

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PICK AND PLACE (TUT VE YERLEŞTİR) SİSTEMİ İLE PCB DİZGİ MAKİNESİ
UYGULAMASI

HÜSEYİN KIRCIOĞLU

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

OCAK 2024

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PICK AND PLACE (TUT VE YERLEŞTİR) SİSTEMİ İLE PCB DİZGİ MAKİNESİ
UYGULAMASI

HÜSEYİN KIRCIOĞLU

DANIŞMAN
Doç. Dr. İlyas Özer

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

OCAK 2024

ONAY

Hüseyin Kırcıoğlu tarafından hazırlanan “**Pick and Place (Tut ve Yerleştir) Sistemi ile PCB Dizgi Makinesi Uygulaması**” adlı tez çalışması 24/01/2024 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. İlyas ÖZER

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT

(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Onur GENÇ

(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Abdullah YEŞİL

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Pick and Place (Tut ve Yerleştir) Sistemi ile PCB Dizgi Makinesi Uygulaması**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 10/01/2024

Hüseyin KIRCIOĞLU

ÖNSÖZ

Son yıllarda üretim teknolojisi, seri üretimden kitlesel kişiselleştirilmiş makinelerin yer aldığı teknolojiye geçmiştir. Artan ürün çeşitliliği, üretim sürecinde ve sonrasında önemli zorluklar yaratmıştır. Bu, yeniden yapılandırılabilir çalışma sistemleri ve üretim hatları, daha hızlı adaptasyon süresi, yeniden kullanılabilir ve programlanabilir robotik sistemler, azaltılmış fabrika içi dolaşım, düşük adetli üretimler ve azaltılmış programlama maliyetleri gerektirir. Bu nedenle, uyarlanabilir bir robotik kontrol sistemi ve çoklu robot iş birliği yapısı, bu zorlukların üstesinden gelmek ve insan müdahalesi olmadan çevre ve üretim hattı değişikliklerine özerk bir şekilde tepki vermek için zorunlu bir hal almıştır. Tut-Yerleştir makineleri bu üretim zorluklarının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Tut-Yerleştir makineleri tanımlanmış bir reçeteye sahiptir ve operatörlerin müdahalesine ihtiyaç duymadan görevleri gerçekleştirebilen adaptif sistemlerdir. Endüstride çok çeşitli sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahip bu makineler, diğer sistemler ile de kolayca adapte edilip kullanılmaktadır. Konveyör sistemleri, görüntü işleme uygulamaları, değişik ebatlardaki parçaların taşınması gereken sistemler, geri beslemeli makine uygulamaları gibi örnekler verilebilir.

Yapılan tez çalışması kapsamında projelendirdiğimiz Tut-Yerleştir makinesinde PCB (Printed Circuit Board) kart üzerine elektronik bileşen (SMT) dizilimi yapan bir nevi “DİZGİ” makinesi yapılması amaçlanmaktadır.

Hazırlamış olduğum bu çalışmada tecrübeleri ve bilgisi ile tez aşamamın her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İlyas ÖZER’e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteği ve yardımıyla her daim yanımda olan eşim Gülten KIRCIOĞLU’na teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim ve bu tez çalışması aşamasında verdikleri destek için ERMAKSAN MAKİNE SAN. TİC. LTD. ŞTİ. firmasına ve Opto-Elektronik Ar-Ge Merkezi’nde başta Ercan DENİZ olmak üzere yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PICK AND PLACE (TUT VE YERLEŞTİR) SİSTEMİ İLE PCB DİZGİ MAKİNESİ UYGULAMASI

Hüseyin KIRCIOĞLU

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlyas ÖZER

Ocak 2024, 76 sayfa

Otomasyon, insan yaşamını kolaylaştırmak için endüstride, yönetimde ve bilimsel işlerde insan aracılığı olmadan otomatik olarak işlerin yapılabilmesini sağlayan sistemin tamamıdır. Diğer bir deyişle insan tarafından yapılan bazı işlerin makineler tarafından yapılmasını ve insan müdahalesine gerek kalmadan işlem sıralarının kontrol edilmesini sağlamak için tasarlanmış sistemlerdir. Endüstride otomasyon teknolojilerinin hızla yayılmasının bir sonucu olarak Tut-Yerleştir (PNP) makineleri farklı uygulama alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İlk endüstriyel olarak ortaya çıkması 1959 yılında General Motors firmasının dökümhanesinde sıcak malzemelerin taşınması amacıyla olmuştur. O günden sonra bu makinelerin kullanılma alanı gün geçtikçe artmıştır. Günümüzde Micromachining dediğimiz yapılar için PNP makineleri en zorunlu sistemler haline gelmiştir. Bu makineler adapte edilen yardımcı sistemlerle, kamera yerleşimi ile görüntü işleme, PCB (Printed Circuit Board) kart üzerine komponent dizilimi ve lehimlenmesi, insan sağlığına zararlı kimyasalların kullanıldığı yerler, temiz oda uygulamalarında, insan tarafından kaldırılması zor olan parçaların taşınması gibi çalışma alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Proje kapsamında yapılan makine taşınabilir ve maliyeti düşük olduğundan küçük işletmeler için tercih edilebilir özelliğindedir.

Bu çalışmada, Kartezyen sistemde çalışan 3 eksenli bir hareket sistemine bağlı olan vakumlu bir gripper (tutucu) bulunmaktadır. Daha önce manuel olarak el yardımı ile PCB üzerine dizilimi yapılan elektronik kartın, yapılan proje ile bu komponentlerin daha hassas ve hızlı olarak elektronik kart üzerine dizgisinin yapılması amaçlanmaktadır. PCB kart üzerinde yer alacak SMT (Surface Mount Technology) komponentlerin PCB karta yerleşiminden önce “Vacuum Gel Pack (VGP)” ismi verilen taşıyıcı tepsi üzerine dizilimleri gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Projede yer alan step motorlar, TB6600 motor sürücülerine bağlantıları yapılmış ve Arduino Mega 2560 kartı üzerinden kontrolü gerçekleştirilmiştir. Gripper kısmında bulunan vakum tutucuda kullanılan 24V selenoid valfin Arduino Mega 2560 ile haberleşmesini sağlamak için “2’li 5V Röle Kartı” kullanılmaktadır. Komponentin vakum tutucu tarafından alınıp alınmadığını kontrol amacıyla “Autonics PSAN” marka vakum sensörü kullanılmaktadır. Sistemin programlanması “Python” yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. Projenin modellenmesi Solidworks programı ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pick and Place, Endüstriyel Robot, Vacuum Gripper, TB6600, Tut-Yerleştir, PCB , Arduino Mega 2560, Step Motor, Solidworks

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

PCB LAYING MACHINE APPLICATION WITH PICK AND PLACE SYSTEM

Hüseyin KIRCIOĞLU

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlyas ÖZER

January 2024, 76 pages

Automation is the whole system that enables things to be done automatically without human intervention in industry, management and scientific works to facilitate human life. In other words, they are systems designed to ensure that some work done by humans is done by machines and that the order of operations is controlled without the need for human intervention. As a result of the rapid spread of automation technologies in the industry, Pick-Place machines have been widely used in different application areas. Its first industrial appearance was in 1959 in the foundry of General Motors for the transport of hot materials. Since then, the usage area of these machines has increased day by day. Today, Pick-Place machines have become the most needed systems for the structures we call Micromachining. These machines are frequently used in work areas such as image processing with camera placement, component arranging and soldering on PCB (Printed Circuit Board) board, places where chemicals harmful to human health are used, clean room applications, transporting parts that are difficult to be lifted by humans, with adapted auxiliary systems. The machine built within the scope of the project is preferable for small businesses since it is portable and cost-effective.

In this study, there is a vacuum gripper holder connected to a 3-axis motion system operating in a Cartesian system. The project aims to arrange these components on the electronic card more precisely and quickly, whereas the electronic card was previously arranged manually on the PCB. Before the SMT (Surface Mount Technology) components to be placed on the PCB board are placed on the PCB board, they must be arranged on the carrier tray called “Vacuum Gel Pack (VGP)”. Stepper motors in the project were connected to TB6600 drivers and controlled via Arduino Mega 2560 board. "Two 5V Relay Board" is used to ensure that the 24V solenoid valve used in the vacuum holder in the gripper part communicates with the Arduino Mega 2560. “Autonics PSAN” brand vacuum sensor is used to control whether the component is taken by the vacuum holder. Programming the system “C Sharp” performed with software. Modeling of the project was done with Solidworks program.

Keywords: Pick and Place, Industrial Robot, Vacuum Gripper, TB6600, PCB, Arduino Mega 2560, Step Motor, Solidworks, Vacuum Gel Pack,

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	X
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ENDÜSTRİYEL ROBOT	6
2.1. ENDÜSTRİYEL ROBOTUN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	7
2.2. KULLANIM ALANLARINA GÖRE ROBOTLAR	9
2.3. EKLEM TİPLERİNE GÖRE ENDÜSTRİYEL ROBOT ÇEŞİTLERİ.....	10
2.3.1. Kartezyen(Cartesian) Eksen Sistemli Robotlar.....	11
2.3.2. Silindirik (Cylindrical) Eksen Sistemli Robotlar.....	12
2.3.3. Küresel (Shperical) Eksen Sistemli Robotlar.....	13
2.3.4. SCARA Tipi Robot.....	13
2.3.5. Mafsallı (Articulated) Eksen Sistemli Robotlar.....	14
2.4. ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA KULLANILAN BİLEŞENLER	15
2.4.1. Manipülatör	16
2.4.2. Uç İşlevci (Gripper)	17
2.4.2.1. Vakum Tutucular	19
2.4.3. Sensörler (Transducer/Dönüştürücüler),	22
2.4.4. Eyleyiciler (Actuators),	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM	46
3.1. Sistem Tasarım ve Modelleme	46
3.1.1. Vakum Hattı.....	47
3.1.2. Arduino Mega 2560 Mikro Denetleyici	49

3.1.3.	Nema 17 Step Motor	49
3.1.4.	TB6600 Step Motor Sürücü Kartı.....	51
3.1.5.	Kayış-Kasnak Sistemleri.....	52
3.1.6.	5V Röle Kartı	53
3.1.7.	Mikro Mekanik Siviçler	53
3.1.8.	Vakum Sensörü.....	54
3.2.	Mekanik Tasarım Parçalarının İmal Edilmesi;	55
3.3.	Sistem Analizi.....	66
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	68
5.	KAYNAKLAR.....	71
	ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1: a. El-Cezerî (Filli Su Saati), b. Leonardo DaVinci (Şövalye Robot),	7
Şekil 2-2: Robot gelişimi için önemli endüstriyel robotlar; (a) Ultimate, (b) SCARA robot..	9
Şekil 2-3: Dünya çapında endüstriyel robotik kullanım istatistikleri; (a) Tahmini yıllık robot kurulumları, (b) 10.000 kişi başına düşen otomotiv ve imalat endüstrilerindeki endüstriyel robot sayıları,	9
Şekil 2-4: Kartezyen robot	12
Şekil 2-5: Silindirik robot	12
Şekil 2-6: Küresel robot	13
Şekil 2-7: SCARA robot	14
Şekil 2-8: Mafsallı robot	14
Şekil 2-9: Endüstriyel robot sisteminin ana bileşenleri	15
Şekil 2-10: Endüstriyel sistem çalışma birimleri	16
Şekil 2-11: Manipülatör yapısı	17
Şekil 2-12: PNP işleminin akış şeması süreci (solda), bir robotik hücrenin ana unsurları (sağda) ve çalışma sistematigi gösterimi	18
Şekil 2-13: Vakumlu tutucu	20
Şekil 2-14: Mekanik tutucu	21
Şekil 2-15: Manyetik tutucu	21
Şekil 2-16: Sensörlerin çalışma prensibi	22
Şekil 2-17: Yakınlık anahtarı çalışma prensibi	24
Şekil 2-18: İndüktif sensör çalışma prensibi	24
Şekil 2-19: Basit yapıda artımsal enkoder gösterimi	25
Şekil 2-20: Değişken relüktans takojeneratörü	25
Şekil 2-21: Strain Gauge (Gerinim ölçer yük hücresi)	27
Şekil 2-22: Gerinim ölçer (Strain Gauge)	28
Şekil 2-23: Piezoelektrik sensör sapısı	28
Şekil 2-24: Bourdan tüplü manometrelerin yapısı	29
Şekil 2-25: Akış daralmasını gösteren bir kesit	30
Şekil 2-26: Orifis plakası çalışma prensibi	31
Şekil 2-27: Sıvı seviye sensörü basit yapının gösterilmesi	32

Şekil 2-28: Termistör çeşitleri	33
Şekil 2-29: Fotodiyot ve fototransistör.....	34
Şekil 2-30: Hidrolik silindir bölümleri	35
Şekil 2-31: a) Tek etkili silindir, b) Çift etkili silindir	36
Şekil 2-32: DC motor elemanları.....	37
Şekil 2-33: Step motorun çeşitleri Bipolar ve Unipolar	38
Şekil 2-34: Step motor kontrol kartları; (a) TB6600, (b) A4988	39
Şekil 2-35: Servo motorların sınıflandırılması.....	40
Şekil 2-36: Inchworm hareket prensibi şematik gösterimi.....	42
Şekil 2-37: Sürtünme-Durağanlık hareket prensibi şematik gösterimi.....	44
Şekil 2-38: Parasitic hareket prensibi şematik gösterimi	45
Şekil 3-1: Projenin katı model görüntüsü	46
Şekil 3-2: Sistemin vakum hattı.....	47
Şekil 3-3: İş parçasının taşınması.....	48
Şekil 3-4: Arduino Mega 2560 mikro denetleyici	49
Şekil 3-5: Nema 17 step motor.....	50
Şekil 3-6: Sistemin X eksen hareket sistem yapısı	50
Şekil 3-7: TB6600 step motor sürücüsü.....	52
Şekil 3-8: Kayış-kasnak mekanizması	52
Şekil 3-9: 5 Volt 2 kanallı röle kartı.....	53
Şekil 3-10: Mikro mekanik siviç.....	54
Şekil 3-11: Vakum sensörü	54
Şekil 3-12: PNP X eksen montaj resmi	55
Şekil 3-13: X eksen plakası imalat resmi.....	56
Şekil 3-14: KFL0008 yatak sacı imalat resmi	57
Şekil 3-15: PNP Y eksen montaj resmi	58
Şekil 3-16: Nema 17 bağlantı sacı imalat resmi	59
Şekil 3-17: PNP Z eksen montaj resmi	60
Şekil 3-18: Z eksen alt plakası	61
Şekil 3-19: Z eksen üst plakası	62
Şekil 3-20: PNP PCB sehpa montaj resmi.....	63
Şekil 3-21: PCB dizgi plakası-1 imalat resmi.....	64
Şekil 3-22: PCB dizgi plakası-2 imalat resmi.....	65

Şekil 3-23: St37 malzemenin toplam deformasyon analiz sonucu	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 3-24: 6061 kalite alüminyum malzemenin toplam deformasyon analiz sonucu.....	67
Şekil 4-1: SMD makaralar ve besleme ünitesi	69
Şekil 4-2: Dizgi sehpa bölümü.....	69
Şekil 4-3: PNP Sisteminin görüntüsü.....	70



TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2-1: Eklem tiplerine göre robot çeşitleri	11
Tablo 3-1: Nema 17 step motor özellikleri(17HS1352).....	49



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

σ	: Sigmoid
Σ	: Toplam Formülü
ω	: Açısal Hız (rad/sn)
Φ	: Akı Değişimi
ρ	: Sıvı Yoğunluğu (g/cm ³)
V	: Akışkan Hızı (m/s)
P	: Basınç (psi)
A	: Alan (mm ²)
$F_{(TH)}$	: Teorik Tutma Kuvveti (N)
g	: Yerçekimi Kuvveti (m/s ²)
μ	: Sürtünme Kuvveti

Kısaltmalar

Açıklama

PCB	: Baskı Devre Kartı (Printed Circuit Board)
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (Programmable Logic Controller)
SMD	: Yüzeye Monte Devre Elemanları (Surface Mount Devices)
PNP	: Tut-Yerleştir Makinesi (Pick and Place Machine)
IBVS	: Görüntü Tabanlı Görsel Servolama
IOT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
EMF	: Elektromanyetik Alan Kuvvet
IDM	: Darbeli-Sürücü Mekanizma (Impact-Drive Mechanism)
SIDM	: Tutma-Bırakma Etkili Mekanizma (Smooth Impact-Drive Mechanism)
DOF	: Serbestlik Derecesi (Degree of Freedom)
RR	: Dönebilen-Dönebilen (Revolute-Revolute)
PRR	: Prizmatik-Dönebilen-Dönebilen (Prismatic-Revolute-Revolute)
PMP	: Parazitik Hareket Prensibi (Parasitic Motion Principle)
SMT	: Yüzey Montaj Teknolojisi (Surface Mount Technology)

VGP	: Vakumlu Jel Paket (Vacuum Gel Pack)
PTC	: Pozitif Sıcaklık Termistörü (Positive Temperature Coefficient)
NTC	: Negatif Sıcaklık Termistörü (Negative Temperature Coefficient)



1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji ve sanayi alanlarındaki gelişmeler, birbirlerine paralel olarak hızla artmaktadır. Bu artışla birlikte endüstride yer alan otomasyon sistemleri de istenilen üretimi daha hızlı, daha verimli, daha kaliteli, daha az hata paylı ve daha düşük maliyetli duruma getirmeyi hedeflemektedir. Üretim tesislerinde kullanılan makinelerin kontrol ve hareket sistemleri de teknolojiyle birlikte hızlı bir gelişim sürecinin içinde yer almaktadır. Çoğunlukla kontrol üniteleri içerisinde yaygın olarak kullanılan röle, kontaktör gibi elektromekanik elemanlarla kontrol edilen sistemler günümüzde yerini; PLC'lere (Programmable Logic Controller), bilgisayar yazılım tabanlı Mikroişlemciler ve Endüstriyel bilgisayarlara bırakmaktadır. Elektrik tahrikli mekanik elemanlar olarak kullanılan geleneksel DC ve AC motorlar ise yerini daha hassas, hızlı ve güvenilir olarak kullanılan Step, Servo ve Lineer (Manyetik) motorlara bırakmışlardır [1]. Bu yeni teknolojiler, endüstriyel üretim prosesleri başta olmak üzere, savunma sanayi, toplu taşıma, optik hizalama, tıbbi cihazlar, akıllı ev sistemleri gibi birçok değişik sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında bu yeni teknolojik elemanlara insan yaşamına yardımcı olarak çok değişik uygulamalarda yer verilmesine rağmen, henüz motor teknolojilerinin hareket ve kuvvet iletimi esnasında kullanılan sonsuz dişli, kayış-kasnak, kama veya kaplin gibi aşınma ve esnemeye maruz kalan aktarma elemanlarından dolayı hata yapmaya müsait hale getirmektedir. Bu hataları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için birçok motor üreticisi firma, bu konuda çalışmalarına ve sistemlerini geliştirmeye devam etmektedirler [2]. Teknoloji alanında bu gelişmeler olurken, sanayi alanında ise gittikçe artan ürün çeşitliliği, firmaları sistem içerisinde ayarlanabilir tarzda özel makine ve cihaz kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu ihtiyacı karşılamak için endüstriyel robotlar insanlığın içine çıkmamak üzere girmişlerdir.

Endüstriyel robotlar hızlı, teknolojik ve daha güvenli bir otomasyon sistemi için en önemli makinalardan biridir. Günümüz imalat ve teknoloji sanayilerinin ihtiyaç ve talepleri çok yüksektir. Pazarın bu gereksinimlerini karşılamak için birçok şirket, daha kaliteli ve daha ucuz ürünler elde etmek için endüstriyel robotları kullanmaya karar vermişlerdir. Endüstriyel robotlar, endüstrinin birçok alanında kendilerine yer bulmuşlardır, örn. nesneleri hassas bir şekilde ve dar toleranslar dahilinde, alma ve yerleştirme, montajlama, kaynaklama, boyama ve bunlar gibi çok daha fazla üretim hatlarında tercih edilmektedirler. Üretimde endüstriyel robot kullanmanın çeşitli avantajları vardır. Robotların yeniden programlanabilmesi, üretim hatlarında değişiklik yapma olasılığını artırır. İnsan için çalışma ortamı daha güvenli ve daha kolay hale gelir çünkü bu robotlu sistemler insanlar için ağır yükleri taşıyabilir ve tehlikeli işleri yapabilme kabiliyetlerini sahiptir. Robotlar

tekrarlanabilir iş yapabildiklerinden daha düşük maliyet ile daha verimli bir üretim sunarlar dolayısıyla üretimin kalitesi de artmış olur.

Hangi alanda çalışırsa çalışsın robotların işe uygun bir Gripper(tutucuya) sahip olması gerekmektedir. Endüstride her uygulama için çok farklı gripper türleri vardır. Kullanılan en yaygın gripper çeşitleri çene tipi, vakumlu ve manyetik tutuculardır. Gripper robot ile iş parçası arasındaki etki kaynağı olduğundan gripper seçimi çok önemlidir [3].

Bu çalışmanın amacı, bir tut ve yerleştir sistemi için, PCB üzerine SMT komponent dizgi işlemi yapan firmalarda bu işlemi vakum pompası ve vakum tutucu gripper ile gerçekleştirmeyi daha az maliyet ile sağlamaktır. Sistem de 3 eksenle hareket eden kol ve bunları kontrol ve hareketini sağlayan step motor ve sürücüler mevcuttur. Vakumlu Gel Pack üzerine dizilmiş olan SMT komponentleri, daha önce krem lehim şablon yardımı ile sürülmüş PCB üzerine hassas bir şekilde dizme işlemini sağlamaktadır.

Literatürde benzer ve farklı alanlarda kullanılmak üzere yapılmış çeşitli Robotik Manipülatör uygulamaları bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmalar, teknolojinin ve değişik endüstri alanlarının ihtiyaçlarını karşılamak için gerçekleştirilmişlerdir.

Örneğin; Shuai D. Han, ve ark. yaptıkları Robotik tut ve yerleştir makinesini hareketli bir konveyör üzerindeki nesneleri ayırt edip birer birer almak üzere tasarlamışlardır. Nesnelerin ayrıştırılması için nesne toplama dizilerini hesaplayan algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu sayede seçilebilen nesne sayısı benzer sistemlerden %10-%40 arasında daha fazla verimlilik kazancı elde etmişlerdir [4].

Başka bir çalışma da, Marcus Gualtieri ve ark. farklı ebatlardaki değişik ürünleri, en verimli bir şekilde paketlemeyi amaçlamışlardır. Burada robot kol üzerinde malzemeleri tutmak ve taşımak için mekanik bir kısıkaç kullanmışlardır. Sisteme dahil ettikleri kamera ile malzemelerin hacimlerini ölçüp, yaptıkları algoritmik yazılım ile koli içerisine en efektif bir şekilde nasıl yerleşim yapılabileceği üzerine çalışma yapmışlardır [5].

Bir başka çalışma da ise, F.Ahmet Şenel ve ark. yaptıkları 5 eksenli robot kol üzerinde 1 adet motor kullanarak tutucuyu manipüle etmektedir. Sistemin amacı ise görüntü işleme teknolojisi ile ürünleri ayırt ederek taşıma işlemini gerçekleştirmektir [6].

Diğer bir çalışmada, Taryudi ve ark. yaptıkları görüntü tabanlı nesne manipülasyon sisteminde nesne konumunu ve yönünü belirledikleri malzemeleri 6 serbestlik dereceli robot kol yardımı ile nesne konum ve yön bilgisine göre alarak istenilen konuma yerleştirilmesini sağlamıştır [7].

Chang Wei Che, ve ark. yaptıkları çalışmada Görüntü Tabanlı Görsel Servolama (IBVS) adını verdiği kontör izleme sistemini PNP sistemiyle çalışan robot kol üzerine uygulamışlardır.

Geometrik modeli olmayan bir nesnenin görüntü işleme ile kenar kontör tespitini yaparak tutucuyu bu konuma yönlendirmeyi sağlayarak, hedef konum ile mevcut konum arasındaki uyumsuzluğu ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır [8].

Hung Pham ve ark. bir PNP makinesinde yer alan vakum tutucu gripperin, makinenin hızıyla orantılı olarak optimum verimde tasarımı için bir çalışma ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak vakum tutucunun temas yüzeyine bağlı olarak bir algoritma ortaya çıkarmışlardır [9].

Wolfgang Zesch ve ark. ETHZ Nanorobot'a entegre edilmiş bir vakumlu mikro tutucu yardımıyla 50-300µm boyutundaki metalik veya metal olmayan nesneleri %75'lik bir başarı ile taşıma ve yerleştirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Burada hassas konum kontrolü için üç serbestlik dereceli piezo motor kullanılmıştır [10].

M.K.Khan Prince ve ark. PCB kart üzerine düşük maliyetli bir baskı devre çizimi gerçekleştiren bir makine üzerine yaptıkları çalışmada, CNC plotter işleme tabanlı G kodlarını kullanan ATMEGA328 kontrolcüsüne sahip Arduino Uno kullanılmıştır. CNC veri tabanındaki G kodlarını çözmek ve işletmek için kullanılan Inkscape yazılımı kullanılmıştır [11].

Prabhanjay Gadhe ve ark. PCB kart üzerine delik delme ve frezeleme işlemi yaptırmayı amaçlamışlardır. Bu işlem için yazılım programı EAGLE ve kontrolcü olarak Arduino Uno mikroişlemcisi ve ATMEGA 328 kontrolcüsü kullanılmıştır. Sistemde 3 adet step motor ve 1 adet spindle motoru yer almaktadır [12].

G.S. Sharath ve ark. ele aldıkları çalışmada Gantry(Köprü) tipi bir robotik uygulama üzerine çalışma yapmışlardır. Üç adet step motordan oluşan sistemin kontrolü için Arduino Mega 2560 tercih edilmiş ve yazılımı Python programında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada amaç kısaç gripper ile tutulan nesnenin belirlenen yere taşınmasını gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan malzemelerin özelliklerinden bahsedilerek analizleri yapılmıştır [13].

Gokulnath A.R. ve ark. yaptıkları çalışmada uygun fiyatlı bir PCB kart üzerine SMD komponent dizilimi yapabilecek bir makine ortaya koymuşlardır. Tutucu gripper sisteminde vakum sistemi kullanılmaktadır. Mikro denetleyici olarak Raspberry Pi veya Arduino kullanım yerine göre tercih edilecektir. Dizilecek her ürün aynı yerden alınmak üzere tasarım yapılmıştır. Bunun sebebi SMD bileşenin kontörlerini görüntü işleme yöntemiyle kontrol edip, varsa SMD bileşenin açısal olarak dönüklüğüne müdahale edip düzeltilmesini sağlamaktır [14].

M.Y. Yıldırım ve ark. yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli, görüntü işleme tabanlı bir endüstriyel eğitim setini ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Burada amaç stereo kamera ile nesnelerin renklerinin ve konumlarının algılanıp, robotik kol tarafından renklerine göre ayrılmasını sağlamıştır [15].

C. Blanes ve ark. taze meyve ve sebze ayıklama ve dizme işlemlerinde kullanılmak üzere tut ve yerleştir makinelerinin karşılaşılabileceği zorluklar hakkında bir çalışma yapmışlardı [16].

Ramanathan S. ve ark. yaptıkları çalışmada PCB'lere lehimlenecek SMT bileşenleri alma ve yerleştirme işlemini yapacak, Kartezyen çalışma yapısına sahip bir makine üzerinde durmaktadırlar. CNC tabanlı olarak çalışacak sistem G kodlarını çözümleyen GRBL ile çalışacaktır. Sistem vakum tutucu gripper ile komponentleri taşıma işlemi yapacaktır [17].

Mariangela Manti ve ark. Soft Robotic(Yumuşak Robotik) bir tutucu(gripper) geliştirmişlerdir. Bu yapının çok sayıda serbestlik dereceli robotik tutuculara göre kontrolünün daha kolay olduğunu ortaya koymuşlardır [18].

Yapmış olduğumuz çalışma kapsamında incelenen literatür araştırmalarında, Endüstriyel Robotların kullanım amaçlarına göre farklı sistemler olsa da, PNP makinelerinin ortak noktaları bir tutucu manipülatöre sahip olmalarıdır. PNP makineleri temel işlevlerde benzerlik gösterse de, işledikleri bileşen türlerine, yapılandırmalarına, maliyetlerine, programlamalarına ve uygulamaya ait özel özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedirler. İncelenen çalışmalar da PNP makinelerinin bileşenlerinin de farklılıklar olduğu görünmektedir. Mekanik sistemin kontrolünü sağlamak için Arduino ve Raspberry Pi gibi mikro denetleyiciler ekonomik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da Arduino Mega 2560 mikro denetleyici kullanılmaktadır, fakat sistemin çalışması için hazır bir yazılım kullanılmamaktadır. Yazılım, yapılan uygulamaya göre tasarlanıp, programlanmıştır. Program farklı PCB kartların dizgisi için yeniden reçetelendirilmeye olanak sağlamaktadır.

