

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**SENSÖR ÇEŞİTLERİ, ROBOTİK ALANDA KULLANILAN
SENSÖRLER VE FSR SENSÖR UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALEV FADİLOĞLU IŞIK

BALIKESİR, KASIM 2013

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**SENSÖR ÇEŞİTLERİ, ROBOTİK ALANDA KULLANILAN
SENSÖRLER VE FSR SENSÖR UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALEV FADİLOĞLU IŞIK

BALIKESİR, KASIM 2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Alev FADİLOĞLU IŞIK tarafından hazırlanan "SENSÖR ÇEŞİTLERİ, ROBOTİK ALANDA KULLANILAN SENSÖRLER VE FSR SENSÖR UYGULAMASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26.11.2013 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd.Doç.Dr.Davut AKDAŞ



Üye
Prof. Dr. Rifat ÇAPAN



Üye
Yrd.Doç.Dr. Murat Erhan BALCI



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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Hilmi Namlı

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2012-48 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

ROBOTİK ALANDA KULLANILAN SENSÖRLER VE FSR SENSÖR UYGULAMASI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ALEV FADİLOĞLU IŞIK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ELEKTRİK
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD.DOÇ.DR.DAVUT AKDAŞ)**

BALIKESİR, KASIM 2013

Bir robot yada otomasyon sistemi çevredeki çeşitli değişiklikleri algılamak, yorumlamak ve ona göre karar döngülerini yürütmek zorundadır. Robotik sistemlerde gerçek zamanlı etkileşim yapabilmesi için, hız ve hassasiyet son derece önemli bir yere sahiptir. Robotların vereceği tepki süresini düşürebilmek ve gerçek hayat uygulamalarında önemli bir yere getirebilmek için hızlı işlem yapmak büyük önem taşımaktadır.

Günümüz teknolojisinde çeşitli sensörlerden faydalanılarak kuvvet ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada amacımız, mevcut sensörler arasında daha hızlı tepki veren, daha küçük ve daha ekonomik olan kuvvet sensörlerini robotik sistemlere uygulanabilirliğini incelemektir.

Bu tez çalışmasında değişik sensör teknolojileri gözden geçirilmiştir. Daha sonra robotik alandaki sensörler inlenmiştir. Başlıca kuvvet ölçüm sensörlerinden strain gauge ve FSR sensörlerinin robotik uygulamalarda kullanıldığı görülmüştür. Amacımız robot eklemlerinin eğiminin mutlak olarak ölçülmesi olduğundan, bu amaca hizmet edebilecek en iyi mevcut alternatifin, FSR sensörleri olacağı sonucuna varılmıştır. Bunun isbatı olarak FSR sensörü kullanılarak bir adet eğim ölçer tasarlanmış, imal edilmiş ve temel deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak FSR sensörünün robotik alanda eğim ölçer geliştirilmesinde kullanılabilir bir algılayıcı olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: FSR, sensörler, eğim sensörü, robotik sistem,

ABSTRACT

**SENSOR USED IN ROBOTICS FIELD AND FSR (FORCE SENSING
RESISTORS) SENSOR APPLICATION
MSC THESIS
ALEV FADİLOĞLU İŞİK
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE ELECTRICAL AND
ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. DAVUT AKDAŞ)**

BALIKESİR, NOVEMBER 2013

A robot or an automation system must sense, interpret and run its decision algorithms according to various changes in the environment. In robotics systems speed is essential to have real time interactions. Speed is very important in robotics systems to be able to have real time interaction. Being able to do fast processing is crucial to reduce reaction time of robots and bring them to an important place in real life applications.

In modern technology force measurements are realized via various sensors. Our aim in this study is to examine the use of Force Sensing Resistors which are faster reacting, smaller and economical in robotics systems.

In this thesis various sensor technologies have been reviewed. Following this sensors in robotics field have been examined. It is observed that strain gauge and FSR sensors which are major force measuring sensors have been used in robotics applications. Since our aim is to measure absolute values of inclinations of robot joints we concluded that best alternative is FSR sensors that serve this purpose. As the proof of this an inclinometer has been designed, produced and basic experiments have been made using an FSR sensor.

As a result it is concluded that FSR is a successful sensor that can be used for developing inclinometer to be used in robotics field.

KEYWORDS: FSR, sensors, inclination sensor, robotics system,

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. SENSÖRLER (ALGILAYICILAR)	3
3. SENSÖR ÇEŞİTLERİ	5
3.1 Mekanik Sensörler.....	7
3.2 Nem Sensörü.....	7
3.3 Kimyasal Sensörler.....	8
3.4 Akım/Voltaj Sensörleri.....	8
3.5 Kablosuz Sensörler.....	9
3.6 Manyetik Sensörler.....	10
4. ROBOTİK ALANDA KULLANILAN SENSÖR ÇEŞİTLERİ	12
4.1 Basınç Sensörü.....	13
4.1.1 Kapasitif Basınç Ölçme Sensörler.....	13
4.1.2 Şekil Değişikliği (Strain Gage) Sensörleri.....	14
4.1.3 Yük Hücresi (Load Cell) Basınç Sensörleri.....	14
4.1.4 Piezoelektrik Özellikte Basınç Ölçme Sensörleri.....	16
4.2 Dokunma Sensörleri (Touch Sensörleri).....	16
4.3 Hız Sensörü.....	17
4.3.1 Pito Tüpü.....	17
4.3.2 Lazer yüzey hız ölçeri	18
4.3.3 Takometre.....	18
4.4 Eğim Ölçer Sensör.....	19
4.5 İvme Ölçer Sensör.....	20
4.5.1 Piezoelektrik İvme Ölçerler.....	20
4.5.2 Kapasitif İvme ölçerler.....	21
4.6 Optik Sensörler.....	21
4.6.1 Foto Direnç (LDR) – Led Diyot.....	22
4.6.2 Infrared (Kızılötesi) LED - Foto Diyot.....	24
4.6.3 Işık Pili (Güneş Pili).....	25
4.6.3.1. Monokristalin Güneş Pili.....	26
4.6.3.2. Polikristalin Güneş Pili	27
4.6.3.3. Amorf Silikon Güneş Pili	27
4.6.3.1. CIS Güneş Pili.....	28
4.6.4 Optokuplör.....	28
4.6.5 Fototransistörler.....	29
4.6.6 Görüntü Sensörü.....	29
4.6.6.1 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).....	30

4.6.6.2	Yükten Bağımlı Aygıt (CCD).....	31
4.6.7	Algılayıcı sensörler (PIR).....	31
4.6.8	Yansımali Sensörler.....	33
4.6.9	Konum Sensörleri.....	33
4.6.9.1	Potansiyometre.....	34
4.6.9.2	Encoder.....	34
4.6.9.3	Resolver.....	35
4.6.10	Mesafe Algılama Sensörleri.....	35
4.7	Ses Seviye Sensörleri.....	37
4.7.1	Ultrasonik Ses Sensörleri.....	38
4.7.2	Mikrofon.....	39
4.7.2.1	Dinamik (Bobinli - Manyetik) Mikrofonlar.....	40
4.7.2.2	Kapasitif (Kondansatör) Mikrofonlar.....	41
4.7.2.3	Şeritli (Bantlı) Mikrofonlar.....	42
4.7.2.4	Kristal (Piezoelektrik Kristalli) Mikrofonlar.....	43
4.7.2.5	Karbon Tozlu Mikrofonlar.....	43
4.7.3	Hoparlör.....	44
4.7.3.1	Dinamik (Hareketli Bobinli) Hoparlörler.....	44
4.7.3.2	Piezoelektrik (Kristal) Hoparlörler.....	45
4.8	Sıcaklık Sensörü.....	46
4.8.1	Sıcaklığa Bağlı Direnç Sensörleri (RTD).....	46
4.8.1.1	Pozitif Sıcaklık Katsayısı (PTC).....	47
4.8.1.2	Negatif Sıcaklık Katsayısı (NTC).....	47
4.8.2	Termistörler.....	48
4.8.3	Isıl Çiftler (Thermocouple, Termokupl).....	49
4.8.4	Entegre Devre Sıcaklık Sensörleri.....	50
5.	KUVVET SENSÖRLERİ (FSR).....	51
5.1	FSR ile Kuvvet/Basınç Ölçümü.....	53
5.2	FSR'yi Test Etmek.....	53
5.3	Multimetreyi FSR'ye Bağlama.....	54
5.4	Analog Gerilim Okuma Yöntemi.....	55
5.5	FSR Kullanımın Basit Gösterimi.....	56
5.6	Analog Pinler Olmadan FSR Ölçümleri.....	56
5.7	Medikal Alanında Kullanılan FSR'ler.....	57
5.8	FSR'nin Müzik Aletlerinde Kullanımı.....	59
5.9	FSR'nin Avantajları ve Dezavantajları.....	60
6.	SENSÖR TASARIM VE DENEYLERİ.....	61
6.1.	Eğim Ölçerin Wheatstone Köprüsü ile Kalibrasyonu.....	68
6.2.	Eğim Ölçerin Kalibrasyon Deneyleri.....	74
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
8.	KAYNAKLAR.....	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sensörlerin çalışma prensibi.....	3
Şekil 2.2 : Sinyal dönüşümün çevreyi etkilemesi.....	3
Şekil 3.1 : Açma kapama işlemi için kullanılan mekanik sensör	7
Şekil 3.2 : Nem sensörü.....	8
Şekil 3.3 : Karbondioksit gazının ölçülmesinde kullanılan sensörler.....	8
Şekil 3.4 : Akım sensörü ve devresi.....	9
Şekil 3.5 : Sensör düğümü bileşenleri oluşum şeması.....	9
Şekil 3.6 : Sensör düğümü.....	10
Şekil 3.7 : Kablosuz sensör ağlarda veri.....	10
Şekil 3.8 : İçinden bir akım geçen bobinin çevresinde oluşan manyetik alan.....	11
Şekil 3.9 : Cisim ve manyetik sensör arasında oluşan manyetik alan.....	11
Şekil 3.10: Manyetik sensörün kullanım alanları.....	11
Şekil 4.1 : Kapasitif basınç ölçme sensörleri.....	13
Şekil 4.2 : Çeşitli Strain Gage tipleri.....	14
Şekil 4.3 : Load Cell basınç sensörü.....	15
Şekil 4.4 : Load Cell örnekleri.....	15
Şekil 4.5 : Load Cell kullanılan dijital gösterge.....	15
Şekil 4.6 : Piezoelektrik basınç sensörleri.....	16
Şekil 4.7 : Pito tüpü.....	18
Şekil 4.8 : Lazer yüzey hız ölçeri	18
Şekil 4.9 : Takometre çeşitleri.....	19
Şekil 4.10: Eğim ölçer sensör ve çalışma prensibi.....	19
Şekil 4.11: Eğim ölçer sensör.....	19
Şekil 4.12: İvme ölçer sensör.....	20
Şekil 4.13: Optik Sensörün gösterimi.....	21
Şekil 4.14: Foto Direnç ve sembolü.....	22
Şekil 4.15: LED Diyot sembolü.....	23
Şekil 4.16: Devrede ışık yokken LED sönük.....	23
Şekil 4.17: Devrede ışık varken LED yanıyor.....	24
Şekil 4.18: Infrared LED sembolü.....	24
Şekil 4.19: Çeşitli foto diyotlar ve sembolü.....	24
Şekil 4.20: Güneş pilinin yapısı ve çalışma şekli.....	26
Şekil 4.21: Monokristalin güneş pili.....	27
Şekil 4.22: Polikristalin güneş pili.....	27
Şekil 4.23: Amorf silikon güneş pili.....	28
Şekil 4.24: Çeşitli optokuplör yapıları.....	28
Şekil 4.25: Bir optokuplör ve iç yapısı.....	29
Şekil 4.26: Fototransistörler.....	29
Şekil 4.27: Dijital fotoğrafın temel işleyişi.....	30
Şekil 4.28: Sensörün ürettiği her bir voltaj, bir piksele isabet eder.....	30
Şekil 4.29: CMOS algılayıcı.....	31
Şekil 4.30: CCD algılayıcı.....	31
Şekil 4.31: PIR sensörü.....	32
Şekil 4.32: Hareket algılama mesafesi.....	32
Şekil 4.33: Yansımali sensörler.....	33
Şekil 4.34: Encoderlerin çalışma düzeneği.....	34
Şekil 4.35: Siyah ve beyaz renk dilimli encoder.....	35

Şekil 4.36: Resolver.....	35
Şekil 4.37: Mesafe algılama sensörleri.....	36
Şekil 4.38: Sharp sensörünün mesafeyi algılaması.....	36
Şekil 4.39: Sharp GP2D12 sensörünün mesafeye göre değişen çıkış voltajı.....	36
Şekil 4.40: Uzun menzilli bariyer sensörü.....	37
Şekil 4.41: Ses dalgaları ve sesin algılanması.....	37
Şekil 4.42: Ultrasonik ses sensörleri.....	38
Şekil 4.43: Ultrasonik ses dalgalarının yayılımı.....	39
Şekil 4.44: Mikrofon.....	39
Şekil 4.45: Dinamik mikrofon örnekleri.....	40
Şekil 4.46: Dinamik mikrofonun yapısı.....	41
Şekil 4.47: Kapasitif mikrofonun yapısı.....	41
Şekil 4.48: Kapasitif mikrofon.....	42
Şekil 4.49: Şeritli mikrofonun yapısı.....	42
Şekil 4.50: Kristal mikrofonun yapısı.....	43
Şekil 4.51: Karbon tozlu mikrofonun yapısı.....	44
Şekil 4.52: Hoparlör ve sembolü.....	44
Şekil 4.53: Hoparlörün yapısı.....	45
Şekil 4.54: Piezoelektrik hoparlörler.....	46
Şekil 4.55: Çeşitli PTC'ler, karakteristiği, ve sembolü.....	47
Şekil 4.56: Çeşitli NTC'ler, karakteristiği, sembolü.....	48
Şekil 4.57: NTC'li dijital termometre ve NTC'li sıcaklık kontrol devresi.....	48
Şekil 4.58: Termistör.....	48
Şekil 4.59: Thermokupl kullanıldığı alanlar.....	50
Şekil 4.60: Entegre devre sıcaklık sensörü.....	50
Şekil 5.1 : Interlink FSR-402 Kuvvet sensörü.....	51
Şekil 5.2 : FSR'lerin yapısı.....	52
Şekil 5.3 : FSR çeşitleri.....	52
Şekil 5.4 : Farklı kuvvet ölçümlerinde sensör direnç değerleri.....	53
Şekil 5.5 : FSR'yi test etmek.....	54
Şekil 5.6 : FSR'nin breadboarda bağlanması.....	54
Şekil 5.7 : FSR'nin soketle bağlanması.....	55
Şekil 5.8 : FSR'nin terminal bloğu (bağlantı kutusu) ile bağlanması.....	55
Şekil 5.9 : Analog gerilim okuma yöntemi.....	55
Şekil 5.10: Analog gerilim okunması ve Led'in parlaklığı.....	56
Şekil 5.11: Anolog pinler olmadan FSR ölçümleri Osiloskop sonuçları.....	57
Şekil 5.12: Serabral Palsi tedavisinde kullanılan malzemeler.....	58
Şekil 5.13: FSR ile yapılan ayakkabının çalışma düzeneği.....	59
Şekil 5.14: FSR'nin müzik aletinde kullanımı.....	59
Şekil 6.1 : Eğim ölçerin metal ağırlığı çizimi ve imal edilmiş hali.....	62
Şekil 6.2 : Eğim ölçerin FSR montaj yarıküresi çizimi ve imal edilmiş hali.....	62
Şekil 6.3 : Eğim ölçerin ön kapak çizimi ve imal edilmiş hali.....	63
Şekil 6.4 : Eğim ölçerin ana gövdesi kılıfı çizimi ve imal edilmiş hali.....	63
Şekil 6.5 : Eğim ölçerin FSR yarıküre kapağı çizimi ve imal edilmiş hali.....	64
Şekil 6.6 : Eğim ölçerin şaftının çizimi ve imal edilmiş hali.....	64
Şekil 6.7 : Eğim ölçerin ana gövdesinin çizimi ve imal edilmiş hali.....	65
Şekil 6.8 : Eğim ölçerin montaj yapılmış hali.....	66
Şekil 6.9 : Eğim ölçerin montaj yapılmış hali (farklı açıdan).....	67
Şekil 6.10: Wheatstone köprüsü devre şeması.....	68

Şekil 6.11: Eğim ölçerin Wheatstone köprüsüne bağlanarak kalibrasyonunun yapılması.....	70
Şekil 6.12: Eğim ölçerin Wheatstone köprüsüne bağlanarak kalibrasyonunun yapılması(farklı açıdan).....	70
Şekil 6.13: Eğim ölçerin orta konumda iken okuduğu değer.....	71
Şekil 6.14: Eğim ölçerin sağ yatay konumda okuduğu değer.....	72
Şekil 6.15: Eğim ölçerin sol yatay konumda okuduğu değer.....	73
Şekil 6.15: Eğim ölçerin sol yatay konumda okuduğu değer.....	73
Şekil 6.16: Eğim ölçerin dik konumda okuduğu değer.....	74
Şekil 6.17: Eğim ölçerin 10° sol yatay konumda okuduğu değer.....	75
Şekil 6.18: Eğim ölçerin 20° sol yatay konumda okuduğu değer.....	75
Şekil 6.19: Eğim ölçerin 30° sol yatay konumda okuduğu değer.....	76
Şekil 6.20: Eğim ölçerin 40° sol yatay konumda okuduğu değer.....	76
Şekil 6.21: Eğim ölçerin 50° sol yatay konumda okuduğu değer.....	77
Şekil 6.22: Eğim ölçerin 80° sol yatay konumda okuduğu değer.....	77
Şekil 6.23: Eğim ölçer ve FSR sensörün ağırlık merkezi.....	79
Şekil 6.24: Hesaplanan kuvvete karşılık gelen direnç değer grafiği.....	82

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1: Farklı eğimlerde sensör direncinin yaklaşık değerleri.....	78
Tablo 6.2: Eğim ölçerin eğim açısına göre hesaplanan kuvvet değerleri.....	82

SEMBOL VE KISALTMA LİSTESİ

V	: Volt
mW	: Mili Watt
PCB	: Baskılı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
s	: Saniye
µs	: Mikro Saniye
ASIC	: Uygulamaya Özel Bütünleşik Devre (Application Specific Integrated Circuit)
Hz	: Hertz
KHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
FSR	: Force Sensing Resistors
LED	: Light Emitting Diode
ADC	: Analog Sayısal Dönüştürücü (Analog Digital Converter)
DAC	: Sayısal Analog Dönüştürücü (Digital Analog Converter)
I/O	: Giriş/Çıkış (In/Out)
LED	: Işık Saçan Diyot (Light Emitting Diode)
MUX	: Çoklayıcı (Multiplexer)
PTC	: Pozitif Katsayılı Termistör (Positive Temperature Coefficient)
NTC	: Negatif Katsayılı Termistör (Negative Temperature Coefficient)

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, robotik sistemlerde yada otomasyon sistemlerinde hangi tip sensörlerin kullanılabilceğinin tespiti kapsamında, tüm sensörlerin incelenmesi ve özellikle Kuvvet Sensorleri (FSR) kuvvet ölçümlerini gerçekleştirerek, robotun hareketli mekanizmalarının eğimlerinin ölçümünde kullanılması hedeflenmiştir.

Yüksek lisans çalışmam boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen engin tecrübesi ile çalışmalarına yön veren sevgili danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Davut AKDAŞ'a teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca bilgisini ve desteğini hep göstermiş olan Arş. Gör. Dr. Sabri BIÇAKCI'ya, Arş. Gör. Erman KÖYBAŞI'na ve Elk.-Elektronik Müh. Ozan KARAKULAK'a, çalıştığım kurumda destek ve yardımlarını esirgemeyen amirim Dr. Mak. Müh. Can CANDAN ile Y. Mak. Müh. Ömer PEKDUR'a, teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca her türlü desteğini esirgemeyen sevgili eşim Ali İlhan IŞIK ve moral ve motivasyonumu sürekli yüksek tutan kızım Ela IŞIK'a sonsuz sevgilerimi sunarım.

1.GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde robotik sistemler ve otomasyon sistemleri hızlı bir gelişim süreci içerisinde. Gelişme sürecindeki bu sistemlerin hedefi; çevreyle olan etkileşimi en yüksek düzeye çıkarabilmek ve robotların kendi kendisine çalışabilir hale getirilebilmektir. Bu sistemlerin istenilen hedefe ulaşabilmesi için sensörlerden faydalanılmıştır. Sensörler yardımı ile sistemlerin çevreyle etkileşimi sağlanmış, kendi kendisine çalışabilen robotlar geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, robotik sistemlerde yada otomasyon sistemlerinde hangi tip sensörlerin kullanılabileceğinin tespiti kapsamında, tüm sensörlerin incenmesi ve özellikle Kuvvet Sensorleri (FSR) kuvvet ölçümlerini gerçekleştirerek robotun hareketli mekanizmalarının eğimlerinin ölçümünde kullanılması hedeflenmiştir.

Bu kapsamda tez çalışmasının birinci bölümünde, çalışmanın hedefi gerekçeleriyle belirtilmiştir.

İkinci bölümde, sensörlerin tanımı yapılarak, sensörlerin çalışma prensibi açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, genel alanda kullanılan sensörlerin çeşitleri belirtilerek, bu sensörlerin kullanım alanları ve çalışma esasları detaylı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, özellikle robotik sistemelerde kullanılan sensör çeşitleri, çalışma prensipleri, kullanım alanları detaylı olarak açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, tez konusuna esas teşkil eden Force Sensing Resistors/Kuvvet Sensörleri (FSR) incelenmiş, FSR sensörlerinin çeşitleri, çalışma prensipleri, kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları detaylı olarak açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, insansı robotlarda kullanılmak üzere FSR sensörü kullanılacak şekilde tasarlanan bir eğim ölçeri oluşturacak elamanların detayları, imalata esas çizimleri, elamanlarda olması gereken özellikler detaylı olarak açıklanmış ve uygun malzemeler kullanılarak imalat gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan eğim

ölçerden alınacak sonuçların doğru olmasını sağlamak maksadıyla, wheatstone köprüsü yöntemi kullanılarak sistemin kalibrasyonu yapılmıştır. Konu ile ilgili gerekli ölçümler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları alınmıştır.

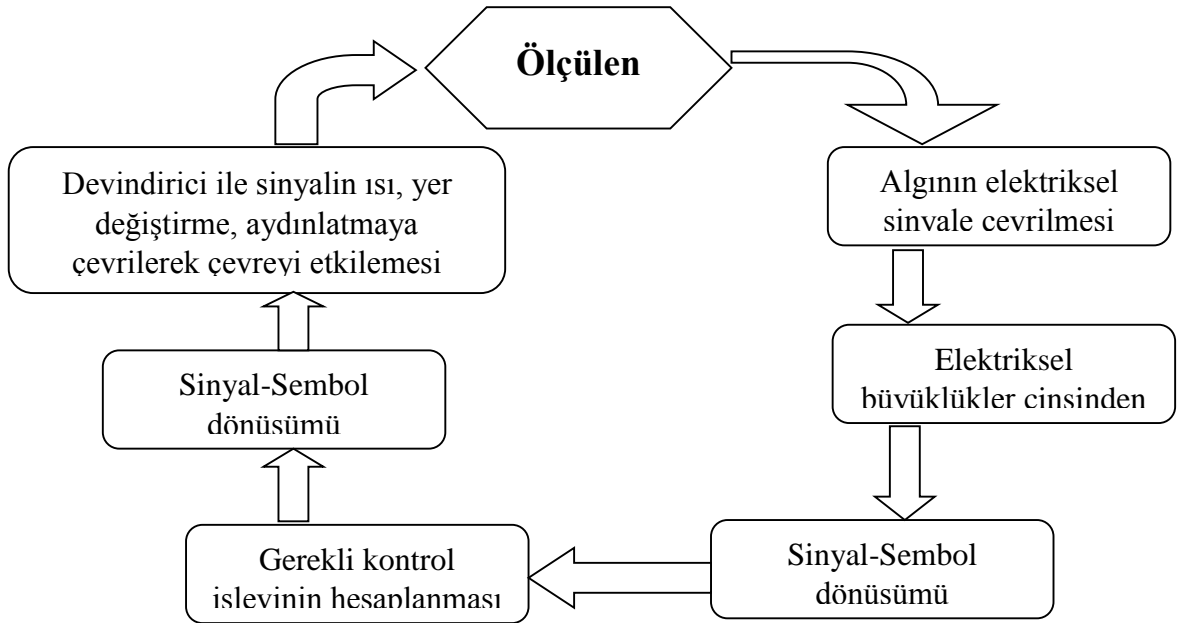
Yedinci bölümde, FSR sensörü kullanılarak imal edilen eğim ölçer ile gerçekleştirilen deneyler ve bunların sonuçları açıklanmış, eğim ölçerin istenildiği gibi çalıştığı tespit edilerek tez çalışmasının başarıyla sonuçlandırıldığı ve sistemin daha kapsamlı hale getirilebilmesi için yeni çalışmaların hedeflenmesi gerektiği sonucu belirtilmiştir.

2. SENSÖRLER (ALGILAYICILAR)

Sensör kelimesi hissetmek anlamına gelen İngilizce *to sense* kelimesinden gelmektedir. Türkçe’de ise sensör kelimesi yerine *algılayıcı* veya *duyarga* kullanılmaktadır [1]. Sensörler, dışarıdan gelen bir uyarıyı (ısı, ışık, nem, ses, basınç, kuvvet, elektrik, uzaklık, ivme ve pH gibifiziksel yada kimyasal büyüklükleri) işlenebilen ve ölçülebilen elektrik sinyallerine dönüştürür. Örneğin; sensörler, fotoğraf makinesi ve video kamera gibi sayısal (dijital) görüntüleme aygıtlarında, görüntü bilgilerini algılayan ve elektronik ortamda işlenebilir sinyallere dönüştüren temel öğelerdir [2].



Şekil 2.1: Sensörlerin çalışma prensibi



Şekil 2.2: Sinyal dönüşümün çevreye etkilemesi.

Sensörler çok küçük dış uyarıları bile ölçen, büyük bir hassasiyete sahip olan cihazlardır. Duyarlılık için sensörler belirlenen standartlara karşı kalibre edilirler. Bir sensörü küçük boyutlarda tasarlamak, çeşitli alanlarda kullanılmasına imkan sağlar. Günümüzde mikro elektronik teknolojisinde ki gelişmeye bağlı olarak daha hızlı ve duyarlı mikrosensörler imal edilmektedir.

Sensörler, asansör düğmeleri, lambalar gibi gündelik nesnelere için kullanıldığı gibi, çoğu insanların farkında bile olmadığı birçok uygulamalarda da kullanılmaktadır. Sensörler günümüzde sağlık, otomotiv, robot, roket, makine vb. gibi bir çok alanda daha geniş uygulamalar da kullanılmaktadır [3].

3.SENSÖR ÇEŞİTLERİ

Günümüzde değişik sensör çeşitlerine rastlamak mümkündür. Aşağıda maddeler halinde verilen sensör çeşitlerinden, 1'inci ile 6'ncı maddeler arasındakiler genel, 7'nci ile 15'inci maddeler arasındakiler ise özellikle robotik alanda kullanılan sensörlerdir.

- 1) Mekanik sensörler
- 2) Nem sensörü
- 3) Kimyasal sensörler
- 4) Akım ve voltaj ölçüm sensörleri
- 5) Kablosuz sensörler
- 6) Manyetik sensörler
- 7) Basınç sensörü
 - 7.1) Kapasitif basınç ölçme sensörler
 - 7.2) Strain Gage (Şekil Değişikliği) sensörleri
 - 7.3) Load Cell (Yük Hücresi) basınç sensörleri
 - 7.4) Piezoelektrik özellikte basınç ölçme sensörleri
- 8) Dokunma sensörleri (Touch Sensor)
- 9) Hız Sensörü
 - 9.1) Pito tüpü
 - 9.2) Lazer yüzey hız ölçeri (LSV)
 - 9.3) Takometre
- 10) Eğim ölçer sensör
- 11) İvme ölçer sensör
 - 11.1) Piezoelektrik ivme ölçer
 - 11.2) Kapasitif ivme ölçer
- 12) Optik sensörler
 - 12.1) Foto direnç (LDR) – Led diyot
 - 12.2) Infrared (Kızılötesi) Led - Foto diyot
 - 12.3) Işık pili (Güneş Pili)
 - 12.3.1) Monokristalin güneş pili
 - 12.3.2) Polikristalin güneş pili
 - 12.3.3) Amorf silikon güneş pili

- 12.3.4) CIS güneş pili
- 12.4) Optokuplör
- 12.5) Fototransistörler
- 12.6) Görüntü Sensörü
 - 12.6.1) Tamamlayıcı metal oksit yarıiletken (CMOS)
 - 12.6.2) (Yüklenme iliştilirilmiş araç (CCD)
- 12.7) Algılayıcı (PIR) sensörler
- 12.8) Yansımali sensörler
- 12.9) Konum sensörleri
 - 12.9.1) Potansiyometre
 - 12.9.2) Encoder
 - 12.9.3) Resolver
- 12.10) Mesafe algılama sensörleri
- 13) Ses seviye sensörleri
 - 13.1) Ultrasonik ses sensörleri
 - 13.2) Mikrofon
 - 13.2.1) Dinamik (Bobinli - Manyetik) mikrofonlar
 - 13.2.2) Kapasitif (Kondansatör) mikrofonlar
 - 13.2.3) Şeritli (Bantlı) mikrofonlar
 - 13.2.4) Kristal (Piezoelektrik Kristalli) mikrofonlar
 - 13.2.5) Karbon tozlu mikrofonlar
 - 13.3) Hoparlör
 - 13.3.1) Dinamik (Hareketli Bobinli) hoparlörler
 - 13.3.2) Piezoelektrik (Kristal) hoparlörler
- 14) Sıcaklık sensörü
 - 14.1) Sıcaklığa bağıli direnç sensörleri (RTD)
 - 14.1.1) Pozitif Sıcaklık Katsayısı (PTC)
 - 14.1.2) Negatif Sıcaklık Katsayısı (NTC)
 - 14.2) Termistörler
 - 14.3) Isıl çiftler (Thermocouple, Termokupl)
 - 14.4) Entegre devre sıcaklık sensörleri
- 15) Kuvvet sensörleri (FSR)

3.1 Mekanik Sensörler

Mekanik sensörler, sensörler kategorisindeki en temel sensördür. Çalışma prensibi açma-kapama anahtarlarıyla aynıdır. Şekil 3.1’de görüleceği üzere genellikle yaylı bir sistem engele çarpınca kontakt kapanır ve elektrik iletimi sağlanır. Çıkışı, elektrik var ya da elektrik yok şeklinde olduğu için, dijital bir sensör olarak düşünebilir [6]. Uzunluk, alan, miktar, kütsel akış, kuvvet, tork (moment), basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalga boyu ve yoğunluğu. Swtichler, butonlar bu tür bir mekanik sensör için kullanılabilir.



