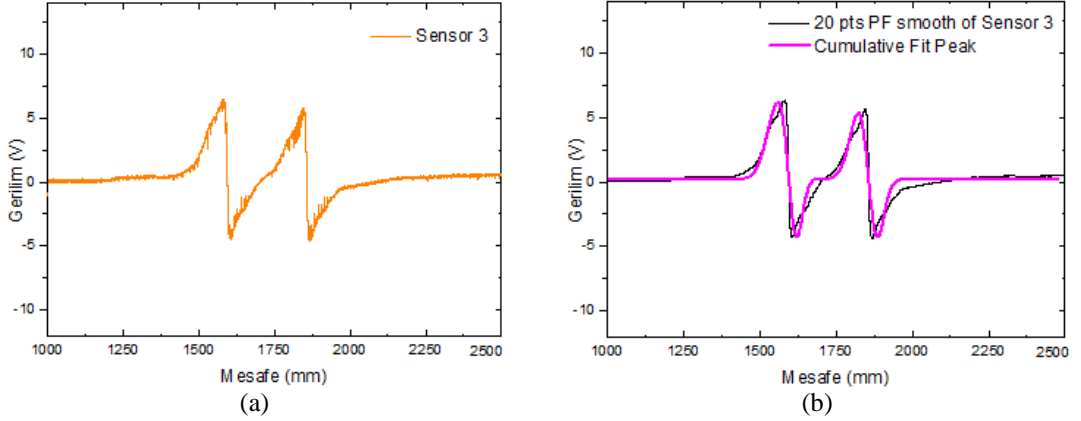
if(!input(button))
{
menu_syc++;if(menu_syc>15)menu_syc=0;
while(!input(button))
{
btn_syc++;
if(btn_syc>100)
{
exit_flag=1;
break;
}
delay_ms(10);
}
btn_syc=0;
}
if(exit_flag)break;
}
write_eeprom(0,(encoder_res&0x00FF));
write_eeprom(1,((encoder_res>>8)&0x00FF));
write_eeprom(2,(menu_syc-1));
data[0]=64;
data[1]=64;
data[2]=64;
data[3]=64;
delay_ms(500);
while(!input(button)){ }
nokta=1;
show_display(0);
}
void show_display(unsigned int16 value){
data[0]=digit[value%10];
data[1]=digit[(value/10)%10];
data[2]=digit[(value/100)%10];
data[3]=digit[(value/1000)%10];
}

```

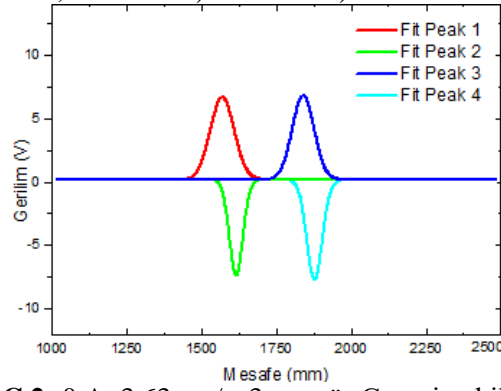


```
}  
void clear_display(void){  
data[0]=0;  
data[1]=0;  
data[2]=0;  
data[3]=0;  
}  
void menu_animation(void){  
int i=0;  
for(i=0;i<22;i++)  
{  
data[3]=data[2];  
data[2]=data[1];  
data[1]=data[0];  
data[0]=anim[i];  
delay_ms(150);  
}  
}
```

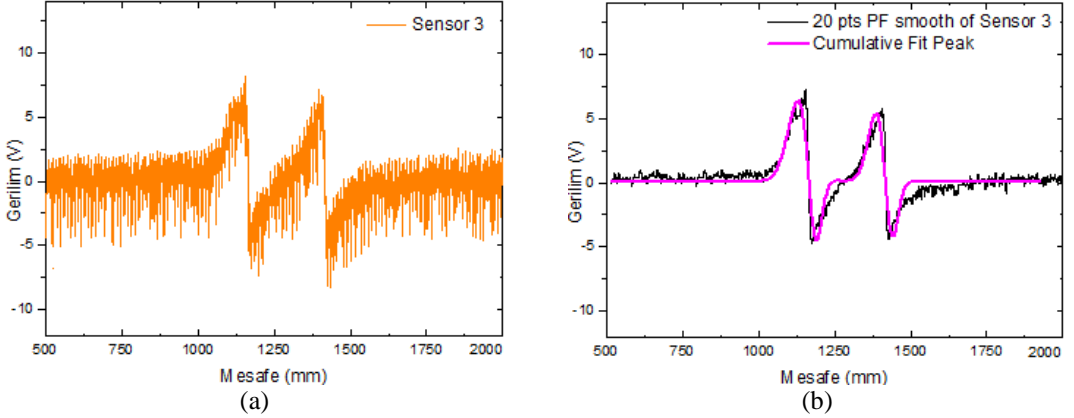
EK C Farklı Hız ve Akım Değerleri için Grafik Örnekleri



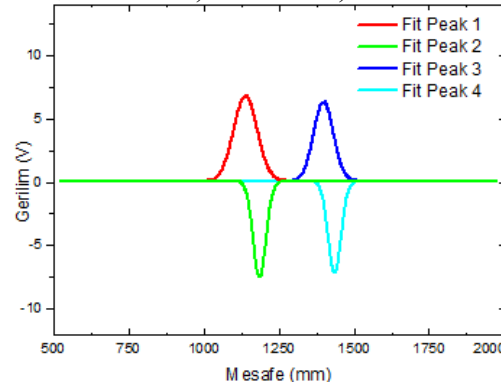
Şekil C.1: 0 A, 3.63 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



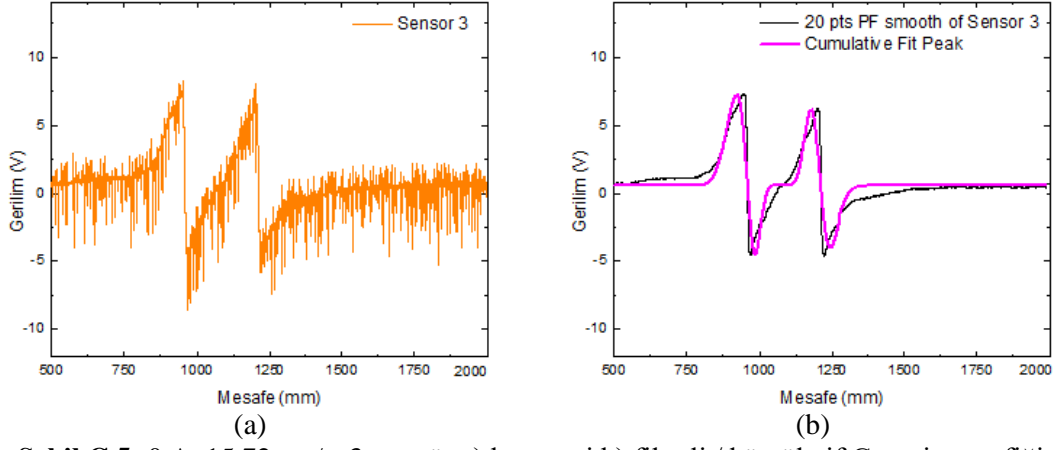
Şekil C.2: 0 A, 3.63 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



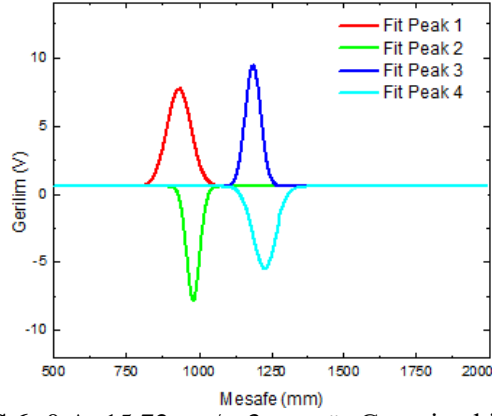
Şekil C.3: 0 A, 9.68 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



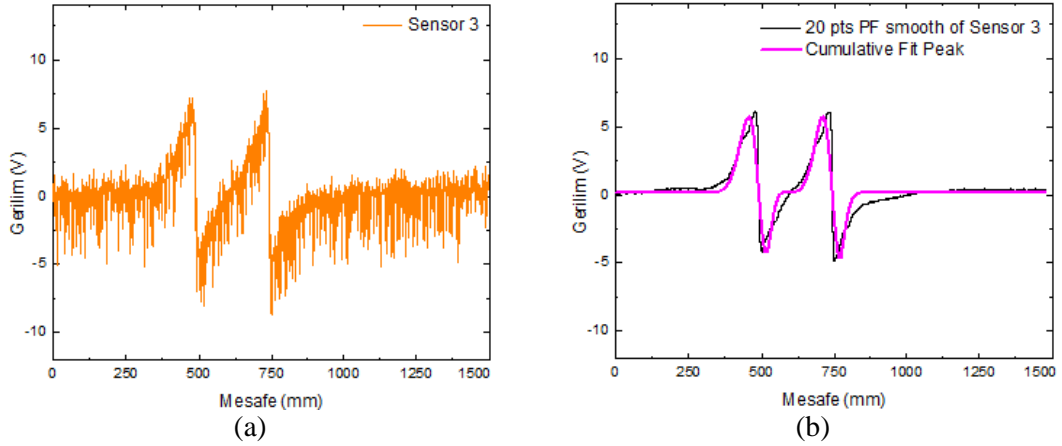
Şekil C.4: 0 A, 9.68 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



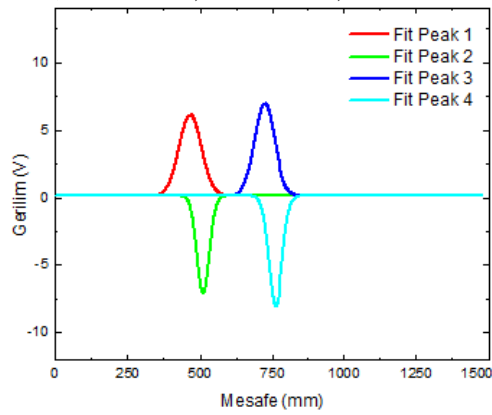
Şekil C.5: 0 A, 15.72 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