Uygulamamız da diğer bir farklılık ise, tek çeşit tutucu ile VGP üzerinde ki satır ve sütunlara dizilmiş farklı konumlarda ki farklı komponentleri taşıma ve PCB üzerine yerleştirme işlemini gerçekleştirmektedir. Ekonomik bir PCB dizgi makinesi olarak tasarlanan sistem, farklı uygulamalar için de gerekli yazılım değişiklikleri yapılarak kullanılabilir. Bunun yanında TB6600 sürücü kartı ile step motorlarımızı ayrı bir karta gerek duymadan kontrolü sağlanmaktadır. 120x300mm hareket mesafesi olan sistem 100x200mm ebatlarına kadar olan PCB kart üzerine dizgi yapabilmektedir.

Piyasada yaygın olarak yapılan PNP makinelerinde servo motor ve buna göre sürücü kartları kullanılmaktadır. Bu seçim ise çok fazla bir maliyet getirmekte ve küçük ölçekli firmaların bu tür yatırımlar yapmasına imkan sağlayamamaktadır. Bizim projemizde oluşturduğumuz sistem bu tür işletmelere düşük bir bütçe ile kendi dizgi makinelerini oluşturmalarına yardımcı olacaktır. Bizim tasarladığımız sistem de step motorun daha hassas kontrol edilebilmesi için kayış-kasnak mekanizmaları kullanılmış olup, gerekli hassasiyette konumlandırmaların yapılması sağlanmıştır.

Diğer bir maliyet düşüklüğü ise bu tür makinelerde X veya Y ekseninde köprü tipi taşıyıcı kullanmaları. Bu tür köprü tipi hareketlerde iki adet motor kullanılma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında iki motorun senkron hareketini sağlamak için bağlantı elemanlarının ve taşıyıcı parçaların daha hassas üretilmesi ve montaj esnasında daha dikkatli olunması gerekmektedir. Zamanla bağlantı elemanlarında meydana gelebilecek boşluklar bu tarz çift motor kontrollü eksenlerin hareketlerinde ölçüsel farklara ve kaymalara sebep olacaktır. Bunun sonucunda hatalı parça üretimine sebep olabilecektir. Bizim sistemde bu durum düşünülerek tek motorlu bir hareket sistemi kullanılmıştır.



2. ENDÜSTRİYEL ROBOT

İlk robotlar, herhangi bir dış bilgi alabilecek özelliğe sahip değillerdi, tutma ve yerleştirme gibi basit görevler de insanlara yardımcı olmaları için kullanılıyordu. Endüstriyel robotlar ve bunların kontrol yöntemleri, bu kullanım amacından günümüze kadar çok mesafe kat etmişlerdir [19]. Endüstriyel robotların amacı, aynı işi tekrarlayan, insanlar için tehlikeli, ağır sanayi sektörleri ve yüksek adetli üretim gerektiren görevleri otomatik olarak gerçekleştirmek ve nihayetinde insan aklına ihtiyaç olan görevleri otomatik hale getirmektir. Endüstriyel robot tanımını ISO 8373:2012 standardı tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır: “Endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanılmak üzere sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla eksenle programlanabilen, otomatik olarak kontrol edilen, yeniden programlanabilen, çok amaçlı bir manipülatör [20]”. Bir endüstriyel robot, çeşitli görevlerde en yüksek verim için, değiştirilebilecek şekilde programlanmış hareketlerle malzemeleri, parçaları ve sisteme dahil edilmiş farklı cihazları hareket ettirmek veya onlarla etkileşime girmek için tasarlanmış, çok işlevli bir manipülatördür. Verimli bir endüstriyel robot, hareketlerini ve istenilen komutları kontrol edebilen robottur [21]. Bir endüstriyel robotu oluşturan en önemli unsuru, robotun hareketini sağlayan motorların ve bunlar arasındaki kontrolü sağlayan algoritmaların birleşimidir. Birbirleri ile bağlantılı devam eden komutların sırası, endüstriyel bir robotun istenen konumlara ulaşmasını ve verilen görevlerin istenilen şekilde olmasını sağlar. Endüstriyel robotların birkaç farklı mekanik yapısı vardır ve robot yapısının seçimi, ihtiyaç duyulan endüstriyel alana ve göreve bağlıdır [22].

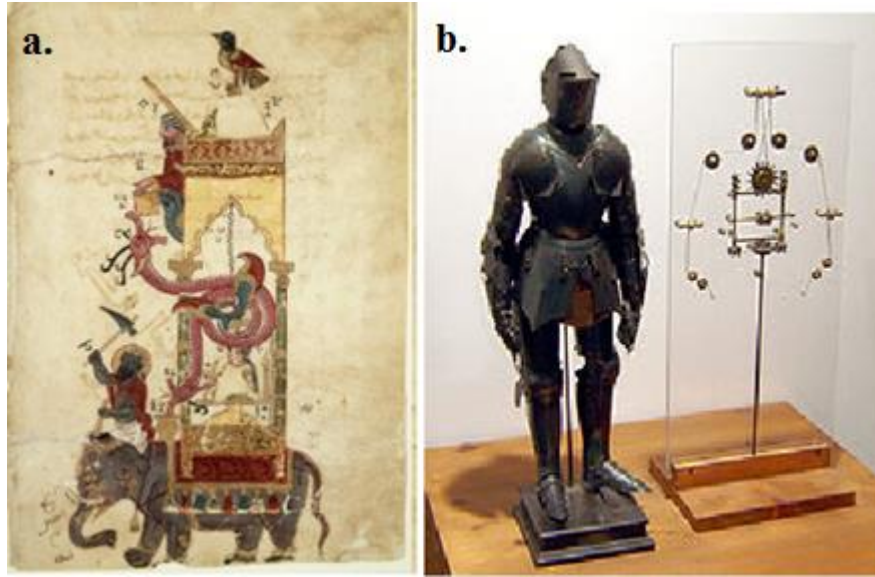
Günümüzde çok hızlı gelişen teknolojinin ortaya koyduğu yeniliklerle ürünlerin kalitesi yükselmiş, seri üretim hatları kurulmuş ve bu durum ürünlerin daha ucuza imal edilmesini sağlamıştır. Endüstride ki bu gelişmelerin en büyük unsuru robotlar olmuştur.

Günümüz endüstrisinde robotlar çok güçlü bir faktördür. Çok farklı görevlerde yer alabilirler ve bu verilen görevleri hassas bir şekilde gerçekleştirebilme kabiliyetlerine sahiptirler. Robotlar, görevleri esnasında insanlar gibi güvenli bir iş ortamına ve konfora gerek duymazlar. Fakat fonksiyonlarını kusursuz bir şekilde gerçekleştirebilmek için birçok materyale ihtiyaç duyarlar. Yaptıkları işler insan eliyle yapılan işlerden daha kaliteli ve hızlıdır. İşlem hassasiyetleri mikron mertebesinde ki toleranslara ulaşmaya imkân sağlar. Bunların yanında mekanik veya elektriksel olarak arızalanması, belirli periyotlarda bakım masrafları gibi olumsuz özellikleri de mevcuttur [23].

2.1. ENDÜSTRİYEL ROBOTUN TARİHSEL GELİŞİMİ

Robot olgusu ve benzer düşüncelerden ortaya çıkarılan “İcatlar” diyebileceğimiz ürünleri antik Yunanlılar dönemine kadar uzanmaktadır. MÖ 322'de filozof Aristo bu tür icatların insanlara sağlayabileceği faydalar için şöyle söylemişti: "Eğer her alet icat edildiğinde, hatta kendi isteğiyle kendisine fayda sağlayan işi yapabilseydi, o zaman ne usta işçiler için çıraklara ne de lordlar için kölelere ihtiyaç olurdu." 1495'te Leonardo da Vinci, zırhlı bir şövalyeyi andıran mekanik bir cihaz tasarladı ve iç mekanizmaları, cihazı sanki yapının içine gizlenmiş gerçek bir kişi tarafından kontrol ediliyormuş gibi hareket ettirecek şekilde tasarlandı. Robotun tasarım notları, 1950'lerde yeniden keşfedilen eskiz çalışmalarında yer almaktadır [24]. Robotik sistemin tamamı bir dizi makara ve kablo tarafından çalıştırılıyordu. Eskiz defterinin keşfedilmesinden bu yana robot, Leonardo'nun tasarımına sadık kalınarak yeniden inşa edildi ve tamamen işlevsel olduğu görüldü [25].

Bugün “Sibernetik” olarak bilinen bilim dalının kurucuları arasında gösterilen El-Cezerî'nin 13. Yüzyılda ortaya koyduğu 300'e yakın robotik uygulama olduğu, 1205-1206 yıllarında yazdığı "Kütüb-ül'-Camü Beyne'l-ilm-ive'l-amelen-Nafi' Fi Sınatü'l-Hiyel" adlı kitabında yaptığı şemalarda göstermiştir [26].



Şekil 2-1: a. El-Cezerî (Filli Su Saati), b. Leonardo DaVinci (Şövalye Robot),

Daha önce Dünya’da otomat ve android olarak tanımlanan 'Robot' terimi ilk kez Çek yazar Karel Capek tarafından 1921'de Prag'da açılışı yapılan R.U.R. (Rossum'un Evrensel Robotları) adlı oyununda literatüre kazandırıldı [27]. Usta bilim kurgu yazarı Isaac Asimov, “I robot” adlı

eserinde robot kelimesini ilk defa robotik anlamında kullanmış ve bu terimin bütün dünyada popülerleşmesini sağlamıştır [28].

Denavit ve Hartenberg 1955 yılında robotik manipülatörlerin kinematikini modellemek için her bir uzvun bir biri ile ilişkilerini ortaya koyan dönüşüm matrislerini oluşturmuşlardır. Bu durum robotların endüstrileşmesindeki kullanımın yaygınlaşması için atılmış ilk adım olarak kabul edilebilir [29].

İlk robot şirketi olan Unimation, genç mühendis ve girişimci Joseph Engelberger'in öncülüğünde kuruldu. Bu firma "Unimate" ismini verdikleri robotlardan ilk üretileni, 1961'de General Motors'a ait basınçlı döküm hattından parça çıkarmak için hizmete sundular. Hidrolik bir manipülatörle çalıştırılan Unimate'lerin çoğu, sonraki yıllarda benzer görevlerde iş parçası taşıma ve araba gövdelerinin punta kaynağı için değişik firmalara satıldı [30].

Unimate robotlarının piyasaya yayılmaya başlamasından sonra, birçok başka şirket, endüstrileşen ülkelerde endüstriyel robotlar üretmeye ve geliştirmeye; inovasyon odaklı bir endüstri doğdu [31]. 1961 yılından sonra robotlara ilgi artmış ve bu konuyla ilgili çalışmalar başlamıştır. 1978'de, Japonya'daki Yamanashi Üniversitesi'nden Hiroshi Makino tarafından montaj robot kolu (SCARA), icat edildi [32]. Yeni bir vizyon başlatan bu dört eksenli düşük maliyetli tasarım, kinematik konfigürasyonlara, hızlı ve uyumlu kol hareketine sahip olduğu için küçük parçaların montajı için çok uygun olduğu görülmüştür. Ürün tasarımlarının uyumu ile birlikte SCARA robotuna dayalı esnek montaj hatları, yüksek hacimli elektronik alet üretimi ve tüketici ürünlerinde ki üretimin patlama yapmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

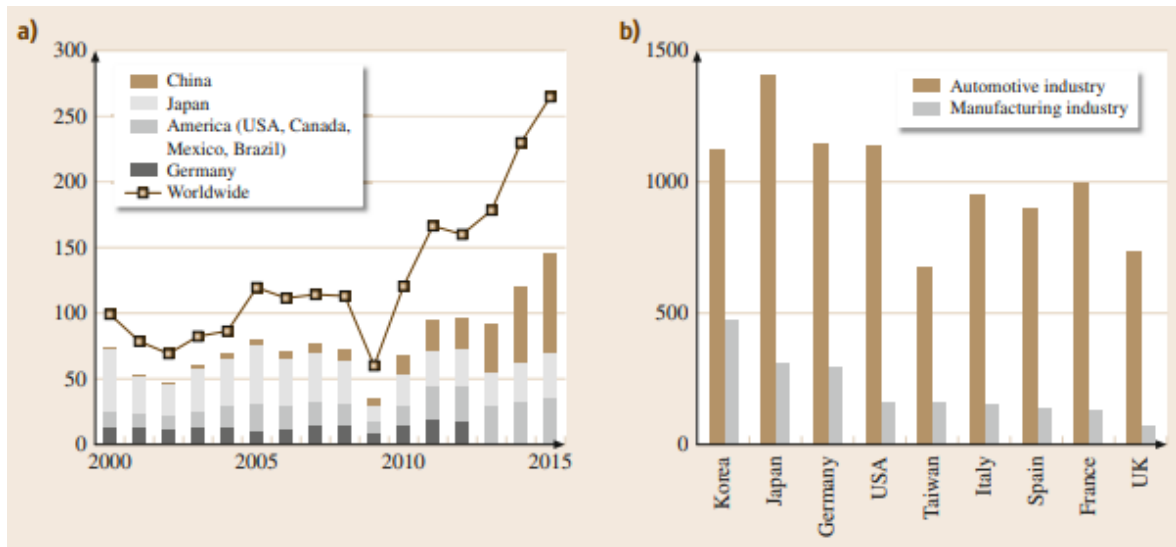
1980'lerden sonra hafif ve rijit robot yapılarına yönelik olan yaklaşım, paralel kinematik makinelerin (PKM) ortaya çıkmasına neden olmuştur. Paralel robotlar olarak adlandırılan bu makineler özellikle hızlı döngü sürelerine, hassasiyete veya ağır iş yüklerinin üstesinden gelmek için uygun bir yapıya sahiptirler ve bu nedenle endüstride geniş yer bulmuşlardır [33].



Şekil 2-2: Robot gelişimi için önemli endüstriyel robotlar; (a) Ultimate, (b) SCARA robot

2.2. KULLANIM ALANLARINA GÖRE ROBOTLAR

Nesnelerin internet üzerinden IOT (Internet of Things) teknolojisi ile haberleştiği ve akıllı üretimin gerçekleştiği Endüstri 4.0'ın günümüzde bu kadar önem kazanmasına sebep olan ana etmen endüstriyel robotlardır. Endüstriyel robotların kullanım alanlarını çoğaltarak küresel ekonomide önemli pay elde etmek isteyen ülkeler kendilerini Endüstri 4.0 devrimine hazırlamaktadırlar. Bir ürünün başından son işleme kadar süren üretim, montaj, paketlenme ve depolama vb. aşamalar arasında ilerleyebilmesi için bir yerden başka bir yere taşınması gerekir. Şekil 2-3'de endüstriyel robotların imalat sayıları ve kullanılan ülkelere ait istatistikleri görülmektedir [34].



Şekil 2-3: Dünya çapında endüstriyel robotik kullanım istatistikleri; (a) Tahmini yıllık robot kurulumları, (b) 10.000 kişi başına düşen otomotiv ve imalat endüstrilerindeki endüstriyel robot sayıları,

Endüstriyel robotları kullanım yerine göre üç farklı şekilde tanımlanabilir. Bunlardan birincisi taşınan nesnenin, herhangi bir fiziksel değişikliğe uğratmadan tanımlanan yere taşınması ve bırakılmasıdır. Kullanım yerlerine verilebilecek başlıca uygulamalar şöyledir [35];

- Paletleme (Kutu içerisine belirli şekilde yerleştirme)
- İşleme tezgahına parça besleme
- Parça hizalama
- Paketleme

Nesnelerin fiziksel özelliğinin taşıma sırasında değiştiği ve/veya başka parçalarla montajı yapılarak farklı bir ürünün ortaya çıktığı başlıca uygulamalar şunlardır;

- Ark ve punta kaynağı
- Boyama ve yüzey kaplama
- Yapıştırma ve sızdırmazlık
- Lazer ve su jeti ile kesme
- Frezeleme ve delme
- Döküm vb. uygulamalarda
- Çapak alma ve öğütme
- Vidalama, kablolama ve sabitleme
- Mekanik ve elektrik grupların montajı
- Elektronik panoların montajı

Ayrıca üretim aşamaları aralarında ürün kalitesini kontrol etmek için bazı ölçümler ve muayeneler yapmak gerekir. Robot manipülatör hareket kabiliyeti sayesinde taşıdıkları parçaları 3 boyutlu olarak rahatlıkla ölçüm yapabilme ve sisteme karar verme imkânı sunar. Başlıca ölçüme dair uygulamalar şunlardır [36];

- Nesne incelemesi
- Kontur tespiti
- İmalat kusurlarının tespiti

2.3. EKLEM TİPLERİNE GÖRE ENDÜSTRİYEL ROBOT ÇEŞİTLERİ

Bir Endüstriyel Robotun temel yapısı açık kinematik zincirdir (Open Kinematic Chain). Bir manipülatörün iki ucu farklı bir yerden etkilenmeyecek şekilde bir sıra halindeki uzuvlarla birbirine bağlanıyorsa açık kinematik olarak adlandırılır. Bundan farklı olarak, manipülatörün hareketini sağlayan uzuvları kapalı bir çevrim oluşturuyorsa bu robot sistemi kapalı kinematik zincir yapısındadır. Seri manipülatörler açık döngü kinematik zincir kullanılarak tasarlanırken,

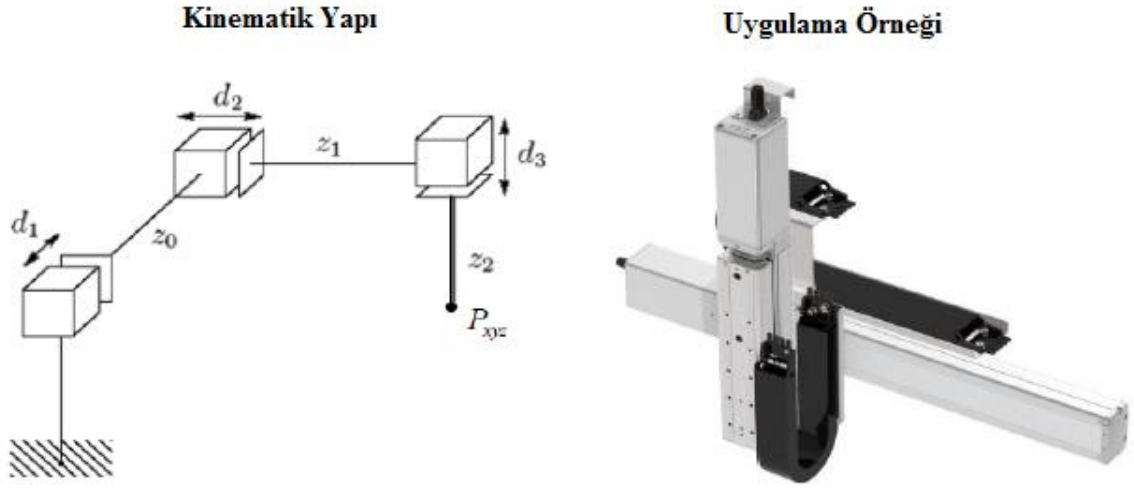
paralel manipulatörler kapalı döngü kinematik zincir kullanılarak tasarlanırlar [37]. Robotların hareket etmesine imkân sağlayan unsur eklemleridir. Endüstriyel robotların eklem tipleri ve bu eklemlerin sistemdeki yerlerine göre robotlar sınıflandırılırlar (Tablo 2-1). En çok kullanılan çeşitleri ise şunlardır;

Tablo 2-1: Eklem tiplerine göre robot çeşitleri

Robot Çeşidi	Eksen-1	Eksen-2	Eksen-3	Eksen Sistemi
Kartezyen	Prismatic (P)	Prismatic (P)	Prismatic (P)	PPP
Silindirik	Revolute (R)	Prismatic (P)	Prismatic (P)	RPP
Küresel	Revolute (R)	Revolute (R)	Prismatic (P)	RRP
SCARA	Revolute (R)	Revolute (R)	Revolute (R)	RRR
Mafsallı	Revolute (R)	Revolute (R)	Revolute (R)	RRR

2.3.1. Kartezyen(Cartesian) Eksen Sistemli Robotlar

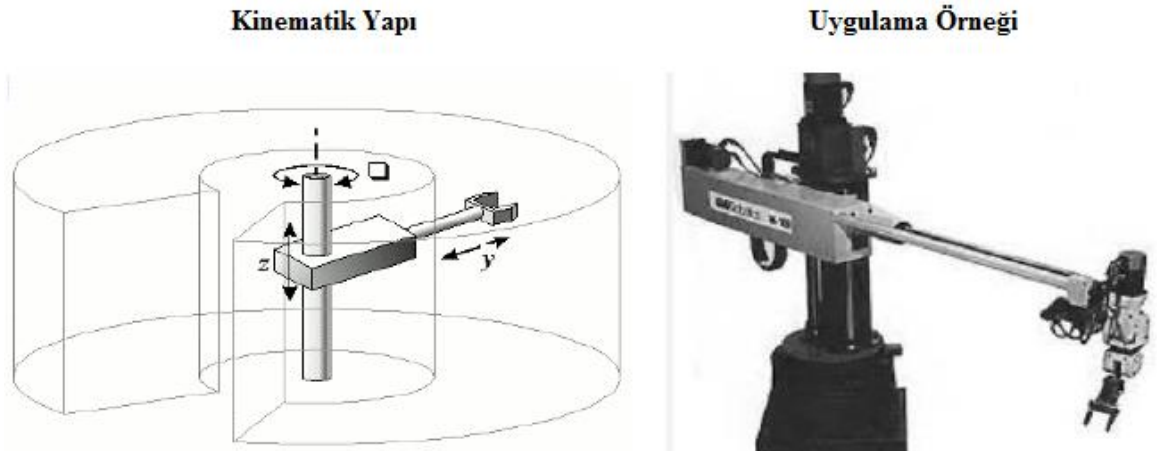
Kartezyen geometri, eksenleri karşılıklı olarak ortogonal olan üç prizmatik eklem tarafından oluşur (Şekil 2-4). Basit geometri açısından bakıldığında, her bir serbestlik derecesi (DOF) bir Kartezyen uzay değişkenine karşılık gelir ve bu sebeple uzayda düz hareketler meydana getirir. Kartezyen yapıdaki sistemlerin mekanik dayanımı çok iyidir. Kartezyen robotlar, malzeme taşıma, ambalajlama, malzeme montajı vb. alanlarda kullanılır. Bir Kartezyen robotun hareketini sağlayan eyleyiciler genellikle elektrikli motorlardır, bazı uygulamalarda pnömatik veya hidrolik eyleyiciler de kullanılmaktadır [38].



Şekil 2-4: Kartezyen robot

2.3.2. Silindirik (Cylindrical) Eksen Sistemli Robotlar

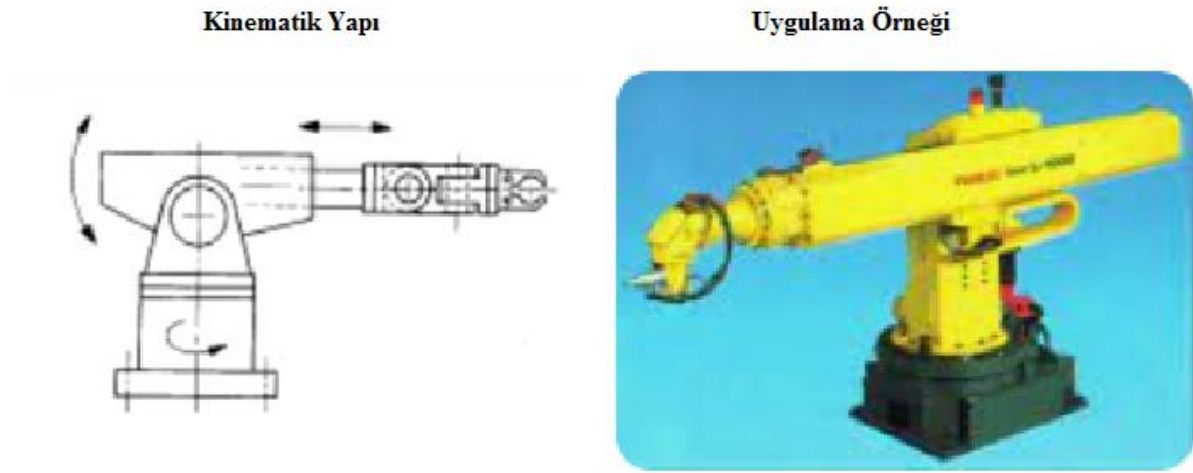
Silindirik eksenli robotların, Kartezyen eksenli robotlardan farkı ilk bağlantıları prizmatik olmayıp döner bir ekleme sahip olmalarıdır (Şekil 2-5). Hareket silindirik koordinatlarda gerçekleşirse, bu durumda her serbestlik derecesi ayrıca bir Kartezyen uzay değişkenine karşılık gelir. Silindirik robot yapıları da Kartezyen sistem robotlarında ki gibi iyi bir mekanik sağlamlık sunar. Yalnızca yatay hareket arttıkça eklem konumlandırma doğruluğu azalır. Yatay prizmatik mafsıl, silindirik bir manipülatörün eklemine yatay boşluklara ulaşmaya uygun hale getirir. Silindirik manipülatörler endüstride daha çok, hidrolik motorların kullanıldığı büyük boyutlu nesnelerin taşındığı yerlerde tercih edilir. İlk üç eklem tipi RPP olan silindirik robotlar, silindirik koordinatlarda hareket etmektedir.



Şekil 2-5: Silindirik robot

2.3.3. Küresel (Shperical) Eksen Sistemli Robotlar

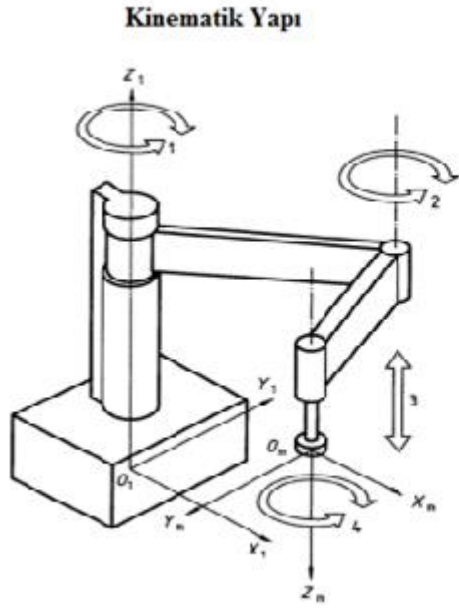
Küresel eklem sistemli robotlar, robotik alanında kullanılmaya başlanan en eski robot sistemlerinden biridir. Oldukça esnek bir işlevselliğe sahip olduğundan birçok uygulama alanında kullanıma uygundur. Küresel robotlar iki dönel ve bir prizmatik eklemleri olan robotlardır. Yani iki dönel bir lineer eksenleri vardır. Küresel robotların küresel koordinat sistemini oluşturan bir kolları bulunur (Şekil 2-6). Şekilden de anlaşıldığı gibi temelde iki hareketi mevcuttur. Bunlar yatay ve düşey eksenlerde dönmedir. Üçüncü bir hareket ise doğrusal harekettir.



Şekil 2-6: Küresel robot

2.3.4. SCARA Tipi Robot

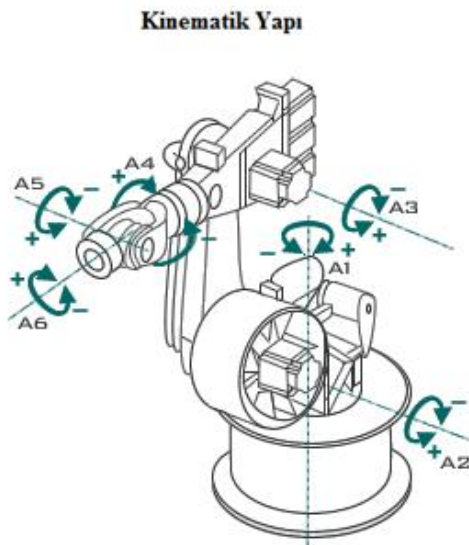
SCARA ifadesi, Selective Compliance Assembly Robotic Arm kelimelerinin ilk harflerinden meydana gelmiştir. Yani Uyumlu Eklemlerli Montaj Robot Kolu anlamına gelir. Bu tip robotların çalışma şekli bir robot manipülatörünün DOF ve mekanizmayı oluşturan ilk üç eklemin koordinatlarının bulunduğu yerlere bağlıdır. SCARA robotlar, düşük ağırlıkları taşıma kapasitesine sahip olmasına rağmen çok hızlı ve esnek hareket özelliği ile çalışma alanı içerisinde istenilen konuma hızlı bir şekilde ulaşılabilmesini sağladığından genellikle hafif ve orta mekanik, elektronik malzemelerin montaj işlerinde en çok tercih edilen robot tipidir (Şekil 2-7).



Şekil 2-7: SCARA robot

2.3.5. Mafsallı (Articulated) Eksen Sistemli Robotlar

Mafsallı robotların sistemleri, döner bağlantılarla oluşur ve basit iki eklem yapısından 10 veya daha fazla bağlantıya kadar değişebilir. Robot zemine döner mafsallı ile bağlanmıştır. Koldaki bağlantılar döner mafsallarla birbirine bağlanmıştır. Her eklem bir eksen olarak adlandırılır ve ek bir serbestlik derecesi veya hareket aralığı sağlar (Şekil 2-8). Endüstriyel robotlar genellikle dört veya altı eksene sahiptir [39].