Şekil 3.1: Açma kapama işlemi için kullanılan Mekanik sensör.

3.2 Nem Sensörü

Yüksek empedanslı elektronik devrelerin, elektrostatığe duyarlı devre elemanların, yüksek gerilimde çalışan aygıtlar ve neme karşı hassas mekanizmaların çalışması için, nemin ölçülebilmesi gereklidir. Nem hygrometre adındaki aygıtlar ile ölçülür. Nem içeriğinin ölçülmesi için, hygrometre içindeki algılayıcı suya seçici olmalı ve dahili özellikleri su konsantrasyonu ile modüle edilebilmelidir. Şekil 3.2’de görülen nem sensörünün başlıca çeşitleri;

- Kapasitif Nem Sensörleri
- İletkenlik Sensörleri
- Isıl İletkenlik Sensörleri
- Optik Nem Sensörleri
- Osilasyon Nem Sensörleridir [20,40].



Şekil 3.2: Nem sensörü

3.3 Kimyasal Sensörler

Kimyasal sensörler, kimyasal bir girişi elektriksel ya da optik sinyale çeviren aygıtlardır olup bir ara yüzey ve transduser(dönüştürücü)den oluşur. Kimyasal sensörlerin en önemli kısmı olan algılayıcı maddenin seçimi ile, istenilen bir gazın algılanması mümkündür [7].

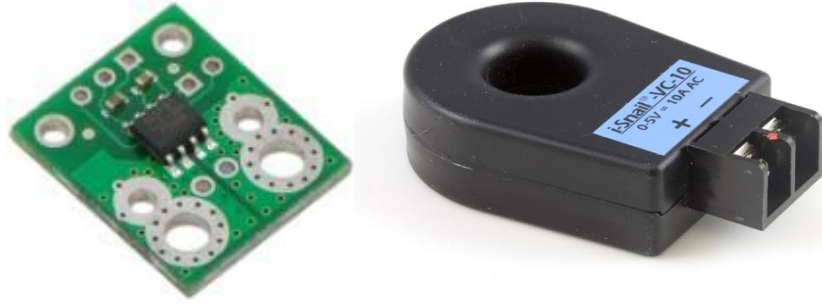
Değişik kimsalları algılayan sensörlerden gelen bilgiler genelde bilgisayarlarda incelenir. Bunun için, analog olan sensör sinyalleri öncelikli olarak dijitale (ikili sayı sistemine) dönüştürülür. Özel yazılımlar sayesinde, bu sensör bilgileri mümkün olduğunca doğru bir şekilde analiz edilmeye çalışılır. Bu amaçla yapay zeka tekniklerinden olan yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Böylece algılanan kokunun tanımlanması en doğru olarak yapılmaya çalışılır [8].



Şekil 3.3: Karbondioksit gazının ölçülmesinde kullanılan sensör

3.4 Akım ve Voltaj Ölçüm Sensörleri

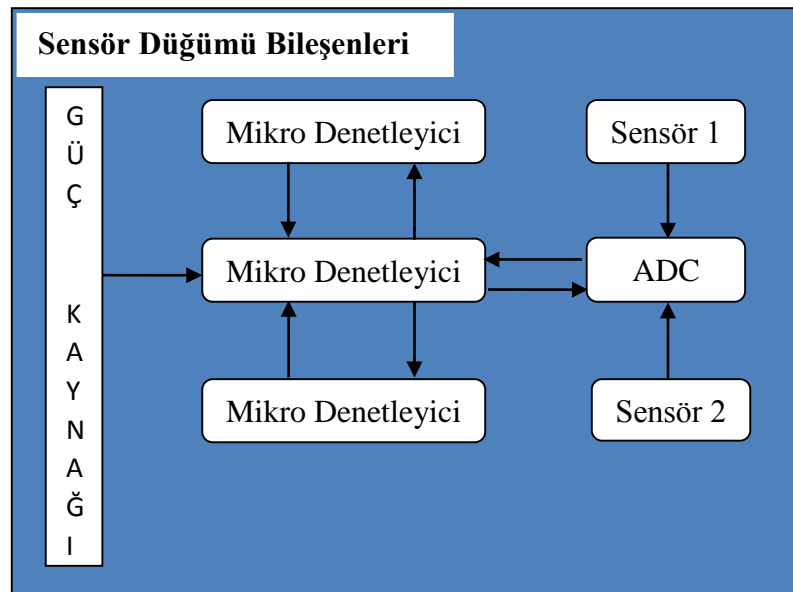
Akım ve voltaj ölçüm sensörlerinin amacı, üzerlerinden geçen akımı ölçmektir. Devreden ani yüksek akım geçmesi durumunda, sisteme bağlı bir çok devrede kolayca hasar meydana gelebilir. Bu hasarların oluşmasını önlemeye yönelik gerekli tedbirlerin alınması kapsamında, Şekil 3.4'de görülen akım sensörleri hayati önem taşılar [6].



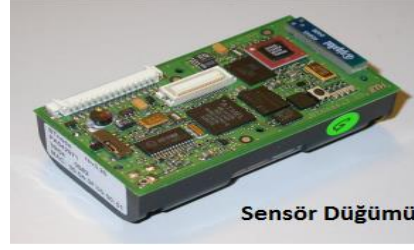
Şekil 3.4: Akım sensörü ve devresi

3.5 Kablosuz Sensörler

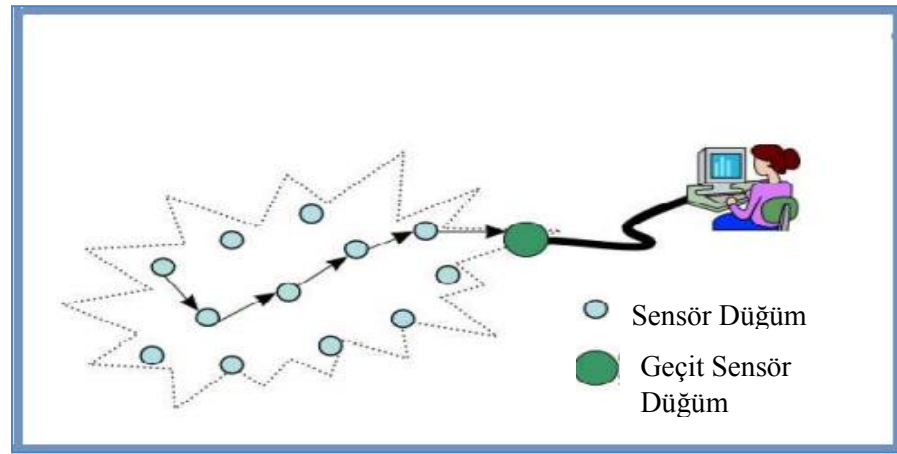
Donanım ve kablosuz sistemlerdeki gelişmeler düşük maliyetli, düşük güç tüketimli, çok işlevli minyatür algılama aygıtlarının üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu aygıtlardan yüzlercesi, binlercesi yardımıyla sabit bir kablo alt yapısı olmadan, cihazlarda minimum konfigürasyonla kısa bir süre içerisinde kablosuz(ad-hoc) ağ sistemleri oluşturabilmektedir. Bu sistemlerde Şekil 3.5’de görüleceği üzere mikrodenetleyici, alıcı-verici, dışsal bellek, güç kaynağı ve sensörler birleşerek sensör düğümünü meydana getirir. Sensör düğümleri hesaplama, algısal bilgi toplama ve ağdaki diğer bağlantılı düğümlerle haberleşme yeteneklerine sahiptir. Böylece oluşturulan ağ sistemini ile her an, her yerden kolayca toplanan verilerin işlenerek yayılması sağlanır [9].



Şekil 3.5: Sensör düğümü bileşenleri oluşum şeması



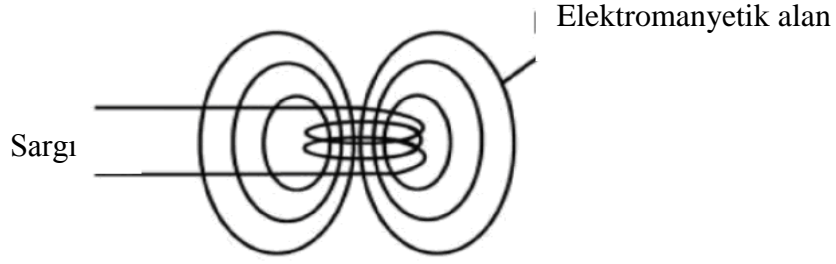
Şekil 3.6: Sensör düğümü



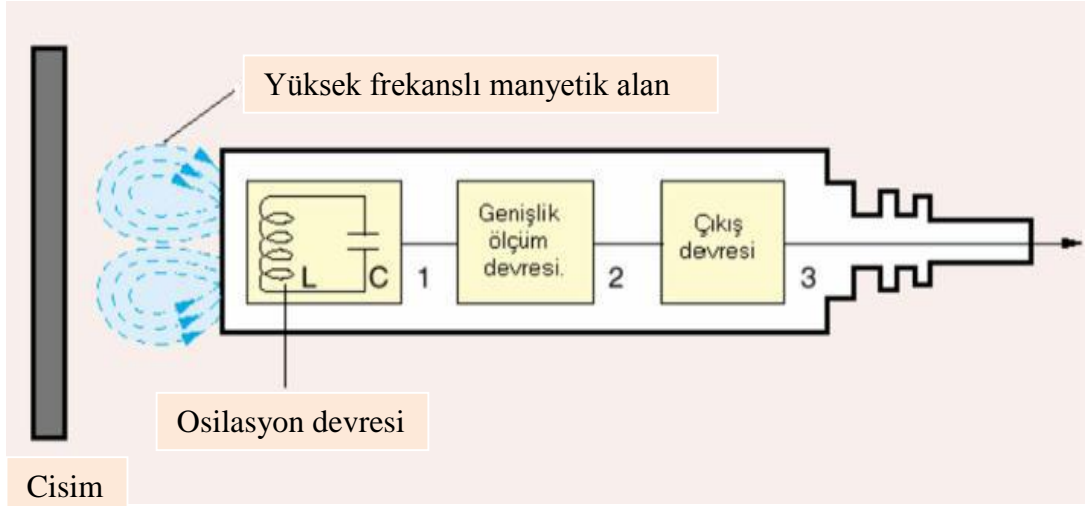
Şekil 3.7: Kablosuz sensör ağlarda veri

3.6 Manyetik Sensörler

Bir tel bobin haline getirilip içinden akım geçirildiğinde, Şekil 3.8’de görüleceği üzere bobinin içinde ve çevresinde manyetik alan oluşur. Bu manyetik alan gözle görülmez. Ancak bu bobinin içerisindeki nüvenin hareketi ve bobinin çevresinden yaklaştırılan metaller, bobinin indüktansını değiştirir. Bu indüktans değişimi, sensörün içinde bulunan devrenin dengesini bozar. Şekil 3.9’da görüleceği üzere, sensörün içinde bulunan ölçüm yapan devre sayesinde, metalin yaklaştığı ve ne kadar yakın olduğu tespit edilebilir. İşte bu prensipten hareketle manyetik sensörler geliştirilmiştir [5].



Şekil 3.8: İçinden akım geçen bobinin çevresinde oluşan manyetik alan



Şekil 3.9: Cisim ve manyetik sensör arasında oluşan manyetik alan

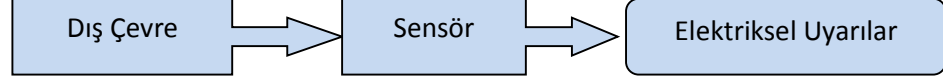
Manyetik sensörler günlük hayatta, daha çok güvenlik gerektiren yerlerde metallerin (silah, bıçak gibi) aranmasında, hazine arama dedektörlerinde kullanılır. Sanayide ise kumanda ve kontrol sistemlerinde, tıp elektroniğinde, fabrikalarda, otomatik kumanda kontrol uygulamalarında, yer değişimlerinin hassas olarak ölçülmesinde kullanılır [5].



Şekil 3.10: Manyetik sensörün kullanım alanları

4.ROBOTİK ALANDA KULLANILAN SENSÖR ÇEŞİTLERİ

Sensörler duyularımız gibi bir sistemin çevresini algılamasını sağlayarak onu işlenebilen, ölçülebilen elektrik sinyallerine dönüştüren algılayıcılardır.



Robotlarda kullanılan sensörler doğal canlılardan esinlenerek tasarlanmışlardır. Örneğin; kedilerin bıyıklarından esinlenerek dokunma bıyık sensörleri, yarasaların gece görüşünde kullandığı ultrasonik seslerden esinlenerek ultrasonik sensörler tasarlanmıştır.

Sensörlerin verilerini kullanabilmek için, her tip sensörün uygun bir ara yüzle robotun kontrol kartına bağlanması gerekir [6]. Robotlara bu tip duyuların verilmesi temelde önemli bir sorun olmasına rağmen, insanların sahip olmadığı diğer duyulara da sahip olabilmeleri açısından son derece önemlidir. Bu görülebilir tayfın dışındaki alanda görme yetisi, radar ve lazer kullanarak mesafe ölçümü, insanların duyarlı olduğu 20 Hz- 20 KHz sınırının dışında duyabilme, tatma ve koku alma dışındaki kimyasal inceleme, radyasyona duyarlılık olabilir [4,42,43]. Robotik alanda kullanılan sensörler;

- Basınç sensörleri
- Dokunmatik sensörler (Touch sensor)
- Hız sensörleri
- İvme ölçer sensörler
- Eğim ölçer sensörler
- Optik sensörler
- Ses seviye sensörleri
- Sıcaklık sensörleridir.

4.1 Basınç Sensörleri

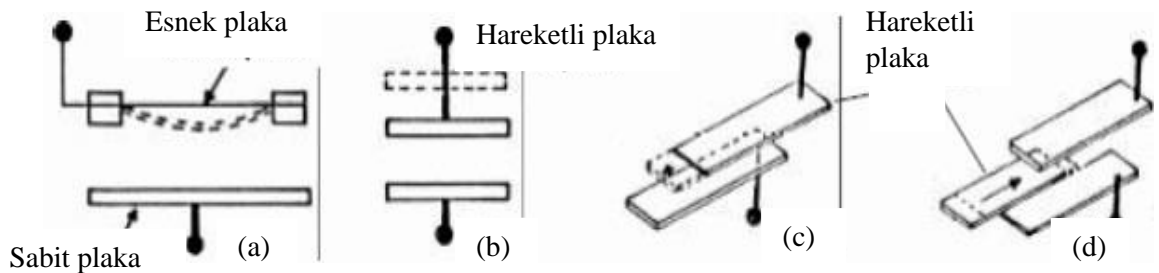
Her türlü fiziki kuvvet ve basınç değişimini algılayan ve bu değişimi elektriksel sinyale çeviren elemanlara basınç sensörü denir [5,11]. Basınç sensörleri, robotunun bir yere çarpması ya da teması durumunda doğan basıncın ölçülmesini sağlar. Robot kol uygulamaları gibi projelerde basınç sensörleri robot kol ile tutulan cisme uygulanan basıncın kontrol edilmesi için kullanılabilir [5,12,42]. Basınç sensörleri, çalışma prensibine göre;

- Kapasitif basınç ölçme sensörleri,
- Şekil Değişikliği (Strain Gage) sensörleri,
- Yük Hücresi (Load Cell) basınç sensörleri,
- Piezoelektrik özellikli basınç ölçme sensörleri olmak üzere dört grupta incelenebilir.

FSR sensörü ile basınç ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ancak FSR sensörleri beşinci bölümde detaylı olarak incelendiğinden, bu bölümde ayrıca anlatılmamıştır.

4.1.1 Kapasitif Basınç Ölçme Sensörleri

Kondansatörler yapıları gereği elektrik yükü depolayabilir. Kondansatörlerin yük depolayabilme kapasiteleri ise kondansatör plakalarının boyutlarına, bu plakalar arasındaki mesafenin uzaklığına ve iki plaka arasındaki yalıtkan malzemenin özelliğine bağlıdır. Sonuç olarak, kondansatör plakaları birbirinden uzaklaştırılırsa ya da esnetilirse veya iki plaka arasındaki dielektrik malzeme hareket ettirilirse, kondansatörün kapasitesi değişir. Kondansatörün kapasitesi ile beraber alternatif akıma gösterdiği direnç de değişir. İşte bu prensipten hareketle kapasitif basınç sensörleri üretilmiştir [5,13].



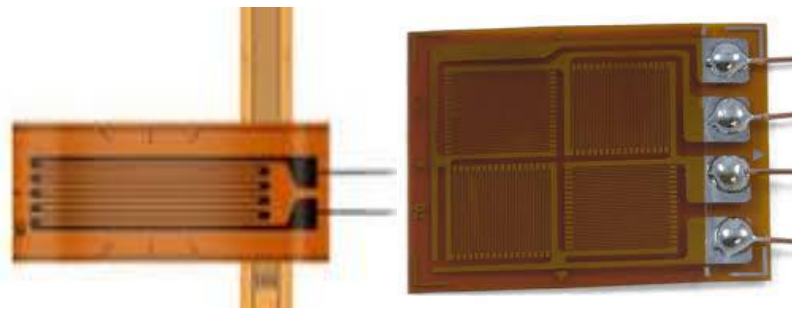
Şekil4.1: Kapasitif basınç ölçme sensörleri

Şekil 4.1’de görüleceği üzere, esnek ve hareketli plakalı kapasitif basınç sensörleri mevcuttur. Çalışma prensipleri birbirine benzerlik göstermektedir. Esnek veya hareketli plakaya bir basınç uygulandığında, basınçla orantılı olarak kondansatörün kapasitesi ve kapasitif reaktansı değişecektir. Bu direnç değişimi ile orantılı olarak, basınç büyüklüğü tespit edilebilir. Kapasitif prensiple çalışan sensörler basınç sensörü olarak kullanıldığı gibi, yaklaşım ve pozisyon sensörü olarak da kullanılmaktadır [5,13].

4.1.2 Şekil Değişikliği (Strain Gage) Sensörleri

Strain Gage’ler, temel olarak esneyebilen bir tabaka üzerine ince bir telin veya şeridin çok kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmasından oluşmuştur. Üzerindeki basıncın etkisinden dolayı tabakanın esnemesi, iletken şeridin de gerilerek uzamasına sebep olur. Bu uzama esnasında telin boyu uzayarak kesiti azalır. İletkenlerin kesiti azaldıkça dirençleri artacağından, uygulanan kuvvete bağlı olarak iletkenin direncinde de değişim olacaktır. Bu direnç değişimine bağlı olarak, uygulanan kuvvetin miktarını tespit edilebilir [5,13].

Şekil 4.2’de tipleri görülen Strain Gage sensörleri hassas olmasından dolayı, deplasman ve pozisyon sensörlerinde, sağlık testlerinde, esneklik algılamada, dijital barometreler ve alarm cihazlarında kullanılmaktadır [13].

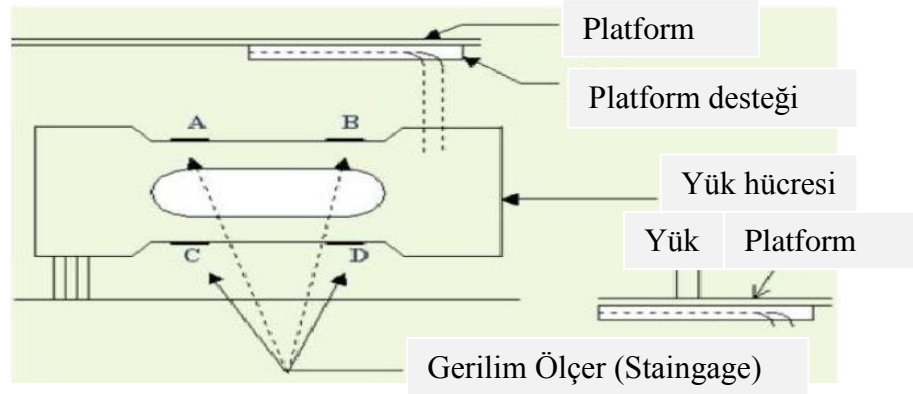


Şekil 4.2: Çeşitli Strain Gage tipleri

4.1.3 Yük Hücresi (Load Cell) Basınç Sensörler

Load Cell (yük hücresi) daha çok elektronik terazilerin yapımında kullanılan basınç sensörüdür. Çalışma prensibi, strain gage sensörlerinde olduğu gibidir. Tek, iki

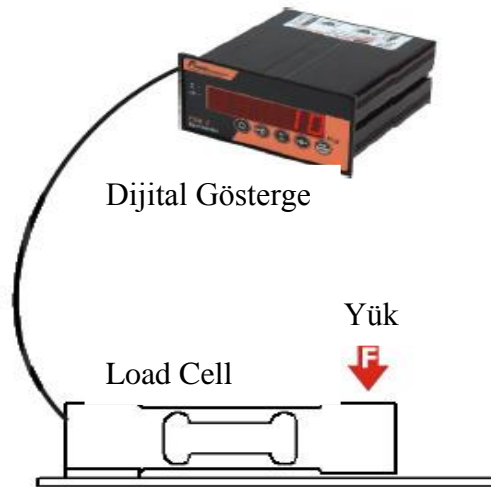
ve dört noktadan ölçme yapabilen çeşitleri mevcuttur. Şekil 4.3’de görülen A, B, C, D noktalarındaki strain gagelerin dirençleri, uygulanan basınca bağlı olarak değişir. Bu değişim ile orantılı olarak da basınç miktarını tespit edebilir [5,13]. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de görüleceği üzere Load Cell basınç sensörleri dijital tartılarda, kantarlarda sıvı ve gaz basınçlarını ölçmede, kan basıncının ölçümünde vb. alanlarda kullanılır [13].



Şekil 4.3: Load Cell basınç sensörü



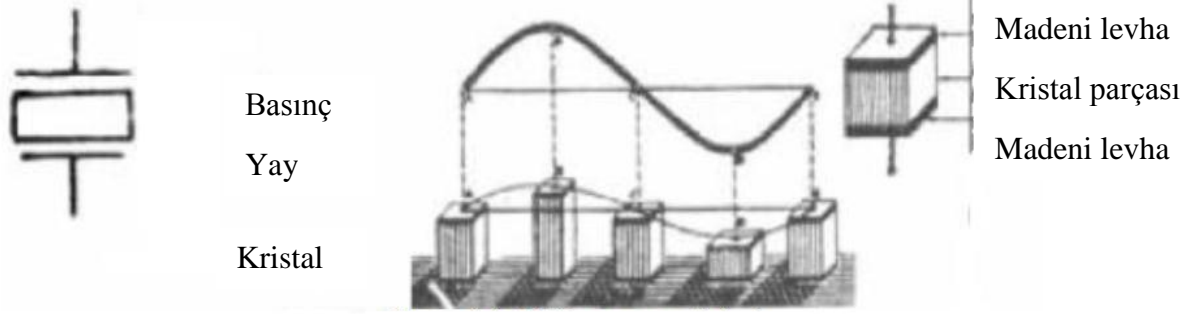
Şekil 4.4: Load Cell örnekleri



Şekil 4.5: Load Cell kullanılan dijital gösterge

4.1.4 Piezoelektrik Özellikli Basınç Ölçme Sensörleri

Piezoelektrik, olay basıncı elektrik akımına dönüştürür. Roşel tuzu, turmalin baryum ve kristal yapılı maddeler, piezoelektrik özellikli algılayıcılarda kullanılır. İki yüzeyine basınç uygulanan pizeoelktrik transdüserleri, gerilim meydana getirme özelliklerinden yararlanılarak, titreşim ve basınç gibi mekanik cihaz ölçümleri yapımında kullanılır [11,21]. Piezoelektrik basınç algılayıcıları ile iç basınç, darbe, balistik ölçümler, patlama, içten yanmalı motorlarda şok ve patlama dalgaları, yüksek şiddetli ses, akustik ve hidrolik gibi 0,001 psi'den 100 psi'ye kadar dinamik basınç ölçümleri yapılabilir [5]. Piezoelektrik sensörler elektronik saatlerde, basınç ve titreşim ölçümleri ile kristal mikrofonlarda kullanılır [11,21].



Şekil 4.6: Piezoelektrik basınç sensörleri

4.2 Dokunmatik Sensörler (Touch Sensor)

Robot çalışmalarında sıklıkla kullanılan dokunmatik (touch) sensörler aslında basit anahtarlardır. Dokunmatik sensörler, robotunun bir cisme temas edip etmediğini ya da sınırlandırılması gereken bir hareketin tamamlanıp tamamlanmadığını algılamak için (limit switch) kullanılır. Dokunmatik Sensörler robot cisme temas ettiği zaman sensörün bağlı olduğu devreyi açar ya da kapatır. Açma ve kapama sinyalleri lojik 0 ve lojik 1 değerleri ile mikrodenetleyiciye gönderilir ve böylece robot programına göre bu değerleri işleyerek yapılması gereken işlemleri (motor çıkış sinyalleri gönderme, led yakma, buzzer çalıştırma ... vb.) yerine getirir [5,12,42,43].

4.3 Hız Sensörleri

Hız sensörleri, bir objenin hızını ölçmek için kullanılan cihazlardır. Genellikle ulaşım araçlarında kullanılır. Aşağıda bazı hız sensör çeşitleri verilmiştir [31];

- Pito tüpü
- Lazer yüzey hız ölçeri (LSV)
- Takometre

4.3.1 Pito Tüpü

Pito tüpü (Şekil 4.7), bir akışkanın yarattığı toplam basıncı ve buna bağlı olarak akışkanın hızını ölçen cihazdır. Özellikle hava araçlarında yaygın olarak kullanılan pito tüpü, statik sistemle birlikte, dinamik basıncın görülen hıza çevrilmesinde kullanılır.

Pito tüpü, hava aracı üzerinde hava akımının düzenli olduğu ve harici etkenlerden fazla etkilenmediği bölgelere yerleştirilir. Uçuşta buzlanmayı önlemek amacıyla uçaklarda genellikle pito ısıtıcı sistemler bulunur. Uçuş haricî zamanlarda pito tüpü, böcek ve pisliklerden korumak için kılıf ile muhafaza edilir. Kılıfın takılı unutulması veya pito tüpünün başka herhangi bir nedenle tamamen tıkanması, hız göstergesinin 0 değer göstermesine neden olur. Ancak hem pito deliği hem de tüpün altındaki tahliye hattı tıkanığında altimetre gibi davranır, yani sabit hız gösterir [28,29].

Pito tüpü akışkanın hareket yönüne paralel ve ters yönde yerleştirilir. Akışkan pito tüpünden geçerken, taşıt ve akışkanın göreceli hareketi nedeniyle oluşan dinamik basıncın ve akışkanın tüm yüzeylerde oluşturduğu (pito tüpü dahil) statik basıncın bileşkesini yani toplam basıncı ölçer. Toplam basınç bazı kaynaklarda pito basıncı olarak da adlandırılır.

Pito tüpü hava araçlarında pito-statik sistemin bir parçasıdır. Pito tüpünden gelen toplam basınç, sistemdeki hassas diyaframın genişlemesine neden olur. Statik deliklerden gelen statik basınç ise, diyaframın statik basınç oranında daralmasını

sağlar. Bu iki hareketin bileşkesi dinamik basıncı verir ve bu bilgi hız göstergesindeki skalaya yansıtılır [29].



Şekil 4.7: Pito tüpü

4.3.2 Lazer yüzey hız ölçeri (LSV)

Şekil 4.8’de gösterilen lazer yüzey hız ölçeri, hareketli yüzeylerin hızını ve uzunluğunu ölçen ve kontak gerektirmeyen bir sensördür. Hareketli objeden saçılan lazer ışını ölçmek için Lazer Doppler prensibini kullanır [25,26].



Şekil 4.8: Lazer yüzey hız ölçeri

4.3.3 Takometre

Takometre, motorlu taşıtlarda aracın hızını genellikle saatte kilometre cinsinden gösteren, dönme hareketi yapan bir makine parçasının, özellikle bir motor ana milinin dönü sayısını dakikada devir cinsinden ölçen ve kameraya takılan ve saniyede geçen resim (kare) sayısını gösteren ayardır [24].

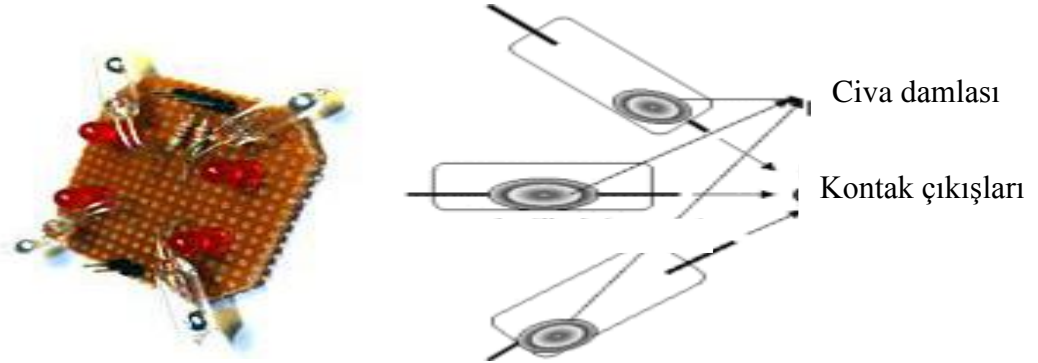
Şekil 4.9’da çeşitleri görülen takometrelerin birçok türü ve bunların farklı çalışma ilkeleri vardır.



Şekil 4.9: Takometre çeşitleri

4.4 Eğim Ölçer Sensörler

Bazı otomasyon sistemlerinde ya da robot projelerinde eğimin algılanması gerekebilir. Bu durumlarda eğimi algılayabilmek için Şekil 4.10'da görülen ve içlerinde civa damlacığı ya da metal bilye bulunan eğim sensörleri kullanılır. Bu sensörler buldukları konuma göre içlerindeki civa damlacığının ya da metal bilyenin sensör içerisindeki anahtarları açması ya da kapamasıyla çalışır [5].



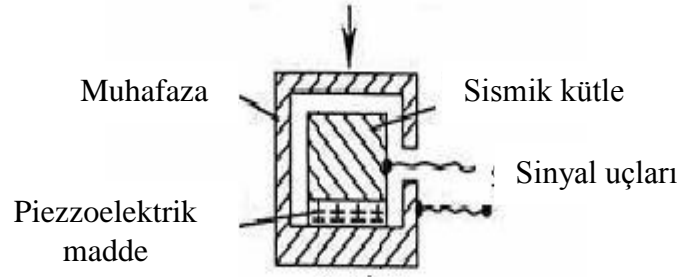
Şekil 4.10: Eğim ölçer sensör ve çalışma prensibi



Şekil 4.11: Eğim ölçer sensör

4.5 İvme Ölçer Sensörler

İvme ölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümleri ile, şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Bir yapının ya da bir makinenin ömrü, çalışma sırasında maruz kaldığı ivmenin şiddeti ile orantılıdır. Bir yapının çeşitli noktalarındaki titreşimin genliği ve fazı, bir model analiz yapılabilmesine izin verir. Yapılacak olan bu analiz sonucunda dinamik olarak çalışacak parçaların çalışma modları belirlenerek tüm sistemin dinamik karakteri ortaya konabilmektedir [19].



Şekil 4.12: İvme ölçer sensör

İvme ölçerler, ölçme tekniğine göre farklı sınıflara ayrılırlar. Bunlardan çalışma presibi Şekil 4.12’de gösterilen Sismik ivme ölçerler ile yer, bina, köprü üzerinde deprem, inşaat, madencilik çalışmaları ile büyük nakliye vasıtalarının yol açtığı titreşimler ölçülebilir. Yüksek frekanslı ivme ölçerler ile çarpma testleri, çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir [19]. İvme ölçer sensör çeşitleri;

- Piezoelektrik ivme ölçerler
- Kapasitif ivme ölçerlerdir.

4.5.1 Piezoelektrik İvme Ölçerler

Piezoelektrik ivme ölçerler çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekansta doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpma testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılır. Bunlar küçük boyutlu ve yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış transdüserlerdir [23].

Piezoelektrik ivme ölçer içerisinde bulunan kuartz ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında, “pico kulon” seviyesinde elektrik yükü üretirler. Bu

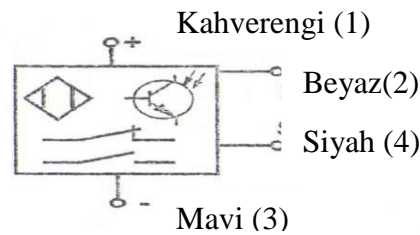
elektrik yükünün kristal üzerindeki değişimi, yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvme ölçerlerdeki sismik kütlelerin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti, piezoelektrik kristale etkir ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı verir. Bir yongaya (Mikro Elektronik devre/chip) sahip piezoelektrik ivme ölçerlerin içinde, sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir sinyal koşullayıcı devre vardır (Integrated Electronics Piezoelectric -IEPE). Bu tip algılayıcılar gürültüden minimum etkilenir. Üzerinde çevirici elektronik devre olmayan (Charge Mode) algılayıcılar, harici bir çevirici (yük yükselteci) ile kullanılırlar. Charge mode algılayıcılar, yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılmak için idealdir [19].

4.5.2 Kapasitif İvme Ölçerler

Kapasitif ivme ölçerler, düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimler ile statik ivmeleri ölçmede kullanılır. Karşılıklı yerleştirilmiş kondansatör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu plakalar arasındaki mesafe nedeniyle kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal doğururlar. Bu tip algılayıcılar özel bir sinyal koşullama gerektirmezler. 12VDC ya da 24 VDC ile beslenmek sureti ile çalışırlar. Özellikle robotik, otomotiv sürüş kalite testleri ve bina dinamiği ölçümü gibi yerlerde kullanılırlar [19].

4.6 Optik Sensörler

Işık etkisi ile çalışan elektronik devre elemanlarına genel olarak optik sensörler denir ve şekil 4.13’de gösterilmiştir. Bir ışık kaynağından çıkan ışın, alıcı tarafından algılanır. Işın demetinde bir kesinti oluşur ise sensör sinyal gönderir. Alıcı ve verici karşılıklı olabileceği gibi, bir gövde üzerinde de bulunabilir. Bu tip sensörler metal olmayan parçaların algılanmasında, uzun mesafelerde algılama istenen yerlerde, yüksek sıcaklıklara dayanım gereken yerlerde kullanılır. Günümüzde kullanım alanları otomasyon sistemlerine paralel olarak yaygınlaşmaktadır [5].



Şekil 4.13: Optik sensörün gösterimi

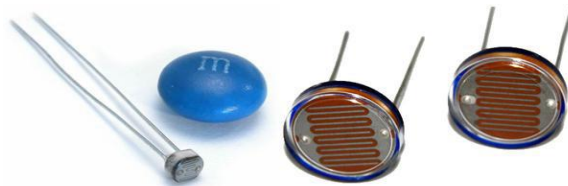
Optik sensör çeşitleri;

- Foto direnç (LDR) – Led diyot
- Infrared (Kızılötesi) Led - Foto diyot
- Işık pili (Güneş Pili)
- Optokuplör
- Fototransistörler
- Görüntü sensörü
- Algılayıcı sensörler (PIR)
- Yansımali sensörler
- Konum sensörleri
- Mesafe algılama sensörleridir

4.6.1 Foto Direnç (LDR) – Led Diyot

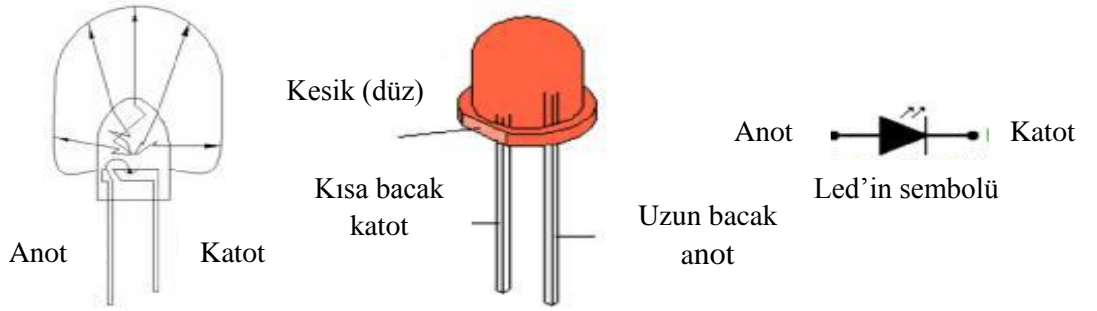
Fotodirençler (LDR) ışığa bağlı olarak değeri değişen dirençlerdir. LDR (light dependent resistor)'lerin üzerine gelen ışık şiddetinin artması direnç değerinin düşmesine, ışık şiddetinin azalması ise direnç değerinin artmasına sebep olur.

LDR'ler, kalsiyum sülfat ve kadmiyum selenid gibi bazı maddelerden yapılmıştır. LDR'lerin ürettikleri madde, algılayıcının hassasiyetini ve algılama süresini belirler. Şekil 4.14'de görülen LDR'lerin üst kısmı, LDR'ye gelen ışığın odaklanmasını sağlamak için cam veya şeffaf plastik ile yapılır. LDR'ler ışığa bağlı olarak kontrol edilmek istenilen tüm devrelerde kullanılabilir. LDR'ler, ışık ile kontrol gerektiren robot projelerinde ve otomasyonlarda kullanılabilecek sensörlerdir. Robotların ışık algılayıcı sensörleri olarak kullanılmalarının yanında alarm devrelerinde, sayıcılarda, flaşlı fotoğraf makinelerinde, park, bahçe ve sokak aydınlatmalarında kullanılır [5,13,15].



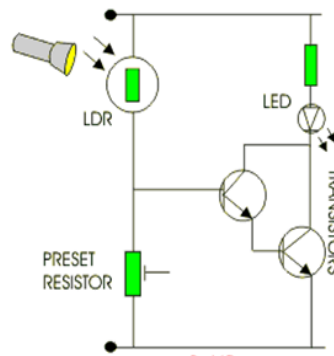
Şekil 4.14: Foto direnç sensör

LDR'lerin çalışmasının gözle görülebilmesi için genelde bağlı buldukları devrelere Led diyot eklenir. Led (Light Emitting Diode) diyot, ışık yayan devre elamanlarıdır. Şekil 4.15'de yapısı görülen Led'ler kullanışlı ve pratik olmalarının yanı sıra oldukça ucuz olmaları nedeniyle, gösterge olarak diğer tip lambaların yerini almıştır. Led diyotların kullanım alanları çok geniştir. Çok az enerji harcadıkları için, elektronik devrelerin testlerinde ve tüm elektronik cihazların çalıştığını gösteren ışık olarak kullanılmaktadır [5,13,15,27].



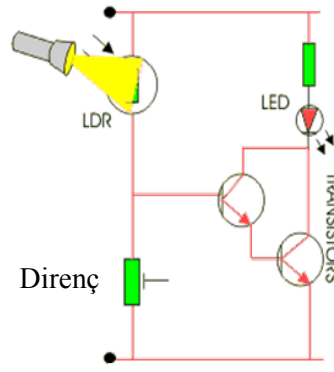
Şekil 4.15: LED diyot sembolü

LDR ve LED'lerin bir arada kullanılmasına yönelik olarak Şekil 4.16'da görülen devrede, LDR üzerine ışık gelmediğinde LDR nin direnci yüksek olacaktır. Buna bağlı olarak transistörün base bacağı tetiklenmeyecek ve Led sönmüş durumda kalacaktır.



Şekil 4.16: Devrede ışık yokken led sönmüş

Şekil 4.17'de görülen devrede, LDR üzerine ışık geldiğinde ise LDR'nin direnç değeri düşecek, buna bağlı olarak transistörün base bacağı tetiklenecek ve Led yanacaktır.



Şekil 4.17: Devrede ışık varken led yanıyor

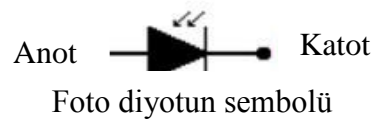
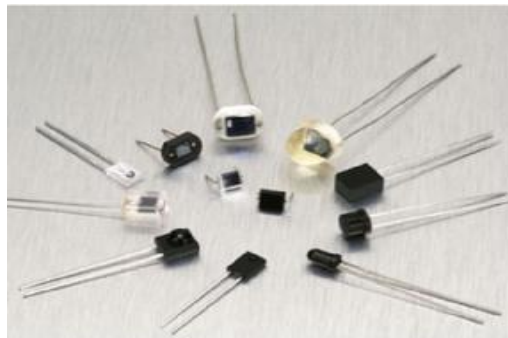
4.6.2 Infrared (Kızılötesi) LED - Foto Diyot

Infrared Led, normal Led'in birleşim yüzeyine galyum arsenid maddesi katılmamış halidir. İnfrared Led'ler görünmez (mor ötesi, kızıl ötesi) ışık yayar. Şekil 4.18'de sembolü görülen Infrared Led'ler, televizyon veya müzik setlerinin kumandalarında, kumandanın gönderdiği frekansı televizyon veya müzik setine iletmek için kullanılır.



Şekil 4.18: Infrared led sembolü

Şekil 4.19'da görülen Foto diyotlar ise, söz konusu cihaz kumandalarının gönderdiği frekansı alan devre elemanı olarak kullanılır. İnfrared Led ile Foto diyotların sembolleri aynıdır.



Şekil 4.19: Çeşitli foto diyotlar ve sembolü

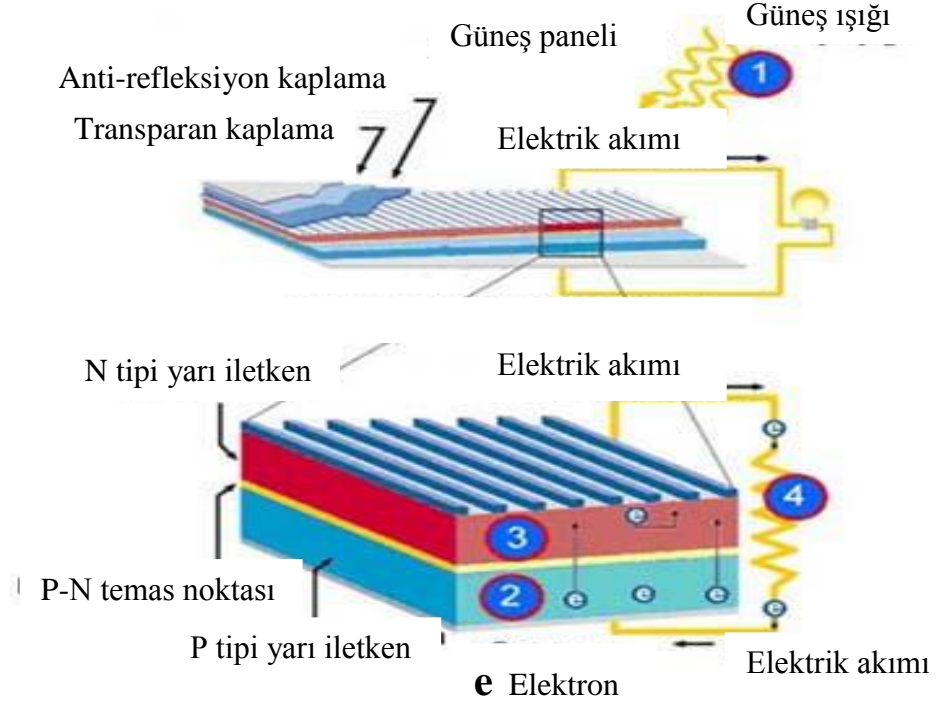
Ayrıca bir Infrared (IR) verici Led tarafından yayılan IR ışığın, IR alıcı modül ile toplanması mantığıyla çalışan yansımali sensörler mevcuttur. Yansımali sensörler ile ilgili ayrıntılı bilgi, ilerleyen konularda verilecektir.

4.6.3 Işık Pili (Güneş Pili)

Güneş pilleri ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik araçlardır. Güneş pilleri yarı iletken bir diyot olarak çalışırlar.

Güneş pili hücrelerinin üst tabakaları çatlama, kırılma ve enerji kaybının önlenmesi için yansımali önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Bu katmanların altında ise N tipi ve P tipi yarıiletken maddeler bulunur. N ve P tipi maddeler, yarıiletken maddelerin eriyik halindeyken istenilen maddeler ile kontrollü olarak katkılandırılması sonucu oluşurlar. Yapısı ve çalışması Şekil 4.20’de şematik olarak görülen güneş pillerinde yarıiletken madde olarak çoğunlukla çok kristalli silisyum kullanılmaktadır [12].

1. Güneş ışığı güneş pili üzerine düşer ve fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilir. Güneş pilinde çok elektrona sahip P tipi yarıiletken madde ve az elektrona sahip N tipi yarıiletken madde bulunur.
2. Güneş ışığı P tipi yarıiletken maddeden elektron koparır.
3. Enerji kazanan elektronlar N tipi yarıiletken maddeye doğru akarlar.
4. Bu sabit tek yönlü elektron akışı doğru akımı (DC) yaratır. Elektronlar kurulan devreler boyunca akarak pillerin şarj edilmesinde ya da farklı alanlarda kullanılır ve P tipi yarıiletken maddeye geri döner [12].



Şekil 4.20: Güneş pilinin yapısı ve çalışma şekli

Güneş pilleri üretim şekillerine göre dört çeşitte gruplandırılır;

- Monokristal güneş pilleri
- Polikristal güneş pilleri
- Amorf Silikon güneş pilleri
- CIS güneş pilleri

4.6.3.1 Monokristalin Güneş Pilleri

Monokristalin güneş pillerinde malzemenin atomik yapısı homojendir. Monokristalin güneş pilleri (Şekil 4.21) verimlilik kapasitesi diğerlerine göre en yüksek olan (% 20) güneş pili çeşididir.

Monokristalin güneş pillerinin üretimleri teknik açısından daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından dolayı, bu tip güneş pillerinin fiyatları da verimlilik kapasiteleri gibi diğer güneş pili çeşitlerinden daha yüksektir. Ancak uzun

sürekli kullanımlar için düşünüldüğünde, monokristalin güneş pilleri dayanıklılık ve verim açısından daha iyi bir seçenektir [12].



Şekil 4.21: Monokristalin güneş pili

4.6.3.2 Polikristalin Güneş Pilleri

Polikristalin güneş pillerinde malzeme birçok monokristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Poikristalin güneş pillerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık % 16 olup monokristalin güneş pillerine göre daha düşük, CIS güneş pillerine göre ise daha yüksektir.

Polikristalin güneş pillerinin (Şekil 4.22) maliyeti monokristalin güneş pillerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş pilleri en sık üretilen güneş pilleridir [12].



Şekil 4.22: Polikristal güneş pili

4.6.3.3 Amorf Silikon Güneş Pilleri

Amorf silikon güneş pilleri (Şekil 4.23), kristal yapılmayan güneş pilleridir. Amorf güneş pillerinin yapısı nedeniyle verimlilik kapasiteleri % 5 ile % 8 aralığında diğer güneş pillerine göre düşük olan değerlere sahiptir [12].



Şekil 4.23: Amorf silikon güneş pilleri

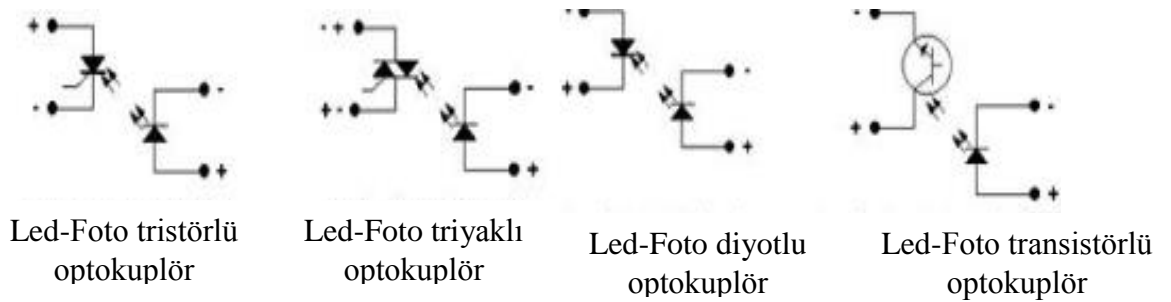
4.6.3.4 CIS Güneş Pilleri

CIS (Copper-Indium-Diselenid - Bakır-İndiyum-Diselenid) güneş pilleri, diğer güneş pillerine göre çok daha ince tabakalı ve verimlilik kapasitesi % 10 civarında olan güneş pilleridir. CIS güneş pillerinin ince yapılı olması montajının kolay olması, maliyetinin düşmesi, geniş yüzeylerde uygulamasının kolaylaşması, hafiflik gibi birçok avantaj sağlamaktadır [12].

4.6.4 Optokuplör

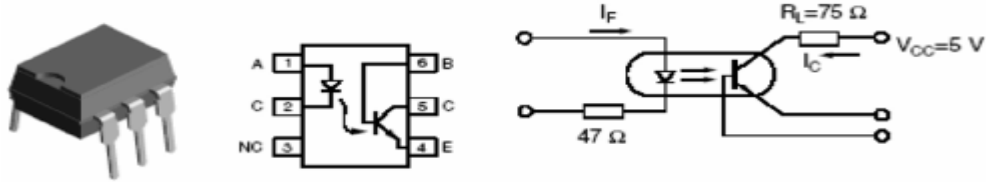
Optokuplör kelime anlamı olarak “optik kuplaj” anlamına gelir. Kuplaj bir sistem içindeki iki katın birbirinden ayrılmasına rağmen aralarındaki sinyal iletişiminin devam etmesi olayıdır. Ayrılma fiziksel olarak gerçekleşir ancak iletişim optik olarak devam eder. Bu durumun faydası, katlardan birinde olan fazla akım ve yüksek gerilim gibi sisteme zarar verecek etkilerden, diğer katları korumaktır.

Işık yayan eleman ile ışık algılayan elemanın aynı gövde içinde birleştirilmesiyle elde edilen elemanlara, optokuplör denir ve çeşitleri Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Bu elemanlarda ışık yayan eleman olarak LED ve Enfraruj LED kullanılırken, ışık algılayıcı olarak foto diyot, foto transistör, foto tristör, foto triyak vb. gibi elemanlar kullanılır [5,13,15].



Şekil 4.24: Çeşitli optokuplör yapıları

Uygulamada entegre kılıf içerisinde bulunan şekli ve iç yapısı Şekil 4.25’de görülen optokuplar, bir adet LED ve tam karşısına milimetrik olarak yerleştirilmiş bir fototransistörden oluşmuştur. LED yandığı zaman transistör ilettime geçer. LED sönük ise transistör yalıtımdadır [5,13,15].

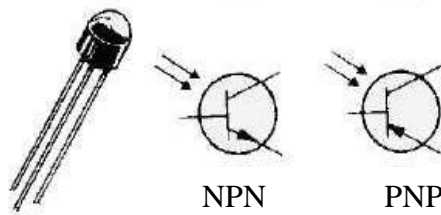


Şekil 4.25: Bir optokuplör ve iç yapısı

Optokuplörler daha çok, iki ayrı özellikli devre arasında elektriksel bağlantı olmadan, ışık yoluyla irtibat kurulmasını sağlayan devrelerde kullanılır. Optokuplor aracılığıyla düşük gerilimle çalışan bir devreyle, yüksek gerilimli bir güç devresine kumanda edilebilir. Optokuplörler 2000 ile 5000 voltluk gerilimlere dayanıklı olduğundan en hassas kontrol sistemlerinde güvenle kullanılır [5,13,15].

4.6.5 Fototransistörler

Fototransistörler diğer transistörlerden farklı olarak base bacağı yerine, base ile kollektörün birleşim yüzeyine düşen, ışıkla tetiklenirler. Genellikle led ile birlikte yansıma sensörü olarak kullanılırlar (Şekil 4.26) [5].



Şekil 4.26: Fototransistör

4.6.6 Görüntü Sensörü

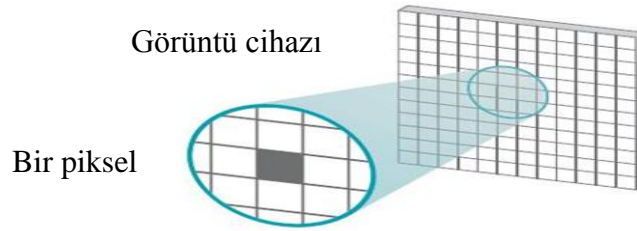
Cisimlerden yansıyan ışığı elektrik sinyallerine dönüştüren elektronik devrelerdir. Her ışık huzmesi, bu sensör aracılığıyla çeşitli güçlerde voltaj üretir. Eğer ışığın rengi siyah ise üretilen voltajın gücü sıfır, eğer beyaz ise bir’dir. Sıfır ile bir

arasındaki voltaj gri renk tonlarını temsil eder. Çalışma prensibi Şekil 4.27’de görülen kamera içindeki işlemciler bu voltajı işleyerek monitör üzerinde görüntülerin belirmesini sağlar.



Şekil 4.27: Dijital fotoğrafın temel işleyişi

Sensörün ürettiği her bir voltaj, Şekil 4.28’de görüleceği üzere bir piksele isabet eder. Piksel sayısı ne kadar yüksek olursa, kamera görüntüsü o kadar net olur [14]. Görüntü sensörleri dijital kameralarda, kamera modüllerinde ve diğer görüntü cihazlarında kullanılır.



Şekil 4.28: Sensörün ürettiği her bir voltaj, bir piksele isabet eder

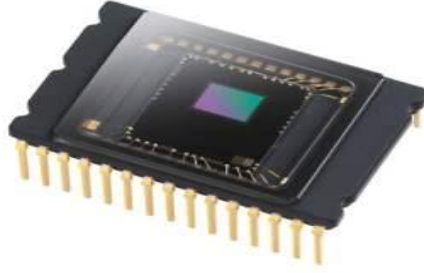
Görüntü sensörleri;

- Tamamlayıcı Metal Oksit Yarıiletken (CMOS)
- Yüklenme İliştirilmiş Araç (CCD) olmak üzere iki gruba ayrılır [33].

4.6.6.1 Tamamlayıcı Metal Oksit Yarıiletken (CMOS)

Genel olarak günümüzde kullanılan sayısal (dijital) devrelerin neredeyse tamamı (örneğin mikroişlemciler), tamamlayıcı metal oksit yarıiletken (CMOS) teknolojisi ile üretilir. Bu teknolojinin yaygın olarak kullanılmasının nedeni, birim silisyum alanda en fazla transistör gerçekleştirilmesini olanaklı kılması, gerçekleştirilen devre açık durumda fakat işlem yapmazken, fazla güç tüketmemesidir. Böylece elektronik endüstrisinin temel taleplerinden olan düşük maliyet ve düşük güç tüketimi (uzun pil ömrü) sağlanmış olur. Günümüzde artık dijital fotoğraf makineleri,

webcam ve cep telefonlarında yapısı Şekil 4.29’da görülen CMOS tercih edilmektedir. Az ısınması nedeni ile Dijital Video çekimine uygundur [17].

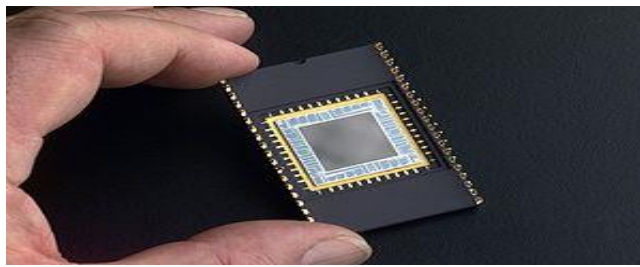


Şekil 4.29: CMOS algılayıcı

4.6.6.2 Yükleme İliştirilmiş Araç (CCD)

Yükleme ilıştırılmış araç (CCD) (Şekil 4.30) ,dijital fotoğraf makineleri ve video kameralarda ışığa duyarlı yüzey olarak iş görür. Bir tabakanın üstüne dizilmiş ışığa duyarlı foto diyotlardan oluşur. Bunlar düşen ışığı elektrik gerilimine çevirir. Ne kadar aydınlık olursa ışık hücresinde (fotosel) biriken gerilim de o kadar yüksek olur. Matrix gerilim, bir analog-dijital çevirici (ADC) ve işlemci vasıtası ile resme çevrilir.

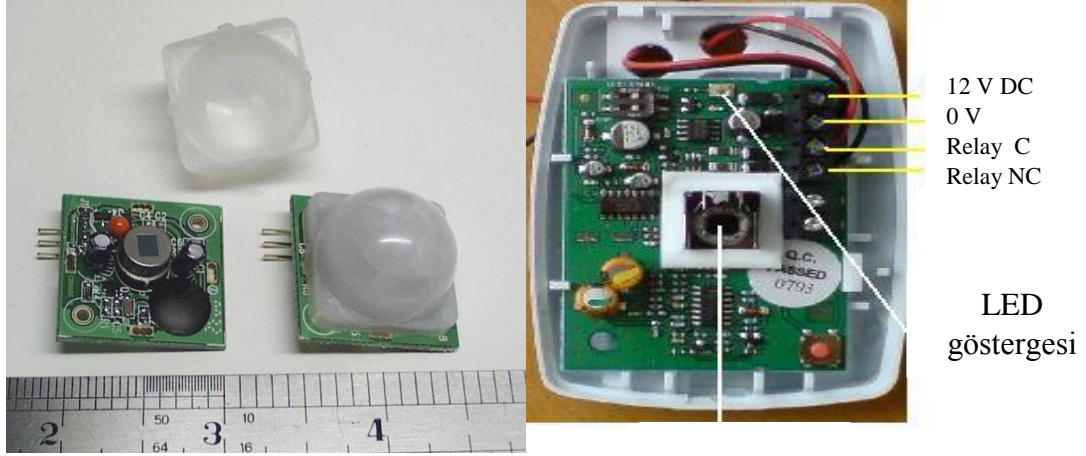
CMOS algılayıcılar ışığa karşı, CCD algılayıcılardan daha duyarlıdır ve ürettikleri görüntüler daha niteliklidir. Buna karşılık daha pahalıdır ve daha az güç harcarlar [18].



Şekil: 4.30: CCD algılayıcı

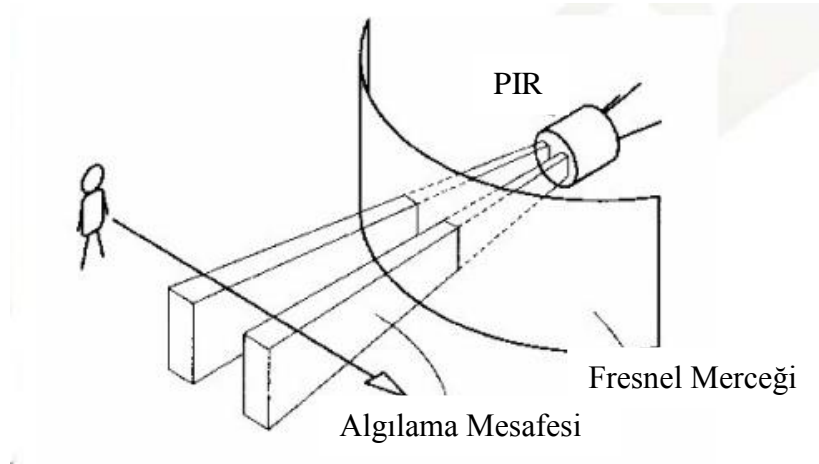
4.6.7 Algılayıcı Sensörler (PIR)

PIR sensörler, görüş alanlarındaki insanların ve sıcak kanlı canlıların yaydıkları IR ışıkları algılayabilen sensörlerdir. Örnekleri Şekil 4.31’de görülen PIR sensörleri genellikle hareket sensörü olarak kullanılırlar (hırsız alarmları, otomatik aydınlatma üniteleri gibi yerlerde). sensör kullanılır [5,12].



Şekil 4.31: PIR sensörü

İnsanlar hareket ettiklerinde ortamda bir sıcaklık farkı oluştururlar ve etrafa kızılötesi (infrared) ışınlar yayarlar. Bu ışınlar belli mesafelere kadar güçlü bir şekilde ilerleyebilmektedir. Bu algılama alanı içerisinde olanlar hareket algılama sensörleri üzerindeki Fresnel Lens sayesinde PIR dedektöre odaklandırılmaktadır. Bu ışınlar PIR dedektör tarafından tespit edilip değerlendirilmektedir. Şekil 4.32’de görüleceği üzere bu değerlendirme sonucunda alınan sinyal gerçekten bir insanın hareketi ise hareket sensörü çıkışına bağlı olan lambalar yanacaktır [32].



Şekil 4.32: Hareket algılama mesafesi

Hareket sensörlerinde algılama mesafesi, PIR dedektörle hareket yönü arasındaki açıya, sıcaklığa (armatür içerisinde kullanılan lambaların gücü bu sıcaklığı değiştirmektedir), montaj şekline ve montaj yerine bağlıdır [32].

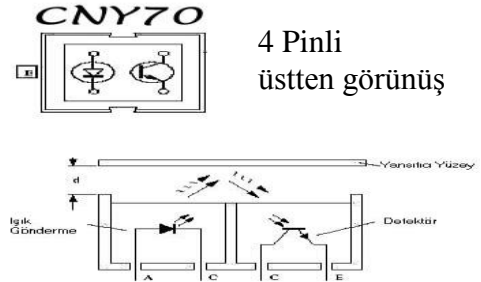
4.6.8 Yansımali Sensörler

Yansımali sensörler (reflective optosensors), içerisinde Infrared (IR) led ve fototransistör bulduran aktif sensörlerdir. Yayıdıkları IR ışığın geri yansiyıp fototransistör tarafından algılanması ile çalışırlar. IR ışığın yansima miktarı, çarpıp geri geldiği yüzeyin rengine bağıdır [10,12]. En yaygın olarak kullanılan yansımali sensörler CNY70'dir.

CNY70 basit anlamda, ışık yayan ve gönderdiği ışığın yansiyıp yansımadiğine bakarak, siyahla beyazı ayırt etmekle veya dar bir alanda cisim belirlemede kullanılan algılayıcıdır. Şekil 4.33'de şekli ve çalışmamantığı görülen CNY70 kontrast sensörünün içerisinde, 950nm dalga boyunda bir ışık yayan (IR ışık) bir adet fotodiyot ve bir adet fototransistör bulunur. Fototransistörün base'i bu IR ışığın zemine çarpıp geri yansimasıyla tetiklenir. Bu şekilde siyah ve beyaz zeminlerde IR ışığın geri yansiması farklı olacağından, CNY70 kontrast sensörü ile siyah ve beyaz renklerin ayırt edilmesi sağlanmış olur [12].



(a) CNY70 sensörü



(b) CNY70 çalışma mantığı

Şekil 4.33: Yansımali sensörler

4.6.9 Konum Sensörleri

Konum sensörleri, hareketli bir sistemin konum (pozisyon) bilgisinin alınmasını sağlarlar [6]. Konum sensörü çeşitleri;

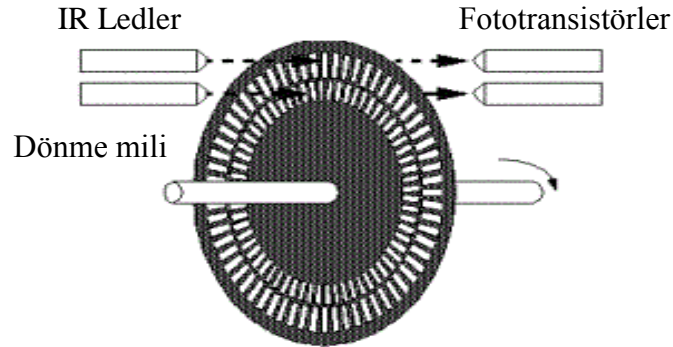
- Potansiyometre
- Encoder
- Resolverdir.

4.6.9.1 Potansiyometre

Konum sensörünün en basiti potansiyometreler, belli bir aralıkta ayarlanabilen dirençlerdir. Bu direnci üstünde yer alan çubukla değiştirebilir. Eklem kısmında çubuğu eklemeye bağlayarak açıyla değişen bir direnç elde edilir [6]. Potansiyometreler dijital olmayan radyoların ses ve frekans ayarlarında yaygın olarak kullanılır. Potansiyometre olarak da adlandırılan bu cihazlar aslında kullanıcıya direncini istediği değere getirme şansı sunmaktadır. Sabitlenmiş iki uç arasında hareket eden bir ucun yer değiştirmesiyle hareket eden uç ile sabit uçlar arasındaki direnç değişir [4].

4.6.9.2 Encoder

Encoderlar yani sinyal üreticiler, bağlı olduğu şaftın hareketine karşılık sayısal (digital) bir elektrik sinyali üreten elektromekanik cihazdır. Çalışma şekli Şekil 4.34'de görülen encoderlar robot ve otomasyon projelerinde açısal dönme hızını ve düzeneğin açısal pozisyonunu belirlemek amacıyla kullanılır. Encoder diskinin üzerinde belirli aralıkla delikler vardır. Encoder diski dönerken IR LED'in yaydığı ışık deliklerden geçer ve karşı taraftaki fototransistörü tetikler. Delik olmayan kısımlarda ise IR ışık fototransistörü tetikleyemez. Bu şekilde alınan sinyaller sayılabilir ve mikrodenetleyiciye gönderilebilir. Mikrodenetleyicide yazılı program ile sinyaller işlenerek gerekli işlemlerin gerçekleştirilmesi sağlanır [5,12].



Şekil 4.34: Encoderlerin çalışma düzeni

Bir diğer encoder diskide, Şekil 4.35'de görülen üzerinde delikler yerine siyah ve beyaz renkte dilimler olan encoder diskleridir. Bu tip encoder disklerinde sensör olarak yansımali sensörler kullanılır. Beyaz ve siyah renklerin algılanması sayesinde açısal dönem hızı ve pozisyon belirlenir [5,12].



Şekil 4.35: Siyah ve beyaz renk dilimli encoder

Encoderlar, endüstriyel kontrol işlemleri, endüstriyel robotlarda, tezgahlarda, ölçme gereçlerinde, çiziciler (plotters) ve bölücülerde (dividers), levha işleme makinelerinde, ölççekler ve balanslarda, antenler ve teleskoplarda, cam, mermer, çimento, tahta vb işleme makinelerinde, tekstil ve deri işleme makinelerinde, vinç, köprü vinci, presleme, baskı ve paketlenme makinelerinde, medikal cihazlar ve kapı kontrol cihazlarında kullanılabilir [6].

4.6.9.3 Resolver

Resolver'lar (Sincos'lar), encoderların bir üst basamağı olarak düşünebilir. En sık olarak endüstriyel motorlarda kullanılırlar. Encoderlara benzemekle beraber iç sistemleri ve çıkışları tamamı ile farklıdır. Yapısı Şekil 4.36'da görülen resolver'lara dışarıdan bakıldığında görünüş olarak DC motora çok benzerler. Rotor (Dönen kısım) ve statordan oluşurlar. Motordan farkıyla, Resolver'ların rotoru da, statoru da bobinlerden oluşur. Robot bobinine belirli frekans ve voltajda (genellikle AC akım 400Hz – 26V gibi) akım uygulanır [6].



Şekil 4.36: Resolver

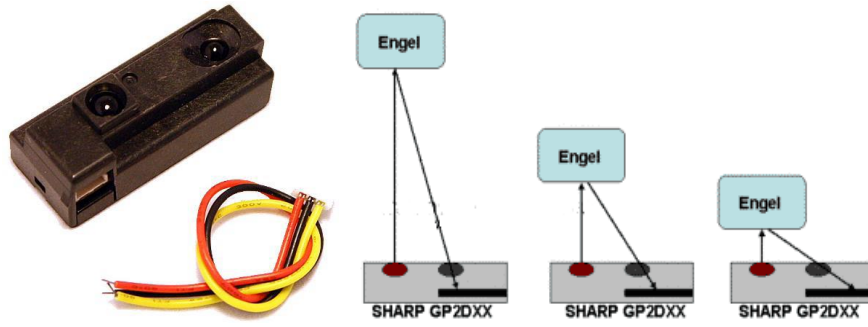
4.6.10 Mesafe Algılama Sensörleri

Robot ve otomasyon projelerinde bazen sadece engeli algılamak yeterli olmayabilir. Mesafe algılaması gerektiren durumlarda mesafe algılayıcı (SHARP) (Şekil 4.37) sensörler kullanılır [5,12].

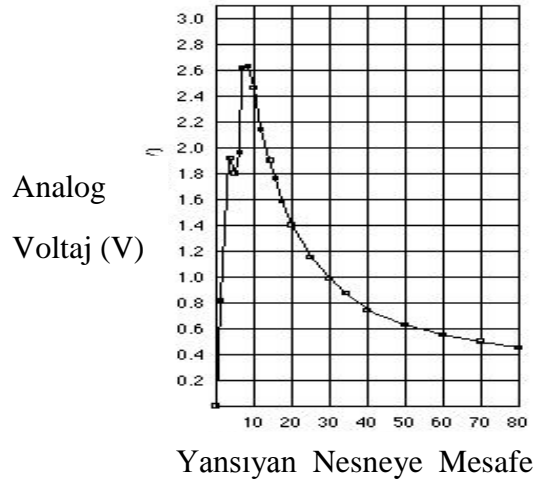


Şekil 4.37: Mesafe algılama sensörleri

Çalışma prensibi Şekil 4.38’de görüleceği üzere, SHARP sensörün yaydığı IR ışık engele çarpıp geri yansır ve yansıyan IR ışık SHARP sensörün alıcısı tarafından algılanır. Engel ile SHARP sensör arasındaki mesafeye bağlı olarak IR ışığın yansıma açısı ve ışığın dedektör üzerinde düştüğü nokta değişir. Dedektör bu veriyi okur ve mesafeyi hesaplar [5,12].

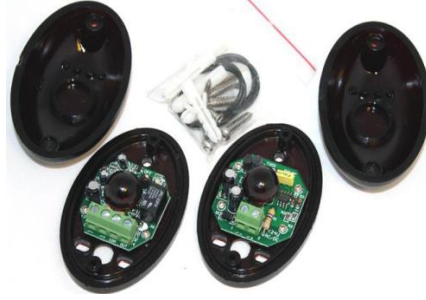


Şekil 4.38: Sharp sensörlerinin mesafeyi algılaması



Şekil 4.39: Sharp GP2D12 sensörünün mesafeye göre değişen çıkış voltajı değeri

Şekil 4.39’da verilen grafik, SHARP GP2D12 sensörünün mesafeye göre değişen çıkış voltajı değerlerini göstermektedir. Grafiğin doğrusal olmaması yukarıdaki şemada gösterilen üçgensel bölgenin trigonometrik hesaplarından kaynaklanır. SHARP GP2XX serisinde farklı algılama alanlarına sahip farklı sensörler bulunmaktadır. SHARP sensörler algılanan mesafeye göre farklı çıkış voltajlarında sinyaller verirler [5,12].



Şekil 4.40: Uzun menzilli bariyer sensörü

4.7 . Ses Seviye Sensörleri

Ses bir titreşimden ibaret olup suya atılan taşın yarattığı dalgaya benzer. Şekil 4.41’de havada bir dalga iletimi şeklinde yayılmaktadır. Ses aslında hava basıncındaki değişimdir. Konuştuğumuzda çıkardığımız ses havayı titreştirerek hava da bir basınç değişikliği oluşturur. Kulak ise bu basınç değişikliğini kulaklarımızdaki zar ile algılar [13].



Şekil 4.41: Ses dalgaları ve sesin algılanması

Ses sensörleri, insana ait olan bu duyu özelliğini robotlara kazandırır. Robotlar bu sayede dış dünyayı algılamış olur. Ortamdaki ses seviyesi belirli bir sınırın üzerine

çıkıtığında çıkış verirler. Sınır seviyesi genellikle devrelerinde yer alan trimpotlar ile ayarlanır [6]. Ses seviye sensör çeşitleri;

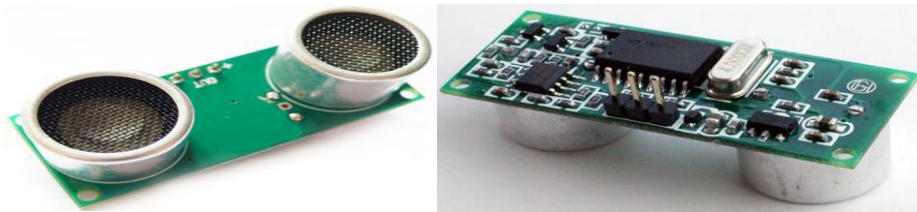
- Ultrasonik Ses Sensörleri
- Mikrofon
- Hoperlörlerdir.

4.7.1 Ultrasonik Ses Sensörleri

Ultrasonik sensörler (Şekil 4.42) genellikle robotlarda engellerden kaçmak, navigasyon ve bulunan yerin haritasını çıkarmak amacıyla kullanılmaktadır [5].

Ultrasonik ses dalgaları 20.000 - 500.000 Hz arasında frekanslara sahip ses dalgalarıdır. Bizim duyabildiğimiz 300 - 14.000 Hz bandının üzerindedirler. Ultrasonik sensörler ultrasonik ses dalgaları yayan ve bunların engellere çarpıp geri dönmesine kadar geçen süreyi hesaplayarak aradaki uzaklığı belirleyebilen sensörlerdir. Bu sensörlerde bu kadar yüksek frekanslarda ses dalgalarının yayılmasının nedeni, bu frekanslardaki dalgaların düzgün doğrusal şekilde ilerlemeleri, enerjilerinin yüksek olması ve sert yüzeylerden kolayca yansımalarıdır [5].

Ultrasonik sensörlerin algılama menzili uygun koşullarda 30 metreye varabilir. Ultrasonik sensörlerde iki adet transducer bulunur. Bunlardan biri ultrasonik speaker diğeri de ultrasonik mikrofondur. Elektronik devre ile ultrasonik speaker'dan ses dalgasının yayılma anı ile bu ses dalgasının engele çarpıp yansıtılarak ultrasonik mikrofondan algılanması arasındaki zaman ölçülür ve bu zamanın ikiye bölünüp ses hızı ile çarpılması sonucunda da engel ile ultrasonik sensör arasındaki mesafe hesaplanır (Şekil 4.43). Robotlarda genellikle 40 kHz'lik ultrasonik sensörler kullanılmaktadır [5].



Şekil 4.42: Ultrasonik ses sensörleri

Ultrasonik uzaklık sensörü, piezoelektrik transducerdan gelen 40khz ultrasonik sesin kısa darbelerini yayarak çalışmaktadır. Ses enerjisinin küçük bir kısmı sensörün önündeki cisimlerden yansiyarak dedektöre yani farklı bir piezoelektrik transdüzere gelir. Alıcı yükselteci yansıyan işareti (ekoları) sinyal dedeksiyon sistemine veya mikrokontrolöre gönderir. Sinyalin havadaki hızına bağlı olarak mikrokontrolör, cisimlerin ne kadar uzakta olduklarını zamanlama prosesi koşarak belirler [5].



Şekil 4.43: Ultrasonik ses dalgalarının yayılımı

4.7.2 Mikrofon

Mikrofon (Şekil 4.44), kulaklarımız gibi havadaki basınç değişikliğinin yarattığı etkiden yararlanarak sesi algılar ve elektrik sinyaline çevirir [5,15].



Şekil 4.44: Mikrofon

Bütün mikrofonların yapısı, ses dalgalarının bir diyaframı titreştirmesi esasına dayanmaktadır. Her sesin belirli bir şiddeti vardır. Bu ses şiddetinin havada yarattığı basınç ses şiddeti ile doğru orantılıdır. Gelen hava basıncının büyüklük ve küçüklüğüne göre ileri geri titreşen diyafram, bu titreşimi elektrik enerjisine çevirmek için değişik yöntemler kullanır. Kullanılan yöntemlere göre de mikrofonlara isim verilir.

Ses algılaması gerektiren robot ve otomasyon projelerinde, mikrofon kullanarak yapılan ses sensörü devreleri kullanılır. Mikrofonlarda önemli olan unsur diyaframdır. Diyafram ses dalgalarıyla titreşir ve bu titreşimler mikrofonun çeşidine ve yapısına göre farklı biçimlerde elektrik sinyallerine dönüştürülür. Mikrofonların frekans, empedans, duyarlılık ve alış yönü gibi karakteristik özellikleri vardır. Bu karakteristik özellikler mikrofonun çeşidine ve kalitesine göre farklılık gösterir ve uygulamaya göre mikrofon seçiminde rol oynar [5,15].

Beş çeşit mikrofon vardır. Bunlar;

- Dinamik (Bobinli- Manyetik) Mikrofonlar
- Kapasitif (Kondansatör) Mikrofonlar
- Şeritli (Bantlı) Mikrofonlar
- Kristal (Piezoelektrik Kristali) Mikrofonlar
- Karbon Tozlu Mikrofonlar

4.7.2.1 Dinamik (Bobinli - Manyetik) Mikrofonlar

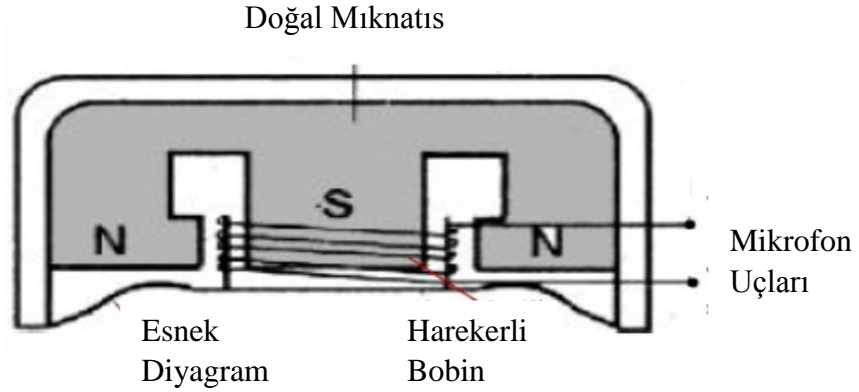
Dinamik mikrofon (Şekil 4.45) , ses dalgaları ile hareket eden diyaframa bağlı bobinin sabit bir mıknatıs içinde hareket etmesinden dolayı bobin uçlarında oluşan gerilim değişimine bağlı olarak çalışır [5,13,15].

Ses dalgalarıyla titreşen diyafram, bağlı bulunduğu bobini, sabit mıknatıs içerisinde ileri-geri hareket ettirir. Sabit mıknatısın kutupları arasında manyetik alan hatları vardır. Bobin iletkenleri hareket sırasında bu manyetik alan hatlarını kesmektedir. Manyetik alan içerisinde hareket eden iletkenin uçları arasında bir gerilim oluşur.



Şekil 4.45: Dinamik mikrofon örnekleri

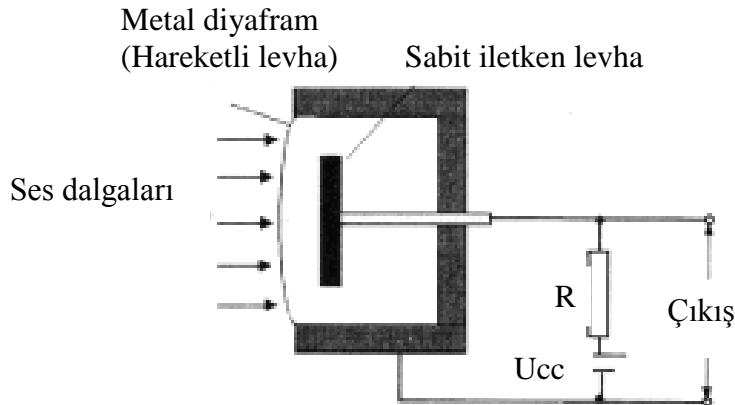
Sürekli ileri-geri titreşim halinde bulunan bobinde de ses frekansına uygun olarak değişen bir gerilim oluşur. Mikrofon bobini uçlarında oluşan gerilim, bir ses frekans yükseltecine verildiğinde, hoparlörden aynı frekansta çıkış alınır. Böylece mikrofonu yapılan konuşma veya melodi kuvvetlendirilmiş olarak sese dönüştürülür. Dinamik mikrofon bobininin direnci birkaç ohm " Ω " kadardır [5,13,15].



Şekil 4.46: Dinamik mikrofonun yapısı

4.7.2.2 Kapasitif (Kondansatör) Mikrofonlar

Yapısı şekil 4.47’de görülen kapasitif mikrofonlar statik elektriklenme esasına göre çalışan mikrofonlardır. Kapasitif mikrofonların diyaframı gelen ses dalgalarıyla titreşir ve bu titreşim mikrofonun kapasitesinin değişimine neden olur. Kapasitedeki bu değişim sesin özelliğine uygun olarak mikrofonun çıkışında elektrik sinyallerini oluşturur [5,13,15].



Şekil 4.47: Kapasitif mikrofonun yapısı

Kapasitif mikrofonların yüksek seslerde az distorsiyonlu oldukları için çok tercih edilir (Şekil 4.48).



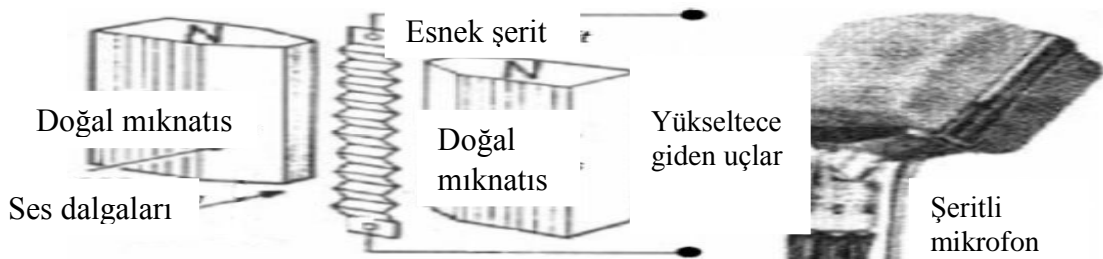
Şekil 4.48: Kapasitif mikrofon

Kapasitif mikrofonların devreye bağlantısı DC beslemeli olarak yapılır. Mikrofonun plâkalarına uygulanan DC, modele göre 1,5 - 48 V arasında değişmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kapasitif mikrofonların DC beslemesinde bir ya da iki adet kalem pil bulunur. DC akım ile beslenerek kullanıldıkları ve küçük boyutlarda üretilebildikleri için robotik çalışmalar için uygundur [5,13,15].

4.7.2.3 Şeritli (Bantlı) Mikrofonlar

Şerit mikrofonlar çok hassas yapıdadırlar, sarsıntıdan, hava akımından, etkilenirler ve gürültülü çıkış verirler. Bu nedenle, kullanırken fazla sarsmamaya dikkat etmek gerekir. Rüzgarlı havalarda da, açık havada kullanılmamalıdır. Hassas olması nedeniyle, düşük frekanslı sesleri (bas) dahi rahat alır ve frekans karakteristiği geniştir [13].

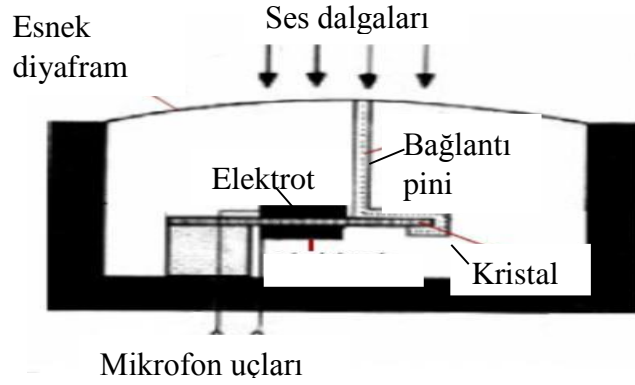
Çalışmaları dinamik mikrofonlar gibi manyetik alan esasına dayalı mikrofonlardır. Şekil 4.49'da görüldüğü gibi manyetik alan içine yerleştirilmiş ince bir alüminyum ya da kalay levhaya ses sinyalleri çarpınca, manyetik alan içinde hareket eden levhada ses frekanslı akım oluşur. Şeritli mikrofonların empedansı çok düşük, kaliteleri yüksektir. Sarsıntıdan, rüzgârdan olumsuz etkilendiklerinden kapalı ortamlarda kullanılır [5,13,15].



Şekil 4.49: Şeritli mikrofonun yapısı

4.7.2.4 Kristal (Piezoelektrik Kristalli) Mikrofonlar

Yapısı şekil 4.50’de görülen kristal mikrofonlar, piezoelektrik olayından yararlanılarak yapılan mikrofonlardır [13]. Kuartz (quartz), roşel (rochelle) tuzu, baryum, turmalin gibi kristal yapılu maddelere basınç uygulandığında üzerlerinde elektrik akımı oluşur. Bu akım, basıncın kuvvetine ve frekansına göre değişir. İşte bu esastan yararlanarak kristal mikrofonlar yapılmıştır. Kristalli mikrofonlarda, kristal madde şekilde görüldüğü gibi çok ince iki metal elektrot arasına yerleştirilmiş ve bir pin (küçük çubuk) ile diyaframa tutturulmuştur. Ses titreşimleri diyaframı titreştirince kristal de titreşmektedir. Kristaldeki titreşim elektriksel sinyallerin oluşmasını sağlamaktadır [5,15].

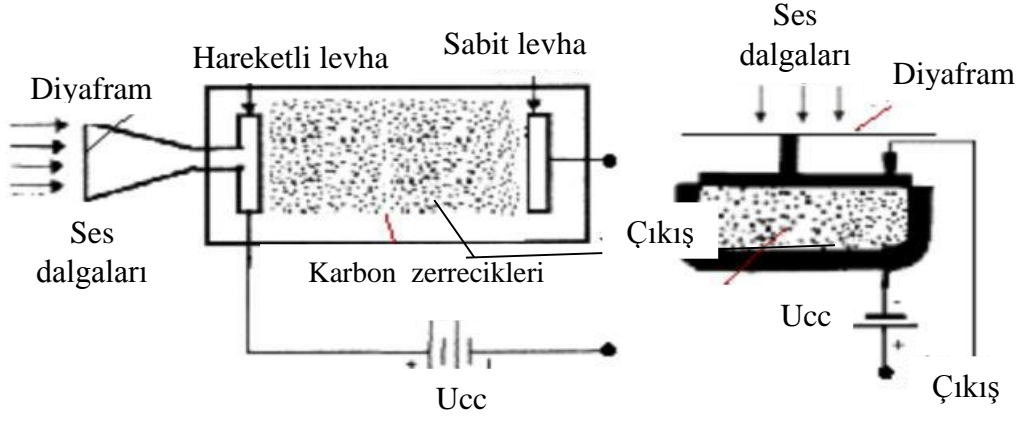


Şekil 4.50: Kristal mikrofonun yapısı

4.7.2.5 Karbon Tozlu Mikrofonlar

Yapısı Şekil 4.51’de görülen karbon tozlu mikrofonlar, bir hazne içinde doldurulan karbon tozu zerrecikleri ve esnek diyaframdan oluşmuştur. Ses dalgaları alüminyum diyaframa çarpınca titreşerek karbon zerreciklerinin sıkışıp gevşemesine yol açar. Tozlar sıkışınca akımın yolu kılcalıcağından direnç azalır. Tozlar gevşeyince ise akımın yolu uzayacağından direnç yükselir. İşte bu işlem esnasında sesin şiddetine göre karbon tozlarından geçen akım değişken özellik gösterir. Karbon tozlu mikrofonların çalışabilmesi için bir DA besleme kaynağına gereksinim vardır.

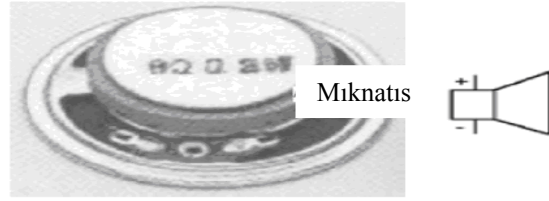
Bu tip mikrofonların empedansları 50Ω dolayında olup çok küçüktür. Ayrıca, kömür tozları zamanla özelliğini kaybettiğinden mikrofonun hassasiyeti bozulmaktadır. İşte bu nedenle günümüzde çok kullanılan bir mikrofon tipi olmayıp, eski tip telefonlarda vb. karşımıza çıkmaktadır [5,13,15].



Şekil 4.51: Karbon tozlu mikrofonun yapısı

4.7.3 Hoparlör

Elektriksel sinyalleri insan kulağının duyabileceği ses sinyallerine çeviren elemanlara “hoparlör” denir [5].



Şekil 4.52: Hoparlör ve sembolü

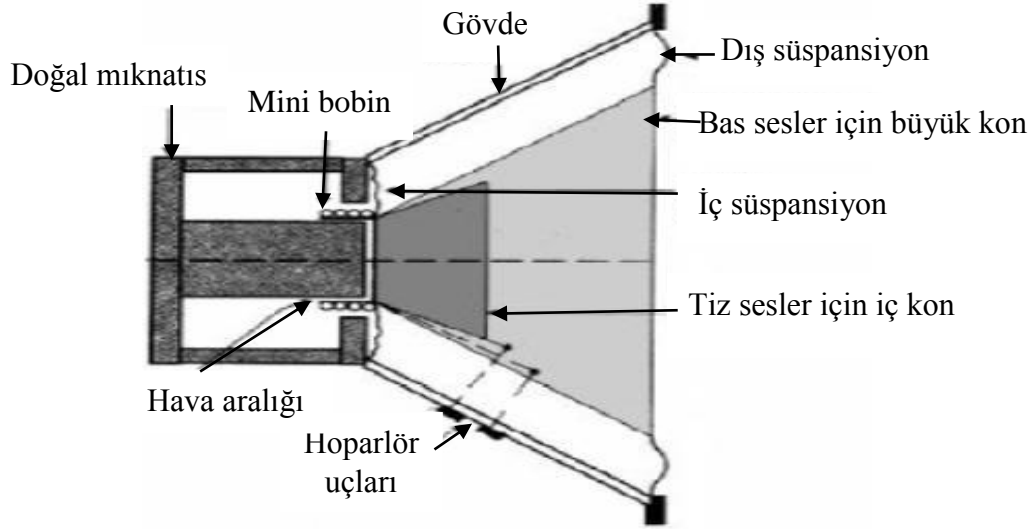
Genel olarak hoparlörler mıknatıs ve mıknatıs etrafına yerleştirilen bir bobin ve hareketli diyaframdan oluşur [13]. Hoparlörler çalışma prensiplerine göre çeşitlere ayrılırlar:

- Dinamik (Hareketli Bobinli) Hoparlörler
- Piezoelektrik (Kristal) Hoparlörler

4.7.3.1 Dinamik (Hareketli Bobinli) Hoparlörler

Dinamik hoparlörlerde yükselteçten gelen AC özellikli sinyaller hoparlör içindeki bobinin etrafında değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu alan ile sabit mıknatısın alanı birbirini itip çekerek diyaframın titreşimine sebep olur. Diyaframın

ses sinyallerine göre titreşimi havayı titreştirir. Kulak zarı da buna bağlı olarak titreşerek sesleri algılamamızı sağlar [5,15].



Şekil 4.53: Hoparlörün yapısı

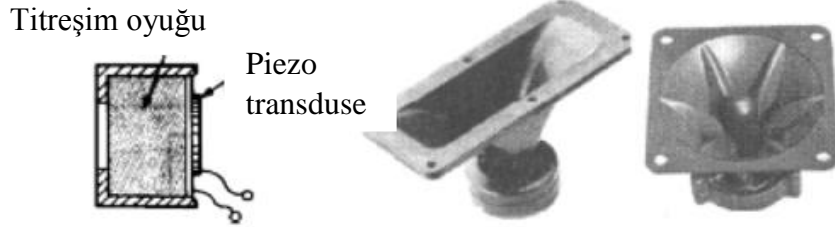
Şekil 4.53’de görüldüğü gibi dinamik hoparlörler, bobin, mıknatıs, kon (diyafram) gibi elemanların birleşiminden oluşmuştur. Bu elemanlarda demirden yapılmış bir silindirin ortasına doğal mıknatıs yerleştirilmiştir. Mıknatısla yumuşak demir arasındaki hava aralığına ise hoparlör diyaframının uzantısı sarılmış bobin konmuştur.

Bobinin sarıldığı diyaframın alt kısmı bir süspansiyon (esnek taşıyıcı) ile gövdeye tutturulmuştur. Bobin, süspansiyonlar sayesinde hava aralığında rahatça hareket edebilmektedir. Hoparlörlerde kon iki tanedir. Geniş çaplı olan dışarıda, küçük çaplı olan ortadadır. Büyük kon kalın (bas) sesleri, küçük kon ise ince (tiz) sesleri oluşturur [5,13,15].

4.7.3.2 Piezoelektrik (Kristal) Hoparlörler

Şekil 4.54’de yapıları görülen piezoelektrik hoparlörler çizgi biçiminde, birbirine karşı polarize edilmiş, bükülgen piezooksit (kurşun, elmas, titan karışımı) maddeden yapılmıştır. Şeritlere akım uygulandığında, boyut uzayıp kısalır ve karşdakini itip çeker. Bu titreşim esnek membranı hareket ettirerek ses oluşur.

Piezoelektrik hoparlörler daha çok yüksek frekanslı seslerin elde edilmesinde (kolonların tivitirlerinde) ve kulaklıklarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda dijital saatlerde kullanılan hoparlörlerde buzzer olarak piezoelektrik esasına göre çalışır [5,13,15].



Şekil 4.54: Piezoelektrik hoparlörler

4.8 Sıcaklık Sensörleri

Ortamdaki ısı değişimini algılamaya yarayan cihazlara ısı veya sıcaklık sensörleri denir. Birçok maddenin elektriksel direnci sıcaklıkla değişmektedir. Bu maddeler kullanılarak sıcaklık kontrolü ve sıcaklık ölçümü yapılır. Sıcaklık ile direnci değişen elektronik malzemelere, term (sıcaklık) ve rezistör (direnç) kelimelerinin birleşimi olan termistör denir. Termistörler genellikle yarı iletken malzemelerden imal edilmektedir. Termistör yapımında çoğunlukla oksitlenmiş manganez, nikel, bakır veya kobaltın karışımı kullanılır. Termistörler ikiye ayrılır. Sıcaklıkla direnci artan termistöre PTC, sıcaklıkla direnci azalan elemana da NTC denir [5,15]. Sıcaklık sensör çeşitleri;

- Sıcaklığa bağlı direnç sensörleri
- Termistörler
- Isıl çiftler (Thermocouple, Termokulp)
- Entegre devre sıcaklık sensörleridir.

4.8.1 Sıcaklığa Bağlı Direnç Sensörleri (RTD)

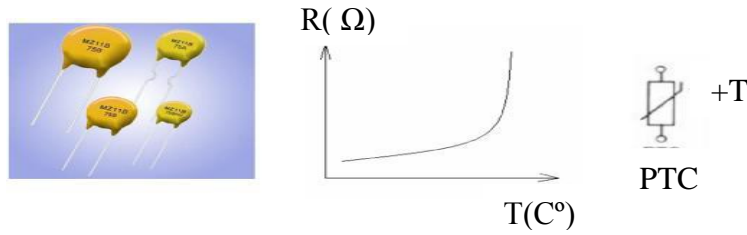
Bir metalin direncinin sıcaklık ile artması, dirençsel sıcaklık sensörü (RTD) nün temelidir. Metal iletkenlerden yapılmış olan elemanların dirençleri, sıcaklık ile doğru orantılıdır. Alaşım ve yarı iletkenlerde ise durum farklıdır. Pek çok yarı iletkenin direnci sıcaklık ile ters orantılıdır. RTD'lerin dirençleri ne kadar yüksekse sistemdeki

hata payı da o kadar düşük olacaktır. Demir, platin, nikel, 0.7 nikel- 0.3 demir ve bakır gibi maddeler RTD imalatında en çok kullanılan maddelerdir. Bu malzemeler içerisinde en doğrusal sonuçları veren ve en ideal olanı platindir. RTD'ler hassas sıcaklık algılayıcılarıdır. Hassaslık, uzun süreli elektriksel direnç kararlılığı, eleman doğrusallığı ve tekrarlanabilirliği gibi özellikler isteyen uygulamalarda kullanılırlar. Çok geniş bir sıcaklık aralığında ölçüm alabilirle [5]. Dirençsel sıcaklık sensörleri;

- PTC (Positive Temperature Coefficient)
- NTC (Negative Temperature Coefficient), olmak üzere iki çeşittir.

4.8.1.1 PTC (Positive Temperature Coefficient)

Bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça, elektriksel direnci artan devre elemanıdır [5,13,15].

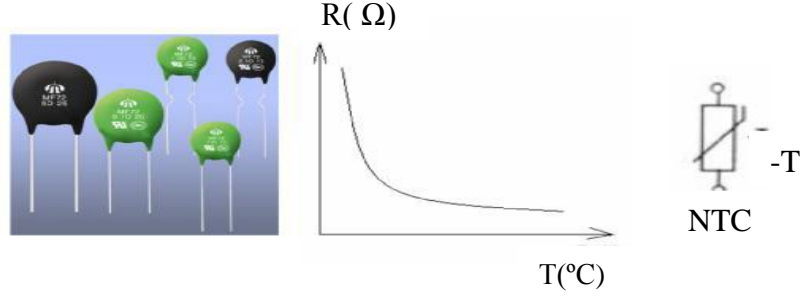


Şekil 4.55: Çeşitli PTC'ler, karakteristiği ve sembolü

Çeşitleri, karakteristiği ve sembolü Şekil 4.55'de görülen PTC'ler, 60 °C ile +150 °C arasındaki sıcaklıklar da kararlı bir şekilde çalışır. Daha çok elektrik motorlarını fazla ısınmaya karşı korumak için tasarlanan devrelerde kullanılır. Ayrıca ısı seviyesini belirli bir değer aralığında tutulması gereken tüm işlemlerde kullanılabilir [5,13,15].

4.8.1.2 NTC (Negative Temperature Coefficient)

Çeşitleri, karakteristiği ve sembolü Şekil 4.56'de görülen NTC'ler, bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci azalan devre elemanıdır [5,13,15].



Şekil 4.56: Çeşitli NTC'ler, karakteristiği, sembolü

NTC'ler (Şekil 4.57), -300°C ile $+50^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklar da kararlı bir şekilde çalışırlar. Daha çok elektronik termometrelerde, arabaların radyatörlerin de, amplifikatörlerin çıkış güç katlarında, ısı denetimli havyalarda kullanılırlar [5,13,15].



Şekil 4.57: NTC'li dijital termometre ve NTC'li sıcaklık kontrol devresi

4.8.2 Termistörler

Termistörler (Şekil 4.58), RTD ler gibi sıcaklığa duyarlı dirençlerdir. RTD lardan daha yüksek dirence sahip olmaları nedeniyle daha hassas yapıdadır. Çünkü yüksek dirençlerinden dolayı bağlantı uçlarının dirençlerinden kaynaklanan ölçüm hatası RTD' lerinkinden çok daha küçük olur. Sonuç olarak termistörler, RTD ler ile ölçülemeyecek küçük sıcaklık değişimlerini ölçmek için kullanılabilir [5].



Şekil 4.58: Termistör

Termistörler yarı iletken maddelerden yapıldıkları ve yarı iletken maddelerin dirençleri sıcaklık ile ters orantılıdır (NTC) [5].

Termistörlerin sıcaklık değişimlerine cevap verme hızı, RTD lerden daha fazladır. Fiziksel boyutları küçüktür. Nokta tipi algılayıcılar için boyutları bir iğne ucu kadar olabilir. Termistörler kullanıldıkça daha kararlı hale gelirler. Termistörler bir işlem değişkeninin yarım veya bir dereceye kadar olan sıcaklık aralığındaki kontrolüne olanak tanır. Termistörlerin ana direnci binlerce ohm olabilir. Bu da aynı ölçüm akımı ile RTD'lerden daha büyük bir gerilim değişikliği sağlar ve kablo direnci problemlerini ortadan kaldırır. Termistörlerle çalışırken akıma dikkat edilmelidir çünkü termistörler sıcaklığa RTD'lerden daha duyarlıdır [5].

Bu avantajlarının yanı sıra algılayıcının kırılabilir yapısı, kullanım aralığının birkaç yüz derece ile sınırlı olması ve üst sınır sıcaklıklarına yakın sıcaklıklara uzun süre maruz kaldıklarında yeniden kalibrasyon gerektirmeleri (yüksek sıcaklıklarda dekalibrasyon) gibi dezavantajları da vardır .

Termistörler birbirleriyle değiştirilebilirler ve ek bir devre eklenmediği sürece devre açmalarına karşı bir güvenlik sağlayamazlar. Ayrıca termistörler RTD'ler ve thermocouple'larla aynı seviyede endüstri standartlarına sahip değildir [5].

4.8.3 Isıl Çiftler (Thermocouple, Termokupl)

Bütün iletkenler ısıtıldıklarında içlerinde bulunan elektronlarda bir hareketlenme meydana gelir. Ancak bu hareketlenme çeşitli iletkenler arasında farklılık göstermektedir. Doğru alaşım seçimi ile ölçülebilir ve kestirilebilir bir sıcaklık–gerilim ilişkisi elde edilir. İletkenlerin bu farklarından yararlanarak sıcaklık ölçümü yapılabilir [5,15]. Seebeck etkisi olarak adlandırılan "Farklı iki iletken bir devre oluşturuyorsa ve devrenin iki noktası arasında bir sıcaklık farkı var ise bu devreden bir akım geçer" prensibinden hareketle, iki farklı iletkenin birer uçları birbirine kaynak edilerek ya da sıkıca birbirine bağlanarak ısı çiftleri (termokupl) elde edilir [5].

Thermocouple(T/C)'lar kısa dönemli ölçümler için ekonomik olmakla beraber, -200 °C ile +2300 °C arasında çalışabildiklerinden endüstride yüksek sıcaklıkta çalışan kazanların ısı kontrolünde kullanılır [5,13,15]. Thermocouple'lar (Şekil 4.59) özellikle minyatür algılayıcı tasarımları için de idealdir. Basit yapıları olumsuz ortam koşullarına (aşırı şok, vibrasyon gibi) dayanıklı olmalarını sağlar. Thermocouple'lar

sıcaklık değişimlerine ani değişiklik göstermek üzere küçük boyutlarda düzenlenebilirler. Thermocouple'lar pek çok şekil ve boyutta olabilirler. Yalıtımlı en çok kullanılan tiptir [5].



Şekil 4.59: Thermokuplun kullanıldığı alanlar

4.8.4 Entegre Devre Sıcaklık Sensörleri

Yarı iletken entegre devrelerin gelişmesi ile, tüm devre sıcaklık sensörleri ortaya çıkmıştır. Germanyum ve silisyum içerisine karıştırılan kristaller ile üretilen sıcaklık sensörleri kullanılmaktadır. Germanyum kristal malzemelerin dirençleri sıcaklık ile ters orantılıdır. Silisyum kristal malzemelerin dirençleri ise sıcaklıkla doğru orantılıdır [5].



Şekil 4. 60: Entegre devre sıcaklık sensörü

Germanyum silisyum malzemelerin sıcaklık sensörü olarak çalışma mantığı; normal germanyum silisyum PN birleşmeli diyotlarda oluşan nötr bölgenin sıcaklık arttırılarak aşılması sonucu bu bölgeden akım geçmesinin sağlanmasıdır. Sıcaklık arttıkça bu bölgeden geçen akım da artar [5].

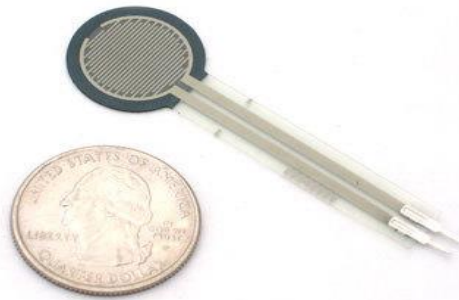
5. KUVVET SENSÖRLERİ (FORCE SENSİNG RESİSTOR)

Kuvvet sensörü (FSR), üzerine bir kuvvet veya basınç uygulandığında, direnci değişen bir materyal olup fiziksel basıncı, sıkışmayı ve ağırlığı ölçmeye yarayan sensörlerdir [16,22].

FSR, yüzeyine uygulanan kuvvetten yola çıkarak tahminler sonucunda direncini değiştiren kondüktif polimerden meydana gelir. Genelde yüzey taramasında kullanılan bir polimer tabaka veya mürekkep olarak beslenirler. Algılayan tabaka, elektriksel iletken ve yalıtkan parçacıklardan oluşur. Bu tabakanın üzerine kuvvet uygulamak, parçacıkların iletken elektrotlara temas edip tabaka direncini düşürmesine neden olur.

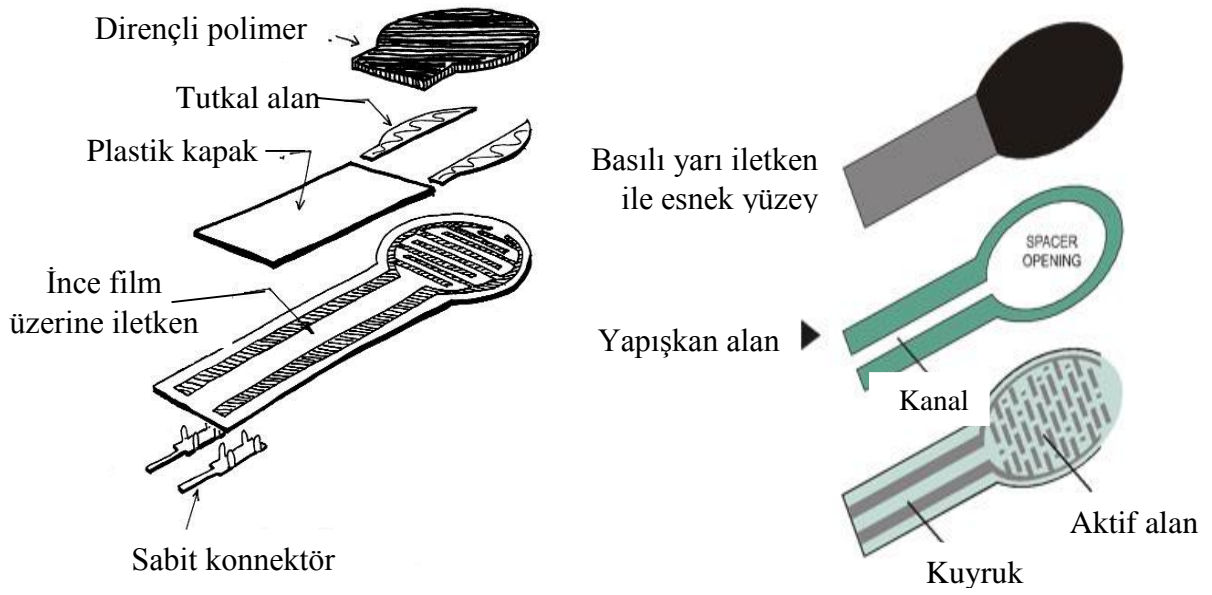
Bütün direnç esaslı sensörlerde olduğu gibi, FSR, basit bir arayüze ihtiyaç duyar ve normal koşullar altında rahatça çalışabilir. Diğer kuvvet sensörleri ile karşılaştırıldığında FSR'nin avantajı, boyutu (kalınlığı 0.5 mm'den az), düşük maliyetli olması ve iyi bir şok direncine sahip olmasıdır. Bu çok önemli avantajlarına rağmen, üzerine uzun süre kuvvet uygulandığında bozulabilecek olması ve tutarsızlık ihtimali (ölçümlerde %10 veya daha yüksek oranda hataya sebebiyet verebilir), dezavantajıdır.

Şekil 5.1'de görülen kuvvet sensörü, Interlink Electronics firmasının patentli ürünü olan Interlink 402 modelindeki FSR'dir. 1/2'' çapındaki parça, sensörün bulunduğu yerdir [23].



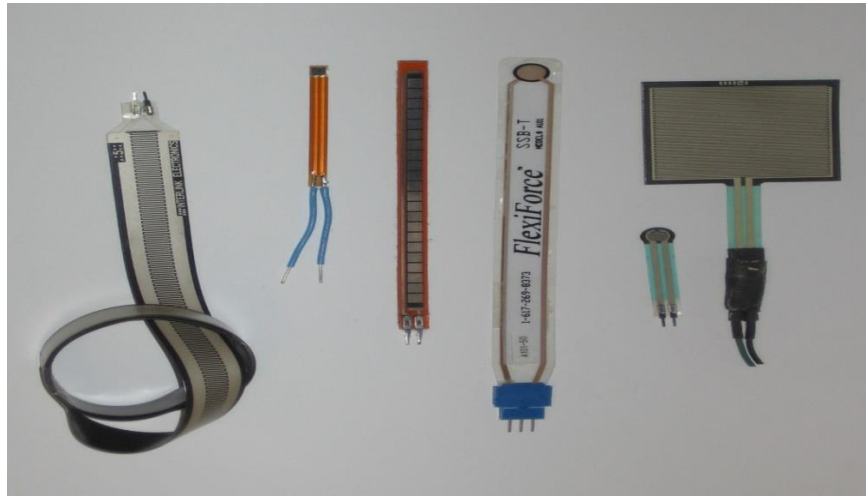
Şekil 5.1: Interlink FSR-402 kuvvet sensörü

Yapısı Şekil 5.2'de görülen FSR ler, bir pul tarafından ayrılmış iki parçadan oluşur. Ne kadar çok basınç uygulanırsa, o kadar aktif element noktaları, yarı iletkene temas eder ve bu da direncin azalmasına neden olur [23,46,47].



Şekil 5.2: FSR 'lerin yapısı

Şekil 5.3’de görüleceği üzere FSR çeşitleri birbirinden farklı görünsede, FSR’lerin bir çok ortak noktaları bulunmaktadır.

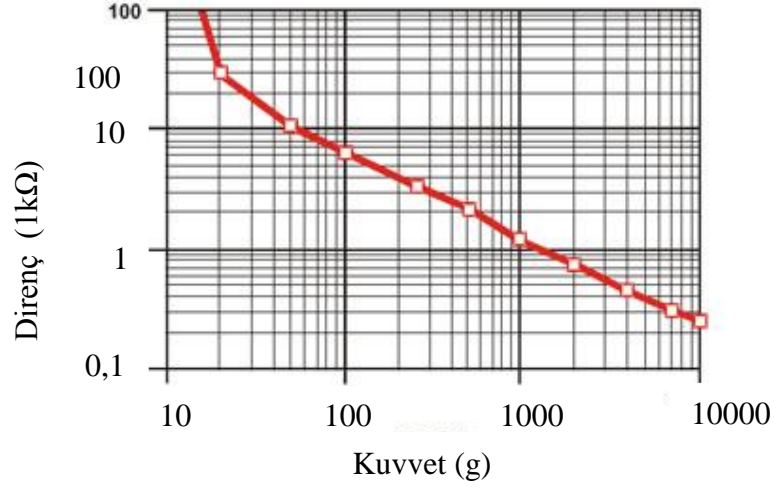


Şekil 5.3: FSR çeşitleri

FSR’ler robotik uygulamalarda, endüstride, müzik, otomotiv, tıp, spor ve oyuncak sektörleri gibi birçok alanda kullanılır [22,45].

5.1 FSR ile Kuvvet/Basınç Ölçümü

FSR'nin direnci uygulanan basınca göre değişir. Basınç arttıkça direnç azaldığından, basınç olmadığı zaman sensör, sonsuz direnç (açık devre) gibi davranır. Şekil 5.4'de belirtilen grafikte, farklı kuvvet ölçümlerinde sensör direncinin yaklaşık değerini görülmektedir [41,46,47].

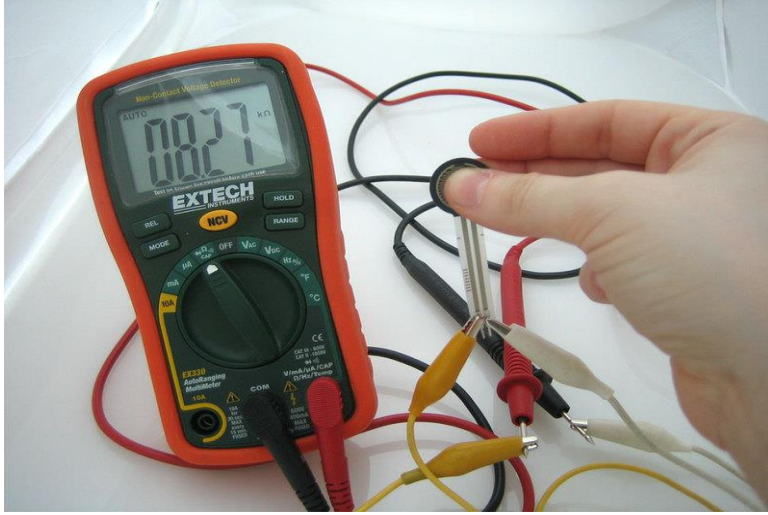


Şekil 5.4: Farklı kuvvet ölçümlerinde sensör direncinin yaklaşık değerleri

Grafiğin tam olarak lineer olmaması ve hafif kuvvet ölçümlerinde direncin sonsuzdan 100 kΩ'a çıkması önemli bir durumdur [41].

5.2 Bir FSR'yi Test Etmek

Bir FSR'nin nasıl çalıştığını görmenin en kolay yolu, şekil 5.5'de görüleceği üzere direnç ölçüm modundaki bir multimetreyi, sensörün üzerindeki iki şeride bağlayarak direnç değişimini takip etmektir. Çünkü direnç sürekli değişiyorsa, otomatik menzil ölçer doğru çalışıyordur. Eğer bundan bir sonuç alınamıyorsa, 1 MΩ ile 100 Ω arasında farklı değerlerde ölçüm yapıldığından emin olunmalıdır [41].

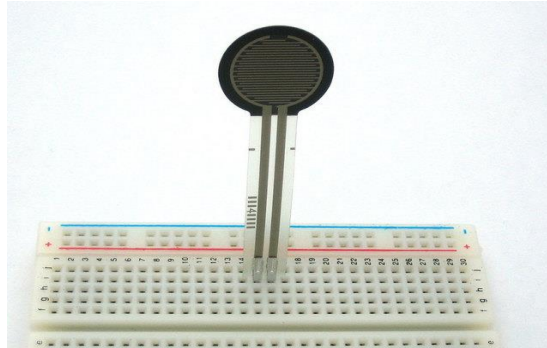


Şekil 5.5: FSR'yi test etmek

5.3 Multimetreyi FSR'ye Bağlama

FSR'ler temelde bir direnç olmalarından dolayı polarize edilmemişlerdir. Bu durum, bir multimetreyi iki türlü bağlayabilme imkanı sağlar ki, her iki durumda da düzgün bir şekilde çalışırlar .

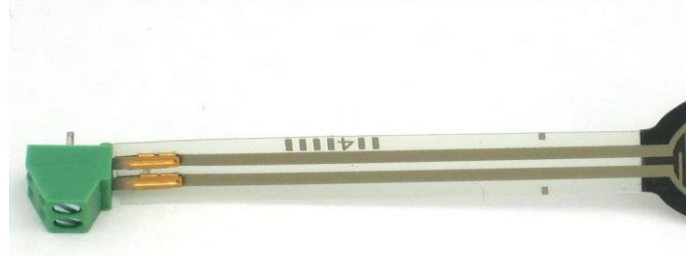
FSR'ler genelde üzeri iletken malzeme kaplı olan polimerlerdir. Bu, onların plastik olduklarını ve bağlantı şeridinin hassas bir materyal üzerine kaplandığını gösterir. Bir FSR'yi bağlamanın en kolay yolu onu, Şekil 5.6'de görüldüğü breadboard kullanarak, Şekil 5.7'da görüldüğü gibi soket kullanarak veya Şekil 5.8'de görüldüğü gibi bir terminal bloğu (bağlantı kutusu) kullanarak bağlamaktır [41].



Şekil 5.6: FSR'nin breadboarda bağlanması



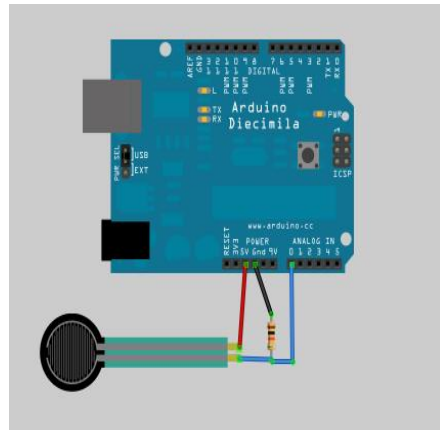
Şekil 5.7: FSR'nin soketle bağlanması



Şekil 5.8: FSR'nin terminal bloğu (bağlantı kutusu) ile bağlanması

5.4 Analog Gerilim Okuma Yöntemi

Bir direnç sensörünün ölçülmesinin en kolay yolu, bir ucunun güce bağlanması ve bir pull-down direncinin toprağa bağlanmasıdır. Daha sonra sabit pull-down direnci ve değişken FSR direnci arasındaki noktanın, Arduino gibi analog bir mikro denetleyicinin girişine bağlamaktır (Şekil 5.9) [41].