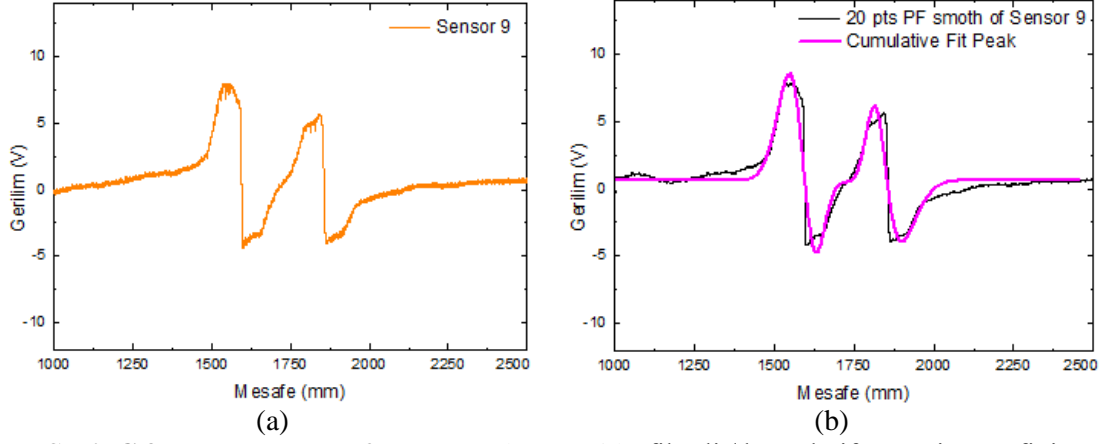
Şekil C.6: 0 A, 15.72 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



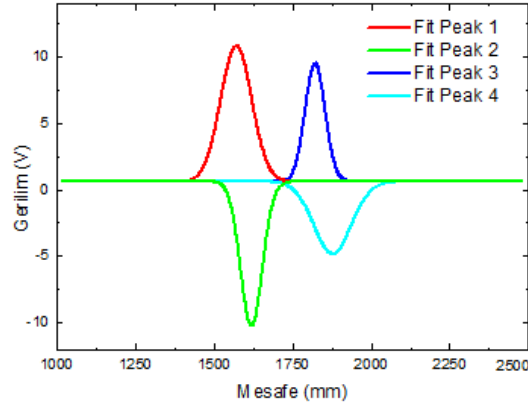
Şekil C.7: 0 A, 21.77 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



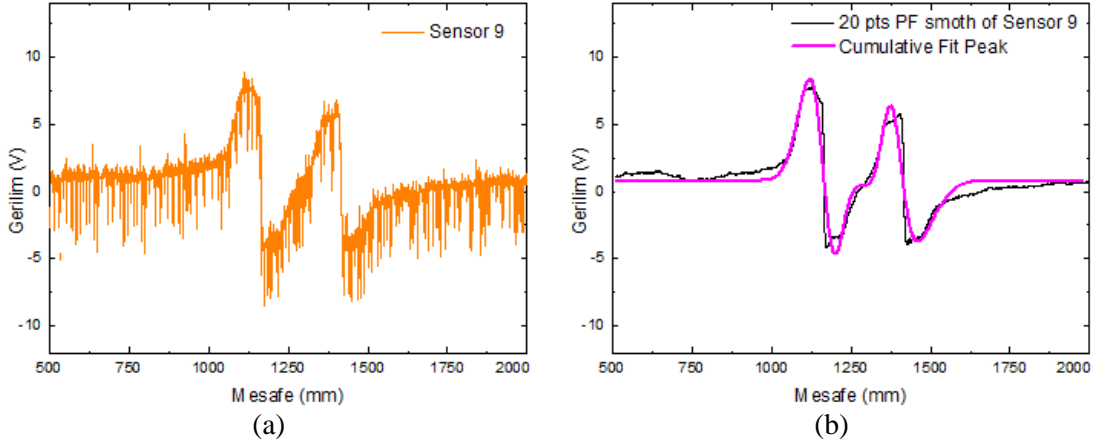
Şekil C.8: 0 A, 21.77 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



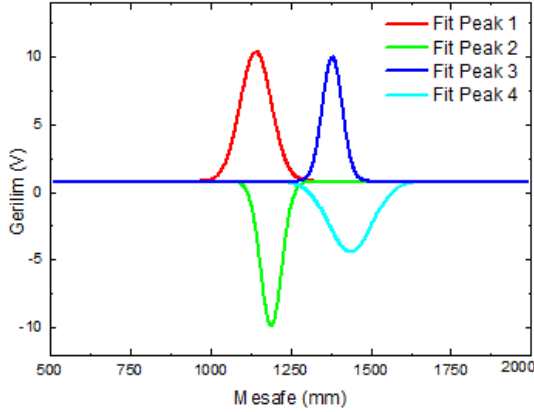
Şekil C.9: 0 A, 3.63 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



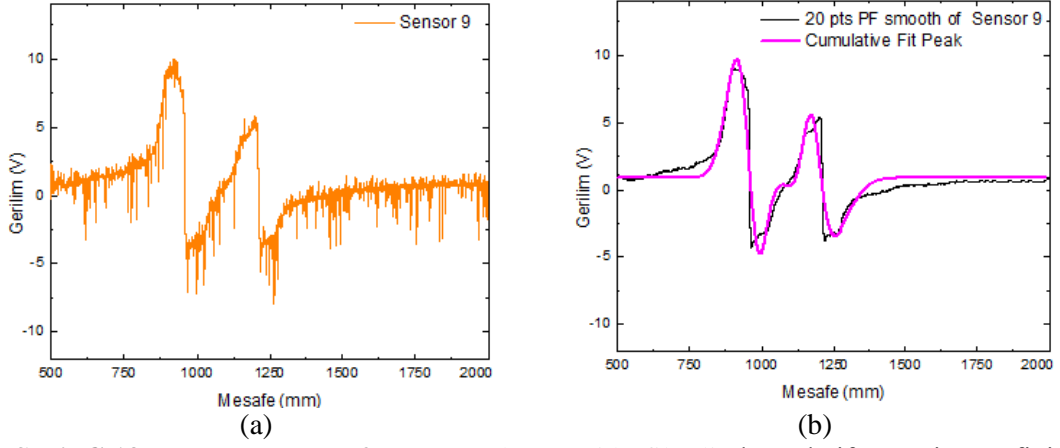
Şekil C.10: 0 A, 3.63 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler



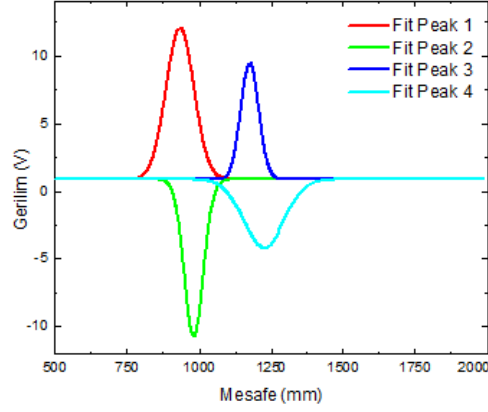
Şekil C.11: 0 A, 9.68 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



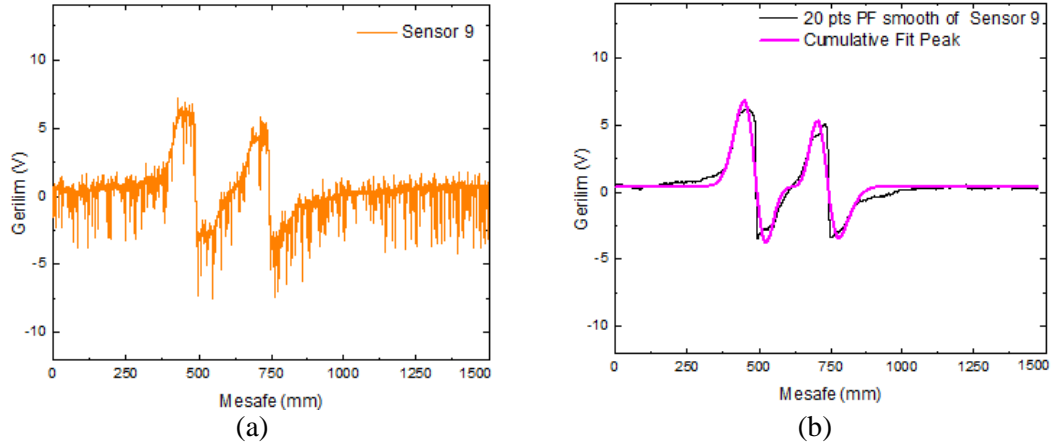
Şekil C.12: 0 A, 9.68 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler



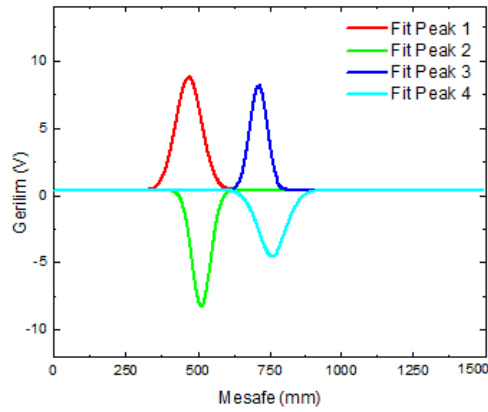
Şekil C.13: 0 A, 15.72 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



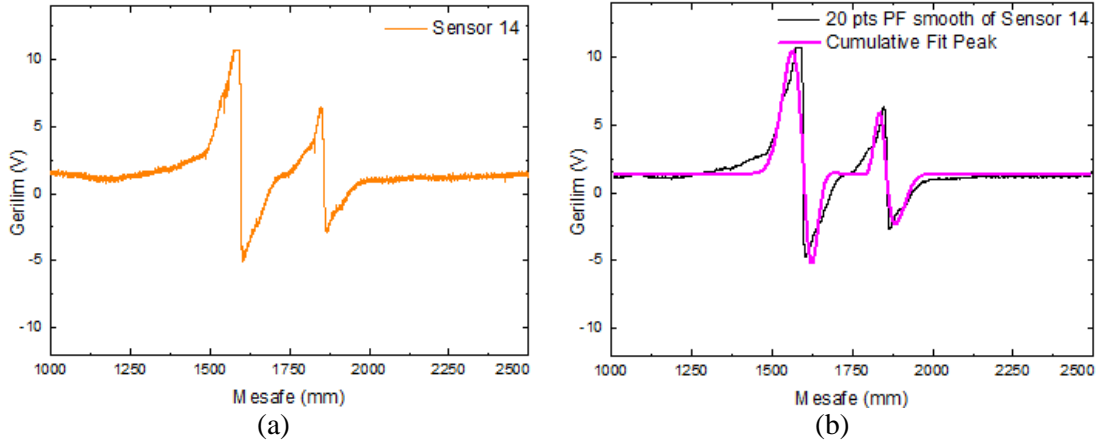
Şekil C.148: 0 A, 15.72 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler



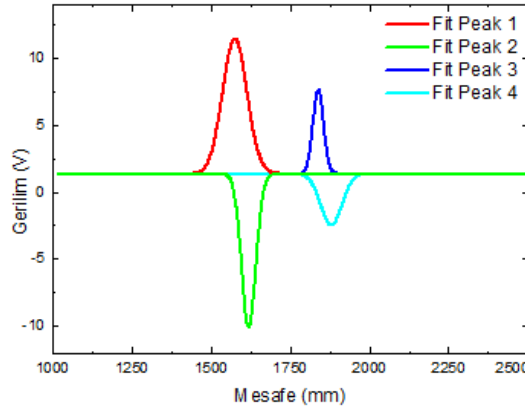
Şekil C.15: 0 A, 21.77 cm/s, 9. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



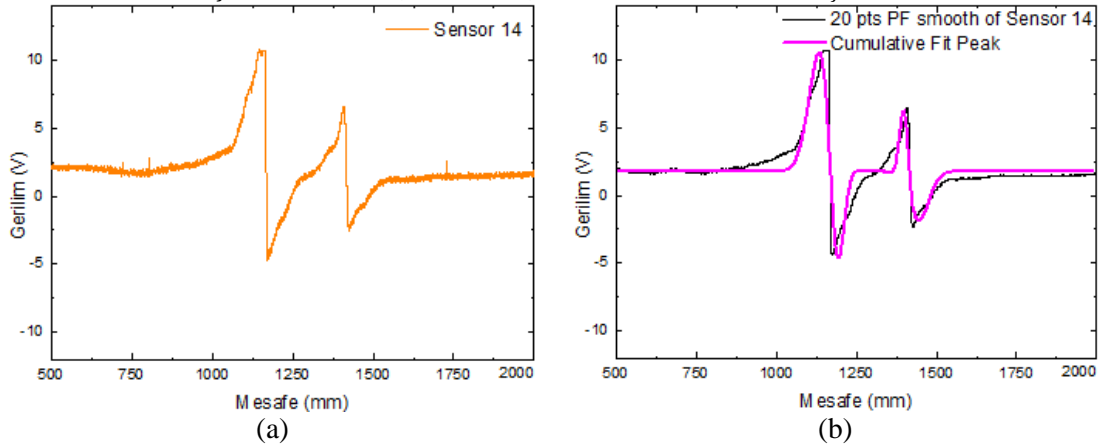
Şekil C.16: 0 A, 21.77 cm/s, 9. sensör Gaussian bileşenler



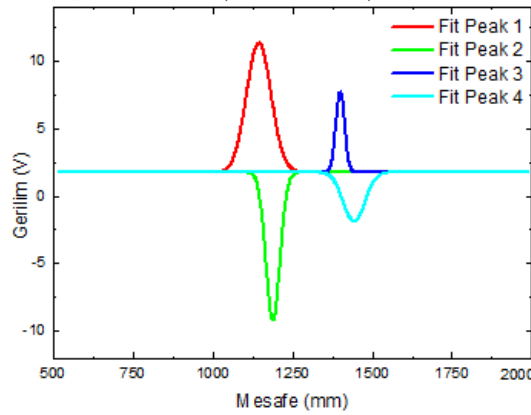
Şekil C.17: 0 A, 3.63 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



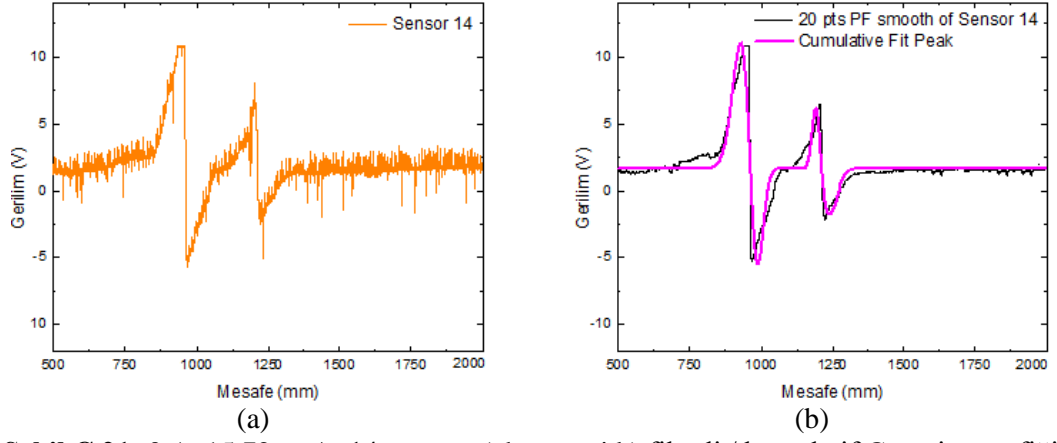
Şekil C.18: 0 A, 3.63 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