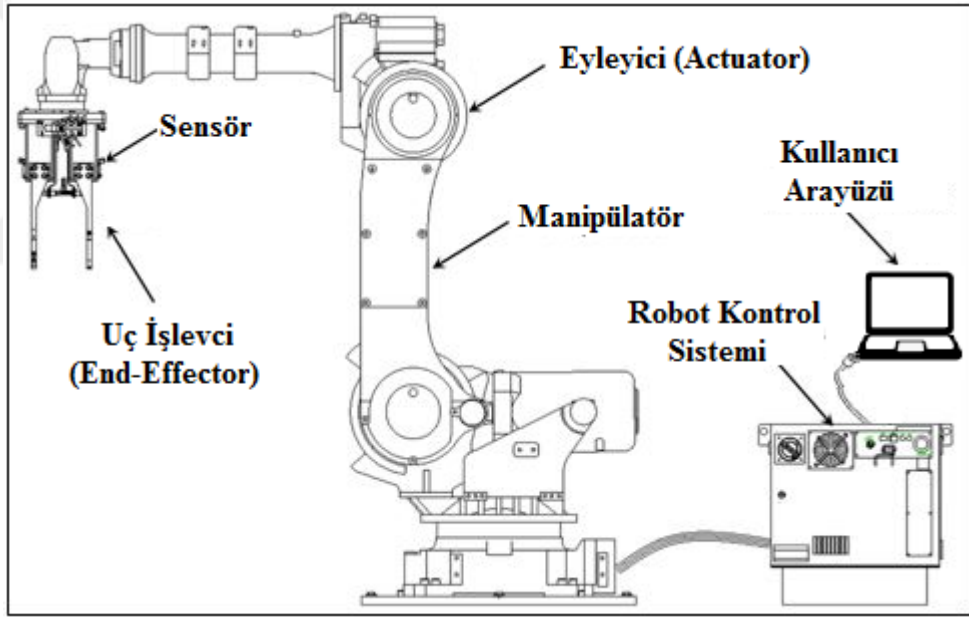


Şekil 2-8: Mafsallı robot

2.4. ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA KULLANILAN BİLEŞENLER

Robotlar, üretkenlik ve kaliteyi paralel bir şekilde artırırken, tekrarlayan, riskli ve zaman alan işleri insanlardan devralan endüstriyel üretim proseslerinin vazgeçilmez bir unsuru haline geldi. Teknik gelişmeler ve yenilikçi robotlar, önceki modellere göre daha hızlı, daha kompakt ve daha düşük maliyetlidir. Buna bağlı olarak, robotlar günümüzde sağlık, tarım, savunma sanayi, ulaşım ve imalat gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstriyel robotlar, işleme, paketlenme, boyama, kaynak, görsel test etme ve nesneleri taşıma gibi insanların yaptığı faaliyetleri gerçekleştirme yeteneğine sahiptir. Geniş bir çalışma alanında, çeşitli taleplere çözüm sağlamak ve çok farklı işlemleri yerine getirmek için tasarlanmışlardır. Bu kadar çeşitli olan işler için farklı tasarımlarda robotlar geliştirilmektedir. Her robotun kullanım amacına göre farklı komponentlere ihtiyacı bulunmaktadır.

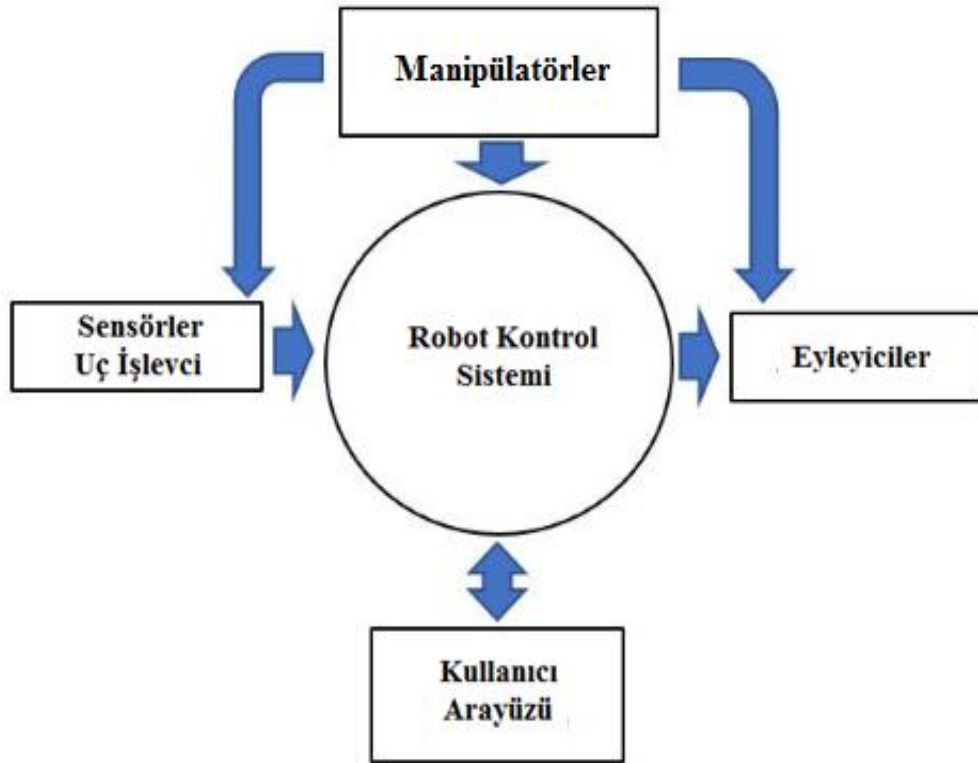


Şekil 2-9: Endüstriyel robot sisteminin ana bileşenleri

Bir endüstriyel robot mekanizması, eklemlerle hareketlerin sıralı bir şekilde birbirine aktarımını sağlayan katı cisimlerden (uzuvlardan) oluşan bir manipülör; hareketi sağlayan bir koldan (arm), el hareketini oluşturan bir bilekten (mafsal) ve robotun yapması gereken görevi tamamlayan uç elemanından (end-effector) oluşmaktadır.[40]

Endüstriyel Robotların ana bileşenleri şu şekilde sınıflandırabiliriz;

- Manipülâtör,
- Uç İşlevci (Gripper),
- Sensörler (Transducer/Dönüştürücüler),
- Eyleyiciler (Actuators),
- Robot Kontrol Sistemi,
- Kullanıcı Arayüzü,

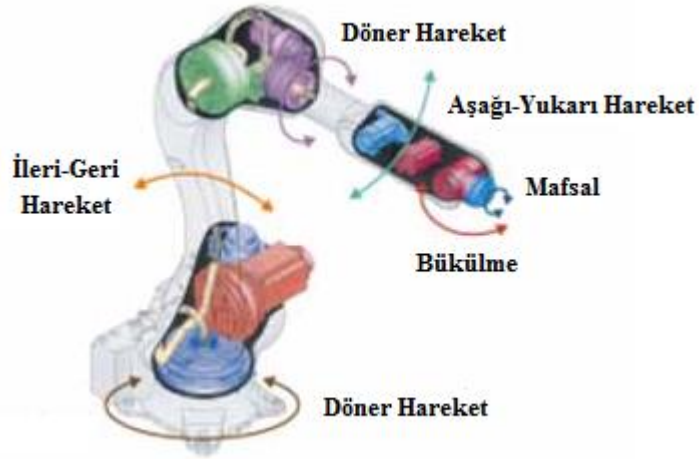


Şekil 2-10: Endüstriyel sistem çalışma birimleri

2.4.1. Manipülâtör

Robotların manipülâtör denilen kısmı aslında uzuv ve mafsallar olmak üzere yer alan bütün fiziksel elemanlardan meydana gelen robotun ana gövdesidir. Sektörde çok farklı amaçlar için üretilmiş manipülâtörler bulunmaktadır. Manipülâtör tipinin seçimi, uygulamaya, endüstri tipine, üretim hacmine, taşınacak malzemeye ve daha birçok etmene bağlıdır. Manipülâtörü insanların kol ve eklemlerin birleşimi olarak da tanımlayabiliriz.

Robot manipülatörleri, iç yapılarında monte edilmiş bir dizi eklem ve bağlantıdan oluşur. Robotun genel yapısına bakıldığında, robot manipülatör kolu doğrudan robota monte edilmiş gibi görünmektedir. Bununla birlikte, bir dizi eklem ve bağlantı, gövde ve manipülatör kolunun bir arada çalışabilmesini sağlamak için robot gövdesinin daha da içinde bulunur. Bu, robot ve manipülatörün hareketlerini koordineli bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar.



Şekil 2-11: Manipülatör yapısı

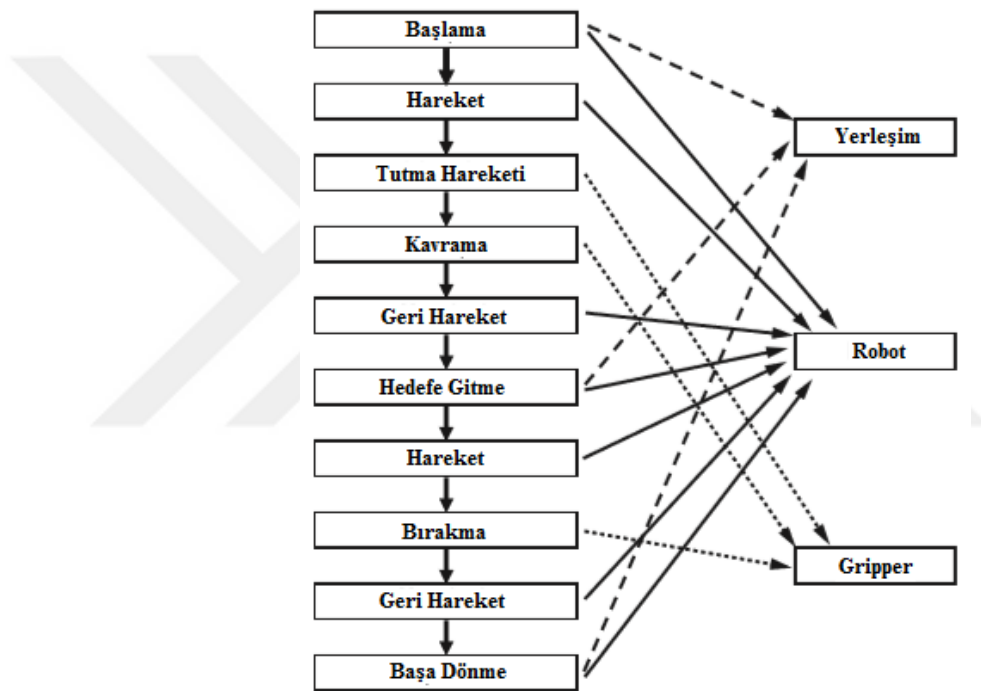
Mafsal ve bağlantılar, bir robotun farklı parçalarını birleştiren rijit parçalardır. Rijitlikleri sağlam bir yapı oluştururken robot ve manipülatör parçalarının işlemleri esnasında hareket etmelerini engelleyecektir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, hareket kabiliyetlerini rahatlatmak için bağlantılar arasına eklemler monte edilir. Eklemler, robot parçalarının doğrusal, döner veya dönüş hareketini rahatlatmak için birbiri arasında kayabilen hareketli bileşenlerdir (Şekil 2-11). İnsan dirseği veya dizini buna örnek olarak gösterebiliriz.

2.4.2. Uç İşlevci (Gripper)

Nesnelerin taşınması, herhangi bir üretim otomasyonunun amaçlarından biridir. Kârlı robotik PNP makinaları, ürün başına kısa döngü sürelerine sahip olmalıdır. Gripper özellikleri, robot özellikleri ve sistem yerleşim tasarımı, gerçekleştirilecek ürün taşıma işleminin yapısına uygun olması için önceden dikkat edilip göz önünde bulundurulmalıdır. Daha kısa çevrim süreleri elde etmek için optimize edilmesi gereken aşamalar ve işlemleri olan bir robotik manipülasyon

hücresinin tasarımını etkileyen tüm unsurları içeren bir akış şeması süreci Şekil 2-12’de göstermektedir [41].

PNP operasyonlarında tutucular (Gripper), ürünü sabit bir şekilde tutmalı ve bunu yaparken hızlı ve hareket mesafelere en kısa olacak şekilde tasarlanmalıdır. Aynı şekilde ürünü yerleştirmek için de tutucunun hareketi hızlı ve kısa mesafelerde hareket edecek şekilde olmalıdır. Taze meyve ve sebze taşıma işlemleri için bahçecilik uygulamalarında kullanılan PNP robot tutucular, yüksek hızlı hareket, çeşitli şekillere uyum, maksimum yapışma ve minimum baskı ile ürüne zarar vermeme, minimum bakım, yüksek güvenilirlik, düşük enerji tüketimi, ürünün alınıp bırakılması için gereken konumsal hassasiyet gibi bazı özel gereksinimleri karşılamalıdır [42].



Şekil 2-12: PNP işleminin akış şeması süreci (solda), bir robotik hücrenin ana unsurları (sağda) ve çalışma sistematığı gösterimi

Robotik uygulamalarında uç eleman olan Gripper’lar, iş parçalarının taşınmasında, montaj hatlarında, kaynak işlerinde, boyama fırınlarında, hassas konumlandırma gereken yerlerde çok rahat bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat birden farklı taşıma işleminin gerekli olduğu montaj hattında aynı tutucu ile bütün taşıma işini yapması veya değişik fiziksel özelliklerdeki parçaları taşınması düşünüldüğünde bunun işlevsel açıdan zorlukları olduğu görülmektedir. Bu durumda genel maksatlı özel tasarımı robot ele ihtiyacı duyulduğu bir gerçektir [43].

Robotik tutucular(Gripper), robotik sistemin içerisindeki en önemli ekipmanlardan biridir. Gripper, robot ile iş parçası arasındaki etkileşimi sağlayan parçadır. Bu nedenle robotik bir yapıda gripper seçimi çok önemlidir. Birçok farklı gripper tipi ve tasarım yapılırken dikkate alınması gereken çok çeşitli faktörler vardır. Çeneli (Mekanik) tip, vakumlu ve manyetik gripperlar robotik uygulamalar için en sık kullanılanlarıdır, tutucu tipleri de üç ana gruba ayrılabilir; vakum gripperlar, mekanik gripperlar ve manyetik gripperlar [44].

2.4.2.1. Vakum Tutucular

Vakumlu tutucular, çeşitli yapıdaki parçalar (cam, mermer, çuvalar, vb.) için kullanılabilen robotik tutucuların içerisinde büyük bir kullanım alanına sahiptirler. Nesneleri kavramak için farklı şekil ve boyutlarda tasarlanabilir ve parçanın ağırlığına göre tekli veya çoklu vantuzlar kullanılır. Ambalajlama endüstrisinde yaygın olarak kullanılan vakumlu emiş, robotiğin diğer birçok alanında da yer bulmuştur. Vakum pompası yardımıyla oluşan çekim kuvveti parçayı tutmaya imkân sağlarken bununla birlikte, vakumlu vantuzlar genellikle yumuşak bir malzemeden oluştuğu için parçaların yüzeyine daha iyi kavramaya izin verir ve büyük ve ağır nesneleri tutabilir [45].

Vakumlu tutucular, nesneleri kaldırmak, tutmak ve hareket ettirmek için atmosfer basıncı ile vakum arasındaki farkı kullanır. Genellikle, vakum (veya "vakum akışı") elde etmek için sisteme ayrı bir elektromekanik veya basınçlı havayla çalışan bir pompa tarafından temin edilir. Robot uç eyleyicinin aldığı nesneyi güvenli bir şekilde tutabilmesi için vakum akışının kesintisiz olması gerekir.

Vakumlu tutucular genellikle basınçlı hava tipi tutucular ve elektromekanik tahrikli tutucular diye kullanım yerlerine göre değişiklik gösterir. Basınçlı hava tipi tutucular, elektromekanik tahrikli muadillerine göre beş ile on kat daha fazla güç üretebilir, bu da onları daha fazla ağır nesneleri kaldırmak ve taşımak için uygun hale getirir. Bununla birlikte, elektromekanik tahrikli vakumlu tutucular, yüksek derecede hareketlilik gerektiren uygulamalarda öne çıkar. Vakumlu tutucuların avantajlarından en önemlisi düşük maliyetle üretilmesinin yanında aynı tutucu ile birçok farklı türdeki nesneyi tutabilme yer alır. Dezavantajlar arasında ise basınçlı hava veya vakum pompalarına güç sağlamak için elektrik maliyetleri sisteme dahil olur ve tozlu ortamlarda çalışmaya duyarlılık yer alır.



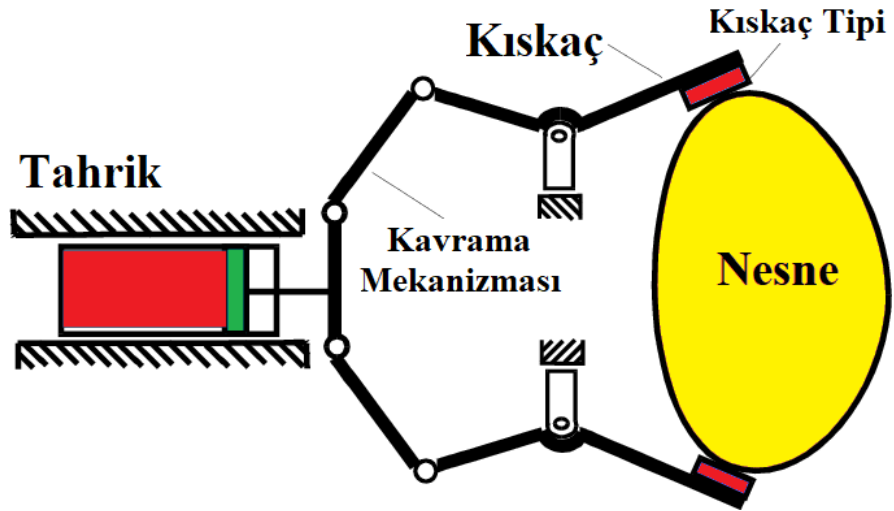
Şekil 2-13: Vakumlu tutucu

2.4.2.2. Mekanik Tutucular

Endüstriyel bir robotta, mekanik olarak tahrik edilen, nesneleri kavramak için bir uç işlevci olarak insan parmaklarına benzeyen mekanik tutucular vakum tutucuların uygun olmadığı uygulamalarda tercih edilirler. Endüstriyel uygulamalarda, tutma amaçları için iki kıskaç genellikle yeterlidir. Uygulamaya bağlı olarak üçten fazla kıskaç da kullanılabilir. Kıskaçların çoğu değiştirilebilir özellikte olduğundan kolayca sökülüp takılabilecek şekilde tasarlanır. Endüstriyel bir robot, hareket için gerekli gücü elde etmek için hidrolik, elektrik veya pnömatik tahrik sistemine ihtiyaç duyar. Üretilen güç, kıskaçların açma ve kapama işlemlerini gerçekleştirmesi için tutucuya iletilir. Burada ki gücün nesneyi tutmak için yeterli bir kuvvete ve nesneye zarar verebileceğinden az olmalıdır.

Mekanik bir tutucuda, bir nesnenin tutulması aşağıdakiler gibi iki farklı yöntemle yapılabilir:

- Kıskaç uçlarını iş parçasının şekline uygun tasarlayıp malzemenin temas yüzeyini artırmak.
- Hassas malzemelerin deforme olmaması için yumuşak malzemeden yapılmış kıskaç pedleri kullanmak (Şekil 2-14). Bu yöntem ucuz ve basit olmasının yanında temas yüzeyi arttığı için sürtünme katsayısına bağlı olarak kaymalara da engel olunur.



Şekil 2-14: Mekanik tutucu

2.4.2.3. Manyetik Tutucular

Manyetik tutucu uç eleman olarak elektromıknatıslar ve kalıcı mıknatıslar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tarz tutucuların tasarım ve bağlantı şekli vakumlu tutuculara benzer şekildedir. Manyetik tutucular sadece manyetik etki gösteren malzemeler için kullanılmaktadır. Birim alana düşen yük kaldırma kuvveti vakum ve mekanik tutuculara göre daha fazladır. Tutma ve bırakma sırasında geçen süreler diğer tip tutuculara göre daha kısadır (Şekil 2-15). Kullanım süreleri diğer tutucu gruplarına göre daha uzundur [46].



Şekil 2-15: Manyetik tutucu

2.4.3. Sensörler (Transducer/Dönüştürücüler),

Sensör terimi, ölçülen değerle ilgili sinyal üreten bir eleman için kullanılır. Bu tanıma bakarak, örneğin bir elektriksel dirençli sıcaklık elemanında, ölçülen değer sıcaklıktır ve sensör, bir sıcaklık girişini dirençteki bir değişikliğe dönüştürür. Dönüştürücü terimi genellikle sensör teriminin yerine kullanılır. Dönüştürücüler, bazı fiziksel değişikliklere maruz kaldıklarında buna karşılık bir değişiklik yaşayan öğeler olarak tanımlanır. Bu nedenle sensörler dönüştürücülerdir. Bununla birlikte, bir ölçüm sisteminde, sinyalleri bir formdan başka bir forma dönüştürmek için sistemin içinde sensöre ek olarak dönüştürücüler(transdüser) kullanabilir.

Bir sensör/dönüştürücü sürekli bir şekilde değişen bir çıktı veriyorsa ve tipik olarak boyutu ölçülen değişkenin boyutuyla orantılı bir çıktıya sahipse, analog olduğu söylenir. Dijital terimi, sistemler doğası gereği dijital olan çıktılar veriyorsa, yani değeri ölçülen değişkenin boyutuyla ilgili bir sayıyı heceleyen, temelde açma/kapama sinyalleri dizisi veriyorsa kullanılır [49].

Sensör İngilizce “sense”, yani algılama sözcüğünden türetilmiş olup algılayıcı anlamında kullanılan bir terimdir [47]. Bir fiziksel niceliğin değişimini algılayan sensörler eğer bu fiziksel niceliğin önceden belirlenen sınırlar içinde olup olmadığını algılayıp ani olarak etkili anahtarı harekete geçiriyor veya bir transistörü çalıştırıyorsa “anahtar” olarak adlandırılır. Örneğin, seviye anahtarı, basınç anahtarı, akış anahtarı, vb. Bir dinamik değişkenin değişimini algılayıp çıkışına oransal bir elektrik akımı ya da gerilimi olarak aktarıyorsa, “transdüser” olarak adlandırılır. Akış transdüseri, fark basınç transdüseri, ultrasonik transdüser, vb.



Şekil 2-16: Sensörlerin çalışma prensibi

Sensörler, dışarıdan gelen bir uyarıyı (ısı, ışık, nem, ses, basınç, kuvvet, elektrik, uzaklık ve pH gibi fiziksel ya da kimyasal büyüklükleri) işlenebilen ve ölçülebilen elektrik sinyallerine dönüştürür. Örneğin; sensörler, fotoğraf makinesi ve video kamera gibi sayısal (dijital)

görüntüleme aygıtlarında, görüntü bilgilerini algılayan ve elektronik ortamda işlenebilir sinyallere dönüştüren temel öğelerdir [48].

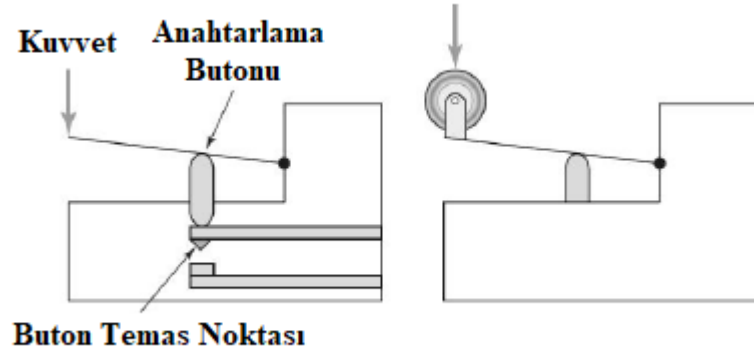
Robot sistemlerinde kullanılmak üzere değişik sensör çeşitlerine rastlamak mümkündür. Özellikle robotik alanda kullanım amaçları ve ölçüm büyüklüklerine göre sensör çeşitleri aşağıdaki gibidir [49];

1. Deplasman-Konum-Yaklaşım Sensörleri
2. Hız-Hareket Sensörleri
3. Kuvvet Sensörü
4. Basınç Sensörü
5. Sıvı Akış Sensörü
6. Sıvı Seviye Sensörleri
7. Sıcaklık Sensörü
8. Işık Sensörü

2.4.3.1. Deplasman-Konum-Yakınlık Sensörleri ;

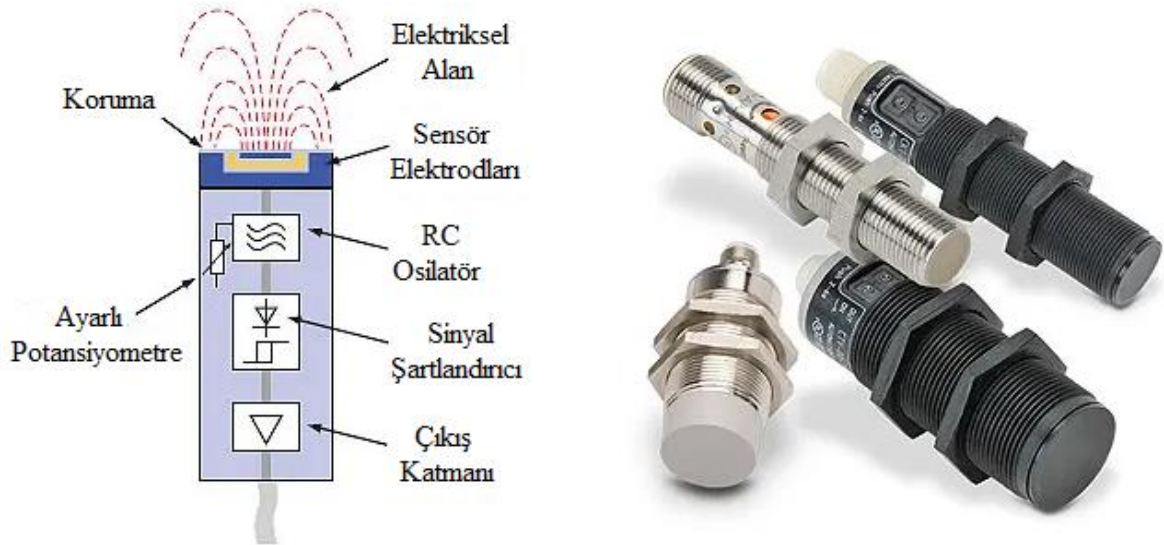
Yer değiştirme sensörleri, bazı nesnelerin hareket ettirilme miktarının ölçülmesiyle ilgilidir; konum sensörleri, bir nesnenin konumunun bir referans noktasına göre belirlenmesi ile ilgilidir. Yakınlık sensörleri, bir tür konum sensörüdür ve bir nesnenin sensörün belirli bir kritik mesafesine ne zaman hareket ettiğini belirlemek için kullanılır. Temelde Açık/Kapalı çıkışları veren cihazlardır.

Yer değiştirme ve konum sensörleri iki temel tipte gruplandırılabilir: ölçülen nesnenin sensörle mekanik temasa girdiği temas sensörleri veya ölçülen nesne ile sensör arasında fiziksel temasın olmadığı temassız sensörler. Temas içeren bu doğrusal yer değiştirme yöntemleri için, genellikle izlenen nesne ile doğrudan temas halinde olan bir algılama şaftı vardır. Bu milin yer değiştirmesi daha sonra bir sensör tarafından izlenir. Şaftın hareketi, elektrik voltajı, direnç, kapasitans veya karşılıklı endüktansta değişikliklere neden olmak için kullanılabilir.



Şekil 2-17: Yakınlık anahtarı çalışma prensibi

Mekanik bağlantı içeren açısal yer değiştirme yöntemleri için, bir milin dönüşü, dişliler aracılığıyla dönüştürücü elemanın dönüşünü doğrudan tahrik edebilir. Temassız sensörler, ölçülen nesnenin yakınında sensördeki hava basıncında bir değişikliğe veya belki de endüktans veya kapasitansta bir değişikliğe neden olabilir [49].



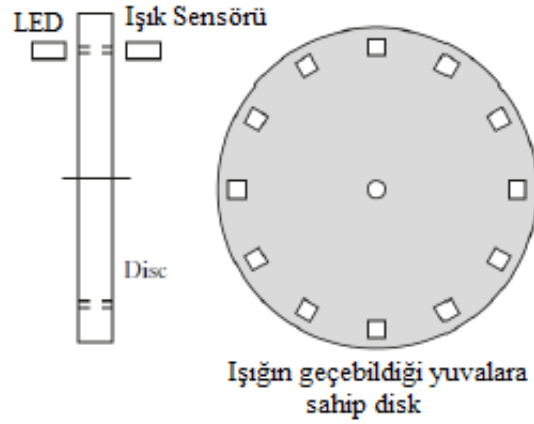
Şekil 2-18: İndüktif sensör çalışma prensibi

2.4.3.2. Hız-Hareket Sensörleri ;

Doğrusal ve açısal hızları izlemek ve oluşan hareketi algılamak için kullanılabilecek sensör çeşitleri şunlardır;

- Artımsal Enkoderler ;

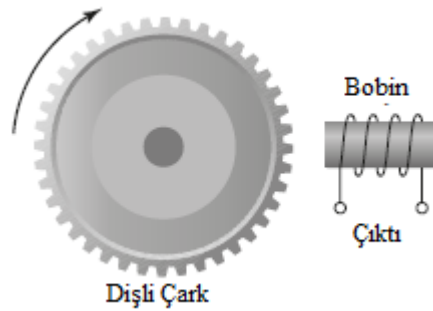
Artımsal enkoderler, saniye başına üretilen darbe(pulse) sayısı belirlenerek açısal hızın ölçümü için kullanılabilir. Basit yapıdaki bir artımsal enkoderde ne kadar ışığın geçebileceği yuva mevcutsa o kadar hassas bir ölçüm yapılabilir.



