



**DÜZCE**  
ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TERS ROBOT KOL MEKANİZMA  
TASARIMI, KONTROLÜ VE SİMÜLASYONU**

**BÜŞRANUR NALBANT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. GÜRCAN SAMTAŞ**

**DÜZCE, 2024**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TERS ROBOT KOL MEKANİZMA**  
**TASARIMI, KONTROLÜ VE SİMÜLASYONU**

Büşranur Nalbant tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Gürcan Samtaş  
Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ  
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Mert YILDIRIM  
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Salih KORUCU  
Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 19/07/2024

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

19 Temmuz 2024

Büşranur Nalbant

## TEŞEKKÜR

Akademik hayatımda bilgi ve fikirleri ile bana yön veren değerli hocam Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ'a bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecimde benimle bilgi ve tecrübelerini paylaşarak tezime değer katan kıymetli meslektaşım Mehmet Han İNYAYLA'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni her koşulda destekleyen, yolumu aydınlatan ve varlıkları ile bana güç veren sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

19 Temmuz 2024

Büşranur NALBANT

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------|------|
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                             | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                           | ix   |
| KISALTMALAR.....                                               | x    |
| SİMGELER .....                                                 | xi   |
| ÖZET .....                                                     | xii  |
| ABSTRACT .....                                                 | xiii |
| 1. GİRİŞ.....                                                  | 1    |
| 2. ROBOTLAR .....                                              | 11   |
| 2.1. ROBOTLARIN KULLANIM NEDENLERİ .....                       | 12   |
| 2.2. ROBOT PARAMETRELERİ.....                                  | 12   |
| 2.3. ROBOTLARIN SINIFLANDIRILMASI .....                        | 14   |
| 2.3.1. Koordinat Sistemine Göre Sınıflandırma .....            | 14   |
| 2.3.1.1. Karteyzen Robot.....                                  | 14   |
| 2.3.1.2. Silindirik Robot .....                                | 15   |
| 2.3.1.3. Küresel Robot.....                                    | 15   |
| 2.3.1.4. SCARA Robot.....                                      | 15   |
| 2.3.1.5. Eklemlı Robot.....                                    | 16   |
| 2.3.2. Kontrol Tiplerine Göre Sınıflandırma .....              | 17   |
| 2.3.2.1. Kontrollü Yörünge Robotları .....                     | 17   |
| 2.3.2.2. Servo Robotlar .....                                  | 17   |
| 2.3.2.3. Servo Olmayan Robotlar.....                           | 17   |
| 2.3.2.4. Noktadan Noktaya Robotlar.....                        | 18   |
| 2.3.2.5. Sürekli Yörünge Robotlar.....                         | 18   |
| 2.3.3. Tahrik Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma.....          | 18   |
| 2.3.3.1. Hidrolik Tahrikli Robotlar .....                      | 18   |
| 2.3.3.2. Pnömatik Tahrikli Robotlar .....                      | 18   |
| 2.3.3.3. Elektrik Tahrikli Robotlar.....                       | 19   |
| 2.3.4. Yetenek Düzeyine Göre Sınıflandırma.....                | 19   |
| 2.3.4.1. Sıra Kontrollü Robotlar .....                         | 19   |
| 2.3.4.2. Adaptif Robotlar.....                                 | 19   |
| 2.3.4.3. Zeki Robotlar .....                                   | 19   |
| 2.3.4.4. Öğrenebilen Robotlar .....                            | 20   |
| 2.3.5. Yaptıkları İşe Göre Sınıflandırma.....                  | 20   |
| 2.4. ROBOT KOLLAR.....                                         | 20   |
| 2.4.1. Robot Kolu Oluşturan Bileşenler .....                   | 21   |
| 2.4.2. Robot Kolların Eklem Yapıları.....                      | 21   |
| 3. MEKATRONİK SİSTEM TASARIMI .....                            | 23   |
| 3.1. TERS ROBOT KOL MEKANİZMASI BİLEŞENLERİ VE GÖREVLERİ ..... | 23   |
| 3.1.1. Tavan Mekanizması Bileşeni .....                        | 23   |
| 3.1.2. Döner Taban Bileşeni .....                              | 24   |
| 3.1.3. Omuz Bileşeni.....                                      | 25   |
| 3.1.4. Bağlantı Kolu Bileşeni.....                             | 25   |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.5. Ön Kol Bileşeni.....                                                 | 25 |
| 3.1.6. Bilek Bileşeni.....                                                  | 26 |
| 3.1.7. Tutucu Bileşeni.....                                                 | 26 |
| 3.1.8. Ters Robot Kol Mekanizması.....                                      | 27 |
| 3.2. TERS ROBOT KOL MEKANİZMASI TEKNİK RESİMLER.....                        | 28 |
| 3.2.1 Robot Kol Tasarımı.....                                               | 28 |
| 3.2.2. Tavan Mekanizması Tasarımı.....                                      | 29 |
| 3.2.3. Bilek Tasarımı.....                                                  | 30 |
| 3.2.4. Ön Kol Tasarımı.....                                                 | 31 |
| 3.2.5. Döner Taban Tasarımı.....                                            | 32 |
| 3.2.6. Alt Taban Tasarımı.....                                              | 33 |
| 3.2.7. Mil Tasarımı.....                                                    | 34 |
| 3.2.8. Kayış Tasarımı.....                                                  | 35 |
| 3.2.9. Mil Araba Tasarımı.....                                              | 36 |
| 3.2.10. Tavan Tasarımı.....                                                 | 37 |
| 3.2.11. Lineer Rulman Tasarımı.....                                         | 38 |
| 3.2.12. Tutucu Bağlantı Elemanı Tasarımı.....                               | 39 |
| 3.2.13. Tutucu 1. Dişli Elemanı Tasarımı.....                               | 40 |
| 3.2.14. Tutucu 2. Dişli Elemanı Tasarımı.....                               | 41 |
| 4. KİNEMATİK.....                                                           | 42 |
| 4.1. İLERİ KİNEMATİK.....                                                   | 42 |
| 4.1.1. Denavit-Hartenberg(D-H) Gösterimi.....                               | 43 |
| 4.2. TERS KİNEMATİK.....                                                    | 49 |
| 4.2.1. Geometrik Analiz.....                                                | 49 |
| 4.2.2. Cebirsel Analiz.....                                                 | 49 |
| 4.2.2.1. Cebirsel Analiz Çözümü.....                                        | 50 |
| 5. DİNAMİK MODEL.....                                                       | 51 |
| 5.1. LAGRANGE DENKLEMLERİ İLE DİNAMİK ANALİZ.....                           | 51 |
| 5.1.1. Genel Koordinatların Belirlenmesi.....                               | 51 |
| 5.1.2. Kinetik ve Potansiyel Enerjilerin Hesaplanması.....                  | 51 |
| 5.1.3. Lagrange Fonksiyonunun Oluşturulması.....                            | 52 |
| 5.1.4. Lagrange Denklemlerinin Elde Edilmesi.....                           | 52 |
| 5.1.4.1. Eklem Torkları.....                                                | 54 |
| 5.1.4.2. Atalet Matrisi.....                                                | 54 |
| 5.1.4.3. Coriolis ve Santrifüj Kuvvetleri Matrisi.....                      | 54 |
| 6. KONTROL VE SİMÜLASYON.....                                               | 57 |
| 6.1. PID KONTROL.....                                                       | 57 |
| 6.1.1. Oransal (P) Bileşen.....                                             | 57 |
| 6.1.2. İntegral (I) Bileşen.....                                            | 57 |
| 6.1.3. Türev (D) Bileşen.....                                               | 58 |
| 6.1.4. PID Kontrolör.....                                                   | 58 |
| 6.2. MEKANİZMANIN MATLAB/SIMULINK KONTROL MODELİ.....                       | 59 |
| 6.3. MEKANİZMANIN MATLAB/SIMULINK-SİMSCAPE DİNAMİK MODELİ.....              | 60 |
| 6.4. TERS ROBOT KOL MEKANİZMASI MATLAB/SIMULINK - SIMSCAPE SİMÜLASYONU..... | 61 |
| 7. SONUÇLAR.....                                                            | 65 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>8. KAYNAKLAR.....</b> | <b>67</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>     | <b>73</b> |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                    | <b>Sayfa No</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1. Karteyzen Robot [50].                                                   | 14              |
| Şekil 2.2. Silindirik Robot [50].                                                  | 15              |
| Şekil 2.3. Küresel Robot [50].                                                     | 15              |
| Şekil 2.4. SCARA Robot [50].                                                       | 16              |
| Şekil 2.5. Eklemli Robot [50].                                                     | 16              |
| Şekil 2.6. İnsan Kolu ve Eklemli Robotların Çalışma Uzayları [51]                  | 17              |
| Şekil 2.7. İnsan Kolu ve Robot Kolunun Benzetimi [53].                             | 21              |
| Şekil 2.8. Kayar Tip Eklem [50].                                                   | 22              |
| Şekil 2.9. Döner Tip Eklem [50].                                                   | 22              |
| Şekil 3.1. Tavan Mekanizması Bileşeni Üst Görünüş                                  | 24              |
| Şekil 3.2. Tavan Mekanizması Bileşeni Ön Görünüş                                   | 24              |
| Şekil 3.3. Döner Taban                                                             | 24              |
| Şekil 3.4. Omuz Bileşeni                                                           | 25              |
| Şekil 3.5. Bağlantı Kolu Bileşeni.                                                 | 25              |
| Şekil 3.6. Ön Kol Bileşeni                                                         | 26              |
| Şekil 3.7. Bilek Bileşeni                                                          | 26              |
| Şekil 3.8. Tutucu Bileşeni.                                                        | 27              |
| Şekil 3.9. Ters Robot Kol Mekanizması.                                             | 27              |
| Şekil 3.10. Robot Kol Tasarımı                                                     | 28              |
| Şekil 3.11. Tavan Mekanizması Tasarımı                                             | 29              |
| Şekil 3.12. Bilek Tasarımı                                                         | 30              |
| Şekil 3.13. Ön Kol Tasarımı                                                        | 31              |
| Şekil 3.14. Döner Taban Tasarımı                                                   | 32              |
| Şekil 3.15. Alt Taban Tasarımı                                                     | 33              |
| Şekil 3.16. Mil Tasarımı                                                           | 34              |
| Şekil 3.17. Kayış Tasarımı.                                                        | 35              |
| Şekil 3.18. Mil Araba Tasarımı                                                     | 36              |
| Şekil 3.19. Tavan Tasarımı                                                         | 37              |
| Şekil 3.20. Lineer Rulman Tasarımı                                                 | 38              |
| Şekil 3.21. Tutucu Bağlantı Elemanı Tasarımı                                       | 39              |
| Şekil 3.22. Tutucu 1. Dişli Elemanı Tasarımı.                                      | 40              |
| Şekil 3.23. Tutucu 2. Dişli Elemanı Tasarımı.                                      | 41              |
| Şekil 4.1. İleri ve Ters Kinematik Analizin Farkı.                                 | 42              |
| Şekil 4.2. DH Gösterimi [57].                                                      | 43              |
| Şekil 4.3. Robot Kolun Eklem Yerleri Ve Dönme Eksenlerinin Gösterimi               | 44              |
| Şekil 4.4. Robot Kolun Koordinat Eksen Takımlarının Gösterimi.                     | 45              |
| Şekil 6.1. PID Kontrol Şeması.                                                     | 58              |
| Şekil 6.2. MATLAB/Simulink PID Kontrol Modeli                                      | 59              |
| Şekil 6.3. Aktarılan Ters Robot Kol Mekanizmasının Dinamik Modeli                  | 60              |
| Şekil 6.4. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçaya Yaklaşması.                 | 62              |
| Şekil 6.5. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçayı Kavraması.                  | 62              |
| Şekil 6.6. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçayı Belirlenen Konuma Taşınması | 62              |
| Şekil 6.7. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçayı Belirlenen Konuma Bırakması | 63              |
| Şekil 6.8. Eklemlerinin Zamana Bağlı Açısal Değişim Grafikleri                     | 63              |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1 Robot Kolun DH Parametre Değerleri ..... | 46 |
|------------------------------------------------------|----|



## KISALTMALAR

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| ADC     | Analog Sayısal Çevirici                       |
| ANFIS   | Uyarlamalı Sinirsel - Bulanık Çıkarım Sistemi |
| ANSI    | Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü         |
| DAq     | Veri Toplama                                  |
| D-H     | Denavit - Hartenberg                          |
| DOF     | Serbestlik Dereceleri                         |
| EMG     | Elektromiyografi                              |
| FDM     | Eriyik Yığma Modelleme                        |
| IDE     | Tümleşik Geliştirme Ortamı                    |
| ISO     | Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu    |
| LabVIEW | Laboratuvar Sanal Enstrüman                   |
| MATLAB  | Mühendislik Çalışma Tezgâhı                   |
| MPS     | Matris Laboratuvarı                           |
| PIC     | Modüler Üretim Sistemi                        |
| PID     | Giriş Çıkış İşlemcisi                         |
| PWM     | Oransal-İntegral-Türevsel                     |
| RIA     | Sinyal Genişlik Modülasyonu                   |
| SCADA   | Robotik Endüstrisi Birliği                    |
| SCARA   | Denetleyici Kontrol Ve Veri Toplama           |
| SRK     | Seçici Uyumluluk Montaj Robot Kolu            |
| TPS     | Sıfır Referans Konum                          |
|         | Tam Ve Parametrik Olarak Sürekli              |

## SİMGELER

|                  |                                                          |
|------------------|----------------------------------------------------------|
| $I$              | Atalet Momenti                                           |
| $c$              | Cosinus                                                  |
| $d_i$            | Çakışan bağlar arasındaki eklem kaçıklığı                |
| $\psi$           | Dalga Fonksiyonu                                         |
| $\tau$           | Eklem Torkları                                           |
| $\phi$           | Fi                                                       |
| $e$              | Hata Değeri                                              |
| $m_i$            | $i$ -inci bağlantının kütlesi                            |
| $\dot{c}_i$      | $i$ -inci bağlantının kütle merkezinin hızı              |
| $I_i$            | $i$ -inci bağlantının atalet momenti                     |
| $\dot{\theta}_i$ | $i$ -inci bağlantının açısal hızı                        |
| $z_i$            | $i$ -inci bağlantının kütle merkezinin yerden yüksekliği |
| $\theta_i$       | $i$ -inci eklem açısı                                    |
| $\alpha_{i-1}$   | ( $i-1$ ) ile $i$ eksenleri arasındaki bağ açısı         |
| $a_{i-1}$        | İki eksen arasındaki bağ uzunluğu                        |
| $\theta_i$       | İki bağ arasındaki eklem açısı                           |
| $R_{ee}$         | Tutucunun oryantasyonunu                                 |
| $\theta$         | Teta                                                     |
| $K_d$            | Türev Katsayısı                                          |
| $g$              | Yer Çekimi İvmesi                                        |

# ÖZET

## TERS ROBOT KOL MEKANİZMA TASARIMI, KONTROLÜ VE SİMÜLASYONU

Büşranur NALBANT

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Temmuz 2024, 72 sayfa

İnsanlık, yüzyıllar boyunca yaşamını kolaylaştırmak için birçok çalışma gerçekleştirmiştir. Endüstrinin gelişimi ile beraber insan gücünün gereksinimini azaltacak çalışmalar gerek zaman gerek maliyet tasarrufu için bilimin her zaman ilgi odağı olmuştur. Bu bağlamda insan yükünün en aza indirilmesini ve işin otomatik gerçekleştirilmesini sağlayan robotik otomasyon sistemleri büyük önem arz etmiştir. Çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen robotların birçok farklı çeşidi bulunmaktadır. En yaygın kullanım alanına sahip robot çeşidinin insan koluna benzer işlevlere sahip olan robot kollar olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında da ters mekanizmaya sahip bir robot kol tasarlanmıştır. Tasarımı gerçekleştiren robot kolun endüstride karşılaşıldığı tespit edilen iki probleme çözüm üretmesi amaçlanmıştır. Bu problemlerden ilki robot kolun kapladığı yer sorunudur. İkinci problem ise robot kolun imalat tezgâhında sabit olması sebebi ile yalnızca bir üretim hattında faaliyette olması bundan dolayı her tezgâhta başka bir robot kola ihtiyaç duyulmasıdır. Bu da maliyet sorununu ortaya çıkartmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda tasarımı gerçekleştirilen tavandan raylı bir sisteme entegre edilmiş altı eksenli robot kol mekanizmasının, matematiksel modeli oluşturulup MATLAB ortamında dinamik analizi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda robot kolun belirlenen bir hedef nesneye yaklaşması, hedef nesneyi kavraması, taşınması ve belirlenen konuma hedef nesneyi bırakması sağlanmıştır. Sistemin bu kontrollü hareketi gerçekleştirebilmesi için PID kontrolcü modeli kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen konum – zaman (teta – zaman) grafikleri incelendiğinde sistemin belirlenen referans değerlerinde hareket ettiği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda ters robot kol mekanizmasının tasarlanma amacı doğrultusunda iki temel probleme çözüm sağladığı ortaya konmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Endüstri, Robot Kol, Kontrol, Simülasyon

## ABSTRACT

### INVERSE ROBOT ARM MECHANISM DESIGN, CONTROL AND SIMULATION

Büşranur NALBANT

Düzce University

Graduate School, Department of Mechatronics Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gürcan SAMTAŞ

July 2024, 72 pages

Throughout history, humanity has carried out numerous efforts to facilitate daily life. With the development of industry, efforts to reduce the need for human labor have always been a focus of science, aiming for both time and cost savings. In this context, robotic automation systems, which minimize human workload and enable tasks to be performed automatically, have gained significant importance. Various types of robots have been developed to meet different needs, with robotic arms that mimic the functions of a human arm being the most commonly used. This thesis focuses on the design of a robotic arm with an inverse mechanism, aiming to address two identified industrial problems. The first problem is the space occupied by the robotic arm. The second problem is that the robotic arm is fixed on the production bench, limiting its activity to a single production line, thus necessitating a separate robotic arm for each bench, which increases costs. To address these issues, a six-axis robotic arm mechanism integrated into a ceiling-mounted rail system was designed, its mathematical model was created, and its dynamic analysis and simulation were performed in MATLAB. The simulation ensured that the robotic arm approached a designated target object, grasped it, transported it, and released it at a specified location. A PID controller model was used to enable the system to perform this controlled movement. The position-time (theta-time) graphs obtained from the simulation showed that the system moved according to the specified reference values. As a result of this study, it was demonstrated that the inverse robotic arm mechanism successfully addressed the two primary problems for which it was designed.

**Keywords:** Industry, Robotic Arm, Control, Simulation

# 1. GİRİŞ

Endüstriyel sanayide yaşanan gelişmeler insan gücünün de her geçen gün daha maliyetli hale gelmesi nedeniyle otomatik üretim yöntemlerine geçilmesine zemin hazırlamıştır. Bu bağlamda otomatik çalışma ortamı sağlayan otomasyon sistemleri büyük önem arz etmiştir. Bilindiği üzere de robotlar, otomasyonun vazgeçilmez unsurudur [1]. Endüstrinin her alanın da farklı amaçlar için oldukça yaygın olarak kullanılan robotların kullanımı ile insan gücünün gereksinimini en az seviyelere inmektedir [2]. Ayrıca daha hızlı ve daha hassas bir şekilde çalışan robotlar sayesinde insan gücünün kaldıramayacağı yüklerin taşınımı gibi problemler de ortadan kalkmaktadır. Otomotiv sanayisinde, ilaç endüstrisinde, ısıt işlemlerde kullanılan tezgâhlara iş parçası yerleştirmesinde, imalat tezgâhlarında malzeme taşınımı, yük indirme bindirme, parça montajı vb. işlerde ve daha birçok alanda faaliyet göstermektedirler [3].

Kuşkusuz ki robotik biliminin en büyük ilham kaynağı doğadaki canlılardır [4]. İnsanların doğadaki canlıları taklit ederek canlıların vücut yapılarını modellenmesinin ardından mekanizmaya dönüştürdüğü bu disiplin biyometik bilimi olarak adlandırılmaktadır [5]. Bu tez çalışmasında biyometik yaklaşım kullanılarak doğanın en büyük ilham kaynağı olan insan vücudunun kol uzvu örnek alınmış ve üretim tezgâhlarında malzeme taşıma işleminde kullanılmak üzere bir robot kol tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tasarımı gerçekleştiren robot kolun endüstride karşılaşıldığı tespit edilen iki probleme çözüm üretmesi amaçlanmıştır. Bu problemlerden ilki robot kolun kapladığı yer sorunudur. İkinci problem ise robot kolun imalat tezgâhında sabit olması sebebi ile yalnızca bir üretim hattında faaliyette olması bundan dolayı her tezgâhta başka bir robot kola ihtiyaç duyulmasıdır. Bu da maliyet sorununu ortaya çıkartmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda tasarlanacak altı eksenli robot kol mekanizmasının, tavandan raylı bir sisteme entegre edilerek tezgah üzerinde doğrusal hareket etmesi ve hareket kabiliyetinin yüksek olmasının yanı sıra mekanizmanın ters olması sayesinde alandan tasarruf etmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda çalışmada, tasarlanacak robot kol mekanizmasının matematiksel modeli, dinamik analiz ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. MATLAB ortamında yapılması planlanan simülasyonda, robot

kolun malzeme taşıma işlemi yapması amaçlanmıştır. Robot kollar üzerine yapılan çalışmalara dair literatürde araştırma yapılmış ve farklı gereksinimler doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen bilgiler aşağıda paylaşılmıştır.

Moses vd. yaptıkları çalışmada veri toplama ve kontrol sinyali işleme için ivmeölçerler kullanarak insan kolunun hareketlerini taklit eden bir robotik kolun geliştirilmesini tartışmışlardır. Robotik kol, bağlantı uzunluğunu değiştirebilen eklemlerle tasarlanarak insan koluna çarpıcı bir benzerlik sağlamaktadır. Ayrıca ivmeölçerlerin kullanımı da, geleneksel kontrolörlere kıyasla robotik kolun kontrolünde daha fazla esneklik sağlamaktadır. Yaptıkları çalışmada, robotik kolun hem endüstriyel hem de evsel ortamlardaki yeteneklerini ve uygulamalarını araştırmışlardır [6].

Şenli vd. çalışmalarında servo motor kullanarak eklem hareketlerini taklit eden bir robot kol tasarlamışlardır. Çalışmalarında robot kolunun kinect teknolojisi kullanılarak insan kollarındaki eklem hareketleri ile birebir eş zamanlı kontrol edilebilmesini amaçlamışlardır. Kinectin algıladığı kol hareketleri, hazırlanan yazılımda matematiksel verilere dönüştürülmektedir. Elde edilen veriler Ardiuno kart için hazırlanan yazılıma göndererek robotun eklemlerini oluşturan servo motorları sürme işlemini sağlamışlardır [7].

Çelebi vd. çalışmalarında 6 eksene sahip bir robot kol tasarımı ve imalatı gerçekleştirmişlerdir. Catia V5 programını kullanarak tasarımını gerçekleştirdikleri robot kolunun, parçalarını 3 boyutlu yazıcı ile bir filament çeşidi olan PLA (polilaktik asit) kullanarak basmışlardır. Hareketi sağlamak için belirledikleri bazı bileşenlerin üzerine servo motorlar yerleştirmişlerdir. Yerleştirilen bu motorların planlanmış görevleri yerine getirebilmeleri için Arduino yazılım geliştirme kiti kullanarak programlama yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına bakıldığında 6 eksenli robot kolun üretimini ve montajını başarılı bir şekilde tamamladıkları görülmüştür [8].

Çengelci ve Çimen, yaptıkları çalışmada mozaik sektöründe geleneksel üretim yöntemlerinin kullanıldığını bundan kaynaklı üretim safhasında ve sonrasında problemler ile karşılaşıldığını tespit etmişlerdir. Tespit ettikleri bu problemlere çözüm bulmayı ve endüstriyel otomasyon sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmayı hedeflemişlerdir. 5 eksenli bir robot kol tasarlayarak cam mozaiklerin sıralama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda tasarladıkları robot kol sisteminin eski çalışma sistemine göre daha verimli ve kaliteli mal ürettiğini ortaya koymuşlardır [9].

Nurkholik vd. ters kinematik kullanarak bir robot kolun tasarlanması üzerine çalışmışlardır. Tasarladıkları robot kolda 3 step motor kullanmışlardır ve 3 serbestlik derecesine sahiptir. Çalışmalarındaki hedef ters kinematik kullanılan bir robot kolda hareket değişikliklerinin öğrenilmesine yardımcı olmaktır [10].

İzgi, altı eksenli endüstriyel bir robot tasarımı üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında endüstriyel robotlar üzerine yaptığı kapsamlı bir araştırmanın üzerine robot dinamiği ve kinematiği üzerine bilgiler vermiştir. Son olarak çalışmasında tasarımını gerçekleştirdiği robotun uç konum matrisini bularak çalışmasını sonlandırmıştır [1].

Güleç ve Ertuğrul, insansı bir robot kolu tasarımı ve yörünge kontrolü üzerine çalışmışlardır. Tasarladıkları robot kolun ileri ve ters kinematik çözümlerini analitik olarak hesaplamışlardır. Benzetimlerde kübik ve trapez hız profiline ait olmak üzere 2 ayrı yörünge planlanması kullanmışlardır. Daha sonrasında ise hareket sırasında gereken yaklaşık tork değerini hesaplamış ve MATLAB Simulink ortamında PD kontrol modeli oluşturmuşlardır. Böylece, benzetimler sonucu elde edilen gerekli tork miktarlarını tasarımda kullanılan motor ve dişli mekanizmaların karşılayıp karşılayamadıklarını belirlemişlerdir [11].

Arin ve Başoğlu, çalışmalarında endüstriyel ürünlerin boyamadan kaynaklı hataları en aza indirmek ve boyama kalitesini yükseltmek için beş serbestlik derecesine sahip döner tablalı robot kol tasarımı yapmıştır. Çalışmasında tasarladığı robot kola ait ileri kinematik analiz yapılmıştır. Arduino Uno mikroişlemcisinden üretilen sinyal genişlik modülasyonu (PWM) sinyalleri kullanılarak robot eksenlerinin hareketlerini gerçekleştirmiştir. Daha sonra kolun hareket verilerini Arduino IDE’de kayıt alma ve kayıt çalıştırma yapacak şekilde programlamıştır. Robot kolun on farklı pozisyonda sağlanan manuel hareketleri joystick ile yapılmıştır. Son olarak çalışmada on farklı pozisyonu robot kolunun uç işlevcisinin takip etmesi sağlanmıştır [12].

Sabarigirish ve Mija, çalışmalarını beş serbestlik dereceli bir robotik kol için engeller oluşturulduğu durumda başlangıç - bitiş noktaları arasındaki yörünge belirlenmesi üzerine yapmıştır. Çalışmada, 5 serbestlik derecesine sahip Vi mikrosistem robotun, engellerle karşılaşma durumunda çeşitli olasılıkları göz önüne alınarak incelendiği belirtilmiştir. Engellerin konumuna bağlı olarak robot için özel bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma sayesinde farklı yollar belirlenmiştir. Ayrıca, robotun yörünge hareketlerini belirlemek için kübik polinomlar kullanılmış ve bu hesaplamalar



MATLAB programı ile gerçekleştirilmiştir [13].

Yılmaz, yaptığı çalışmada step motor kullanarak 2 eksenli bir robot kol tasarlamıştır. Robot kol projelerinde kullanılan diğer motorlara göre step motorların, avantajları ve dezavantajlarını da çalışmasında ortaya koymuştur. Robot kolda hareketi sağlayan step motorlar için sürücü devreleri yapmış ve bilgisayar ortamında hazırladığı program yardımıyla robot kolun paralel port üzerinden kontrolünü sağlamıştır. Koldaki uç eleman için kullanılan step motorun kontrolünü ise PIC ile tasarlanan bir devre ile yapmıştır. Ayrıca çalışmasında kullandığı step motorun MATLAB programında benzetimini yaparak gerçek değerlerle karşılaştırmıştır [14].

Covaciu, altı serbestlik dereceli bir robot kolun kontrolü ve çalıştırılması üzerinde çalışmıştır. Tasarladığı robot kol sistemi nesneleri tutabilen bir tutucu entegresine sahiptir ve bir kullanıcı ara yüzü aracılığıyla kontrol edilmektedir. Ayrıca robotik kolda kullanılan motorlar ayrı ayrı ve senkronize olarak da çalıştırılabilmektedir [15].

Sarıaltın, 5 eksenli bir robot kol tasarlamış ve prototipini gerçekleştirmiştir. Tasarımını gerçekleştirdiği robot kolun Arduino Uno R3 mikrodenetleyici programlanarak servo motorların kontrolünü sağlamıştır. Son olarak 3 boyutlu yazıcı ile bileşenlerini imal etmiş ve montajını tamamlamıştır. Çalışma sonuçları, robot kolun istenilen hareketleri yaptığını deneysel olarak göstermiştir [2].

Suryanto vd. robotik kol teknolojisinin endüstriyel dünyada kullanımı ve robotik kol imalatının hızlı gelişimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçları bir web sitesi ara yüzü aracılığıyla kontrol edilen bir robot kolunun başarılı bir şekilde geliştirildiğini ve uygulandığını göstermektedir [16].

Adar vd. beş serbestlik derecesine sahip bir robotun kolun dinamik modellemesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında Lagrange-Euler denklemlerinden yardım alarak dinamik modelleme yapmak için hareket denklemlerini çıkartmışlardır. Hareket denklemlerinin doğruluğunu tespit etmek için uzuvların serbest düşme hareketi yapmalarını sağlamış ve eklemlere ait elde ettikleri konum grafiklerini paylaşmışlardır. Daha sonrasında gerçekleştirilmesi istenen senaryoya göre eklemlerin konumlarını elde etmek için PID tipi bir kontrol algoritması tasarlamışlardır. Çalışma sonucunda başarılı bir şekilde, verilen kübik eklem konum yörüngelerinin takip edildiğini ortaya koymuşlardır. [17].

Sevim vd. çalışmalarında teknolojinin ilerlemesiyle insanların ihtiyaçlarının daha iyi

karşılandığını ve hayatın daha kolay hale geldiğini vurgulamışlardır. Bu teknolojik gelişmelerin özellikle robot kol çalışmalarında yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Geliştirdikleri çalışmada, 6 adet servo motor kullanarak 5 eksenli bir robot kolu ortaya koymuşlardır. Bu robot kolunun, bir malzemeyi belirli bir noktadan başka bir noktaya taşıma ve karıştırma işlemlerini başarıyla gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir [18].

Bellicoso vd. 5 serbestlik dereceli robot manipülatörünün tasarımı, modellemesi ve kontrolü üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu robot kolunu, insansız hava aracı iniş takımları ve dikey kalkış ile donatılmış manipülatör görevlerini yerine getirebilecek şekildeki tasarımlarına Prisma Ultra-Lightweight 5 Arm (PUL5AR) adını vermişlerdir. Tasarlanan robot kolun bir diğer özelliği mekanik aksamının iniş manevralarında kendini katlayabilecek şekilde tasarlanmış olmasıdır. Ayrıca, sistemin toplam ataletini ve statik dengesizliğini azaltmak için kolun ağırlık merkezini mümkün olduğunca araç tabanı ile sınırlandırmak için çalışmışlardır [19].

Çetinkaya, dört serbestlik dereceli bir robot kol ve yine dört serbestlik dereceli başka bir robot kol olmak üzere, bilgisayar ortamında hazırladığı bir kontrol programıyla konum kontrolünü ele alan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kontrol programında, birinci kola hassas potansiyometreler yerleştirerek bu kolun eklemlerindeki açıları algılamış ve buna "Master Kol" adını vermiştir. Diğer kol için ise kontrol programında sanal eklemlerde üretilen açılara ve Master Kol'un eklemlerindeki açılara göre hareket eden RC servo motorlar yerleştirerek bu kola "Slave kol" adını vermiştir. Master ve Slave kol arasındaki bilgi alışverişini sağlamak için ise bilgisayara takılan ADC DAq kartı kullanmıştır [20].

Naser vd. uç kısmına çapak temizleyici entegre ettikleri bir çapak temizleyici robot kol tasarlamışlardır. Tasarladıkları robot kolda iki kritik durumu ele almışlardır. Bunlardan biri çapak temizleyicinin izleyeceği yörünge diğeri ise temizlemeye uygun kuvvetin kontrol edilebilmesidir. Çalışmalarının sonunda bu iki durumu gözeterek robotun yeterli serbestlik derecesine sahip olmasının gerekliliği ve sistemdeki kuvvet kontrolü üzerine durmuşlardır [21].

Aboodi, çalışmasında 3D yazıcıyla üretilen bir robot kolun kontrolünü sağlamayı ve Elektromiyografi (EMG) sinyalleriyle insan kol hareketlerini öğrenmeyi amaçlamıştır. Deneklerden toplanan EMG sinyalleri, makine öğrenimi algoritmalarıyla sınıflandırılmış ve yedi farklı el hareketinin EMG işaretleri belirlenmiştir. Daha sonra,

prototip el tarafından gerçekleştirilebilen dört farklı el hareketi, deneklerden kablosuz yöntemlerle alınan EMG sinyalleriyle eş zamanlı olarak analiz edilmiş ve robot kol tarafından başarıyla gerçekleştirilmiştir [22].

Cao vd. çalışmalarında SCARA türündeki beş eksenli bir kaynak robotunun analizini ve tasarımını gerçekleştirmiştir. Robotun kontrolü için kol yapısının ileri ve ters kinematik analizleri yapılmıştır. Çalışmada iki serbestlik dereceli bir uç işlevci SCARA robot ile birleştirilerek robot uzuvlarının arasındaki uyumluluğunu ve kararlılığını mükemmel bir hale getirmiştir [23].

Akeç vd. altı serbestlik derecesine sahip bir robot kolun son uzvuna monte edilmiş bir kamerayla, konveyör bandı üzerinde hareket eden geometrisi belirsiz bir profilin izlenmesini sağlayan bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, kameradan alınan görüntüler üzerine bir kenar belirleme algoritması uygulanarak piksel koordinatları belirlenmiş, bu koordinatlar kamera kalibrasyonu ile mutlak koordinatlara dönüştürülmüş ve elde edilen veriler seri haberleşme protokolleri kullanılarak robot kontrolcüsüne iletilmiştir [24].

Yüzgeç vd. çalışmalarını insansı bir robot kolun kablosuz bir eldiven sistemi ile uzaktan kontrolü üzerine yapmışlardır. Uzaktan kontrolü için özel bir kullanıcı eldiveni tasarımı yaptıkları iki farklı robot kolu oluşturmuşlardır. Verici eldiven yapısında tasarlanarak kişinin parmak eklemi hareketlerinin algılanması amacıyla tasarlanan eldiven üzerine eğim sensörleri yerleştirilmiştir. Her bir parmak ekleminin hareket ettirilmesi için robot kol üzerine ipler ve servo motorlar kullanılmıştır. Kullanıcının kullandığı eldivenden robot koluna komutların gönderilmesi de kablosuz haberleşme modülleri vasıtasıyla sağlanmıştır [25].

Ogawa vd. bir sabit kameradan görüntü alan iki eksenli bir robot tasarlamışlardır. Çalışmanın amacı, insanlarla hava hokeyi oynamak için kameradan görüntü almak üzerine odaklanmıştır. Sistem, ilk olarak kameradan alınan görüntülerden disk objesini tanımlayarak ağırlık merkezini belirler ve diskin o anki konumunu tespit eder. Bu yöntemde, robot kolun temas edeceği noktanın koordinatları belirlenir ve bu konuma göre iki eksenli robot kolunun yörüngesi oluşturulur. Diski rakibe göndermek amacıyla kolun hareketleri kontrol edilir. Çalışmada, disk konumu verileri, robot kolunun hareketini sağlamak için mafsalsal açı bilgilerine dönüştürülür. İşlemci ünitesinde, görüntü işleme, yörünge planlama ve kol kontrolü aşamaları eş zamanlı olarak yürütülür [26].

Elfasakhany vd. 4 serbestlik derecesine sahip bir robot manipölatör üzerine çalışmışlardır. Tasarımlarında, hazır bir servolu kavrayıcıyı uç işlemci olarak kullanmışlar ve statik hesaplamalar sonucunda motorlarını seçmişlerdir. Daha sonra, ters kinematik denklemleri kullanarak mafsalları açıları hesaplayarak prototip üretmiş ve kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Kontrol ünitesi olarak servo sürücüler ve mikrodenetleyici kullanılmış ve bilgisayar arayüzü LabVIEW ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu arayüz, uç işlemci koordinatlarının girilmesine olanak tanır ve bu veriler ters kinematik denklemlerle işlenerek eklem açıları, dolayısıyla servo motor dönüş açıları elde edilir. Son olarak, manuel kontrol için potansiyometrelerden oluşan bir kontrol kartı oluşturulmuş ve çalışma tamamlanmıştır [27].

Sihono vd. çalışmalarını, endüstriyel süreçlerin verimliliğini ve etkinliğini artırmak için SCADA tabanlı Modüler Üretim Sistemi (MPS) üzerinde 6 Serbestlik Dereceli robotik kolun uygulanması üzerine yürütmüşlerdir. Robotik kol, sürekli ve hassas görevleri yerine getirme yeteneğine sahiptir ve farklı görevler için yeniden programlanabilir şekildedir. Ayrıca robot kol, yabancı cisimler tarafından engellendiğinde otomatik kapanma ve aşırı yük uyarısı gibi güvenlik özellikleriyle donatılmıştır. Çalışmada, her bir eklemin dönme hızının ve robotik kolun montaj süresinin test edilmesi planlanmıştır. Çalışma sonucunda, robotik kolun bir görevi %100 hızda 55 saniyede, %50 hızda ise 90 saniyede tamamlayabildiği görülmüştür [28].

Yılmaz, çalışmasında robot laboratuvarlarında öğrencilerin insan – robot arayüzü uygulamaları ve gerçek zamanlı bir yörünge kontrolü yapabilecekleri kolay erişebilir bir robot platformu oluşturmayı planlamıştır. Altı serbestlik derecesine sahip ZORO ismini verdiği seri manipölatörün tasarımını, üretimini ve kontrolünü gerçekleştirmiştir. Çalışmasında MATLAB uygulamasını kullanarak robotun kinematik ve dinamik modellerini geliştirmiştir. Son olarak geliştirdiği insan-robot arayüzünü kullanarak ZORO seri manipölatörü ile insan elinin yaptığı hareketleri takip etmiştir [29].

Ataş vd. yaptığı çalışmada, 5 serbestlik dereceli satranç oynayan robotik kol sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, ana kontrol, görüntü işleme (rakip satranç taşı hareket ettiğinde tetiklenen), makine öğrenimi (görüntülerin belirli bir zaman aralığında sınıflandırılması için), oyun motoru ve robot kol hareket motoru modüllerini içermektedir. Görüntü işleme, rakibin taşıdığı satranç taşını algıladığında çalışır. Alınan görüntüler belirli bir zaman aralığında makine öğrenme birimine iletilir ve sınıflandırma işlemi yapılır. Sınıflandırma sonucu elde edilen hareket, doğru bir çıktı üretmek için

oyun motoruna iletilir ve bu çıktı robot kolunun konumlandırılması için hareket motoruna gönderilir [30].

Taryudi vd. tarafından yapılan çalışmada, çalışma alanında rastgele bir konumda bulunan hedef malzemeye alıp bırakma işlemi için üç boyutlu konum ve yönelim tahmini yapılabilen stereo görüş sistemi incelenmiştir. Bu amaçla, kalibre edilmiş bir stereo kamera sistemi kullanılarak sağ ve sol kameralardan malzeme görüntüleri elde edilmiştir. Algılanan malzemenin özellikleri çıkarılarak, görüntü işleme algoritmaları ile üç boyutlu konum ve yönelim hesaplanmıştır. Robot kol koordinat dönüşümü ve kamera, uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemi ile kalibre edilmiştir. Sonuç olarak, robot kolunun uç efektörü hedeflenen malzemeyi alıp istenen konuma yerleştirebilmiştir. Deneyler, altı serbestlik derecesine sahip robot kolunun kullanıldığı ve önerilen yöntemin başarılı bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu yöntem malzeme sınıflandırma ve çöp toplama gibi al-bırak sistemlerinde uygulanabilir bulunmuştur. Ancak, çalışmanın düzgün bir arka plan ve engelsiz bir ortamda gerçekleştirildiği belirtilmiş ve karmaşık ortamlar için ek geliştirmeler önerilmiştir [31].

Shi vd. tarafından gerçekleştirilen çalışma, konveyör bandında hareket eden malzemeleri doğru şekilde alıp yerleştirmek amacıyla hibrit bir kameralı görsel hareketli robot kol sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, hem robot üzerindeki görsel sistem hem de gözden robota sistemi kullanılarak tasarlanmıştır. Gözden robota sistemindeki kamera, malzemenin hızını ölçerken, robot kolunun uç efektörü ile malzemenin konum hatasını belirlemek için gerekli verileri sağlamaktadır. Malzemenin hızı görsel geometri algoritmalarıyla belirlenmekte ve konum hatası iğne deliği modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Görüntü işleme algoritmaları, malzeme ve robot kolunun uç efektörü arasındaki konum farkını düzeltmek için uygulanmaktadır. Çalışmanın sonuçları, hibrit kameralı görsel hareketli robot kol sisteminin malzemeleri etkin bir şekilde alıp yerleştirebildiğini göstermektedir [32].

Chang vd. çalışmalarında, geometrik modelleri bilinmeyen malzemelerin kontur izleme işlemleri için gerçek zamanlı görüntü özellik komutları kullanarak bir gözden robota görüntü tabanlı kontrol sistemi geliştirmiştir. Bu çalışmada, gerçek zamanlı nicemsel eğri interpolatörü, hızlanma/yavaşlama hareket planlaması ve eğrilik gibi faktörler dikkate alınarak, istenen görüntü özellik komutlarının büyük eğrisel bölgelerde daha etkili dağılımı sağlanmıştır. Ayrıca, gözden robota sistemlerinde dinamik performansı artırmak için bir derinlik tahmin yöntemi de önerilmiştir. Deneyler, önerilen yöntemin,

geometrik modeli bilinmeyen malzemelerin kontur izleme işlemlerinde başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir [33].

Hazrat Ali vd. endüstriyel uygulamalar için görme tabanlı malzeme sıralama yapabilen bir robot kol tasarımının adım adım sürecini sunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, Scorb-ER 9 Pro modeli adlı modern endüstriyel robot kolunu kullanarak, endüstriyel uygulamalarda etkileşimli kamera-robot sistemlerinin kapasitesini artırmaktır. Kamera, robot kolunun uç işlevcisine monte edilmiş ve böylece robot üzerinde bir görsel kontrol sistemi oluşturulmuştur. Özel olarak üretilmiş bir kamera tutucusu sayesinde kamera kolayca entegre edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, robot kolunun malzemeleri şekil, boyut ve renge göre başarıyla ayırıp düzenleyebildiği gözlemlenmiştir [34].

Alp, üç eksenli bir robot kol üzerinde çalışmıştır. Çalışmada robot kolun kontrolü için PIC mikro denetleyici; tasarımı için SolidWorks programı kullanılmıştır. Tutucu için ise iki dişliden oluşan bir mekanizma kullanılarak RC servo motor tarafından hareketi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda tasarlanan robot kolun, mikroişlemci kontrolünde ve ivme sensörleri aracılığı ile insan elinin hareket yönüne duyarlı bir biçimde hareket gerçekleştirilmesi sağlanmıştır [35].

Aksoy vd. tarafından yapılan çalışmada, üç boyutlu yazıcı teknolojilerinden biri olan FDM yazıcı kullanılarak üretilen bir robot kol üzerinde çalışılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen robot kolda, makine öğrenme algoritmaları ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak dokunsal algılama ve hareket planlaması konularında çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı, robot kolun dokunsal kavrama problemlerini çözmek ve kontrolsüz kuvvet uygulamasını engellemek için yenilikçi yaklaşımlar geliştirmektir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada derin öğrenme algoritmaları ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak çeşitli yöntemler araştırılmış ve uygulanmıştır [36].

Arslan ve Korkmaz, çalışmasında dört serbestlik derecesine sahip bir robot kolu için hesaplanması bulanık yapay sinir ağ tabanlı olan tork kontrolü önermiştir. Çalışmasında 4 mafsallı robotlarda, yüksek hareket, hız ve hassasiyetlik kabiliyetine sahip olmaları gerektiğini vurgulamıştır. Bu doğrultuda çalışmasında, robotun verilen yörüngeleri başarılı bir şekilde takip edebilmesi için hesaplanan bir tork yöntemi geliştirmiştir. Ayrıca bulanık yapay sinir ağıyla birleştirilen kontrolör ile geri beslemeli kontrolü iyileştirilmesini sağlamıştır. Çalışma sonunda simülasyon sonuçları göz önüne

alındığında, kontrol yönteminin başarılı olduğunun ispatlandığını vurgulamıştır [37].

Özer, endüstriyel üretimde sıkça kullanılan 4 eksenli SCARA robot kol üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu robot kolunun tasarımı ve statik analizleri SolidWorks programı aracılığıyla gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada robot kol, erişim mesafesi ihtiyacına göre modüler bir şekilde tasarlanmıştır. Robot kolun sonlu elemanlar metoduyla erişimi artırıldığı zaman, kolda ve bağlantılarda oluşan gerilimlerin de analizlerini yapmıştır [38].

Çakar, çalışmasında taşıma amaçlı kullanılmak üzere 5 eksenli bir manipülatörün tasarımı ve üretimini gerçekleştirmiştir. Üç boyutlu yazıcı aracılığıyla bileşenlerini bastırıp montajını yaptığı 5 eksenli manipülatörde DC servo motorlar kullanmış ve kontrolünü Atmega328P mikro denetleyici ile yapmıştır. Kodlamasını C tabanlı olarak gerçekleştirmiştir. Çalışma sonuçlarına bakıldığında robot kolunun hedeflenen yükü başarıyla taşıdığı görülmüştür [39].

Robot kollar üzerine yapılan çalışmalar literatürde incelendiğinde bu çalışmada gerçekleştirilen ters kol robot mekanizmasına benzer bir çalışmaya rastlanılmamış ve çalışmanın özgünlüğü ortaya konmuştur.

## 2. ROBOTLAR

İnsanlık, yüzyıllar boyunca gelişen teknolojinin ışığında yaşamı kolaylaştırmak için birçok çalışma gerçekleştirmiştir. İnsan gücünün gereksinimini azaltacak çalışmalar gerek zaman gerek maliyet tasarrufu için bilimin ilgi alanı olmuştur. İnsan yükünün en aza indirilmesini ve işin otomatik gerçekleştirilmesini sağlayan robotik otomasyon sistemleri bu bağlamda büyük önem arz etmiştir.

Robot kavramı tarihte ilk olarak Karel Capek isimli bir Çek yazar tarafından 1921 yılında Prag'da oynanan "Rossum's Universal Robots" isimli bir piyesinde kullanılmıştır. Robot kelimesi çek dilinde 'hizmet eden' anlamına gelmektedir. Capek'in piyesinde hizmetçi karakteri robot olarak tanımlanmıştır. Bu tarih itibari ile robot biliminin de temelleri atılarak robotlar üzerinde her geçen gün gelişen teknoloji ile büyük bir ivme kat edilmiştir [40].

Robotları inceleyen bilim dalı "robotik" olarak adlandırılmaktadır. Robotik kavramı da ilk defa Asimov isimli bir Rus yazar tarafından 1942 yılında yayınlanan 'Runaround' isimli kısa öyküsünde kullanılmıştır. Isaac Asimov tarafından yayınlanan öyküde, robotlar ile ilgili günümüzde hale geçerliliğini korumayı başarmış "Üç Temel Robot Etik Yasası" adını verdiği üç temel yasa ortaya koymuştur. Bu kurallar şöyledir:

- **Birinci Yasa:** Bir robot, bir insana zarar veremez.
- **İkinci Yasa:** Bir robot, bir insanın verdiği emirleri yerine getirmek zorundadır.
- **Üçüncü Yasa:** Bir robot, kendi varlığını birinci ve ikinci yasalara aykırı olmadığı sürece korumak zorundadır [41].

Endüstri alanında ilk robot çalışmaları 1961 yılında General Motors'un New Jersey'de bulunan araba fabrikasında başlamıştır. Bu başlangıç ile birlikte robot teknolojisi her geçen gün ilerleme kaydetmiştir. Robotların endüstrinin her alanında kullanılmasının sağladıkları avantajlardan dolayı birçok nedeni vardır. Bunlardan en önemlisi güvenlidir. Çünkü robotlar, insan hayatına ve sağlığına tehdit oluşturabilecek işleri üstlenebilmektedirler [42].



Literatürde robot kavramı hakkında birçok tanım vardır. Türk Dil Kurumu robot kavramını: “Belirli bir işi yerine getirmek için manyetizma ile kendisine çeşitli işler yaptırılabilen otomatik araç” şeklinde tanımlamıştır [43]. Japonlar, robot kavramını hafıza aygıtı takılmış, insanın yerine belirlenmiş hareketleri yapan makine olarak yapmıştır. ISO 8373 standardında yapılan tanıma göre robot; endüstriyel uygulamalar için kullanılan üç veya daha fazla yeniden programlanabilir eksene sahip, çok amaçlı, otomatik kontrollü, hareketli ya da uzayda sabitlenmiş manipülatörlerdir [44]. ANSI/RIA R15.06 standardında ise robot; endüstriyel uygulamalarda kullanılan üç veya daha fazla yeniden programlanabilir eksene sahip, çok amaçlı bir yerde sabit olarak duran ya da tekerlekli olan otomatik kontrollü manipülatörlerdir [45].

Yapılan bu tanımlara dayanarak robotlar kısaca, endüstride planlanan görevleri (taşıma, montaj, kaynak, boya, paketleme vd.) programlanmış hareketler ile gerçekleştiren otomatik kontrole sahip çok işlevli mekanik sistemler olarak tanımlanabilir.

## **2.1. ROBOTLARIN KULLANIM NEDENLERİ**

Endüstrinin hemen her alanında robotlar sağladıkları birçok avantajdan dolayı kullanılmaktadırlar. Bu avantajlardan bazıları şunlardır:

- Yüksek hassasiyet ve esneklik kabiliyetleri,
- Ağır yükler altında çalışma yetenekleri,
- Tekrarlı işlemleri sürekli olarak gerçekleştirmeleri,
- İşçilik maliyetlerini azaltmaları,
- Hataları en aza indirmeleri,
- İnsan gücüne gereksinimi azaltmaları,
- Yüksek hız sayesinde çıktı sayısını artırmaları,
- Tehlikeli ve riskli yerlerde insanların yapması gereken işleri yapmaları,
- Aralıksız olarak çalışmaları,
- İş gücünde yüksek verim sağlamaları,
- Yüksek verim ve kar eldesidir [46].

## **2.2. ROBOT PARAMETRELERİ**

Robotların işlevlerini ve fiziksel özelliklerini tanımlayan bazı parametreler vardır.

Robotların performanslarının belirlenmesinde de önem taşıyan bu parametreler şunlardır:

**Eksen Sayısı:** Her bir eklem bir eksen olarak ele alınır. Bir robotun eksen sayısı hareket aralığını belirler. Robotun uç elemanının yön kontrolünü sağlamak için üç ya da üçten fazla eksene ihtiyaç vardır.

**Serbestlik Derecesi:** Serbestlik derecesi robotun hareket edebileceği birbirinden bağımsız hareket eksenlerinin sayısı olarak tanımlanır. Her bir eklem robot kola bir serbestlik derecesi ekler. Bir robotun serbestlik derecesi, hareket kabiliyeti ile doğru orantılıdır. Serbestlik derecesi arttıkça hareket kabiliyeti artar.

**Çalışma Uzaı:** Robotun çalışma uzaı, kol ucu tarafından taranabilen uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Çalışma uzaının boyutları, robotun eklem hareket sınırları, serbestlik derecesi, uzuvlarının boyutları gibi geometrik ve kinematik parametrelere göre belirlenir.

**Kinematik:** Robotun yapabileceği eklem hareketlerinin matematiksel olarak modellemesi ve analizi için kullanılır. İleri ve ters kinematik olarak iki ayrı ana başlığa ayrılır.

**Taşıma Kapasitesi:** Robotun verimli bir şekilde taşıyabileceği yük olarak tanımlanır. Robotun mekanik tasarımına ve motor gücüne göre değışiklik gösterir.

**İvme:** Robotun hızının birim zamanda değışimidir. Robotun performansı için kritik önem taşır.

**Doğruluk:** Robotun hedeflenen noktaya ne kadar yakın bir şekilde ulaştığını gösterir. Hassas işlem gerektiren endüstriyel uygulamalarda doğruluk büyük taşır. Çünkü gerçekleştirilen işlemde robotun görev başarısını ve performansını belirleyen bir faktördür.

**Hız:** Belirlenen hareketi robotun gerçekleştirme hızı olarak ifade edilir. Robotun hareket türlerine ve farklı bileşenlerine göre doğrusal, açısal ve işlem hızı olmak üzere üç ayrı şekilde ölçülür. Ayrıca taşıma kapasitesi gibi hızda robotun tasarımı ve gücüne göre değışkenlik gösterir.

**Tekrarlama Kabiliyeti:** Belirlenen noktaya robotun tutarlı bir şekilde defalarca ulaşabilme yeteneğı olarak ifade edilir [47].

## 2.3. ROBOTLARIN SINIFLANDIRILMASI

Robotlar çeşitli parametrelere göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmalardan literatürde en yaygın olarak bilinenleri şunlardır;

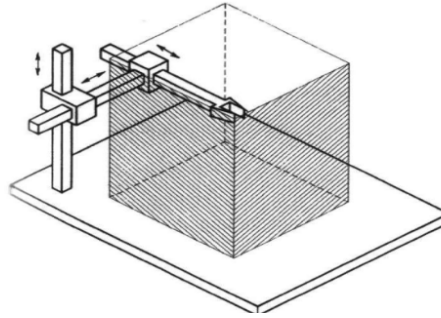
- Koordinat sistemlerine göre,
- Kontrol tiplerine göre,
- Tahrik mekanizmalarına göre,
- Yetenek düzeylerine göre,
- Yaptıkları işe göre,
- Teknoloji seviyelerine göre [48].

### 2.3.1. Koordinat Sistemine Göre Sınıflandırma

Koordinat sistemine göre sınıflandırma yapılırken robotlar çalışma uzaylarına göre; kartezyen, silindirik, küresel, SCARA ve eklemlı (mafsallı) olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar.

#### 2.3.1.1. Kartezyen Robot

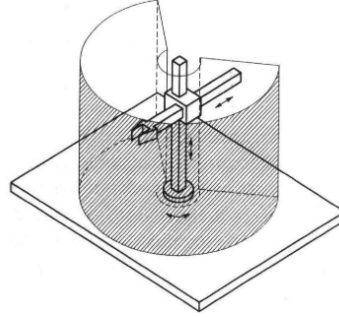
Kartezyen robotlar üç adet kayar tip eklemden oluşurlar. X,Y,Z eksenlerinde lineer hareket etme kabiliyetine sahiptirler. Mekanik yönden güçlü oldukları için ağır yüklü ve büyük boyutlu cisimleri taşıyabilmeleri tercih edilme sebeplerinden biridir. Bu yüzden endüstride genel olarak tutma – taşıma, indirme – bindirme gibi işlemler için kullanılmaktadır. Ağır yükleri taşımak için hidrolik sistemli; daha küçük yükleri taşımak için pnömatik sistemli robot kollar tercih edilir [2],[49]. Şekil 2.1’de kartezyen robot gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kartezyen Robot [50].

#### 2.3.1.2. Silindirik Robot

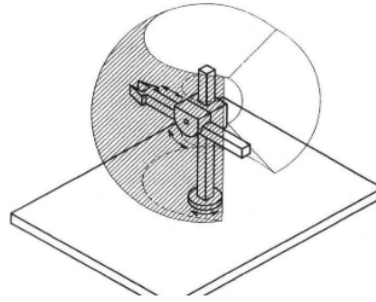
İki tane kayar, bir tane döner tip eklemden oluşurlar. Yüksek dönüş kabiliyetine sahip silindirik robotlar aynı zamanda hareket etme kapasiteleri de yüksektir. Silindirik çalışma alanları ile tutma ve taşıma görevlerini yerine getirirler. Elektrik motorlu, hidrolik ve pnömatik çeşitleri vardır [2],[49]. Şekil 2.2’de silindirik robot gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Silindirik Robot [50].

#### 2.3.1.3. Küresel Robot

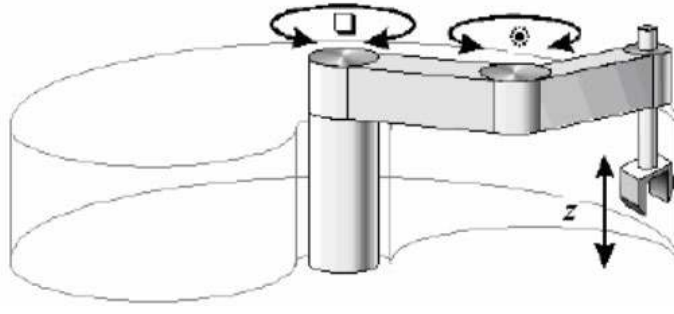
Polar koordinatlı robotlar olarak da adlandırılan küresel robotlar; iki tane döner, bir tane kayar tip eklemden oluşurlar. Küresel çalışma şekline sahiptirler bu yüzden yazılımsal olarak programlanabilmeleri zordur. Pres döküm, bükme, kaynak, eğme, ve yapıştırma gibi işler için kullanılırlar [2],[49]. Şekil 2.3’de küresel robot gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Küresel Robot [50].

#### 2.3.1.4. SCARA Robot

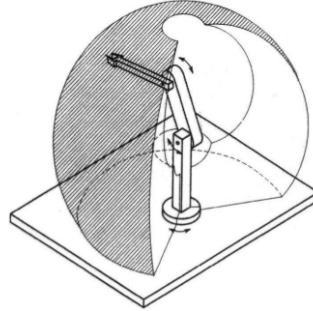
SCARA robotlar paralel eksenli eklem yerleşimine sahiptir. Eklem yerlerinde elektrik motorları bulunur. Bu motorlar, robota ait kolun kendi eksenini etrafında dönmesini sağlamaktadır, Robotun ağız kısmında ise pnömatik motor bulunur. Pnömatik motor sayesinde robotun esneklik kazanması sağlanır. Dolgu ve montaj uygulamalarında yüksek hıza sahip olmaları sebebiyle sıklıkla kullanılır [2]. Şekil 2.4’de SCARA robot gösterilmiştir.



Şekil 2.4. SCARA Robot [50].

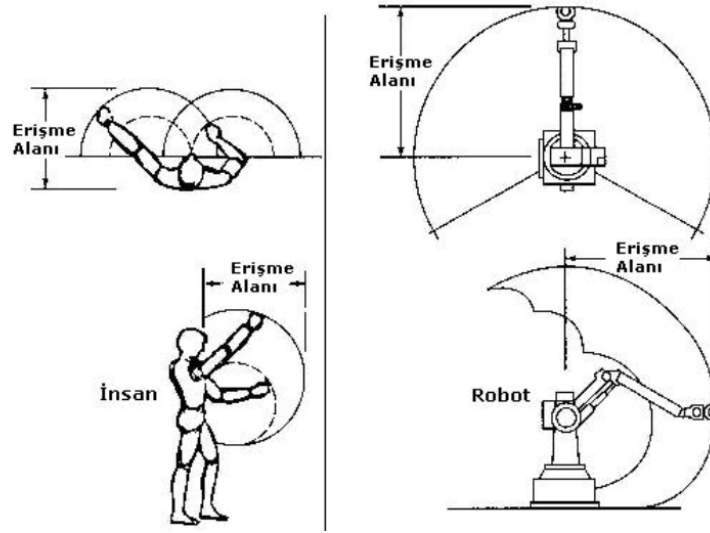
#### 2.3.1.5. Eklemlı Robot

Tüm eklemleri döner eklemdir. Bu yüzden çalışma uzayı içerisinde en yetenekli robot çeşididir. Eklemlı robotun hareket serbestliğı, eklem sayısı ile doğru orantılıdır. Yazılan programa göre hareket alanları değışiklik gösterir. Mafsallı robotlar olarak da bilinen bu tip robotlarda genellikle elektrik motoru tercih edilmektedir. Yüzey temizleme, gaz kaynağı, ark kaynağı ve püskürtme gibi makinelerin kullanıldığı sektörlerde yaygın olarak kullanılır [2],[49]. Şekil 2.5’de eklemlı robot gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Eklemlı Robot [50].

Eklemlı robotlar insan kolunun hareketlerini taklit etme kabiliyetine sahip en yakın robot çeşididir. Şekil 2.6. da insan kolu ve eklemlı robotların çalışma uzayları arasındaki benzerlik gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İnsan Kolu ve Eklemlı Robotların Çalışma Uzayları [51]

### 2.3.2. Kontrol Tiplerine Göre Sınıflandırma

Robotlar kontrol tiplerine göre kendi içlerinde; kontrollü yörünge, servo ve servo olmayan, noktadan noktaya, sürekli yörünge robotlar olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadırlar.

#### 2.3.2.1. Kontrollü Yörünge Robotları

Kontrol donanımları sayesinde, robotlar lineer ve dairesel interpolasyon yöntemleriyle elde ettikleri eğrisel yörüngeleri yüksek doğrulukla izleyebilmektedir. Bazı robot sistemlerinde yörünge denklemleri veya geometrik tanımlamalar kullanılarak bu yörüngelerin kontrolü sağlanabilir. Kontrol işlemi için gerekli olan tek şey başlangıç ve bitiş koordinatlarının ve yol tanımının sağlanmasıdır.

#### 2.3.2.2. Servo Robotlar

Kapalı çevrimli robotlar olarak adlandırılırlar. Hız ve pozisyonlarını ölçebilen sensörlerle donatılmışlardır ve bu ölçümleri kontrol devresine geri besleyebilirler. Bu özellik sayesinde robotlar, belirli bir yörüngeyi hassas bir şekilde takip edebilirler.

#### 2.3.2.3. Servo Olmayan Robotlar

Açık çevrimli robotlar olarak adlandırılırlar. İstenilen noktaya ulaştıklarının farkında olmaktadırlar. Kontrollü robot çeşitlerinin tümünde servo özellikleri vardır. Bu tip robotlar yol hatalarını sürekli olacak şekilde düzelterek istenen noktaya ulaşmaktadırlar.

#### *2.3.2.4. Noktadan Noktaya Robotlar*

En basit ve en ucuz robot çeşididir. Noktadan noktaya robotlar belirli noktalar arasında hareket etmektedirler. Belirtilmiş bu noktalarda durma yetenekleri yoktur. Her yeni operasyonda durma noktalarının yeniden ayarlanmaları gerekmektedir. Durma noktalarının tespiti için çoğunlukla encoder ve potansiyometreler ile kontrol edilen servo motorlar kullanılmaktadır.

#### *2.3.2.5. Sürekli Yörünge Robotlar*

Belirli bir yörüngede tanımlanmış her noktada durabilmektedirler. Bu sayede robotun belirlenmiş bir doğru veya eğriyi takip etmesi sağlanabilmektedir. Durma noktalarının robotun hafızasında tanımlanması gerekmektedir [48].

### **2.3.3. Tahrik Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma**

Robotlar tahrik mekanizmalarına göre hidrolik tahrikli, pnömatik tahrikli ve elektrik tahrikli robotlar olarak sınıflandırılırlar.

#### *2.3.3.1. Hidrolik Tahrikli Robotlar*

Robotlarda hidrolik tahrikin kullanım nedeni büyük kuvvetlere gereksinim duyulmasıdır. Hidrolik akışkanın sıkıştırılmaz olması sisteme yüksek bir konum hassasiyeti kazandırır. Bu tür sistemler kendinden kilitleme özelliklidir; güç kesintisi durumunda valfler otomatik olarak kapanarak sistemi son durumunda sabitlerler. Hidrolik tahrikli robot sistemlerinin bu avantajları yanında, kirlilik riski, yüksek başlangıç maliyeti, yağ sızdırmazlığı gereksinimi, yavaş tepki süreleri ve genel maliyet gibi önemli dezavantajları da vardır.

#### *2.3.3.2. Pnömatik Tahrikli Robotlar*

Pnömatik tahrikli robotlar, tahrik sistemleri içinde en ekonomik olanıdır. Yüksek hızlara sahip olmalarına rağmen, havanın sıkışabilir olması nedeniyle konum hassasiyeti bazı durumlarda sorun yaratabilir. Bu tür robotlar genellikle strok hareketleri için tercih edilirler. Hidrolik sistemlerin aksine, pnömatik sistemler havayı kullanarak çalıştıkları için çevreyi fazla kirlilemezler, bu da büyük bir avantajdır. Ancak, pnömatik tahrikli robotların ucuz olmalarına rağmen, gerekli kompresör enerjisi ve hava basıncı düşüşü gibi faktörler sistemin toplam maliyetini artırabilir.

#### *2.3.3.3. Elektrik Tahrikli Robotlar*

Robotik sistemlerde en fazla tercih edilen tahrik çeşididir. Hız ve hassasiyet üstünlüğü, ucuzluk, kontrol, kolay uygulanabilirlik ve temizlik gibi sağladığı avantajların yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar; dişli sistemlerindeki boşluk sebebi ile düşük hassasiyet ve güç/ağırlık oranının düşük olmasıdır. Ayrıca motor bünyesinde oluşan kıvılcımlanma nedeniyle parlayıcı ortamlarda kullanım sakıncası vardır. Fakat teknolojinin gelişmesi ile robotun dış ortamının kıvılcımdan etkilenmemesi sağlanmıştır. Daha eski tarihlerde elektrikle tahrik denince yalnız Doğru akım motorlar düşünülürken günümüzde fırçasız ve moment karakteristiklerinin daha düzgün olması sebebiyle alternatif akım motorlar daha sık tercih edilmektedir. Ayrıca robottan istenen konum hassasiyeti eğer çok önemli değilse ve sistemde açık çevrimli kontrol sistemi kullanılıyor ise step motorlar kullanılabilir. Robotlarda genellikle elektriksel tahrik direkt tahrikli olarak uygulanır [1].

#### **2.3.4. Yetenek Düzeyine Göre Sınıflandırma**

Robotlar yetenek düzeylerine göre; sıra kontrollü, adaptif, zeki, öğrenebilen ve kontrollü yörünge robotlar olarak sınıflandırılmaktadırlar.

##### *2.3.4.1. Sıra Kontrollü Robotlar*

Başlangıç komutlarına bağlı olarak belirli em dizisini sıralı bir şekilde gerçekleştirirler. Ayrıca değişik zamanlarda farklı sıralarla işlem yapacak şekilde de ayarlanabilmektedirler. Fakat yapılan ayarlamadan sonra yeni bir ayarlamaya kadar geçen sürede aynı işlem sırasını takip etmektedirler.

##### *2.3.4.2. Adaptif Robotlar*

Çevrelerine tepki verecek şekilde sensör geri beslemesine ve bilgisayar kontrolüne sahiptirler. Bu tip robotların birçoğunda kontrollü yörünge özelliği bulunma birlikte bir işlemin gerçekleştirilmesi sırasında yörünge ve yörünge hareketlerini değiştirebilme kabiliyetine de sahiptirler.

##### *2.3.4.3. Zeki Robotlar*

Çevreye ait bir model ve bilgi tabanına sahip olmaları halinde, bulundukları çevreyi sezinleme ve hareketleri değiştirme kabiliyetleri vardır. Büyük bir hafıza kapasitesine, çevreyi modelleme yeteneğine ve çeşitli amaçlı sensörler topluluğuna sahiptirler.



#### 2.3.4.4. Öğrenebilen Robotlar

Bu tip robotlara bir dizi hareketi yapması öğretilmektedir. Robotta kullanılan Ram türü, manyetik bant, manyetik disk ve bir kayıt aracı; pozisyon sensörlerinden gelen koordinat bilgilerinin kaydedilmesi için kullanılır. Her noktada üç eksene ait koordinat bilgileri kaydedilmektedir. İşlenilecek tüm yol aynı şekilde işlenildikten sonra robotun işlediği yolu tekrarlaması istenilir. Öğretme işlemi bir insan tarafından yapılır. Son olarak yol süresince izlenecek yörünge ve hareketler bir öğretici tarafından tespit edilir [48].

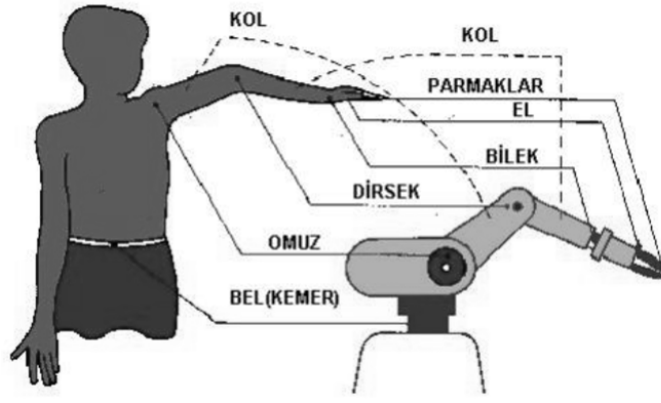
#### 2.3.5. Yaptıkları İşe Göre Sınıflandırma

Bu tip robotlar yaptıkları işlere göre; boyacı, kaynakçı, montajcı ve malzeme taşıyıcısı gibi sınıflara ayrılırlar. Fakat bu sınıflandırmada temel bir problem vardır çünkü robotların yaptıkları iş değişebilmektedir. Kollarına takılı aletin ve programlarının değişmesiyle yerine getirmeleri gereken görevlerde değişmiş olur. Ayrıca bazı durumlarda robotun işini değiştirmek de çok kolay olmamaktadır. Örneğin, başka bir kaynak işlemini gerçekleştiren kaynak robotunu nokta kaynağı yapabilecek duruma getirmek için tüm çalışma sisteminin ve ekipmanın değiştirilmesi gerekecektir.

Robotların endüstrinin hemen her alanında sağladıkları birçok yarardan dolayı kullanıldıkları ortadadır. Endüstriye bakıldığında yapılması istenilen işlemlere göre farklı sınıflandırma başlıkları altında birçok çeşit robot bulunduğu görülmüştür. Bunların en yaygın kullanılanlarından biri eklemlili robot türü olan robot kollarıdır. Robot kollar, insan koluna benzer şekilde tasarlanmış bir manipülatör çeşididir. Bu çalışmada da bir robot kolun tasarımı ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir [48].

### 2.4. ROBOT KOLLAR

Robotik biliminin en büyük ilham kaynağı canlılardır. Robotik biliminin doğadan esinlenerek canlıları taklit etmesi sonucuyla vücut yapılarının modellenmesi sonrasında mekanizmaya dönüştürülmesi biyomimetik bilimi olarak adlandırılır. Robot kollar biyomimetik yaklaşım kullanılarak insan kolunun doğal hareketlerinin taklit edilmesi ile çeşitli görevleri yerine getirmek için tasarlanan endüstriyel robotlardır. Şekil 2.7’de insan kolu ve robot kolunun benzetimi verilmiştir.



Şekil 2.7. İnsan Kolu ve Robot Kolunun Benzetimi [53].

#### 2.4.1. Robot Kolu Oluşturan Bileşenler

Farklı gereksinimler doğrultusunda değişik tip ve boyutlarda üretimi gerçekleştirilen robot kollar temel olarak 4 kısımdan oluşmaktadır.

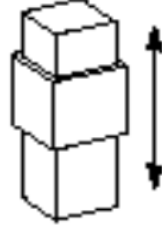
1. Mekanik Kısım: Mekanik bir yapıya sahip olan robot kollar, eklemler (mafsal) ile birbirine bağlı uzuv adı verilen eğilmez katı cisimlerin açık uçlu kinematik zinciridir. Mekanik yapılarında çeşitli kollar, (ön kol, bağlantı kolu vb.) bir adet omuz, bir adet bilek ve bir adet uç eleman (tutucu) bulunmaktadır.
2. Aktüatörler: Mekanik yapının hareketi için elektrikli, pnömatik veya hidrolik aktüatörler (eyleyici) kullanılır.
3. Sensörler: Çevre ve mekanik yapının durumunu gözlemek için ihtiyaca göre çeşitli sensörler kullanılır.
4. Kontrol Sistemi: Mekanik yapının hareket kontrolünü sağlamak ve yönetmek için bir kontrol sistemi bulunur [50].

#### 2.4.2. Robot Kolların Eklem Yapıları

Robotlarda hareketi sağlamaya yarayan mekanizmalar eklem olarak adlandırılmaktadır. Eklemler, yapılarına göre kayar ve döner olmak üzere iki çeşide ayrılırlar.

##### 2.4.2.1. Kayar Eklem

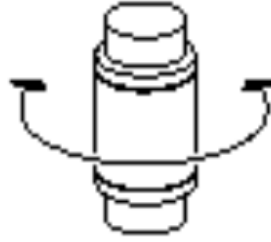
Prizmatik eklem olarak da bilinirler. İki uzuv arasında doğrusal harekete izin veren eklem çeşididir [54].



Şekil 2.8. Kayar Tip Eklem [50].

#### 2.4.2.2. Döner Eklem

İki uzuv arasında dönme hareketine izin veren ve menteşeye benzeyen eklem çeşididir [54].



Şekil 2.9. Döner Tip Eklem [50].

### 3. MEKATRONİK SİSTEM TASARIMI

Mekatronik sistemlerinin tasarımları gerçekleştirilmeden önce ilk olarak tasarım amacı belirlenmelidir. Bu doğrultuda çalışmada tasarımı gerçekleştirecek robot koldan yapması beklenen göreve göre tasarımın amacı belirlenmiştir. Bu çalışmada tasarımın iki amacı vardır. Birinci amaç; kullanılan tezgâhta yerden tasarruf sağlamak; ikinci amaç ise birden çok robot kol gereken tezgâhlarda tek bir robot kol ile işin yapılabilmesidir.

Tasarım amacı belirlendikten sonraki aşama, tasarım için uygun bileşenlerin belirlenmesidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen tasarım tavan ve robot mekanizması olmak üzere iki temel bölümden oluşmaktadır. Tasarım bileşenleri; tavan mekanizması, döner tabla, omuz, ön kol, bağlantı kolu, bilek ve tutucu parçasından oluşmaktadır. Eksenlerin hareketi için iki çeşit servo motordan toplam beş adet ve son olarak kızak mekanizmasının hareketi için bir adet step motordur. Gerekli parçaların ölçü ve toleransları tasarımda en uygun olacak şekilde planlanmış ve birbirleri ile olan uyumları kontrol edilmiştir. Bilgisayar destekli üç boyutlu bir tasarım programı kullanılarak çizimleri yapılan parçalar, bağlantı yerleri toleranslarının doğruluğundan ve birbirleri ile örtüştüğünden emin olunduktan sonra iki ayrı mekanizmanın da montaj ilişkileri kurulmuştur. Son olarak tasarım amaçları doğrultusunda yerden tasarruf sağlaması için robot kolun, tavan mekanizmasına ters bir şekilde montaj ilişkisi oluşturulmuştur. Tek tezgâhta birden çok işi yapabilmesi için ise tavan mekanizmasında oluşturulan eksen üzerinde robot kolun lineer hareket edebileceği bir sistem kurulmuştur.

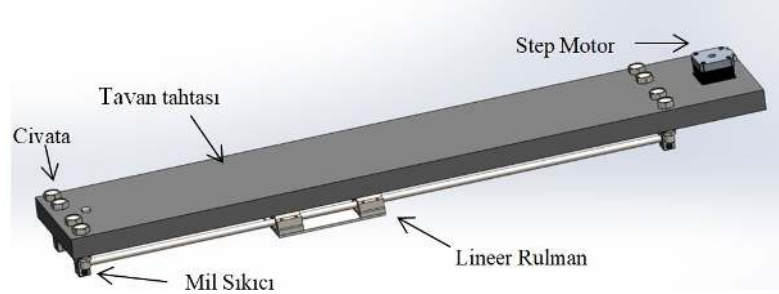
#### 3.1. TERS ROBOT KOL MEKANİZMASI BİLEŞENLERİ VE GÖREVLERİ

Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen ters robot kol mekanizmasına ait bileşenlerin görselleri ve görevleri aşağıdaki ki bölümlerde verilmiştir.

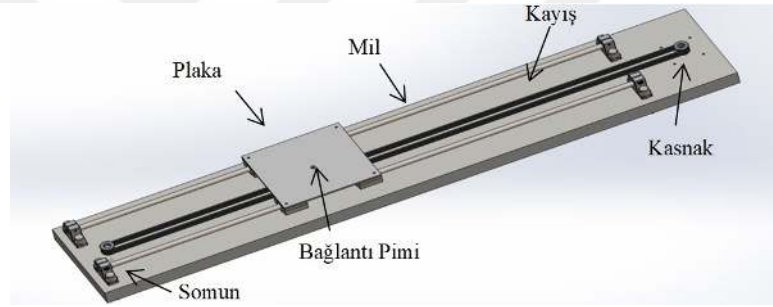
##### 3.1.1. Tavan Mekanizması Bileşeni

Tavan mekanizması tasarımında ilk olarak robot kolun oturtulduğu plakanın yatay hareketi için kayış kasknak sistemi tasarlanmış ve plaka 2 adet mil üzerine oturtulmuştur. Milleri tavan tahtasına sabitlemek için 8 adet cıvata, 4 adet somun, 4 adet mil sıkıcı kullanılmıştır. Oluşturulan bu doğrusal düzlem mekanizmasında robot kolun ileri geri

hareketleri için lineer rulman kullanılmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Lineer rulman kullanımı ile hareket esnasında sürtünme kuvvetini azaltarak herhangi bir bozulma durumunun önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Tasarımı tamamlanan sistemin hareketini sağlamak için 1 adet step motor kullanılmıştır. Böylece kurulan mekanizma ile robot kolun ile eksen üzerinde serbestçe malzemeyi bir noktadan alıp başka bir noktaya bırakabilmesi sağlanmıştır.



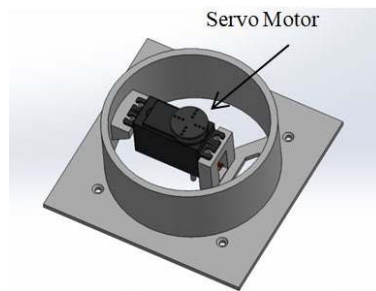
Şekil 3.1. Tavan Mekanizması Bileşeni Üst Görünüş



Şekil 3.2. Tavan Mekanizması Bileşeni Ön Görünüş

### 3.1.2. Döner Taban Bileşeni

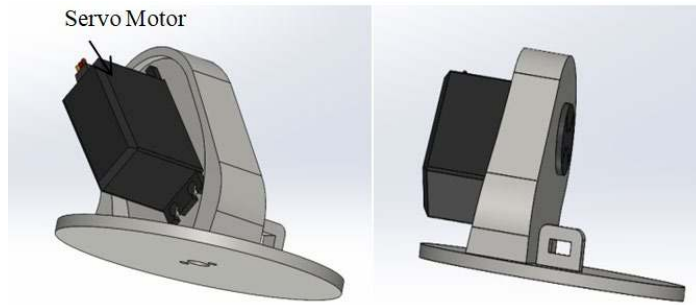
Robot kolun döner taban mekanizması, tavan mekanizmasında ki plakaya sabitlenecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede robotun tavan mekanizmasında doğrusal hareket etmesi sağlanmıştır. Bileşenin hareketi için 1 adet servo motor kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Döner Taban

### 3.1.3. Omuz Bileşeni

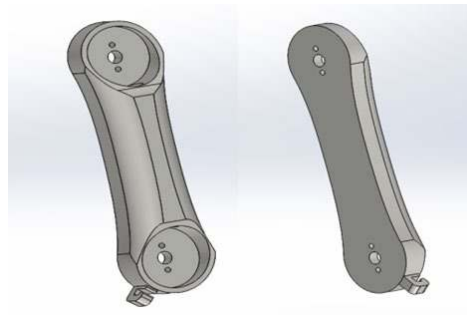
Omuz bileşeni, robot kolun geniş bir açı (yukarı-aşağı, ileri-geri) ve yönde hareket etmesini sağlayarak esnekliğini artıran bir bileşendir. Ayrıca omuz bileşeni, robot kolunun ucundaki tutucu bileşenin doğru yönlendirilmesine yardımcı olur. Bu nedenle, omuz bileşeni, bir robot kolunun işlevselliğinde temel ve vazgeçilmez bir parçadır. Bu tasarımda robot kolun omuz bileşenin hareketi için 1 adet servo motor kullanılmıştır. Omuz tasarımının alt kısmı taban mekanizmasının üstüne gelecek şekilde plaka olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Omuz Bileşeni

### 3.1.4. Bağlantı Kolu Bileşeni

Omuz ile ön kol arasında bulunan bağlantı kolunun görevi; robot kolunun eklemlerini birbirine bağlamak, yapısal destek sağlamak ve hareketi iletmektir. Bu sayede kolun belirli hareket kabiliyetlerini sağlar. Ayrıca robot kolun kinematik zincirinin bir parçası olması ile kolun etkili ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar (Şekil 3.5).

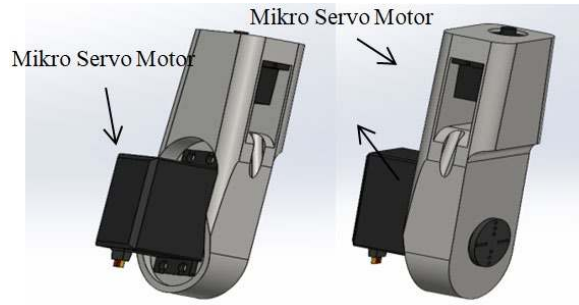


Şekil 3.5. Bağlantı Kolu Bileşeni

### 3.1.5. Ön Kol Bileşeni

Omuzdan gelen hareketin bileğe iletimi ile görevli bileşendir. Bu sayede, robot kolun doğru ve koordineli bir şekilde hareket etmesini sağlar. Ön kol ve bağlantı kolunun birleşimi dirsek olarak adlandırılmaktadır. Bu tasarımda ön kol bileşeni için iki adet

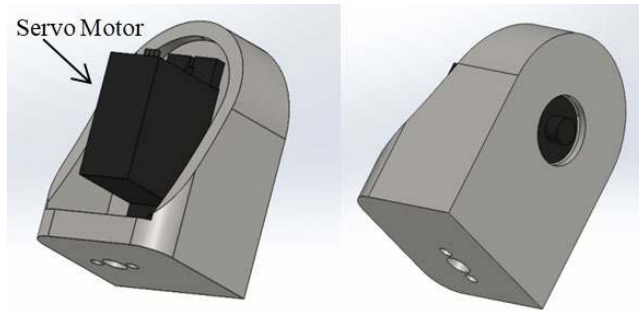
mikro servo motor kullanılarak hareket sağlanmıştır. (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Ön Kol Bileşeni

### 3.1.6. Bilek Bileşeni

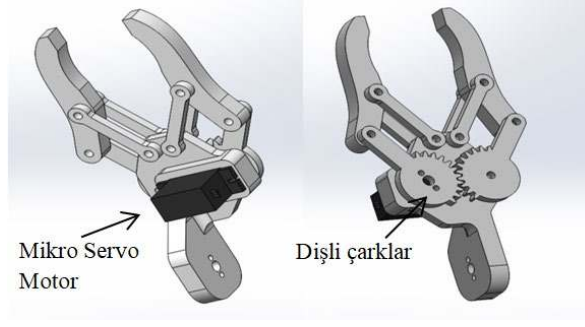
Robot kolunda bilek bileşeni; tutucunun hassas yönlendirilmesi, çok eksenli hareketler yapabilmesi, doğru pozisyonlama, dönme ve eğme hareketleri gerçekleştirebilmesi için önemli bir göreve sahiptir. Bilek bileşeni; robot kolunun esnekliğini, çevikliğini ve genel performansını artırarak, daha karmaşık ve hassas görevleri yerine getirilmesini sağlar. Bu tasarımda bilek bileşeni için bir adet servo motor kullanılarak hareket sağlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Bilek Bileşeni

### 3.1.7. Tutucu Bileşeni

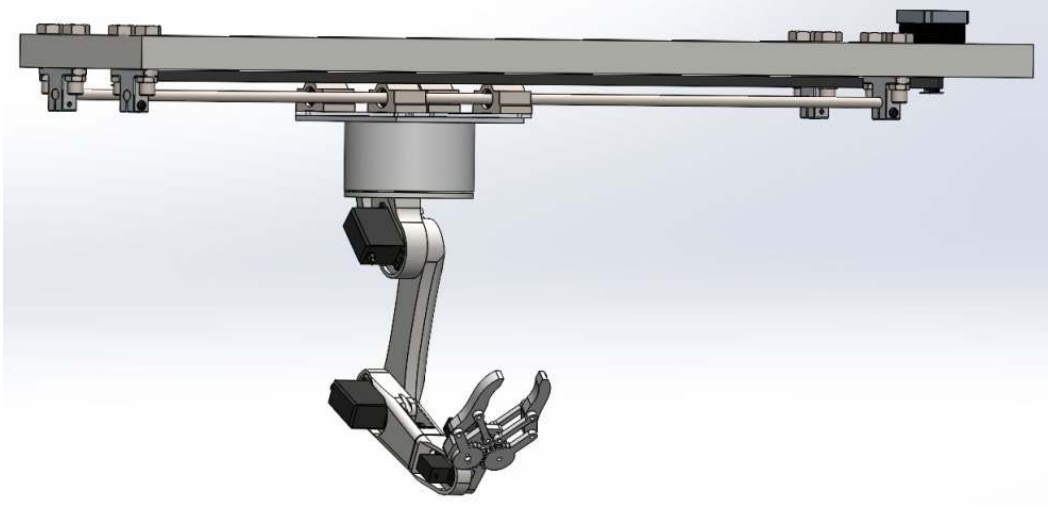
Tutucu mekanizması, malzemenin bir noktadan başka bir noktaya taşınmasını sağlar. Yapısında bulunan dişli çarklar ile hedef nesneyi kavraması, sıkma ve bırakma hareketini yapması sağlanmıştır. Üzerine eklenen bir servo motor sayesinde hareketlendirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Tutucu Bileşeni

### 3.1.8. Ters Robot Kol Mekanizması

Bu tez çalışmasında tasarımı gerçekleştirilen ters robot kol mekanizmasının montaj görseli Şekil 3.9’da verilmiştir.



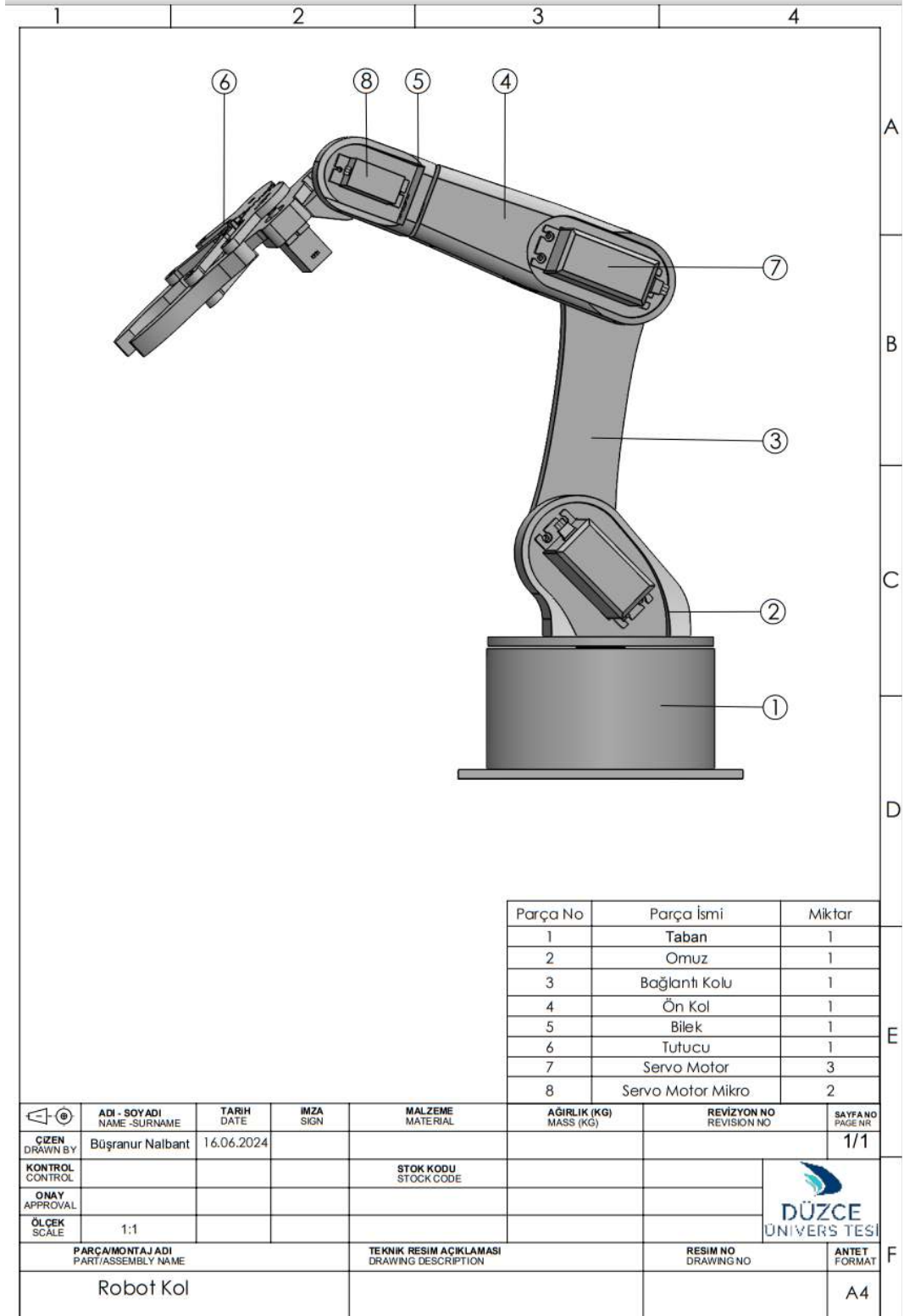
Şekil 3.9. Ters Robot Kol Mekanizması



### 3.2. TERS ROBOT KOL MEKANİZMASI TEKNİK RESİMLER

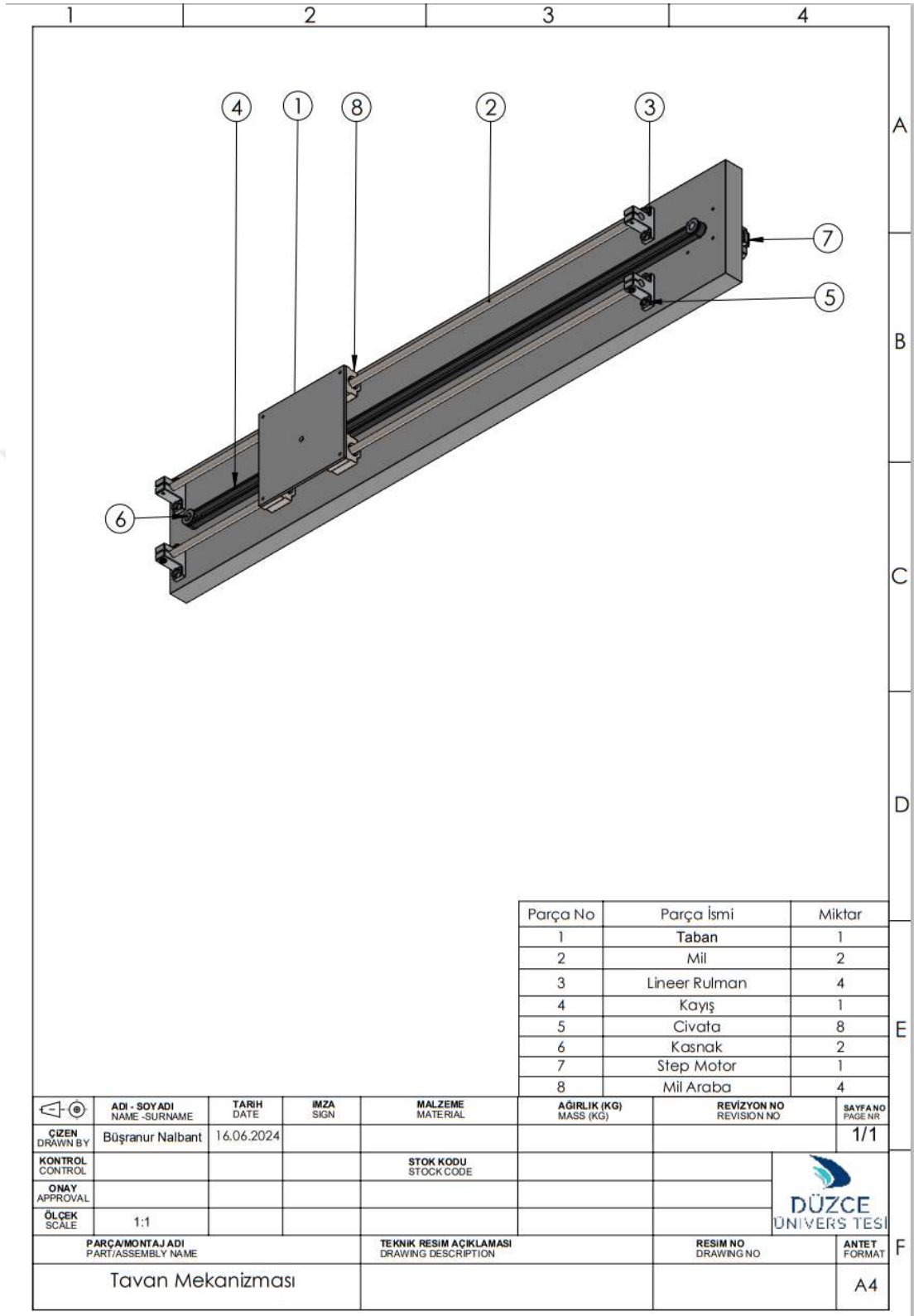
Aşağıdaki bölümlerde tasarlanan robot kola ait parçaların teknik resimleri verilmiştir.

#### 3.2.1 Robot Kol Tasarımı



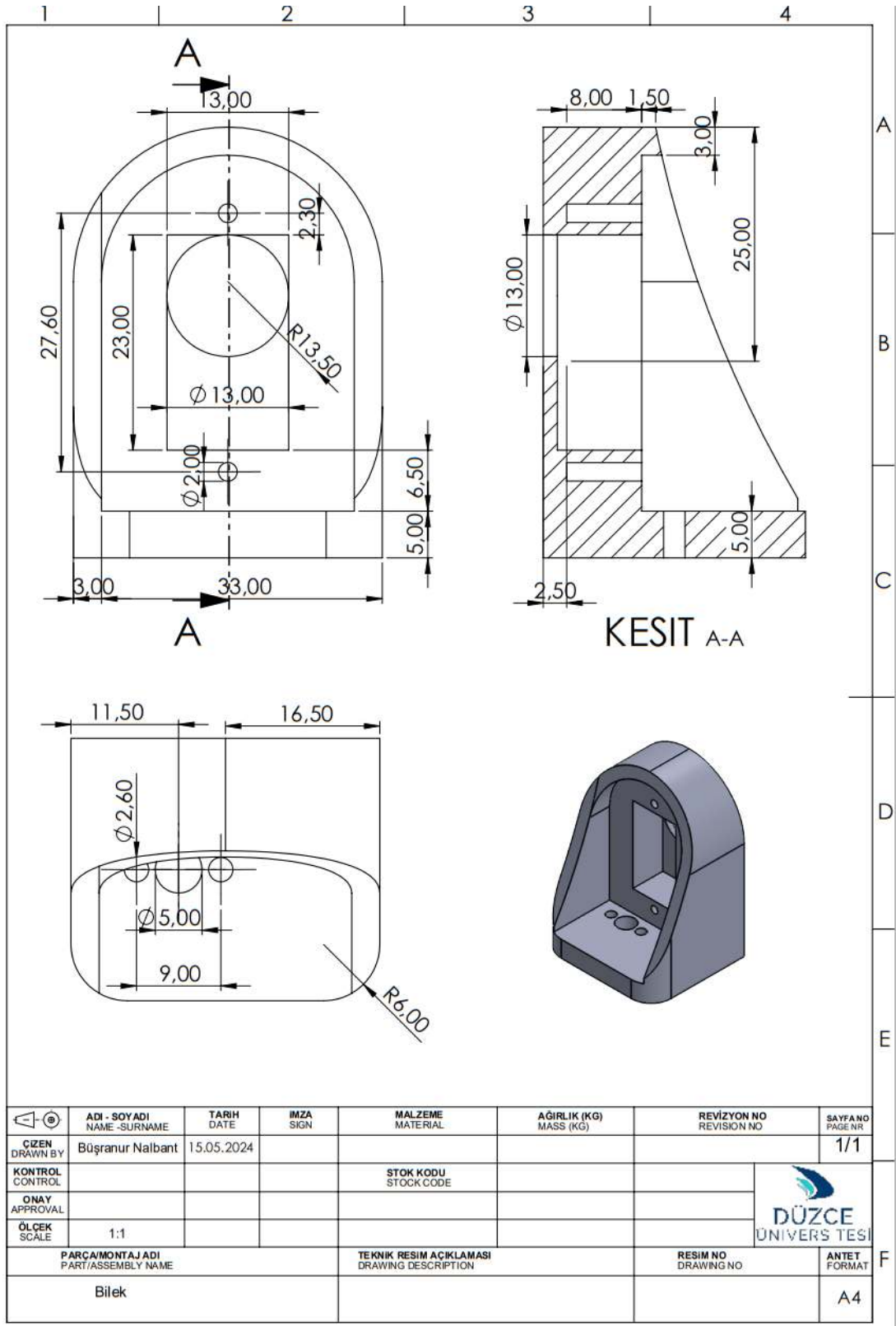
Şekil 3.10. Robot Kol Tasarımı

### 3.2.2. Tavan Mekanizması Tasarımı



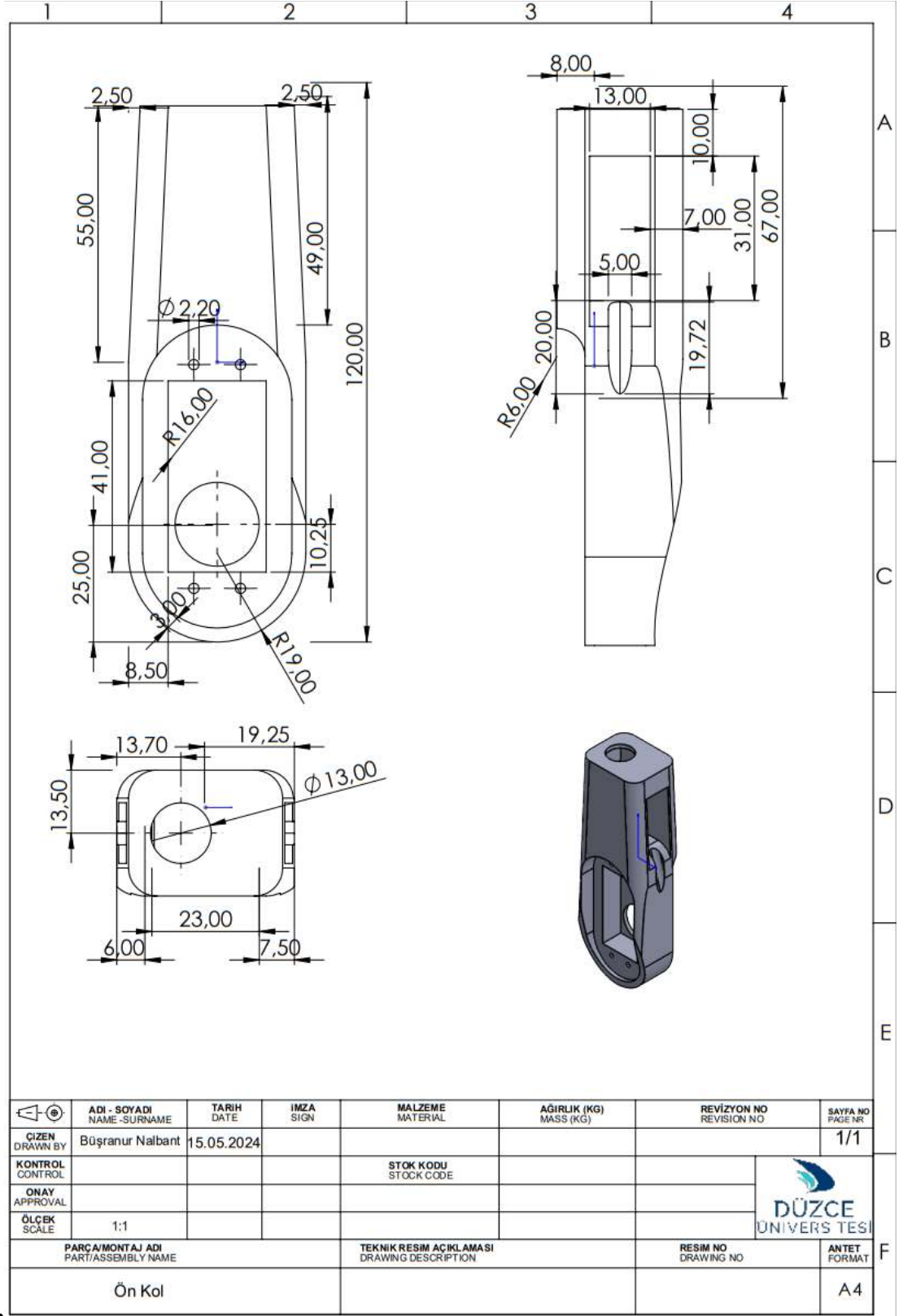
Şekil 3.11. Tavan Mekanizması Tasarımı

### 3.2.3. Bilek Tasarımı



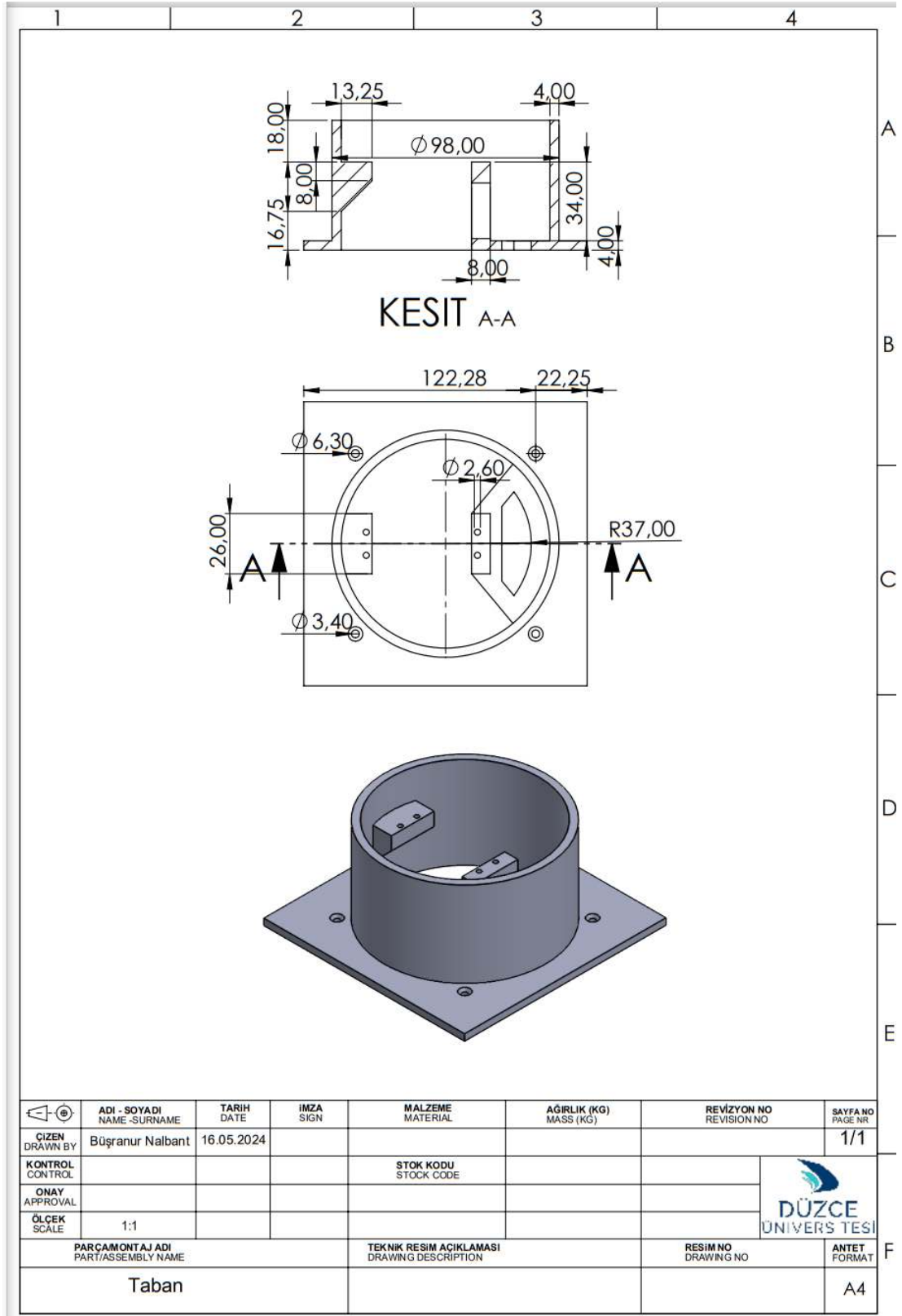
Şekil 3.12. Bilek Tasarımı

### 3.2.4. Ön Kol Tasarımı



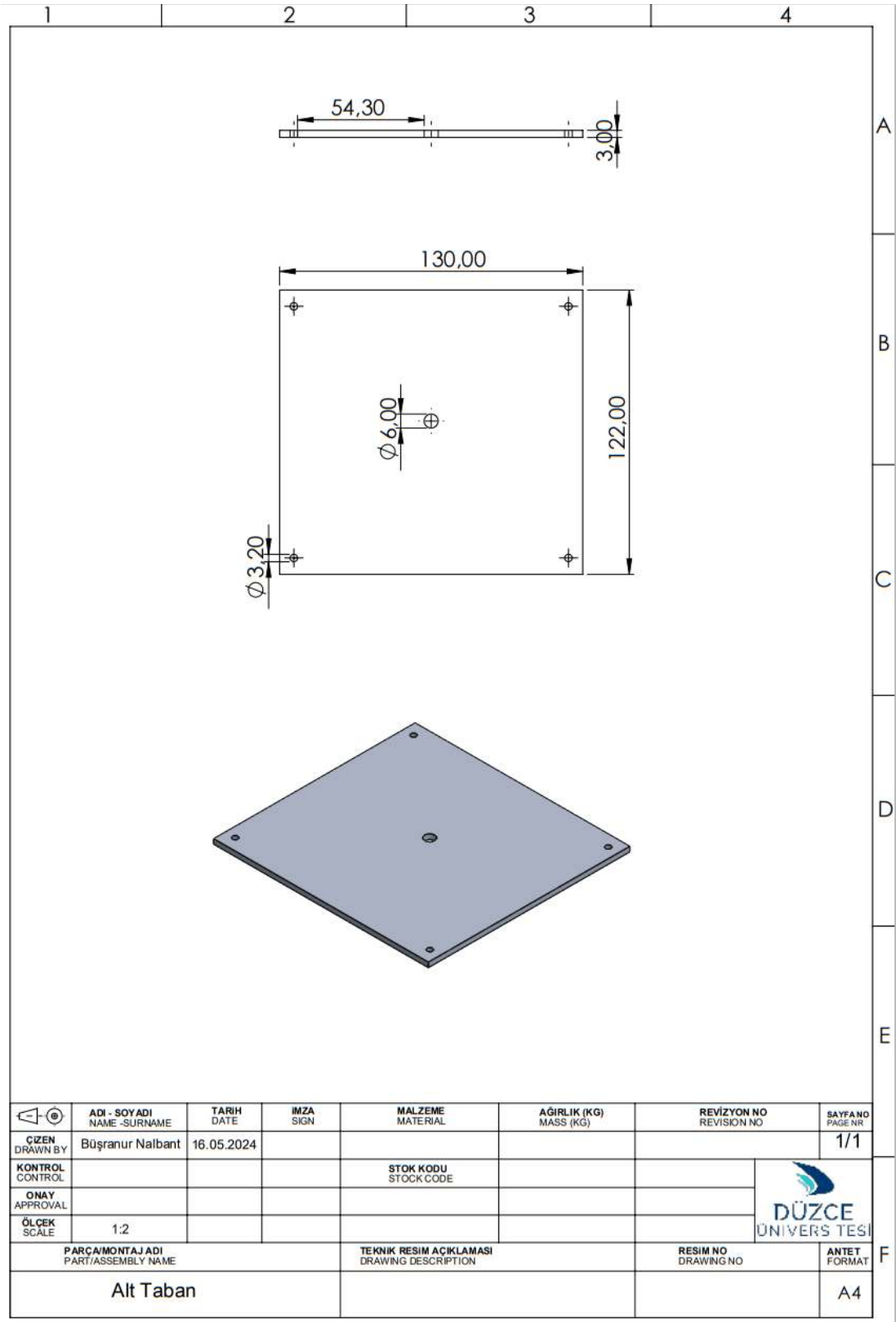
Şekil 3.13. Ön Kol Tasarımı

### 3.2.5. Döner Taban Tasarımı



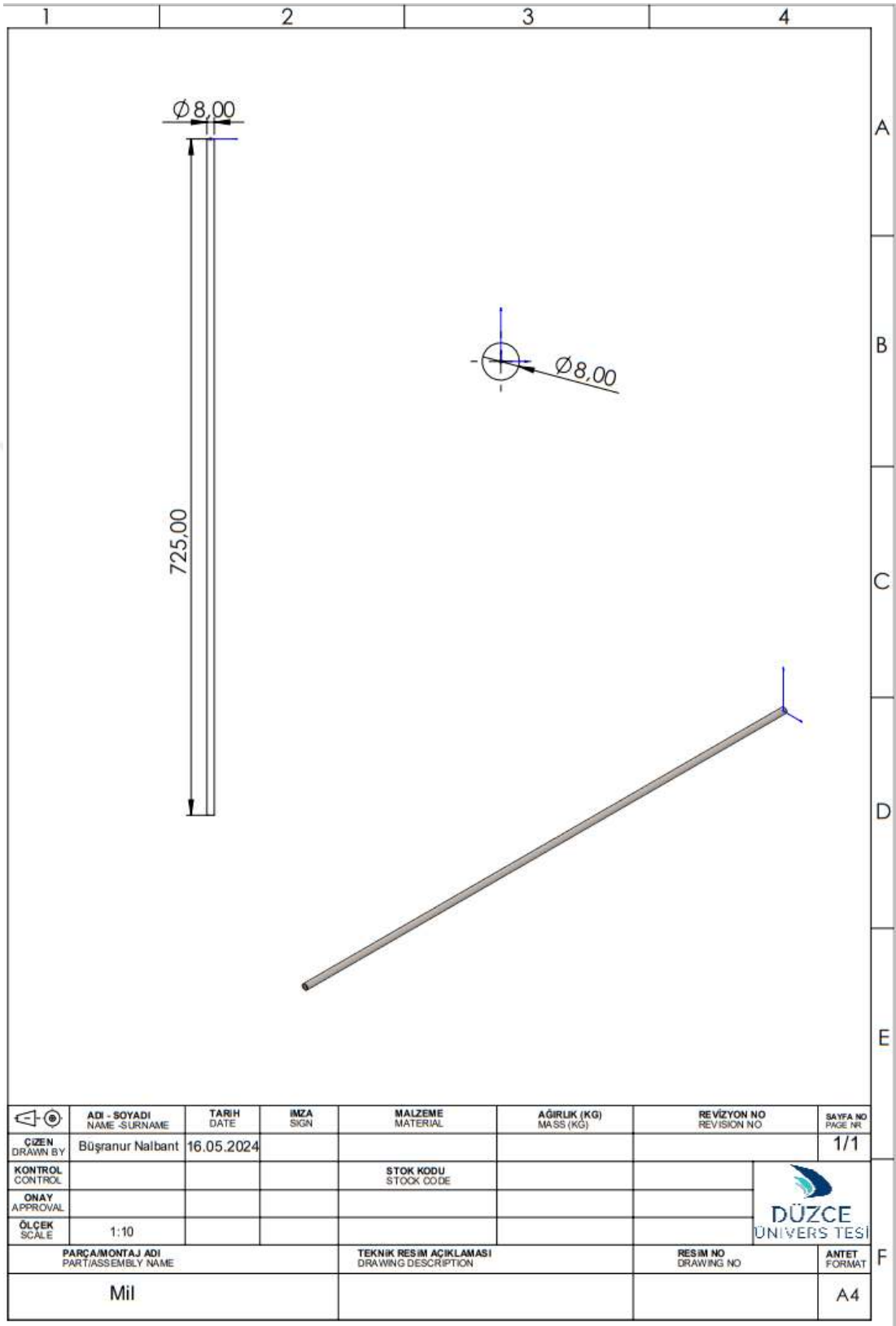
Şekil 3.14. Döner Taban Tasarımı

### 3.2.6. Alt Taban Tasarımı



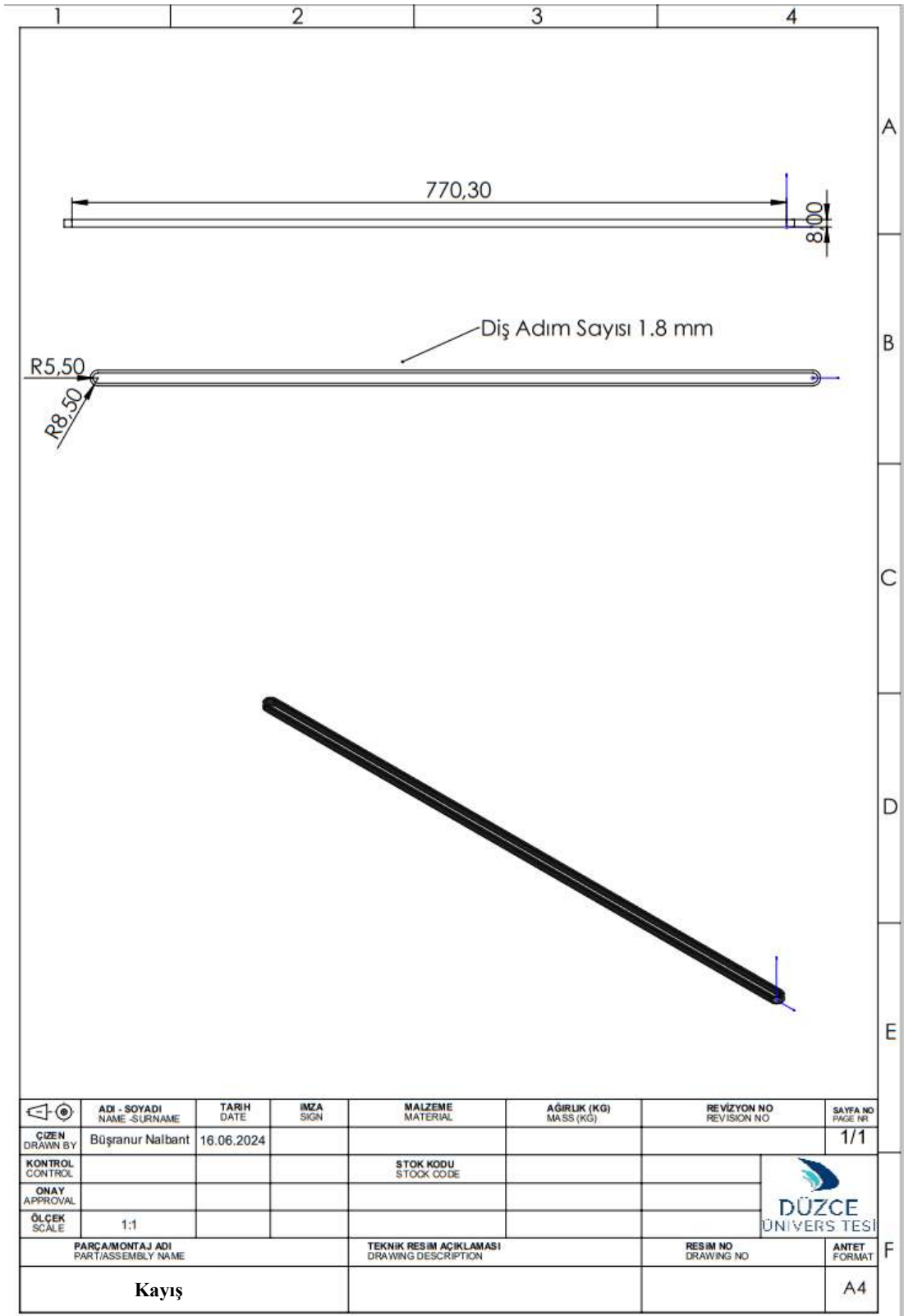
Şekil 3.15. Alt Taban Tasarımı

### 3.2.7. Mil Tasarımı



Şekil 3.16. Mil Tasarımı

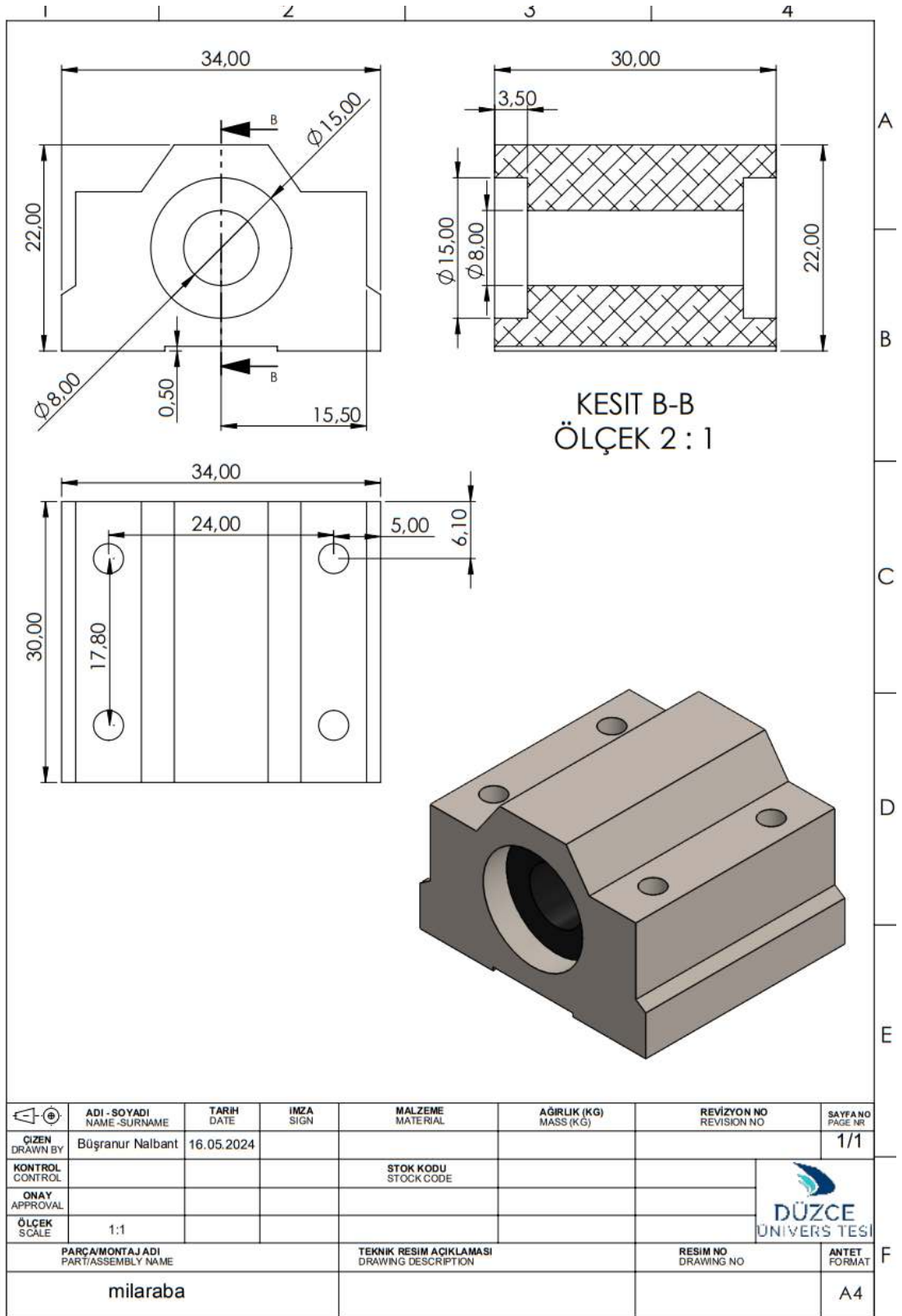
### 3.2.8. Kayış Tasarımı



Şekil 3.17. Kayış Tasarımı

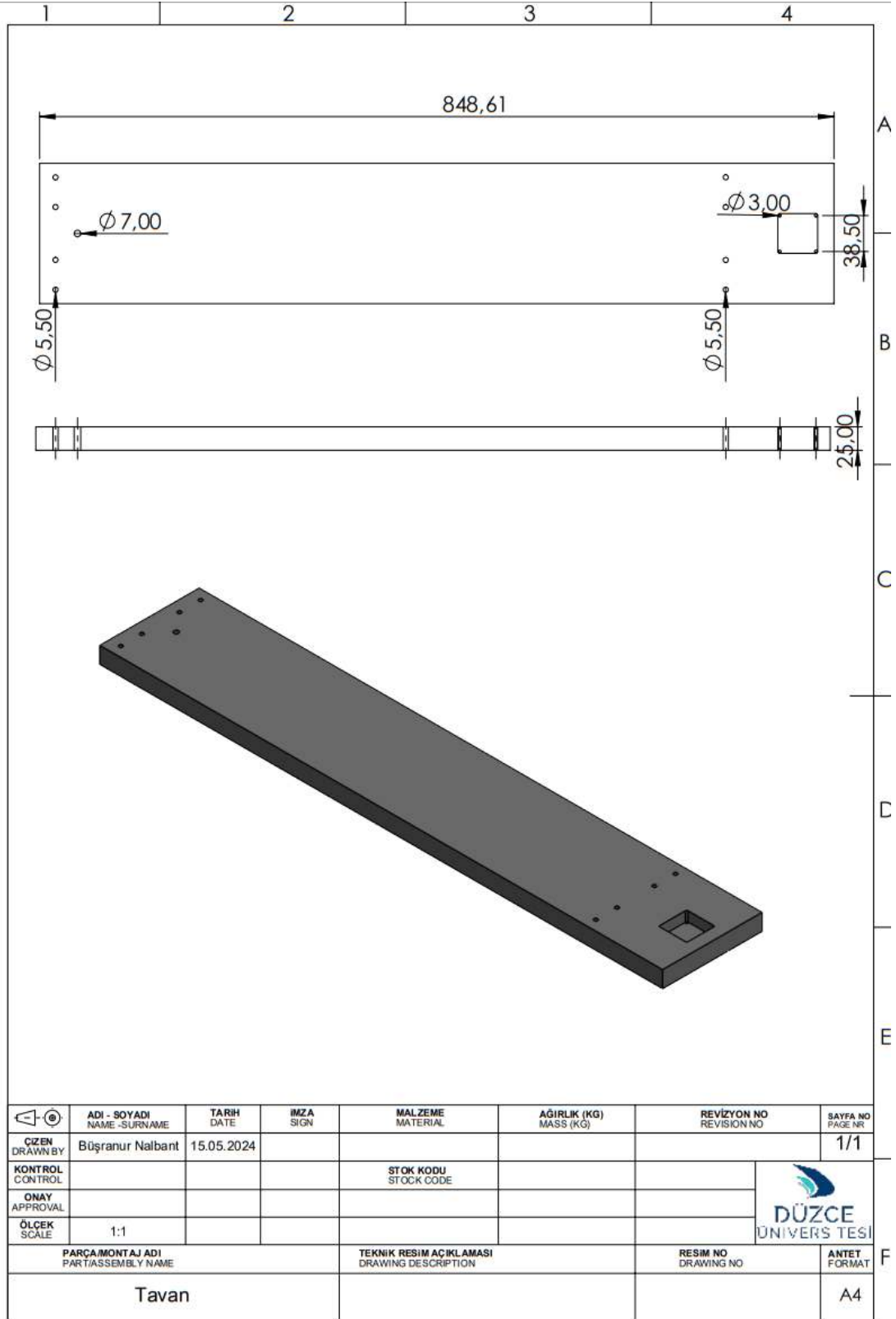


### 3.2.9. Mil Araba Tasarımı



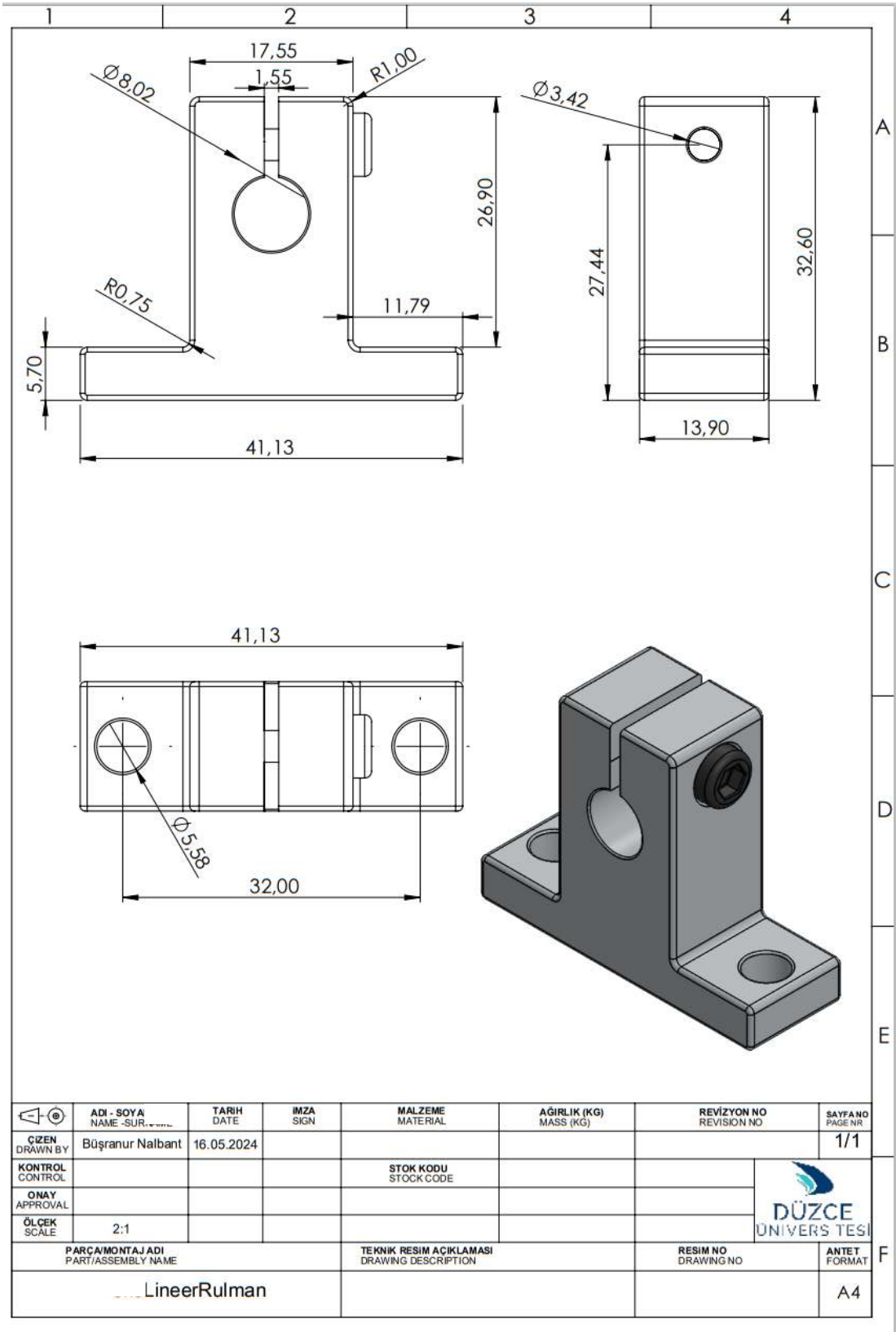
Şekil 3.18. Mil Araba Tasarımı

### 3.2.10. Tavan Tasarımı



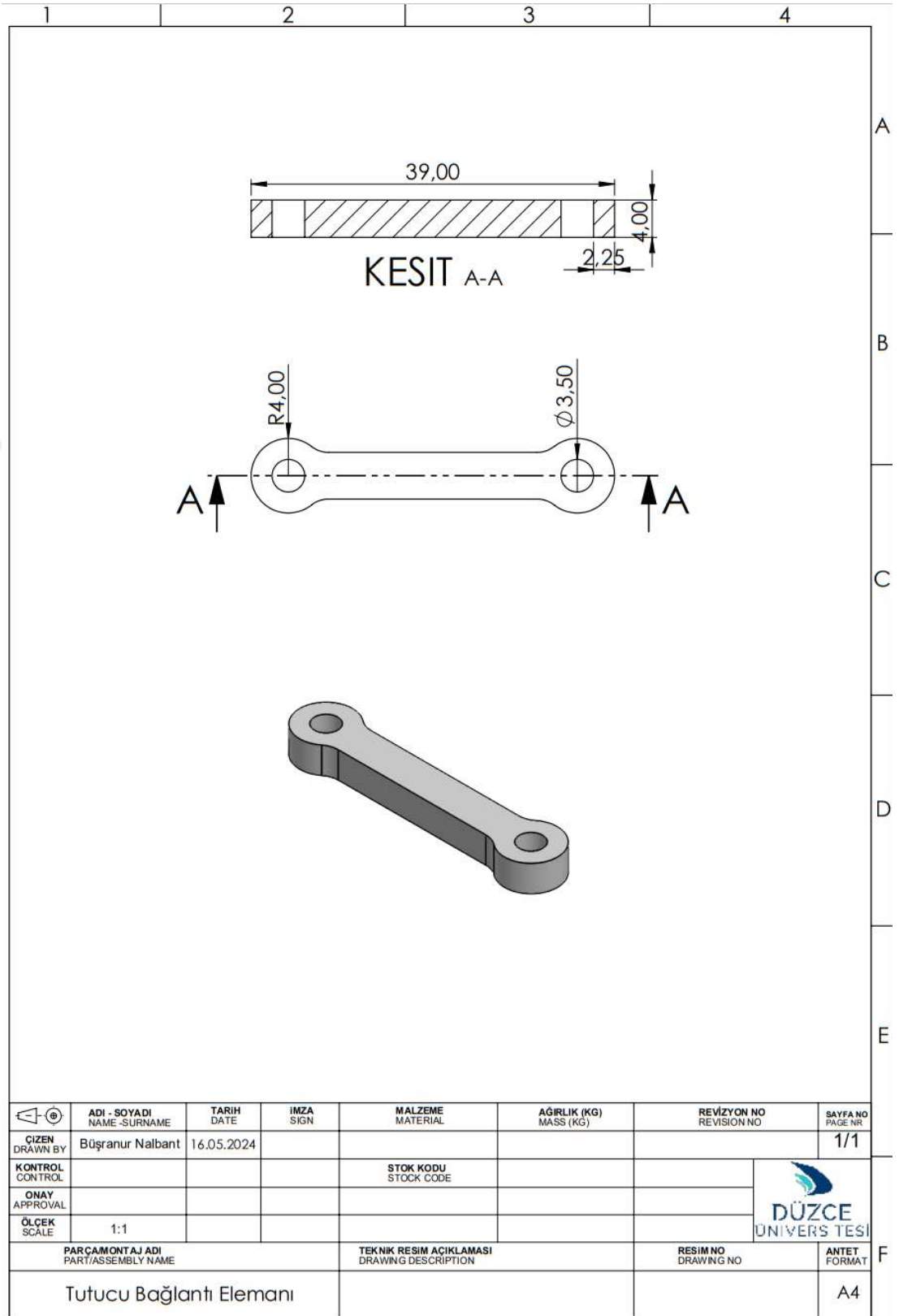
Şekil 3.19. Tavan Tasarımı

### 3.2.11. Lineer Rulman Tasarımı



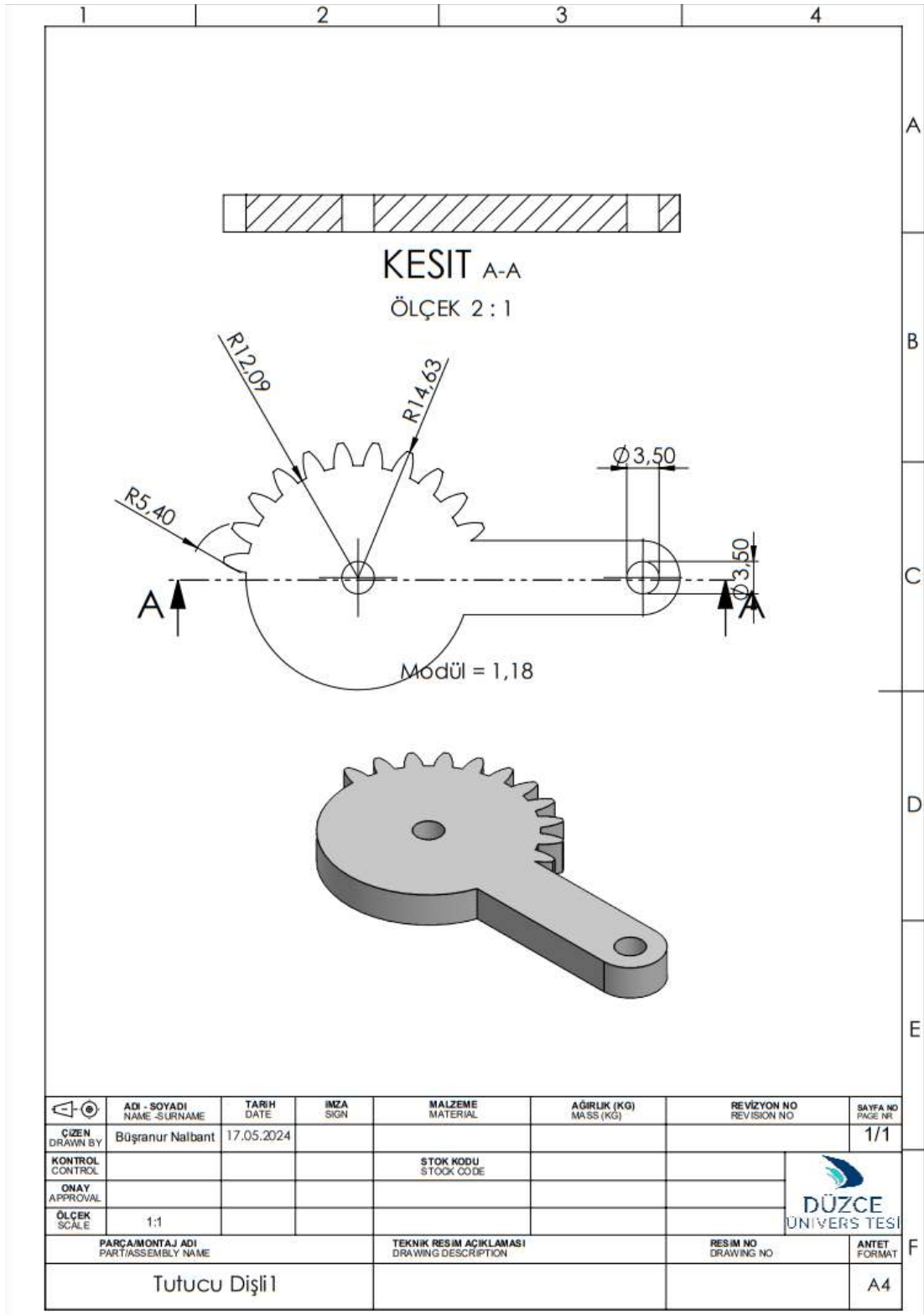
Şekil 3.20. Lineer Rulman Tasarımı

### 3.2.12. Tutucu Bağlantı Elemanı Tasarımı



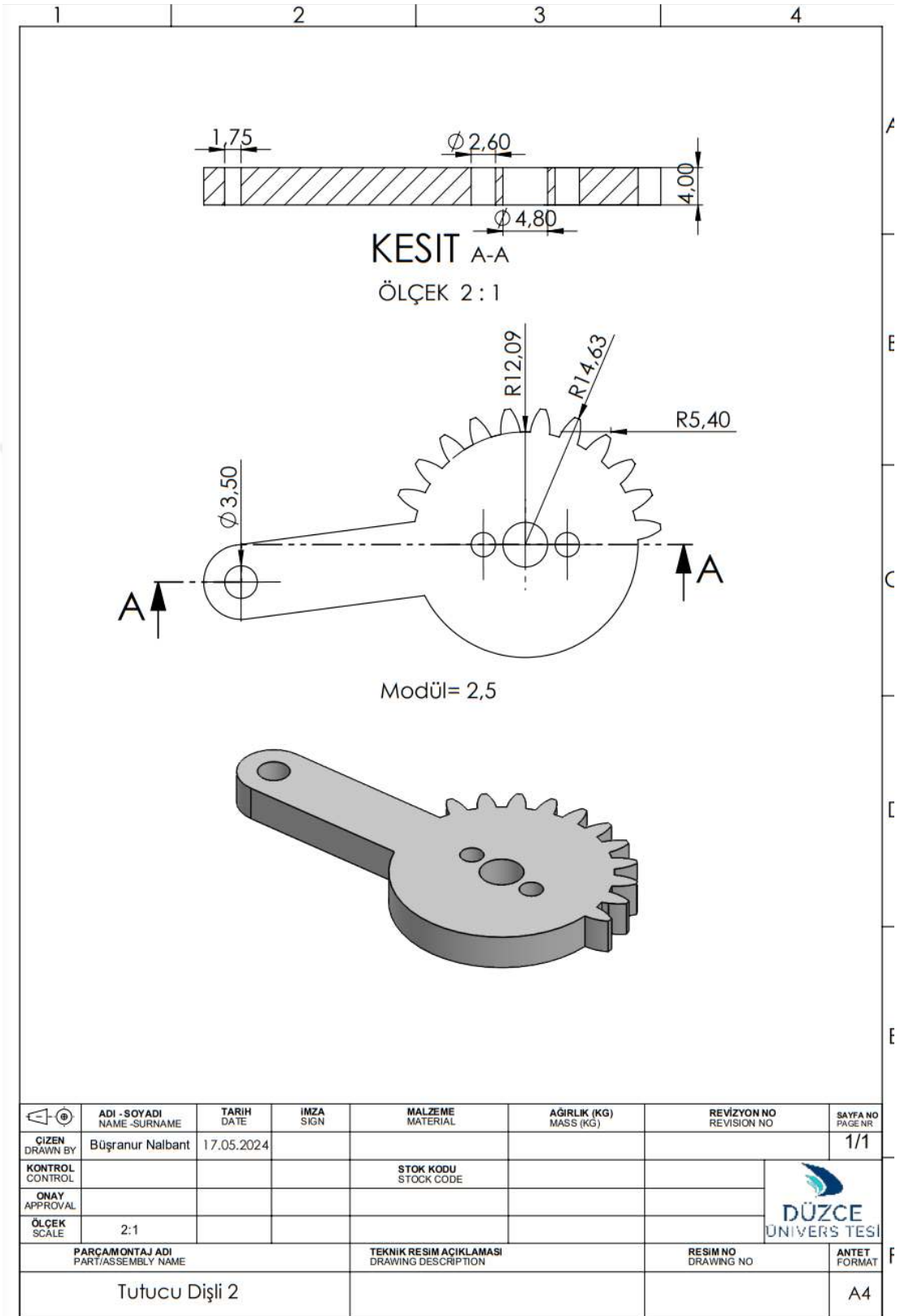
Şekil 3.21. Tutucu Bağlantı Elemanı Tasarımı

### 3.2.13. Tutucu 1. Dişli Elemanı Tasarımı



Şekil 3.22. Tutucu 1. Dişli Elemanı Tasarımı

### 3.2.14. Tutucu 2. Dişli Elemanı Tasarımı

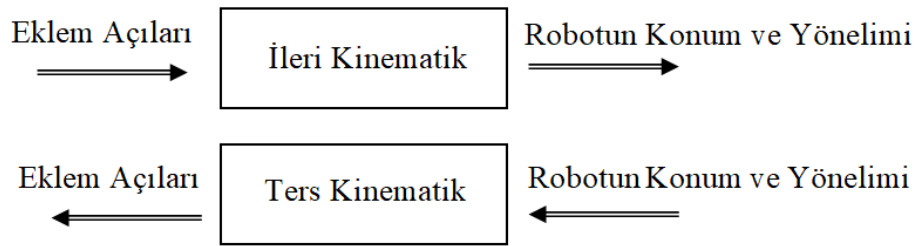


Şekil 3.23. Tutucu 2. Dişli Elemanı Tasarımı

## 4. KİNEMATİK

Robotlar, eklemler ile birbirine bağlı uzuv adı verilen eğilmez katı cisimlerin açık uçlu kinematik zinciridir. Geometrik bir sistemin yapısını ve hareketini inceleyen kinematik bilimi sayesinde robotlara ait hareketlerin analitik olarak ifade edilmesi sağlanır. Bu nedenle tasarımı gerçekleştirilen tüm robotların kinematik analizleri gerçekleştirilmeli; hareket eksen, bağlantı noktaları ve eklemler arasındaki ilişkiler tanımlanmalıdır [55].

Robotların kinematik analizi; ileri kinematik ve ters kinematik olmak üzere iki farklı yöntem ile gerçekleştirilir. Eklem açıları verilmiş bir robotun, robot uç noktasının (tutucu) bu açı değerlerinde aldığı konum ve yönelim bilgilerinin hesaplanması işlemi ileri kinematik; uç noktası için konum ve yönelim bilgileri verilmiş bir robotun, eklem açılarının alması gereken değerlerin hesaplanması işlemi ise ters kinematik olarak adlandırılır [56]. Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen robot kol için ileri ve ters kinematik analizler yapılmış olup çalışmanın devamında paylaşılmıştır.



Şekil 4.1. İleri ve Ters Kinematik Analizin Farkı

### 4.1. İLERİ KİNEMATİK

Robotlar, üç boyutlu uzayda çalışırlar. Üç boyutlu uzayda robot ve uç işlevcisinin birbirlerine göre olan konum ve yönelimlerini belirlemek için ileri kinematik kullanılır. Robotların ileri kinematik modelinin çıkarılabilmesi için bazı kinematik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden başlıca beşi; Homojen dönüşüm yöntemi, Pieper-Roth yöntemi, Üssel yöntem, SRK (Sıfır Referans Konum) yöntemi ve TPS (Tam ve Parametrik olarak Sürekli) yöntemidir [57].

Bu tez çalışmasında tasarımı gerçekleştirilen 6 eksenli robot kolun kinematik modeli çıkartılırken en çok kullanılan yöntem olan Denavit-Hartenberg gösterimini kullanan homojen dönüşüm yöntemi kullanılmıştır.

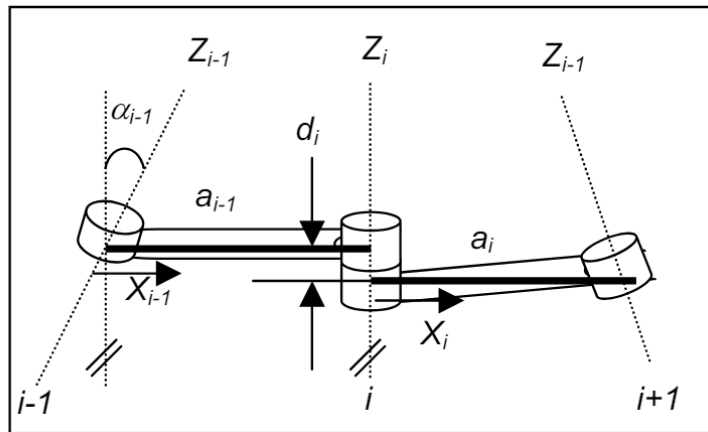
#### 4.1.1. Denavit-Hartenberg(D-H) Gösterimi

Denavit-Hartenberg yönteminde robotun ileri kinematiğini çıkartmak için Denavit-Hartenberg değişkenleri (D-H değişkenleri) adı verilen dört ana değişken kullanılmaktadır.

Bu değişkenler;

1.  $(\alpha_{i-1})$ : (i-1) ile i eksenleri arasındaki bağ açısı,
2.  $(a_{i-1})$ : İki eksen arasındaki bağ uzunluğu,
3.  $\theta_i$  ; İki bağ arasındaki eklem açısı,
4.  $d_i$ : Çakışan bağlar arasındaki eklem kaçıklığıdır [57].

Verilen bu D-H değişkenlerinin bulunması için sırası ile bazı aşamaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İlk olarak eksenlerin tümüne koordinat sistemi yerleştirilmelidir. Koordinat sistemi yerleştirilirken, prizmatik eklemlerin hareket doğrultusu yönünde, dönel eklemlerin ise dönme eksenlerine  $Z_i$  eksenleri;  $Z$  eksenine dik olan bağ uzunluklarına  $X$  eksenleri; son olarak da sağ el kuralına göre  $Y$  eksenleri belirlenerek tüm koordinat eksenleri yerleştirilmelidir [58]. Şekil 4.2’de DH gösterimi verilmiştir.

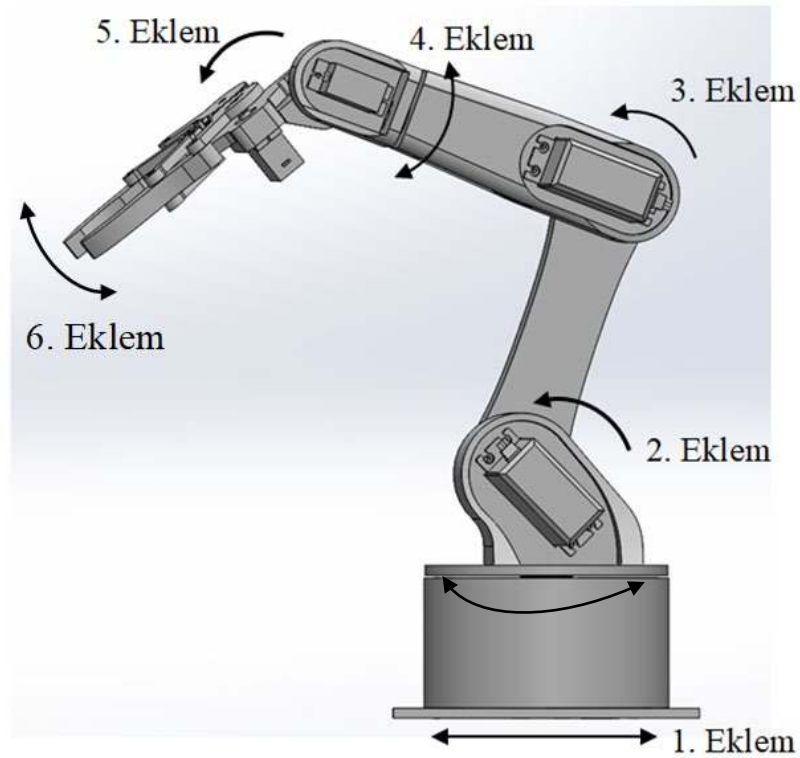


Şekil 4.2. DH Gösterimi [57]

İleri kinematik modellemesi gerçekleştirilmek üzere, çalışmada tasarlanan robot kolun eklem yerleri ve dönme eksenlerinin gösterimi Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Robot kolunun her bir eklemi, farklı açısal hareket kabiliyetine sahip olup, belirli bir görev veya işlem sırasında robotun pozisyon ve yönelimini ayarlamaktadır.

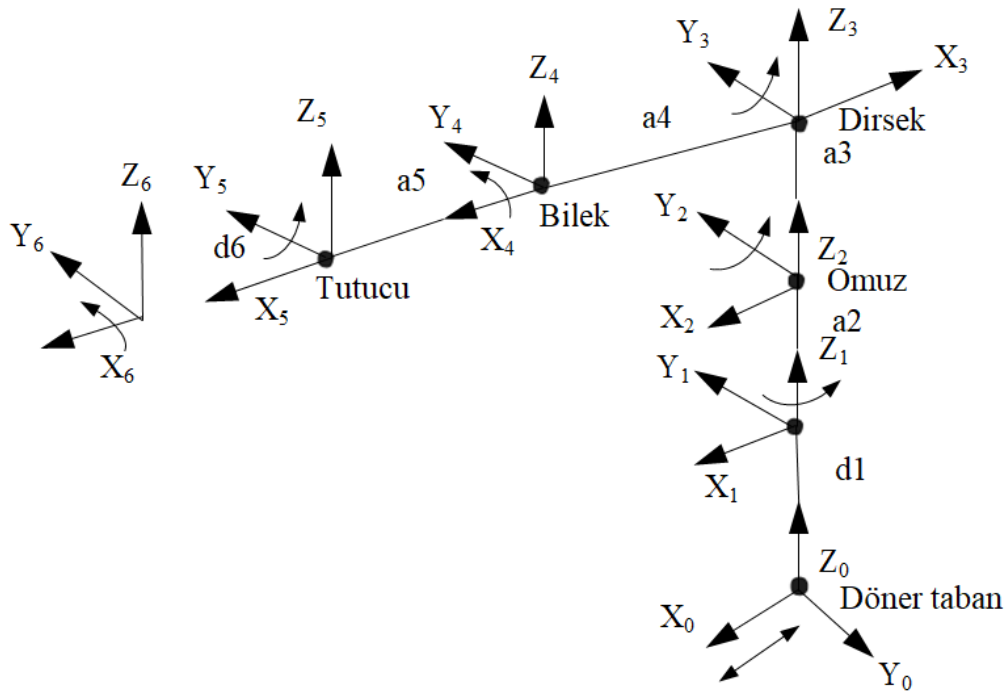


1. Eklem: Robotun tabanında bulunur ve robot kolunun dönme hareketini sağlar. Bu eklem, robot kolunun genel yönünü ayarlamak için kullanılır. Ayrıca birinci eklemden, tavan mekanizması hareketi de bulunmaktadır. Bu hareket robotun yatay ekseninde sağa veya sola gitmesini sağlamaktadır.
2. Eklem: İlk eklem üzerine monte edilmiş olup, kolun yukarı ve aşağı hareketini sağlar. Bu eklem, kolun uzanma mesafesini ayarlamak için kullanılır.
3. Eklem: İkinci eklem devamında yer alır ve kolun ileri ve geri hareket etmesini sağlar. Bu, robotun çalışma alanında daha geniş bir erişim sağlar.
4. Eklem: Üçüncü eklem üzerinde bulunur ve bilek hareketini kontrol eder. Bu eklem, robot kolunun hassas yönlendirme hareketlerini yapmasına olanak tanır.
5. Eklem: Bilek eklemi olarak da bilinir ve tutucunun farklı açılarda hareket etmesini sağlar. Bu eklem, tutucunun hassas pozisyonlama ve yönlendirme hareketlerini yapar.
6. Eklem: En uçta yer alır ve robotun tutucusunun döndürme hareketini sağlar. Bu, robotun nesneleri farklı açılarda kavramasına ve yerleştirmesine olanak tanır.



Şekil 4.3. Robot Kolun Eklem Yerleri Ve Dönme Eksenlerinin Gösterimi

Şekil 4.4’de çalışmada tasarlanan 6 serbestlik derecesine sahip robot kolunun kinematik yapısını göstermektedir. Kinematik analizi, robot kolunun belirli bir görevde istenilen pozisyona ve yörüngeye ulaşmasını sağlamak için gereklidir. Şekilde, robot kolunun her bir eklemi ve bağlantısı, X, Y ve Z eksenlerinde tanımlanan koordinat sistemleri ile temsil edilmiştir. Tabanda yer alan döner taban, Z1 ekseninde döner ve X1, Y1 ve Z1 eksenleri olarak tanımlanmıştır. Ayrıca döner tabanın bağlı olduğu tavan mekanizması da X0 ekseninde de doğrusal hareket yapar ve X0, Y0 eksenleri ile tanımlanmıştır. İlk bağlantı (omuz eklemi), taban ile Y2 ekseninde döner ve omuz eklemi oluşturur. Bu eklem,  $a_2$  ve  $d_1$  parametreleri ile karakterize edilir. İkinci bağlantı, Z2 ekseninde döner ve omuz ile dirsek arasında yer alır. Bu bağlantı, X2, Y2 ve Z2 eksenleri ile gösterilmiştir. Üçüncü bağlantı (dirsek eklemi), Y3 ekseninde döner ve dirsek ile bilek arasında yer alır. Bu bağlantı da X3, Y3 ve Z3 eksenleri ile tanımlanmıştır. Dördüncü bağlantı (bilek eklemi), X4 ekseninde döner ve bilek ile tutucu arasında yer alır. Beşinci bağlantı (tutucu), Y5 ekseninde döner ve X5, Y5 eksenleri ile tanımlanmıştır. Son bağlantı ise Z6 ekseninde döner ve robot kolunun ucunda yer alan tutucu kısmını kontrol eder. Bu eklem X6, Y6 ve Z6 eksenleri ile gösterilmiştir. Her bir eklemdaki açısal pozisyonlar ( $a_2, a_3, a_4, a_5$ ) ve doğrusal uzaklıklar ( $d_1, d_6$ ) robot kolunun hareketini ve pozisyonunu belirler.



Şekil 4.4. Robot Kolun Koordinat Eksen Takımlarının Gösterimi

Bu eksenlere göre hazırlanmış D-H tablosu Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Robot Kolun DH Parametre Değerleri

| Eklem | D-H DEĞİŞKENLERİ |                |                |        |
|-------|------------------|----------------|----------------|--------|
| (i)   | $\theta$ (açı)   | $\alpha_{i-1}$ | $a_{i-1}$ (mm) | d (mm) |
| 1     | $\theta_1$       | 90             | 0              | $d_1$  |
| 2     | $\theta_2$       | 0              | 0              | 0      |
| 3     | $\theta_3$       | 0              | $a_2$          | 0      |
| 4     | $\theta_4$       | -90            | $a_3$          | 0      |
| 5     | $\theta_5$       | 0              | 0              | 0      |
| 6     | $\theta_6$       | 0              | 0              | $d_6$  |

DH değerleri belirlenen robot kolun ileri kinematik modelinin oluşturulması için her bir ekleme yerleştirilen koordinat sistemi ile komşu eklemler arasındaki ilişkiyi veren dönüşüm matrisinin bulunması gerekir. Dönüşüm matrisi  $T_i^{i-1}$  ile gösterilir [59]. Bu tez çalışmasında tasarımı gerçekleştirilen robot kol da bulunan altı eklem ele alındığında eklemlere göre dönüşüm matrisleri sırasıyla  $T_1^0$ ,  $T_2^1$ ,  $T_3^2$ ,  $T_4^3$ ,  $T_5^4$ ,  $T_6^5$  şeklinde olmaktadır.

Dönüşüm matrislerinin bulunması için Denklem 4.1’deki homojen dönüşüm matrisi kullanılmaktadır [59]. Dönüşüm matrislerinde kullanılan “c” ve “s” kısaltmaları cosinus ve sinüs fonksiyonlarını ifade ederek  $c_i = \cos\theta_i$ ,  $s_i = \sin\theta_i$ ,  $c_{\alpha i} = \cos \alpha_i$  ve  $s_{\alpha i} = \sin \alpha_i$  olarak tanımlanmaktadır [39]. Her bir eklemin homojen dönüşüm matrisleri aşağıda verilmiştir:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & \alpha_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & \alpha_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Eklem 1 D-H parametreleri:

$$\theta_1 = \theta_1$$

$$d_1 = d_1$$

$$a_1 = a_1$$

$$\alpha_1 = \alpha_1$$

Homojen dönüşüm matrisi:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1\cos\alpha_1 & \sin\theta_1\sin\alpha_1 & \alpha_i\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1\cos\alpha_1 & -\cos\theta_1\sin\alpha_1 & \alpha_i\sin\theta_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Eklem 2 D-H parametreleri:

$$\theta_2 = \theta_2$$

$$d_2 = d_2$$

$$a_2 = a_2$$

$$\alpha_2 = \alpha_2$$

Homojen dönüşüm matrisi:

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2\cos\alpha_2 & \sin\theta_2\sin\alpha_2 & \alpha_i\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2\cos\alpha_2 & -\cos\theta_2\sin\alpha_2 & \alpha_i\sin\theta_2 \\ 0 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Eklem 3 D-H parametreleri:

$$\theta_3 = \theta_3$$

$$d_3 = d_3$$

$$a_3 = a_3$$

$$\alpha_3 = \alpha_3$$

Homojen dönüşüm matrisi:

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3\cos\alpha_3 & \sin\theta_3\sin\alpha_3 & \alpha_i\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3\cos\alpha_3 & -\cos\theta_3\sin\alpha_3 & \alpha_i\sin\theta_3 \\ 0 & \sin\alpha_3 & \cos\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Eklem 4 D-H parametreleri:

$$\theta_4 = \theta_4$$

$$d_4 = d_4$$

$$a_4 = a_4$$

$$\alpha_4 = \alpha_4$$

Homojen dönüşüm matrisi:

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 \cos\alpha_4 & \sin\theta_4 \sin\alpha_4 & \alpha_i \cos\theta_4 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 \cos\alpha_4 & -\cos\theta_4 \sin\alpha_4 & \alpha_i \sin\theta_4 \\ 0 & \sin\alpha_4 & \cos\alpha_4 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Eklem 5 D-H parametreleri:

$$\theta_5 = \theta_5$$

$$d_5 = d_5$$

$$a_5 = a_5$$

$$\alpha_5 = \alpha_5$$

Homojen dönüşüm matrisi:

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & -\sin\theta_5 \cos\alpha_5 & \sin\theta_5 \sin\alpha_5 & \alpha_i \cos\theta_5 \\ \sin\theta_5 & \cos\theta_5 \cos\alpha_5 & -\cos\theta_5 \sin\alpha_5 & \alpha_i \sin\theta_5 \\ 0 & \sin\alpha_5 & \cos\alpha_5 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Eklem 6 D-H parametreleri:

$$\theta_6 = \theta_6$$

$$d_6 = d_6$$

$$a_6 = a_6$$

$$\alpha_6 = \alpha_6$$

Homojen dönüşüm matrisi:

$$T_6^5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 \cos\alpha_6 & \sin\theta_6 \sin\alpha_6 & \alpha_i \cos\theta_6 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 \cos\alpha_6 & -\cos\theta_6 \sin\alpha_6 & \alpha_i \sin\theta_6 \\ 0 & \sin\alpha_6 & \cos\alpha_6 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$T_6^0 = \begin{bmatrix} c_1[c_{23}(c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - s_{23}s_5 c_6] + s_1(s_4 c_5 c_6 - c_4 s_6) \dots \\ c_1[c_{23}(c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - s_{23}s_5 c_6] + s_1(s_4 c_5 c_6 - c_4 s_6) \dots \\ -s_{23}(s_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_{23}s_5 c_6 \\ 0 \\ c_1[c_{23}(c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) + s_{23}s_5 c_6] + s_1(s_4 s_6 - s_4 c_5 s_6) \dots \\ s_1[c_{23}(c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) + s_{23}s_5 c_6] + c_1(s_4 s_6 - s_4 c_5 s_6) \dots \\ -s_{23}(s_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_{23}s_5 c_6 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dots c_1(c_{23}c_4s_5 + s_{23}c_5) - s_1s_4s_5 & c_1(a_2c_2 + a_3c_{23}) - d_1s_1 \\ \dots s_1(c_{23}c_4s_5 - s_{23}c_5) - c_1s_4s_5 & s_1(a_2c_2 + a_3c_{23} - d_4s_{23}) - d_3c_1 \\ \dots s_{23}c_4s_5 - c_{23}c_5 & -a_3s_{23}a_2s_2 - d_4c_{23} \\ \dots 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

## 4.2. TERS KİNEMATİK

Ters kinematiğin çözümü, ileri kinematiğe kıyasla daha karmaşıktır. İleri kinematikte, verilen eklem açılarına göre robot kolunun tutucusunun konum ve yönelimini hesaplamak daha basittir. Ancak, ters kinematikte, belirli bir konum ve yönelime ulaşmak için gereken eklem açılarını bulmak gerekir ki bu, daha zorlu ve karmaşık bir problem teşkil eder [60]. Ters kinematik problemini çözmek için kullanılan iki yöntem vardır ve bu yöntemler robot kolun tasarım özelliklerine dayanmaktadır. Başlıca iki yöntem şunlardır:

### 4.2.1. Geometrik Analiz

Bu yöntem, robot kolunun fiziksel yapısını ve geometrik ilişkilerini kullanarak çözüm bulmayı hedeflemektedir. Genellikle daha sezgisel ve görsel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, her eklem ve bağlantının konumları ve açıları hesaplanır. İstenilen son konuma ulaşmak için gerekli eklem açıları belirlenir [61].

### 4.2.2. Cebirsel Analiz

Bu yöntem, robotun kinematik denklemlerini çözmek için cebirsel denklemler ve matris işlemleri kullanmaktadır. Robot kolunun her eklemi için dönüşüm matrisleri oluşturulur ve bu matrisler kullanılarak tutucunun istenilen konum ve yönelimi sağlanır. Bu yöntem genellikle daha matematiksel ve hesaplama gerektiren bir yaklaşımdır. Bu çalışmada sistemin ters kinematik hesaplamasını yapmak için cebirsel analiz yöntemi kullanılmıştır. Cebirsel analiz yönteminin genel formülü şu şekildedir [61]:

$$\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6\} = f^{-1}(T) \quad (4.9)$$

Denklem (4.9)'da  $T$ , tutucunun hedef pozisyonunu ve oryantasyonunu ve  $(f^{-1})$  geri kinematik fonksiyonunu tanımlamaktadır. Cebirsel analizin çözüm adımları şu şekildedir:

- Tutucunun hedef pozisyonu  $(x, y, z)$  ve oryantasyonu  $(\phi, \theta, \psi)$

- Her eklem için uygun açıların hesaplanması

#### 4.2.2.1. Cebirsel Analiz Çözümü

Diğer eklemlerden farklı bir dönme ekseninde hareket ettiği için ilk olarak eklem 1 ( $\theta_1$ ) yani tutucunun hedef pozisyonuna göre taban dönme açısı hesaplanır.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right) \quad (4.10)$$

Cebirsel analiz çözümü yapılırken ikinci aşamada birbirine bağlı ve aynı dönme ekseninde olan eklem 2( $\theta_2$ ) ve eklem 3( $\theta_3$ ) açıları, tutucunun yüksekliği ve mesafesi dikkate alınarak hesaplanır. Denklem 4.11' de verilen ( $r$ ) = robot kolunun tutucusunun x ve y koordinatlarındaki toplam uzaklığını tanımlamaktadır.

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ D &= \frac{r^2 + (z-d_1)^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2a_3} \\ \theta_2 &= \tan^{-1} \left( \frac{z-d_1}{r} \right) - \cos^{-1} (D) \\ \tan^{-1} \left( \frac{a_3 \sin(\theta_3)}{a_2 + a_3 \cos(\theta_3)} \right) \end{aligned} \quad (4.11)$$

Son olarak tutucunun konumuna etki eden Eklem 4( $\theta_4$ ), Eklem 5( $\theta_5$ ), ve Eklem 6( $\theta_6$ ) tutucunun oryantasyonunu dikkate alarak son üç eklem açısı hesaplanır. Denklem 4.12' de verilen ( $R_{ee}$ ) = tutucunun yönelimini (oryantasyonunu) belirleyen dönüş matrisi olarak tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} R_{36} &= R_0^3 R_{ee}^{-1} \\ \theta_4 &= \tan^{-1} (R_{36}(2,3), R_{36}(1,3)) \\ \theta_5 &= \cos^{-1} (R_{36}(3,3)) \\ \theta_6 &= \tan^{-1} (R_{36}(3,2), -R_{36}(3,1)) \end{aligned} \quad (4.12)$$

Çalışmada, ileri ve ters kinematik analiz yapılarak ters robot kol mekanizmasının gerçekçi bir simülasyonun yapılmasına zemin hazırlanmıştır.

## 5. DİNAMİK MODEL

Bir robot kolunun dinamik modeli, robotun hareket sırasında sergilediği dinamik davranışları tanımlayan hareket denklemlerinden oluşur. Bu denklemler, robot kolunun hareketini anlamak ve kontrol etmek için kritik öneme sahiptir. Dinamik modelin doğru bir şekilde çıkarılması ve bu modelin bilgisayar yardımıyla çözülmesi, robot kontrol sistemlerinin tasarımı ve analizi açısından büyük kolaylık sağlar. Dinamik analiz, robot kolunun hareket ederken karşılaştığı kuvvetleri, torkları ve hareket yasalarını belirlemeyi içermektedir. Bu analiz, robot kolunun istenen hareketleri doğru ve verimli bir şekilde gerçekleştirmesi için gerekmektedir.

Robot kolunun dinamik davranışlarını tanımlamak için, genellikle lineer olmayan diferansiyel denklemler kullanılır. Bu denklemler, robot kolunun hareket denklemlerini oluşturur ve her eklemin hareketini ayrı ayrı tanımlar. Lagrange denklemleri, bu diferansiyel denklemlerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada robot kolun dinamik modelinin çıkarılmasında Lagrange yöntemi kullanılmıştır. Lagrange yöntemi, robot kolunun kinetik ve potansiyel enerjilerini kullanarak bu denklemleri türetmektedir [17].

### 5.1. LAGRANGE DENKLEMLERİ İLE DİNAMİK ANALİZ

Lagrange denklemleri, klasik mekanikte sistemlerin hareket denklemlerini türetmek için kullanılan bir yöntemdir. Robot kolunun dinamik analizinde, Lagrange denklemleri şu adımlarla uygulanır:

#### 5.1.1. Genel Koordinatların Belirlenmesi

Robot kolunun her bir eklemi için uygun genel koordinatlar (genellikle eklem açıları) seçilir. Bu koordinatlar, robot kolunun konfigürasyonunu tam olarak tanımlar.

#### 5.1.2. Kinetik ve Potansiyel Enerjilerin Hesaplanması

Bir sistemin hareketinden dolayı sahip olduğu enerji kinetik enerji (K); konumu veya durumu nedeniyle sahip olduğu enerji ise potansiyel enerji(P) olarak adlandırılır. Lagrange denklemlerini türetmek için koordinatların bulunmasının ardından robot kolunun her bir bağlantısının kinetik enerjisi ve potansiyel enerjisi hesaplanır.



Kinetik enerji, sistemin hızlarına bağlıdır ve şu şekilde ifade edilir [62]:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_i \dot{c}_i^T \dot{c}_i + \dot{\theta}_i^T I_i \dot{\theta}_i) \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de  $(m_i)$  =  $i$ -inci bağlantının kütlesi,  $(\dot{c}_i)$  =  $i$ -inci bağlantının kütle merkezinin hızı,  $(I_i)$  =  $i$ -inci bağlantının atalet momenti,  $(\dot{\theta}_i)$  =  $i$ -inci bağlantının açısal hızı olarak tanımlanmaktadır.

Potansiyel enerji ise şu şekilde ifade edilir [62]:

$$P = \sum_{i=1}^n m_i g z_i \quad (5.2)$$

Denklem 5.2’de  $(m_i)$ :  $i$ -inci bağlantının kütlesi  $(g)$  = yerçekimi ivmesi,  $(z_i)$  =  $i$ -inci bağlantının kütle merkezinin yerden yüksekliği olarak tanımlanmaktadır.

### 5.1.3. Lagrange Fonksiyonunun Oluşturulması

Langrange fonksiyonu ( $L$ ), kinetik enerji ( $K$ ) ile potansiyel enerji ( $P$ ) arasındaki fark olarak tanımlanır. Toplam kinetik ve potansiyel enerjileri kullanarak oluşturulan Lagrange fonksiyonu şu şekilde gösterilir [63].

$$\sum K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 \quad (5.3)$$

$$\sum P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 \quad (5.4)$$

$$L = \sum K - \sum P \quad (5.5)$$

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_i \dot{c}_i^T \dot{c}_i + \dot{\theta}_i^T I_i \dot{\theta}_i) - \sum_{i=1}^n m_i g z_i \quad (5.6)$$

### 5.1.4. Lagrange Denklemlerinin Elde Edilmesi

Langrage denklemleri Lagrange fonksiyonunun genel koordinatlara ( $q_i$ ) ve bu koordinatların zamana göre türevlerine ( $\dot{q}_i$ ) bağlı olarak türetilmesiyle elde edilir. Her bir genel koordinat için hareket denklemi şu şekilde yazılır [63]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \tau_i \quad (5.7)$$

Denklem 6.12’de verilen  $(\theta_i)$  =  $i$ -inci eklemin açısı ve  $(\dot{\theta}_i)$  = açısal hız olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen robot kol mekanizmasında bulunan her eklem için kinetik ve potansiyel enerjileri hesaplanarak bulunan toplam enerji denklemleri aşağıda verilmiştir.

Eklem 1.

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 \dot{c}_1^T \dot{c}_1 + \frac{1}{2} \dot{\theta}_1^T I_1 \dot{\theta}_1 \quad (5.8)$$

$$P_1 = m_1 g z_1$$

Eklem 2.

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 \dot{c}_2^T \dot{c}_2 + \frac{1}{2} \dot{\theta}_2^T I_2 \dot{\theta}_2 \quad (5.9)$$

$$P_2 = m_2 g z_2$$

Eklem 3.

$$K_3 = \frac{1}{2} m_3 \dot{c}_3^T \dot{c}_3 + \frac{1}{2} \dot{\theta}_3^T I_3 \dot{\theta}_3 \quad (5.10)$$

$$P_3 = m_3 g z_3$$

Eklem 4.

$$K_4 = \frac{1}{2} m_4 \dot{c}_4^T \dot{c}_4 + \frac{1}{2} \dot{\theta}_4^T I_4 \dot{\theta}_4 \quad (5.11)$$

$$P_4 = m_4 g z_4$$

Eklem 5.

$$K_5 = \frac{1}{2} m_5 \dot{c}_5^T \dot{c}_5 + \frac{1}{2} \dot{\theta}_5^T I_5 \dot{\theta}_5 \quad (5.12)$$

$$P_5 = m_5 g z_5$$

Eklem 6.

$$K_6 = \frac{1}{2} m_6 \dot{c}_6^T \dot{c}_6 + \frac{1}{2} \dot{\theta}_6^T I_6 \dot{\theta}_6 \quad (5.13)$$

$$P_6 = m_6 g z_6$$

Bu işlemler sonucunda, her eklem için elde edilen tork diferansiyel denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) \quad (5.14)$$

Denklem 6.13’de verilen  $(\tau)$ = eklem torkları,  $M(\theta)$  = atalet matrisi,  $C(\theta, \dot{\theta})$  = coriolis

ve santrifüj kuvvetleri matrisi,  $G(\theta)$  = yerçekimi vektörünü tanımlamaktadır.

#### 5.1.4.1. Eklem Torkları

Robot kollarının eklemlerinde oluşan döndürme kuvvetlerine denir. ( $\tau$ ) sembolü ile ifade edilir. Robotun her bir ekleminde istenen hareketi gerçekleştirmek için gerekli olan kuvvetleri temsil eder ve robotun belirli bir yörüngeyi izlemesini veya belirli bir pozisyonda durmasını sağlar. Her eklemdaki tork değeri, robot kolunun kinematik ve dinamik özelliklerine, uygulanan yüklere ve yer çekimi gibi dış kuvvetlere bağlı olarak değişir. Robot kollarının hassas ve stabil bir şekilde çalışabilmesi için bu torkların doğru bir şekilde hesaplanması ve kontrol edilmesi gereklidir. Bu nedenle, eklem torklarının modellenmesi ve analizi, robot kol sistemlerin tasarımı ve kontrolünde temel bir rol oynamaktadır.

#### 5.1.4.2. Atalet Matrisi

Robot kollarda her bir eklem ve bağlantı için tanımlanmaktadır.  $M(\theta)$ , şeklinde ifade edilir. Robot kolunun kütle dağılımını ve dönme hareketlerine karşı direncini temsil eder. Bu matris, robot kolunun hareket denklemlerine dahil edilerek, sistemin kütsel özelliklerinin ve geometrik yapısının dinamik performans üzerindeki etkisini belirler. Robot kollarının hareketlerinin hassas kontrolü için atalet matrisinin kullanılması, hareket sırasında oluşan kuvvetler ve torkların doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlar. Böylece, robot kolunun planlanan yolları izlemesi ve belirli görevleri başarıyla yerine getirmesi sağlanır. Robot kollarının dinamik analizinde atalet matrisi bu yüzden önemli bir rol oynamaktadır.

$M(\theta)$  matrisi, genel formda şu şekilde yazılır:

$$M(\theta) = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} & M_{35} & M_{36} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{53} & M_{54} & M_{55} & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{63} & M_{64} & M_{65} & M_{66} \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

Her bir  $M_{ij}$  terimi,  $i$ -inci ve  $j$ -inci eklemler arasındaki atalet bağımlılığını temsil eder.

#### 5.1.4.3. Coriolis ve Santrifüj Kuvvetleri Matrisi

Coriolis santrifüj kuvvetleri matrisi, robot kolların dinamik davranışını ve kontrolünü anlamak için büyük öneme sahiptir. Robot kolların eklemlerinde ortaya çıkan coriolis ve

santrifüj kuvvetlerini temsil ederler.  $C(\theta, \dot{\theta})$  şeklinde ifade edilirler.  $(q)$  = eklemlerin açısal yer değiştirmesi,  $(\dot{q})$  = açısal hız olarak tanımlanır [64]. Bu kuvvetler, robot eklemlerinin hızları ve hız değişimleri nedeniyle oluşur. Coriolis kuvvetleri, eklem hızlarının birbirleriyle olan çarpımlarına bağlıdır ve genellikle dönen sistemlerde gözlemlenir. Santrifüj kuvvetleri ise eklem hızlarının karesi ile orantılıdır ve bir cismin dönme hareketi sırasında merkezden uzaklaşma eğilimini ifade eder.

Coriolis ve Santrifüj Kuvvetleri Matrisi genel formda yazılışı denklem 5.16'da verilmiştir [66].

$$C(\theta, \dot{\theta}) = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

Her bir  $C_{ij}$  terimi,  $i$ -inci ve  $j$ -inci eklemler arasındaki Coriolis ve santrifüj kuvvetlerini temsil eder.

#### 5.1.4.4. Yerçekimi Vektörü

Yer çekimi vektörü, robot kollarının dinamik analizinde yer çekimi kuvvetlerini temsil eden bir vektördür.  $G(\theta)$  şeklinde ifade edilir. Her bir eklemin ve bağlantının üzerine etki eden yer çekimi kuvvetlerinin bileşenlerini içerir ve eklem açılarının bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Yer çekimi vektörü, sistemin yer çekimi altında nasıl davrandığını anlamak için kritik öneme sahiptir.  $G(\theta)$  vektörünün doğru bir şekilde hesaplanması, robotun dinamik performansını optimize etmek için gereklidir.

Coriolis ve Santrifüj Kuvvetleri Matrisinin genel formda yazılışı denklem 5.17'de verilmiştir.

$$G(\theta) = \begin{bmatrix} G_1(\theta) \\ G_2(\theta) \\ G_3(\theta) \\ G_4(\theta) \\ G_5(\theta) \\ G_6(\theta) \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Denklem 5.17'de verilen her bir  $G_i(\theta)$  terimi,  $i$ -inci eklemdaki yerçekimi kuvvetini temsil eder.

Çalışmada tasarımı gerçekleştirilen robot kola ait her eklem için Lagrange genel

denklemleri uygulanarak bulunan dinamik denklemleri aşağıda verilmiştir.

Eklem 1.

$$\begin{aligned} \tau_1 = & M_{11}(\theta)\ddot{\theta}_1 + M_{12}(\theta)\ddot{\theta}_2 + M_{13}(\theta)\ddot{\theta}_3 + M_{14}(\theta)\ddot{\theta}_4 + M_{15}(\theta)\ddot{\theta}_5 + M_{16}(\theta)\ddot{\theta}_6 \\ & + C_{11}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_1 + C_{12}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_2 + C_{13}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_3 + C_{14}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_4 + C_{15}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_5 + C_{16}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_6 \\ & + G_1(\theta) \end{aligned} \quad (5.18)$$

Eklem 2.

$$\begin{aligned} \tau_2 = & M_{21}(\theta)\ddot{\theta}_1 + M_{22}(\theta)\ddot{\theta}_2 + M_{23}(\theta)\ddot{\theta}_3 + M_{24}(\theta)\ddot{\theta}_4 + M_{25}(\theta)\ddot{\theta}_5 + M_{26}(\theta)\ddot{\theta}_6 \\ & + C_{21}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_1 + C_{22}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_2 + C_{23}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_3 + C_{24}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_4 + C_{25}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_5 + C_{26}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_6 \\ & + G_2(\theta) \end{aligned} \quad (5.19)$$

Eklem 3.

$$\begin{aligned} \tau_3 = & M_{31}(\theta)\ddot{\theta}_1 + M_{32}(\theta)\ddot{\theta}_2 + M_{33}(\theta)\ddot{\theta}_3 + M_{34}(\theta)\ddot{\theta}_4 + M_{35}(\theta)\ddot{\theta}_5 + M_{36}(\theta)\ddot{\theta}_6 \\ & + C_{31}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_1 + C_{32}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_2 + C_{33}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_3 + C_{34}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_4 + C_{35}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_5 + C_{36}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_6 \\ & + G_3(\theta) \end{aligned} \quad (5.20)$$

Eklem 4.

$$\begin{aligned} \tau_4 = & M_{41}(\theta)\ddot{\theta}_1 + M_{42}(\theta)\ddot{\theta}_2 + M_{43}(\theta)\ddot{\theta}_3 + M_{44}(\theta)\ddot{\theta}_4 + M_{45}(\theta)\ddot{\theta}_5 + M_{46}(\theta)\ddot{\theta}_6 \\ & + C_{41}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_1 + C_{42}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_2 + C_{43}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_3 + C_{44}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_4 + C_{45}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_5 + C_{46}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_6 \\ & + G_4(\theta) \end{aligned} \quad (5.21)$$

Eklem 5.

$$\begin{aligned} \tau_5 = & M_{51}(\theta)\ddot{\theta}_1 + M_{52}(\theta)\ddot{\theta}_2 + M_{53}(\theta)\ddot{\theta}_3 + M_{54}(\theta)\ddot{\theta}_4 + M_{55}(\theta)\ddot{\theta}_5 + M_{56}(\theta)\ddot{\theta}_6 \\ & + C_{51}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_1 + C_{52}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_2 + C_{53}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_3 + C_{54}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_4 + C_{55}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_5 + C_{56}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_6 \\ & + G_5(\theta) \end{aligned} \quad (5.22)$$

Eklem 6.

$$\begin{aligned} \tau_6 = & M_{61}(\theta)\ddot{\theta}_1 + M_{62}(\theta)\ddot{\theta}_2 + M_{63}(\theta)\ddot{\theta}_3 + M_{64}(\theta)\ddot{\theta}_4 + M_{65}(\theta)\ddot{\theta}_5 + M_{66}(\theta)\ddot{\theta}_6 \\ & + C_{61}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_1 + C_{62}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_2 + C_{63}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_3 + C_{64}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_4 + C_{65}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_5 + C_{66}(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta}_6 \\ & + G_6(\theta) \end{aligned} \quad (5.23)$$

Elde edilen bu diferansiyel denklemler, robot kolunun dinamik davranışını tanımlanmaktadır. Bu denklemler, robotun kontrol edilmesi ve simülasyon yapılabilmesi için temel teşkil eder.

## 6. KONTROL VE SİMÜLASYON

Robot kol kontrolü, robotik sistemlerin verimli ve hassas bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemli bir konudur. Kontrol yaparken öncelikle robot kolun hareketini ve konumunu belirlemek için kinematik ve dinamik modellerin oluşturulması gerekmektedir. Kinematik modeller, robot kolunun eklemlerinin ve bağlantılarının nasıl hareket edeceğini tanımlar. Dinamik modeller ise bu hareketlerin gerçekleştirilmesi için gereken kuvvet ve torkları hesaplar. Bu tez çalışmasında robot kolun kontrolü için MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan PID kontrol modeli geliştirilmiştir.

### 6.1. PID KONTROL

PID kontrol, birçok endüstriyel ve otomasyon uygulamasında yaygın olarak kullanılan bir geri besleme kontrol yöntemidir. PID kontrolör, bir sistemin istenen hedefe ulaşmasını sağlamak için üç temel bileşeni kullanır: oransal (P), integral (I) ve türev (D). Bu bileşenler, sistemin hata sinyaliyle farklı şekillerde tepki vererek, kontrol edilen değişkenin istenen değere mümkün olduğunca yakın kalmasını sağlar [65].

#### 6.1.1. Oransal (P) Bileşen

Oransal bileşen, mevcut hata sinyaliyle orantılı bir düzeltme sağlar. Hata, istenen değer ile gerçek çıkış arasındaki farktır. Oransal kontrolör, bu hatayı belirli bir katsayı ( $K_p$ ) ile çarparak kontrol sinyali üretir. Oransal kontrol, hızlı bir tepki sağlar ancak tek başına kullanıldığında sürekli bir hata bırakabilir. Denklem 6.1'de oransal kontrolcüsünün temel formülü verilmiştir. Denklemden verilen  $e(t)$  hata sinyalini ve  $K_p$  oransal kazancını tanımlamaktadır [66].

$$P(t) = K_p \cdot e(t) \quad (6.1)$$

#### 6.1.2. İntegral (I) Bileşen

İntegral bileşen, geçmişteki hataların birikimini dikkate alır. Bu, sistemdeki sürekli hataları gidermeye yardımcı olur. İntegral kontrolör, hata sinyalinin zamanla entegrasyonunu alarak birikmiş hatayı belirli bir katsayı ( $K_i$ ) ile çarpar ve kontrol sinyaline ekler. Bu bileşen, sistemdeki sürekli hataları azaltmada etkilidir ancak aşırı

kullanımı sistemde kararsızlığa neden olabilir. Denklem 6.2’de integral kontrolcüsünün temel formülü verilmiştir. Denklemde verilen  $K_i$  integral kazancı tanımlamaktadır [66].

$$I(t) = K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (6.2)$$

### 6.1.3. Türev (D) Bileşen

Türev bileşen, hata sinyalinin değişim hızına tepki verir. Bu, gelecekteki hata eğilimlerine göre düzeltme yaparak sistemin ani değişimlere karşı daha hızlı tepki vermesini sağlar. Türev kontrolör, hata sinyal inin türevini alarak belirli bir katsayı ( $K_d$ ) ile çarpar ve kontrol sinyaline ekler: Türev bileşen, sistemin aşın tepkisini ve osilasyonları azaltmada etkilidir. Denklem 6.3’de türev kontrolcüsünün temel formülü verilmiştir. Denklemde verilen  $K_d$  türev kazancı tanımlamaktadır [66].

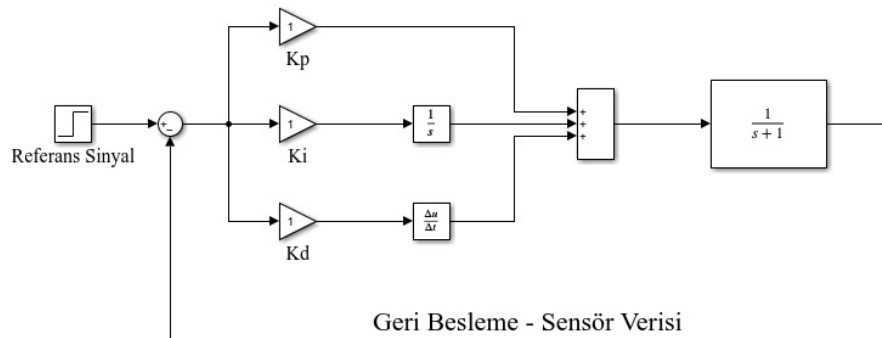
$$D(t) = K_d \cdot \frac{dr(t)}{dt} \quad (6.3)$$

### 6.1.4. PID Kontrolör

PID kontrolör, oransal, integral ve türev bileşenlerinin birleşiminden oluşur. Bu üç bileşen birlikte kullanılarak, sistemin kararlı ve hızlı bir şekilde istenen değere ulaşması sağlanır. PID kontrolörün genel denklemi denklem 6.4’de verilmiştir [66]. Denklemde  $u(t)$ , kontrol sinyalini temsil eder.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (6.4)$$

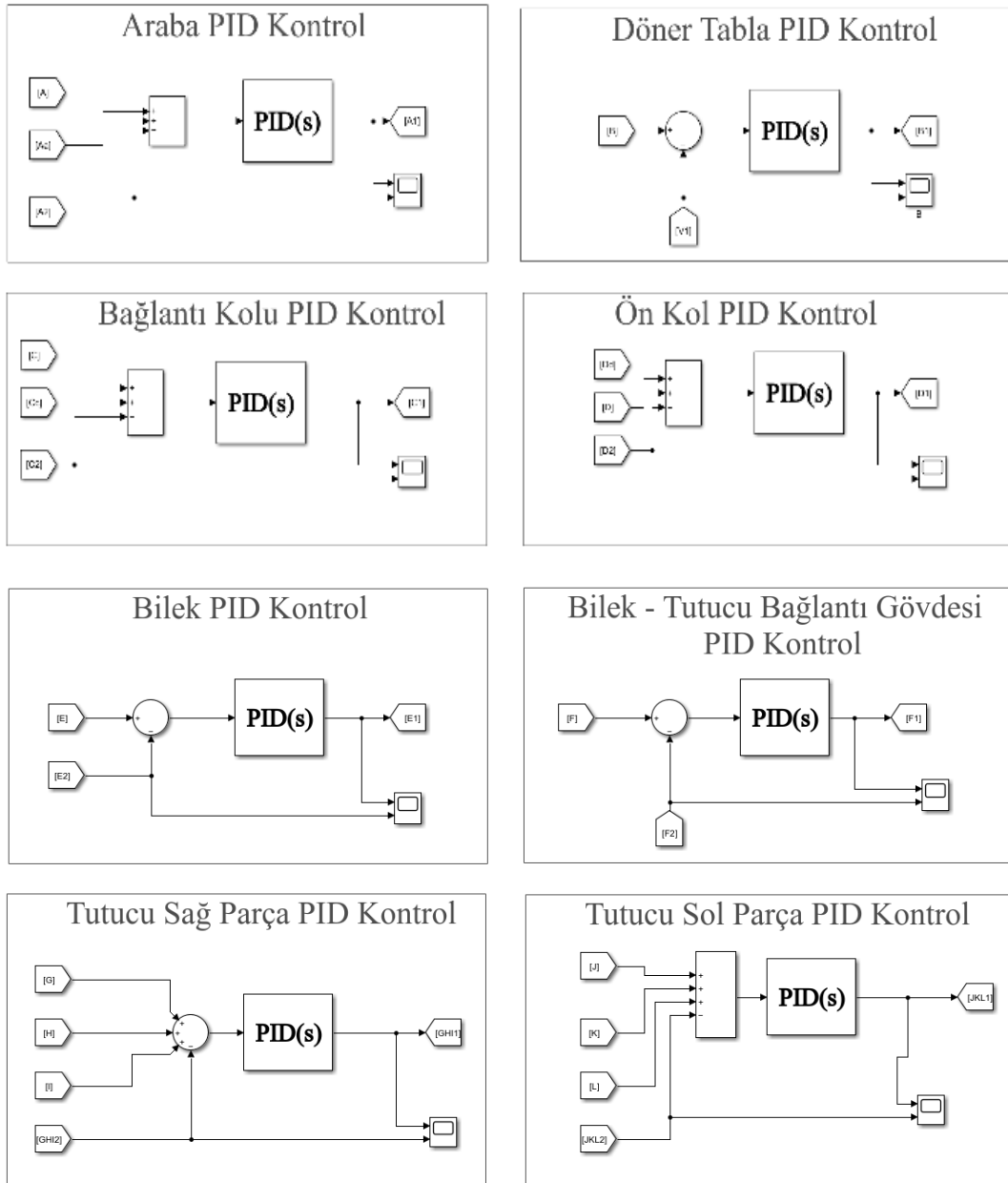
Şekil 7.1. de PID kontrol şeması gösterilmiştir.



Şekil 6.1. PID Kontrol Şeması

## 6.2. MEKANİZMANIN MATLAB/SIMULINK KONTROL MODELİ

MATLAB programı, dinamik modellerin oluşturulması ve analiz edilmesi için güçlü araçlar sunmaktadır. Özellikle, robotik sistem araç kutusu, robot kollarının kinematik ve dinamik analizini yapmayı, kontrol algoritmalarını tasarlamayı ve bu algoritmaların simülasyonlarını gerçekleştirmeyi kolaylaştırır. MATLAB kullanarak, robot kolunun belirli bir yörüngeyi takip etmesi veya belirli bir görevi yerine getirmesi için gerekli kontrol stratejilerini tasarlamak mümkündür. Çalışmada MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan PID kontrol modeli şekil 7.2. de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. MATLAB/Simulink PID Kontrol Modeli



### 6.3. MEKANİZMANIN MATLAB/SIMULINK-SIMSCAPE DİNAMİK MODELİ

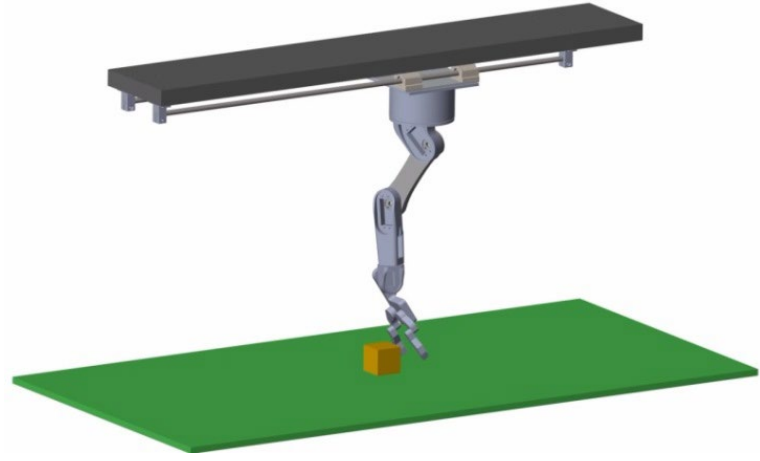
Oluşturulan ters robot kol mekanizması dinamik modelinde PID kontrolcüye geri besleme sinyali olarak konum verisi gönderilmiştir. Gönderilen konum verisi ve belirlenen referans değerin farkı PID kontrolcüye hata sinyali olarak beslenmiştir. Beslenen hata sinyali PID katsayıları ile en aza indirilmeye çalışılmıştır. Kontrol edilen bu sinyal sistemin servo motorlarını temsil eden eklemlerine bağlanmıştır. Böylelikle sistemin kontrolü sağlanmıştır.

#### 6.4. TERS ROBOT KOL MEKANİZMASI MATLAB/SIMULINK - SIMSCAPE SİMÜLASYONU

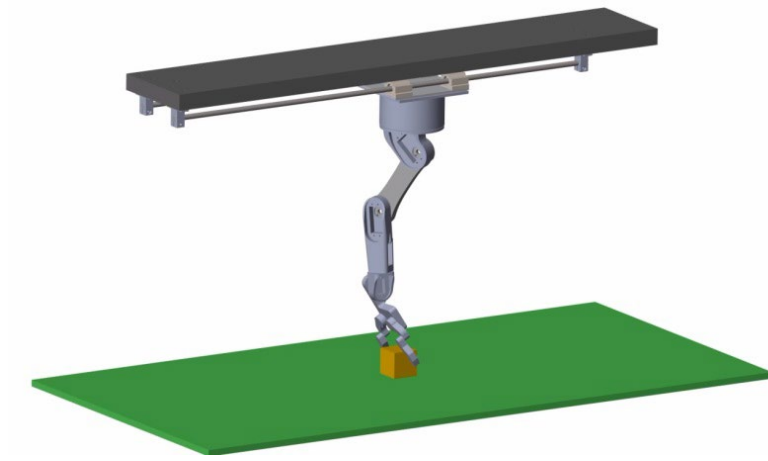
Simülasyon bir prototipin sanal olarak modelinin oluşturulması olarak tanımlanmaktadır. Prototipin fiziksel olarak ortaya konulmadan önce modellenmesi birçok nedeni vardır. Bu nedenlerden en önemlileri şunlardır:

- Tasarımdan kaynaklı hataların üretim öncesi görülmesini sağlar.
- Prototipin çalışacağı ortamların tehlikeli olduğu durumlarda simülasyon sayesinde robotun bu ortamda nasıl performans göstereceğini güvenli bir şekilde test etmeye olanak tanır.
- Muhtemel hareketleri optimize etmeye yarar.
- Farklı görev ve koşullar altında nasıl performans göstereceğini görmek; esneklik ve uyum yeteneklerini değerlendirmeyi sağlar.
- Prototipin diğer sistemlerle nasıl entegre olacağını ve birlikte nasıl çalışacaklarını test etmek için ideal bir ortam sunar.

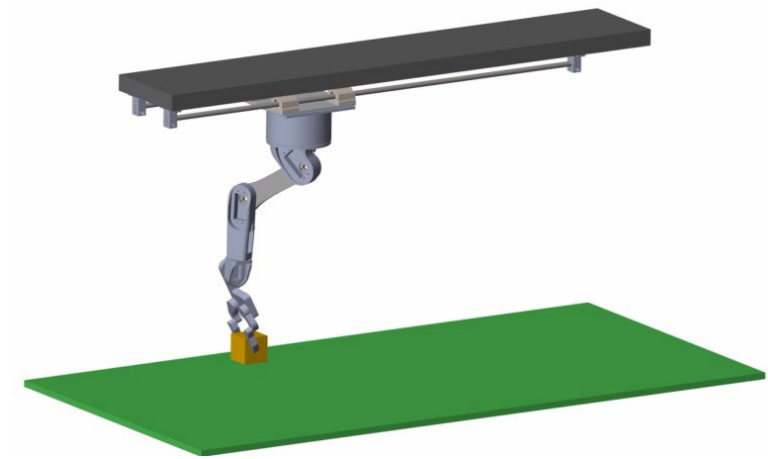
Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen altı eksenli robot kolun simülasyonu için MATLAB uygulaması kullanılmıştır. MATLAB programı robotik sistemlerin simülasyonu ve analizi için güçlü bir platform sunar. 6 eksenli bir robot kolun simülasyonu, özellikle endüstriyel otomasyon ve araştırma geliştirme süreçlerinde büyük önem taşır. Çünkü bu tür bir simülasyon, kinematik ve dinamik analizler yaparak robotun hareketlerini ve performansını önceden değerlendirmeyi mümkün kılmıştır. Ayrıca yapılan simülasyon sayesinde olası hatalar ve verimlilik sorunları tespit edilerek, üretimden önce çözümler geliştirilmiştir. Böylelikle sistemin güvenilirliği de artırılmıştır. Sistemin kontrol edilmiş 3 boyutlu MATLAB/Simulink – Simscape simülasyon görüntüleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.4. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçaya Yaklaşması



Şekil 6.5. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçayı Kavraması

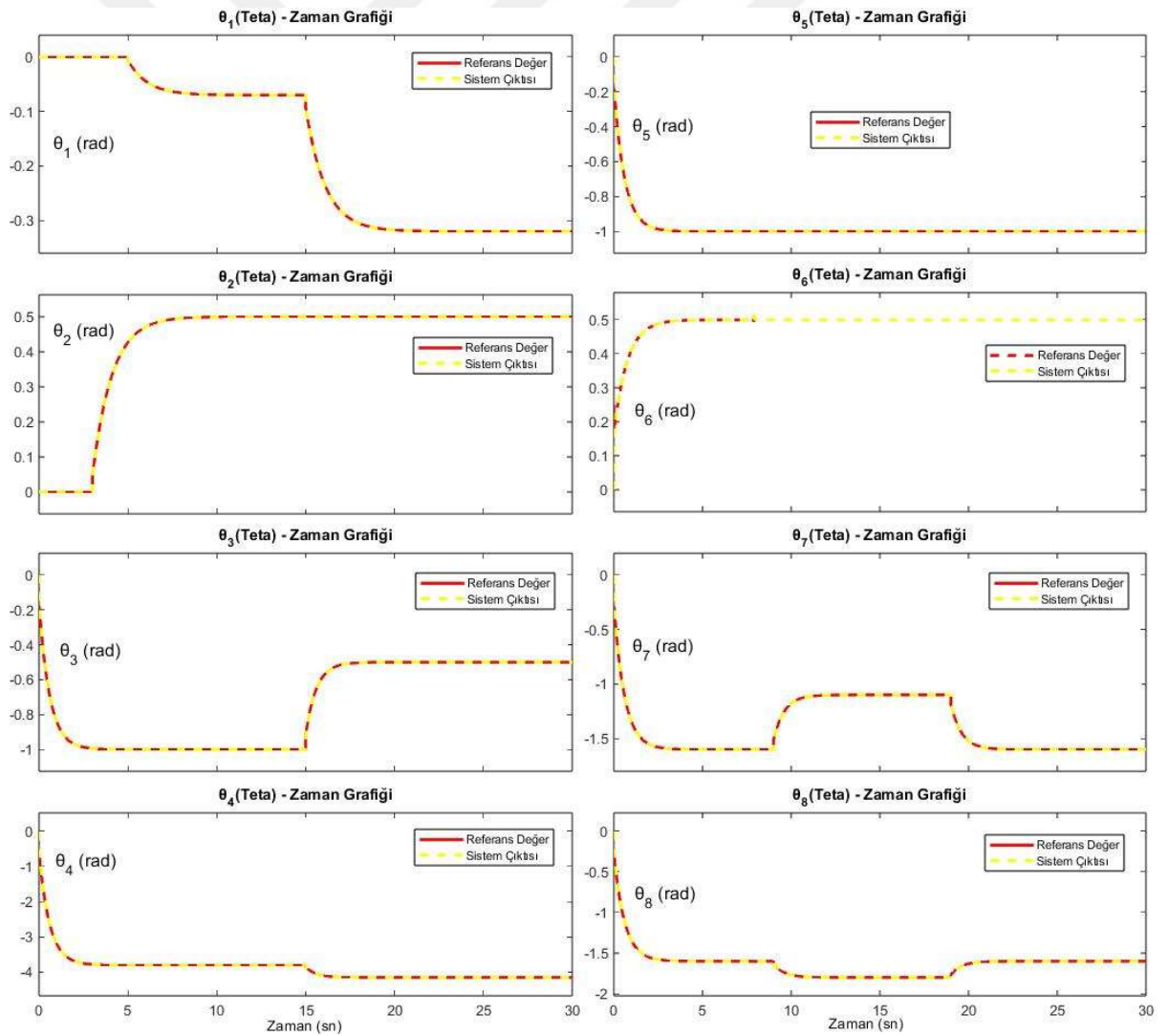


Şekil 6.6. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçayı Belirlenen Konuma Taşınması



Şekil 6.7. Ters Robot Kol Mekanizmasının Hedef Parçayı Belirlenen Konuma  
Bırakması

Oluşturulan simülasyon sonucunda sistemin eklemlerinin zamana bağlı açısal değişim grafikleri şekil 6.8. de verilmiştir.



Şekil 6.8. Eklemlerinin Zamana Bağlı Açısal Değişim Grafikleri

Grafiklerde görüldüğü üzere sistemin açısal değişimini temsil eden çıkış sinyali referans değer sinyali ile çakıştığı gözlemlenmiştir. PID kontrol modeli neticesinde elde edilen bu sinyal değerleri sistemin kontrol edildiğinin göstergesidir.

## 7. SONUÇLAR

Endüstriyel sanayide robotlar, sağladıkları birçok faydadan dolayı önemli bir yere sahiptir. Dünya üretim endüstrisinde büyük önem taşıyan bu biliminin kuşkusuz en büyük ilham kaynağı doğadır. Biyomimetik yaklaşım ile doğadaki canlılardan esinlenerek geliştirilen bu bilim dalı, her geçen gün daha da ön plana çıkmaktadır. İnsan, doğanın işleyişini ve canlıların mükemmel mekanizmalarını taklit ederek robotik sistemleri daha verimli ve fonksiyonel hale getirmektedir. Özellikle, karmaşık robotik sistemlerin tasarımı, kontrolü ve güvenliği gibi konularda çözümler üretilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, hem mühendislik hem de doğa bilimlerinin işbirliği, robotik teknolojilerin geleceğini şekillendirmede hayati bir rol oynamaktadır. Fakat teknolojinin ışığında gelişen robotik endüstrisinin sağladığı büyük kolaylıkların yanı sıra bazı problemlerle de karşılaşmaktadır. Çalışma koşulları gözlemlendiğinde, robot veya robot uzuvlarının kapladığı alan ve hareket kabiliyetinin esnekliği karşılaşılan problemlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada doğanın en temel varlığı olan insandan ilham alınarak altı eksenle hareket kabiliyeti sağlayan ters mekanizmalı bir robot kol tasarımı yapılmıştır. Tasarım aşamasının tamamlanmasının ardından mekanizmanın dinamik analizinin ilk aşaması olan matematiksel modeli oluşturulmuştur. Sonraki aşamada sistemin tasarımı ve matematiksel modeli MATLAB'ın Simscape Multibody eklentisi ile Simulink arayüzüne aktarılmıştır. Aktarılan modele, belirlenen referans değerler girilmiş ve herhangi bir kontrolcü modelinin uygulanmadığı ters robot kol mekanizmasının kararsız hareket ettiği görülmüştür. Bunun neticesinde mekanizmaya Simulink arayüzünde PID kontrol modeli uygulanmıştır. Simülasyon tekrardan çalıştırıldığında mekanizmanın belirlenen nesneyi hedef konuma taşıdığı gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen simülasyondan elde edilen konum – zaman (teta – zaman) grafikleri, mekanizmanın belirlenen referans değerler doğrultusunda istenen hareketleri başarıyla gerçekleştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca grafiklerden elde edilen veriler, PID kontrolcüsünün robot kolunun dinamik kontrolünde etkili bir yöntem olduğunu ve belirlenen hedeflere ulaşmada başarılı sonuçlar verdiğini de kanıtlamıştır. Ayrıca kontrol ve simülasyon sonuçları göz önüne alındığında, tasarımın çalışmada tespit edilen iki probleme çözüm üretildiği görülmüştür. Tasarlanan robot kol sayesinde; kullanılan tezgâhta yerden tasarruf edilmiştir. Hareket kabiliyetinin esnekliği ile daha hassas çalışma ortamı sağlamıştır. Tercih edilen motor bileşenleri sayesinde daha hızlı

alışmasıyla işin tamamlanma sũresini kısaltmıştır. Birden çok robot kol gereken alanlarda tek bir robot kol ile işin yapılabilmesini mũmkũn kılmıştır. Elde edilen tũm bulgular, robotik otomasyon sistemlerinin daha karmaşık gũrevlerde kullanılabilirliğini artırmak ve bu sistemlerin gelişimine katkı sağlamak için ũnemli bir adım olarak değerlendirilmiştir.



## 8. KAYNAKLAR

- [1] V. İzgi, "Altı Eksenli Endüstriyel Robot Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [2] E. Sarialtın, "5 Eksenli Endüstriyel Robot Kol", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [3] M. P. Groover, M. Weiss, R. N. Nagel & N. G. Odrey, *Industrial Robotics: Technology, Programming And Application*, McGraw-Hill, 1986.
- [4] A. M. Yazıcı & M. Kınay, "Biyomimikri, uzay araştırmaları için robotiklere nasıl ilham veriyor?", *Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi*, c. 1, no. 2, ss. 64-77, 2021.
- [5] G. Çetin, E. Aksakal, & S. Taşkın, "Göçük altında kalanların tespiti için biyonik yılan robot tasarımı", *Journal of Materials and Mechatronics: A*, c. 3, no. 1, ss. 63-78, 2022.
- [6] S. O. Moses, E. I. Olalekan, E. T. Aniemeka, & A. Lukman, "Development of a programmable robotics arm using matlab", *International Journal of Computational and Artificial Intelligence*, c. 3, no. 1, ss. 16-21, 2022.
- [7] M. E. Şenli, R. Özcan, & U. Diyarbakır, "Kinect kontrollü robot kol", *Erzurum Teknik Üniversitesi Öğrenci Dergisi*, 2018.
- [8] A. Çelebi, A. Korkmaz, T. Yılmaz, & H. Tosun, "3 Boyutlu yazıcı ile 6 eksenli robot kol tasarım ve imalatı", *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 3 no. 3, ss. 269-278, 2019.
- [9] B. Çengelci & H. Çimen, "Mozaik sıralama işleminin robot kol ile gerçekleştirilmesi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 7, no. 3, ss. 77-85, 2010.
- [10] Z. Nurkholik & F. A. Fiolana & D. A. W. Kusumastutite, " Robotik arm rancangan bangun lengan robot arm untuk menggambar menggunakan invers kinematik", *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, c. 1, no. 3, ss. 59-68, Nov. 2022.
- [11] M. Ö. Güleç & Ş. Ertuğrul, "İnsansı robot kolu tasarımı ve yörünge kontrolü", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2014*, ss. 11-13, 2013.
- [12] M. Arin & Y. Başoğlu, "Döner tablalı endüstriyel boyama robot kol tasarımı ve imalatı", *MAS Journal of Applied Sciences*, c. 7, no. 4, ss. 1057-1071, 2022.



- [13] S. Sabarigirish & S. J. Mija, "Obstacle avoiding trajectory planning for 5 degree of freedom robot", *In 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, ss. 1-5, 2016.
- [14] M. Yılmaz, "Step Motor İle İki Eksenli Robot Kol Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [15] F. Covaciu, "Control and actuation system of a six degrees of freedom robotic arm", *Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*, c. 62, no. 1, ss. 99-106, 2019.
- [16] E. D. Suryanto, J. Sidik, F. Monalisa & R. W. Saputra, "Arm robot design using web control", *ACEIVE 2022: Proceedings of the 4th Annual Conference of Engineering and Implementation on Vocational Education*, ss. 272-277, 2023.
- [17] N. G. Adar, H. Ören, & R. Kozan, "5 Serbestlik dereceli robot kolunun modellenmesi ve kontrolü", *Sakarya University Journal of Science*, c. 17, no. 1, ss. 155-160, 2013.
- [18] G. Sevim, U. Gürler & S. Arınmış, "Arduino İle Robot Kol Kontrolü", Bitirme Projesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2014.
- [19] C. D. Bellicoso, L. R. Buonocore, V. Lippiello, & B. Siciliano, " Design, modeling and control of a 5-DoF light-weight robot arm for aerial manipulation", *In 2015 23rd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, ss. 853-858, 2015.
- [20] Ö. Çetinkaya, "Bir kolun hareketlerini takip eden dört dönel mafsallı robot kolu tasarımı ve deneysel araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [21] Y. H. El Naser, D. Karayel, S.S. Ozkan & G. Atali, "Talaşlı imalatla otomatik çapak alma işlemi için endüstriyel robot kol tasarımı", *In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, (ISITES2017 Baku-Azerbaijan)* 2017.
- [22] S. A. K. Aboodi, "Emg işaretleri ile kontrol edilen robot kol tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2022.
- [23] F. Cao, J. Liu, C. Zhou, Y. Zhao, Z. Fu & W. Yan "A novel 5-dof welding robot based on SCARA", *In 2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, ss. 2016-2019, 2015.
- [24] J. A. Akec, S. J. Steiner, & F. Stenger, "An experimental visual feedback control system for tracking applications using a robotic manipulator", *In IECON'98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No. 98CH36200)*, c. 2, ss. 1125-1130, 1998.

- [25] U. Yüzgeç, H. E. Büyüktepe, & C. Karakuzu, "Kablosuz eldiven sistemi ile kontrol edilen robot kol tasarımı", *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, c. 9, no. 2, ss. 35-42, 2016.
- [26] M. Ogawa, S. Shimizu, T. Kadogawa, et al., "Development of air hockey robot improving with the human players", In *IECON 2011-37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, ss. 3364-3369, 2011.
- [27] A. Elfakhany, E. Yanez, K. Baylon, & R. Salgado, "Design and development of a competitive low-cost robot arm with four degrees of freedom", *Modern Mechanical Engineering*, c. 1, no. 2, ss. 47-55, 2011.
- [28] Sihono, Suryono, B. Krishna, S. Kusumastuti, B. Yunanto, F. Maulana, & H. T. Sasti, "Robotic arm 6 degree of freedom (dof) on scada-based modular production system (MPS)", *Nusantara Science and Technology Proceedings*, ss. 21-27, 2022.
- [29] Z. Yılmaz, "Altı serbestlik dereceli bir seri robotun tasarımı, üretimi ve uzaktan insan eli hareketleri ile kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- [30] İ. Ataş, C. Özdemir, M. Ataş & Y. Doğan, "Chess playing robotic arm", In *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, ss. 1171-1174 2014.
- [31] Taryudi & M. S. Wang, "3D object pose estimation using stereo vision for object manipulation system", In *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, ss. 1532-1535, 2017.
- [32] G. Shi & D. Chen, "Research and applications of the hybrid cameras visual servo robot", In *2017 8th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT)*, ss. 74-79, 2017.
- [33] W.C. Chang, M.Y. Cheng, & H. J. Tsai, "Image feature command generation of contour following tasks for Scara robots employing Image-Based Visual Servoing—A PH-spline approach", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, cc. 44, ss. 57-66, 2017.
- [34] Md. Hazrat Ali, K. Aizat, K. Yerkhan, T. Zhandos & O. Anuar, "Vision-based robot manipulator for industrial applications", *Procedia Computer Science*, c. 133, ss. 205-212, 2018.
- [35] O. E. Alp, "Genel amaçlı robot kolu tasarımı", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2012.
- [36] B. Aksoy, K. Özsoy, M. Yücel, Ö. Ekrem & O. K. M. Salman , "Motion Control of the Robot Arm Manufactured with a Three-Dimensional Printer and Hardness Detection of Objects", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 15, no. 3, ss. 289-300, 2022.

- [37] Ş. Arslan & M. Korkmaz, "Bulanık yapay sinir ağıyla dört serbestlik dereceli bir robot kolunun kontrolü", *Sakarya University Journal of Science*, c. 17, no. 1, ss. 131-138, 2013.
- [38] O. Özer, "Hareketli üretim platformu montaj otomasyonu için yüksek erişimli hafifleştirilmiş scara robot geliştirilmesi ve prototip uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [39] O. Çakar, "Endüstriyel tabanlı yeni bir robot kol tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [40] D. Kakoudaki, "Anatomy of a Robot: Literature, cinema, and the cultural work of artificial people", Rutgers University Press, 2014.
- [41] N. G. Hockstein, C. G. Gourin, R. A. Faust & D. J. Terris, "A History of Robots: From Science Fiction To Surgical Robotics", *Journal of Robotic Surgery*, c. 1, no. 2, ss. 113-118, 2007.
- [42] A. A. Süzen, & S. Ulukuş, *Robot Programlama: Tasarım, Simülasyon, Üretim*, KODLAB Yayın Dağıtım, 2012.
- [43] Türk Dil Kurumu.(2024, 5 Nisan). *Robot*. [Online]. Erişim: <https://sozluk.gov.tr>.
- [44] *ISO Standardı*, ISO 8373, 1994.
- [45] *Robot Güvenlik Standardı*, ANSI/RIA R15.06, 1999.
- [46] B. Çengelci & H. Çimen, "Endüstriyel robotlar", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2, no. 2, ss. 69-78, 2005.
- [47] H. Koca, M. Doğan, & C. M. Taplamacıoğlu, "Endüstriyel robotların yapıları, kullanım alanları ve market istatistikleri", *In Conference Proceedings*, ss. 7-10, 2009.
- [48] S. Kural. (2024, 25 Mart). *Otomasyon ve robotik ders notları*. [Online]. Erişim: <http://saimkural.cbu.edu.tr/belge/robot.pdf>.
- [49] H. Ersöz, "Endüstriyel robotlar ve uygulama alanları", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [50] S. Çay, "Gaz Altı Kaynağı Yapabilen Üç Uzunlu Kartezyen Robot Kol Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [51] Ö. Akpınar, "Depolama Amaçlı Görüntü İşleme Tabanlı Bir Kartezyen Robot Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

- [52] G. Çetin, E. Aksakal, & S. Taşkın, "Göçük altında kalanların tespiti için biyonomik yılan robot tasarımı", *Journal of Materials and Mechatronics: A*, c.3, no. 1, ss. 63-78, 2022.
- [53] T. Akkuş. (2024, 28 Mart). *Endüstriyel robotlar*. [Online]. Erişim: <https://www.slideshare.net/TevfikAKKU/seminer-endrobotlar-tevfikakkus22014#5>.
- [54] S. İlgen, "Robot manipülatörlerin performanslarına yönelik kontrol uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2019.
- [55] E. Yavuz, M. Alıcı & E. Uyar, "3 serbestlik dereceli (3r) bir robot manipülatörünün kontrolü ve görüntü işlemeye dayalı nesne taşınması", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2015*, ss. 654-659, 2015.
- [56] S. Koç & C. Doğan, "Beş eksenli bilyalı vidalı mil tahrikli robot kolun tasarımı ve mach3 kartıyla kontrolü", *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, c. 7 no.1/2, ss.37-47, 2017
- [57] S. Küçük & Z. Bingül, "Robot sistemlerinde kinematik yöntemlerin karşılaştırılması", *Politeknik Dergisi*, c. 7, no. 2, ss. 107-117, 2004.
- [58] C. Közkurt & M. Soyaslan, "Euler bilekli scara robot kolu için kinematik analiz yazılımı geliştirilmesi", *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 2011.
- [59] B. Koyuncu & M. Güzel, "Software development for the kinematic analysis of a lynx 6 robot arm", *International Journal of Computer and Information Engineering*, c.1, no. 6, 2007.
- [60] M. A. Arserim & Y. Demir, "Determining joint angles of robot arm by artificial neural network", *European Journal of Technique (EJT)*, c. 6, no. 2, ss.198-207, 2016.
- [61] F. B. Şekerci, "5 eksenli robotun hareket kontrolünün yazılımı ve uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [62] J. J. Craig, *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Addison-Wesley, 1985.
- [63] A. Eğrisöğüt & R. Kozan, "Scara Robot Dinamiğinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi", *Mühendis ve Makina Dergisi*, c. 46, no. 550, ss. 38-45, 2005.
- [64] U. Caner & M. Eroğlu, "Robot kol denetim tasarımı için durum değişkenleri geri beslemeli ve tümlevli denetimci yaklaşımı", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, no. 3, ss. 335-342, 2004.

- [65] A. Becenen, “Yapay sinir ağıları destekli PID ile kuvvet altında robot kol kontrolü ve performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023.
- [66] S. Kaçar, , A. F. Boz, B. Arıcıoğlu & H.Tekin, "PID denetleyici uygulamaları için yeni bir online deney seti tasarımı", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, no. 1, ss. 34-46, 2017.



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Büşranur Nalbant  
Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan            | Okul/Üniversite    | Mezuniyet Yılı |
|-----------|-----------------|--------------------|----------------|
| Y. Lisans | Mekatronik Müh. | Düzce Üniversitesi | 2024           |
| Lisans    | Mekatronik Müh. | Düzce Üniversitesi | 2021           |
| Lise      |                 | Ardahan Fen Lisesi | 2017           |

## YAYINLAR

### TEZDEN ÇIKAN YAYIN

G. Samtaş & B. Nalbant, "Ters Robot Kol Mekanizma Tasarımı", *5th International Congress on Contemporary Scientific Research, Kayseri/Türkiye*, ss. 1165-1174, 2024.

### DİĞER YAYINLAR

İ. D. Argun & B. Nalbant, "Using Classification Algorithms in Data Mining in Diagnosing Breast Cancer", *Advances in Artificial Intelligence Research*, cc. 2, no. 2, ss. 65-70, 2022.