

**RENGE GÖRE (KIRMIZI, YEŞİL, MAVİ) MALZEME TAŞIYAN
ROBOT KOLU TASARIMI VE UYGULAMASI**

Serdar ÇİÇEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2006

ANKARA

Serdar ÇİÇEK tarafından hazırlanan RENGE GÖRE (KIRMIZI, YEŞİL, MAVİ) MALZEME TAŞIYAN ROBOT KOLU TASARIMI VE UYGULAMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz SAVAŞ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İnan GÜLER

Üye : Prof. Dr. İsmail COŞKUN

Üye : Prof. Dr. Nihal Fatma GÜLER

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz SAVAŞ

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**RENGE GÖRE (KIRMIZI, YEŞİL, MAVİ) MALZEME TAŞIYAN ROBOT
KOLU TASARIMI VE UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serdar ÇİÇEK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2006

ÖZET

Endüstride, çalışan bir bant üzerinden geçen malzemelerin (ürünlerin) sistemden atılması için genelde pnömatik veya hidrolik piston ile bant dışına atma işlemi kullanılmaktadır. Bant üzerinden alınmak istenen malzemelerin piston ile bant dışına atılmasının tehlikeli olduğu durumlarda malzemelerin hassas bir şekilde taşınması gerekmektedir. Malzemelerin istenen standartlara uyup uymadığı üretim amacına göre değişen parametreler ile tespit edilmektedir. Bu parametrelerden bir tanesi de malzeme rengidir (veya malzemedeki bir bölgenin rengi). Bir fabrikada malzemelerin rengine göre (Kırmızı, Yeşil, Mavi) hassas taşıma yapan robot kolu tasarımı ve uygulaması bu çalışmanın esas amacıdır. Bu çalışmada önce 5 serbestlik dereceli, R/C servo motor kontrollü, alüminyum mekanik sistemli, mikrodenetleyici tabanlı robot kolu ile mikrodenetleyici tabanlı renk sensörü tasarlanarak, örnek bir platform inşa edilmiş ve robot kolunun bu platform üzerinde çalışması incelenmiştir.

Bölüm Kodu :704.3.013
**Anahtar Kelimeler :Robotlar, Robot Sensörleri, Renk Sensörü,
R/C Servo Motorlar, Mikrodenetleyici**
Sayfa Adedi : 162
Tez Yöneticisi :Yrd. Doç. Dr. Yılmaz SAVAŞ

**DESIGN AND APPLICATION OF A ROBOTIC ARM CARRYING ITEMS
BASED ON COLOUR (RED, GREEN, BLUE)**

(M.Sc. Thesis)

Serdar ÇİÇEK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2006

ABSTRACT

In the industry, removing items (products) being carried on a conveyor belt is generally accomplished by use of pneumatic or hydraulic pistons. In cases where it is dangerous to discard such items to be taken out of the belt via pistons they should be carried delicately. Whether these items satisfy the required standards or not is determined based on parameters that change according to production objectives. One of these parameters is the colour of the item (or the colour of a region on the item). The main goal of this work is the design and application of a robotic arm managing delicate conveyance based on the colour (Red, Green, Blue) of items in a plant. In this study, a 5 degree-of-freedom, R/C servo motor controlled, microcontroller-based robotic arm with aluminum mechanics and microcontroller-based colour sensor are designed first, then a sample platform is constructed, and operation of the robotic arm on this platform is examined.

Science Code : 704.3.013

**Key Words : Robots, Robot Sensors, Colour Sensor,
R/C Servo Motors, Microcontroller**

Page Number : 162

Adviser : Assistant Prof. Yılmaz SAVAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katlılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr.Yılmaz SAVAŞ'a, yine önemli tecrübelerinden faydalandığım Dr. Metin KAPIDERE, Dr. Raif BAYIR ve Arş.Gör. Fecir DURAN hocalarıma, robotik alanında yoğun tecrübelerinden yararlandığım Elektronik Öğretmeni Tacettin ÇIRACI'ya, mekanik aksam konusunda yoğun emeği geçen Tesviye Öğretmeni İbrahim KAYA'ya, uygulama platformu yapımında yardımlarını esirgemeyen Mobilya ve Dekorasyon Bölümü Öğretmenleri Haluk GÜLEY ve Zeki BARHAN ile Tesviye Öğretmeni Hakan DEMİR'e, uygulama bölümü yapımı ve performans analizi aşamalarında atölye ve teçhizatlarını kullanıma açan Elektronik Bölüm Şefi Ş. Aziz ATEŞ'e, mesleki ve manevi katkılarından dolayı Elektrik Mühendisi Sultan MERT ile eşi Elektrik-Elektronik Mühendisi Osman MERT'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ROBOTLARIN GELİŞİMİ VE DÜNYADAKİ KULLANIMLARINA GENEL BİR BAKIŞ.....	6
2.1. Robotların Doğuşu ve Tarihi Gelişimi.....	6
2.1.1. Dünyadaki robot çalışmaları.....	15
2.1.2. Robot endüstrisinin pazar hacmi.....	17
2.2. Robot Sınıflandırılmaları.....	18
2.3. Robotların Avantaj ve Dezavantajları.....	19
3. ROBOT SİSTEMLERİ VE ROBOT SİSTEMİ BİLEŞENLERİ.....	22
3.1. Endüstriyel Robot Sınıfları.....	24
3.1.1. Manipülatörün yapısına göre sınıflandırma.....	24
3.1.2. Hareket sistemine göre sınıflandırma.....	32
3.1.3. Kontrol döngüsü tipine göre sınıflandırma.....	33
3.2. Robot Uç Etkileyicileri.....	35

Sayfa

3.2.1. Kavrayıcılar.....	36
3.2.2. Uzuvarlar.....	41
3.3. Robot Tahrik Düzenekleri.....	41
3.3.1. Hidrolik tahrik sistemleri.....	42
3.3.2. Pnömatik tahrik sistemleri.....	43
3.3.3. Elektrik motorlu tahrik sistemleri.....	44
3.3.4. Hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	51
3.3.5. Şekil bellek alaşımlı tahrik sistemler.....	52
3.3.6. Manyetostriktif tahrik sistemleri.....	53
3.4. Robot Programlama Yöntemleri.....	53
3.4.1. Fiziksel kurma yöntemi.....	54
3.4.2. Tüm yolu önceden belirleme veya öğretme yöntemi.....	54
3.4.3. Göstererek programlama veya öğretme yöntemi.....	55
3.4.4. Yazılım ile programlama yöntemi.....	56
3.5. Robotlarda Kullanılan Sensörler ve Sensör Karakteristikleri.....	58
3.5.1. Sensör karakteristikleri.....	59
3.5.2. Sensör çeşitleri.....	63
4. ROBOT KOLU TASARIMI VE UYGULAMASI.....	76
4.1. Tasarımda Kullanılan Malzemelere Genel Bakış.....	76
4.2. Robot Kolunun Mekanik Sistemi.....	77
4.2.1. Robot kolunun taban bölümü.....	78
4.2.2. Robot kolunun omuz bölümü.....	81

Sayfa

4.2.3. Robot kolunun kol bölümü.....	81
4.2.4. Robot kolunun bilek bölümü.....	82
4.2.5. Robot kolunun uç etkileyici bölümü.....	82
4.3. Robot Kolunun Tahrik Elemanları ve Montajı.....	83
4.3.1. Motor seçimi.....	86
4.3.2. Motorların montajı.....	91
4.4. Robot Kolunun Elektronik Sistemi.....	93
4.4.1. Robot kolu güç devresi.....	94
4.4.2. Robot kolu motor kontrol devresi.....	96
4.4.3 Renk sensörü ve renk sensörü devresi.....	107
4.5. Renge Göre Malzeme Taşıyan Robot Kolu Uygulama Platformu.....	120
4.6. Tasarlanan Robot Kolunun Performans Analizleri.....	123
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	132
KAYNAKLAR.....	134
EKLER.....	138
EK-1. Robot kolu güç devresinin baskı devresi ve üstten görünüşü.....	139
EK-2. Motor kontrol programının akış diyagramı.....	140
EK-3. Robot kolu motor kontrol devresinin baskı devresi ve üstten görünümü.....	141
EK-4. Renk sensörü devresi programının akış diyagramı.....	142
EK-5. Robot kolu renk sensörü devresinin baskı devresi ve üstten görünümü.....	143
ÖZGEÇMİŞ.....	144

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yıllara göre robot endüstrisi pazar hacimleri.....	17
Çizelge 3.1. Robot çeşitlerinin karşılaştırılması.....	31
Çizelge 3.2. Hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.1. Robot sisteminde kullanılan parçaların ağırlıkları.....	86
Çizelge 4.2. Robot kolunda kullanılan motorların yerleri ve modelleri.....	87
Çizelge 4.3. HS-755HB motorunun teknik özellikleri.....	88
Çizelge 4.4. HS-422 motorunun teknik özellikleri.....	89
Çizelge 4.5. HS-322HD motorunun teknik özellikleri.....	90
Çizelge 4.6. Kırmızı malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları.....	124
Çizelge 4.7. Yeşil malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları.....	124
Çizelge 4.8. Mavi malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları.....	125
Çizelge 4.9. Her adımdaki ortalama motor besleme gerilimleri.....	126
Çizelge 4.10. Flüoresan lamba altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi.....	127
Çizelge 4.11. Gündüz kapalı ortamda normal güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi.....	128
Çizelge 4.12. Gündüz kapalı ortamda yüksek güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi.....	129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Robot alt sistemleri.....	22
Şekil 3.2. Robot sisteminin ana bölümleri.....	23
Şekil 3.3 Kartezyen koordinatlı robot ve hareket sahası.....	25
Şekil 3.4. Silindirik koordinatlı robot ve hareket sahası.....	26
Şekil 3.5. Küresel koordinatlı robot ve hareket sahası.....	27
Şekil 3.6. Eklemlı robot ve hareket sahası.....	28
Şekil 3.7. SCARA tipi eklemlı robot.....	29
Şekil 3.8. Kapalı döngü kontrol sistemine örnek sistem.....	34
Şekil 3.9. Manyetik tip kavrayıcının çalışma prensibi.....	37
Şekil 3.10. Mıknatıslanma ile çalışan kavrayıcı.....	37
Şekil 3.11. Vakumlu tip kavrayıcı.....	37
Şekil 3.12. Çeneli tip kavrayıcı örnekleri.....	38
Şekil 3.13. İnsan bileği hareketleri.....	39
Şekil 3.14. Üç parmaklı kavrayıcı.....	40
Şekil 3.15 Dört parmaklı kavrayıcı.....	40
Şekil 3.16. Kepçe uzvu.....	41
Şekil 3.17. Ark kaynak uzvu.....	41
Şekil 3.18. Hidrolik sistem ve bileşenleri.....	43
Şekil 3.19. Elektrik motorun çalışma prensibi.....	44
Şekil 3.20. Step motorun çalışma prensibi.....	47
Şekil 3.21. Step motor sürücü devreleri.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 3.22. Step motor bobin bağlantıları.....	49
Şekil 3.23. Servo motor rotoru.....	50
Şekil 3.24. Ni-Ti alaşımı kullanılan hareketlendirici sistemi.....	52
Şekil 3.25. Tüm yolu önceden belirleme veya öğretme yöntemi.....	55
Şekil 3.26. Göstererek programlama veya öğretme yöntemi.....	55
Şekil 3.27. Bilgisayar ile robot sisteminin programlanması.....	56
Şekil 3.28. Pozisyon sensörü olarak bir potansiyometre.....	63
Şekil 3.29. Döner ve doğrusal enkoder iç yapıları.....	64
Şekil 3.30. LVDT'nin şematik gösterimi ve pozisyon-çıkış voltajı eğrisi.....	66
Şekil 3.31. RVDT'nin şematik gösterimi.....	66
Şekil 3.32. Piezo-elektrik malzemede kuvvetin gerilime dönüşmesi.....	68
Şekil 3.33 Wheatstone köprüsü.....	69
Şekil 3.34. Üç farklı eksenindeki torkun ölçülmesi için gerekli sensör düzenlemesi.....	70
Şekil 3.35 Modülasyonlu piezo-elektrik dokunma algılayıcısı.....	71
Şekil 3.36. Optik yakınlık sensörünün çalışma prensibi.....	72
Şekil 3.37. Ultrasonik yakınlık sensörleri yerleştirme modları.....	73
Şekil 3.38. İndüktif sensörün çalışma prensibi.....	74
Şekil 4.1. R/C servo motorun temel dönüş açıları için gerekli kontrol sinyalleri.....	85
Şekil 4.2. R/C Servo motorun elektronik kısmı.....	86
Şekil 4.3. HS-755HB motorunun şekli ve boyutları.....	88
Şekil 4.4. HS-422 motorunun şekli ve boyutları.....	89
Şekil 4.5. HS-322HD motorunun şekli ve boyutları.....	90

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Renge göre malzeme taşıyan robot kolu elektronik sistemi blok şeması.....	94
Şekil 4.7. Robot güç devresinin devre şeması.....	95
Şekil 4.8. PIC16F628 mikrodenetleyicisinin pin numaraları ve isimleri.....	97
Şekil 4.9. Motor kontrol devresinin devre şeması.....	107
Şekil 4.10. Renk sensöründe malzemelerin yerleşim yeri.....	108
Şekil 4.11. PIC16F876 entegresinin pin numaraları ve açıklamaları.....	109
Şekil 4.12. Renk sensörü devresinin devre şeması.....	110
Şekil 4.13. Robot kolu uygulama platformu ve parçalarının yerleşimi.....	121
Şekil 4.14. Gölgeleme kabininin önden görünüşü.....	122
Şekil 4.15. Gölgeleme kabininin yandan görünüşü.....	122
Şekil 4.16. Kırmızı malzeme taşınırken adımlara göre sistemin çektiği akımlar.....	124
Şekil 4.17. Yeşil malzeme taşınırken adımlara göre sistemin çektiği akımlar.....	125
Şekil 4.18. Mavi malzeme taşınırken adımlara göre sistemin çektiği akımlar.....	125
Şekil 4.19. Her adımdaki ortalama motor besleme gerilimleri.....	126
Şekil 4.20. Her adımda sistemin ortalama güç ihtiyacı.....	127
Şekil 4.21. Flüoresan lamba altında renk sensörü doğruluk-mesafe doğruluk ilişkisi.....	128
Şekil 4.22. Gündüz kapalı ortamda normal güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi.....	129
Şekil 4.23. Gündüz kapalı ortamda yüksek güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi.....	129
Şekil 4.24. Tasarlanan robot kolunun hareket sahası.....	130

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Bir fabrikada üretim rengine uygun olmayan ürünün banttıan dışarı atılması.....	3
Resim 1.2. Şampanya şişelerinin doğru renkte bantla kaplanıp kaplanmadığının kontrolü.....	3
Resim 2.1. Cezeri'nin kitabından resimler a. Cezeri'nin kitabından otomatik makineler b. Otomatik abdest alma makinesi.....	7
Resim 2.2. ENIAC bilgisayarı.....	11
Resim 2.3. Versatran robotu.....	12
Resim 2.4. Rancho kolu.....	12
Resim 2.5. Shakey robotu.....	14
Resim 2.6. PUMA robotu.....	14
Resim 3.1. Endüstride kullanılan SCARA tipi bir robot.....	30
Resim 3.2. Uç etkileyici örneği.....	35
Resim 3.3. Uç etkileyici örneği.....	35
Resim 3.4. 4 parmaklı bir robot elin sanayideki kullanım örneği.....	40
Resim 3.5. IBM 7565 robotunun hidrolik motor sistemi.....	43
Resim 3.6. Karma step motor.....	48
Resim 3.7. Karma step motor rotoru.....	48
Resim 3.8. Servo motor örneği.....	50
Resim 3.9. Biometal telden yapılmış uç parmak uç etkileyicisi.....	53
Resim 3.10 Lego sistemi ile yapılmış bir robot.....	57
Resim 3.11. Bourns firmasının dairesel potansiyometreleri.....	64

Resim	Sayfa
Resim 3.12. Hengstler firmasının programlanabilir enkoder elemanı.....	65
Resim 3.13. Kuvvete duyarlı direnç elemanı.....	68
Resim 3.14. Ultrasonik uzaklık sensörü.....	74
Resim 3.15 Hafızasındaki kelimeleri ses frekansına dönüştüren sensör.....	75
Resim 4.1. Robot kolunun tabanı ve iç kısmı.....	78
Resim 4.2. Taban sisteminin üst kapak görüntüsü.....	79
Resim 4.3. Robot kolunun rulman sistemi.....	80
Resim 4.4. Omuz motorlarının montajında kullanılan U parçaları.....	80
Resim 4.5. Omuz bölümünde kullanılan parçalar.....	81
Resim 4.6. Robotun kol bölümü.....	82
Resim 4.7. Kol bölümünde motorları sıkıştırmak için kullanılan parçalar.....	82
Resim 4.8. Robot kolunun bilek kısmını oluşturan parçanın değişik yönden görüntüsü.....	82
Resim 4.9. Uç etkileyicisinin ön kısmı.....	83
Resim 4.10. Uç etkileyicisinin arka kısmı.....	83
Resim 4.11. Uç etkileyicisinin dişli kısmı.....	83
Resim 4.12. Robot kolu tasarımında kullanılan iki farklı servo motor.....	84
Resim 4.13. R/C Servo motorun iç kısmı.....	85
Resim 4.14. Omuz motorlarının montaj edilmiş hali.....	91
Resim 4.15. Saç parçası üzerine kaynatılmış demir çubuk ve parçaları.....	92
Resim 4.16. Kol bölümü ve bilek bölümü.....	92
Resim 4.17. Robot kolunun tüm parçalarının montaj edildikten sonraki hali.....	93
Resim 4.18. Robot kontrol kutusunun iç kısmı.....	119

Resim	Sayfa
Resim 4.19. Kontrol kutusu ön paneli.....	120
Resim 4.20. Kontrol kutusu arka paneli.....	120
Resim 4.21. Robot kolu uygulama platformu.....	123

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tezde kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Ω	Ohm
E	DC Elektrik kaynağı
V	DC Elektrik kaynağı
W	Watt
A	Amper
R	Direnç
Hz	Hertz
Khz	Kilo Hertz
W	Ölçeklendirme faktörü
i, j, k	x, y, z doğrultularındaki birim vektörler
$c\Theta$	$\cos\Theta$
$s\Theta$	$\sin\Theta$
Rot	Dönüşüm matrisi
$Trans$	Öteleme matrisi
C_1	$\cos\Theta_1$
S_1	$\sin\Theta_1$
Kısaltmalar	Açıklama
AAAI	American Association For Artifical Intelligence

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternating current
ADC	Analog to Digital Convertor
AFR	The Association Française de Robotique
BRA	British Robot Association
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCS	Custom Computer Service
CNC	Computer Numeric Control
CP	Continuous Path
D_H	Denavit - Hartenberg
DAC	Digital to Analog Converter
DC	Direct current
DOF	Degree of Freedom
ENIAC	Electrical Numerical Integrator and Computer
GM	General Motors
gr.	Gram
IBM	International Business Machines
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
JIRA	Japanese Industrial Robot Association
kg.	Kilogram
LCD	Liquid Crystal Display

Kısaltmalar**Açıklama****LDR**

Light Dependent Resistor

M.I.T.

Massachusetts Institute of Technology

M.Ö.

Milattan önce

M.S.

Milattan sonra

mA

Mili amper

mm

Milimetre

ms

Mili saniye

PTP

Point to Point

PWM

Pulse Width Modulation

RIA

The Robotics Institute of America

ROBOTEK

Robot Teknoloji Araştırma Ünitesi

SCARA

Selective Compliance Automatic Robot Arm

sn

Saniye

1. GİRİŞ

Robot kavramının temelleri eski tarihlere dayansa da ilk olarak “Robot” kavramı 1922 yılında Çek yazar Karel Čapek’in piyesinde bir tiptemesinin ismine Robot demesiyle ortaya atılmıştır. Bu tarihten sonra robot bilimi üzerinde bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır. İlk zamanlarda makine mühendisleri ve fizikçiler tarafından yoğun olarak incelenen robot bilimi daha sonra elektronik biliminin desteğiyle daha da ilerlemiştir. Mikro elektronik alanında olan yenilikler ve buluşlar robot biliminin gelişmesine doğrudan katkıda bulunmuşlardır. Geçen her yılda daha yetenekli robotlar üretilmiştir. Robotlar, genelde insanı taklit etmeye yönelik geliştirilmeye çalışılmıştır. Fakat insan beynindeki 10 milyar hücre yanında robot bilimi insanın özelliklerini sadece çok küçük düzeyde yakalayabilmiştir (1).

Türkiye de robotik alanında ilk düzenli çalışma 1987 yılında TÜBİTAK Mühendislik ve Araştırma Grubu ve İTÜ’nün (İstanbul Teknik Üniversitesi) desteği ile “Robot Teknolojisi Araştırma Ünitesi’nin (ROBOTEK)” kurulması ve 1988 yılında Türkiye’nin Birleşmiş Milletler UNDP/UNIDO teşkilatınca düzenlenen “Endüstriyel Robotik Uygulamalar” konulu Avrupa Bölgesel Projesi’ne katılmasıyla başlamıştır. Aşağıda Türkiye de yapılan ilk ve önemli robot çalışmaları verilmiştir (1).

- Proje Adı: Boya Robotu Prototipi Tasarımı ve İmalatı,
Proje Yürüten Kurum: İTÜ Makine Fakültesi
Proje Destekleyen Kurum: TÜBİTAK
- Proje Adı: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Endüstriyel Robot Uygulamaları Projesi
Proje Yürütücüsü: Birleşmiş Milletler
Projeye Katılan Ülkeler: Türkiye (İTÜ-püskürtme robotu konusu ile),Portekiz, Bulgaristan, Polanya, Romanya, Yugoslavya, Macaristan...
- Proje Adı: Robotek E-1 projesi
Proje Yürüten Kurum: İTÜ
- Proje Adı: Eğitim Robotu ER-1
Proje Yürüten Kurum: İTÜ

➤ Proje Adı: Özürlüler İçin Tekerlikli Sandalye Robotu

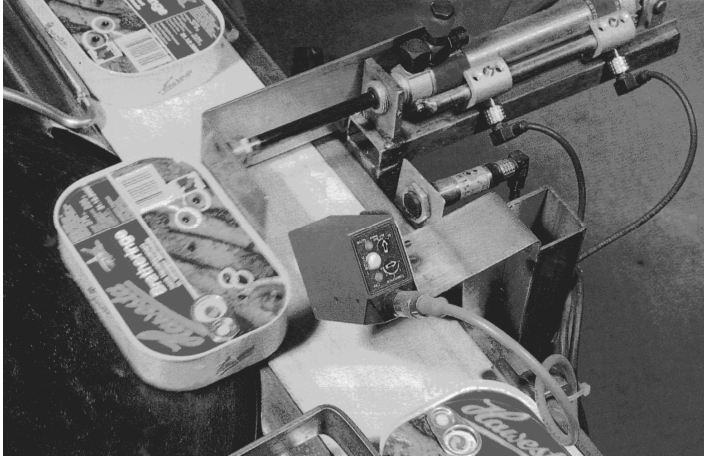
Projeyi Yürüten Kurum: Bremen Üniversitesi

Proje üzerinde inceleme yapan Türk bilim adamı: Prof. Dr. Asaf Varol, Fırat Üniversitesi

Dünyada ve ülkemizde çeşitli robot kolları çeşitli amaçlar için tasarlanmıştır. İster robotların kendi ara yüz programlarıyla veya Autocad, CAD/CAM (Bilgisayar destekli Tasarım – Bilgisayar Destekli Üretim) programları ile çeşitli robot simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Günümüzde matematiksel analiz ve simülasyon yapan MATLAB programının gelişimi ile robot analizi ve kontrolleri daha kolay bir şekilde yapılabilmektedir. 5 eksenli CRS Robotics Corporation firmasının CRS CataLyst-5 isimli robot, eğitim amaçlı olarak Boğaziçi üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde mevcuttur. Bu 5 eksenli robotun MATLAB programında simülasyonu yapılmıştır (3).

Yurtdışında popüler olduktan sonra ülkemizde de yavaş yavaş yer bulan “Mekatronik Bölümü” otomasyon sistemlerinin gelişimi için gerekli olan Makine, Elektronik ve Bilgisayar disiplinlerinden oluşan bir bölümdür. Mekatronik bölümü ile otomasyon teknolojilerinden daha çok yararlanmak amaçlanmaktadır. Robotik konusu, mekatroniğin çalışma alanlarında çok önemli yer tutan bir alandır.

Endüstride, çalışan bir bant üzerinden geçen bozuk ürünlerin sistemden atılması için genelde pnömatik veya hidrolik piston ile bant dışına atılma işlemi kullanılmıştır. Resim 1.1’de bant üzerindeki ürünlerin kontrol edilmesi ve yanlış üretilen ürünün pnömatik bir piston ile bant dışına atılması görülmektedir.



Resim 1.1. Bir fabrikada üretim rengine uygun olmayan ürünün banttan dışarı atılması (2)

Fakat itilecek malzeme patlayıcı veya kırılğan gibi hassas bir yapıda ise bu tür malzemelerin bant üzerinden itilmesi sakıncalıdır. Bu nedenle bu tür kırılğan ve tehlikeli malzemeli sistemlerde ürün bant üzerinden hassas bir şekilde alınmalıdır. Resim 1.2’de şampanyaların kafa bantlarının doğru renk ayarında olup olmadığının algılanması görünüyor. Yanlış şişelerin bant sisteminden kırılmadan alınması gereklidir.



Resim 1.2. Şampanya şişelerinin doğru renkte bantla kaplanıp kaplanmadığının kontrolü (4)

Bu tez çalışmasında; önceden belirlenen bir konumda olan malzemeyi alıp, malzemenin rengine göre (Kırmızı, Yeşil, Mavi) algılama yaptıktan sonra renge göre önceden belirlenen konuma malzemeyi bırakan robot kolunun tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Endüstride Resim 1.2’de görülen örnekte olduğu gibi malzemenin renge göre hassas bir biçimde taşıma işlerinde kullanılabilecek robot kolunun tasarımı ve uygulaması ile robotik konusunda düzenli bilgi kaynağı oluşturmak suretiyle adım adım tasarım süreçlerinin anlatılması ve uygulamaya dönük tecrübe aktarımı düşünülmüştür. Ayrıca eğitim amaçlı olarak simülasyonları yapılan robot kolları için de prototip bir uygulama örneği özelliğindedir.

İlk başta robotların tarihçesi ve dünyadaki kullanımları, robot sistemleri ve bileşenleri, robot kullanım alanları gibi robotik alanı ile ilgili temel bilgiler düzenli bir sırada incelenmiştir. Genel robotik bilgilerinden (Bölüm 1,2,3) sonra robot kolunun tasarım ve pratik uygulamasının yapım aşamaları ile performans analizleri anlatılmıştır (Bölüm 4).

Tasarımı gerçekleştirilen robot kolu Bölüm 2.2’de verilen Japon Endüstri Robot Birliğinin (JIRA) robot sınıflandırmasına göre 5.Sınıf robot grubuna ve Fransız Sanayi Robot Birliğinin (AFR) robot sınıflandırmasına göre de C tipi robot sınıfına girmektedir. Bölüm 3.1’de ayrıntılı olarak incelenen endüstriyel robot sınıfları bölümünde belirtildiği gibi robotlar üç ana sisteme göre sınıflandırılır. Bunlar; manipülatör yapısına göre, hareket sistemine göre ve kontrol döngüsüne göre yapılan sınıflamalardır. Manipülatör yapısına göre robotlar; Kartezyen koordinatlı, Silindirik koordinatlı, Küresel koordinatlı ve Eklemlı robot olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır. Hareket sistemine göre ise robotlar, noktadan noktaya hareket eden ve sürekli güzergâhlı robotlar olarak iki sınıfa ayrılırlar. Kontrol döngüsü tipine göre ise robotlar, açık ve kapalı döngü sistemli robotlar olmak üzere iki sınıfta incelenirler. Tasarımı yapılan robot kolu; manipülatör yapısına göre eklemlı robotlar sınıfına, hareket sistemine göre noktadan noktaya hareket eden robot sınıfına, kontrol döngüsüne göre ise açık döngülü kontrol sistemli robot sınıfına girmektedir.

Bölüm 3.2’de incelenen robot uç etkileyicileri, çalışma durumları ve yapacakları görevlere göre çeşitli tiplerde dizayn edilmektedir. Uç etkileyiciler (gripper); Manyetik, Vakumlu, Yapışkan, İğneli, Çeneli tip ve Parmak tip gibi gruplarda incelenirler. Malzeme taşıma işi çalışmanın temel görevini oluşturduğundan gerçekleştiren robot kolunda uç etkileyici olarak çeneli tip kavrayıcı kullanılmıştır.

Robotların hareket etmelerini sağlayan çeşitli tahrik sistemleri mevcuttur. Bölüm 3.3’de robot tahrik sistemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Buna göre robotları hareket ettiren sistemler; Hidrolik, Pnömatik, Elektriksel, Şekil bellek alaşım ve Manyetostriktif temelli düzeneklerdir. Elektrik motorlarının yeteneklerinin fazla olması, diğer hareket düzeneklerine göre bakım ihtiyacının az olması, boyutlarının küçük olması ve dijital kontrollü olması nedeniyle yapılan robot kolda elektriksel tahrik sistemi kullanılmıştır. Elektriksel sistemlerde çeşitli motorlar kullanılabilir. Bunlar DC motorlar, Step motorlar ve Servo motorlardır. İstenilen amaca ve uygulama yerine göre uygun tip motorlar elektriksel tahrik sistemlerinde kullanılır. Servo motorlar içlerindeki milin kaç derece ve hangi hızda döndüğünü algılayabilir ve geri dönüş değeri olarak sisteme iletebilirler. Çeşitli tipte servo motorlar mevcuttur. Belirtilen avantajları ve bu çalışmada istenilen amaca uygun olması açısından yapılan robot kolunda hareket ettirici olarak servo motor tiplerinden olan R/C tipi servo motor kullanılmıştır.

Robotlar çeşitli yöntemlerle programlanabilir. Bölüm 3.4’de robotların programlanması incelenmiştir. Robot programlamada; Fiziksel kurma, Tüm yolu önceden belirleme ve öğretme, Göstererek programlama ve Yazılım ile programlama yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar içinde en çok kullanılan yazılım ile programlamadır. Çeşitli robot sistemleri için geliştirilen farklı robot programları ile robot sistemleri programlandığı gibi, kontrol sistemini yönlendiren genel programlarla da robot sistemleri programlanabilir. Sistemin kontrolü mikrodenetleyici ile sağlanmış ve genel programlama dili olan C programlama dili ile sistem kontrol edilmiştir. Programın derleme işlemi, kullanılan mikrodenetleyiciye uygun olan CCS (Custom Computer Services) programı yardımıyla yapılmıştır.

2. ROBOTLARIN GELİŞİMİ VE DÜNYADAKİ KULLANIMLARINA GENEL BİR BAKIŞ

2.1. Robotların Doğuşu ve Tarihi Gelişimi

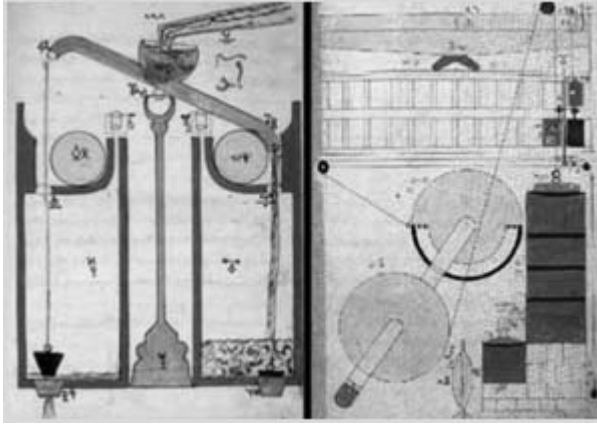
Robot kelimesi 1.Bölümde belirtildiği gibi ilk olarak 1920 yılında kullanılmış olmasına rağmen robotlara benzer ilk makinelere ait bilgiler M.Ö. (Milattan Önce) 3000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Eski mısır, eski Yunan ve Anadolu medeniyetlerinde otomatik su saatleri ve benzeri makinelerin geliştirildiği bilinmektedir. Homerus'un İlyada adlı eserinde insan yapımı kadın hizmetçiler anlatılmaktadır. M.Ö.1000 yıllarında yaşamış olan İskendiriye'li bir mühendisin otomatik açılan kapılar, fıskiyeler vb. düzenekleri su ve buhar gücü ile çalıştırdığı eski kitaplarda yazılmaktadır. M.Ö. 350'de Aristo bir eserinde;

“ Eğer her araç kendi işini görebilseydi, insan eline ihtiyaç duymadan mekik kendi dokuyabilse, lir kendi çalabilseydi, yöneticilerin elemanlara ihtiyacı kalmazdı.”

diyerek ilk otomasyon fikrini ortaya atmıştır. Daha yeni çağlarda Leonardo da Vinci'nin yürüyen aslanı olduğu söylenmektedir. Bu süreç içinde özellikle batı dünyasında iyi bilinmeyen Eb-ül-İz-el Cezeri (M.S. 12 yy) adlı bir Arap'ın yazdığı Arap otomatlar hakkındaki kitabı robot teknolojisi konusunda çok sayıda ve zamanına göre çok ileri öneri ve uygulamaları bulunmaktadır. Artuklu Türklerinin Diyarbakır'da hüküm sürdüğü yıllarda yaşayan El-Cezeri'nin (Bediüzzaman Ebü'l İz İbni İsmail İbni Rezzaz El Cezeri) 1136-1206 yıllarında yaşadığı tahmin edilmektedir. El-Cezeri 32 yıl Artuklu sarayında mühendislik yapmış ve zamanına göre çok ileri düzeyde teknoloji içeren ve otomatik olarak çalışan çok sayıda düzenek kurmuştur. Cezeri'nin mühendislik açısından büyük önem taşıyan eserinin orijinal adı “Kitab-ül Cami Beyn-el-İlmi ve'l-Ameli en Nafi Fi Sinaatil Hiyel - mekanik hareketlerden mühendislikte faydalanmayı içeren kitap” olarak bilinmektedir. Kitapta onlarca otomatik makine bulunmaktadır. Kitaptaki resim ve şekilleri bizzat Cezeri çizmiştir. Resim 2.1'de bu kitaptan alınmış otomatik

makineler ve otomatik abdest alma makinesi görülmektedir. Kitapta 6 bölüm bulunmaktadır (1,5,6). Bunlar; (5)

1. Bölüm : Binkam (su saati) ve finkanların (kandilli su saati) saat-ı müsteviye ve saat-ı zamaniye olarak nasıl yapılacağı hakkında 10 adet şekil.
2. Bölüm : Çeşitli mutfak eşyalarının yapılışı hakkında 10 adet şekil.
3. Bölüm : Hacamat (kan aldırma) ve abdestle ilgili ibrik ve taşların yapılması hakkında 10 adet şekil.
4. Bölüm : Havuzlar, fıskiyeler ve müzik otomatları hakkında 10 adet şekil.
5. Bölüm : Sığ bir kuyudan veya akan bir nehirden suyu yükselten düzenekler hakkında 5 adet şekil.
6. Bölüm : Birbirine benzemeyen muhtelif şekillerin yapılışı hakkında 5 adet şekil.



(a)



(b)

Resim 2.1. Cezerinin kitabından resimler (5)

- a) Cezeri'nin kitabından otomatik makineler
- b) Otomatik abdest alma makinesi

Robot kelimesi ise ilk olarak Çek filozofu ve oyun yazarı Karel Capek'in "Rossum's Universal Robot (R.U.R.)" isimli oyunu içerisinde 1922 yılında kullanılmıştır. Çek dilinde robot "işçi" veya "esir" anlamındadır. Bu oyunun içeriği kısaca şöyledir (1).

Oyunun kahramanları Rossum ve oğlu, yapmayı düşündükleri robot içerisinde kullanacakları protoplazmanın kimyasal formülünü keşfetmişlerdir. Protoplazma denilen şey ise, yaşamın temelini oluşturan bir maddedir. Bu maddenin aslını oluşturmamayı bildikleri için suni yollarla bu maddeyi elde etmeye çalışmışlar ve bunun için tam 20 yıl harcamışlardır. Bu yirmi yılsonunda yaptıkları işleri düşünüp şu karara varmışlar:

“Rossum: “Eğer biz, doğadan daha çabuk bir şekilde protoplazmayı oluşturup robotu yapamıyorsak, geçen bu yirmi yıl boşa harcandı demektir.”

Oğluna göre ise insanlar, çeşitli duylara sahiptir. Örneğin, insanlar mutlu olabilir, piyano çalabilir, yağmurlu bir havada yürümekten hoşlanabilir. Ama bizim yapmaya çalıştığımız çalışan makine ise, ne mutlu olabilir, ne piyano çalabilir, ne de yağmurlu bir hava da yürümekten zevk alabilir. Bu düşünceler sonucunda yapmak istediklerinin mümkün olamayacağını düşünürler ve bu fikirlerinden vazgeçerler.

Capek’in bu oyunundan sonra birçok kişi de robotlar ile ilgili bilim kurgu romanı yazmışlardır. 1939 yılında Isaac Asimov günümüzde hala geçerliliğini koruyan şu üç robot kuralını ortaya atmıştır (1).

- Bir robot insanlara zarar vermemeli, onlara zarar gelmesine seyirci kalmamalıdır.
- Birinci kuralla çelişmediği sürece bir robot daima insanlardan aldığı emirlere uymalıdır.
- Birinci ve ikinci kuralla çelişmediği sürece bir robot kendini, kendine zarar verecek hareketlerden korumalıdır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında diyebiliriz ki Robot, değişik amaçlar için kullanılabilen birçok fonksiyonu olan ve programlanabilen makinelerdir. Amerika Robot Enstitüsünün tanımına göre de robot;

“ Çeşitli işleri yapabilmek için programlanmış hareketlerle malzeme, parça, alet veya özel cihazları taşımak için tasarlanmış çok işlevli, tekrar programlanabilir düzenektir.”

Önceki bölümlerde robotların temeli sayılan otomatik makinelerin M.Ö.'ki yıllarda atıldığını belirtmiştik. M.Ö. ki yıllarda ve robot kavramının ilk defa ortaya atıldığı 1922 yılından bugüne kadar ise robotik alanında bazı kilometre taşları niteliğindeki gelişmeler dikkat çekmektedir. Aşağıda bunlar tarihi sırada verilmiştir (5, 7, 8).

~M.Ö. 270: Ctesibus isimli bir eski Yunan bilgini hareketli parçalardan oluşan organ ve su saatleri üretti.

~M.Ö. 100: Otomatik açılan tapınak kapıları (İskenderiye).

1136-1206: El Cezeri'ye ait çeşitli otomatik makineler.

~1800: Jacques de Vaucanson, Pierre & Henri-Louis Jacquet-Droz, Henri Maillerdet otomatik yazı yazan ve müzik enstrümanı çalan makineler geliştirdiler.

1801: Joseph Jacquard ilk kez delikli kart kullanarak çalıştırılan otomatik dokuma makinesi geliştirdi.

1818: Mary Shelley "Frankenstein" isimli hikâyesinde yapay bir yaşam şeklini kullandı.

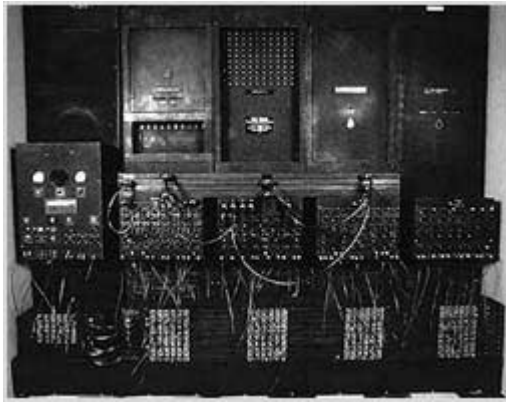
1830: Christopher Spencer mekanik kam denetimli otomatik bir torna tezgahı geliştirdi.

1892: Seward Babbitt sıcak metal parçaları fırından almak üzere motorlu tutucuya sahip tren tasarladı.

1922: Çekoslovak Karel Capek'in yazdığı bir tiyatro oyununda ilk kez ROBOT kelimesi kullanıldı.

1938: DeVillbis firması için Willard Pollard ve Harold Roselund programlanabilir püskürtme boyama makinesi geliştirdiler.

- 1939: Isaac Asimov robotlarla ilgili bir çok roman yazmaya başlamıştır.
- 1940: MIT’de radar teknolojisinin geliştirilmesi, cisimleri insan etmeni olmadan algılama konusunda en önemli adımlardan birisi oldu. Grey Walter ışığa yönelen ilk gezer robotları (machina speculatrix) üretti.
- 1942: Isaac Asimov "Runaround" isimli hikâyesinde Robotların 3 yasasını yazdı.
- 1946: George Devol, genel amaçlı, manyetik kayıt yapabilen, ve tekrar çalıştırılabilen bir cihaz geliştirdi ve çeşitli makinelerde kullandı.
- 1946: J. Presper Eckert ve John Mauchly, Pennsylvania Üniversitesi’nde ilk elektronik bilgisayar olarak bilinen “ENIAC - Electrical Numerical Integrator and Computer” isimli (Resim 2.2) bilgisayarı geliştirdi. “Whirlwind” isimli bir başka bilgisayar M.I.T.’de ilk olarak bir bilimsel problemi çözdü.



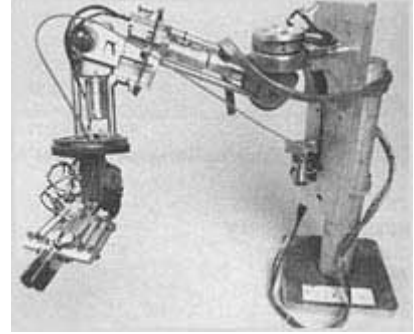
Resim 2.2. ENIAC bilgisayarı (5)

- 1948: M.I.T.’den Norbert Wiener Elektronik, Mekanik, ve Biyolojik sistemlerin denetim ve iletişimini inceleyen, “Sibernetik” başlıklı kitabı yayınladı.
- 1951: Raymond Goertz, ABD Atom Enerjisi Komisyonu için uzaktan işletilen (teleoperated) bir kol tasarladı.

- 1954: George Devol programlanabilir genel amaçlı robotu tasarladı ve patent başvurusunu yaptı.
- 1955: Denavit ve Hartenberg Homojen Dönüşüm Matrislerini (Homogeneous Transformation Matrices) geliştirdi.
- 1956: G. Devol ve Joseph F. Engelberger "Unimation Inc." isimli dünyanın ilk robot firmasını kurmuşlardır.
- 1958: Satış amaçlı ilk ticari robot üretildi.
- 1959: MIT’de servo mekanizma laboratuvarında robot kullanılarak bilgisayar destekli üretim amaçlı bir gösteri yapıldı.
- 1959: Planet firması ilk genel amaçlı ticari robotu pazarlamaya başladı.
- 1960: Harry Johnson ve Veljko Milenkovic tarafından tasarlanan Versatran (Resim 2.3) isimli robot pazarlanmaya başladı. Unimation robotlarının adı Unimate Robot sistemleri olarak değiştirildi.
- 1962: Unimation firması kuruldu. İlk kez GM (General Motors) Unimation firmasının Unimate adlı ticari robotunu, sıcak parçaları kalıp döküm makinesinden alarak istiflemek amacıyla üretim hattında kullanmaya başladı.
- 1963: Bilgisayar denetimli, altı eklemlilik ilk yapay kol (Rancho arm) (Resim 2.4) geliştirildi.



Resim 2.3. Versatran robotu (5)



Resim 2.4. Rancho kolu (5)

1964: Dünyanın önde gelen bazı üniversite ve araştırma merkezlerinde (M.I.T., Stanford Araştırma Enstitüsü, Stanford Üniversitesi, Edinburgh Üniversitesi) ilk kez Yapay Zeka araştırmaları başladı ve laboratuvarları açıldı.

1965: DENDRAL isimli ilk uzman sistem yazılımı geliştirildi. AMF firması ucuz maliyetli VERSATRAN robot sistemini geliştirdi.