Şekil 2-19: Basit yapıda artımsal enkoder gösterimi

- Takometreler (Takojeneratörler) ;

Takojeneratör, açısal hızı ölçmek için kullanılır. Değişken relüktans takojeneratör, dönen mile bağlı ferromanyetik malzemeden yapılmış dişli bir çarktan oluşur (Şekil 2-20). Kalıcı bir mıknatıs üzerine bir toplama bobini sarılır. Çark döndükçe dişler bobini geçer ve bobin ile ferromanyetik malzeme arasındaki hava boşluğu değişir. Periyodik olarak değişen hava boşluğuna sahip bir manyetik çevrim elde edilir. Böylece, bir toplama bobini ile bağlanan akı değişir. Akıda ortaya çıkan döngüsel değişim, bobin içinde alternatif bir e.m.f.(Elektro Motor Kuvvet) üretir.



Şekil 2-20: Değişken relüktans takojeneratörü

Çark n diş içeriyorsa ve ω açısal hızıyla dönüyorsa, bobin için zamanla akı değişimi şu şekilde kabul edilebilir:

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_a \cos n\omega t \quad (1)$$

Burada Φ_0 akının ortalama değeri ve Φ_a ise akı değişiminin genliğini ifade eder. Toplama bobininin N dönüşünde indüklenen e.m.f. $-N d\Phi/dt$ olur ve dolayısıyla

$$e = N \Phi_a n\omega \sin \omega t \quad (2)$$

$$e = E_{max} \sin \omega t \quad (3)$$

ve bu nedenle e.m.f. nin indüklenen maksimum değeri için $E_{max} N \Phi_a n\omega$ olur. Ve bu da açısal hızın ölçümünü verir.

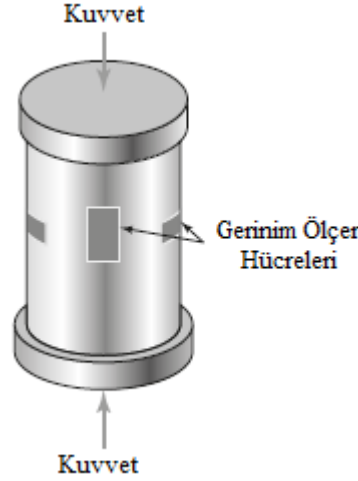
E.m.f.'nin maksimum değerini kullanmak yerine açısal hızın bir ölçüsü olarak, çıktığı bir sayaç tarafından sayılabilen bir darbe dizisine dönüştürmek için bir darbe şekillendirici sinyal koşullayıcı kullanılabilir; belirli bir zaman aralığında sayılan sayı açısal hızın bir ölçüsüdür.

2.4.3.3. Kuvvet Sensörü ;

Kuvvet ölçüm sensörünün çok yaygın olarak kullanılan modeli, kuvvet etkisinde kalan nesnenin esnetildiğinde, sıkıştırıldığında veya büküldüğünde meydana gelen gerilmeyi izlemek için elektriksel dirençli gerinim ölçerlerin (Strain Gauge) kullanımına dayanır. Sistem genellikle bir yük hücresi olarak ifade edilir.

Yaylı terazi buna bir örnek olarak verilebilir. Terazî kefesine bırakılan bir ağırlığın oluşturduğu kuvvetin, karşı tarafta yer alan yayın esnemesi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan yer değiştirmesi bir kuvvet sensörünün çalışmasını anlatan en basit bir örnektir. Yer değiştirme aralığı, kuvvetin bir ölçüsüdür. Kuvvetler yaygın olarak yer değiştirmelerin ölçülmesiyle ölçülür.

Şekil 2-21'de böyle bir hücrenin örneği gösterilmektedir. Bu, gerinim ölçerlerin takıldığı silindirik bir tüptür. Silindiri sıkıştırmak için kuvvetler uygulandığında, gerinim ölçerler, gerinimin ve dolayısıyla uygulanan kuvvetlerin bir ölçüsü olan bir direnç değişikliği verir.



Şekil 2-21: Strain Gauge (Gerinin ölçer yük hücresi)

2.4.3.4. Akışkan Basınç Sensörü;

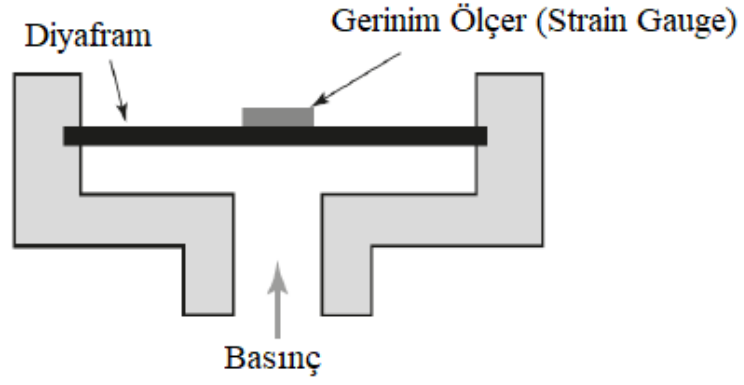
Endüstriyel proseslerde sıvı basıncını ölçmek için kullanılan cihazların çoğu diyaframların, kapsüllerin, körüklerin ve boruların elastik deformasyonunun ölçülmesi esasına dayanır. Başlıca basınç ölçüm türleri şunlardır.

- Mutlak basınç, basıncın sıfır basınca göre ölçüldüğü basınçtır, vakum basınç ölçümü buna bir örnek olarak verilebilir.
- Diferansiyel basınç, manometre ve ölçülen basınçlar arasındaki fark alınarak hesaplanır.
- Gösterge basıncı ise barometrik basınca göre ölçülmektedir.

Basınç sensörleri, basınç farklılıklarını, algıladıkları yöntemlere göre kategorilere ayrılabilir. Basınç sensörleri çeşitli fiziksel etkileri gözlemleyebilir ve ölçebilir. En yaygın basınç sensörü türlerinden bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Gerinin Ölçerler (Strain gauge)

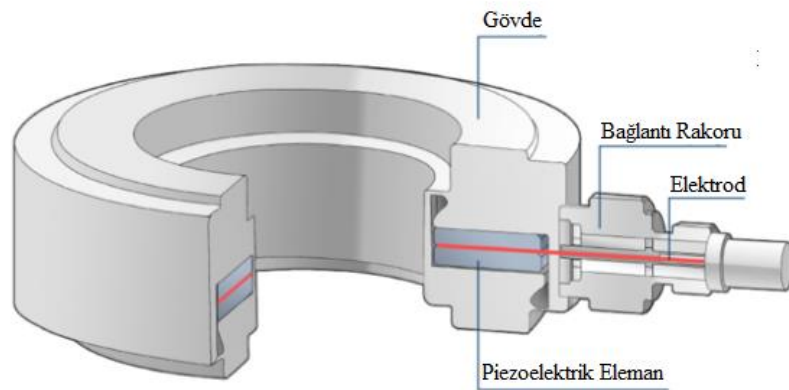
Gerinin ölçer sensörler, basınca bağlı bir kuvvet uygulandığında deformasyona uğrayan bir yay elemanına sahiptir. Sensör malzemesi, yapısı değiştikçe elektrik iletkenliği ve direncide orantılı olarak değişime uğrar. Basınç farklılıkları ile dirençteki dalgalanmalar ve okunan voltaj değerleri elektrik sinyali olarak alınır. Bunlar daha sonra eşdeğer bir basınç okumasına göre kalibre edilir ve sensör tarafından görüntülenir. Gerinin ölçer sensörler, özellikle uzun vadeli ölçüm görevleri için uygundur.



Şekil 2-22: Gerinim ölçer (Strain Gauge)

2. Piezoelektrik Basınç Sensörleri

Piezoelektrik basınç sensörlerindeki sistem, piezoelektrik elemanlar arasındaki basıncı elektrik akımına dönüştürmesi olayıdır.. Roşel tuzu, turmalin baryum ve kristal yapılu maddeler, piezoelektrik özellikli algılayıcıların malzemesi olarak kullanılır. İki yüzeyine basınç uygulanan piezoelektrik transdüserleri, gerilim oluşturabilme karakteristiğinden yararlanılarak, titreşim ve basınç gibi mekanik cihaz ölçümleri gereken yerlerde kullanılır [50]. Piezoelektrik basınç algılayıcıları ile iç basınç, darbe, balistik ölçümler, patlama, içten yanmalı motorlarda şok ve patlama dalgaları, yüksek şiddetli ses, akustik ve hidrolik gibi 0,001 psi'den 100 psi'ye kadar dinamik basınç ölçümleri yapılabilir [51]. Piezoelektrik sensörler elektronik saatlerde, basınç ve titreşim ölçümleri ile kristal mikrofonlarda kullanılır [52].



Şekil 2-23: Piezoelektrik sensör yapısı

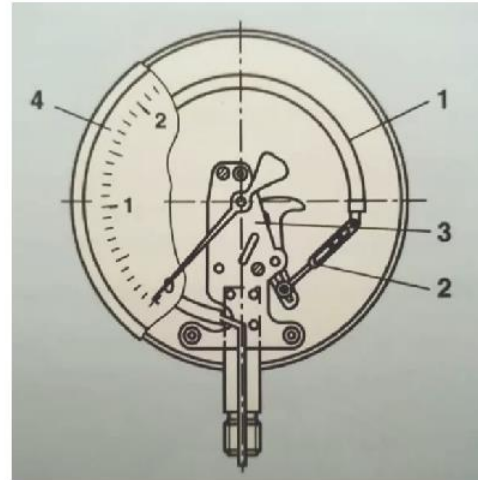
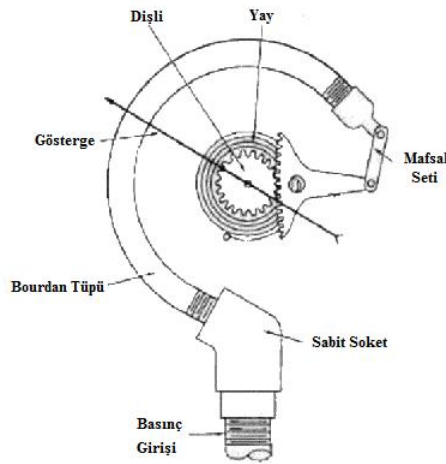
"Piezoelektrik sensörler, özellikle küçük olanlar, genellikle yeni teknolojik sistemlere uyarlanır. Boyutları muhtemelen sorun olmayacak olsa da, kalibrasyon her zaman gerekli olacaktır." Thomas Kleckers

3. Capacitive (Kapasitör)

Kondansatörler yapıları gereği elektrik yükü depolayabilir. Kondansatörlerin yük depolayabilme kapasiteleri ise kondansatör plakalarının boyutlarına, bu plakalar arasındaki mesafenin uzaklığına ve iki plaka arasındaki yalıtkan malzemenin özelliğine bağlıdır. Sonuç olarak, kondansatör plakaları birbirinden uzaklaştırılırsa ya da esnetilirse veya iki plaka arasındaki dielektrik malzeme hareket ettirilirse, kondansatörün kapasitesi değişir. Kondansatörün kapasitesi ile beraber alternatif akıma gösterdiği direnç de değişir. İşte bu prensipten hareketle kapasitif basınç sensörleri üretilmiştir [53].

4. Manometreler

Manometreler basıncı ölçmek için kullanılan en eski cihazlardır. Sıvıyla dolu cam tüplerden oluşan manometreler aslında iki yüzeyinin etkisinde kaldığı basıncı karşılaştırmak için sıvı hareketini kullanan bir tüpten oluşan manometreler diyaframlı manometreler olarak adlandırılır. En genel manometreler, içinde değişen basınç farklarıyla yer değiştiren bir sıvı bulunan U şeklindedir. Manometreler diğer ekipmanları kalibre etmek için kullanılabilir. Hala laboratuvar ortamlarında sıklıkla kullanılan araçlardır. Manometrelerin dezavantajları ise yavaş tepki verme süreleri ve ölçüm yapabildikleri basınç aralıklarının sınırlı olmasıdır. Dinamik basınç ölçümü gerektiren uygulamalar için bu dezavantajlarından dolayı kullanılmaya uygun değildirler.



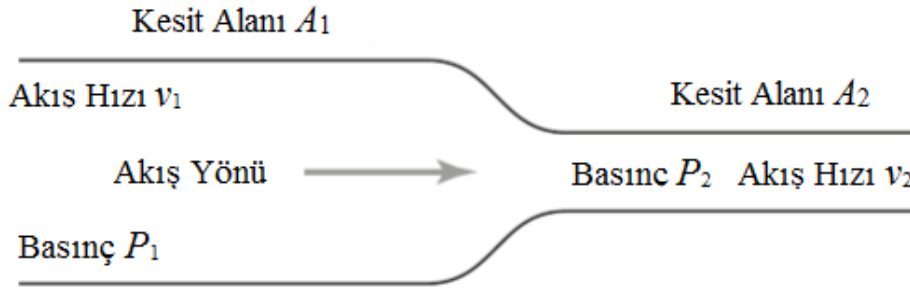
Şekil 2-24: Bourdan tüplü manometrelerin yapısı

Statik basınç ölçümünde en çok kullanılan manometre türü Bourdan Tüplü olan manometrelerdir. İçyapısı çoğunlukla eliptik kesitli C şeklindeki bir borudan meydana gelir. Boruya basınç etki ettiğinde boruda elastik şekil değişimi meydana gelir ve bu değişim borunun serbest ucundaki yay ve dişli mekanizması ile ibreye dönme hareketi olarak iletilir. Bu tip manometreler sıvı ve gaz akışının olduğu yerlerde kullanılabilir.

2.4.3.5. Sıvı Akış Sensörü ;

Sıvıların akış hızını ölçmenin geleneksel yöntemi, akışkanın geçtiği alanın daralmadan önceki basıncı ile daraldan sonra meydana gelen basınç düşüşünün ölçülmesine dayalıdır. (Şekil 2-25). Bernoulli denklemi bize basınç düşüşünün ölçülmesini sağlar. Yatay bir boru içinde, daralma öncesi v_1 akışkan hızı, P_1 basınç ve A_1 borunun enine kesit alanı, daralma anındaki v_2 akışkan hızı, P_2 basınç ve A_2 enine kesit alanıdır, ρ ise sıvı yoğunluğu, ardından Bernoulli denklemi şu şekilde;

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (4)$$



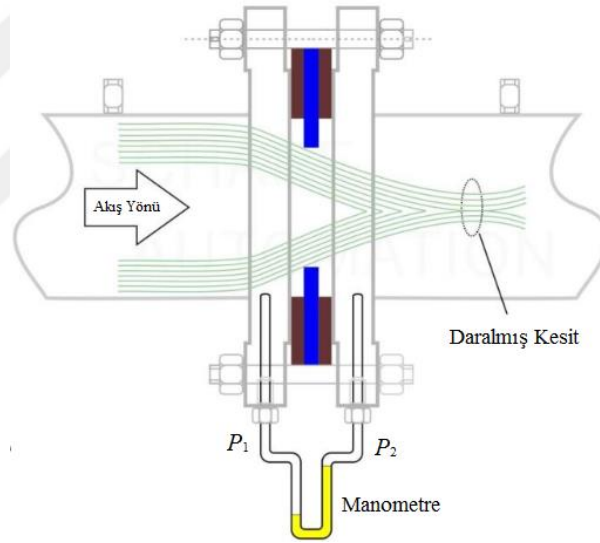
Şekil 2-25: Akış daralmasını gösteren bir kesit

Kesit alanı A_1 'den geçen sıvının kütlesi, daraldan sonraki A_2 alanına eşit olması gerektiğinden, $A_1 v_1 \rho = A_2 v_2 \rho$ olur. Ancak tüpten saniyede geçen sıvı miktarı Q ise $A_1 v_1 = A_2 v_2$ olur. Buradan;

$$Q = \frac{A}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (5)$$

Bu denklem sonucunda borudan saniyede akan sıvı miktarı ile $\sqrt{(\text{basınç farkı})}$ orantılıdır. Basınç farkı ölçümleri, akış hızının bir ölçüsünü vermek için kullanılabilir. Bu prensibe dayanan birçok cihaz vardır, bunlardan en yaygın kullanılanı orifis plakasıdır.

Orifis plakası (Şekil 2-26), içinden sıvı akışının olduğu tüpe yerleştirilmiş, merkezde bir deliği olan basit bir diskten ibarettir. Basınç farkı, borunun yukarı akış çapına eşit bir nokta ile aşağı akış çapının yarısına eşit bir nokta arasında ölçülür. Orifis plakası basit, ucuz, hareketli bir parçası yoktur ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, atık sulara iyi sonuç vermezler. Doğruluk tipik olarak tam akış durumunda yaklaşık $\pm 0,5\%$ 'dir, doğrusal değildir ve bağlı olduğu sistemde oldukça önemli bir basınç kaybı meydana gelir.

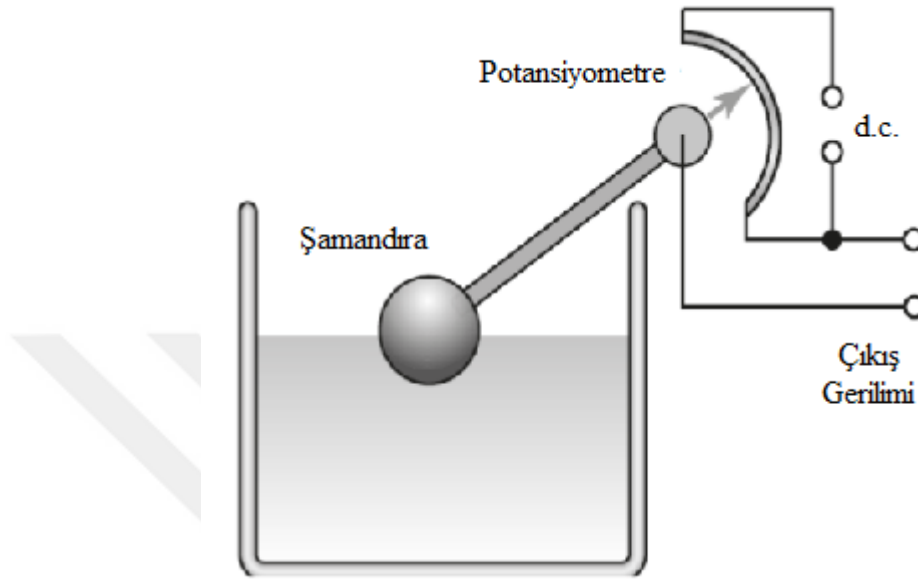


Şekil 2-26: Orifis plakası çalışma prensibi

2.4.3.6. Sıvı Seviye Sensörleri

Bir kaptaki sıvı seviyesi, doğrudan sıvı yüzeyinin seviyesi ölçülerek veya dolaylı olarak yükseklikle ilgili bazı değişkenler bulunarak ölçülebilir. Doğrudan yöntemler, şamandıra sistemini içerebilir. Dolaylı yöntemler, haznenin ağırlığını loadcell gibi sensörler aracılığıyla ölçerek sıvı seviyesinin hesaplanmasını sağlayabilir. Sıvının ağırlığı $Ah\rho g$ 'dir, Burada A , kabın enine kesit alanı, h sıvının yüksekliği, ρ yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesidir. Böylece sıvının

yüksekliğindeki değişiklikler ağırlık değişikliklerini verir. Daha yaygın olarak, dolaylı yöntemler, sıvının bir noktasındaki basıncın ölçülmesini sağlar; h yüksekliğindeki bir sıvı hacminden kaynaklanan basınç, $h\rho g$ 'dir; burada ρ , sıvı yoğunluğudur.



Şekil 2-27: Sıvı seviye sensörü basit yapının gösterilmesi

Bir kaptaki sıvı seviyesini ölçmenin doğrudan bir yöntemi, bir şamandıranın hareketini gözlemektir (Şekil 2-27). Bunu basit bir su kabı içindeki sistemle göstermektedir. Şamandıranın seviyesinin değiştirmesi, kaldıraç kolunun dönmesine ve böylece bir kaydırıcıyı bir potansiyometre boyunca hareket ettirmesine neden olur. Sonuç olarak, sıvının yüksekliğine bağlı bir voltaj değeri çıktı olarak alınmaktadır [49].

2.4.3.7. Sıcaklık Sensörü

Sıcaklık sensörleri bağlı bulundukları sistemdeki ısı değişimini algılamaya yarayan cihazlardır. Sıcaklık sensörlerinde kullanılmak için, fiziksel yapılarından dolayı elektriksel dirençleri sıcaklığa bağlı olarak değişen malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerden yararlanılarak sıcaklık ölçümü ve sıcaklık kontrolü sağlanabilir Sıcaklığı izlemek için yaygın olarak kullanılan değişiklikler, katıların, sıvıların veya gazların genleşmesi veya büzülmesi, iletkenlerin ve yarı iletkenlerin elektrik direncindeki değişiklik ve termoelektrik voltajlardır

(E.M.F.). Sıcaklığa bağlı olarak elektrik direnci değişkenlik gösteren elektronik malzemelere termistör denmektedir.

Termistör imalatında yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. PTC(Positive Temperature Coefficient) ve NTC(Negative Temperature Coefficient) olmak üzere iki çeşit termistör bulunmaktadır [54]. Endüstri de en yaygın kullanılan sıcaklık sensörüne Termokupl (Thermocouple) denilmektedir.

TANIM	GÖRSEL	SEMBOL
PTC		 veya 
NTC		 veya 

Şekil 2-28: Termistör çeşitleri

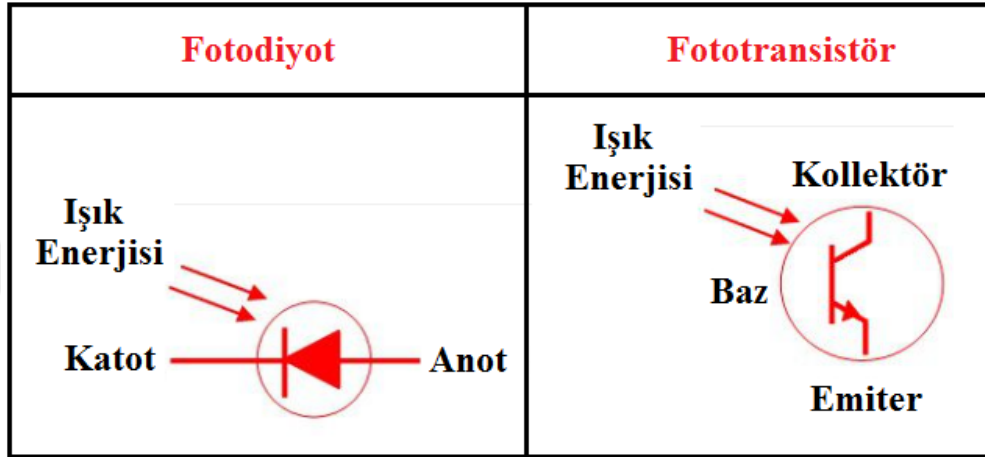
2.4.3.8. Işık Sensörü

Işık kaynaklı olarak kullanılan sensörlerden en çok kullanılan çeşitleri Foto diyotlar ve Foto transistör'lerdir. Foto transistörler ışık enerjisini elektrik akımına veya voltaja çeviren bir tür yarı iletken transistördür. Işığa duyarlı bir baz bölgeye sahiptir.

Foto diyotlar, ters akım bir devreye bağlı olan, bu nedenle çok yüksek bir direnç sağlayan yarı iletken bağlantı diyotlarıdır. Işığın olmadığı ortamlarda, ters akım neredeyse yok denecek kadar azdır ve karanlık akım olarak adlandırılır. Bağlantı noktasına ışık düştüğünde fazladan elektron çiftleri üretilir ve ters akımda artış olur ve diyot direnci düşer (Şekil 2-29). Foto diyotların çalışma şeklini açıklamak gerekirse, 3 V'luk ters akıma sahip bir fotodiyotun akımı, ışığın olmadığı bir ortamda 25 μ A ise ve ortam 25 000 lümen/m² ile aydınlatıldığında 375 μ A'ya yükselir. Buna göre oluşan direnci şu şekilde hesaplayabiliriz. Işığın olmadığı ortamda $R = 3 / (25 \times 10^{-6}) = 120k\Omega$ olurken, ışığın olduğu ortamda $R = 3 / (375 \times 10^{-6}) = 8k\Omega$ olur. Böylece bir fotodiyot, üzerine gelen ışığın büyüklüğüne göre kontrol edilebilen değişken dirençli bir sensör olarak

kullanılabilmektedir. Foto diyotların ışığa tepki süreleri çok hızlıdır. Piyasa da çok farklı türde fotodiyotlar bulunmaktadır. Bunları tür ve yapılarına göre şu şekilde sıralayabiliriz;

- PN fotodiyot
- Schottky fotodiyot
- PIN fotodiyot
- Çığ fotodiyot



Şekil 2-29: Fotodiyot ve fototransistör

2.4.4. Eyleyiciler (Actuators),

Eyleyiciler, elektrik enerjisi, pnömatik – hidrolik sistem içerisinde çeşitli akışkanların etkisiyle veya mekanik tahrikli sistemler tarafından çalıştırılan kontrol edilebilen hareketler veya konumlandırma sağlayan mekanik veya elektro-mekanik cihazlardır. Bu cihazlar kullanım yerlerine göre üç kategoride sıralayabiliriz [49].

1. Hidrolik ve Pnömatik Eyleyiciler
2. Elektriksel Eyleyiciler
3. Piezoelektrik Eyleyiciler

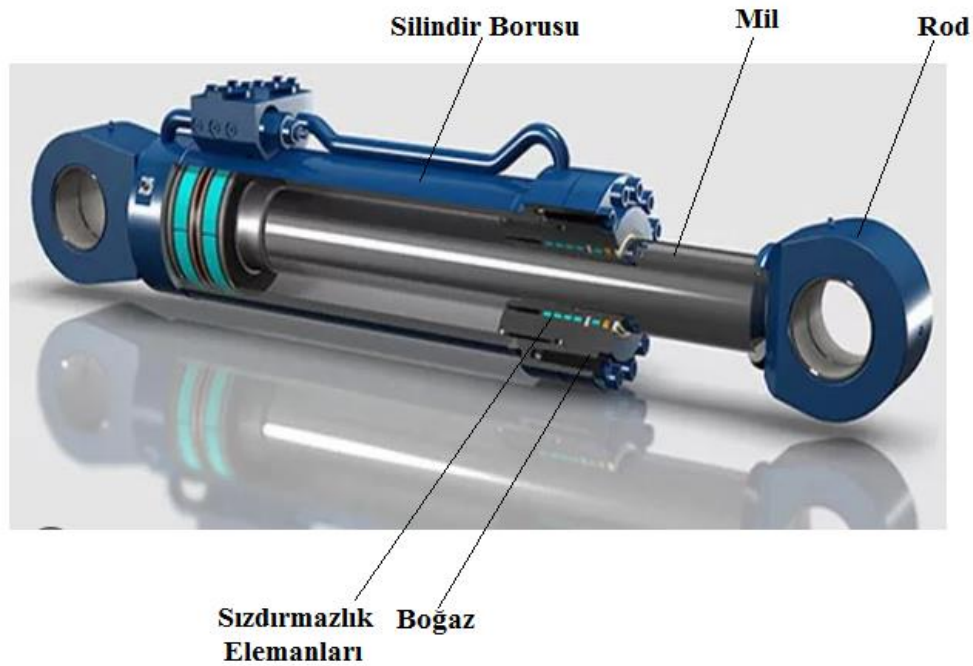
2.4.4.1. Hidrolik ve Pnömatik Eyleyiciler,

Hidrolik ve pnömatik sistemler akışkan gücünden yararlanan uygulamalardır. Pnömatik eyleyiciler ve sistemleri, genellikle kolaylıkla sıkıştırılabilen havayı kullanırken, hidrolik eyleyiciler ve sistemleri, sıkıştırılması nispeten mümkün olmayan endüstriyel yağları kullanır.

Yüksek güç gereken uygulamalarda hidrolik sistem tercih edilmektedir. Güçlü olmaları avantaj olmakla beraber hidrolik eyleyiciler, pnömatik eyleyicilerden daha yavaş hareket ederler[55].

