

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL GELİŞTİRİLMESİ VE
PROTOTİPİNİN ÜRETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH KÖSE

DENİZLİ, OCAK - 2023

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL GELİŞTİRİLMESİ VE
PROTOTİPİNİN ÜRETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH KÖSE

DENİZLİ, OCAK - 2023

**Bu tez çalışması BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2021FEBE049
nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ABDULLAH KÖSE

ÖZET

ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL GELİŞTİRİLMESİ VE PROTOTİPİNİN ÜRETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH KÖSE

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. İSMAİL OVALI)

DENİZLİ, ARALIK - 2022

Yapılacak olan çalışmalardaki amaç gündelik hayatta gezgin insansı robotların kullanımını arttırarak, insan-robot etkileşimini arttırmaya yönelik programlanabilen, görüntü ve sese duyarlı, konuşabilen, konumunu kendisi bulabilen hedefe en kısa yolu bularak ulaşabilen, eğitim, sağlık ve eğlence gibi çeşitli sektörlerde insanların temel ihtiyaçlarını karşılamasına yardımcı olabilecek endüstriyel robot kol mekanik ve yazılımsal olarak tasarlanması ve prototipinin üretilmesidir.

Bu çalışmada yapılması planlanan robot kolun tasarım kısmında redüktör üretimi diğer robot kollardan farklı olarak sikloid redüktör olarak tasarlanmış ve redüktörün daha kısa mesafede daha yüksek çevrim oranı ile kaldırılan yükün artması hedeflenmiştir.

Çalışmanın yazılım kısmında ise robot işletim sistemi (ROS) ile konum kontrolü ve hız kontrolünü çeşitli sensörler ile kontrol ederek otonom çalışabilen ve kolay optimizasyon sağlayabilen bir robot kolun prototipinin üretilmesi sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: İşbirlikçi robot, Robotik, Ros, Yazılım

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND PROTOTYPE OF INDUSTRIAL ROBOT ARM

MSC THESIS

ABDULLAH KÖSE

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. İSMAİL OVALI)

DENİZLİ, DECEMBER 2022

The aim of the work to be done is to increase the use of mobile humanoid robots in daily life, to help people meet their basic needs in various sectors such as education, health and entertainment, which can be programmed to increase human-robot interaction, are sensitive to image and sound, can talk, can find their own location, find the shortest way to reach their destination. It is the mechanical and software design and prototype production of an industrial robot arm that can be.

In the design part of the robot arm, which is planned to be made in this study, the gearbox production was designed as a cycloid reducer, unlike other robot arms, and it was aimed to increase the lifted load with a shorter distance of the gearbox with a higher conversion rate.

In the software part of the study, a prototype of a robot arm that can operate autonomously and provide easy optimization by controlling position control and speed control with various sensors with the robot operating system (ROS) has been produced.

KEYWORDS: Collaborative robot, Robotic, Ros, Software

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İçindekiler

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
Sayfa.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ENDÜSTİYEL ROBOT KOLLAR.....	3
2.1 Robotların Sınıflandırılması.....	5
2.1.1 Mobil Robotlar.....	5
2.1.2 İnsansı Robotlar.....	6
2.1.3 Çoklu Robotlar.....	10
2.1.4 Sürü Robotlar.....	11
2.1.5 Mikro-Nano Robotlar.....	11
2.1.6 Biyo-ilhamlı Robotlar.....	12
2.1.7 İşbirlikçi ve Etkileşimli Robotlar.....	12
2.1.8 Haptik Sistemler.....	13
2.2 Endüstriyel Robotların Avantajları ve Dezavantajları.....	14
2.2.1 Avantajları.....	14
2.2.2 Dezavantajları.....	14
2.3 İşbirlikçi Robot Ana Bileşenleri.....	15
2.3.1 Motor.....	15
2.3.2 Redüktör.....	19
2.3.3 Enkoder.....	21
2.3.4 Mikrodenetleyici.....	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
3.1 İşbirlikçi Robot Malzeme Ve Ekipman Seçimi.....	23
3.2 İşbirlikçi Robot Donanım Özellikleri.....	23
3.2.1 Fırçasız Dc Motor.....	23
3.2.2 Motor Sürücü.....	24
3.2.3 Enkoder.....	24
3.2.4 Mikrodenetleyici.....	25
3.2.5 Gövde Üretim Malzemesi.....	25
3.3 İşbirlikçi Robot Tasarım Süreçleri.....	26
3.4 Yazılım Entegrasyon Süreci.....	44
3.4.1 Robot İşletim Sistemi.....	44
3.4.2 ROS Mimarisi.....	45
3.4.3 ROS Terminolojisi.....	47
3.4.4 Gazebo Simülasyonu.....	49

3.5	Elektronik Kart (PCB) Tasarım Süreci	52
3.5.1	Anakart.....	53
3.5.2	Güç Kartı.....	54
3.5.3	Kart Tasarımında Kullanılan Bakır Plaket Çeşitleri	56
3.5.4	Kart Yapısı ve Katmanları	57
4.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	59
4.1	Sikloid Dişlinin Robot Kol Üzerindeki Etkileri	59
4.2	Sikloid Dişli Sisteminin Optimizasyon Çalışmaları.....	63
4.2.1	Redüksiyon Oranın Doğrusal Sapma Üzerindeki Etkisi.....	63
4.2.2	Redüksiyon Oranın Açısız Sapma Üzerindeki Etkisi	65
4.2.3	Redüksiyon Oranın Hız Üzerindeki Etkisi	66
4.2.4	Redüksiyon Oranın Tork Üzerindeki Etkisi	67
4.2.5	Redüksiyon Oranın Akım Üzerindeki Etkisi	68
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	70
6.	KAYNAKLAR.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Üretim Tekniklerine Endüstriyel Gelişimin Etkisi	3
Şekil 2.2: Üretim Tekniklerine Endüstriyel Robotların Kullanım Oranları.....	4
Şekil 2.3: MIT Tarafından Geliştirilen Robot.....	6
Şekil 2.4: 1999 Yılında Geliştirilen Robot.....	7
Şekil 2.5: A) Armar-I B) Armar-II C) Armar-III.....	7
Şekil 2.6: Michigan Üniversitesine Ait Robot	7
Şekil 2.7: Robovie İsimli Robot.....	8
Şekil 2.8: Yiren İsimli Robot	9
Şekil 2.9: Justin İsimli Robot.....	9
Şekil 2.10: Fırçasız Motor İç Yapısı	16
Şekil 2.11: Fırçasız Motor Elektrik Dalga Formu.....	16
Şekil 2.12: Servo Motor İç Yapısı	17
Şekil 2.13: Step Motor Elektriksel Diyagramı.....	18
Şekil 2.14: Sikloid Hareket Çizelgesi	20
Şekil 2.15: 10:1 Sikloid Simülasyonu.....	20
Şekil 2.16: Artımsal Tip Enkoder Elektronik Dalga Şeması	201
Şekil 3.1: Alt Çıkış Teknik Resim Çizimi	217
Şekil 3.2: Alt Çıkış 3d Model Görünümü	27
Şekil 3.3: Sikloid Gövde Teknik Resim Çizimi.....	28
Şekil 3.4: Sikloid Gövde 3d Model Görünümü	28
Şekil 3.5: Eksantrik Alt Teknik Resim Çizimi.....	29
Şekil 3.6: Eksantrik Alt 3d Model Görünümü	29
Şekil 3.7: Eksantrik Orta Teknik Resim Çizimi.....	30
Şekil 3.8: Eksantrik Orta 3d Model Görünümü	30
Şekil 3.9: Eksantrik Üst Teknik Resim Çizimi	31
Şekil 3.10: Eksantrik Üst 3d Model Görünümü.....	31
Şekil 3.11: Arka Kapak Teknik Resim Çizimi.....	32
Şekil 3.12: Arka Kapak 3d Model Görünümü	32
Şekil 3.13: Encoder Tutucu Teknik Resim Çizimi	33
Şekil 3.14: Enkoder Tutucu 3d Model Görünümü.....	33
Şekil 3.15: Motor Gövde Teknik Resim Çizimi	34
Şekil 3.16: Motor Gövde 3d Model Görünümü	34
Şekil 3.17: Motor Tutucu Teknik Resim Çizimi.....	35
Şekil 3.18: Motor Tutucu 3d Model Görünümü	35
Şekil 3.19: Rulman Aralayıcı Teknik Resim Çizimi	36
Şekil 3.20: Rulman Aralayıcı 3d Model Görünümü	36
Şekil 3.21: Sikloid Dişli Teknik Resim Çizimi.....	37
Şekil 3.22: Sikloid 3d model görünümü	37
Şekil 3.23: Üst çıkış teknik resim çizimi	38
Şekil 3.24: Üst çıkış 3d model görünümü.....	38
Şekil 3.25: Üst kapak teknik resim çizimi	39
Şekil 3.26: Üst kapak 3d model görünümü.....	39
Şekil 3.27: Motor tüm teknik resim çizimi	40
Şekil 3.28: Motor tüm 3d model görünümü.....	41

Şekil 3.29: Motor sistemi iç yapısı 3d model görünümü	41
Şekil 3.30: Robot Kol tüm bileşen görünümü.....	42
Şekil 3.31: Robot Kol 3 boyutlu görünüm (1)	43
Şekil 3.32: Robot Kol 3 boyutlu görünüm (2)	43
Şekil 3.33: Ros dosyalama sistem şeması	46
Şekil 3.34: Ros ana sistem parçacıkları	49
Şekil 3.35: Gazabo simülasyon ortamı.....	50
Şekil 3.36: Rviz robot modeli simülasyonu açılı parametre optimizasyonu.....	51
Şekil 3.37: Rviz simülasyon robot model hız, açı ve ivme diyagramı.....	51
Şekil 3.38: rqt_graph ile düğüm yapısı	52
Şekil 3.39: Ares devre şeması	53
Şekil 3.40: Isıs devre şeması	53
Şekil 3.41: Robot kontrol ana kart görüntüsü	54
Şekil 3.42: Güç kartı genel şeması.....	55
Şekil 3.43: Güç kartı geri besleme devre şeması	55
Şekil 3.44: Güç kartı simülasyon ortamı.....	55
Şekil 3.45: Güç kartı regülatör devre şeması	56
Şekil 3.46: Fr4 iç yapısı	57
Şekil 4.1: Sikloid dişli eksantrik arası bağlantı.....	59
Şekil 4.2: Sikloid dişli ile orta eksantrik bağlantı gösterimi	61
Şekil 4.3: Redüktör üst bağlantı	62
Şekil 4.4: Redüksiyon Oranın Doğrusal Sapma Üzerindeki Etkisinin Şematik Gösterimi.....	64
Şekil 4.5: Redüksiyon Oranın Doğrusal Sapma Üzerindeki Etkisi	64
Şekil 4.6: Redüksiyon Oranın Açısız Sapma Üzerindeki Etkisinin Şematik Gösterimi.....	65
Şekil 4.7: Redüksiyon Oranın Açısız Sapma Üzerindeki Etkisi	66
Şekil 4.8: Redüksiyon Oranın Hız Üzerindeki Etkisi	67
Şekil 4.9: Redüksiyon Oranın Tork Üzerindeki Etkisi	68
Şekil 4.10: Redüksiyon Oranın Akım Üzerindeki Etkisi.....	69

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Sk3 6374 Motor Özellikleri	23
Tablo 3.2: Odrive V3.6 Volt, Amper Aralık Değerleri.....	24
Tablo 3.3: AMT 102 Serisi Enkoder Özellikleri	24
Tablo 3.4: TEENSY 4.1 Özellikleri	25
Tablo 3.5: PLA Filament Isıl Özellik Tablosu.....	26
Tablo 3.6: Fr4 Fiziksel Özellikleri	57
Tablo 4.1: PLA İle 6061 Alüminyum Karşılaştırma Tablosu	62

SEMBOL LİSTESİ

V:	Gerilim
A:	Akım
Li-On:	Lityum İyon
Rpm:	Dakikadaki Dönüş Sayısı
Ma:	Miliamper
Cpr:	1 Tur Dönüşteki Enkoder Pals Sayısı
Hz:	Frekans
μc:	Elektrik Yüğü
C°:	Sıcaklık Birimi
Ms:	Milisanıye
M/S:	Hız
R:	Yarıçap
Ø :	Çap
Mbit:	Megabit
W:	Watt
N:	Dış Çeperde Kullanılacak Rulman Sayısı
E:	Giriş Mili İle Eksantrik Arasındaki Merkez Uzaklık
Rr:	Dış Çeperdeki Rulman Yarıçap Değeri

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinde tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen akademik kariyerime başladığım günden beri tecrübesiyle bana ışık tutan, olumlu ve yapıcı eleştirileriyle beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. İsmail Ovalı' ya, tezimin başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen ve çalışmalarım boyunca bana her türlü destek ve sabrı gösteren değerli babam Mustafa Köse, annem Nurgül Köse, ablam Emine Köse ve kardeşim Melike Köse' ye teşekkür ederim. Çalışmalarımda bana her türlü destek ve bilgi paylaşımında olan değerli iş arkadaşlarım Fisun Ovalı, Yaşariye Sümer ve Barış Solak'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Sanayide robotların başarılı bir şekilde kullanılması, özellikle 1980'lerden sonra akademik camiada insanın hareketlerini taklit edebilen robotlarla ilgili çalışmalara başlanmasını sağlamıştır. Görüntü ve hareket kabiliyeti açısından insanlara benzeyen bu robotlar literatürde insansı robot (Humanoid Robot) olarak isimlendirilmektedir. Günümüzde robotlar oyuncak sanayisinden sinema sektörüne, otomasyon sistemlerinden savunma sanayisine kadar çok geniş alanlarda kullanılmaktadır.