1966: Nokta kaynağı yapan ilk robotlar üretildi. Unimate ve Versatran firmalarını endüstri alanında tecrübeleri geliştirdi ve Versatran firması Model 301 adlı noktadan noktaya hareketli robotunu tanıttı.

1967: Unimate firması MARK II adlı robotunu tanıttı. Japonya ilk kez robot ithal ederek robot teknolojisini kullanmaya başladı Versatran firmasının robotu sprey boyama uygulamasında Japonya da kullanıldı.

1968: Marvin Minsky tarafından on ayaklı ahtapot benzeri robot geliştirildi. AMF firması Model 302 robotunu tanıttı. Japonya Versatran hareketli 2 servo robot geliştirdi. Japon Kawasaki firması ilk Unimate robotunu ithal etti. Stanford Araştırma Enstitüsü tarafından Shakey (Resim-2.5) isimli ve görme yeteneği olan ilk gezer robot üretildi.

1970: Unimate firması ilk 6 serbestlik dereceli endüstriyel robotunu tanıttı. AMF firması Model 401 robotunu tanıttı. Stanford Üniversitesi tarafından bir robot

kol geliştirilmiş, ve bu robot kol Stanford kolu adı ile araştırma projelerinde bir standart olarak yerleşti.

1971: Japon Endüstri Robot Birliği (JIRA) kuruldu.

1972: KANEMATSU adlı Japon firması robot alanında Japonya'da kuruldu. IBM firması dikdörtgensel koordinat sistemli robot hakkında çalışmalar yaptı. SUNSTRAND firması insan hareketlerine benzer hareket yapan Antropomorfik (Anthroporphic) robotu tanıttı.

1973: Cincinnati Milacron firması endüstride çok popüler olan T3 modelindeki robotunu tanıttı. Hayes-Dana firması ve Kanada hükümeti 3 tane endüstriyel prototip robotu geliştirdi.

1974: Stanford kolunu geliştiren Prof. Scheinman, Vicarm Inc. isimli bir firma kurarak mini-bilgisayar kullanan robot kollarının pazarlamasına başladı. Dokunma ve basınç duyucuları kullanarak küçük parçaların montajını yapabilen ilk robot, üretim hattında kullanılmaya başladı. ASEA firması 3 ve 5 eksenli elektronik Antropomorfik robotu geliştirdi.

1975: Amerika Robotik Enstitüsü (RIA) kuruldu. Unimate firması ilk karlı yılına kavuştu.

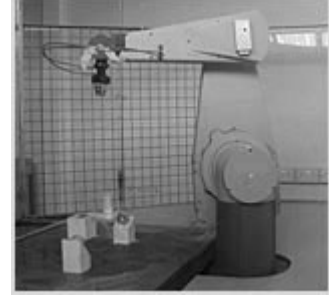
1976: Viking 1 ve 2 uzay araçlarında robot kollar kullanıldı. Cincinnati Milacron firması 6 eksenli Antropomorfik robotunu tanıttı.

1977: İngiliz Robot Birliği (British Robot Association-BRA) kuruldu. Star Wars sinema filmindeki C3PO ve R2D2 robot animasyonları ile robot kelimesi geniş insan kitlelerine yayıldı.

1978: PUMA isimli robot (Resim 2.6) üretildi ve GM firmasına Unimate firması aracılığı ile pazarlanmaya başladı.



Resim 2.5. Shakey robotu (5)



Resim 2.6. PUMA robotu (5)

1979: Stanford Cart isimli gezer robot, üzerine monte edilmiş bir kameradan alınan görüntüleri kullanarak engellerle dolu bir odayı engelleri aşarak boydan boya geçti.

1980: Amerika Yapay Zeka Birliği (American Association For Artificial Intelligence-AAAI) kuruldu. Automotix firması kuruldu.

1982: GM firması ve Fanuc firması GMFanuc robotunu üretmek için anlaşma imzaladı. Westinghouse firması Unimation firmasını satın aldı ve daha sonra İsviçreli Staubli firmasına sattı.

1983: Robotik konusu akademik ve endüstri çevresinde çok popüler bir konu oldu. Robotik ile ilgili birçok ulusal eğitim kurları açıldı.

1984: SRI tarafından Shakey'den daha fazla gelişmiş bir gezer robot olan Lakey üretildi.

1990: ABD'de 12 dolaylarında, Japonya'daysa 40'dan fazla robot firması kuruldu.

1993-1994: Önceki robotlara göre ucuz maliyetli ERRATIC ve PIONEER 1 isimli gezer robotlar üretildi.

1998: Robot oyuncak FURBY piyasaya çıktı.

2.1.1. Dünyadaki robot çalışmaları

Robot çalışmalarının tarihi incelendiğinde robot alanında Japonya, A.B.D. ve Avrupa ülkeleri robot konusunda lider konumundaki ülkelerdir. Avrupa Ekonomik Komisyonu (ECE) tahminlerine göre, 1988'in sonunda sanayi robotlarının sayısı 280 000'dir. Aşağıda bu sayının ülkelere göre dağılımı verilmiştir (9).

- Japonya : 176 000
- Batı Avrupa (%37'si Almanya'ya ait) : 48 000
- A.B.D. : 33 000
- Doğu Avrupa, Güneydoğu Asya : 23 000

1986'dan sonra birçok üretici firmanın gerilemeye başladığı ve üretimde verimli olamayan bu firmaların diğer sağlıklı kuruluşlarla birleştikleri görülmüştür. Firma evliliği olarak adlandırılabilir bu olaylar sonunda 1980'li yılların sonuna doğru robot üretimi yapan firma sayısında önemli düşüşler gözlenmiştir.

Japonya'da robot faaliyetleri

Japonya 1988 yılı itibariyle dünyada robot sayısı bakımından birinci sırada olan ülke olarak kayıtlara geçmiştir. Bu yılda Japonya'daki robot sayısı 176 000 idi. Bu sayı Almanya gibi sanayi devinin yaklaşık 10 katıdır. Japonya'daki bu robotların kullanımı değişik türlere göre sınıflandırıldığında aşağıdaki durum ortaya çıkmaktadır (9).

- Play – back türü robotlar : %39
- CNC : %28
- Manipülörler : %24
- Akıllı Robot : %9

Elektrikli ekipmanlar ve aparatlar sanayi'nin kullandığı akıllı robot yüzdesi, bu robotların toplamının %79'unu bulmaktadır. Aynı endüstri alanı CNC robotlarının

%51'ni kullanmaktadır. Otomobil endüstrisi Play-back robotlarının başlıca kullanıcısı durumundadır. Otomobil sektörü play-back robotlarının %51'ini kullanmaktadır. Montaj, kaynakçılık, plastik kalıpcılığı ve genel makinecilik alanları sırasıyla %38, %21, %13 ve %7 oranındadır (9).

Japonya'da şu sıralar 120 tane robot firması vardır. Bu firmalardan bazı büyük firmaların hedefi Amerika piyasasıdır. GE, IBM ve GM firmaları Japon yerli üretimlerini pazarlamaktadır (8).

Almanya'da robot faaliyetleri

Dünyanın dördüncü büyük robot sayısına sahip olan Almanya, Avrupa'da da büyük bir farkla en fazla robot kullanan ülke durumundadır. Almanya Endüstrisinde robotların en büyük uygulama alanı, nokta kaynağı, ark kaynağı, makine parçalarının yükleme-boşaltılması ve makine parçalarının transmisyonudur. Robotların bu sektörlerdeki dağılımları sıra ile %21, %19, %18, %19 dur (9).

Fransa'da robot faaliyetleri

Fransa, Robotik faaliyetler ve robot kullanımı açısından, Avrupa'da Almanya'dan sonra ikinci sırayı işgal etmektedir. Son yıllarda robotik alanında büyük ataklar yapan bu ülke, önümüzdeki on yıl içerisinde (1990 itibariyle), robot endüstrisi alanında yaklaşık 2 milyar dolar yatırım yapmayı amaçlamaktadır.

Fransa'da sanayi robotlarının ana kullanım alanları, mekanik üretim ve otomotiv mühendisliği alanı olmuştur. 1983 yılında bu iki sektörde kullanılan robotların yüzdesi %59 idi. En az robot kullanan sektör ise 1988 yılı itibariyle %0,7 ile enerji sektörü olmuştur. Bu alanda kullanılan robot sayısı sadece 58'dir (9).

Avrupa’da ve diğer önemli ülkelerde robot faaliyetleri

Avrupa’nın güçlü bir ülkesi olan İngiltere’de 1988 yılına kadar monte edilen robot sayısı 5034 iken bunun 1995 yılının sonlarına doğru 12 000’e çıkarılması hedeflenmekteydi.

İsviçre’de 1988 yılı itibariyle ülkede toplam 783 adet sanayi robotunun var olduğu saptanmıştır. Bu sayının %18,2’si yiyecek ve içecek sanayisinde kullanılmıştır. En azı %2,3 ile nakil araçlarında kullanılan robotlar olmuştur. Takım tezgâhlarında kullanılan robotlar ise %10,4’lük kısma tekâmül etmektedir (9).

Amerika Birleşik Devletlerinde ise 1981 yılında 4 000 civarında olan sanayi robotları, 1986 yılında büyük bir artışla Kanada ile birlikte 25 000’i bulmuştur. 1984 yılında ise bir önceki yıla göre %50’lik bir artışla 300 milyon dolar hacmine ulaşmıştır (9).

2.1.2. Robot endüstrisinin pazar hacmi

Robot endüstrisi 1980 yıllardaki kayda değer gelişim hacmiyle 2000 yıllarına kadar çok büyük pazar payına sahip olmuştur. Her geçen yıllardaki robot gelişimleri robot endüstrisinin pazar hacmini arttırmıştır. Çizelge 2.1’de Amerika’nın verdiği bilgilere göre 1985, 1990, 1995 ve 2000 yıllarına ait robot endüstrisinin pazar hacimleri \$ cinsinden verilmiştir (8).

Çizelge 2.1. Yıllara göre robot endüstrisi pazar hacimleri (8)

Yıl	Toplam Değeri
1985	450 Milyon Dolar
1990	2 Milyar Dolar
1995	8 Milyar Dolar
2000	20 Milyar Dolar

2.2. Robot Sınıflandırılmaları

Endüstriyel robotların sınıflandırılması kumanda sistemlerine, yapılarına vb. değişik yönlerden ele alınarak yapılmıştır. Değişik ülkeler kendilerine göre robotları sınıflandırmıştır. Aşağıda robot konusunda başı çeken Amerika, Japonya ve Fransa'nın kullandıkları robot standartları verilmiştir (7).

Japon endüstri robot birliğinin (Japanese Industrial Robot Association – JIRA) robot sınıflandırmasına göre robotlar;

- 1.Sınıf: Elle Çalıştırılan Robotlar (Manual-Handling Device). Bu robotlar birçok derece de özgürce çalışabilmektedir. Fakat operatör tarafından kullanılması gerekir.
- 2. Sınıf: Sabit Dizi Robot (Fixed-Sequence Robot). Bu robotlar önceden belirlenmiş sabit işleri yapar ve modife edilemeyen robotlardır.
- 3. Sınıf: Değişken Dizi Robot (Variable-Sequence Robot). Sınıf 2 ile aynıdır. Fakat modife edilebilir.
- 4. Sınıf: Playback Robot (Playback Robot). Bu robotlarda operatör robota ilk başta hangi hareketleri yapması gerektiğini robota gösterir. Robot bu hareketleri kaydeder ve daha sonra kendisi aynı hareketleri yapar.
- 5. Sınıf: Sayısal Kontrol (Numerical Control Robot). Kullanıcı robota yapacağı işleri bir program aracıyla bildirir. Robot yüklenen programa göre iş yapar. Programın dışında herhangi bir iş yapma veya karar verme yetisi yoktur.
- 6. Sınıf: Akıllı Robot (Intelligent Robot). Bu robotlar çevreyi algılar ve çevresindeki şartların değişimlerine göre kendisini yeniden konumlandırarak görevini en iyi şekilde yerine getirir.

Amerika robotik enstitüsü'nün (The robotics institute of America – RIA) robot sınıflandırmasına göre;

Amerika robotları sınıflandırırken Japonya ile aynı sınıflandırmayı kullanmıştır. Fakat Japonya'nın sınıflandırmasındaki Sınıf 3 ve Sınıf 6 arası robotları göz önüne almıştır.

Fransız sanayi robotları birliği'nin (The Association Française de Robotique – AFR) robot sınıflandırmasına göre;

- Tip A: Elle çalıştırılan robotlar. JIRA sınıflandırılmasındaki 1. Sınıf robotları ile aynı kategoridedir.
- Tip B: Otomatik olarak elle çalıştırılan robotlar. Önceden belirlenen işlemleri otomatik olarak yapar. JIRA sınıflandırmasındaki 3.sınıf robotlara eşdeğerdir.
- Tip C: Programlanabilir, servo kontrollü, devamlı veya noktadan-noktaya yörüngeli robotları içerir. JIRA'nın 4.sınıftaki robotuna eş değerdir.
- Tip D: Tip C ile aynıdır. Fakat çevresindeki bilgilere göre hareket etme kabiliyetine sahip robotlardır. JIRA sınıflandırmasındaki 6.sınıf ile aynıdır.

2.3. Robotların Avantaj ve Dezavantajları

Robotların hayatımıza kattığı avantajlar tartışmasız çok fazladır. Bunun yanında her yeni teknolojinin yararlarının yanında zararlarının da olduğu bir gerçektir. Aşağıda robotların avantajları ve bu avantajlarının yanında getirdiği dezavantajları incelenmiştir (7).

Avantajları;

- Robotlar ve otomasyon birçok alanda üretilen ürünlerdeki ve verilen hizmetlerdeki üretkenliği, güvenliği, verimliliği, kaliteyi ve tutarlılığı artırmıştır.
- Robotlar tehlikeli ve zararlı çevre şartlarında, hayat desteği, konfor ve güvenlik gerektirmeyen durumlarda rahatça çalışabilir.

- Robotlar çoğu durumda, ısklandırma, klima, havalandırma ve gürültü koruması gibi rahat çevre şartlarına ihtiyaç duymazlar.
- Robotlar yorulmadan, can sıkıntısı olmadan, başı ağrımadan, sağlık sigortası ve tatil gerektirmeden devamlı olarak çalışabilirler.
- Robotlara dışarıdan bir müdahale olmadığı zaman, birçok kez aynı doğrulukta çalışabilirler.
- Robotlar insanlara göre daha yanlışsız çalışırlar. Tipik olarak doğrulukları bir inçin (2,54 cm) birkaç bini bölümü kadardır. Yeni silikon entegre yongalı ele sahip robotlar mikro inç düzeyinde doğruluğa sahiptir.
- Robotlar birçok uyarıcı işleri aynı zamanda yapabilirler.

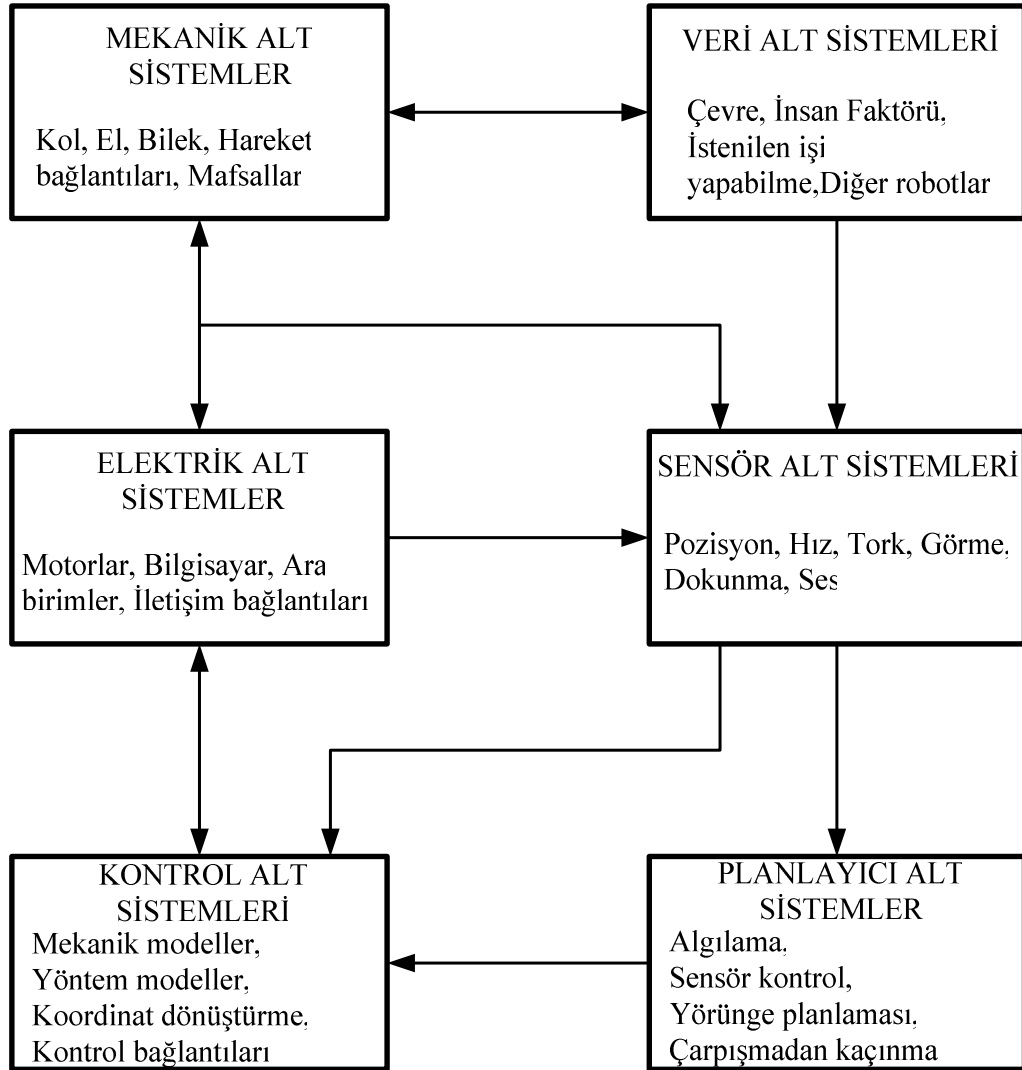
Dezavantajları;

- Robotlar insan işçilerin yerini alarak ekonomik problemler meydana getirirler. Bunlar, düşük maaş, sosyal problemler, işsizlik, işçilerde memnuniyetsizlik ve kızgınlık gibi sıralanabilir.
- Robotların küçük hataları insanlara zarar verebilir. Bundan dolayı çalışanlara veya robot operatörlerine sağlık yönünden zarar verebilir. Robotlarda bu problemi ortaya çıkaracak durumlar aşağıda sıralanmıştır.
 - Uygun olmayan veya yanlış cevaplar
 - Güç yetersizliği
 - Robot ve diğer bileşenlerinin arızalanması
 - Yanlış karar vermeler
- Robotların insanlara göre aşağıda verilen özelliklerde kapasiteleri sınırlıdır.
 - Serbest dönme derecesi
 - Hüner, beceriklilik
 - Algılama
 - Görme
 - Gerçek zamanlı cevap
- Robot sistemleri ve bileşenleri pahalıdır. Robot sistemi için bir çok işlem ve mekanizma gereklidir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.
 - Ekipmanların başlangıç maliyetleri

- Kurulum maliyetleri
- Yan birimlere ihtiyaç maliyeti
- Eğitim maliyeti
- Programlama maliyeti

3. ROBOT SİSTEMLERİ VE ROBOT SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Robot sistemlerde kullanılan elemanlar, sistemin çok önemli görevlerinden birini yaptıklarından dolayı, her bir eleman sistem içerisinde çok büyük bir önem taşımaktadır. Robot sistemleri genel olarak mekanik ve elektronik sistem elemanlarının uygun bir biçimde bir araya getirilmeleri ile meydana gelir. Robot sistemi alt parçaları; kontrol birimi, elektrik, sensör, mekanik, yapım, planlama ve yazılım alt bölümlerimde incelene bilinir. Şekil 3.1’de robot alt sistemleri görülmektedir (10).

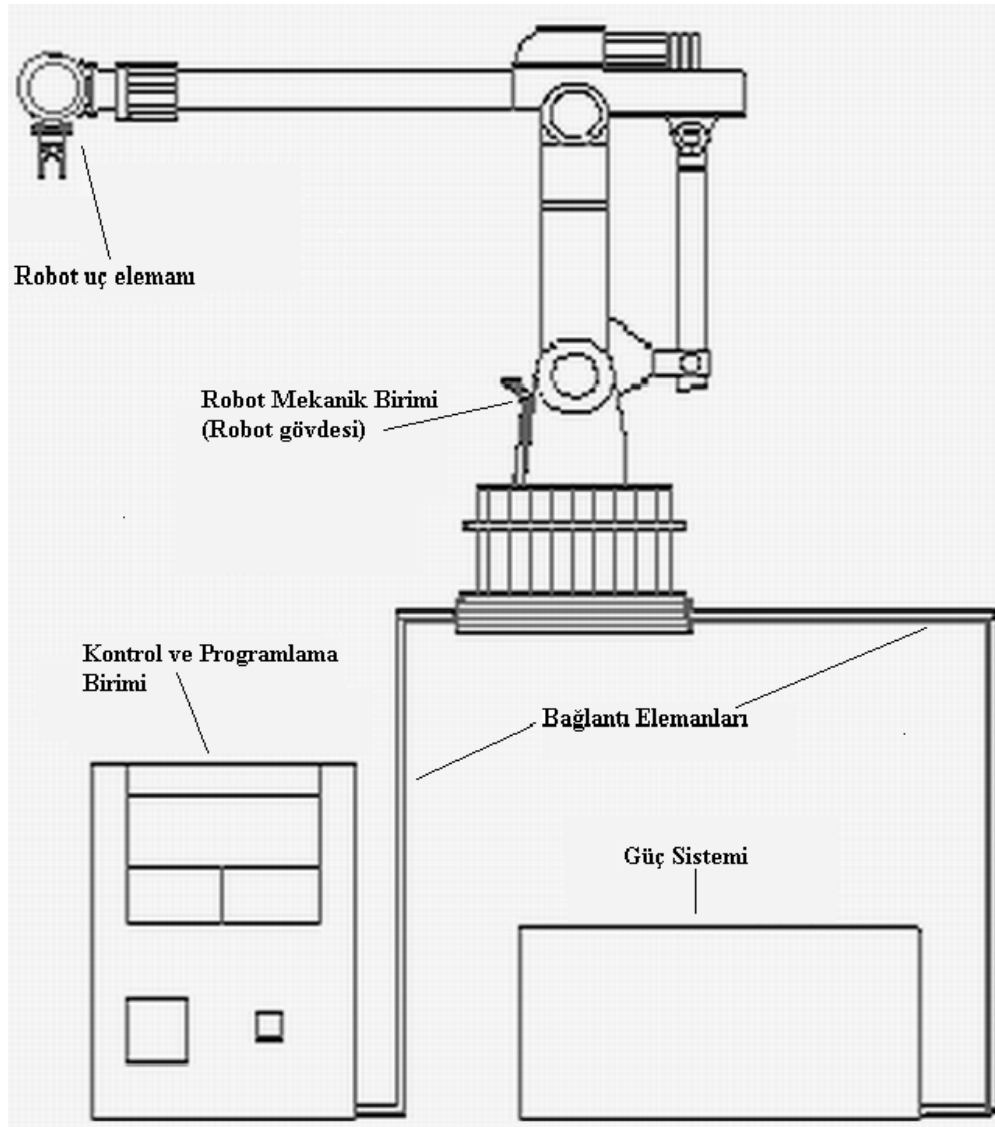


Şekil 3.1. Robot alt sistemleri (10)

Robot sistemlerinin çalıştırılabilmesi için gereken temel sistem bileşenleri;

1. Robotun gövdesi
2. Robot uç elemanı
3. Kontrol ve programlama birimi
4. Güç sistemi ve Bağlantı elemanları

Yukarıda sıralanan 4 ana bölüm Şekil 3.2’de bir robot sistemi üzerinde tanımlanmıştır (11).



Şekil 3.2. Robot sisteminin ana bölümleri (11)

3.1. Endüstriyel Robot Sınıfları

Endüstriyel robotlar sınıflandırılırken ilk başta 3 ana bölüme göre sınıflandırılır. Bunlar (12);

1. Manipülatörün (Mekanik gövde) yapısına göre sınıflandırma
2. Hareket sistemine göre sınıflandırma
3. Kontrol döngüsü tipine göre sınıflandırma

3.1.1. Manipülatörün yapısına göre sınıflandırma

Manipülatör (gövde tipi) yapısına göre sınıflandırmada robotlar eksenlerinin mekanik yapısı itibariyle değişik koordinat sistemlerine göre sınıflandırılır. Bu tarz robotlardaki eksenlerin tiplerine göre değişik özellikleri vardır. Bu özellikler prizmatik eklemler (prismatic), aşağı-yukarı dönüşlü (revolute) eklemler, küresel (spherical) eklemler diye sınıflandırılır. Manipülatör yapısına göre sınıflandırmada her eklem biçimi bu özelliklerden birini veya birkaçını içerir. Bu gösterimde P harfi prizmatik, R harfi aşağı-yukarı döner özelliği belirtir. Örneğin bir robot 3 prizmatik ve 3 aşağı-yukarı dönüşlü eksene sahipse 3P3R olarak gösterilir.

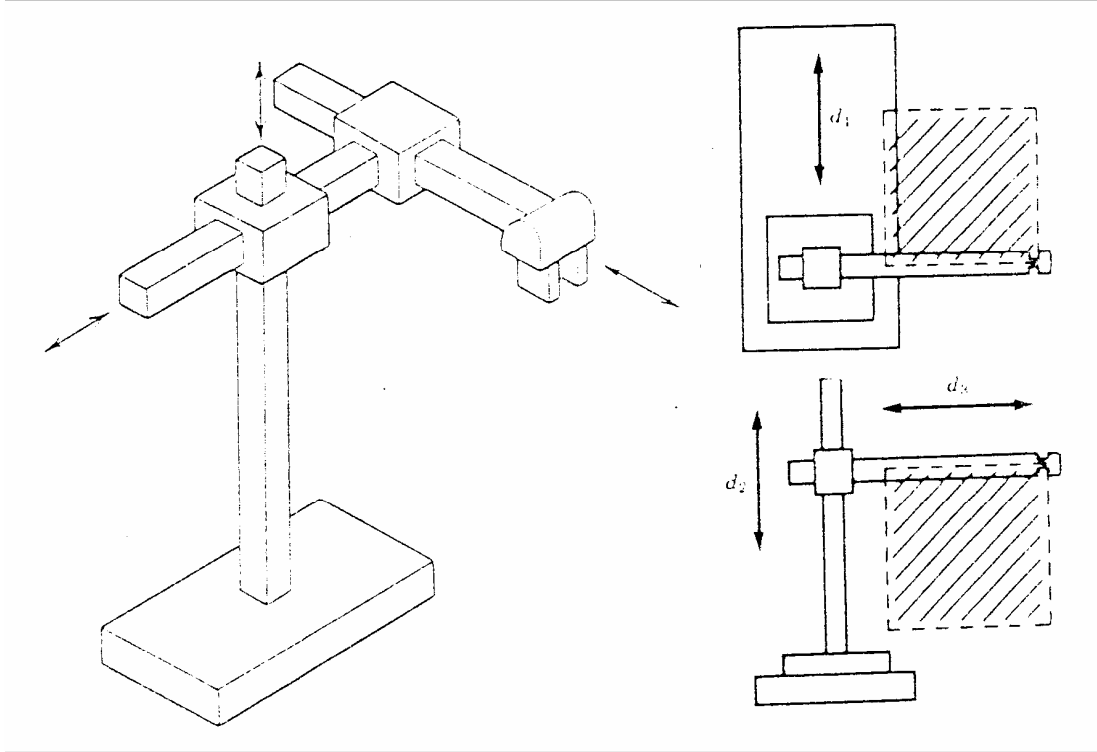
Aşağıda manipülatör sınıflandırmasına göre robot çeşitleri ve sahip olduğu eksen özellikleri verilmiştir (7, 10, 12).

1. Kartezyen Koordinatlı Robotlar (Üç prizmatik-kayar- eksenli, 3P)
2. Silindirik Koordinatlı Robotlar (İki prizmatik ve bir döner eksenli, R2P)
3. Küresel Koordinatlı Robotlar (Bir prizmatik ve iki döner eksenli, 2RP)
4. Eklemlili Robotlar (Üç aşağı-yukarı döner eksenli, 3R)

Kartezyen koordinatlı robotlar

Kartezyen koordinatlı robotun ana gövdesi, dik açılı üç tane prizmatik-kayar-eksenden oluşur. Bu nedenle önceden açıklandığı gibi 3P ile belirtilir. Eklem yerleri prizmatik ve X, Y, Z kartezyen yönler karşılık gelir. Üç düzgün hatta hareket

etmesinden dolayı hareket koordinatlarını tespit etmek kolaydır. Hareket alanı da dolayı ile kolayca hesaplanır. Diğer koordinatlı robot türlerine göre daha sağlam bir yapıya sahiptir. Şekil 3.3’de kartezyen koordinatlı robot ve hareket sahası görülmektedir (12, 13).



Şekil 3.3 Kartezyen koordinatlı robot ve hareket sahası (12)

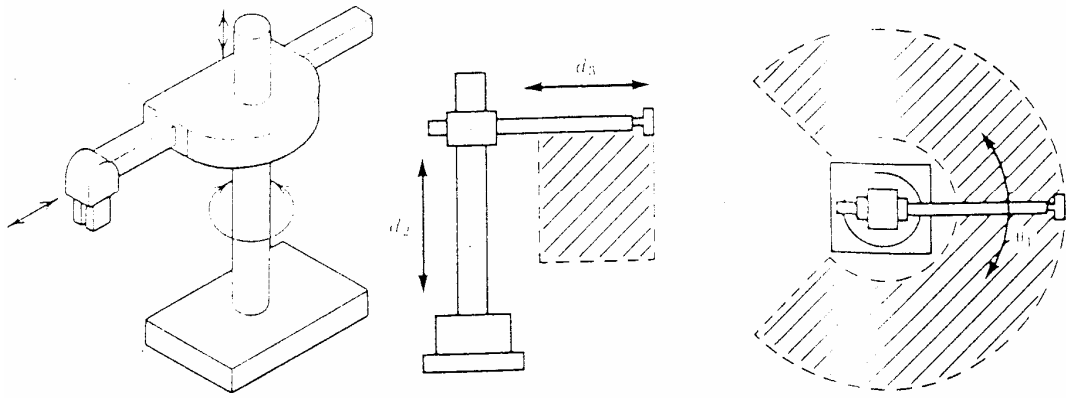
Kartezyen koordinatlı robotlar iskele vinçlerini andırdıkları için “İskele Robotlar” olarak da bilinirler. Kartezyen koordinatlı robot türlerinin zayıf yönleri ise, sağladığı bütün alanı kullanamamak ile birlikte büyük bir hacme sahiptir. Yatak yüzeyleri açık olduğu için kirli ve korozif ortamlarda bu yüzeylerin korunması gereklidir (12).

Silindirik koordinatlı robot

Silindirik koordinatlı robotlarda Şekil 3.4’de görüldüğü gibi düşey hareketleri gerçekleştiren prizmatik mafsallara yerine, kendi etrafında dönebilen mafsalları kullanılmıştır. Bu mafsalları düşey ekseninde kendi etrafında dönebildiği gibi, aynı

zamanda da diğer prizmatik mafsalları dönen mafsala dik olacak şekilde üzerinde taşımaktadır (10).

İki prizmatik ve bir döner eksenenden oluştuğundan R2P ile gösterilir. Silindirik koordinatlı robotun hareket sahası dairesel bir silindire benzer. Silindirik koordinatlı robotların çalışma alanları, prizmatik kolun maksimum uzanma boyu ve minimum uzanma boyu ile dönen mafsallın bu sınırlar içerisinde taradığı alanın düşey düzlemdeki maksimum uzanma mesafesi ile sınırladığı silindirik alanıdır (7, 13).

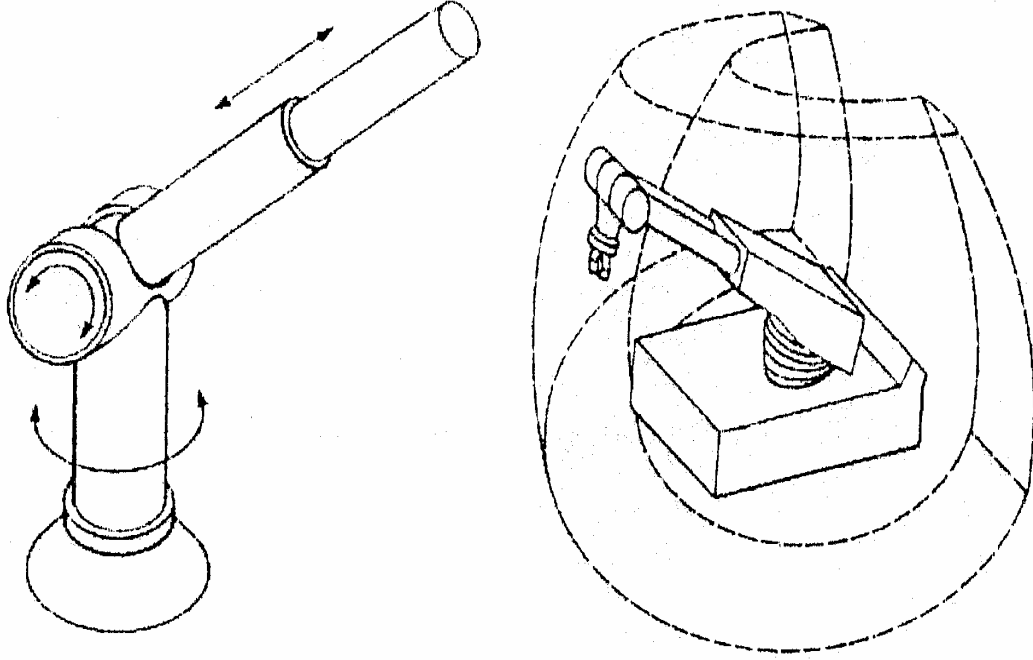


Şekil 3.4. Silindirik koordinatlı robot ve hareket sahası (12)

Silindirik koordinatlı robotlarda doğrusal sürücü mekanizmalarıyla kolayca kullanılabileceğinden hidrolik sistemlerin kullanılmasına uygundur ve yüksek güç eldesi sağlana bilinir. Sürgü mekanizmaları açık olduğundan endüstriyel ortamda bu yüzeyler kolayca kirlenebilir ve sıvılara karşı yalıtımları zordur (13).

Küresel koordinatlı robot

Küresel koordinatlı robot kaldırma eklemli dönen bir taban ve teleskobik bir koldan oluşur. Kolun hareketleri içe ve dışa doğrudur. Bu robotun yapısı askeri bir tankın kule kısmına benzer. Bir prizmatik ve iki döner eksenenden oluştuğundan dolayı 2RP ile gösterilir. Şekil 3.5’de küresel koordinatlı bir robot ve hareket sahası görülmektedir (7, 13).

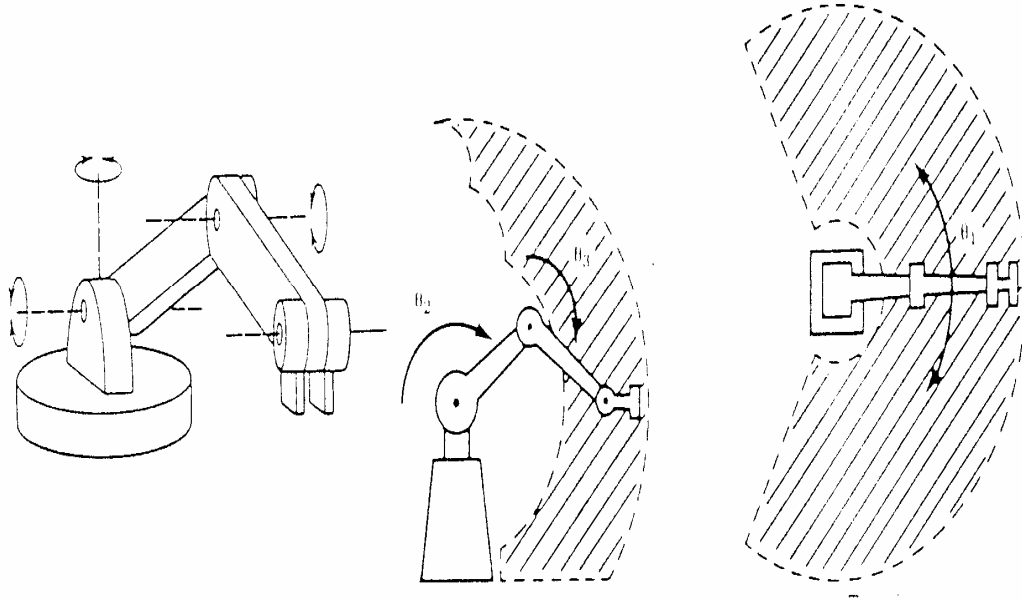


Şekil 3.5. Küresel koordinatlı robot ve hareket sahası (13)

Küresel koordinatlı robotun çalışma sahası Şekil 3.5’de görüldüğü gibi küresel bir kabuk şeklindedir. Merkez tek bir noktadan büyük bir hacmi tarar. Karmaşık bir koordinat sistemi olduğundan hareket koordinatlarını tespit ve kontrol etmek zordur. Küresel koordinatlı robot kartezyen ve silindirik robotlara göre daha yüksek bir esnekliğe sahiptir (13).

Eklemlı robotlar

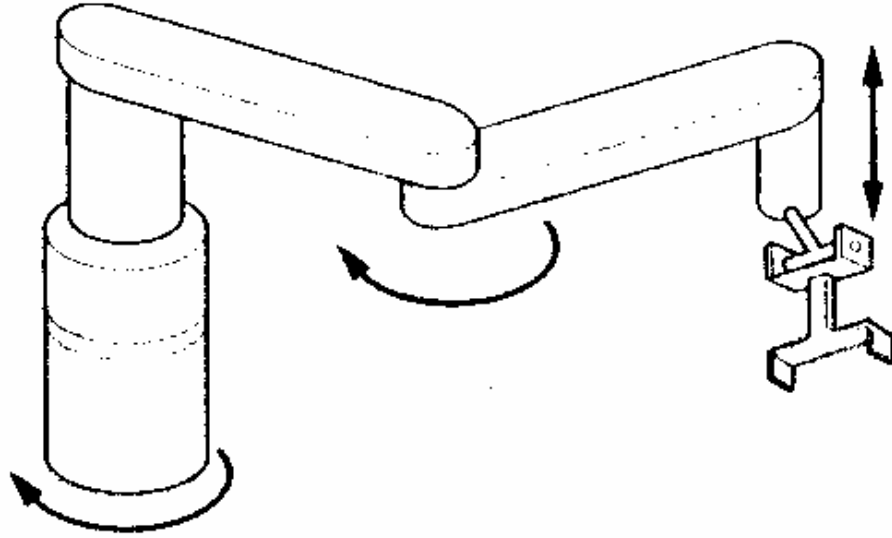
Eklemlı robotlar, dairesel hareket edebilen bel (waist), bir omuz (should) ve yine dairesel hareket eden dirsek (elbow) mafsallarından oluşur. İş yapma yeteneklerine göre diğer robot türlerine nazaran insan hareketlerini daha benzer biçimde hareket yapabilirler. Üç döner eksenenden oluştuğundan dolayı 3R ile gösterilir. Şekil 3.6’da eklemlı bir robot ve hareket sahası görülmektedir (7, 10).



Şekil 3.6. Eklemlı robot ve hareket sahası (12)

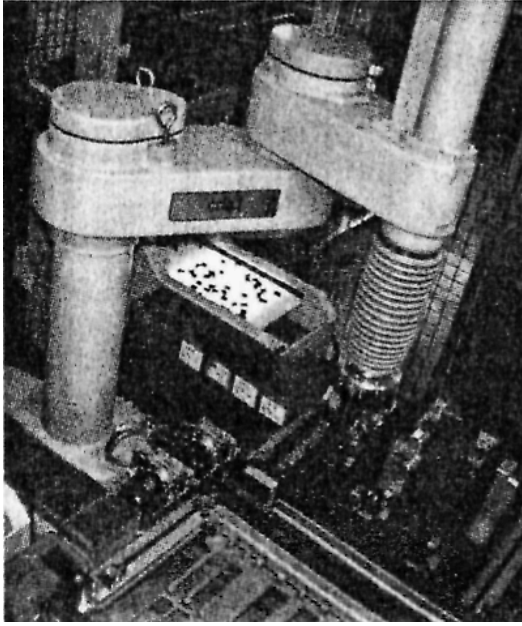
Eklemlı robotlar kollar kabaca bir insan koluna benzer. Uç etkileyicisi bir bilek eklemlı yardımı ile ön kola monte edilmiştir. Dirsek eklemlı ön kol ile üst kolu, omuz eklemlı de üst kol ile tabanı birbirine bağlar. Diğer tiplere göre zorlanacak yapılacak en küçük işleri bile eklemlı robotlar rahatlıkla gerçekleştirebilir. Diğer tür robot kollarından daha hızlı hareket edebilir (12).

Çok dikkat gerektiren taşıma ve montaj işlerini daha hassas olarak yapabilmek amacıyla basit geometrili kollara sahip olan eklemlı robot sınıfında SCARA (Selective Compliance Automatic Robot Arm – Seçici Uyumlu Montaj Robot Kolu) tipi robot geliştirilmiştir. Şekil 3.7’de SCARA tipi eklemlı bir robot şekli görölmektedir (10, 13).



Şekil 3.7. SCARA tipi eklemli robot (7)

SCARA tipi robotların çok hızlı hareket yeteneği ve yüksek doğrulukta çalışması endüstride toplama, yerleştirme ve parça ekleme gibi montaj işlerinde kullanım oranını arttırmıştır. SCARA robot türü bütün robot manipülatörlerinin özelliklerini üzerinde toplamıştır. İki tane dönebilen mafsalları aracılığı ile yatay düzlemde koordinat ayarlaması yaparken, bir tane prizmatik mafsalları aracılığı ile düşey düzlemle olan ilişkiyi sağlamaktadır. Düşey düzlemde hareket eden kolun uzanabilme yeteneği olması ve bu kola robot uç elemanı eklemek suretiyle, en karmaşık montaj işlerinde kullanılan robot durumuna gelmektedir. Resim 3.1’de endüstride kullanılan SCARA robotu görülmektedir (10).



Resim 3.1. Endüstride kullanılan SCARA tipi bir robot (Adept Technology Inc.) (7)

Robot çeşitlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.1’de tüm robot çeşitlerinin tip, eksen özellikleri, kullanım alanları ve kullanım sonuçlarına göre karşılaştırılması görülmektedir. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi robot türleri içinde eklemlili robotların kullanım alanları endüstride daha fazla yer almaktadır. Buna karşın yapıları karmaşık ve hareket analizleri diğer türlere göre daha zordur. Endüstride kullanım yeri, amacı, ortam şartları ve maliyet göz önüne alınarak üretime uygun robot çeşidi seçilmelidir.

Çizelge 3.1. Robot çeşitlerinin karşılaştırılması

ROBOT TİPİ	EKLEM TİPLERİ	KULLANIM ALANLARI	KULLANIM SONUÇLARI
Kartezyen Robotlar	Prizmatik bel Prizmatik omuz Prizmatik dirsek	Demiryolu köprü inşaatları Büyük makine montaj hatları	Kinematik modelleri basittir Rijit bir gövdeye sahiptir Hareket analizleri basittir Çalışması için büyük alanlar gerekir Büyüklüğüne göre iş alanı küçüktür
Silindirik Robotlar	Dönebilen bel Prizmatik omuz Prizmatik dirsek	Büyük makine montaj sanayi Basit montaj- demontaj hatları	Kinematik modelleri basittir Hareket analizi basittir Güçlü hidrolik elemanlar kullanılır İş alanları sınırlıdır Tozlu ve ıslak ortamda çalışmaları zordur
Küresel Robotlar	Dönebilen bel Dönebilen omuz Prizmatik dirsek	Montaj sanayi Nükleer santraller	Büyük alanlara uzanabilirler Zeminden uzaktaki nesneleri tutabilirler Kinematik modelleri karışıktır Hareket analizi zordur
Eklemlili Robotlar	Dönebilen bel Dönebilen omuz Dönebilen dirsek	Otomobil montaj sanayi Otomobil boya sanayi Elektronik montaj sanayi Nükleer santrallerde Tıbbi araç-gereç yapım sanayi	Maksimum esnekliğe sahiptir İş alanı robot büyüklüğü ile orantılıdır Elektrik motorları kullanılabilir Cisimleri altlarından tutabilir Kinematik yapıları karmaşıktır Hareket analizi zordur Kolların rijitlik ayarı zordur

3.1.2. Hareket sistemine göre sınıflandırma

Robot sınıflandırmalarında kullanılan ikinci özellik de, robotun hareket sisteminin tipine göre yapılan sınıflamadır. Hareket sistemi robotların belirlenen noktalara nasıl ulaştıkları ile ilgilidir. Hareket sistemine göre robotlar 2'ye ayrılır.