- Hidrolik Silindirler,

Hidrolik silindirler, sızdırmaz bir silindir içerisinde bulunan çalışma sıvısının potansiyel enerjisini doğrusal hareketle mekanik enerjiye dönüştüren eyleyicilerdir. Sistem sıvısının sıkıştırılma basıncı pistonu etkiler ve piston tertibatının hareket etmesine olanak sağlayan bir kuvvet oluşturur. Oluşan bu kuvvetten silindirin bağlı olduğu hareketli mil ucundaki ekipman bileşenlerine hareket aktarılmış olur. Hidrolik silindirler, hidrolik güç iletim sistemlerinde yönetici unsurlardır [56]. Hidrolik silindirler kullanım amaçlarına göre birçok tip ve yapıda olabilir. Ancak ana bileşenleri her silindir tipinde aynıdır. Bunlar; silindir borusu(honlanmış), krom kaplı mil, rod, boğaz (kep) ve sızdırmazlık elemanlarıdır [57].



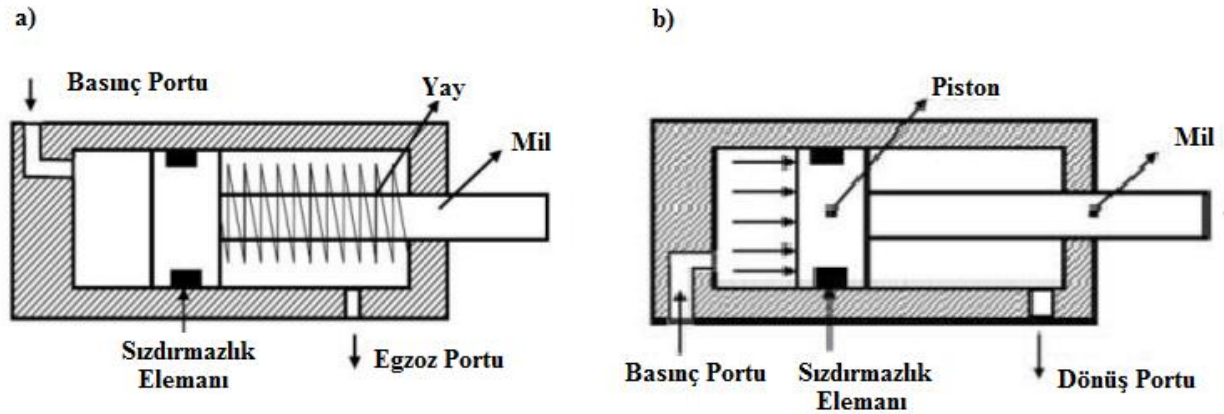
Şekil 2-30: Hidrolik silindir bölümleri

- Pnömatik Silindirler,

Pnömatik silindirler endüstrinin neredeyse bütün alanlarında değişik uygulamalar da yer almakta ve kullanım alanları gelişen sanayi ve teknoloji ile sürekli genişlemektedir. Ürün yerleştirme ve paketlenme, taşıma, itme-çekme ve daha birçok operasyon pnömatik silindirler sayesinde kolaylıkla yapılabilmektedir. Kapalı bir alanda gazın sıkıştırılması ve ortaya çıkan

basınç etkisiyle harekete geçen mil, hareket hızı olarak hidrolik silindirlerden daha hızlı hareket etmeleri seri işlerde tercih edilmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte yüksek güçler meydana getiremezler. Pnömatik silindirlerin endüstride genel olarak tek etkili ve çift etkili olmak üzere iki farklı yapıda kullanımı vardır [58].

Tek etkili bir silindir, bir yönde hava basıncı ve diğer yönde bir yay ile tahrik edilir. Tek etkili silindirler havanın verdiği yönde iş yapabilirler. Çift etkili bir silindir, her iki yönde hava basıncı ile tahrik edilir. Her iki yönde de çalışabilirler.

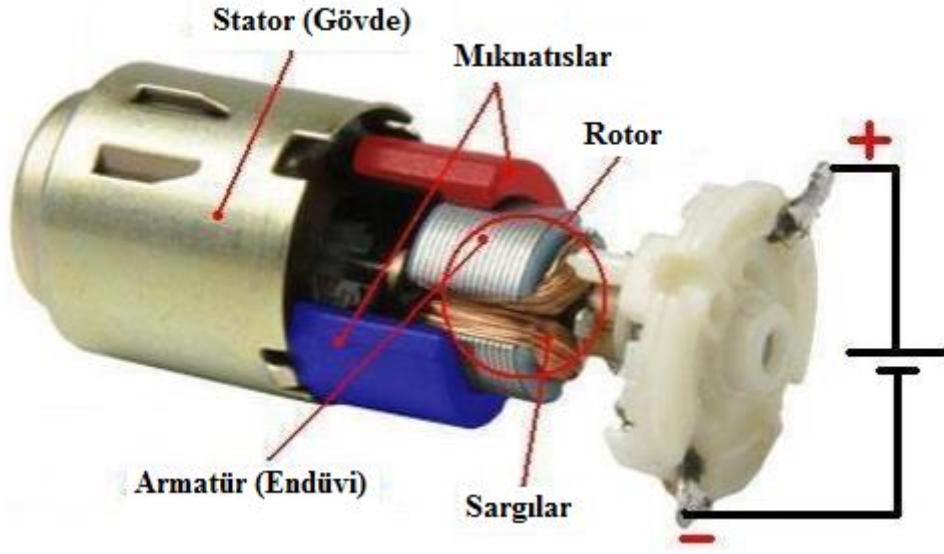


Şekil 2-31: a) Tek etkili silindir, b) Çift etkili silindir

2.4.4.2. Elektriksel Eyleyiciler,

- DC Motorlar

Doğru akım elektrik enerjisini, mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makinesine DC motor denir. Endüstride çok yaygın kullanıma sahiptirler. DC motorlar küçük oyuncaklardan elektrikli ev aletlerine kadar birçok yerde kullanılmaktadır. Fırçalı ve fırçasız olmak üzere iki ana şekilde DC motorlar bulunmaktadır. Fırçalı motor, tarihteki en eski motor türüdür. Motorun rotor adı verilen dönen kısmına güç sağlamak için karbon fırça mekanizması kullanılır. Sabit mıknatıslardan oluşturulan stator, manyetik alan oluşturarak rotoru çevirir. Rotor döndüğünde fırçalar sürtünür ve zamanla fırçalar aşınarak motorun ömrünün kısılmasına sebep olur ayrıca da motor içerisinde oluşabilecek elektriksel kısa devreler de kıvılcım oluşmasına neden olup fırçalara zarar verebilir. Fırçalı motorlar maliyetleri ucuz olması yanında gürültülü çalışmaktadırlar. Fırçalı motorlarda konum kontrolü yapmak mümkün olmadığından hassas yerlerde kullanılmazlar.



Şekil 2-32: DC motor elemanları

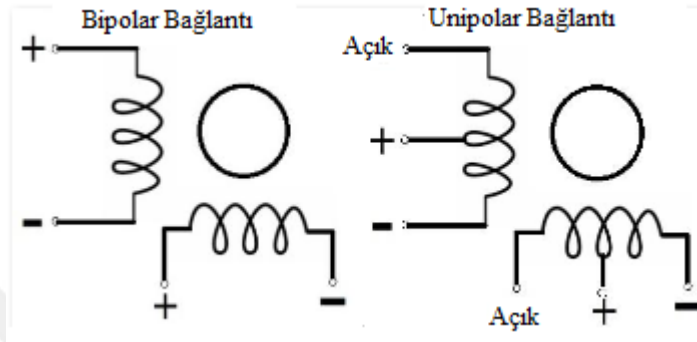
- Step Motorlar ve Kontrol Kartları,

Adım motoru veya "step motor", elektronik darbeleri mekanik harekete çevirerek adım adım dönme hareketi üreten bir tür elektrik motorudur [59]. Bu motorlar, dijital sinyallerle kontrol edilen ve belirli bir açıda veya adımda dönme yeteneğine sahiptirler. Step motorları, belirli bir sayıda adımda belirli bir açıyla dönerler ve bu adımlar servo motorun hassasiyetine göre değişiklik gösterirler. En yaygın olanı 1.8 derecelik (200 adımlık) açılarda çalışan step motorlarıdır. Step motorlarında iki veya daha fazla yer alan bobinlere, belirli bir sırayla sinyal gönderilerek istenilen açı kadar dönmesi sağlanır. Bu bobinler, rotor adı verilen motorun dönen kısmının manyetik alanını değiştirirler ve bu sayede rotor adım adım hareket eder. Step motorları, açısal pozisyonlarını ve hareketlerini hassas bir şekilde kontrol edebildiği için yaygın olarak kullanılır.

Adım motorlarının bazı avantajları şunlardır;

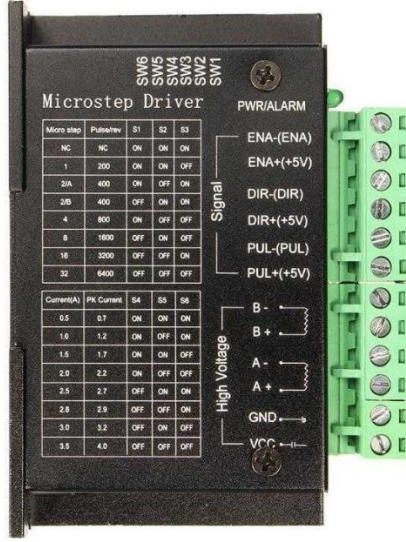
1. Hassas Kontrol: Düşük açılardaki adımlara sahip dönme yetenekleri, hassas pozisyonlama gerektiren uygulamalarda kullanılmalarını sağlar.
2. Kolay Kontrol: Dijital sinyallerle kontrol edilebilmeleri, mikro denetleyiciler veya bilgisayarlar gibi dijital cihazlarla kolayca entegre edilmelerini sağlar.
3. Tutma Torku: Step motorları, enerji verilmediğinde bile sabit bir konumda kalabilirler, bu da enerji kesildiğinde veya frenleme gerektiğinde kullanışlıdır.
4. Yüksek Tork: Bazı step motorları yüksek tork üretebilirler, bu da belirli uygulamalarda güçlü hareketler sağlar.

Step motorları fırçasız motorlardır. Step motorları açık döngü (Open Loop) çalışmaları için geri beslemeye ihtiyaç duymazlar ve kodlayıcıya gerek kalmaz. Step motorları endüstriyel otomasyon, CNC makineleri, yazıcılar, 3D yazıcılar, robotlar ve tezgahlar gibi birçok farklı uygulamada kullanılır. Her bir uygulama için farklı türde step motorları ve kontrol stratejileri seçilebilir, böylece istenen performans ve hassasiyet elde edilebilir. İki temel step motor tipi vardır, bunlar Bipolar ve Unipolar step motorlarıdır. Şekil 2-33’de bu iki tipin bağlantı şekli görünmektedir.

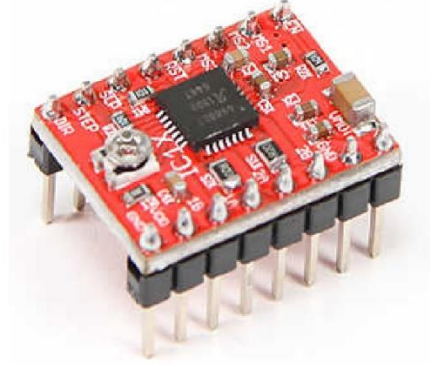


Şekil 2-33: Step motorun çeşitleri Bipolar ve Unipolar

Step motorlarının kontrol edilebilmesi için step motor kontrol kartlarının(Sürücülerin) kullanılması gerekmektedir. Piyasada pek çok farklı sürücü bulunmaktadır ve iyi bir performans sağlamak için bunların kullanılan step motorla çalışmasının uyumlu olması gerekir. En çok tercih edilen Şekil 2-34’de gösterilen, A4988 ve TB6600 step motor sürücüleridir. A4988, 2A'e kadar akıma dayanabilir ve 1/16'ye kadar mikro adım çözünürlüğüne izin verir. TB6600 ise genellikle 4A'e kadar akım gerektiren daha büyük step motorları için kullanılır ve maksimum 1/32 adım çözünürlüğüne sahiptir. Standart 1,8 derecelik bir step motor için, 1/16'lık bir mikro adım çözünürlüğü devir başına 3200 adım, 1/32'lik bir çözünürlük ise devir başına 6400 adım verir [60]. Step motoru sürücülerini kontrol ederken DIR, STEP ve EN olmak üzere üç farklı sinyal kullanılır. Bir STEP sinyali gönderildiğinde motor, sinyalin gönderildiği anda DIR tarafından verilen yönde bir adım (veya seçilen ayara bağlı olarak mikro adım) hareket eder. EN pini step motorun sabit durumdayken kullandığı gücü azaltmak için kullanılır [61].



(a)

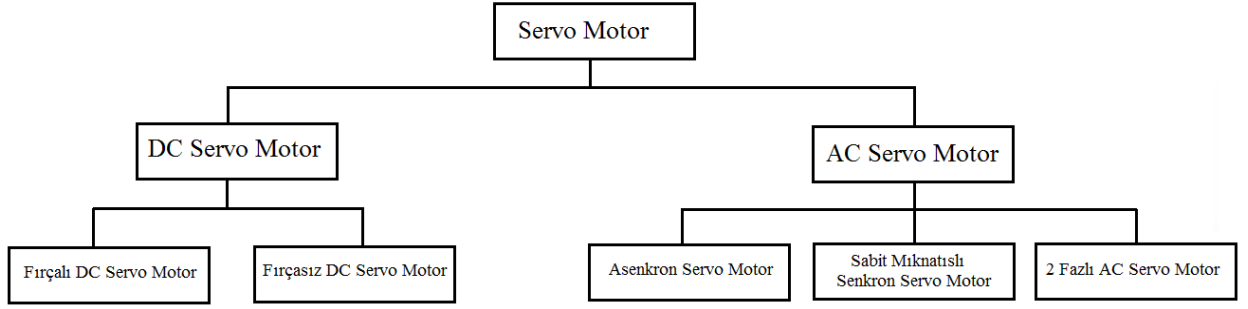


(b)

Şekil 2-34: Step motor kontrol kartları; (a) TB6600, (b) A4988

- Servo Motorlar,

Servo motor, bir kontrol sinyali ile hassas bir şekilde hareket ettirilen bir tür elektrik motorudur. Servo motorlar kapalı çevrimle kontrol edilen sistemlerdir. Bu yapının en önemli özelliği geri besleme elemanı ile geri bildirim alma olayıdır [62]. Servo motorlar, hassasiyet ve yüksek hız gerektiren uygulamalarda kullanılır. Güçlü tork üretebilirken, hızlı, sarsıntısız, yüksek hassasiyette, iyi zamanlamayla ve istenilen hareket ihtiyaçlarına cevap verebilme gibi kabiliyetlerinden dolayı da servo motorlar endüstride önem kazanmışlardır. Servo motor, elektrik kontrolüyle gerçekleştirilen servo sistemin hareketini sağlayan birimdir. Pozisyon ve hız kontrolünün gerektiği uygulamalarda, pozisyon ve hız bilgisi, geri besleme(sensörler, potansiyometreler veya kodlayıcılar) ile bir karar verme ünitesine gönderilerek sistemin hareket davranışı kontrol edilmektedir. Servo motorlar, kapalı kontrol döngü sistemlerinden dolayı; hassas devrelerin geri bildirimleri ile çalışarak, çok etkili bir pozisyon, akış ve aktüatör ivmelenme kontrolü sağlarlar. Servo motorların sınıflandırılması Şekil 2-35' de gösterilmiştir.



Şekil 2-35: Servo motorların sınıflandırılması

Servo motorlar, yukarıdaki sınıflandırmadan da anlaşılacağı gibi çeşitli uygulama türlerine göre farklı özelliklere sahip olan birçok farklı tip ve boyutta üretilmektedirler. Hangi tür servo motorun kullanılacağı, kullanım amaçlarına, gereksinimlere ve uygulama koşullarına bağlıdır. Hangi tip servo motorun tercih edileceğine karar verirken dikkat edilmesi gereken faktörler şu şekildedir;

1. Hassasiyet: Hassas konumlandırma veya kontrol gerektiren uygulamalarda hassas servo motorlar tercih edilir. Bu tür motorlar, yüksek çözünürlüklü kodlayıcılar veya geri bildirim sistemleri ile donatılmış olabilir.
2. Hız ve Tepki Süresi: Hızlı hareket gereksinimleri olan uygulamalarda hızlı tepki süresine sahip servo motorlar tercih edilir. Bu, robotlar, CNC makineleri veya konveyör sistemleri gibi uygulamalar için önemlidir.
3. Tork Kapasitesi: Büyük yükleri taşıma veya sürme gereksinimleri olan uygulamalarda yüksek tork kapasitesine sahip servo motorlar kullanılır.
4. Ortam Koşulları: Endüstriyel ortamlarda kullanılacak servo motorlar, sıklıkla dayanıklı ve korumalı yapıda olmalıdır. Toz, nem veya kimyasal etkilere dayanıklı modeller tercih edilir.
5. Boyut ve Montaj: Servo motorların boyutları ve montaj seçenekleri, kullanılacak uygulamaya göre seçilmelidir. Uygulama alanı dar ise daha kompakt bir servo motor tercih edilebilir.
6. Maliyet: Servo motorların farklı tipleri ve özellikleri farklı maliyetlere sahiptir. Uygulamanın bütçesini göz önünde bulundurarak uygun bir servo motor seçimi yapılmalıdır.

AC servo motorlar, daha yüksek güç ve tork kapasitesine sahipken DC servo motorlar daha kompakt ve hızlı tepki süresine sahip olabilir. Hangi tip servo motorun kullanılacağı, uygulama gereksinimlerine ve tasarım tercihlerine bağlı olarak değişebilir.

2.4.4.3. Piezoelektrik Eyleyiciler,

Piezoelektrik eyleyici, piezoelektrik etkiyi kullanarak mekanik bir hareket ortaya koyan bir çeşit aktüatördür. Bu mekanik hareket ile malzeme kendi üzerinde şekil değişimi veya titreşim oluşumunu sağlar. Piezoelektrik eyleyiciler, küçük boyutları, hızlı tepki süreleri, yüksek hassasiyette hareket çözünürlüğü ve manyetik alandan etkilenmeme gibi özellikleri vardır [63]. Farklı hareket prensiplerine göre, piezoelektrik aktuatörler üç ana türe ayrılmaktadır, bunlar **Inchworm**(Tırtıl) tipi, **Friction-Inertia**(Sürtünme-Durağanlık) tipi ve **Parasitic**(Parazitik) tipi.

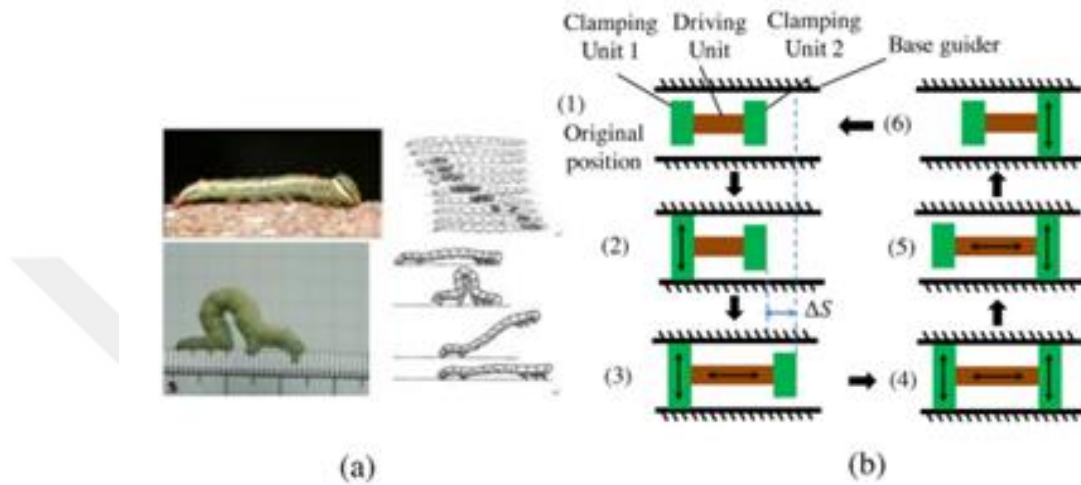
- Tırtıl Hareket Prensibi (Inchworm Motion Principle(IMP),

Inchworm hareket prensipli piezoelektrik motor, şekil 36(a)'da gösterilen tırtılın doğada hareket etme şeklinden ilham alan bir prensiple çalışan bir tür piezoelektrik aktüatördür. Bu tip motor, hassas ve artan doğrusal hareket elde etmek için tasarlanmıştır ve özellikle hassas konumlandırma ve kontrol gerektiren uygulamalar için çok uygundur [64]. Tırtıl hareket prensibi, ön uçlarını uzatıp kavrayarak, ardından ileri doğru hareket etmek için arka uçlarını kasarak hareket eder. Benzer şekilde, Inchworm hareket prensibi ile çalışan bir piezoelektrik motor, kenetlenme ve tahrik birimlerinin değişimi yoluyla hareket sağlar. Bu yöntemle sistem üç aşamadan oluşmaktadır:

1. Kenetleme(Clamping) Aşaması: Şekil 2-36(b,1-2)'de başlangıç aşamasında motor, bir dizi kenetleme elemanı veya tutucu kullanarak bir yüzeye veya nesneye kenetlenir. Bu, motor ile yüzey arasında güvenli bir bağlantı kurar.
2. Sürüş(Driving) Aşaması: Şekil 2-36(b,3-4)'de motor, kenetlendikten sonra piezoelektrik elemanları kullanarak mekanik bir kuvvet veya yer değiştirme uygular. Bu elemanlar hareket oluşturarak motorun kademeli olarak ilerlemesine veya geri çekilmesine neden olur. Bu adım, tırtılın ileri hareketini taklit eder.
3. Serbest Bırakma(Release) Aşaması: Şekil 2-36(b,5-6)'de her adımdan sonra motor yüzeydeki tutuşunu serbest bırakarak serbestçe hareket etmesine veya bir sonraki döngü için yeniden konumlandırılmasına olanak tanır.

Inchworm hareket prensipli piezoelektrik motorlar, yüksek hassasiyetleri, mükemmel tekrarlanma kapasiteleri ve mikron mertebesinde çok küçük ve kontrollü hareketler

gerçekleştirme yetenekleriyle bilinir. Hassas konumlandırma ve hassas kontrolün gerekli olduğu mikroskopi, optik ve nanoteknoloji dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulama alanı bulurlar. Bu motorlar, son derece ince ve kademeli ayarlamalar sağlama yetenekleri nedeniyle tercih edilir; bu da onları, geleneksel motorların gerekli hassasiyet düzeyini sunamadığı durumlarda değerli kılar.



Şekil 2-36: Inchworm hareket prensibi şematik gösterimi

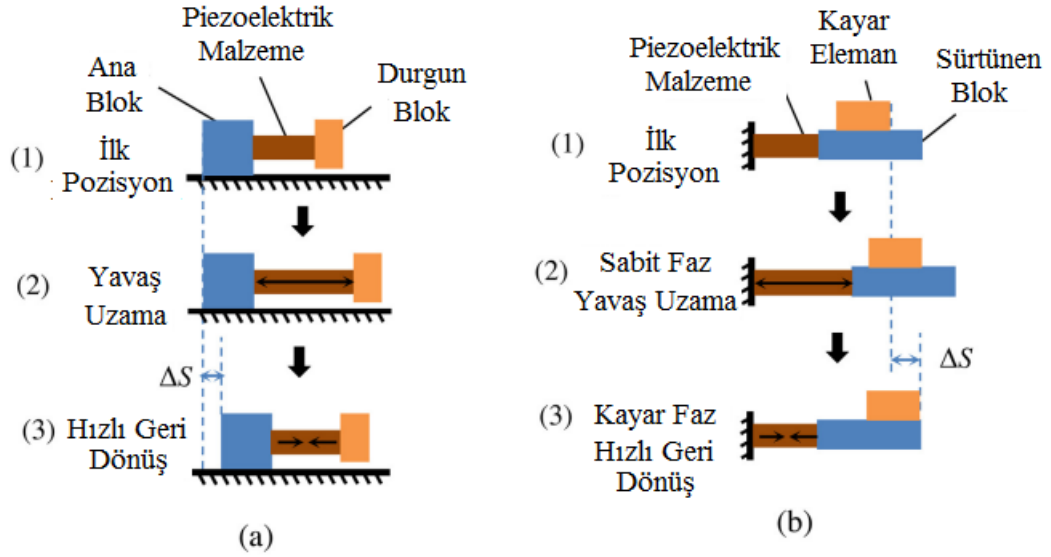
- Sürtünme-Atalet Hareket Prensibi (Friction-Inertia Motion Principle),

Sürtünme-Atalet tipi piezoelektrik aktüatörlerin hareket prensibi momentumun korunumu yasasına dayanmaktadır. Piezoelektrik yığılara veya piezoelektrik bimorflara özel voltaj sinyali, örneğin testere dişi dalgası uygulanarak, farklı ağırlığa sahip iki kütle bloğu arasındaki bağıl yer değiştirme üretilir ve böylece adımlama hareketi gerçekleştirilir. Sürtünme-atalet tipi piezoelektrik aktüatörlerin en önemli özelliği, yapılarının ve kontrol sisteminin oldukça basit olmasıdır. Bu nedenle sürtünme ataletli piezoelektrik aktüatör ortaya çıkışından bu yana araştırmacıların giderek daha fazla ilgisini çekiyor. Hareket ilkesine göre, sürtünme ataletli piezoelektrik aktüatörler iki gruba ayrılabilir [65]; Darbeli-Sürücülü piezoelektrik aktüatör (Impact-Drive Mechanism (IDM) ve Tutma-Bırakma tahrikli piezoelektrik aktüatör (Smooth Impact-Drive Mechanism (SIDM)).

IDM piezoelektrik aktüatörün hareket prensibi Şekil 2-37(a)'da gösterilmektedir. Bu tür aktüatör esas olarak iki kütle bloğundan (Ana Blok ve Durgun Blok) ve bir piezoelektrik malzemeden oluşur. Tüm yapı sürtünme tabanının yüzeyine yerleştirilir. Başlangıçta (1)

piezoelektrik eleman yüklü değildir, bu da piezoelektrik malzemenin uzunluğunun en kısa olduğu anlamına gelir. Daha sonra, (2) adımında, piezoelektrik malzemenin tahrik voltajı kademeli olarak artar ve piezoelektrik malzeme yavaşça uzar. Ana bloğun kütlesi eylemsiz bloğun kütlesinden daha büyük olduğundan ana blok hareketsiz kalır. Atalet bloğu hareket ederken yerden gelen sürtünme kuvveti hafifçe sağa. Daha sonra adım (3)'te piezoelektrik eleman aniden gücünü kaybeder ve adım (1)'deki gibi hızlı bir şekilde minimum uzunluğa geri çekilir. Bu durumda atalet kuvveti yerdeki sürtünme kuvvetinden daha büyük olur ve iki blok sırasıyla karşıt taraflara doğru hareket eder. Sonuç olarak, darbe tahrikli piezoelektrik aktüatör, Şekil 2-37(a)'da gösterildiği gibi tek adımlı uzunluk ΔS kadar bir mesafede sağa doğru hareket eder. Yukarıdaki adımları tekrarlayarak büyük bir çalışma tekrarları kolayca elde edilir.

Şekil 2-37(b)'de Çubuk-Kaymalı tahrikli piezoelektrik aktüatörü olarak da adlandırılan Yapışkan-Kaymalı piezoelektrik aktüatörün çalışma aşamalarını göstermektedir. Darbeli-Sürücülü piezoelektrik aktüatörden farklı olarak, Tutma-Bırakma piezoelektrik aktüatörde piezoelektrik elemanın bir ucu tabana sabitlenirken diğer ucu sürtünme bloğuna bağlanır. Kaydırıcı sürtünme bloğunun yüzeyine yerleştirilir. Sürücü, kaydırıcıyı sürtünme bloğunun yüzeyine yerleştirir. Hareket sürecinde, 2. adımda, piezoelektrik eleman yavaşça uzar ve kaydırıcı, kaydırıcı ve sürtünme bloğu arasındaki sürtünme kuvvetinin etkisiyle sağa doğru hareket eder. Bu süreç ayrıca "yapışma" aşaması olarak adlandırılır, çünkü sürtünme bloğu ile kaydırıcı arasında göreceli bir hareket yoktur. Daha sonra, 3. adımda, piezoelektrik eleman hızla güç kaybeder ve orijinal uzunluğuna geri döner, ancak kaydırıcı, inertial kuvvetin etkisiyle neredeyse hiç hareket etmez. Bu süreç, sürtünme bloğu ile kaydırıcı arasındaki göreceli hareket nedeniyle "kayma" aşaması olarak adlandırılır. "Yapışma" ve "kayma" aşamalarını tekrarlayarak, kaydırıcı sürekli adım adım hareketi gerçekleştirebilir ve teorik olarak çalışma mesafesi sonsuzdur.