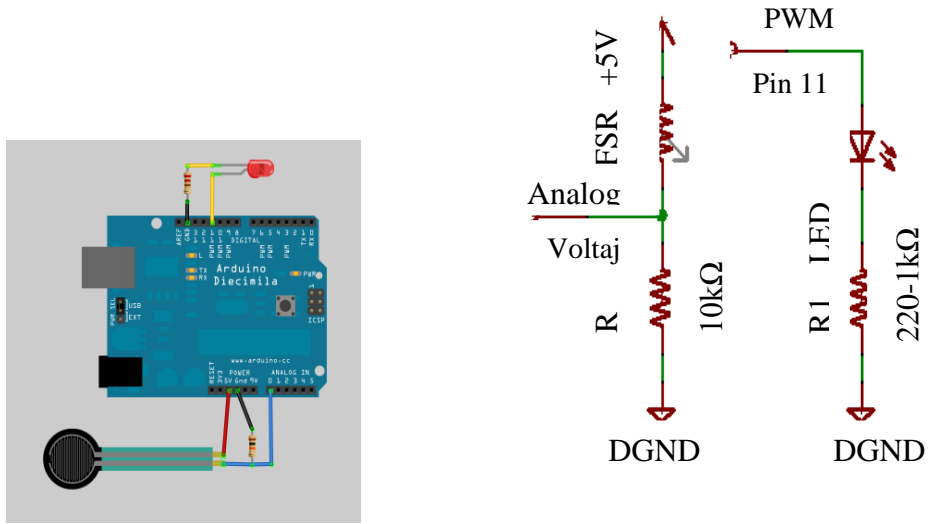


Şekil 5.9: Analog gerilim okuma yöntemi

Bu yapılandırmada okuma aralığı 0V(toprak) ile 5V(güç kaynağı ile aynı) gerilim arasındır. Devrenin çalışma şekli, FSR direncinin düşürülmesi gibi FSR'nin ve pull-down'ın toplam direncinin 100 kΩ'dan 10 kΩ'a düşürülmesidir. Bu durum, her iki dirençten geçen akımın, dönüşte sabit olan 10kΩ'lık dirençlerden geçen gerilimin yükselmesine sebep olacağı anlamına gelir ki,bu da püf noktadır [41].

5.5 FSR Kullanımın Basit Gösterimi

Şekil 5.10'da görülen FSR bağlı devrenin Pin 11'ine bir LED ekleyerek analog gerilimin okunması ve kırmızı LED'in ne kadar parlak olacağını belirlenmesi hedeflenmiştir. FSR'nin üstüne ne kadar çok basılırsa LED de o kadar parlak yanacaktır [41].



Şekil 5.10: Analog gerilim okunması ve Led'in parlaklığı

5.6 Analog Pinler Olmadan FSR Ölçümleri

Mikro denetleyici üzerinde analog pinler olmadan FSR ölçümlerini yapabilmeyin yolu, direnç ve kapasitörlerin temel elektronik özelliklerinden yararlanmaktır. Başlangıçta hiç bir gerilime sahip olmayan bir kapasitör, bir direnç üzerinden güç kaynağına bağlanırsa, yavaş yavaş güç gerilimine ulaşmaya kadar şarj olacaktır. Ne kadar büyük direnç kullanılırsa, kapasitör de o kadar yavaş şarj olur [41].



Şekil 5.11: Analog pinler olmadan FSR ölçümleri Osiloskop sonuçları

Osiloskoptan alınan bu görüntüde (Şekil 5.11) sarı, dijital pin üzerinde ne olduğu gösterir. Mavi çizgi, krokinin saymaya başladığı ve yaklaşık olarak 1.2 ms sonra tamamlandığı yerleri belirtir

Bunun nedeni kapasitörün bir depo gibi, direncin ise ince bir boru gibi davranmasıdır. Bir depoyu ince bir boru ile doldurmak yeterince çok zaman alır ki bu borunun ne kadar geniş olduğu, bu deponun yarısını ne kadar sürede doldurduğu hesaplanarak bulunabilir [41].

5.7 Medikal Alanında Kullanılan FSR'ler

Yürüme yaşamın çok basit bir parçası gibi görünmekle birlikte aslında son derece karmaşık bir hareketler zinciridir. Uzun süre yorulmadan yürüyebilmek için beyin, omurilik, periferik sinirler, kaslar, kemik ve eklemler birlikte çalışmalı, eklem

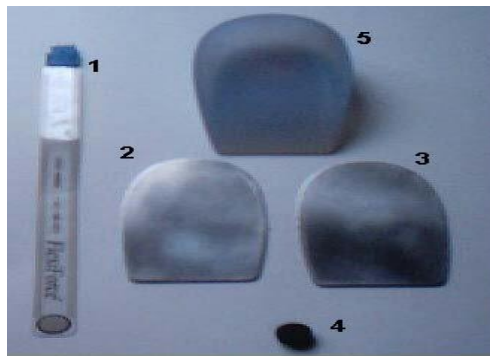
hareketleri, kasılmanın zamanı ve gücü yeterli olmalıdır. FSR ayakkabılarda kullanılarak bir çok hastalığın tedavisinde rol almıştır [36].

FSR çeşiti olan Flexi Force Serebral Palsi (SP) hastalığının tedavisi için kullanılmıştır. Bu hastalık, vücut hareketlerinin ve kasların uyumlu kullanımını etkileyen bir grup bozukluğuna verilen isimdir.

Serebral Palsi’li bir çocuğun beyinde, kas tonusunun kontrol eden alan zarar görmüştür. Beyinde hasarın olduğu yere ve büyüklüğüne bağlı olarak kas tonusu çok sıkı, çok gevşek ya da çok sıkı ve gevşegin bir arada bulunması şeklinde olabilir. SP’li çocuk kas tonusunu düzgün ve orantılı değiştiremez [35].

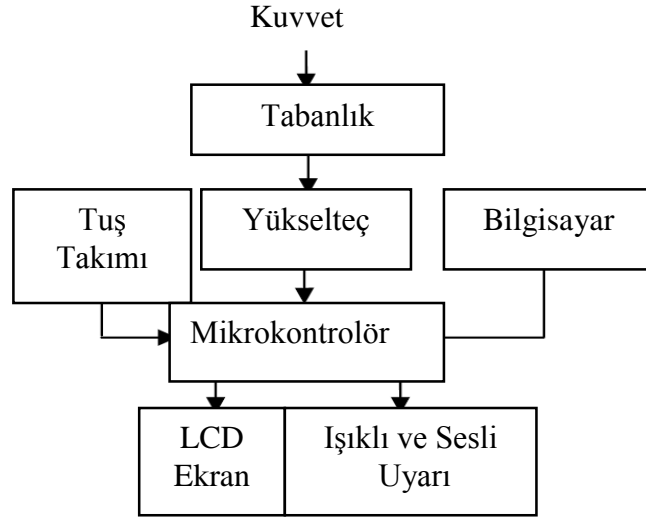
Serebral Palsi tedavisinde en önemli yöntem fiziksel rehabilitasyondur. Bu yöntemin temel amacı, Serebral Palsi’li bir çocuğun yürüyüşünü düzeltmeye yönelik bir rehabilitasyon cihazı tasarlamaktır. Bu cihaz ile çocuğun topuğundan, dengeli ve simetrik yürümeyi sağlayacak kuvveti uygulamayı öğrenmesi amaçlanmıştır. Topuktan uygulanan kuvvet ölçülüp önceden belirlenen eşik seviyesi ile karşılaştırılacak, LCD ekranda uygulanan kuvvetin 1sn’lik süre içinde alınan ortalaması gözlenecek ve bilgisayara aktarılıp verilerin grafikleri elde edilecektir .

Uygulanan kuvvet ile direnci değişen Flexi Force, silikon bir tabanlığa yerleştirilmiştir. Silikon tabanlık ise ayakkabı içine yerleştirilmiştir. Ayakkabı içinde topuğa uygulanan kuvvet tabanlığa oradan da algılayıcıya geçer. Algılayıcı, uygulanan kuvvete bağlı olarak bir değişim gösterir. Şekil 5.12’de tabanlık yapımında kullanılan malzemeler ve Flexi Force görülmektedir [35].



Şekil 5.12: Serabral Palsi tedavisinde kullanılan malzemeler

Şekil 5.12’de görülen 1nolu eleman algılayıcıdır. 2 nolu parça Cr-Ni karışımı malzemeden yapılmış bir plaka olup algılayıcı bu plakanın üzerine yerleştirilmiştir. 3 nolu plakada aynı malzemeden yapılmış olup 5 nolu silikon topukluğun altına yerleştirilmiştir. Topuktan uygulanan tüm kuvveti algılayıcıya aktarmak için kullanılmıştır. 4 nolu parça ise topuktan uygulanan kuvveti algılayıcının algılama alanı üzerine aktarılmasını sağlar [35].

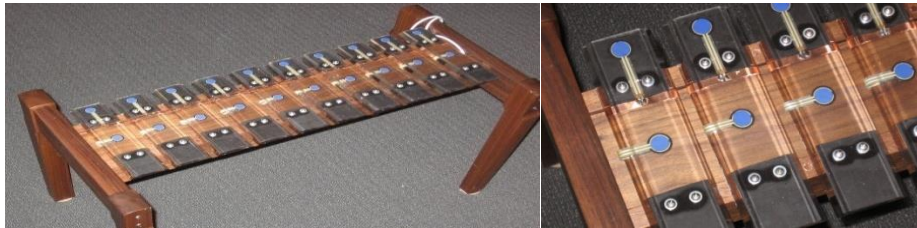


Şekil 5.13: FSR ile yapılan ayakkabının çalışma düzeneği

Sonuç olarak FSR kullanılan bu ayakkabı sayesinde, uygulanan kuvvetin eşik değerinin altında ya da üstünde olması durumlarında sesli ve ışıklı olarak hasta uyarılarak yürüyüşünü düzeltmeyi öğrenmesi sağlanır (Şekil 5.13) [35].

5.8 FSR'nin Müzik Aletlerinde Kullanımı

FSR'ler müzik aleti kullanımında çok avantajlıdırlar. Nadir olarak hatalarına rastlanır. Aşağıdaki resimde sert ve yumuşak dokunuşların basıncına göre FSR kullanılan bir müzik aleti yapılmıştır. Burada FSR disk ve iki plastik tabaka arasında yerleştirilmiştir [37].



Şekil 5.14: FSR'nin müzik aletinde kullanımı

5.9 FSR'nin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

- Kalınlığının 0,5 mm'den az olması.
- Düşük maliyeti.
- İyi şok direncine sahip olması.
- Fiziksel basıncı, sıkışmayı ve ağırlığı ölçebilmesi.
- Pahada hafif , kullanımda kolay olması.
- Bir çok çeşidinin bulunması.
- Temasa karşı duyarlı olan uygulamalarda kullanılabilmesi.
- Mikro denetleyi üzerinde hiçbir analog pin'e sahip olmasa dahi kullanılmasının mümkün olması.
- Müzik aletleri, otomotiv, tıp, spor ve oyuncak gibi birçok alanda kullanılması.
- Medikal sistem, otomotiv elektroniği, endüstriyel ve robotik uygulamalarda, dokunmatik kontrolün insanlar tarafından sağlanmasına uygun olarak optimize edilmiş olması.
- Medikal alanda bir çok hastalağın tedavisinde kullanılması.

Dezavantajları

- Ekonomik ve kullanımı kolay olması nedeniyle çevresel etmenlerden etkilenebilmesi.
- Üzerine uzun süre kuvvet uygulandığında bozulabilme olasılığının olması.
- Ağırlık ölçümlerinde bazen hata verebilmesi.

6. SENSÖR TASARIM VE DENEYLERİ

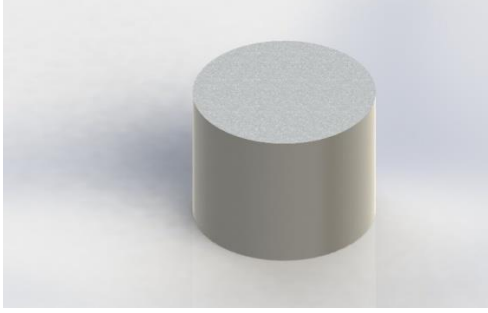
Bu tez çalışmasında, robotik sistemlerde yada otomasyon sistemlerinde hangi tip sensörlerin kullanılabileceğinin tespiti kapsamında, tüm sensörlerin incenmesi ve özellikle Force Sensing Resistors/Kuvvet Sensorleri (FSR) kuvvet ölçümlerini gerçekleştirerek robotun hareketli mekanizmalarının eğimlerinin ölçümünde kullanılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda FSR sensörleri kullanarak eğim ölçer tasarlanmış ve imal edilmiştir.

Eğim ölçerler özellikle insansı robotlarda kullanılmaktadırlar. Genelde robotların gövdesine yerleştirilen FSR sensörleri, robotun eklemlerinde ölçülen göreceli açılarla birlikte kullanılır. Robotlarda eklem açılarının ölçümünde potansiyometreler kullanılır. Hafif eğimli zemin şartlarında robotun eğimli zemine göre adımlarını ayarlaması gerekir. Bunun yapılabilmesi için öncelikle zemin eğiminin ölçülmesi gereklidir. Bu ölçüm aşağıda belirtilen esaslar dahilinde gerçekleştirilir. Normalde sağ ve sol ayaktan ölçülen açılar toplandığında gövdenin dik olması durumunda toplamları sifira eşittir, eğim ölçer de bu durumda sıfır dereceyi göstermelidir. Eğimli zeminde ise eklemlerden potansiyometrelerle ölçülen değerlerin toplamı gövde açısını sıfır derece olarak verir. Bu durumda eğim ölçer sıfırdan farklı bir değer gösterir. Potansiyometrelerden elde edilen toplam açı değeri ve eğim ölçerin değeri farklı olduğu durumlarda, zeminin eğimli olduğu anlaşılır. Robotun yürürken öne veya arkaya devrilmemesi için eklem yörüngelerinin eğimli zemine göre yeniden düzenlenmesi gerekir. Çünkü genel yaklaşım olarak yürüme eklem yörüngeleri düz zemin için çıkartılır daha sonra ortam şartlarına göre modifiye edilir.

Bu tezde eğim ölçer tasarlanmış ve imal edilmiştir. Eğim ölçerlerin çalışma prensibi, bir kütlelerin yer çekimi ile etkileşimini temel alır. Genelde yay ve strain gauge kullanılmaktadır. Fakat yay elemanı sistemin bant genişliğini olumsuz yönde etkilemekte ve osilasyonlara sebep olmaktadır.

İstenmeyen etkileri ortadan kaldırmak için FSR ile eğim ölçme yöntemleri araştırılmış ve uygulamasına karar verilmiştir. Bu kapsamda eğim ölçer tasarımı yapılmış ve imalat resimleri oluşturulmuştur. Eğim ölçer tasarım detayları ve tamamlanmış imalat resimleri Şekil 6.1 ile Şekil 6.7 arasında görülmektedir.

Şekil 6.1.a'da, eğim ölçerin metal ağırlığı çizimi ve Şekil 6.1.b'de, imal edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 6.1.a: Metal ağırlığı çizimi



Şekil 6.1.b: İmal edilmiş hali

Bu ağırlık sayesinde eğim ölçerin FSR sensöre uygulayacağı basınç, kuvvet çarpı kuvvet kolu prensibinden artarak uygulanmaktadır [10]. Bu sayede küçük eğim açılarında dahi FSR sensörüne daha büyük kuvvetler uygulanmış olacaktır.

Şekil 6.2.a'da, eğim ölçerin FSR montaj yarıküresi çizimi ve Şekil 6.2.b'de, imal edilmiş hali görülmektedir.



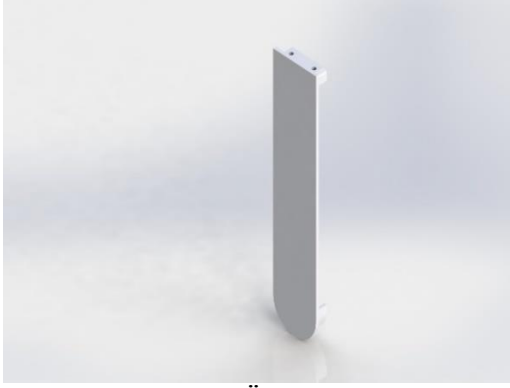
Şekil 6.2.a:FSR montaj yarıküresi çizimi



Şekil 6.2.b: İmal edilmiş hali

Bu yarı kürenin görevi, eğim ölçer ana gövdesi ve gözüken ağırlık etkisinin FSR sensörüne normal gelmesi içindir. Bu sayede FSR'ye uygulanan kuvvetler hep dik olacağından, FSR'ye uygulanan yatay kuvvetlerin sürtünme etkisinden olabilecek olumsuzluklardan korunmuş olur. Bu yarı kürenin dış yüzeyinin oturacağı gövde bir biri ile en az sürtünme oluşturacak malzemelerden seçilmiştir. Eğim ölçerin ana gövdesi bronz yarı küre ise alüminyumdan imal edilmiştir.

Şekil 6.3.a'da, eğim ölçerin ön kapak çizimi ve Şekil 6.3.b'de, imal edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 6.3.a: Ön kapak çizimi



Şekil 6.3.b: İmal edilmiş hali

FSR montaj yarı küresinin toz ve benzeri olumsuz etkilerden korunması için, ön kapak düşünülmüştür. Ayrıca sensöre gelebilecek harici kuvvetlere karşıda koruma sağlar. Sensörün dış gövde ve kapağı mümkün olabilecek en hafif malzemelerden imal edilmiştir. Çünkü bu malzemelerin FSR eğim sensörünün çalışmasına direk katkısı yoktur. Bu sebeple ön kapak kestamit malzemesinden imal edilmiştir.

Şekil 6.4.a'da, eğim ölçerin ana gövdesi kılıfı çizimi ve Şekil 6.4.b'de, imal edilmiş hali görülmektedir.



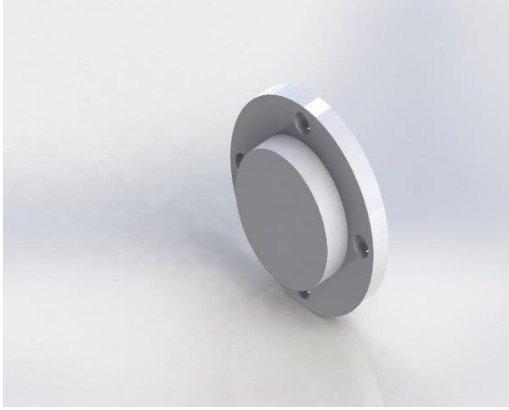
Şekil 6.4.a: Ana gövdesi kılıfı çizimi



Şekil 6.4.b: İmal edilmiş hali

FSR'nin ana gövdesi hafiflik açısından aliminyumdan üretilmiş olup yataklama ve dış etmenlerden koruma için tasarlanmıştır.

Şekil 6.5.a'da, eğim ölçerin FSR yarı kürenin kapağı çizimi ve Şekil 6.5.b'de, imal edilmiş hali gösterilmiştir.



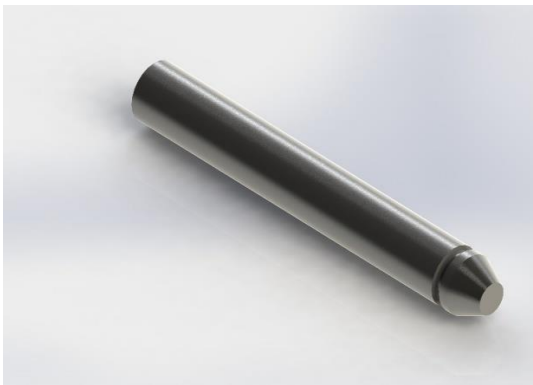
Şekil 6.5.a: FSR yarıküre kapağı çizimi



Şekil 6.5.b: imal edilmiş hali

Yarı küre kapağı, FSR montaj yarı küresinin karşı yüzeyini oluşturur. FSR sensörü, yarı küre ve bu kapak arasına çift yüzlü bantlarla montelenmiştir. Yarı küre kapağı üzerindeki vidalarla, FSR yüzeyine gelecek basınç ayarlanabilmektedir. Bu basınç ayarlama, kalibrasyon yapmak için düşünülmüştür. Kapağın malzemesi hafiflik açısından kestamittir.

Şekil 6.6.a'da, eğim ölçerin şaftının çizimi ve Şekil 6.6.b'de, imal edilmiş hali gösterilmiştir.



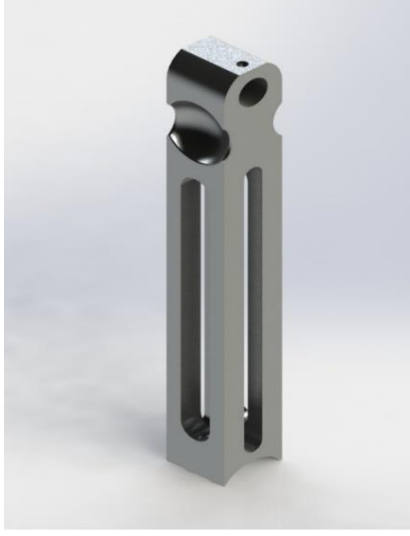
Şekil 6.6.a: Eğim ölçerin şaftının çizimi



Şekil 6.6.b: İmal edilmiş hali

Bu şaft eğim ölçerin ana gövdesinin yataklanmasında kullanılır . Minyatür rulmanlar bu şaft ile ana gövde arasına yerleştirilmiş ve sürtünmenin en aza indirgenmesine çalışılmıştır.

Şekil 6.7.a'da, eğim ölçerin ana gövdesinin çizimi ve Şekil 6.7.b'de, imal edilmiş hali gösterilmiştir.



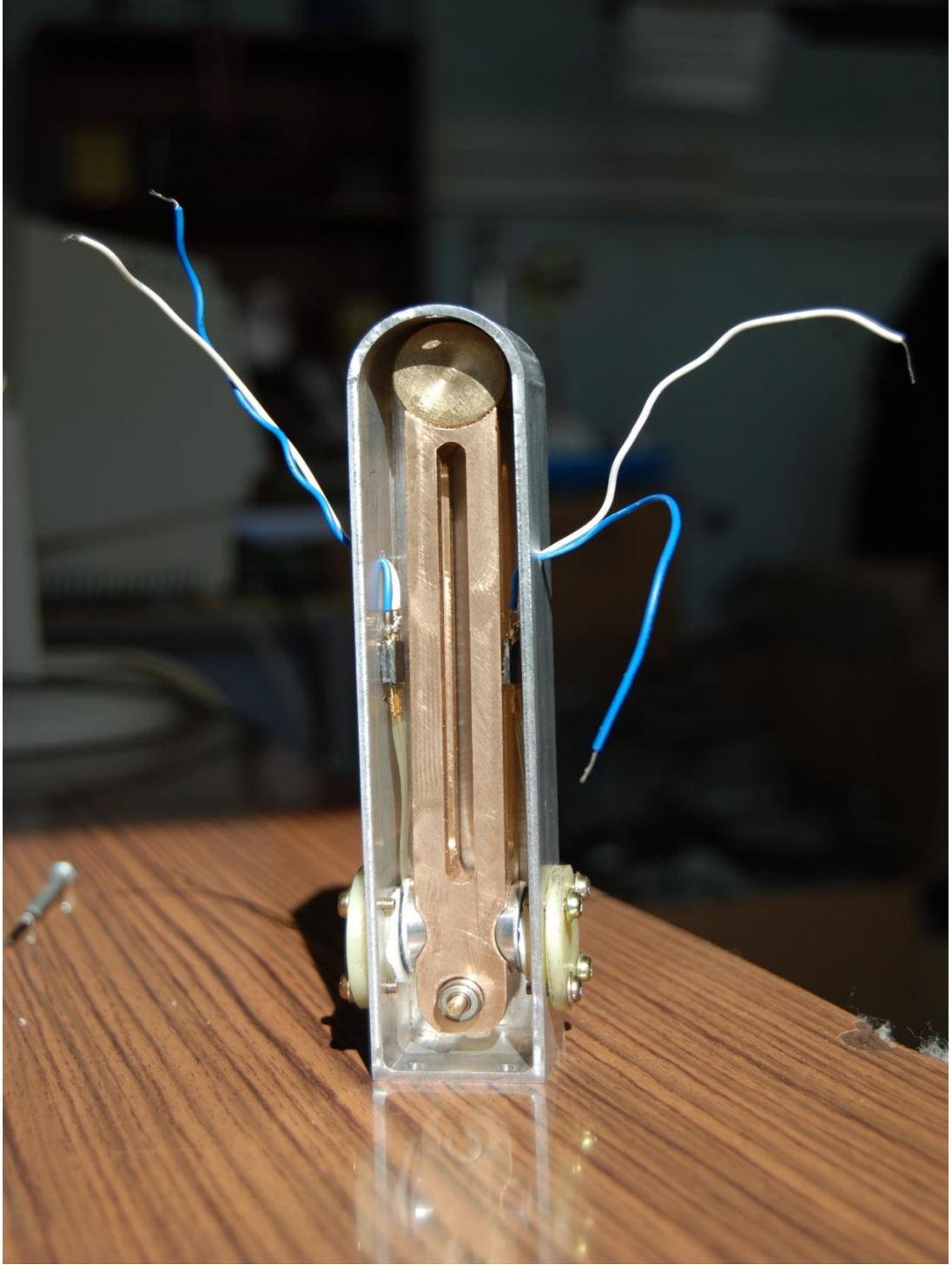
Şekil 6.7.a: Ana gövdesinin çizimi



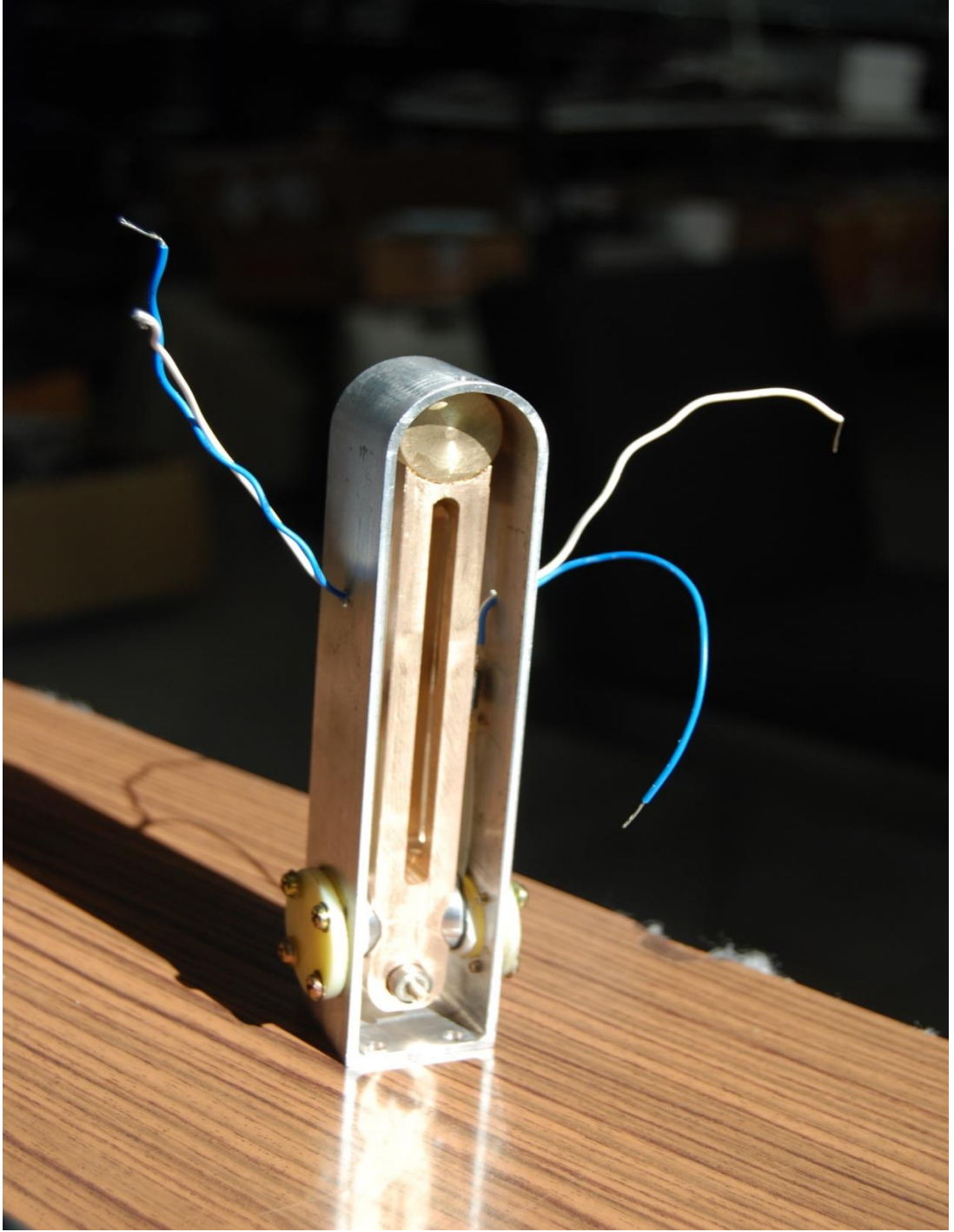
Şekil 6.7.b: İmal edilmiş hali

Yer çekimi etkisi ile hareket eden parçadır. Kendi üzerine monte edilecek yarı küre ile en az sürtünmede hareket edebilmesi için bronzdan imal edilmiştir. FSR tabanlı eğim ölçerin en önemli parçasıdır.

Eğim ölçerin parçalarının tasarlanıp imal edildikten sonra birleştirilmiş hali Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’ da görölmektedir.



Şekil 6.8: Eğim ölçerin montaj yapılmış hali



Şekil 6.9: Eğim ölçerin montaj yapılmış hali (farklı açıdan)

Eğim ölçer üzerine yerleştirilen FSR sensörlerinin kabloları, ana gövdeden dışarıya doğru uzanmaktadır. Eğim ölçerin yarım küre ve yarım küre kapağı arasında konumlandırılan FSR sensörleri, metal ağırlığın hareket noktasına göre olan uzaklığı sayesinde, buldukları konumdan rahatlıkla ölçüm yapabilmektedir.

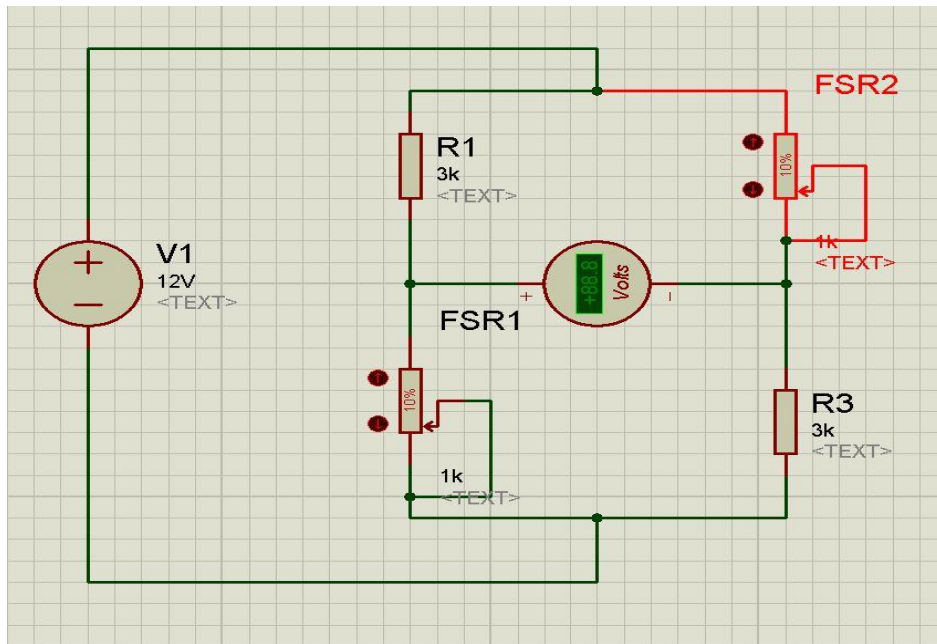
Tasarlanan eğitim ölçerden alınacak sonuçların doğru olması maksadıyla, ayrıntıları aşağıda belirtilen wheatstone köprüsü yöntemi kullanılarak sistemin kalibrasyonu yapılmıştır.

6.1 Eğitim Ölçerin Wheatstone Köprüsü İle Kalibrasyonu

Wheatstone köprüsü, elektriksel dirençleri karşılaştırmaya ya da ölçmeye yarayan elektrik devresidir. Dört direncin kare oluşturacak biçimde birbirine bağlanmasından oluşur.

Orta büyüklükteki dirençlerin tam doğru ölçülebilmesi için kullanılacak en uygun yöntem Şekil 6.10'da devre şeması verilen "Wheatstone Köprüsü" yöntemidir. Çok küçük değerli dirençlerin hatasız ölçülebilmesi için ise, wheatstone köprüsü üzerinde yapılan bir değişiklikle elde edilen ve "Kelvin Köprüsü" olarak bilinen düzenek kullanılır. Yalıtım direnci ve sızıntı direnci gibi çok yüksek değerli dirençlerin ölçülmesinde ise MEGER (Ohmmetre) denen ölçü aletleri ile yüksek gerilim altında direnç ölçme işlemi yapılır.

Devrede iki tane değeri bilinen direnç, bir tane ayarlı direnç ve bir de değeri bilinmeyen direnç vardır. Değişken direnç, galvanometre sıfırı gösterene kadar değiştirilir. $R1 \cdot R3 = R2 \cdot Rx$ olduğunda galvanometre sıfır değer gösterecektir.

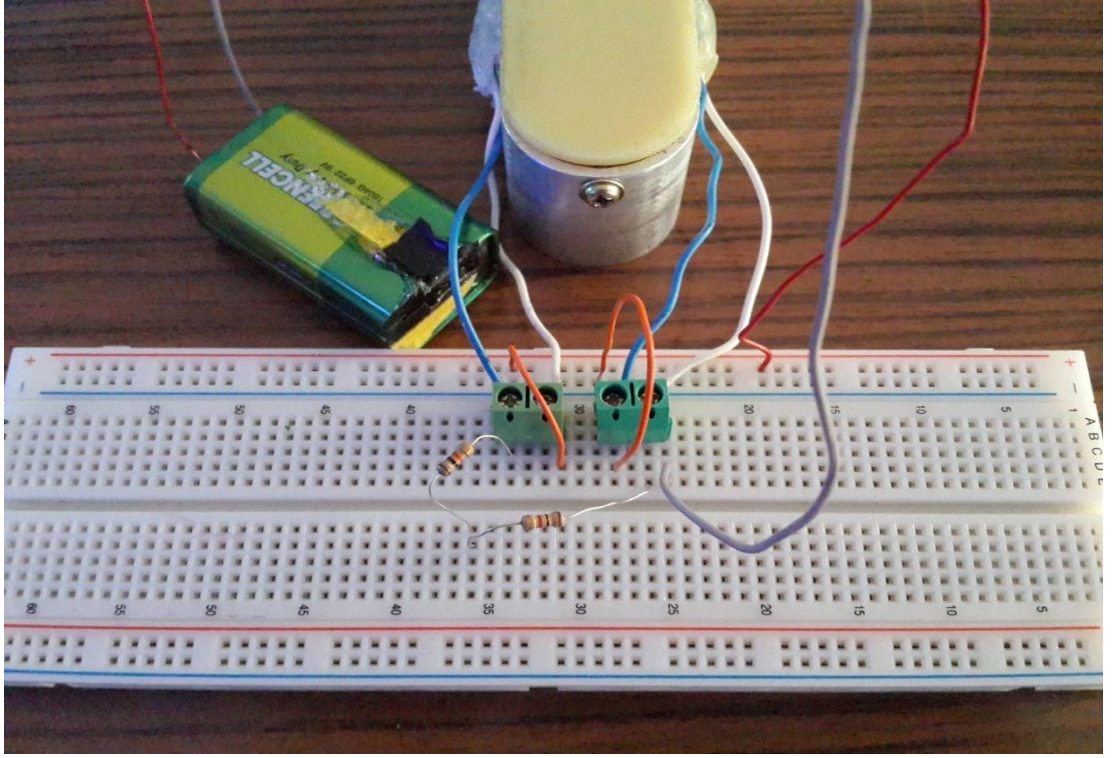


Şekil 6.10: Wheatstone köprüsü devre şeması

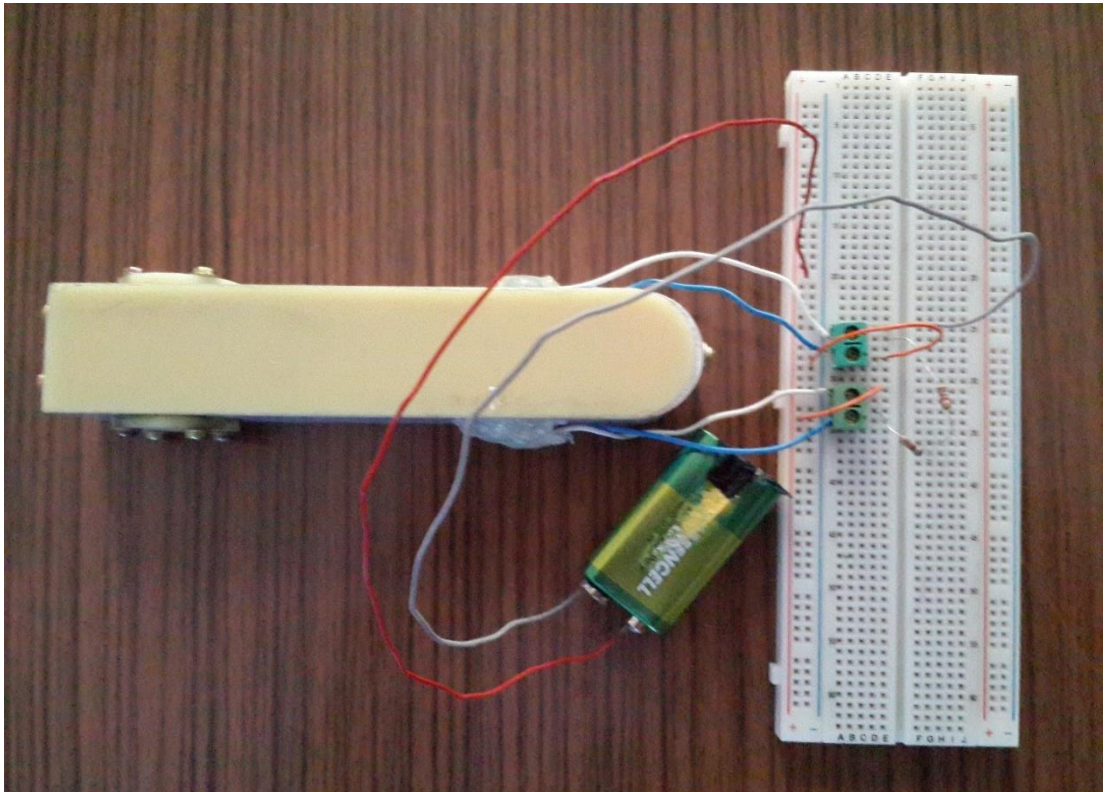
Wheatstone köprüsünün hassasiyeti;

- 1) Kullanılan dirençlerin doğruluğuna,
- 2) Köprünün duyarlılığına bağlıdır.

Çalışma prensibi, tasarlanan eğim sensörü dik olarak tutulduğunda tüm dirençlerin birbirine eşit olmasından dolayı köprü uçları arasındaki potansiyel farkı sıfır volt olur. Eğim ölçer sağa veya sola doğru eğimli tutulduğunda, FSR'lerden birinin direnci azalırken diğerinin direnci artar. Böylelikle Wheatstone köprü çıkış uçları arasında sıfırdan farklı pozitif ve ya negatif bir değer ortaya çıkar. Okunacak bu değer, eğim ölçerin hangi açıyla eğimli tutulmasıyla doğru orantılı olarak değişir. Örneğin çok fazla bir yöne eğilmesi durumunda, FSR sensörlerden birinin üzerindeki yük çok küçük değerlere yaklaşır ve bu FSR'nin direnci de çok büyük değerlere yaklaşır. Diğer FSR sensörün üzerindeki yük artacağı için, direnci çok küçük bir değere yaklaşır. Sonuç olarak, Wheatstone köprüsü uçları arasındaki potansiyel farkı oldukça büyük bir değer alır. Şekil 6.11 ve şekil 6.12 Wheatstone köprüsüne bağlanarak kalibrasyonu yapılan eğim ölçer görülmektedir.



Şekil 6.11: Eğim ölçerin Wheatstone köprüsüne bağlanarak kalibrasyonunun yapılması



Şekil 6.12: Eğim ölçerin Wheatstone köprüsüne bağlanarak kalibrasyonunun yapılması

Şekil 6.13’de, kalibrasyonu yapılan eğim ölçerin orta konumda iken okuduğu değer görülmektedir.



Şekil 6.13: Eğim ölçerin orta konumda iken okuduğu değer

Bu konumda iken FSR sensör üzerine uygulanan basınç kuvveti RLC metre ile yapılan ölçüm sonucu, 891.3Ω olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.14’de, kalibrasyonu yapılan eğim ölçerin sol yatay konumda okuduğu değer görülmektedir.



Şekil 6.14: Eğim ölçerin sağ yatay konumda okuduğu değer

Görüleceği üzere RLC metrenin okuduğu değer, 830.1 Ω 'a düşmüştür. Yani FSR sensör üzerine uygulanan basınç kuvveti değişmiştir.

Şekil 6.15'de, kalibrasyonu yapılan eğim ölçerin sol yatay konumda okuduğu değer görülmektedir.

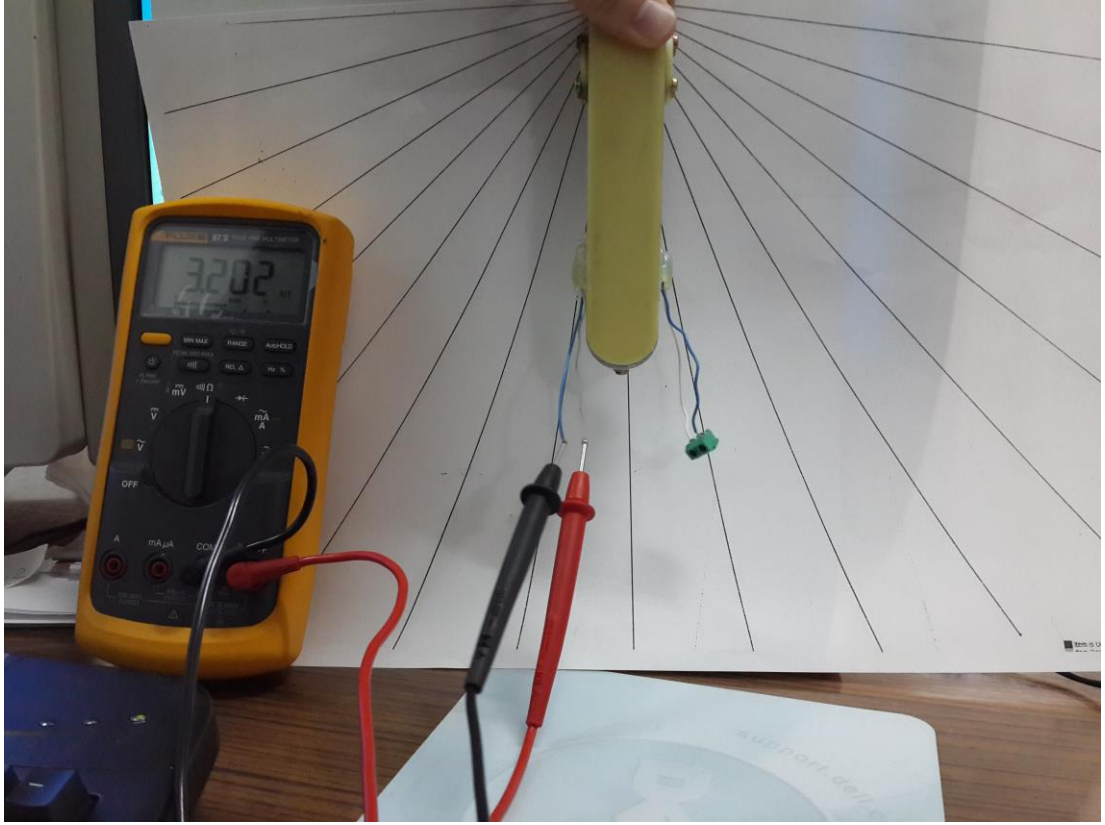


Şekil 6.15: Eğim ölçerin sol yatay konumda okuduğu değer

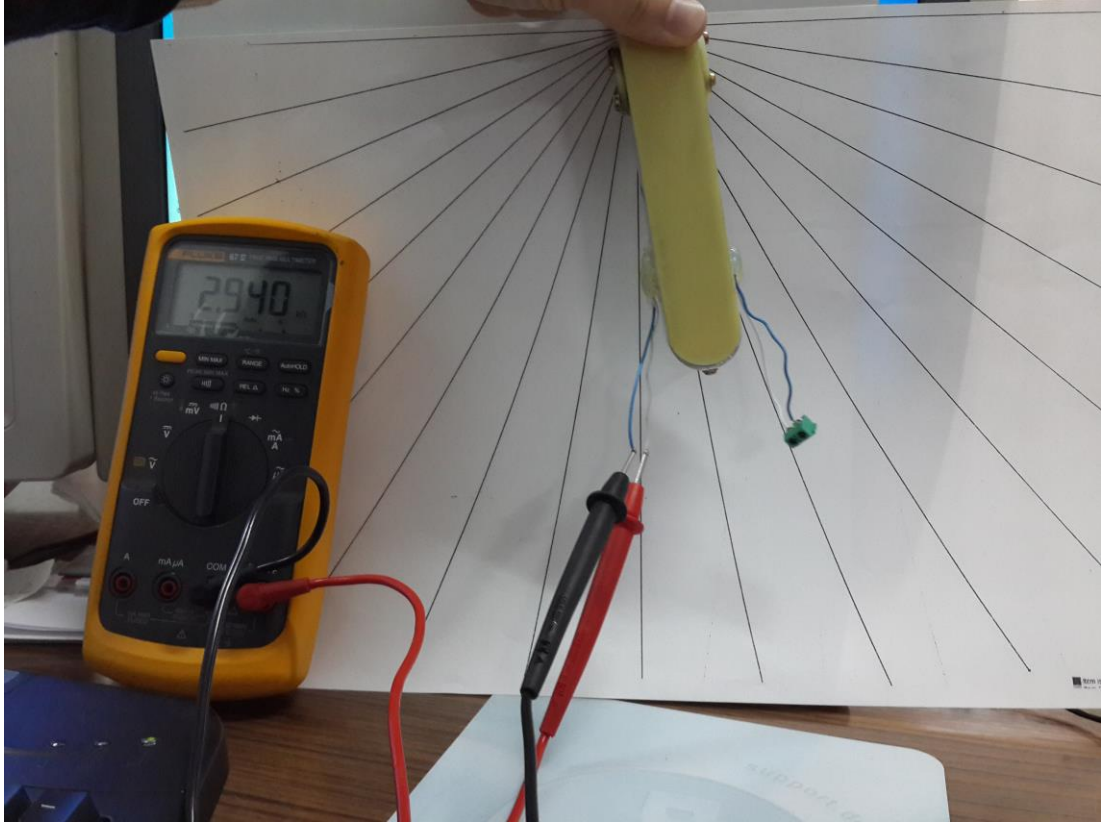
Görüleceği üzere RLC metrenin okuduğu değer, 941.4 Ω 'a çıkmıştır. Sonuç olarak, eğim ölçer sisteminin kalibrasyonu Wheatstone köprüsü kullanılarak yapılmış, konu ile ilgili gerekli ölçümler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları alınmıştır. Tasarlanan devreler daha sonraki aşamalarda yapılarak sistem istenildiği gibi çalıştırılacaktır.

6.2 Eğim Ölçerin Kalibrasyon Deneyleri

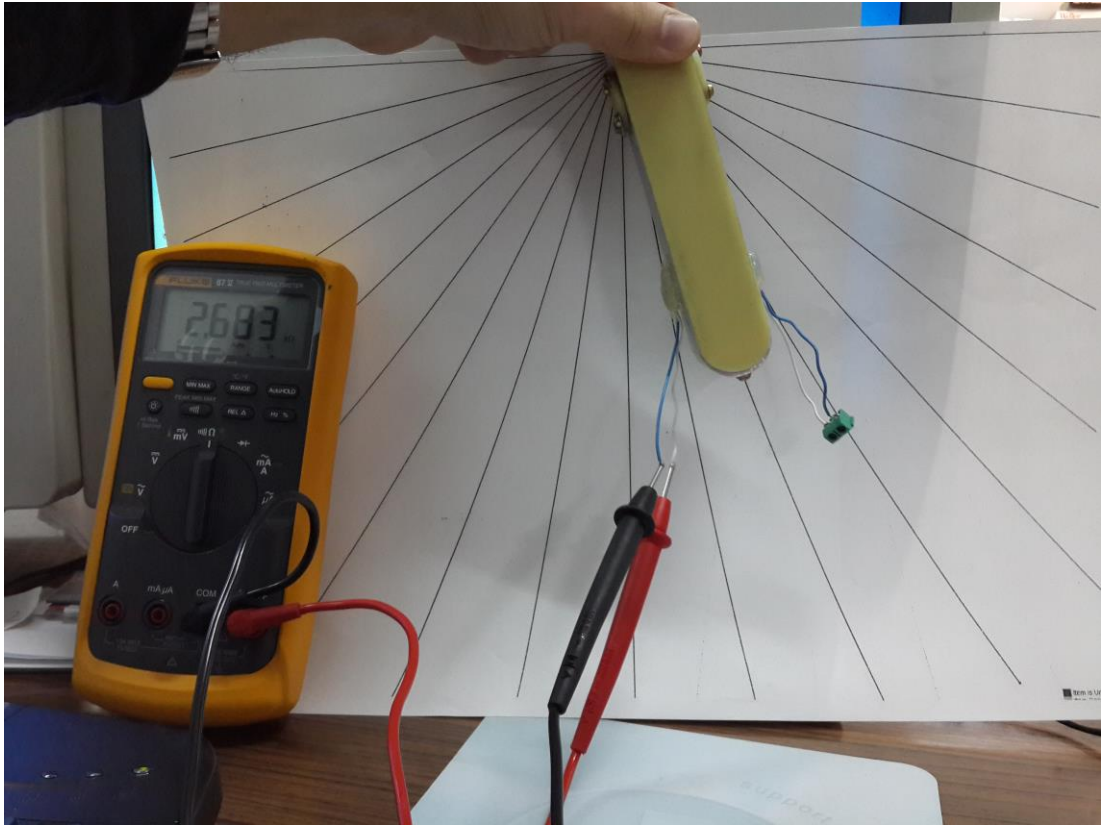
İmalatı gerçekleştirilen eğim ölçer farklı açılarda tutularak, FSR sensör üzerine düşen kuvvete bağlı olarak değişen direnç değerlerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu ölçümlerin gerçekleştirilmesi amacıyla A3 kağıdı üzerine 10° aralıklarla eksenler çizilmiştir. Eğim ölçer eksenin merkez noktasına dik konumda tutularak kablo uçları multimetreye bağlanmıştır. Daha sonra 10° 'den başlayarak farklı aralıklarla eğim ölçerin konumu değiştirilmiştir. Her konum değişikliğinde eğim ölçerde meydana gelen direnç değişiklikleri tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda tespit edilen direnç değerleri Şekil 6.16 - Şekil 6.22 aralığında verilmiştir.



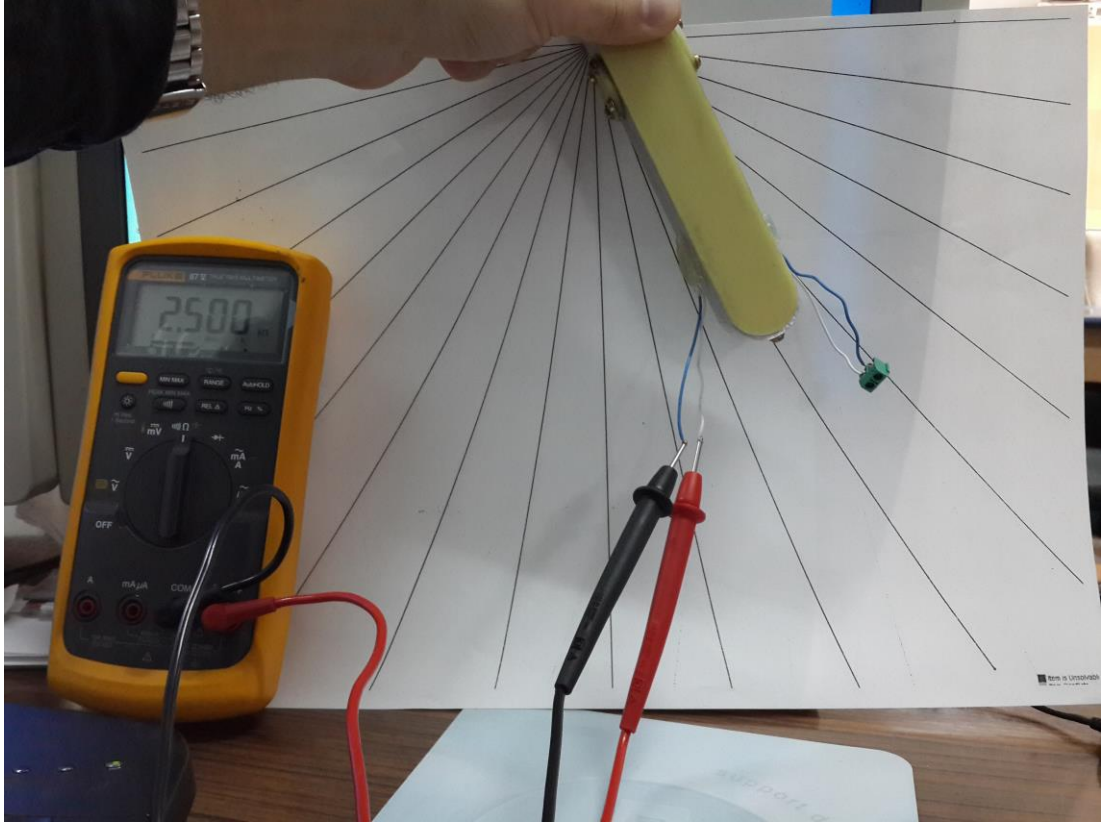
Şekil 6.16: Eğim ölçerin dik konumda okuduğu değer



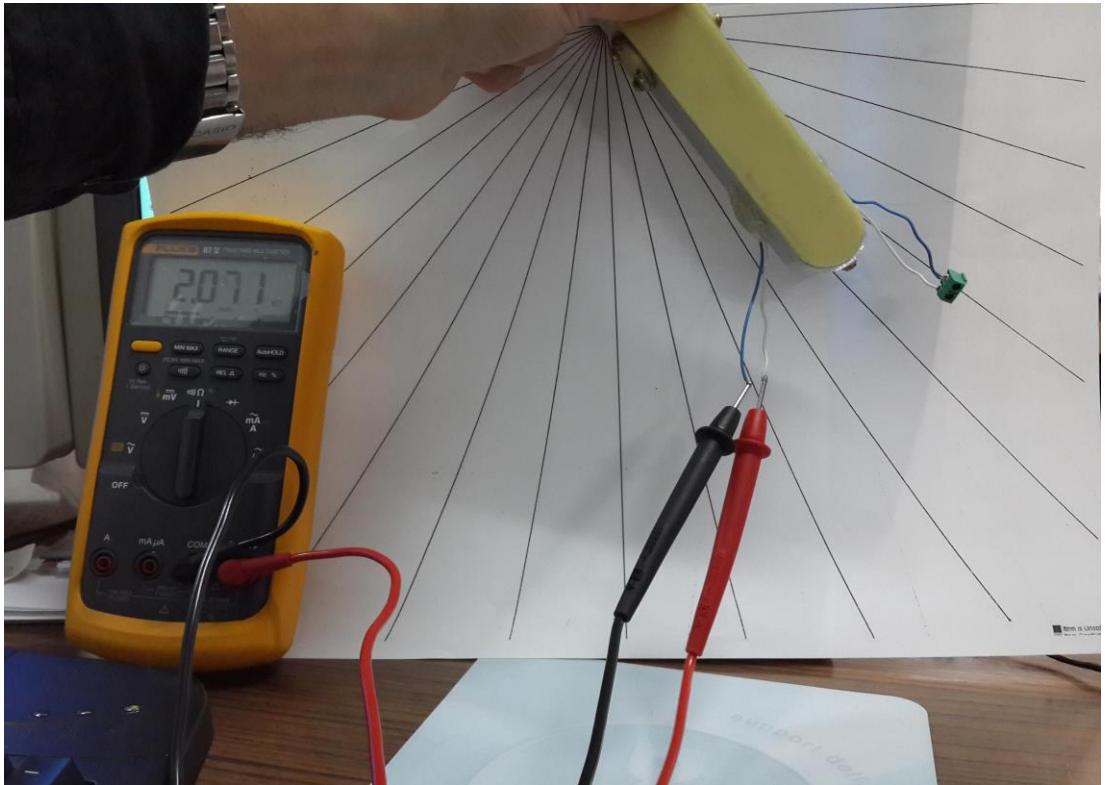
Şekil 6.17: Eğim ölçerinin 10° sol yatay konumda okuduğu değer



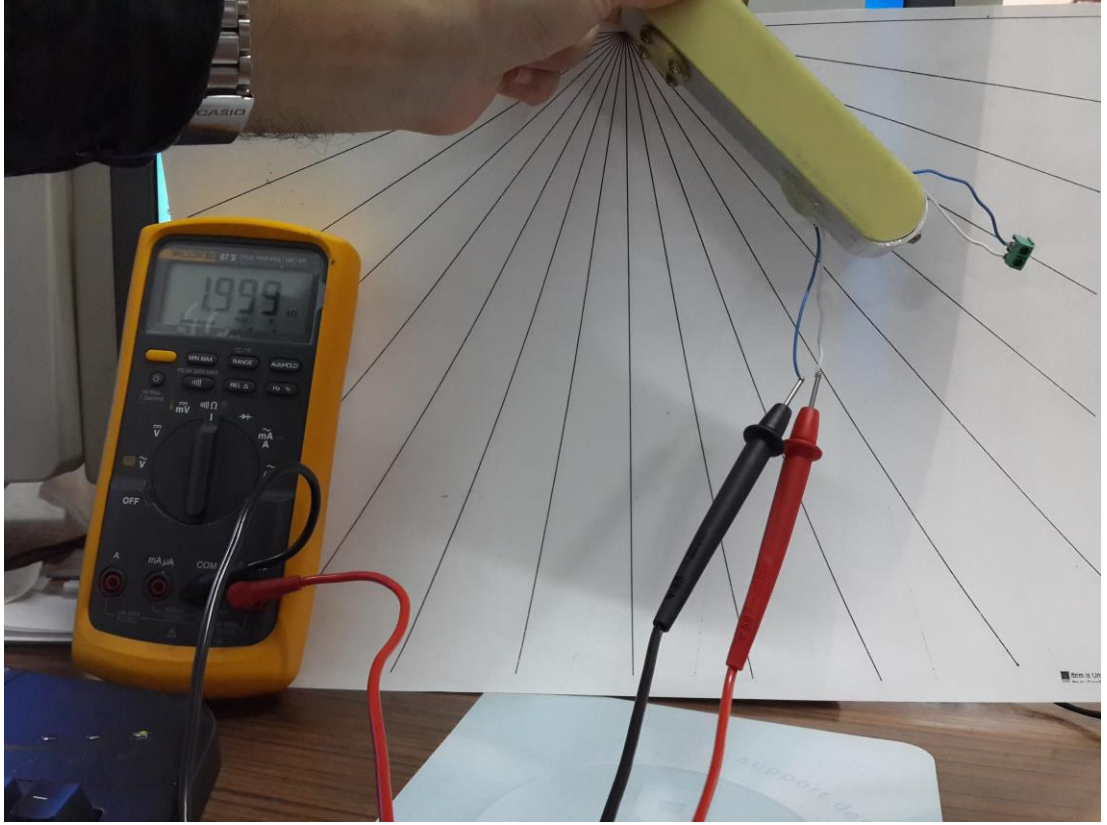
Şekil 6.18: Eğim ölçerinin 20° sol yatay konumda okuduğu değer



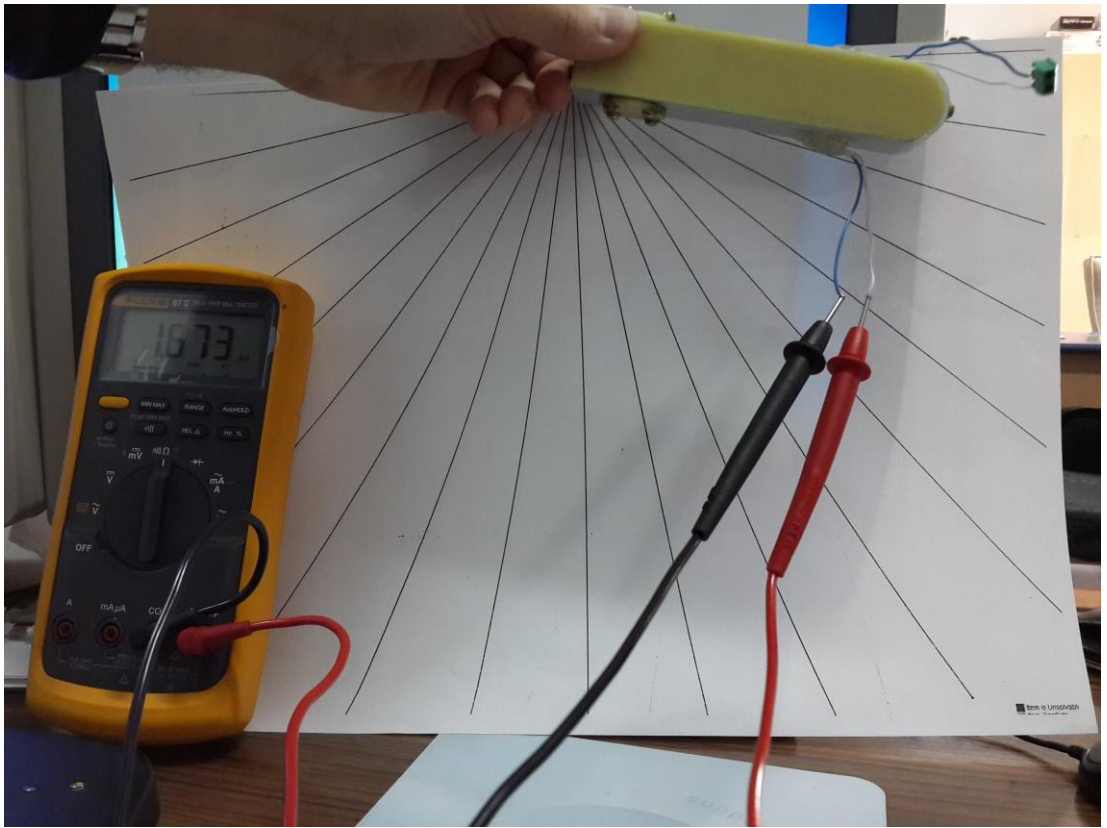
Şekil 6.19: Eğim ölçerin 30° sol yatay konumda okuduğu değer



Şekil 6.20: Eğim ölçerin 40° sol yatay konumda okuduğu değer



Şekil 6.21: Eğim ölçerin 50° sol yatay konumda okuduğu değer



Şekil 6.22: Eğim ölçerin 80° sol yatay konumda okuduğu değer

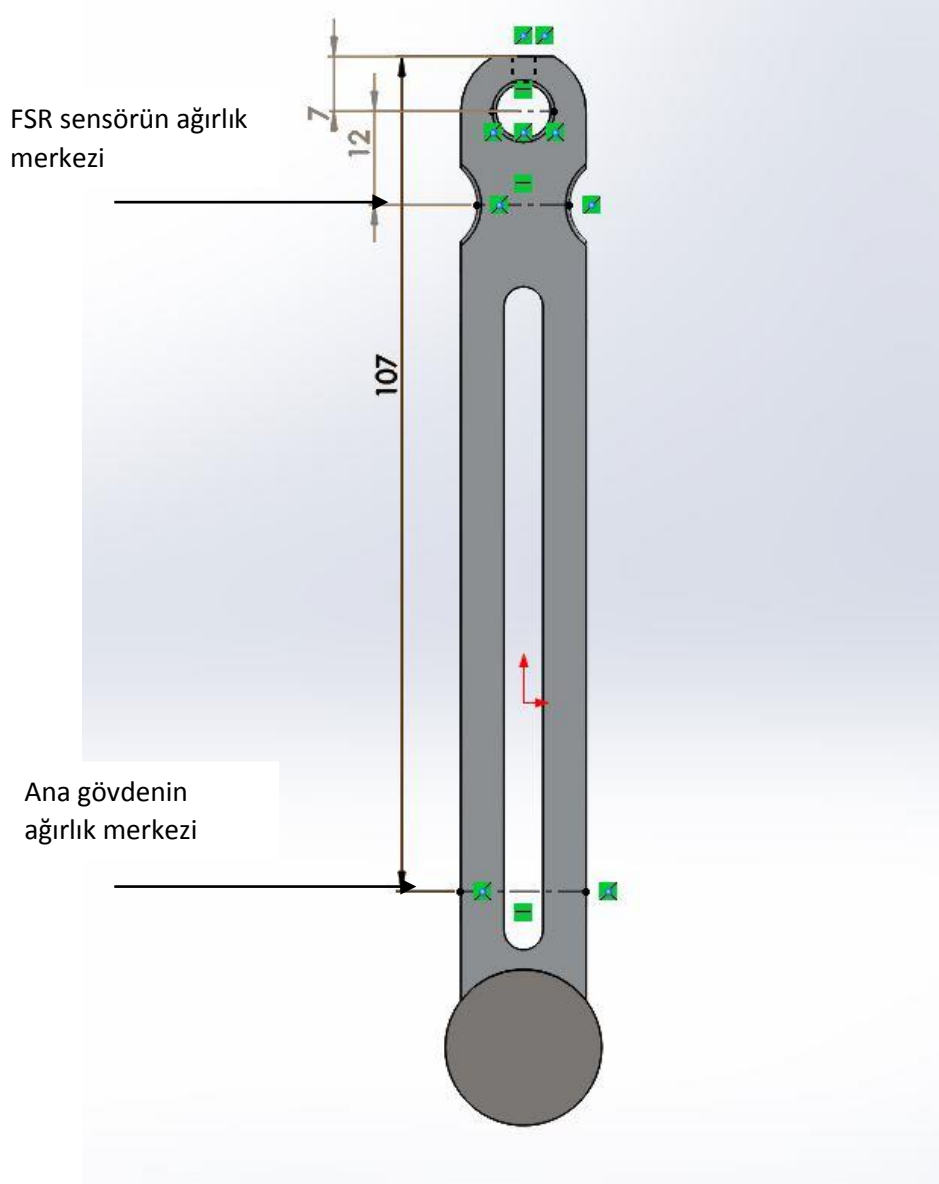
Yapılan deneyler çerçevesinde eğim açılarına göre ölçülen direnç değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: Farklı eğimlerde sensör direncinin yaklaşık değerleri

Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7
Eğim Açısı	0°	10°	20°	30°	40°	50°	80°
Ölçülen Direnç Değeri	3202Ω	2940Ω	2683Ω	2500Ω	2071Ω	1999Ω	1673Ω

Tablo 6.1’de görüleceği üzere, eğim ölçerinin eğim açısı arttırıldıkça FSR sensörün direnç değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç çerçevesinde, açı değerleriyle direnç değerleri arasında ters orantı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kuvvet ile direnç arasındaki bağlantıyı elde edebilmek için, ölçümü yapılan açı değerleri ile kuvvet arasındaki bağlantı ilişkilendirilmelidir. Bu ilişkilendirme, FSR sensör ve eğim ölçer sisteminin ağırlık merkezindeki değişimin sensör üzerine düşen kuvvetin etkisinin değişimiyle orantılı olduğunun ispatı ile yapılacaktır. Bu orantının kuvvet çarpı kuvvet kolu bağlantısı ile çözülebileceği görülmektedir. Hesaplamalar için gerekli olan değerler ise Şekil 6.23’de gösterilmiştir.



Şekil 6.23: Eğim ölçer ve FSR sensörün ağırlık merkezi

Şekil 6.23'de FSR sensör ve ana gövdenin ağırlık merkezleri belirtilmiştir. FSR sensörün üzerine uygulanan basınç kuvveti aşağıda belirtilen esaslarda hesaplanmıştır.

$a = 12 \text{ mm}$ (FSR sensörün ağırlık merkezinin hareket noktasına göre uzaklığı)

$b = 107 - 7 = 100 \text{ mm}$ (Ana gövdenin ağırlık merkezinin hareket noktasına göre uzaklığı)

$\theta =$ Eğim ölçerin yeryüzü normali ile yaptığı açı

$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ (Yer çekimi ivmesi)

$$m=77.29*10^{-3} \text{ kg} \quad (\text{Ana gövdenin kütlesi})$$

$$M= m*g = 0,75795 \text{ N} \quad (\text{Ana gövdenin Ağırlığı})$$

$$\mathcal{T}=M*g*b*\sin(\theta) \quad \text{N*m} \quad (1)$$

$$F= \frac{\tau}{a} +fc \quad \text{N} \quad (2)$$

1. $\theta_1 = 0^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_1= \frac{m*g*b*\sin(\theta_1)}{a} \text{ formülünden} \quad (3)$$

$$F_1= \frac{0,75795*100*\sin(0)}{12} = 0,0784 \text{ N}$$

2. $\theta_2 = 10^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_2= \frac{m*g*b*\sin(\theta_2)}{a} \text{ formülünden} \quad (4)$$

$$F_2= \frac{0,75795*100*\sin(10)}{12} = 1,0967 \text{ N}$$

3. $\theta_3 = 20^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_3= \frac{m*g*b*\sin(\theta_3)}{a} \text{ formülünden} \quad (5)$$

$$F_3= \frac{0,75795*100*\sin(20)}{12} = 2,1603 \text{ N}$$

4. $\theta_4 = 30^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_4= \frac{m*g*b*\sin(\theta_4)}{a} \text{ formülünden} \quad (6)$$

$$F_4= \frac{0,75795*100*\sin(30)}{12} = 3,1581 \text{ N}$$

5. $\theta_5 = 40^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_5= \frac{m*g*b*\sin(\theta_5)}{a} \text{ formülünden} \quad (7)$$

$$F_5= \frac{0,75795*100*\sin(40)}{12} = 4,05 \text{ N}$$

6. $\theta_6 = 50^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_6 = \frac{m \cdot g \cdot b \cdot \sin(\theta_6)}{a} \text{ formülünden} \quad (8)$$

$$F_6 = \frac{0,75795 \cdot 100 \cdot \sin(50)}{12} = 4,8385 \text{ N}$$

7. $\theta_7 = 60^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_7 = \frac{m \cdot g \cdot b \cdot \sin(\theta_7)}{a} \text{ formülünden} \quad (9)$$

$$F_7 = \frac{0,75795 \cdot 100 \cdot \sin(60)}{12} = 5,47 \text{ N}$$

8. $\theta_8 = 70^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_8 = \frac{m \cdot g \cdot b \cdot \sin(\theta_8)}{a} \text{ formülünden} \quad (10)$$

$$F_8 = \frac{0,75795 \cdot 100 \cdot \sin(70)}{12} = 5,9353 \text{ N}$$

9. $\theta_9 = 80^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_9 = \frac{m \cdot g \cdot b \cdot \sin(\theta_9)}{a} \text{ formülünden} \quad (11)$$

$$F_9 = \frac{0,75795 \cdot 100 \cdot \sin(80)}{12} = 6,2202 \text{ N}$$

10. $\theta_{10} = 90^\circ$ için F kuvvetini hesaplırsak

$$F_{10} = \frac{m \cdot g \cdot b \cdot \sin(\theta_{10})}{a} \text{ formülünden} \quad (12)$$

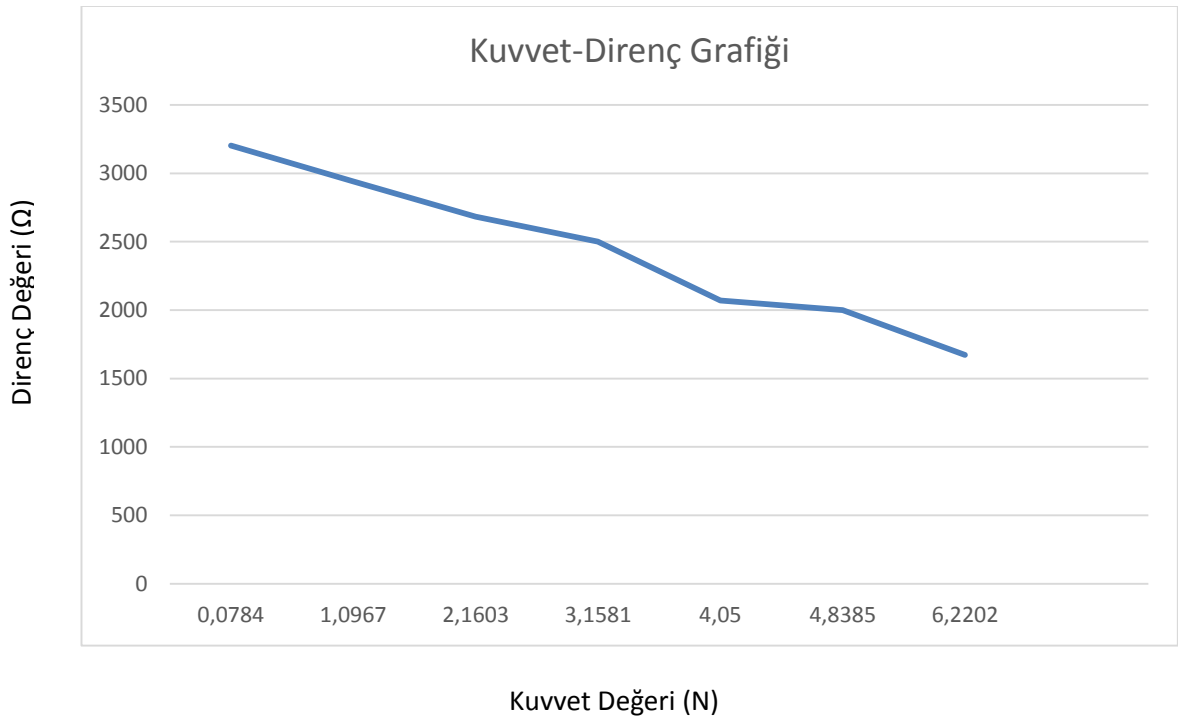
$$F_{10} = \frac{0,75795 \cdot 100 \cdot \sin(90)}{12} = 6,3162 \text{ N}$$

Kuvvet değerleri doğrudan ölçülemelediğinden, açđ değerlerine göre yukarıda yapılan hesaplamalar sonucu kuvvet değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2: Eğim ölçerin eğim açısına göre hesaplanan kuvvet değerleri

Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eğim Açısı	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Hesaplanan Kuvvet Değeri (N)	0,0784	1,0967	2,1603	3,1581	4,05	4,8385	5,47	5,9353	6,2202	6,3162

Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de elde edilen kuvvet ve direnç değerlerine bağlı olarak oluşturulan kuvvet-direnç grafiği Şekil 6.24’de gösterilmiştir.



Şekil 6.24: Hesaplanan kuvvete karşılık gelen direnç değer grafiği

Şekil 6.24’de görüldüğü üzere, eğim ölçerin açı değerleri arttıkça FSR sensörünün uçlarındaki direnç değerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda direnç değerlerindeki değişimin açı değerlerindeki değişimle bağlantısı $y=m*x+n$ şekilde ifade edilir. Bu denklemde x açı değerlerini, y direnç

değerlerini, $m = -254,24$ ve $n = 3222,9$ ise sabit katsayılarını göstermektedir. Böylece kuvvet-direnç eğrisi için,

$$y = -254,24 \cdot x + 3222,9$$

denklemini elde edilmiştir. Elde edilen bu denklem ile, kullanılan FSR sensörün veri sayfasında belirtilen kuvvet-direnç eğrisiyle örtüştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara bağlı olarak, eğim ölçer sisteminin yüksek doğruluk oranıyla çalıştığı tespit edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER:

Bu tez çalışmasında, robotik sistemlerde ve otomasyon sistemlerinde hangi tip sensörlerin kullanılabileceğinin araştırılması kapsamında, tüm sensörlerin incelenmesi ve özellikle kuvvet sensörleri (FSR) kuvvet ölçümlerini gerçekleştirerek, robotun hareketli mekanizmalarının eğimlerinin ölçümünde kullanılması hedeflenmiştir.

Bu maksatla ilk olarak sensörlerin tanımı yapılarak sensörlerin çalışma prensibi açıklanmıştır. Müteakiben sensör teknolojileri gözden geçirilmiş, genel alanda kullanılan sensörlerin çeşitleri belirtilerek bu sensörlerin kullanım alanları ve çalışma esasları detaylı olarak açıklanmıştır.

Daha sonra robotik sistemlerde ve otomasyon sistemlerinde kullanılan sensör çeşitleri incelenerek, çalışma prensipleri ve kullanım alanları detaylı olarak açıklanmıştır.

Yapılan araştırmalar neticesinde, başlıca kuvvet ölçüm sensörlerinden strain gauge ve FSR sensörlerinin robotik uygulamalarda kullanıldığı görülmüştür. Tez konusuna esas teşkil eden FSR sensörlerinin çeşitleri, çalışma prensipleri, kullanım alanları incelenerek, avantajları ve dezavantajları detaylı olarak açıklanmıştır.

Amacımız robot eklemlerinin eğiminin mutlak olarak ölçülmesi olduğundan, bu amaca hizmet edebilecek en iyi mevcut alternatifin diğer sensörlere göre maliyet, uygulama kolaylığı ve performans bakımından öne çıkan FSR sensörleri olacağı sonucuna varılmıştır.

Bunun ispatı olarak FSR sensörü kullanılarak bir adet eğim ölçer tasarlanmıştır. İnsansı robotlarda kullanılmak üzere FSR sensörü kullanılarak tasarlanan eğim ölçeri oluşturan elamanların detayları, imalata esas çizimleri, elamanlarda olması gereken özellikler detaylı olarak açıklanmış ve uygun malzemeler kullanılarak imalat gerçekleştirilmiştir. Eğim ölçerde bulunan FSR sensörleri üzerine değişik açılarda kuvvet uygulanarak ölçümler yapılmış ve sonuçları tablo halinde verilmiştir.

Tasarlanan eğim ölçerden alınacak sonuçların doğruluğunu arttırmak amacıyla, Wheatstone köprüsü yöntemi kullanılarak sistem çıktılarının ölçümleri ve kalibrasyonu yapılmıştır.

Eğim ölçerde bulunan FSR sensörleri üzerine değişik açılarda kuvvet uygulanarak ölçümler yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Kalibrasyon yapıldıktan sonra yapılan deneyler sonucunda alınan değerlere göre, eğim ölçerin hassas bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Sonuç olarak, FSR sensörünün robotik alanda eğim ölçer geliştirilmesinde kullanılabilecek başarılı bir algılayıcı alternatifi olduğu sonucuna varılmıştır.

Daha sonraki çalışmalarda, üretilen eğim ölçer sisteminin, kendi mikroişlemcisi ile robotik sistemle haberleşebilen bir hale getirilerek kullanılabilecektir. Böylelikle, tasarlanan sensörün, robotik sistemlerle, standart haberleşme protokolleri ile iletişimde olması da sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- 1) Yüksel, İ., (2006). Otomatik kontrol,sistem dinamiği ve denetim sistemleri, (ed: Şevkat,G.), *Otomatik Kontrol Sistemleri Hakkında özet, Bursa*.
- 2) Pohanka, M., Pavlis, O. and Skladal, P., "Rapid characterization of monoclonal antibodies using the piezoelectric immunosensor", *Sensors*, doi:10.3390/s7030341, 7, 341-353, (2007).
- 3) Kretschmar, M. and Welsby, S.,"Capacitive and inductive displacement sensors", (ed: J. Wilson), *Sensor Technology Handbook*, Newnes: Burlington, MA., (2005).
- 4) Kaya,T., "Duyular ve algılayıcılar [online]", (02 Temmuz 2001), <http://www.usakrobotkulubu.org/dokumanlar.htm>, (2001).
- 5) Zheng, Y.F. and Fan, Y., "Robot force sensor interacting with environments", *Robotics and Automation Society*, doi: 10.1109/70.68079, 7(1), 156-164, (1991).
- 6) Dede, F., "Sensörler, mobil robot sensörleri, endüstriyel sensörler[online]", (9 Ekim 2011), <http://www.robots101.com/robot-sensorleri>, (2011).
- 7) Yusubov, I., Gulbag, A. and Temurtas, F. , "A study on mixture classification using neural network", *Elec Lett Sci Eng* , 3(1), 33-38, (2007).
- 8) Yıldırım,Ö.F. (2007). İnsan burnu ve elektronik burun, yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Anabilim Dalı. Ankara.
- 9) Kalaycı, T.E., "Kablosuz algılayıcı ağlar ve uygulamaları", *Akademik Bilişim 2010*, Muğla, (2010).

- 10) Lee, A.L. and Kim, J.H., "3-Dimensional pose sensor algorithm for humanoid robot., control engineering practice", *Robotics and Automation Society*, doi: 0967-0661, 18, 1173-1182, (2010).
- 11) Parr, E. A., "Sensör ve transdüser [online]", (13 Ekim 2012), <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektronik/sensor-ve-transduser>, (1907).
- 12) "Robotik sistem, sensörler [online]", (6 Haziran 2013), <http://www.robotiksystem.com/>, (2009-2013).
- 13) Özdemir, A., Parr, E.A., Çetin, K., Pastacı, H. ve Nacar, M. (Eds.), Sensörler ve transdüserler , (2012) .
- 14) Özalp, H., "Kameralarda lensler ve görüntü sensörleri [online]", (01 Mayıs 2011), <http://www.ozelguvenlikdunyasi.com/kameralarda-lensler-ve-goruntu-sensorleri.html>, (2010).
- 15) Özdemir,A., Parr,E.A., Çetin,K., Pastacı,H. ve Nacar,M. (Eds), Elektrik elektronik teknolojisi sensörler ve transdüserler, (2007).
- 16) Mohammad, S. and Mohamed , T., " Identification of a force-sensing resistor for tactile applications.", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, doi: 10.1177/1045389X12463462, 24(7), 813-827, (2013).
- 17) Parr, E.A., "Endüstriyel kontrol el kitabı", MEB Yayınevi, Ankara, (1996).
- 18) Amelio G. F., Tompsett M. F., and Smith G. E. , " Experimental verification of the charge coupled device concept", *Bell Sys. Tech. J.*, doi : 10.1063/1.1653327, 49 (4), 593–600, (1970).
- 19) James.,D. "Accelerometer design and applications", *Analog Devices.*, 12-23, (2008).
- 20) ÇETİN, K., "Endüstriyel elektronik", Birsen Yayınevi, İstanbul, (2002).

- 21) Norton, H.N. "An electronic nose to differentiate aromatic flowers using a real-time information-rich piezoelectric resonance measurement", *Procedia Chemistry*, doi:10.1016/j.proche.2012.10.146., 194–202, (2012).
- 22) Heever, D.J., Schreve, K. and Scheffer, C. "Tactile sensing using force sensing resistors and super-resolution algorithm", *IEEE Sensors Journal*, 9, 1, (2009).
- 23) Sehoon, O., Kyoungchul, K. and Yoichi, H., "Design and analysis of force-sensor-less power-assist control" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(2), 985-983, (2012).
- 24) Erjavec, J., "Tachometer ", *Automotive Technology*, isbn:1-4018-4831-1, (2005).
- 25) Matsubara, K., Stork, W., Wagner, A., Drescher, J. and Müller-Glaser, K. D., "Simultaneous measurement of the velocity and the displacement of the moving rough surface by a laser Doppler velocimeters", *Applied Optics*, 36, 4516–4520, (1997)
- 26) Hofman, Y., "License plate recognition - a tutorial[online]", (2004), <http://www.licenseplaterecognition.com/>, (2005).
- 27) Suwanratchatamane, K., Matsumoto, M. and Hashimoto, S., "Haptic sensing foot system for humanoid robot and ground recognition with one-leg balance", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(8), 3174-3186, (2011).
- 28) Peck L.H., "How aircraft instruments work", *Popular Science*, 116, (1944).
- 29) Darcy, H., "Note relative à quelques modifications à introduire dans le tube de Pitot", *Annales des Ponts et Chaussées*, 351–359, (1958).
- 30) William, H., *How Speedometers Work.*, Retrieved 2008, 01-13. 351-359, (2008).

- 31) Yaniger, S.I., " Force sensing resistor ", *Electro International*, 1991, New York, USA, 666-668, (1991).
- 32) Na-de., "Hareket sensörleri[online] ", (2012), <http://www.nade.com.t/media/dokuman/tr/teknikbilgi/hareket-sensörleri.pdf>, (2012).
- 33) Partaatmadja, O., Benhabib, B. and Goldenberg, A.A., " Analysis and design of a robotic distance sensor", *Journal of Robotic Systems* doi: 10.1002/rob.4620100403, 10(4), 427-445, (2007).
- 34) Tekscan, "Flexiforce sensors[online]", (28 Mart 2012), <http://www.tekscan.com/flexible-force-sensors.>, (2012).
- 35) Dirikol,A., Dinçer,H. and Kocakaya,E., "Hemiplejik serebral palsi’li çocuklar için mikrokontrolör tabanlı ayakkbı içinde yürüyüş eğitimcisi tasarımı", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul, 449-452 (2010).
- 36) Akgün,Ö., Demir,H. ve Akan,A "Yürüme işaretlerinin ar modelleri ile als hastalığının belirlenmesi", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı 2008*, Bursa , (2008).
- 37) Goldenberg,A.A., "Force sensistive resistors[online] ", (7 Ocak 2013), [http://www.openmusiclabs.com/learning/sensors/fsr/.](http://www.openmusiclabs.com/learning/sensors/fsr/), (2013).
- 38) Dosen, S. and Popovic, D.B., " Accelerometers and force sensing resistors for optimal control of walking of a hemiplegic" *Center for Sensory-Motor Interaction*, Aalborg University, isbn:978-87-90562-94-6, 55(8), (2008).
- 39) Göktepe,M., Oral,A., ve Perin,D., "Mekanik gerilmenin manyetik özelliklere etkilerinin sensör olarak kullanılabilirliği", *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 409-419, (2012).

- 40) "Hope Microelectronics, Humidity Sensör Module[online] " ,(31 Mayıs 2010), <http://www.roboweb.net/rw-sf-10239.htmf.>, (2011).
- 41) Ladyada, "Force sensitive resistor (FSR)[online]", (2012), <http://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview.>, (2012).
- 42) Stoyanov, T., Mojtahedzadeh, R., Andreasson, H. and Lilienthal, A.J., "Comparative evaluation of range sensor accuracy for indoor mobile robotics and automated logistics applications", *Robotics and Autonomous Systems*, 61(10), 1094-1105, (2013).
- 43) Petkovića, D., Issa, M., Pavlovic, N.D. and Zentner, L., "Intelligent rotational direction control of passive robotic joint with embedded sensors", *Expert Systems with Applications*, 40(4), 1265-1273, (2013).
- 44) Yousef, H., Nikolovski, J.P. and Martincic, E., "Flexible 3D force tactile sensor for artificial skin for anthropomorphic robotic hand". *Procedia Engineering*, 25, 128-131, (2011).
- 45) Jaffe, Bernard M., "Radar system engineering", *American Journal of Physics*, 41, 577-578, (1973).
- 46) Florez, J.A. and Velasquez, A., "Calibration of force sensing resistors (fsr) for static and dynamic applications" *Andescon*, 1-6, (2010).
- 47) "Hope Microelectronics, Humidity Sensör Module[online] " ,(31 Mayıs 2010), <http://www.roboweb.net/rw-sf-10239.htmf.>, (2011).