- Noktadan – Noktaya Hareket Eden Robot Sistemleri (Point to Point Robotic System - PTP)
- Sürekli Güzergâhlı Robot Sistemleri (Continuous Path Robotic Systems – CP)

Noktadan noktaya hareket eden robot sistemleri

Noktadan noktaya hareket eden robot sistemlerinde, robot sayısal olarak tanımlanan noktaya gider ve hareketini durdurur. Robot sabit duruyor iken uç etkileyici programa göre yapması gereken işini yapar. Robotun görevi bitince robot bir sonraki noktaya hareket eder ve bu işlemler böylece tekrar edilir (14).

Bu sistemde, robot noktadan noktaya giderken robotun güzergâhı ve hızı önemli değildir. Bundan dolayı PTP sisteminin temelinde robotun son pozisyonunu kontrol etmek için sadece eksen pozisyonları sayılır. Ulaşılabilecek her noktanın koordinat değerleri sayıcılara yüklenir. Robot hareketi boyunca, kodlayıcı veya kontrol devresi eklem pozisyonunu belirten palsleri gönderir (14).

Tipik noktadan noktaya hareket eden robot sistemlerine nokta kaynağı yapan robotlarda sıkça rastlanmaktadır. Nokta kaynak işleminde robot kaynak yapılacak noktaya kadar hareket eder. Kaynak yapılacak nokta, kaynak uzvunun iki elektrotunun ortasına denk gelir ve kaynak işlemi gerçekleştirilir (13).

Noktadan noktaya hareket eden robot sistemleri, nokta kaynağı, parça taşıma, yükleme – indirme ve basit montaj işlerinde kullanılır (14).

Sürekli güzergâhlı robot sistemleri

Bu tip sisteme sahip robotlarda, eksenlerin hareketleri farklı hızlarda ve aynı anda olabilir. Bu hızlar kontrol devresinin kontrolünde düzenlenir ve yörüngeyi meydana getiren unsurdur. Sürekli güzergâhlı robotlar düzgün ve kesiksiz bir hareket gerçekleştirir. Yörünge boyunca tüm noktaların kaydedilmesi gerekliliği bu tip sisteme sahip robotlarda, noktadan noktaya hareket eden robot sistemlerine göre daha büyük belleğe ihtiyaç olmasına sebep olmaktadır (12,13,14).

Sürekli güzergahlı robotlar ark kaynağında, spreyci boyama da, metal parçalarının pürüzsüz işlenmesinde, komplike montaj uygulamalarında ve kontrol işlerinde kullanılmaktadır (14)

3.1.3. Kontrol döngüsü tipine göre sınıflandırma

Kontrol sistemi robotların yapacağı işlemlerdeki giriş değişkenlerine bağlı olarak hareketi ve görevini gerçekleştirir veya giriş değişkenlerinin durumunu göz önüne almadan hareketini ve görevini gerçekleştirir. Bu durumlara göre kontrol tipine göre robotlar 2'ye ayrılır.

- Açık Döngü Kontrol Sistemi
- Kapalı Döngü Kontrol Sistemi

Açık döngü kontrol sistemi

Açık döngü kontrol sistemlerinde, çıkışın giriş üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Yani giriş komutuna göre meydana gelen çıkış durumundan girişe geri besleme yapılmaz (12).

Örnek verecek olursak, diyelim ki bir robot kolu bir malzemeyi belirlenen yerden alarak, belirlenen konuma taşıyor ve bu taşıma sırasında hep 500 gr.lık yükü taşıyacaktı gibi uç elemanına kuvvet sağlıyor. Bu robot ne taşırsa taşırsın hep 500

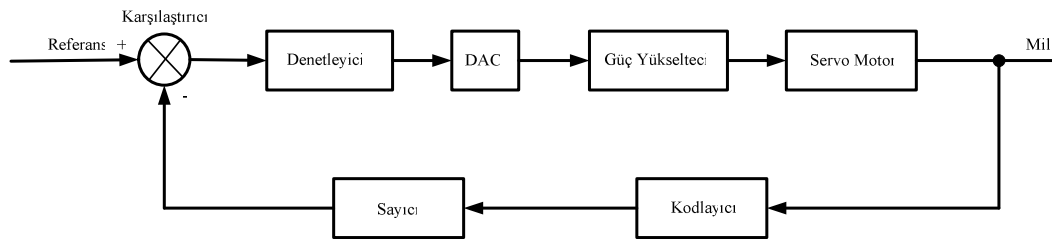
grama karşılık gelen kuvveti uç elemanına sağlar. Diyelim ki taşınacak yük ağırlığı 300 gr. oldu. Bu durumda robot uç elemanına sağlanacak kuvveti azaltmaz. Bu nedenle kuvvet tasarrufu yapılacak sistemlerde bu döngü tipi kullanılamaz. Kaldırılacak yük 1 kg. olduğunda ise robotun uç elemanına sağladığı kuvveti arttırması gerekir. Fakat açık döngülü sistemde duruma göre ek kuvvet sağlanamaz. Her durumda aynı kuvvet sağlanır.

Kapalı döngü kontrol sistemi

Kapalı döngü kontrol sistemlerinde, açık döngü kontrol sistemlerinin tam tersine çıkışın giriş üzerinde etkisi vardır. Çıkışta meydana gelen değişimler robotun bir sonraki hareketinin durumunu değiştirmektedir.

Açık döngü kontrol sisteminde anlatılan örneği göz önüne alırsak aynı durumda kapalı döngü kontrol sistemi kullanılsaydı, robotun uç elemanına bağlı yük azalınca hemen girişe bunu bildirir ve uç elemanına sağlanan kuvvet azalır. Aynı şekilde robotun uç elemanındaki yük artınca bu bilgi girişe giderek uç elemanına daha fazla kuvvet sağlanması yapılır.

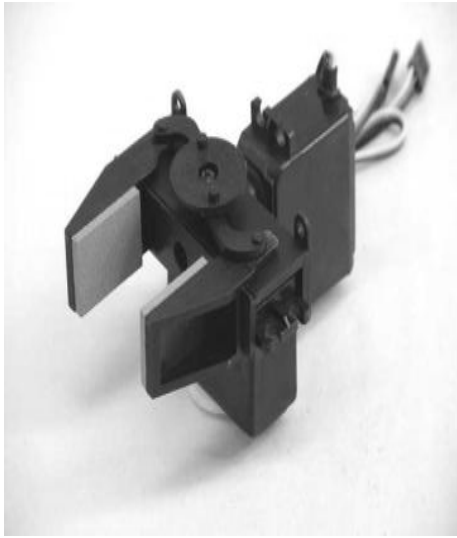
Kapalı döngü kontrol sistemine örnek olarak tek bir eksenin hareketi için servo motor kullanarak yapılan bir sistemin blok şeması Şekil 3.8’de görülmektedir (12).



Şekil 3.8. Kapalı döngü kontrol sistemine örnek sistem (12)

3.2. Robot Uç Etkileyicileri

Endüstriyel alanda bir robotun veya programlanabilir makine kolunun en sonundaki mekanizma uç etkileyici (gripper) olarak adlandırılır (13). Bu uç elemanlar robotların elleridir (8). Uç etkileyiciler (End effector) robot kolunun bilek eklemine iliştirilmiş bir aygıttır ve robotun özel bir hizmetini yerine getirmeye yetkilendirilmiştir (12). Resim 3.2 (15) ve Resim 3.3’de (16) eřitli uç etkileyiciler görölmektedir.



Resim 3.2. Uç etkileyici örneği (15)



Resim 3.3. Uç etkileyici örneği (16)

Uç etkileyiciler farklı çalışma durumlarına ve yapacakları görevlerin gerektireceği yapıya göre çeşitli isimlerde anılabilirler. Fakat genel olarak iki ana grup altında incelenebilir (12).

- Kavrayıcılar
- Uzuvar

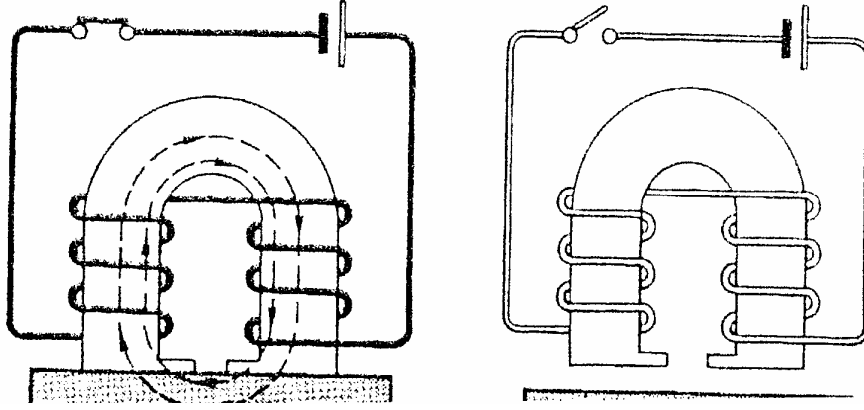
3.2.1. Kavrayıcılar

Kavrayıcılar nesneleri kavrayan ve kaldırıp, bırakabilen uç etkileyicilerdir. Kavrayıcılar, endüstride uzun yıllardan beri birçok farklı amaç için değişik tiplerde tasarlanmışlardır. Kavrayıcılar çalışma sistemi ve tekniği bakımından değişik isimlerde gruplandırılabilirler. Kavrayıcıları aşağıdaki gruplarda sınıflandırabiliriz (13).

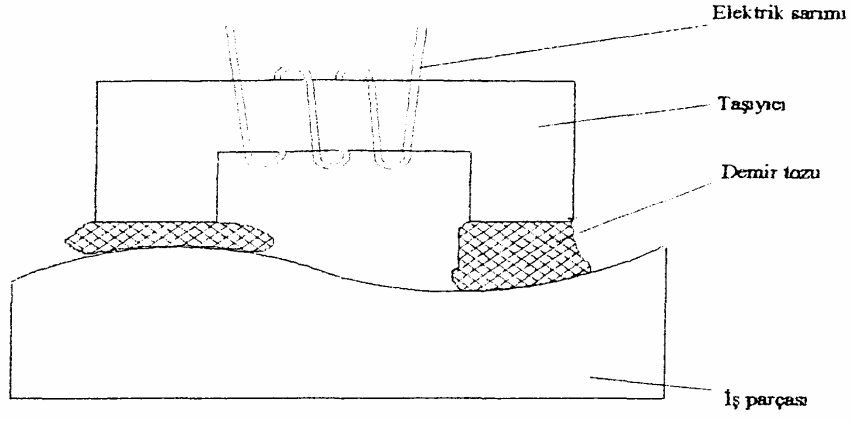
- Manyetik Kavrayıcılar
- Vakumlu Kavrayıcılar
- Yapışkan Kavrayıcılar
- İğneli Tip Kavrayıcılar
- Çeneli Tip Kavrayıcılar
- Parmak Tip Kavrayıcılar

Kavrayıcılar kullanım alanında tutacağı parçanın yüzeyine uygun olmalıdır. Örneğin manyetik kavrayıcılar ferromanyetik özelliğe sahip materyallerin, madeni levha ve tabakalar ile çelik maddelerle ilgili işlemlerde kullanılırlar. Manyetik kavrayıcıların dezavantajı, yapılan işlem sonrası malzeme üzerinde kalan artık mıknatısiyet olayıdır. Bu sorun bir sonraki işlem de probleme yol açabilir. Şekil 3.9’da manyetik kavrayıcının çalışma prensibi görülmektedir. Şekil 3.10’da ise Mıknatıslanma ile çalışan kavrayıcı görülmektedir (12).

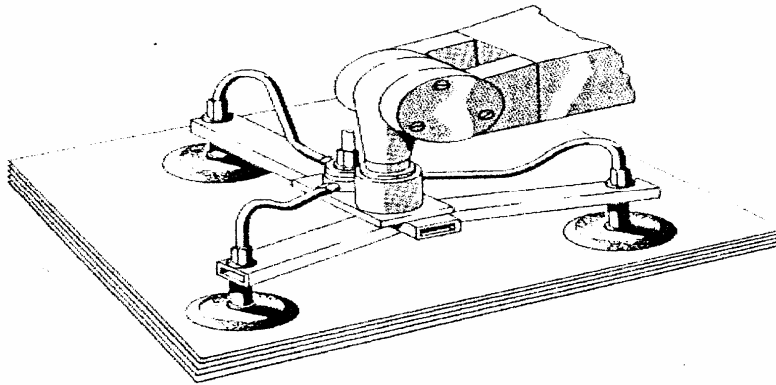
Şekil 3.11’de vakumlu tip kavrayıcı görülmektedir. Bu tipte bir kavrayıcı kullanıldığında tutulacak malzemenin üst yüzeyinin hava geçirgen ve gözenekli özellikte olmaması gerekir. Vakumlu tip kavrayıcılara Emme çekicilerde denir. Bunlar katı tip nesneleri kaldırmak için kavrama aygıtı olarak kullanılabilirler. Nesnelerin vakumlanabilmesi için nesnenin yassı, düz ve temiz olması gerekir. Düzgün yüzeyli cam, karton, plastik, tahta gibi malzemeleri tutmak için kullanılır. (12,13).



Şekil 3.9. Manyetik tip kavrayıcının çalışma prensibi (13)

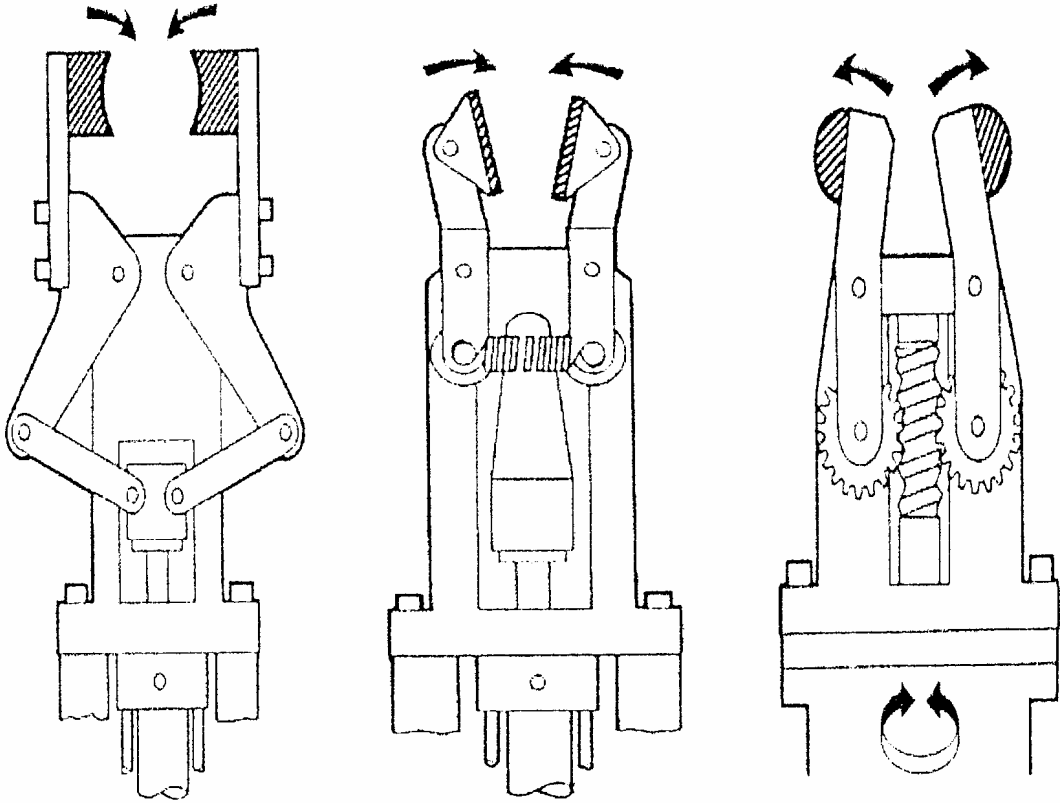


Şekil 3.10. Mıknatıslanma ile çalışan kavrayıcı (10)



Şekil 3.11. Vakumlu tip kavrayıcı (13)

Çeneli tip kavrayıcılar parçayı yapısındaki çenelerin arasına sıkıştırarak işlem yaparlar. Çoğunlukla iki parmaklı biçimdedirler. Bu tip kavrayıcılar genelde küresel ve prizmatik parçaları kavrayacak özelliktedir (10). Çeneli tip kavrayıcı örnekleri Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Çeneli tip kavrayıcı örnekleri (13)

Parmak uç etkileyciler malzemenin daha iyi ve hassas kavranması gereken durumlarda tercih edilen kavrayıcı tipidir. Bu tip kavrayıcıların yapısı insan elini ve parmaklarını taklide dayanır. Değişik geometrik yapılarıdaki parçaları ve makineleri uygun bir biçimde kavramak için çok parmaklı robot eller vazgeçilmez ihtiyaçtır. Kavrama kuvvetini kontrol etmek için bu tutucularda ucuz ve basit basınç sensörleri kullanılır. Çoğu uygulamalar için bu sensörler yeterli olsa da, her parmağa koyulan kuvvet algılayıcısı ile yapılan sistemler daha kararlı olmaktadır. Bu yöntemle parmak kavrayıcısı yapıldığında, eğer bir parmak hedefe diğerinden önce değerse parmak kavrayıcısı bunu algılayarak konumunu buna bağlı olarak ayarlayabilmektedir. Robot

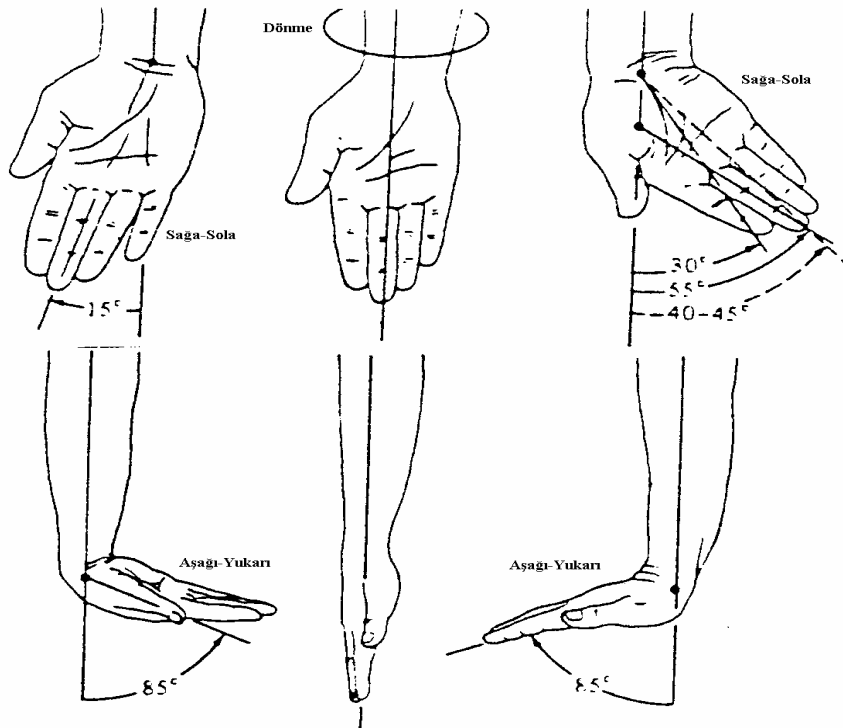
elin tasarım ve imalatında dikkat edilmesi gereken noktalar, elin fonksiyonelliği, boyutları, imalat ve bakım kolaylığı ve çalışmaya uygunluğudur (10, 13).

İnsan elinin analizlerinde başlıca iki tip kavrama gözlenmiştir (10).

- Güçlü kavrama
- İnce iş kavraması

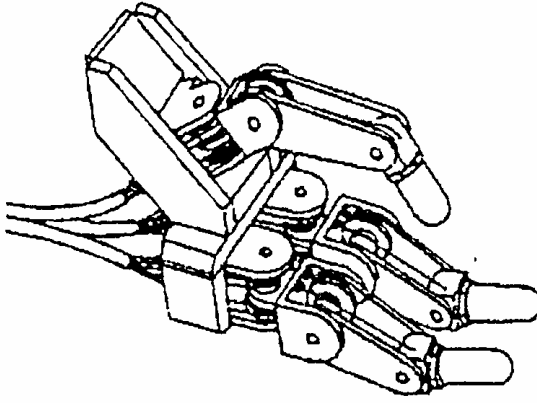
Güçlü kavramada; cisim, kıvrılmış parmaklar ile avuç içine sıkıştırılmıştır. Başparmak uzanmış durumdadır ve gerektiğinde karşı basınç yapabilecek şekilde cisim üzerine uzanmış durumdadır.

İnce iş kavramasında ise; cisim sadece parmak uçları arasına kısıtılmıştır. Yapılan analizlerde görülmüştür ki, insan eli cisme uzanırken yapacağı işe uygun bir tutuş biçimi alır. İnsan bileğinin hareketleri Şekil 3.13’de görülmektedir (17).

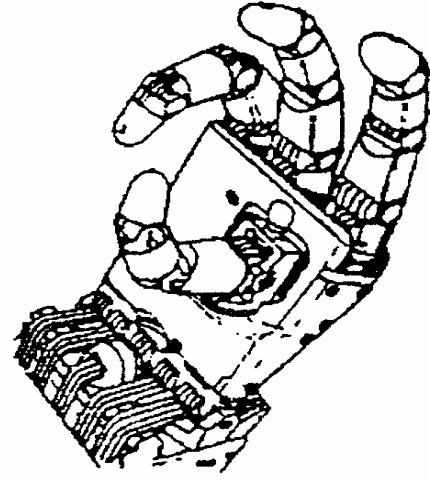


Şekil 3.13. İnsan bileği hareketleri (17)

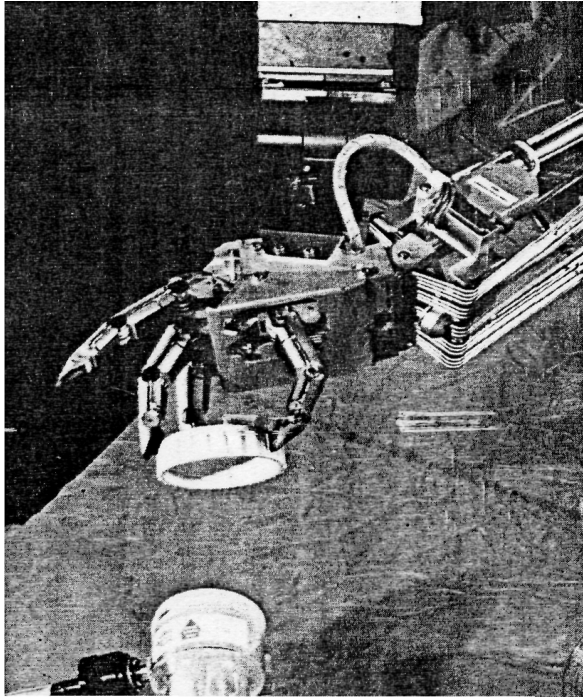
Parmak tip uç etkileyicilerin parmak sayıları 3 ile 5 arasında değişmektedir. Şekil 3.14’de üç parmaklı robota örnek bir kavrayıcı görülmektedir. Şekil 3.15’de ise 4 parmaklı kontrol sistemi çok karmaşık olan parmak tip kavrayıcı görülmektedir. Resim 3.4’de de 4 parmaklı bir robot elin sanayideki kullanım örneği görülmektedir.



Şekil 3.14. Üç parmaklı kavrayıcı (13)



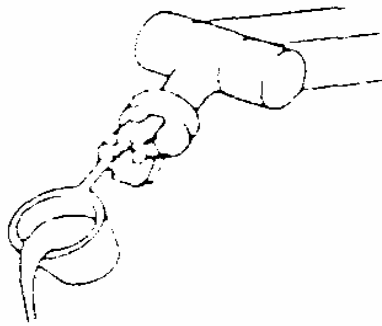
Şekil 3.15 Dört parmaklı kavrayıcı (13)



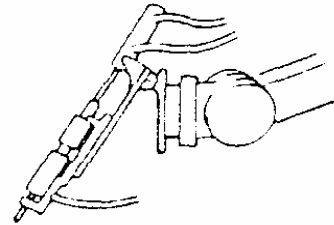
Resim 3.4. 4 parmaklı bir robot elin sanayideki kullanım örneği (21)

3.2.2. Uzuvarlar

Robot ile yapılan sistemlerde bazen uç etkileyicinin kavrama görevi yerine belirli bir işleme uzvuna gerek olur. Matkap ucu, parlaticı, öğütücü, kesme, kepçe, nokta kaynak, ark kaynak, sprej boyama gibi uzuv uç etkileyicileri vardır. Şekil 3.16’da kepçe ve Şekil 3.17’de ark kaynak uzvu görölmektedir (12).



Şekil 3.16. Kepçe uzvu (12)



Şekil 3.17. Ark kaynak uzvu (12)

3.3. Robot Tahrik Düzenekleri

Robotların hareketini sağlayan düzenler tahrik sistemleri (actuators) olarak isimlendirilir. Tahrik düzenleri robotların kasları olarak bilinir. Eklemler robotların iskeleti olarak düşünöldüğünde, robotun hareket etmesini, sağa-sola dönmesini sağlayan kas görevini gören sistemler tahrik sistemleridir. Tahrik düzenekleri eklemlerin hızını artırmak, yavaşlatmak, yükü kaldırmak için ekonomik, doğru, güvenilir biçimde yeterli güce sahip olmalıdır. Birçok tipte tahrik sistemleri mevcuttur. Aşağıda bu tahrik sistemleri verilmiştir (7).

- Hidrolik tahrik sistemleri
- Pnömatik tahrik sistemleri
- Elektrik motorları
 - DC motorlar
 - Step motorlar
 - Servo motorlar

- Şekil bellek alaşımlı tahrik sistemler (Shape memory metal actuators)
- Manyetostriktif tahrik sistemleri (Magnetostrictive actuators)

3.3.1. Hidrolik tahrik sistemleri

Hidrolik tahrik sistemleri akışkanların hareket ettirilmesi mantığına göre çalışırlar. Hidrolik sistemlerde genelde basınçlı yağ kullanılır. Hidrolik sistemlerde güç-ağırlık oranı büyüktür. Düşük hızda tepki verir, fakat büyük kuvvet sağlarlar. Birçok büyük robotlar özellikle otomobil üretiminde hidrolik tahrik sistemini kullanır. Örneğin Cincinnati Milacron T3 robotu hidrolik sistemli robota örnektir. Hidrolik silindirin verdiği kuvvet Eş. 3.1’de verilmiştir (7).

$$F = p.A \quad [3.1]$$

Burada; A pistonun etkin alanı ve p ise iş basıncını temsil etmektedir. Aşağıda bir hidrolik tahrik sisteminde bulunan bileşenler verilmiştir.

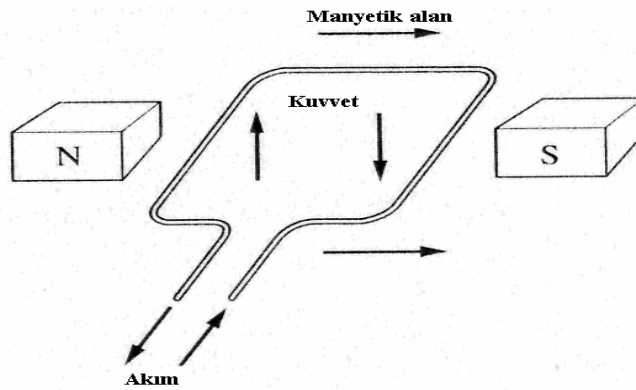
- Döner silindir. Bu gerekli olan kuvvet veya torku sağlar. Servo veya manuel vana ile kontrol edilir.
- Hidrolik pompa. Sistemde ki akışkana yüksek basınç sağlar.
- Elektrik veya dizel motor. Hidrolik pompayı çalıştırır.
- Soğutma sistemi. Sistemi meydana gelen ısıdan korur.
- Depo. Sistemdeki akışkanı barındırır.
- Servo vana. Sistemdeki akışkanın miktarına duyarlıdır. Genelde hidrolik servomotor tarafından kontrol edilir.
- Bağlantı boruları. Basınçlı akışkan sıvıyı iletirler.
- Sensörler. Pozisyon, hız, manyetik ve dokunma gibi sensörler olabilir. Silindirin hareketini kontrol ederler.

Şekil 3.18’de hidrolik sistem ve bileşenlerinin şematik gösterimi görülmektedir.

Gazların sıvılara göre sıkıştırılabilmesi göz önüne alındığında, pnömatik sistemlerin kontrol uyarılarına verdikleri tepki hidrolik sisteme göre yaklaşık 4 kat daha yavaştır. Pnömatik sistemlerin ana problemini havanın belli miktarda sıkıştırılabilmesi oluşturmaktadır. Bu durumdan dolayı yük altında hava sıkışarak istenen sonucu tam verememektedir (7, 13).

3.3.3. Elektrik motorlu tahrik sistemleri

Robotik alanında en fazla kullanılan tahrik sistemi elektrik motorları ile yapılan sistemdir. Bunun nedeni, elektrik motorlarının yeteneklerinin fazla olması, diğer sistemlere göre bakım ihtiyacının az ve boyutlarının küçük olmasıdır. İçinden akım geçen bir teli manyetik alana koyduğumuzda bir kuvvet meydana gelir, bu kuvvet telin dönmeye neden olur. Akımın veya manyetik alanın yönü değiştirildikçe tel dönmeye devam eder. Bu prensip elektrik motorların temel çalışma prensibini oluşturmaktadır. Bu olay Şekil 3.19’da görülmektedir (7, 12).



Şekil 3.19. Elektrik motorun çalışma prensibi (7)

Robotik alanında kullanılan elektrik motorlarını aşağıdaki sınıflarda inceleyebiliriz.

- DC motorlar
- Step motorlar
- Servo motorlar

DC motorlar

DC motorlar endüstride uzun zamandan beri çok kullanılan motor tipidir. DC motorlar Bölüm 3.3.3'de anlatıldığı gibi manyetik alan içine içinden akım geçen telin konulmasıyla meydana gelen kuvveti kullanarak dönmeyi sağlarlar. Diğer elektrik motor türleri de bu temel prensibi değişik donanım özellikleriyle kullanır. DC motorlar, sabit bir mıknatıs ve içinde bir rotor (pervane) içerirler. Dönen rotorun ucunda fırçalar bulunur.

AC elektrik motorları da DC Elektrik motorlarına benzerler. Akı değişimi AC akımının kendi değişiminden sağlanır. AC motorlar DC motorlara oranla ısıyı daha kolay dağıtabilirler ve DC motorlara göre daha güçlüdürler.

Fırçasız DC motorlar AC ve DC motorların karışımı gibidir. Normal DC motorlardan belirgin farkı, elektronik olarak anahtarlanan DC akım ile (AC akıma benzer) çalışırlar.

Direkt sürürlü DC motorlar yapı itibarıyla fırçasız DC motorlara veya step motorlara benzerler. Tek farkları, bunların düşük hızda yüksek tork ve çözünürlük sağlamak üzere imal edilmeleridir. Bu motorlar çok ağır ve pahalıdır. Fırçalı DC motorlarda fırçaların anahtarlama ömürleri vardır. Fırçasız DC motorlar, AC motorlar ve step motorlar fırçasız olduğundan bunların ömürleri daha uzundur (7).

Step motorlar

Step motorlar çok yönlü, kalıcı ömürlü birçok uygulamada kullanılan motorlardır. Step motorlarda diğer motor türleri gibi elektrik enerjisini, mekanik enerjiye çevirirler. Fakat diğer türlerden farkı, dijital kontrollü olması ve her gönderilen puls için belli açıda dönmesidir. Bu özelliğinden dolayı bilgisayar destekli uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Step motorlar robotik alanında, yazıcı, floppy disk, hard disk gibi bilgisayar donanımında, kamera, konum kontrollü sistemlerde ve tıp

elektroniğinde yaygınca kullanılmaktadır. Step motorların avantajları aşağıda sıralanmıştır (18).

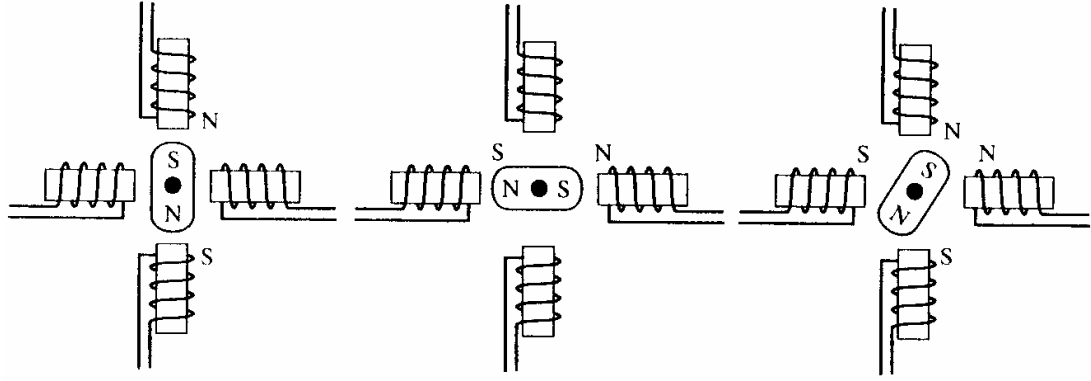
- Rotorun açısal hızı yeterinde küçük olduğundan hareket sırasında adım kaybı olmaz.
- Step motorların dijital kontrol sistemlerine uygun olması, bilgisayar kontrollü uygulamaları kolaylaştırır.
- Step motorların ısınma problemleri çok azdır.
- Step motorlar, yüksek torklarda düşük açısal hıza sahip olması, yüke yeterli torku sağlar.
- Oluşan hatalar sadece step (basamak) hatasıdır. Aşırı yüklenme problemi olmadığı durumlarda, pozisyon hassasiyeti çok iyidir.
- Step motorlar DC uyarmada geniş bir tutma torkuna (holding torque) sahiptir. Rotor hareketi sabitken otomatik kilitleme (self locking) özelliği vardır. Rotor sadece uç gerilimi zamanla değiştiği sürece hareket eder.

Step motorların bu avantajlarına karşın dezavantajları da vardır (18).

- Tetikleme aldıkları kontrol devresinin clock darbelerinin hızından daha hızlı hareket sağlayamaz. Belli bir hızdan daha hızlı hareket isteniyorsa harici bir pals jeneratörüne ihtiyaç vardır.
- Step motor hızı belli bir hızın üstüne çıktığında pozisyon hataları artar.
- Ayrıca step motorlar ağırdır.
- Step motorun alan sargıları birbirleri ile belli miktarda açılarla yerleştirildiğinden, alan sargılarının belli bir düzen içinde enerjilendirilmesi zorunludur.

Step motorlar sabit mıknatıslı ve karma mıknatıslı yapılara sahiptir. Sabit mıknatıslı step motorlar mıknatısın manyetik alan içinde hareket etmesi prensibine göre çalışır. Sargılara uygulanan sinyallere göre rotor hareket eder. Şekil 3.20’de step motorun çalışma prensibi görülmektedir. Sargılara uygulanan sinyallerden dolayı sargılar

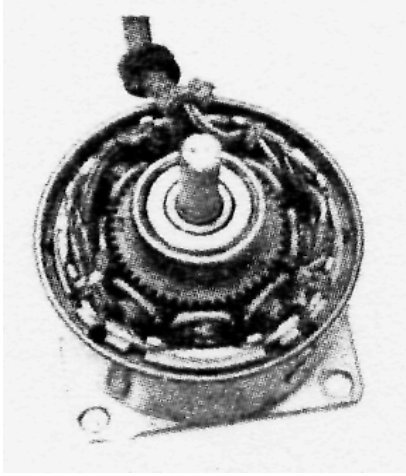
içinden geçen akımın yönüne göre sargılarda N veya S kutbu oluşur. Rotor sargısı da bu duruma göre döner.



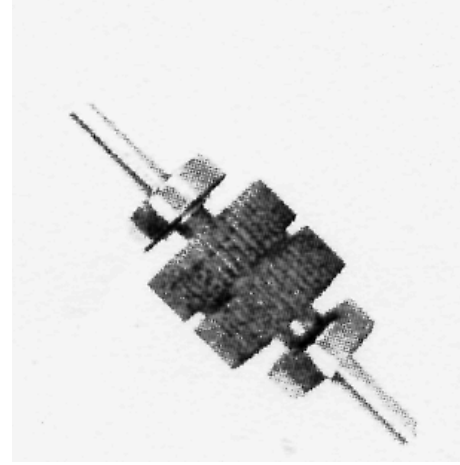
Şekil 3.20. Step motorun çalışma prensibi (7)

Step motorlar genellikle kare dalga pulslerle enerjilendirilir. Rotorda oluşan tork, bobinlere (sargılar) uygulanan akımla doğru orantılıdır. Uygulanan akım ne kadar fazla ise, oluşan manyetik alan o kadar fazla olur, dolayısıyla tork da artar. Bobin sargıları doyuma ulaştınca akım ve gerilim arttırılrsa dahi tork artmaz (18).

Karma step motorlarda (Hybrid stepper motors) rotor, iki tane aynı doğrultuda olan silindirin paslanmaz çelik şafta (mil) monte edilmesi ile oluşur. Böylece rotorun bir ucu kuzey (N) diğer ucu güney polaritesini (S) belirtir. Rotor silindiri dişlere sahiptir. Bu tip motorlarda rotor diş sayısı ile sargı kutup sayısı birbirinden farklı olabilir. Bu motora daha küçük açılarda hareket yapma imkânı tanır. Resim 3.6'da karma step motor ve Resim 3.7'de de karma step motor rotoru görülmektedir (7,18).



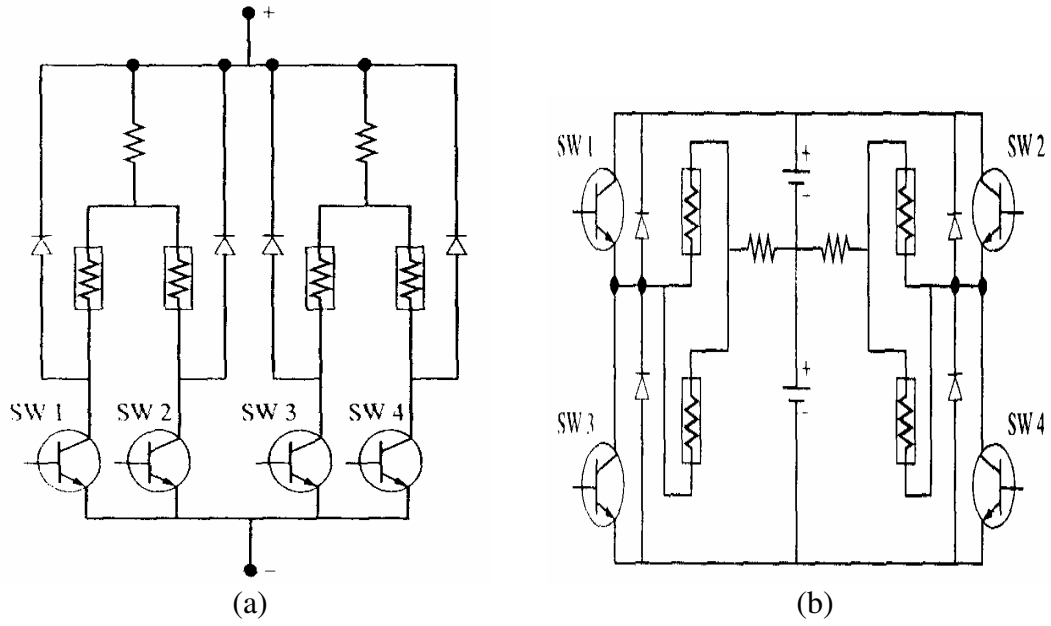
Resim 3.6. Karma step motor (7)



Resim 3.7. Karma step motor rotoru

Motora bir pals uygulandığında, rotorun hareket edebileceği açı miktarına adım açısı (step angle) denir. Piyasadan step motor alırken adım açısına göre alınır. Örneğin $1,8^0$ adım açısına sahip step motor 360^0 için 200 adım harekete ettirilir. Adım açısı ne kadar küçük olursa motor o kadar hassas kullanabilir. Step motora sinyal uygulandığında belli bir zaman sonra tepki verir. Bu zaman miktarına adım cevabı (adım response) denir. Motorun 1 saniyede yapabileceği maksimum adım sayısına ise adımlama oranı (stepping rate) denir (18).

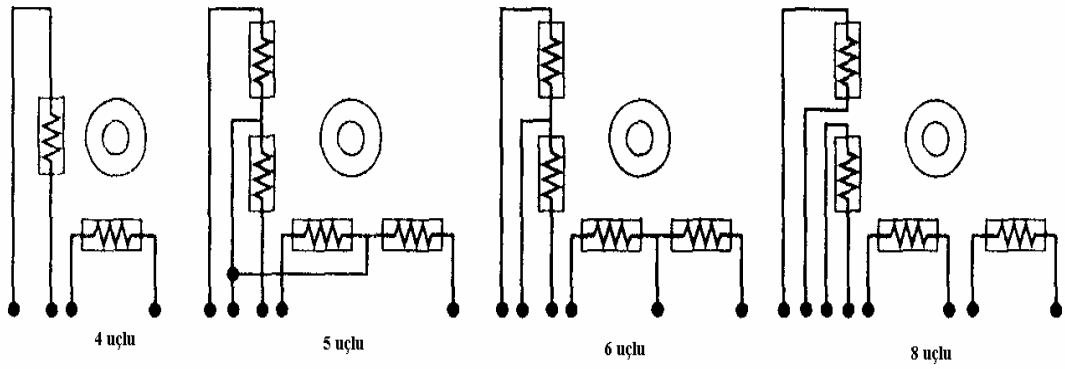
Step motor sürücü devreler unipolar ve bipolar sürücü devreler olarak sınıflandırılır. Unipolar step motor olarak yapılan motorlar tek besleme kaynağı ile beslenirler. Bu tipteki motorlarda bobinlerden tek yönde akım geçer. Bu nedenle bobinlerin polaritelerini değiştirmek kolay olmaz. Bipolar step motorlarda ise akım geçişi iki yönlüdür. Şekil 3.21.a'da unipolar sürücü devre ile Şekil 3.21.b'de bipolar sürücü devre görülmektedir. SW uçlarına kontrol devresi yardımıyla enerji verilir veya enerji verilmez. Böylece kutuplanma sağlanır. Step motorların bobin bağlantı kombinasyonları farklı olabilir. Şekil 3.22'de 4, 5, 6, 8 uçlu step motorların bobin (stator) bağlantıları görülmektedir.



Şekil 3.21. Step motor sürücü devreleri (7)

a) Unipolar sürücü devre

b) Bipolar sürücü devre



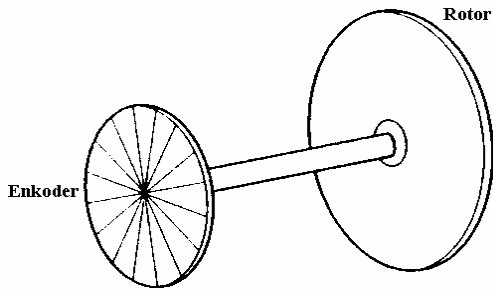
Şekil 3.22. Step motor bobin bağlantıları (7)

Servo motorlar

Servo motorlarda DC motorların temelini kullanır. Fakat buna ek olarak başka bileşenleri de vardır. Servo motorun bileşenleri aşağıda verilmiştir (19).