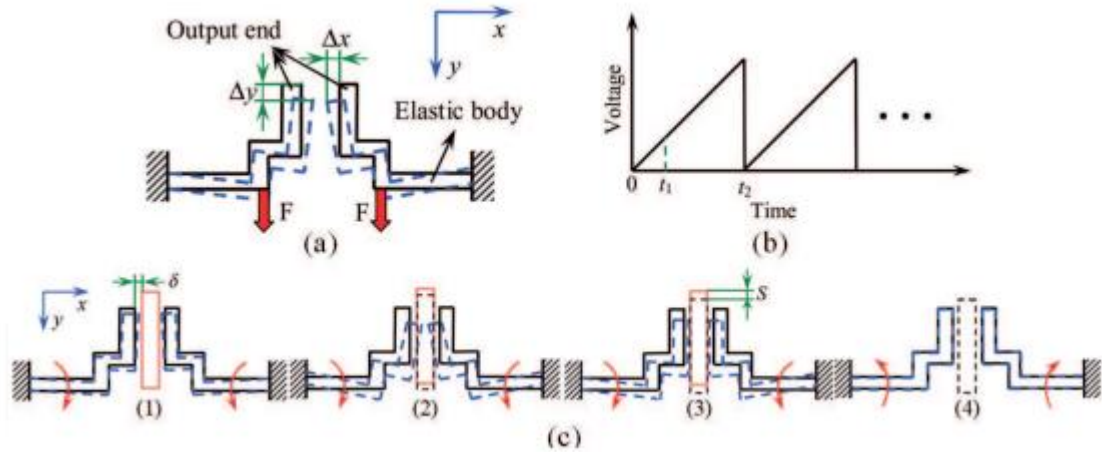
Şekil 2-37: Sürtünme-Durağanlık hareket prensibi şematik gösterimi

- Parazitik Hareket Prensibi (Parasitic Motion Principle(PMP),

Diğer hareket prensiplerinden farklı olarak, Parasitic Hareket Prensibi, genellikle bağımlı bir hareket türüne aittir ve genellikle bağımsız bir hareketle birlikte meydana gelir. Şekil 2-38(a)'da gösterildiği gibi, bir F yükü elastik bir malzemenin ucuna uygulandığında, x ve y yönlerinde iki hareket bileşeniyle (Δx ve Δy) yer değişimi meydana gelir. Y yönündeki hareket bileşeni, doğrudan F yükü tarafından meydana gelen ana harekettir. X yönündeki Δx hareketi ise parazitik hareket olarak adlandırılır. Bu, genellikle ana hareketle aynı anda meydana gelir. Genel olarak, parazit hareketin etkisi, ana hareketten çok daha küçüktür, ancak bu bağımlı hareket, pozisyon hassasiyetini kötüleştirebilir ve kalibrasyon esnasında daha fazla soruna yol açabilir. Öte yandan, esnek eklem montajına uyumlu mekanizmaların parazit hareketi, piezoelektrik aktüatörlerin tasarımında uygun bir şekilde kullanılırsa, daha düşük serbestlik derecesi (DOF) elde edilirken, daha kolay kontrol edilebilen, daha düşük maliyetli, daha az kinematik karmaşıklık ve basit bir yapıyla hareket görevi gerçekleştirilmiş olmaktadır [66].

Piezoelektrik elemana uygulanan özel olarak tasarlanmış kontrol sinyali, örneğin Şekil 2-38(b)'de gösterilen testere dişi dalgası kullanılarak bağıl yer değiştirme gerçekleştirilir ve böylece adımlama hareketi sağlanır. Bu nedenle PMP piezoelektrik aktüatör son yıllarda ortaya çıkışından bu yana popüler hale geldi.

Şekil 2-38(c), PMP piezoelektrik aktuatörün bir adımındaki hareket prensibini göstermektedir. Bu tür aktuatörler genellikle iki bölümden oluşur: stator ve rotor. Başlangıçta (1. adım), stator ve rotor birbirinden belirli bir başlangıç ara boşluğu δ ile ayrılmış durumdadır. Daha sonra (2. adım), esnek eklem montajına uyumlu mekanizmaya yavaşça bir moment/kuvvet uygulanmasıyla başlangıç ara boşluğu δ dolar ve stator ile rotor arasında başlangıç bir temas sağlanır. Daha sonra (3. adım), hem ana hareket hem de parazitik hareket, esnek eklem montajına uyumlu mekanizmanın değişmesiyle artar. Rotor, parazitik hareketle aynı yönde hareket eder. Son olarak, rotor bir adımda ileri bir yer/değişim elde ettikten sonra, moment/kuvvet aniden kaldırılır ve esnek eklem montajına uyumlu mekanizma başlangıç durumuna döner ve bir sonraki döngü için hazır hale gelir. Bu süreçte stator hala rotor ile temas halinde olduğundan, genellikle son adımda geriye doğru bir hareket ortaya çıkar. Bu nedenle, PMP piezoelektrik aktuatör, bir adımda ΔS olarak adlandırılan bir adım değişimi ile hareket edebilir, bu bir adımdaki maksimum değişimden geriye doğru hareketi çıkartarak hesaplanır. Adım (1) ile adım (4) arasında döngü yaparak uzun çalışma mesafesi kolayca elde edilebilir.

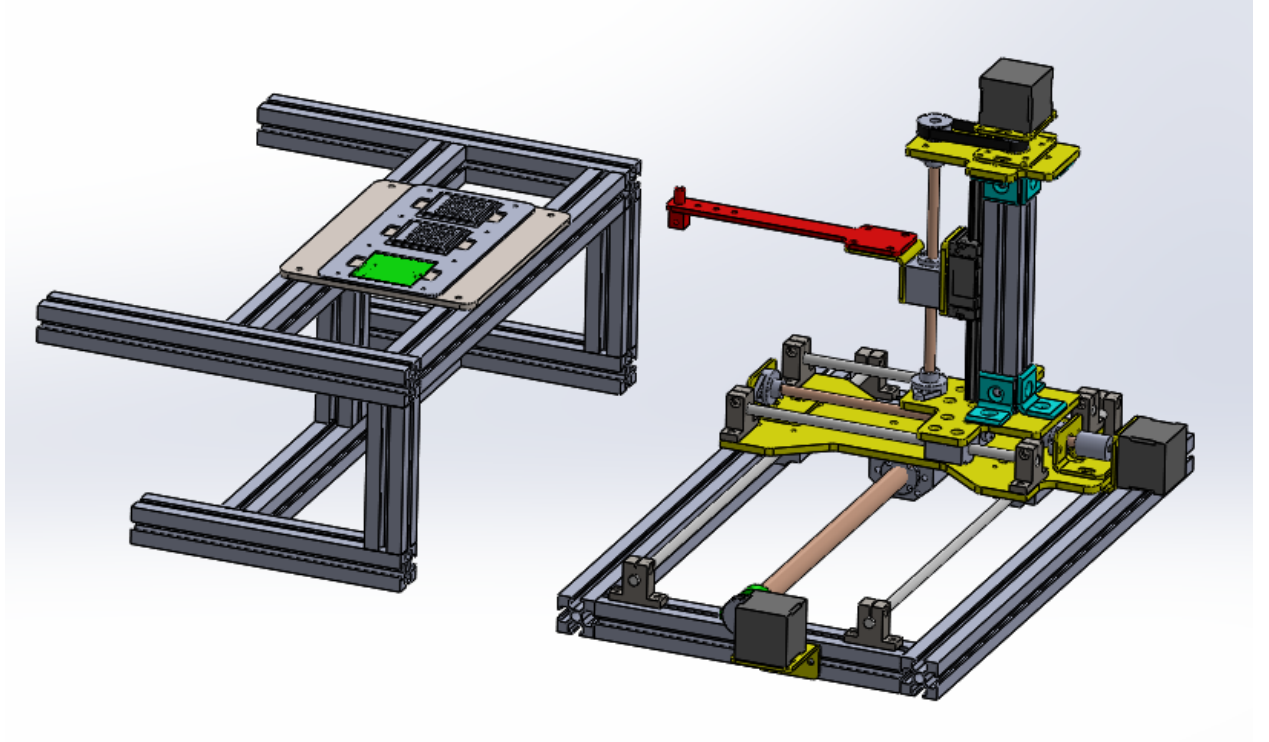


Şekil 2-38: Parasitic hareket prensibi şematik gösterimi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Sistem Tasarım ve Modelleme

Oluşturulan sistem ana yapı sigma profillerden oluşan iki ayrı bölümden meydana gelmektedir. Bu kısımlardan birincisi üç eksenli hareket kabiliyetine sahip ve vakumlu tutucuyu taşıyan robot kol bölümü, ikinci bölüm ise PCB kartın ve SMT komponentlerin bulunduğu dizgi sehpası bölümüdür. Şekil 3-1’ de projenin Solidworks ortamında oluşturulmuş katı model görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3-1: Projenin katı model görüntüsü

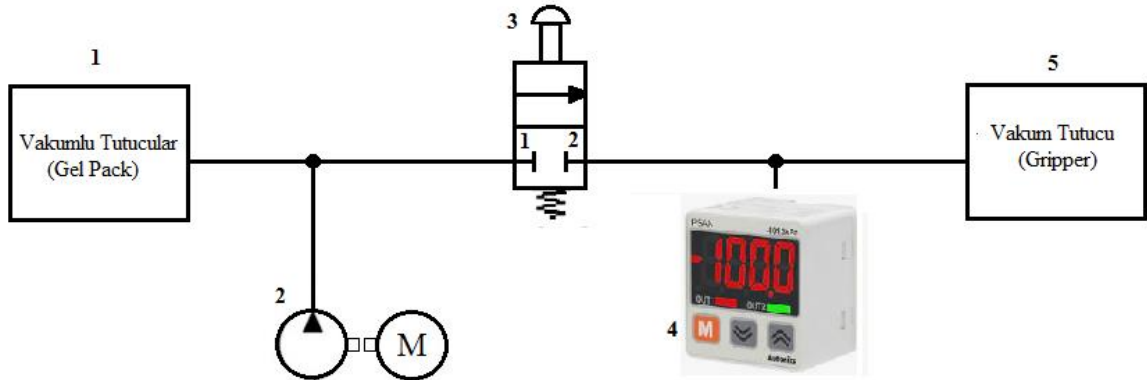
Sistemde Kullanılan Materyaller,

- Gövde için 30x30mm Sigma Profil,
- Arduino Mega 2560 Mikro Denetleyici Kartı 1 adet
- Nema 17 step motor 3 adet
- 2’li 5V Röle Kartı 1 adet
- 4-20Ma 0-5V Akım Voltaj Çevirici 1 adet
- TB6600 Step Motor Sürücüsü 3 adet
- 24V ve 12V Güç Kaynakları
- Kayış-Kasnak Sistemleri

- Vidalı Mil ve Somun Sistemleri
- Micro Mekanik Emniyet Sviçleri 6 adet
- Vakum Pompası 3,06m³/sa
- PSAN-V01CPH PNP Vakum Sensörü
- 12 V Vakum Valfi

3.1.1. Vakum Hattı

Vakum pompası, vakum hattında ki gerekli olan tüm çalışma bölgelerine aynı şartları ve yeterli hava emiş hızını sağlamalıdır. Ayrıca vakum, nesneleri tutup kaldırmak için yeterli emiş gücünü sağlamalıdır. Vakum hattında kullanılan pnömatik hortumlar, sistemde basınç kaybı olmayacak şekilde vakum hattında bağlı olmalıdır. Vakum sistemi ve elemanları Şekil 3-2’de gösterilmektedir.

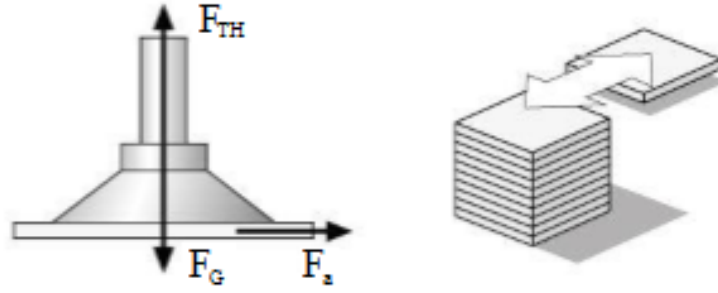


Şekil 3-2: Sistemin vakum hattı

Vakum üretici olarak kullanılan bir elektrik motorlu vakum pompasıdır(2). Pompanın oluşturduğu emiş iki farklı yerde kullanılmaktadır. Bunlardan ilki komponentlerin dizildiği VGP’lerdir(2). Yapışkanlık sağlayan VGP, tutucu üzerine konumlandırılan komponentin sabit kalmasını sağlamaktadır. Vakum hattının diğer kısmında ise Açık/Kapalı şeklinde çalışan tek yönlü vakum valfi(3) bulunmaktadır. Gripperin(5) komponentini alması gerektiği konuma geldiğinde valf Açık pozisyonuna alınarak komponentin alınmasını sağlar. Sistem üzerinde yer alan basınç sensörü(4) ise bize emiş basıncının değişimini 0-5V arasında dijital olarak verir ve ürünün alınıp alınmadığı kontrol edilmiş olur.

Vakum emiş gücü hesabı;

İş parçası Şekil 3-3’de temsili olarak görüldüğü gibi, sistemde dikey ekseninde kaldırılıp, yatay ekseninde taşınacaktır. Motorların ivmelenmesi yaklaşık 1m/s² ve taşınacak maksimum komponent ağırlığı m=4 g dır.



Şekil 3- 1: İş

Şekil 3-3: İş parçasının taşınması

Yatay yönde taşınması için gerekli emiş gücü hesabı;

$$F_{(TH)} = m \times (g + a / \mu) \times S \quad (1)$$

$F_{(TH)}$; Teorik tutma kuvveti (Theoretical Holding Force) (N),

$F_{(a)}$; İvmelenme kuvveti (Acceleration Force) = $m \times a$

m = Ağırlık (kg),

g = Yerçekimi kuvveti [$9,81m/s^2$],

μ = Sürtünme katsayısı (Pürüzlü Yüzeyler için 0,6) ,

S = Güvenlik katsayısı ($1,5 < S \Rightarrow 2$),

Oluşturduğumuz sisteme göre hesaplama yaparsak;

$$F_{(TH)} = 0,004 \times (9,81 + 1 / 0,6) \times 2$$

$$F_{(TH)} = 0,09 \text{ N}$$

Vakum basıncı (P_v) = Kuvvet ($F_{(TH)}$) / Alan(A) ;

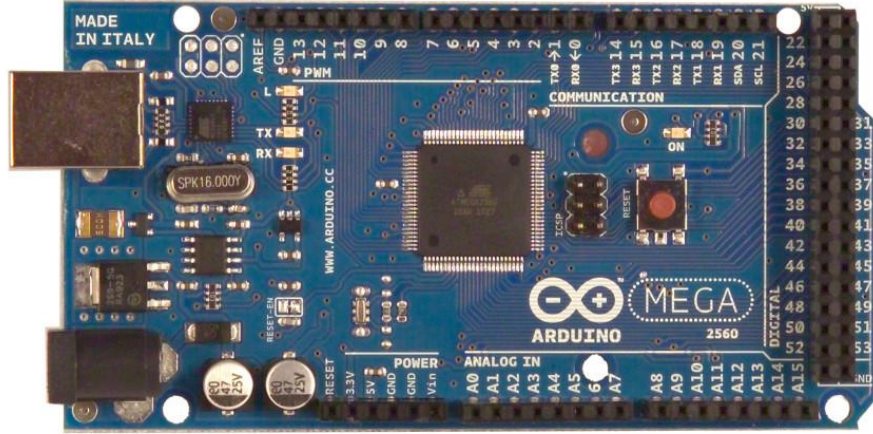
A = Ø6mm vakum ucu yüzey alanı,

$$P_v = 0,09 / 28,26 = 0,0031 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{0,031 \text{ bar}}$$

Bu hesabın sonucunda gerekli olan vakum pompasının emiş gücünün en az 0,031 bar olması gerektiği bulunmaktadır.

3.1.2. Arduino Mega 2560 Mikro Denetleyici

Sistemde kullanılan step motor sürücüleri, sensör ve elektronik valflerin birbiri arasındaki kontrolü ve sistemin tamamının algoritmasının kodlanması için 1 adet Arduino Mega 2560 mikro denetleyici kullanılmıştır. Şekil 3-4’de Arduino Mega 2560 Mikro denetleyicisi gösterilmektedir.



Şekil 3-4: Arduino Mega 2560 mikro denetleyici

3.1.3. Nema 17 Step Motor

Sistemde üç eksendeki hareketleri sağlamak için her eksen için birer adet Nema 17 step motor(Şekil 3-5) kullanılmıştır. Nema 17 step motorlar 1,8°’lik adım hassasiyetine ve 2,85 kg/cm torka sahiptirler. Her hangi bir konum sensörüne ihtiyaç duymadan bu adımlarda konumlandırılmaları mümkündür. Motor seçiminde en önemli faktörler tork, adım sayısı ve güç değeridir. Nema 17 step motorun özellikleri Tablo 3-1’de yer almaktadır.

Tablo 3-1: Nema 17 step motor özellikleri(17HS1352)

Devir Başına Adım	200 (1.8° her adımda)
Mil Çapı	5 mm
Akım Değeri	1.33 A
Gerilim Değeri	3.12 V
Tutunma Torku	2.85 kg/cm
Ağırlık	285 gr



Şekil 3-4: Nema 17

Şekil 3-5: Nema 17 step motor

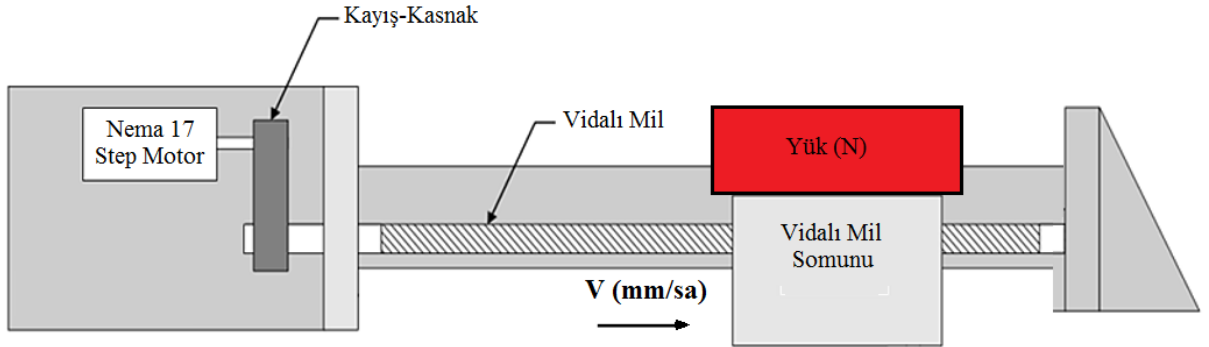
Sistemde en fazla yüke sahip X eksen hareketi için kullanılan step motorun tork hesabı aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmıştır [14].

$$F_t = \frac{h \times F_{\theta}}{\pi \times d} \quad M_s = \frac{F_t \times d}{2}$$

F_t = Çevresel Kuvvet (Somun Çevirme Kuvveti)

F_{θ} = Eksenel Kuvvet

M_s = Somun Çevirme Momenti



Şekil 3-6: Sistemin X eksen hareket sistem yapısı

X eksen hızı(V) 30mm/sa olması, ve sistemin üzerine etki eden kuvvet(F_{θ}) ise 50 N'dur. Vidalı mil çapı(d) 16mm ve hatvesi(h) 5mm'dir. Motor mili kasnak dişli(T_1) sayısı 10, mil ucundaki kasnak dişli(T_2) sayısı ise 25'tir. Buna göre yukarıdaki formülde verilenleri yerine yazarsak;

$$F_t = \frac{h \times F_g}{\pi \times d} = \frac{0,005 \times 50}{\pi \times 0,016} = 4,97 \text{ N}$$

$$M_s = \frac{F_t \times d}{2} = \frac{4,97 \times 0,016}{2} = 0,04 \text{ Nm}$$

Dişli kasnaklar arasındaki oran;

$$N = \frac{T_1}{T_2} = \frac{10}{25} = 0,4$$

Milin devir sayısı(n_{mil});

$$n_{mil} = \frac{V}{h} = \frac{30}{5} = 6 \text{ d/s}$$

Motorun devir sayısı(n_{mot});

$$n_{mot} = \frac{n_{mil}}{N} = \frac{6}{0,4} = 15 \text{ d/s}$$

Motorun gerekli torku (M_{mot}) şu şekilde bulunur;

$$M_{mot} = M_s \times N = 0,014 \times 0,4 = 0,0056 \text{ Nm}$$

Motorun kullandığı güç ise $F(4,97) \times V(0,03)$ ile 0,15 W olarak bulunur. $P(W) = U(V) \times I(A)$ denkleminde $0,15 = 12 \times I$, buradan akım değeri $I = 0,0125 \text{ A}$ olarak bulunur.

3.1.4. TB6600 Step Motor Sürücü Kartı

Çalışılan sistemde X-Y-Z eksenlerinin hareketini sağlayan motorların kontrolü için TB6600 motor sürücü kartları kullanılmaktadır. TB6600 step motor sürücü kartlarında 8 adet farklı adım ayarı bulunmaktadır. Maksimum 4 A çıkış akımı verebilirler. 9 – 40 VDC voltaj aralığında çalışabilirler. Şekil 3-7’de TB6600 Step motor sürücüsü gösterilmektedir.

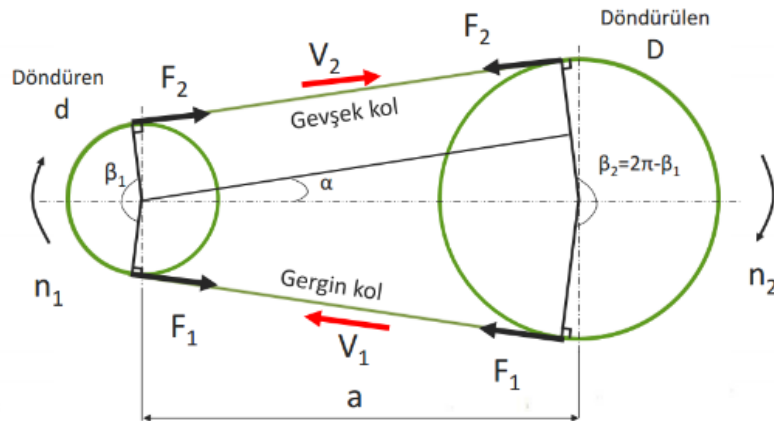


Şekil 3-7: TB6600 step motor sürücüsü

3.1.5. Kayış-Kasnak Sistemleri

Kayış-kasnak mekanizmaları; döndüren ve döndürülen iki mil arasında oluşan, mekanik gücün, torkun ve dönme hızının miller arasında aktarılmasını sağlayan mekanizmalardır. Millerin üzerine sabitlenen silindirik yapılu kasnaklar ve bu elemanlara sarılan esneyebilen bir elastik elemandan (kayış) oluşur. Aynı eksenlerde bulunmayan miller arasında hareket iletimini sağlayan bir mekanizmadır [15]. Şekil 3-8’de Kayış-Kasnak Mekanizmasının yapısı gösterilmektedir.

Oluşturulan sistemde step motorun torkunu artırarak vidalı milin daha yüksek torkla sistemi hareket ettirebilmesi sağlanmıştır. Burada tork değeri ile dönme hızı arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Motor devri, kasnak oranları değerinde değişmektedir. Genellikle kayış-kasnak mekanizması tasarlanan sistemimizde olduğu gibi tork artırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 3-8: Kayış-Kasnak mekanizması

3.1.6. 5V Röle Kartı

Röle, üzerinden akım geçtiği zaman çalışan elektromanyetik bir devre elemanıdır. Röleler küçük değerli bir akım ile yüksek g   l  bir alıcıyı anahtarlayabilmek için kullanılır. Röleler, tek bir elemanda birden fazla anahtar kontağına sahip olabilir ve böylelikle birden fazla yükü aynı anda açıp kapatabilirler.

Sistem de kullanılan 12 V Vakum valfinin anahtarlanması için 5V röle kartı kullanılmaktadır. Bu sayede Arduino Mega 2560 kontrolcüsünden gönderilen 5V’luk akım ile 12 V’luk Vakum valfinin Açık/Kapalı konumları için tetiklenmesi sağlanmaktadır. şekil 3-9’da piyasada yaygın bir şekilde kullanılan 5 Volt 2 Kanallı bir röle kartı gösterilmektedir.



Sekil 3-9: 5 Volt 2 kanallı röle kartı

3.1.7. Mikro Mekanik Sivi ler

Mikro mekanik sivi ler, minimum g   le tetiklenebilen hassas anahtar ve hızlı anahtar olarak da adlandırılır. Ek olarak, sabit kontak ve uçtaki hareketli kontağın hızlı bir şekilde bağlanması veya bağlantısının kesilmesi için aktarım elemanı aracılığıyla harici mekanik kuvvetin hareket çubuğuna etki ettiği bir anahtardır.

Yapılan  alışma da üç eksen için her eksen başına biri referans diğerisi ise limit(sınır) sivi i kullanılmak üzere toplam altı adet mikro mekanik siviç kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre değişik tipleri bulunmaktadır. En yaygın olanı makaralı sivi lerdir.



Sekil 3-10: Mikro mekanik sivic

3.1.8. Vakum Sensörü

Vakum sensörleri, vakum basıncını ölçmek için tasarlanmıştır. Sensörün içindeki eleman, vakum basıncındaki değişimleri ölçmek için kullanılır. Bu eleman, genellikle bir piezoelektrik kristalden yapılmıştır ve mekanik bir hareketle çalışır. Sensör, basınç değişikliklerini elektrik sinyallerine dönüştürerek ölçüm yapar.

Sistemde kullanmak için Şekil 3-11’de görseli bulunan vakum sensörü “AUTONICS PSAN-V01CPH PNP” kodlu ürün seçilmiştir. Tasarlanan sistemdeki görevi, Gripper’ın bulunduğu vakum hattına bağlanarak taşınacak ürünün alınmadan önceki ve sonrasındaki basınç değerlerini dijital olarak çıktı vermesidir. Bu değer değişikliği komponentinin taşımak için alınıp alınmadığı bilgisini sağlayacaktır.

