



**ENDÜSTRİYEL TABANLI YENİ BİR ROBOT KOL TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuzhan ÇAKAR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat ALÇIN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül 2020

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİYEL TABANLI YENİ BİR ROBOT KOL TASARIMI**

**Oğuzhan ÇAKAR**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Murat ALÇIN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2020**

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**13 / 10 / 2020**

**İmza**

**Oğuzhan ÇAKAR**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ENDÜSTRİYEL TABANLI YENİ BİR ROBOT KOL TASARIMI

Oğuzhan ÇAKAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Murat ALÇIN

Günümüzde bilim ve endüstride yaşanan hızlı gelişmeler sektörün ihtiyacını karşılamaya yönelik tasarlanmış olan robotların önemini arttırmaktadır. Robotik sistemlerinin yaygınlaşmasının en büyük etkeni, bu sistemlerin insanlar için elverişsiz olan ortamlarda çalışabilmesi, insan tabanlı iş gücünü azaltması, üretim verimliliğini ve kalitesini önemli ölçüde arttırmasıdır. Bu gibi avantajlarından dolayı robotlu otomasyon sistemleri otomotiv, ilaç ve savunma sanayi gibi birçok alanda verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Sunulan bu tez çalışmasında, günümüz endüstrisinde kullanılan robot ve manipülatör sistemleri incelenmiş, maliyet ve işlevsellik kriterleri ön plana konularak yeni bir manipülatör tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tezin ilk aşamasında, manipülatör tasarımı, SolidWorks programı aracılığıyla her bir parçanın iki boyutlu (2B) model çizimi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, her bir parça, üç boyutlu (3B) katı model şekline dönüştürülmüştür. Katı modeli oluşturulan parçaların imalatı 3B yazıcı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen manipülatörde 5 eksen bulunmakta ve manipülatör çevre birimlerden aldığı bilgiye göre taşıma işlemini gerçekleştirmektedir.

Tezin ikinci aşamasında, imalatı gerçekleştirilen parçaların, manipülatör eksenleri ve servo motor montajları yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Burada kullanılan servo motorun durağan torku 4.8 V'ta 9.4 Kg/cm ve kullanılan manipülatörün omuz dönme momenti 1.8402 kg/cm olarak elde edilmiştir.

Tezin üçüncü aşamasında, tasarlanan sistem Atmel firması tarafından geliştirilen Atmega328P mikrodenetleyici üzerinde C tabanlı olarak kodlanması gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, tasarımın kontrolünü sağlayan Atmega328P mikrodenetleyici, seri iletişim UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Evrensel Asenkron Alıcı/Verici)) /USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (Evrensel Senkron Asenkron Alıcı/Verici)) modülü yardımıyla programlanmıştır.

Tezin son aşamasında ise, manipülatörün ileri yön kinematiği, DH (Denavit-Hartenberg) parametresi ve Ters Yön Kinematiği trigonometrik olarak hesaplanmıştır. Sonrasında, ANSYS programı kullanılarak sunulan çalışmayla ilgili tasarımı yapılmış olan manipülatörün yük altında mukavemetine ait Rijit Dinamik Analizi gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, sunulan çalışmadaki manipülatör WorkBench'e atanarak, sistemin yük altında ve dönme esnasında statik ve dinamik analizleri, Rijit Dinamik Analize bağlı kalınarak yapılmıştır. Ayrıca, çıkan analiz sonuçlarına göre tasarımda iyileştirmeler yapılmış ve yapılan iyileştirmelerin neticesinde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

**2020, xiv + 99 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Robot, Manipülatör, ANSYS, Endüstri, Atmega-328P.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### DESIGN OF A NEW INDUSTRIAL BASED ROBOT ARM

Oğuzhan ÇAKAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Murat ALÇIN

Nowadays, rapid developments in science and industry increase the importance of robots that are designed to meet the needs of the industry. The biggest factor of the widespread use of the robotic systems is that these systems can operate in environments that are unfavorable for humans, reduce human-based workforce, and significantly increase the production efficiency and quality. Due to such advantages, robotic automation systems have been used efficiently in many fields including the automotive, pharmaceutical and defense industries.

In this thesis, robot and manipulator systems used in today's industry have been investigated and a new manipulator design has been performed by putting the cost and functionality criteria into the foreground.

In the first stage of the thesis, the design of the manipulator has been realized by drawing a two-dimensional (2D) model for each part in the SolidWorks program. Then, each part has been transformed into a three-dimensional (3D) solid model shape. The manufacturing of the solid model parts have been carried out using a 3D printer. The designed manipulator has 5 axes and carries out the transport process according to the information it receives from the peripherals.

In the second stage of the thesis, the manipulator axes and servo motor assemblies of the manufactured parts have been made ready for use by assembling them. The stationary torque of the servo motor used in this thesis was obtained as 9.4 Kg /cm at 4.8 V and the

shoulder torque of the manipulator used was obtained as 1.8402 kg / cm.

In the third stage of the thesis, the coding of the designed system has been performed as C based on Atmega328P microcontroller which is developed by Atmel company. Then, the Atmega328P microcontroller, which provides control of the design, has been programmed with the help of serial communication UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)/USART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) module.

In the last stage of the thesis, Forward Kinematics, DH (Denavit-Hartenberg) parameter and Reverse Kinematics of the manipulator have been calculated as trigonometric based. Then, the Rigid Dynamic Analysis related to the strength of the designed manipulator under load has been performed using ANSYS program. In addition, by assigning the manipulator to the WorkBench, the static and dynamic analyses of the system under load and during rotation have been carried out with respect to Rigid Dynamic Analysis. Besides, according to the results of the analysis, improvements have been made in the design and the results obtained as a result of the improvements have been evaluated.

**2020, xiv + 99 pages**

**Keywords:** Manipulator, Robotic System, Servo Motor, Design, Industry.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma ve hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen, yoğun çalışmalarım sırasında bana sabır gösteren ve katlanan annem Seher ÇAKAR'a ve babam Mevlüt ÇAKAR'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Bu tezi, ileride çok iyi bir mühendis olacağına inandığım kardeőim Rüzgar Ali ÇAKAR'a ithaf ederim.

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danıőmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat ALİN'a teşekkür ederim.

Oğuzhan ÇAKAR  
Afyonkarahisar 2020



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ENDÜSTRİYEL ROBOT ve MANİPÜLATÖR SİSTEMLERİ .....	7
2.1 Endüstriyel Robot ve Manipülatör Tarihi .....	7
2.2 Robotiğe Giriş.....	9
2.3 Robot Eksenleri ve Hareketleri.....	12
2.4 Robot Çalışma Alanı.....	13
2.5 Tutucu (Gripper) .....	14
2.5.1 Mekanik ve Pnömatik Tutucular .....	15
2.5.1.1 Paralel Tutucu.....	15
2.5.1.2 Açısal Tutucu .....	16
2.5.2 Elektrikli Tutucu .....	17
2.5.3 Vakumlu Tutucu.....	17
2.5.4 Manyetik Tutucu .....	18
2.5.5 Çatallı (Parmaklı) Tutucu.....	19
2.6 Endüstriyel Robot Programlama Yöntemleri .....	20
2.6.1 Pasif Programlama .....	20
2.6.1.1 Elle (Doğrudan) Programlama .....	21
2.6.1.2 Taklit Yoluyla Programlama .....	21
2.6.2 Aktif Programlama.....	21
2.6.2.1 On-Line (ONP) Programlama .....	21
2.6.2.2 Off-Line (OLP) Programlama .....	22
3. ENDÜSTRİYEL MANİPÜLATÖRÜN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ....	23
3.1 Manipülatörün Kinematik Analizi .....	23
3.1.1 Konum Yönelimi.....	24

3.2 İleri Yön Kinematik .....	25
3.3 Denavit-Hartenberg Yöntemi .....	26
3.4 Ters Kinematik .....	29
3.4.1 Manipülator Ters Kinematik Probleminin Yapısı.....	30
4. MANİPÜLATÖRÜN MEKANİK ve ELEKTRONİK BİLEŞENLERİ.....	32
4.1 Robot Kolu Elamanları .....	32
4.1.1 Servo Motorlar .....	32
4.1.1.1 Darbe Genişlik Modülü (PWM).....	34
4.2 Deney Tahtası (BreadBoard) .....	35
4.3 Potansiyometre.....	35
4.4 Mikrodenetleyicinin Tanımı .....	37
4.4.1 MİB (Merkezi İşlem Birimi).....	37
4.4.2 Bellek .....	37
4.4.3 Giriş Çıkış Birimleri (I/O Ports) .....	38
4.5 Atmega-328P Mikrodenetleyici.....	38
4.6 Atmega-328P Mikrodenetleyici Çeşitleri .....	38
4.6.1 Atmega-328P Mikrodenetleyici Uno .....	39
4.6.2 Atmega-328P Mikrodenetleyici Duemilanove .....	39
4.6.3 Atmega-138P Mikrodenetleyici Diecimila .....	40
4.6.4 Atmega-3560P Mikrodenetleyici Mega.....	41
4.6.5 Atmega-328P Mikrodenetleyici Nano .....	41
4.7 Atmega-328P ile Potansiyometre Kullanımı .....	42
5. MANİPÜLATÖR SOLİDWORKS TASARIMI VE PROGRAMLANMASI.....	44
5.1 Taban Şasesi (Base).....	44
5.2 Döner Tabla .....	46
5.3 Manipülator 2. Eksen.....	49
5.4 Manipülator 3. Eksen.....	52
5.5 Manipülator 4. Eksen.....	55
5.6 Manipülator 5. Eksen.....	58
5.7 Tutucu (Gripper) ve Parçaları .....	60
5.7.1 Tutucu Dişli Grubu .....	60
5.7.2 Tutucu Kuvvet Aktarma Grubu .....	62
5.7.3 Tutucu Çene Grubu.....	63
5.8 Atmega-328P Mikrodenetleyici Programlama .....	64

6. MANİPÜLATÖRÜN SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ.....	69
6.1 Sonlu Elemanlar Metodu Rijit Dinamik Analizi .....	69
6.1.1 Rijit Dinamik Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi .....	81
6.2 Manipülator Kinematik Analizleri.....	82
6.2.1 Manipülator Ters Kinematik Probleminin Hesaplanması.....	82
6.2.2 Denavit-Hartenberg Yönteminin ve İleri Kinematik Hesaplanması.....	87
7. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	90
8. KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	99



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$A_{P_x}$	A koordinat sisteminde $P_x$ düzlemi
$A_{P_y}$	A koordinat sisteminde $P_y$ düzlemi
$A_{P_z}$	A koordinat sisteminde $P_z$ düzlemi
DOF	Robotun serbestlik derecesi (Robot degree of freedom)
{A}	A çerçevesi
(i+1)	i+1. çerçeve
(i-1)	i-1. çerçeve
$\sin \theta$	Sinüs teta açısı
$\cos \theta$	Kosinüs teta açısı
T	Tork
$\bar{a}_{i-1}$	İki eksen arasındaki bağ uzunluğu
$a_{i-1}$	(i-1) ile i eksen arasındaki açı
$d_i$	Çakışan bağlar arasındaki eklem kaçıklığı
$\theta_i$	İki bağ arasındaki eklem açısı
${}^{i-1}T_i$	i eksenli ile (i-1) eksenli arasındaki dönme matrisi
${}^{N-1}T_N$	N eksenli ile (N-1) eksenli arasındaki dönme matrisi

### Kısaltmalar

---

ANSYS	Analiz sistemi (Analysis system)
CAD	Bilgisayar destekli tasarım (Computer aided design)
CPU	Merkezi işlemci
D-H	Denavit-Hartenberg parametresi
FEM	Sonlu elemanlar metodu (Finite element method)
GM	General Motors
IFR	Uluslararası robot federasyonu (International federation of robot)
MoveC	Manipülâtör dairesel hareket
MoveJ	Manipülâtör kısa hareket
MoveL	Manipülâtör doğrusal hareket
ms	Milisaniye
OLP	Çevrim dışı programlama
ONP	Çevrim içi programlama
PLA	Polilaktik asit
PWM	Darbe genişlik modülü (Pulse width modulation)
SCARA	Seçici uyumlu montaj robot kolu (Selective compliant assembly robot arm)
$P_x$	Üç boyutlu uzayda X ekseninin pozisyon vektörü
$P_y$	Üç boyutlu uzayda Y ekseninin pozisyon vektörü
$P_z$	Üç boyutlu uzayda Z ekseninin pozisyon vektörü

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Unimate manipülatörü (İnt.Kyn.1).....	8
Şekil 2.2 Küresel bilekli manipülatörde ana ve yardımcı eksenler (İnt.Kyn.2) .....	10
Şekil 2.3 Endüstriyel robot yoğunlukları (Dişlitaş 2015) .....	12
Şekil 2.4 Pnömatik paralel tutucu (İnt.Kyn.3).....	16
Şekil 2.5 Açısal tutucu (İnt.Kyn.4).....	16
Şekil 2.6 Elektrikli Tutucu (İnt.Kyn.5) .....	17
Şekil 3.1 Öteleme ve dönme hareketini gerçekleştiren eklem yapıları (Bingül ve Küçük 2005).....	23
Şekil 3.2 a) Prizmatik, b) dönel eklemlerden oluşan robot (Bingül ve Küçük 2005). ...	24
Şekil 3.3 P noktasının {A} koordinat sistemine göre tanımlanması (Craig 2005). .....	25
Şekil 3.4 (i-1), i bağlarının ve (i-1), i, (i+1) eksenlerinin yerleşimi (Bingül ve Küçük 2005).....	28
Şekil 3.5 (i-1) ve i eksenlerine koordinat sisteminin yerleştirilmesi (Bingül ve Küçük 2005).....	28
Şekil 3.6 Zi-1 ile Zi arasında Xi-1 boyunca uzanan ai-1 bağ uzunluğu (Bingül ve Küçük 2005).....	29
Şekil 3.7 Xi-1 ile Xi arasında Zi boyunca uzanan dik bağ kaçıklığı (Bingül ve Küçük 2005).....	29
Şekil 3.8 Matematiksel çözüm ile fiziksel çözüm arasındaki ilişki (Craig 2005).....	31
Şekil 4.1 Servo motorun iç yapısı (İnt.Kyn.6) .....	34
Şekil 4.2 MG-996R servo motor teknik resmi (İnt.Kyn.7) .....	34
Şekil 4.3 SG90 servo motor (İnt.Kyn.8) .....	34
Şekil 4.4 Deney tahtası (İnt.Kyn.9).....	35
Şekil 4.5 Potansiyometre (İnt.Kyn.10).....	36
Şekil 4.6 Potansiyometre sembolü (İnt.Kyn.11) .....	36
Şekil 4.7 Potansiyometre çalışma prensibi (İnt.Kyn.12).....	36
Şekil 4.8 Servo motor ve potansiyometre bağlantı devresi .....	43
Şekil 5.1 Manipülatör base izometrik görünümü .....	44
Şekil 5.2 Manipülatör base teknik resmi .....	45
Şekil 5.3 Manipülatör 1. eksen izometrik görünümü .....	46
Şekil 5.4 Manipülatör 1. eksen teknik resmi .....	47
Şekil 5.5 Manipülatörün base ve 1. eksen Montajı .....	48

Şekil 5.6 Manipülatör 2. eksen izometrik görünümü .....	49
Şekil 5.7 Manipülatör 2. eksen teknik resmi .....	50
Şekil 5.8 2. eksenin montaj resmi.....	51
Şekil 5.9 Manipülatörün 3. eksen izometrik görünümü .....	52
Şekil 5.10 Manipülatör 3. eksen teknik resmi .....	53
Şekil 5.11 3. eksenin montaj resmi .....	54
Şekil 5.12 Manipülatör 4. eksen izometrik görünümü .....	55
Şekil 5.13 Manipülatör 4. eksen teknik resmi .....	56
Şekil 5.14 4. eksenin montaj görünümü .....	57
Şekil 5.15 Tutucu (Gripper) şasesi izometrik görünümü .....	58
Şekil 5.16 Tutucu şasesi teknik resmi .....	59
Şekil 5.17 Tutucu (Gripper) montaj izometrik görünümü .....	60
Şekil 5.18 Tutucu (Gripper) dişli elemanı.....	61
Şekil 5.19 Dişli elemanı teknik resmi .....	61
Şekil 5.20 Tutucu (Gripper) kuvvet aktarma elemanı.....	62
Şekil 5.21 Kuvvet aktarma elemanı teknik resmi.....	62
Şekil 5.22 Tutucu çene elemanı .....	63
Şekil 5.23 Tutucu çene elemanı teknik resmi.....	63
Şekil 5.24 Manipülatörün montaj görünümü .....	64
Şekil 5.25 Devre elemanlarının Atmega328-P Mikrodenetleyicide tanıtılması.....	65
Şekil 5.26 Potansiyometrelerin pot değerleri .....	66
Şekil 5.27 Arduino Void Setup .....	66
Şekil 5.28 Arduino Void Loop.....	68
Şekil 6.1 Rijit dinamik analizin proje şeması kısmına yüklenmesi.....	69
Şekil 6.2 Mühendislik verilerinden polilaktik asit hammaddesinin seçimi.....	70
Şekil 6.3 2B tasarımının proje şemasına import edilmesi .....	71
Şekil 6.4 Import edilen 2B manipülatör görünümü.....	71
Şekil 6.5 Import geometry görünümü .....	72
Şekil 6.6 Bağlantı (Connections) parametreleri .....	73
Şekil 6.7 Baza (Base) sabit zemin bağlantısı .....	73
Şekil 6.8 Baza ve 1. eksen bağlantı görünümü.....	74
Şekil 6.9 1. eksen ve 2. eksen bağlantı görünümü .....	74
Şekil 6.10 2. eksen ve 3. eksen bağlantı görünümü .....	75
Şekil 6.11 3. eksen ve 4. eksen bağlantı görünümü .....	75

<b>Şekil 6.12</b> 4. eksen ve 5. eksenin bağlantı görünümü .....	76
<b>Şekil 6.13</b> Gripper ve dişli grubu-1 (gear-box) bağlantı görünümü.....	76
<b>Şekil 6.14</b> Gripper ve dişli grubu-2 bağlantı görünümü.....	77
<b>Şekil 6.15</b> Gripper ve dişli grubu-3 bağlantı görünümü.....	77
<b>Şekil 6.16</b> Gripper ve dişli grubu-4 bağlantı görünümü.....	78
<b>Şekil 6.17</b> Gripper ve dişli grubu-5 bağlantı görünümü.....	78
<b>Şekil 6.18</b> Gripper ve dişli grubu-6 bağlantı görünümü.....	79
<b>Şekil 6.19</b> Manipülatör Z eksenini dönüş yönleri .....	79
<b>Şekil 6.20</b> Gripper ve dişli grubu Z eksenini dönüş yönleri.....	80
<b>Şekil 6.21</b> Baza dönüş yönü ve açısal dönme parametre analizi.....	80
<b>Şekil 6.22</b> Eksen yükü parametresinin eklenmesi .....	81
<b>Şekil 6.23</b> Açısal dönüş analizinin seçimi.....	82
<b>Şekil 7.1</b> Polilaktik asit yoğunluğu (ANSYS 2019).....	92
<b>Şekil 7.2</b> Alüminyum yoğunluğu (ANSYS 2019) .....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 6.1</b> Denavit-Hartenberg değişkenleri .....	87
<b>Çizelge 7.1</b> Manipülatörün rijit dinamik analizi açısai dönüş değerleri.....	93





## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Manipülatöre montajı yapılmış track .....	13
<b>Resim 2.2</b> Kuka Titan modeli .....	14
<b>Resim 2.3</b> Vakumlu tutucunun uygulandığı endüstriyel robot sistemi .....	18
<b>Resim 2.4</b> Manyetik tutucu .....	18
<b>Resim 2.5</b> Çatallı tutucu.....	19
<b>Resim 4.1</b> Atmega-328P Uno .....	40
<b>Resim 4.2</b> Atmega-328P Duemilanove.....	40
<b>Resim 4.3</b> Atmega-168P Diecimila.....	41
<b>Resim 4.4</b> Atmega-3560P Mega .....	41
<b>Resim 4.5</b> Atmega-328P Nano.....	42

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel robot ve manipülatör sistemleri, yeniden programlanan bilen, nesnelere, iş parçalarını, aletleri programlanan yazılıma göre taşıyan ve işlemi yapan makinelerdir. Endüstriyel robot ve manipülatör sistemleri, çeşitli amaçlarla ve farklı uygulama alanlarında kullanabilmektedirler. İnsanlar, iş yükünü azaltmak, ürün kalitesini artırmak, üretim sürecini hızlandırmak gibi etkenlerle robot ve manipülatör sistemlerini tasarlamak istemişlerdir. Bu nedenle robotlar için endüstride çok çeşitli görevler ve uygulamalar yaptırılabilir.

Son senelerde özellikle Asya ve Amerika ülkelerinin girişimleriyle robot çalışmaları endüstriyel olarak önem kazanmıştır. Robotlar sadece bir imalat aracı olarak değil, bağımsız ürün olarak da piyasa değeri taşımaktadır. Bu da nitelikli iş gücü ve yüksek teknolojiye dayalı yeni bir pazar açılması demek. Ülkemizde yapılacak robot araştırmalarının bu nitelikli iş gücünü oluşturmak, teknik tecrübe ve bilgi birikimini artırmak ve eğer endüstriyle iyi bir iş birliğine gidilebilirse dünyada oluşan yeni pazarda Türkiye'ye de bir yer bulmak açısından önemi büyüktür (Uzuner 2012).

Günümüz endüstri koşullarında ve rekabet piyasasında, yapılan işin mükemmelliği, kalitesi ve verimliliği en büyük etmendir. İşte bu çalışma şartları altında, robot ve manipülatörlerin kullanımı yadsınamaz. Böylece manipülatörlere sahip olan fabrikalar rakipleri ile arasındaki farkı giderek artırmaktadır. Robot ve manipülatör sistemleri insan sağlığına elverişsiz olan boyahane, kaynakhane, punta hane gibi yerlerde çalışıp insanları büyük bir işten kurtarmıştır (Efe Alp 2012).

Dar alanlarda titizlik ile programlanan robot ve manipülatör sistemleri endüstrinin ihtiyacına cevap vermektedir. Robot kolunun en büyük özelliği ise uzayda istenilen noktaya herhangi veya istenilen bir açıyla yaklaşması ve emredilen işi eksiksiz yapmasıdır. Pek çok alanda üretime katkısıyla kendini kanıtlamış olan robotlar, gelişimleri boyunca memnuniyetle karşılanmışlardır. Son zamanlarda yapılan ve gelişmiş ülkeleri kapsayan bir araştırmaya göre son 130 yılda kişi başına üretkenlik, manipülatörler sayesinde 25 kat üretim verimliliği sağlanmıştır. Bu üretkenlik artışının yarısı 13 katı fiziki ürün artışı, kalan kısmı ise insanların çalışma sürelerinin yaklaşık yarı

yarıya düşmesi şeklinde görülmüştür. Endüstri 4.0 ve hızla gelişen teknolojiyle beraber endüstriyel robotların kullanılması her ülkede süratle yaygınlaşmaktadır (Dişlitaş 2015).

Robot ve manipülatör sistemleri üretim, montaj, kaynak, punta kaynak, paketlenme, istifleme, taşıma ve pres besleme gibi uygulamalar endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. İmalatta zaman, hassasiyet kabiliyetinin ve yapılan iş parçasının kalitesi artması robot ve manipülatör sistemlerinin sağladığı üstünlüklerdendir. Basit olmayan yapı geometrilerine mevcut uygulamaların tasarımında alışa gelmiş metotlar yerine günümüzde modern mühendislik araçları kullanılmaktadır. Bilgisayar problemleri ile yaklaşık çözümler üreten sayısal hesaplamaların geliştirilmesi, analitik çözümün uzun zaman alan mühendislik problemlerinin çözümünde kolaylık sağlamaktadır. Bu yaklaşık çözümlerden biri de Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)'dir (Karagöz 2010).

Gıda paketlenme sektöründe, kişisel bakım sektöründe, mutfak eşyalarında ve biyomedikal sektöründe en çok tercih edilen termoplastiklerden biridir (Oksman 2013).

Filament'in teknik özellikleri ise; baskı sıcaklığı 180-230 °C arasındadır. Ergime sıcaklığı 160-190 °C arasındadır. Kırılma sıcaklığı 60-65 °C arasındadır. Kırılma sıcaklık aralığı değerinde, polimerik malzemenin camsı geçiş özelliğini kaybederek viskoz özellikler göstermeye başladığı değerdir (Aygın 2019).

Çelebi yaptığı çalışmada, manipülatörün 2B tasarımını yapmak için bilgisayar destekli tasarım programı olarak Catia V5 yazılımını önermiştir. Bu çalışmada, ileri yön kinematikini bulmak için Denavit-Hartenberg yöntemini kullanılmıştır. Sonuçta, 5 kg yük kapasiteli ve Atmega-328P mikrodenetleyici kullanarak 6 eksenli manipülatör elde edilmiştir (Çelebi 2019).

Uzuner yaptığı çalışmada, 5 serbestlik derecesine sahip olan manipülatörün 2B tasarımını yapmak için bilgisayar destekli tasarım programı olarak SolidWorks'ü önermiştir. Bu çalışmada, ters yön kinematikini bulmak için üçüncü dereceden polinomları kullanarak MATLAB arayüzünde manipülatörün Yörünge analizini yapmıştır. Sonuçta, 150 gr taşıma kapasiteli ve eklem hareketleri rahat, sürtünmesiz ve titreşimsiz olarak hareket

edebilen manipülatörün tasarımı elde edilmiştir (Uzuner 2017).

Süzen yaptığı çalışmada, SG90 Dc mini servo motor haricinde Nema-17 step motoru kullanılmasını önermiştir. Bu çalışmada, Atmega-328P mikrodenetleyici kullanarak X-Y düzlem üzerinde çizim yapan bir robot modellenmiştir. Sonuçta, hassas işlemlerde doğruluk ve hızdaki yükseklik çıktısı ile kullanıcıya avantaj sağlanması gerçekleştirilmiştir (Süzen 2017).

Dereli yaptığı çalışmada, 7 eksenli seri manipülatörün kinematik analizi için Denavit-Hartenberg yönteminin kullanılmasını önermiştir. Bu çalışmada, 7-Dönel eklemli bir robot kolunun ters kinematik çözümü için oluşturulmuş çok katmanlı bir sinir ağını eğitme konusu ele alınmıştır. Sonuçta, geleneksel yöntemlerle ortaya çıkan pek çok dezavantajın, yapay sinir ağları ile üstesinden gelindiği gözlemlenmiştir (Dereli 2017).

Şenel yaptığı çalışmada, FriendlyARM firması tarafından üretilen ve ARM11 çekirdek mimarisine sahip olan mini6410 geliştirme kartı kullanılmasını önermiştir. Robot kol olarak beş eksenli çalışabilen ED-7220C model robot kolu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, bant üzerindeki ürünler geliştirilen görüntü işleme algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sonuçta, gömülü sisteme bağlı bir kameradan görüntü alarak, görüntü işleme tekniklerine tabi tutulmuş ve üretim bandı üzerinde hareket eden ürünler tasniflenmiştir (Şenel 2014).

Arslan yaptığı çalışmada, dört serbestlik dereceli bir robot kolu için bulanık yapay sinir ağ tabanlı ile tork kontrolünün hesaplanmasını önermiştir. Yapılan çalışmada, robotun verilen yörüngelerini en iyi şekilde takip edebilmesi için hesaplanan tork yöntemini geliştirilmiş ve bu yöntemin bulanık yapay sinir ağıyla birleşimi olan kontrolörün geri beslemeli kontrolünün iyileştirilemesi sağlanmıştır. Sonuçta, hesaplanan tork yönteminde geri besleme doğrusallaştırmasında uygulanan iki farklı kontrol yönteminde FNNCTC yönteminin daha başarılı sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Arslan 2013).

Bayrak yaptığı çalışmada, beş eksenli bir robot kolunun hesaplamaları ve simülasyonu için Delphi 7 programlama dilinin kullanılmasını önermiştir. Görüntü işleme ve

engel/hedef tanıma işlemini MATLAB R2006a yazılımında gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, beş eksenli dört eklemli bir robot kolunun ters kinematik hesaplamaları ve Yörünge planlanması yapılmış, robot kolun hareketi esnasında yoluna çıkabilecek engelleri/hedefleri algılayabilmesi için bir kamera ve bilgisayar ortamında oluşan bir sistem geliştirilmiş ve robot kolun simülasyonu bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir (Bayrak 2007).

Karaçalı yaptığı çalışmada, metal malzemelerin üretimi sırasında kullanılan çapak alma işlemlerinin robot ve manipülatör sistemleriyle yapıldığı zaman üretim verimliliğinin artırılmasını önermiştir. Tasarımı yapabilmek için robot ve manipülatör sistemlerinin ileri yön ve ters yön kinematiğini Jakobiyen matrisi ile yapılmıştır. Sonuçta, set üstü ocaklarda kullanılan döküm demir parçalarının üretimi sırasında üzerlerinde oluşan çapakları temizleyebilecek bir robot kolu tasarımı yapılmıştır (Karaçalı 2012).

Sarıaltın yaptığı çalışmada, insan vücudunun bir organı olan kol örnek alınarak 5 eksenli bir robot kol tasarımını SolidWorks programında tasarımının yapılmasını önermiştir. Tasarımda kullanılan servo motorun hareket kabiliyeti Atmega-328P mikrodenetleyicisi tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, 5 eksenli hareket kabiliyeti sağlayan robot kol tasarımı ve bu robot kol için uygun mikrodenetleyicinin bilgisayar ile kontrolü sağlanmıştır (Sarıaltın 2017).

Kaygusuz yaptığı çalışmada, 3B yazıcılar aracılığıyla üretilen bileşen ve ürünlerde, Polilaktik Asit (PLA) hammaddesinin kullanılmasını önermiştir. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan 3B yazıcı malzemelerinden biri olan Polilaktik asit ile üretilen yapılarda, nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu gibi parametrelerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Nozul sıcaklığı arttıkça üst çekme dayanımı artmış, dolgu yoğunluğu azaldıkça dayanım ve elastikiyet modülü kademeli olarak azaldığını gözlemlemiştir. Sonuç olarak, nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu mekanik özellikleri önemli şekilde etkilemiştir. Nozul sıcaklığı arttıkça yapıdaki boşluklar azalmış ve buna bağlı olarak çekme dayanımı artmıştır. Dolgu yoğunluğunun düşürülmesi ise hem akma dayanımı hem elastikiyet modülünü önemli ölçüde azaldığını gözlemlenmiştir (Kaygusuz 2018).