- DC motor
- Torku artırmak için dişli sistemi
- Elektronik şaft (mil) pozisyon ve kontrol devresi

Servo motorlar şaftın kaç derece döndüğünü ve hangi hızda döndüğünü algılar ve girişe geri besleme olarak verir. Böylece girişte istenen durum ile çıkış durumundan oluşan bir hata sinyali oluşur. Bu hata sinyaline göre servo motor şaftı döndürerek istenen pozisyon ve hızı sağlar. Bu algılama işlemi için servo motorlarda rotora takılı bir enkoder veya pozisyon algılayıcı potansiyometre bulunur. Enkoder içiren servo motorların rotorunun şematik gösterimi Şekil 3.23’de görülmektedir.



Şekil 3.23. Servo motor rotoru

Bu tipteki servo motorlarda enkoder belirli sayıda boşluklardan oluşmaktadır. Mil döndükçe deliklerin sayısı pozisyon devresi tarafından sayılmaktadır. Servo motorun kaç tur atacağı dijital bilgi olarak servo motora bildirilir Böylece pozisyon kontrol devresi kaç tur atacağını bilir ve o kadar tur atar. Resim 3.8’de bu tip servo motor görülmektedir.



Resim 3.8. Servo motor örneği (20)

R/C tipi servo motorlarda enkoder yoktur. Bunun yerine şafta bağlanmış ve dönüşü algılayan potansiyometre vardır. Bu tip servo motorlar PWM (Puls Width Modulation – Puls Genişlik Modülasyonu) tekniği ile çalışırlar. Kontrol ucuna gelen PWM sinyalinin görev saykılına (duty cycle) göre belli açılarda dönme yaparlar. R/C servo motorlar robot kolunun tasarımının anlatıldığı bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir (19).

3.3.4. Hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

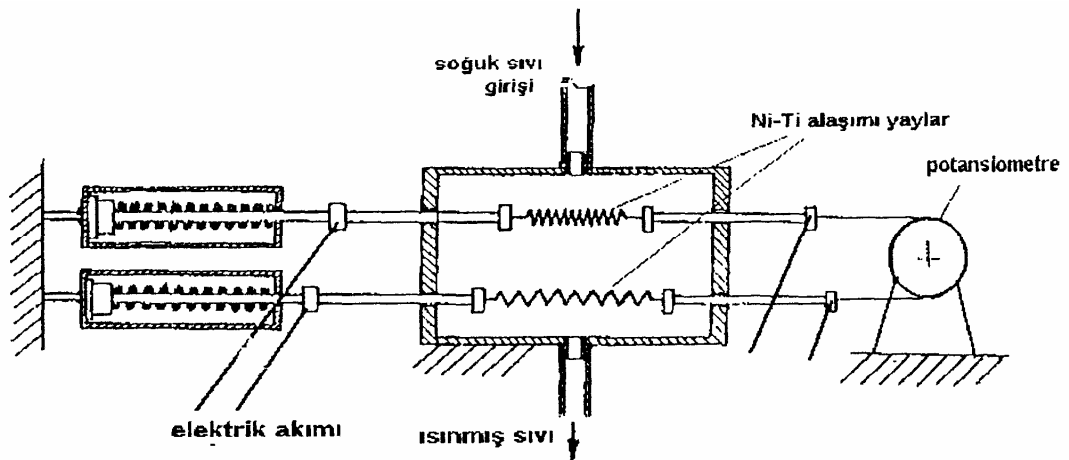
İncelenen tahrik sistemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Hidrolik, pnömatik ve elektrikli tahrik sistemlerinin karşılaştırılması

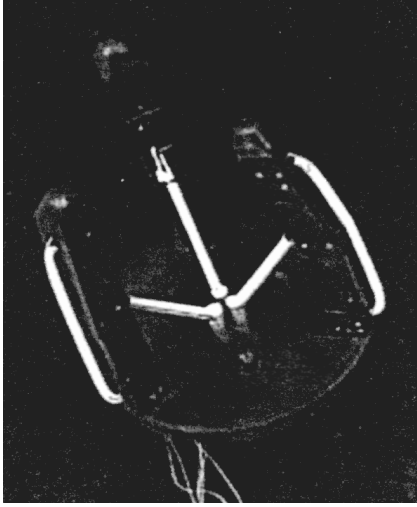
	HİDROLİK SİSTEMLER	PNÖMATİK SİSTEMLER	ELEKTRİKİ SİSTEMLER
AVANTAJLARI	- Büyük yüklenme kapasitesine sahiptir. -Orta değerlerde süratlidir - Yağın basıncı azalmadığından eklemler hareket ettirilmeden sabit tutulabilir -Hassas kontrol edilebilme imkanına sahiptir.	-Hidrolik sistemlere göre ucuzdur. -Yüksek hız kabiliyeti sağlayabilir. -Akışkanlar ile çevre kirliliğine neden olmaz. -Laboratuar çalışmalarında kullanılabilir.	- Hızlı ve hassastır. -Karmaşık kontrol tekniklerini uygulamaya elverişli bir yapıya sahiptir. - Kolay kullanımlı ve diğerlerine göre daha ucuzdur.
DEZAVANTAJLARI	- Hidrolik sistemler pahalıdır. - Gürültü ve akışkanların sızması ile çevre kirliliğine neden olurlar. - Yüksek hızlı işleme döngülerine uygun değildirler.	- Havanın yağa göre sıkıştırılabilirlik özelliğinden dolayı basınç kaybına neden olur. -Gürültü kirliliği oluşabilir. - Hava yağa göre daha fazla sızma özelliğine sahiptir. -Sürekli bakım isteyen bir yapısı vardır.	- Dişli ve güç aktarma organlarına gereksinim gösterirler. - Güç sınırlaması vardır. - Oluşan elektrik arki çeşitli sorunlar yaratabilir.

3.3.5. Şekil bellek alaşımlı tahrik sistemler

Şekil bellek alaşımlı tahrik sistemlerin temel prensibi, metallerin oluşturduğu alaşımların sıcaklık ile genleşmesi oluşturmaktadır. Sıcaklıkla alaşımların düzeni değiştirilene bilinir. Genelde bu sıcaklık 90°C 'dir. Bu sıcaklıkta alaşımların yapı kristalleri martenzit durumdan ostenitli duruma geçerler ve böylece kısalırlar. Alaşımların eski durumuna gelmesi için soğuması gerekmektedir. Alaşımda sıcaklığı arttırmak için alaşım metallerinden akım geçirilebilir. Böylece metal kendi direnci ölçüsünde ısınır. Şekil bellek alaşımlarının robotikte kullanılan genel tipine Biometal adı verilir. Bir kaynaktan bu tip Biometal alaşıma elektrik akımı verildiğinde Biometal tel kısalır. Bu tarz tahrik sisteminin ana problemi, toplam gerilmenin çok küçük sıcaklık aralığında meydana gelmesidir. Böylece gerilmenin doğru bir şekilde kontrol edilmesi dolayısıyla yer değiştirmenin kontrolü çok zordur. Aynı zamanda yapılan deneylerde Biometal alaşımların uygun şekilde sistemi tahrik edememesi de görülmüştür. Bu sistem kullanılarak sadece akımla insan kasına benzer sistemler oluşturulabilir. Tabiki bu sistem insan kasının çok çok amatör bir örneği olacaktır. Şekil 3.24'de Ni-Ti alaşımı kullanılan hareketlendirici sistemi görülmektedir. Bu sistemde ısıtıcı olarak metallere akım verilmiştir. Soğutma işlemi için ise soğuk su kullanılmıştır. Resim 3.9'da ise Biometal telden yapılmış üç parmak uç etkileyicisi görülmektedir (7, 13).



Şekil 3.24. Ni-Ti alaşımı kullanılan hareketlendirici sistemi (13)



Resim 3.9. Biometal telden yapılmış üç parmak uç etkileyicisi (7)

3.3.6. Manyetostriktif tahrik sistemleri

Ternefol-D isimindeki bir parça malzeme bir mıknatısın yanına yaklaştırıldığında bu malzemenin şekli az bir miktar değişir. Bu durum mıknatıssal bozulma (magnetostriction) etkisi olarak bilinir. Bu etki ile liner motorlarda mikro inç düzeyinde yer değişimi kapasitesi sağlanmaktadır (7).

3.4. Robot Programlama Yöntemleri

Robotlar çeşitli farklı yöntemlerde (modlarda) programlanabilir. Bu programlama robota ve onun karmaşıklığına bağlıdır. Robot programlamanın amacı, robota gideceği güzergâhı, hareketin hızı, kendi sensörlerinden aldığı bilgilere göre ne yapacağı gibi bilgileri robota bildirmektir. Aşağıda robot programlama yöntemlerinden genel olarak kullanılan yöntemler sıralanmıştır.

- Fiziksel Kurma Yöntemi (Physical Mode)
- Tüm Yolu Önceden Belirleme veya Öğretme Yöntemi (Lead Through or Teaching Mode)
- Göstererek Programlama veya Öğretme Yöntemi (Walk-Through or Teaching)
- Yazılım İle Programlama Yöntemi (Software Mode)

3.4.1. Fiziksel kurma yöntemi

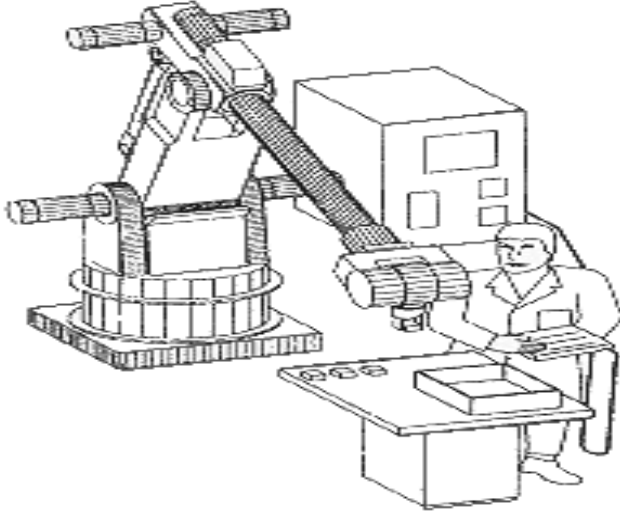
Bu yöntemde operatör anahtarları açma ve kapatma ile robotun hareketini kontrol eder. Bu yöntem genelde diğer cihazlarla birlikte kullanılır. Örneğin programlanabilir lojik kontrolör (PLC) ile yapılır (7).

3.4.2. Tüm yolu önceden belirleme veya öğretme yöntemi

Bu yöntemde robot eklemleri öğretme kontrol paneli yardımıyla operatör tarafından robota bildirilerek yapılır. Kontrol paneline gidilecek nokta ve dönüşlerin değerleri girilir ve robot bu bilgilere göre hareket eder. Girilen bu bilgiler hafızaya kayıt edilerek robotun belirlenen hareketi tekrar (playback) etmesi sağlanabilir. Bu yöntem genelde noktadan noktaya uygulamalarda ve hareket edilecek noktanın hep aynı olmadığı durumlarda kullanılır. Bu yöntemin kolaylıkla direkt programlamaya uygun olması gibi avantajının yanında dezavantajları da vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir (7, 12).

- Kontrol paneline ayrıca ihtiyaç duyulmaktadır.
- Kontrolü sağlayacak bir operatörün her an bulunması gereklidir.
- El ile gidilecek noktayı belirlemeden önce, yüksek doğrulukta bir güzergâh oluşturmada başarılı olunmayabilir.
- Programın yürütülmesinde güzergâh boyunca hız ihtiyacını belirlemek imkânsızdır.

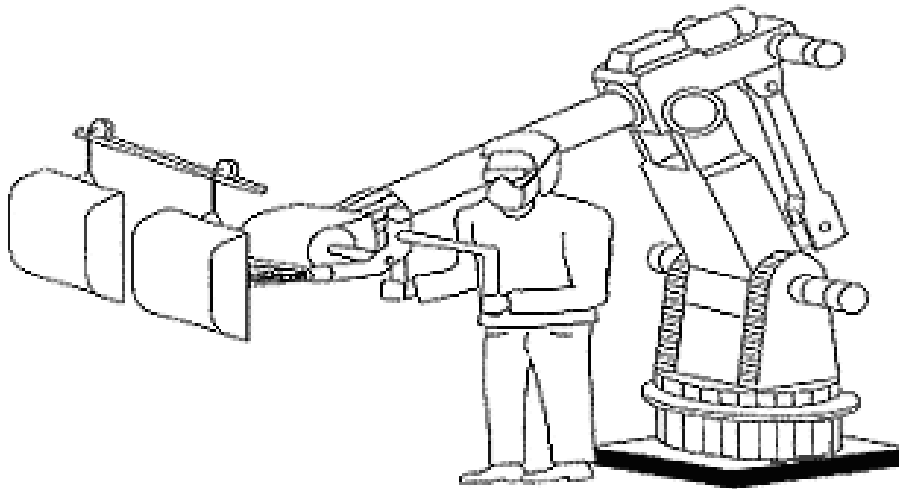
Aşağıda Şekil 3.25’de tüm yolu önceden belirleme veya öğretme yöntemi görülmektedir.



Şekil 3.25. Tüm yolu önceden belirleme veya öğretme yöntemi (11)

3.4.3. Göstererek programlama veya öğretme yöntemi

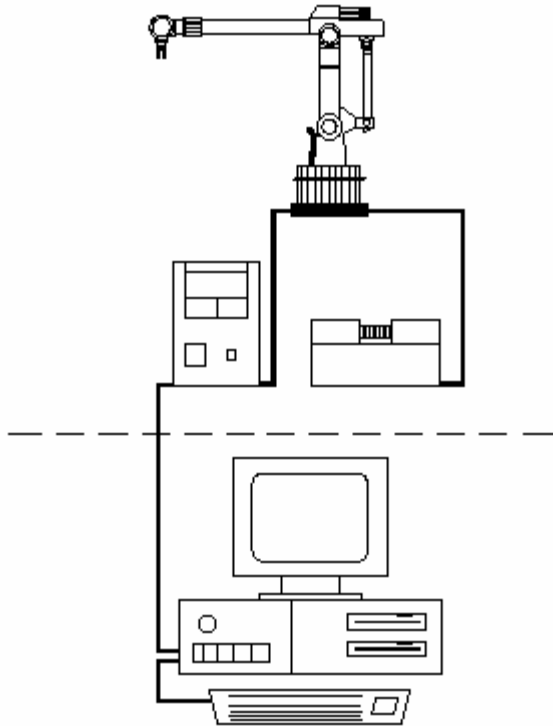
Bu yöntemde operatör ile robot temas halindedir. Operatör robotu bizzat kendisi yönlendirerek gerekli işlemi gerçekleştirir. Bu yöntem Şekil 3.26'da görülmektedir. Bu yöntemde de robota gösterilen noktalar ve hareket hafızaya kaydedilerek daha sonra robotun aynı hareketi yapması sağlana bilinir. Bu sistem boyama robotlarında kullanıla bilinir (7).



Şekil 3.26. Göstererek programlama veya öğretme yöntemi (11)

3.4.4. Yazılım ile programlama yöntemi

Bu yöntemde robota, gideceği noktalar, dönüşler, hız gibi bilgiler bir program aracılığıyla ile bildirilir. Bu programlar karmaşık ve çok yönlü olabilir. Ayrıca sensör bilgileri, şartlı durumlar (if-then yapısı gibi) ve dallanma içerebilirler. Programlama off-line veya on-line olabilir. Off-line terimi, fiziksel ekipmanlar olmadan bilgisayar ile robotun ve çalışma alanının programlanması anlamında kullanılır. Off-line programlarda program yazılır ve simulasyonda denenerek düzeltme veya iyileştirmeler yapılır. Bu yöntem ekonomik olarak çok avantajlıdır. On-line sistemde programları denemek, bileşenleri değiştirmek çok masraflı olmaktadır. Şekil 3.27’de bilgisayar ile programlamanın yapılıp robot sistemine aktarıldığı yazılım ile programlama görülmektedir (7, 8).

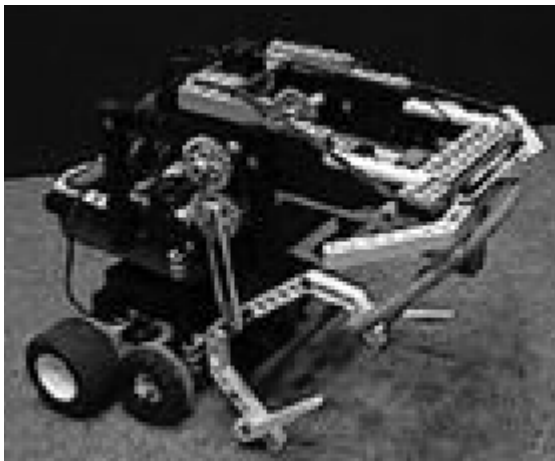


Şekil 3.27. Bilgisayar ile robot sisteminin programlanması (11)

Robot programlama dilleri kendi yapılarına uygun donanıma göre çeşitlilik göstermektedir. Stanford Üniversitesinin AL, Purdue Üniversitesinin PAL, SRI

International'ın RTL, Olivettinin SIGLA, Bendix'in TEACH, DEA'nın HELP ve PUMA robot serileri için Unimation Inc.'in 1979 yılında geliştirdiği VAL (Victor's Assembly Language) programı gibi programlar robot programlarına örnek verilebilir. VAL robot programlama dili geliştirilerek VAL-2 adını almıştır. Yine AML robot programlama dili, IBM tarafından IBM 7565 robotları için geliştirilmiş bir dildir. Fischertechnik firmasının ürettiği robot montaj setleri ile oluşturulacak robot sistemlerini programlamak için de LOGO robot programlama dili geliştirilmiştir. LOGO programı Fransa'nın Mans şehrinde bulunan LIUM üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. LOGO programının avantajı, kullanılması kolay ve robot ile bilgisayar iletişimi için gerekli arabirim ve yazılımın hazır olmasıdır (1, 7, 12).

Günümüzde sağladığı kolaylık bakımından Lego Mindstorms Robotic Inventions System adlı robot tasarım sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu set içinde 717 lego parçası, 2 motor, 2 dokunmatik duyarlı eleman, 1 ışık algılayıcı ve de kızılötesi verici vardır. Bu setteki parçalar lego adlı birbirine kolayca takılabilen parçalardan oluştuğu için robotun fiziksel yapımını oldukça kolaylaştırmaktadır (22). Resim 3.10'da lego sistemi ile yapılan bir robot görülmektedir.



Resim 3.10 Lego sistemi ile yapılmış bir robot (23)

Robot sistemine yönelik kendi robot programlarının yanında diğer programlarla da robot sistemleri kontrol edilebilir. Örneğin yapılan bu çalışmada tasarımı yapılan robot kol için kontrol devresi CCS adlı programda C dili kullanılarak yapılmıştır. Bunun gibi genel mikro kontrolcü programlama programlarıyla da robot sistemi kontrol edinilebilir.

3.5. Robotlarda Kullanılan Sensörler ve Sensör Karakteristikleri

Sensörler (algılayıcı), bir sinyale veya uyarıcıya belirli özelliklerde tepki veren elemanlar olarak tanımlanabilir. Sensörler elektriksel olmayan sinyalleri elektrik sinyaline dönüştürürler. Böylece dış dünyada elektriksel sinyal özelliği taşımayan ışık şiddeti, sıcaklık, yer değişimi, pH gibi fiziksel ve kimyasal birimler sensörler yardımıyla elektronik elemanların algılayabileceği duruma dönüştürülürler. Robotikte sensörler iç geri besleme kontrolü ve dış çevreyle etkileşim amacıyla kullanılırlar. Örneğin sabah uyandığımızda gözlerimizi daha açmadan bile uzuvlarımızın (kol, bacak, el vb.) nerede olduğunu biliriz. Bacağımızın eğri durduğunu, elimizin yanımızda olduğunu gözlerimizle incelemeyi biliriz. Çünkü kaslarımızın içindeki sinirler gerilmeyi, konumu beyne sinyaller göndererek bildirirler. Gönderilen sinyallerin değişimi ile beyin kasların durumundan haberdar olur. Robot sistemlerinde de potansiyometre, encoder, kuvvet sensörü gibi sensörlerle eklemlerin ve birleşme yerlerinin durumu hakkında kontrol ünitesi bilgi edinir. Böylece kontrol ünitesi eklemlerin hangi konum ve hızda olduğunu algılayabilir. İnsan ve hayvanlar koku, tat, dokunma, görme, duyma, konuşma gibi dış dünyayla iletişim sağlayacak algılara sahiptirler. Robotlarda sensörler yardımıyla insan ve hayvanlar gibi algılama yeteneğine sahip olurlar. Bu sensörler insan algılamasına yakın sonuçlar üretebilmektedir. Robot sensörleri, insan ve hayvanlardaki görme, dokunma, duyma gibi özellikleri sağladığı gibi insan ve hayvanlarda olan bazı algılamaları yapamazlar. Buna karşın örneğin insanlar radyoaktif algılama yapamazlar, fakat radyoaktif algılama yapan sensörler vardır. Bunun gibi insan ve hayvanların algılayamadıkları bazı durumları sensörler rahatlıkla algılayabilirler. Farklı olayların algılanmasında kullanılan birçok sensör tipi

mevcuttur. Bu bölümde sensörlerin genel karakteristikleri ve robotik alanında kullanılan sensörler incelenmiştir (7, 24).

3.5.1. Sensör karakteristikleri

İstenilen bir sistem için uygun özellikte sensörler seçilmelidir. Bu seçim içinde sensörlerin karakteristiklerini bilip, bu karakteristiklere göre tercih yapmak gereklidir. Çünkü göz önünde bulundurulacak karakteristikler, tasarlanacak sistemdeki performansı, ekonomikliğı, uygulana birliğı, kolay kullanımı gibi özellikleri belirleyecektir. Bu nedenle aşağıda incelenen sensör karakteristiklerine göre uygun sensör tercihi yapmak gereklidir.

Maliyet

Sensör maliyeti göz önünde bulundurulması gerekli önemli bir özelliktir. Özellikle bir makine için birçok sensör ihtiyacının olduğu durumlarda bu özellik öne çıkmaktadır. Tabi ki diğer karakteristikler göz önünde bulundurularak uygun maliyetli sensörler tercih edilmelidir (7).

Fiziki boyutlar

Kullanılacak sensörün fiziki boyutları tasarlanan robot sistemi için belki belli başlı ilk önemli kriterdir. Örneğin robot eklemine yer değıştirmesini ölçen sensörün eklem birleşme noktasına uygun olmalı ve robotla birlikte sorunsuzca hareket edebilmelidir. Büyük sensörler eklemlerin hareketini kısıtlayabilir.

Ağırlık

Robot sistemine eklenen her sensör robotun ataletini azaltır. Ayrıca eklenen sensör ağırlıklarından dolayı robotun kaldırabileceğı maksimum ağırlık düşer. Bu nedenlerden dolayı sensörlerin ağırlığı göz önüne alınmalıdır.

Çıkış sinyali tipi

Sensör çıkış sinyalleri analog ve dijital olabilir. Örneğin enkoder sensörlerinin çıkışları dijital iken, potansiyometre sensörlerinin çıkışları analogdur. Dijital çıkış veren sensörlerin çıkışları direkt mikrodenetleyiciye verilebilir. Fakat analog çıkışlı sensörlerin çıkış sinyallerinin dijitale dönüştürülmesi gerekliliği vardır. Bu noktalar göz önüne alınarak yapılacak projeye göre sensör seçilmelidir (7).

Çözünürlük

Çözünürlük sensörün algılayabileceği en küçük artış adımını belirtir. Örneğin tel sarımlı potansiyometrik sensörler için çözünürlük $0,5^0$ 'lık minimum açı diye söylene bilinir. Dijital çıkışlı sensörlerin çözünürlüğü ise veri kelimesindeki bitlerin sayısı ile söylenir. Örneğin 8, 16 bitlik çözünürlük gibi telaffuz edilir (24).

Giriş aralığı

Bir algılayıcının dönüştürülebileceği uyarıcının dinamik bir aralığı giriş değer aralığı (span) veya tam skala giriş olarak adlandırılır. Bu kabul edilmeyecek büyük hataya neden olmaksızın sensöre uygulanabilecek en yüksek olası giriş değerini temsil eder. Buna göre robot sistemindeki sensörlerin hangi aralıkta (range) algılama yapacağına göre sensör seçilmelidir (24).

Duyarlılık

Duyarlılık (sensitivity), giriş sinyalinde meydana gelen değişime bağlı olarak sensör çıkış sinyalinde meydana gelen değişimin oranı olarak tanımlanır. Yüksek duyarlıklı sensörler giriş sinyalindeki küçük değişimlerinde bile çıkışta yüksek değişimler meydana getirirler. Böylece incelenen durumun en küçük değişimleri bile algılanabilir (7).

Doğrusallık

Doğrusallık (Linearity), giriş değişimleri ile çıkış değişimleri arasındaki ilişkiyi belirtir. Yani girişin her seviyesindeki aynı değişimlerde çıkışta aynı değişimleri verme kabiliyetidir. Başka bir deyişle, giriş işaretindeki % olarak bağlı değişme, sensör çıkışında aynı miktarda değişme oluşturmaya doğrusallığı belirtir. Örneğin sıvı göstergeli bir termometrede her 1 $^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık artışında aynı ölçüde sıvı yükselmesi meydana gelmelidir. Sensör bu doğrusal değişime ne kadar yaklaşırsa o kadar doğrusaldır (7, 24, 25).

Aralık

Aralık (range), sensörün çıkışının minimum ve maksimum sınırlarının arasındaki farktır. Yani sensör çıkışındaki sinyalin olabilecek minimum ve maksimum uç noktaları belirler.

Frekans tepkisi

Frekans tepkisi (Frequency response), giriş uyarıcısındaki bir değişime sensörün ne kadar hızlı reaksiyon gösterebilme kabiliyetidir. Frekans tepkisi doğrudan hız tepkisi ile ilişkilidir. Bir sensörün frekans tepkisi ne kadar hızlı olursa, girişte meydana gelen hızlı ve ani değişimlere o kadar hassas olur ve tasarlanan robot sistemi tüm uygulama şartlarında o kadar güçlü olur. Aynı zamanda denilebilir ki, Eğer sensörün frekans cevabı giriş sinyalinin bant genişliğinden küçük ise giriş sinyalindeki bazı bilgiler algılanamaz. Tam tersi olarak da sensörün frekans cevabı giriş sinyalinin bant genişliğinden büyük ise bazı istenmeyen sinyallerde sisteme alakasız olarak dahil edilebilir (7, 24, 25).

Ölü bant

Ölü bant, giriş sinyallerinin belirli bir aralığında sensörün duyarsızlığıdır. Bu aralıkta bütün ölü bant bölgesi üzerinde çıkış belli bir değere yakın kalır (24).

Doğruluk

Doğruluk, sensör çıkışının istenilen değere yaklaşması olarak tanımlanabilir. Buna göre de sensörün hatası olarak ta belirtilebilir. Örneğin yer değişimini ölçen bir sensör 1mm'lik değişim için 3 mV'luk sinyal üretiyorsa, 5 mm'lik bir yer değişimi için 15 mV'luk bir sinyal üretmesi beklenir. Fakat sensör 5 mm'lik yer değişimine 16 mV'luk sinyal üretiyorsa 15mm aralıkta 1 mV hata var demektir. Beklenen çıkış değerinden 1mV'luk hata meydana gelmiştir (7, 24).

Güvenilirlik

Güvenirlilik (Reliability), belirlenen periyotta belirlenmiş şartlar altında sensörün istenilen çıkış fonksiyonunu icra edebilme kapasitesidir. Yani belirli bir zaman veya kullanma sayısı üzerinde arıza vermeksizin sensörün doğru çalışabilme ihtimalidir (24).

Tekrarlanabilirlik

Tekrarlanabilirlik (Repeatability), benzer şartlar ve giriş sinyali altında sensörün aynı çıkış değerini verebilme kabiliyetidir. Sensörlerin aynı şartlar altında hep aynı çıkışı üretmesi beklenir. Tekrarlanabilirlik çoğu durumda, doğruluktan daha önemli bir karakteristik özelliktir. Çünkü genelde doğruluk hatası sistematiktir ve ölçüle bilinir veya telafi edilebilir. Fakat tekrarlanabilirlik, genelde değişkendir ve telafi edilmesi kolay değildir (7).

3.5.2. Sensör çeşitleri

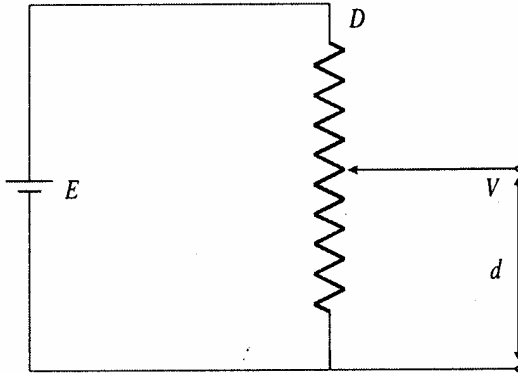
Aşağıda robotik, mekatronik ve otomasyon alanında kullanılan sensörler incelenmiştir. Tasarlanacak bir robot sisteminde uygulamaya yönelik sensör çeşidi ile sensör karakteristikleri bölümünde incelenen özellikler göz önünde bulundurularak tercih yapılır.

Pozisyon sensörleri

Cisimlerin pozisyon ve yer değişimlerinin ölçümü pozisyon sensörleri ile yapılır. Birçok durumda yer değişimi ile birlikte bu sensörlerle hız ölçümü de yapılabilir.

Potansiyometreler

Bir potansiyometre pozisyon bilgilerini direnç üzerinden alınan değişik voltajlarla ifade eder. Bu algılayıcının çalışma prensibi direnç değişimine dayanır. Potansiyometre gezici kolu giriş büyüklüğü ile hareket ettirilerek potansiyometre direncinin değimi sağlanır. Böylece çıkışta orantısal bir gerilim değişimi elde edilir. Şekil 3.28’de pozisyon sensörü olarak bir potansiyometre görülmektedir.

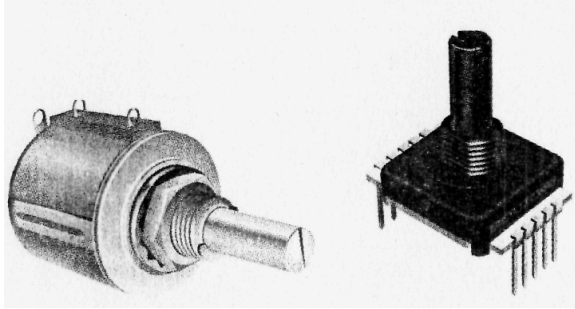


Şekil 3.28. Pozisyon sensörü olarak bir potansiyometre (24)

Potansiyometrik sensörü bir kaynakla beslemek gerekmektedir. Yer değişimini algılayan potansiyometreler doğrusal ve dairesel olabilir. Dönüştürücü potansiyometrelerin çok türlü olanları kullanıcıya hareketin çok iyi bir çözünürlükte algılanmasını sağlar. Potansiyometrelerde çıkış sinyali Eş. 3.2’de verilmiştir.

$$V_{out} = E \frac{d}{D} \quad [3.2]$$

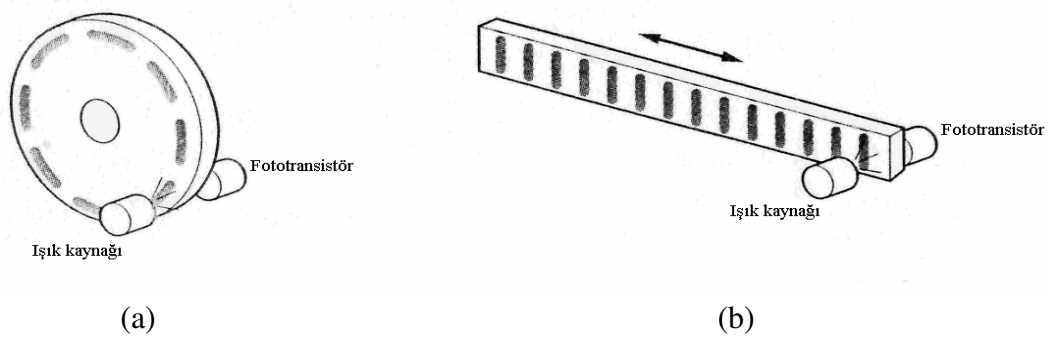
Potansiyometreler genelde, robotun eklem ve birleşme yerlerinin pozisyon durumunu ölçmek için kullanılır. Potansiyometreler tek başına veya diğer sensörlerle birlikte kullanılırlar. Örnek olarak enkoder verilebilir. Resim 3.11’de Bourns firmasının dairesel potansiyometreleri görülmektedir.



Resim 3.11. Bourns firmasının dairesel potansiyometreleri (7)

Enkoder sensörleri (Encoders)

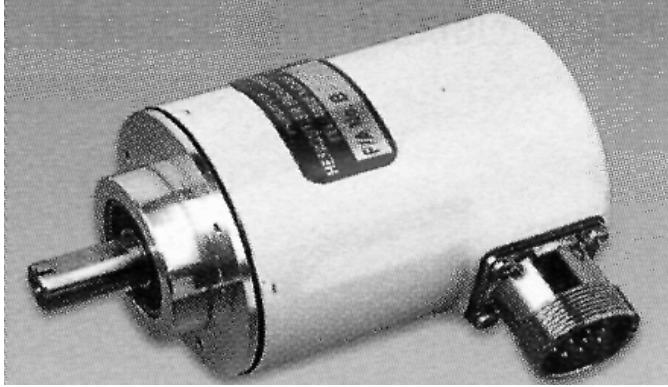
Enkoder hareketin her küçük bölümünü algılayıp dijital formatta çıkış sinyali olarak veren bir pozisyon sensör çeşididir. Enkoder sensörleri doğrusal hareket değişimi ile açisal dönüş değişimini algılayabilir. Yapısında bir ışık kaynağı ve fototransistör içerir. Yapısında bulunan daire veya düzgün şerit küçük bölümlere ayrılmıştır. Her bölüm kapalı veya açık olabilir. Şekil 3.29’da döner enkoder’in döner tekerlek ve düzgün şeritli içyapısı görülmektedir.



Şekil 3.29. Döner ve doğrusal enkoder iç yapıları (7)

- a) Dönüş artışlı enkoder tekerleği
- b) Çizgisel artışlı enkoder şeriti

Işık kaynağı bir LED olabilir. Işığı algılayan eleman olarak da fototransistör veya ışığa duyarlı başka eleman kullanılabilir. Hareket olduğunda tekerlek dönecek veya düzgün şerit yer değiştirecektir. Böylece fototransistör ışığı bir alacak, bir almayacaktır. Yani hareket esnasında on-off konumlarında olacaktır. Böylece enkoder devresi hareket esnasında kaç bölme algıladığını bilecek ve bu sonucu dijital olarak çıkışa aktaracaktır. Robot sistemlerinde bu dijital bilgi kontrol devresi tarafından yorumlanarak robota istenilen işlemler yaptırılabilir. Resim 3.12’de Hengstler firmasının ürünü olan programlanabilir enkoder elemanı görülmektedir (7).

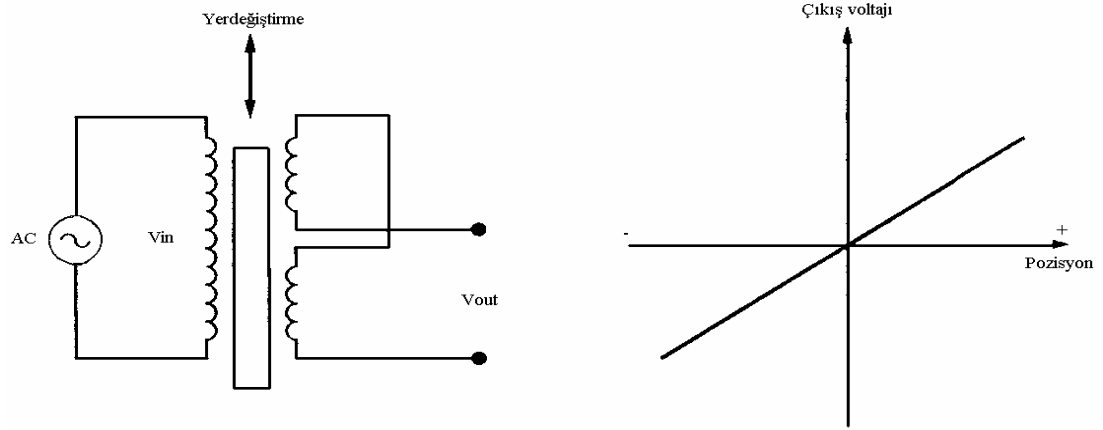


Resim 3.12. Hengstler firmasının programlanabilir enkoder elemanı (26)

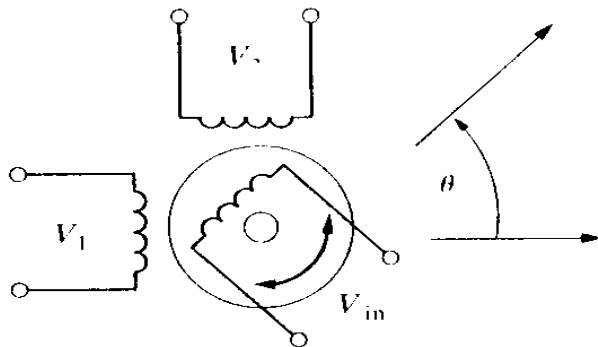
Doğrusal ve döner değişken yer değiştirme sensörleri (LVDT - RVDT)

Doğrusal değişken yer değiştirme dönüştürücüsü (Linear Variable Differential Transformers – LVDT), çekirdeği ölçülecek mesafe orantısında değişebilen ve bu ölçülen mesafeye göre çıkışındaki voltajı değiştirebilen bir transformatördür. Transformatör girişindeki sinyalin voltaj değerini arttırmak veya azaltmak suretiyle giriş sinyaliyle aynı formda çıkışına verir. Transformatörün sekonder ve primer bobinlerindeki sarım sayılarının oranı transformatörün giriş sinyali üzerindeki etkisini belirler. Primer sargıdaki elektrik sinyali bir akı meydana getirir. Bu akı iki bobinin sargı sayısı oranında sekonder sargıda voltaj meydana getirir. LVDT’de bir primer bobini ve iki tane sekonder sargısı vardır. Eğer iki bobin arasında (primer ve sekonder) demir çekirdek yok ise primer sargıda oluşan akı dağılır ve sekonderde meydana gelen indükleme az olur. Fakat iki bobin arasında demir çekirdek olursa

primerde meydana gelen akı toplanır ve sekonderde meydana gelen indüklemeye dolayısıyla voltaj artar. Araya konan bu demir çekirdeğin konumu iki bobin sargısı arasındaki akı kuplajını değiştirir. Bu demir çekirdeğin ucu yer değiştirme sistemine bağlandığında yer değiştirme kolayla ölçüle bilinir. Şekil 3.30'da LVDT'nin şematik gösterimi ile pozisyon değişimine göre meydana gelen çıkış voltajı eğrisi görülmektedir. LVDT'nin çalışma prensibine sahip döner değişken fark transformatörü (RVDT)'nün tek farkı döner demir çekirdek (Şekil 3.31) kullanmasıdır. Böylece RVDT genelde açısal yer değişiminin ölçümünde kullanılır (7, 24, 25).



Şekil 3.30. LVDT'nin şematik gösterimi ve pozisyon-çıkış voltajı eğrisi (7)



Şekil 3.31. RVDT'nin şematik gösterimi (7)

LVDT ve RVDT'nin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Küçük yerdeğişim miktarına büyük genlikli çıkış işaretleri verirler
- Lineerlikleri yüksektir.
- Çok az sürtünme direnci ile kontaklı bir aygıttır.
- Çıkış direnci çok küçüktür.

LVDT ve RVDT'nin avantajlarına karşın dezavantajları olarak şunları söyleyebiliriz.

- Biraz hacimlidirler.
- Magnetik çekirdek ağırdır.
- Manyetik çekirdeğin az da olsa sürtünmesinden dolayı kayıplar oluşur.

Hız ve ivme sensörleri

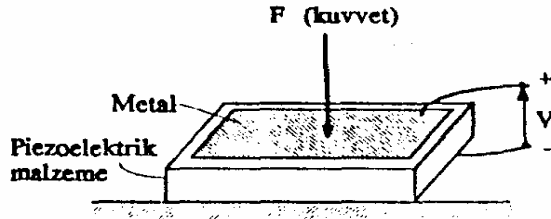
Hız bir cismin dinamik karakteristiğidir. Yer değişimi ile hız ve ivme uygulamaları birbirleriyle ilişkilidir. Hız yer değişiminin birinci türevi, ivme ise ikinci türevidir. Enkoder sensörlerini aynı zamanda hızı ölçmek için de kullanabiliriz. Yer değişim sensörleri ile elde edilen yer değişim sinyalini türev alıcı devre ile hız değişimi sinyaline çevirebiliriz. Az gürültülü ortamlarda ve 1KHz civarındaki uygulamalarda yer değişim sensörleri iyi sonuç verirler. Fakat gürültülü ve yüksek frekanslı devrelerde bu işlem iyi sonuç vermez. Bu nedenle hassas uygulamalarda özel elektromanyetik hız ve ivme algılayıcılar kullanılır (7, 24).

Kuvvet ve basınç sensörleri

Piezo-elektrik sensörü

Piezo-elektrik malzemelere kuvvet uygulandığında uygulanan kuvvet ölçüsünde üzerlerinde elektrik yükü meydana gelir. Şekil 3.32'de piezo-elektrik malzemeye kuvvet uygulanması görülmektedir. Bu prensibe göre çalışan piezo-elektrik

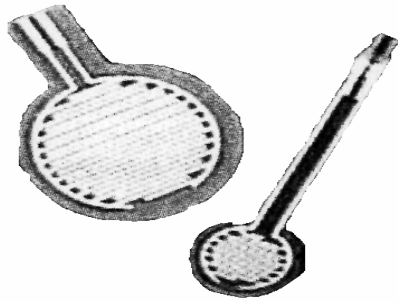
sensörlerinin analog çıkışları istenen formata getirilip (akım veya gerilim değişimi), yükseltildikten sonra robotik alanda kuvvet ve basınç ölçümü için kullanılır (24, 25).



Şekil 3.32. Piezo-elektrik malzemede kuvvetin gerilime dönüşmesi (25)

Kuvvete duyarlı direnç

Kuvvete duyarlı dirençler (Force Sensing Resistor-FSR), üzerlerine uygulanan kuvvetle ters orantılı olarak dirençleri değişen sensörlerdir. Örneğin kuvvetin 10 ile 10 000 gr arasında değişmesi durumunda FSR sensörlerinin direnci 500 K Ω 'dan 1K Ω kadar düşer. Resim 3.13'de tipik bir kuvvete duyarlı direnç elemanı görülmektedir.



Resim 3.13. Kuvvete duyarlı direnç elemanı (7)

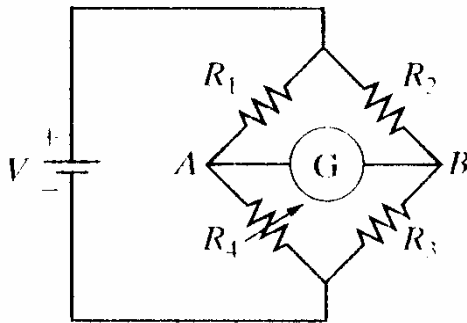
Gerinim ölçerler (Strain-Gage)

Gerinim ölçerler, uygulanan kuvvetin meydana getirdiği gerilime bağlı olarak direnci değişen bir sensördür. Robotlarda uç etkileyicilerinde (gripper), malzemeyi tutma kuvvetini ölçmede kullanılabilir. Gerinim ölçerler genelde wheatstone köprüsü

devresine bağlanarak kullanılırlar. Şekil 3.33’de wheatstone köprüsü görülmektedir. Wheatstone köprüsünde A ile B noktasında denge olduğunda iki nokta arasından akım akmaz. Eğer köprüdeki herhangi bir direncin değeri değişirse denge bozulur ve A ile B noktası arasından akım akmaya başlar. Köprüyü dengeye getirirken A ile B noktası arasından akan akım küçük akım ölçerler ile ölçülmelidir ve sıfıra ayarlanmalıdır. Wheatstone köprüsünün denge eşitliği Eş. 3.3’de verilmiştir (7, 25).

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad [3.3]$$

Yukarıdaki formülde R_1 gerinim ölçeri göstermektedir. Gerinim ölçerler sıcaklığa karşı duyarlı olduklarından ısı kararlılığı sağlamak için köprünün komşu kolunda da aynı ortamda bulunan fakat üzerinde gerilme meydana gelmeyen bir gerinim ölçer (dummy gage-sahte gerinim ölçer) kullanılmalıdır. Böylece gerinim ölçerlerin dirençleri sıcaklık ile aynı oranda değişeceğinden köprü devresinin dengesi sıcaklıktan dolayı bozulmayacaktır (25).

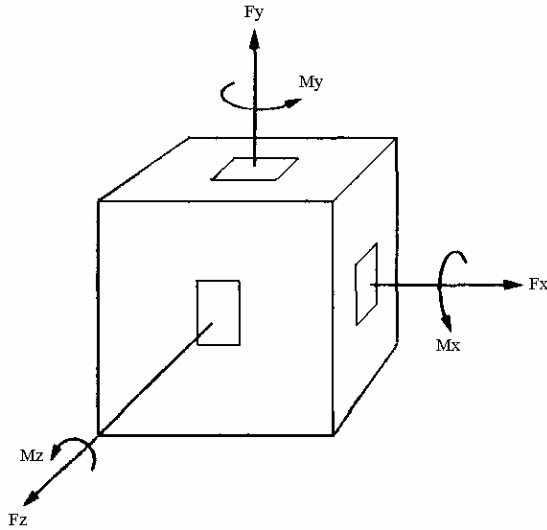


Şekil 3.33 Wheatstone köprüsü (7)

Dönme kuvveti (tork) sensörleri

Dönme kuvveti (tork) bir çift kuvvet sensörünün belli biçimde ölçüm yerine yerleştirilmesi ile ölçülebilir. İki kuvvet sensörü birbirine zıt yerde mile (şaft) yerleştirilir. Bir mile belli bir dönme kuvveti (tork) uygulandığında milin gövdesinde

birbirinin zıttı yönde iki kuvvet oluşur. Böylece bu kuvvetler ölçülerek uygulanan tork ölçülebilir. Farklı eksenlerdeki torku ölçmek için karşılıklı dikey üç çift kuvvet sensörü kullanılmalıdır. Şekil 3.34’de farklı üç eksenlerdeki torkun ölçülmesi için gerekli sensör düzenlemesi görülmektedir (7).



Şekil 3.34. Üç farklı eksenlerdeki torkun ölçülmesi için gerekli sensör düzenlemesi (7)

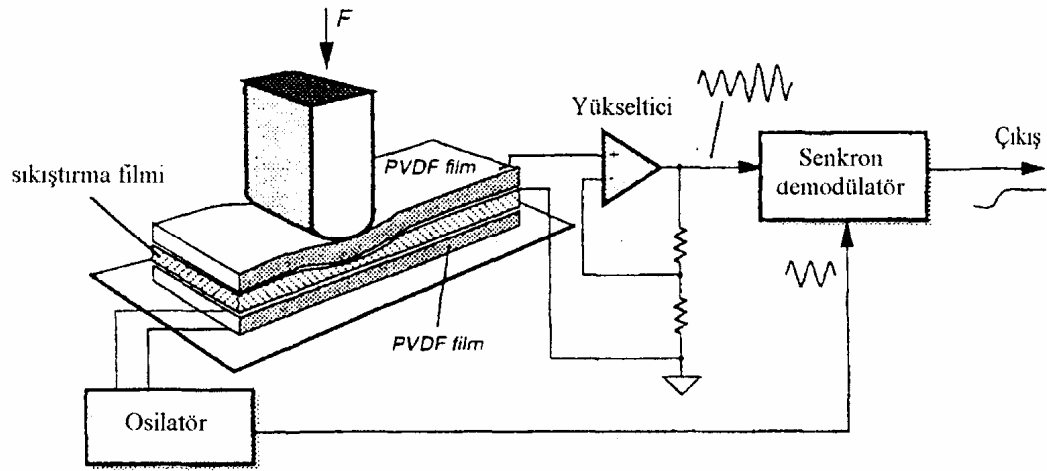
Işık ve kızılötesi sensörleri

Bu tip sensörler ışığın şiddetine göre çeşitli parametrelerini değiştiren elemanlardır. Örneğin foto dirençlerin (LDR) karanlıkta direnci artar, aydınlıkta ise direnci düşer. Foto transistorlerde ışık sensörü olarak kullanılabilir. Foto transistorler ışık altında on (iletim) konumundadır. Karanlıkta ise tam tersi off (kapalı) konumundadır. Kızılötesi ışık insan gözü tarafından algılanamaz. Uzak mesafelerdeki ışık ölçümüne dayanan uygulamalarda kızılötesi ışık kullanılır. Bunların algılanmasında ise kızılötesi ışık sensörleri kullanılır (7, 24).

Dokunma (tactile) sensörleri

Dokunma sensörleri, ince bir kalınlık ile karakterize edilen kuvvet veya basınç sensörlerinin özel bir sınıfıdır. Arasında boşluk olan iki folyo yapraktan meydana

gelen basit dokunma sensörlerin de, sensörün herhangi bir yerine kuvvet uygulandığında üst yaprak alt yaprağa temas ederek iletim sağlanır ve algılama yapılır. Gelişmiş iyi dokunma sensörleri ise modülasyonlu ve kendiliğinden üreten modlarda kullanılan polyvinylidene fluoride (PVDF) gibi piezo-elektrik tabakalar ile tasarlanabilmektedir. Şekil 3.35’de modülasyonlu piezo-elektrik dokunma algılayıcısı görülmektedir. Üst ve alt tabakalar PVDF malzeme olup ortadaki akustik kuplaj içindir. Alttaki tabaka osilatörden sağlanan AC gerilim ile sürülür. Bunun sonucunda tabaka yapısı gereği mekanik büzülmelere uğrar. Ortadaki kuplaj görevindeki tabaka bu büzülmeleri üst tabakaya iletir. Gelen titreşimlere maruz kalan üst tabaka alıcı gibidir. Üst tabaka uğradığı titreşimler sonucu AC gerilim üretir, bu gerilim yükseltilir ve demodülatör katına iletilir. Sensöre bir kuvvet uygulandığında üst tabakadan gelen sinyalin genliği ve fazı değişir. Sonuçta demodülatöre gelen sinyal değiştiğinden çıkış sinyalinde normale göre bir değişim meydana gelir. Böylece dokunma olayı ve dokunma şiddeti ölçüle bilinir (24).



Şekil 3.35 Modülasyonlu piezo-elektrik dokunma algılayıcısı (24)

Yakınlık sensörleri

Yakınlık sensörleri (proximity sensor), bir nesnenin diğer bir nesneye temas etmeden önce belli bir mesafede algılanmasını sağlarlar. Motor milinin dönme hızı, robotun

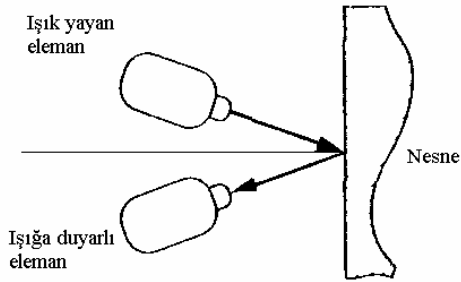
güzergâh tespiti gibi uygulamalarda kullanılır. Değişik tipte yakınlık sensörleri mevcuttur.

Manyetik yakınlık sensörler

Manyetik yakınlık sensörleri, manyetik alana yaklaştıklarında aktif olurlar. Motorun şasesine konan manyetik sensörler, bobinin her gelişinde aktif olurlar. Bu aktiflik sayısayıcı devreyle sayılarak motorun kaç tur attığı tespit edilebilir.

Optik yakınlık sensörler

Optik yakınlık sensörleri, bir ışık yayıcı eleman ve ışığa duyarlı elemanın birleşiminden oluşur. Genelde ışık yayan eleman bir LED, ışığa duyarlı eleman ise bir foto transistordür. Normalde herhangi bir cisim yokken ışık kaynağından gelen ışık ışığa duyarlı elemana ulaşmaz. Cisime yaklaşıldığında ise ışık cisme çarparak yansır ve ışığa duyarlı elemana gelir. Böylece algılama yapılmış olur. Şekil 3.36'da bu durum görülmektedir.

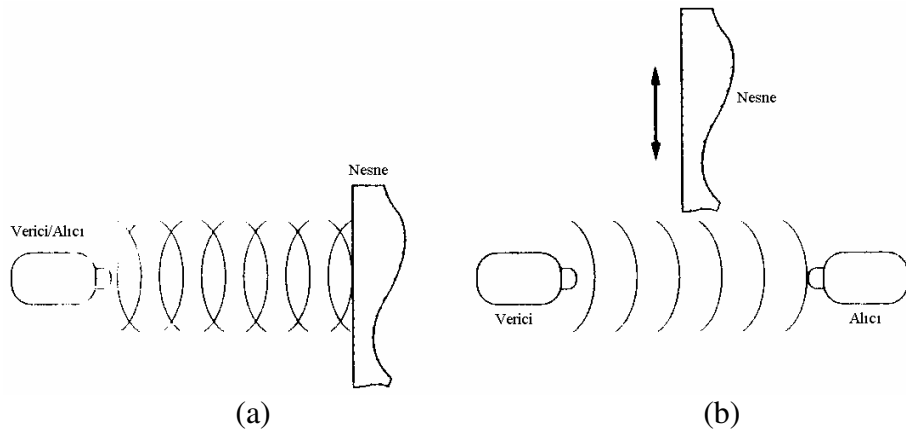


Şekil 3.36. Optik yakınlık sensörünün çalışma prensibi (7)

Ultrasonik yakınlık sensörler

Bu tip sensörler genelde 200 KHz civarındaki frekanstaki ses sinyallerini kullanırlar. Ses dalgasını yayan ve alan elemanları içerirler. Sensör ses dalgasını yaydıktan sonra bu ses dalgaları cisme çarparak yansır ve alıcıya ulaşır. Bu prensibe göre algılama

yapılır. Alıcı ve vericinin iki tip yerleştirilme biçimi vardır. Birinde alıcı ve verici aynı konumda bulunur (yankı-echo modu). Diğer yerleşim tarzında ise alıcı ve verici karşılıklı yerleştirilir (karşılıklı-opposed modu). Bu durumlar Şekil 3.37’de görülmektedir. Ses dalgalarını yansıtmayan kauçuk tip malzeme ve köpüklerde bu sensörler kullanılamazlar (7).



Şekil 3.37. Ultrasonik yakınlık sensörleri yerleştirme modları (7)

- a) Yankı modu
- b) Karşılıklı mod

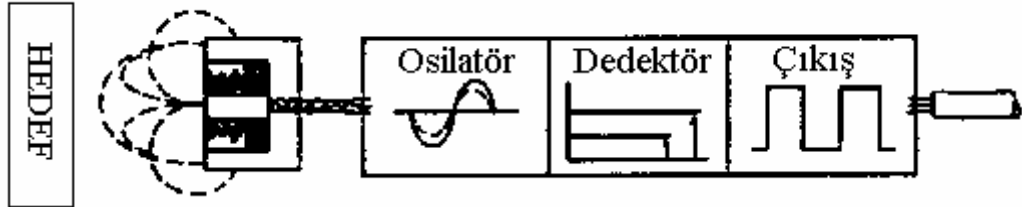
Kapasitif yakınlık sensörler

Kapasitif sensörler dielektrik sabiti 1,2 den büyük olan nesneler için kullanılabilir. Kapasitif sensörlerin yapısında yalıtkan iki plakadan biri sensör içindedir. Diğer yalıtkan levhayı ise hedef nesne oluşturur. Sensör nesneye yaklaştığında toplam kapasite artar. Bu artışa göre algılama yapılır. Algılamanın yapılması için nesnelerin metal olmaması gereklidir (24).

İndüktif yakınlık sensörler

İndüktif yakınlık sensörleride kapasitif sensörlerin aksine metal nesneleri algılamada kullanılırlar. Bu tip sensörler Ferit çekirdek ve osilatör içeren bir bobinden oluşur. Demir nesne sensöre yaklaştığında osilatörün meydana getirdiği kazanç azalır. Bu

değişime göre algılama yapılır. Şekil 3.38’de indüktif sensörün çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 3.38. İndüktif sensörün çalışma prensibi (27)

Uzaklık ölçen sensörler

Uzaklık ölçen sensörler (Range finder), yakınlık sensörlerinden farklı olarak uzak mesafeleri ölçerler, engelleri algırlarlar, nesnenin yüzeyini belirlemek amacıyla kullanılırlar. Genelde ultrasonik dalga yayıcı eleman ve algılayıcı elemandan oluşur. Vericiden ultrasonik dalga nesneye yansıtılır ve alıcı tarafından bu dalga alınır. Sensör dalganın mesafesini ve geniş açısını algılayabilir. Resim 3.14’de ultrasonik bir uzaklık sensörü görülmektedir (7).

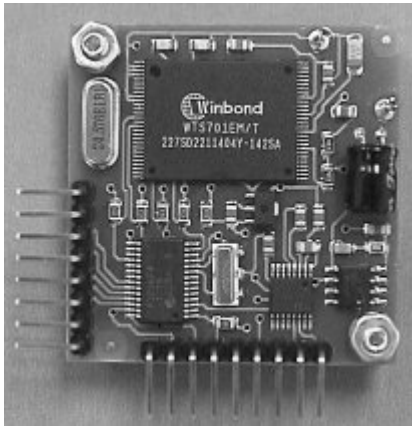


Resim 3.14. Ultrasonik uzaklık sensörü (28)

Ses tanıma ve ses sentezleyicileri sensörleri

Tüm sinyaller, farklı frekans ve genlikteki sinüs ve kosinüs bileşenlerine ayrılabilir. Konuşma frekansındaki sinyallerde kendini oluşturan farklı değerlikteki bileşenlerine

ayrılabilir. Ses tanıma sensörleri de gelen ses sinyallerini ayrıştırarak hafızasındaki bilgilerle eşleştirme yapar ve gelen ses sinyalinin hangi kelimeye eş olduğunu bulur. Bu işlem için cihaza önceden kelimelerin frekans karşılıkları kaydedilmelidir. Piyasada çeşitli ses tanıma sensörleri bulunmaktadır. Bu sensörler sadece hafızasındaki belli kelimeleri tanırlar. Bu sensörlerin dezavantajı ortam gürültüsünden etkilenmeleridir. Aynı sensör grubuna giren bir sensör çeşidi de hafızasındaki kelimelerin frekans karşılıklarını istenildiği durumlarda dışındaki bir hoparlöre veren tiptir. Böylece istenildiği durumlarda sistemin sesli mesaj vermesi sağlana bilinir. Resim 3.15’de hafızasına kayıtlı kelimeleri (frekansları) sese dönüştüren bir sensör görülmektedir.



Resim 3.15 Hafızasındaki kelimeleri ses frekansına dönüştüren sensör (28)

4. ROBOT KOLU TASARIMI VE UYGULAMASI

Bu bölümde renge göre (Kırmızı, Yeşil, Mavi) malzeme taşıyan robot kolunun tasarım aşamaları tek tek incelenmiştir. Tasarım aşamaları anlatılırken ayrıca robot kolunun uygulama kısmı da anlatılmıştır. Robot kolunun mekanik kısmında kullanılan tüm parçaların resimleri çekilmiş ve anlatımda bu resimler kullanılarak, yapılan uygulamaya benzer çalışmaların yapımında ve/veya ileride daha gelişmiş uygulamaların tasarlanmasında araştırmacılara referans olmak istenmiştir.

4.1. Tasarımda Kullanılan Malzemelere Genel Bakış

Robot kolunun tasarımına geçilmeden önce kullanılacak malzemeler ve özellikleri belirlenmiştir. Robot kolu iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; mekanik kısım ve elektronik kısımdır. Mekanik kısımlar için, hafif, dayanıklı ve işlenmesi kolay bir metal olan alüminyum kullanılmıştır. Robot kolunun tüm mekanik kısımları alüminyumdan yapılmıştır. Sadece motor bağlantı noktalarında kaynak yapmaya uygun olduğundan dolayı demir sac kullanılmıştır. Robot sistemlerinde, hafiflik ve uygulamaya göre değişen dayanıklılık önem arz etmektedir. Yapılan uygulamada gerekli hafiflik ve dayanıklılık için 3 mm'lik alüminyum kullanılmıştır. Mekanik kısımda yataydaki dönmeyi düzgün sağlamak için ise konik rulmandan faydalanılmıştır.

Mekanik kısmın hareketini sağlamak için R/C tipi servo motorlardan yararlanılmıştır. Bu tip motorların tercih edilmesinin sebebi küçük boyutlarına rağmen yüksek tork sağlamaları ve dönme bilgilerinin PWM (Puls Width Modulation – Pals Genişlik Modülasyonu) sinyalleri ile kolayca kontrol edilebilmesindendir. Ayrıca R/C tipi servo motorlar 4,8 – 6 Volt arasındaki gerilim değerlerinde çalıştığından ayrı bir yüksek gerilimli beslemeye ihtiyaç duymamaktadır. Motorların seçiminde Hitec firmasının servo motorları tercih edilmiştir. Hitec marka motorların tercih edilmesinin nedeni, Türkiye’de bu markanın çok çeşitli ürünlerinin diğer markalara oranla daha rahat temin edilebilmesidir.

Kontrol devreleri tek katlı bakır plaket üzerine yapılmıştır. Kontrol işlemi için Microchip firmasının PIC16F628 ve PIC16F876 mikrodenetleyicileri kullanılmıştır. Bahsedilen bu iki mikrodenetleyici gerekli olan birçok fonksiyonu içinde barındırdığından dolayı tercih edilmiştir. Gerekli işlemlerin görüntülenmesi için görüntü birimi olarak 16 satır ve 2 sütunluk LCD ekran seçilmiştir. Robot kolundaki motorlar ile renk sensörü ve kontrol devrelerinin iletişimi saç kablolar vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Motorlar ve renk sensörünün kontrol kutusuna bağlantısı için paralel port yakından faydalanılmıştır. Renk sensörü için, standart özellikte LDR ve yüksek ışık veren LED'ler (Light Emitting Diode) kullanılmıştır.

Tasarımı yapılan robot kolu için uygulama platformu ahşap malzemelerden, platformun taban kısmı medefeden, uygulamada taşınacak malzemeler ve malzemelerin bırakıldığı kutular ise tahtadan uygun ölçülerde kesilerek elde edilmiştir. Tüm ahşap malzemeler mat ahşap boyası ile uygun renklerde boyanmıştır.

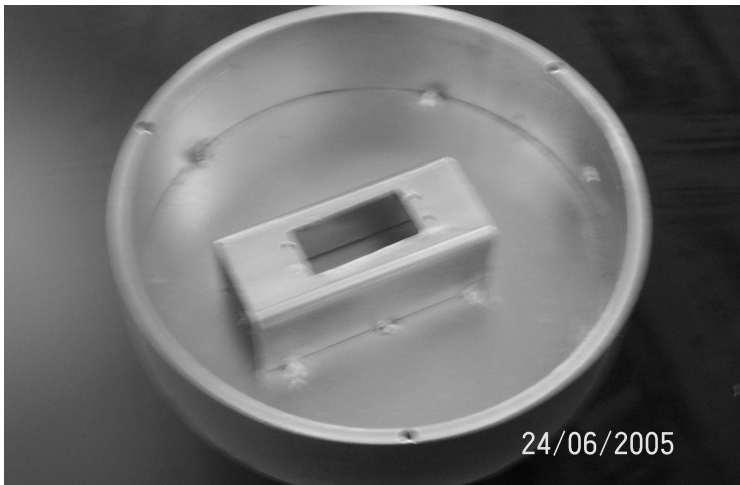
4.2. Robot Kolunun Mekanik Sistemi

Robot kolunun hassas taşıma yapabilmesi için, serbestlik derecesinin taşıma amacına ve yerine göre uygun olması gereklidir. Çalışmanın başında ilk önce robot kolunun istenen malzeme taşımalarını düzgün yapabilmesi için, kaç serbestlik derecesine sahip olması gerekliliği ve manipülatör (mekanik gövde) yapısının nasıl olacağı belirlenmiştir. Robot kolunun manipülatör sınıflandırması bakımından eklemli bir mekanik yapıya sahip olması düşünülmüş ve mekanik tasarım buna göre gerçekleştirilmiştir. Robot kolunun gerekli hareketleri sağlaması için, 5 serbestlik derecesine (5-DOF) sahip olacak şekilde mekanik tasarım yapılmıştır.

Mekanik kısım için Bölüm 4.1'de belirtildiği gibi hafif, dayanıklı ve işlenmesi kolay olduğundan dolayı alüminyum malzeme kullanılmıştır. Robot kolunun tüm mekanik kısımları 3 mm'lik alüminyum tabakadan tesviye işlemleri ile elde edilmiştir.

4.2.1. Robot kolunun taban bölümü

Robot kolunun taban bölümü çapı 18 cm ve yüksekliği 5 cm olan silindir şeklinde, silindirin taban ve üst kapakları ise çapı 18 cm ve kalınlığı 3 cm olan daire olarak tasarlanmıştır. Silindirin içine üst kapağı çeviren motor için montaj yuvası kaynatılmıştır. Resim 4.1’de robot kolunun tabanı ve iç kısmı görülmektedir.



Resim 4.1. Robot kolunun tabanı ve iç kısmı

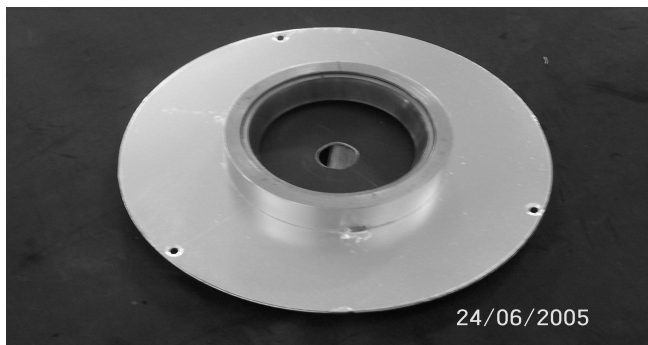
Robot kolunun sağa-sola hareketlerinin verimli ve en az sürtünmeye sahip olması için dönme hareket sisteminin bu kısıtlara göre olması gereklidir. Bu nedenle robot kolunun dönme sistemi için rulmandan (yatak) faydalanılmıştır. Muyluları (Milin yatak içerisinde kalan kısmına muylu denir.) destekleyen ve dönebilmelerini sağlayan makine elemanlarına yatak (rulman) denir. Rulmanlar yapılarına ve çalışma koşullarına göre aşağıda verildiği gibi sınıflandırılabilir (29).

- Kayma Dirençli Yataklar
 - Enine çalışan yataklar
 - Boyuna çalışan yataklar
- Yuvarlama Dirençli Yataklar
 - Bilyeli Yataklar
 - Bilyeli radyal yataklar

- Bilyeli aksiyal yataklar
- Bilyeli radyal ve aksiyal yataklar
- Makaralı Yataklar
 - Silindir makaralı yataklar
 - Fıçı makaralı yataklar
 - Konik makaralı yataklar

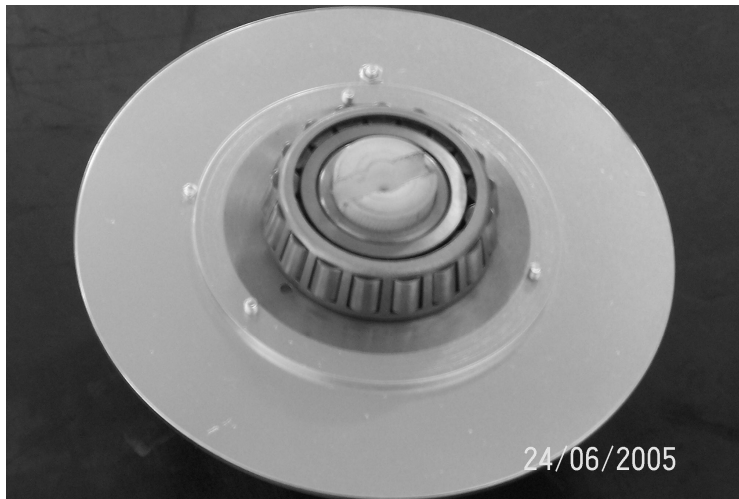
Tasarımda kullanılan rulman, yuvarlama dirençli tip yatak kategorisinden, makaralı yataklardan konik tip bir rulmandır. Makaralı tip rulmanlardan konik tip rulmanın tercih edilmesinin nedeni, silindir ve fırçalı tip rulmana göre konik rulmanın yapılan tasarım için daha uygun olmasıdır. Konik rulmanlar, makaralarla bileziklerin değme yüzeyleri konik olduğundan aynı anda radyal ve aksiyal yöndeki kuvvetleri taşımaya elverişlidirler (29). Böylece robot kolu hareket ederken hem dönüş işlemi kolay ve sürtünmesi az olacak, hem de sağa ve sola hareketlerde oluşan kuvvetleri de rulman taşıyacaktır. Bu sebeple tabandaki motor az bir kuvvetle tüm sistemi kolayca döndürmüş olacaktır.

Robot kolunun taban silindirinin üst kapağının üstüne konik rulmanın dış bileziğini içine alacak daire kaynatılarak monte edilmiştir. Üst kapağın tam merkez noktası robot mili için delinmiştir (Resim 4.2). Normalde tahrik elemanı olarak kullanılan servo motorun mili tasarlanan bu sisteme göre kısa kalmaktadır. Bu nedenle tesviye atölyesinde servo motorun miline uygun olarak plastik bir parçanın işlenmesiyle ek bir mil yuvası yapılmıştır.



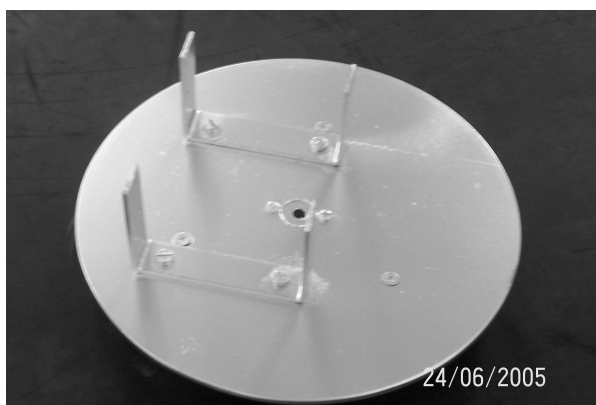
Resim 4.2. Taban sisteminin üst kapak görüntüsü

Üst kapağa yerleştirilecek rulman üzerine yine 18 cm çaplı bir daire parçası konulmuştur. Böylece rulman sistemi yerleşimi yapılmış olmaktadır. Resim 4.3’de kullanılan rulman sistemi ve yapılan plastik mil yuvası görülmektedir.



Resim 4.3. Robot kolunun rulman sistemi

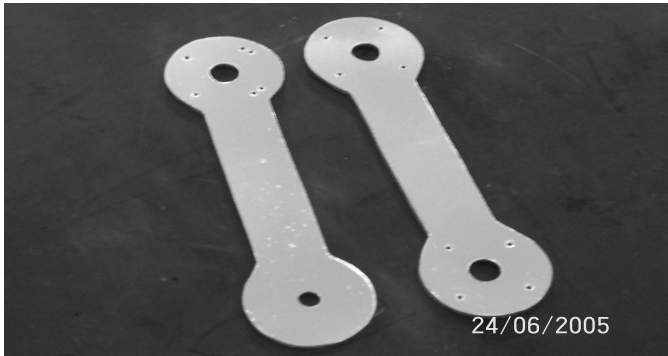
Resim 4.3’de görülen dairenin üst kısmına ise robot kolunun omuz motorlarının montajının yapılacağı iki tane “U” parça monte edilmiştir. Resim 4.4’de bu “U” parçalar görülmektedir.



Resim 4.4. Omuz motorlarının montajında kullanılan U parçaları

4.2.2. Robot kolunun omuz bölümü

Robot kolunun omuz bölümü için Resim 4.4’de görüldüğü gibi iki adet U bağlantı parçası kullanılmıştır. Omuz bölümü için iki adet motor kullanılmasının nedeni, sistemdeki tüm yükün omuz kısmına gelmesinden dolayıdır. Kullanılan tek bir motor bu kuvveti kaldırmaya yetmediğinden iki motor senkronize olarak çalıştırılmıştır. Omuz için karşılıklı iki adet 18 cm uzunluğunda parça kesilmiştir. Bu parçanın uçları 2,3 cm çapında daireden oluşmaktadır. Dairelerin arasında kalan kısım ise 2,7 cm genişliğinde bir dikdörtgendendir. Omuz motorlarının omuz bölümüne sağlam tutunabilmesi için motor mil pervanesi daire olarak seçilmiştir. Bu nedenle omuz parçalarının ucu pervaneye uygun olacak şekilde daire olarak tasarlanmıştır. El tesviyeciliği ile omuz parçaları elde edilmiştir. Resim 4.5’de omuz bölümü için kullanılan parçalar görülmektedir.



Resim 4.5. Omuz bölümünde kullanılan parçalar

4.2.3. Robot kolunun kol bölümü

Kol bölümünün boyu 16,5 cm, eni ise 3 cm olarak tasarlanmıştır. Kol bölümü iki ucuna da motor monte edilebilecek şekildedir. Motorlar kol bölümüne sıkıştırma tekniği ile monte edilmiştir. Resim 4.6’da kol kısmı görülmektedir. Resim 4.7’de de motorların kol parçasının uçlarına montajını sağlayan sıkıştırma parçaları görülmektedir.



Resim 4.6. Robotun kol bölümü



Resim 4.7. Kol bölümünde motorları sıkıştırmak için kullanılan parçalar

4.2.4. Robot kolunun bilek bölümü

Bilek bölümü için kullanılan motor, kol kısmının sonunda yer alır. Robotun bilek kısmı için kol bölümüne, “U” şeklinde ve solda gripper motorunun montajına uygun yer sağlayan çıkıntıya sahip olan bir parça eklenir. Resim 4.8-a ve b’de anlatılan bilek kısmının farklı yönden görünümü verilmiştir.

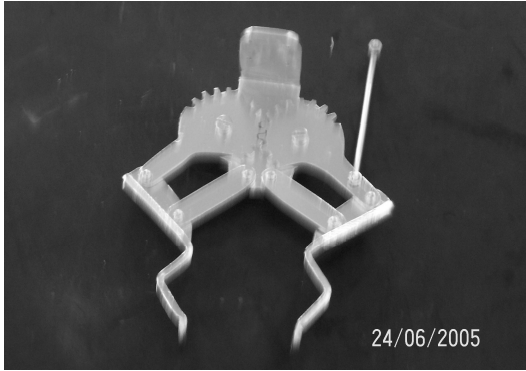


Resim 4.8. Robot kolunun bilek kısmını oluşturan parça

4.2.5. Robot kolunun uç etkileyici bölümü

Robot kolunun bilek kısmının sol tarafındaki parçasına robotun uç etkileyici (gripper–end effector) motoru montaj edilmiştir. Robotun uç etkileyici kısmı için Bölüm 3.2.1’de anlatılan çeneli tip kavrayıcı tasarlanmıştır. Uç etkileyici bilek kısmına dört adet vida ile bağlanmıştır. Uç etkileyici iki adet dişli vasıtası ile açma ve kapama işlemini gerçekleştirebilmektedir. Açma ve kapama işlemini bilek

kısmına monte edilmiş uç etkileyici motoru sağlamaktadır. Uç etkileyici motoru ile dişlilerin dönmesini sağlamak için motorun miline bağlı 7,5 cm uzunluğunda 4 mm çapında silindirik bir tel kullanılmıştır. Resim 4.9’da uç etkileyicisinin ön kısmı, Resim 4.10’da ise arka kısmı görülmektedir. Uç etkileyicisinin dişli kısmı ise Resim 4.11’de daha yakın olarak ayrıntılı görülmektedir.



Resim 4.9. Uç etkileyicisinin ön kısmı



Resim 4.10. Uç etkileyicisinin arka kısmı



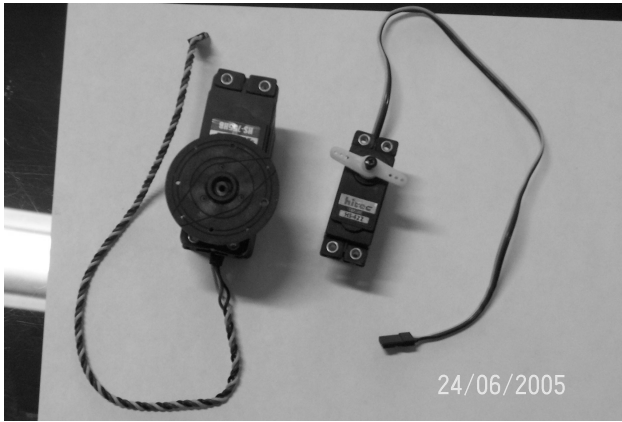
Resim 4.11. Uç etkileyicisinin dişli kısmı

4.3. Robot Kolunun Tahrik Elemanları ve Montajı

Yapılan çalışmada robot kolu için toplam 6 adet R/C tipi servo motor kullanılmıştır. Kullanılan servo motorlar, normal servo motorlardan farklı olarak genelde hobi amaçlı kullanılan bir servo tipidir. Bu tip servo motorlara R/C tip servo motor

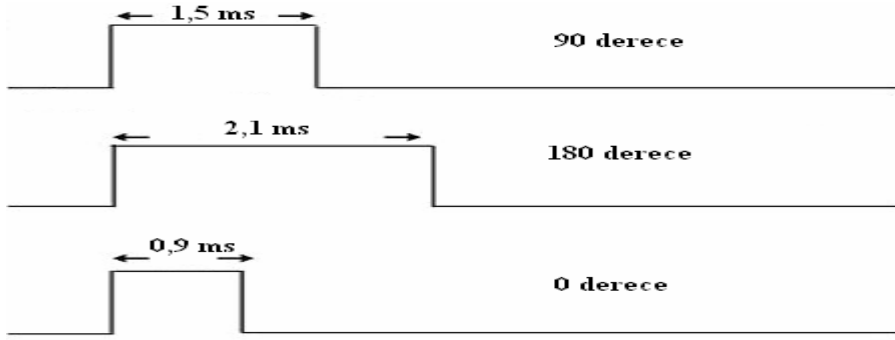
denmesinin nedeni genelde radyo frekansı ile uzaktan kontrol edilerek hobi amaçlı araba, uçak, helikopter vb. yapımlarında kullanılmasıdır. R/C kısaltması Radio Controlled kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmiştir (30).

R/C tipi servo motorlar PWM (Puls Genişlik Modülasyonu-Pulse Width Modulation) sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Servo motorlar derece esasına göre dönerler. PWM sinyallerini yorumlayarak gerekli dönme derecelerini hesaplar ve o değer ölçüsünde dönüş yaparlar. Kontrol sinyali aynı kaldığı müddetçe konumlarını korurlar. R/C servo motorlar 0^0 ile 180^0 arasında dönme gerçekleştirirler. Bu dönme dereceleri PWM sinyalinin görev saykılının genişliğine göre değişir. Dönmenin gerçekleşmesi için PWM sinyalinin frekansı 50 Hz olmalıdır. Besleme gerilimleri ise DC 4,8 V ile 6 V arasında olmalıdır. Resim 4.12’de robot kolunda kullanılan iki farklı servo motor modeli görülmektedir (31, 32).



Resim 4.12. Robot kolu tasarımında kullanılan iki farklı servo motor

R/C servo motorların kontrol sinyalinin periyodu 20 ms olmalıdır. 0^0 ile 180^0 arasındaki dönüş dereceleri ise PWM sinyalinin görev saykılının (duty cycle) yaklaşık 0,9 ms ile 2,1 ms arasında değiştirilmesi suretiyle elde edilir. Şekil 4.1’de temel açılarının elde edilmesi için gerekli kontrol sinyalleri görülmektedir (31).

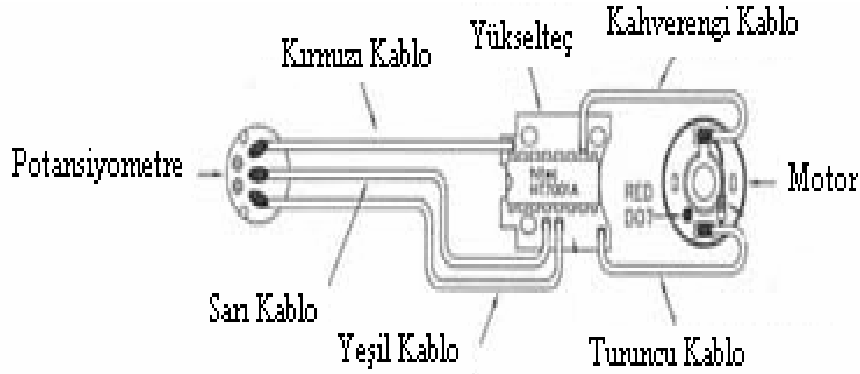


Şekil 4.1. R/C servo motorun temel dönüş açıları için gerekli kontrol sinyalleri (33)

R/C servo motorun içyapısı, bir DC motor, bir potansiyometre, bir yükselteç devresi ve dişli çarklardan oluşmaktadır (Resim 4.13). Şekil 4.2’de servo motorun elektronik kısmı görülmektedir. Servo motora bir kontrol sinyali geldiğinde motor istenen pozisyon ile mevcut pozisyonunu karşılaştırır. Eğer istenen pozisyon mevcut pozisyondan küçük ise servo motor mili sola döner. Eğer istenen pozisyon mevcut pozisyondan büyük ise servo motor mili sağa döner (32).



Resim 4.13. R/C Servo motorun iç kısmı (34)



Şekil 4.2. R/C Servo motorun elektronik kısmı (33)

4.3.1. Motor seçimi

Uygulaması yapılan robot kolunda Bölüm 4.1’de belirtildiği gibi Hitec firmasının R/C servo motorları kullanılmıştır. Robot sisteminin değişik noktalarına binen yük miktarı farklıdır. Bu nedenler yapılan robot kolunda üç değişik özellikte motor kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de robot sisteminde kullanılan parçaların ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Robot sisteminde kullanılan parçaların ağırlıkları

Robot Sisteminin Parça Ağırlıkları	
Uç Etkileyici	80 gr.
Kol Kısım	95 gr.
Büyük Motor (Saç, vidalar, bilezik dahil)	115 gr.
Küçük Motor (Saç, vidalar, bilezik dahil)	55 gr.
Omuz Bölümü Parçası 1	45 gr.
Omuz Bölümü Parçası 2	45 gr.
Küçük U Parçası	10 gr.
Bilek Parçası	35 gr.
Tabanın Üst Parçası (Rulman dahil)	890 gr.
Tabanın Üst Kapağı (Rulman yuvası dahil)	920 gr.
Tabanın Alt Kısım	1.650 kg.
Büyük Motor Pervanesi (1 adet)	5 gr.
Küçük Motor Pervanesi (1 adet)	2 gr.
Küçük Saç Parçası	10 gr.
Kullanılan Vidalar	20 gr.

Kuvvet hesabı yapıldıktan sonra kullanılan motorlar seçilmiştir. Robot kolunda kullanılan motorların yerleri ve modelleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Robot kolunda kullanılan motorların yerleri ve modelleri

Motor Yeri	Üretici Firma	Modeli
Taban Dönme Motoru	HITEC	HS-322HD
Omuz Motorları	HITEC	HS-755HB
Kol Motoru	HITEC	HS-755HB
Bilek Motoru	HITEC	HS-322HD
Uç Etkileyici Motoru	HITEC	HS-422

Kuvvet hesabı için Eş. 4.1’de görülen formülden yararlanılmıştır. Parça uzunlukları ile Çizelge 4.1’de verilen parça ağırlıkları çarpılarak noktaya uygulanan kuvvet hesaplanmıştır. Eş. 4.2’de omuz motorlarına düşen kuvvet, Eş. 4.3’de kol motoruna düşen kuvvet, Eş. 4.4’de bilek motoruna düşen kuvvet miktarı görülmektedir.

$$F = ağırlık \times uzunluk \quad [4.1]$$

$$F_{omuz} = 551,5 \text{ gr} \times 41,5 \text{ cm} = 22,887 \text{ kg.cm} \quad [4.2]$$

$$F_{kol} = 321,5 \text{ gr} \times 26,5 \text{ cm} = 8,520 \text{ kg.cm} \quad [4.3]$$

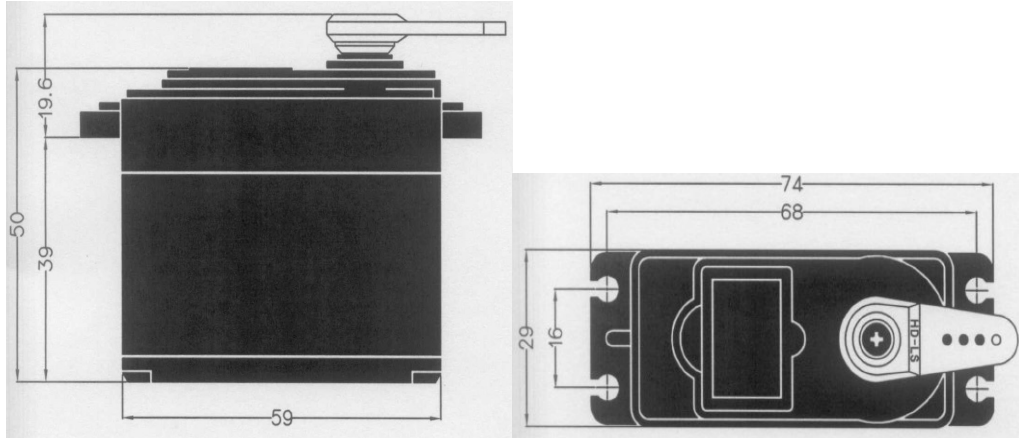
$$F_{bilek} = 166,5 \text{ gr} \times 17,5 \text{ cm} = 2,914 \text{ kg.cm} \quad [4.4]$$

Çizelge 4.2’de belirtilen motor yerlerinden omuz kısmı hariç diğer yerlerde bir adet motor kullanılmıştır. Omuz kısmına fazla yük bindiğinden dolayı omuz kısmında birbirleri ile senkronize çalışan iki adet motor kullanılmıştır. Böylece omuz kısmında kullanılan motorun kaldırabileceği yük iki katına çıkmıştır. Tüm motorlar genel yapı itibarıyla birbirine benzese de kaldırabildiği kuvvet, çalışma hızı, dişli yapısı ve boyut özellikleri bakımından motorlar arasında bazı farklılıklar vardır.

HS-755HB motoru için gerekli teknik bilgiler Çizelge 4.3’de verilmiştir. HS-755HB motorunun boyutları (mm cinsinden) ve şekli ise Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.3. HS-755HB motorunun teknik özellikleri (35)

Kontrol Sistemi	PWM
Çalışma Voltajı Aralığı	4.8V - 6 V
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-20 dereceden 60 derece kadar
Çalışma Hızı (4.8V) (Yük yokken)	0.28 sn/60 derece
Çalışma Hızı (6V) (Yük yokken)	0.23 sn/60 derece
Çalışırken Kaldırabileceği Ağırlık (4.8V)	11 kg.cm
Çalışırken Kaldırabileceği Ağırlık (6V)	13.2 kg.cm
Bekleme Anında Kaldırabileceği Yük (4.8V)	8.8 kg.cm
Bekleme Anında Kaldırabileceği Yük (6V)	10.5 kg.cm
Boştayken Çekilen Akım	8 mA
Çalışma Anında Çekilen Akım (4.8V)	230 mA/60 derece
Çalışma Anında Çekilen Akım (6V)	250 mA/60 derece
Motor Durma Anında Çekilen Akım (4.8V)	1500 mA
Motor Durma Anında Çekilen Akım (6V)	1800 mA
Yükselteç Tipi	Analog
Dişli Yapısı	Karbon
Motor Ağırlığı	110 gr.

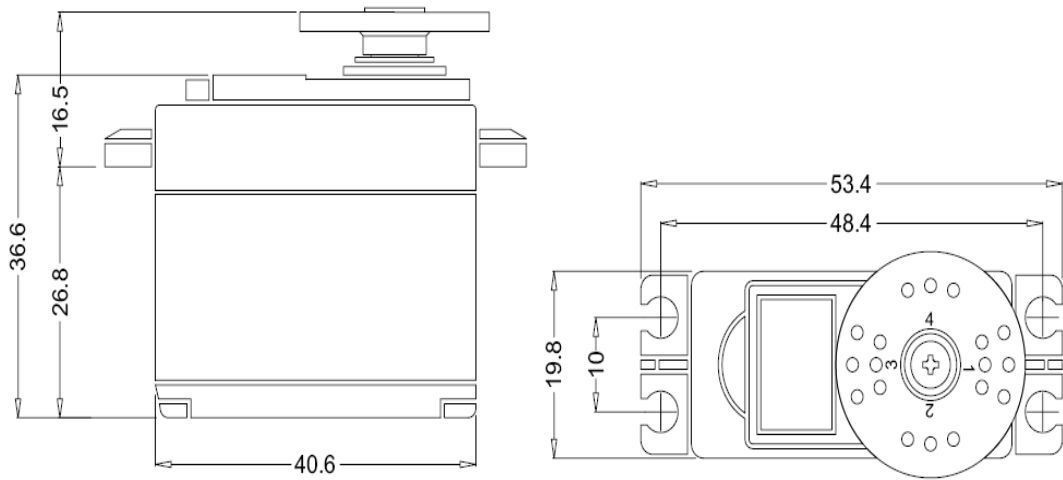


Şekil 4.3. HS-755HB motorunun şekli ve boyutları (35)

Robot kolunun uç etkileyici kısmında gerekli açma – kapama işlemi için kullanılan HS-422 motorunun teknik bilgileri Çizelge 4.4’de, boyutları (mm cinsinden) ve şekli ise Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. HS-422 motorunun teknik özellikleri (36)

Kontrol Sistemi	PWM
Çalışma Voltajı Aralığı	4.8V - 6 V
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-20 dereceden 60 derece kadar
Çalışma Hızı (4.8V) (Yük yokken)	0.21 sn/60 derece
Çalışma Hızı (6V) (Yük yokken)	0.16 sn/60 derece
Kaldırabileceği Ağırlık (4.8V)	3.3 kg.cm
Kaldırabileceği Ağırlık (6V)	4.1 kg.cm
Boştaiken Çekilen Akım	8 mA
Yüksüz Çalışma Anında Çekilen Akım	150 mA/60 derece
Yükselteç Tipi	Analog
Dişli Yapısı	Plastik
Motor Ağırlığı	45.5 gr.

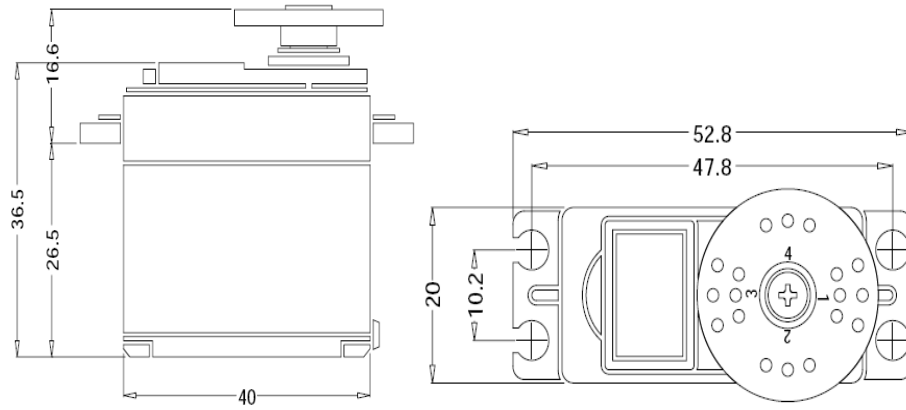


Şekil 4.4. HS-422 motorunun şekli ve boyutları (36)

Robot kolunun taban döndürme motoru ve bilek motoru için kullanılan HS-322HD motorunun teknik bilgileri Çizelge 4.5’de, boyutları (mm cinsinden) ve şekli ise Şekil 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. HS-322HD motorunun teknik özellikleri (37)

Kontrol Sistemi	PWM
Çalışma Voltajı Aralığı	4.8V - 6 V
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-20 dereceden 60 derece kadar
Çalışma Hızı (4.8V) (Yük yokken)	0.19 sn/60 derece
Çalışma Hızı (6V) (Yük yokken)	0.15 sn/60 derece
Çalışırken Kaldırabileceği Ağırlık (4.8V)	3 kg.cm
Çalışırken Kaldırabileceği Ağırlık (6V)	3.5 kg.cm
Bekleme Anında Kaldırabileceği Yük (4.8V)	3 kg.cm
Bekleme Anında Kaldırabileceği Yük (6V)	3.5 kg.cm
Boştayken Çekilen Akım (4.8V)	7.4 mA
Boştayken Çekilen Akım (6V)	7.7 mA
Çalışma Anında Çekilen Akım (4.8V)	160 mA/60 derece
Çalışma Anında Çekilen Akım (6V)	180 mA/60 derece
Motor Durma Anında Çekilen Akım (4.8V)	1500 mA
Motor Durma Anında Çekilen Akım (6V)	1800 mA
Yükselteç Tipi	Analog
Dişli Yapısı	Karbon
Motor Ağırlığı	43 gr.



Şekil 4.5. HS-322HD motorunun şekli ve boyutları (37)

4.3.2. Motorların montajı

Gerekli özellikteki motorların seçimi yapıldıktan motorların mekanik sisteme montajı gerçekleştirilmiştir. Motorları montaj ederken iki çeşit motor pervanesinden yararlanılmıştır. Taban dönme motoru ve uç etkileyici motorunda çizgi pervane, diğer motorlarda ise daire pervane kullanılmıştır. Bölüm 4.3.1’de belirtildiği gibi omuz kısmında iki adet eş özellikte motor kullanılmıştır. Taban kısmının üst kapak kısmının üzerine yerleştirilen daire şeklindeki tabaka üzerine, omuz motorlarının montajı için iki adet “U” parçası vida ile monte edilmiştir. Resim 4.14’de omuz motorlarının “U” parçasına montaj edilmiş hali ile motor millerine bağlı pervanelere omuz parçalarının takılmış durumu görülmektedir.



Resim 4.14. Omuz motorlarının montaj edilmiş hali

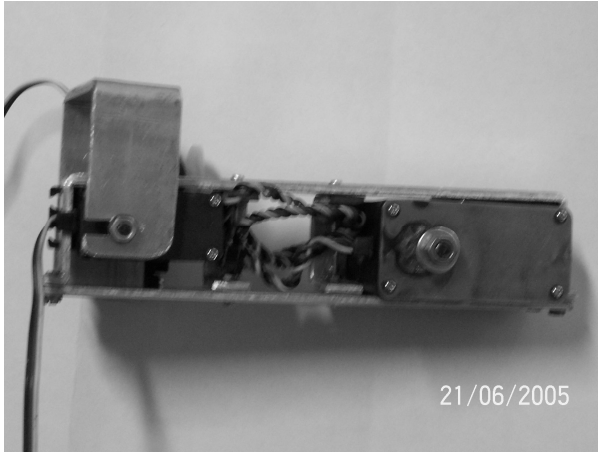
Kol kısmında iki adet motor kullanılmıştır. Dirsek kısmında büyük bir motor ve bilek içinde diğer uça küçük motor kullanılmıştır. Kol kısmına motorlar, kol kısmının iki parçasının arasına küçük “U” parçaları kullanılarak sıkıştırılmıştır. Kol kısmının dirsek noktası ile omuz bölümünün parçalarının montajı için dirsek noktasındaki motorun arka kısmına 1 mm’lik saç parçası takılmıştır. Bu parçanın ucuna sert kaynak tekniği ile 8 mm çapında 1,3 mm boyunda demir bir çubuk kaynatılmıştır. Kaynatılan çubuğun ucuna vidalama için diş açılmıştır. Omuz parçalarının demir çubuğa takıldığı yere ince bir bilezik yapılmıştır. Bileziğin kullanılmasının amacı,

omuz parçaları aşağı-yukarı hareket ederken vidanın somununun gevşemesine neden olmaması içindir. Resim 4.15’de saç parçası üzerine kaynatılmış demir çubuk ve somun görülmektedir.



Resim 4.15. Saç parçası üzerine kaynatılmış demir çubuk ve parçaları

Kol parçasının bilek kısmına bilek motoru yerleştirilmiş ve bu motora bileği oluşturan “U” parçası takılmıştır. Bilek parçasının bir ucu motorun mil ucundaki pervaneye, diğer ucu ise motorun arkasına takılan ve üzerine kaynatılan demir çubuk üzerine monte edilmiştir. Resim 4.16’da kol bölümü ve ucuna takılmış bilek bölümü görülmektedir.



Resim 4.16. Kol bölümü ve bilek bölümü

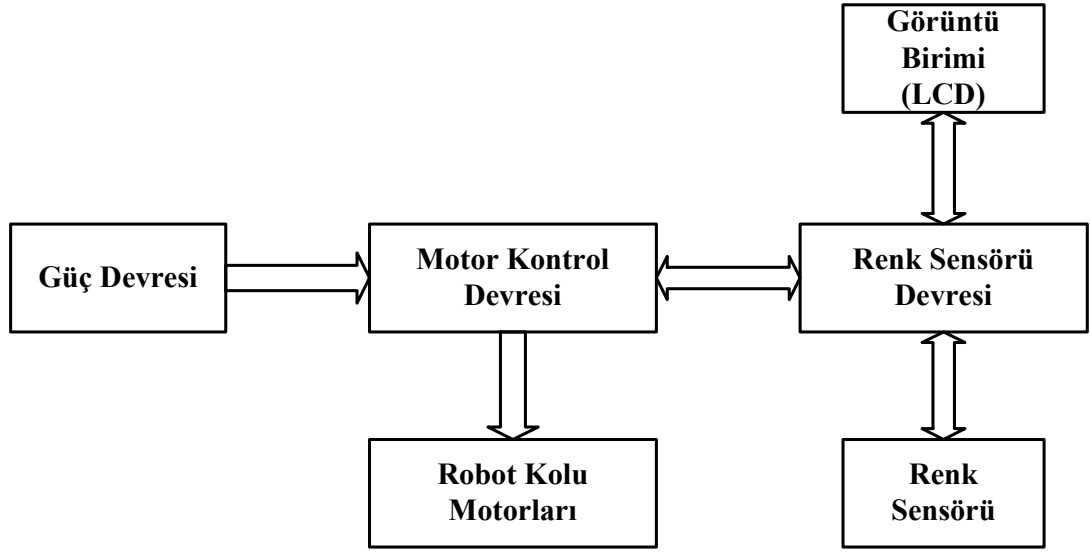
Robot kolunun uç etkileyici kısmı ise bilek bölümüne vidalar ile monte edilmiştir. Robot kolu, tüm kısımların anlatılan şekilde montajı yapıldıktan sonra Resim 4.17’de görülen son şeklini almıştır.



Resim 4.17. Robot kolunun tüm parçalarının montaj edildikten sonraki hali

4.4. Robot Kolunun Elektronik Sistemi

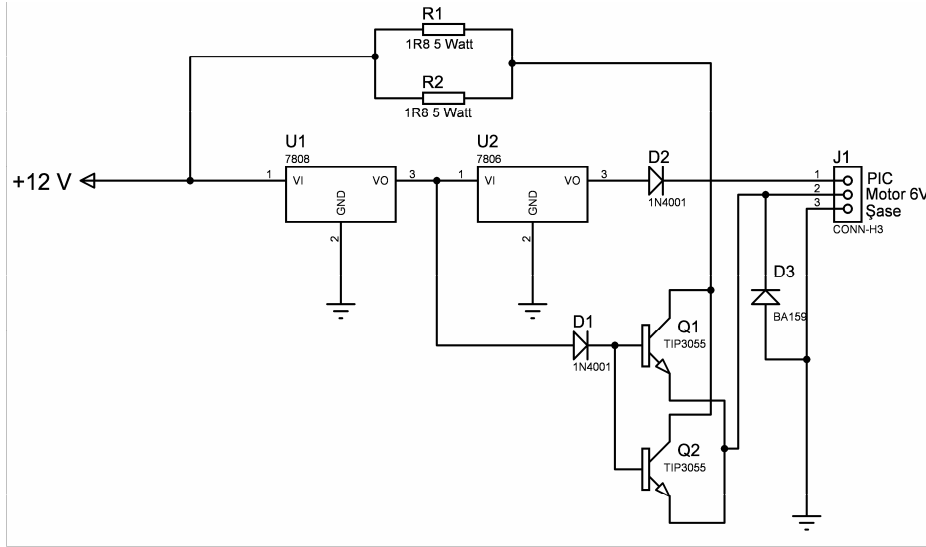
Robot sisteminin elektronik kısmı üç kontrol devresinden oluşmaktadır. Bunlar; güç devresi, motor kontrol devresi ve renk sensörü devresidir. Elektronik sistemde aynı zamanda renk sensörü ve görüntü birimi de bulunmaktadır. Robot kolunun elektronik sisteminin blok şeması Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. Renge göre malzeme taşıyan robot kolu elektronik sistemi blok şeması

4.4.1. Robot kolu güç devresi

Robot kolunun mekanik sisteminin hareketi için kullanılan R/C servo motorlar 4,8V ile 6V arasında çalışabilmektedir. Fakat 6V'luk besleme ile motor daha fazla kuvvet kaldırabilmektedir. Bu nedenle motorlar 6V ile beslenmiştir. Fakat diğer kontrol devrelerindeki mikrodenetleyici için 5-5,5V arası regüleli gerilim gerekmektedir. Fakat kullanılan regüle entegreleri motorların çektiği yüksek akıma dayanamamaktadır. Bu nedenle girişi 12V olan bir güç devresi tasarlanmıştır. Güç devresinde $\approx 5,4V$ 'luk ve $\approx 6V$ 'luk çıkışlar vardır. 5,4V'luk çıkış kontrol devrelerine, 6V'luk çıkış ise motor besleme uçlarına gitmektedir. Şekil 4.7'de robot güç devresinin devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.7. Robot güç devresinin devre şeması

Devrede yüksek akım için TIP 3055 NPN transistörler kullanılmıştır. TIP 3055 15 Ampere dayanan, 60V ve 90 W gücünde bir güç transistörüdür (38). Transistorlerin fazla ısınmaması için iki tane TIP 3055 transistörü paralel olarak bağlanmıştır. 12V'luk DC giriş gerilimi ilk önce LM7808 gerilim regülâtörü entegresi vasıtası ile 8V'luk DC gerilime düşürülmektedir. Bu gerilim 1N4001 diyotu ile transistörlerin beyzine verilmiştir. Diyotun kullanılmasının amacı beyz voltajını 0,6V civarında düşürmektir. LM7808 çıkışı aynı zamanda LM7806 gerilim regülâtörü entegresinin girişine uygulanmıştır. LM7808 entegresi tipik olarak 8V regülâtörlü çıkış veren gerilim regülâtörü entegresidir. Minimum 7,7V, maksimum ise 8,3V (25 ⁰C'de) çıkış verir (39). LM7806 entegresi ise tipik olarak 6V veren gerilim regülâtörü entegresidir. Minimum 5,75V, maksimum ise 6,25V (25 ⁰C'de) çıkış verir (40). LM7806 entegresinin çıkışına 1N4001 diyodu bağlanmıştır. Bunun amacı 6V'luk çıkışın diyot üzerinde düşen gerilim sonucu, 5,4V civarında gerilim elde edilmek istenmesindendir. Bu gerilim mikrodnetleyicileri beslemek için kullanılmıştır. Transistorlerinin kolektörlerine paralel bağlı 5W'lık 1,8 Ω 'luk dirençlerden gerilim uygulanmaktadır. Bu dirençlerin kullanılmasının amacı transistörlerin kolektörüne düşen gerilimi azaltarak transistörlerin daha az ısınmasını sağlamaktır. Eş. 4.5 ve Eş. 5.6'da transistörlerin emiterinden alınan motor geriliminin hesabı görülmektedir.

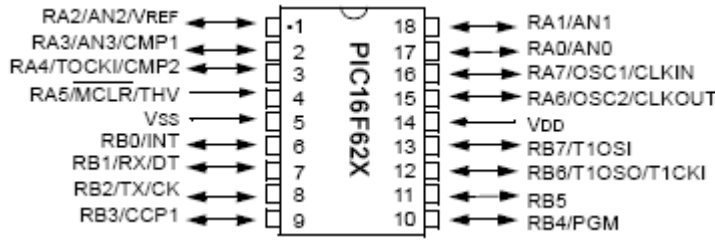
$$V_{motor} = V_{LM7805} - V_{D1} - V_{BE} \quad [4.5]$$

$$V_{motor} = 8 - 0.7 - 0.7 = 6,6V_{DC} \quad [4.6]$$

Motorlar devreye girdiğinde 6,6V'luk çıkış voltajı 6V civarına düşmektedir. Böylece motorlara 6V verilerek, motorların güçleri maksimum düzeye çıkarılmıştır. Motor çıkış ucuna ters olarak BA159 shotky diyotu bağlanmıştır. Bu diyotun amacı motorların çalışma esnasında oluşabilecek ters EMK'yı (Elektromotor Kuvveti) şaseye vererek devreleri koruması içindir. Ek-1, Şekil 1'de robot kolu güç devresinin baskı devresi, Şekil 2'de ise üstten görünüşü verilmiştir.

4.4.2. Robot kolu motor kontrol devresi

Robot kolu motor kontrol devresi, motorların istenen hareketi için gerekli PWM sinyallerini üretir, hareketler için istenen bekleme zamanlarını ayarlar ve renk sensörü devresiyle senkronizasyon görevlerini yerine getirir. Motor kontrol devresi mikrodnetleyici tabanlıdır. Yukarıda sayılan tüm görevler mikrodnetleyici ile gerçekleştirilmektedir. Mikrodnetleyici olarak Microchip firmasının 8 bitlik PIC16F628 mikrodnetleyicisi seçilmiştir. PIC16F628 ürünü, 18 bacaklı olup, 15 adet giriş/çıkış ucuna sahiptir. Ayrıca üç adet zamanlayıcı(Timer0, Timer1, Timer2), CCP (Capture, Compare, PWM - Yakala, Karşılaştır, PWM) modülü, 10 bitlik analog dijital karşılaştırıcı, 2KB'lık Flash program belleği ve 20 Mhz'e kadar osilatör frekansında çalışma özelliğine sahiptir. Çalışma gerilimi 2V ile 5,5V arasındadır. Şekil 4.8'de PIC16F628'in pin uçlarının numaraları ve açıklamaları görülmektedir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi mikrodnetleyici giriş/çıkış için iki ayrı porta sahiptir. Bunlar PortA ve PortB'dir. PortA 6 adet giriş/çıkış birimine, PortB ise 8 adet giriş/çıkış birimine sahiptir. Mikrodnetleyicinin 4. pini hem resetleme ucu hemde RA4 ve THV ucudur. İstendiğinde resetleme ucu kullanılmayarak bu uç giriş/çıkış pini olarak kullanılabilir (41).



Şekil 4.8. PIC16F628 mikrodnetleyicisinin pin numaraları ve isimleri (51)

Robot sisteminde toplam 6 adet motor vardır. Fakat omuz motorları birbirleriyle eş çalıştığından kontrol edilecek 5 motor vardır. Motorlar için gerekli PWM kontrolü için mikrodnetleyicinin B portunun ilk 5 pini kullanılmıştır. Bunlar; RB0, RB1, RB2, RB3 ve RB4 uçlarıdır. Bölüm 4.3’de belirtildiği gibi R/C servo motorlar 50 Hz’lik PWM sinyalleri ile çalışırlar. Yani her PWM periyodu 20 ms olmalıdır. Mikroişlemcinin programı PWM sinyallerini 50Hz frekansına uygun çıkış verecek şekilde yazılmıştır. PWM sinyallerini elde etmek için mikrodnetleyici içindeki 8 bitlik Timer0 zamanlayıcısı kullanılmıştır. Mikrodnetleyicinin programı CCS (Custom Computer Services) adlı, PIC mikrodnetleyicilerle uyumlu, C programlama dili tabanlı, program ile yazılmıştır. Aşağıda motor kontrol devresinin yazılımı, Ek-2’de ise motor kontrol programının akış şeması verilmiştir.

```
#include <16f628.h>
```

```
#fuses HS, NOWDT, NOPROTECT, NOBROWNOUT, NOLVP, NOPUT, NOCPD,
```

```
#use delay (clock=20000000)
```

```
unsigned int16 zaman;
```

```
int8 i=0, pwm=0, duty_0=0, duty_1=0, duty_2=0, duty_3=0, duty_4=0;
```

```
int1 x,y,z;
```

```
// Kırmızı malzeme dereceleri
```

```
const int8 derece_K0 [] = {100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 70, 70, 70, 30, 30, 30, 30, 30};
```

```
const int8 derece_K1[] = {90, 70, 50, 40, 40, 40, 40, 35, 35, 35, 40, 40, 60, 80, 80, 80, 80, 80, 80};
```

```
const int8 derece_K2[] = {180, 180, 180, 170, 170, 160, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 180, 180, 180, 180};
```

```
const int8 derece_K3[] = {180, 180, 180, 180, 160, 160, 135, 150, 135, 135, 135, 135, 135, 135, 135, 90, 90, 180};
```

```
const int8 derece_K4[] = {70, 70, 70, 70, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 180, 180};
```

// Yeşil malzeme dereceleri

```
const int8 derece_Y0[] = {100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 70, 70, 70, 50, 50, 50, 50};
```

```
const int8 derece_Y1[] = {90, 70, 50, 40, 40, 40, 40, 35, 35, 35, 40, 40, 60, 80, 80, 80, 80, 80, 80};
```

```
const int8 derece_Y2[] = {180, 180, 180, 170, 170, 160, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 180, 180, 180, 180};
```

```
const int8 derece_Y3[] = {180, 180, 180, 180, 160, 160, 135, 150, 135, 135, 135, 135, 135, 135, 135, 90, 90, 180};
```

```
const int8 derece_Y4[] = {70, 70, 70, 70, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 180, 180};
```

// Mavi malzeme dereceleri

```
const int8 derece_M0[] = {100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 120, 120, 120, 150, 150, 150, 150};
```

```
const int8 derece_M1[] = {90, 70, 50, 40, 40, 40, 40, 35, 35, 35, 40, 40, 60, 80, 80, 80, 80, 80, 80};
```

```
const int8 derece_M2[] = {180, 180, 180, 170, 170, 160, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 180, 180, 180, 180};
```

```
const int8 derece_M3[] = {180, 180, 180, 180, 160, 160, 135, 150, 135, 135, 135, 135, 135, 135, 135, 80, 80, 180};
```

```
const int8 derece_M4[] = {70, 70, 70, 70, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 120, 180, 180};
```

// Kararsız durum ve malzeme yok dereceleri

```

const int8 derece_krsz0[]= {100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100};
const int8 derece_krsz1[]= {90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90, 90};
const int8 derece_krsz2[]= {180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180};
const int8 derece_krsz3[]= {180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180, 180};
const int8 derece_krsz4[]= {70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70, 70};

```

```

//*****Kesme Fonksiyonu*****

```

```

#int_timer0

```

```

    void kesme ()
    {
        set_timer0(78);
        if (pwm==0)
        {
            output_high(pin_b0); // B0 pinini lojik 1 yap
            output_high(pin_b1);
            output_high(pin_b2);
            output_high(pin_b3);
            output_high(pin_b4);
        }
    }

```

```

//*****motor dönme derecelerinin hesaplamaları*****

```

```

    if (pwm>=duty_0) output_low(pin_b0);
    if (pwm>=duty_1) output_low(pin_b1);
    if (pwm>=duty_2) output_low(pin_b2);
    if (pwm>=duty_3) output_low(pin_b3);
    if (pwm>=duty_4) output_low(pin_b4);

```

```

//*****

```

```

    pwm++; // PWM değişkenini 1 artır

```

```

zaman++;
if (zaman>=15000) // Yaklaşık 70,8µs*15000 =1,062 s
{
    zaman=0;
    if(i==0)    // Robot bekleme konumundayken renk algılaması başlamasın diye
    {
        output_low(pin_B5); // B5 pinini lojik 0 yap
    }
    i++;
    if (i==18)
    {
        output_high(pin_B5); // Renk devresinde A4 ucuna bağlı. Renk devresine
        renk algılamasını başlatmasını söyler.
    }
    if (i==19)
    {
        i=0;
        output_low(pin_B5);
    }
}
}

//*****Ana Program*****
void main (void)
{
    set_tris_a(0xFF); // A Portunu giriş olarak ayarlar
    set_tris_b(0x00); // B portunu çıkış olarak ayarlar

    setup_timer_0(RTCC_internal | RTCC_div_2); // Zamanlayıcı ayarları yapılıyor
    set_timer0(78); // Timer0'a yüklenecek sayı belirleniyor
    pwm=0;
    zaman=0;

```

```

i=0;
delay_ms(100); // 100 ms'lik gecikme veriliyor

enable_interrupts(int_timer0); // timer0 kesmesi aktif hale getiriliyor
enable_interrupts(global); // Kesmeler çalışmaya başlatılıyor

while (input(pin_A3)==0)    // Renk devresinin C6 ucu. Renk devresinden
harekete başlama sinyali bekler. Sinyal gelene kadar başlangıç konumunda kalır.
{
    i=0;
    duty_0=20;
    duty_1=18;
    duty_2=30;
    duty_3=30;
    duty_4=16;
}
for(;;)
{

    x=input(pin_A0); // Renk devresinin A1 ucu. A1 ve A2'nin durumları malzeme
rengini belirtir.
    y=input(pin_A1); // Renk devresinin A2 ucu
    z=input(pin_A2); // Renk devresinin A3 ucu

    /*******Görev saykılı sürelerinin hesabı*****
    if (((x==1)&&(y==0))&&(z==0))    // Malzeme Kırmızı ise
    {
        duty_0=((derece_K0[i]/8)+7);
        duty_1=((derece_K1[i]/8)+7);
        duty_2=((derece_K2[i]/8)+7);
        duty_3=((derece_K3[i]/8)+7);
        duty_4=((derece_K4[i]/8)+7);
    }
}

```

```

    }
    if (((x==0)&&(y==1))&&(z==0))    // Malzeme Yeşil ise
    {
        duty_0=((derece_Y0[i]/8)+7);
        duty_1=((derece_Y1[i]/8)+7);
        duty_2=((derece_Y2[i]/8)+7);
        duty_3=((derece_Y3[i]/8)+7);
        duty_4=((derece_Y4[i]/8)+7);
    }
    if (((x==1)&&(y==1))&&(z==0))    // Malzeme Mavi ise
    {
        duty_0=((derece_M0[i]/8)+7);
        duty_1=((derece_M1[i]/8)+7);
        duty_2=((derece_M2[i]/8)+7);
        duty_3=((derece_M3[i]/8)+7);
        duty_4=((derece_M4[i]/8)+7);
    }
    if ((z==1) || (((x==0)&&(y==0)) && (z==0))) //(((z==1) || ((x==0)&&(y==0) ||
((x=y=z)==1))) || (x=y=z=0)) // Kararsız durum veya malzeme yoksa
    {
        i=0;
        duty_0=((derece_krsz0[i]/8)+7);
        duty_1=((derece_krsz1[i]/8)+7);
        duty_2=((derece_krsz2[i]/8)+7);
        duty_3=((derece_krsz3[i]/8)+7);
        duty_4=((derece_krsz4[i]/8)+7);
    }
}
}

```

CCS programı C dilinin yapısını kabul etmektedir. Programda kullanılan komutlar mikrodenetleyiciye özgü komutlardır. Programın başında kullanılan mikrodenetleyici

tanımlanmış ve hangi frekansta çalıştırılacağı belirlenmiştir. Daha sonra programda kullanılan değişkenler tanımlanmıştır. Data olarak ise rengi algılanan malzemenin durumuna göre motorların her adımda döneceği dereceler belirlenmiştir. Kesme (interrupt) meydana geldiğinde yapılacak işlemler kesme fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Kesme fonksiyonu tanımlandıktan sonra ana program komutları verilmiştir.

Ana program başlangıcında ilk başta hangi portun giriş, hangi portun çıkış olarak kullanılacağı programa bildirilmiştir. Bu adımdan sonra, zamanlayıcı ayarları yapılmıştır. Zamanlayıcı olarak Timer0 kullanılmıştır. Zamanlayıcı ayarları ile zamanlayıcının ne kadar süre sonra bir kesme (interrupt) sinyali üreteceği belirlenmektedir. Zamanlayıcının süresi Eş. 4.7’de görüldüğü gibi hesaplanır (42).

$$\text{Kesme Gecikmesi} = T_{\text{komut}} \times (\text{prescaler değeri}) \times (\text{sayma sayısı}) \quad [4.7]$$

Eş. 4.7’deki T_{komut} ifadesi, bir komutun ne kadar sürede işlendiğini belirtir. Prescaler değeri ise bölme değeridir. Motor kontrol programında bu değer 2 olarak seçilmiştir. Sayma sayısı ise zamanlayıcının kaç kez sayacağını bildirir. Programda zamanlayıcıya 78 değeri yüklenmiştir. Timer0 8 bitlik zamanlayıcı olduğundan en fazla 255’e kadar ($2^8=256$) sayar. Yani zamanlayıcıya 78 yüklenirse zamanlayıcı $255-78=177$ kadar sayma yapar. Bunun anlamı sayma işlemine 78’den başlanıp 255’e kadar saymaya devam edileceğidir. Sayma işlemine 0’dan başladığı için maksimum değer 256 değil 255’dir. Zamanlayıcı ayarları komutundaki “RTCC_internal” ifadesi, sayma işleminde, mikrodnetleyiciye bağlanan osilatör frekansının kullanılacağını belirtmek için kullanılmıştır. PIC mikrodnetleyiciler osilatör frekansını 4’e bölerek kullanır. Yapılan devrede 20 Mhz’lik kristal kullanılmıştır. Mikrodnetleyici bunu dörde böler, dolayısıyla her komutu 5 Mhz’lik hız ile işler. Komut işleme süresi ise Eş. 4.8’de belirtildiği gibi bulunur. Kesme gecikmesi hesabı ise Eş. 4.9’da verilmiştir.

$$T_{komut} = \frac{1}{f} = \frac{1}{5Mhz} = 0,2\mu s \quad [4.8]$$

$$\text{Kesme gecikmesi} = T_{komut} \times (\text{prescaler}) \times (\text{sayma sayısı}) = 0,2\mu s \times 2 \times 177 = 70,8\mu s \quad [4.9]$$

Böylece kesme işlemi aktifleştirildikten sonra her 70,8µs sonra kesme meydana gelecek ve program kesme fonksiyonuna dallanacaktır. Kesme fonksiyonuna dikkat edilecek olunursa her kesmede “pwm” değişkeni 1 arttırılmaktadır. “pwm” değişkeni 8 bitlik bir değişken olduğundan 255 değerine ulaştığında kendiliğinden 0 değerine geri dönecektir. Kesme fonksiyonunda “pwm” değişkeni 0 değerine eşit olduğunda tüm motor çıkışları yani B portunun uçları lojik 1 seviyesine çıkartılmaktadır. Bu işlem pwm değeri her 255’e ulaşp 0’a döndüğünde tekrarlanmaktadır. Dolayısıyla her 255 kesme sonunda periyot tamamlanmaktadır. Eş. 4.10’da bu süre hesaplanmıştır.

$$T_{periyot} = \text{Kesme süresi} \times 255 = 70,8 \times 255 = 18\,054\mu s \quad [4.10]$$

Böylece PWM sinyalinin periyodunun süresi 18054 ms’e ile sabitlenmiştir. Bize 50Hz yani 20 ms’lik periyotlu PWM sinyalleri gerekiyordu. Ayarlanan periyotun 18 054 µs olmasının nedeni, mikrodenetleyicinin içinde meydana gelen gecikmenin de düşünülmesidir. Mikrodenetleyici içindeki bu gecikme süreye eklendiğinde 20 ms’lik periyot elde edilmiş olmaktadır.

Kesme fonksiyonunda motor dönme derecelerinin hesabı da yapılmaktadır. Uygun şart sağlandığında ilgili pin ucundaki PWM sinyali lojik 0’a çekilerek motora o kadar süreli görev saykılına sahip PWM sinyali gönderilmiş olur. Böylece motorlara istenen derecelerde dönmesi için gerekli 0,9 ms ile 2,1 ms arasında görev saykılına sahip PWM sinyalleri gönderilmiş olur. Görev saykılı sürelerinin hesabı, programda ana fonksiyon kısmında belirtilmiştir.

Her kesme sinyalinde “zaman” değişkeni 1 arttırılmıştır. “Zaman” değişkeni 15 000 değerine ulaştığında yani yaklaşık 1,068 sn sonra “i” değişkeni 1 arttırılmaktadır. “i”

değişkeni motorların adım sayısını gösterir. Her adımdan sonra “i” değişkeni 1 artar. İstenen görev toplam 19 adımda tamamlanmaktadır. “zaman” değişkeni ile motor konumunun bir sonraki konuma ne kadar süre sonra geçeceği ayarlanmaktadır. “i” değişkeni 19 değerine ulaştığında sıfırlanarak, robot kolunun tekrar başa dönmesi sağlanmıştır. Kesme fonksiyonunda aynı zamanda, robot 18. hareketini yaparken renk sensörü devresine B5 pini vasıtası ile sinyal gönderme işlemi yapılır. Bunun amacı robot son hareketini yaparken renk devresine bir sonraki malzemenin renk algılamasını yapmaya başlamasını bildirmektir. Böylece robot kolu son hareketinden sonra malzemenin rengine göre hangi işlemleri yapacağını bilecektir.

Ana fonksiyonda zamanlayıcı ayarlarından sonra zamanlayıcı başlatılmaktadır. Sonra A3 pini vasıtasıyla renk sensörü devresinden malzeme taşıma hareketine başlama sinyali beklenmektedir. Başlama sinyali gelene kadar robot kolu bekleme konumunda sabit olarak bekler. Sinyal geldikten sonra A0, A1 ve A2 uçları ile, renk devresinden gelen malzeme rengi bilgisi yorumlanır. Eğer, A0 lojik 1 ve A1 lojik 0 ise malzeme rengi kırmızı, A0 lojik 0 ve A1 lojik 1 ise malzeme yeşil, A0 lojik 1 ve A1 lojik 1 ise malzeme mavi olarak yorumlanır. Eğer A2 pini lojik 1 ise kararsız durum (renk algılanamadığı zaman) veya malzeme yok olarak yorumlanır ve robot kolu bekleme pozisyonunda kalır. A0, A1 ve A2 pinlerinin durumları x, y ve z değişkenlerine aktarılarak karşılaştırma işlemi yapılır. Programda görev saykılı süresi hesaplanırken kullanılan formül ile görev saykılıının kaç saniye süreye sahip olacağını belirtir. Bu formülde kullanılan duty_0, duty_1, duty_2, duty_3 ve duty_4 değişkenleri sırayla 1.motor, 2. ve 3.motor, 4.motor, 5.motor ve 6.motorun PWM sinyallerinin görev saykılarının süresini ifade eder. Formülde kullanılan “derece_K0, derece_K1, derece_K2, derece_K3, derece_K4” değişkenleri malzeme kırmızı olduğunda sırayla 1.motordan 5.motora kadar, motorların pozisyonlarını derece olarak ifade eder. “derece_K0[i]” değişkenindeki “i” indisi pozisyonun sırasını belirtir. Diğer ifadelerdeki “i” indisi de aynı görev için kullanılmıştır. Aynı şekilde “derece_Y0, derece_Y1, derece_Y2, derece_Y3, derece_Y4” değişkenleri malzeme yeşil olduğunda, “derece_M0, derece_M1, derece_M2, derece_M3, derece_M4” değişkenleri de malzeme mavi olduğunda motorların dönme derecelerini ifade eder. Kullanılan formül 0^0 ile 180^0 arasındaki dönme dereceleri

için formülize edilmiştir. Bu formül oluşturulmadan önce hangi değerde motorun kaç derece döndüğü incelenmiş ve ona göre bir bağıntı oluşturulmuştur. Örneğin motora 180^0 'lık bir dönme görevi verildiğinde “duty” değişkeninin hesabı Eş. 4.11 verildiği gibi hesaplanır.

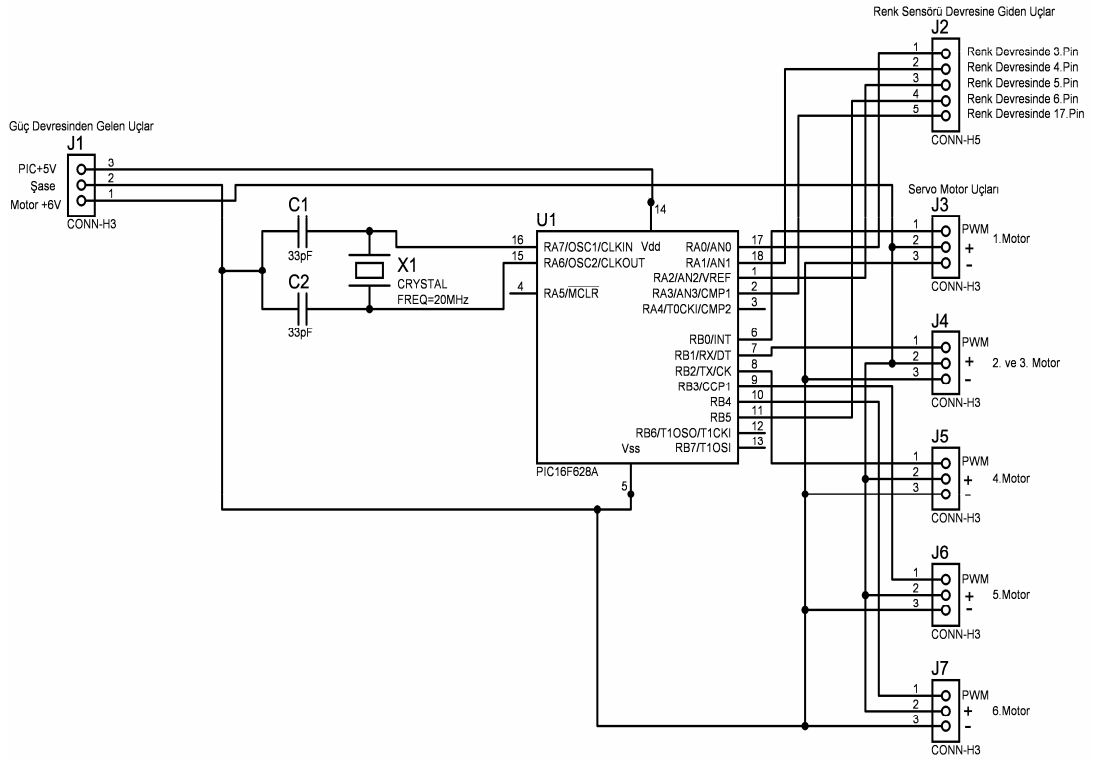
$$duty = ((derece / 8) + 7) = 180 / 8 + 7 = 22,5 + 7 = 29,5 \quad [4.11]$$

“duty” değişkenleri tamsayı olarak tanımlandığından Eş. 4.11’de bulunan 29,5 değeri “duty” değişkenine 29 olarak aktarılır. Her kesme süresi Eş. 4.9’da $70,8\mu s$ olarak bulunmuştu. “duty” değeri ile kesme süresi değeri çarpılarak PWM sinyalinin görev saykılı hesaplanır (Eş. 4.12).

$$görev\ saykılı\ süresi = 29 \times 70,8\mu s = 2053,2\mu s \cong 2,05ms \quad [4.12]$$

Daha önceden belirtildiği gibi motorların maksimum dönmesi için 2,1ms civarında görev saykılı süresi gerekiyordu. Bu formülle bu ihtiyacın sağlanmış olduğu görülmektedir. Diğer derecelerde bu formül ile hesaplanır ve program ona göre motor çıkışlarına sinyal gönderir.

Bu şekilde C dili ile yazılan program derlenerek, programlayıcı vasıtasıyla mikrodenetleyiciye aktarılır. Şekil 4.9’da robot kolu motor kontrol devresinin devre şeması verilmiştir. Ek-3, Şekil 1’de motor kontrol devresinin baskı devresi, Şekil 2’de ise üstten görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.9. Motor kontrol devresinin devre şeması

4.4.3. Renk sensörü ve renk sensörü devresi

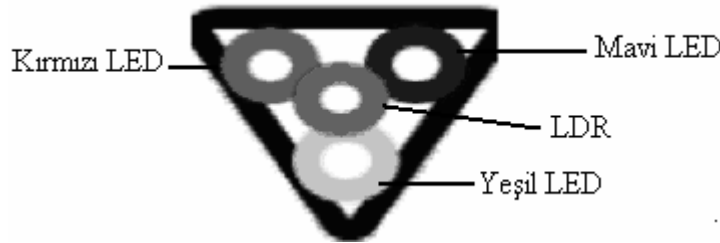
Taşınması yapılacak malzemelerin renginin (Kırmızı, Yeşil, Mavi) algılanması için renk sensörü tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan renk sensörünün kontrolü ve motor kontrol devresiyle iletişimi için de mikrodenetleyici tabanlı renk sensörü devresi tasarlanmış ve uygulaması yapılmıştır. Renk sensörü devresi, renk sensörü ve motor kontrol devresiyle iletişim kurmakla beraber sistem görüntü birimi (LCD) ile de iletişimi sağlamaktadır.

Renk sensörü

Renk sensörü üç ana renk olan Kırmızı, Yeşil ve Mavi renkleri algılamak üzere tasarlanmıştır. Renk sensöründe LDR (Light Dependent Resistor – Işığa duyarlı direnç) ve yüksek ışık veren LED diyotlardan faydalanılmıştır. Renk sensörünün çalışma prensibi, ışığın soğurulması olayına dayanmaktadır. Bir cisim güneş

ışığındaki tüm renkleri yansıtıyorsa beyaz görünür. Eğer bir cisim güneş ışığındaki tüm renkleri soğurursa hiçbirini yansıtırmaz ve siyah olarak algılanır. Bir cisim kendi rengini güçlü olarak yansıtır ve bunun yanında renk tayfındaki renk sırasına göre (Kırmızı, Turuncu, Sarı, Yeşil, Mavi, Mor) bir alt ve bir üst rengi zayıf olarak yansıtır. Kırmızı malzeme kırmızı rengi, mavi malzeme mavi rengi güçlü olarak yansıtır. Bu prensipten yola çıkılarak renk sensörü tasarlanmıştır (43).

Renk sensörü için üçgen şeklindeki bir delikli bakır pertinaks üzerine ortaya LDR gelecek şekilde, üçgeninin köşelerine kırmızı, yeşil ve mavi yüksek parlaklığa sahip LED'ler lehimlenmiştir (Şekil 4.10). LDR'nin etrafı, içi siyah renkli ince bir karton ile çevrelenmiştir. Daha sonra lehimlenen LED'ler ve LDR'yi kaplayacak boyutta 2,5 cm yüksekliğinde, alt ve üst tabanı açık, içi siyaha boyanmış bir mukavva ile bir üçgen prizma elde edilmiştir. Yapılan bu üçgen prizma delikli pertinaks üzerine kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Böylece renk sensörü tamamlanmıştır.



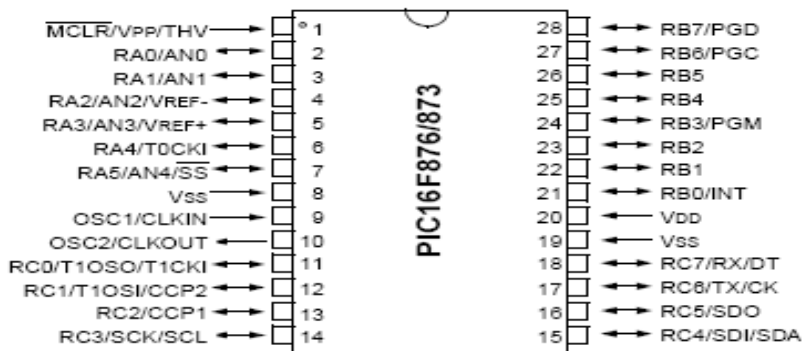
Şekil 4.10. Renk sensöründe malzemelerin yerleşim yeri

Renk sensörünün çalışması renk devresi vasıtası ile yapılmaktadır. Temel prensip şu şekildedir. Renk sensörü devresi ile malzeme yüzeyine sırayla 400 ms aralıklarla kırmızı, yeşil ve mavi LED'ler aracılığı ile ışık gönderilmektedir. Daha sonra malzemeden yansıyan ışık ölçülmektedir. Işık ölçümü için LDR'den yararlanılmıştır. LDR, ışık ile direnci ters orantılı olarak değişen bir elemandır. Her LED ışığı söndükten sonra renk sensörü devresindeki mikrodenetleyici içindeki ADC (Analog Dijital Çevirici) yardımı ile LDR'ye seri bağlanan direnç üzerindeki gerilim dijital bilgiye çevrilmektedir. Tüm LED'ler yanıp söndükten sonra bu bilgiler karşılaştırılmakta ve malzemenin hangi renkte olduğu anlaşılmaktadır. Kırmızı

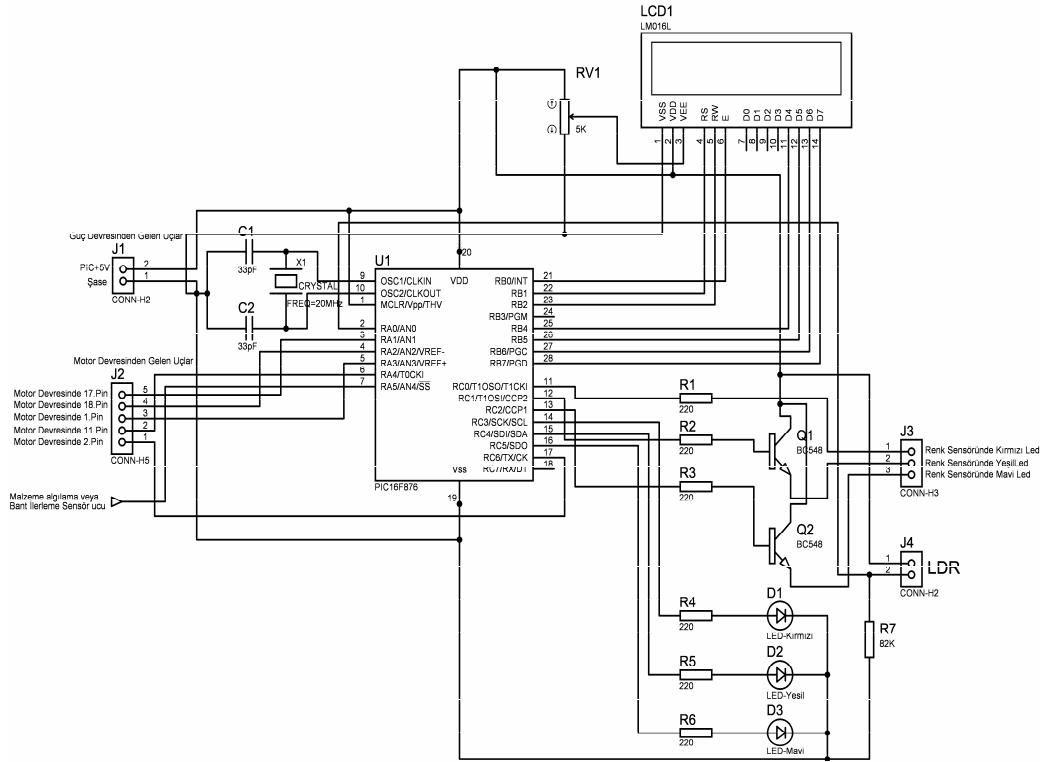
malzemeye kırmızı ışık verildiğinde malzemeden yansıyan ışık daha fazla olacağından LDR'nin direnci düşecektir ve dolayısıyla LDR'ye seri bağlı direnç üzerindeki gerilim artacaktır. Bu prensip ile yansıyan ışık şiddetleri karşılaştırılmakta ve renk algılanmaktadır. Renk algılama sensörüne direkt güneş ışığının gelmemesi gereklidir. Çok aşırı aydınlık ortamlarda da renk sensörünün algılanmasında sorun olabilmektedir. Bunun için renk sensörünün üstüne konulacak bir gölgeleme kutusu yapılmıştır.

Renk sensörü devresi

Renk sensörü devresi, tasarımı ve yapımı anlatılan renk sensörünün kontrolü ile birlikte, motor kontrol devresiyle senkronizasyonu ve gösterge paneli olan LCD ekranını da kontrol etmektedir. Renk sensörü devresi mikrodnetleyici tabanlıdır. Mikrodnetleyici olarak Microchip firmasının 8-bitlik PIC16F876 mikrodnetleyicisi kullanılmıştır. PIC16F876 mikrodnetleyicisi yüksek performanslı RISC mimarisine sahip, 20 Mhz'e kadar osilatör frekansını destekleme özelliği, 8 KB'lık program hafızası, 2 adet 8 bitlik ve 1 adet 16 bitlik zamanlayıcı (Timer0, Timer1, Timer2), CCP (Capture, Compare, PWM - Yakala, Karşılaştır, PWM) modülü, 10 bitlik Analog dijital karşılaştırıcı gibi özelliklere sahip 2V ile 5.5V arasında çalışma gerilimine sahip 28 pinli ince PDIP (Plastic Dual In-Line Package) kılıfına sahip bir mikrodnetleyicidir. Şekil 4.11'de PIC16F876 mikrodnetleyicisinin pin numaraları ve açıklamaları, Şekil 4.12'de ise renk devresinin devre şeması görülmektedir (44).



Şekil 4.11. PIC16F876 entegresinin pin numaraları ve açıklamaları (44)



Şekil 4.12. Renk sensörü devresinin devre şeması

Kontrol sisteminde gösterge paneli olarak 2 satır 16 sütunluk LCD ekran kullanılmıştır. Renk devresinde, renk sensöründe bulunan yeşil ve mavi LED'ler BC548 NPN tipi transistörler yardımı ile sürülmüştür. Renk sensöründeki renkler yüksek akım çekmektedir. Mikrodenetleyicinin sağladığı 25mA'lık akım LED'lerin yüksek parlaklıkta yanmasına yetmediği için transistörler kullanılmıştır. Renk sensöründeki kırmızı LED normalde çok yüksek parlaklıkta yandığından transistorsüz olarak direkt sürülmüştür. Renk sensörü devresi ile kontrol edilen ve kontrol panelinin önünde bulunan kırmızı, yeşil ve mavi LED'ler malzeme rengi durumunu aynı zamanda ışıklı panel ile kullanıcıya bildirmek için kullanılmıştır. Renk sensörü devresinde bulunan LDR'nin bir ucu +5V'luk beslemeye, diğer ucu ise 82KΩ değerindeki direnç ile şaseye verilmiştir. 82KΩ'luk direncin üstündeki gerilim mikrodenetleyicinin A0 pinine girilmiştir. Böylece mikrodenetleyici içindeki ADC ile LDR'de ışık şiddeti değişimi ile meydana gelen voltaj değişimi dijital bilgiye çevrilmektedir. LCD paneline bağlanan 5KΩ'luk potansiyometre LCD panelinde gösterilen karakterlerin renk koyuluğunu ayarlamak için kullanılmıştır.

Mikrodenetleyici 20Mhz osilatör frekansında çalıştırılmıştır. Mikrodenetleyiciye yüklenen program aşağıda, programın akış diyagramı ise Ek-4’de verilmiştir.

```
#include <16F876.h> // Kullanılan mikroişlemci tanıtılıyor
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOBROWNOUT,NOLVP,NOPUT,NOWRT
// Mikrodenetleyicinin özellikleri tanıtılıyor
#use delay (clock=20000000) // 20 Mhz'lik kristal
#define use_portb_lcd TRUE //LCD için B portunun kullanılacağı belirtiliyor
#include <LCD.c> // lcd rutinleri dosyası RB0,RB1,RB2,RB4,RB5,RB6,RB7 LCD
için Kullanılıyor

//*****PİN UÇLARI TANIMLAMALARI *****
#define led_k pin_c0 // cisme yansıtılan kırmızı led
#define led_y pin_c1 // cisme yansıtılan yeşil led
#define led_m pin_c2 // cisme yansıtılan mavi led

#define led_k2 pin_c3 // algılama sonucunu veren kırmızı led
#define led_y2 pin_c4 // algılama sonucunu veren yeşil led
#define led_m2 pin_c5 // algılama sonucunu veren mavi led

int8 x;
int16 bilgi_k=0,bilgi_y=0,bilgi_m=0,i=0;

//***** RENK ALGILAMA FONKSİYONU *****
void renk_algila () // renk algılama fonksiyonu
{
    renk_basla:
    output_c(0x00); // C portunun tüm uçları lojik 0 yapılmıştır
    printf(lcd_putc,"%f"); // printf komutu ile LCD'ye karakterler gönderilir
    while (input(pin_A5)==0) // Malzeme yoksa
    {
        output_high(pin_A3); // Motor devresinin A2 ucuna
```

```

    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"MALZEME YOK");
}
x=1;
printf(lcd_putc,"\fRENK ALGILANIYOR");

lcd_gotoxy(x,2); // ilk karakter sütun, ikinci karakter satır
printf(lcd_putc,">>>>");
x=x+4;
// *****Kırmızı*****
output_high(led_k);      // led_k yı yak
delay_ms(100);           // 100 ms bekle
bilgi_k = read_adc()+41;  // adc'den bilgiyi oku ve bilgi_k'ya aktar
delay_us(20);            //adc çevrimi için gereken süre
output_low(led_k);       // led_k'yı söndür
lcd_gotoxy(x,2);
printf(lcd_putc,">>>>");
x=x+4;
delay_ms(400);           // 400 ms bekle

// *****Yeşil*****
output_high(led_y);      // led_y yı yak
delay_ms(100);           // 100 ms bekle
bilgi_y = read_adc()-11;  // adc'den bilgiyi oku ve bilgi_y'ya aktar
delay_us(20);            //adc çevrimi için gereken süre
output_low(led_y);       // led_y'yı söndür
lcd_gotoxy(x,2);
printf(lcd_putc,">>>>");
x=x+4;

delay_ms(400);           // 400 ms bekle

```

```
// *****Mavi*****

output_high(led_m);      // led_m yı yak
delay_ms(100);           // 100 ms bekle
bilgi_m = read_adc();    // adc'den bilgiyi oku ve bilgi_m'ya aktar
delay_us(20);            //adc çevrimi için gereken süre
output_low(led_m);       // led_m'yı söndür
lcd_gotoxy(x,2);
printf(lcd_putc,">>>>");
x=x+4;

delay_ms(400);           // 400 ms bekle

// A1 ve A2 uçlarının durumları malzeme rengini belirtir.
// A1A2 eğer { 1,0} ise cisim kırmızı, { 0,1 } ise cisim yeşil, { 1,1 } ise cisim mavi

if ((bilgi_k>bilgi_y) && (bilgi_k>bilgi_m)) //Cisim kırmızı ise yapılacaklar
{
    output_high(led_k2); //led_k2'yi yak
    output_low(led_y2); // led_y2'yi söndür
    output_low(led_m2); // led_m2'yi söndür
    output_low(pin_A3); // A3 pini lojik 0 yapıyor
    output_low(pin_A2); // A2 pini lojik 0 yapıyor
    output_high(pin_A1); // A1 pini lojik 1 yapıyor
    output_low(pin_A3); // A3 pini lojik 0 yapıyor
    printf(lcd_putc,"\fMALZEME KIRMIZI");
}

if ((bilgi_y>bilgi_k) && (bilgi_y>bilgi_m)) // Cisim yeşil ise yapılacaklar
{
    output_high(led_y2);
    output_low(led_k2);
    output_low(led_m2);
}
```

```

        output_low(pin_A3);
        output_low(pin_A1);
        output_high(pin_A2);
        output_low(pin_A3);
        printf(lcd_putc, "\fMALZEME YESIL");
    }
    if ((bilgi_m>bilgi_k) && (bilgi_m>bilgi_y)) // Cisim mavi ise yapılacaklar
    {
        output_high(led_m2);
        output_low(led_k2);
        output_low(led_y2);
        output_low(pin_A3);
        output_high(pin_A1);
        output_high(pin_A2);
        output_low(pin_A3);
        printf(lcd_putc, "\fMALZEME MAVI");
    }

    if ((bilgi_m==bilgi_k)&&(bilgi_y==bilgi_m)) // Malzeme rengi algılanamazsa
    yapılacaklar

    {
        output_high(pin_A3); // Motor devresinin A2 ucuna
        printf(lcd_putc, "\fMALZEME RENGİ");
        printf(lcd_putc, "\nALGILANAMADI");
        delay_ms(750);
        goto renk_basla; // renk_basla etiketine gidiliyor
    }

    output_high(pin_C6); // Motor devresine harekete başlamasını söyler. Motor
    devresinin A3 ucuna

```

```

    for (;input(pin_A4)==0;) // Motor devresinden renk algılamaya başlamak için
    sinyal bekler

```

```

        //Motor devresinin B5 ucuna

```

```

    {
    }
    return; // Fonksiyondan çıkılıyor
}

```

```

// *****

```

```

//*****ANA PROGRAM*****

```

```

void main (void)

```

```

{

```

```

    set_tris_a(0x31); //A portunun A0,A4,A5 uçları giriş,diğerleri çıkış olarak ayarlandı
    set_tris_b(0x00); // B portu tümüyle çıkış olarak ayarlandı
    set_tris_c(0x00); // C portu tümüyle çıkış olarak ayarlandı

```

```

    output_c(0x00); // C portu çıkışları lojik 0 yapıyor
    output_low(pin_A1); // A1 pini lojik 0 yapıyor
    output_low(pin_A2); // A2 pini lojik 0 yapıyor
    output_low(pin_A3); // A3 pini lojik 0 yapıyor

```

```

    setup_adc(adc_clock_internal);    // adc clock sinyali kendi içinden alacak
    setup_adc_ports(RA0_analog);      // RA0 analog giriş olsun
    set_adc_channel(0);               // RA0=channel 0 yani RA0 ucundaki analog girişi
    dijital çevir

```

```

    lcd_init();                      // lcd modülü hazırla
    delay_ms(1);                     // lcd hazırlansın diye 1 ms bekle

```

```

    printf(lcd_putc,"%f    Gazi\n");

```

```

printf(lcd_putc, "\ Universitesi");
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc, "\f Fen Bilimleri\n");
printf(lcd_putc, " Enstitusu");
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc, "\f Elekt.&Bilg.\n");
printf(lcd_putc, " Egitimi A.B.D.");
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc, "\f Renge Gore\n");
printf(lcd_putc, " Malzeme Tasiyan\n");
delay_ms(1000);
printf(lcd_putc, "\f Robot Kolu");

delay_ms(1000);

for (;;)
{
    renk_algila(); // Renk algıla fonksiyonu çağrılıyor
}
}

```

Mikrodenetleyiciye yüklenen program, Microchip firmasının PIC mikrodenetleyicileri için hazırlanmış C programlama dili tabanlı CCS adlı programda yazılmıştır. Programın başında kullanılan mikrodenetleyici ve özellikleri ile birlikte çalışma frekansı tanımlanmıştır. Daha sonra devrenin LCD birimi ile iletişim kurmak için kullanılan B portu ve LCD rutinlerini içeren LCD.C dosyası programa bildirilmiştir. LCD dosyası tanıtıldıktan sonra programda kolaylık olması bakımından, pin uçlarına anlaşılır tanımlamalar atanmıştır. Kullanılan değişkenler tanımlandıktan sonrada renk algılama için gerekli komutları içeren “renk_algila” fonksiyonu yazılmıştır. Bu fonksiyon yardımı ile ana programda sadece “renk_algila” fonksiyonunun çağırılması ile renk algılanmaya başlanılmaktadır.

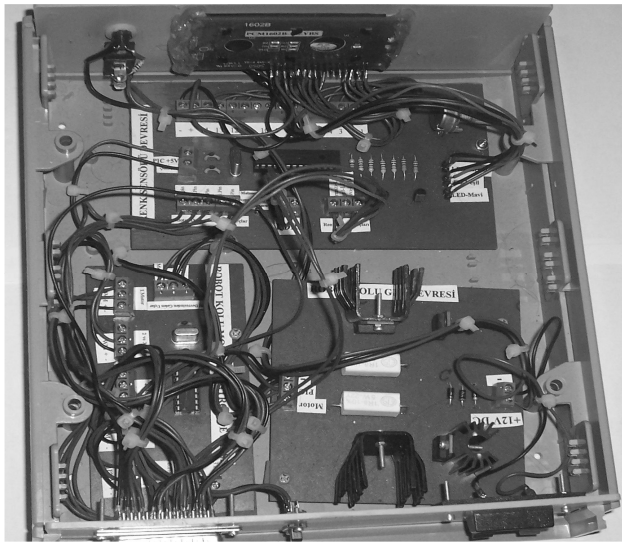
Renk algılama fonksiyonunda ilk başta malzeme yoksa yapılacak işlemler tanımlanmıştır. Tasarımı yapılan robot sisteminde malzeme algılama için bir sensör bulunmamaktadır. Fakat programda malzeme olmadığı durumda veya algılanamadığı durumda yapılacak işler programda belirtilmiştir. Robot kolunun bir fabrikada bir bant üzerinden malzemeyi aldığını farz edelim. Bant sisteminin her malzeme alınışında bir ileri pozisyona gittiğini düşünelim. Eğer bant sisteminde herhangi bir arıza olursa, robot kolunun bu arızadan haberdar olması ve ona göre ne yapacağını bilmesi gereklidir. Bu gibi arıza durumlarından haberdar olunması için robot kolunun kullanıldığı amaca yönelik çeşitli sensörler ile arıza durumunun tespit edilmesi ve robot kolu kontrol devresine bildirilmesi gereklidir. Kontrol devresine bu durum için, iki durumlu anahtar eklenmiştir. Anahtarın bir ucu lojik 0'a (0 V), bir ucu lojik 1'e (5V) bağlanmıştır. Anahtarın durumu değiştirilerek arıza olmuş gibi sisteme bilgi gönderilmektedir. Böylece arıza durumunda robot kolunun yapması gereken hareketi yapıp yapmadığı da görülebilmektedir. Gerçek bir fabrika uygulamasında ise bu anahtar yerine ihtiyaca uygun bir sensör girişi kullanılmalıdır. Bu iş için mikrodnetleyicinin RA5 pini kullanılmıştır.

Programda arıza durumu belirtildikten sonra, renk sensöründeki kırmızı LED aktif hale getirilmekte ardından 100 ms bekleme süresinden sonra LDR üzerindeki gerilim mikrodnetleyicinin ADC modülü vasıtası ile dijital bilgiye çevrilerek "bilgi_k" değişkenine aktarılmaktadır. Analog bilginin dijital bilgiye çevrilme işlemi için 20 µs bekleme yapılmaktadır. Daha sonra kırmızı LED söndürülerek 400 ms bekleme yapılmaktadır. Daha sonra aynı işlemler renk sensöründe bulunan yeşil ve mavi LED'ler için tekrarlanmaktadır. Yeşil LED yandığında LDR üzerine düşen voltajın dijital karşılığı "bilgi_y" değişkenine, mavi LED yandığında LDR üzerine düşen voltajın dijital karşılığı ise "bilgi_m" değişkenine aktarılmaktadır. Her LED ölçümü yapıldıktan sonra 400 ms beklenmesinin nedeni, LDR'nin hızlı ışık şiddeti değişimlerine fazla hızlı tepki verememesidir. Mikrodnetleyicinin ADC modülünden ölçüm almak için "read_adc()" komutu kullanılmaktadır. Fakat kırmızı ve yeşil LED ölçümlerinde ADC modülünden gelen bilgilerde küçük ekleme ve çıkarmalar yapılmıştır. Kırmızı LED bilgisine 41 değeri eklenmiş, yeşil LED bilgisinden ise 11 değeri çıkarılmıştır. Bunun yapılmasının nedeni yeşil LED'in diğer

LED'lerden çok daha yüksek parlaklıkta olması, kırmızı LED'in ise diğer LED'lere oranla daha az parlaklıkta yanmasıdır. Bu sorun renk algılamasında yanlış algılama yapılmasına neden olmaktadır. Bu şekilde bir ayarlama ile renk algılamasının doğru yapılması sağlanmıştır. Yapılan ölçümlerden sonra programda, ölçülen değerlerin karşılaştırılması işlemine geçilmiştir. Karşılaştırma işlemi, ölçümü yapılan üç değerın aktarıldığı değişkenlerin (bilgi_k, bilgi_m, bilgi_y) birbirleri arasında karşılaştırılması ile yapılmaktadır. Karşılaştırma işlemi "if" deyimi ile yapılmaktadır. Hangi değişken en büyük ise malzeme rengi o olmaktadır ve o kısma ait if fonksiyonu işlem görmektedir. Malzeme renginin durumu mikrodnetleyicinin RA1 ve RA2 pin uçları vasıtası ile motor kontrol devresine bildirilmektedir. RA1 ve RA2 uçlarının durumu lojik "1,0" ise malzeme rengi kırmızı, "0,1" ise malzeme rengi yeşil, "1,1" ise malzeme rengi mavi olarak motor devresi tarafından algılanmakta ve motor devresi de robot kolunu algılanan rengin koordinatlarına göre konumlandırmaktadır. Aynı zamanda hangi renk algılandıysa kontrol panelindeki o renge ait LED aktifleştirilmekte diğer LED'ler pasif duruma getirilmekte ve aynı zamanda kontrol panelindeki LCD'ye, algılanan malzemenin rengi yazı olarak da gönderilmektedir. En son olarak da tüm ölçülen değerlerin birbirine eşit olduğu durum renk algılanamadı olarak algılanmakta ve ona göre işlem yapılarak mikrodnetleyicinin RA3 pinine lojik 1 sinyali gönderilerek bu durum motor kontrol devresine bildirilmektedir. Renk algılama işlemi tamamlandığında ise motor kontrol devresine mikrodnetleyicinin RC6 pini vasıtası ile malzeme taşıma görevine başlama sinyali verilir. Renk_algila fonksiyonunda bulunan son komut, mikrodnetleyicinin RA4 pini ucundan motor kontrol devresinden gelecek yeni bir renk algılama görevini beklemek için kullanılmıştır. Motor kontrol devresi her renkteki malzeme taşımalarını 19 adımda gerçekleştirir. Her malzeme taşıma sırasında 18. adımdan sonra renk sensörü devresindeki mikrodnetleyicinin RA4 pinine lojik 1 seviyesini göndererek bir sonraki malzemenin algılanmasına başlamasını söyler. Motor devresinden sinyal gelene kadar renk sensörü beklemeye devam eder.

Renk_algila fonksiyonu tanımlandıktan sonra programda "Ana Program Fonksiyonu" kısmı tanımlanmıştır. Ana fonksiyonda ilk başta mikrodnetleyicinin hangi portunun (PortA, PortB, PortC) hangi pinlerinin giriş hangilerinin çıkış olarak

kullanılacağı belirtilmiştir. Bu kısımda A portunun RA0, RA4, RA5 uçları giriş, diğerleri çıkış olarak ayarlanmıştır. B ve C portu tümüyle çıkış olarak ayarlanmıştır. Daha sonra mikrodnetleyici içinde bulunan ADC modülünün ayarları yapılmıştır. “setup_adc(adc_clock_internal)” komutu ile ADC modülünün çalışma saat frekansını mikrodnetleyicinin kendi iç frekansından alması istenmiştir. “setup_adc_ports(RA0_analog)” komutu, RA0 girişinin analog sinyal girişi olarak kabul edilmesi için, “set_adc_channel(0)” komutu ise RA0 girişindeki analog sinyalin dijitale çevrileceğini belirtmek için kullanılmıştır. ADC modülü tanıtıldıktan sonra LCD birimi tanıtılmıştır. Bunun için “lcd_init()” fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu komuttan sonra LCD biriminin hazırlanması için 1 ms beklenmiştir. Daha sonra LCD’ye 1 sn aralıklarla “Gazi Üniversitesi”, “Fen Bilimleri Enstitüsü”, “Elek.&Bilg. Eğitimi A.B.D.”, “Renge Gore Malzeme Tasıyan”, “Robot Kolu” ifadeleri yazdırılmıştır. En son olarak da “reng_algila ()” fonksiyonu çağrılmıştır. Böylece program sonlandırılmıştır. C dilinde CCS programında yazılan renk sensörü programı derlenerek mikrodnetleyiciye yüklenmiştir. Ek-5, Şekil 1’de renk sensörü devresinin baskı devresi ve Şekil 2’de ise üst görünüşü verilmiştir. Anlatılan tüm elektronik devreler robot kolu kontrol kutusuna yerleştirilmiştir. Resim 4.18’de robot kolu kontrol kutusunun iç kısmı, Resim 4.19’da kontrol kutusunun ön paneli, Resim 4.20’de ise kontrol kutusunun arka paneli görülmektedir.



Resim 4.18. Robot kontrol kutusunun iç kısmı



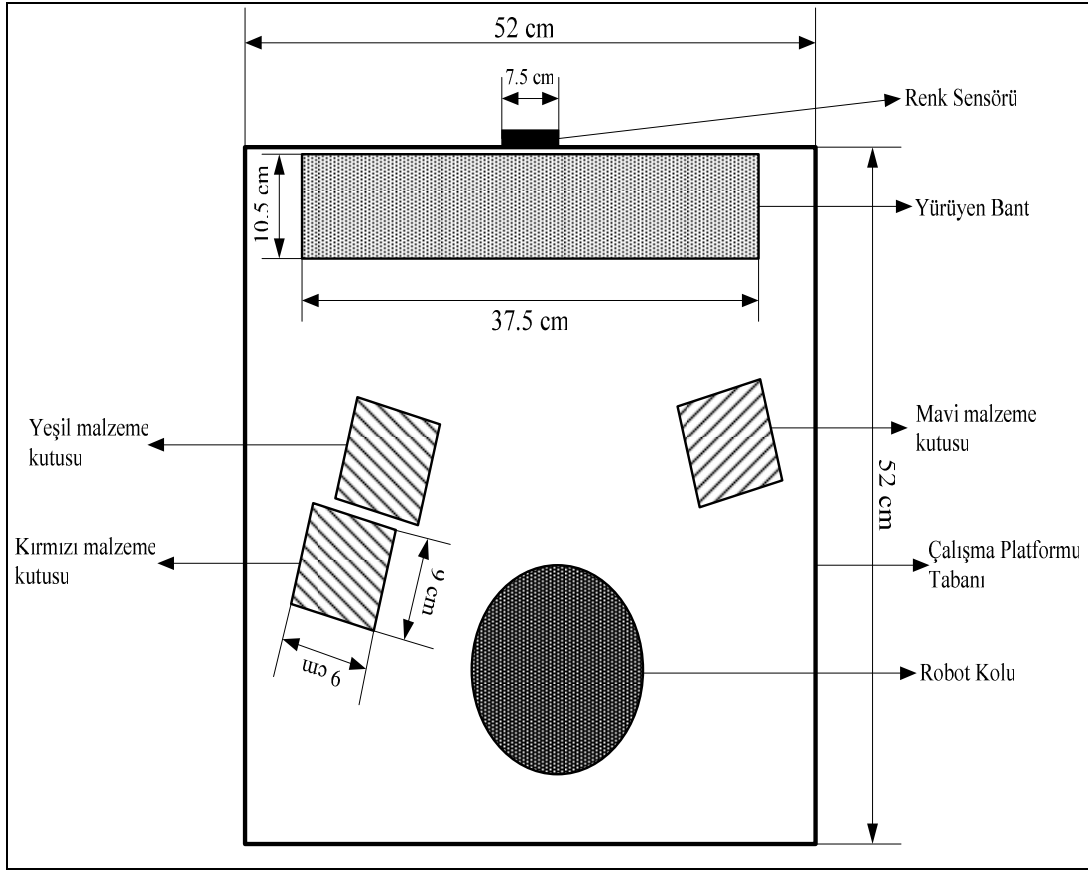
Resim 4.19. Kontrol kutusu ön paneli



Resim 4.20. Kontrol kutusu arka paneli

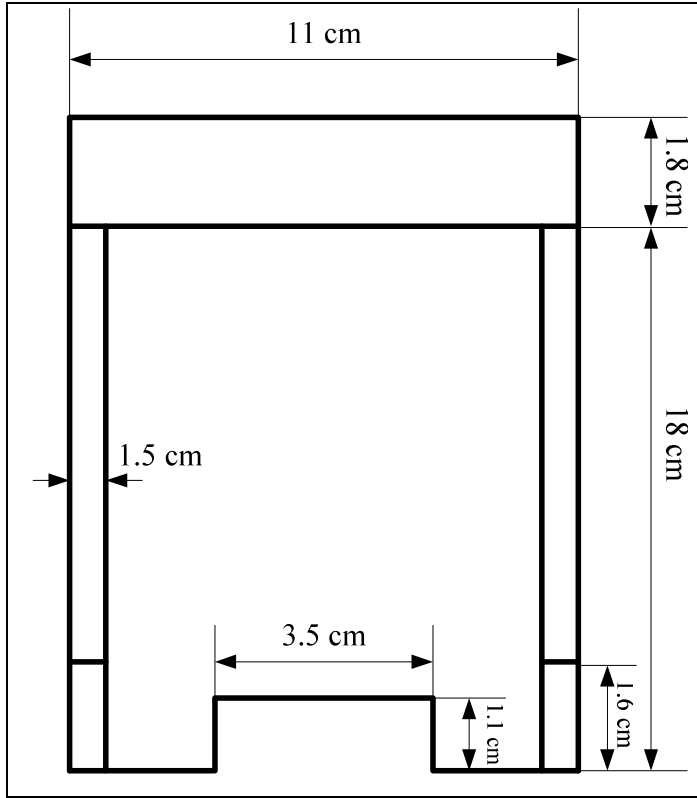
4.5. Renge Göre Malzeme Taşıyan Robot Kolu Uygulama Platformu

Tasarımı yapılan ve montajları bitirilen robot kolu sistemi daha sonra uygulama platformuna yerleştirilmiştir. Bu çalışma platformunda örnek bir çalışma ile renge göre malzeme taşıyan robot kolunun çalışması denenmiştir. Uygulama platformu için kare şeklinde medefe malzemeden bir alt taban yapılmıştır. Bu platform üzerine renk sensörü ve renk sensörünün önüne dikdörtgen şeklinde, kaplamalı suntadan yapılmış bir parça yerleştirilmiştir. Bu parça gerçek çalışma alanlarında yürüyen bant sistemini temsil etmek için kullanılmıştır. Daha sonra robot kolunun malzemeleri taşıdıktan sonra yerleştireceği malzeme kutuları, platform üzerine uygun yerlere konulmuştur. Robot kolu da aynı platform üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 4.13'de uygulama platformunun ve üzerine yerleştirilen parçaların şekilleri görülmektedir.

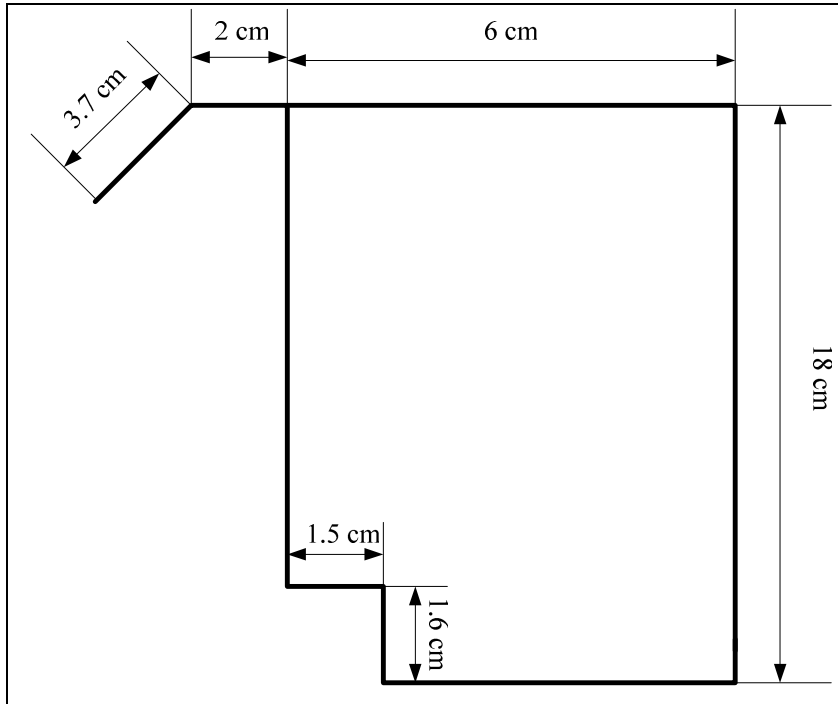


Şekil 4.13. Robot kolu uygulama platformu ve parçalarının yerleşimi

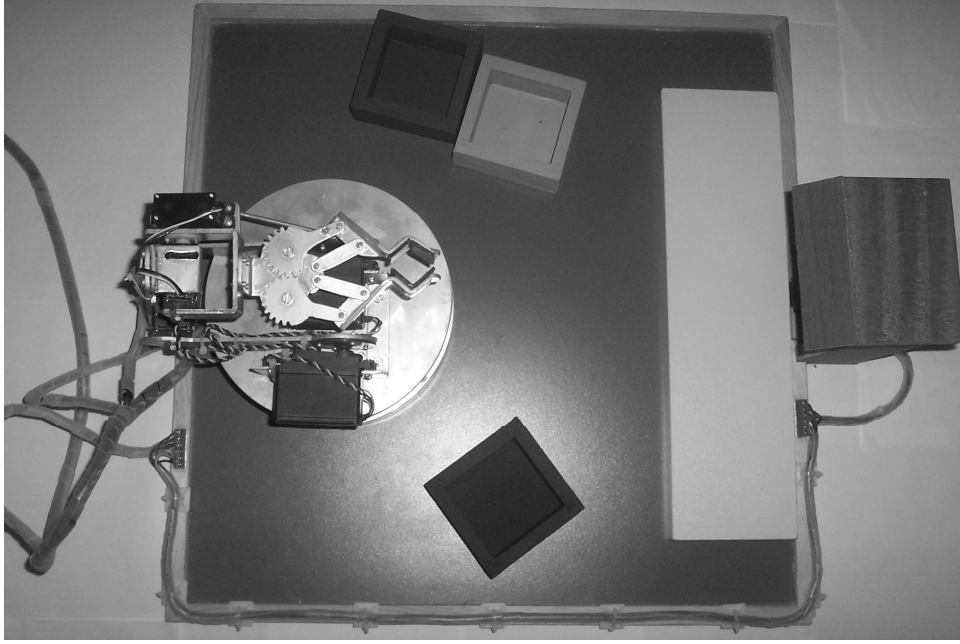
Renk sensörü daha önceden belirtildiği gibi, direkt güneş ışığında veya aşırı güçlü ışık ortamlarında yanlış renk algılaması yapabilmekteydi. Bu problemi en aza indirmek için renk sensörü üzerine gölgelendirme kabini konulmuştur. Bu kabin sayesinde, renk algılaması yapılacak malzeme gölgelenmiş olmaktadır. Böylece renk sensörü renk algılamasını daha sağlıklı yapabilmektedir. Şekil 4.14’de gölgelendirme kabininin önden görünüşü, Şekil 4.15’de ise yandan görünüşü görülmektedir. Resim 4.21’de ise robot kolu uygulama platformu resim olarak komple görülmektedir.



Şekil 4.14. Gölgeleme kabininin önden görünüşü



Şekil 4.15. Gölgeleme kabininin yandan görünüşü



Resim 4.21. Robot kolu uygulama platformu

4.6. Tasarlanan Robot Kolunun Performans Analizleri

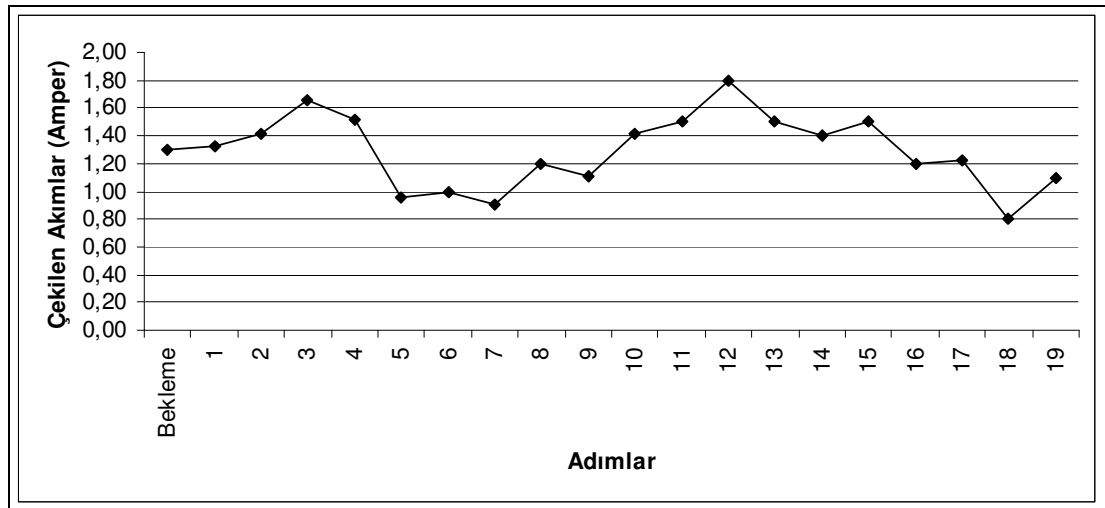
Tasarımı gerçekleştirilen renge göre malzeme taşıyan robot kolu sisteminin, çalışma anında; çekilen akımı, motor besleme voltajlarındaki dalgalanmaları, sistemin her adımdaki güç tüketimi, kontrol sinyalindeki frekans değişimi ölçülmüştür. Ayrıca tasarlanan renk sensörünün akşam ve gündüz şartlarında ne kadar mesafede renk algılama yapabildiği yapılan performans analizi ile tespit edilmiştir. Robot kolunun hareket sahası da belirtilmiştir.

Robot kolu malzeme taşıma işlemini her renkteki malzeme için 19 adımda tamamlamaktadır. Bu 19 adımda da çekilen akımlar robotun pozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. Malzemelerin yerleştirileceği malzeme kutuları farklı yerde olduğundan üç değişik renkteki malzeme içinde çekilen akım farklılık göstermektedir. Çizelge 4.6'da Kırmızı malzeme için her adımda çekilen sistem akımları görülmektedir. Şekil 4.16'da ise kırmızı malzeme taşınırken çekilen akım grafiksel olarak görülmektedir. Aynı şekilde yeşil malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları tablo olarak Çizelge 4.7'de, grafiksel olarak da Şekil 4.17'de,

mavi malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları tablo olarak Çizelge 4.8’de, grafiksel olarak da Şekil 4.18’de görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere robot kolunun değişik pozisyonlarında sistemin çektiği akımda farklılıklar vardır. Bu farklılıklar, istenen hareket için gerekli kuvvetin değişmesi sonucu motorların çektiği akımın artması veya azalmasından dolayıdır.

Çizelge 4.6. Kırmızı malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları

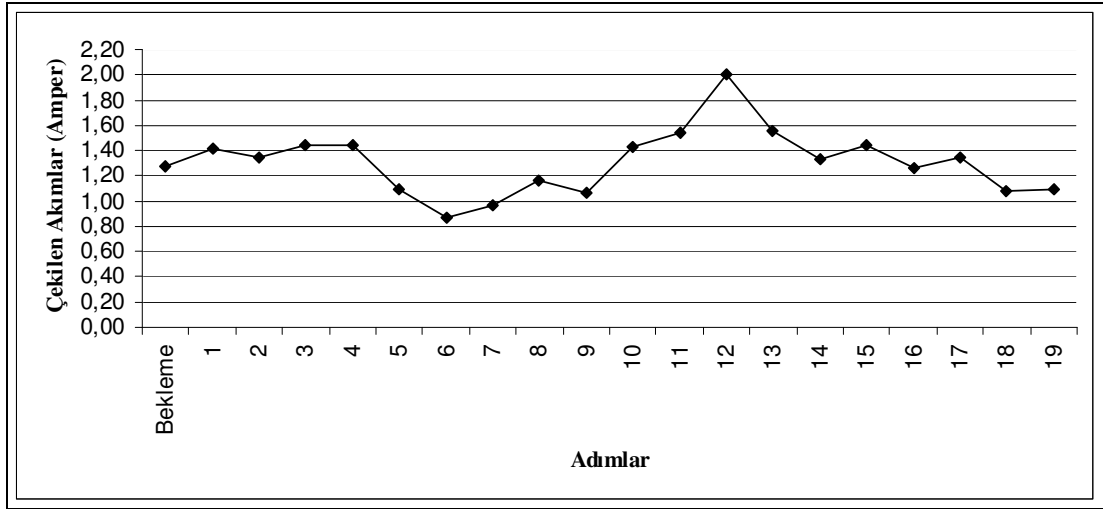
Adımlar	Bekleme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Çekilen Akım (Amper)	1,3	1,32	1,42	1,65	1,51	0,95	1	0,9	1,2	1,11	1,41
Adımlar	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Çekilen Akım (Amper)	1,5	1,8	1,5	1,4	1,5	1,2	1,22	0,8	1,1		



Şekil 4.16. Kırmızı malzeme taşınırken adımlara göre sistemin çektiği akımlar

Çizelge 4.7. Yeşil malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları

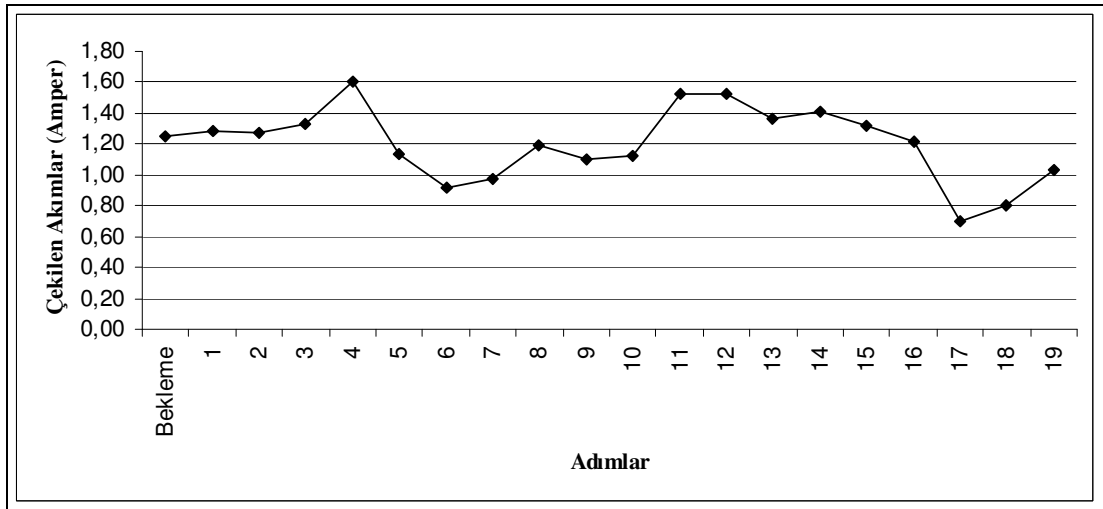
Adımlar	Bekleme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Çekilen Akım (Amper)	1,27	1,41	1,34	1,44	1,45	1,10	0,87	0,97	1,17	1,07	1,43
Adımlar	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Çekilen Akım (Amper)	1,54	2,00	1,55	1,33	1,45	1,26	1,34	1,08	1,09		



Şekil 4.17. Yeşil malzeme taşınırken adımlara göre sistemin çektiği akımlar

Çizelge 4.8. Mavi malzeme taşınırken her adımda çekilen sistem akımları

Adımlar	Bekleme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Çekilen Akım (Amper)	1,25	1,28	1,27	1,33	1,60	1,14	0,92	0,97	1,19	1,10	1,12
Adımlar	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Çekilen Akım (Amper)	1,53	1,52	1,37	1,41	1,32	1,21	0,70	0,80	1,03		

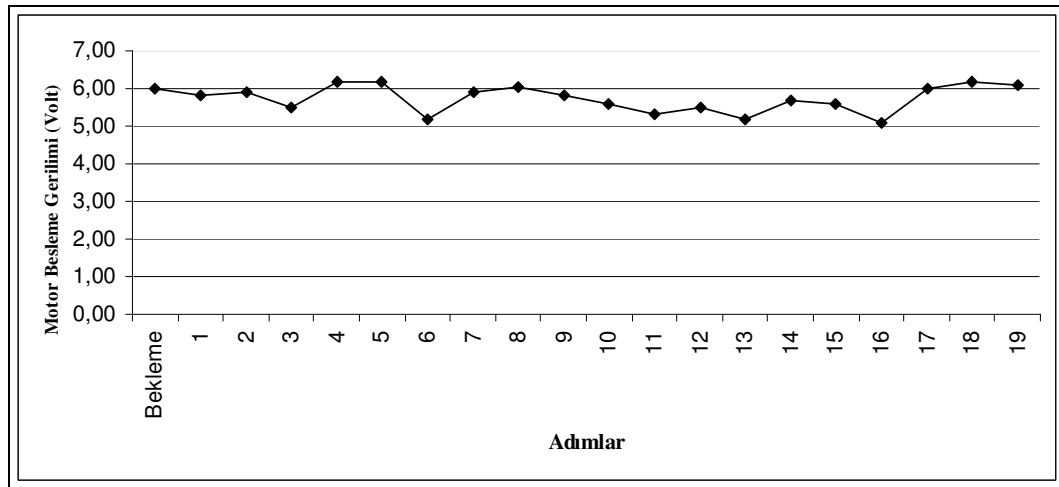


Şekil 4.18. Mavi malzeme taşınırken adımlara göre sistemin çektiği akımlar

Robot kolu güç kontrol devresinde motor ve mikrodenetleyici için iki ayrı gerilim çıkışı mevcuttu. Motor besleme uçlarına yaklaşık 6V gerilim verecek şekilde güç devresi tasarlanmıştır. Fakat motorların ani akım çekişinden dolayı motor besleme voltajında dalgalanmalar olabilmektedir. Çizelge 4.9’da robot hareketinin değişik renkteki malzemeleri taşıırken her adımındaki ortalama motor besleme gerilimleri görülmektedir. Şekil 4.19’da ise bu gerilim değişimleri grafiksel olarak verilmiştir.

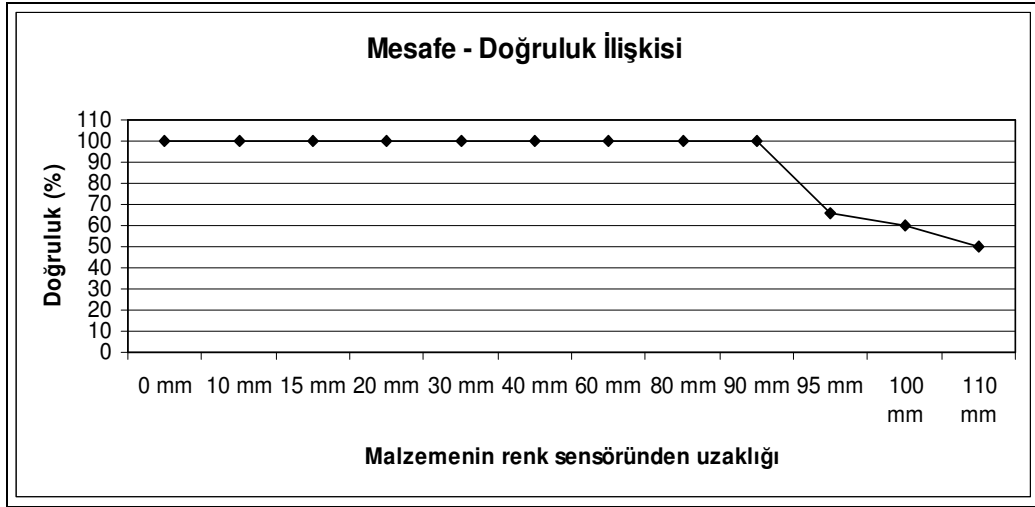
Çizelge 4.9. Her adımındaki ortalama motor besleme gerilimleri

Adımlar	Bekleme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besleme Gerilimi (Volt)	5,98	5,80	5,90	5,50	6,20	6,20	5,20	5,90	6,05	5,80	5,60
Adımlar	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Besleme Gerilimi (Volt)	5,30	5,50	5,20	5,70	5,60	5,10	5,98	6,20	6,10		



Şekil 4.19. Her adımındaki ortalama motor besleme gerilimleri

Ölçülen akım ve gerilim değerlerine göre sistemin her adımındaki ortalama güç ihtiyacı hesaplanmış ve Şekil 4.20’de grafiksel olarak verilmiştir.

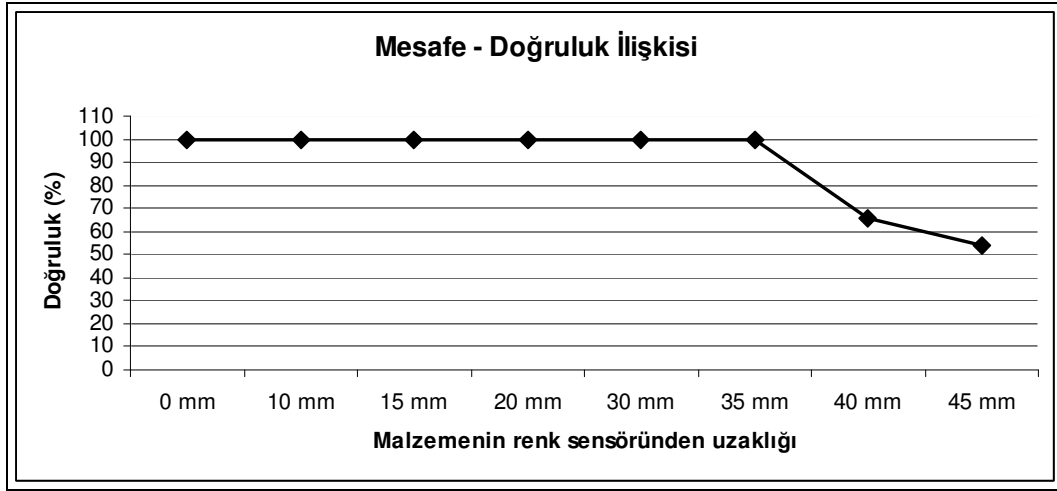


Şekil 4.21. Flüoresan lamba altında renk sensörü doğruluk-mesafe doğruluk ilişkisi

Şekil 4.21’de verilen grafikten anlaşılabacağı üzere flüoresan lamba altında yapılan ölçümlerde renk sensörü en fazla 90 mm uzaklıktaki malzemelerin rengini algılayabilmektedir. Daha uzak mesafelerdeki malzemelerin renk algılanmasında karışıklık meydana gelmektedir. Çizelge 4.11’de gündüz normal güneş ışığında çeşitli mesafelerde yapılan 25 ölçümün sonuçları ile renk algılama doğruluk yüzdeleri verilmiştir. Şekil 4.22’de ise renk sensörünün bu şartlar altındaki mesafe-doğruluk ilişkisi grafiksel olarak verilmiştir. Aynı şekilde gündüz yüksek güneş ışığı altında 25 ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.12’de bu ölçümlerin sonuçları doğruluk olarak % cinsinden verilmiştir. Şekil 4.23’de ise bu sonuçlar grafiksel olarak görülmektedir.

Çizelge 4.11. Gündüz kapalı ortamda normal güneş ışığı altında renk sensörü mesafe doğruluk ilişkisi

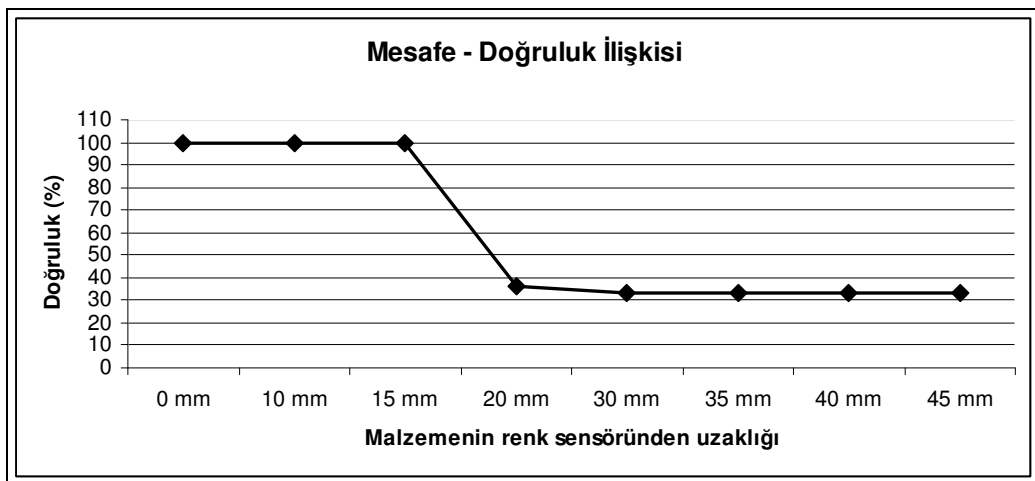
Malzeme Mesafesi	0 mm	10 mm	15 mm	20 mm	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm
Doğruluk Oranı (%)	100	100	100	100	100	100	66	54



Şekil 4.22. Gündüz kapalı ortamda normal güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi

Çizelge 4.12. Gündüz kapalı ortamda yüksek güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi

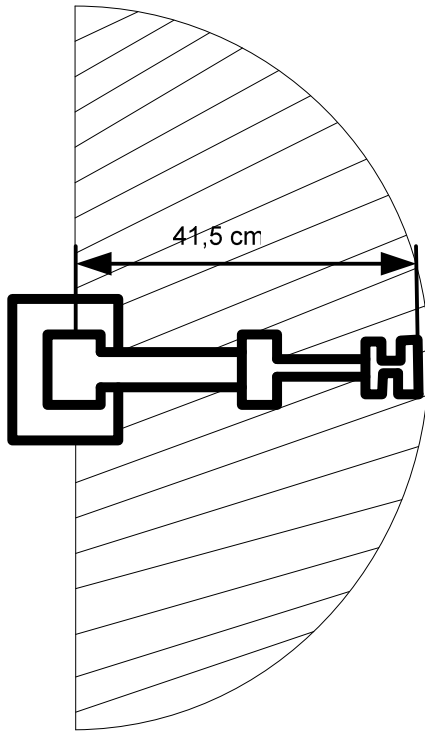
Malzeme Mesafesi	0 mm	10 mm	15 mm	20 mm	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm
Doğruluk Oranı (%)	100	100	100	36	33	33	33	33



Şekil 4.23. Gündüz kapalı ortamda yüksek güneş ışığı altında renk sensörü mesafe-doğruluk ilişkisi

Şekil 4.22’de verilen grafikten anlaşılaçağı gibi, renk sensörü kapalı ortamda gündüz normal bir güneş ışığı şartlarında, 0 mm ile 35 mm arasındaki bir mesafeden malzemelerin rengini doğru olarak algılayabilmektedir. 35 mm’den daha fazla mesafelerden yapılan ölçümler sağlıklı sonuç verememektedir. Gündüz kapalı ortamda yüksek güneş ışığı altında ise renk sensörü 0 mm ile 15 mm arasındaki bir mesafeden renk algılama görevini sağlıklı yapabilmektedir.

Robot kolunun hareket sahası; robot merkez konumdayken 90^0 sağ ve 90^0 sol tarafa omuz kolu boyunca (41,5 cm) olan alandır. Yani 180^0 ’lik bir hareket sahası mevcuttur. Şekil 4.24’de sembolik olarak robot kolunun hareket sahası görülmektedir. Taralı alan hareket sahasını göstermektedir. Fakat bu hareket sahası içindeki her noktaya robot kolu ulaşamayabilir. Çünkü kullanılan servo motorlar 8^0 ’lik açılar ile hareket yapabilmektedir. Servo motorların bu kısıtlamasından dolayı hareket sahasındaki her noktaya ulaşmada güçlüklerle karşılaşmaktadır.



Şekil 4.24. Tasarlanan robot kolunun hareket sahası

Sonuç olarak bu sistemin en verimli şekilde çalışabilmesi için; sistem minimum 12 V, 20 W gücünde bir güç kaynağı ile beslenmeli, güç kaynağı ani akım değişimlerine cevap vermeli, malzemenin renk sensöründen uzaklığı; flüoresan lamba altında maksimum 90 mm, kapalı ortamda gündüz normal güneş ışığında maksimum 35 mm, yüksek güneş ışığı altında maksimum 15 mm uzaklıkta olmalıdır. Ayrıca renk sensörünün yanılmaması için renk sensörü, direkt olarak güneş ışığına maruz bırakılmamalı ve çok yüksek şiddetteki ışık ortamlarında kullanılmamalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstride, çalışan bir bant üzerinden geçen ürünlerin renklerine göre ayırt edilebilmesi ve hassas bir şekilde, insan gücü kullanmadan bant üzerinden alınması amacıyla renge göre (Kırmızı, Yeşil, Mavi) malzeme taşıyan robot kolu bu tezin amacını oluşturmaktadır. Bunun amaç için; Japon Endüstri Robot Birliğine göre 5.Sınıf, Fransız Sanayi Robot Birliğine göre C tipi robot sınıfına giren, açık döngülü kontrol sistemli, eklemlili, çeneli tip uç etkileyiciye sahip, elektriksel tahrik sistemli, R/C servo motor hareket ettiricili, yazılım ile programlanabilme özelliğine sahip bir robot kolu ile sisteme ek olarak da Kırmızı, Yeşil ve Mavi renkleri algılayan bir renk sensörü tasarlanmış ve uygulaması yapılmıştır.

Çoğu endüstri alanlarında, yürüyen bant üzerindeki ürünlerden standartlara uymayanlar, hidrolik veya pnömatik pistonlar aracılığı ile sistemden dışarı atılmaktadır. Fakat hassas ve zarar verici ürünlerin bant dışına atılmasının tehlikeli olduğu durumlarda pistonlar dışında bir yöntem kullanılmalıdır. Gerçekleştirilen robot kolu, hassas ve tehlikeli özellikteki ürünlerin bant sistemi üzerinden alınması işlemi için çok güvenli bir şekilde kullanılabilir. Mekanik sistemde kullanılan motorlar ve mekanik sistemin boyutları ağır malzemeler için yeterli değildir. Uygulaması yapılan robot kolu sadece prototip özelliğindedir. İstendiğinde tasarım aşamalarındaki mantık ve programlama kullanılarak; daha güçlü motorlara sahip ve daha büyük mekanik gövdeli robot kolu kolayca hayata geçirilebilir.

Robot kolu sisteminde ayrıca üç ana rengi algılayabilen bir renk sensörü mevcuttur. Bu renk sensörü ile robot kolu, aynı sistem içerisinde senkronize çalışacak biçimde kullanılmıştır. Böylece sistem, malzemeleri renklerine göre farklı yerlere istiflemeye veya istenen renge uymayan ürünlerin bant üzerinden alınması işlemlerinin gerektiği tüm yerlerde kullanılabilir. Renk sensörü sadece Kırmızı, Yeşil ve Mavi renkleri ayırt etmek üzere tasarlanmıştır. Diğer renkler için de ayarlama yapılabilir. Fakat ayırt edilecek renk sayısı arttıkça sensörün ayırt etme doğruluğu azalmaktadır. Ürünler arasında tek bir rengin algılanması istendiğinde ise o renge göre renk sensörü programı değiştirilerek ayarlama yapılabilir. Böylece sistem kullanılacak yer

ve amaca göre özelleştirilebilir. Tasarımı yapılan renk sensöründen odaklama özelliği yoktur. Yani sensörden gönderilen ışıklar tek bir noktaya odaklanamamaktadır. Bu nedenle ürünler üzerindeki çok küçük noktalara odaklanma yapılamamaktadır. Renk sensörünün önüne gerekli odaklamayı sağlayacak özel mercek imal edilerek bu sorun çözülebilir. Ürünlerin renk sensöründen maksimum uzaklıkları Bölüm 4.6'da belirtilen şartlar ve mesafelerde olmalıdır. Aksi halde renk algılama sağlıklı olmayabilir. Renk sensörü için, PLC sistemlere uygun piyasa da hazır olarak satılan renk sensörleride kullanılabilir. Fakat bunların fiyatları özelliklerine göre değişen yüksek meblağlardır.

Robot kolu mekanik sisteminde kullanılan R/C servo motorlar analog tiptedir. Analog R/C servo motorlarda dönme hassasiyeti küçüktür. Kullanılan motorlarda bu parametre 8^0 dir. Bu nedenler robot kolu çok hassasiyet gerektiren noktalara ulaşamayabilir. Bunun çözümü için Dijital R/C servo motorlar kullanılabilir. Dijital servo motorlarda dönme hassasiyeti küçüktür. Fakat dijital servo motorların fiyatları analog servo motorlara göre pahalıdır. Bu tip motorların pahalı olmasından dolayı analog servo motorlar tercih edilmiştir. Eğer yüksek hassasiyet için dijital tip motorların kullanılması isteniyorsa, motor kontrol programında; PWM periyodu 20 ms olacak şekilde ve her görev saykılı 6 kez tekrarlanacak biçimde sinyal üretilmesi için değişiklik yapılmalıdır (45).

Sonuç olarak tasarlanan sistem bir bakıma prototip özelliğindedir. Kullanım amacına göre yukarıda bahsedilen önerilerden faydalanarak uygun endüstri alanlarında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- 1- Varol, A., “ROBOTİK, 1. Baskı”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 53-55, 61, 62, 65, 66, 72, 73 (2000).
- 2- SENSICK Sensor for Automation, *SICK Catalogue*, 425 (2001).
- 3- Reyhanogulları, A. K., “Neural Network Controller Design For a 5-Dof Industrial Robot Based On Feedback Error Learning with Sliding Mode Control Algorithm”, Proje Raporu, *Boğaziçi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 2 (2004).
- 4- İnternet: Photoelectric Application, Sensorsincorporated.
<http://www.sensorsincorporated.com/photoelectric.html> (2005).
- 5- İnternet: Robotik, Bilim ve Teknik Dergisi Abdülkadir, E..
<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/robotik/cezeri1.html> (2005)
- 6- İnternet: Robot nedir?, ODTÜ Robot Topluluğu.
http://www.robot.metu.edu.tr/dosya/robot_nedir.pdf (2005).
- 7- Niku, S. B., “Introduction to Robotics : Analysis, System, Applications, 1st ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 2-6, 11-15, 29-87, 186-193, 198-201, 210-212, 219-237 (2001).
- 8- Zeldman, M. I., “What Every Engineer Should Know About Robots 11th ed.”, Middendorf W.H., *Marcel Dekker INC.*, New York, 1-12 , 26,27,30, 43-46, 50 (1984).
- 9- Mendi, F., “Sanayi Robotlarının Mekanik Üretimdeki Rolü, Performansları ve Türk Sanayinin Robotlar Yönünden Bugünkü Durumu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 46-62 (1992).
- 10- Bozdemir, M., “Robot Sistem Elemanları ve Hareket Analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-13, 17-32 (1996).
- 11- İnternet: Industrial Robots and Robot System Safety, OSHA Technical Manual. http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html (2005).
- 12- Kayman İ., “Eğitim Amaçlı 3 Serbestlik Dereceli Bir Robotun Yapımı ve Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-31 (1996).
- 13- Dilibal, S., “Üç Parmaklı SMA Robot Elin Üretimi ve Uygulama Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-37, 40-42 (1999).

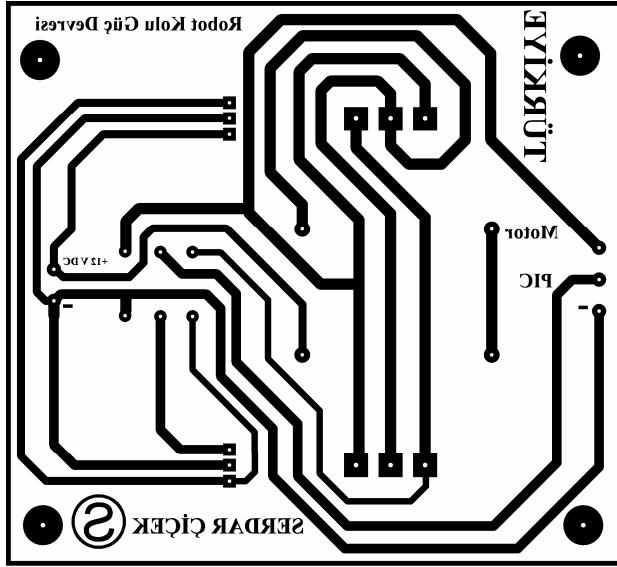
- 14- Koren, Y., “Robotics For Engineers 1st ed.”, Sun B., Fogarty D., **Mc Graw Hill**, USA, 23-27 (1985).
- 15- İnternet: Robots, Rockingstone. <http://www.rockingstone.nl/itcenter/detail.php?itemnr=1256&cat=robots&subcat=Elektronica%20/%20Componenten> (2005).
- 16- İnternet: Robot Claw And Wrist, Golden Net. <http://home.golden.net/~kpwilla/robot1.htm> (2005).
- 17- Akbabaoğlu, A., “Robotların Sanayide Kullanımı ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 11, 12, 24-27 (1997).
- 18- Albayrak, M., “Üç boyutlu Uzayda Hareket Edebilen Robot Kolun, Bilgisayar Destekli Kontrolü, Tasarımı ve Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 28-41 (1997).
- 19- İnternet: DC Motors, ODTÜ Robot Topluluğu. <http://www.robot.metu.edu.tr/dosya/motors.pdf> (2005).
- 20- İnternet: Adım Adım PIC Öğreniyorum-16, Antrak. <http://www.antrak.org.tr/gazete/012003/sinan.htm> (2005).
- 21- Spiteri, C. J., “Robotics Tecnology 1st ed.”, **Saunders College Publishing**, USA, 42 (1990).
- 22- Varol, A., Avcı., E., Şengür., A., “Yük Kontrollü Taşıma Aracı Otomasyonu”, **Otomasyon Dergisi**, 152:18 (2005).
- 23- Sullins, J. P., “Building Simple Mechanical MindsUsing LEGO® Robots for Research and Teaching in Philosophy”, **Metaphilosophy**, 33: 111 (2002).
- 24- Gürdal, O., “Algılayıcılar ve Dönüştürücüler 2.baskı”, **Nobel Yayın Dağıtım Ltd.Şti.**, Ankara, 3, 24, 35-45, 251, 307, 324, 386, 387 (2000).
- 25- Yazgan, E., Korukürek., M., “Tıp Elektroniği 1. Baskı”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi**, İstanbul, 1.10-1.13, 10.22, 10.23, 10.26 (1996).
- 26- Farnell, “Farnell International Catalogue, Electrical&Mechanical Volume 2”, **Farnell Company**, 1124 (2001).
- 27- Bury, B., “Proximity sensing for robots”, Robot Sensors, **IEE Colloquium on 23 Jan.**, 3:13 (1991).

- 28- İnternet: SRF10-The Worlds Smallest Ultrasonic Range Finder, Robot Electronics. http://www.robot-electronics.co.uk/shop/Ultrasonic_Rangers_1999.htm
http://www.robot-electronics.co.uk/shop/Speech_Synthesizer_SP032006.htm (2005).
- 29- Çerik, H. V., “Makine Elemanları III, 1. Baskı”, *Vefa Yayınevi*, İstanbul, 142, 158-161 (1994).
- 30- İnternet: R/C Servos 101, Mcmanis. <http://www.cs.wisc.edu/~bolo/shipyard/servos101.htm> (2005).
- 31- İnternet: General Servo Information, Hitec RCD USA, <http://www.hitecrcd.com/Support/Manuals/ServoManual.pdf> (2005).
- 32- İnternet: How Servos Work, Brookshire Software. http://www.brookshiresoftware.com/rd_how_servos_work.htm (2005).
- 33- İnternet: General Servo FAQ's, Hitec RCD USA. [http://www.hitecrcd.com/Support/Faqs/Faq_Genservo .htm](http://www.hitecrcd.com/Support/Faqs/Faq_Genservo.htm) (2005).
- 34- İnternet: Projects, Robot Italy. http://www.robot-italy.com/prj_servo_images/8_servo_potcut.jpg (2005).
- 35- Lee, J. H., “General Specification Of HS-755HB Quarter Scale Servo”, *Hitec Rcd Korea Inc*, 1 (2003).
- 36- İnternet: Announced Specification of HS-422 Standart Deluxe Servo, HITEC RCD USA. http://www.hitecrcd.com/homepage/product_fs.htm (2005).
- 37- İnternet: Announced Specification of HS-322 Standart Deluxe Servo, Helicopters Online Ltd. <http://www.helicopters-online.com/acatalog/hs322.pdf> (2005).
- 38- İnternet: Motorola Semiconductor Semiconductor Technical Data TIP 3055/D, Jaycar Electronics. http://www1.jaycar.com.au/images_uploaded/TIP3055.PDF (2005).
- 39- İnternet: LM340/LM78XX Series 3-Terminal Positive Regulators, National Semiconductor. <http://cache.national.com/ds/LM/LM340.pdf> (2005).
- 40- İnternet: LM140A/LM140/LM340A/LM340/LM7800C Series 3-Terminal Positive Regulators, National Semiconductor. http://www.datasheet4u.com/html/L/M/7/LM7806_NationalSemiconductor.pdf.html (2005).
- 41- Microchip Technology Incorporated, “PIC16F62XX Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers”, *Microchip Technology Inc.*, USA, 1-3 (1999).

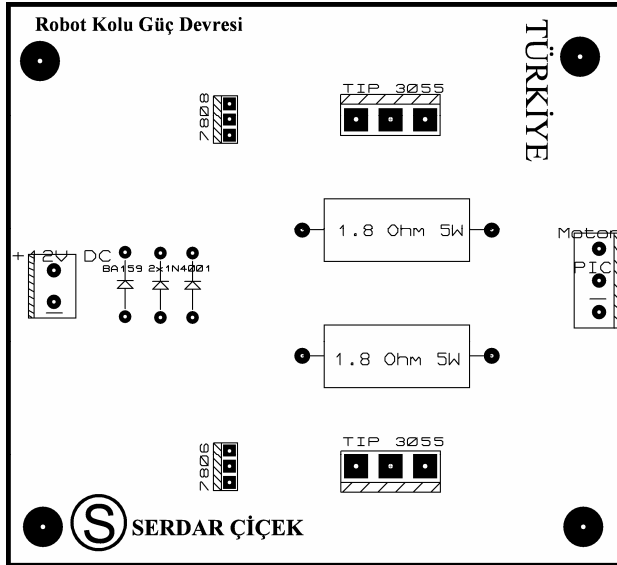
- 42- Altınbaşak, O., “Mikrodenetleyiciler ve PIC Programlama 2.Baskı”, **Altaş Basım Yayın Dağıtım**, İstanbul, 165-169 (2001).
- 43- Aksoy, M., Bal, S., Balıkçı, C., Güner, U., “ÖSS Fizik”, **Güvender Yayınları**, İzmir, 333, 334 (2004).
- 44- Microchip Technology Incorporated, “PIC16F87X 28/40-Pin CMOS Flash Microcontrollers”, **Microchip Technology Inc.**, USA, 1-3 (1999).
- 45- İnternet: Digital Fet Servos, Futaba. <http://www.futaba-rc.com/servos/digitalservos.pdf> (2005).

EKLER

EK-1. Robot kolu güç devresinin baskı devresi ve üstten görünümü

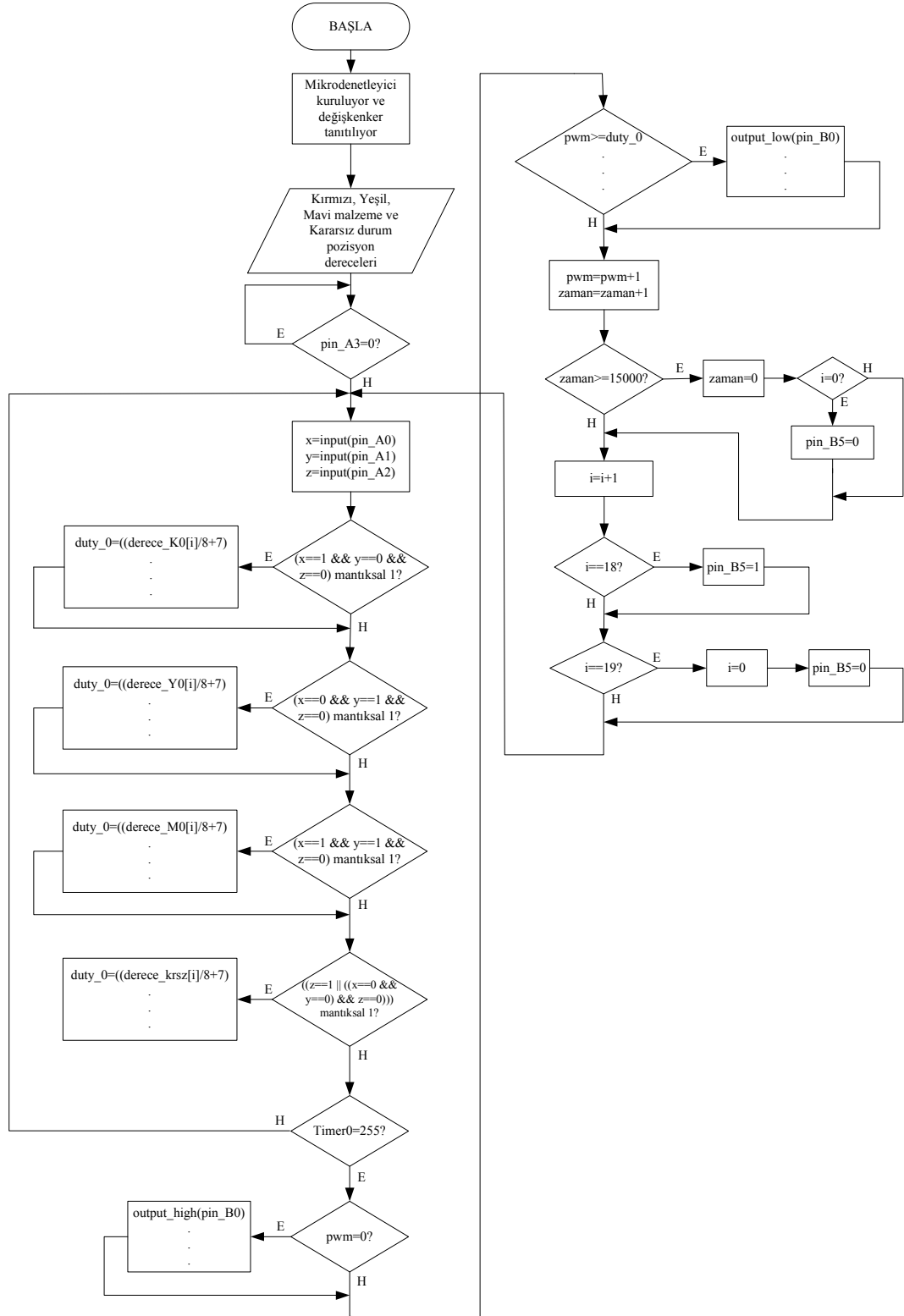


Şekil EK-1.1. Robot kolu güç devresinin baskı devresi

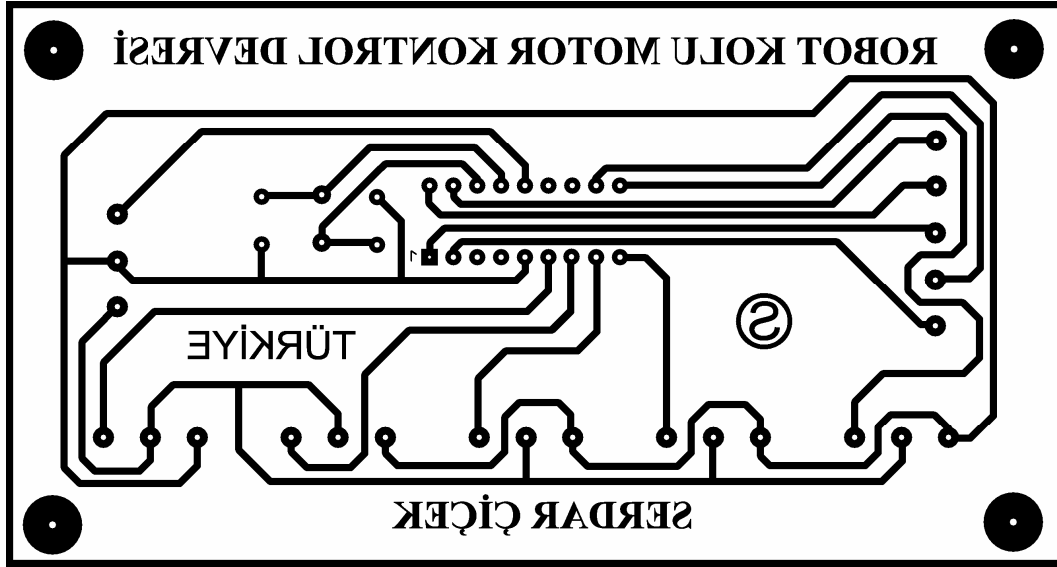


Şekil EK-1.2. Robot kolu güç devresinin üstten görünümü

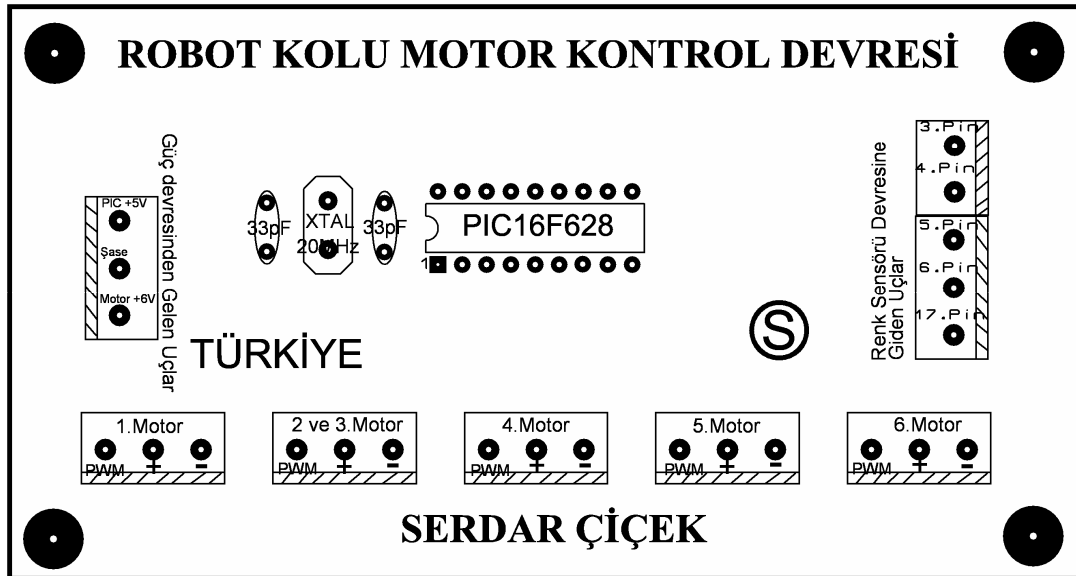
EK-2. Motor kontrol programının akış diyagramı



EK-3. Robot kolu motor kontrol devresinin baskı devresi ve üstten görünümü

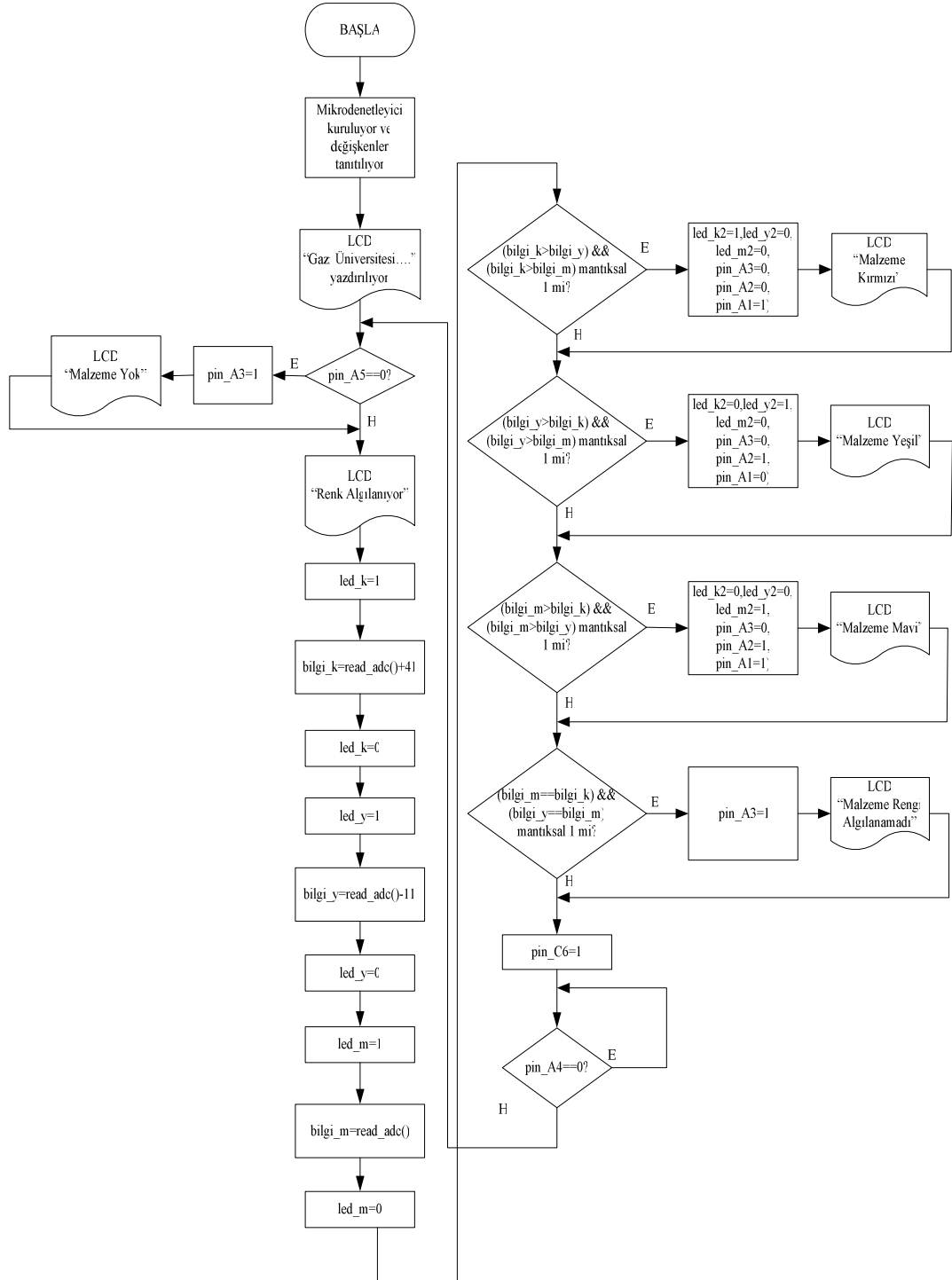


Şekil EK-3.1. Robot kolu motor kontrol devresinin baskı devresi

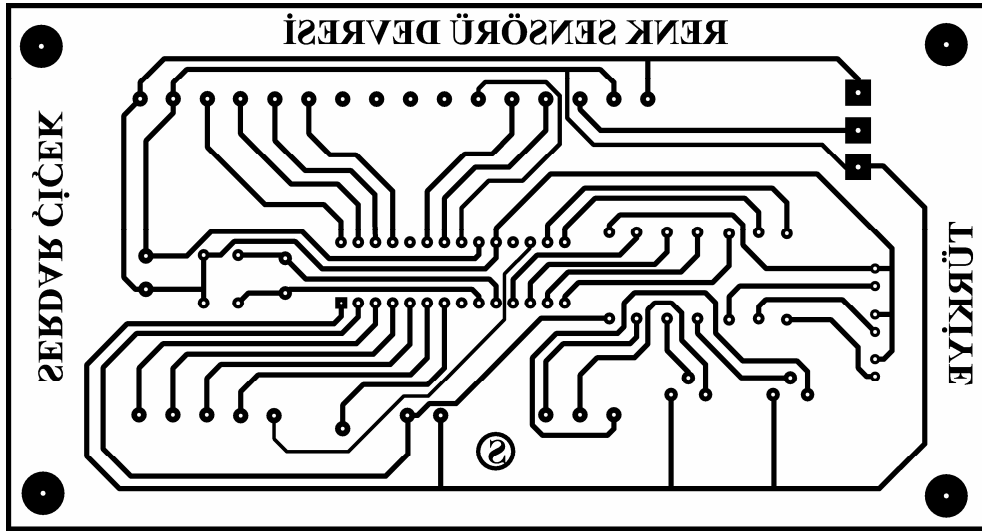


Şekil EK-3.2. Robot kolu motor kontrol devresinin üstten görünümü

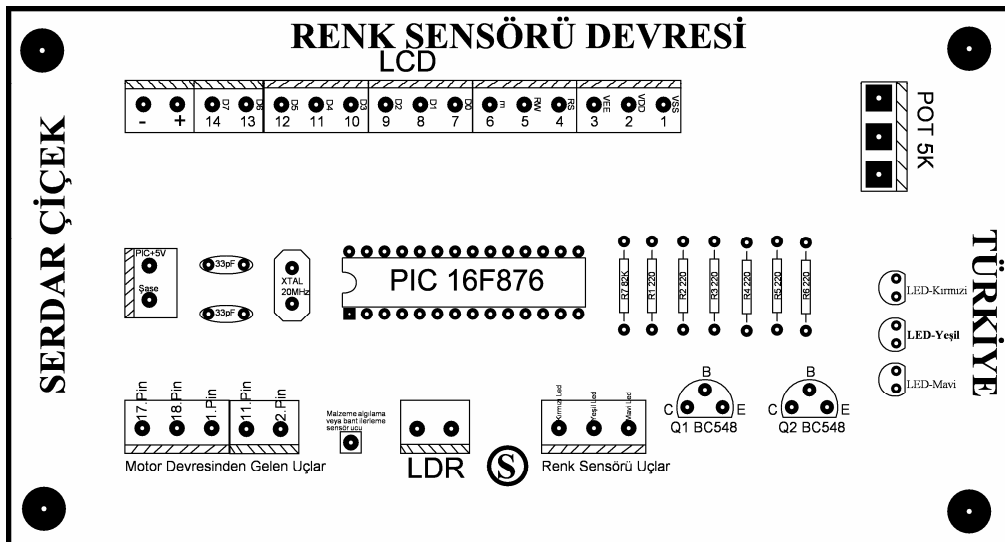
EK-4 Renk sensörü devresi programının akış diyagramı



EK-5 Robot kolu renk sensörü devresinin baskı devresi ve üstten görünümü



Şekil EK-5.1. Robot kolu renk sensörü devresinin baskı devresi



Şekil EK-5.2. Robot kolu renk sensörü devresinin üstten görünümü

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Mersin’de doğdu. İlköğrenimini, Cumhuriyet İlkokulunda, ortaöğrenimini Mobil Ortaokulunda tamamladı. Lise öğrenimine Mersin II. Endüstri Meslek Lisesinde Elektrik bölümünde başladı. Daha sonra lise 2’de Mersin Teknik Lisesi Elektronik Bölümüne geçiş yaptı ve 1998 yılında Mersin Teknik Lisesinde lise öğrenimini tamamladı. Üniversite eğitime 1999 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği bölümünde başladı. 2003 yılında Lisans eğitimini tamamlayarak aynı yılda Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2003 yılında MEB Kocaeli Körfez Anadolu Teknik-Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde Elektronik Öğretmeni olarak çalışmaya başladı. Halen aynı okulda öğretmenlik yapmaya devam etmektedir.