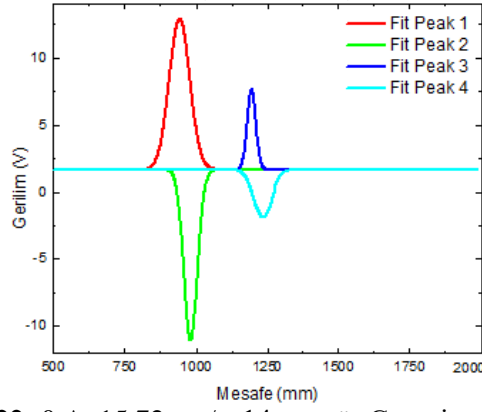
Şekil C.19: 0 A, 9.68 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



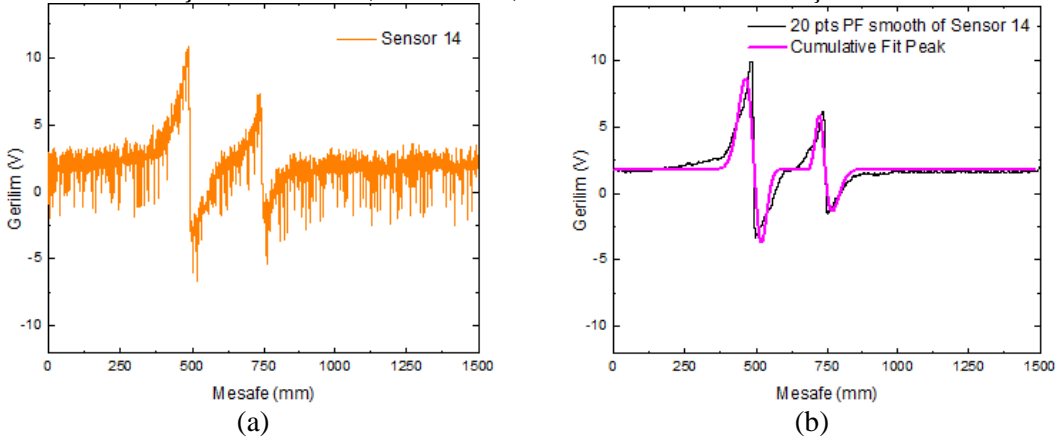
Şekil C.20: 0 A, 9.68 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



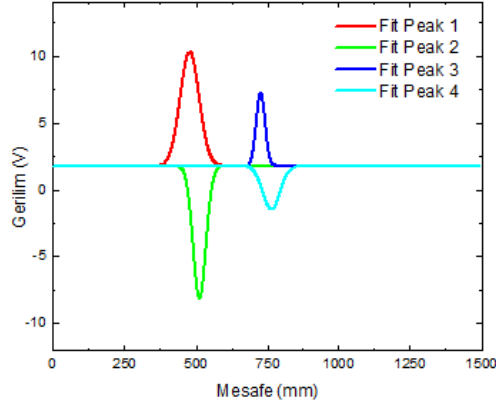
Şekil C.21: 0 A, 15.72 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



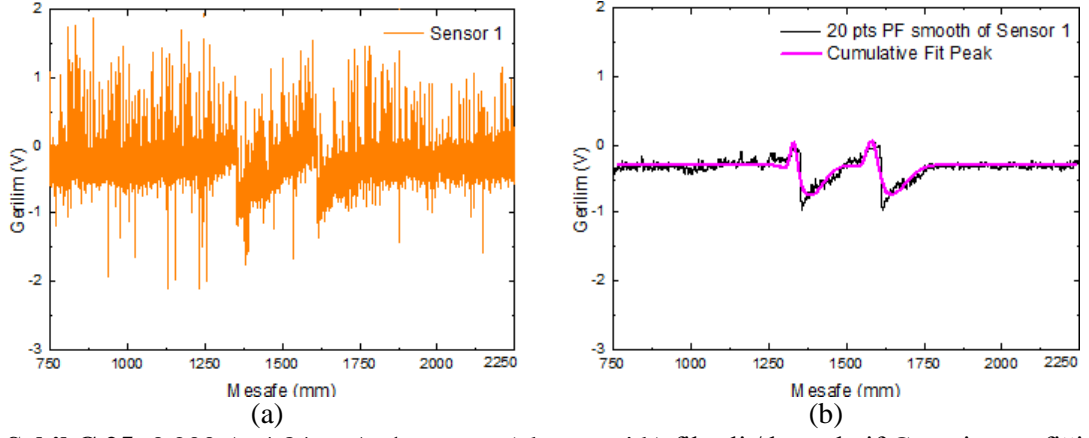
Şekil C.22: 0 A, 15.72 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



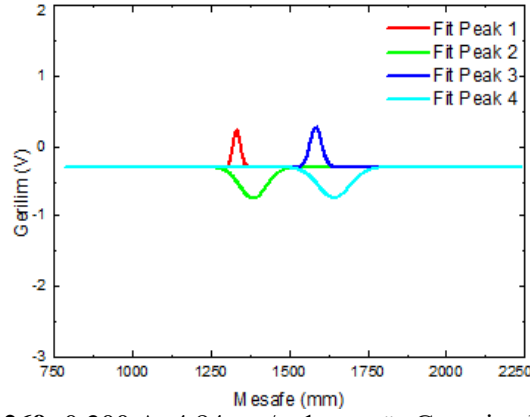
Şekil C.23: 0 A, 21.77 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



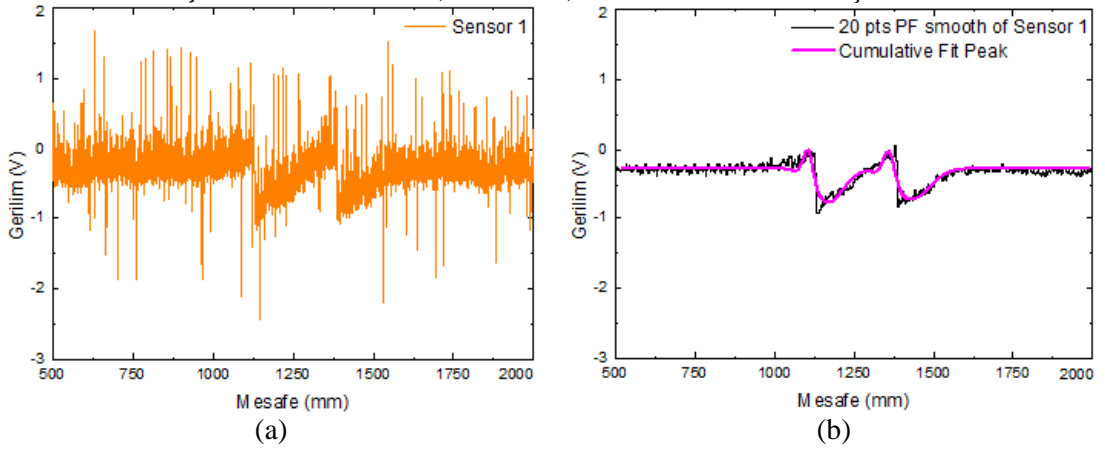
Şekil C.24: 0 A, 21.77 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



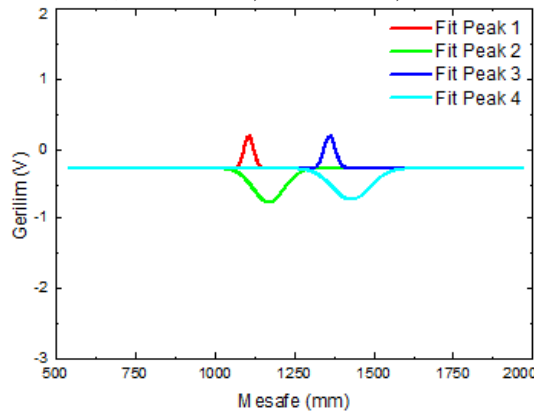
Şekil C.25: 0.200 A, 4.84 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



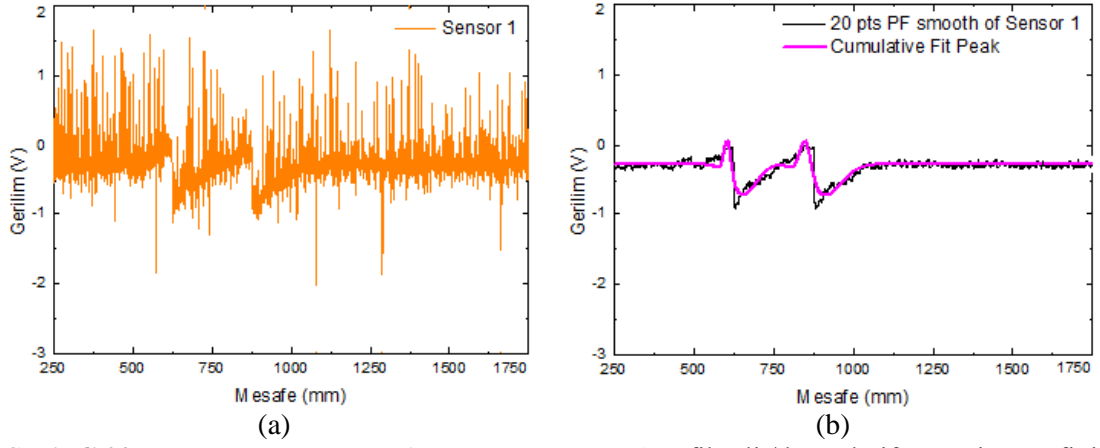
Şekil C.269: 0.200 A, 4.84 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler



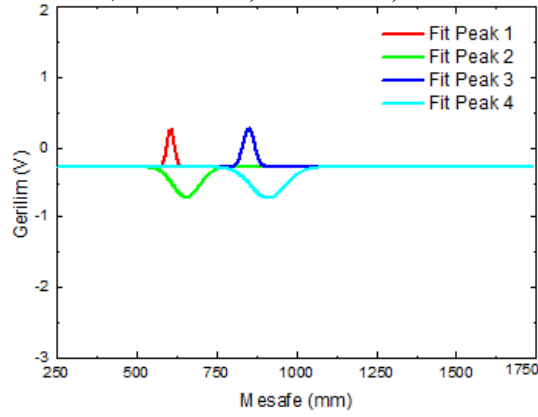
Şekil C.27: 0.200 A, 10.89 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



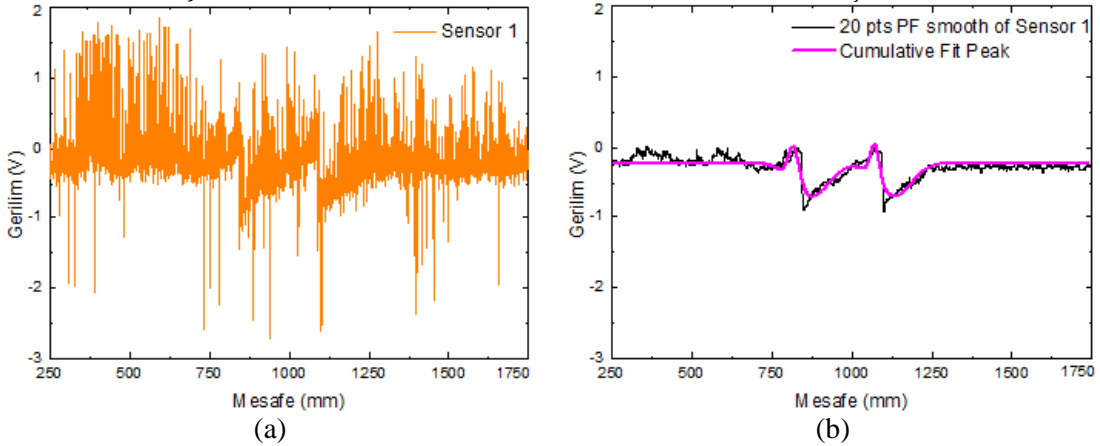
Şekil C.28: 0.200 A, 10.89 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler



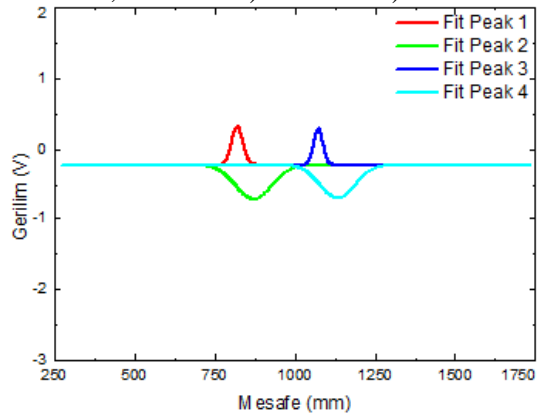
Şekil C.29: 0.200 A, 16.93 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



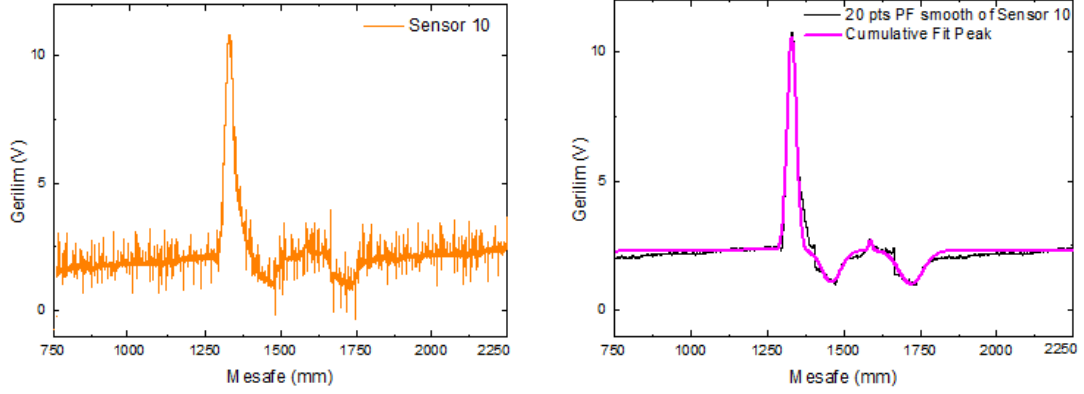
Şekil C.30: 0.200 A, 16.93 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler



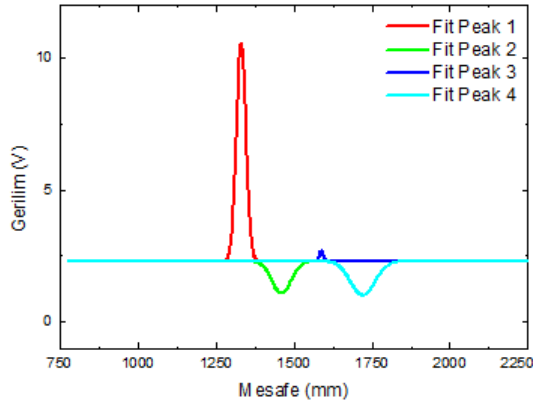
Şekil C.31: 0.200 A, 22.98 cm/s, 1. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