Evlen yaptığı çalışmada, bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design, CAM) üzerinden modellenmiş veya 3B olarak taranmış modelleri, 3B yazıcıdan üretilmesini önermiştir. Bu çalışmada, 3B yazıcıdan parça yazdırma metotlarından biri olan Ergiyik Depolayarak Modelleme metodunda doluluk oranı, katman kalınlığı, ekstruder sıcaklığı, ortam koşulları gibi faktörlerin parça mukavemetine etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Sonuç olarak, 3B yazıcılarda doluluk oranlarının mekanik özelliklere etkisi, yazıcı sisteminin açık ve kapalı olma durumlarında elde edilen numunelere çekme deneyi ve sertlik ölçümü yapılarak incelenmiştir. Kapalı sistemde yazılan numunelerin açık sistemde yazılan numunelere nazaran sertlik değerlerinin daha düşük olduğu, çekme dirençlerinin ve % uzamalarının daha yüksek olduğu görülmüştür (Evlen 2018).

Kant yaptığı çalışmada, incelenen bir manipülatör için statik ve dinamik analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile CosmosWorks yazılımı ile yapılmasını önermiştir. Bu çalışmada, manipülatörün taşıdığı farklı yükler, tutucunun yer değiştirme miktarı ve sistemin üzerine etki eden Von-Mises gerilimi sayısal olarak hesaplanmıştır (Kant 2009).

Günel yaptığı çalışmada, altı adet servo motor içeren ve bir adet tutucudan oluşan robot kol mekanizmasının mekanik analizlerinin yapılması için ANSYS yazılımını önermiştir. Bu çalışmada, yapı elemanlarının imalatlarından önce analiz yapılması ve bu analizler sonucuna göre imalatın yapılarak maliyet ve zamandan tasarruf edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, “tasarım”, “imalat-montaj” ve “kontrol” konularını içermektedir. 6 servo motor ve 1 tutucu pençeden oluşan robot kol mekanizması; Arduinio kart ile ve Microsoft Visual C# üzerinde arayüz uygulaması yapılarak kontrol edilmiştir. Tasarım SolidWorks ile ve mekanik analizler ise ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan sistemin montajı yapılarak bir platform üzerinden 6 tane servo motor kontrol edilmiştir (Günel 2016).

Önerilen bu çalışmada, Atmega328P mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen yeni bir manipülatör tasarlanmıştır ve Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method, FEM) ile ANSYS Rijit Dinamik Analizi yapılmıştır.

Çalışma takip eden cümlelerde açıklandığı gibi organize edilmiştir. Bölüm 1’de,

Çalışmanın giriş kısmı ve literatür çalışması verilmiştir. Bölüm 2’de, endüstriyel robot ve maniplatr sistemlerin tarihi incelenmiş ve endüstrideki uygulamalar anlatılmıştır. Bölüm 3’te, endüstriyel robot ve maniplatr sistemlerinin matematiksel modellenmesi anlatılmıştır. Bölüm 4’te, tasarlanan manipülatörün mekanik ve elektronik bileşenleri incelenmiştir. Bölüm 5’te, maniplatr sisteminin SolidWorks 2B modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bölüm 6’da, manipülatörün rijit dinamik ve kinematik analizleri yapılmıştır. Çalışma, sonuç bölümünde elde edilen sonuçların sunumunun yapılmasıyla sonuçlandırılmıştır.



## 2. ENDÜSTRİYEL ROBOT ve MANİPÜLATÖR SİSTEMLERİ

### 2.1 Endüstriyel Robot ve Manipülatör Tarihi

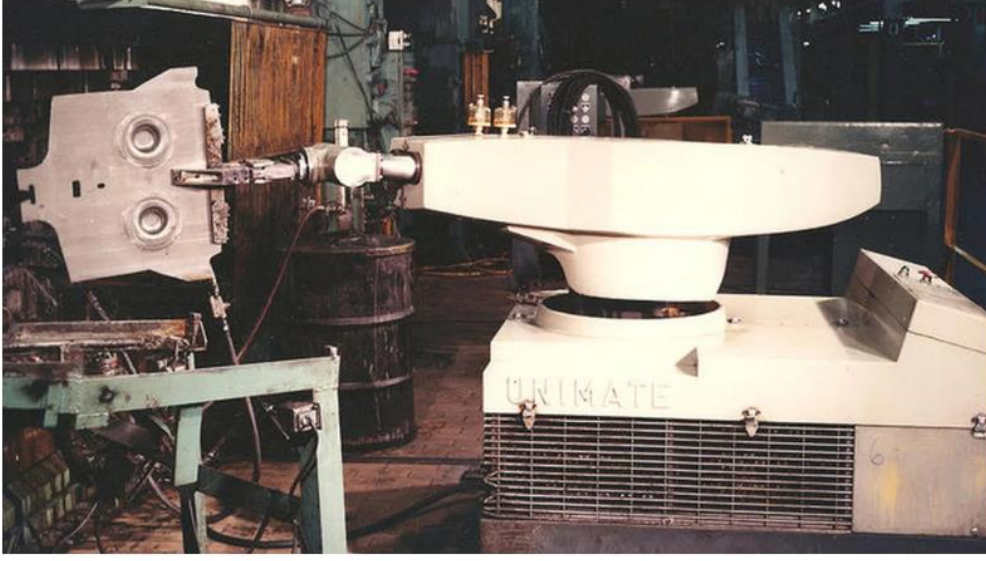
Bu tez çalışmasının öncesinde, endüstride kullanılan küresel bilekli (6 eksenli) robot ve manipülatör sistemlerinin tarihinin bilinmesi gerekmektedir. Endüstride kullanılan robot ve manipülatör sistemlerinin tarihi yıllar öncesine dayanmaktadır. 1956 yılında Joseph Engelberger isimli bir fizikçi George Devol isimli bir mucitle tanışmıştır. İki mucit, George'un zamanında yayınladığı 'Programlanmış Makale Tasarımı' konusu üzerinde tartışmaya başladı ve endüstride kullanılan ilk robotun temelleri o sırada atılmıştır. 1957 yılında başlayan süreç iki yıllık bir çalışmanın ardından Engelberger ve Devol Unimate 001 isimli ilk prototipi geliştirmeyi başarmıştır. Bu robot üç eksenli olup hattaki sıcak burçları alıp bir banttandır diğer bantta taşınması ile görevliydi. Bu robotun geliştirilme amacı endüstriyel alanda kolaylık sağlanması ve üretim kalitesinin artırılmasıydı. Daha sonraki çalışmalarda ise Asimov'un üç robot yasasını temel alarak robotun geliştirilmesine önem verilmiştir. Bu yasanın en önemli maddesi ise;

'Bir robot insana zarar veremez ve insanlara zarar gelmesine izin veremez.'

- 1. Bir robot insana zarar veremez ya da bir insanın zarar görmesine seyirci kalamaz.
- 2. Bir robot 1. madde ile ters düşmediği sürece insanın emirlerine uymak zorundadır.
- 3. Bir robot 1. ve 2. madde ile ters düşmediği sürece kendine zarar veremez.

Bu maddelerden yola çıkılarak Unimate robotu insanın sağlığına zarar gelebilecek yerlerde çalışmak için tasarlanmıştır. Günümüz şartlarında, insanın sağlığına zarar verebilecek her ortamda robotlar çalışmaya başlamıştır. Bu strateji ile 1959 yılında 1224 kg ağırlığında Unimate isimli robot New Jersey General Motors döküm tesisinde montaj hattında kurulmuştur. 1961 yılında, Unimate 1900 serisi, fabrika otomasyonu için seri üretime giren ilk robotik kol olmuştur ve kısa bir sürede yaklaşık 450 adet Unimate döküm tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır. Unimate daha sonraki yıllarda yapılacak olan birçok robot markasına ilham kaynağı olmuştur.





Şekil 2.1 Unimate manipülatörü (İnt.Kyn.1).

1966 yılında dünyaya tanıtılan Unimate, aynı zamanda dünyaya açılmaya karar vermiştir. Engelberger, ilk başta İskandinavya ve Doğu Avrupa’da robot üretmesi için Nokia’ya lisans vermiştir. Bunun yanı sıra robot kullanmaya meraklı olan diğer otomotiv yöneticileri ile Asya pazarında yerini alabilmek için Kawasaki Ağır Endüstrisi (Kawasaki Heavy Industries) ile bir lisans anlaşması yapmıştır.

O sırada General Motors, rakiplerinin ağızını açık bırakacak kadar otomobili çok kısa sürede üretebiliyordu. Bu sayede General Motors (GM) rakiplerinin dikkatini çekerek Avrupa’da robot kolun yaygınlaşmasını sağlamış oldu ve kısa bir süre sonra Mercedes, BMW, Volvo ve Fiat gibi otomotiv devleri insanlar için ağır ve tehlikeli işleri yapabilmesi için Unimate robot kollarını fabrikalarını kurmaya başladılar. Böylelikle otomasyon ve endüstride kullanılan robotların tarihte ilk adımı atılmış olmuştur.

Bu gelişmelerin sonrasında endüstride robot kollarının ve bileşenlerinin önemini anlayan robot üretici firmaları ülkesine has robot kollarını üretmeye başlamışlardır. Bunun amacı ise gelişen dünya piyasasında kendilerine yer kapmak ve endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamaktır. Almanya KUKA, İsveç ABB ve Japonya KAWASAKI gibi markaları üreterek piyasanın önde gelen isimleri olmuştur.

## 2.2 Robotiğe Giriş

Robotik, Makina Mühendisliği, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve en önemlisi Mekatronik Mühendisliği disiplinlerinin ortak çalışma alanından meydana gelmiştir. Endüstri koşulları ve rekabet piyasasında, yapılan işin mükemmelliği, kalitesi ve verimliliği büyük önem arz etmektedir. İşte bu çalışma şartları altında, robot ve manipülatör sistemlerinin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Bu şekilde üretimin kalitesi, verimliliği ve mükemmelliği giderek artmaktadır. Böylece robot ve manipülatör sistemlerine sahip olan fabrikalar rakipleri ile arasındaki farkı giderek artırmaktadır. Robot kolları insan sağlığına elverişsiz olan boyahane, kaynakhane, puntahane gibi yerlerde çalışıp insanları büyük bir işten kurtarmıştır.

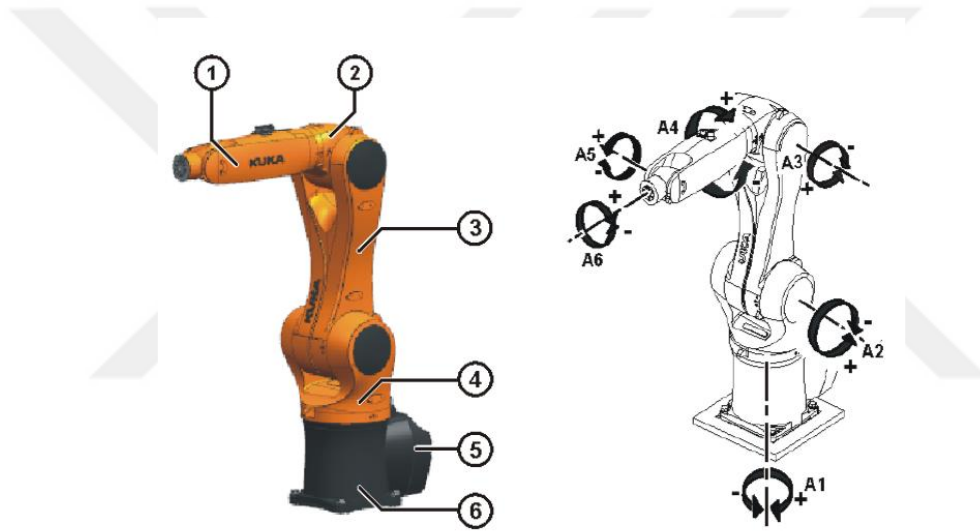
Bir robot sistemi, manipülatör hareketli kısım, hareketli kısmı kontrol eden sürücülerin olduğu kontroller ve çevre birimler olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Robotun mekanik kısmı, temel yapı parçaları (eksenler), güç ileten kısım (servo motorlar) olarak ikiye ayrılabilir. Modern robotlarda hareketli kısmı kontrol eden çoğunlukla elektrikseldir (Servo motor sürücülerini).

Bir robottaki bileşenler temel olarak altı kısma ayrılabilir;

1. Mekanik kısım: Robotun iskeletini oluşturan eksenler
2. Gripper: Robotun 6. eksen flanşına takılan ve yapılacak işe göre tasarlanan pnömatik veya mekanik sistem.
3. Motorlar: Robotun iskeletine montajı yapılan ve hareket etmesini sağlayan kısım
4. Kontroller: Motorları sürücüsün ve çevre birimleri kontrol (güvenlik sistemleri vb.) eden kasa.
5. Sensörler: Robota sinyal gönderen ve sistemin harekete geçmesini sağlayan birim.
6. Kablolara: Kablo grupları çevre birimlerden alınan sinyallerin iletimini sağlamaktadır.

Bir makinaya robot diyebilmek için algılama yetisinin ve dışarıdan aldığı sinyalleri kendi içerisinde işleyip karar vererek harekete geçmesi gerekmektedir. Günümüz endüstrisinde

kullanılan robotların kendi içerisinde işlemcileri bulunmakta ve dışarıdan gelen komutlara göre hareket etmektedir. Örneğin, otomotiv sanayisinde kullanılan parçaların birçok kısmı robotlar tarafından yapılmaktadır. Kaynak robotları (gaz altı ve punta), mastik robotları, boyama robotları ve taşıma robotları olmak üzere birçok örneği bulunmaktadır. Bu robotlar alınan sinyallere göre harekete geçme yetisinde sahiptir. Sinyaller ise sensörlerden alınan verileri yorumlayarak robotun harekete geçmesini sağlamaktadır. Günümüz endüstrisinde kullanılan robotlar çoğunlukla küresel bilekli altı eksenlidir (axis). Bu altı eksenin üç tanesi ana eksen diğer üç tanesi ise yardımcı eksenlerdir. Ana eksenler robotun bir, iki ve üçüncü eksenini oluştururlar yardımcı eksenler ise bilek hareketini yapan dört, beş ve altıncı eksenini oluşturmaktadır.



Şekil 2.2 Küresel bilekli manipülatörde ana ve yardımcı eksenler (İnt.Kyn.2).

Küresel bilekli (Mafsallı) manipülatörlerde ana ve yardımcı eksenler Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Üzerindeki numaraların anlamları ise şöyledir;

1. Bilek
2. Ön kol
3. Bağlantı kolu
4. Döner Tabla
5. Elektrik bağlantılarının yapıldığı yer
6. Taban Şasesi (Base)

Bir sisteme robot diyebilmemiz için birçok bileşen gereklidir. Manipülator Şekil 2.2’de gösterilen hareketli ve hareket etmesini sağlayan motorların üzerinde bulunduğu hareketli mekanik parçadır. Kontroller ise manipülatorün üzerindeki motorları çevre birimlerden aldığı sinyallere göre hareket etmesini sağlayan motor sürücülerini ve otonom sistemini içerir.

Bu tez çalışmasında, önce endüstride kullanılan robot kollar incelenmiş olup matematiksel hesaplamaları yapılarak tasarlanması ve geliştirilmesi hedeflenmiştir. Endüstride kullanılan olan küresel bilekli manipülörler model olarak kullanılmıştır. Gerek hızı gerekse hassasiyeti, uygulamam ve projem için yeterli verimliliği sağlayarak ilham kaynağı olmuştur.

Robotlar genel olarak endüstride kullanılmak üzere tasarlanmışlardır fakat artık günümüzde robotlar evlerimize kadar girmektedir. Bu robotların avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar ise,

Robotların avantajları aşağıdaki gibidir;

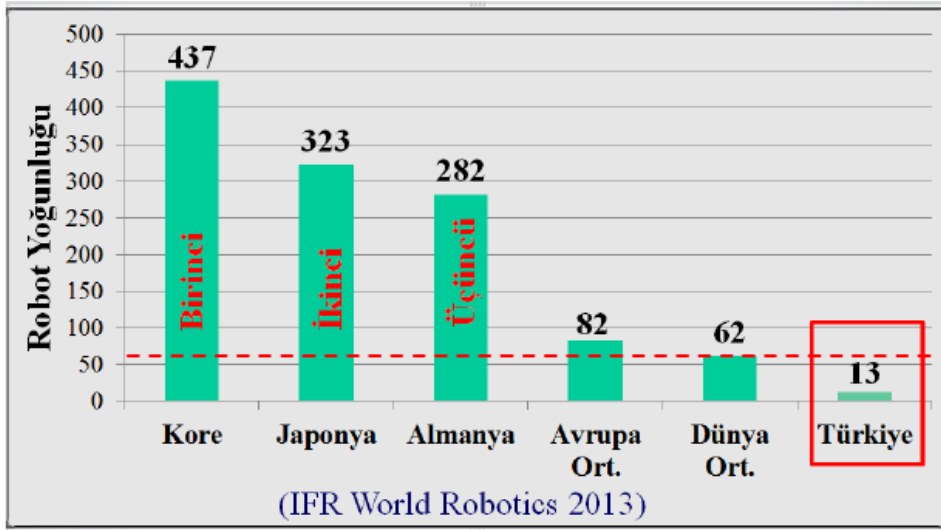
- Robotlar, insan sağlığına elverişsiz ortamlarda çalışabilir.
- İşçiliği azalmakta ve verimliliği artırmaktadır.
- Tehlike içeren ortamlarda çalışabilirler.
- İnsanlar gibi yorulma durumları olmadan istenilen her an istenildiği kadar çalışabilmektedir.
- Hem uzaktan hem de insan tarafından kontrol edilebilirler.
- Tehlikeli durumlarda koruma sağlayabilirler.
- Geri bildirim olması sayesinde herhangi bir problemle karşılaştığında üretimi durdurabilir.
- Zaman alıcı ve basit işleri hızlı ve kaliteli bir şekilde yapabilirler.
- Seri ve tekrarlı işlemleri yapabilirler.
- Ağır yükleri rahatlıkla kaldırabilirler.

Robotların dezavantajları ise aşağıdaki gibidir;

- İlk kurulum aşamasında maliyeti oldukça yüksektir.

- Yıllık ve belirli aralıklarla bakım yapılmalıdır. Bu bakımlar hem zaman kaybına hem de maliyeti etkilemektedir.
- Programlanmanın dışında hareket edemezler.
- Yanlış veri girme sonucunda, sürekli yanlış imalat yapabilirler.

Hızla gelişmekte olan teknolojiyle birlikte dünya ülkelerinde robot ve manipülör sistemleri kullanımı hızla artmaktadır. Endüstriyel robot yoğunluğu, çalışan 10.000 kişi sayısına düşen robot sayısı ile ölçülmektedir. Şekil 2.3'ten anlaşılacağı üzere endüstriyel robot yoğunluğu en fazla olan ülke Kore, sonrasında Japonya olmuştur (Dişlitaş 2015).



Şekil 2.3 Endüstriyel robot yoğunlukları (Dişlitaş 2015).

### 2.3 Robot Eksenleri ve Hareketleri

Bu bölümde, robot ve manipülör eksenlerinin hareketlerini ve genel olarak robot sistemine bağlı olan çevre birimlerden olan track, gun gibi harici eksen (external axis) kısımları anlatılmıştır. Daha sonra ise robotun manipülörün çalışma alanlarını, manipülörün yapısına göre nasıl sınıflandırıldığını ve endüstride büyük önemi olan tutucuları (gripper) anlatılmıştır.



**Resim 2.1** Manipülatöre montajı yapılmış track.

## 2.4 Robot Çalışma Alanı

Robot ve manipülatör sistemleri, ilk önce insan gibi düşünebilen hareket edebilen ve insan davranışlarını taklit edebilen makinalar gelmektedir. Bunu düşünerek tasarlanan ve geliştirilen robotlar insan davranışlarını, hareket kabiliyetlerini ve erişim alanını örnek alarak geliştirilmiş ve tasarlanmıştır.

Robot kolunun çalışma aralığı yapılacak işe göre belirlenip tasarlanmaktadır. Eğer robot istifleme olarak kullanılacaksa taşıma kapasitesi fazla, erişim mesafesi az olmalıdır. Bunun sebebi ise manipülatörün momentinin ve torkun yapılacak işe uygun olmasını sağlamaktır. Günümüzde Kuka markalı robotun titan modeli 750-1300 kilogram taşıma kapasitesine sahiptir. Bu robot kolu otomotiv sanayisinde şasenin bir banttıan alıp diğerine koymasını sağlamaktadır.



**Resim 2.2** Kuka Titan modeli.

## 2.5 Tutucu (Gripper)

Bu bölümde, öncelikli olarak tutucuların (gripper) işlevsellikleri incelenmiştir, daha sonra ise tutucuların (gripper) çeşitleri ve endüstride kullanılan tutucular gösterilmiştir. Robot uygulamalarında ve endüstride tutucular büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel robotlar için en önemli parçaların başında tutucu (gripper) ünitesi gelmektedir. Bu nedenle tutucu (gripper) tasarımı çok önemlidir ve yapılmak istenen işin yerine getirilebilmesi için en önemli unsurdur.

Yapılan gripper tasarımı çalışmasının sağlıklı olabilmesi için yapacağı iş belirlenmeli, süreç içinde yer alacak bütün unsurlar en ince ayrıntısına kadar hesaplanmalı ve mümkünse üzerine çalışacak örnekler sağlanarak en doğru gripper tasarımı oluşturulmalıdır.

Tutucular(gripper), kullanılacak yere göre, projeye göre belirlenir. Tutucularda kendi içerisinde sınıflandırılırlar.

- Mekanik ve Pnömatik tutucular
- Elektrikli tutucular
- Vakumlu tutucular
- Manyetik tutucular

- Çatallı (Parmaklı) tutucular

### **2.5.1 Mekanik ve Pnömatik Tutucular**

Pnömatik tutucular daha güvenilir, değişik boyutlarda çok fazla ürün gamına sahip, daha hızlı cevap veren tutuculardır. Elektrikli tutuculara göre aynı boyutta olmasına rağmen basınçlı hava ile kontrol edilebilmesi yanında maliyet avantajı da sağladığı için pazarda en çok tercih edilenler arasındadır.

Pnömatik tutucular, hemen hemen her endüstri alanında endüstriyel üretimden temiz oda koşullarına kadar, en yaygın kullanılan pnömatik ürünlerdir. Kompakt, hafif ve yüksek sıkma ve düşük ağırlık oranı ile yüksek hızlı montaj yapılabildiği için endüstri ve robot alanında idealdir. Basınçlı hava fabrikaların çoğunda hazır şekilde bulunmaktadır. Bu yüzden ek maliyetlere gerek kalmadan hava ile çalıştırılabilir. Pnömatik tutucuların yapısı oldukça basit olup, motor ağırlığı ve sürücüsü olmadığı için basit bir şekilde valf ve kontrol grubuyla(sensör) devreye alınmıştır. Tutma kuvveti, pnömatik bir regülatör tarafından ayarlanabilir ve hız ayar valfiyle hızlarını da kontrol etmek oldukça basittir. Her pozisyonda zaman kısıtlaması olmadan ve elektrikli tutucularda olduğu gibi yüksek ısınmalar gibi olumsuz durum meydana getirmeden her ortamda oldukça sağlıklı bir biçimde çalışabilirler.

Mekanik ve pnömatik tutucular, paralel ve açısız olmak üzere iki farklı yapıda sınıflandırılır.

- Paralel tutucu
- Açısız tutucu

#### **2.5.1.1 Paralel tutucu**

İş parçasını kavramak için tutucuya göre tasarlanan pnömatik sistem ile güvenli tutuş sağlanmıştır. Pnömatik sistemler, parça değişkenliklerine kolayca uyum sağlayabilmektedir.





**Şekil 2.4** Pnömatik paralel tutucu (İnt.Kyn.3).

### **2.5.1.2 Açısal tutucu**

Açısal tutucu, iş parçasının karmaşık geometri durumuna göre herhangi bir açıda oynatılabilir ve bu çeneler açık sarkaçların azaltılmasına imkân sunmaktadır. Açısal tutucu sınırlı dik alanlarda kullanışlıdır ve güvenli parça ambalajı gerektiren yerlerde kullanılabilirler.



**Şekil 2.5** Açısal tutucu (İnt.Kyn.4).

### 2.5.2 Elektrikli Tutucu

Elektrikli tutucular yapısal olarak pnömatik tutuculara oldukça benzemektedir. Farkları ise pnömatik tutucularda kuvveti basınçlı hava sağlarken elektrikli tutucularda sinyaller vasıtasıyla tutucuların çeneleri kapanmaktadır. Elektrikli tutucuların çenesinin kapanması için içerisinde bulundukları bobine sinyal kablosu tarafından enerji gelmesi ve enerji alan bobinin çekmesi sonucunda tutucu parmaklarının kapanması sağlanır. Endüstride pnömatik tutucular daha ekonomik ve arıza çıkartmaması nedenleriyle daha çok tercih edilmektedir.



Şekil 2.6 Elektrikli tutucu (İnt.Kyn.5).

### 2.5.3 Vakumlu Tutucu

Mekanik ve pnömatik tutucuların erişim alanlarının yetersiz olduğu iş parçalarında vakumlu tutucular devreye girmektedir. Vakumlu tutucular istenilen erişim mesafesine çıkarılabilmektedir. Bu işlemi kontrol grubu vakum ve vakum pedleri yardımıyla yapmaktadır. İş parçasına göre vakum pedi tasarlanıp endüstriyel robota montajı gerçekleştirilerek istenilen sonuca ulaşılmıştır. Vakum pedlerinin dezavantajı, zaman içerisinde çalışma ortamının titreşimi, kirliliği sonucunda pedlerinin ara kıvrımları dolmaya başlar ve bunun sonucunda çalışma yüzeyine etki edememesi ve istenilen

vakumu yapmaması sonunca manipölatör hareket halindeyken iş parçası düşebilmektedir. Bu durum endüstriyel uygulamalarda sıkça karşılaşılan bir problem haline gelmiştir. Bu problemin çözümü ise gerekli bakımlarının yapılması ve vakum pedleri kontrol edilerek kullanılmayacak duruma geldiğinde değiştirilmesidir.



**Resim 2.3** Vakumlu tutucunun uygulandığı endüstriyel robot sistemi.

#### **2.5.4 Manyetik Tutucu**

Manyetik tutucular, genellikle endüstride istiflenmiş metal parçalarını almak ve emredilen yere götürmek için kullanılmaktadır.



**Resim 2.4** Manyetik tutucu.

### **2.5.5 Çatallı (Parmaklı) Tutucu**

Çatallı tutucularda pnömatik tutucular gibi basınçlı hava ile çalışmaktadır. Her bir çatal grubunun arka kısmında çatalın taşıyacağı yüke bağlı olarak tasarlanan piston gruplarına yer verilmiştir. Sistemden gelen basınçlı hava ilk olarak valf grubuna gitmekte ardından çevre birimlerden alınan sinyallere göre valf grubu gitmesi gereken piston grubuna gerekli olan havayı gönderir ve basınçlı hava çatalların arkasındaki kullanılan piston gruplarını iterek tutucunun kapanmasını sağlamaktadır. Çatallı tutucular çoğunlukla çuval veya benzeri ürünleri istiflemek üzere tasarlanmış ve üretime alınmıştır. Genellikle kaldırabileceği yükler 50-100 kg arasında değişmektedir.



**Resim 2.5** Çatallı tutucu.

## **2.6 Endüstriyel Robot Programlama Yöntemleri**

Gelişmekte olan teknoloji ile robot firmaları kendine özgü programlama teknikleri geliştirmekte ve bunu uygulamaktadırlar. Robot ve manipülatör sistemlerinin, bir işi yapabilmesi için öncelikle, istenen görev ve hareketler açısından robotun programlanması gerekmektedir. Robot programlanması ise, manipülatöre yaptırılmak istenen işin belirli bir hız ve sıra içerisinde kontrollü bir şekilde yaptırılma işlemine verilen isimdir. Günümüzde genel olarak gelişmiş teknoloji ile tasarlanan robotları OFF-LINE programlanması yapılabilmektedir. Bu programlama tekniği ile daha hızlı ve kaliteli programlanma imkânı sunmaktadır.

### **2.6.1 Pasif Programlama**

Pasif programlama tekniğinin temeline inildiğinde, endüstriyel manipülatör sistemlerine mekaniksel öğretilere yer verilmektedir. Pasif programlamada programı yapacak kişi manipülatörle temas halindedir ve öğretme esnasında öngörülen iş programcı tarafından

da aynen yapılmaktadır. Pasif programlama tekniği de elle ve taklit yoluyla olmak üzere ikiye ayrılır.

### **2.6.1.1 Elle (Doğrudan) Programlama**

Pasif Programlama metotlarından biri olan el ile programlama, basit olarak programcı tarafından manipölatör iş parçası üzerinde hareket ettirilerek, sisteme manipölatör hareketlerini öğretmesidir. Endüstriyel uygulamalarda çok fazla tercih edilmemekle beraber, el ile programlama aşığıdaki Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Elle pasif programlama yönteminin kullanılabilđiđi endüstriyel robotlar, temelde öğrenme ve çalışma olmak üzere iki ayrı moda sahip olmalıdır. Öğretme modunda, programlama yapılırken çalışma modunda da programlanan kol gerçek anlamda çalışabilmesi sağlanmaktadır.

### **2.6.1.2 Taklit Yoluyla Programlama**

Taklit yoluyla programlama, programcı elindeki kontrol ünitesi yardımıyla, programcının yaptığı hareketleri belirli sensörler tarafından algılanarak robot kolunda eş zamanlı olarak hareket etme esasına dayanmaktadır. Bu sayede taklit yoluyla en karmaşık hareketler basit bir şekilde robota öğretilirken gerekli programlama işi de robota öğretilmektedir. Bu işlemi çoğunlukla kaynak yapmak amacıyla kurulan robot sistemlerinde uygulanmaktadır. Bu işlem sayesinde programlama zamanından tasarruf edilecektir ve tasarruf edilen süre diğer işlemler için kullanılacaktır.

### **2.6.2 Aktif Programlama**

Manipölatör programlanmasında, Aktif Programlama metotlarının temelinde bilgisayar ve el kumanda paneli (Flex/Teach Pendant) gibi sayısal tabanlı öğretim işlemleri yer almaktadır. Aktif programlama ile endüstriyel robotların programlanması daha kolay ve daha gelişmiş bir şekilde çalışmaktadır.

### **2.6.2.1 On-Line (ONP) Programlama**

Çevrim içi (On-Line) programlama, gerçek bir robot kullanılarak robot programlarının üretilmesi tekniğidir. Çevrim içi programlamada genellikle kullanılan Teach Pendant, öğretme kutusu olarak da ifade edilmektedir. Bu programlama kısmı Teach Pendant veya Flex Pendant ile yapılabilmektedir. Arasındaki fark ise Teach Pendant dokunmatik olmazken Flex Pendant dokunmatik ve ara yüzler arasında kolay geçişler sağlayarak programlanmanın daha hızlı ve kolay yapılabilmesini sağlamaktadır.

Teach/Flex Pendant ile temel olan şey, endüstriyel robot tarafından yapılması istenen işleri programcı tarafından öğretilerek ve gerekli kodlamalar ve yazılımlar yapılarak robot program hafızasına yüklenmesidir. Bilgisayar bulunmayan koşullarda, robotların programlanması ve gereken bütün işler Teach/Flex Pendant tarafından kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca ONP ile program geliştirme esnasında gerekli olan manipülatör pozisyonlarının belirlenmesi işlemlerinde Teach/Flex Pendant oldukça kolaylık sağlamaktadır. Böylelikle istenilen koordinatlar kolaylıkla robot hafızasına alınarak robotun hareket ettirilmesi sağlanmaktadır.

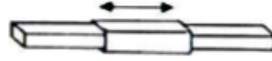
### **2.6.2.2 Off-Line (OLP) Programlama**

Çevrim dışı programlama (Off-Line, OLP), manipülatörün ön görülen işlevlerinin yerine getirmesi amacıyla, yapılması gereken hareket ve işlemlere yönelik program kodlarının bilgisayarlar vasıtasıyla yazılıp derlenmesi, isteğe bağlı olarak simüle edilmesi sonunda robota yüklenmesi sürecidir. Off-line programlama da robot mevcut çalışmasını sürdürürken aynı zamanda robota yönelik yeni bir program geliştirebilmektedir. Üstelik robot çalışma alanı ile programlama alanının aynı ortamda olma zorunluluğu da bulunmamaktadır.

### 3. ENDÜSTRİYEL MANİPÜLATÖRÜN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

#### 3.1 Manipülâtörün Kinematik Analizi

Kinematik bilimi nesnelerin devinimleriyle ilgilenen bir hareket bilimidir. Robot kinematığında, verilen eklem değişkenleri ile robotun uç noktasının pozisyonu ve yönelmesi arasındaki ilişki incelenir. Özellikle uç işlevci (end-effector) ile eklemler arasında bir ilişki tanımlar. Bir robot, yapısal olarak birbirine göre bağımsız hareket eden, öteleme (prismatic-genellikle P) ve dönme (revolute-R harfi ile gösterilir) hareketi gerçekleştiren eklemlerle, bu eklemleri birbirine birleştiren bağlardan oluşur. Şekil 3.1'de öteleme ve dönme hareketini gerçekleştiren eklem yapıları görülmektedir. Dönme hareketinden dolayı gerçekleşen yer değiştirmeye eklem açısı (joint angle) ve bağlar arasındaki yer değiştirmeden dolayı oluşan ötelemeye ise eklem kayması (joint offset) denir. Şekil 3.1.a'da prizmatik eklemlerden oluşan bir robot Şekil 3.2.b'de ise dönel eklemlerden (revolute joints) oluşan bir manipülâtör görülmektedir. (Bingül ve Küçük 2005)



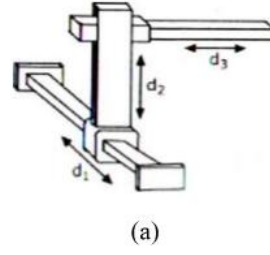
a) Prizmatik eklem



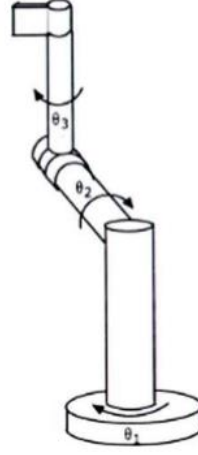
b) Dönel eklem

**Şekil 3.1** Öteleme ve dönme hareketini gerçekleştiren eklem yapıları (Bingül ve Küçük 2005).





(a)



(b)

**Şekil 3.2** a) Prizmatik, b) dönel eklemlerden oluşan robot (Bingül ve Küçük 2005).

Robot kinematiği her bir robot ekleminin konumu, bir öncekine veya bir sonrakine göre ifade edilir. Arka arkaya oluşturulan bu ilişkiye açık kinematik zincir denir. Bu ilişkiyi oluşturan ifadeler, robotun konum ve yönelim bilgisini içeren 4x4'lük homojen dönüşüm matrislerinden (transformation matrix) oluşur. Her bir ekleme için bir homojen dönüşüm matrisi oluşturulur. Oluşturulan bu matrislerin sayısını, robotun serbestlik derecesi (degrees-of-freedom) belirlenmektedir (Craig 2005).

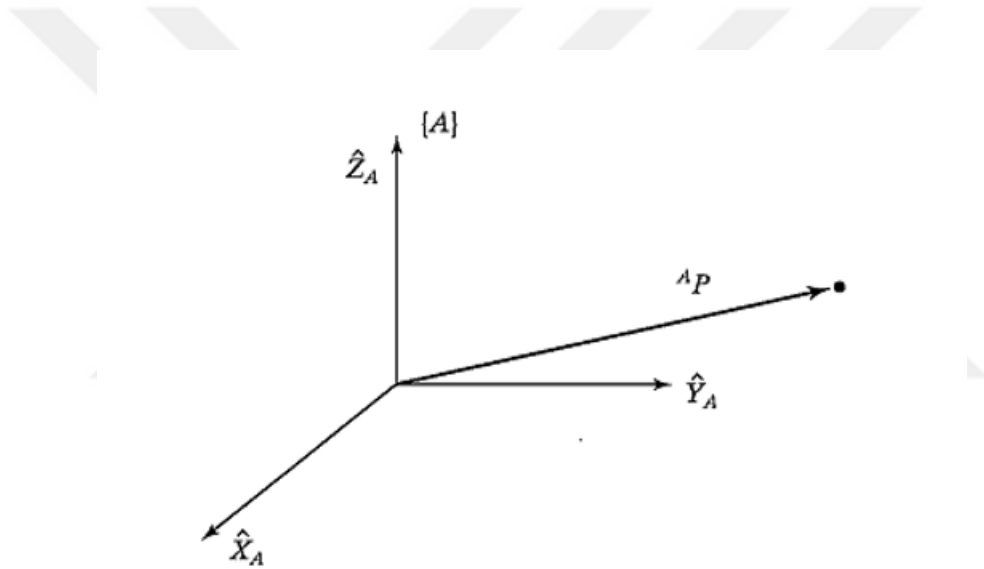
### 3.1.1 Konum Yönelimi

Bir nokta, koordinat sistemi tanımlamak suretiyle evrensel çerçeve içerisinde herhangi bir yerde konumlandırılabilir. Ayrıca evrensel koordinat çerçevesi içerisine birçok koordinat sistemi yerleştirebilir. Üç boyutlu uzayda, bir nokta bu koordinat sistemlerinin merkezine göre tanımlanmış 3x1 boyutlu bir vektörle gösterilebilir. Bu vektör hangi koordinat sistemine göre tanımlanmışsa ona göre isimlendirilir. Örneğin evrensel çerçeve içerisinde bulunan bir P noktasının  $\{A\}$  koordinat sistemine göre konumu AP şeklinde

bir vektörle gösterilir.  $A_P$ , P noktasının  $\{A\}$  koordinat sisteminin merkezine uzaklığını,  $(x, y, z)$  eksenlerinde sayısal olarak tanımlar.  $A_P$  vektörü matematiksel olarak Eşitlik 1'de gösterildiği gibidir (Bingül ve Küçük 2005).

$$A_P = \begin{bmatrix} A_{P_x} \\ A_{P_y} \\ A_{P_z} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Şekil 3.3'te birbirine dik üç birim vektöre sahip  $\{A\}$  koordinat sistemi ile P noktası birlikte gösterilmiştir.



Şekil 3.3 P noktasının  $\{A\}$  koordinat sistemine göre tanımlanması (Craig 2005).

### 3.2 İleri Yön Kinematik

Robotun ileri yön kinematiği (forward kinematics), robot bağlarının konumları arasındaki ilişkiyle ilgilenir. Bir robot, ana çerçevesinden araç çerçevesine doğru birbirine prizmatik veya döneleklemlerle tutturulmuş seri bağlardan oluşur. İki bağ arasındaki ilişki bir homojen dönüşüm matrisiyle açıklanır. Eklem dönüşüm matrislerinin art arda çarpılmasıyla, ana çerçeveye araç çerçevesi arasındaki ilişki tanımlanır. Bu ilişki araç çerçevesinin yönelimini ve konumunu ana çerçeveye göre verir. Başka bir ifadeyle, ileri

kinematik problem, eklem değişkenlerinin (prizmatik veya dönel) verilmesiyle uç işlevcisinin konumunu ve yönelimini ana çerçeveye göre hesaplanmasıdır (Bingl ve Küçük 2005).

Bir sistemin belirli durumlarını göze alarak nasıl hareket ettiğini anlamak için bu sistemin kuvvet, atalet ve enerji gibi dinamik büyüklüklerinin bilinmesi gerekir. Robotun ileri yön kinematiği (Forward Kinematics); robot bağlarının konumlarını, hızları ve ivmeleri arasındaki ilişkiyle ilgilenir (S. Küçük Z. Bingl 2009). Bir seri robot, ana çerçevesinden araç çerçevesine doğru birbirine prizmatik veya dönel eklemlerle tutturulmuş bağlardan oluşmaktadır. Her bir ekleme koordinat sistemi yerleştirilerek komşu eklemler arasındaki ilişkiyi veren dönüşüm matrisleri bulunur. İki komşu arasındaki ilişkiyi veren dönüşüm matrisi  ${}^{i-1}_i T$  ile gösterilir.

Burada rneğin birinci, ikinci ve üçüncü eklemler için dönüşüm matrisi sırasıyla  ${}^0_1 T$ ,  ${}^1_2 T$  ve  ${}^2_3 T$  olarak ifade edilir. Arka arkaya sıralanan eklem dönüşüm matrisleri ile ana ereve ve araç erevesi arasında bir ilişki tanımlanır. Bu ilişkiye İleri Kinematik denir. İleri kinematik, araç çerçevesinin yönelimini ve konumunu ana çerçeveye göre ifade eder ve Eş.1'deki gibi gösterilir. İleri kinematik, verilen eklem değişkenlerine göre uç işlevcisinin kartezyen uzayda nerede olduğunu belirleme işlemi olarak da tanımlanabilir (S. Küçük, Z. Bingl 2009).

$${}^0_N T = {}^0_1 T {}^1_2 T {}^2_3 T {}^3_4 T \dots {}^{N-1}_N T \quad (3.2)$$

${}^0_N T$ , dönüşüm matrisi N tane eklemi olan bir robotun ileri kinematik matrisi olarak tanımlanır.

### 3.3 Denavit-Hartenberg Yöntemi

Denavit-Hartenberg yönteminde robot ileri kinematiğini bulmak için dört değişken kullanılmaktadır. Bu değişkenler sırasıyla;

- $\bar{a}_{i-1}$ ; İki eksen arasındaki bağ uzunluğu
- $a_{i-1}$ ; (i-1) ile i eksen arasındaki açı
- $d_i$  ; çakışan bağlar arasındaki eklem kaçıklığı

- $\theta_i$  ; İki bağ arasındaki eklem açısı

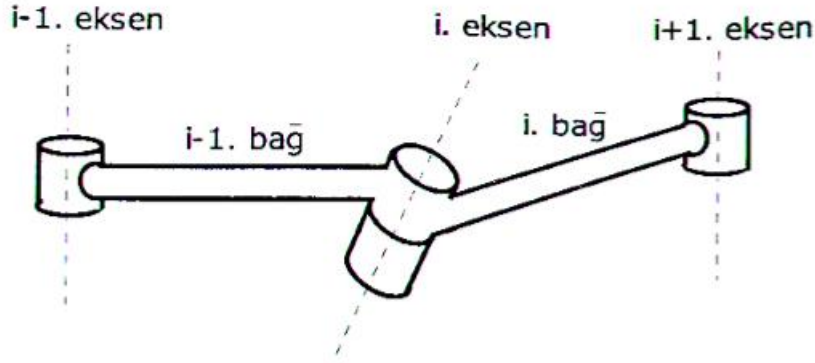
olarak ifade edilir. Bu değişkenlere Denavit-Hartenberg değişkenleri (D-H değişkenleri) denmektedir ve bunlar sıralanan yöntemlere göre belirlenir. Bahsedilen parametreleri bulmak için öncelikle manipülatörün dönme eksenleri belirlenir ve dönme eksenleri bağlardan bir fazla olacak şekilde numaralandırılır (J. Denavit ve R.S. Hartenberg 1955). Ardından eksenlerin tümüne koordinat sistemleri yerleştirilir ve z ekseni döner eklemler için bağın dönme ekseni, prizmatik eklemler için ise kayma yönü olarak kabul edilir. Z eksenine dik ve kol boyunca olan bağ uzunluğu x ekseni olarak kabul edilir. Ardından sağ el kuralına göre y ekseni belirlenir. Sıfır ve birinci eksenler üst üste kabul edilir (J. Denavit R.S. Hartenberg 1955).

1. Öncelikle eklem eksenlerinin dönme veya kayma yönleri belirlenir ve bu eksene paralel bir doğru çizilir.
2. Bu işlem gerçekleştirilirken eklem eksenleri, döner eksenler için dönme yönü Z, prizmatik eklemler için kayma yönü Z ekseni olarak belirlenir.
3. Z eksenine dik ve kol boyunca olan bağ uzunluğu X ekseni olarak kabul edilir.
4. Z ve X eksenleri belirlendikten sonra sağ el kuralına göre Y ekseni bulunur.
5. Eğer arka arkaya gelen iki eklemin dönme veya kayma yönleri aynı ise Z ekseni belirlendikten sonra kol boyunca X ekseni belirlenir. Son olarak sağ el kuralına göre Y ekseni belirlenir.
6. Sıfır ve birinci eksenler üst üste kabul edilebilir.
7. Bir seri robotun eklemlerine koordinat sistemleri yerleştirilirken birinci eksenin dönme yönü Z ekseni olarak belirlendikten sonra genellikle bu ekleme X ekseni döndürüldüğünde komşu iki Z ekseni üst üste çakışacak şekilde bir X ekseni yerleştirilir.

Eklemlere yerleştirilen koordinat sistemleri yukarıda açıklanan kurallara göre belirlendikten sonra eklem değişkenleri aşağıdaki ifadeler göz önünde bulundurularak isimlendirilir (Craig 2005).

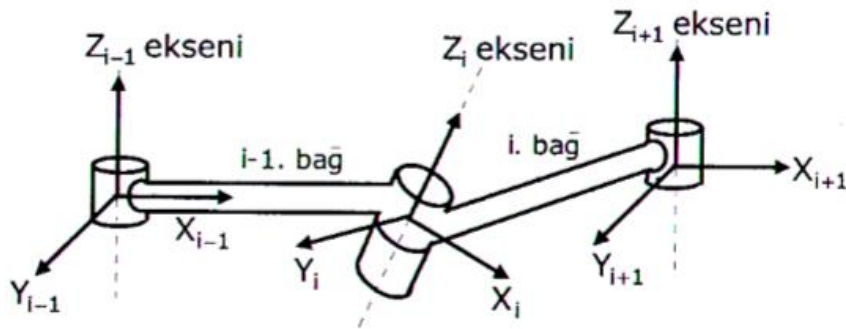
Denavit-Hartenberg yönteminde her bağ için dört ana parametre kullanılarak robot

kinematiği çıkarılır. Bu parametreler, iki eksen arasındaki bağ uzunluğu (link length)  $a_{i-1}$ ,  $(i-1)$  ile  $i$  eksenleri arasındaki bağ açısı (link twist)  $\alpha_{i-1}$ , üst üste çakışan bağlar arasındaki eklem kaçıklığı (joint offset)  $d_i$  ve iki bağ arasında oluşan eklem açısı (joint angle)  $\theta_i$ 'dir. Bu dört parametreye D-H parametreleri denir. Bu parametreleri belirlemek için, öncelikle Şekil 3.4'te gösterildiği gibi robotun hareket eksenleri belirlenir ve hareket eksenleri bağlardan bir fazla olacak şekilde numaralandırılmıştır (Bingül ve Küçük 2005).



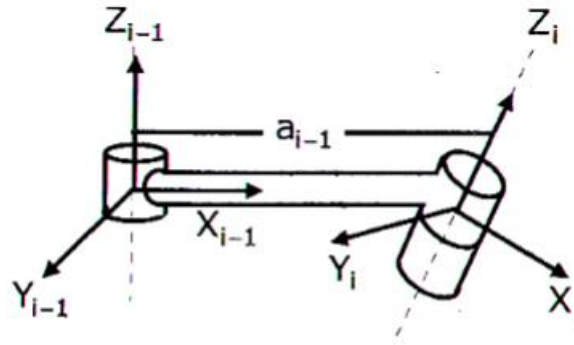
Şekil 3.4  $(i-1)$ ,  $i$  bağlarının ve  $(i-1)$ ,  $i$ ,  $(i+1)$  eksenlerinin yerleşimi (Bingül ve Küçük 2005).

Bu işlemi gerçekleştirdikten sonra eksenlerin her birine bir koordinat sistemi yerleştirilir ve bağ hareket eksenine Şekil 3.5'te gösterildiği şekilde, koordinat sisteminin Z eksenini kabul edilir.



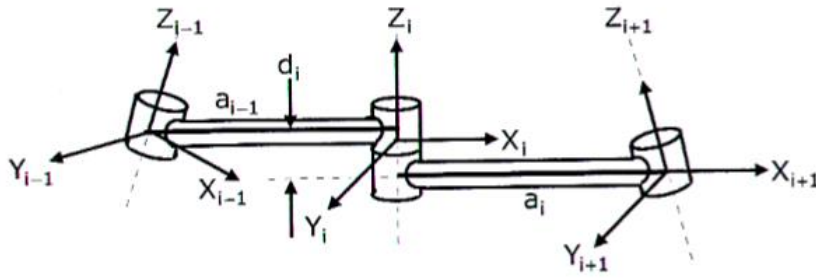
Şekil 3.5  $(i-1)$  ve  $i$  eksenlerine koordinat sisteminin yerleştirilmesi (Bingül ve Küçük 2005).

Z eksenini belirlendikten sonra Şekil 3.6'da görüldüğü gibi  $X_{i-1}$  yönünde uzanan  $Z_{i-1}$  ile  $Z_i$  arasındaki dik uzaklık  $a_{i-1}$  bağ uzunluğu olarak belirlenir.



Şekil 3.6  $Z_{i-1}$  ile  $Z_i$  arasında  $X_{i-1}$  boyunca uzanan  $a_{i-1}$  bağ uzunluğu (Bingül ve Küçük 2005).

Bağ kaçıklığı olarak isimlendirilen  $d_i$ , Şekil 3.7’de görüldüğü gibi  $X_{i-1}$  ile  $X_i$  arasında  $Z_i$  boyunca uzanan üst üste çakışan eksen bağları arasındaki mesafe şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 3.7  $X_{i-1}$  ile  $X_i$  arasında  $Z_i$  boyunca uzanan dik bağ kaçıklığı (Bingül ve Küçük 2005).

### 3.4 Ters Kinematik

Robotların ileri yön kinematikinde eklem değişkenleri ve robotun fiziksel değişkenleri dönüşüm matrisinde yerlerine konulup ana çerçeveden araç çerçevesine doğru robotun yönelimi ve konumu hesaplanır. Robotlar için ters kinematik problem ise, araç çerçevesinin ana çerçeveye göre yönelimi ve konumu verildiğinde, robotun bu yönelim ve konuma ulaşabilmesi için gerekli olan eklem değişkenleri hesaplanması şeklinde tanımlanır (Craig 2005).

Ters kinematik, manipülâtörün uç işlevcisinin (gripper) ana çerçeveye göre konumu ve yönelimi verildiğinde manipülâtörün bu konuma ve yönelime gelebilmesi için gerekli

eklem değişkenlerinin bulunmasıdır. Diğer tanımlaması, uç işlevcisinin konum ve yönelimini kartezyen koordinat sisteminden eklem koordinat sistemine dönüştürme işlemi olarak da tanımlanmaktadır.

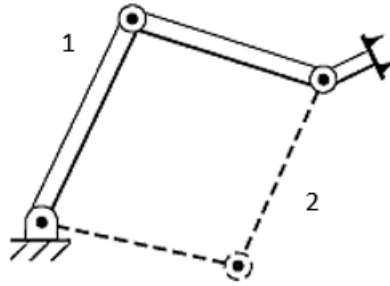
Ters kinematik problem çözümü, ileri kinematik problem çözümü gibi tasarlanan her manipülatör için kolaylıkla çözülebilen bir problem değildir. Bu nedenle ters kinematik problemlerinin analizinde, analitik yöntemler kullanılabileceği gibi analitik çözümlerinin mümkün olmayan manipülatör tasarımlarında iteratif yöntemler de kullanılabilmektedir.

### **3.4.1 Manipülatör Ters Kinematik Probleminin Yapısı**

Manipülatör Ters Kinematik problemleri, aşağıda sıralanan nedenlerden dolayı çözülmesi oldukça zor problemlerdir.

1. Analitik olarak karmaşık ve doğrusal olmayan denklemler içerir.
2. Eklemlerin yapısına bağlıdır. Bir robot çoğunlukla prizmatik eklemlerden oluşuyorsa ters kinematik çözümleri de o derece kolay elde edilirken dönel eklem sayısı arttıkça çözüm de o derece zorlaşmaktadır.
3. Her zaman matematiksel çözüm fiziksel çözümü temsil etmez. Şekil 3.5'te görüldüğü üzere 1 numaralı çözüm hem matematiksel hem de fiziksel olarak örtüşürken, 2 numaralı çözüm, matematiksel ve fiziksel olarak örtüşmemektedir.
4. Aynı uç işlevci tasarımı için birden fazla çözüm olabilir. Ters kinematik çözüm sayısı robotun serbestlik derecesinin yanında aynı zamanda eklem değişkenlerine de bağlıdır. Her bir eklemdede a ve d parametrelerinin her ikisinin de bulunması çözüm sayısının artmasına neden olur. Ters kinematik çözüm sayısına robotların eklem yapısının da önemli etkisi vardır. Örneğin 6 eksenli manipülatörde her bir eklem için en azından bir uzuv uzunluğu ve eklem kaçıklığı olduğundan ters kinematik çözüm sayısı  $2^6 = 64$ 'tür. Prizmatik eklemler çözüm sayısının azalmasına, dönel eklemlerse artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, dönel eklemlerden oluşan robotlarda fiziksel çözüm sayısının fazla olması, üç boyutlu uzayda bir noktaya pek çok farklı şekilde ulaşma imkânı sağlar.

5. Ters kinematik problem, verilen bir robot tasarımı için tamamen analitik (closed form) olarak çözülebileceği gibi, analitik çözümün mümkün olmadığı durumlarda sayısal yöntemler kullanılarak da çözülebilir. Fakat tamamen kesin sonuç üreten analitik çözüme ait denklemler bilgisayar ortamında çok hızlı çalışırken, eklem açılarının iteratif olarak çözüldüğü sayısal çözüm ise bilgisayar ortamında analitik çözüme göre daha yavaş çalışır. Ayrıca, sayısal olarak eklem açılarını bulmak için yazılan algoritmanın yapısı da (çözüm zamanı ve başlangıç koşulları) son derece önemlidir.
6. Robotların ters kinematik çözümlerinde bilek yapılarının da büyük önemi vardır. Eklemlerin bir noktada kesiştiği bilek yapıları tamamen analitik olarak çözülebilirken eklem kaçıklığı barındıran bileklerin bir kısmında tamamen analitik çözüme ulaşamamaktadır (Bingül ve Küçük 2005).



**Şekil 3.8** Matematiksel çözüm ile fiziksel çözüm arasındaki ilişki (Craig 2005).



## 4. MANİPÜLATÖRÜN MEKANİK ve ELEKTRONİK BİLEŞENLERİ

### 4.1 Robot Kolu Elamanları

Bu bölümde, tasarlanması planlanan manipülatör yapısında neler içerdiği ve bu yapıların özellikleri anlatılmıştır. Tasarlanan robot kolu 4 adet standart servo motor ve 1 adet gripper (tutucu servo motoru) tarafından hareket ettirilmektedir. Robot kolunun kontrolü için toplamda 5 adet servo motoru ve bu motorları kontrol eden elektronik kart ve motor ile kart arası iletişimi sağlayan jumper kablolar kullanılmıştır.

#### 4.1.1 Servo Motorlar

Bir servo motorda;

- Dc motor.
- Devir azaltmak ve dönme momentini arttırmak için dişli grubu (gear box).
- Elektronik kart ve geri besleme (feedback) sistemi.
- Kalkma momenti düşüktür.
- Motorun boyutu uzundur.
- Servo motorların çapları, normal motorlara göre büyüktür.
- Endüvilerinin dönme momentini, endüvilerine göre değişmektedir.
- Doğru akım motorları daha az enerji harcarlar.

Servo motor iç yapısından dolayı 180 derece dönebilmektedir. İç yapısı ve dişli grubunun değişimi ile istenilen derecede dönme hareketi yapabilmektedir. Servo motorun içerisinde hassas plastik dişli grubu olduğu için dışarıdan hızlı ve sert bir biçimde döndürülmemelidir. Aksi takdirde dişli grubu deforme olabilir ve istenilen sonucu vermeyebilir. Servo motorun kontrolü, içerisindeki elektronik devre ile sağlanabilmektedir. Dc servo motor, sabit bir kutup manyetik alanı elde etmek için Dc kaynak gerilimi kullanılmaktadır. Dc servo motorların rotorları uzun, disk ve çan şeklinde olabilmektedir.

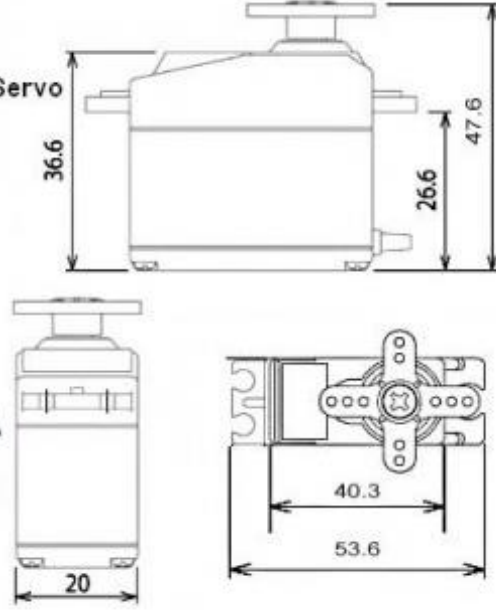


**Şekil 4.1** Servo motorun iç yapısı (İnt.Kyn.6).

Dc servo motor 3 kablo ile iletişimi ve enerjisini sağlamaktadır. Enerji ihtiyacını sağlayan +VCC, GND ve iletişimi sağlayan DATA kablolarıdır. Dc servo motor, 4.8 V ile 6 V arasında bir Dc gerilimle çalıştırılmaktadır. +VCC kablosu kırmızı, GND siyah ve DATA (sinyal) kablosu beyaz, sarı veya turuncudur. Servo motor, belirli bir düzeneğin işleyişinde hataları algılayan ve bu hataları geri besleme (feedback) yoluyla sisteme ileten, denetleyen ve hataları otomatik olarak kaldıran aletlerdir. Servo motor, endüstride kullanılan robotik sistemlerde oldukça fazla kullanılmaktadır. Servo motorların çıkışı, mekaniksel konum, hız veya ivme gibi parametrelerin kontrol edildiği mekanizmalardır. Servo motor içerisinde Ac, Dc veya Step motoru bulunmaktadır.

## MG996R

Metal Gear Dual Ball Bearing Digital Servo



Şekil 4.2 MG-996R servo motor teknik resmi (İnt.Kyn.7).

Yardımcı eksenler için kullanılan servo motor SG90 mikro servo motordur.



Şekil 4.3 SG90 servo motor (İnt.Kyn.8).

### 4.1.1.1 Darbe Genişlik Modülü (PWM)

Dc servo motorun kontrolü, elektronik programlanabilir kartlardan verilen darbe genişlik modülü (PWM) sinyaline göre kontrol edilmektedir. Dc servo motor, her bir 10-20 ms arasında 0.5 ms ile 1.5 ms arasında bir uygulanan pals kontrol sinyali ile kontrol edilmektedir. PWM analog devrelerin sayısal çıkışlarla kontrol edilmelerinde kullanılan

en güçlü tekniktir. Piyasada bulunan birçok mikro denetleyici PWM modülü içermektedir.

#### **4.2 Deney Tahtası (Bread Board)**

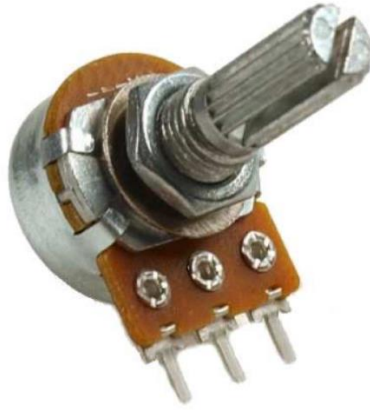
Deney tahtası, üzerinde elektronik devrelerin test edildiği araçtır. Kurulan devrede, devre elemanlarını birbirine lehimlemeyi ortadan kaldırarak büyük bir iş yükünü azaltmaktadır. Tak çıkar yöntemiyle bir projede kullanılan devre elemanlarını diğer projeler de kullanılmasına olanak sağlamaktadır.



**Şekil 4.4** Deney tahtası (İnt.Kyn.9).

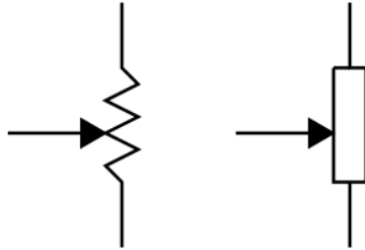
#### **4.3 Potansiyometre**

Potansiyometre, diğer ismiyle reosta direnç çeşitlerinden birisidir. Elektronikğin temel devre elemanlarından biri olan potansiyometre, kontrol gerektiren birçok devrede kullanılmaktadır. Projede kullanılmasının sebebi, 0'dan 1023'e kadar pals değeri alan servo motorun, potansiyometre tarafına verilen pals değerlerini kontrol ederek istenilen açığa uygun olarak servo motorların hareket ettirilmesidir.

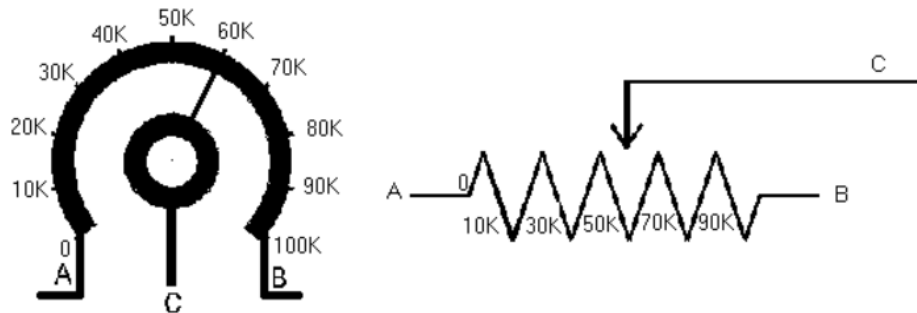


Şekil 4.5 Potansiyometre (İnt.Kyn.10).

Potansiyometre 3 bacaklı bir devre elemanıdır ve uç kısmından çevrilmesiyle direnci artırılıp veya azaltılabilmektedir. Potansiyometre bacakları ise A, B ve C olarak adlandırılır. C bacağı kontrol bacağıdır ve dirence bağlanmıştır. Potansiyometrenin uç kısmındaki mil çevrildiği zaman C bacağı A ile B bacakları arasında bir direnç oluşturarak, kontrol etmek istenilen servo motorunun puls değerlerini değiştirebilmektedir.



Şekil 4.6 Potansiyometre sembolü (İnt.Kyn.11).



Şekil 4.7 Potansiyometre çalışma prensibi (İnt.Kyn.12).

## 4.4 Mikrodenetleyiciler

Mikrodenetleyici yapısı; işlemci (CPU), hafıza (RAM/ROM) ve giriş çıkış (I/O Ports) birimlerinin tek bir entegre devresinde birleştirilmiş ile bir araya gelen özel amaçlı bir mikro bilgisayardır. Mikrodenetleyiciler birbirlerine sahip oldukları üniteler (ADC, PWM, Zamanlayıcı, SPI, vb.) giriş çıkış sayıları, çalışma hızları, veri ve program yolu genişliği, bellek kullanımı açısından farklılık gösterebilir. Mikrodenetleyicilerin ucuz olmaları, tek bir mikrodenetleyici ile elektronik çözümler üretebilme imkânı ve mikrodenetleyici içinde program depolayabilme ve istenildiğinde çalıştırabilme olanağı gibi nedenlerle tercih edilmektedir.

Mikroişlemcinin kullanımı ve mikroişlemcili sistemin tasarımı, mikrodenetleyicili sisteme göre hem daha masraflı hem de daha karmaşıktır. Mikrodenetleyicili bir sistemin çalışması için elemanın kendisi ve osilasyon kaynağının bulunmasıdır. Mikrodenetleyicinin ihtiyaç duyduğu önbellek ve giriş çıkış birimi bir arada bulunmaktadır.

Mikrodenetleyici genel olarak aşağıdaki birimlerden oluşur;

- Mikroişlemci
- Bellek
- Giriş/Çıkış Birimleri

### 4.4.1 MİB (Merkezi İşlem Birimi)

Merkezi işlem birimi (Central Processing Unit, CPU) olarak bilinen işlemci çekirdeği programın çalışması için gerekli aritmetik ve mantıksal işlemleri yürütür. Çekirdek aynı zamanda bellek ünitelerindeki verileri okur ve depolamakla görevlidir. Mikrodenetleyici çekirdeği saklayıcılar, Aritmetik Mantık Birimi (Arithmetic Logic Unit, ALU), sayıcılar, yığın işaretçisi gibi fonksiyonel birimlerden oluşmaktadır.

#### 4.4.2 Bellek

Rom program kodunun depolandığı, Ram ise geçici veya program verilerinin depolandığı bellek türüdür. Ram bir bakıma mikrodenetleyicinin kullanmış olduğu bir müsvedde kâğıttır. Bu bellek sürekli yazılır ve silinir; ancak bellek bir kere programlandıktan sonra programın çalışması süresince değiştirilemez.

#### 4.4.3 Giriş Çıkış Birimleri (I/O Ports)

Sensörler ve çevre birimlerden aldığı sinyali CPU'ya göndermekle görevlidir. Mikrodenetleyiciler arasında giriş çıkış birimleri farklılık gösterebilmektedir.

#### 4.5 Atmega-328P Mikrodenetleyici

Genel olarak mikrodenetleyici, giriş portlarından aldığı veriyi kendisine verilen komutlar dâhilinde işleyerek çıkış portlarına ileten ve birçok defa programlanabilen bir elektronik karttır. Mikrodenetleyiciler çalışmak için kendilerine yüklenen programlar haricinde bilgisayarlar gibi bir işletim sistemine ihtiyaç duymazlar.

Atmega-328P , kullanımını kolay, açık kaynak kodlu, geliştirmeye daima açık, yazılım ve donanıma sahip bir mikrodenetleyicidir. Düşük seviye mikroişlemci bilgisi gerektirmemesi ve zengin bir kütüphane desteği olması sebebiyle kolaylık sağlar. Açık kaynak ifadesi ise kütüphaneye erişebilme imkânı ve bu kodları sürekli olarak kişisel anlamda geliştirebilmesini ifade etmektedir. Baskı devresi, ara birimleri, kütüphanesi, PC üzerinde derleyicisi ve şematik tasarımına oldukça kolay ulaşılabilir. Atmega-328P mikrodenetleyici, programında C/C++/ Java tabanlı bir dil kullanılmıştır.

#### 4.6 Atmega-328P Mikrodenetleyici Çeşitleri

- Atmega-328P Uno
- Atmega-328P Duemilanove
- Atmega-168P Diecimila

- Atmega-3560P Mega
- Atmega-328P Nano

#### 4.6.1 Atmega-328P Mikrodenetleyici Uno

Tasarımı yapılması planlanan projede, kullanılan mikrodenetleyicidir. Bu mikro denetleyicinin özellikleri ise şöyledir;

- 14 adet digital(dijital) giriş / çıkış bu çıkışlardan 6 tanesi PWM (Servo motor / motor sürebilmek) çıkışı olarak kullanılabilir.
- 6 adet analog çıkışı vardır.
- Atmega-328P işlemcisi kullanılır. USB-seri iletişim dönüştürücü olarak FTDI entegre kullanma, onun yerine dönüştürme işini Atmega8U2 yapar. Bu durum, daha hızlı aktarıma olanak sağlar.
- 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, 2.1 mm güç girişi, ICSP başlığı ve reset butonu vardır.

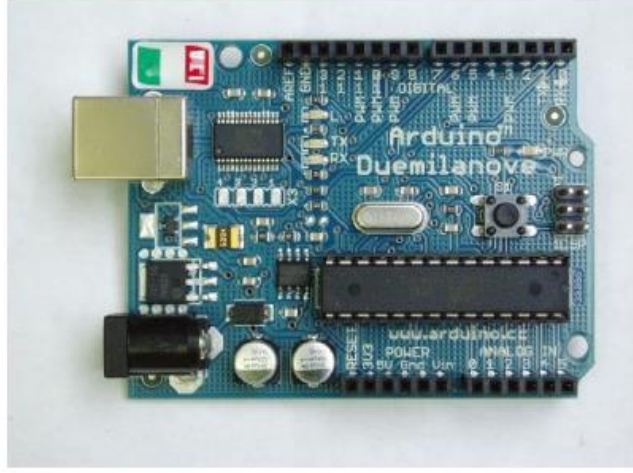


**Resim 4.1** Atmega-328P Uno.

#### 4.6.2 Atmega-328P Mikrodenetleyici Duemilanove

- Atmega328 işlemcisini kullanır. Donanım özellikleri olarak neredeyse Arduino Uno ile aynıdır. Arduino UNO'dan tek farkı ise USB-seri iletişimi olan FTDI dönüştürücüsünü kullanmamasıdır.
- Duemilanove'da yeni bir özellik olarak otomatik güç algılama sistemi bulunur. Bu sistem USB'den veya adaptör girişinden kendisi seçer.





**Resim 4.2** Atmega-328P Duemilanove.

#### 4.6.3 Atmega-168P Mikrodenetleyici Diecimila

- Temel Arduino USB kartının bir önceki versiyonudur.
- Diğerlerine göre daha yavaş, Atmega 168 işlemcisini kullanır.
- 14 adet dijital giriş / çıkış, bu çıkışlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılır.
- 6 adet analog giriş vardır.



**Resim 4.3** Atmega-168P Diecimila.

#### 4.6.4 Atmega-3560P Mikrodenetleyici Mega

- Atmega 3560 işlemcisini kullanır.
- Daha fazla dijital çıkışı (54 adet) ve bunlardan 14 tanesi PWM çıkışıdır.
- USB-seri iletişim dönüştürücü olarak Atmega8U2 veya Atmega 16U2 kullanır.
- Bellek olarak daha yüksektir.
- Atmega2506'ya yükseltilmesi sayesinde 256k flash memory'ye yükselmiştir.



Resim 4.4 Atmega-3560P Mega.

#### 4.6.5 Atmega-328P Mikrodenetleyici Nano

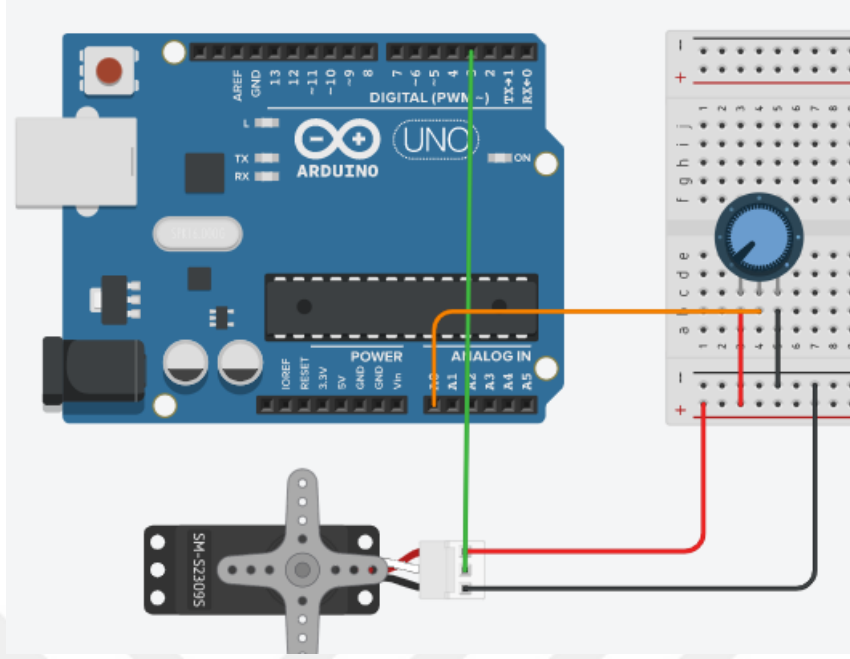
- BreadBoard üzerinde kullanılmak üzere tasarlanmış ve üretime alınmıştır. Dc güç girişi yoktur ve USB Mini-B kablosuyla bilgisayara bağlanır.
- Arduino Nano, Atmega 328 işlemcisi kullanır.
- 14 tanesi dijital giriş / çıkış, bu çıkışlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılır.
- 8 adet analog giriş vardır.



**Resim 4.5** Atmega-328P Nano.

#### **4.7 Atmega-328P ile Potansiyometre Kullanımı**

Potansiyometre, analog kontrol sunduğu için mikrodenetleyici üzerinde analog giriş (Analog Input) olarak bağlanmıştır. Potansiyometre mili çevrildiği zaman, verilen analog giriş sinyalleri çıkış pinine bağlanan servo motoru kontrol etmiştir. Devre şemasında Potansiyometrenin orta bacağı (C bacağı) data (veri) olarak kullanılmaktadır. Orta bacağın solunda kalan bacak (A bacağı) 5 V mikrodenetleyicinin 5 V pinine, orta bacağın sağında kalan bacak (B bacağı) toprak (GND) pinine bağlanmıştır.



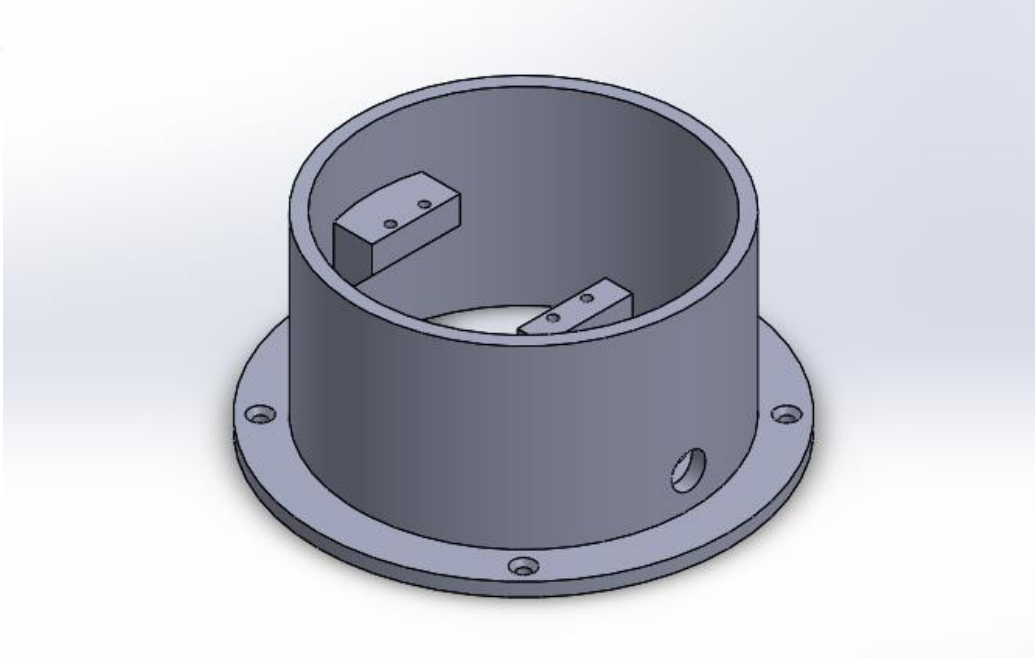
Şekil 4.8 Servo motor ve potansiyometre bağlantı devresi.

## 5. MANİPÜLATÖR SOLIDWORKS TASARIMI VE PROGRAMLANMASI

Bu bölümde , SolidWorks bilgisayar destekli tasarım yazılımı ile manipülâtörün eksenlerinin tasarımı ve montajı anlatılmıştır.

### 5.1 Taban şasesi (Base)

Taban şasesi (base) manipülâtör erişim mesafesini arttırmak için endüstri uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

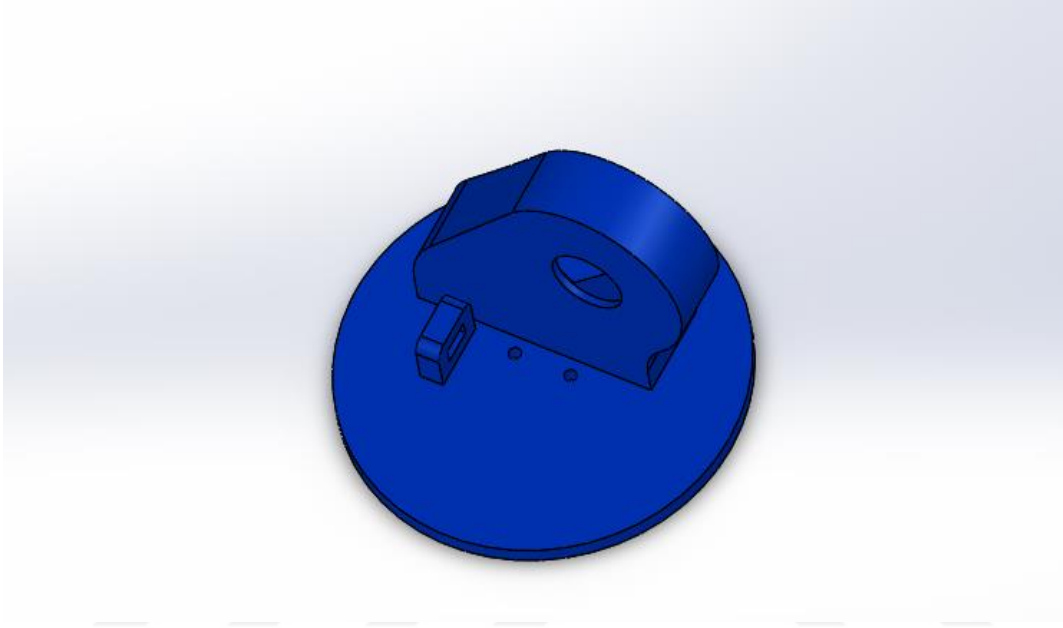


şekil 5.1 Manipülâtör base izometrik görünümü.

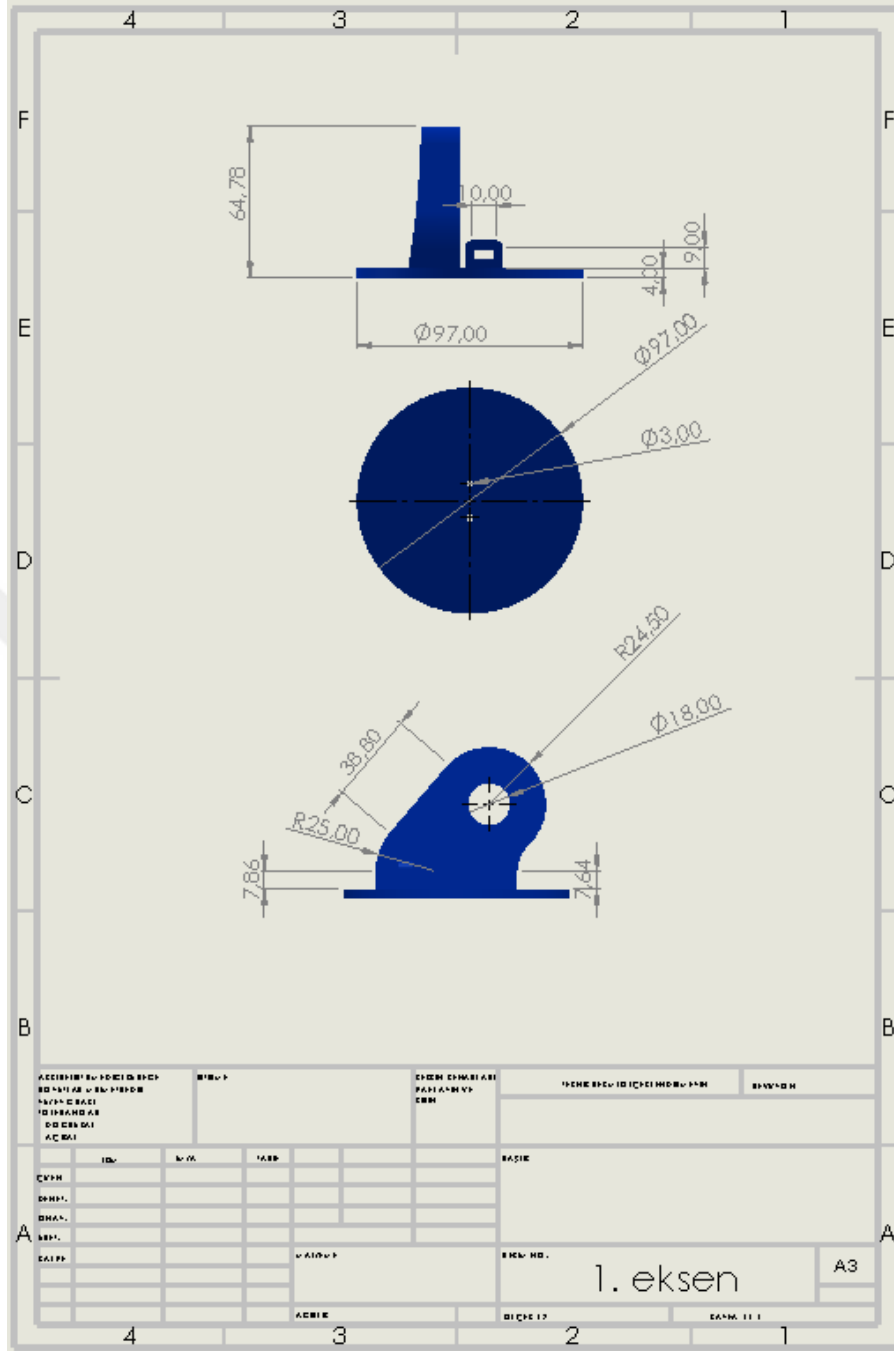


## 5.2 Döner Tabla

Döner Tabla, diğer bir deyişle 1. eksen servo motorunun montajı yapılan eksenidir. Bu eksen, robotun kendi etrafında dönmesini sağlamaktadır. Tasarlanan manipülatör, 1. eksen motoru bu kısma montajı yapılarak kartezyen koordinat sisteminde X ekseninde 180-300 derecelik dönmesi sağlanmıştır.

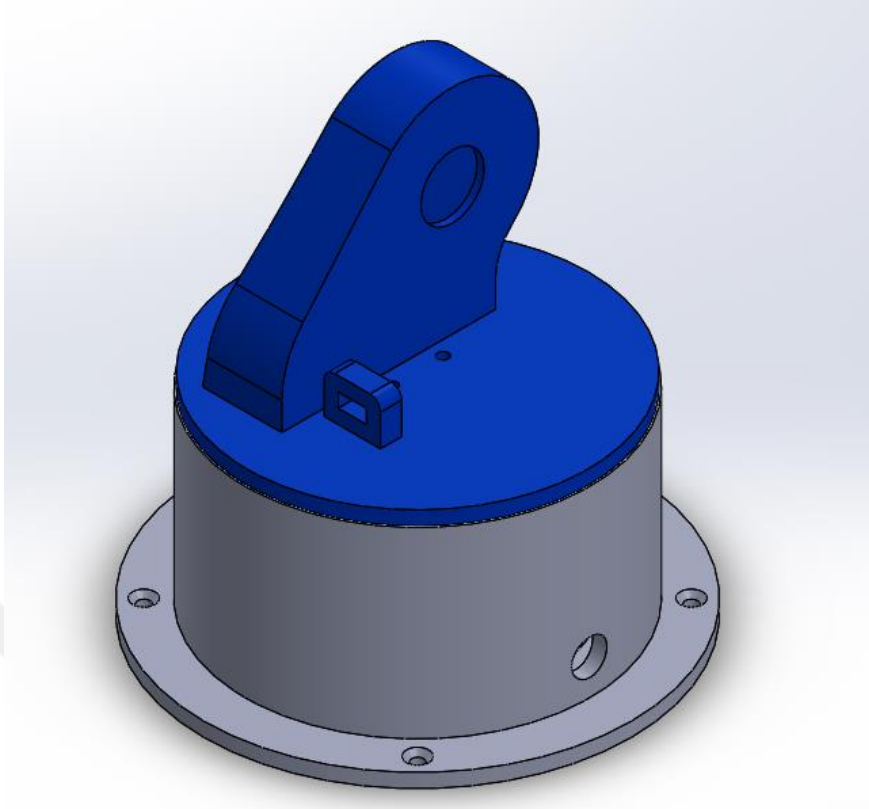


Şekil 5.3 Manipülatör 1. eksen izometrik görünümü.



Şekil 5.4 Manipülâtör 1. eksen teknik resmi.





**Şekil 5.5** Manipülâtörün base ve 1. eksen montajı.

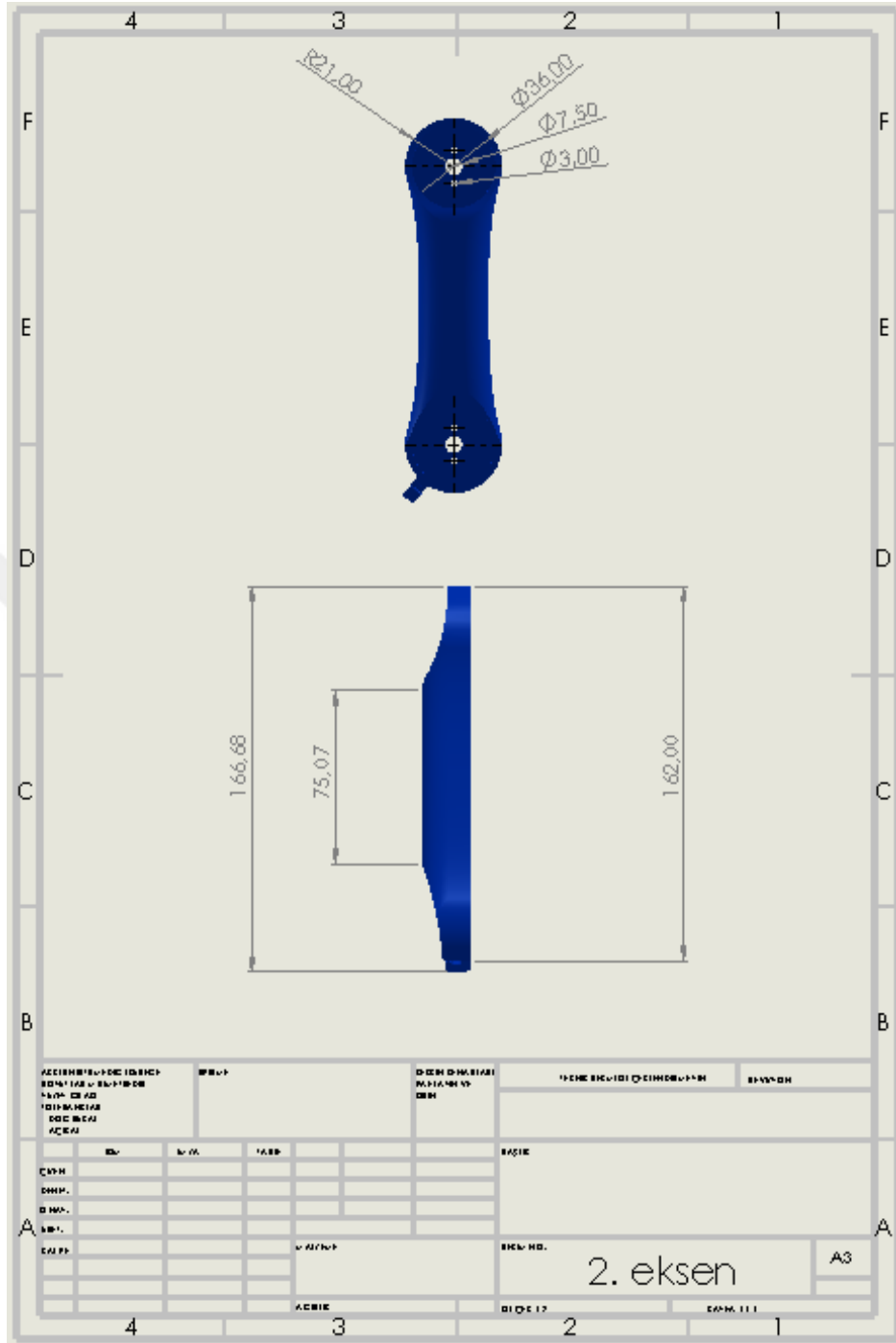
Solid Works uygulamasında montaj sekmesi açılarak ve bileşen ekle kısmından daha önceden tasarımını yapıp katı modelini oluşturduğumuz base ve 1. eksen montaj sayfasına aktarılmıştır. Montaj sayfamıza gelen base ve 1. eksen kısımları Şekil 5.5'te görüldüğü üzere base parçasının üst dairesi ve 1. eksen taban dairesi arasında montaj ilişkisi kurulmuştur.

### 5.3 Manipülator 2. Eksen

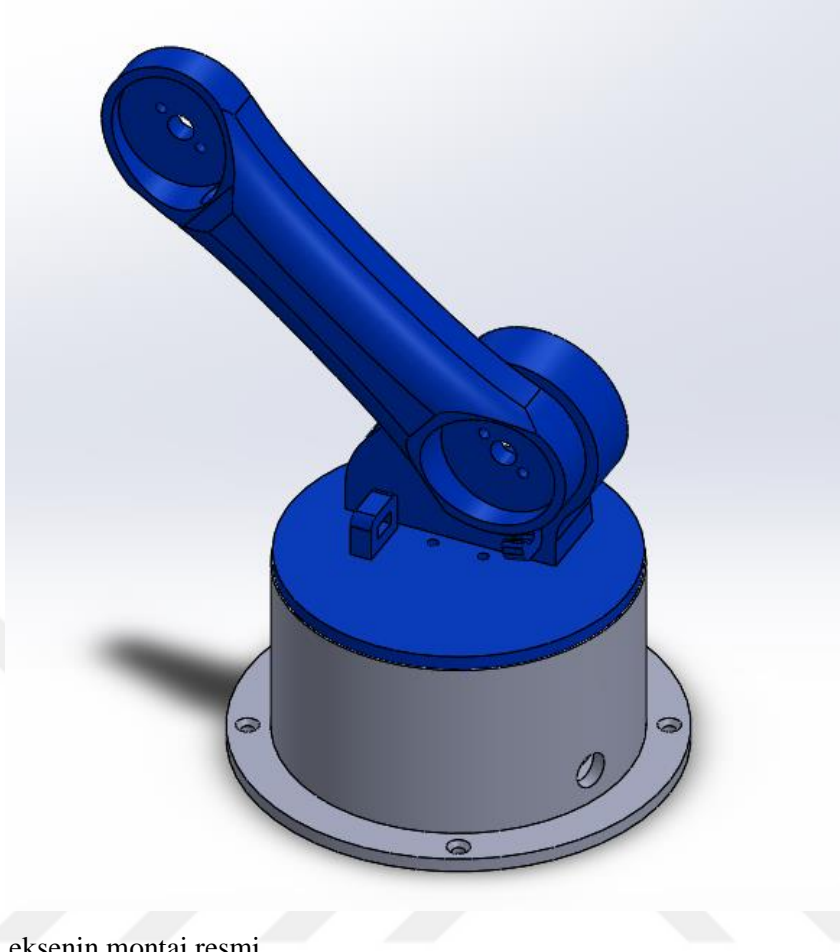
2. eksen manipülatorün 1. eksen ile 3. eksen arasındaki bağlantıyı kurmakla görevlidir.



Şekil 5.6 Manipülatorün 2. eksen izometrik görünümü.



Şekil 5.7 Manipülör 2. eksen teknik resmi.

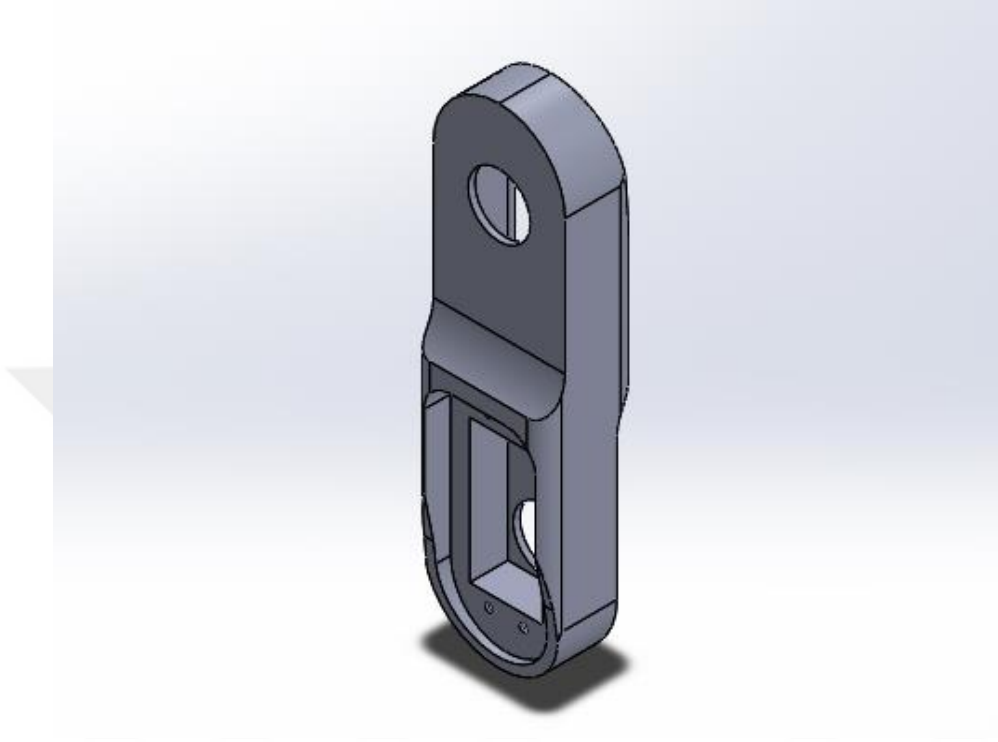


**Şekil 5.8** 2. eksen montaj resmi.

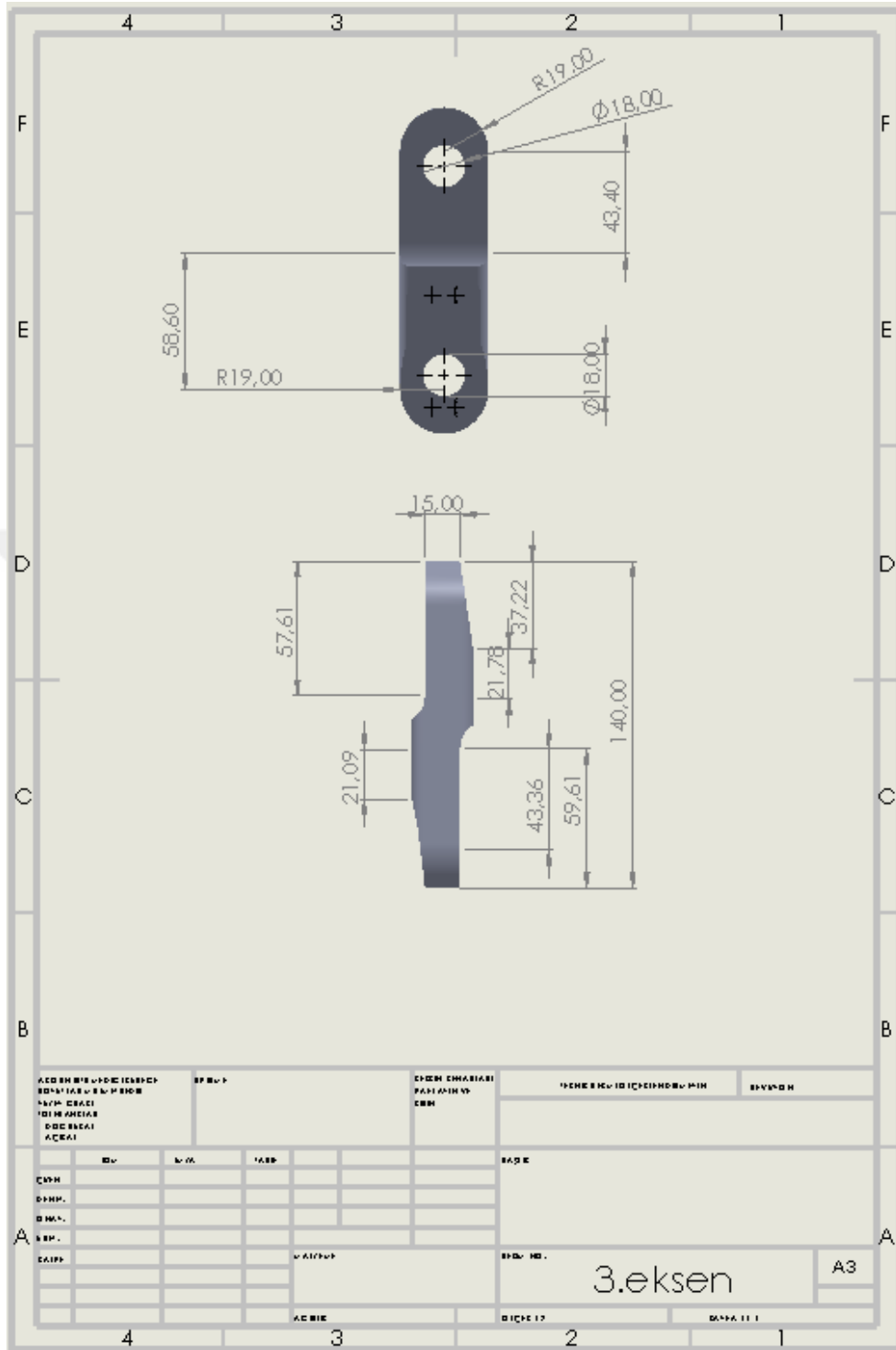
Şekil 5.8’de görülen 2. eksenin, base ve 1. eksen parçalarına montajının yapılmış şeklidir. Montajını yapılan base ve 1. eksen sayfasına 2. eksen bileşen ekle kısmından eklenerek servo motorun montajını engellemeyecek şekilde yerleştirilmiştir.

### 5.4 Manipülator 3. Eksen

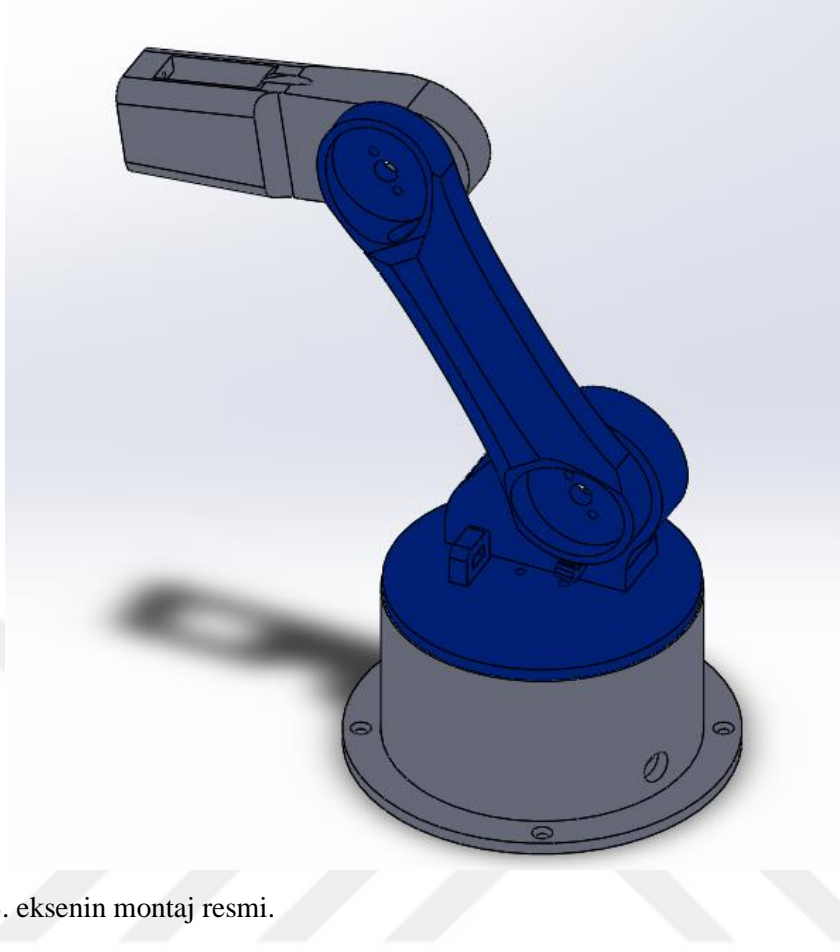
Manipülatorün 3. eksenini ana eksenlerden birisidir ve yardımcı olan 4, 5 ve 6. eksenleri üzerinde taşımakla ve ana yükü taşımakla görevlidir.



Şekil 5.9 Manipülatorün 3. eksen izometrik görünümü.



Şekil 5.10 Manipülator 3. eksen teknik resmi.

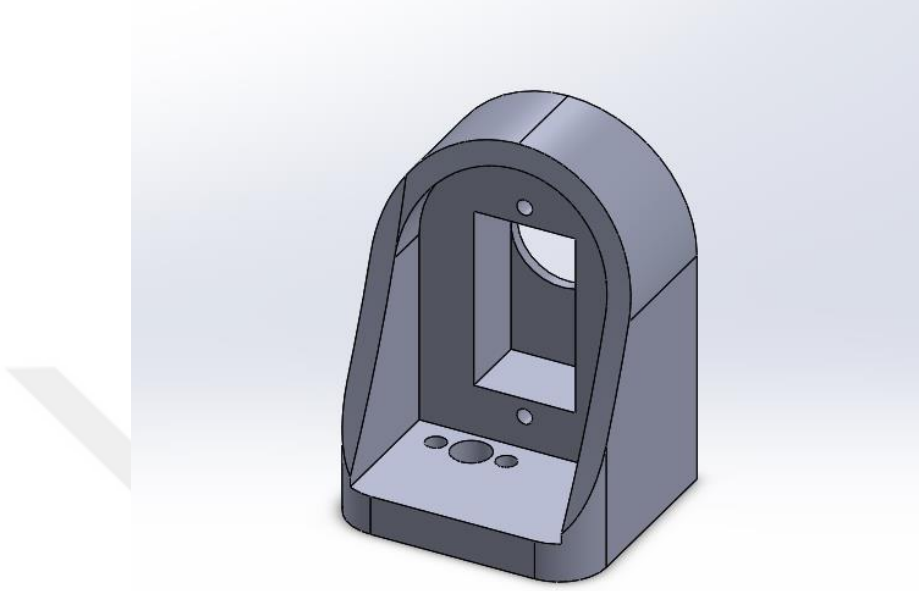


**Şekil 5.11** 3. eksenin montaj resmi.

Şekil 5.11’de 3. eksenin 2. eksene montajı görülmektedir. Daha öncesinden montajını yapılan montaj sayfasına 3. eksen bileşen ekle kısmından çağırılarak 2. eksene montajı gerçekleştirilmiştir.

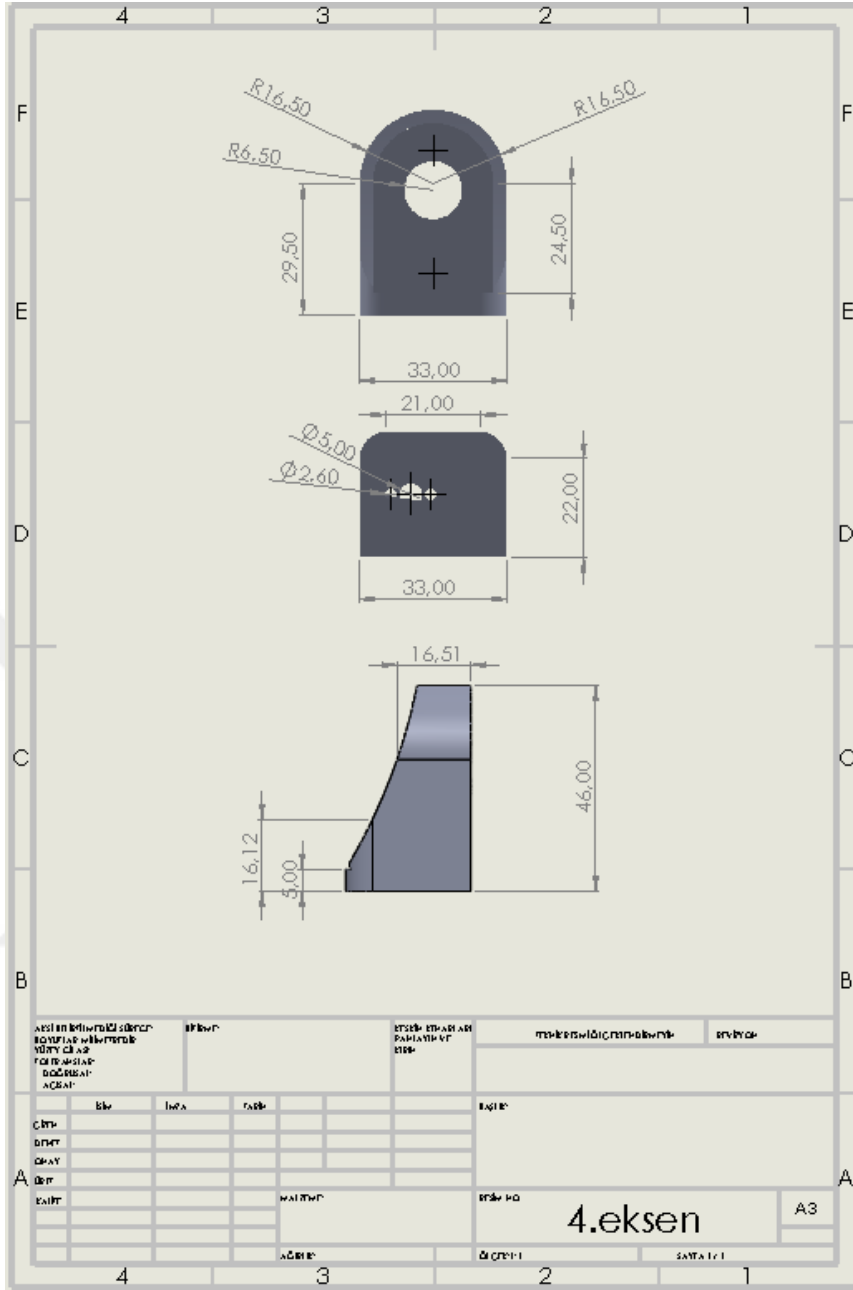
### 5.5 Manipülâtör 4. Eksen

Manipülâtörün 5 ve 6. eksen servo motorları genellikle 4. eksen üzerinde olmaktadır. Tıpkı 2. eksen gibi 5. ve 6. eksenleri üzerinde barındırmaktadır.

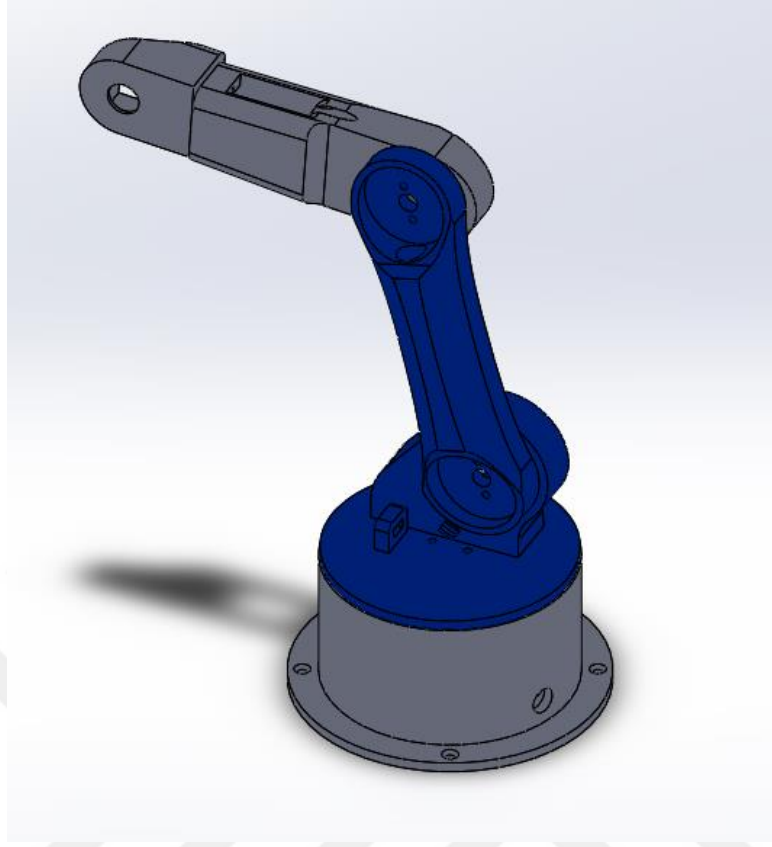


Şekil 5.12 Manipülâtör 4. eksen izometrik görünümü.





Şekil 5.13 Manipülör 4. eksen teknik resmi.

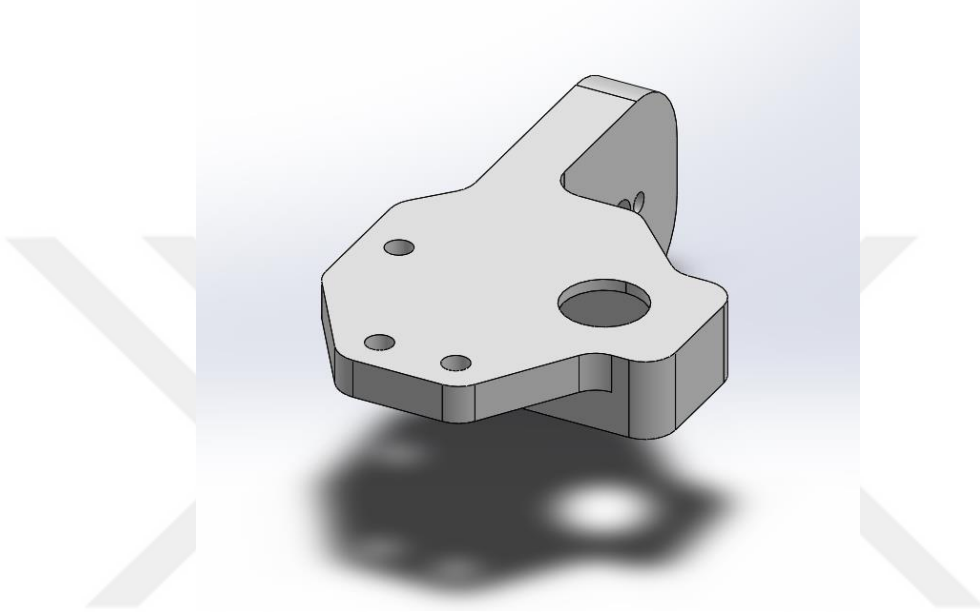


**Şekil 5.14** 4. eksenin montaj görünümü.

Şekil 5.14'te görülen 4. eksenin 3. eksene montaj halidir. Montajı yapılan eksenlere, bileşen ekle kısmından 4. eksen eklenerek montajı gerçekleştirilmiştir. Günümüz endüstriyel manipulatörlerde genellikle 4. eksen, 5. ve 6. eksenleri üzerinde barındırmaktadır. Manipulatörün tasarımını gerçekleştirirken bu kriterleri göz önünde bulundurarak işlemimizi gerçekleştirilmiştir.

## 5.6 Manipülator 5. Eksen

Manipülatorün 5. eksen tutucu (gripper) montajının yapıldığı yerdir. Yardımcı eksen olmakla birlikte tutucunun aşağı ve yukarı hareketi sağlayan servo motora bağlandığı kısımdır.

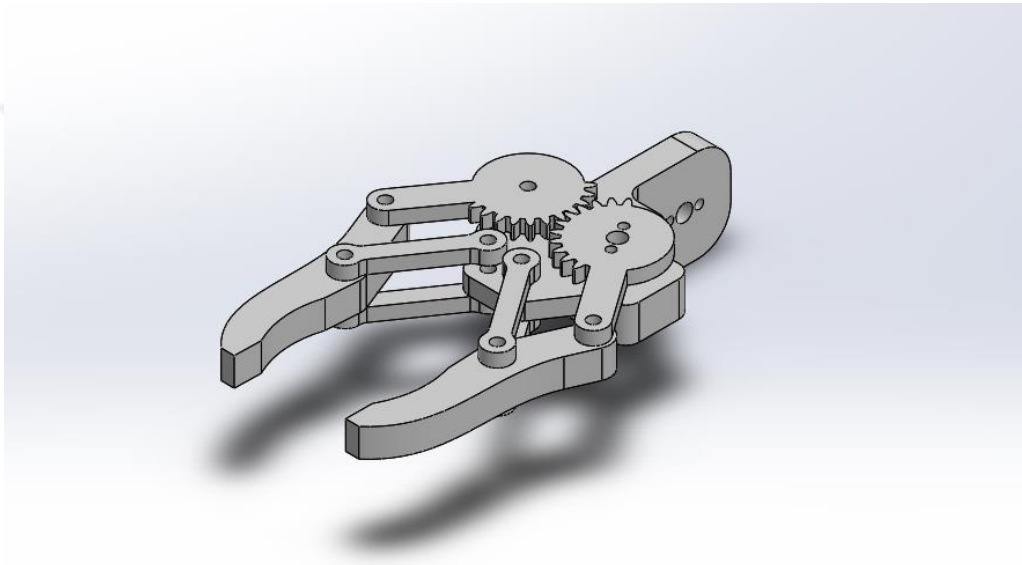


Şekil 5.15 Tutucu (Gripper) şasesi izometrik görünümü.



## 5.7 Tutucu (Gripper) ve Parçaları

Endüstride kullanılan tutucular kullanılacak çalışma alanına ve iş parçasına göre birçok parçadan meydana gelmektedir. Tasarlanan manipülatörün tutucu kısmı 3 farklı parçadan oluşmaktadır. Dişli grubu, servo motorun dönmesiyle beraber çenenin kapanmasını sağlayan kısım, dişli grubundan aldığı kuvveti tutucunun çenesine aktarmayı sağlayan bağlantı elemanı ve tutucunun çene kısımlarından oluşmaktadır.

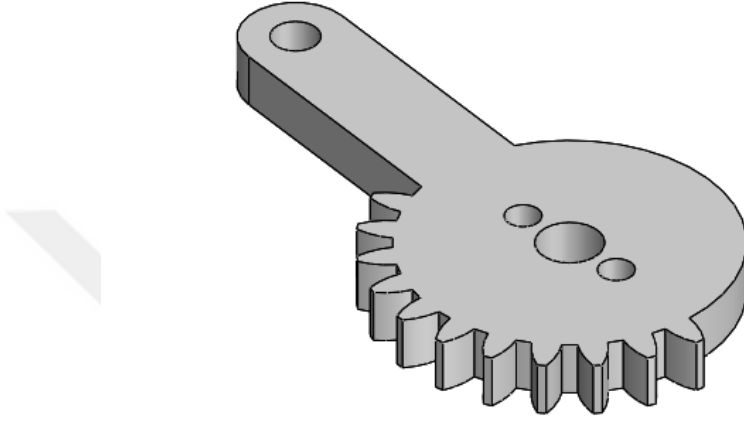


Şekil 5.17 Tutucu (Gripper) montaj izometrik görünümü.

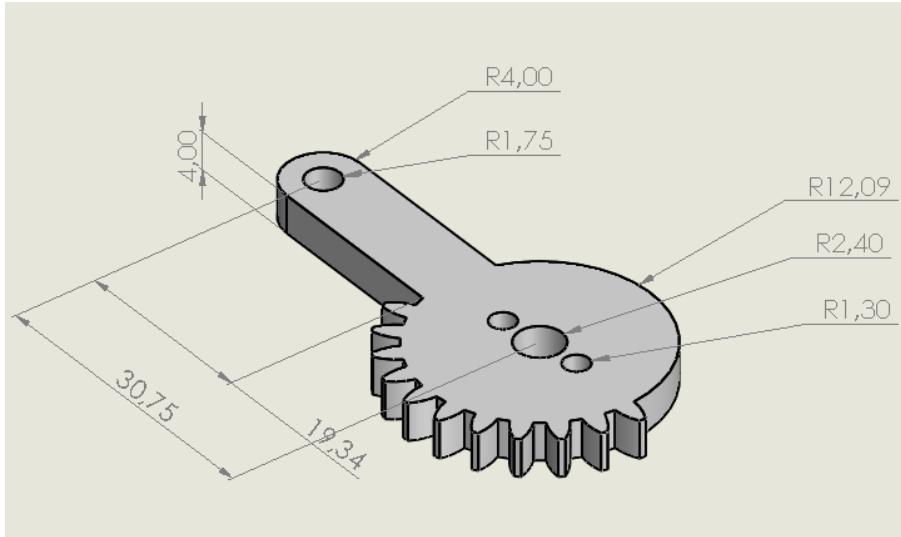
### 5.7.1 Tutucu Dişli Grubu

Dişli grupları, makine elemanlarının en sık kullanılan parçalarından birisidir. Tam anlamı ile, bir hareketi diğer parçaya aktarmaya yarayan makine parçasıdır. Temelde, üzerinde dişler bulunan ve bu dişleri birbirinin kavradığı sistemlerde yer alan dişli çarklar, özel imalat yöntemleri ile üretilirler ve kullanım şekillerine göre çeşitlendirilebilirler. Bir dişli grubunda en az iki dişli çark olmak zorundadır. Döndüren ve dönen olmak üzere dişliler adlandırılır. Aynı zamanda harekete yön vermek amaçlıda dişli grupları kullanılabilirler. Hız artırma, hız azaltma gibi uygulamalarda da dişli çarklar kullanılırlar. Dişli grubunun genel özellikleri ise şöyledir;

- Dişli çark mekanizmaları zorunlu hareket mekanizmalarıdır.
- Dişliler kendilerine has teknolojisi (imalar metotları, takım tezgâhları, kesici takımlar, ölçme metot cihazları), standartları ve hesap yöntemleri olan elamanlardır.



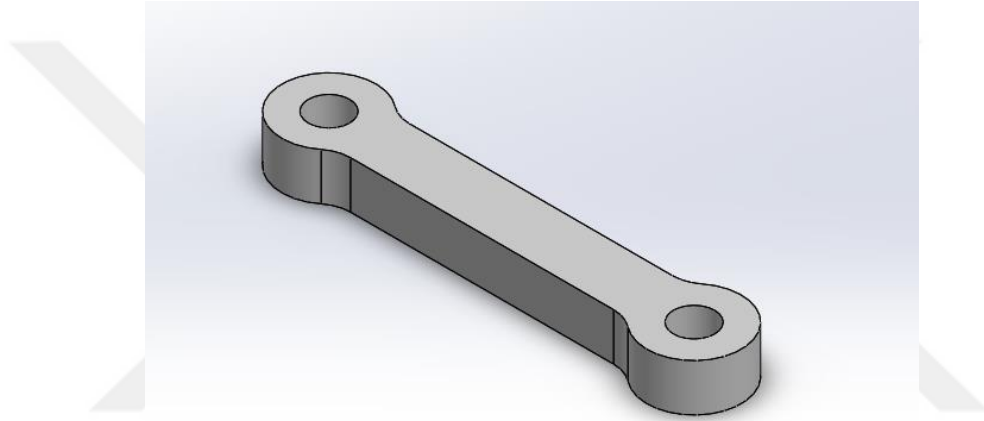
Şekil 5.18 Tutucu (Gripper) dişli elemanı.



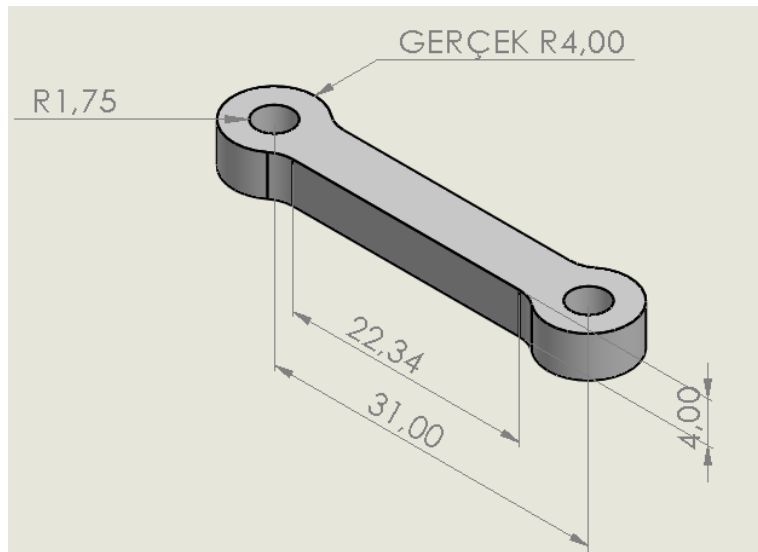
Şekil 5.19 Dişli elemanı teknik resmi.

### 5.7.2 Tutucu Kuvvet Aktarma Grubu

Genel anlamda kuvvet aktarma elemanlarının görevi, güç kaynağı olan servo motor veya döndüren eleman ile döndürülen eleman arasındaki irtibatı sağlamak ve döndüren elemanın verdiği kuvvet ve torku dönen elemana eksiksiz olarak aktarmaktır. Endüstride genellikle kuvvet aktarma elemanları olarak kaplinler ve kavramalar kullanılmaktadır. Kaplinlerde bağlantı mekanik olarak gerçekleşmektedir. Kaplinlerin görevi ise dönen iki mil arasındaki bağlantıyı sağlamaktır. Tasarımını yapılan kuvvet aktarma elemanı ise kapline görevi açısından benzemektedir.



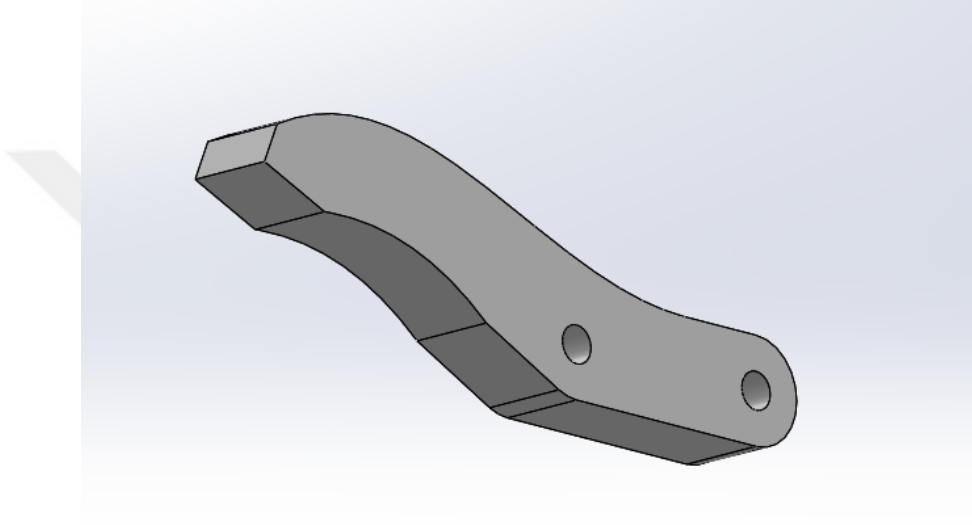
Şekil 5.20 Tutucu (Gripper) kuvvet aktarma elemanı.



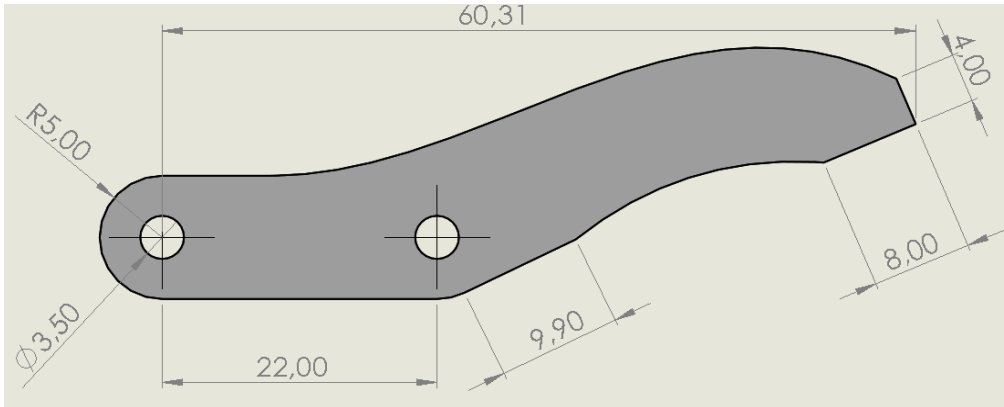
Şekil 5.21 Kuvvet aktarma elemanı teknik resmi.

### 5.7.3 Tutucu Çene Grubu

Endüstride, bir parçayı taşıma veya sabitleme amacıyla kullanılan mekanik, pnömatik veya elektrikli ekipman elemanlarından birisi de tutucu çene grubudur. Geçmişte endüstride insan gücüyle yapılan birçok uygulama günümüzde robotlar ve otomatik sistemler ile yapılmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri de gelişen teknolojiyle beraber tasarlanan tutucu ve tutucu elemanlarının işlevselliğidir.

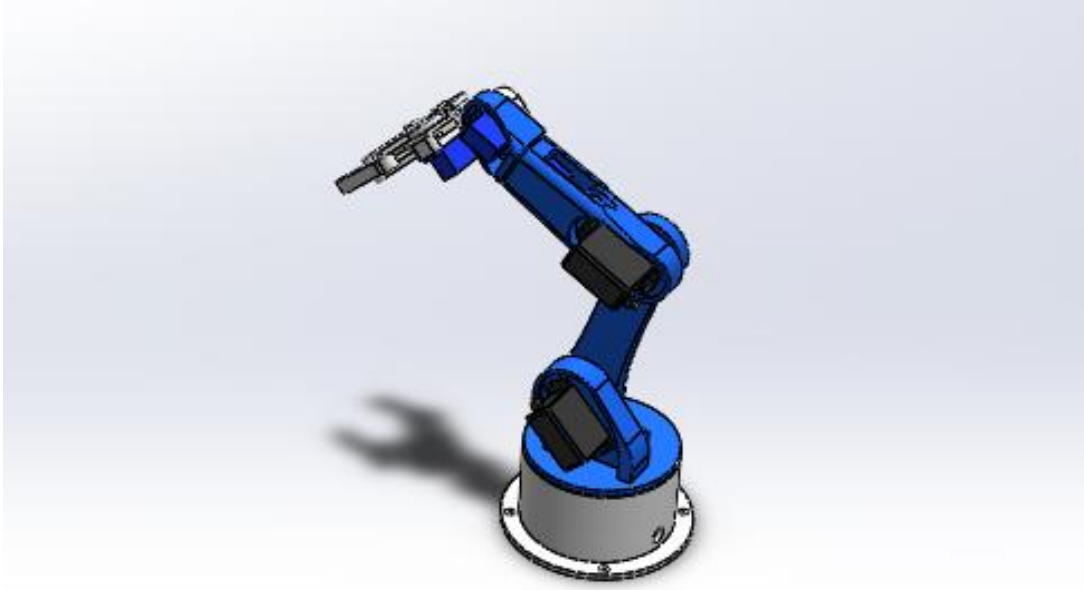


Şekil 5.22 Tutucu çene elemanı.



Şekil 5.23 Tutucu çene elemanı teknik resmi.





**Şekil 5.24** Manipülâtörün montaj görünümü.

Şekil 5.24'te manipülâtörün eksenleri arasında ve servo motorların montaj hali SolidWorks uygulamasında yapılmıştır.

## **5.8 Atmega-328P Mikrodenetleyici Programlama**

Arduino kartlarının donanımında bir adet Atmel AVR mikrodenetleyici (Atmega328, Atmega vb.) ve programlama ce diğer devrelere bağlantı için gerekli yan devre elemanları bulunmaktadır. Her Arduino elektronik kartında 5 V regüle entegresi ve bir adet 16 MHz kristal osilatör bulunmaktadır. Arduino kartlarında programlama için harici bir yazılıma ihtiyaç duyulmaz, çünkü karttaki mikrodenetleyici önceden bir Bootloader programı yazılmıştır.

Arduino'nun geliştirme ortamı (Integrated Development Enviroment, IDE) ve kütüphanelerden oluşmaktadır. Projemizde kullanacağımız bir kütüphane de Servo kütüphanesidir. Kütüphaneler ise C ve C++ dillerinde yazılmaktadır. Bu kütüphaneleri ise kolaylıkla programlanabilmektedir. Analog ve dijital sinyalleri alarak bu sinyalleri programlama yardımıyla işleyip hedefimize ulaşabilmekteyiz.

```
#include<Servo.h>

Servo eksen_1;

Servo eksen_2;

Servo eksen_3;

Servo eksen_4;

Servo eksen_5;

const byte pot_pini = A0;

const byte pot_pini_1 = A1;

const byte pot_pini_2 = A2;

const byte pot_pini_3 = A3;

const byte pot_pini_4 = A4;
```

**Şekil 5.25** Devre elemanlarının mikrodenetleyiciye tanıtılması.

Şekil 5.25'te görüldüğü üzere öncelikle projemizde kullanacağımız devre elemanları (Led, Servo Motor, Sensörler, Joystick, Potansiyometre vb.) mikrodenetleyiciye tanıtılmıştır. #Include<Servo.h> kısmında mikrodenetleyici de bulunan birçok kütüphaneden biri olan servo motoru aktif eden kütüphane çağırılmıştır. Bu kütüphane mikrodenetleyici üzerinde bulunan PWM pinlerini aktif etmiş ve servo motoru kullanılabilir hale getirmiştir. Mikrodenetleyici programlanmasına başlarken Servo eksen\_1, Servo eksen\_2, Servo eksen\_3, Servo eksen\_4 ve Servo eksen\_5 yazarak kullanılan servo motorların kaç adet olduğunu ve programlamada hangi isimle çağırıldığı belirtilmiştir. Const byte pot\_pini = A0, Const byte pot\_pini = A1 , Const byte pot\_pini = A2 , Const byte pot\_pini = A3 ve Const byte pot\_pini = A4 , yazarak projede kullanılan potansiyometreleri tanıtmış ve bu potansiyometreleri hangi analog girişte kullanılacağı tanımlanmıştır.

```
int pot_deger;  
  
int pot_deger_1;  
  
int pot_deger_2;  
  
int pot_deger_3;  
  
int pot_deger_4;
```

**Şekil 5.26** Potansiyometrelerin pot değerleri.

Kullanılan potansiyometrelere verilen değerleri mikrodenetleyici de işlemek için her bir potansiyometreye pot\_deger atanmıştır. Mikrodenetleyici analog girişlerden verilen sinyaller, 0-1023 pils aralığında okunup işlenerek servo motorun dönmesini ve istenilen açıya gelmesini sağlamıştır.

```
void setup ()  
{  
  
    Serial.begin(9600);  
  
    eksen_1.attach(3);  
  
    eksen_2.attach(5);  
  
    eksen_3.attach(6);  
  
    eksen_4.attach(9);  
  
    eksen_5.attach(10);  
  
}
```

**Şekil 5.27** Arduino Void Setup.

Seri iletişim en basit anlamıyla dijital bilginin, 0 ve 1'in tek bir hat üzerinde art arda iletilmesi anlamına gelmektedir. Bu birimler sayesinde seri iletişim kararlılıkla işlemektedir. Bu birimler UART/USART olarak isimlendirilmiştir.

Seri iletişimde belirli formatlar kullanılmıştır. Bu formatlarda veriler baytlar olarak iletilmektedir. Programımızda Setup () fonksiyonunun içerisinde Serial.begin(9600) Şeklinde çağırdığımız iletişim fonksiyonu ile iletişim hızı ayarlanmıştır. Seri haberleşmede iletişim hızını 'baud' adı verilen bir değerle ifade edilmektedir.

Void Setup kısmında servo motorların PWM modülünde hangi pinlerde olacağına karar vermekteyiz. Arduino Uno kartında 6 adet olan PWM pinlerinden 3, 5, 6, 9 ve 10 PWM pinlerini sırasıyla 1. Servo motor, 2. Servo Motor, 3. Servo Motor, 4. Servo motor ve 5. Servo motorlar için kullanılmıştır.



```
void loop ()
{

    pot_deger = analogRead(pot_pini);

    pot_deger_1 = analogRead(pot_pini_1);

    pot_deger_2 = analogRead(pot_pini_2);

    pot_deger_3 = analogRead(pot_pini_3);

    pot_deger_4 = analogRead(pot_pini_4);

    int yeni_deger = map(pot_deger, 0, 1023, 0, 180);

    int yeni_deger_1 = map(pot_deger_1, 0, 1023, 0, 180);

    int yeni_deger_2 = map(pot_deger_2, 0, 1023, 0, 180);

    int yeni_deger_3 = map(pot_deger_2, 0, 1023, 0, 180);

    int yeni_deger_4 = map(pot_deger_2, 0, 1023, 0, 180);

    eksen_1.write(yeni_deger);

    eksen_2.write(yeni_deger_1);

    eksen_3.write(yeni_deger_2);

    eksen_4.write(yeni_deger_2);

    eksen_5.write(yeni_deger_4);

}
```

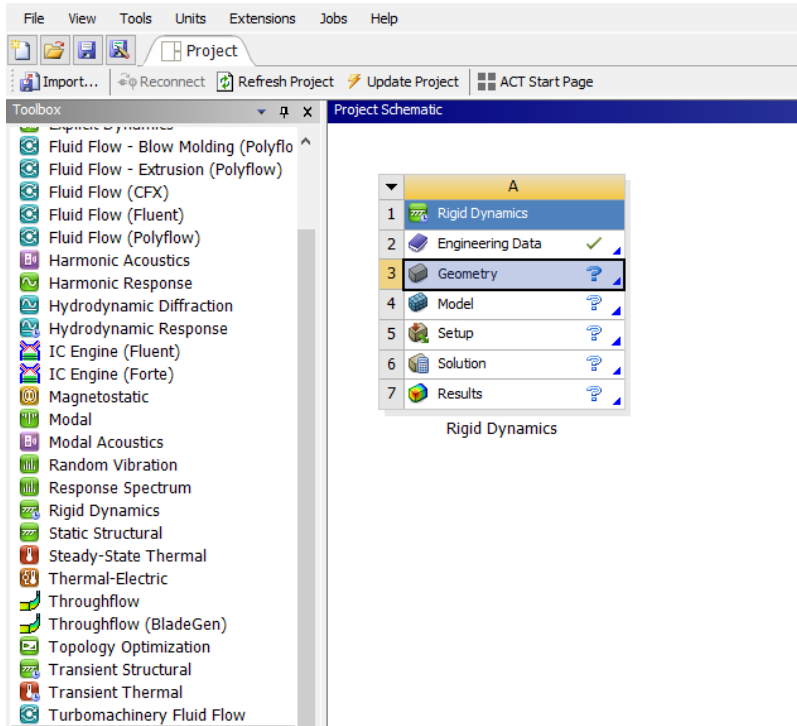
**Şekil 5.28** Arduino Void Loop.

Void Setup kısmından önce tanımladığımız Pot\_deger kodlarını, int yeni\_deger olarak ataması yapılmıştır. Buradaki amacımız pot\_deger potansiyometrelerden alınan analog input (giriş) değerlerini Atmega-328P mikrodenetleyiciye gönderip bunları işleyerek servo motorunun dönmesi sağlanmıştır. Potansiyometreden gönderilen analog değeri ADC üzerinden okuduğu ve 10 bit çözünürlüğe sahip olduğu için 0-1023 değer aralığında okunmuştur.

## 6. MANİPÜLATÖRÜN SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ

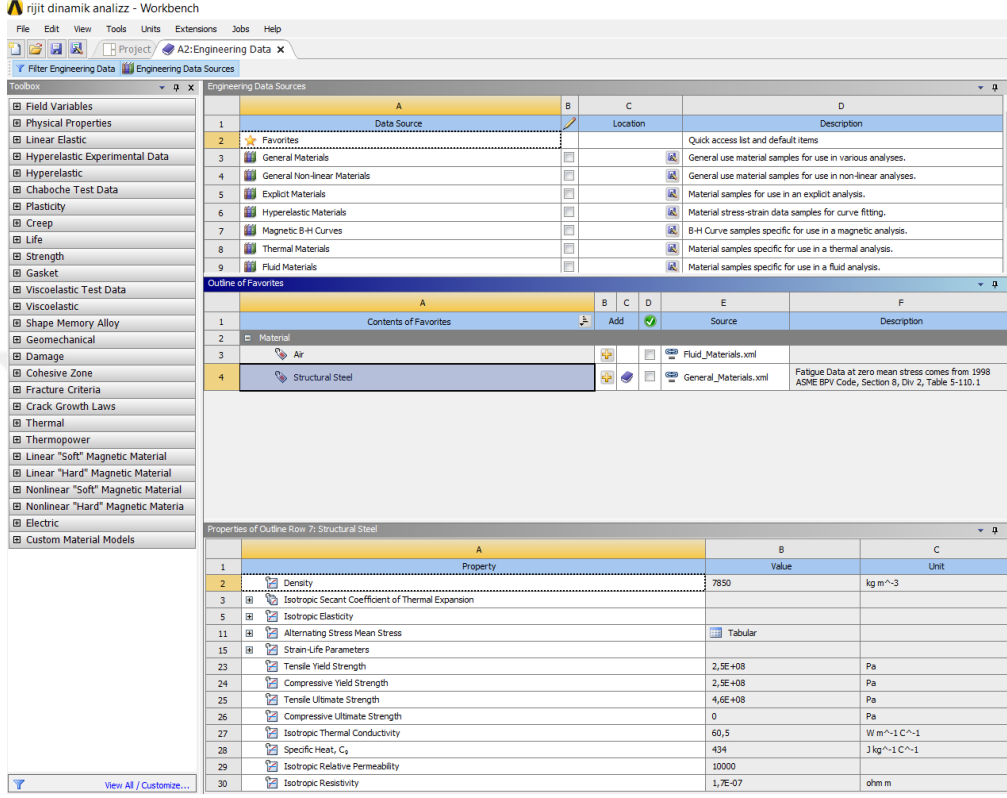
### 6.1 Sonlu Elemanlar Metodu Rijit Dinamik Analizi

Sonlu elemanlar metodu, pratikte normal yöntemlerle sonucu bulunmayan veya çözümü zor olan mühendislik problemlerinin analizinde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ilk kez 1956 yılında uçak gövdelerinin analizi için geliştirilmiş olup, daha sonraki on yıl içerisinde uygulamalı bilimler ve mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki senelerde ise bu metod ve çözüm teknikleri hızla geliştirilmiş ve günümüzde pek çok mühendislik probleminin çözümü için kullanılan en iyi metodlardan biri haline gelmiştir. Sunulan bu çalışmada, bilgisayar destekli çizim programında 2B model tasarımı yapılan manipülatör, ANSYS yazılım ortamına çağırılarak analizlerinin yapılması hedeflenmektedir. Öncelikle bilgisayar destekli çizim programında yapılan modeli ANSYS yazılımına uygun .x\_t uzantısı olarak kaydedilmiştir. ANSYS WorkBench platformu açılarak, tasarlanmış manipülatörün rijit dinamik analizini yapmak için tool box kısmından rijit dinamik analiz parametresi sürüklenerek proje Şeması (project schematic) kısmına bırakılmıştır.



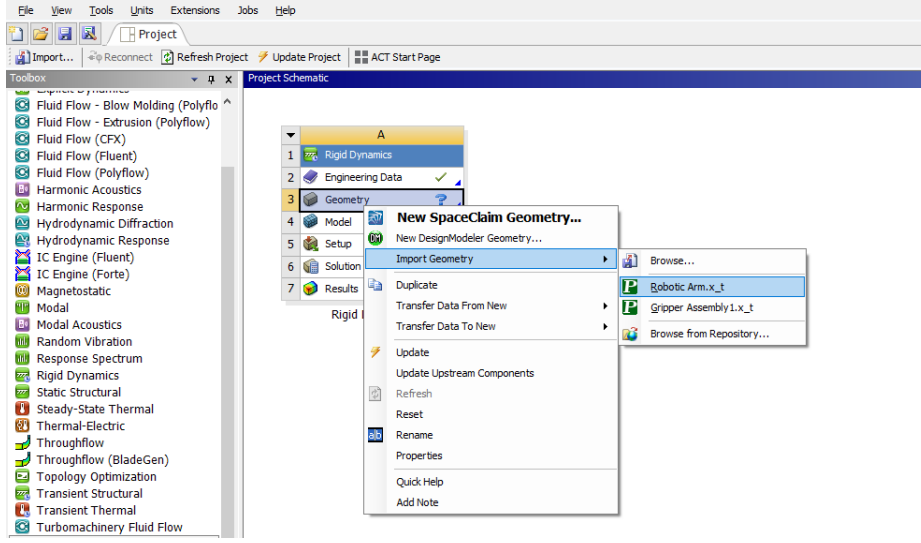
Şekil 6.1 Rijit dinamik analizin proje şeması kısmına yüklenmesi.

Rijit Dinamik analizi Proje Şeması kısmına yükledikten sonra, tasarımını yapmış olduğumuz manipülâtörün hammaddesi olan filament (PLA) hammaddesini, mühendislik verileri (Engineering Data) butonundan seçilmiştir.



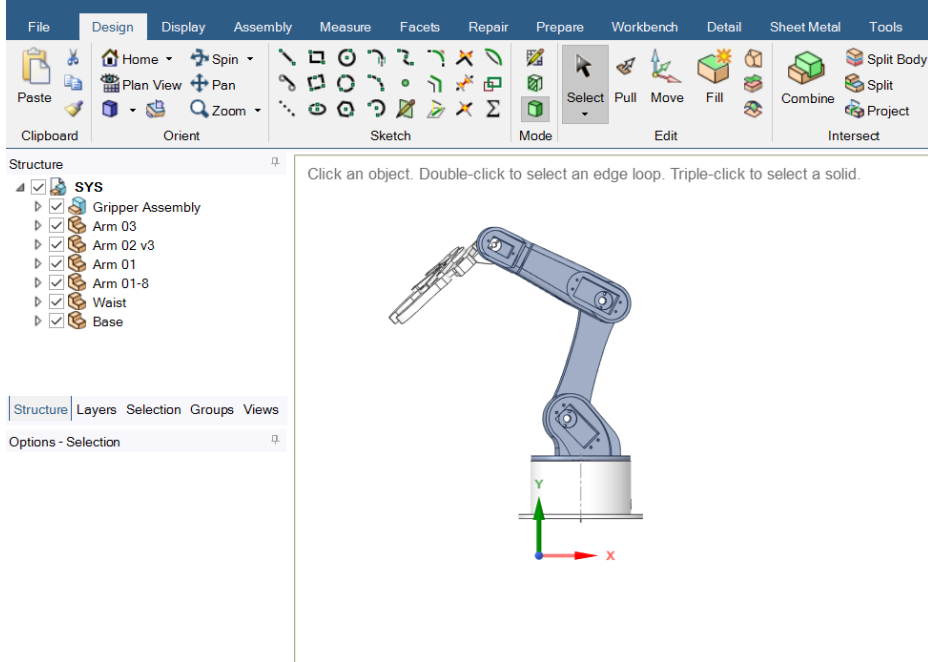
Şekil 6.2 Mühendislik verilerinden polilaktik asit hammaddesinin seçimi.

Hammadde seçmemizin sebebi ise, Rijit Dinamik Analiz sonuçlarının doğru bir şekilde çıkması için yapılmıştır. Çıkan analiz sonuçlarına göre, tasarımda iyileştirilmelerin yapılması hedeflenmektedir. Hammadde seçimi sonrası, .x\_t uzantılı olarak kaydedilen 2B manipülâtör tasarımı (Robotic Arm.x\_t) Geometri (Geometry) butonundan Proje Şeması kısmına çağırılmıştır.



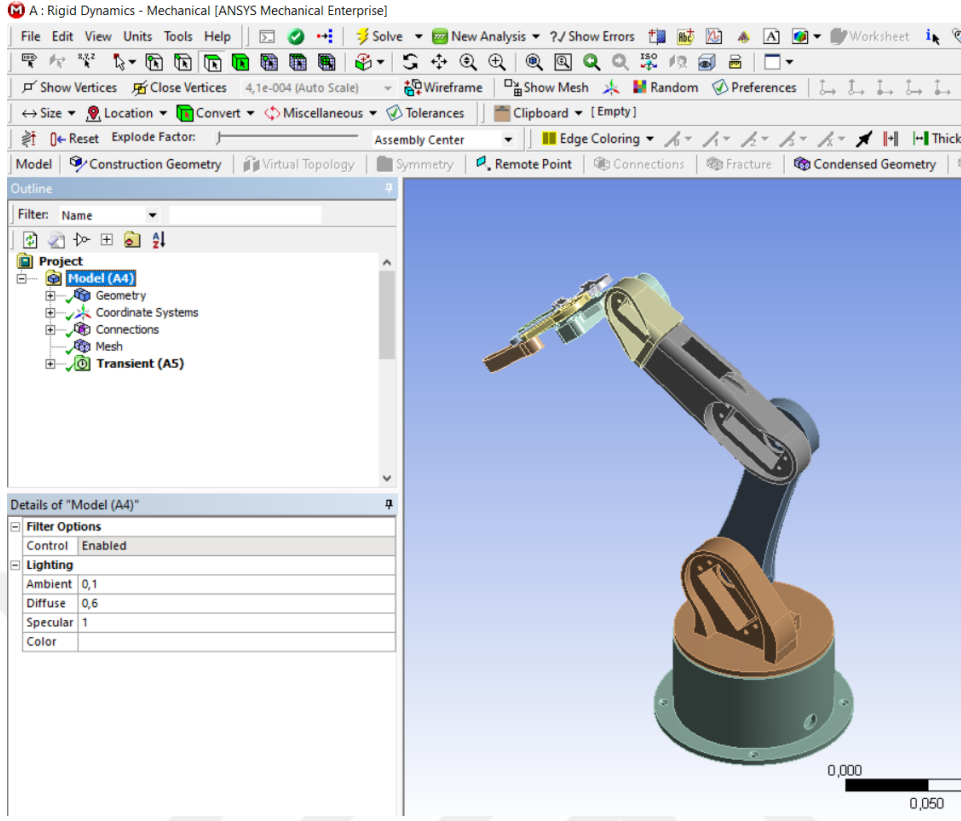
Şekil 6.3 2B Tasarımının proje şemasına Import edilmesi.

Import Geometry Model butonuna basarak, Import edilen 2B manipülatör tasarımı incelenip herhangi bir problem olmadığı gözlemlenmiştir.



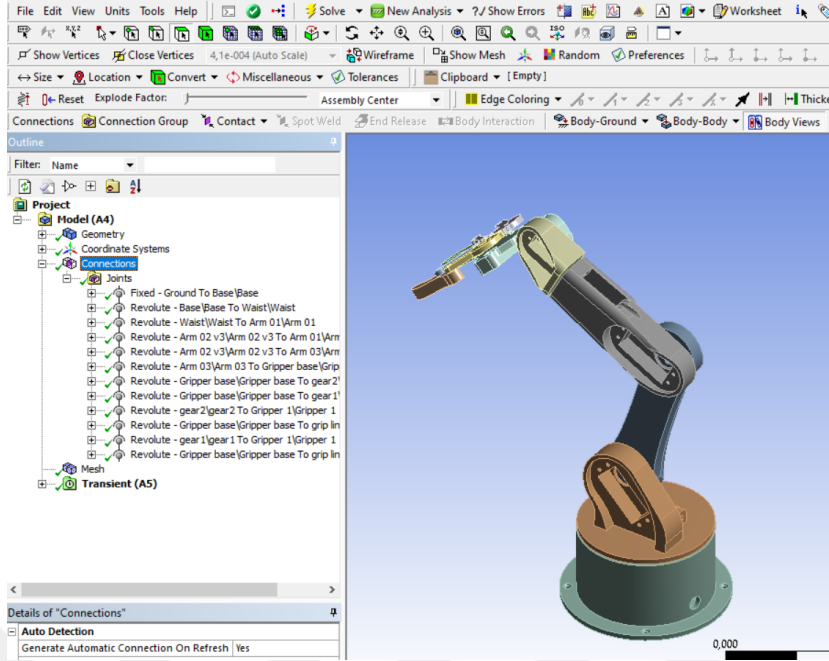
Şekil 6.4 Import edilen 2B manipülatör görünümü.



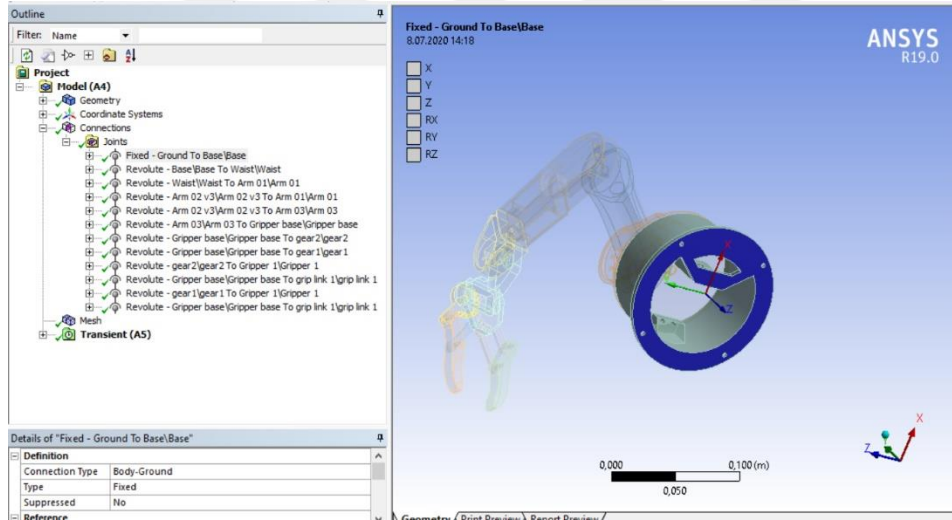


Şekil 6.5 Import geometry görünümü.

Import edilen 2B manipülör tasarımın ardından, bağlantı (Connections) parametresinden eksen-eksen bağlantıları yapılmıştır. Eksen-eksen bağlantı yapılmasının sebebi, ANSYS yazılımında montaj yerlerinin belirlenmesi ve analizin montaj yerlerine göre yapılmasını sağlamaktır. 2B tasarımı yapılmış manipülörün toplamda 12 adet bağlantı yapılmıştır. 12 bağlantıdan, 1 tanesi sabit zemin bağlantısı (fixed-ground), geri kalanı ise döner eksen (revolute-axes) bağlantısıdır. Sabit Zemin bağlantısının mantığı ise, manipülörün deneysel çalışmalarda baza parçasını zemine monte edilmesidir.

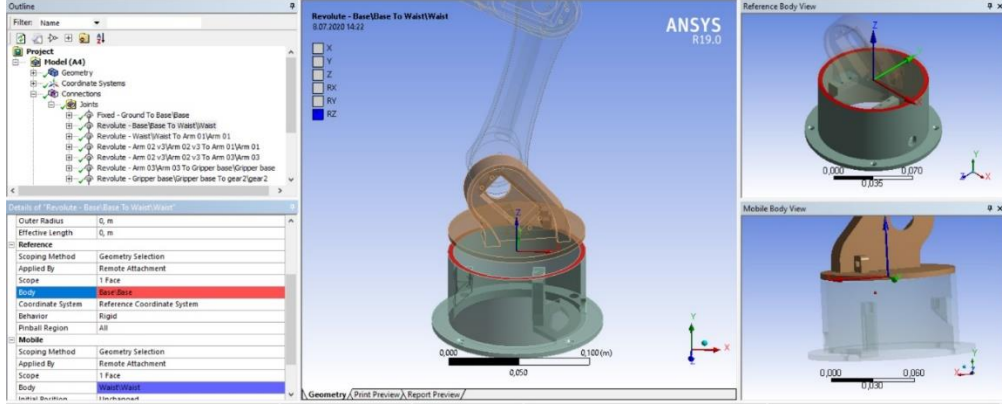


Şekil 6.6 Bağlantı (connections) parametreleri.



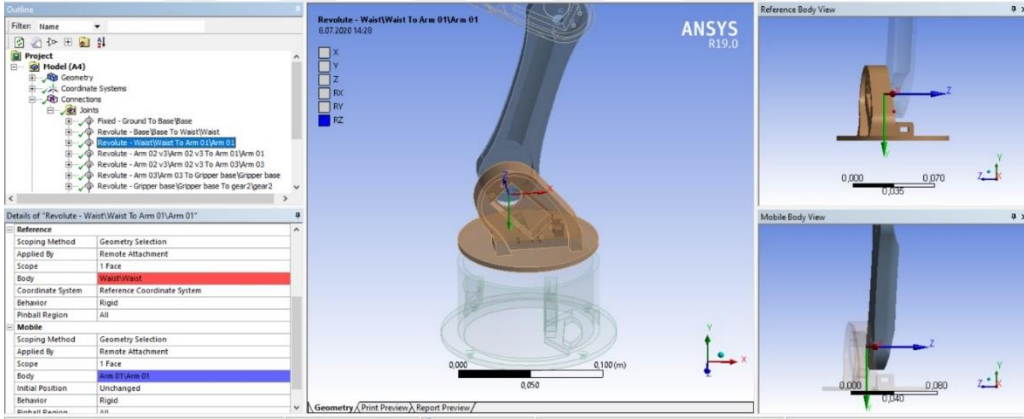
Şekil 6.7 Baza (Base) sabit zemin bağlantısı.

Baza kısmı deneysel çalışmada en alt noktasından zemine sabitlendiği için, ANSYS yazılımında da en alt noktasından zemin sabitlemesi yapılmıştır.



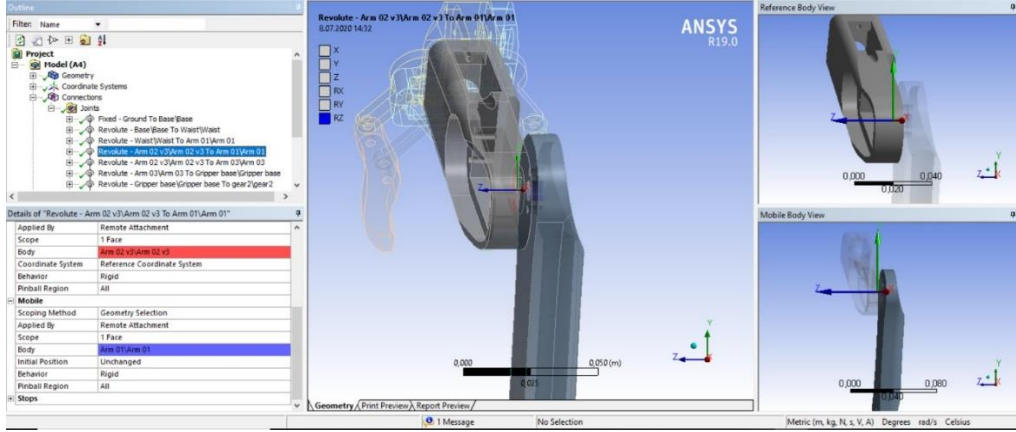
Şekil 6.8 Baza ve 1. eksen bağlantı görünümü.

Model kısmındaki eksen-eksen bağlantı parametresinden döner eksen bağlantısı seçilmiştir. Referans noktası (Reference-body) baza seçilmiş ve mobil (mobile) olarak 1. eksen seçilerek bağlantısı dönüş yönü Z eksenini olacak şekilde tamamlanmıştır.



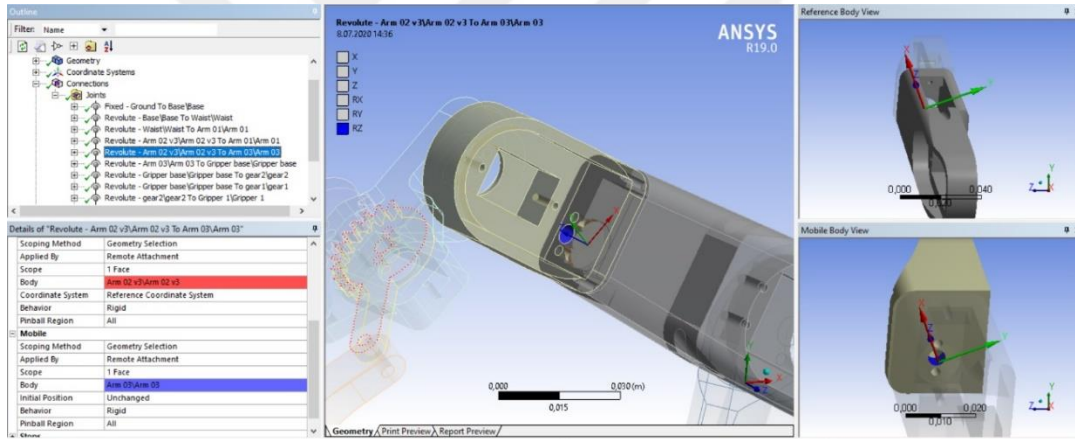
Şekil 6.9 1. eksen ve 2. eksen bağlantı görünümü.

1. eksen ve 2. eksen bağlantısında, 1. eksen referans olarak seçilmiş ve 2. eksen mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenini olacak şekilde bağlantısı yapılmıştır.



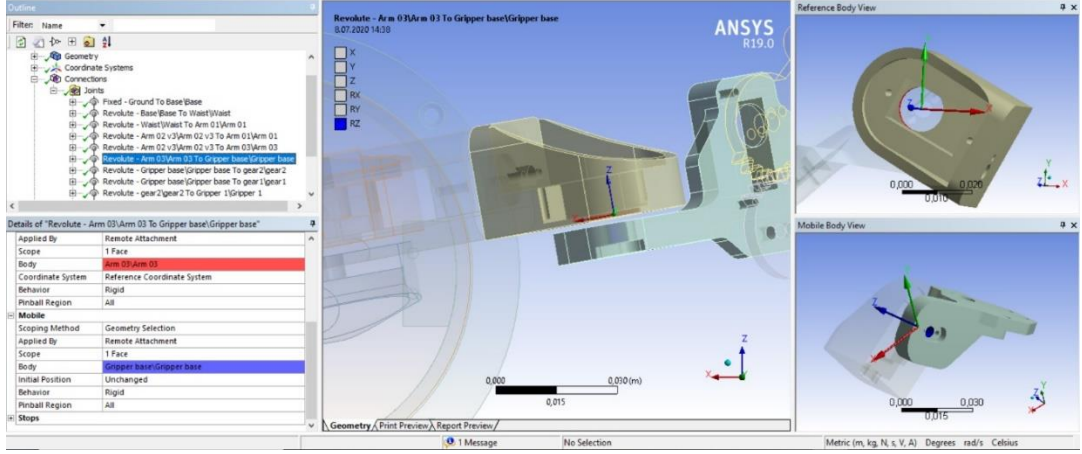
Şekil 6.10 2. eksen ve 3. eksen bağlantı görünümü.

2. eksen ve 3. eksen bağlantısında, 2. eksen referans olarak seçilmiş ve 3. eksen mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenini olacak şekilde bağlantısı yapılmıştır.



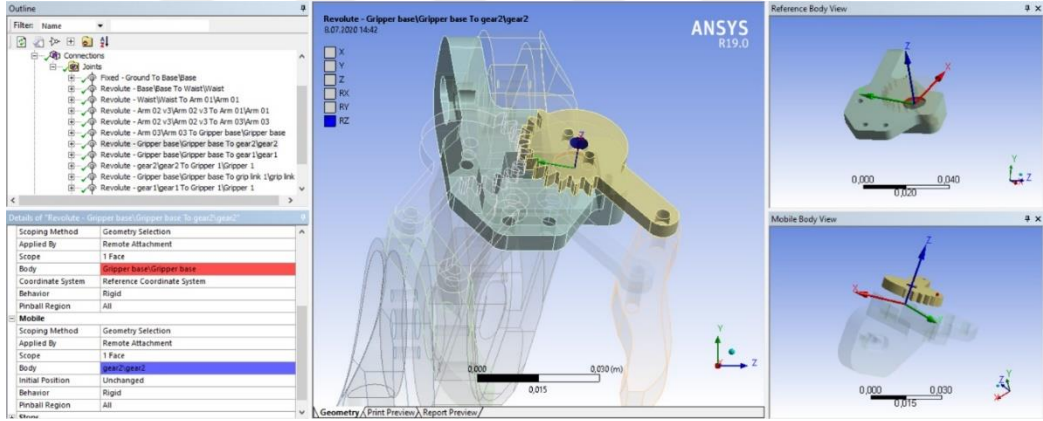
Şekil 6.11 3. eksen ve 4. eksen bağlantı görünümü.

3. eksen ve 4. eksen bağlantısında, 3. eksen referans olarak seçilmiş ve 4. eksen mobil olarak seçilerek eksenin dönüş yönü Z eksenini olacak şekilde yapılmıştır.



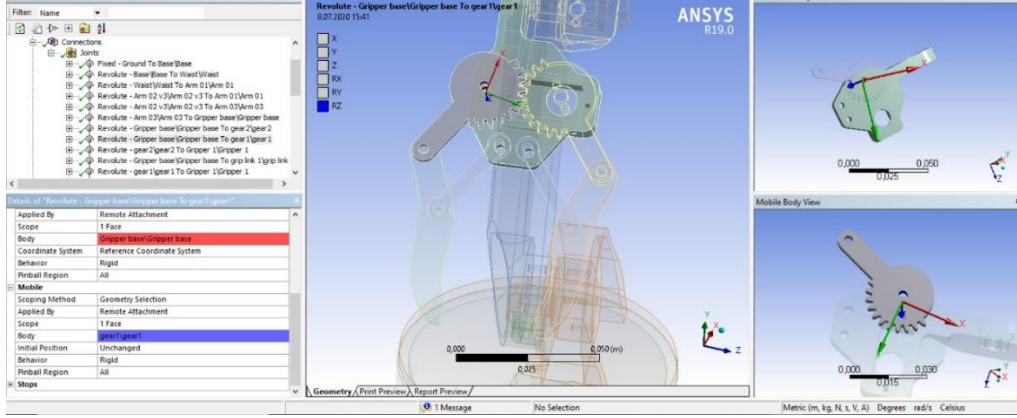
Şekil 6.12 4. eksen ve 5. eksenin bağlantı görünümü.

4. eksen ve 5. eksen bağlantısında, 4. eksen referans olarak seçilmiş ve 5. eksen mobil olarak seçilerek eksenin dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



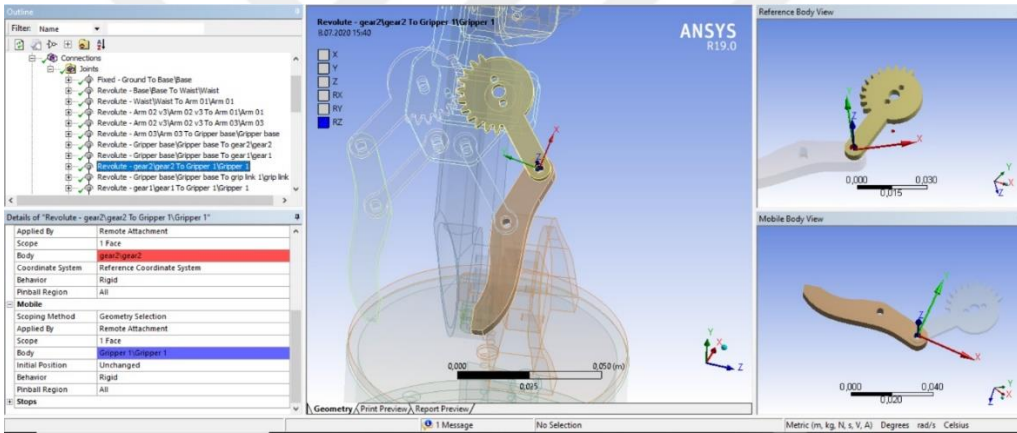
Şekil 6.13 Gripper ve dişli grubu-1 (gear-box) bağlantı görünümü.

Gripper ve dişli Grubu-1 bağlantısında, gripper gövdesi referans olarak seçilmiş ve dişli grubu-1 mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



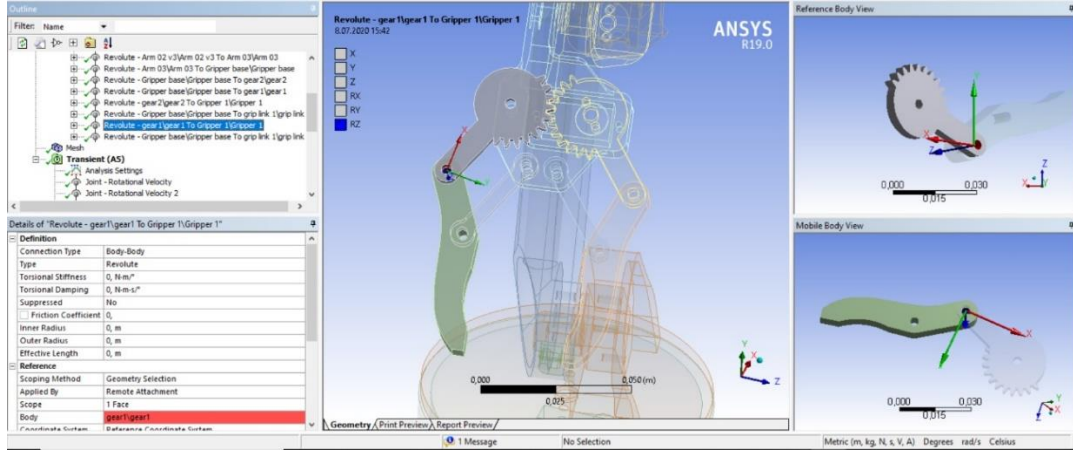
Şekil 6.14 Gripper ve dişli grubu-2 bağlantı görünümü.

Gripper ve dişli Grubu-2 bağlantısında, gripper gövdesi referans olarak seçilmiş ve dişli grubu-2 mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



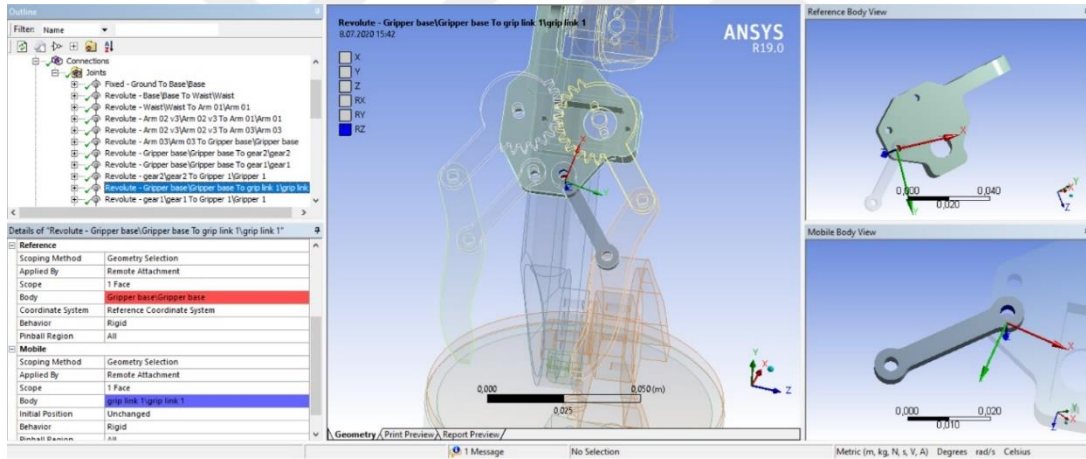
Şekil 6.15 Gripper ve dişli grubu-3 bağlantı görünümü.

Gripper ve dişli Grubu-3 bağlantısında, gripper gövdesi referans olarak seçilmiş ve dişli grubu-3 mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



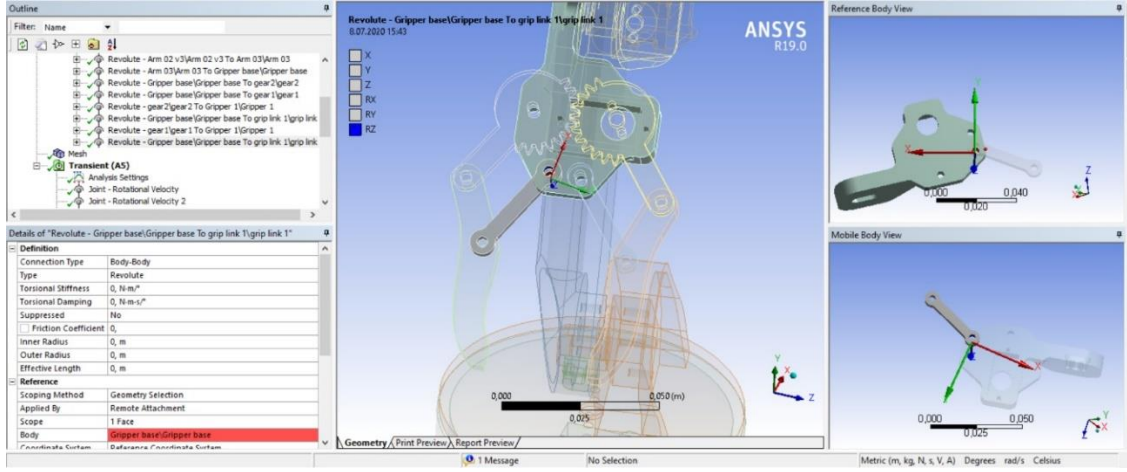
Şekil 6.16 Gripper ve dişli grubu-4 bağlantı görünümü.

Gripper ve dişli Grubu-4 bağlantısında, gripper gövdesi referans olarak seçilmiş ve dişli grubu-4 mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



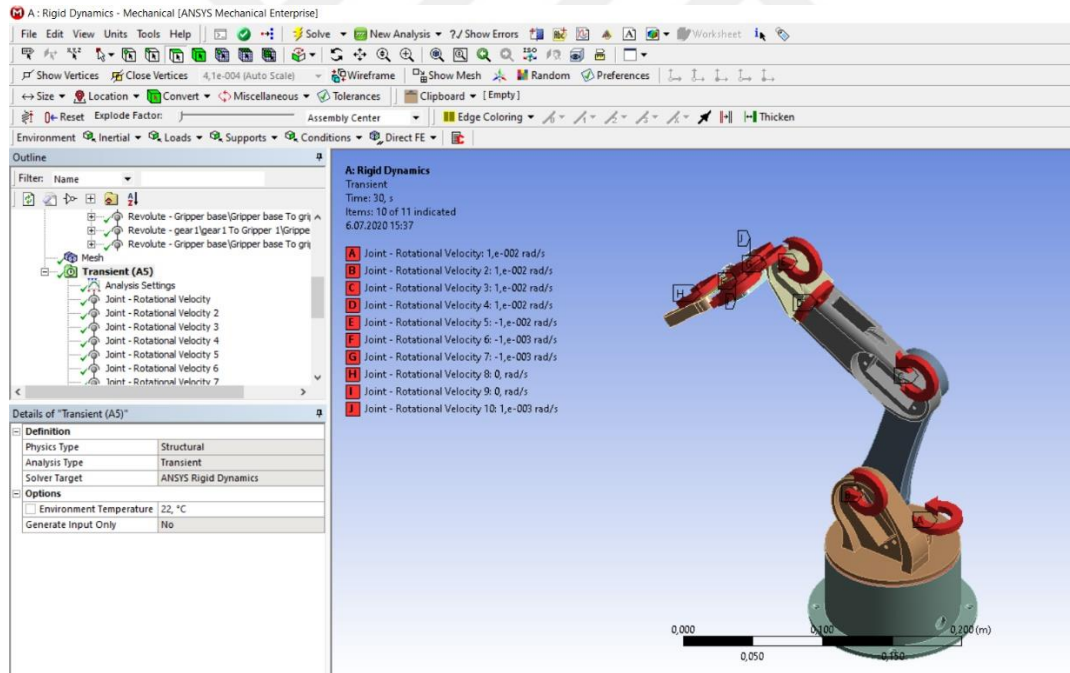
Şekil 6.17 Gripper ve dişli grubu-5 bağlantı görünümü.

Gripper ve dişli Grubu-5 bağlantısında, gripper gövdesi referans olarak seçilmiş ve dişli grubu-5 mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



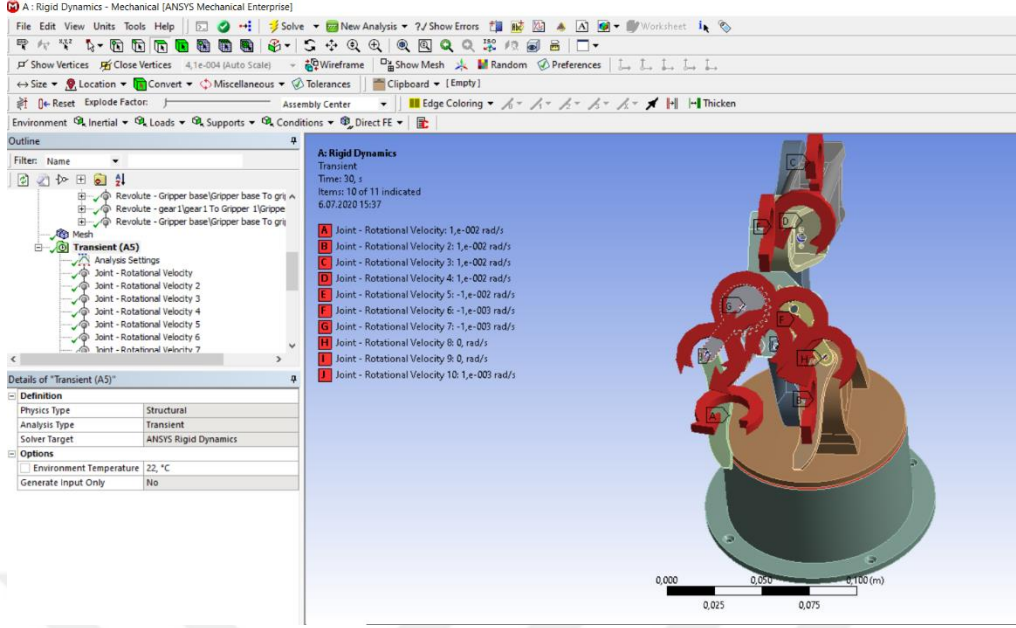
Şekil 6.18 Gripper ve dişli grubu-6 bağlantı görünümü.

Gripper ve dişli Grubu-6 bağlantısında, gripper gövdesi referans olarak seçilmiş ve dişli grubu-6 mobil olarak seçilerek dönüş yönü Z eksenine olacak şekilde yapılmıştır.



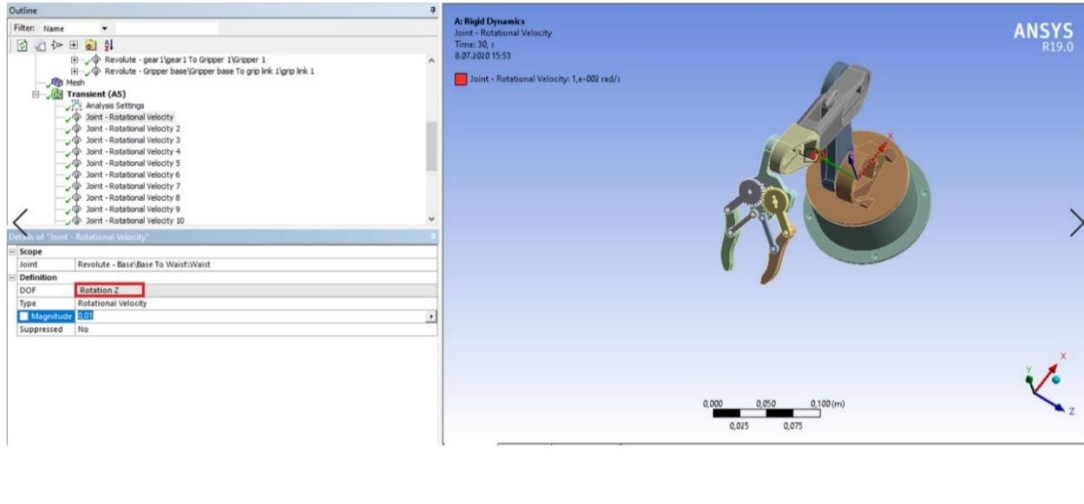
Şekil 6.19 Manipülör Z eksenine dönüş yönleri.





Şekil 6.20 Gripper ve dişli grubu Z eksenini dönüş yönleri.

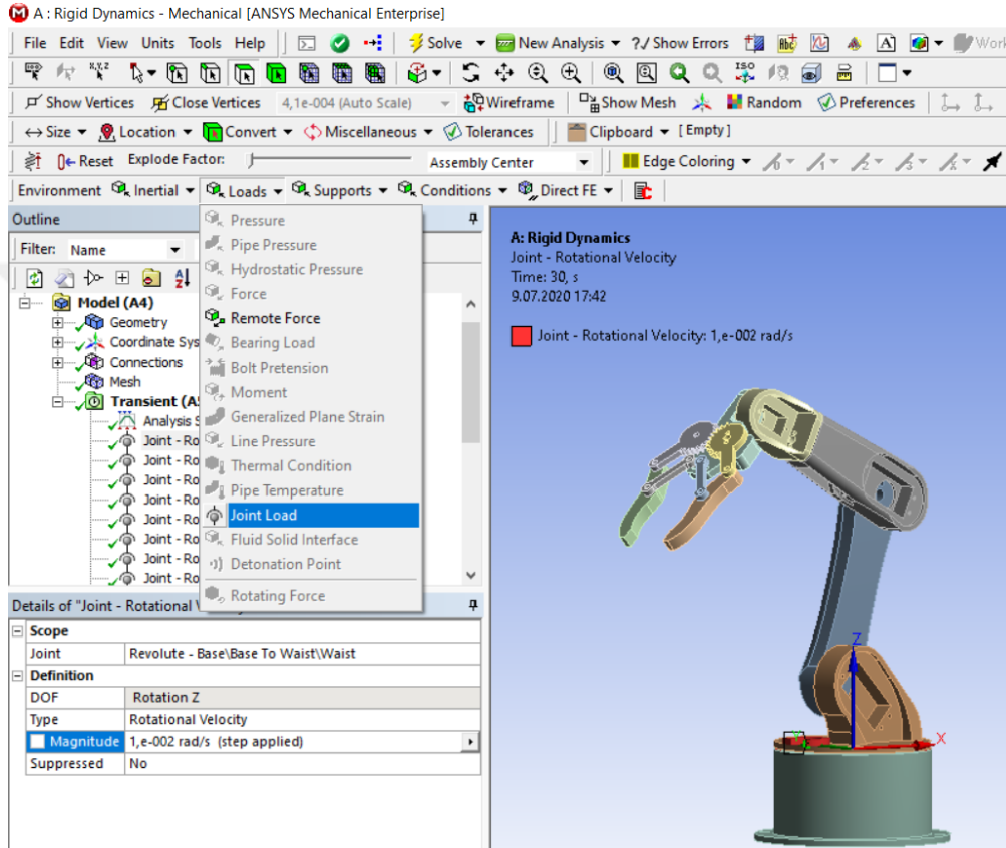
Manipülâtör, gripper ve dişli grubunun bağlantı şeklini Z eksenini referans alınarak yapılmıştır. Bunun sebebi ise, açısal dönüş analizi yaptığımız zaman ANSYS WorkBench platformu Z eksenini etrafında dönüş bazı olarak analiz yapmaktadır. X eksenini ve Y eksenini referans alırsak, manipülâtör farklı yönleri giderek Açısal Dönüş analizini yanlış yapmış olacaktır.



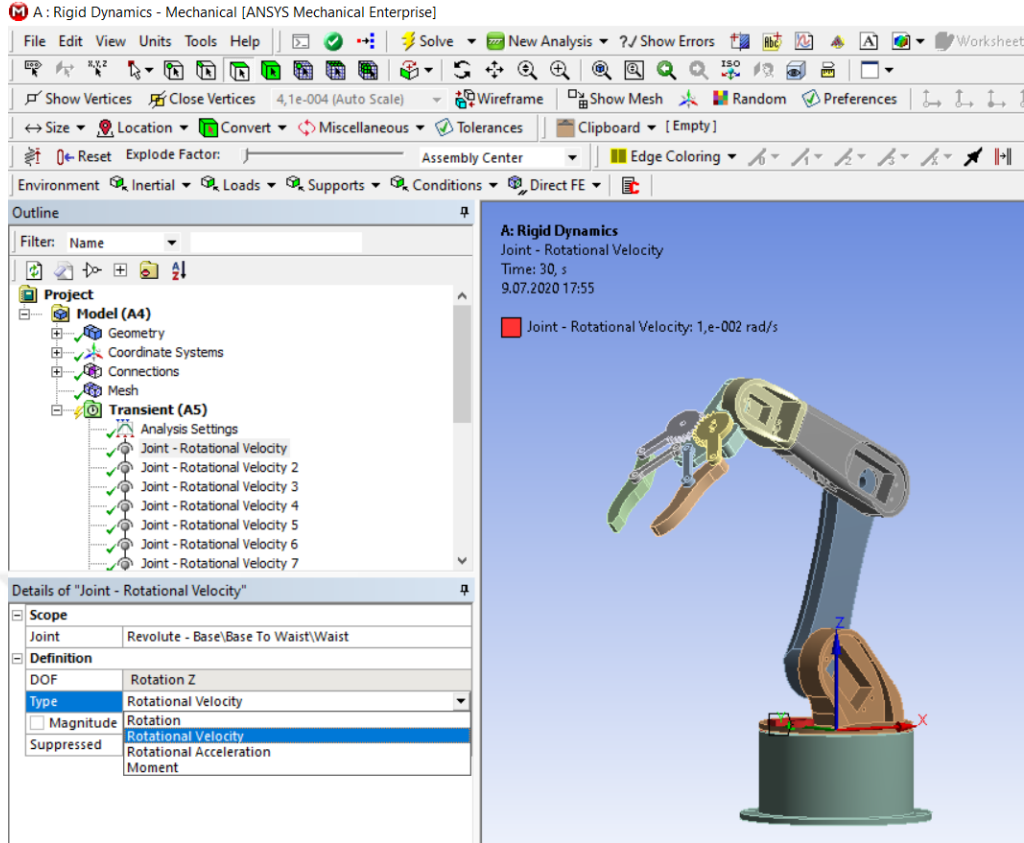
Şekil 6.21 Baza dönüş yönü ve açısal dönme parametre analizi.

## 6.1.1 Rijit Dinamik Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi

Rijit Dinamik Analizin eksen-eksen bağlantıları yapıldıktan sonra analiz için Transient sekmesinin altına “Loads” bölümünden eksen yükü (Joint Load) analiz parametresi eklenmiştir.



Şekil 6.22 Eksen yükü parametresinin eklenmesi.



Şekil 6.23 Açısal dönüş analizinin seçimi.

Eksen (Joint) seçeneğinden ilk analizi yapılacak olan baza eksenini ve 1. eksen seçilmiştir. rijit dinamik analizi için eksen yükü parametresinden açısal dönüş (rotational velocity) seçilmiştir.

## 6.2 Manipülâtör Kinematik Analizleri

### 6.2.1 Manipülâtör Ters Kinematik Probleminin Hesaplanması

Ters kinematik probleminin çözümü için manipülâtörün uç işlevcisinin istasyona göre pozisyonunu ve yönelmesini verdiği düşünölen bir matrise ihtiyaç vardır. Bu matrisi bulmak için Craig tarafından tanımlanan altı serbestlik derecesine sahip bir manipülâtörün ileri yön kinematığı Eşitlik 6.1’de gösterildiği üzere yazılmıştır.

$${}^0T_N = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (6.1)$$

$${}^0_6T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

$$[{}^0_1T]^{-1} = \begin{bmatrix} {}^0_1R^T & -{}^0_1R^T {}^0_1P \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

$${}^0_1R = \begin{bmatrix} cQ_i & -sQ_i & 0 \\ -sQ_i & cQ_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

$${}^0_1R^T = \begin{bmatrix} cQ_i & sQ_i & 0 \\ -sQ_i & cQ_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

$[{}^0_1T]^{-1} {}^0_1T = I$  olduğundan dolayı yukarıdaki denklemi daha basitleştirirsek;

$$[{}^0_1T]^{-1} {}^0_6T = {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (6.6)$$

Şeklinde ifade edilmiştir. Bu eşitliğin sonrasında oluşan eşitliklerden yararlanarak bilinmeyen açılar bulunmaya çalışılmıştır. Tüm eksenlerin açıları bulunana kadar aşağıdaki gibi matrislerin tersi alınmaya devam edilmiştir. Bu yöntem her zaman çözüm vermeyebilir.

$$[{}^0_1T {}^1_2T]^{-1} {}^0_6T = {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (6.7)$$

$$[{}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T]^{-1} {}^0_6T = {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (6.8)$$

$$[{}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T]^{-1} {}^0_6T = {}^4_5T {}^5_6T \quad (6.9)$$

$$[{}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T]^{-1} {}^0_6T = {}^5_6T \quad (6.10)$$

Bu işlem yapıldıktan sonra birtakım eşitliklere sahip olmuş oluruz. Bu eşitliklerden çözüme ulaşırken bazı trigonometrik eşitliklerden yararlanılır. Bunlardan bazıları;

$$\cos \theta = a \text{ ise } \theta = \left( \arctan2 \left( \mp \sqrt{1 - a^2}, a \right) \right) \quad (6.11)$$

$$\sin \theta = a \text{ ise } \theta = \left( \arctan2 \left( a, \mp \sqrt{1 - a^2} \right) \right) \quad (6.12)$$

$a \sin \theta + b \cos \theta = 0$  ise

$$\theta = \arctan2(a, b) + \arctan2 \left( \mp \sqrt{a^2 + b^2 - c^2}, c \right) \quad (6.13)$$

$a \sin \theta + b \cos \theta = c$  ise

$$\theta = \arctan2(a, b) + \arctan2 \left( \mp \sqrt{a^2 + b^2 - c^2}, c \right) \quad (6.14)$$

Eşitlik 6.14'ten yola çıkılarak bulunan matrisin her bir elemanına karşılık olarak eşitlersek aşağıdaki eşitlikleri elde ederiz.

$$\cos \theta_1 r_{11} + \sin \theta_1 r_{21} = \cos \theta_2 \quad (6.15)$$

$$\cos \theta_1 r_{12} + \sin \theta_1 r_{22} = -\sin \theta_2 \quad (6.16)$$

$$\cos \theta_1 r_{13} + \sin \theta_1 r_{23} = 0 \quad (6.17)$$

$$\cos \theta_1 p_x + \sin \theta_1 p_y = l_2 \cos \theta_2 + l_1 \quad (6.18)$$

$$-\sin \theta_1 r_{11} + \cos \theta_1 r_{21} = \sin \theta_2 \quad (6.19)$$

$$-\sin \theta_1 r_{12} + \cos \theta_1 r_{22} = \sin \theta_2 \quad (6.20)$$

$$-\sin \theta_1 r_{13} + \cos \theta_1 r_{23} = 0 \quad (6.21)$$

$$-\sin \theta_1 p_x + \cos \theta_1 p_y = l_2 \cos \theta_2 \quad (6.22)$$

$$r_{31} = 0 \quad (6.23)$$

$$r_{32} = 0 \quad (6.24)$$

$$r_{33} = 0 \quad (6.25)$$

$$p_z = 0 \quad (6.26)$$

Ters yön kinematığının sonucunu bulmak için kol (eksen) uzunlukları cinsinden elde edilmelidir. Bu nedenle Eşitlik 6.18 ve 6.22'nin kareleri alınıp toplanmıştır. Çıkan sonucu Eşitlik 6.27'de elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \cos^2 \theta_1 P_x^2 + \sin^2 \theta_1 P_y^2 + \sin^2 \theta_1 P_y^2 + \cos^2 \theta_1 P_y^2 \\ = l_2^2 \cos^2 \theta_2 + 2l_1 l_2 \cos \theta_2 + l_1^2 + l_2^2 \sin^2 \theta_2 \end{aligned} \quad (6.27)$$

$$\begin{aligned} \cos^2 \theta_1 P_x^2 + \sin^2 \theta_1 P_y^2 + \sin^2 \theta_1 P_y^2 + \cos^2 \theta_1 P_y^2 \\ = l_2^2 \cos^2 \theta_2 + 2l_1 l_2 \cos \theta_2 + l_1^2 + l_2^2 \sin^2 \theta_2 \end{aligned} \quad (6.28)$$

Eşitliğin sol tarafını  $P_x^2$  ve  $P_y^2$ , sağ tarafını ise  $l_2^2$  parantezine alınmıştır. Çıkan sonucu Eşitlik 6.29'da elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} (\cos^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2) P_x^2 + (\sin^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_2) P_y^2 \\ = l_2^2 (\cos^2 \theta_2 + \sin^2 \theta_2) \\ + 2l_1 l_2 \cos \theta_2 + l_1^2 (\cos^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2) = 1 \end{aligned} \quad (6.29)$$

Eşitlik 6.29 basite indirgenerek Eşitlik 6.30'da elde edilmiştir.

$$P_x^2 + P_y^2 = l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos \theta_2 + l_1^2 \quad (6.30)$$

Eşitlik 6.30'dan  $\cos \theta_2$  çekilerek Eşitlik 6.31 elde edilmiştir.

$$\cos \theta_2 = \left( \frac{P_x^2 + P_y^2 - (l_2^2 + l_1^2)}{2l_1 l_2} \right) \quad (6.31)$$

$\cos \theta = a$  ise  $\theta = \arctan2(\mp \sqrt{1 - a^2}, a)$  denkleminde uyarlanarak Eşitlik 6.32 elde edilmiştir.

$$= \arctan2\left(\mp \sqrt{1 - \left(\frac{P_x^2 + P_y^2 - (l_2^2 + l_1^2)}{2l_1l_2}\right)}, \left(\frac{P_x^2 + P_y^2 - (l_2^2 + l_1^2)}{2l_1l_2}\right)\right) \quad (6.32)$$

$$\cos \theta_1 p_x + \sin \theta_1 p_y = l_2 \cos \theta_2 + l_1 \quad (6.33)$$

Eşitlik 6.32'de elde edilen değerin  $\theta_2$  açısı yerine koyup Eşitlik 6.33'e uyarlanmıştır ve Eşitlik 6.34 elde edilmiştir.

$$a \sin \theta + b \cos \theta = c \quad \text{ise}$$

$$\theta = \arctan2(a, b) + \arctan2\left(\mp \sqrt{a^2 + b^2 - c^2}, c\right) \quad (6.34)$$

$P_x = a, P_y = b$  ve  $c = l_2 \cos \theta_2 + l_1$  olur ve ;

$$\theta_1 = \arctan2(P_x, P_y) + \arctan2\left(\mp \sqrt{P_x^2 + P_y^2 - (l_2 \cos \theta_2 + l_1)^2}, l_2 \cos \theta_2 + l_1\right) \quad (6.35)$$

Olarak elde edilmiş ve tasarlanan manipülatörün ters kinematik hesaplanması bulunmuştur.

## 6.2.2 Denavit-Hartenberg Yönteminin ve İleri Kinematik Hesaplanması

Manipülátöre ait Denavit-Hartenberg değişkenleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1** Denavit-Hartenberg değişkenleri.

Eksen (i)	$\bar{a}_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	90	0	$-90 < \theta_1 < 180$
2	0	-90	0	$-90 < \theta_2 < 180$
3	0	90	0	$-90 < \theta_3 < 180$
4	0	-90	0	$0 < \theta_4 < 180$
5	0	90	0	$0 < \theta_5 < 180$

Günümüzde, kinematik hesaplamalar dört parametre yardımıyla oluşturulan ve Denavit-Hartenberg olarak isimlendirilen homojen dönüşüm matrisleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Çizelge 6.1’de ‘i’ eklem sırasını ifade etmektedir. ‘a’ ve ‘d’ birimi metre, ‘ $\theta$ ’ birimi ise derecedir. Kinematik hesaplamalar için kullanılacak genel dönüşüm matrisi Eşitlik 6.36’da verilmektedir.

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos Q_i & -\sin Q_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin Q_i \cos a_{i-1} & \cos Q_i \cos a_{i-1} & -\sin a_{i-1} & -\sin a_{i-1} d_i \\ \sin Q_i \sin a_{i-1} & \cos Q_i \sin a_{i-1} & \cos a_{i-1} & \cos a_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.36)$$

Denavit-Hartenberg parametrelerini kullanarak her bir eksene ait genel dönüşüm matrisi elde edilecektir.

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos Q_1 & -\sin Q_1 & 0 & 0 \\ \sin Q_1 & \cos Q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.37)$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos Q_2 & -\sin Q_2 & 0 & l_1 \\ \sin Q_2 & \cos Q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.38)$$



$${}^2_3T = \begin{bmatrix} \cos Q_3 & -\sin Q_3 & 0 & l_2 \\ \sin Q_3 & \cos Q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.40)$$

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} \cos Q_4 & -\sin Q_4 & 0 & l_3 \\ \sin Q_4 & \cos Q_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.41)$$

$${}^4_5T = \begin{bmatrix} \cos Q_5 & -\sin Q_5 & 0 & l_4 \\ \sin Q_5 & \cos Q_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.42)$$

Eksenlere ait genel dönüşüm matrisi elde edildikten sonra, Eşitlik 6.43 kullanılarak manipülatöre ait genel dönüşüm matrisi elde edilecektir.

$${}^0_5T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T \quad (6.43)$$

$${}^0_5T = \begin{bmatrix} \cos Q_1 & -\sin Q_1 & 0 & 0 \\ \sin Q_1 & \cos Q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos Q_2 & -\sin Q_2 & 0 & l_1 \\ \sin Q_2 & \cos Q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos Q_3 & -\sin Q_3 & 0 & l_2 \\ \sin Q_3 & \cos Q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos Q_4 & -\sin Q_4 & 0 & l_3 \\ \sin Q_4 & \cos Q_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos Q_5 & -\sin Q_5 & 0 & l_4 \\ \sin Q_5 & \cos Q_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6.44)$$

$${}^0_5T = \begin{bmatrix} \cos(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) & -\sin(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) & 0 & l_1(\cos Q_1) + l_2(\cos(Q_1 + Q_2)) + l_3(\cos(Q_1 + Q_2 + Q_3)) + l_4(\cos(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)) \\ \sin(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) & \cos(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) & 0 & l_1(\sin Q_1) + l_2(\sin(Q_1 + Q_2)) + l_3(\sin(Q_1 + Q_2 + Q_3)) + l_4(\sin(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(6.45)

5 eksenli seri manipülatörün genel dönüşüm matrisi eşitlik 6.45'te sunulmaktadır. 6.45 eşitlikten konum vektörlerini çıkartılarak  $P_x$ ,  $P_y$  ve  $P_z$  bulunacaktır.

$$P_x = l_1(\cos Q_1) + l_2(\cos(Q_1 + Q_2)) + l_3(\cos(Q_1 + Q_2 + Q_3)) \quad (6.46)$$

$$P_y = l_1(\sin Q_1) + l_2(\sin(Q_1 + Q_2)) + l_3(\sin(Q_1 + Q_2 + Q_3)) \quad (6.47)$$

$$P_z = l_4(\cos(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)) + l_4(\sin(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)) \quad (6.48)$$



## 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, manipülatör sisteminin tasarımı gerçekleştirirken 100 gr taşıma kapasiteli ve hareket kabiliyeti yüksek bir seri manipülatör tasarımı hedeflenmiştir. Bu sebeple yükü rahatlıkla kaldırıp taşıyabilecek servo motorlar seçilmiş ve 3B yazıcıda bastırılıp toleranslarına uygun bir şekilde montajı yapılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen manipülatör, tasarımın sonucunda hedeflenen yükü kolayca taşıyabildiği ve çalışma alanının oldukça geniş olduğu gözlemlenmiştir. Tutucu (gripper) tasarlanırken, açılma aralığı yüksek olması için birbirine geçen dişli grubuna sahip bir mekanizma şeklinde tasarlanmıştır. Ayrıca servo motordan gelen gücü doğru bir şekilde iletmesi için yardımcı güç aktarma elemanı tasarlanıp montajı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan manipülatörün, yörünge analizi yapılarak normal hareketlere göre daha hassas ve titreşimsiz olduğu gözlemlenmiştir.

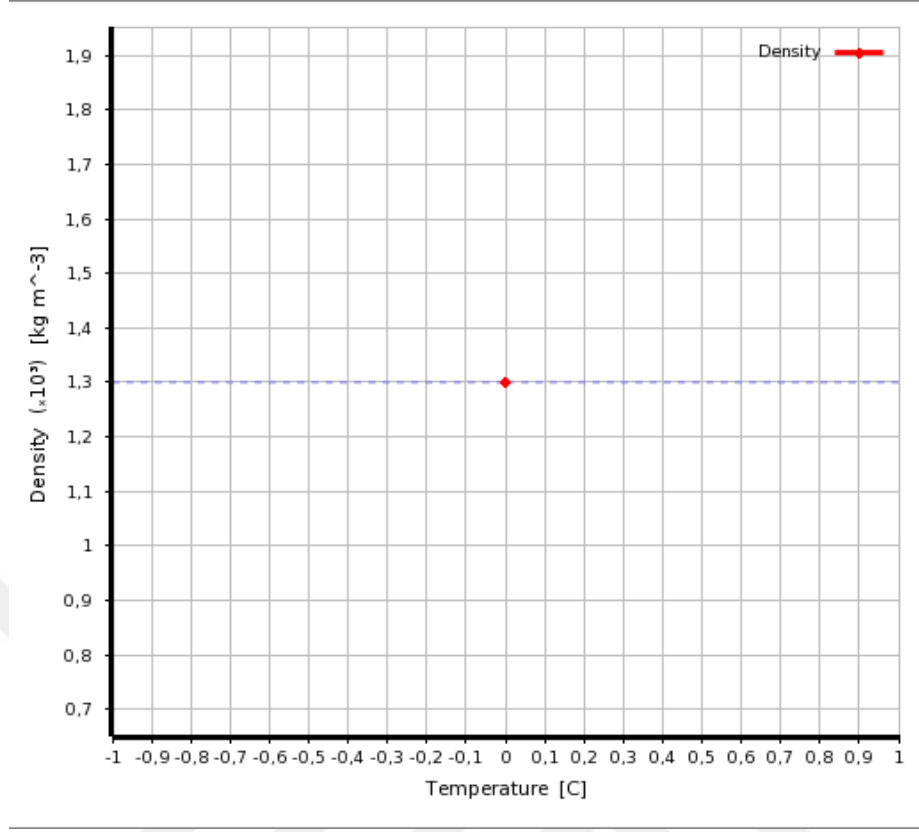
Tasarımı gerçekleştirilen manipülatörde, Dc servo motorlar kullanılmıştır. Dc servo motorun durağan torku 4.8 V'ta 9.4 kg/cm olduğu için hedeflenen yükü kolaylıkla taşımıştır. Atmega-328P mikrodenetleyicinin akımı ve voltajı 5 Dc servo motora yeterli olmadığı için harici olarak, 5V-3A harici güç kaynağı kullanılmıştır. Servo motorları, istenilen açıda hareket ettirebilmek için 5 adet 100 Hz potansiyometre kullanılmıştır. Elektronik devre elemanlarını kontrol etmek için Atmega-328P mikrodenetleyici kullanılmıştır.

Endüstriyel robot ve manipülatör sistemleri tasarımı gerçekleştirmeden önce matematiksel hesaplamaları titizlikle yapıp, tasarımı çıkan parametre sonuçlarına göre gerçekleştirmeliler. Tasarımı yapılan projede, ileri kinematik ve Denavit-Hartenberg (D-H) parametreleri incelenip uygunluğu kontrol edildikten sonra tasarımı gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmalarına göre, manipülatörün tasarım farklılıklarından dolayı ters kinematik çözümleri sabit değildir. Hatta taşıma kapasiteleri artırılması için dizayn edilen eklem kaçıklığı manipülatörlerin cebirsel yöntemle ters kinematik çözümü oldukça zordur veya imkansızdır. Tasarlanan manipülatör, yük kaldırma amacıyla tasarlandığı için eklem kaçıklığına sahiptir.

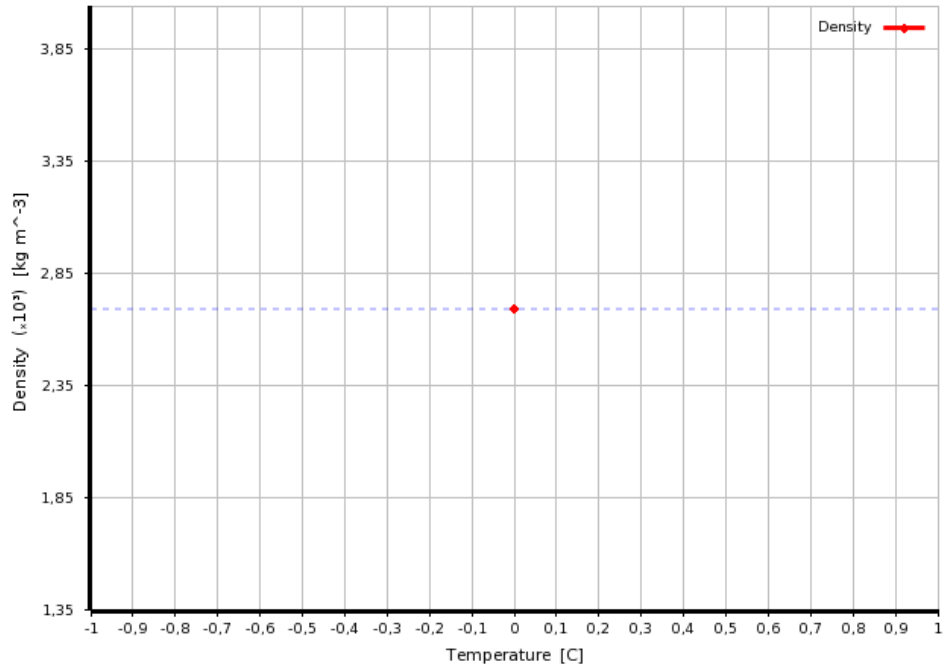
Yapılan çalışmada, manipülatörün taşıma kapasitesi 100-150 gr olarak belirlenmiştir. Bu yükü kaldırabilmek ve Dc servo motorları titreşimsiz olarak çalıştırabilmek için 3B yazıcı hammaddesi Polilaktik asit olarak seçilmiştir. Polilaktik asit seçilmesinin sebebi maliyet kriterini düşünülmesidir.

Günümüz endüstri uygulamalarında, sürekli çalışma, minimum çevrim süresi ve en düşük hata oranı sebepleriyle robot ve mafsallı manipülatör sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, 2B model çizimi yapılan, 3B yazıcıda polilaktik asit hammaddesiyle çıkartılan ve toleranslarına uygun olarak montajı yapılan mafsallı manipülatörün sonlu elemanlar metodu ile açısız hız (rotational velocity) parametresini kullanarak rijit dinamik analizi (Rigid Dynamics Analysis) yapılmıştır. Hesaplanan analiz sonucunda, manipülatöre uygulanan açısız hız  $\omega=0.1$  rad/sn iken, toplam deformasyon (Total Deformation) 3.933 N çıkmıştır.

Bu çalışmada, çıkan rijit dinamik analiz sonuçlarına göre ANSYS yazılımında farklı hammaddeler kullanılarak tasarımın iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Farklı açısız dönme parametresi için, endüstriyel manipülatörün farklı noktalara gitmesi durumunda manipülatör üzerinde oluşan en büyük toplam deformasyon gerilmeleri sayısal olarak hesaplanmıştır. Endüstriyel bir manipülatörün çalışma uzayı içerisinde farklı açısız dönüş değerleri ile manipülatör üzerinde oluşan en büyük eş değer gerilme değerleri sonlu elemanlar yönteminde sayısal olarak elde edilmiş ve sonuçlar çalışma uzayı içerisinde gösterilmiştir. ANSYS analizleri gerçekleştirirken, tasarımı yapılan manipülatör rijit olarak kabul edilmiş ve herhangi bir esneklik tanımlaması yapılmamıştır.



Şekil 7.1 Polilaktik Asit Yoğunluğu (ANSYS 2019).



Şekil 7.2 Alüminyum Yoğunluğu (ANSYS 2019).

**Çizelge 7.1** Manipülâtörün Rijit Dinamik Analizi Açısâl Dönüş Değeri.

<b>Eksen</b>	<b>Birim</b>	<b>PLA Değeri</b>	<b>Alüminyum Değeri</b>
<b>1</b>	N	1.106	3.131
<b>2</b>	N	9.377	2.654
<b>3</b>	N	4.669	1.321
<b>4</b>	N	1.466	4.149
<b>5</b>	N	1.352	3.827
<b>1.Dişli</b>	N	3.756	1.062
<b>2.Dişli</b>	N	3.153	1.251

Sunulan çalışmada, polilaktik asit ve alüminyum yoğunlukları incelenmiştir. Tasarlanan sistem ANSYS WorkBench platformunda, hammadde yoğunluğu fazla olan alüminyum hammaddesi ile rijit dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7.1’de sunulan analiz sonuçlarına göre, manipülâtör hammaddesi olarak alüminyum kullanıldığında, yükün en çok etki ettiği 2. ve 3. eksenlerde bariz olarak kuvvetin azaldığı gözlemlenmiştir.

Alp yaptığı çalışmada, Hitec HS311 Dc servo motoru kullanarak omuz dönme momentini 5.76 Kg/cm bulmuştur (Alp 2012). Sunulan çalışmada, MG-996R servo motorunu kullanarak omuz dönme momentini 1.8402 Kg/cm hesaplanmıştır (Çakar 2020). Omuz dönme momentinin azalması, tasarlanan manipülâtörün taşıma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır.

Sarıaltın yaptığı çalışmada, tutucu çene açıklığını 20 mm olarak tasarlamıştır (Sarıaltın 2017). Önerilen çalışmada, tutucu çene açıklığı 56 mm olarak tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan manipülâtör, çene açıklığının geniş olması sebebiyle geniş olan iş parçalarını dahil taşıyabilmektedir.

## 8. KAYNAKLAR

- Alp O E, Genel Amaçlı Robot Kolu Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İzmir.
- Arslan Ş, Korkmaz M, 2013, Bulanık Yapay Sinir Ağıyla Dört Sertbestlik Dereceli bir Robot Kolunun Kontrolü, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17, 131-138.
- Aydın L, Küçük S, Kenar H, Doku ve organ biyo yazdırma amaçlı 3b biyo yazıcı tasarımı ve geliştirilmesi, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, 15-18 Ekim 2015, Muğla, 153-157.
- Aydın M, Yıldırım F, Çantı E, 2019, Farklı Yazdırma Parametrelerinde Pla Filamentin İşlem Performansının İncelenmesi, Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi, 3, 102-115.
- Aydın M, 2012, Altı Serbestlik Dercesine Sahip Bir Robot Kolunun Ses ile Kontrolü, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, İstanbul.
- Bayrak A, 2007, Beş Eksenli Bir Robot Kolunun Simülasyonu ve Kontrolü, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, Ankara.
- Berki K, 2013, Yapay Sinir Ağları ile Robot Kolu Kontrolü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, İzmir.
- Bingül Z, Küçük S, 2005, Robot Kinematiği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 348s, İstanbul.
- Cengiz A, 2017, Statik ve Dinamik Yük Altındaki Çekme Alüminyum Profillerde Kesit Alan Tasarımının Mekanik Davranışa Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 264-273.
- Coşkun M, 2019, 3B Yazıcıda Üretilmiş Parçalara Uygulanan Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, Kastamonu.
- Çakar O, Alçın M, Koyuncu İ, Tuna M, 2020, Endüstriyel Tabanlı Yeni Bir Robot Kol Tasarımı, 4. Uluslararası Asya Kongresi, 26-28 Haziran 2020, Azerbaycan, 589-600.

- Çelebi A, Korkmaz A, Yılmaz T, Tosun H, 2019, 3B Yazıcı ile 6 Eksenli Robot Kol Tasarımı ve İmalatı, Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi, 3, 269-278.
- Denavit J, Hartenberg RS, 1955, A kinematic notation for Lower-pair mechanisms based on matrices, ASME Jappl. Mechan, 12, 215-221.
- Dereli S, Köker R, 2017, 7-DOF Seri Robotun Ters Kinematik Çözümünde Eğitim Amaçlı Kullanılan Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağının Tasarlanması ve Sonuçlarının Analizi, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6, 60-71.
- Dişlitaş S, 2015, Endüstriyel Robot Programlama Eğitimi ile Mesleki ve Teknik Eğitimi Güçlendirilmesi, Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 30-195.
- Doğan M, Koca H, Taplamacıoğlu M C, 2008, Robot Manipülâtörün Kartezyen-Özgül Denetimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 769-776.
- Evlen H, Erel G, Yılmaz E, 2018, Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi, Politeknik Dergisi, 21, 615-662.
- Günel A, 2016, 6 Eksenli Robot Kol Tasarımı ve Kontrolü, Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, Lisans Tezi, 61s, Niğde.
- İnan T, 2013, Hareketli Hedefi Takip Eden Robot Kolu Sistemi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İstanbul.
- Kant Y, 2009, Bir Robot Manipülâtörün Bilgisayar Destekli Mühendislik Araçları ile Çalışma Uzayı Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, İzmir.
- Karaçalı H, 2012, Beş Eksenli Çapak Alma Robotu Tasarımı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s, Eskişehir.
- Karagöz M, 2010, Mobil Vinç Robot Kabinin Tasarımı ve Analizi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, Konya.
- Kaya Y, Polat A, Özşahin T Ş, 2017, Rijit Olarak Mesnetlenmiş Homojen Tabakada Sürekli Temas Probleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, International



- Conference on Advanced Engineering Technologies, 21-23 Eylül 2017, Bayburt, 1037-1042.
- Kaygusuz B, Özerinç S, 2018, 3B Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 16, 1-6.
- Kaymak Ç, 2016, Raspberry Pi Devre Kartı Kullanarak Nesne Bulma ve Tanıma Algoritmalarının Bir Robot Kol Üzerinde Uygulanması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, Elazığ.
- Kıraç M, Çalım F, Temel B, 2008, Doğru Eksenli Kompozit Çubukların Dinamik Analizi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi, 23, 275-284.
- Közkurt C, Soyaslan M, 2011, Euler Bilekli Scara Robot Kolu İçin Kinematik Analiz Yazılımını Geliştirilmesi, International Advanced Technologies Symposium, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ, 27-32.
- Küçük S, 2004, Endüstriyel Robotların Modellenmesi ve Çevrimdışı Programlanması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 506s, Kocaeli.
- Oksman K, Skrifvars M, Selin J F, 2003, Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composite, Composites Science and Technology Issue 63, 1317–1324.
- Sarıaltın E, 2017, 5 Eksenli Endüstriyel Robot Kol, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İstanbul.
- Sarıtaş M, Tonbul T S, 2003, Beş Eksenli Bir Robot Kolunda Ters Kinematik Hesaplamalar ve Yörünge Planlaması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi, 18, 145-167.
- Sivri M, Kuyucular A, Çelik İ D, 2013, Perde Duvar ile Güçlendirilen Betonarme Çerçevenin ANSYS ve STA4CAD Analiz sonuçlarının Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 3, 26-34.
- Süzen A A, Ceylan O, Çetin A, Ulusoy A, 2017, Arduino Kontrollü Çizim Robotu, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 79-87.
- Şenel A F, Çetişli B, 2014, Object Control on Production Line with Image Processing and Five Axis Robot Arm, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 21, 158-161.

Uzuner S, Akkuş N, Toz M, 2017, 5 Eksenli Manipulatörün Eklem Uzayında Yörünge Planlaması, Politeknik Dergisi, 20, 151-157.

Uzuner S, 2012, Eksen kaçıklığı olan endüstriyel robotların ters kinematik çözümüne yeni bir yaklaşım, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İstanbul.



## İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.webtekno.com/ilk-robot-unimate-hikayesi-h86169.html>, 10.07.2020
- 2-<https://docplayer.biz.tr/82248668-Endustriyel-robot-programlama.html>, 11.07.2020
- 3-[https://www.festo.com/cat/tr\\_tr/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHPS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/tr_tr/data/doc_engb/PDF/EN/DHPS_EN.PDF), 22.08.2020
- 4-[https://www.festo.com/cat/tr\\_tr/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHDS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/tr_tr/data/doc_engb/PDF/EN/DHDS_EN.PDF), 22.08.2020
- 5- [https://www.festo.com/cat/tr\\_tr/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHDS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/tr_tr/data/doc_engb/PDF/EN/DHDS_EN.PDF), 22.08.2020
- 6- <https://canayazblog.wordpress.com/2016/12/18/rc-servo-motor-nedir-nasil-kullanilir>, 17.09.2020
- 7- [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf), 15.08.2020
- 8- <https://www.hepsiburada.com/towerpro-sg90-rc-mini-servo-motor-pm>, 17.06.2020
- 9- <https://www.robotistan.com/breadboard-2>, 14.09.2020
- 10- <https://www.kompent.com/100k-potansiyometre>, 14.09.2020
- 11- <https://maker.robotistan.com/potansiyometre/>, 03.08.2020
- 12- <https://maker.robotistan.com/potansiyometre/>, 04.08.2020

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Oğuzhan ÇAKAR  
Doğum Yeri ve Tarihi : SİVAS 01.08.1995  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon / e-posta) : 5319665881/m.oguzhancakar@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Erkut Soyak Lisesi (2009 –2011)  
: Sıdıka Kelami Ertan Lisesi (2011 –2013)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği  
Bölümü (2013–2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Makine  
Mühendisliği ABD, (2017 – 2020)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Tefaş Kimyasal Seramik Kaplama A.Ş. (2017 – Devam ediyor)

Yayımları (SCI ve diğer) : Çakar O, Alçın M, Koyuncu İ, Tuna M, 2020, Endüstriyel Tabanlı Yeni Bir Robot Kol Tasarımı, 4. Uluslararası Asya Kongresi, 26-28 Haziran 2020, Azerbaycan, 589-600.