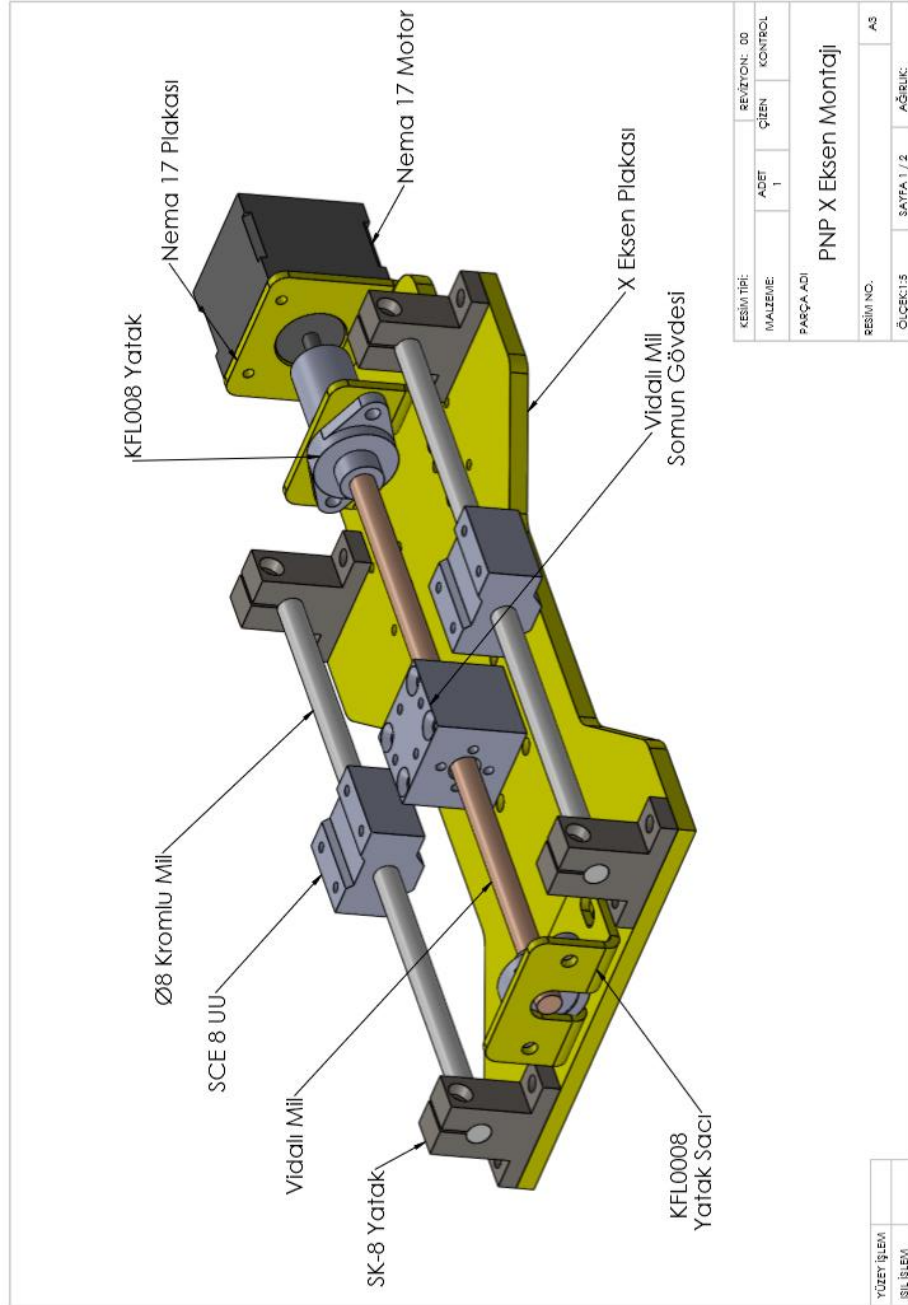


Sekil 3-11: Vakum sensörü

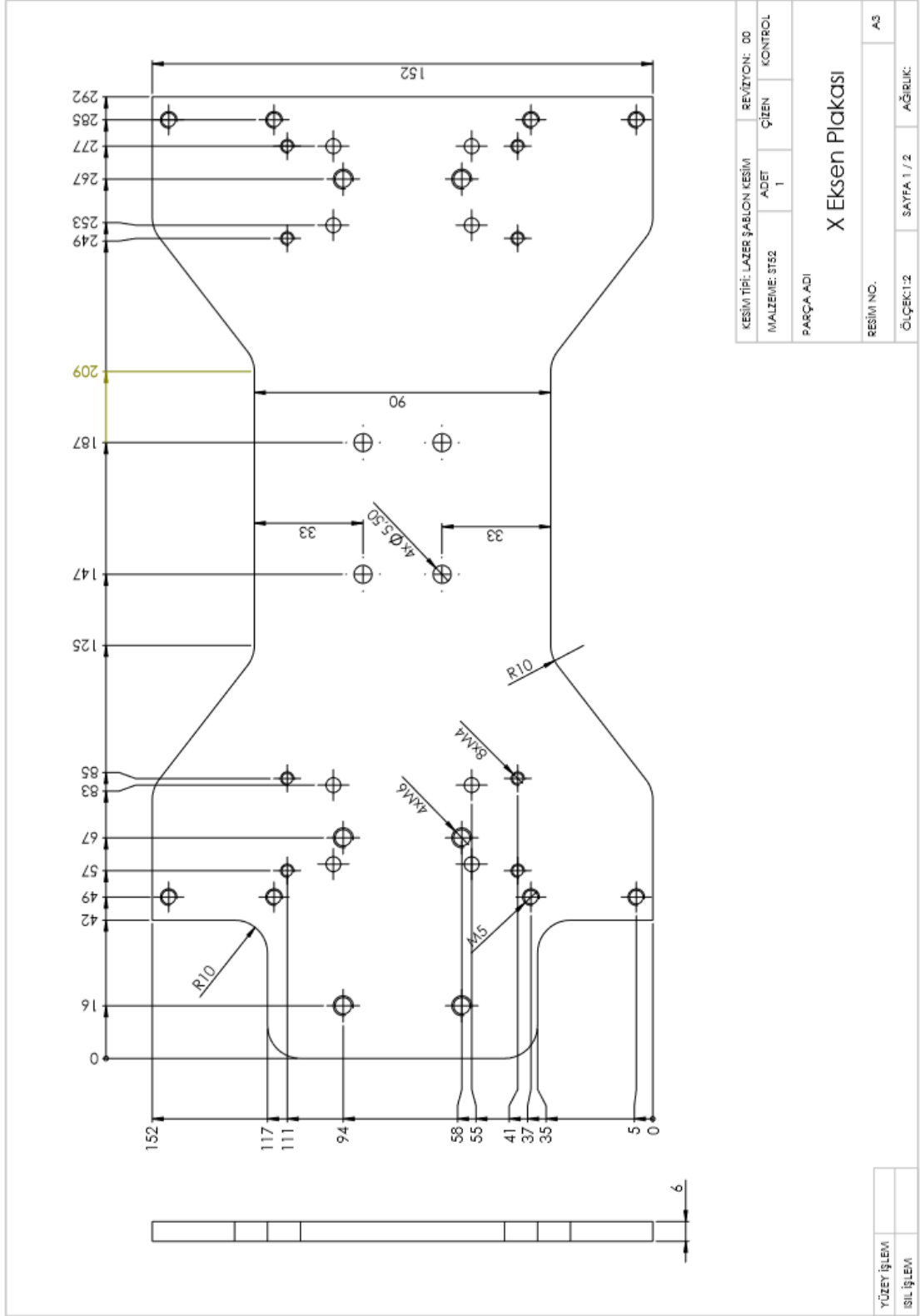
3.2. Mekanik Tasarım Parçalarının İmal Edilmesi;

Tasarlanan PNP makinesini oluşturan mekanik parçaların kullanım amaçları ve önem arz eden parçaların imalat resimleri aşağıda verilmiştir. Sistem üç eksen hareket tablası ve montaj sehpası olmak üzere, dört ana bölümden meydana gelmektedir. Burada en önemli ve hassasiyetine dikkat edilmesi gereken Z eksen tablası olmuştur. Gripper kol plakasının mümkün olduğu en kısa mesafede tutulması sağlanmıştır.

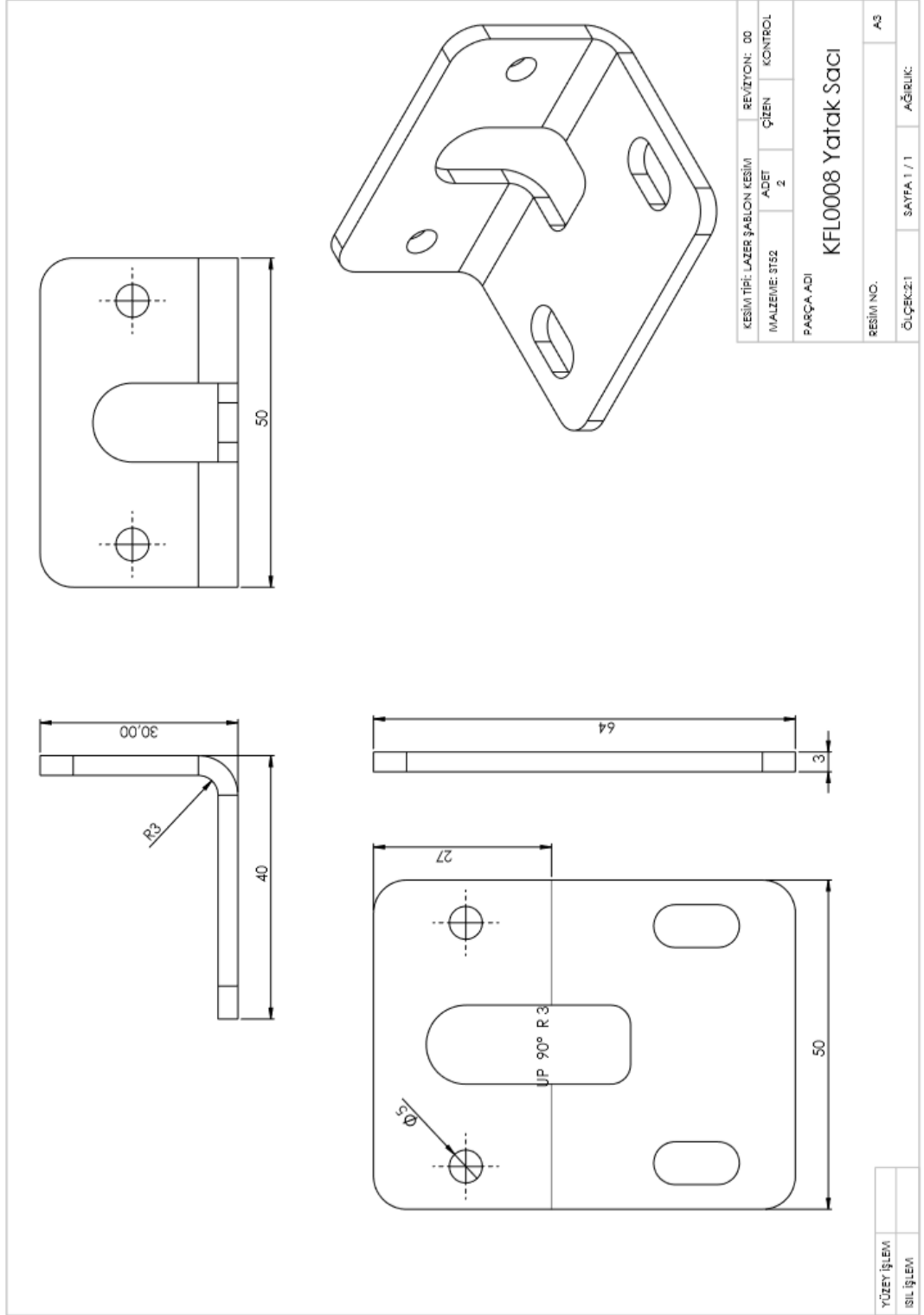
- X Eksen Montaj Takımı:



Sekil 3-12: PNP X eksen montaj resmi

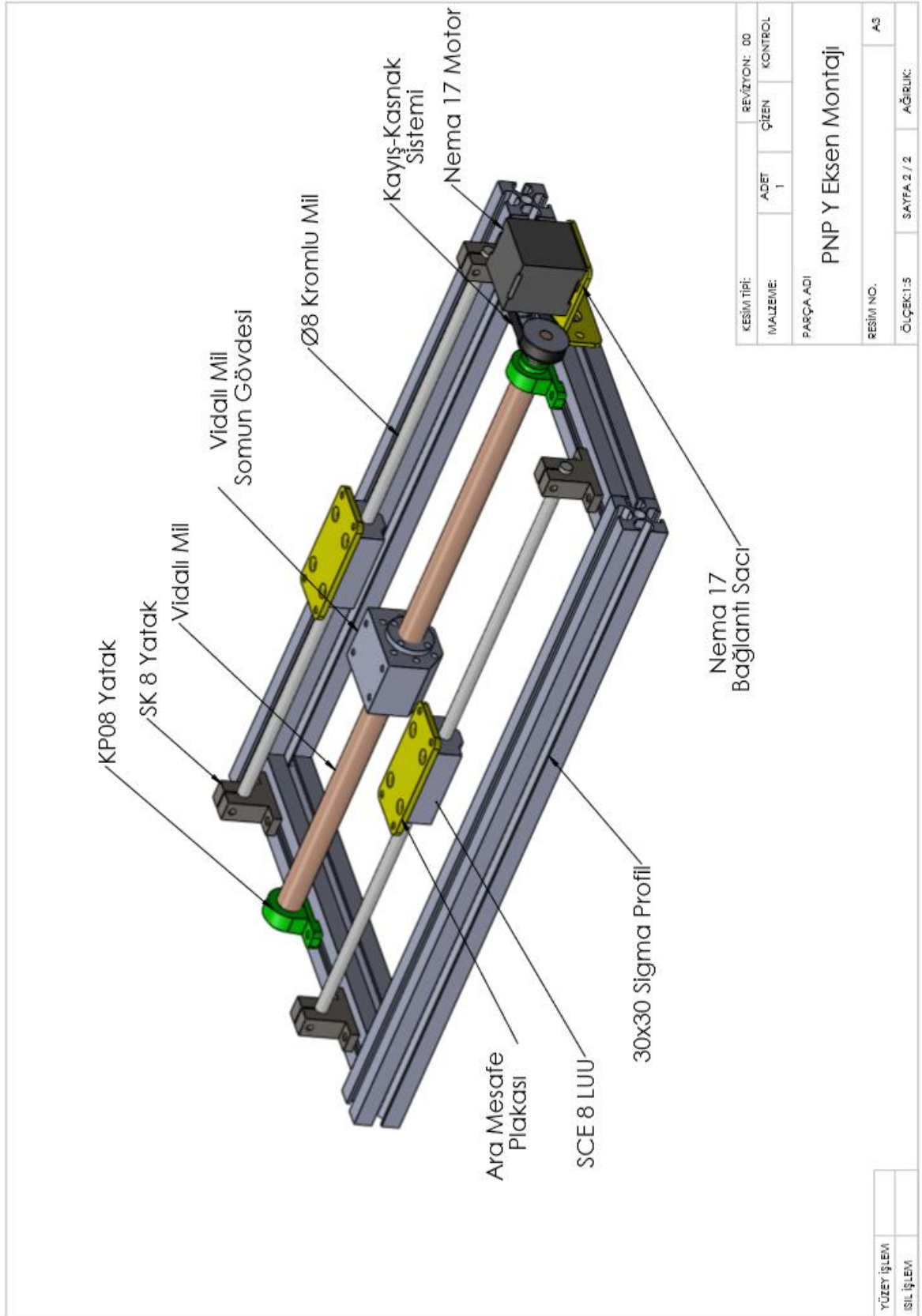


Sekil 3-13: X eksen plakası imalat resmi

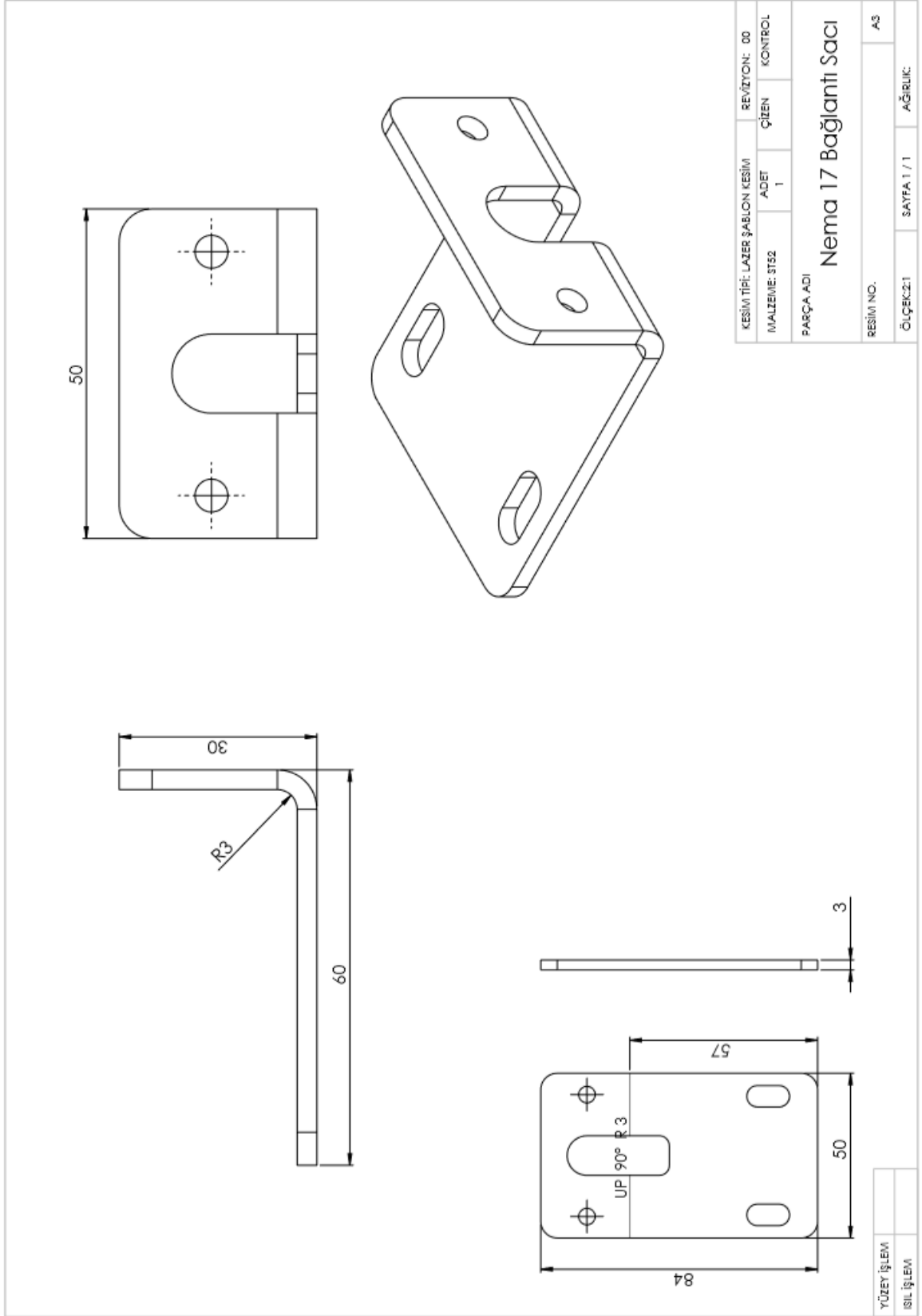


Sekil 3-14: KFL 0008 yatak sacı imalat resmi

- Y Eksen Montaj Takımı:

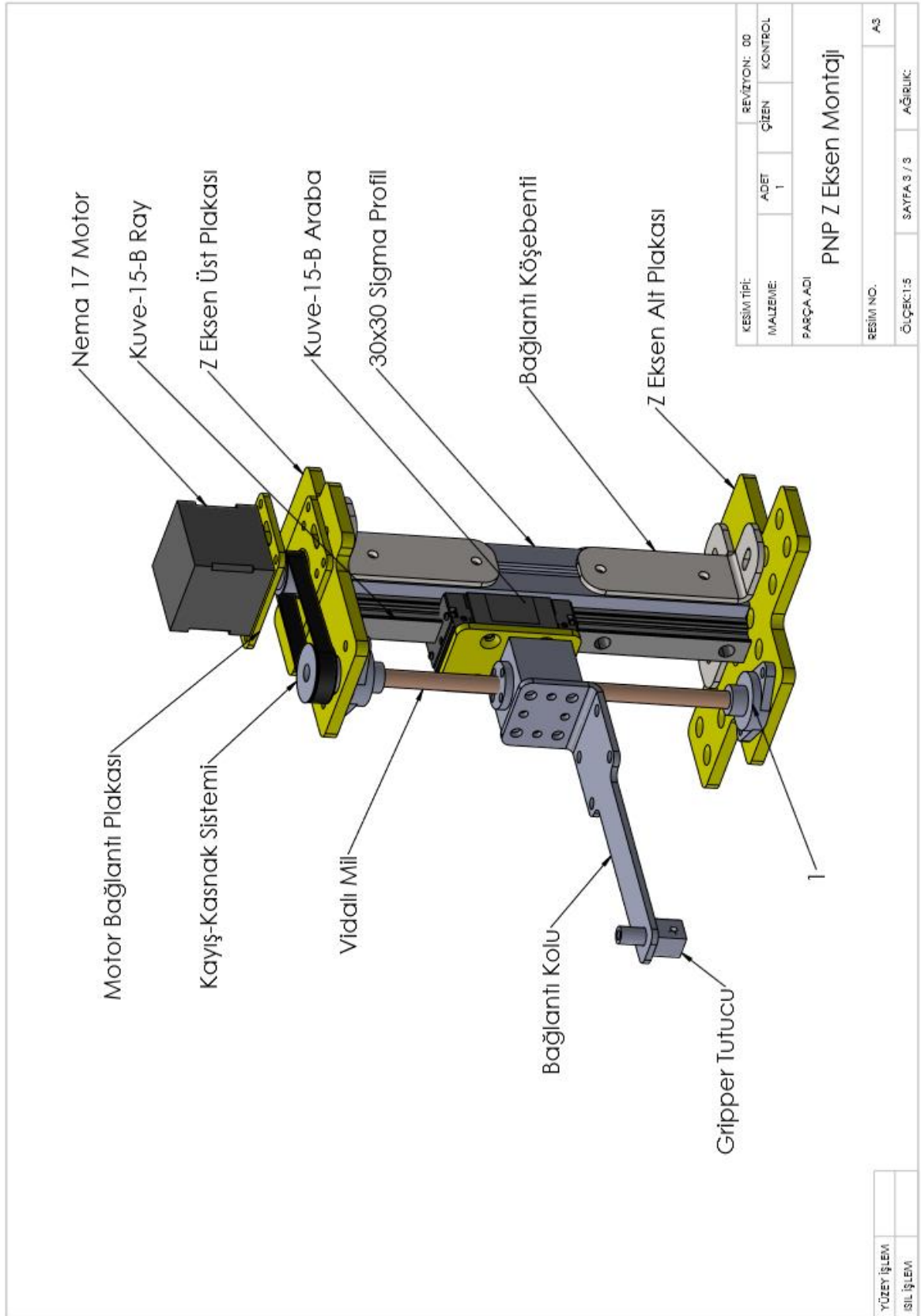


Şekil 3-15: PNP Y eksen montaj resmi

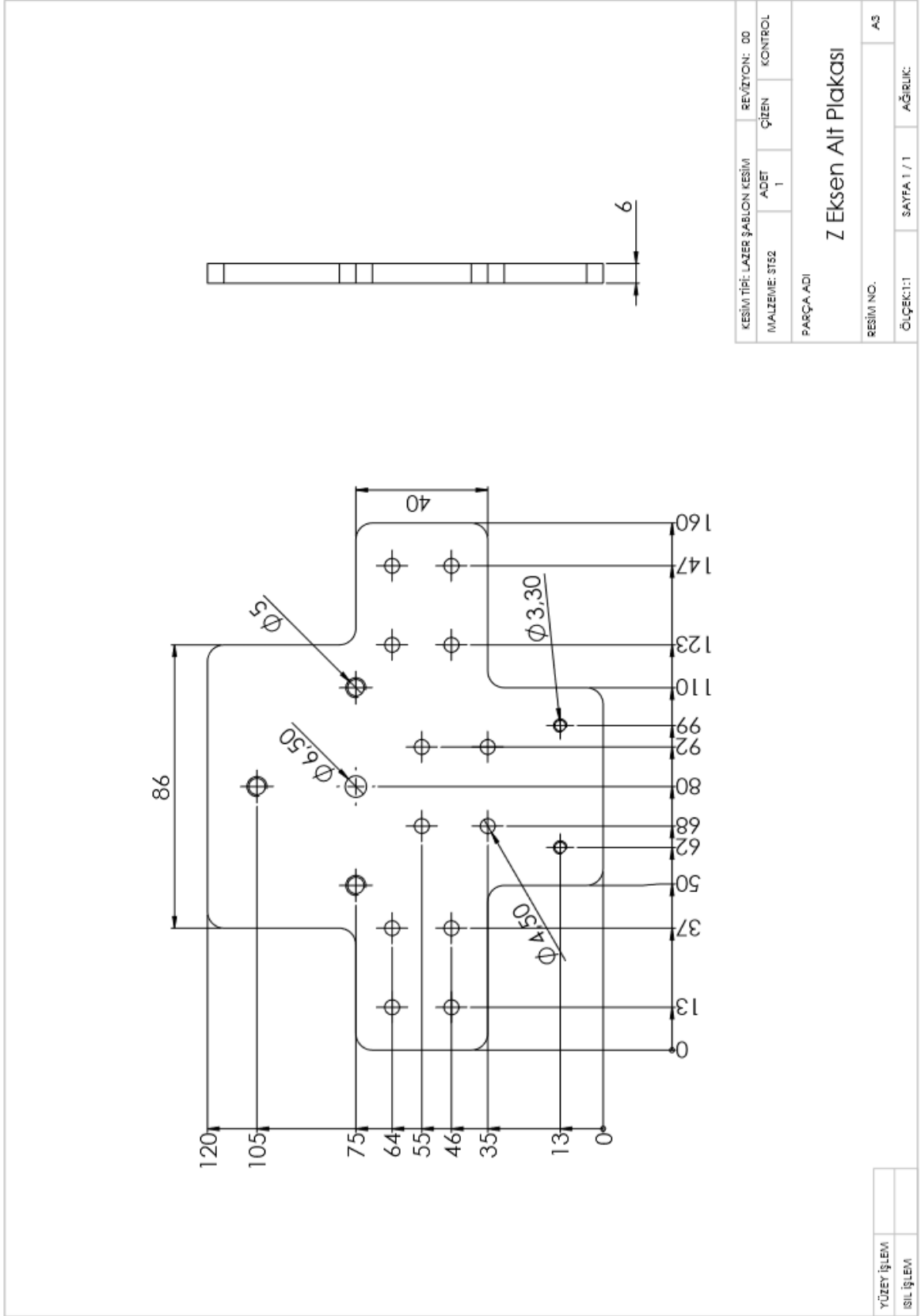


Şekil 3-16: Nema 17 bağlantı sacı imalat resmi

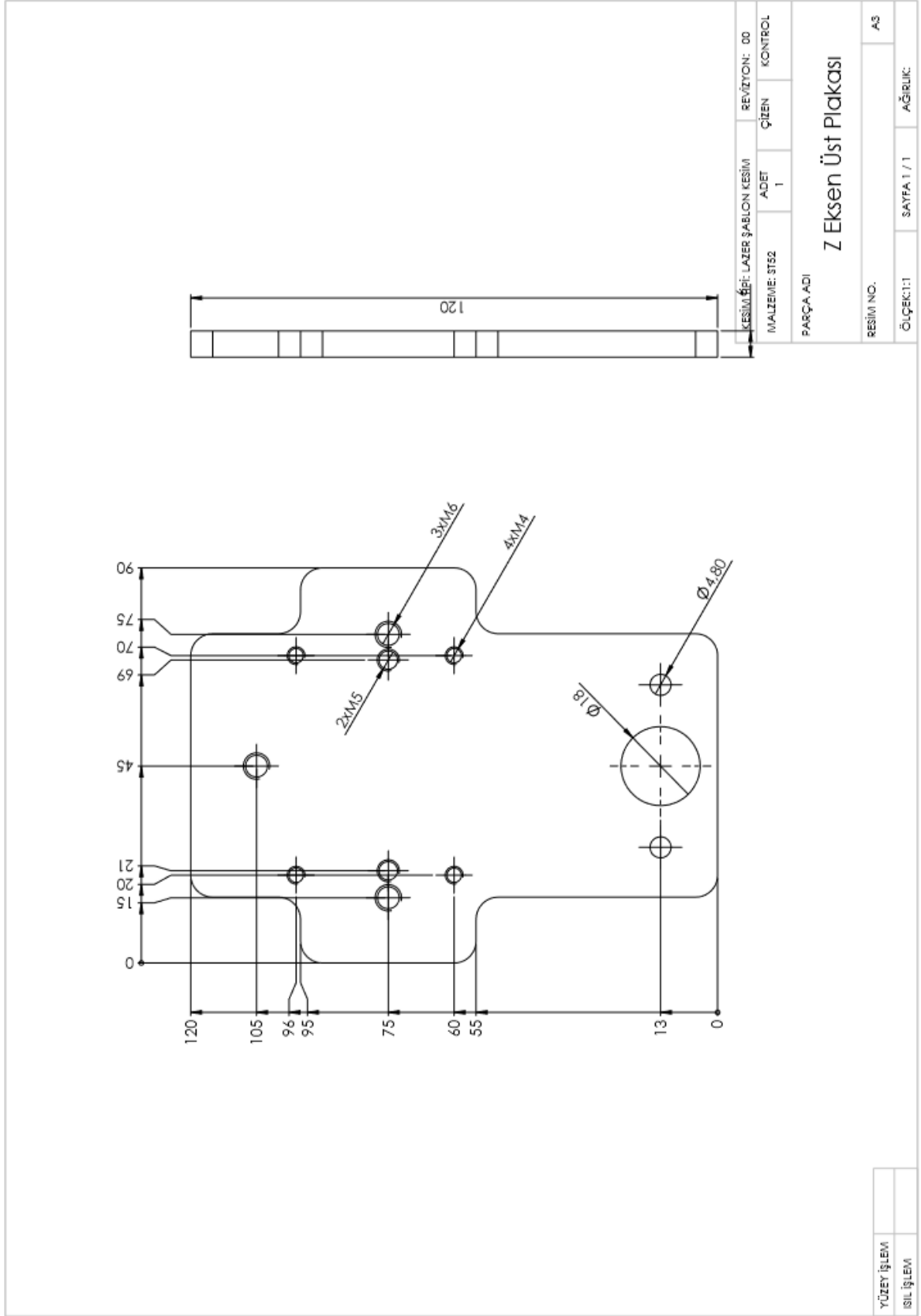
- Z Eksen Montaj Takımı:



Şekil 3-17: PNP Z eksen montaj resmi

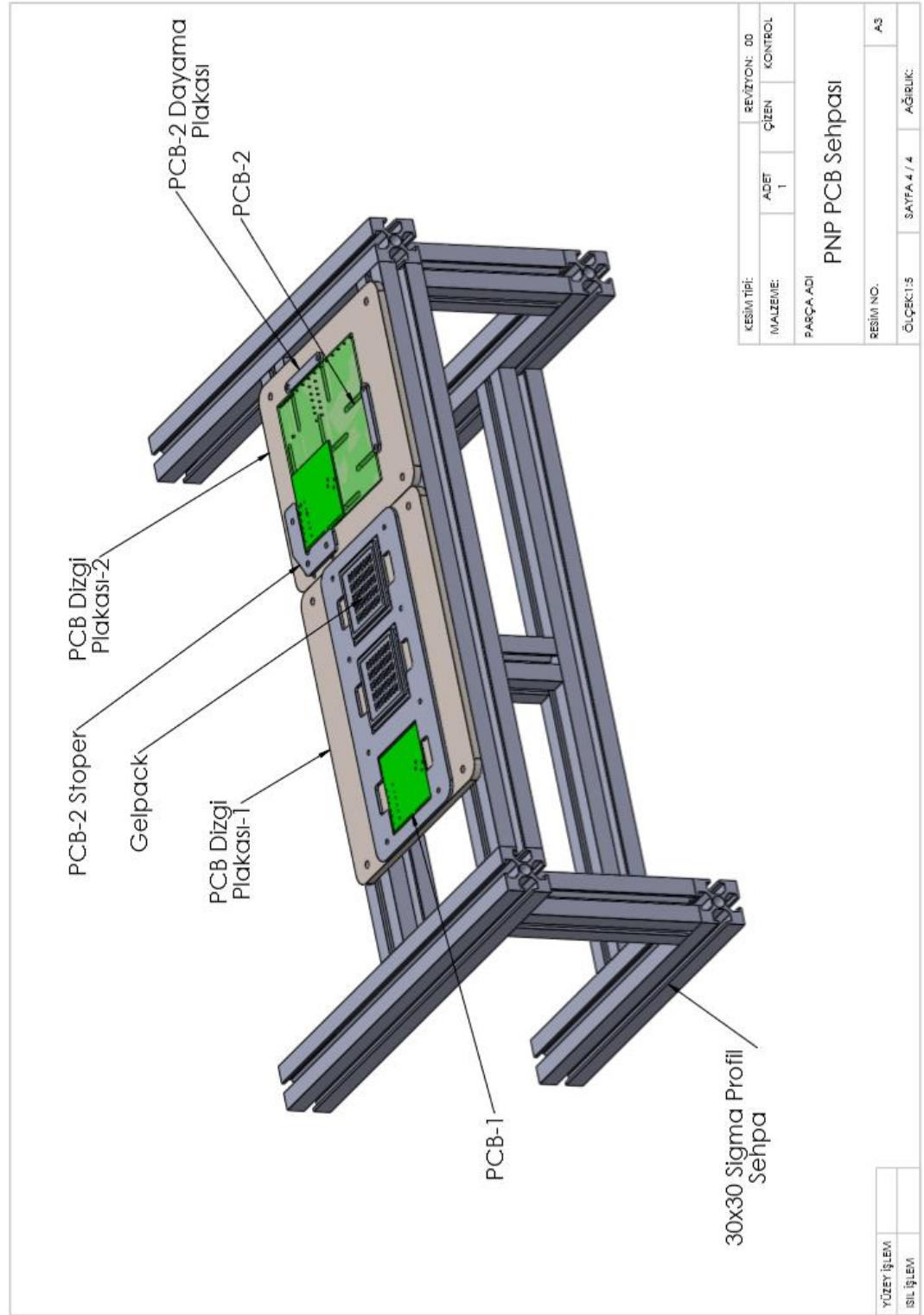


Şekil 3-18: Z eksen alt plakası



Şekil 3-19: Z eksen üst plakası

- PCB Dizgi Sehpaası Montaj Takımı:



Şekil 3-20: PNP PCB sehpaası montaj resmi

3.3. Sistem Analizi

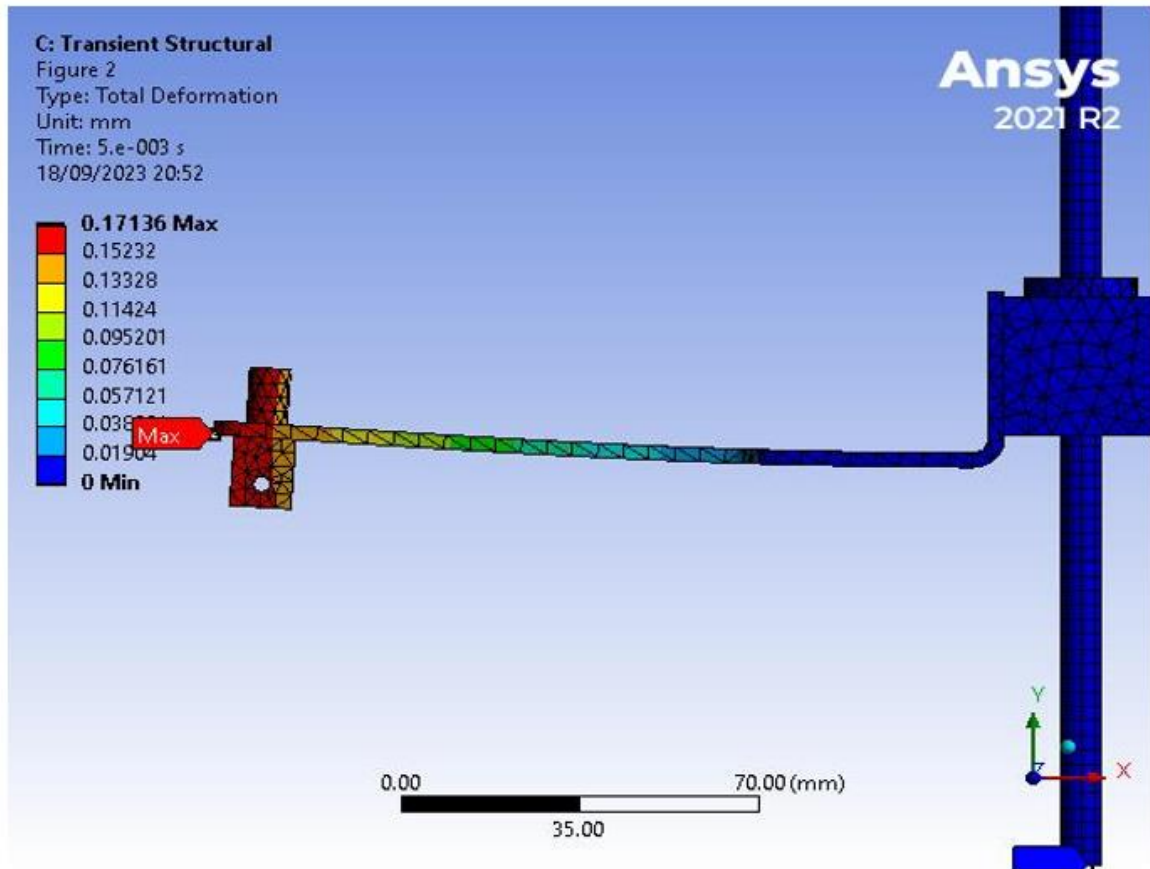
Yapmış olduğumuz çalışma, üç ekseninde hareket edebilen bir PNP makinesinin kullanım alanlarından bir tanesine örnek verilmektedir. Sistemde mekanik olarak en önemli nokta, vakum tutucu Gripper'i taşıyan kolun hassas bir şekilde hareketinin kontrolünün sağlanmasıdır. Z eksenindeki düşey hareketten dolayı kolda meydana gelen titreşim ve buna bağlı deformasyonun minimum seviyede olması gerekmektedir.

Taşıyıcı kolun uzunluğu ve malzemesinin seçimi, hareketten ve ağırlıktan kaynaklı deformasyonları optimum seviyeye indirmek için önemli birer kriterlerdir. Uzunluğu, uygulamadaki PCB dizgi plakasına bağlıdır.

Sistemde en büyük boyutu 100x100mm olan PCB kart üzerine çalışma yapılmıştır. Bu ölçü değişmeyeceğinden, meydana gelecek deformasyonları optimum seviyeye çekmek için değişken olarak malzeme seçimi önem arz etmektedir.

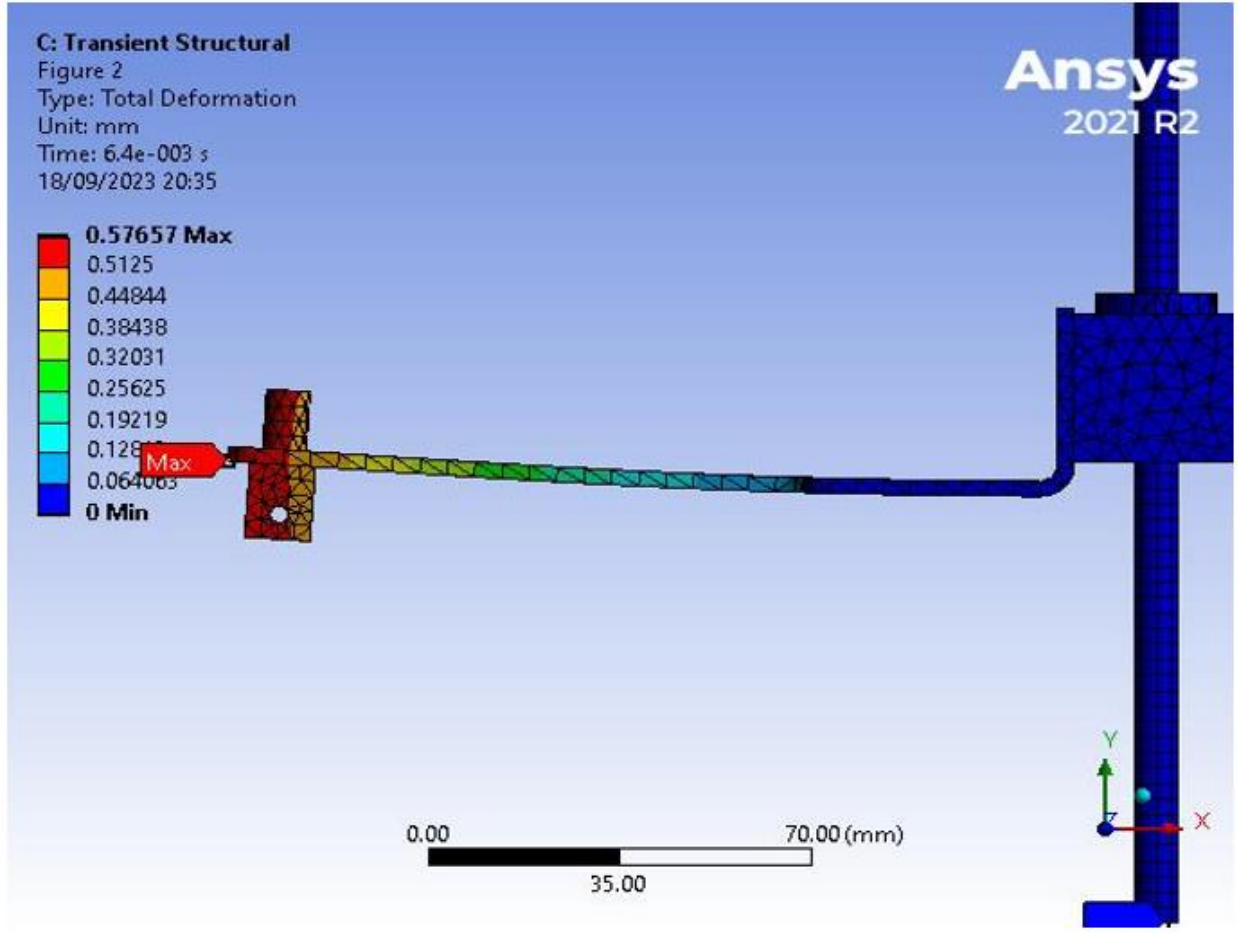
Yapılan Ansys analiz üzerinde iki farklı malzeme için taşıyıcı kolun toplam deformasyonuna bakılmış ve sistem için uygun malzeme kullanılmıştır.

Şekil 3-23'de St37 (S235JR) malzeme kullanılan taşıyıcı kolun toplam deformasyonu görülmektedir. Max. olduğu noktada 0,17mm esnemeye maruz kalmaktadır.



Sekil 3-23: St37 malzemenin toplam deformasyon analiz sonucu

Şekil 3-24'de ise 6061 kalite alüminyum malzeme kullanılan taşıyıcı kolun toplam deformasyonu gözükmemektedir. Max. olduğu noktada 0,58mm esnemeye maruz kalmaktadır.



Şekil 3-24: 6061 kalite alüminyum malzemenin toplam deformasyon analiz sonucu

Bu iki malzeme kıyaslandığında St37 malzemenin daha az salındığı görülmüş ve sistemde bu malzeme tercih edildiğinde Gripper'in konumlandırılması esnasında daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceği görülmektedir.

Sistemde kullanılan bütün karbon çeliği özellikteki malzemelere korozyona karşı dayanıklı olması ve paslanmanın önüne geçmek için elektrostatik toz boya işlemi gibi bir kaplama uygulaması yapılmalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılmış olan mekanik ve vakum sistemlerinde ki elektronik bileşenlerin çalışmasının kontrol edilmesi için Arduino Mega 2560 mikro kontrol işlemci kullanılmaktadır. Arduino için ara yüz programlaması PYTHON yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. Eksen hareketleri tek motor üzerinden gerçekleştirilmiş olduğundan çift motor tahrikli sistemlerde ortaya çıkan motorlar arası senkronizasyon problemlerinin önüne geçilmiştir.

Sistem yükünden dolayı ve hassas konumlandırma sağlamak amacıyla motor ve vidalı miller arasında kayış-kasnak mekanizmaları kullanılmıştır. Ayrıca bu sayede imalat hatalarından dolayı ortaya çıkabilecek eksenel kasma ve zorlanmalardan motorun üzerinde oluşabilecek fazla akımdan dolayı zarar görmesinin önüne geçilmiştir.

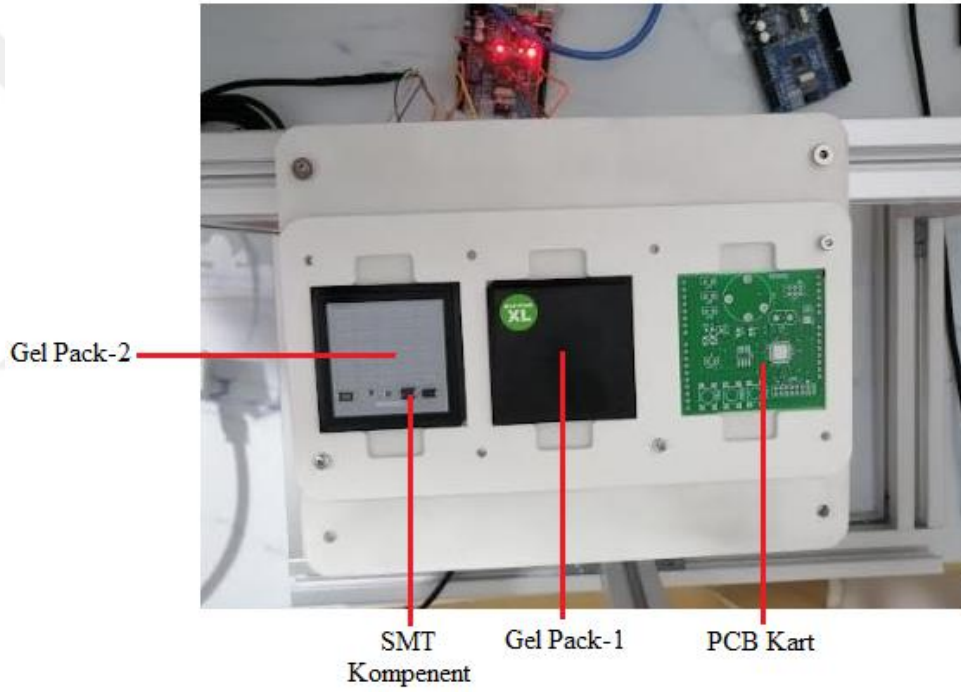
Tut-Yerleştir makinelerinde kaldırma ve taşıma için kullanılan vakum gücünün ayarlanması bazı uygulamalarda zorluklara sebep olmaktadır. Sensör üzerinde okunan değerlerin taşınan farklı komponentlerde farklı değerler göstermesi, yazılım esnasında bu değer skalasının geniş tutulması ile çözülmesine rağmen, vakum hattında ufak bir değişiklik(pnömatik hortumun uzatılması veya kısaltılması vb) yapıldığında bu skalanın içerisinde kalınmamasına sebep olmaktadır.

Yapmış olduğumuz sistemde dezavantaj olarak, VGP'ler üzerine dizilen ürünlerin doğrultularının istenilen değerler dışında olduğu durumlarda (açısal dönüklük, komponentin yerinin belirtilen koordinatta olmaması) PCB üzerine dizilimde hatalı olacaktır. Bunun önüne geçmek için sisteme görüntü işleme uygulayabilecek bir kamera ilave edilmesidir. Kamera ile önceden parçaların düzlemlerinin ve koordinatlarının kontrolleri yapıp bu sorunun üstesinden gelinebilecektir.

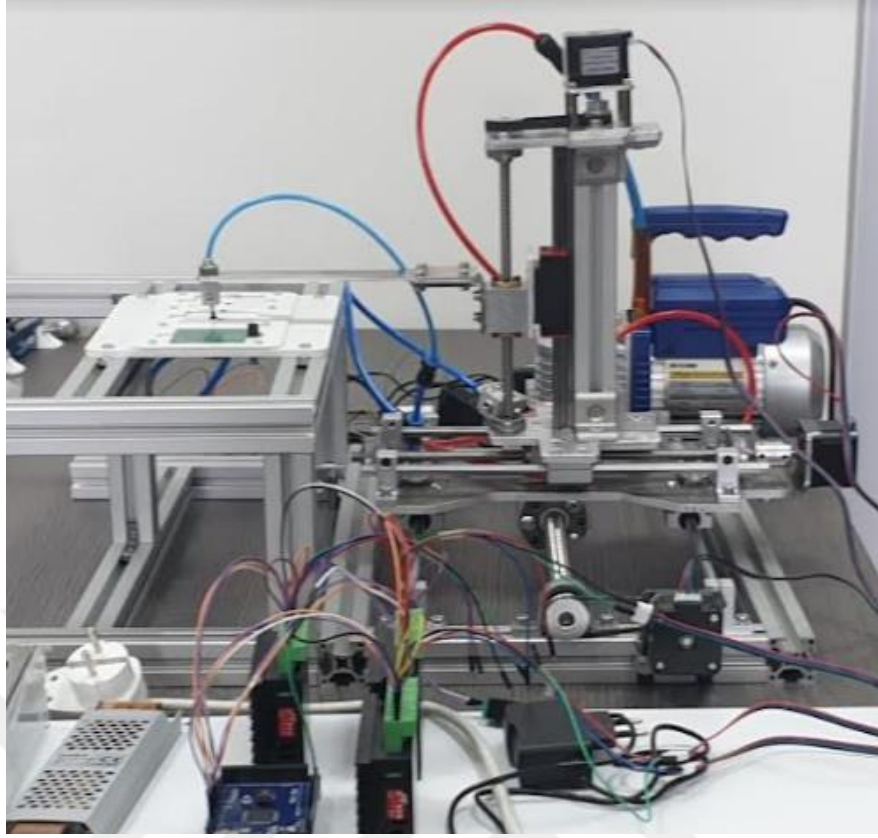
Piyasada yaygın olarak kullanılan PCB dizgi makinelerinde malzeme besleme ünitesi bulunmaktadır. SMD komponentlerin üretimi makara üzerine sarılarak yapılmaktadır. Bu besleme ünitesinin sürekli sistemi beslediği için aynı eksenler üzerinde bulunması gerekmektedir. (Şekil 63'de nu yapı gösterilmektedir) Bu nedenle otomatik dizgi makinelerinin köprü tipi olmasının bir sebebi de bu besleme ve yerleştirme sistemidir. Bizim sistemimiz VGP üzerinden ürünü almaya uygun olduğu için köprü tipi olarak kullanılmaya uygun bir yapıda değildir.



Şekil 4-1: SMD makaralar ve besleme ünitesi



Şekil 4-2: Dizgi sehpa bölümü



stemi

Şekil 4-3: PNP sisteminin görüntüsü

5. KAYNAKLAR

- [1] Vogel Antriebstechnik , “Klein Planeten Getriebe”, Wilhem Vogel Gmbh, November (2005)
- [2] MARSH, J., 2008. Understanding Linear Motor Parameters, Parker-Trilogy Linera Motors, s. 2-6.
- [3] Karokh Mohammed ISRN UTH-INGUTB-EX-M2010/24-SE Examensarbete 15 hp November 2010
- [4] Niku, S.B. (2001). Introduction to robotics, analysis, systems, applications. USA: Prentice Hall.
- [5] Marcus Gualtieri and Robert Platt. IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, VOL. 6, NO. 2, APRIL 202
- [6] Fatih Ahmet ŞENEL*, Bayram ÇETİŞLİ. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21(5), 158-161, 2015, doi: 10.5505/pajes.2014.96658
- [7] Taryudi, Ming-Shyan Wang. Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Applied System Innovation IEEE-ICASI 2017
- [8] Chang Wei Che et al., 2013 13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013)
- [9] Hung Pham, Quang-Cuong Pham. 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Palais des congres de Montreal, Montreal, Canada, May 20-24, 2019
- [10] Wolfgang Zesch, Markus Bmner, Ariel Weber. Proceedings of the 1997 EEE Intemational Conference on Robotics and Automation Albuquerque, New Mexico - April 1997
- [11] M.K.Khan et al., International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume-43 Number-6 -January 2017
- [12] Prabhanjay Gadhe et al., Department of Electronics and Telecommunication, Guru Nanak Institute of Engineering & Technology, Nagpur, Maharashtra, Indi
- [13] G.S. Sharath, Niranjana Hiremath, G. Manjunatha. Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the 4th International Conference on Advanced Research in Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering-2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.965>
- [14] Gokulnath A R*, Chandrakumar S, Sudhakar T D. Gokulnath A R et al. / Procedia Computer Science 133 (2018) 872–878
- [15] Mustafa Yusuf Y., ve Mustafa A. Journal of Selcuk-Technic Special Issue 2020 (ICAT’20)

- [16] C. Blanes, M. Mellado, C. Ortiz and A. Valera. Spanish Journal of Agricultural Research 2011 9(4), 1130-1141 ISSN: 1695-971-X e-ISSN: 2171-9292 doi: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/20110904-501-10>
- [17] Ramanathan S. , Akash V. , Arun Prasad R. , Venkat Rahul M. , International Research Journal of Advanced Science HUB, Volume 02 Issue 08 August 2020, e-ISSN : 2582 – 4376
- [18] Mariangela Manti, Taimoor Hassan, Giovanni Passeti, Nicolo` D’Elia, Cecilia Laschi, vd. SOFT ROBOTICS Volume 2, Number 3, 2015 ^a Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/soro.2015.0009
- [19] Johanna Walle, “The History of industrial Robot”, Technical report from Automatic Control at Linköpings universitet. 8th May 2008
- [20] International Organization for Standardization (ISO). ISO 8373:2012: Robots and Robotic Devices—Vocabulary; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2012.
- [21] Pablo Sánchez-Sánchez and Fernando Reyes-Cortés Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) Facultad de Ciencias de la Electrónica México
- [22] IFR. World Robotics 2006, Executive Summary, 2006. URL: http://www.ifrstat.org/downloads/2007_Executive_Summary.pdf.
- [23] S.B. Niku, Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.
- [24] Moran, Michael E. (December 2006). "The da Vinci robot". Journal of Endourology. 20 (12): 986–90
- [25] Rosheim; Mark Elling. Leonardo's Lost Robots. Springer, 2006, p. 69.
- [26] Bekir Ç., Abdülkadir Y. MEKATRONİK BİLİMİNİN ÖNCÜSÜ İSMAİL EL – CEZERİ, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2015:175-1794 Sayı: 4 ISSN:2147-8406
- [27] "Atılım Üniversitesi Robot Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi - Robotlar"
- [28] Isaac Asimov's fictional world: humanity and robots between fear and faith" ResearchGate (İngilizce). 14 Şubat 2022
- [29] A.Lamikiz et al., Int J Adv Manuf Technol (2008) 37:122–139 DOI 10.1007/s00170-007-0956-
- [30] L. Westerlund: The Extended Arm of Man. A History of the Industrial Robot (Informationsförlaget, Stockholm 2000)
- [31] D. Hunt: Industrial Robotics Handbook (Industrial, New York 1983)
- [32] H. Makino: Assembly robot, US4341502 A (1982)

- [33] Martin Hägele et al., 54. Industrial Robotics Part F-54
- [34] The International Federation of Robotics (IFR): World Robotics 2015. Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investments (International Federation of Robotics, Frankfurt 2015)
- [35] Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L. ve Oriolo, G. (2009). Robotics: Modelling, planning and control. London: Springer p. 40-50,
- [36] Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L. ve Oriolo, G. (2009). Robotics: Modelling, planning and control. London: Springer p. 40-50,
- [37] Mohammad Amin R. et al., International Journal of Robotics and Automation (IJRA) Vol. 2, No. 2, June 2013, pp. 56~68 ISSN: 2089-4856
- [38] A.B.Humbe, et al., IMPACT: International Journal of Research in Engineering & Technology (IMPACT: IJRET) ISSN(E): 2321-8843; ISSN(P): 2347-4599 Vol. 2, Issue 2, Feb 2014, 113-118
- [39] Website www.robots.com/faq/157/what-are-the-main-types-of-robots accessed on Feb 15, 2012
- [40] H. Koca, et al., ENDÜSTRİYEL ROBOTLARIN YAPILARI, KULLANIM ALANLARI VE MARKET İSTATİSTİKLERİ
- [41] Richard Bloss, (2006),"How do you quickly load cases and trays with tough to handle product?", Industrial Robot: An International Journal, Vol. 33 Iss 5 pp. 339 – 341
- [42] C. Blanes, et al., Spanish Journal of Agricultural Research 2011 9(4), 1130-1141 ISSN: 1695-971-X eISSN: 2171-9292
- [43] Goran Lundström, (1974),"Industrial Robot Grippers", Industrial Robot: An International Journal, Vol. 1 Iss 2 pp. 72 - 82 Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/eb004449>
- [44] D.T. Pham, S. H. Yeo. Grippex: A hybrid expert system for selecting robot gripper types, (1990), 349-352.
- [45] Giacomo Mantriota,"Optimal Grasp of Vacuum Grippers With Multiple Suction Cups", Mechanism and Machine Theory 42 (2007) 18–33
- [46] Fan Yu Chen. 1982. Gripping mechanisms for industrial robots. Mechanism and Machine Theory 17, 299-311
- [47] Yüksel, İ., (2006). Otomatik kontrol,sistem dinamiği ve denetim sistemleri, (ed: Şevkat,G.), Otomatik Kontrol Sistemleri Hakkında özet, Bursa.

- [48] Pohanka, M., Pavlis, O. and Skladal, P., "Rapid characterization of monoclonal antibodies using the piezoelectric immunosensor", *Sensors*, doi:10.3390/s7030341, 7, 341-353, (2007).
- [49] William BOLTON, *Engineering Science Book* 2015
- [50] Parr, E. A., "Sensör ve transdüser [online]", (13 Ekim 2012), <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektronik/sensor-ve-transduser>, (1907).
- [51] Zheng, Y.F. and Fan, Y., "Robot force sensor interacting with environments", *Robotics and Automation Society*, doi: 10.1109/70.68079, 7(1), 156-164, (1991)
- [52] Norton, H.N. "An electronic nose to differentiate aromatic flowers using a realtime information-rich piezoelectric resonance measurement", *Procedia Chemistry*, doi:10.1016/j.proche.2012.10.146., 194–202, (2012).
- [53] L.Kaelbling and, T.Lozano-Pérez, "Integrated task and motion planning in belief space," *Int'l J. Robot. Res.*, vol. 32, no. 9/10, pp. 1194–1227, 2013.
- [54] J.Tremblay, T.To, B.Sundaralingam, Y.Xiang, D.Fox, and S.Birchfield, "Deep object pose estimation for semantic robotic grasping of household objects," in *Proc.2ndConf.RobotLearn.*, vol.87, Oct.2018, pp.306–316.
- [55] *Control of Fluid Power*, D. McCloy & H.R. Martin, 2nd Edition, John Wiley, New York, 1980.
- [56] S Zh Aizhambaeva and A V Maximova 2018 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 289 "Development of control system of coating of rod hydraulic cylinders"
- [57] Skowrońska, J.; Kosucki, A.; Stawiński, L. Overview ; *Institute of Machine Tools and Production Engineering*, Lodz University of Technology, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Lodz, Poland; "Overview of materials used for the basic elements of hydraulic actuators and sealing systems and their surfaces modification methods"
- [58] (Mannesman Rexroth, 1998),
- [59] Acarnley P.P., 2002, "Stepping Motors: a guide to theory and practice: Fourth Edition" *Institution of Electrical Engineers*.
- [60] Soratec, "Analog Driver Model TB6600," Available at [https://www.mcielectronics.cl/website MCI/static/documents/TB6600 data sheet.pdf](https://www.mcielectronics.cl/website/MCI/static/documents/TB6600_data_sheet.pdf) (Accessed on: 5/02/2021).
- [61] M. Scarpino, *Motors for Makers: A Guide to Steppers, Servos, and Other Electrical Machines*. United States of America: Pearson Education, 2015.
- [62] Hancı, O. (2007) *Servo Motorlar ve Örnek Uygulama Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1-152.

- [63] J. Li et al. / *Sensors and Actuators A* 292 (2019) 39–51
- [64] J.S. KOH, K.J. CHO, Omegabot: biomimetic inchworm robot using SMA coil actuator and smart composite microstructures (SCM), *Proceedings of the Robotics and Biomimetics (ROBIO)* (2009).
- [65] Y. Liu, J. Li, X. Hu, Z. Zhang, L. Cheng, Y. Lin, W. Zhang, Modeling and control of piezoelectric inertia–friction actuators: review and future research directions, *Mech. Sci.* (2015) 95–107.
- [66] Parasitic Motion Principle (PMP) Piezoelectric Actuators: Definition and Recent Developments DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96095>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler