

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



**OTOMATİK PİZZA MAKİNESİNİN SİLİNDİRİK ROBOTUNUN  
TASARIMI VE İMALATI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZCAN SANTUR**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

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



**OTOMATİK PİZZA MAKİNESİNİN SİLİNDİRİK ROBOTUNUN  
TASARIMI VE İMALATI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZCAN SANTUR**

**Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Ümit YALÇIN (Tez Danışmanı)  
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL  
Prof. Dr. İhsan KORKUT**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

ÖZCAN SANTUR tarafından hazırlanan "OTOMATİK PİZZA MAKİNESİNİN SİLİNDİRİK ROBOTUNUN TASARIMI VE İMALATI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 01.06.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

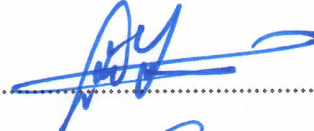

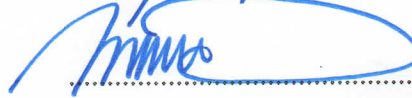
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Ümit YALÇIN

Üye  
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Üye  
Prof. Dr. İhsan KORKUT

  
.....  
  
.....  
  
.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez alışması TÜBİTAK tarafından, 1505 niversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı kapsamında 5140046 nolu proje ile desteklenmiştir.**

## **ÖZET**

**OTOMATİK PİZZA MAKİNESİNİN SİLİNDİRİK ROBOTUNUN  
TASARIMI VE İMALATI  
YÜKSEK LİSANS  
ÖZCAN SANTUR  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. ÜMİT YALÇIN)  
BALIKESİR, HAZİRAN-2016**

Silindirik robot sistemi otomatik pizza makinesi için özel olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan bütün malzemeler üretilmiş, görülen tüm problemlere alternatif yollar aranmış ve çözümler getirilmiştir. Farklı amaçlar için de tasarım değiştirilerek kullanılabilir. Robot tasarımı ve imalatı için yol gösterici olarak hazırlanmıştır.

Silindirik robotun birbirinden bağımsız 3 eksenini (X,Y,Z) bulunmaktadır. X eksenini yatay, Y eksenini dikey ve Z eksenini dönme hareketi için kullanılmaktadır. Bunların dışında eklediğimiz A eksenini, X yatay eksene bağlı dönme hareketi yapmaktadır. Robotun üstünde ilk (home) pozisyon için her ekseninde indüktif konum sensörü bulunmaktadır. Yatay kolun ucunda ise mesafe ayarlanabilir fotocell bulunmaktadır. Y ve Z eksenini servo motorla, X ve A eksenini ise step motorla sürülmektedir. Sürücüler adımlarını PLC üzerine yazılan kodlardan almaktadır. Her eksen montajlandıktan sonra kontrol edilmiş ve PLC üzerinden sürülüp doğrulukları kontrol edilmiştir. Konum hassasiyeti istenilen tamlıkta (0,1 mm) gerçekleştiği, duruş ve kalkışlarda titreşimlerden etkilenmediği gözlemlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** PLC, Silindirik robot, analiz.

## **ABSTRACT**

### **THE DESIGN AND MANUFACTURE OF CYLINDRICAL ROBOT OF AUTOMATICAL PIZZA MACHINE**

**ÖZCAN SANTUR**

**BALIKESİR UNIVERSITY, INTITUTE OF SCIENCE AND  
TECHNOLOGY**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ÜMİT YALÇIN)**

**BALIKESİR, JUNE-2016**

The cylindrical robot system is designed specially for automatic pizza machine. All the robot systems parts are designed and manufactured. For the all functions that pizza machine has to be considered and alternative design options are realized. The robot system is intended as a guide for robot design and manufacturing.

Cylindrical robot has 3 separate axis(X, Y, Z). X axis is horizontal, Y axis is vertical and Z axis is used for rotational motion. Apart from these the A axis that we added makes rotational motion connected to Y axis. There are inductif location sensors on every axis for home position. Also there is a photocell sensor for distance control on the margin of horizontal arm. Y and Z axes are driven by servo motor and A and X axes are driven by step motor. The drivers take their steps from the codes written on PLC. Each axis were checked after assembly and there were controlled by PLC. Position accuracy takes place in desired completeness (0.1 mm). It was observed that the system was not effected by any vibrations on the start and stop movements.

**KEYWORDS:** PLC, Clyindrical robot, analysis.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>3</b>
2.1 Manipülörler .....	5
2.2 Serbestlik Derecesi .....	8
2.3 Eklem Yapıları.....	9
2.4 Robotların Sınıflandırılması .....	11
2.4.1 Robot Hareketinin Eksenleri .....	11
2.4.2 Çalışma Alanı Uzay .....	12
2.4.3 Robot Tiplerine Göre Sınıflandırma .....	14
2.4.4 Silindirik Robot Eklem Pozisyonları .....	16
2.5 Literatür Çalışması.....	19
<b>3. PİZZA MAKİNESİNİN ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>21</b>
3.1 Hamur Stok Alanı .....	23
3.2 Sıvı Malzeme Stok Alanı.....	23
3.3 Katı Malzeme Stok Alanı .....	24
3.4 Fırın ve Pişirme Ünitesi .....	25
3.5 Servis Alanı .....	26
3.6 Taşıma Robotu.....	26
<b>4. ROBOTUN TASARIMI VE İMALATI</b> .....	<b>27</b>
4.1 Çalışma Alanı .....	27
4.2 Temel Hareketler .....	28
4.3 Silindirik Robotun Genel Tasarımı.....	28
4.3.1 Dikey Hareket Tasarımı ve İmalatı (Z Eksen) .....	30
4.3.2 Yatay Hareket Tasarımı ve İmalatı (Y eksen) .....	36
4.3.3 Dönme Hareketi Tasarımı ve İmalatı (X eksen) .....	41
4.3.4 Pizza Tabağı Tasarımı ve İmalatı (A eksen) .....	49
4.4 Sistemin Kontrolü .....	49
4.4.1 Kontrol Sisteminin PLC Bağlantıları .....	50
<b>5. DOĞRULAMA VE ANALİZ</b> .....	<b>53</b>
5.1 Silindirik Robotun Kinematik Analizi .....	53
5.2 Silindirik Robottun Statik Analizi .....	54
5.3 Silindirik Robotun Doğal Frekans Analizi .....	56
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>59</b>
<b>7. KAYNAKLAR</b> .....	<b>60</b>
<b>8. EKLER</b> .....	<b>62</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Robot serbestlik dereceleri (DOF).....	8
Şekil 2.2: Dönel eklemin yapısı.....	9
Şekil 2.3: Prizmatik eklemin yapısı.....	10
Şekil 2.4: Silindirik eklemin yapısı.....	10
Şekil 2.5: Vida eklemin yapısı.....	10
Şekil 2.6: Planar eklemin yapısı.....	11
Şekil 2.7: Küresel eklemin yapısı.....	11
Şekil 2.8: Kartezyen robot çalışma alanı.....	12
Şekil 2.9: Silindirik robot çalışma alanı.....	13
Şekil 2.10: Küresel robot çalışma alanı.....	13
Şekil 2.11: Polar koordinat sistemi.....	14
Şekil 2.12: Kartezyen robot [11].....	15
Şekil 2.13: Mafsallı robot.....	15
Şekil 2.14: Scara robot [11].....	16
Şekil 2.15: Klasik silindirik robot.....	17
Şekil 2.16: Silindirik robot çerçeve atama.....	17
Şekil 3.1: Tasarlanan istasyonlar.....	22
Şekil 3.2: İstasyonların dizilimi.....	22
Şekil 4.1: Robot koyulacağı hacim.....	27
Şekil 4.2: Eksenlerin şematik gösterimi.....	28
Şekil 4.3: Silindirik robotun tasarımı.....	29
Şekil 4.4: Dikey hareket kol tasarımı.....	30
Şekil 4.5: Tasarımda kullanılan kılavuz yataklama.....	31
Şekil 4.6: Yataklamanın moment yönleri.....	31
Şekil 4.7: Düz kremayer ve pinyon dişlisi.....	32
Şekil 4.8: Kremayer dişlinin teknik resmi.....	32
Şekil 4.9: Tasarımda kullanılan planet redüktör.....	34
Şekil 4.10: Tasarımda kullanılan servo motor.....	35
Şekil 4.11: Yatay kol tasarımı.....	36
Şekil 4.12: Elektronik kıskaç.....	37
Şekil 4.13: Hiwin 15ca.....	38
Şekil 4.14: Tasarımda kullanılan step motor.....	39
Şekil 4.15: Dişli kasnak.....	40
Şekil 4.16: Yatay hareketin imalatı.....	40
Şekil 4.17: Fotocell.....	41
Şekil 4.18: Ana gövde.....	42
Şekil 4.19: Döner hareket tasarımı.....	43
Şekil 4.20: Tasarımda kullanılan 6212 radyal rulman.....	44
Şekil 4.21: Tasarımda kullanılan 6210 radyal rulman.....	45
Şekil 4.22: 7210-B-2RS-TVP Eğik bilyalı rulman.....	45
Şekil 4.23: Serbest cisim diyagramı.....	46
Şekil 4.24: Yataklama imalatı.....	47
Şekil 4.25: GS28 Alüminyum kaplin.....	48
Şekil 4.26: LIMING FE090 Planet redüktör.....	48
Şekil 4.27: Pizza tabağı tasarımı.....	49
Şekil 4.28: Sistemin PLC ile iletişimi.....	50
Şekil 4.29: Mitsubishi PLC.....	51



<b>Şekil 4.30:</b> İndüktif sensör. ....	52
<b>Şekil 4.31:</b> Step ve Servo motor sürücülerini. ....	52
<b>Şekil 5.1:</b> Silindirik robotun takip yolu. ....	53
<b>Şekil 5.2:</b> Dönme motor torku. ....	54
<b>Şekil 5.3:</b> Total deformation (Yerdeğiştirme).....	55
<b>Şekil 5.4:</b> Von Mises stress dayanımı. ....	56
<b>Şekil 5.5:</b> Güvenlik faktörü.....	56
<b>Şekil 5.6:</b> Doğal frekans analizi. ....	57
<b>Şekil 5.7:</b> Doğal frekans analizi tablosu. ....	58

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1:</b> Hareket çeşitleri ve isimleri. ....	9
<b>Tablo 2.2:</b> Robot eklem tipleri. ....	9
<b>Tablo 4.1:</b> Kuvvetler tablosu. ....	47
<b>Tablo 5.1:</b> Frekans değerleri. ....	58

## SEMBOL LİSTESİ

DOF : Degree of Freedom (Serbestlik derecesi)

$r(t)$  : Yatay hareketin zamana göre değişimi

$\varphi(t)$  : Dönme hareketinin zamana göre değişimi

$z(t)$  : Dikey hareketin zamana göre değişimi

$T_3^0$  : Matrisin transpozu

$d(t)$  : Zamana göre türev

A : Sabit sayı

AA : Alternatif akım

DC : Doğru akım

Cad : Bilgisayar destekli tasarım

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ümit YALÇIN'na (Balıkesir Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü), Yrd. Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a (Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü) ,BUZSAN LTD.ŞTİ. firmasına ve bütün çalışanlarına, çalışmalarımda hiçbir yardımı esirgemeyen Makine Mühendisi Emre AKBUDAK, babam Yaşar SANTUR, annem Neriman SANTUR, ablam Simla GÖKKAYA, eniştem Aykut GÖKKAYA ve nişanlım Aydanur FİLİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# 1. GİRİŞ

Robot teknolojisi sanayi devriminden sonra makineleşmeye dayalı olarak üretim hatlarındaki üretim süresini azaltmak, standart ürünler üretebilmek, insan hayatı için tehlikeli yerlerde işlem ve üretim yapabilmek amacıyla geliştirilmiştir. Üretim ortamları öncelikle klasik üretim tezgâhları daha sonra kam kontrollü ve pim kontrollü üretim tezgâhlarından oluşmaktaydı. Robot teknolojisinin gelişmesiyle birlikte üretim ortamları en az insan bağımlı, standart ürünler çıkaran, neredeyse yüzde sıfır hatayla üretim yapabilen, insanoğlunun zorlukla yapabileceği işlerin yapılabilirdiği üretim bantlarına dönüşmüş ve üretim ortamları bütünüyle insandan bağımsız düşünüp kontrol edilebilen üretim sistemlerine dönüşmeye doğru gitmektedir [1].

Küresel ortamda robot ve teknolojileri hızla gelişmektedir. Ülkemize baktığımızda üretim ve sanayi alanında yurtdışına bağımlılığımızın yüksek olduğunu görmekteyiz. Güçlü sanayiye ve teknolojiye sahip olabilmemiz için robotik sistemler hakkında bilgeye sahip olmamız çok önemlidir. Bu amaçla mekanik tasarım, elektronik tasarım ve yazılım konusunda çalışma yapmak zorunluluk haline gelmiştir.

Türkiye’de son yıllarda otomat pazarı günden güne büyümektedir. Otomatlarda yılda yaklaşık olarak 200 milyon işlem yapılmaktadır. Otomat sektöründe sigaradan tutunda, pizza, kahve, kek, çikolata, sıcak yemek, simit gibi milyonlarca ürün bulunmakta ve yenileri eklenmektedir.

Gün geçtikçe gelişen ve büyüyen otomat pazarında yerimizi alabilmek için Türkiye’de bir ilk olan otomatik pizza makinesini üretmeye karar verdik. Pizza gün geçtikçe bütün uluslarda yaygınlaşmaya ve tüketilmeye başlamıştır. Türkiye’de özellikle gençler arasında pizza kültürü yaygınlaşma göstermektedir. Bugün ülkemizde 10 milyonun üzerinde pizza tüketici bulunmakta ve pazar hacmi 5 yılda 700 milyon dolara ulaşması tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada otomatik pizza makinesinde çalışacak olan silindirik robotun mekanik tasarımı, haberleşme sistemlerini birleştirilerek robotun imalatının

yapılması amaçlanmaktadır. Silindirik robot sistemlerini sanayide çok geniş yelpazede farklı amaçlar için kullanabiliriz.

## 2. GENEL BİLGİLER

Uluslararası Standartlar Enstitüsünün ISO TR 8373 numaralı tanımına göre robot: Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yere sabit duran veya hareket edebilen manipülatördür. Endüstriyel robot, Robotik Endüstrileri Birliği tarafından, çeşitli işlerin gerçekleştirilmesi için malzemelerin, parçaların ve özel aygıtların programlanmış hareket ettiriciler aracılığıyla taşınması için tasarlanmış, yeniden programlanabilen çok fonksiyonlu araç olarak tanımlanmıştır.

Genel olarak bir robot dört ana kısımdan oluşmaktadır.

- a) Manipülatör: Bir mekanik yapı ya da eklemlerle birbirine rijit olarak bağlanmış sıralı cisimlerden (uzuvlardan) oluşur. Manipülatör serbestliği sağlayan kol (arm), el becerisi sağlayan bilek (wrist), ve robotun yapacağı işleme uygun olarak tasarlanmış sonlandırıcıdan (end effector) oluşur.
- b) Manipülatörün hareketini yöneten ve kontrol eden kontrol sistemi.
- c) Manipülatörün ve çevrenin durumunu gözetleyerek veri üreten algılayıcılar (sensors).
- d) Eklemlerin hareketi ile manipülatörün hareketini sağlayan hareketlendiriciler (actuators-motors) [2].

Robotlar yapılarına, sistemlerine ve fonksiyonlarına göre gruplara ayrılmışlardır. Bu gruplar aşağıda ifade edilmiştir.

### ***Endüstriyel Robotlar:***

Endüstriyel robotlar genellikle sabit tabanlı kol sistemleridir. Günümüzde kullanılan robotların büyük bir kısmı, hassaslık ve güç gerektiren işleri, büyük bir süratle ve hatasız olarak yerine getirebildikleri için endüstride kullanılmaktadır.

Endüstriyel robotların temel kullanım amacı, üretim maliyetlerini düşürürken üretkenliği ve üretim kalitesini arttırmak, yapılması zor olan, insana fiziksel olarak zarar veren yorucu işlerde, sağlıksız ve zararlı ortamlarda (kimyasal madde, yüksek

ısı, yüksek gürültü, titreşim, vs. bulunan) çalışmayı gerektiren uygulamalarda insanın yerine makine kullanmaktır.

Endüstriyel robotta olması gereken özellikler şunlardır:

- Programlanabilirlik.
- Çok yönlü hareketlilik.
- Tutucu uç esnekliği [3].

### ***Operasyonel Robotları:***

İnsanın yaşamasına elverişli olmayan ortamlarda çalışırlar. Uzaktan kontrol sistemleriyle kontrol edilirler. Paketleme ve yükleme işleminde, radyasyonlu ortamda, su altında ve uzayda çalışabilirler.

### ***Tıp ve Sağlık Robotları:***

Ortopedik amaçlı insan uzuvları ve protezleri beyinden gelen tendonlardaki gerilimleri piezzo elektrik sensörler ile algılayarak uzuvlardaki manipulatörleri hareket ettirirler. Ayrıca günümüzde tıbbi operasyonlar için kıtalar arası iletişim kurabilen cerrahların ameliyat yapmasını sağlayan robotlardır. Türkiye’de de Florence Nightingale Hastanesinde kullanılan dört kollu cerrah robot Da Vinci ile %100 başarılı ameliyatlara yapılmaktadır.

Yukarıda belirtilen robotların geniş çalışma alanları sağladıkları özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Avantajlarını sıralamak gerekirse;

- İşçilik maliyetini azaltmak.
- Tehlikeli ve riskli yerlerde çalışanların yerini almak.
- Daha esnek bir üretim sistemi sağlamak.
- Daha tutarlı bir kalite kontrol sağlamak.
- Çıktı miktarını artırmak.
- Vasıflı işçilik sıkıntısını karşılayabilmek.
- Üç vardiya boyunca aralıksız çalışma kabiliyeti.
- İnsana göre daha fazla yük kaldırma kabiliyeti.
- İnsana göre daha çabuk sonuca ulaşma kabiliyeti.



- Tekrarlı işlerde yeterlilik.
- Tehlikeli ortamlarda çalışabilme kabiliyeti.
- İnsan hatalarını elimine etme.
- Kalite kontrol hatalarını minimuma indirme.
- Kendini hızla amorti etme.
- Yüksek hareket esnekliği.
- Yüksek kar elde edilmesi.

## **2.1 Manipulatörler**

Manipulatörler, ilk başta sabit olan cisimleri son konumlarına taşıyan sistemlerdir. Bu işlem sanayide çok büyük önem arz etmektedir. O yüzden çok hassas ve hatasız çalışması gerekmektedir. Sürekli tekrar edilen bir işlem olduğundan tasarımında dikkate alınması gereken parametreler; yüksek hız, düşük maliyet, hassas devreler, tepki süresi, taşıyabilme kapasitesi, hareket ve konumlandırmada çeşitlilik, küçük boyut ve estetik görünüş.

Manipulatörlerle sistemin harekete geçirilmesi için pnömatik ve elektromekanik sistemler kullanılmaktadır.

### ***Elektro-mekanik sistemler:***

Elektrik makinesi ve bu makinenin hareketinin aktarıldığı sonsuz vida, krank, kremayer ve kayış-kasnak gibi mekanizmalarla doğrusal hareket elde edilir. Elektromekanik sistemlerde algılayıcılarla konum, pozisyon, açı ölçümü mümkün olabilmektedir. Yüksek hassasiyet ve hız gerektiren maliyetin göz ardı edildiği manipülasyon işlemlerinde tercih edilir [3].

### **Avantajları:**

- Hızlı ve hassastırlar.
- Hareketler için özel kontrol teknikleri uygulanabilir.
- Ucuzdurlar.

- Yeni modeller çok kısa zamanda üretilebilir.

### **Dezavantajları:**

- Düşük moment ve yüksek hızlarda çalışır. Bu nedenle aktarma organları ve dişlilere ihtiyaç duyulur.
- Dişli ve civata somun sistemlerindeki boşluk hassasiyeti sınırlar.
- Elektrik arkı yanıcı ortamlarda tehlikeli olabilir.
- Hareketin engellenmesi aşırı sıcaklık artışına neden olur.
- Pozisyonun sabitlenmesi ayrıca frenlemeyi gerektirir.

### ***Pnömatik Sistemler:***

Pnömatik hava basıncı ile çalışan otomasyon makineleridir. İlk buhar kazanlarının ortaya çıkmasıyla birlikte elektrikten hidrolikten çok önce pnömatik bilimi ortaya çıkmıştır.

Makineler hidroliğe göre daha düşük basınçlarda çalışırlar. Hidrolikte 1000 bar gibi değerlere bile çıkılabilirken pnömatikte standart çalışma basınçları 3 barla 12 bar arasındadır. Pnömatik sistemlerin tercih edilmesinin en büyük nedeni diğer hidrolik ve elektrik hareket sistemlerine göre çok yüksek hızlara ulaşabilmeleridir. Böylece düşük verimlerini (%25-%40) hızlarıyla kapatırlar [4].

### **Avantajları:**

- Temizdir.
- Basınçlı havanın üretimi kolaydır.
- Kolayca depolanabilir.
- Sıcaklık karşısında hassas değildir.
- Yüksek çalışma hızı.
- Aşırı yükleme güvenliği kolaydır.
- Sıcaklık karşısında hassas değildir
- Geri dönüş hattı yoktur.
- Devre elemanları basit ve ucuzdur.
- Yüksek çalışma hızı vardır.

- Hortumlar ve borular ile kolayca transport edilebilir.
- Kıvılcım oluşması sonucu patlama tehlikesi yoktur.

#### **Dezavantajları:**

- Havanın sıkışabilir olması kontrolü ve hassasiyeti azaltır.
- Egzoz gürültü kirliliği yaratır.
- Hava sızıntısı meydana gelebilir.
- Ekstra kurulama ve filtreleme gerekebilir.
- Hız kontrolü zordur.

#### ***Hidrolik Sistemler:***

Elektrik motorunun tahrik ettiği hidrolik pompa ile akışkanın belirli basınçta ve debide basıldığı ve bu hidrolik enerji ile doğrusal, dairesel ve açısal hareketin üretildiği sistemdir [5].

#### **Avantajları:**

- Hidrolik sistemler sessiz çalışırlar.
- Hidrolik akışkanlar, sıkıştırılmaz kabul edildikleri için titreşimsiz hareket elde edilir.
- Yüksek çalışma basınçları elde edilebilir.
- Hareket devam ederken hız ayarı yapılabilir.
- Akışkan olarak hidrolik yağ kullanıldığı için devre elemanları aynı zamanda yağlanmış olurlar.
- Emniyet valfleri yardımıyla sistem güvenli çalışır.
- Hassas hız ayarı yapılabilir.
- Hidrolik akışkan oluşan ısının çevreye yayılmasını sağlar.
- Hidrolik devre elemanları uzun ömürlüdür.

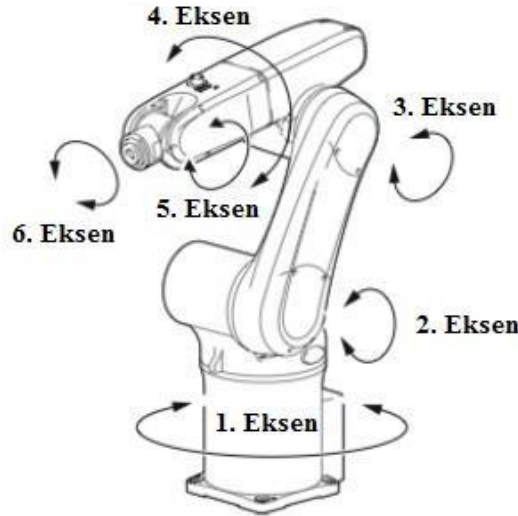
#### **Dezavantajları:**

- Hidrolik akışkanlar, yüksek ısılara karşı hassastır. Akışkan sıcaklığının 500C'yi geçmesi istenmez.
- Hidrolik devre elemanları, yüksek basınçlarda çalışacağı için yapıları sağlam olmalıdır.

- Hidrolik devre elemanlarının fiyatları pahalıdır.
- Hidrolik devre elemanlarının bağlantıları sağlam ve sızdırmaz olmalıdır.
- Hidrolik akışkanların sürtünme direnci yüksek olduğu için uzak mesafelere taşınamaz.
- Depo edilebilirliği azdır.
- Akış hızı düşüktür. Devre elemanları, düşük hızlarla çalışır.
- Hidrolik akışkanlar havaya karşı hassastır. Akışkan içindeki hava gürültü ve titreşime yol açar, düzenli hızlar elde edilemez.

## 2.2 Serbestlik Derecesi

Serbestlik Derecesi (DOF - Degrees Of Freedom), bir eklem hareketine bağlı olarak robot kolunun yönünün belirlenebilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Şekil 2.1’de 6-eksen endüstriyel robotun serbestlik dereceleri görülmektedir. Endüstriyel robotlarda bağımsız hareket özelliği kazandıran her eklem bir serbestlik derecesi meydana getirir ve buna bağlı olarak bir robot ekseninin oluşmasını sağlar. Günümüzde gelişmiş endüstriyel robotlar, 5-7 serbestlik derecesine sahip olarak üretilmektedirler. Ancak bu durum robot uygulama alanlarına bağlı olarak değişebilmektedir. Sözelimi toplama-yerleştirme uygulamaları için robotların sadece 3 eksene sahip olması yeterli iken, kaynak uygulamaları için robotların en az 5-7 eksene sahip olması gerekmektedir [6].



Şekil 2.1: Robot serbestlik dereceleri (DOF).

Lert tarzı adlandırma, robotun her bir eksenini için sınıflandırmayı esas alır. Bu sınıflandırma, hareket yönüne ve şekline göre belirlenir. Doğrusal hareket, uzama hareketi, dönme hareketi ve burulma hareketi olarak dört temel hareket tarzı bulunmaktadır [7].

**Tablo 2.1:** Hareket çeşitleri ve isimleri.

L (Linear)	Doğrusal hareket
E (Extensional)	Uzama
R (Rotational)	Dönme
T (Twisting)	Burulma

**Tablo 2.2:** Robot eklem tipleri.

DÜZENLEŞİM	EKLEM TİPLERİ
Kartezyen	Paralel – Paralel – Paralel (PPP)
Silindirik	Dönel – Paralel – Paralel (RPP)
Scara	Dönel – Dönel – Paralel (RRP)
Küresel	Dönel – Dönel – Paralel (RRP)

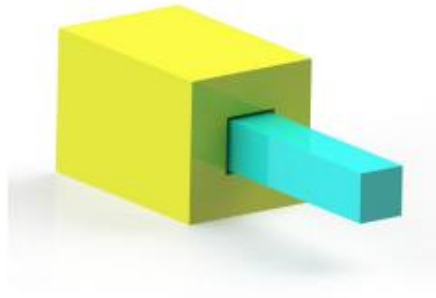
### 2.3 Eklem Yapıları

1. Dönel (Revolute) Eklem: Bir eksen etrafında dönebilen eklem çeşididir. Tek serbestlik derecesine sahiptir. İnsanda kol dirseği bu eklem tipine örnek olarak verilebilir (Şekil 2.2) (DOF=1).



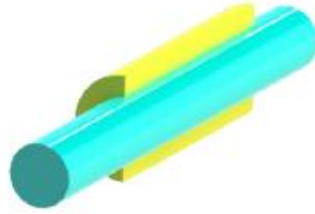
**Şekil 2.2:** Dönel eklem yapısı.

2. Prizmatik Eklem: Tek yönde öteleme yapabilen ve tek serbestlik derecesine sahip eklem tipidir (Şekil 2.3) (DOF=1).



**Şekil 2.3:** Prizmatik eklemin yapısı.

3. Silindirik Eklem: Bir eksen etrafında dönebilen ve aynı zamanda tek yönde ötelenen eklem tipidir. İki serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 2.4) (DOF=2).



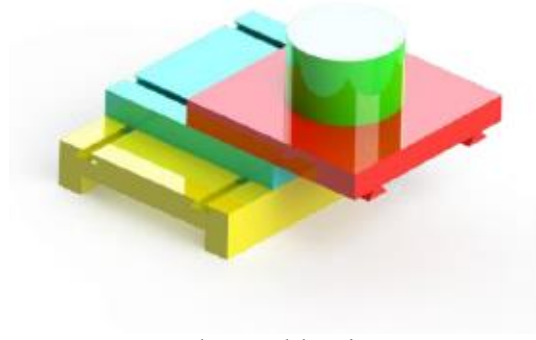
**Şekil 2.4:** Silindirik eklemin yapısı.

4. Vida Eklem: Bir eksen etrafında dönerken aynı anda aynı eksen boyunca ötelenen eklem tipidir. Hareketler birbirlerine bağlı olduğundan tek serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 2.5) (DOF=1).



**Şekil 2.5:** Vida eklemin yapısı.

5. Planar Eklem: Bir düzlem üzerinde iki yönde hareket edebilen ve bunlara dik ekseninde dönebilen eklem tipidir (Şekil 2.6) (DOF=3).



**Şekil 2.6:** Planar eklemin yapısı.

6. Küresel Eklem: Her üç ekseninde de dönme yapabilen eklem tipidir (Şekil 2.7) (DOF=3) [8].



**Şekil 2.7:** Küresel eklemin yapısı.

## **2.4 Robotların Sınıflandırılması**

Bir robot hareketinin kapasitesi, kontrol edilebilmesi mümkün olan eksenlerdeki hareketlerle belirlenir. Sayısal denetimdeki hareketlere çok benzerdir. Endüstriyel robotlar değişik tip ve boyutlarda yapılmaktadırlar. Çeşitli kol hareketlerini yapabilirler ve farklı hareket sistemlerine sahiptirler [9].

### **2.4.1 Robot Hareketinin Eksenleri**

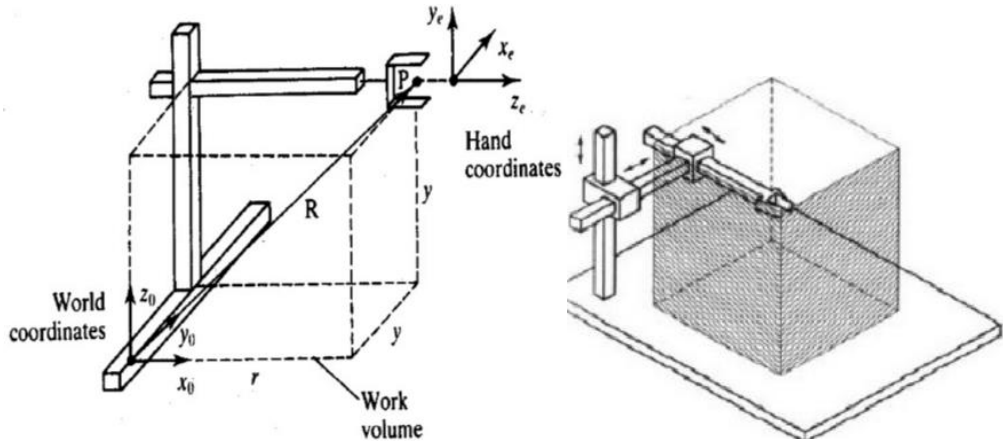
Manipülatorün kendi eksenini veya serbestlik derecesi diye tanımlanan değişik hareketleri vardır. Eğer manipülator kendi eksenini etrafında dönüyorsa ‘Tek Eksenli’ denir. Yukarı aşağıya hareket edebilme yetisine sahipse ‘İki Eksenli’ , ileri geri hareket eden mekanizmaya da sahipse ‘Üç Eksenli’ denir. Endüstriyel robotlar 3

eksenlidir. Bunlar etrafında dönebilme, ileri geri hareket ve aşağı yukarı hareketi içerir.

### 2.4.2 Çalışma Alanı Uzay

Robot kolunun ulaşabileceği toplam alana, çalışma alanı denilmektedir. Koordinat sistemlerine göre robotların sınıflandırılması robotların hareketlerini esas alan koordinat sistemi yapısına göre gerçekleştirilir. Bu amaçla dört farklı koordinat sistemi kullanılmakta ve robotlarda bu sistemlere göre sınıflandırılmaktadır. Bu koordinat sistemleri; kartezyen, silindirik, küresel ve polardır.

**Kartezyen Koordinat:** Robot, üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir. Dikdörtgen şeklinde bir çalışma alanları vardır. Sadece tutma ve taşıma yeteneği olan bu robot tipi X, Y, Z, eksenlerinde doğrusal olarak hareket etme yeteneğine sahiptirler (Şekil 2.8).



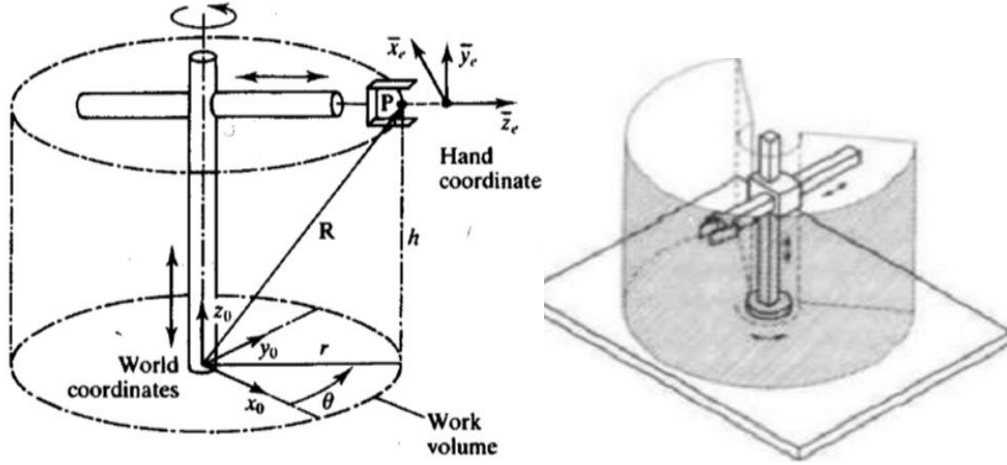
Şekil 2.8: Kartezyen robot çalışma alanı.

**Silindirik Koordinat:** Çalışma alanları silindirikdir. Kolun bir bölümü dikey, diğer bölümü ise yatay hareket eder. Bu konfigürasyonda, robot gövdesi düşey eksen etrafında dönebilen düşey bir kolondur. Kol kısmının birkaç hareketli kısmı vardır. Bu hareketli kısımlar kolu yukarı-aşağı ve içeri-dışarı hareket ettirir ve bilek kısmının dönmesini sağlarlar.(Şekil 2.9)

Zemine ulaşabilmenin arzu edildiği durumlarda robot kolu zemine açılan bir yuvaya yerleştirilir. Ancak bu durumda da ulaşılabilecek maksimum yükseklik azalır.

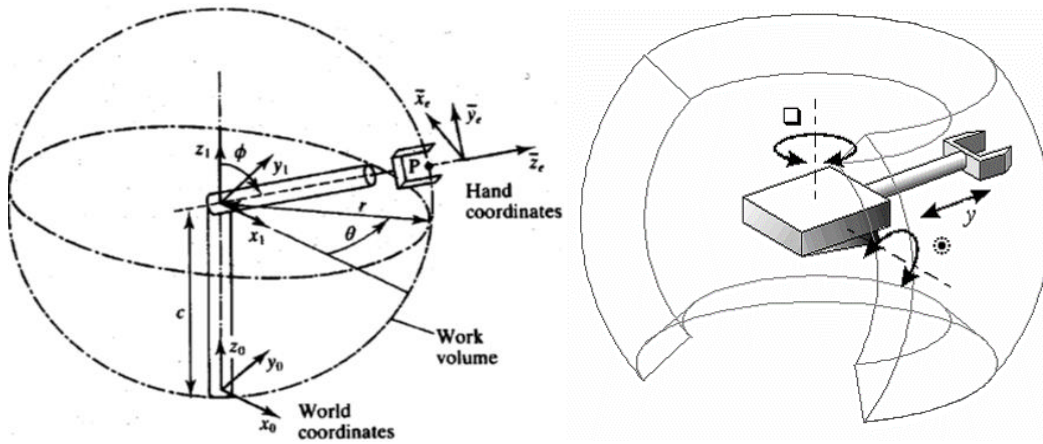


Radyal hareketten dolayı, silindirik koordinatlı robotlar montaj, kalıpcılık gibi alanlarda kullanılabilir. Bu tip robotlar da programlama açısından fazla karmaşık değildir. Ancak Kartezyen koordinatlı robotlarda olduğu gibi kayar elemanların korozyon ve tozlanmadan korunması gerekir. Silindirik robotlar genellikle, kendi ekseninde  $300^\circ$  dönmektedir. Geri kalan  $60^\circ$  ise robotun etrafında güvenli bir alan oluşturmak için kullanılır. Bu güvenlik alanına ölü bölgede denmektedir.



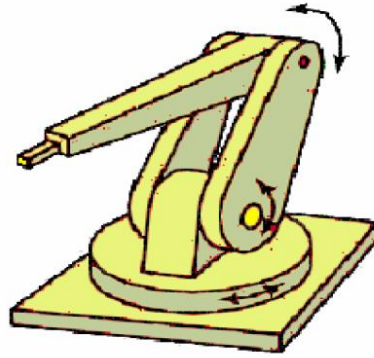
Şekil 2.9: Silindirik robot çalışma alanı.

**Küresel Koordinat:** Küresel koordinat sistemi matematiksel olarak iki tane dairesel ve bir de doğrusal eksen olmak üzere üç tane eksen olan bir sistemdir. Robotikte küresel koordinat sistemi en eski koordinat sistemlerinden biridir. Oldukça çok işlevli, birçok uygulama alanına sahip özelliğinin yanında, yapım ve montaj açısından da oldukça kolaylık sağlamaktadır(Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Küresel robot çalışma alanı.

**Polar Koordinat:** Polar koordinat sisteminde çalışan robotlarda, robot herhangi bir iş yaparken kolu dairesel hareketli bağlantılarla oluşturulur. Robot kolunun bağlantıları gövde üzerine, etrafında dönecek şekilde monte edilmiştir ve dayanak noktaları birbirine benzeyen iki ayrı bölümü taşır. Dönen parçalar yatay ve dikey monte edilebilir. 360° dönme sağlanamaz ancak bu kayıplar minimuma indirilebilir. Döner koordinatlarda çalışma hacmi (Şekil 2.11) de görülmektedir. Bu tip robotlarda robot kolun çalışması zor gözlenir. Çalışma hacmindeki noktalara farklı yörüngelerle ulaşılabilir. Buna göre sistem parametrelerinin en uygun olduğu yol seçilmelidir.



**Şekil 2.11:** Polar koordinat sistemi.

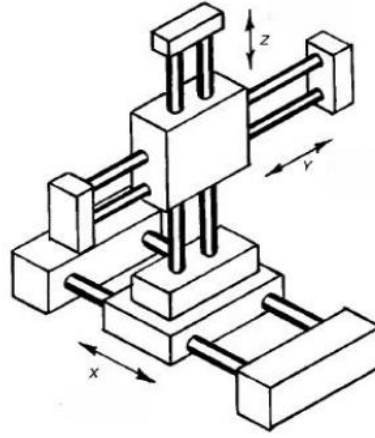
### 2.4.3 Robot Tiplerine Göre Sınıflandırma

Robotlar tasarımda esas alınan koordinat sistemi tipine ve kol bağlantılarının özelliklerine göre 3 farklı sınıfa ayrılabilirler. Bu robot sınıfları Kartezyen robotlar, mafsalı robotlar ve SCARA robotlar olarak sıralanabilir [10].

#### *Kartezyen robotlar:*

Kartezyen koordinat sisteminde bütün robot hareketleri birbirine 90°'lik açıyla hareket eder, bu nedenle Kartezyen robotlar dikdörtgenimsi bir biçimdedir. Günlük hayatımızda sağa sola, aşağı yukarı vb. hareketlerimiz, Kartezyen koordinat hareketleridir. Bu ürün robotları genellikle özel uygulamalarla sınırlandırılır. Devamlı bir yol alanında, robot, bir köprü ve bir ray sistemi aracılığıyla daha çok işlevlik kazanabilir. Tavana monte edilerek, birkaç fonksiyonla birçok istasyona hizmet verilebilir. Robotun tavana asılı olmasıyla, zeminde daha fazla boş saha kazanılmış

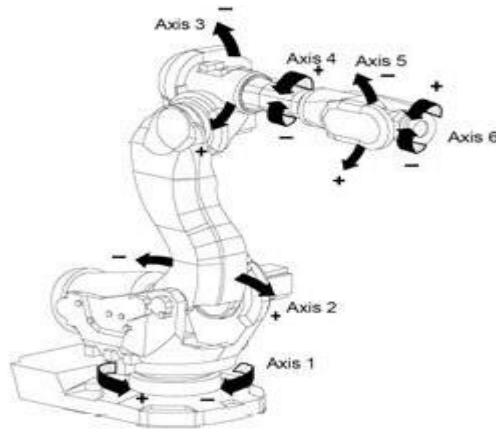
olur. Kartezyen robotlar, basitlikleri ve konstrüksiyonları sayesinde rijitliği yüksek ve hızlı bir yapıya sahiptir(Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Kartezyen robot [11].

### ***Mafsallı robotlar:***

Mafsallı manipülatörler tüm eklemleri döner olduğundan çalışma uzaylarında en yetenekli manipülatörlerdir. Endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptirler (boyama, kaynak yapma, montaj, yüzey temizleme vb.) ve elektrik motorları tercih edilir (Şekil 2.13).

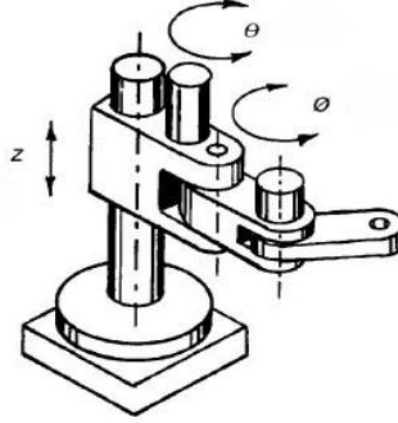


Şekil 2.13: Mafsallı robot.

### **Scara robotlar:**

SCARA türü robotlar birbirine paralel 3 eksen den meydana gelmektedirler. İki adet döner mafsala ve bir adet kayar mafsala sahiptirler. Hassasiyetleri oldukça iyi robotlardır. Bundan dolayı elektronik endüstrisinde kullanılmaktadırlar (Şekil 2.14) [12].

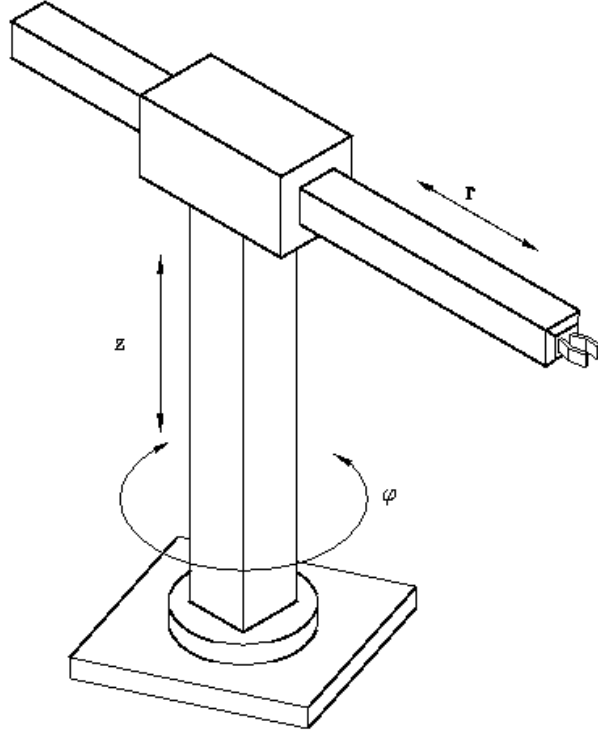
Günümüzde Scara tipi robotlar yaygın olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Elektronik devre elemanlarının baskılı devre üzerine yerleştirilmesinde, elektromekanik olarak çalışan küçük cihazların ve bilgisayar disk sürücülerinin montajında bu robotlardan faydalanılmaktadır. Robotların elektronik sanayinde kullanılmasıyla birlikte seri üretim yapılmaya başlanmış ve kalite artmıştır.



**Şekil 2.14:** Scara robot [11].

#### **2.4.4 Silindirik Robot Eklem Pozisyonları**

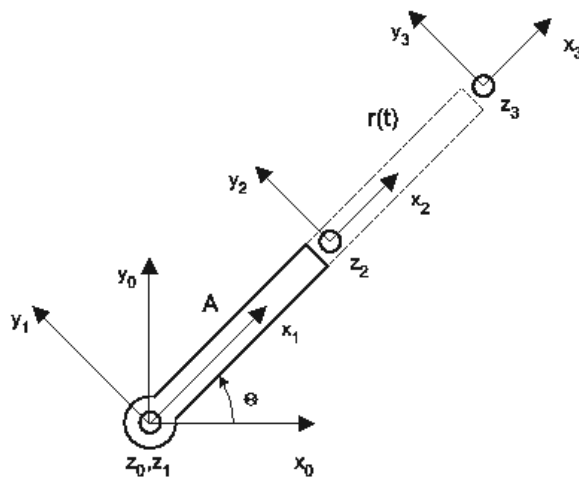
Klasik olarak silindirik robot radyal, açıs al ve dikey hareket yapabilmektedir. Radyal hareket için öteleme eklemine, açıs al hareket için döner eklem ve dikey hareket için ortak öteleme hareketine sahiptir. Bu özel düzenleme 3 serbestlik derecesi verir. Robot Şekil 2.15'de sunulmuştur.



**Şekil 2.15:** Klasik silindirik robot.

Denavit-Hartenberg çerçeve çözüm yolu ile silindirik robotun ortak sistemleri olan  $r(t), \varphi(t), z(t)$  ,  $x_0, y_0, z_0$  ana çerçevesi kartezyen sistemlerine göre aşağıda çözümlenmiştir.

Daha önce tanımlanan kavramlara göre silindirik robot 4 farklı çerçeve tanımlar.



**Şekil 2.16:** Silindirik robot çerçeve atama.

Bu yapılar arasında dönüştürülmesi, yukarıda verilen genel transformasyon açıklamasına dayanır.

Aşağıdakiler komşu yapılar arasında bireysel dönüştürmeler şöyledir:

$$1. \quad a_1 = 0, \alpha_1 = 0, d_1 = d_2(t)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$2. \quad a_2 = A, \alpha_2 = 0, d_2 = 0, \theta_2 = 0$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & A \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$3. \quad a_3 = r(t), \alpha_3 = 0, d_3 = 0, \theta_3 = 0$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r(t) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Bu veriler ışığında  $x_3, y_3, z_3$  ve temel yapı  $x_0, y_0, z_0$  arasında elde edilen transformasyon matrisi bize  $T_3^0$  değerini verir.

$$T_3^0 = T_1^0 \times T_2^1 \times T_3^2 \quad (2.4)$$

Tam gösterimi ise şöyledir;

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & [A + r(t)] \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & [A + r(t)] \sin \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_2(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Gözlenen kartezyen uzaydaki  $x_3, y_3, z_3$  değerleri şöyledir;

$$x_3 = 0, y_3 = 0, z_3 = 0$$

3D uzayda eklemlerin bağımsız hareketleri aşağıdaki gibidir.

$$x_0(t) = [A + r(t)] \cos \theta_1 \quad (2.6)$$

$$y_0(t) = [A + r(t)] \sin \theta_1 \quad (2.7)$$

$$z_0(t) = d_2(t) \quad (2.8)$$

Sistemin çalışmasında esas alınan hareket denklemleridir. Denklemler, herhangi bir platform konumu için ilgili kol pozisyonlarının bulunması sağlamaktadır [13].

## 2.5 Literatür Çalışması

Otomatik pizza makinesi ve robot sistemleri teknolojisinde yurtiçi ve yurtdışında çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya da devam edilmektedir. Bu bölümde bu çalışmalardan bir kısmı incelenmiştir.

Let's Pizza firması ilk olarak İtalya'da otomatik pizza makinesini yapmıştır. Yapılan bu makinede 3 eksenli kartezyen robot kullanılmakta ve ortam sıcaklığı 2°C'de muhafaza edilmektedir. Makine ilk olarak ödeme işlemi yapıldıktan sonra un ve suyu mikser yardımıyla karıştırmaktadır. Karışım haznesinde bulunan hamur silindirik bir piston ile kartezyen robotun hamur koluna doğru ötelenerek ince bir hamur elde edilmektedir. Kartezyen robot, hamuru ilk olarak sıvı sos haznesine getirmekte ve gerekli malzeme üstüne homojen şekilde dökülmektedir. Sonrasında robot hareket halindeyken üstüne katı malzemeler gelmektedir. Son aşamada fırın ünitesinde döndürülerek pişirilmekte ve paketlenme yapılarak müşteriye servis edilmektedir [14].

Wonder Pizza firması ABD'de otomatik pizza makinesini üretmiştir. Makine 3 eksenli kartezyen robot kullanmakta ve pizza donmuş halde raflarda bulunmaktadır. Kartezyen robot ödeme gerçekleştikten sonra hamuru rafından almakta ve fırın ünitesine getirmektedir. Pişirme işlemi bitiminde karton tabak ile müşteriye servis etmektedir [15].

Lee ve arkadaşları "Development of a CAD/CAE/CAM system for a robot manipulator" adlı çalışmalarında, CAD/CAE/CAM entegre sistemi geliştirmişlerdir.

Robotun pozisyon analizi için Denavit-Hartenberg metodunu kullanmışlar ve Matlab programı ile çözümlendirmişlerdir. CNC freze makinesini üretmişler ve MasterCam programıyla kesim simüle etmişlerdir. Bu entegre sistemin bilgisayar destekli mekanizma tasarımı derslerinde destekleyici bir eğitim aracı olarak kullanılabilceğini de belirtmişlerdir [16].

İbrahim, “Çok amaçlı 3 eksen kartezyen robot sisteminin tasarımı ve imalatı” adlı tez çalışmasında, açık sistem tasarım yaparak kullanılacak ortama göre değiştirilebilen esnek bir robot imal etmiştir [2].

Demirci, “Scara robot ve tasarımı” adlı tez çalışmasında, scara tarzı manipülatörün Solidworks ile tasarımı yapmış ve aynı programın eklentisi Motion study ve Simulation ile de analizlerini gerçekleştirmiştir [17].

Aydın, “3 serbestlik dereceli paralel bir robotun kinematiği, dinamiği ve denetimi” adlı çalışmasında, 3 serbestlik dereceli paralel robotun katı modelini Solidworks de yapmıştır. Bulunan ters ve düz kinematik çözümleri katı model üzerinde test etmiş ve triglide paralel robotun çalışma hacmi bulunmuştur [18].



### 3. PIZZA MAKİNESİNİN ÖZELLİKLERİ

Pizza makinesinin bütün özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklere göre robotun tasarımın ve imalatının yapılması gerekmektedir. Makine tasarımı yapılırken uyulması gereken tasarım sürecinin prensipleri şunlardır;

1. İhtiyaçlar
2. Bilgi toplama
3. Yaratıcılık
4. Çözüm bulma
5. Uygulamadır

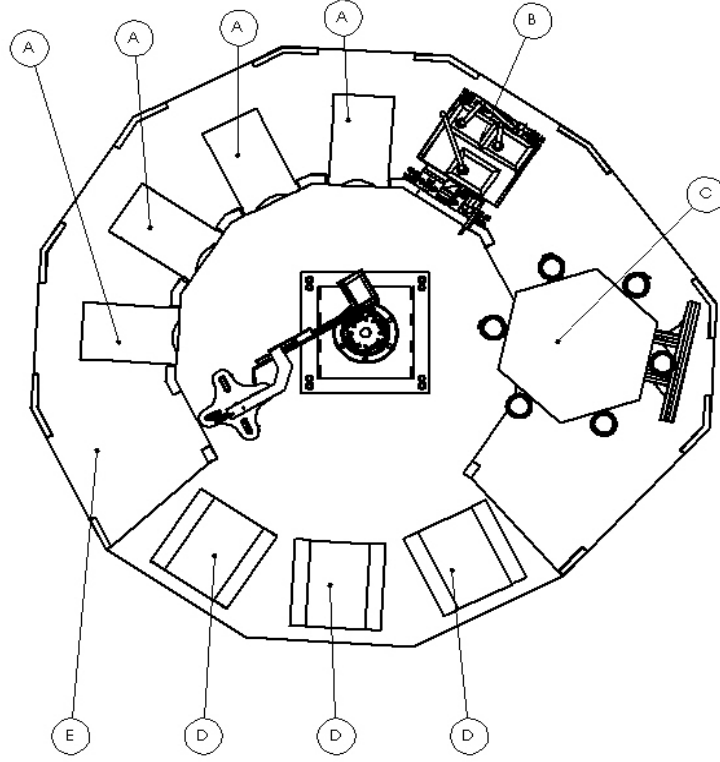
Tasarım bu prensipler çerçevesinde yapılmış ve çözümler bulunmuştur. Tasarımda en önemli adım ihtiyaçların belirlenmesidir. İhtiyaçların adım adım incelenmesi ve bu ihtiyaçlara karşılık gelen bütün çözümlerin uygulanması robotun tasarım aşamasını oluşturmaktadır.

Otomatik pizza makinesi beş ayrı istasyon ve bir taşıma robotundan oluşmaktadır. Otomatik pizza makinesini oluşturan bölümler:

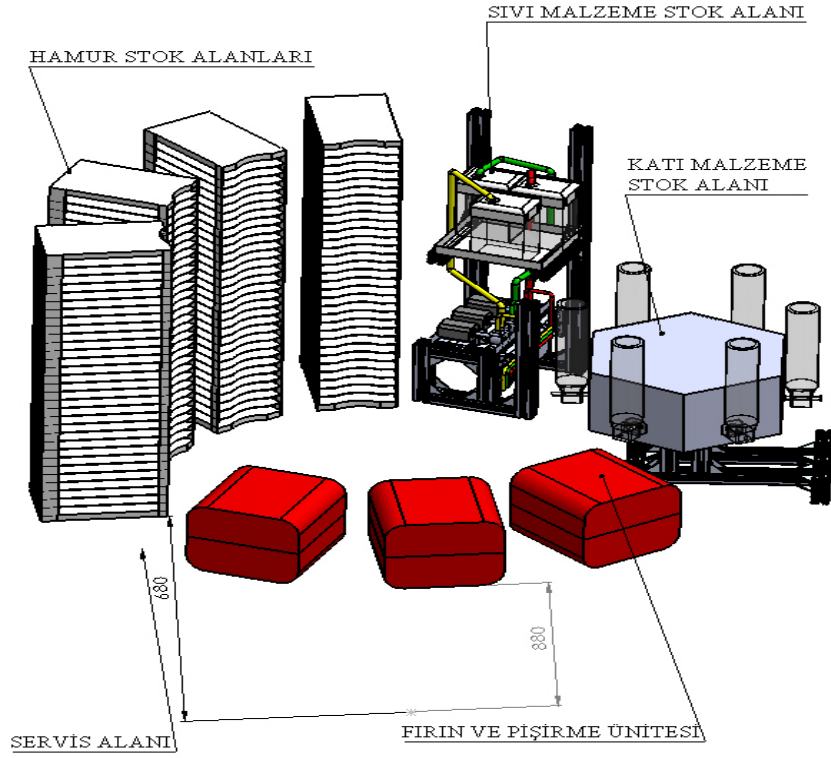
- A. Hamur stok alanı
- B. Sıvı malzeme stok alanı
- C. Katı malzeme stok alanı
- D. Fırın ve pişirme ünitesi
- E. Servis alanı
- F. Taşıma robotu (Silindirik robot)

olarak tasarlanmıştır. Bunların yerleşim planı Şekil 3.1’de verilmiştir.

Sistem tasarımında en elverişli seçenekler düşünülerek silindirik robot kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan silindirik robot nedeniyle istasyonların dairesel yörüngede yerleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.1: Tasarlanan istasyonlar.



Şekil 3.2: İstasyonların dizilimi.

### **3.1 Hamur Stok Alanı**

Hamur stok alanında 120 adet hamur stoklanması, bu alanın +4°C sıcaklığa sahip olması, dışarıdan operatörün hamur yüklemeyi yapabilmesi ve her raftaki hamurun her zaman aynı konumda muhafazası istenmektedir. Bu amaçlara ulaşabilmek için:

1. 190x190x900mm ölçülerinde 4 adet raf alanı
2. Her raf için 3 cm aralıklı
3. Her bir üniteye 30 adet pizza
4. Toplamda 4 ünite ve 120 adet pizza olacak şekilde bir tasarım yapılmıştır.

Robottan istenilenler şunlardır:

1. Her bir rafa tek tek gidebilmesi
2. Raflarda bulunan pizza hamur tabağını tutabilmesi
3. Pizza hamur tabağını üstünde taşıyabilmesi
4. Pizzaları tanınması için her bir rafı gezmesi ve hafızada tutması
5. Pizzayı B istasyonuna taşıyabilmesi gerekmektedir.

Hamur stok alanı ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için robotun hareketlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Robotun istenilen özellikleri karşılayabilmesi için aşağıdaki maddeleri yerine getirmesi gerekmektedir.

1. Her rafı gezmesi için dikey hareket
2. Hamuru yakalayabilmesi için yatay hareket ve kısıkaç
3. Diğer istasyona taşıyabilmesi için döner hareket

### **3.2 Sıvı Malzeme Stok Alanı**

Sıvı malzeme stok alanında 3 adet 5 litrelik sıvı malzeme kabının stoklanması, bu alanın +4°C ortam sıcaklığına sahip olması, dışarıdan sıvı malzeme koyulabilmesi ve belirli zamanlarda malzeme kaplarının temizliği için çıkarılabilmemesi istenmektedir. Bu amaçlara ulaşabilmek için:

1. 3 adet 5 litrelik farklı pizza sosu haznesi
2. Pizza soslarına hareket verecek 3 adet pompa
3. Sıvı sosları pizzaya dökülebilmek için yatay hareket yapabilen bir düzenek tasarlanmıştır.

Robottan istenilenler şunlardır:

1. Pizza hamurunu sıvı sos akıtma hortumlarının altında tutabilmesi
2. Gelen sıvı sosun homojen miktarda pizzanın üstünde dağılması
3. Pizza hamurunu C istasyonuna taşıyabilmesi.

Sıvı sos hortumları yerden belirli bir mesafede(880 mm) durmaktadır. Bu yüzden makinenin dikeyde hareket yaparak doğru mesafede durması gerekmektedir.

C istasyonuna pizza hamurunun taşınabilmesi için robotun dönme hareketi yapması gerekmektedir.

Pizzanın üstüne homojen şekilde sıvı sosun gelebilmesi için; robotun pizza hamurunu taşıdığı tabla dönme hareketi yapabilmelidir. Böylece sabit olarak gelen soslar pizza hamurunun dönme hareketiyle bütün noktalara eşit miktarda dağıtılmış olacaktır.

### **3.3 Katı Malzeme Stok Alanı**

Katı malzeme stok alanında 6 adet silindirik haznenin stoklanması, ortam sıcaklığının +4°C'de olması, malzeme kaplarının dışarıdan operatör tarafından yüklenmesi ve gerektiğinde temizleme amacıyla sökülebilmesi istenmektedir. Bu amaçlara ulaşabilmek için:

1. 6 adet silindirik katı malzeme haznesi
2. Malzeme kaplarından pizza hamuruna malzeme akıtılabilecek düzenekler tasarlanmıştır.

Robottan istenilen özellikler:

1. Robotun her bir malzeme kabının altına gitmesi ve doğru mesafe(880 mm) durması
2. Katı malzemeyi pizza hamurunda homojen miktarda dağıtabilmesi
3. D istasyonuna getirmesi gerekmektedir.

Robotun malzeme kaplarına ulaşabilmesi için dikeyde hareket etmesi gerekmektedir.

Katı malzeme kaplardan belli bir çapta (60 mm) akmaktadır. Ama bu çap pizza çapından küçük olduğu için pizza tablasının dönme hareketi yapabilmesi gerekmektedir.

### **3.4 Fırın ve Pişirme Ünitesi**

Fırın ve pişirme ünitesinde 3 adet pizza fırını bulunması, fırınların +390°C’de çalışması ve pizza hamurunun fırınlara girebileceği açıklığa sahip olması istenmektedir. Bu amaçlara ulaşabilmesi için:

1. 3 adet rezistanslı fırın
2. Fırınların ağız kısımlarında pizza hamurunun girebileceği açıklık bulunmaktadır.

Robottan istenilenler;

1. Pizza hamurunu fırınların içine koyması
2. Pizza hamuru piştikten sonra fırından geri alması
3. E istasyonuna taşınması

Fırınlar, pizza tabağının girip çıkabileceği özel bir tasarım ile imal edilmiştir. Bu sayede fırın kapaklarının açılıp kapanmasına gerek kalmamıştır. Pizza tabağının fırına girmesi için kısıcın kapanıp yatayda ileriye doğru pizza tabağını sürüklemesi gerekmektedir. Fırından çıkarma işleminde ise kısıcın pizza tabağını tutarak yatay hareketi geriye doğru yapması gerekmektedir.

E istasyonuna taşıma işlemi içinse robot dönme hareketi yapmalıdır.

### **3.5 Servis Alanı**

Servis alanında müşterinin pizzayı alabilmesi için bir açıklık bulunmaktadır. Bu açıklıkta fan yardımıyla üflenen hava, pizzayı el yakmayacak derecede sıcaklığa düşürmektedir.

Robottan istenilenler:

1. Pizza hamurunu dikeyde servis açıklığına getirebilmelidir.
2. Pizza hamuru yatayda servis açıklığına gelmesi için dönme hareketi yapmalıdır.
3. Servis açıklığında pizza hamurunu sürükleyerek müşterinin alabileceği mesafeye getirmelidir.

Servis alanı mesafesine robotun gelebilmesi için dikeyde hareket yapması gerekmektedir. Pizza kıskaç yardımıyla tutularak yatayda sürüklenmeli ve kıskaç açılarak bırakmalıdır. Robot pizzayı servis alanına bıraktıktan sonra yataydaki kol geri çekilmeli ve yeni siparişler için home pozisyonunda beklemelidir.

### **3.6 Taşıma Robotu**

Taşıma robotları günümüzde sanayide insanların yapamayacağı işleri yapmak için kullanılmaktadır. Sistemde bu taşıma işlemi özel bir amaç için kullanılmış ve uyarlanmıştır. Robot pizza hamurunu gerekli yerlere taşımak için tasarlanmıştır. Tasarım sürecince pizza taşımak için ihtiyaçlar belirlenmiş ve bu doğrultuda üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu ihtiyaçlar:

1. Hamuru raflardan alıp üstündeki tabağa koyması
2. Sıvı ve katı malzeme bölümüne gitmesi
3. Hamurun üstüne sıvı ve katı malzemeyi eşit biçimde dağıtması
4. Fırın ünitelerine hamuru pişirmek için vermesi
5. Servis ünitesine gelip müşteriye ürünü ulaştırmasıdır.

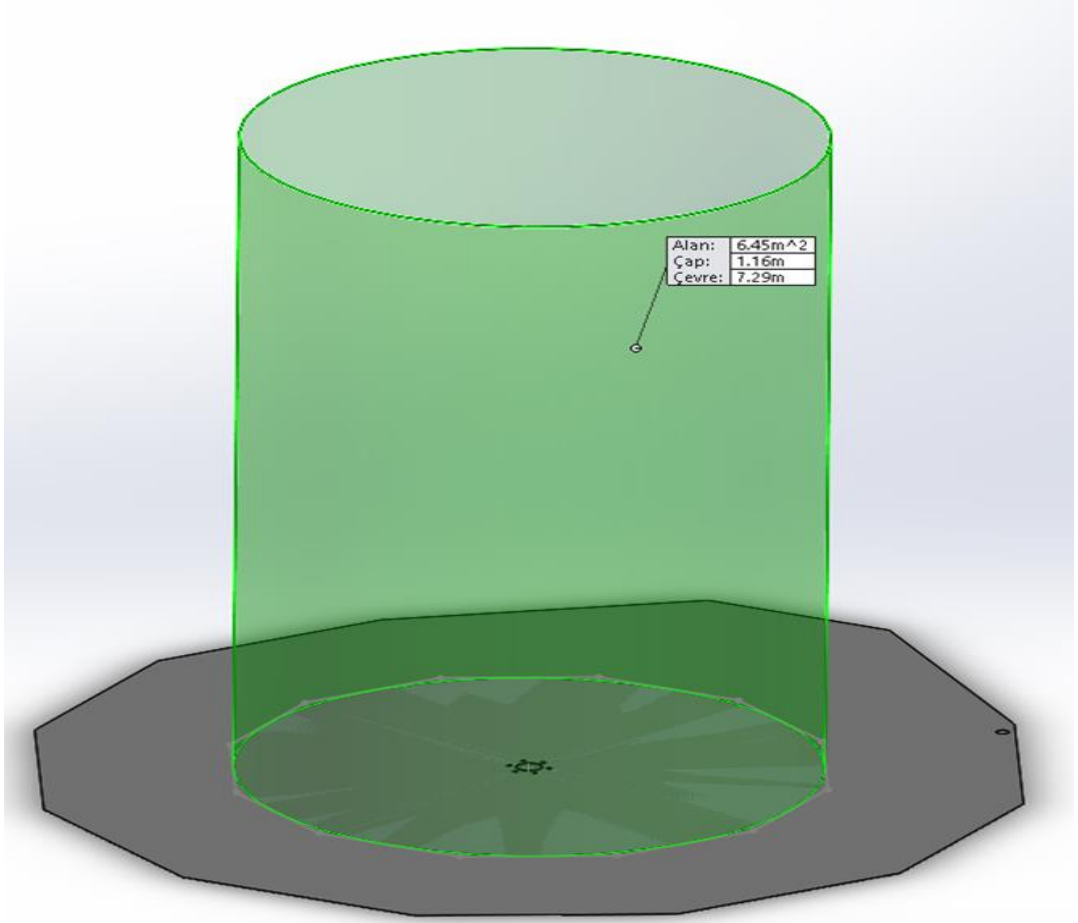
Taşıma robotunun tasarım aşamaları, hesaplamaları ve imalatı aşağıdaki bölümde detaylı biçimde anlatılmıştır.

## 4. ROBOTUN TASARIMI VE İMALATI

### 4.1 Çalışma Alanı

Yerleşim planında 12 gen dış şasesinin her kenarına tek bir istasyon gelecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım robotun çalışma alanının ve hacminin net biçimde hesaplanmasına yardımcı olmuştur.

Robotun koyulacağı hacim Şekil 4.1’de verilmiştir. Tasarım sonucunda robotun çalışma stroku 600mm-1770mm arasında olması gerekmektedir. Robotun merkezi tasarlanan sacın deliği ile eş merkezli olacaktır.



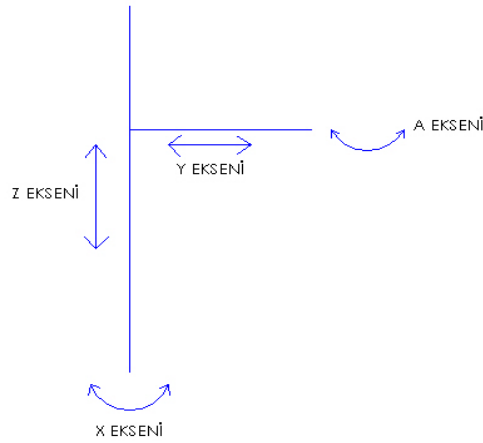
Şekil 4.1: Robot koyulacağı hacim.

Silindirik robotun çalışacağı yükseklik 1,17 m, yerleştirileceği alan  $1.05 m^2$ , çalışma hacmi ise  $1.1655 m^3$  'tür.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi robotun genişliği, yüksekliği ve eni bilinmektedir. Çalışma alanı ve hacmi ise tam olarak hesaplanmıştır.

## 4.2 Temel Hareketler

Temel hareketler makine istasyonlarından beklenen fonksiyonlara göre belirlenmiştir. Eksen sayısı bu hareketlere göre 4 olarak belirlenmiştir. Klasik 3 eksenli silindirik robota ek olarak 1 eksen daha eklenmiştir. Şematik gösterimi Şekil 4.2'dedir.



Şekil 4.2: Eksenlerin şematik gösterimi.

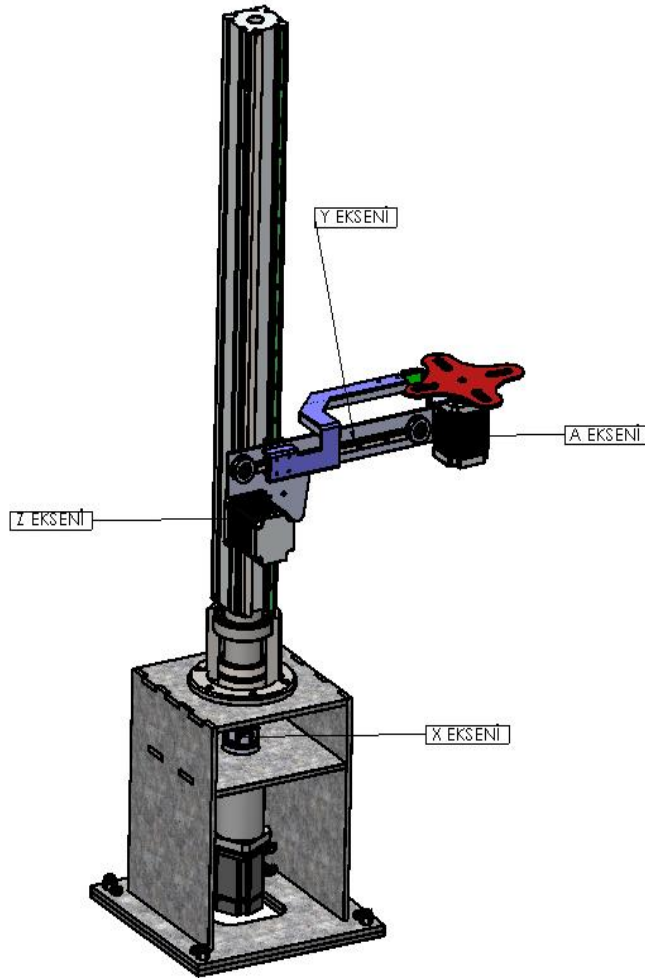
## 4.3 Silindirik Robotun Genel Tasarımı

Tasarımın ilk hedefi istenilen işi doğru şekilde yapması ve sorunsuz çalışmasıdır. Dış şase yapıldıktan sonra robotumuzun taraması gereken alan ve gitmesi gereken pozisyonlar tam olarak ortaya çıkmıştır. Robotun yerden yüksekliği, kolunun uzunluğu ve çalışması gereken hacim robotun tasarımında en önemli parametrelerdir. Bu parametreler ışığında kullanılacak ürünlerin maliyetinin



minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Hazır modüller imal edilecek bir ürüne göre maliyetli olacaktır. Sistemde robot kolu ve ana gövdenin imalatına karar verilmiştir.

Robotta kullanılan mekanik elemanlar ve bunların konstrüksiyon açısından, literatürdeki uygulama örnekleri incelenmiştir. Gerekli tasarım, uygulama örneklerine göre oluşturulmuştur. Tasarımdaki sorunlar ve olası hatalar tasarım ve üretim aşamasında sürekli gözden geçirilmiş ve gerektiğinde alternatif yollar üretilmiştir.

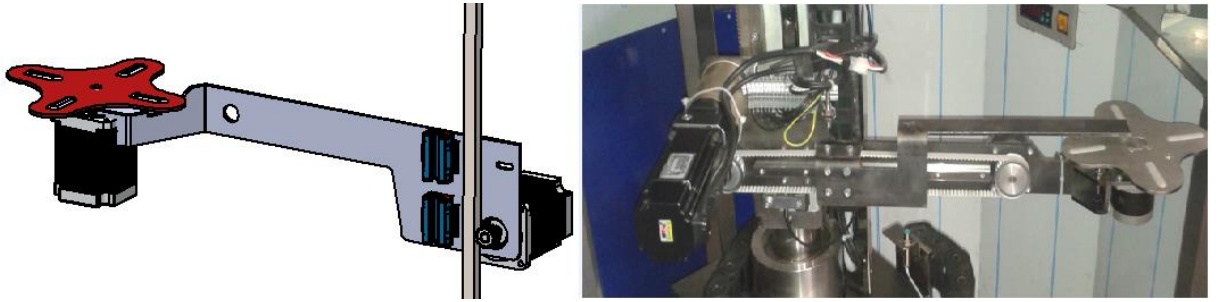


**Şekil 4.3:** Silindirik robotun tasarımı.

Şekil 4.3' deki tasarım silindirik robotun bütün sistemlerini içermektedir. Makineden beklenen fonksiyonlar tek tek tasarlanmış ve ardından birleştirilmiştir.

### 4.3.1 Dikey Hareket Tasarımı ve İmalatı (Z Eksen)

Robot kolunun pizza raflarına ulaşabilmesi için dikey doğrultuda hareket edebilmesi gerekmektedir. Pizza rafları 3 cm aralıklarla dik şekilde durmaktadır. Robotun dikey doğrultuda raflara ulaşabilmesi için yeterli hassasiyet ile imal edilmesi gerekmektedir. Hassasiyete önem verirken rijitliğide dikkate almak gereklidir. Malzeme seçiminde rijitliği gerekli seviyede tutmak için 5mm paslanmaz çelik tercih edilmiştir. Tüm parametreler göz önünde bulundurularak imalat gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4: Dikey hareket kol tasarımı.

Z eksenindeki hareket için tasarlanan kol iki kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısım olan sabit plaka, üzerinde Y eksenini hassas arabalarını taşımaktadır. Bu arabaların plakaya bağlantı delikleri krameyer dişlisi ile pinyon dişli arasındaki boşluğu ayarlayabilmek için kanal olarak açılmıştır. Uç kısmında A eksenini oluşturan motor ve pizza tabak tutucu plakayı barındırmaktadır.

İkinci kısım ise pizza tabak tutucu kolun ileri geri hareketi için kullanılmakta ve kolun istasyonları ortalaması için uygun geometride tasarlanmıştır. Üzerinde Tabak sıkma mekanizmasını (gripper) taşımaktadır.

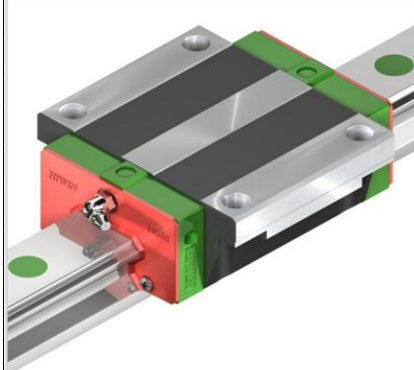
Dikey hareketin malzemelerin seçimini yaparken taslak tasarımdaki ölçülere ve analizlere uygun değerlerdeki seçilmeye çalışılmıştır. Her malzeme için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. İmal edilen metal sacların teknik resimleri Şekil A.6'dadır.

#### ***Kılavuz ve Yataklama:***

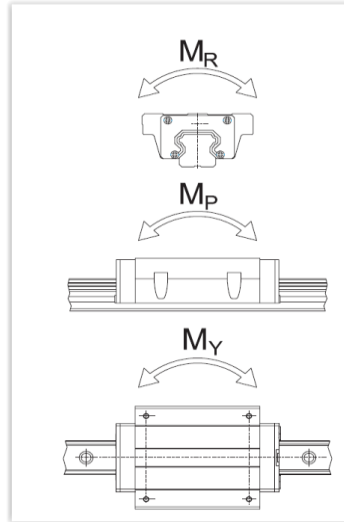
Genel olarak bu sistemler yükleme kapasitelerine ve hassasiyetleri göre seçilmektedir. Hassasiyetleri 0,001 mm mertebelerinde olmaktadır. Diğer seçim

kriterleri; yükün pozisyonu, montajı yapılacak yer, fiyatı, tahrik şekli, dayanıklılığı, kullanım yeri koşullarıdır. Sistemde flanşlı ve bilyalı araba tercih edilmiştir. Sekil 4.5’de sistemde kullanılan HIWIN CORPORATION firmasına ait HGH25CA ZOH kodlu flanşlı kılavuz ve arabası yüksek ağırlıktaki yüklemeler için uygundur.

Çalışma Stroğu	1500 mm
Montaj Civataları	M6x20
Dinamik Yükleme	$C : 26.48 \text{ kN}$
Statik Yükleme	$C_0 : 56.19 \text{ kN}$
Momentler	$M_R : 0.64 \text{ kN-m}$ $M_P : 0.51 \text{ kN-m}$ $M_Y : 0.51 \text{ kN-m}$



Şekil 4.5: Tasarımda kullanılan kılavuz yataklama.



Şekil 4.6: Yataklamanın moment yönleri.

### ***Kremayer Dişli:***

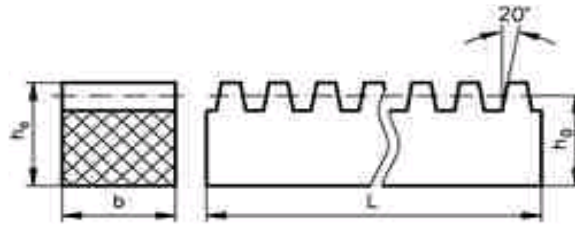
Dikey hareket sisteminin tasarımı yapılırken 2 seçenek üzerinde durulmuştur. Bunlar kremayer dişli ve vidalı dişlidir. Robottan beklenen harekete göre kremayer dişli seçilmiştir. Sebepleri şunlardır:

- Vidalı dişli 1000mm üstünde eğilme deformasyonuna uğramaktadır. Bu değer üstünde kullanılmaması önerilmektedir.
- Vidalı dişli dikey konumlandırıldığında daha fazla dikey kuvvete maruz kalacaktır.
- Vidalı dişlinin çalışma hızı kremayer dişliye göre düşüktür.
- Vidalı dişlinin hassasiyeti daha yüksek olmasına rağmen sistemin hassasiyetini kremayer dişli karşılamaktadır.



**Şekil 4.7:** Düz kremayer ve pinyon dişlisi.

Kremayer dişlinin teknik resmi ise Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.8:** Kremayer dişlinin teknik resmi.

Kullandığımız kremayer dişlinin teknik özellikleri şunlardır:

- Kremayer dişlinin yapım malzemesi DIN 3962'dir.
- Basınç açısı 20 derecedir.
- Kesit toleransı H11= -1/10 ile 2/10 boyutuna bağlı olarak değişmektedir.
- Kremayer dişlinin uzunluğu 1500 mm'dir.

- Ağırlığı ise 4.125 kg'dır.

### ***Planet Redüktör:***

Redüktör tiplerinin seçiminde;

- Çevrim oranı
- Güç iletme kabiliyeti
- Verim
- Boyut
- Ağırlık

gibi faktörleri göz önünde tutmak gerekir [19].

Planet Redüktörler düz olan dişli çarklardan meydana gelir. Büyük bir güneş dişli çevresinde ve aynı zamanda daha büyük bir iç dişlinin dış güneş içinde dönen küçük birkaç planet dişliden meydana gelen bir sistemdir. Bir planet mekanizmasında dış güneş, planetler veya iç güneşin sabit tutulması ve giriş çıkışın diğerlerinden sağlanmasıyla çeşitli çevrim oranları elde edilebilir.

Planet dişlilerin sağladığı yararlar şunlardır:

- Genelde birden fazla planet olduğundan ve iletilen kuvvet için aynı anda çalıştıklarından normal kademedeki dişlilere göre daha küçük modüllüdürler. Birden fazla planette diş dibi zorlanmaları hepsinde eşit büyüklükte kabul edilir.
- Ağırlıkları ve boyutları normal mekanizmalara göre küçüktür. Genelde bu oran normal mekanizmaların yarısı veya üçte biri kadardır.
- Normalde tahrik mili ile çıkış mili aynı eksen üzerindedir. İstenilirse eksenler kaydırılabilir.
- Planet sistemlerinin randımanları, normal dişli mekanizmalarından daha yüksektir. Fakat çok büyük çevrim oranlarında randıman düşer.
- Redüktör içinde devir sayıları ayarlanabilir.
- Redüktör içinde güç, moment veya hareket bir kaç yöne dağıtılabilir.

Redüktörler üzerilerine gelen hareketin hem yönünü hem de çevrim miktarını değiştirebilmektedir. Bu sayede kullanılan motorun üzerine gelen kuvvetleri çevrim oranı kadar düşürerek motorun ömrünü arttırmaktadır. Ayrıca redüktörün bu özelliği sayesinde step motorunun hassasiyeti de çevrim oranı kadar arttırılmış olur.

Sistemde dikey hareket için LIMING FE070 kodlu 2 kademeli çevrim oranı 1/30 olan planet redüktör kullanılmıştır.(Şekil 4.9)

Nominal çıkış torku	50 Nm
Maximum çıkış torku	150 Nm
Nominal giriş devri	4800 rpm
Maximum giriş devri	6000 rpm
Maximum radyal yük	1800 N
Maximum axial yük	590 N
Yorulma ömrü	20000 hr
Verim	>%94
Ağırlığı	2.24 kg



**Şekil 4.9:** Tasarımda kullanılan planet redüktör.

Dikey hareket için seçilen planet redüktörün çevrim oranının büyüktür. Bunun sebebi; çok hassas hareket yapılması istenmektedir. Servo motor devir 3000 dev/dk dadır. Sistem 100 dev/dk ile çalışmaktadır. Bu değer bizim için yeterli hassasiyeti sağlamaktadır.

#### ***Servo Motor:***

Servo motorlar, kontrol motorları olarak da isimlendirilmektedir. Çıkış hareketini kontrol edebilmek için tasarlanır ve üretilirler. Servo motorlar düşük rotor ataletine sahip olduklarından dolayı yüksek hız tepkileri verebilmektedirler. Step motorlara göre daha küçük çaplı ve boyları daha büyüktür. Düşük veya sıfır hızda çalışabilirler. Bu sebepten dolayı güç ve moment değerleri aynı olan klasik motorlara göre boyutları büyüktür. Devir sayıcı gerekmez ve hassas devir ayarı yapılabilir. Genel olarak farklı kullanım alanlarına sahiptirler. Kullanım alanları en çok nümerik

kontrollü makineler (CNC), robotlar, pres makineleridir. Servo motorların en önemli özellikleri:

- Dinamik yük ve hız değişikliği
- Yüksek kararlılık
- Pozisyonlama
- Periyodik çalışmadır.

Bir servo motor şu karakteristiklere sahip olmalıdır:

- Geniş bir hız sınırı içinde kararlı olarak çalışabilmelidir.
- Devir sayısı, hızlı ve düzgün şekilde değiştirilebilmelidir. Yani küçük boyuttan büyük moment elde edilebilmelidir.

Robotun dikey hareketinin gerekli hassasiyeti verebilmesi için step motor yerine servo motor kullanılması karar verilmiştir. Servo motorların üstünde bulunan encoder sistemi gerekli düzenlemeleri yapmaya izin vermektedir. Bu sayede kontrol verilerinin değiştirebilmesi sağlanmaktadır. Dikey harekette DELTA firmasına ait ECMA-C20807GS kodlu AA cinsi servo motor kullanılmıştır. (Şekil 4.10)

Çıkış gücü (kw)	0,75
Nominal Tork (Nm)	2,39
Maximum tork (Nm)	7,16
Nominal devri (r/min)	3000
Maximum devri (r/min)	5000
Anma akımı (A)	5,1
Maximum akımı (A)	15,3
Rotorun eylemsizlik momenti ( $\times 10^{-4} \text{kg.m}^2$ )	1,13
Maximum radyal mil yükü (N)	245
Maximum itme mil yükü (N)	98
Yalıtım sınıfı	Sınıf A(UL)
Ağırlığı (kg)	3
Fren süresi (ms)	10
Ortam sıcaklığı ( C )	-10 /80
Titreşim kapasitesi	2,5G
IP stantarı	IP65



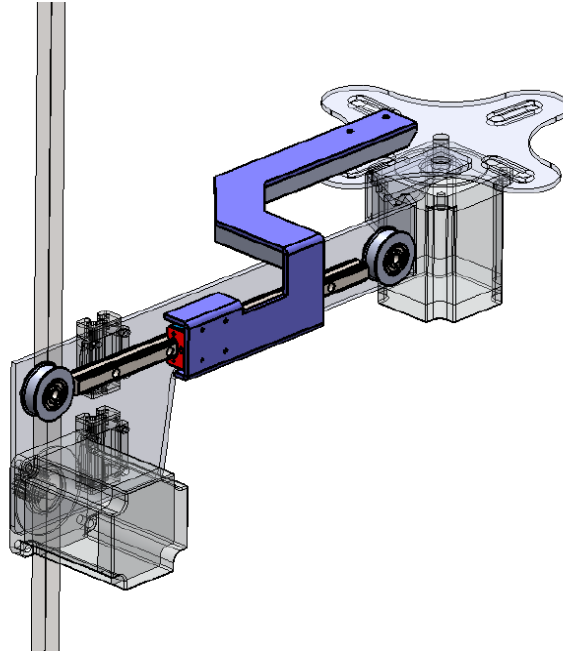
Şekil 4.10: Tasarımda kullanılan servo motor.

### 4.3.2 Yatay Hareket Tasarımı ve İmalatı (Y eksen)

Y eksen, Z eksen sabit sacı üzerinde hareket etmektedir. Yatay hareket yapacak olan bu kol, robottan istenilen özelliklere göre tasarlanmıştır. Robot kolu 5 mm paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Yeterli rijitliği sağlayabilmek için ana kolun altına dikey doğrultuda ve aynı geometriye sahip 5mm paslanmaz çelik kaynaklanmıştır. Bu sayede kolun titreşimi engellenmiştir.

Tasarlanan sac sistemin hareketini sağlayan bilyalı arabanın üzerine sabitlenmiştir. Hareket sistemi içinse hafif ve dar alanlarda rahatlıkla çalışan dişli kayış-kasnak mekanizması kullanılmıştır.

Robotun pizza hamur tabağını tanıyabilmesi ve raflarından alabilmesi için yatay kolda fotocell ve gripper bulunmaktadır. Gripperın parmakları pizza hamur tabağına göre dizayn edilmiştir. Böylece kolaylıkla tutma işlemini yapabilmektedir. Robot dikeyde hareket ederken fotocell her raftaki pizza tabaklarını tanımaktadır. Bu sayede makine hafızasında, pizza tabaklarının koordinatları tam olarak bilinmekte ve kaydedilmektedir. Robot pizza almak istediğinde bu hafızayı kullanmakta ve minimum zamanda o koordinata giderek pizzayı almaktadır.



Şekil 4.11: Yatay kol tasarımı.



Şekil 4.11 de yatay kolun bütün ekipmanları katı model olarak gösterilmiştir. Metal sac içeriye doğru meyilli imal edilmiştir. Çünkü, kısıkcın 90x90 alüminyum profilin merkeziyle aynı doğrultuda durması gerekmektedir. Böylece pizza hamur tabağı rahatlıkla tutulmuştur. Tasarımda kullanılan metal saçların teknik resimleri Şekil A.7-A.8 dedir.

### ***Elektronik Gripper (kıskaç) :***

Paralel tutucular endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. İş parçasını tutabilmek için yapılacak uygun tasarımlar ile güvenli tutma işlemi sağlanır. Uygulanan kontrüksiyonlar değiştirilmeden başka parçalar içinde uyum sağlayabilmektedir.

Robotta kullanılacak olan gripper elektrik motoru ile kontrol edilmektedir. Griiperların pnömatik olanları da mevcuttur. Pnömatik olanların seçilmemesinin sebebi hava sisteminde oluşabilecek en ufak sorunda bile çalışmamasıdır. Bu yüzden hazır modül olarak elektronik gripper tercih edilmiştir. Gripperin parmakları pizza tabağını tutabilecek şekilde özel olarak yapılmıştır. Gripper imal edilen yatay kolun en ucuna ortalanmış ve monte edilmiştir.

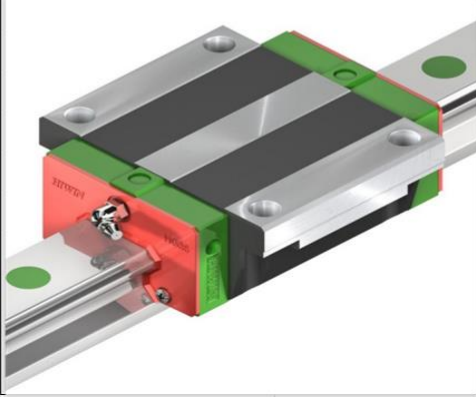
Maksimum açılış (mm)	55
Toplam uzunluğu (mm)	108
Çalışma voltajı (V)	4.8/6
Ağırlığı (gr)	56
Hız (sec/60derece)	0.16 - 6V 0.14- 7.2V
Tork (kg.cm 7.2 V)	10



**Şekil 4.12:** Elektronik kıskaç.

### ***Kılavuz ve Yataklama:***

Yatay hareket için kullanılan flanşlı bilyalı araba çok büyük ağırlıklara maruz kalmıyacağından dolayı ufak seçilmiştir. Kullanılan arabaların hassasiyeti yeterli seviyededir. HIWIN CORPORATION firmasına ait HGH15CA ZOH kodlu flanşlı kılavuz ve rayı kullanılmıştır.

Çalışma Stroğu	300 mm
Montaj Civataları	M4x16
Dinamik Yükleme	$C : 11.38kN$
Statik Yükleme	$C_0: 25.31 kN$
Momentler	$M_R: 0.17 kN-m$ $M_P: 0.15 kN-m$ $M_Y: 0.15 kN-m$
	

**Şekil 4.13:** Hiwin 15ca.

### ***Step Motor:***

Step motorlar elektriksel sinyalleri mekanik harekete çeviren araçlardır. Terminallerine voltaj uygulandığında DC motorlardan farklı olarak çalışırlar. Ortasında metalden oluşan rotor ve statoru saran bobinler veya mıknatis bulunmaktadır. Elektronik kasada bulunan step motor sürücüler tarafından step motorun rotoruna sinyaller gönderilir. Sinyal step motorda elektromanyetik etki oluşturarak küçük bir dönüş yapmasını sağlar. Ardından yollanan sinyal sonraki bobine etki ederek küçük hareketlerle dönme işlemi sağlanmış olur. Bu küçük dönüşlere adım denilmektedir. Yatay kol sürücüler vasıtası ile adım adım sürülmektedir. Adım sayısı değeri montajlama işleminden sonra denemeler yapılarak ideal değeri bulunmuştur.

Flanş	Nema23
Tip	Bipolar
Tork (Nm)	1.0
Anma AKIMI (A)	2.0
Rotor ataleti ( $g \cdot cm^2$ )	200.0
Ağırlığı	700.0
Uzunluğu (mm)	55.0

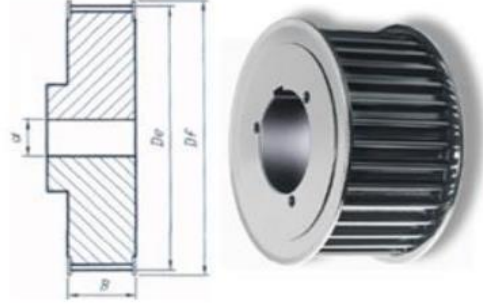


**Şekil 4.14:** Tasarımda kullanılan step motor.

Sistemde kayış dişli mekanizmasının hareketi için Şekil 4.14’da ki step motor kullanılmıştır. Kullanılan step motorun tork değeri yatay kol için yeterlidir.

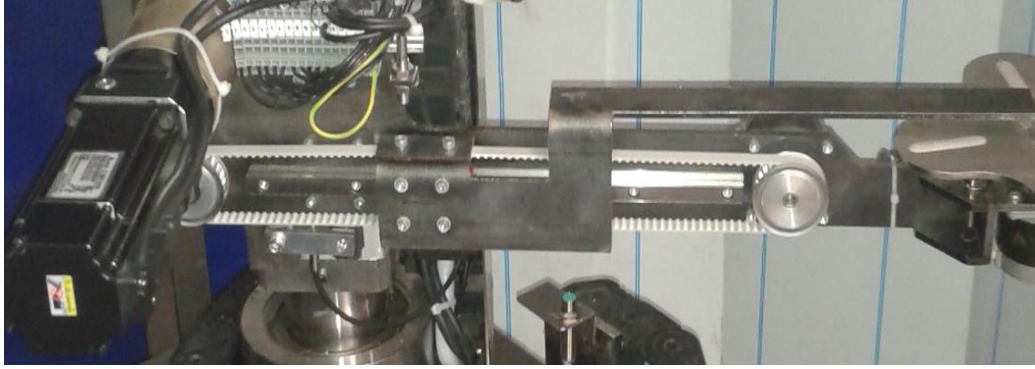
#### ***Kayış-Dişli Mekanizması:***

Kayış-dişli mekanizmaları gürültüsüz çalışması ve küçük çaplı olmaları tercih sebebidir. Güç aktarımı sırasında kayış üstünde diş olmasından dolayı kasnakla arasında kayma olmaz. Bu sebeple sabit açısız hızlarda hassas güç aktarımını gerçekleştirebilmektedirler. Genel olarak gıda ve sağlık sektöründe ve ofis makinelerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Dişli kayışlar herhangi bir hız sınırlaması olmaksızın çalışabilirler. Buna karşın darbeli ve beklenmeyen bir yük ile karşılaşıldığında kayma hareketi yapmadığı için emniyet görevini yapamamaktadır. Bu parametreler dikkate alınarak sistem tasarlanmış ve oluşabilecek sorunlar minimuma indirilmiştir.



**Şekil 4.15:** Dişli kasnak.

Tasarımda kullanılan dişli kasnağın  $D_F$ : 45 mm ,  $D_E$  : 40.6 mm ,  $d$  : 25 mm dir. 26 diş sayısı bulunmaktadır.



**Şekil 4.16:** Yatay hareketin imalatı.

Dişli kasnaklar ve kayış mekanizması sabit kolun üstüne montajlanmıştır. Kayış mekanizması civatalar yardımı ile bilyalı arabanın üstüne sabitlenmiş ve sıkılığı gerekli sevide ayarlanmıştır.

#### ***Fotocell:***

Fotocell kelime anlamı olarak 'ışık hücresi' anlamına gelir. Fotocel ışığa bağlı olarak direnci değişen genelde kadminyum sülfat gibi kadminyum bileşiğinden oluşan, ışığa maruz kaldığında direncini değiştiren alettir. Fotocelli bir sistemde fotocel kendi başına ışığı elektriğe dönüştürmez, sadece direnci dolayısıyla sistemde gerilim değişir. Bu gibi bir sistem elektronik veya elektromekanik sistemleri ışığa duyarlı olarak kontrol etmek için, durdurmak ya da çalıştırmak için kullanılır.

Robot kolu yatay hareket yaptığında pizza tabağını tanıyabilmesi için fotocell belirli bir mesafeye göre ayarlanmıştır.



**Şekil 4.17:** Fotocell.

Fotocell sensörü pizza tabağını tanıyarak kısılcacın yakalama işlemini yapmasını sağlamaktadır. Sistemdeki görevleri şunlardır;

- Yatay hareketi (Y eksenini) doğru mesafede durdurmak.
- PLC ye sinyal yollayarak pizza hamurunu tanıtmak.

### **4.3.3 Dönme Hareketi Tasarımı ve İmalatı (X eksenini)**

Dönme hareket sistemi 2 kısımdan oluşmaktadır.

1. Ana gövde
2. Dönme hareketi

#### ***Ana gövde:***

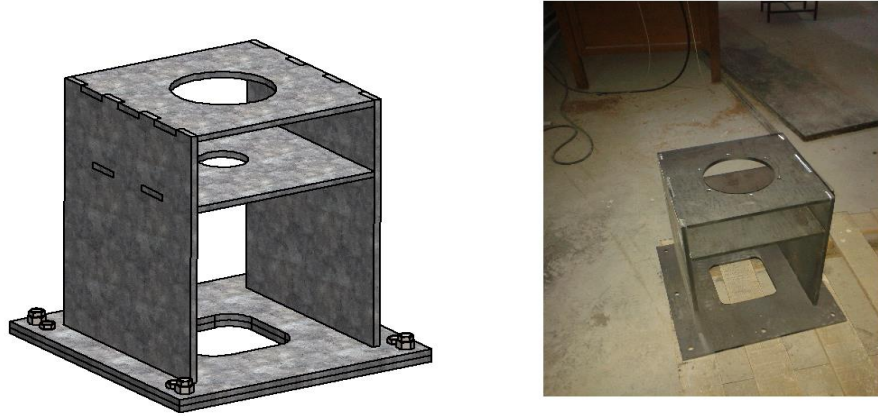
Dönme hareketinin (X eksenini) istenilen hassaslıkta dönme hareketi yapabilmesi için ana gövdenin rijitliğinin yeterli seviyede olması gerekmektedir. Ana gövdeden istenilen özellikler;

- Eksenel ve radyal kuvvetleri taşıyabilmeli.
- Üstüne montajlanacak parçaların yerleri belli olmalı.
- Montajlama işlemi basit ve kolay olmalıdır.

Ana gövde bütün robotun ağırlığını taşımalı ve pozisyonunu sabit tutmalıdır. Tasarım birbirinin içine geçen tırnaklı saclardan meydana gelmektedir. Rijitliği sağlamak içinse 10 mm galvaniz sac kullanılmıştır. Tasarlanan saclar gaz altı

kaynağı ile kaynaklanmıştır. Kaynaklama işleminden sonra oluşabilecek çarpılmalar ölçüm yapılarak kontrol edilmiş ve sorunlu yerler düzeltilmiştir. Gövde alt şaseye 4 adet M12 cıvata ile sabitlenmiştir. Sabitlenen plakanın üstüne ana gövde 4 adet M12 cıvata ile yerleştirilmiştir. Üst üste 2 plaka olmasının sebebi ise robotun terazisini sağlayabilmek içindir.

Tasarlanan ana gövdenin ağırlığı ilk başta büyük olduğundan dezavantaj olarak görülmüştür. Ama aksenal kaymaları ve titreşimleri yeterli seviyelerde tutarak güvenli çalışma yeri sağlaması avantaj olarak düşünülmüştür. İmal edilen sacların teknik resimleri Şekil A.1-A.5'tedir. Ana gövde 300x280x600 mm ölçülerindedir(Şekil 4.18).



**Şekil 4.18:** Ana gövde.

#### ***Dönme hareketi:***

Mekanik hareket verecek olan elektrik motorları minimum 3000dev/dk değerlerine sahiptir. Sistem için dev/dk değeri düşürülmüş ve yeterli seviyede hassas olabilmesi için açılı/adım değeri küçük tutulmuştur. Bu gereklilikleri karşılayabilmek için planet redüktör kullanılmıştır.

Tasarımında dönme hareketi hassasiyeti sağlamak ve titreşimi minimuma indirebilmek için yataklamalar kullanılmıştır. Bu yataklamalar hem aksenal hemde radyal yükleri taşıyabilmektedir. Yataklama sayesinde dönme hareketi istenileni titreşimsiz ve hassas yapabilmektedir.

Dönme hareket ekipmanları tasarlanan ana gövdenin üstüne montaj edilmiştir. Bu sistem şu ekipmanlardan oluşmaktadır:

1. Servo motor
2. Kaplin
3. Step motor
4. Yataklamalar
5. Mil
6. 90X90 sigma profil



**Şekil 4.19:** Döner hareket tasarımı.

#### ***Servo Motor:***

Dikey harekette kullanılan servo motorun aynısı seçilmiştir. (Şekil 4.10)

#### ***Yataklama:***

Yataklamalar dış koruyucu gövdeye göre seçilmiş ve sıkı geçme uygulanarak montajlanmıştır. Düzgün bir yataklama için kuvvetlerin iyi analiz edilmiş olması gerekmektedir. Tasarımımızda hem aksenal hem de radyal kuvvetler olduğunda tek yataklama kullanılmamıştır. Hem aksenal hemde radyal kuvvetlere karşı koyabilmek

için dış koruyucu malzeme içine 3 tane rulman yerleştirilmiştir. Bu rulmanların 2 tanesi radyal yükler için 1 tanesi ise aksel kuvvetlere karşı koyabilmek içindir. Seçilen rulmanların ana ölçüleri DIN628-1 e göre hazırlanmıştır.

Bu rulmanlar şöyledir;

- a) 6212 2RSR Radyal rulman
- b) 6210 2RSR Radyal rulman
- c) 7210-B-2RS-TVP Eğik Bilyalı rulman

**a) 6212 2RSR Radyal Rulman:**

6212 2RSR kodlu rulman 2 sabit bilyalı ve 2 tarafı dudak keçeli radyal bir yataklamadır. Dönme yönünde(radyal) gelebilecek yüklere karşı koyabilmek için seçilmiştir.

İç çap (mm)	60
Dış çap (mm)	110
Kalınlığı	22
Ağırlığı (kg)	0,809
Dinamik yük katsayısı, radyal (N)	57000
Statik yük katsayısı , radyal (N)	36500
Limit devir sayısı (1/min)	4000
Yorulma yük limiti, radyal (N)	2470



**Şekil 4.20:** Tasarımda kullanılan 6212 radyal rulman.

**b) 6210 2RSR Radyal Rulman:**

6210 2RSR kodlu rulman 2 sabit bilyalı ve 2 tarafı dudak keçeli radyal bir yataklamadır.6212 2RSR kodlu radyal rulmana destek amacıyla seçilmiştir.



İç çap (mm)	50
Dış çap (mm)	90
Kalınlığı	20
Ağırlığı (kg)	0,48
Dinamik yük katsayısı, radyal (N)	39000
Statik yük katsayısı , radyal (N)	24200
Limit devir sayısı (1/min)	4800
Yorulma yük limiti, radyal (N)	1220



**Şekil 4.21:** Tasarımda kullanılan 6210 radyal rulman.

**c) 7210-B-2RS-TVP Eğik Bilyalı Rulman:**

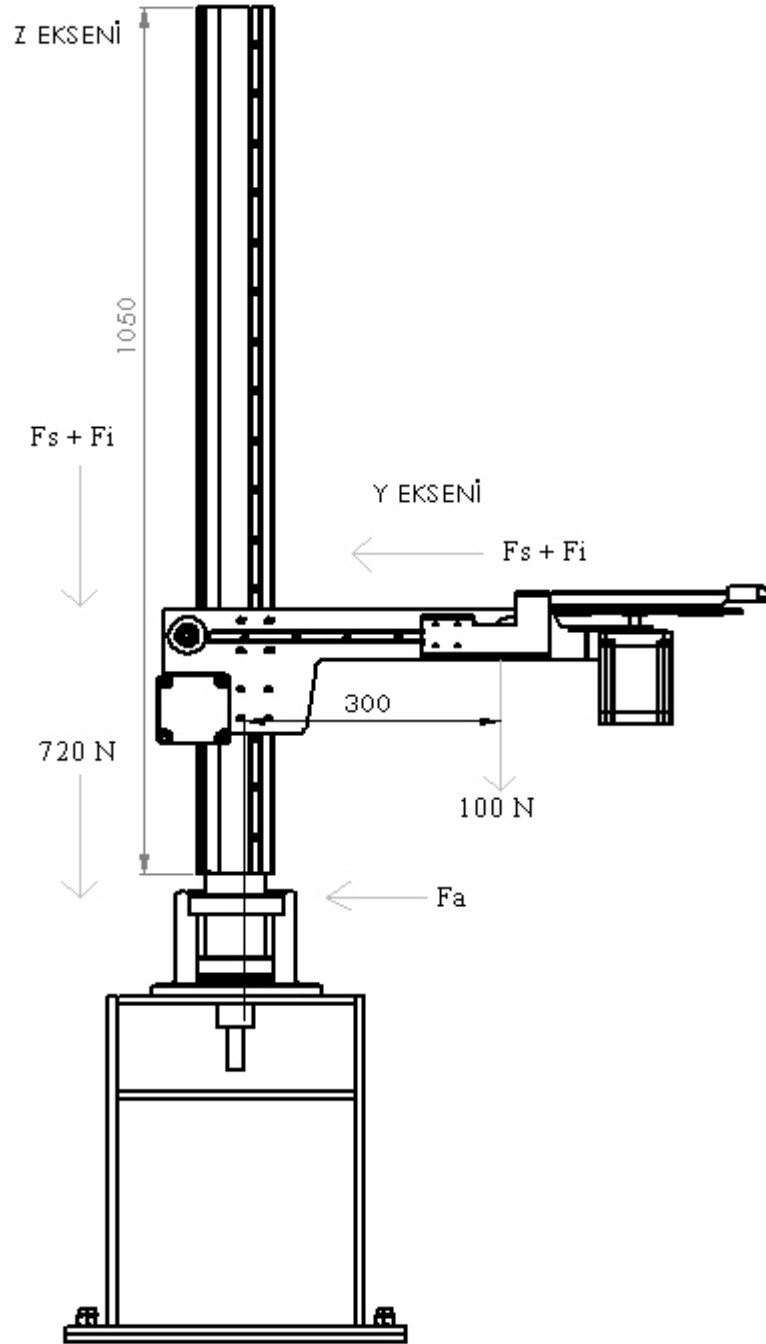
Bu rulmanlar diğer bilyalı rulmanlara göre daha fazla aksel yük taşıyabilecek şekilde iç ve dış bileziklerindeki bilya oyukları birbirlerine göre aksel yönde simetrik olacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Aksel yük taşıma kapasiteleri bu oyukların bilyalarla temas açıları ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Her iki yönden de gelen aksel yükleri taşıyabilirler.

İç çap (mm)	50
Dış çap (mm)	90
Kalınlığı	20
Ağırlığı (kg)	0,468
Dinamik yük katsayısı, radyal (N)	39000
Statik yük katsayısı , radyal (N)	28500
Limit devir sayısı (1/min)	4300
Yorulma yük limiti, radyal (N)	1920
Baskı açısı	40°



**Şekil 4.22:** 7210-B-2RS-TVP Eğik bilyalı rulman.

Yataklamaların genel radyal ve aksel yüklerle karşı dayanabilmesi gerekmektedir. Bu yüzden sayısal olarak kontrolünün yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.23: Serbest cisim diyagramı.

### Z eksenini (Eksenel yük) :

$F_s + F_i$  kuvvetleri Z eksenini yönünde eksenel yük oluşturmaktadır.  $F_s$  robot kolu aşağıya yukarıya hareket ederken oluşan ters yöndeki kremayer dişli sürtünme kuvvetidir.  $F_i$  kuvveti robotun ivmelenmesinden kaynaklanan kuvvettir.

$$F_s = m \cdot g \cdot \mu \quad (4.1)$$

$$m = 8,38 \text{ kg (Robot kolun ağırlığı)}$$

$$\mu = 0,03 \text{ (Kremayar dişli sürtünme katsayısı)}$$

$$F_i = m \cdot \frac{v}{t} \quad (4.2)$$

### Kolun momenti:

$$F_s = \frac{Fa}{l} \quad (4.3)$$

**Tablo 4.1:** Kuvvetler tablosu.

	<b>F<sub>s</sub></b>	<b>F<sub>i</sub></b>	<b>F<sub>s</sub>+F<sub>i</sub></b>	<b>F<sub>a</sub></b>	<b>Eksenel yük</b>	<b>Radyal yük</b>
<b>Y EKSENİ</b>	0,064 N	0,01 N	0,08 N	2466,2 N		2466,2 N
<b>Z EKSENİ</b>	2,46 N	0,14 N	2,6 N		804,8 N	

Bulunan sonuçlar yataklama kuvvetlerinin çok altında çıktığından dolayı yeterli derecede emniyetli çalışacaktır.



**Şekil 4.24:** Yataklama imalatı.

### ***Kaplin:***

Kaplinlerin en büyük özelliği motordan gelen en ufak kuvveti bile hatasız aynı şekilde mile iletebilirler Servo motorla yataklama milini birleştirmek için GS28 alüminyum kaplin kullanılmıştır..



**Şekil 4.25:** GS28 Alüminyum kaplin.

### ***Planet Redüktör:***

Sistemde dönme hareket için LIMING FE090(Şekil 3.27) kodlu 2 kademeli çevrim oranı 1/15 olan planet redüktör kullanılmıştır.

Nominal çıkış torku	125 Nm
Maximum çıkış torku	375 Nm
Nominal giriş devri	4000 rpm
Maximum giriş devri	6000 rpm
Maximum radyal yük	3000 N
Maximum axial yük	1500 N
Yorulma ömrü	20000 hr
Verim	>%94
Ağırlığı	4.59 kg

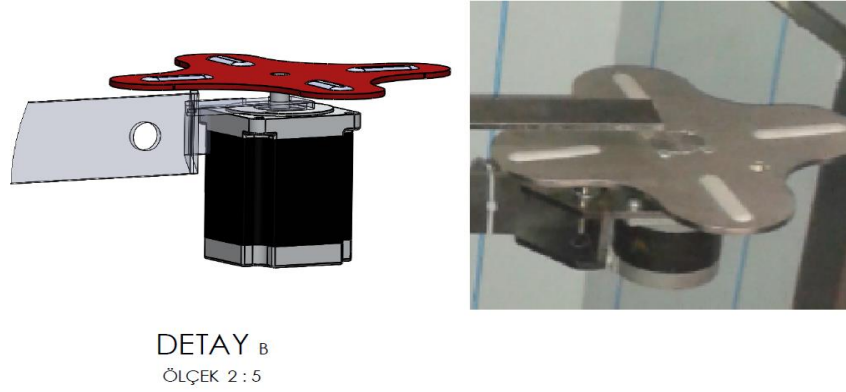


**Şekil 4.26:** LIMING FE090 Planet redüktör.

Kullanılan servo motorların minimum devri 3000 dev/dakikadır. Planet redüktörün çevrim oranı 1/15 dir. Servo motor devri planet redüktörün çıkışında 3000/15 den 200 dev/dakika olur. 200 dev/dakika değeri dönme sistemi için yeterlidir.

#### 4.3.4 Pizza Tabağı Tasarımı ve İmalatı (A ekseni)

Pizza hamurunun muhafaza edileceği pizza tablası döner hareket yapabilir şekilde tasarlanmıştır. Bunun sebebi pizza hamurunun üstüne gelen malzemeleri homojen şekilde dağıtabilmektir.



Şekil 4.27: Pizza tabağı tasarımı.

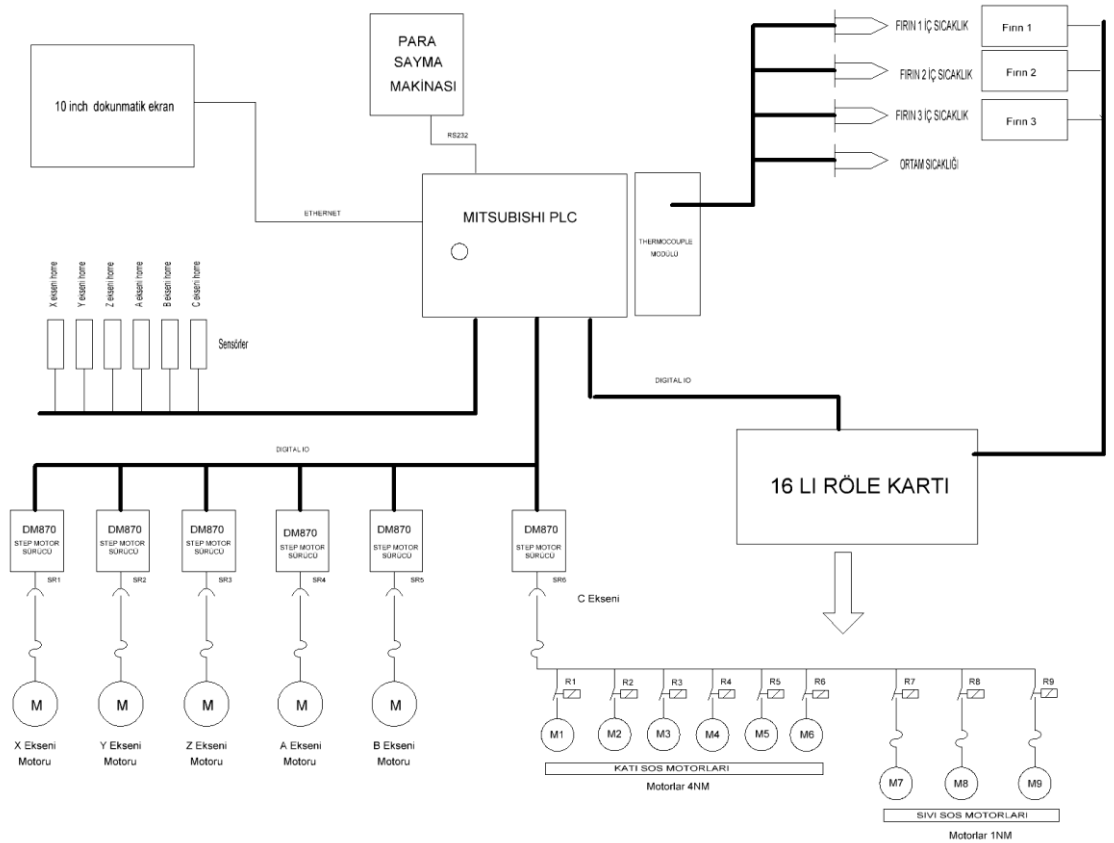
Şekil 4.27 da sağdaki resim B-B kesiti alınarak 3D tasarımdan alınmıştır. Step motor Şekil 4.14 dekinin aynısıdır. Kullanılan 1Nm lik Step motor; 0,5 kg ağırlığı çok düşük devirlerde döndürebilmektedir. Pizza tabağı teknik resmi Şekil A.9’dadır.

#### 4.4 Sistemin Kontrolü

Sistemin kontrolü için tasarlanan silindirik robot ve diğer ekipmanlar bütün olarak kabul edilmiştir. Sistem ve kullanılan otomasyon devre elemanlarının şematik gösterimi Şekil B.3’de, kontrol sisteminin şematik görünümü Şekil B.4’de, genel iş akışı Şekil B.5’dedir.

#### 4.4.1 Kontrol Sisteminin PLC Bağlantıları

PLC elektrik motorlarını ve röleleri kontrol etmek için kullanılmıştır. Para sayma makinası, dokunmatik ekran, fırın ve ortam sıcaklığını ölçmek için termokupl, başlangıç (home) noktalarını belirlemek için sensörler, katı ve sıvı sos motorları, 6 eksenli robot motorları, PLC giriş ve çıkışlarına bağlanarak sistemin kontrol edilmesi sağlanmıştır. Tasarlanan sistemde; 1 adet para sayma makinası, 3 adet fırın, 4 adet termokupl, 6 adet robotun referans noktalarını belirlemek için sensör (Home sensör), 9 adet röle, 6 adet DM870 step motor sürücü, 9 adet katı ve sıvı sos step motoru kullanılmıştır. Step motorlar 2 ve 4 Nm'lik momente sahiptir (DCNC-NEMA 23 4.0 Nm ve 2 Nm IP54). Motorlar için 4x1,5 mm<sup>2</sup> kesitinde bandajlı kablolar kullanılmıştır. Sensörler için ise 4x0.75 mm<sup>2</sup>'lik çok iletkenli esnek kablolar kullanılmıştır.



Şekil 4.28: Sistemin PLC ile iletişimi.

Şekil 4.28 otomatik pizza makinesinin PLC ile kontrol sistemi görülmektedir. Bu sisteme göre eksenler;

- X eksen: Silindirik robotun dönme hareket kontrolü

- Y eksen: Silindirik robotun yatay hareket kontrolü
- Z eksen: Silindirik robotun dikey hareket kontrolü
- A eksen: Pizza tabağı step motor kontrolü
- B eksen: Sıvı sos pompalarının ve katı sos step motorlarının kontrolü

#### ***Kullanılan PLC yapısı:***

PLC Mitsubishi marka FX3GE-40MT/DSS tipi olup, 24 dijital giriş, 24 dijital çıkış, 2 analog giriş, 1 analog çıkışa sahiptir. PLC USB, Ethernet girişı Rs-432 haberleşme portuna sahiptir.



**Şekil 4.29:** Mitsubishi PLC.

Mitsubishi marka PLC üzerinden sürülecek olan röle kartının üzerinde 16 adet röle bulunmaktadır. Bunlardan 6 tanesi katı sos kaplarındaki motorların sürülmesi için, 3 tanesi de sıvı sos kaplarındaki motorları sürmek için kullanılmıştır. Diğer röleler ise sisteme ilave sos ya da başka maddelerin eklenmesi durumunda ve yedek olarak kullanılacaktır.

#### ***Kullanılan Sensörler:***

6 eksenin her birinin başlangıç ve bitiş noktalarının (Home durumu) belirlemek için NBB4-12GM50-E2 (PNP-NO) tipi sensörler kullanılmıştır. 6 eksen için 6 sensör kullanılmıştır.



#### Genel Özellikler

Çıkış Tipi PNP (NO)  
Nominal Çalışma Mesafesi 4 mm  
Sigortalı Çalışma Mesafesi 0 ... 1.62 mm  
Çalışma Gerilimi 10 ... 30 VDC  
Çalışma Frekansı 0 ... 3000 Hz

#### Çalışma Koşulları

Çalışma Sıcaklığı -25 ... 70 °C (-13 ... 158 °F)

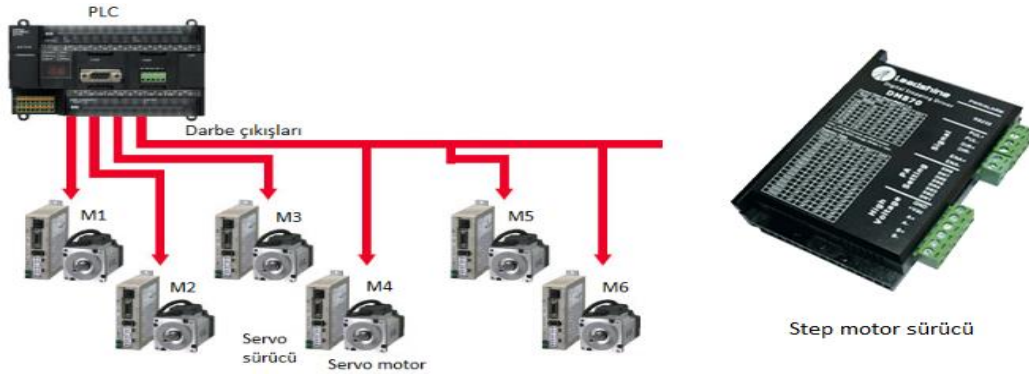
#### Mekanik Özellikler

Bağlantı Tipi Kablo PVC , 2 m  
Çekirdek Çapraz Kesit 0.14 mm<sup>2</sup>  
Algılama Yüzeyi LCP  
Koruma Tipi IP67

Şekil 4.30: İndüktif sensör.

### Motor Sürücü Devreler:

Motorlar besleme ünitesi üzerinden direk AC şebekeye bağlanmaktadır. Step motorlar için DM-870 tipi sürücülerle kullanılmıştır. Her bir sürücü, PLC üzerinden, ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Toplamda 6 adet sürücü planlanmış olup, mekanik sistemde olası bir değişiklik durumunda, sisteme ilave sürücü eklenmesi mümkündür. İlk senaryoya göre 6 çeşit Pizza türü oluşturulmuştur. PLC programı siparişe göre motorları ve röleleri kontrol edilmektedir. Para alma ve para üstü verme işlemleri tamamlandıktan sonra pizzanın raftan alınması ve katı sos seçeneğine gelinceye kadar ki adımlar için aynı algoritmalar kullanılmıştır. Katı ve sıvı sos seçeneklerine göre program değişikliği yapılmıştır. Step motorların alacakları yol için gerekli olan adım sayıları, motorun bir turda alacağı yola bağlı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.31: Step ve Servo motor sürücüleri.

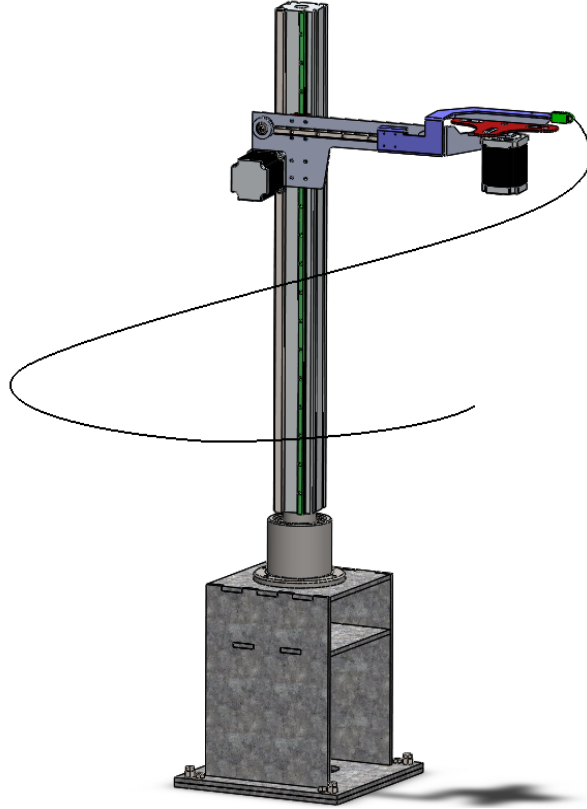


## 5. DOĞRULAMA VE ANALİZ

### 5.1 Silindirik Robotun Kinematik Analizi

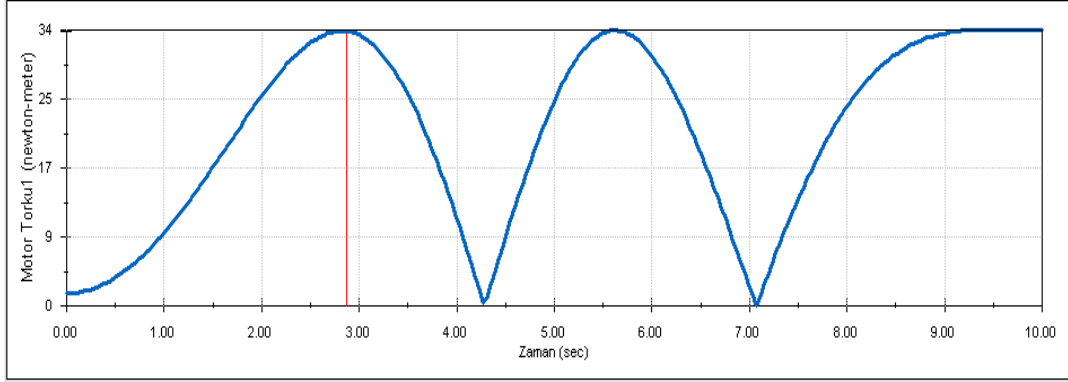
Makine tasarımı sürecinde kinematik analizler önemli veriler vermektedir. Bu işlemleri yapmak elle mümkün olmasına rağmen uzun işlemler genelde program ile yapılmaktadır. Bu programlar Solidworks, Ansys, Adams, Simpack gibi profesyonel programlar kullanılmaktadır.

Kinematik analizde Solidworks'ün kinematik analizler için geliştirdiği ve tasarımcının kolay bir şekilde kinematik analizleri yapabildiği Motion Study'den yardım alınmıştır. Kinematik analiz; yapılan montajın tasarım sürecinde gerçek fizik kanunları göz önünde bulundurularak çalışıp çalışmadığını yani parçaların istenilen ivme, hız, güç tüketim değerleri kontrol eder. Yapılan kinematik analizde montajın tasarım sürecinde istenilen ölçüler içinde çalışıp çalışmadığı ve döner eksen servo motorun torkunun değeri bulunmuştur.



Şekil 5.1: Silindirik robotun takip yolu.

Analiz çalışmasında dış şaşenin içinde kalan silindirik robotun çalışma hacminde olup olmadığı kontrol edilmiştir. Programa çizdirilen çizgi gripper(kıskaç) ucunun robot hareketini yaparken dokunduğu noktaların bütünü göstermektedir. Bu çizgi hiç bir sayısal değer vermemektedir. Ama robotun çalışma hacmi içinde çalıştığını ve ölçülerin doğru olduğunu göstermektedir.



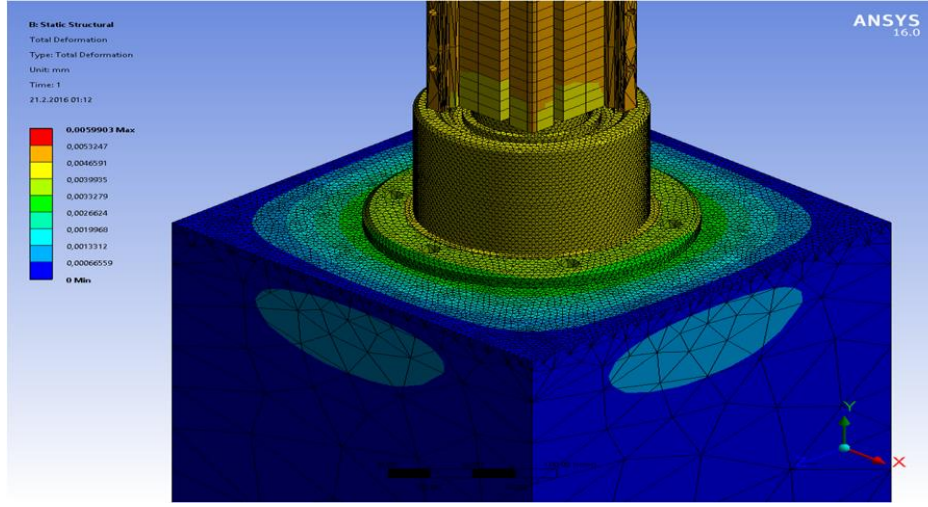
**Şekil 5.2:** Dönme motor torku.

Verilen kuvvetin yönü zamanla programın içinde değiştiğinden tabloda inmeler çıkmalar olmaktadır. Motorun ve planet redüktörün seçiminde tablonun en üst değerini geçilmemeli ya da aynı değerde bulunmalıdır. Bulunan 34Nm değeri gerçeğinden büyüktür. Çünkü, analiz yapılırken verilen kuvvet değeri öngüremeyen hataları engellemek için 750N verilmiştir. Yataklamaların aksenal yükleri ve ilk başta makinenin vereceği ilk atalet kuvvetleri ihmal edilmiştir.

## 5.2 Silindirik Robottun Statik Analizi

Statik analiz ANSYS 16.0 programında yapılmıştır. Analiz işleminin daha sağlıklı yapılabilmesi için çözüme etki etmeyecek gereksiz detayların ve parçaların çıkarılması faydalı olacaktır. Sistemde robot kolu çıkarılmıştır. Ama yerçekimi ve ağırlığı Y eksenine yönünde kuvvet verilirken eklenmiştir. Verilen kuvvet – Y yönünde ve büyüklüğü 150 kg a karşılık gelen 1500N dur. Sabitleme noktası en alttaki metal saca verilmiştir. Yataklama malzemesi olarak AISI 1020, metal sacada galvaniz çelik verilmiştir. Analizde yataklamaların aksenal yükler altında yerdeğiştirmeleri ve Von Mises stress değerleri kontrol edilmiştir.

### *Sistemdeki yer değiştirmeler :*



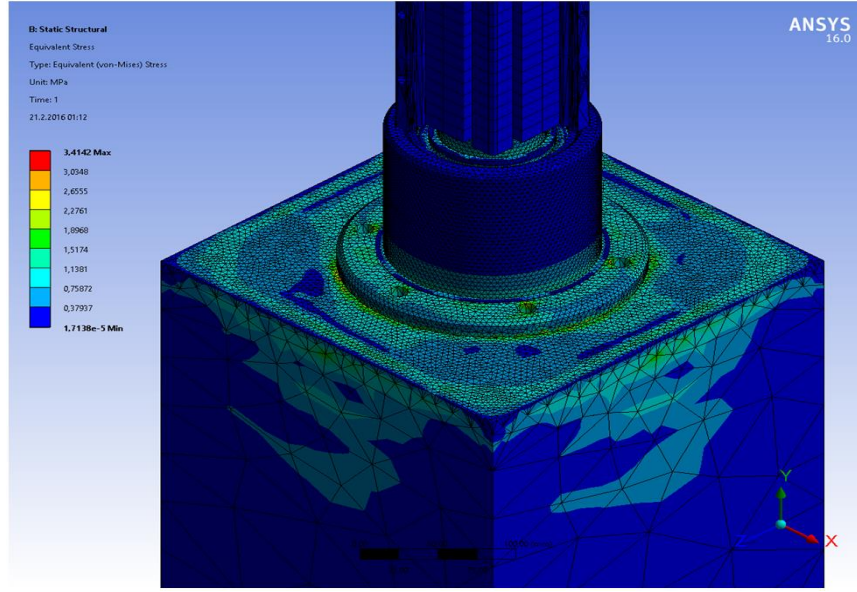
**şekil 5.3:** Total deformation (Yerdeğiştirme).

Sisteme gerekli mesh işlemi uygulanmıştır. Meshlerin bütün hepsinin boyutu aynı değildir. Sonucun istendiği yerde mesh boyutu daha sıkı yapılmıştır. 18 yzeve 4mm boyutunda meshleme işlemi uygulanmıştır. Geriye kalan meshlerin ise boyutu default ayarlardadır. Meshlemede 107008 adet element ve 212960 adet düğüm noktası bulunmaktadır.

Yataklamalar yapılan analize göre kırmızı olan bölgelerde maksimum 0,059903 mm yerdeğiştirme meydana gelmiştir. Bu değer ihmal edilecek kadar ufaktır. Sonuçlara göre yataklamada ve ana gövdede deformasyon meydana gelmeyecektir.

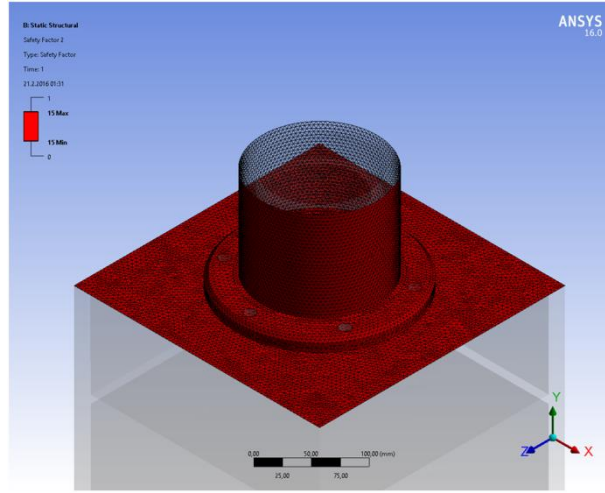
### *Von Mises Stress dağılımı:*

Yerdeğiştirme ve Von Mises kriteri aynı anda zdrldğnden mesh sayısı aynıdır. En yüksek 3,4142MPa ıkmıştır. Gerilme değeri kullanılacak malzemelerin akma mukavementlerinden büyük olmaması gerekmektedir. Eğer büyük olursa malzemede deformasyon olacağı anlamına gelmektedir. Bütün değerler kontrol edilmiş ve hiçbir malzemenin akma mukavement değerini geçmediği grlmştir.



Şekil 5.4: Von Mises stress dayanımı.

### *Güvenlik faktörü:*



Şekil 5.5: Güvenlik faktörü.

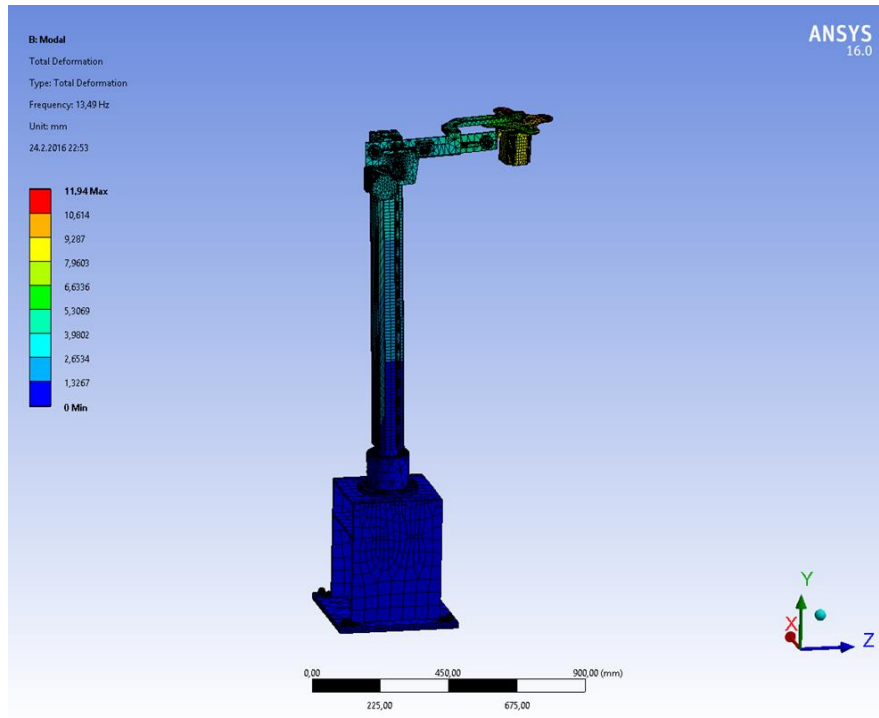
Güvenlik faktörü değeri 15 hesaplanmıştır. Malzemelerimizin normal değerlerinden 15 kat emniyetli olduğunu göstermektedir.

### **5.3 Silindirik Robotun Doğal Frekans Analizi**

Doğal titreşim analizinin yapılması ile yapının doğal titreşim frekansları bulunmaktadır. Yapıya uygulanan periyodik bir kuvvetin frekansı, bu doğal

frekanslardan herhangi birisi civarında ise, bu frekans uyarılmış olur ve yapı bu doğal frekans şekli ile titreşmeye başlar. Eğer uyarıcı kuvvetin frekansı ile yapının doğal frekansı çakışır ise "rezonans" olayı meydana gelir. Rezonans istenmiyorsa, ya uyarıcı kuvvetin frekansının, ya da yapının frekansının değiştirilmesi gerekmektedir.

Otomatik pizza makinesinin içinde bulunan soğutma kompresörleri, robotun üstünde bulunan servo ve step motorlar titreşime neden olmaktadır. Robotun doğru noktaya gidebilmesi için bu titreşimlerden etkilenmemesi gerekmektedir. Rezonans değerine yakın yerlerde durmadan güvenlik faktörümüzü bu konuda yüksek tutmamız gerekmektedir. Analizde ANSYS 16.0 programının MODAL bölümü kullanılmıştır.



Şekil 5.6: Doğal frekans analizi.

Frekans değeri 13,49 Hz'dir. Frekans değeri 13,49 Hz olduğunda robot maksimum 11,94 mm yerdeğiştirme yapacaktır. Robotun 1 mm bile yerinden kıpırdamaması gerekmektedir. Hertz değeri saniyede yapılan devir sayısını göstermez. Servo motorların ve step motorların devir sayıları devir/dakika değeriyle ölçülmektedir.

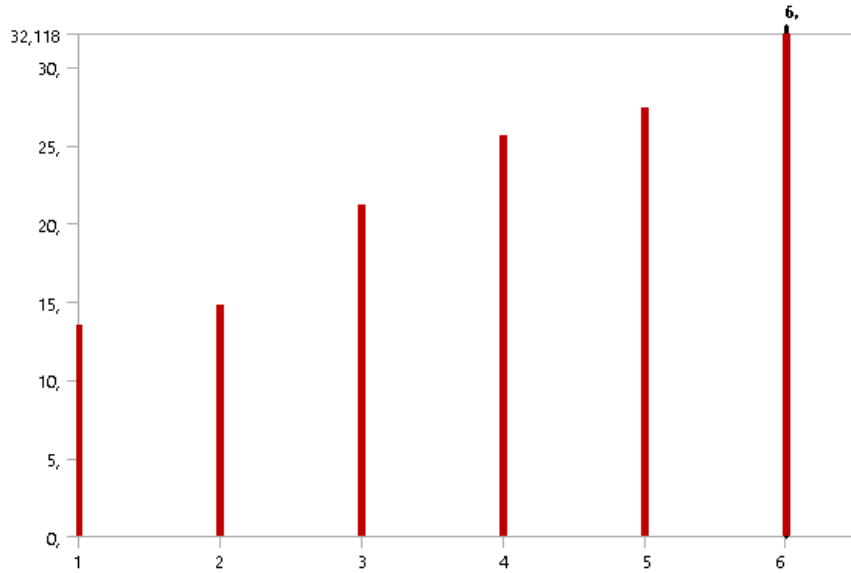
$$13,49 \times 60 = 809,4 \text{ devir/dakika} \quad (5.1)$$

Eğer robotumuzun titreşim değeri 809,4 devir/dakika değerine çıkarsa rezonansa girecek ve deformasyona uğrayacaktır. Yataklama bu konuda çok büyük önem taşımaktadır. Titreşimleri yataklamalar karşılayıp 809,4 devir/dakika değerini 90x90 sigma alüminyum profile yansıtmamalıdır. Malzemeler seçilirken bu değerle göz önünde bulundurulmuştur.

**Tablo 5.1:** Frekans değerleri.

Mode	Frequency [Hz]
1,	13,49
2,	14,773
3,	21,139
4,	25,612
5,	27,423
6,	32,118

Analiz programı doğal frekans analizi yaparken mode 1, 2, 3, 4, 5, 6'yı kullanmaktadır. Mode değerleri makineye belli bir kütleyle sahip bir küre ve yayı bağlayıp ve hareket ettirmektedir. Her mode da birer kütle ve yay eklemektedir. Değerlerin büyümesinin sebebi budur. Altıncı değerden sonra kütle arttığından dolayı titreşim çok büyüdüğünden dolayı program yazdırmamaktadır.



**Şekil 5.7:** Doğal frekans analizi tablosu.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Silindirik robot sisteminin tasarımı tamamlanmış, yapılan tasarımın imalatı gerçekleştirilmiş ve istenilen hareketler sağlanmıştır.

Tasarlanan metal saclar CNC lazer kesim tezgahında kesilmiştir. Mil ve motorların bağlantı parçaları CNC torna tezgahında işlem görmüştür. Kullanılan bu tezgahlar parçaların tasarlanan ölçülerde ve toleranslarda üretimini sağlamıştır. Parçalar montajlanırken hiçbir sorunla karşılaşılmamıştır. Hareketler istenilen hassasiyette gerçekleşmiştir.

Hassas sonuçlar elde edebilmek için daha fazla sensör kullanılmalıdır. Bu sayede robot çalışma esnasında etrafını daha iyi tanıyacak ve oluşabilecek sorunlar minimuma indirilecektir.

## 7. KAYNAKLAR

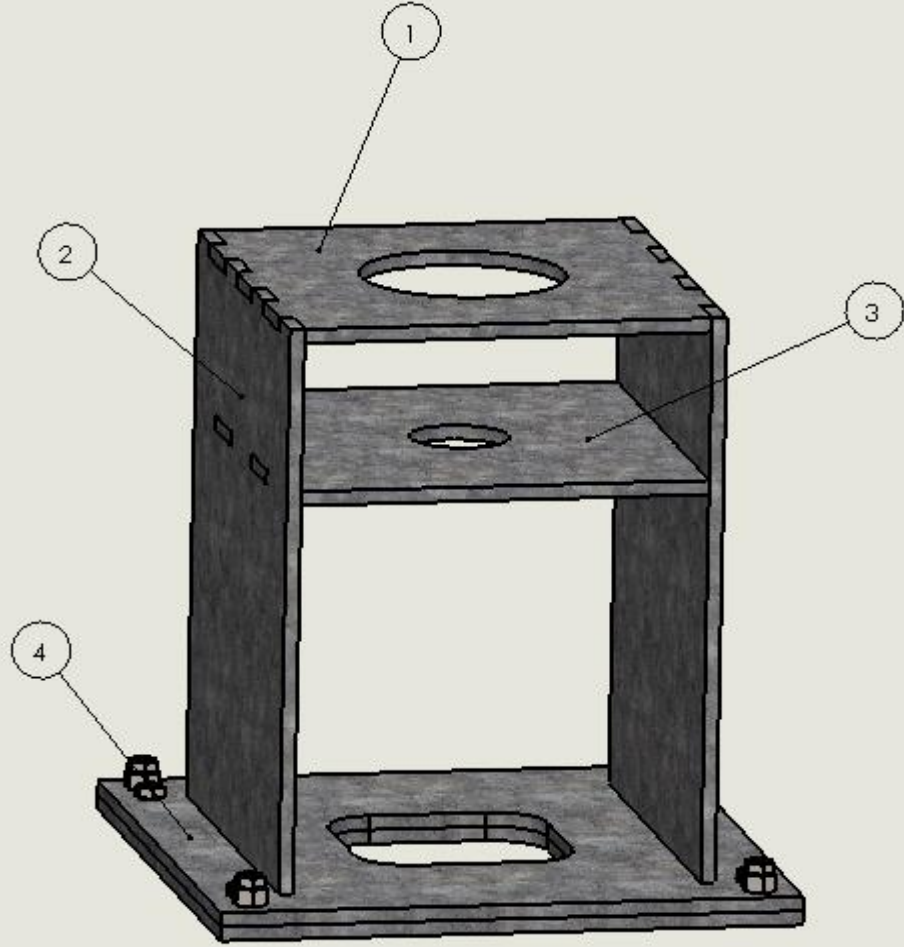
- [1] Aktan, M.E., “Çok Amaçlı 3 Eksen Kartezyen Robot Sisteminin Tasarımı ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mekatronik Anabilim Dalı, İstanbul, (2012).
- [2] Özyalçın, İ., “Kartezyen Robot Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antakya, (2006).
- [3] ANONİM, ”Robot Kolu Tasarımı [online]”, (10 Ocak 2016), [http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/robot\\_kolu\\_tasarimi/](http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/robot_kolu_tasarimi/), (2006).
- [4] Delta Proje Hidrolik Pnömatik, “Pnömatik Sistemler [online]”, (15 Ocak 2016), [www.deltaproje.com/tr/cozumler/pnomatik+sistemler](http://www.deltaproje.com/tr/cozumler/pnomatik+sistemler), (2010).
- [5] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Elektrik ve Elektronik Teknolojileri Hidrolik Sistemler*, Ankara, (2007).
- [6] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Endüstriyel Robot Sistemleri*, Ankara, (2012).
- [7] Çakan, A. ve Şahin, Y., “Endüstriyel Robotlar ve Fanuc R-J3İC Robot Deneyi”, (17 Ocak 2016), <http://www.makina.selcuk.edu.tr/img/Robotik.pdf>, (2010).
- [8] Yiğit, S., “Paralel Manipulatörlerin Uzaysal Vektör Cebri Yöntemiyle Kinematik Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2013).
- [9] Pınar İnal, E., “Endüstriyel Robotlar ve Uygulama Alanları”, (15 Ocak 2016), <http://www.makinateknik.org/robotik/anasayfa.php>, (2006).
- [10] Çengelci, B. ve Çimen, H., “Endüstriyel robotlar”, *Endüstriyel Robotlar Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 69-78, (2005).
- [11] Sandin, P.E., *Robot mechanisms and mechanical devices illustrated*, USA: McGraw-Hill, (2003).
- [12] Bingül, Z. ve Küçük, S., *Robot Kinematiği*, İstanbul: Birsen Yayınevi, (2009).
- [13] Bishchoff, A., Gerke, M., and Jochheim, A., *Modelling and simulation of robotic systems*, Germany: Michael Gerke, (2000).
- [14] Let’s Pizza, (25 Aralık 2015), <http://www.letspizza.it/>, (2012).
- [15] Wonder Pizza, (30 Aralık 2015), <http://wonderpizzausa.com/>, (2006).



- [16] Lee, H.S. and Chang, S.L., “Development of a CAD/CAE/CAM system for a robot manipulator”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (1-3), 100-104, (2003).
- [17] Demirci, A.E., “Scara Robot Tasarım ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2012).
- [18] Aydın, M., “Üç Serbestlik Dereceli Paralel Bir Robotun Kinematiği, Dinamiği ve Denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, (2012).
- [19] Karalı, H.İ., “Elektronik Kontrollü Divizör İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Otomatik Anabilim Dalı, Konya, (2008).

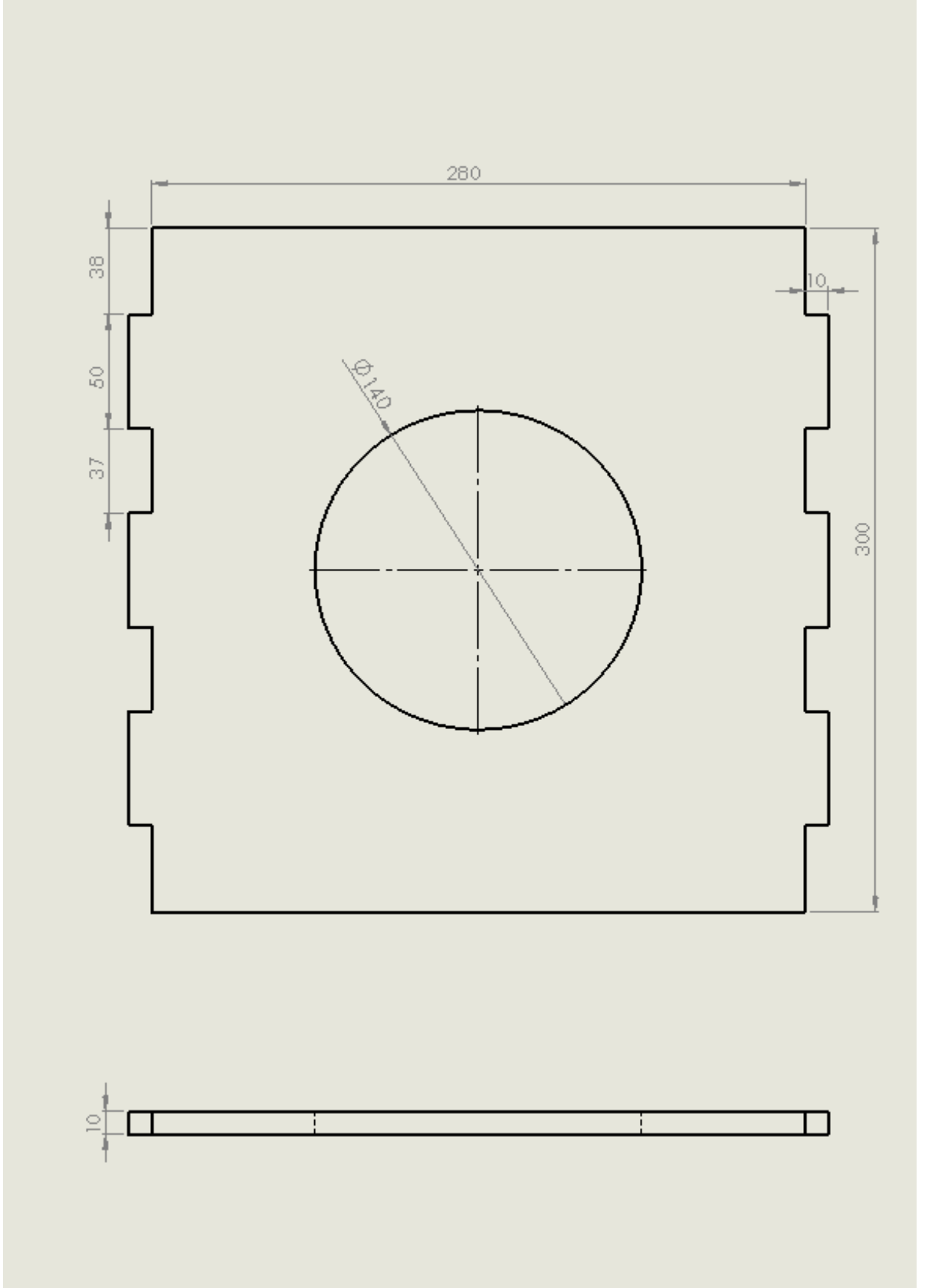
# **EKLER**

## EK-A: İmalatın detay resimleri

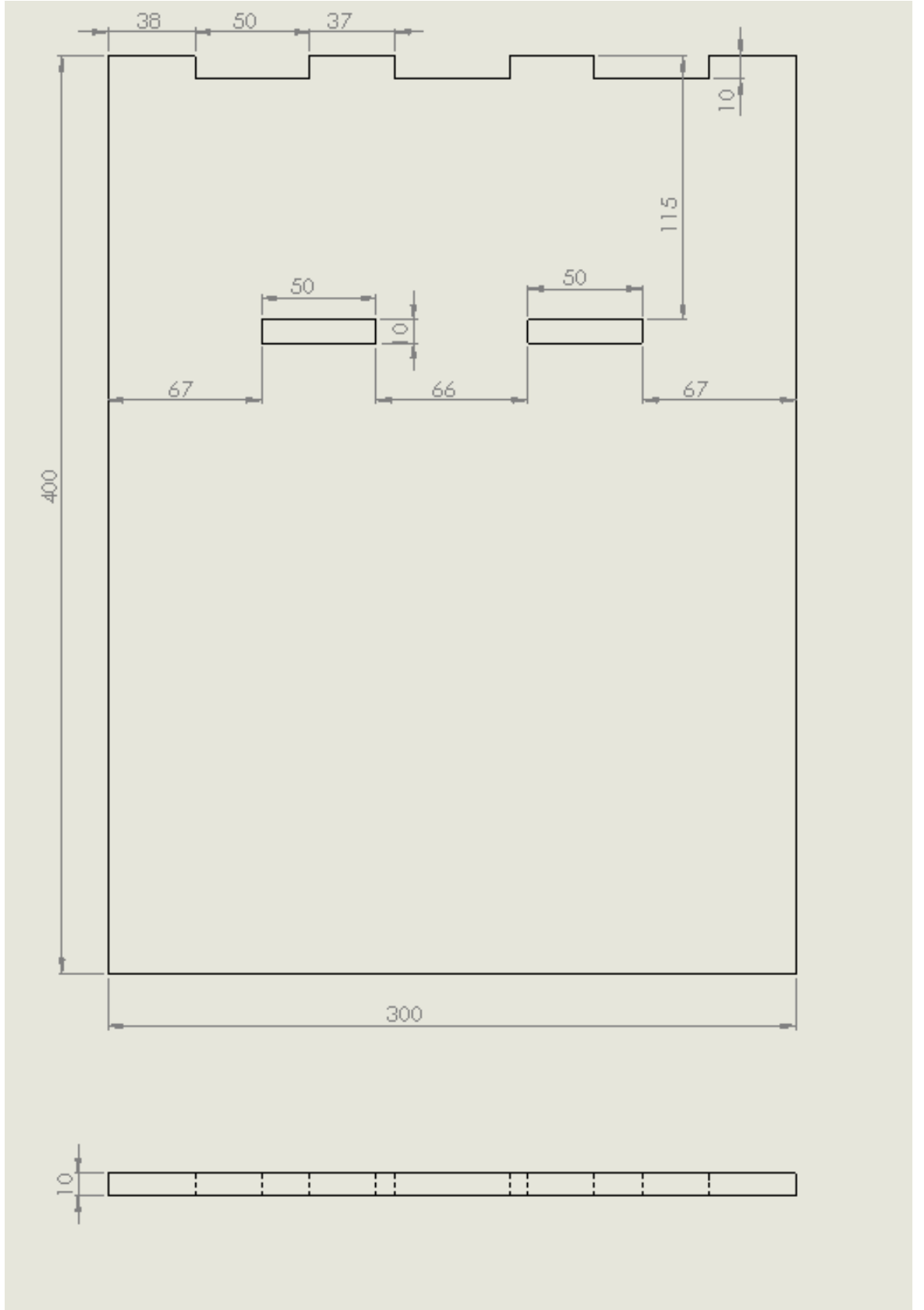


ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	TANIM	MİKT.
1	ÜST PARÇA 1		1
2	YAN PARÇA		2
3	ORTA PARÇA 1		1
4	ALT PARÇA		2

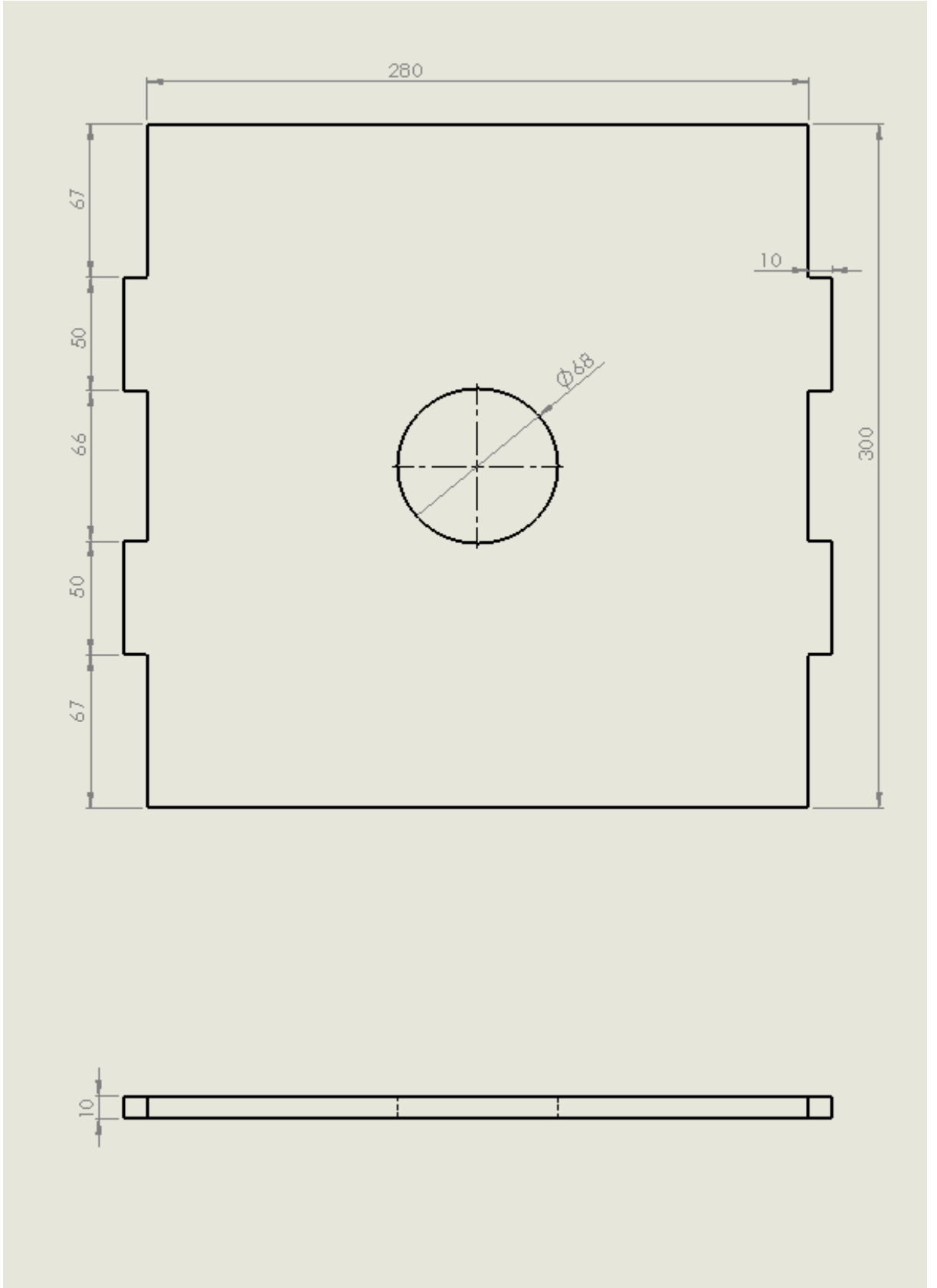
Şekil A.1: Ana taşıyıcı gövdenin malzeme listesi.



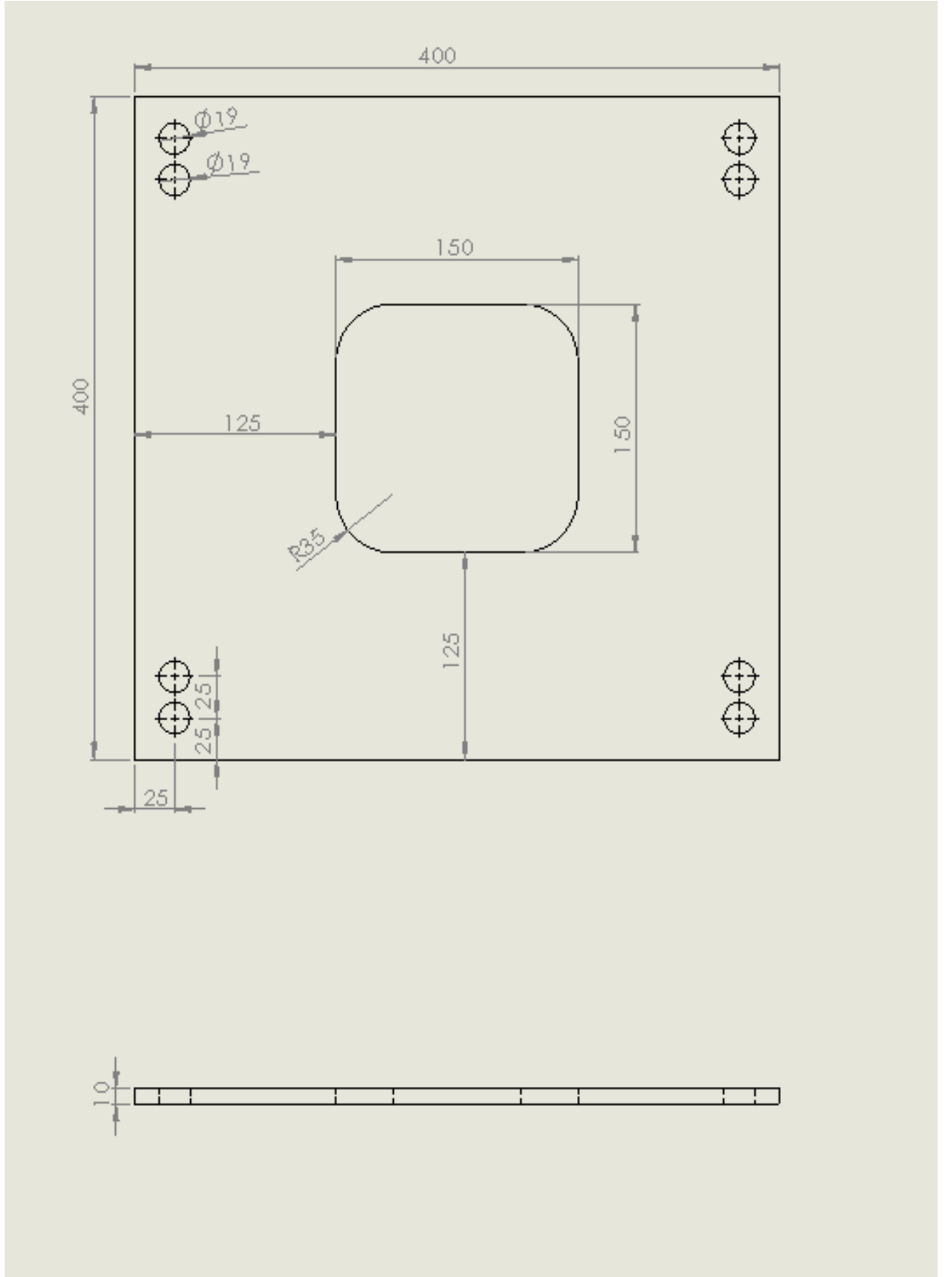
**Şekil A.2:** Üst parça imalat detay resmi.



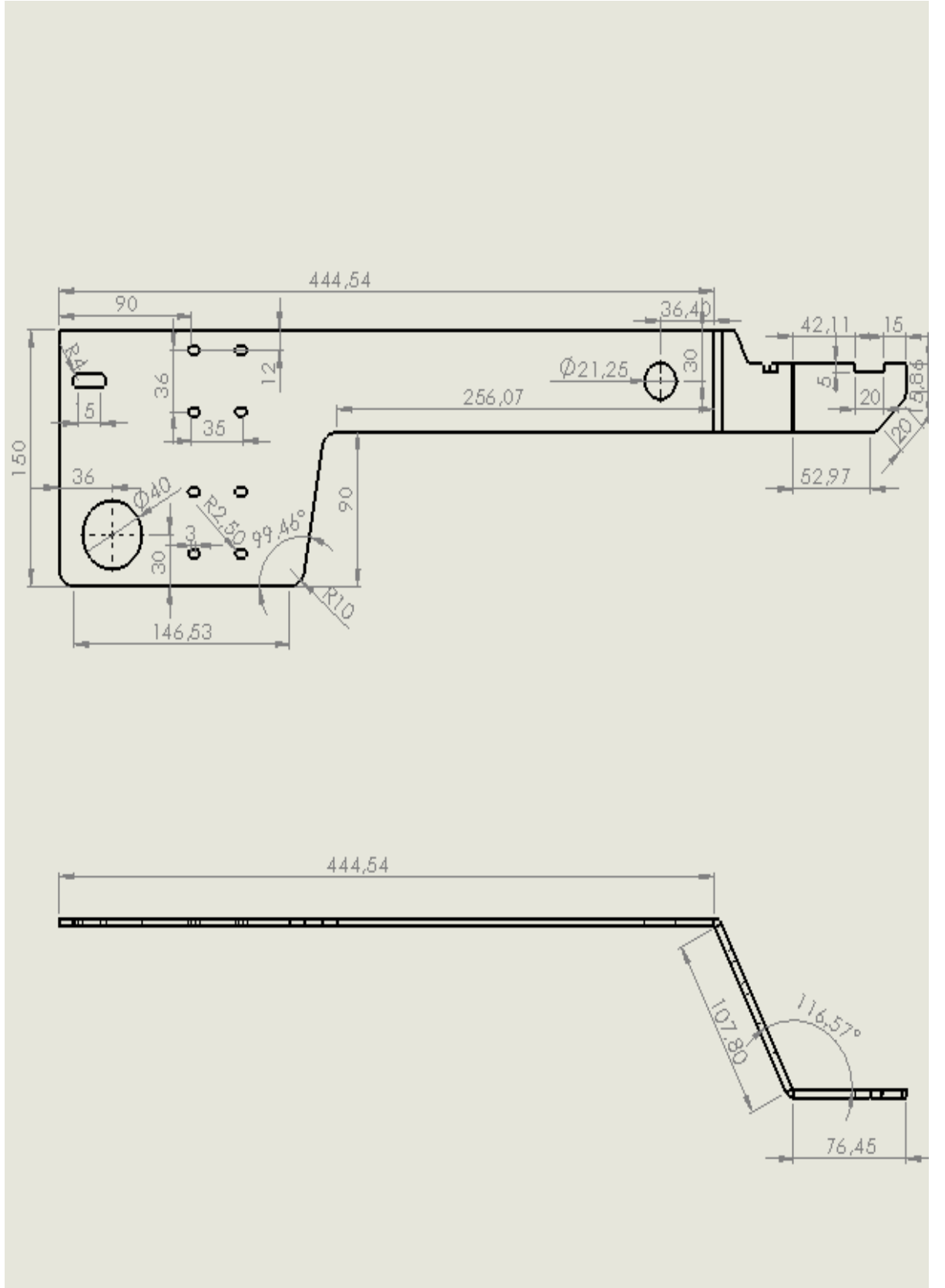
Şekil A.3: Yan parça imalat detay resmi.



**Şekil A.4:** Orta parça imalat detay resmi.

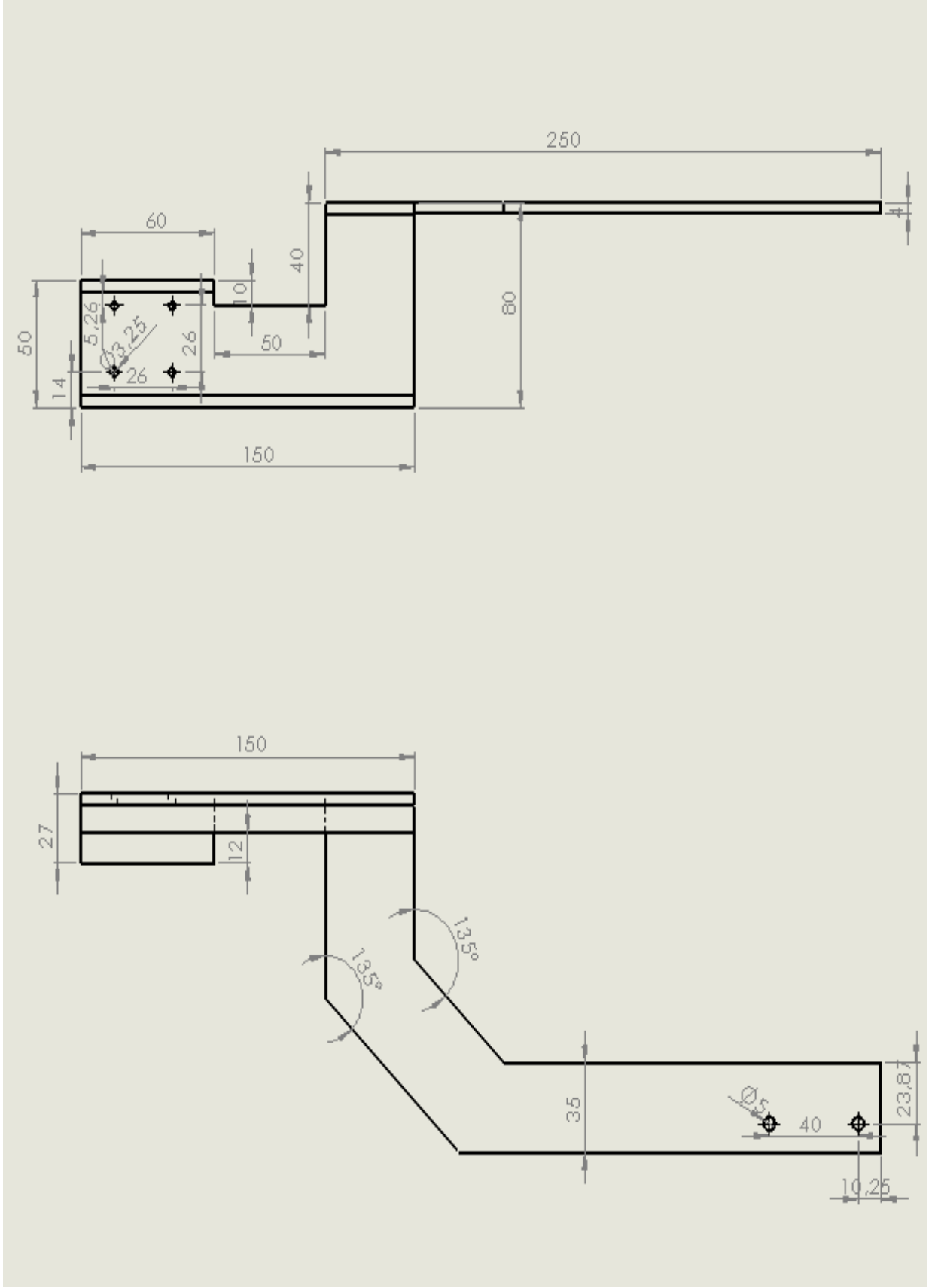


Şekil A.5: Alt parça imalat detay resmi.

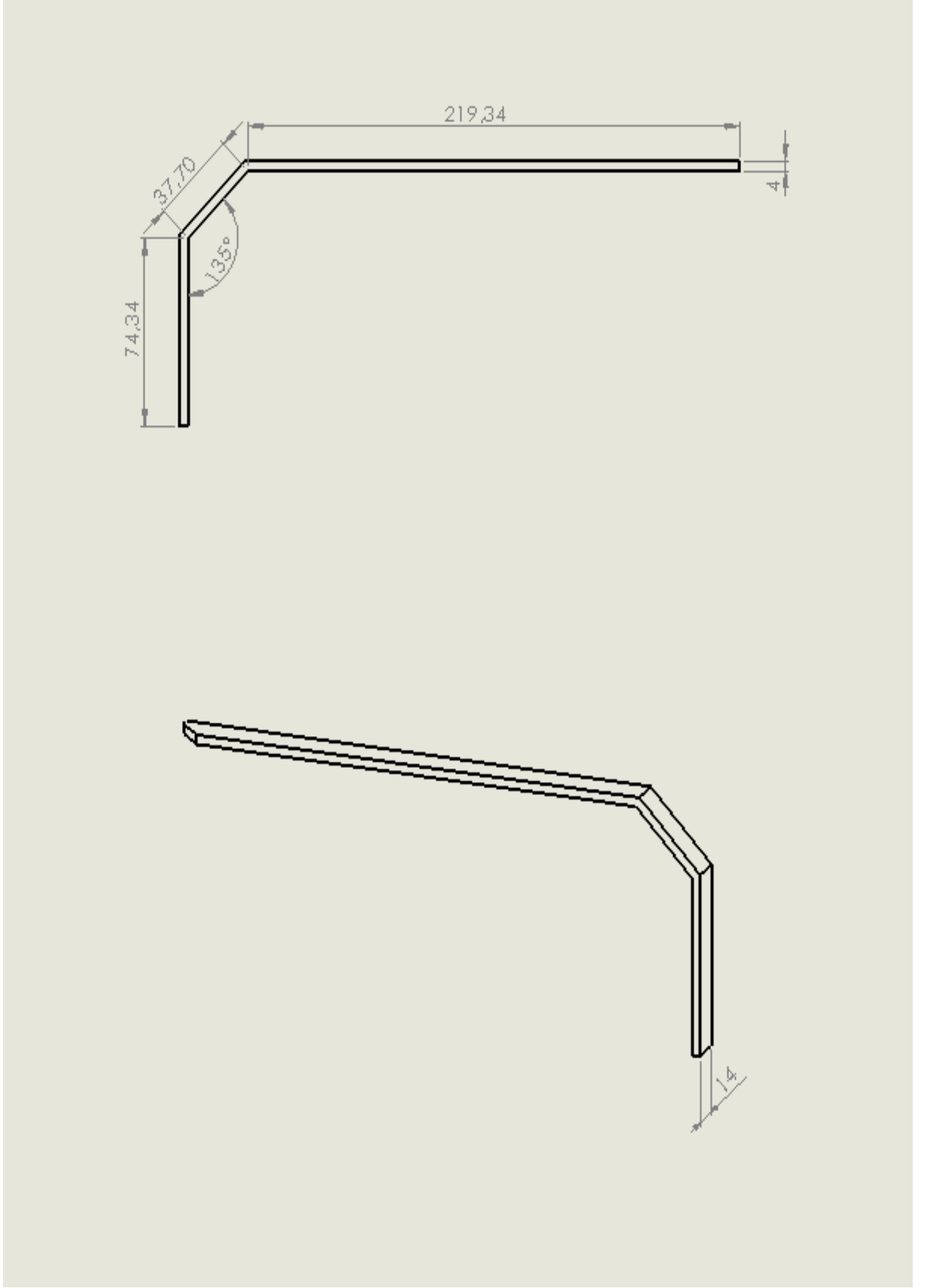


Şekil A.6: Dikey hareket saç ımalat detay resmi.

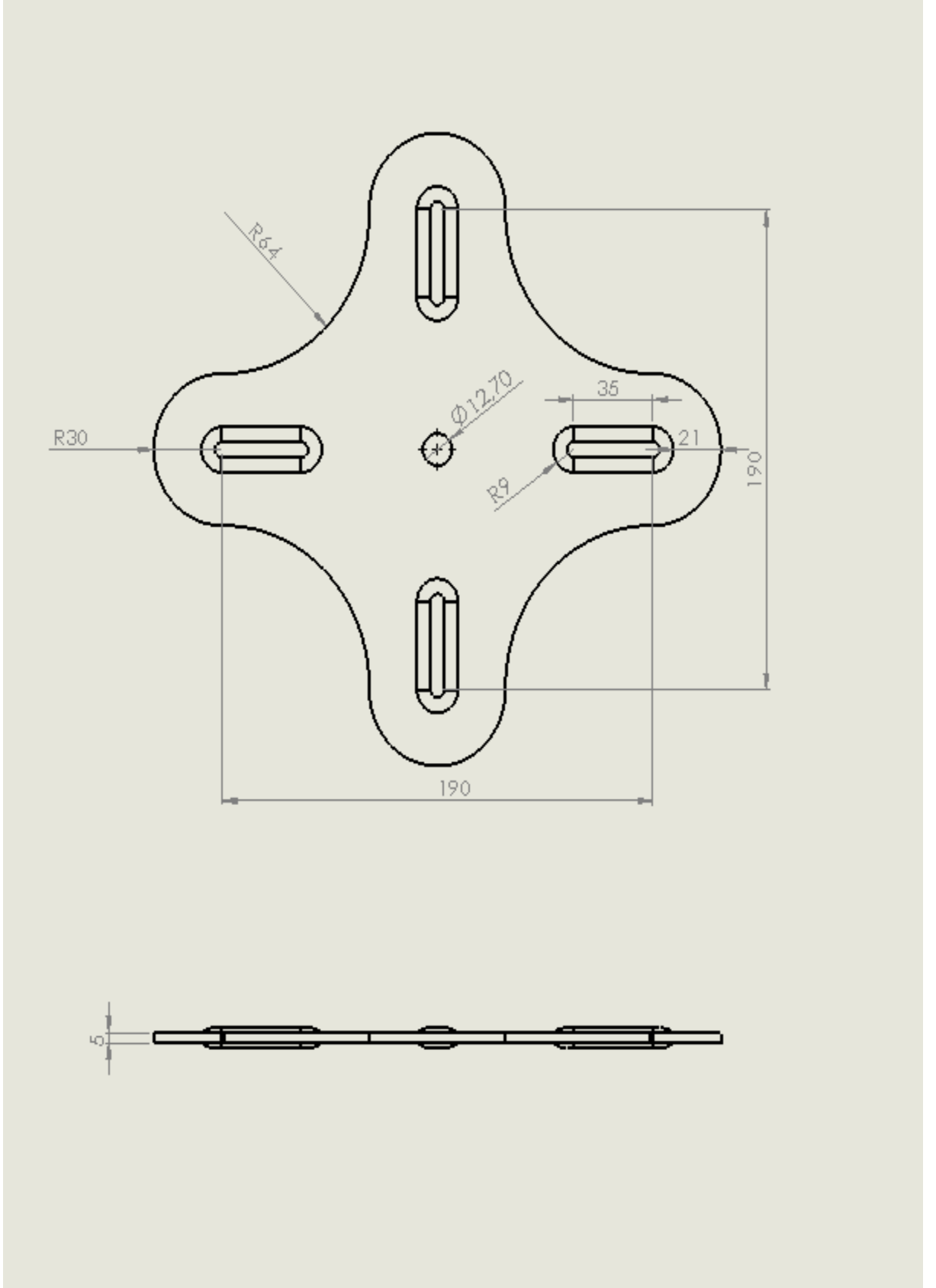




Şekil A.7: Yatay hareket saçı imalat detay resmi.



**Şekil A.8:** Yatay hareket destek saçı imalat detay resmi.



Şekil A.9: Pizza tabağı imalat detay resmi.

**EK-B: İmalatın ve kontrol sisteminin resimleri**



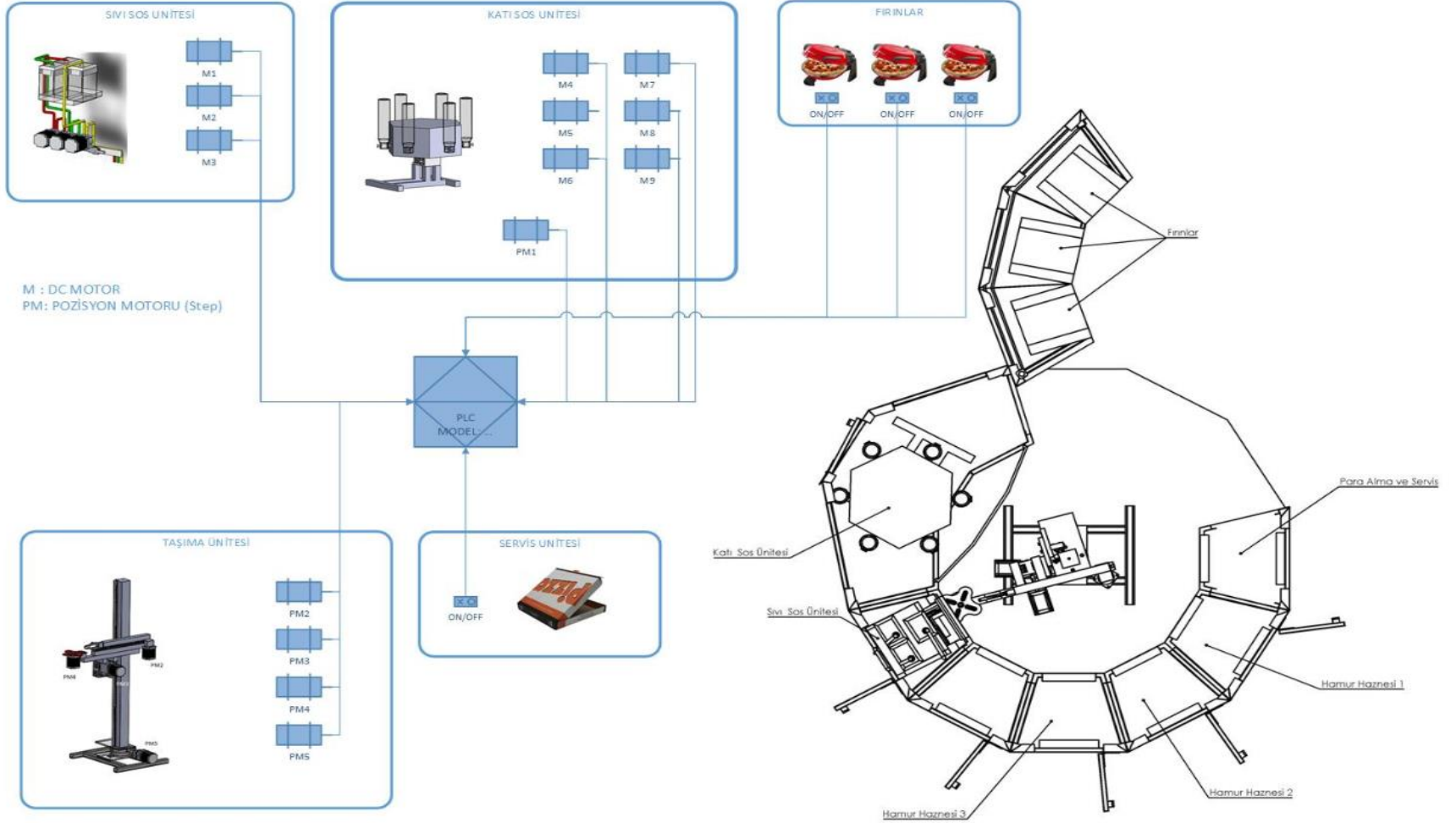
**Şekil B.1:** Sistemin genel resmi.



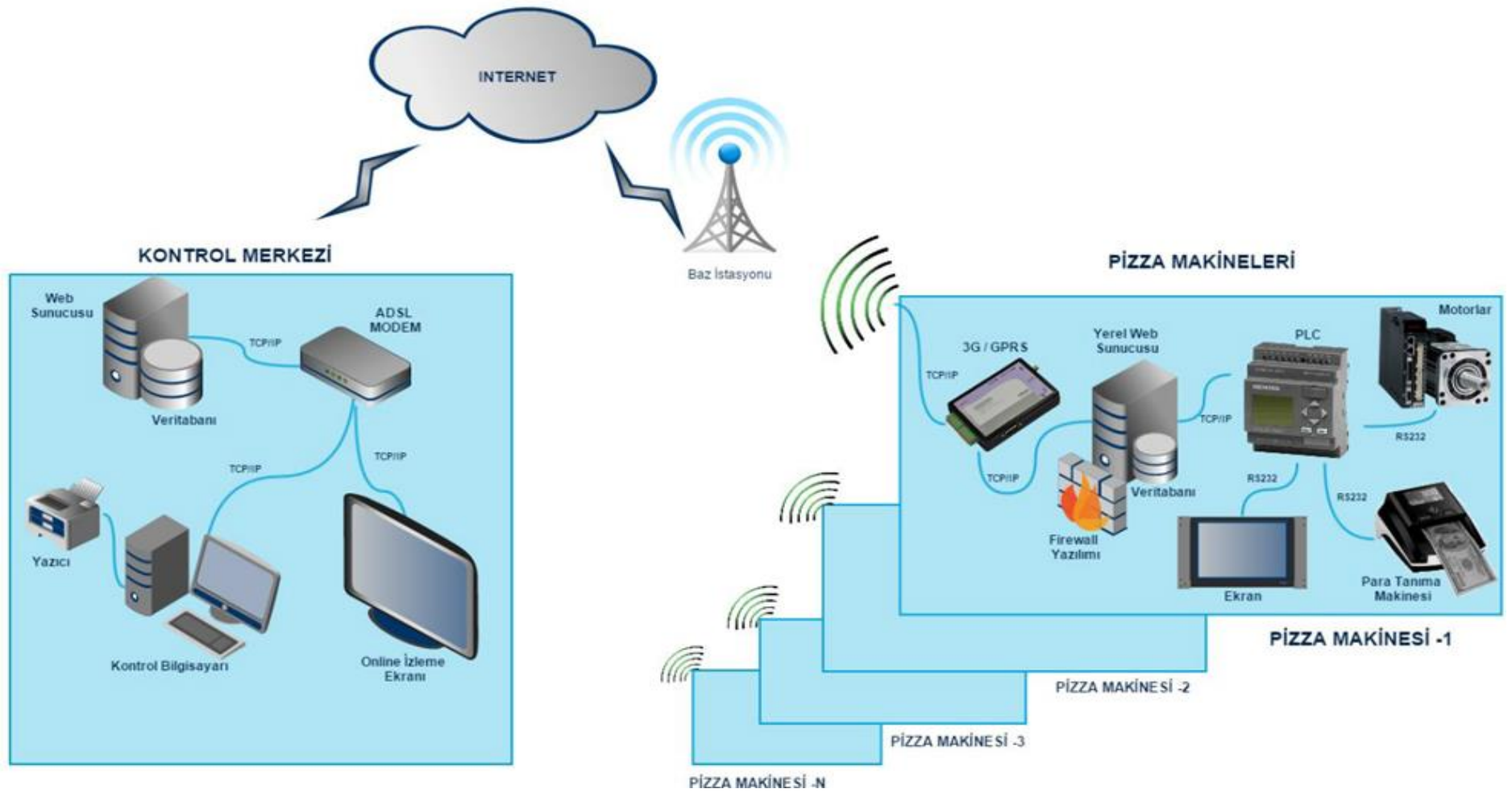
Şekil B.2: Silindirik robot resmi.



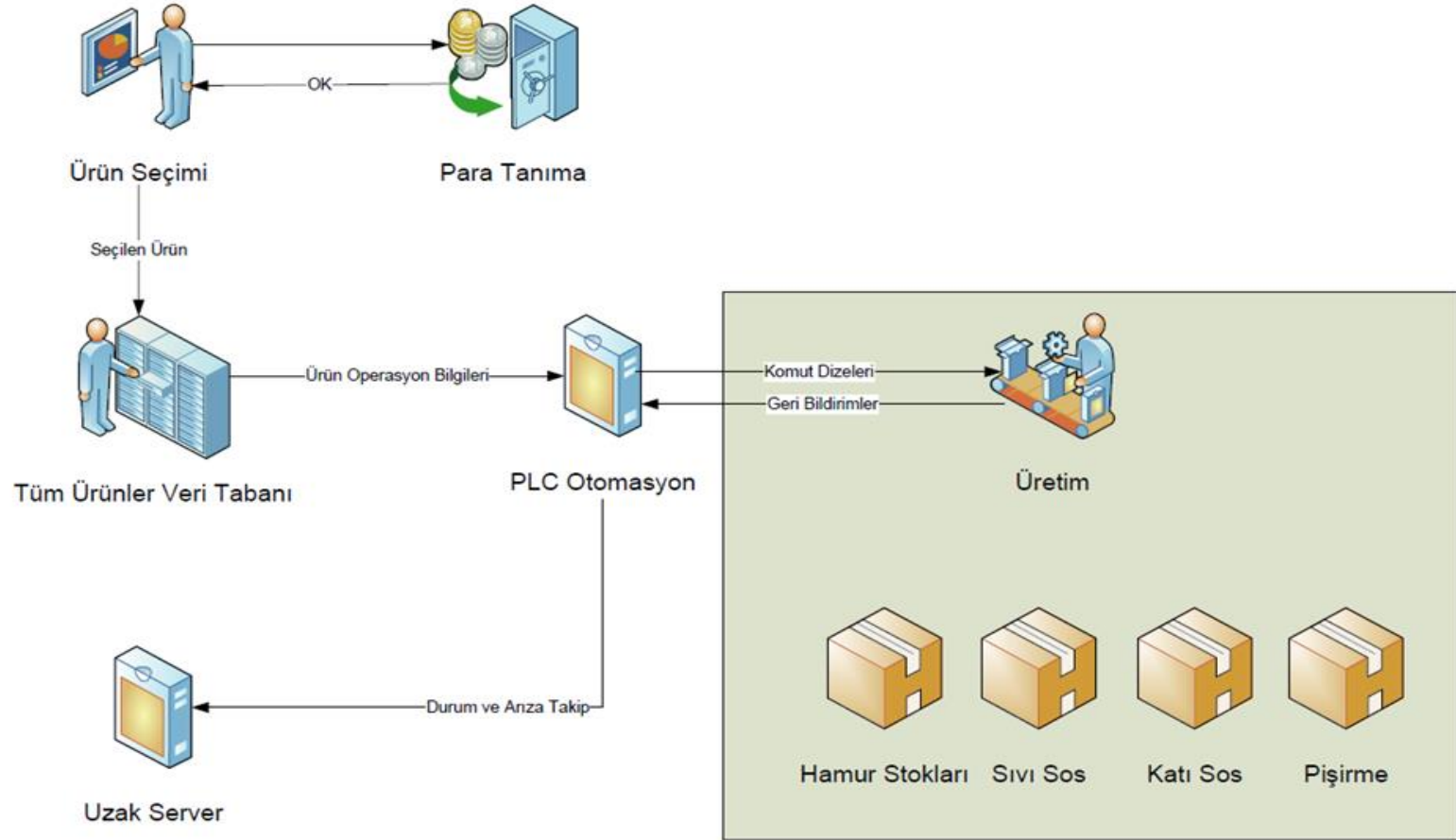
### SİSTEM VE KULLANILAN OTOMASYON DEVRE ELEMANLARININ ŞEMATİK GÖSTERİMİ



Şekil B.3: Sistem ve kullanılan otomasyon devre elemanlarının şematik gösterimi.



Şekil B.4: Kontrol sisteminin şematik gösterimi.



Şekil B.5: Genel iş akışı.