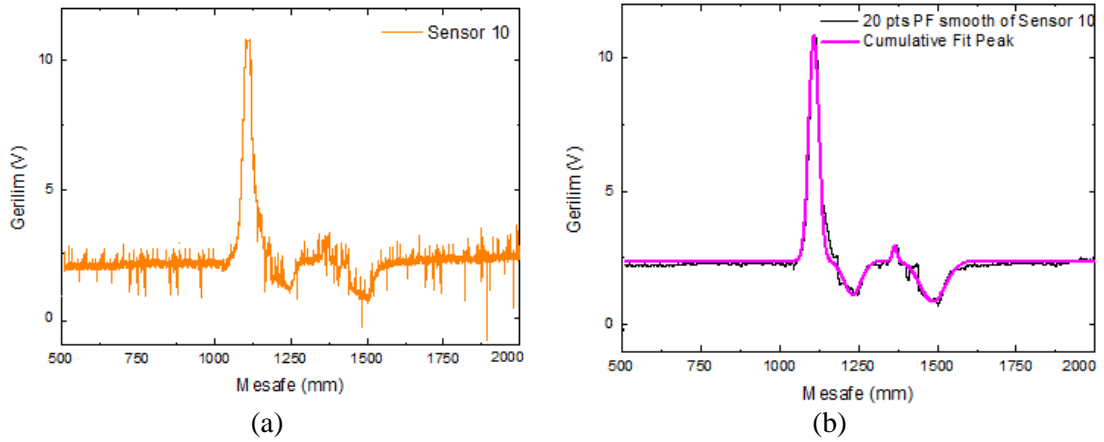
Şekil C.32: 0.200 A, 22.98 cm/s, 1. sensör Gaussian bileşenler



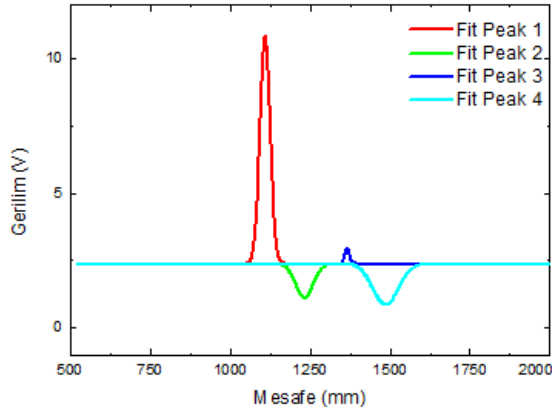
Şekil C.33: 0.200 A, 4.84 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



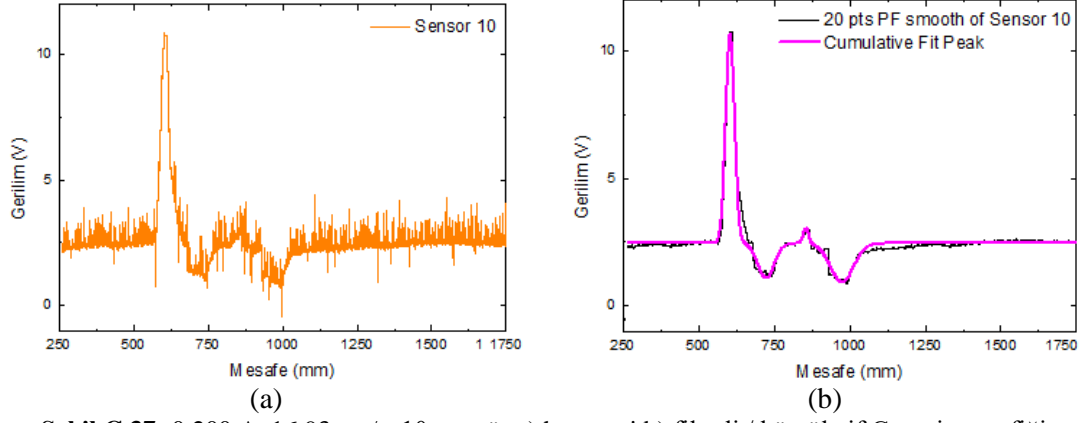
Şekil C.34: 0.200 A, 4.84 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler



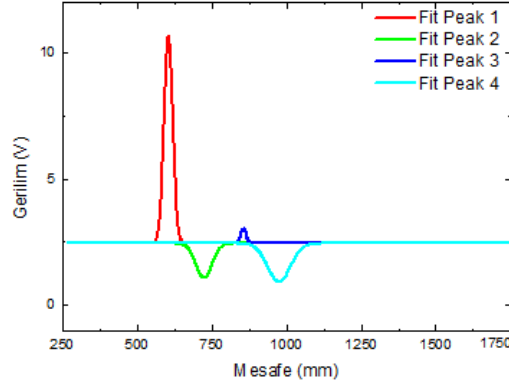
Şekil C.35: 0.200 A, 10.89 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



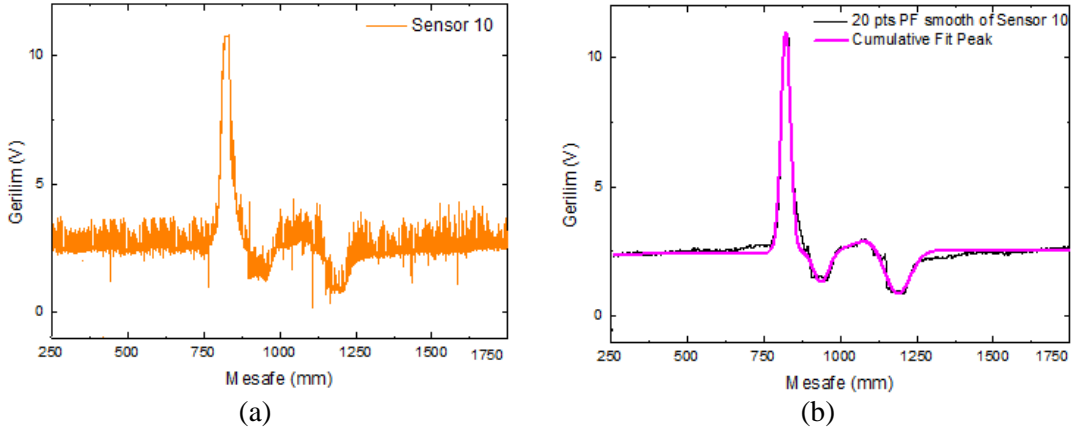
Şekil C.36: 0.200 A, 10.89 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler



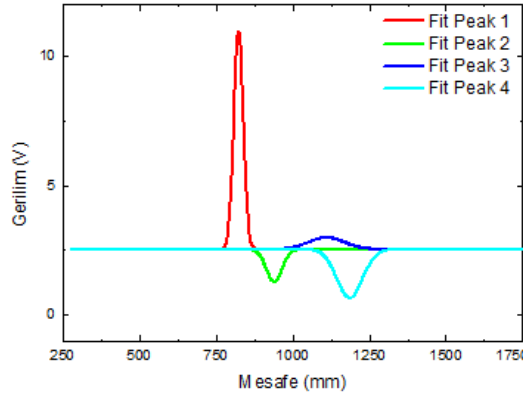
Şekil C.37: 0.200 A, 16.93 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



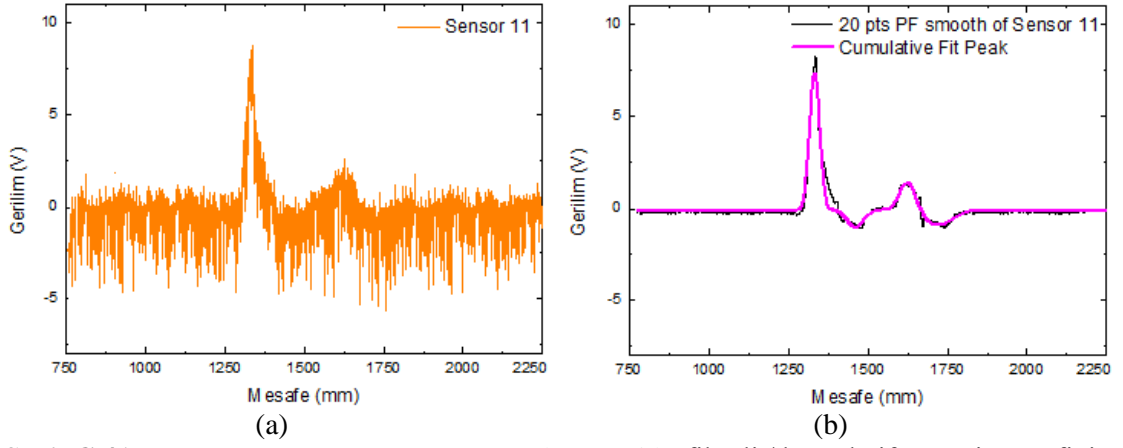
Şekil C.38: 0.200 A, 16.93 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler



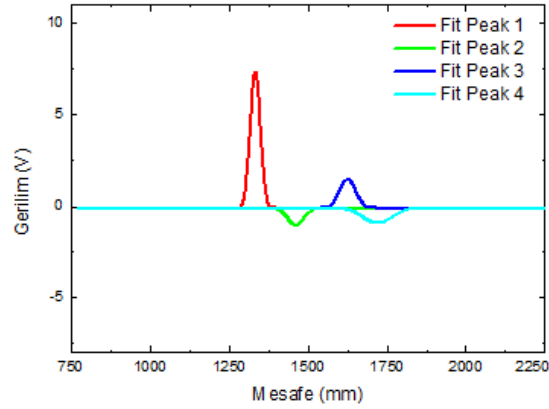
Şekil C.39: 0.200 A, 22.98 cm/s, 10. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



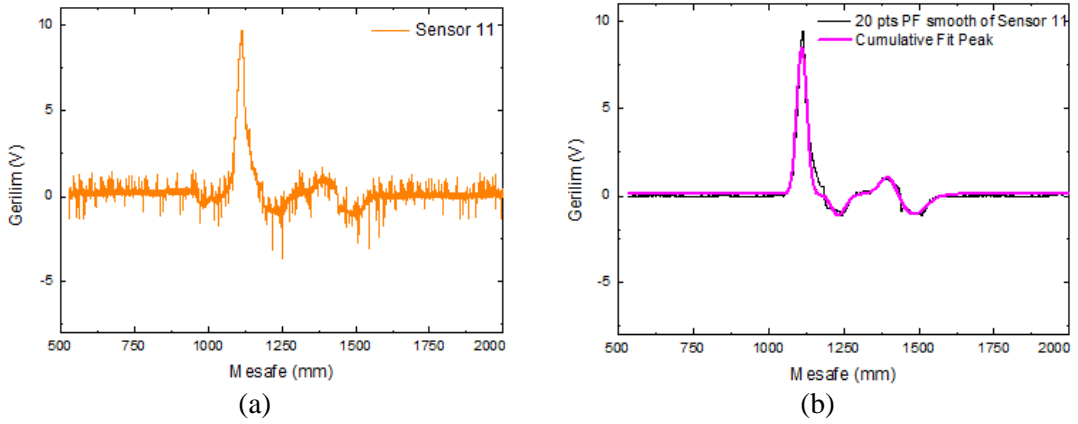
Şekil C.40: 0.200 A, 22.98 cm/s, 10. sensör Gaussian bileşenler



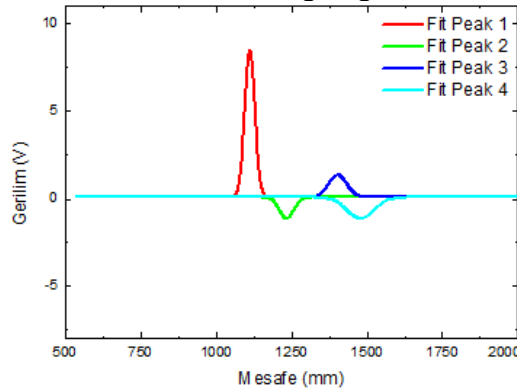
Şekil C.41: 0.200 A, 4.84 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



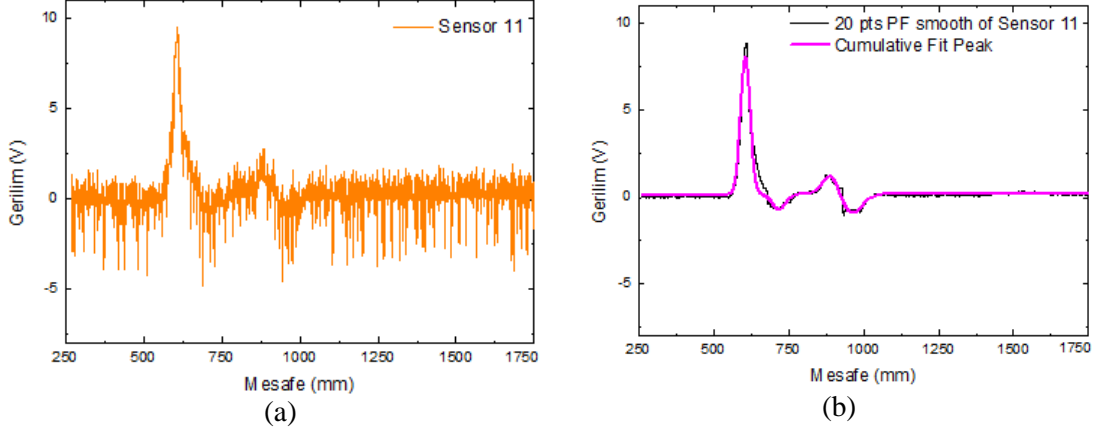
Şekil C.42: 0.200 A, 4.84 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler



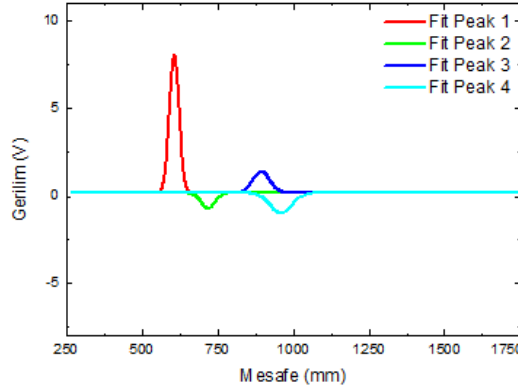
Şekil C.43: 0.200 A, 10.89 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



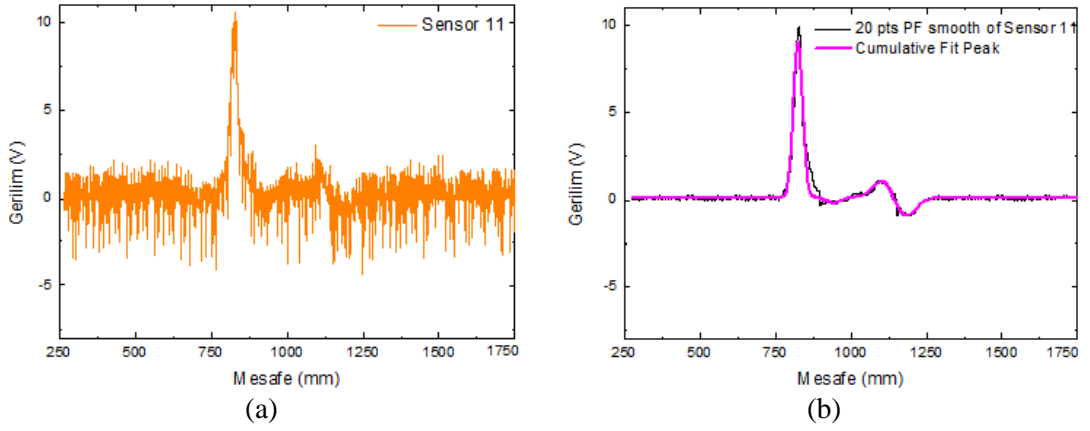
Şekil C.44: 0.200 A, 10.89 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler



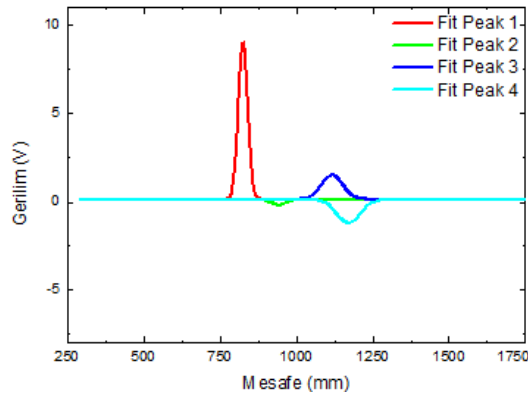
Şekil C.45: 0.200 A, 16.93 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



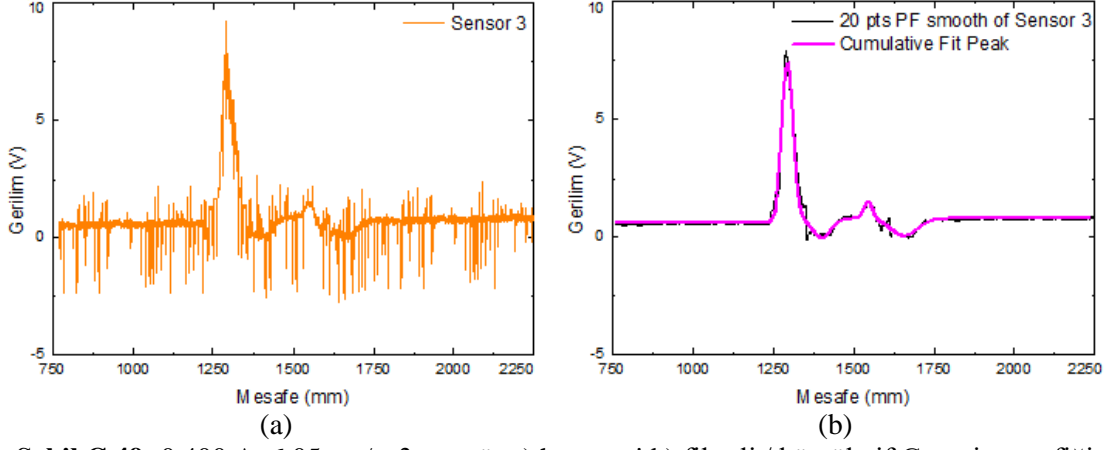
Şekil C.46: 0.200 A, 16.93 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler



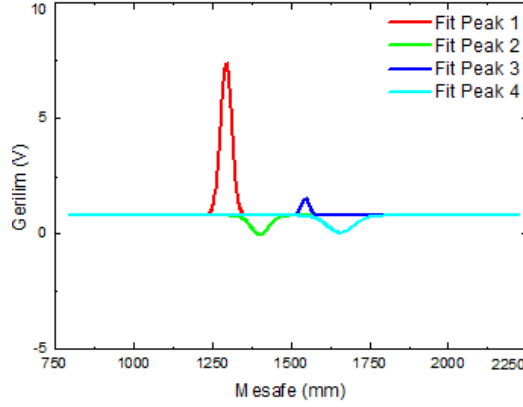
Şekil C.47: 0.200 A, 22.98 cm/s, 11. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



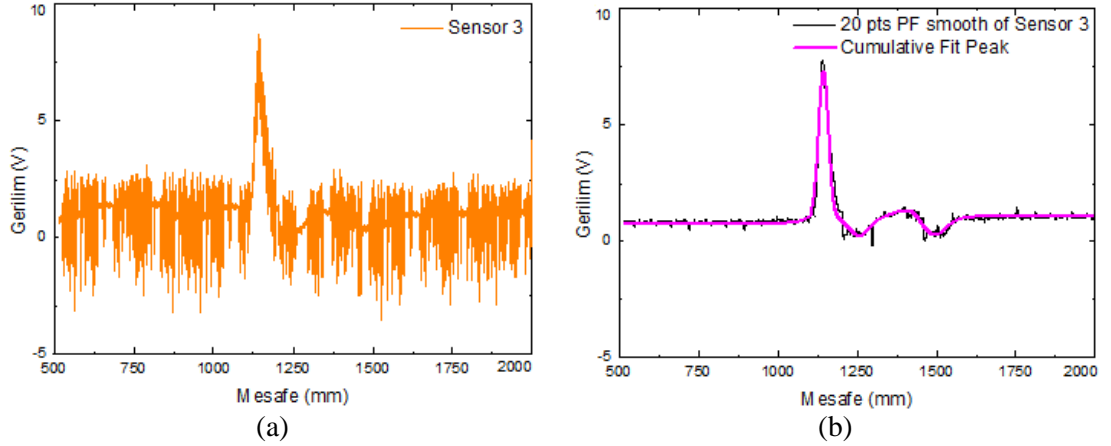
Şekil C.48: 0.200 A, 22.98 cm/s, 11. sensör Gaussian bileşenler



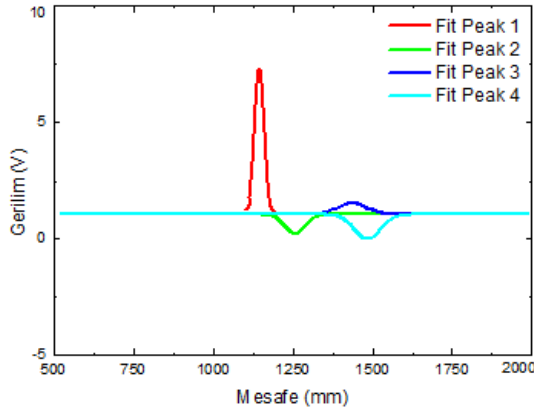
Şekil C.49: 0.400 A, 6.05 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



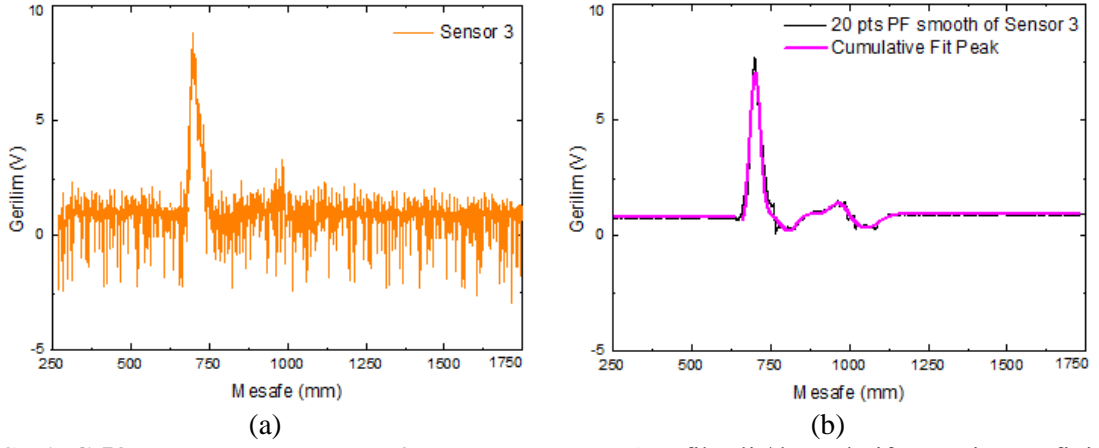
Şekil C.50: 0.400 A, 6.05 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



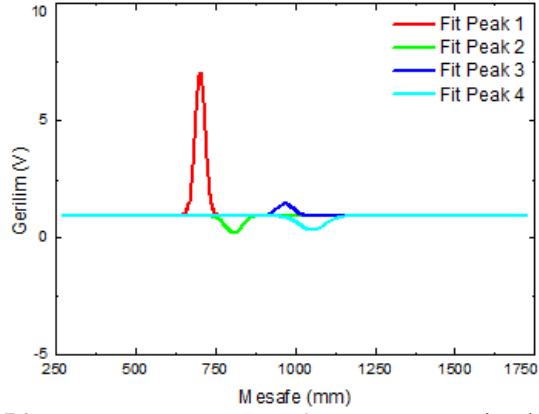
Şekil C.51: 0.400 A, 12.10 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



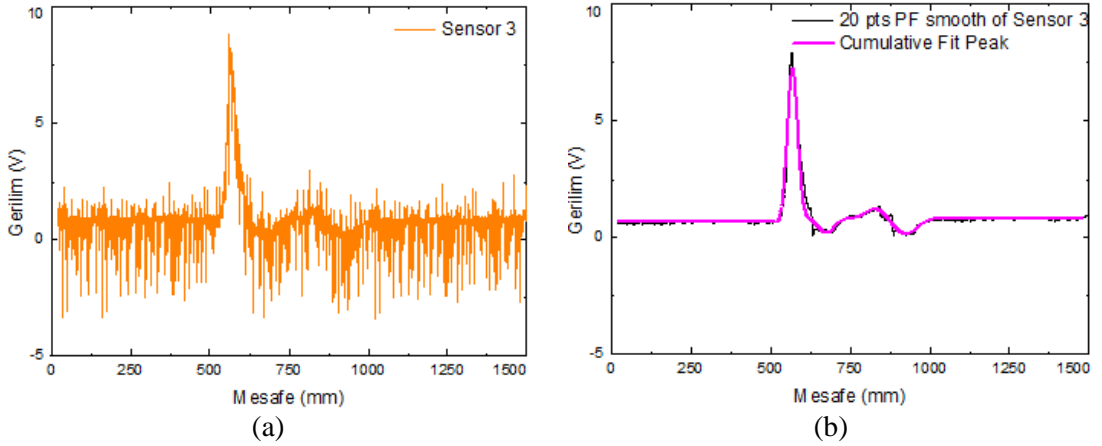
Şekil C.52: 0.400 A, 12.10 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



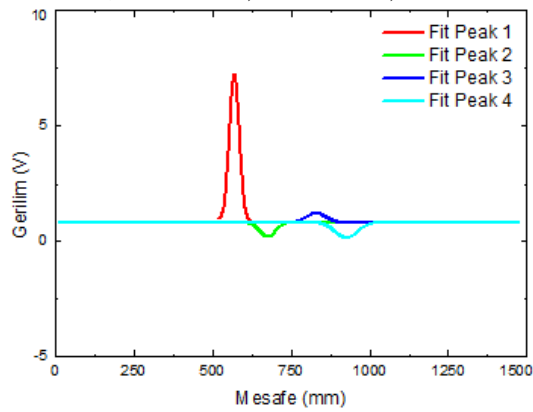
Şekil C.53: 0.400 A, 18.14 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



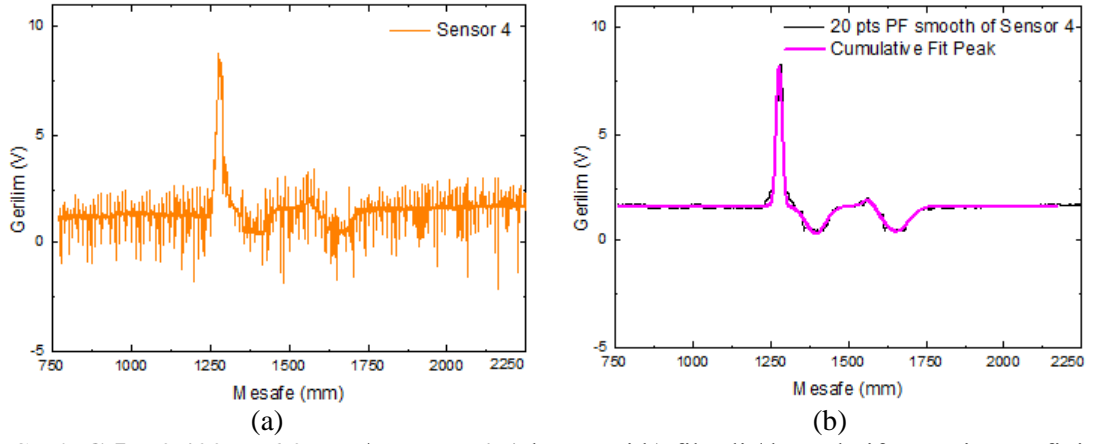
Şekil C.54: 0.400 A, 18.14 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



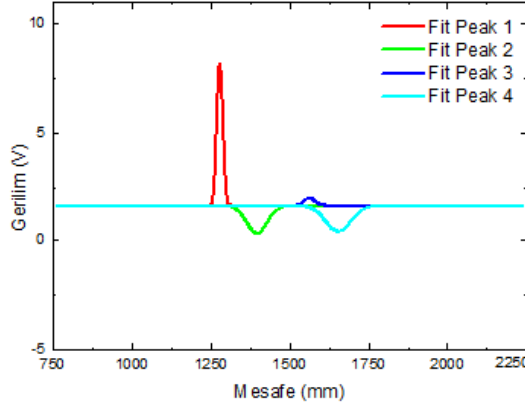
Şekil C.55: 0.400 A, 24.19 cm/s, 3. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



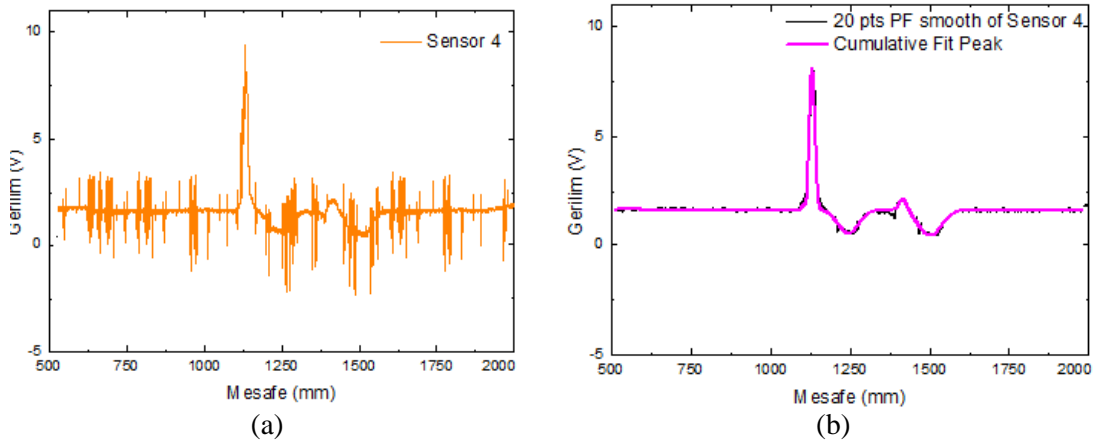
Şekil C.56: 0.400 A, 24.19 cm/s, 3. sensör Gaussian bileşenler



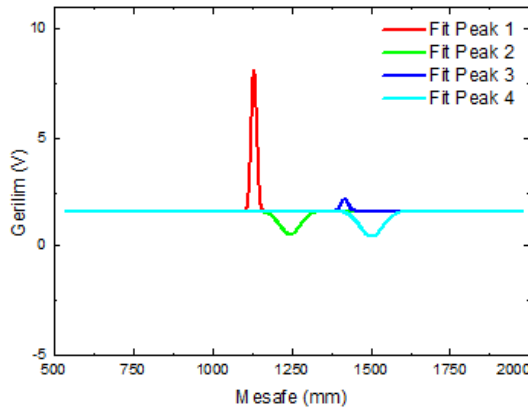
Şekil C.57: 0.400 A, 6.05 cm/s, sensör 4 a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



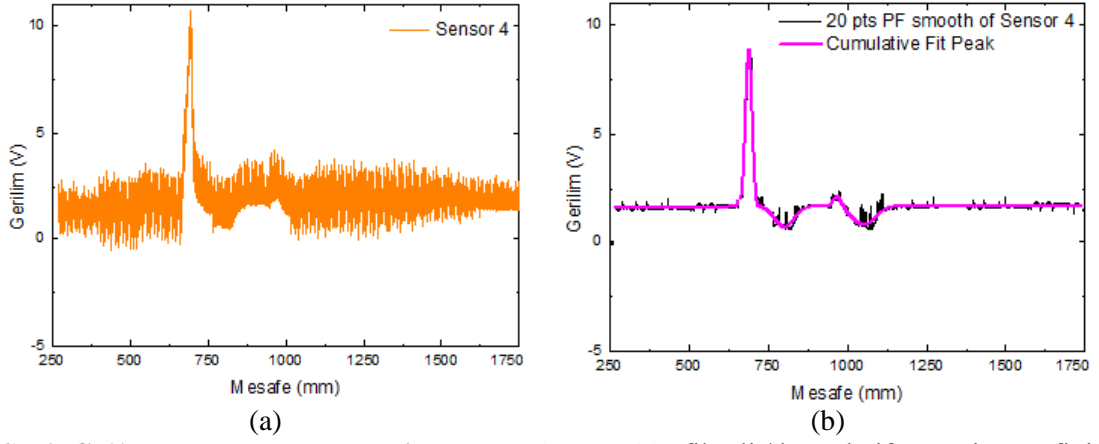
Şekil C.58: 0.400 A, 6.05 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler



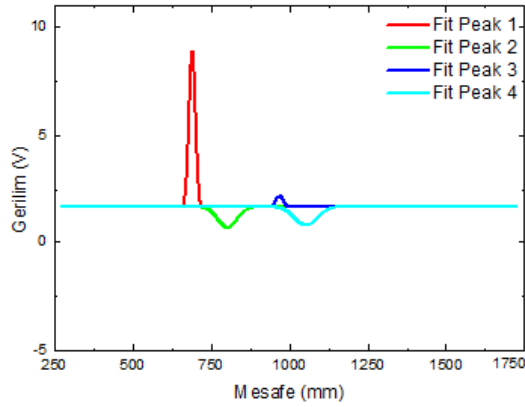
Şekil C.59: 0.400 A, 12.10 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



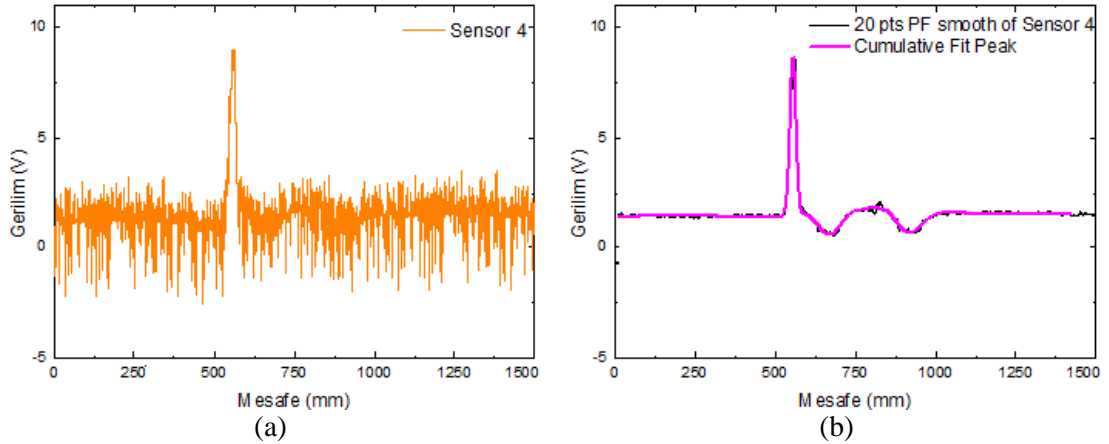
Şekil C.60: 0.400 A, 12.10 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler



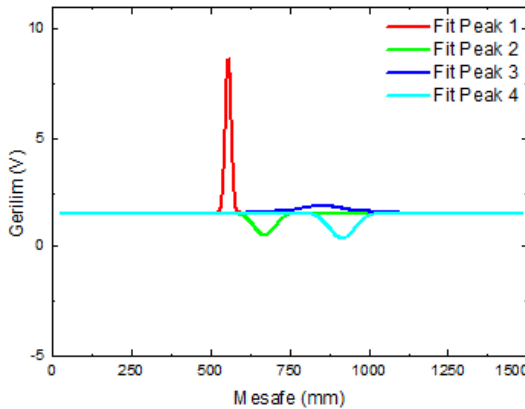
Şekil C.61: 0.400 A, 18.14 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



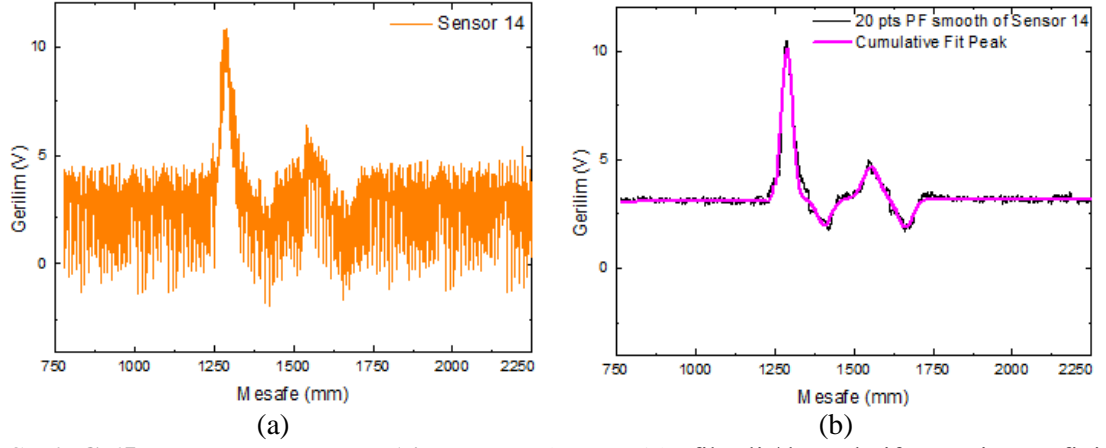
Şekil C.62: 0.400 A, 18.14 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler



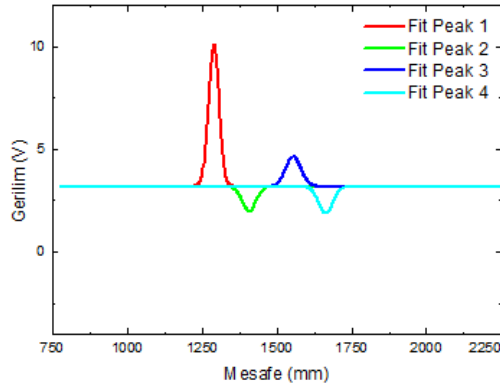
Şekil C.63: 0.400 A, 24.19 cm/s, 4. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



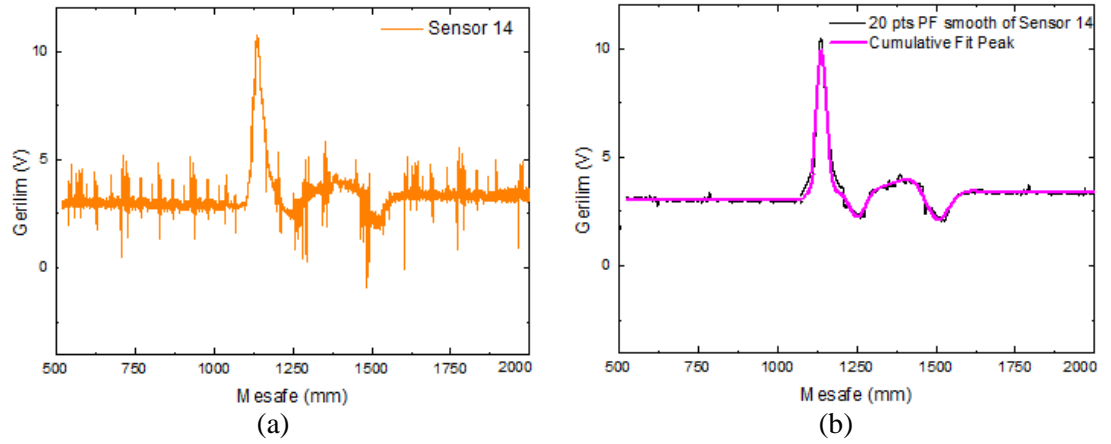
Şekil C.64: 0.400 A, 24.19 cm/s, 4. sensör Gaussian bileşenler



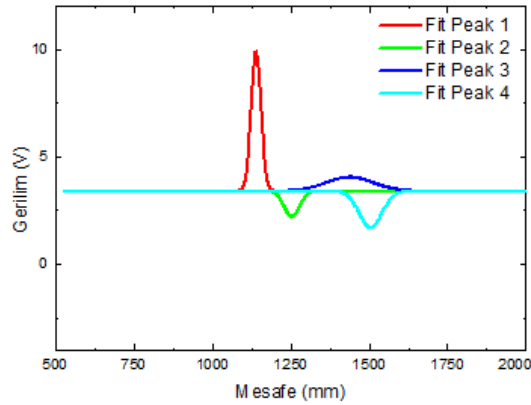
Şekil C.65: 0.400 A, 6.05 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



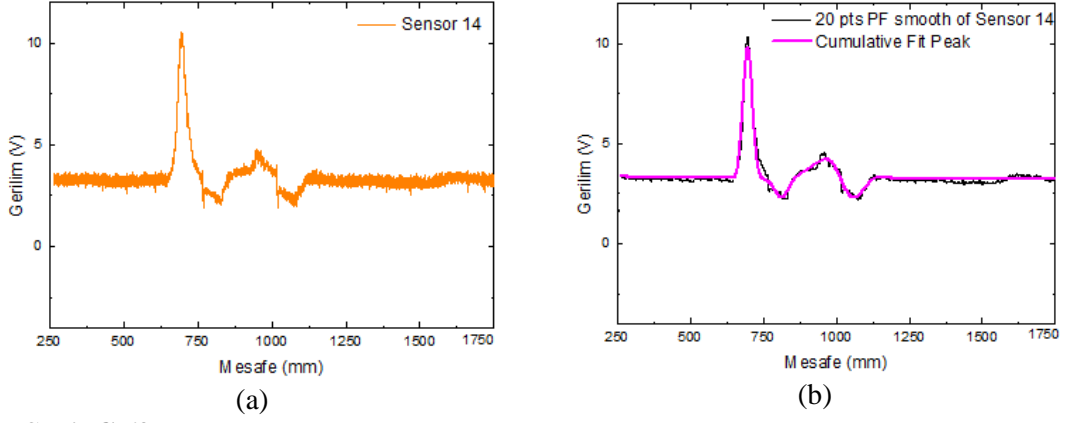
Şekil C.66: 0.400 A, 6.05 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



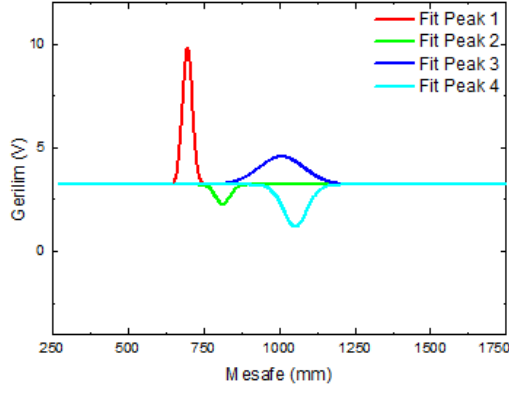
Şekil C.67: 0.400 A, 12.10 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



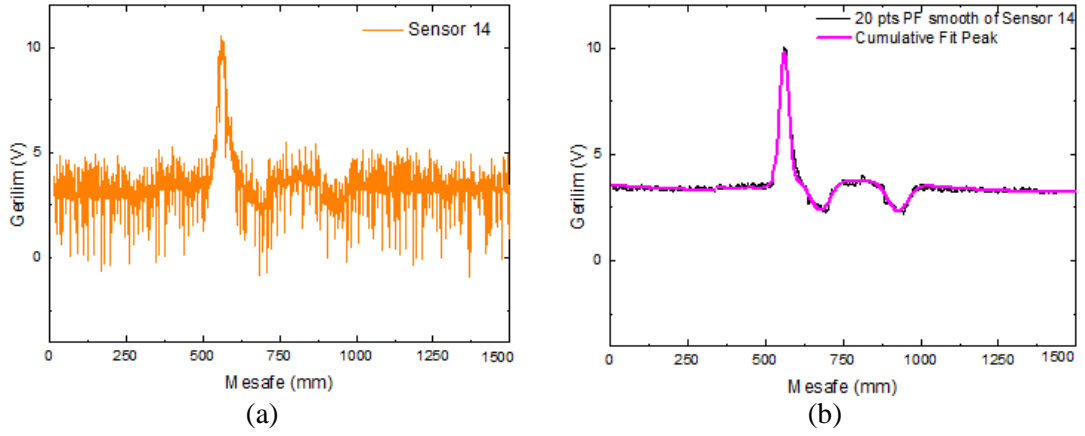
Şekil C.68: 0.400 A, 12.10 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



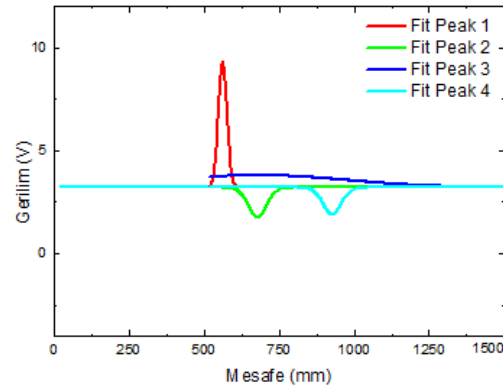
Şekil C.69: 0.400 A, 18.14 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



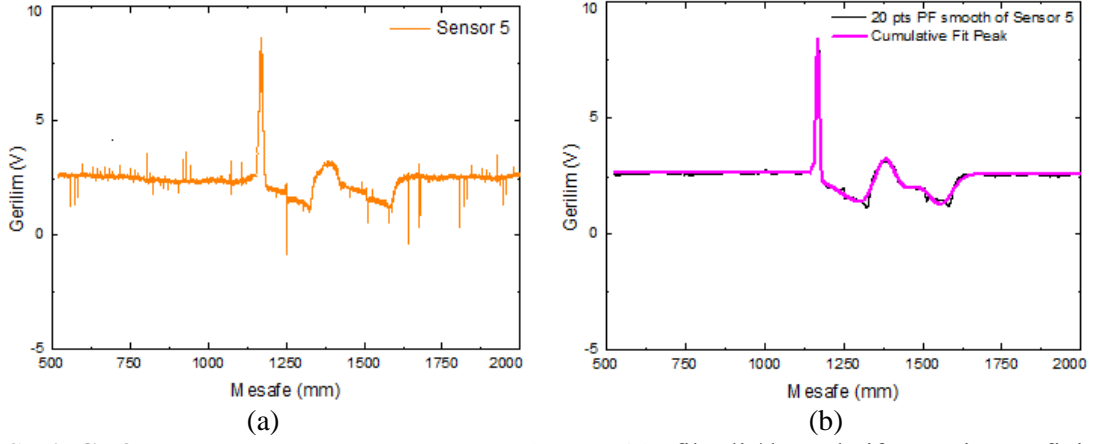
Şekil C.70: 0.400 A, 18.14 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



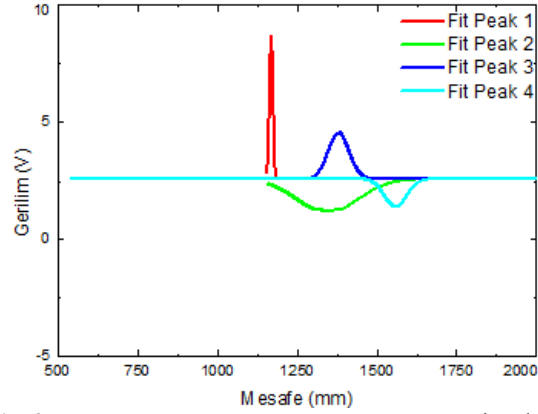
Şekil C.71: 0.400 A, 24.19 cm/s, 14. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



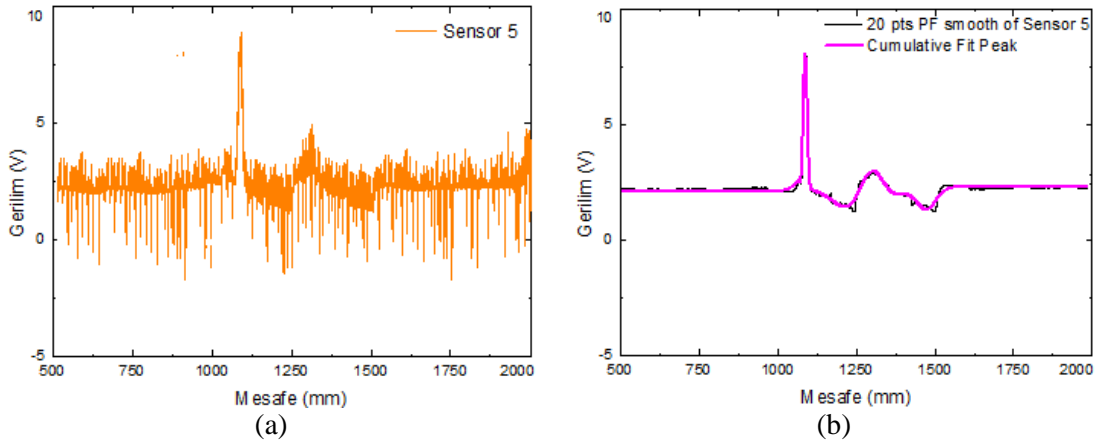
Şekil C.72: 0.400 A, 24.19 cm/s, 14. sensör Gaussian bileşenler



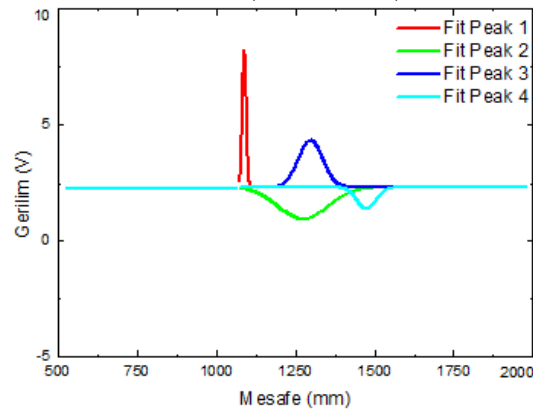
Şekil C.73: 0.800 A, 7.26 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



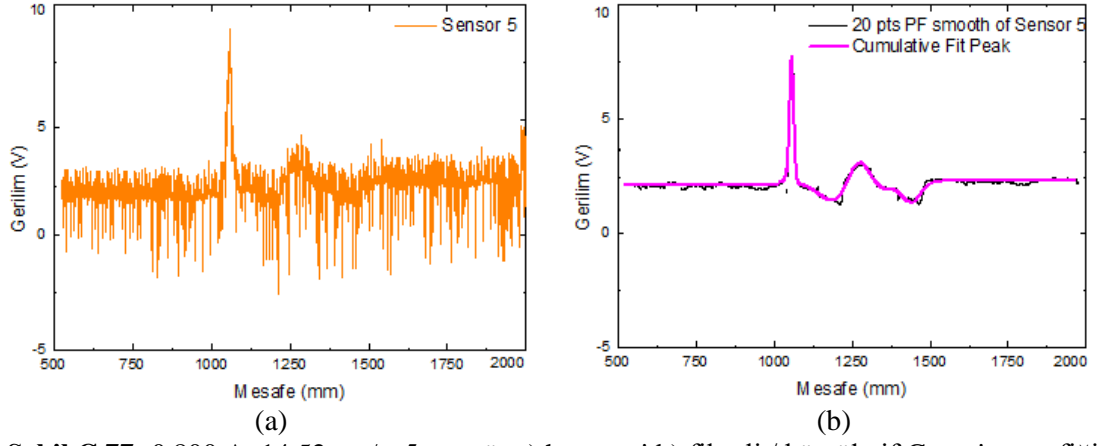
Şekil C.74: 0.800 A, 7.26 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler



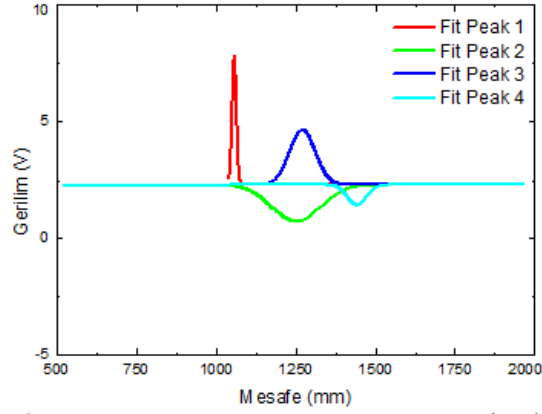
Şekil C.75: 0.800 A, 13.31 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



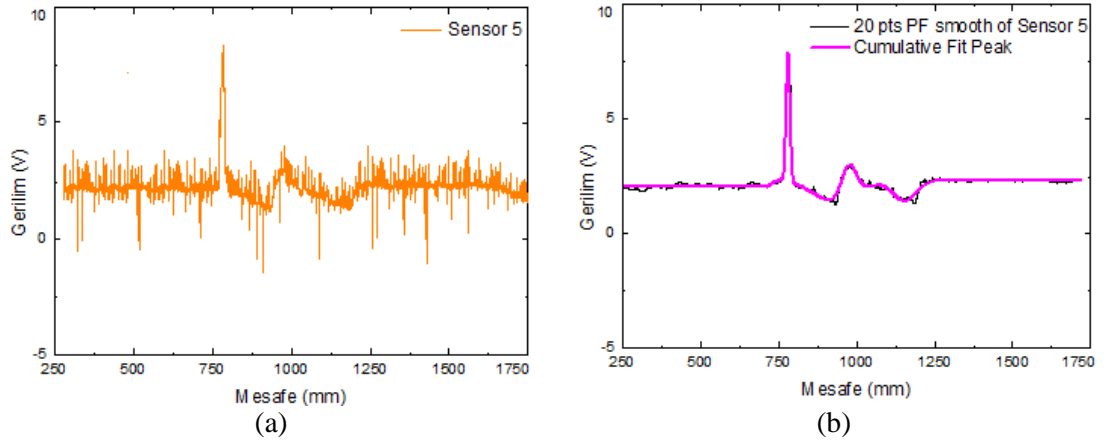
Şekil C.76: 0.800 A, 13.31 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler



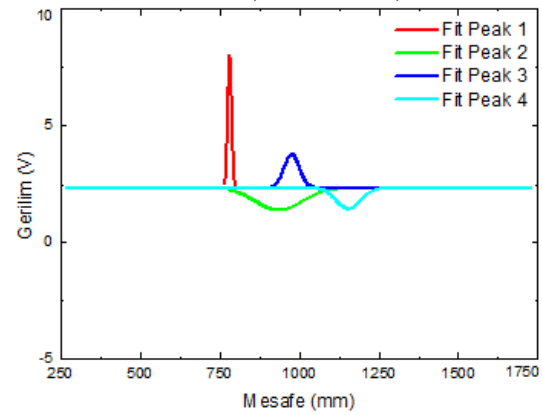
Şekil C.77: 0.800 A, 14.52 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



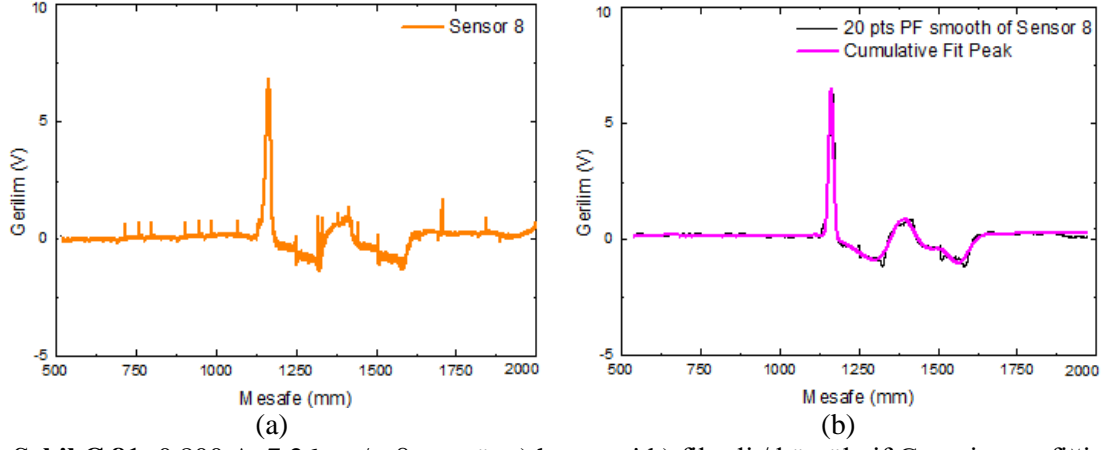
Şekil C.78: 0.800 A, 14.52 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler



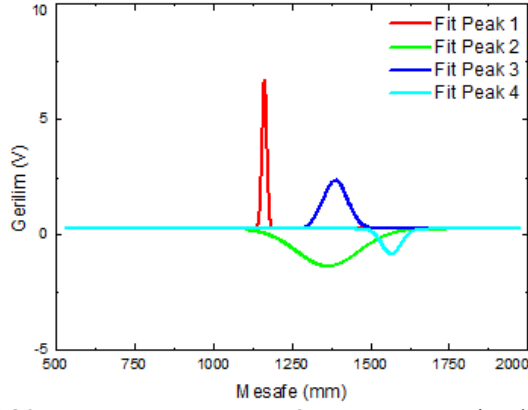
Şekil C.79: 0.800 A, 20.56 cm/s, 5. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



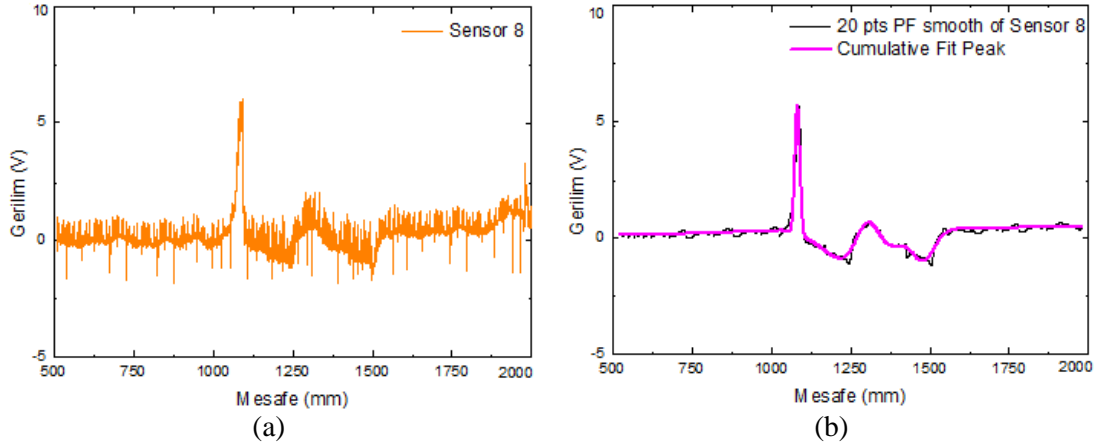
Şekil C.80: 0.800 A, 20.56 cm/s, 5. sensör Gaussian bileşenler



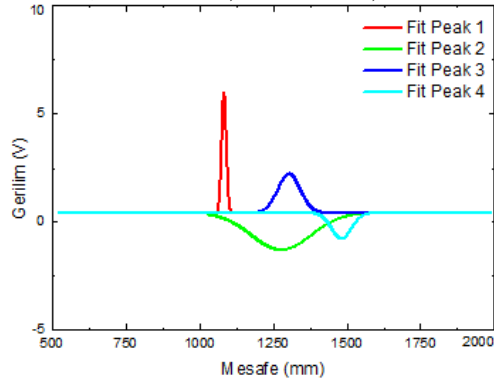
Şekil C.81: 0.800 A, 7.26 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



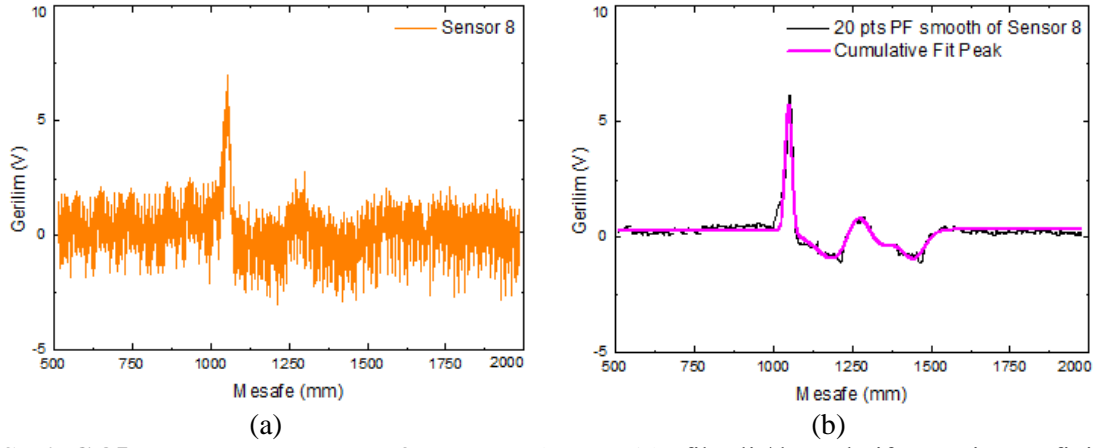
Şekil C.82: 0.800 A, 7.26 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler



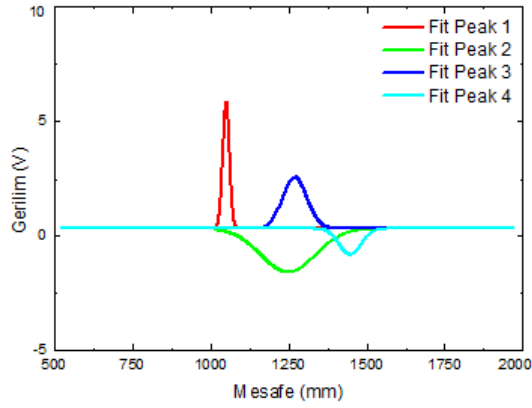
Şekil C.83: 0.800 A, 13.31 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



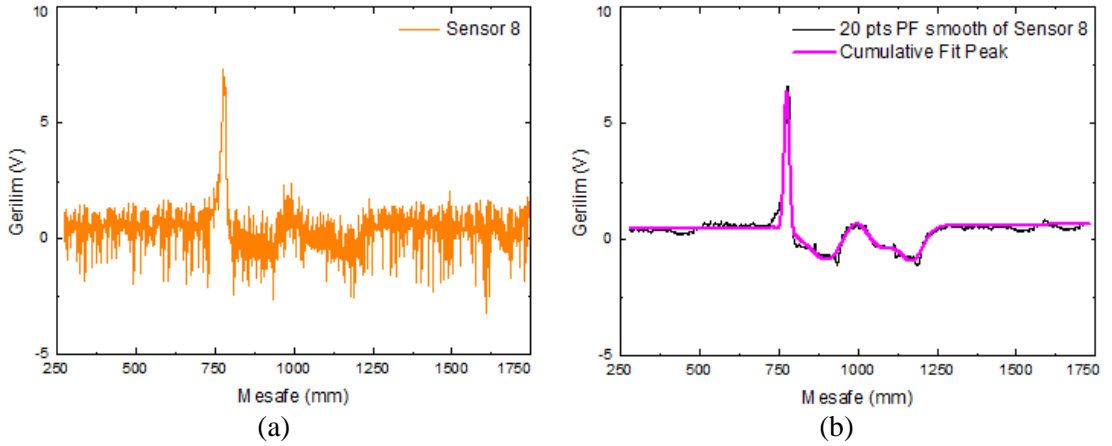
Şekil C.84: 0.800 A, 13.31 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler



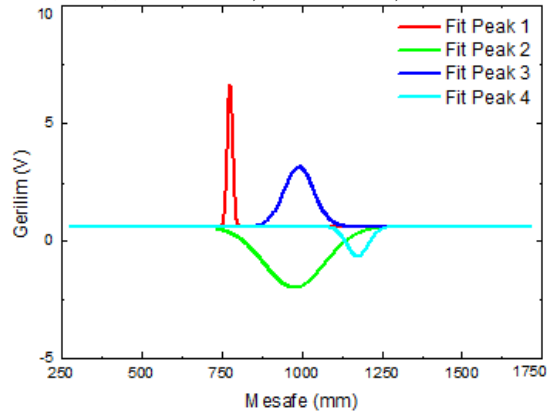
Şekil C.85: 0.800 A, 14.52 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



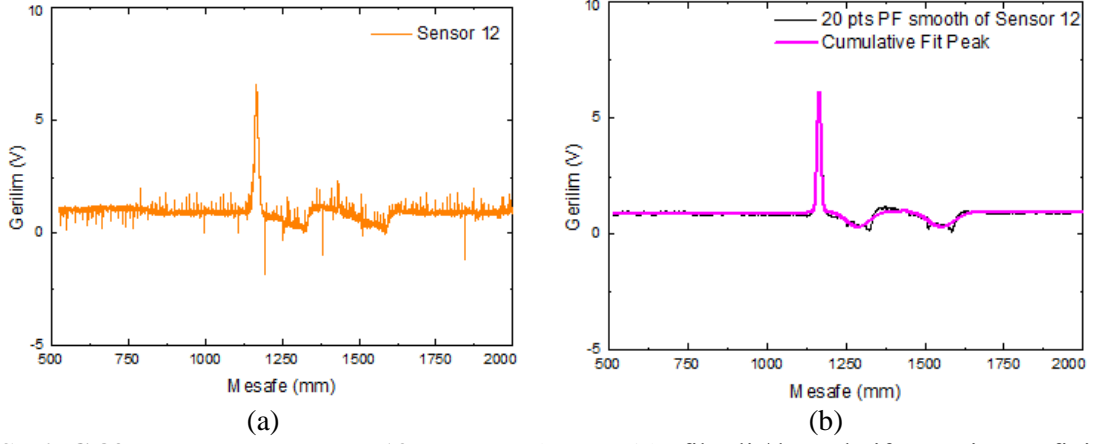
Şekil C.86: 0.800 A, 14.52 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler



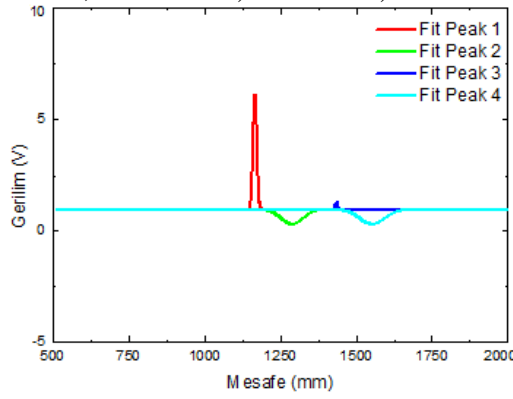
Şekil C.87: 0.800 A, 20.56 cm/s, 8. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



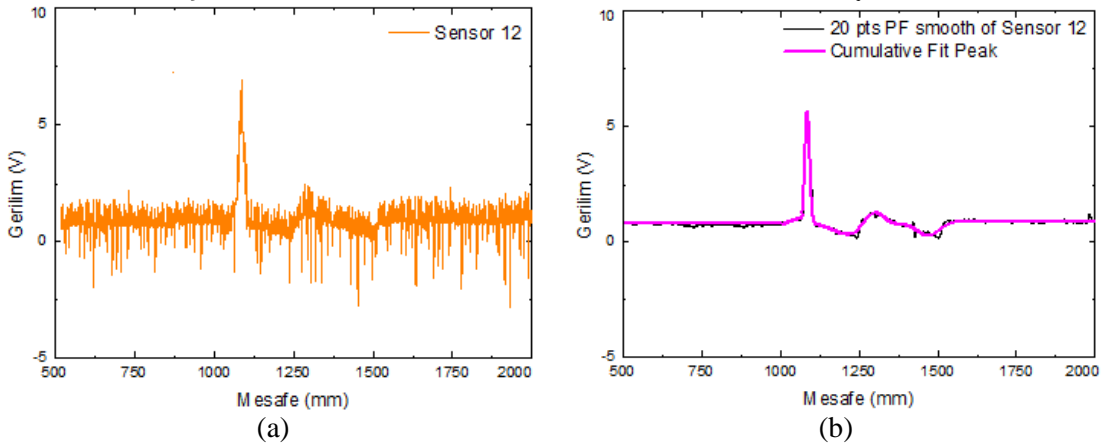
Şekil C.88: 0.800 A, 20.56 cm/s, 8. sensör Gaussian bileşenler



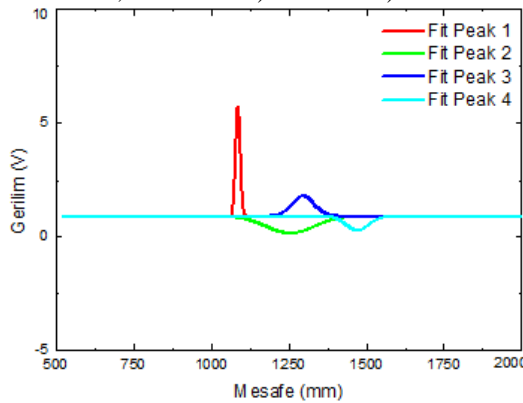
Şekil C.89: 0.800 A, 7.26 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



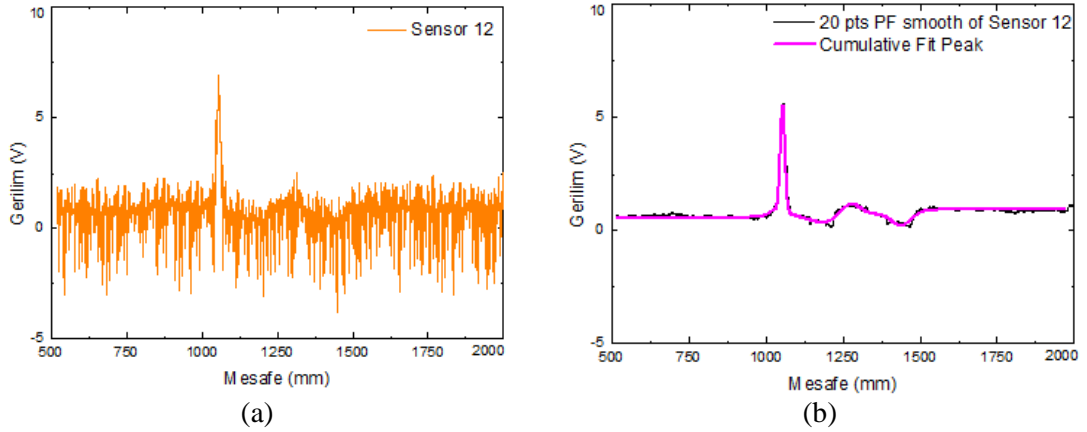
Şekil C.90: 0.800 A, 7.26 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler



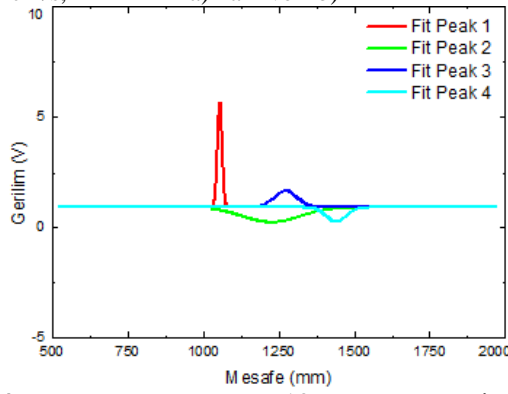
Şekil C.91: 0.800 A, 13.31 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtrelili / kümülatif Gaussian grafiği



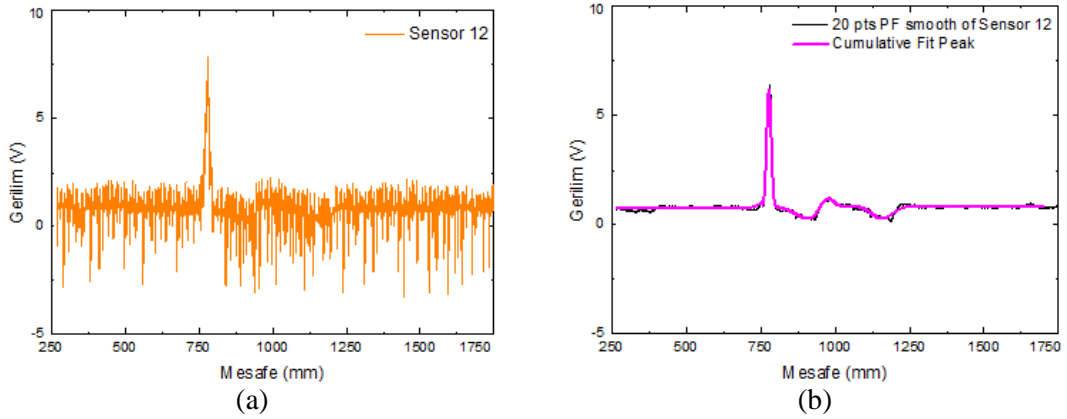
Şekil C.92: 0.800 A, 13.31 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler



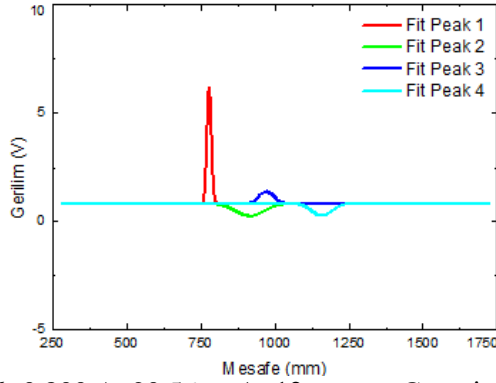
Şekil C.93: 0.800 A, 14.52 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



Şekil C.94: 0.800 A, 14.52 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler



Şekil C.95: 0.800 A, 20.56 cm/s, 12. sensör a) ham veri b) filtreli / kümülatif Gaussian grafiği



Şekil C.96: 0.800 A, 20.56 cm/s, 12. sensör Gaussian bileşenler