İnsansı robotlar fiziksel şekilleri ile insana benzeyen robotlardır. Temelde bir baş, gövde, iki kol ve iki bacağına sahip tam insansı robotlara Sualp ve Orio gibi örnekler vardır. Ayrıca literatürde insanlar ile sosyal etkileşimde bulunabilen veya insan vücudunun belirli bir kısmı model alınarak üretilen Ada, Irobig gibi tekerlekli mobil robotlarda insansı robotlar sınıfına dahil edilmektedir. İnsansı robotlar yapısal olarak iki ana bölüme ayrılmaktadır (Tiejun 2005).

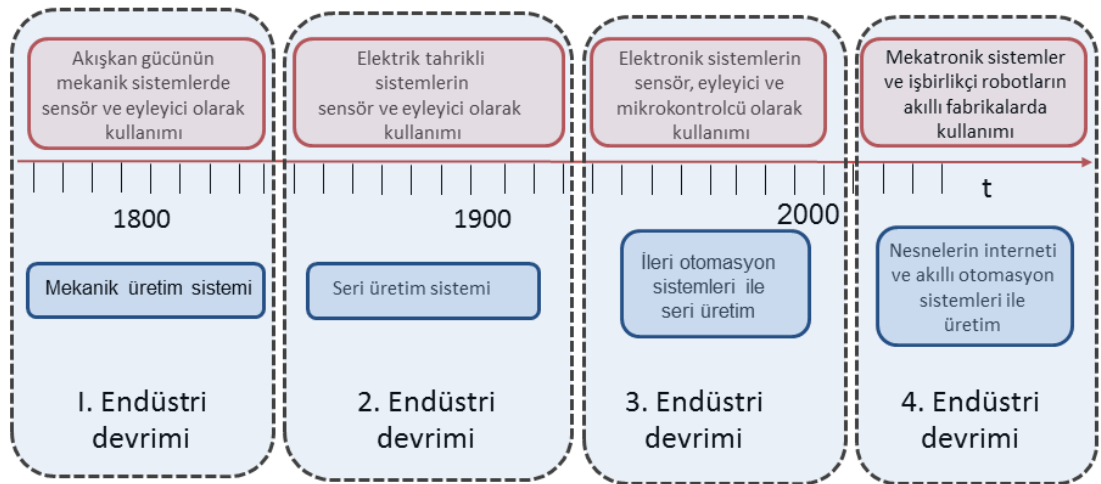
İki Ayaklı İnsansı Robotlar yürüme, koşma gibi temel insan hareket mekanizmaları üzerine araştırmalar yapılmak üzere geliştirilmektedir. Gezgin İnsansı Robotlar ise insan-robot etkileşimi ve iş birliği amacıyla geliştirilmektedir (Tang 1996).

Gezgin İnsansı Robotlar mobilite ve esneklik sağlayan tekerlekli alt şase ile insanın üst gövdesine benzeyen yapının birleştirilmesiyle elde edilir. Gezgin İnsansı Robotlar insanlar gibi yürüme, zıplama, merdiven tırmanma gibi özelliklere sahip olmasalar da son yıllarda sıklıkla kapalı ortamlarda daha az enerji harcayarak servis hizmetinde kullanılmak amacıyla geliştirilmişlerdir. Gezgin İnsansı Robotlar sadece tekerleklerin elverişli yapısından dolayı değil aynı zamanda batarya, bilgisayar vb. ek donanımlar için yeterli alana sahip ve kolay bir şekilde monte edilebilmesinden dolayı iyi birer seçimdirler (Morita 1998).

Bu çalışmada robot kolların tasarım üretim süreçleri ve bunlara ek olarak yazım mimarisi ile 6 eksenli robot kol modellenmesi ve prototip üretilmesi gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda çalışmanın tasarımın çalışmasında diğer sistemlerden farklı olarak sikloid redüktör sistemi tasarlanıp bu sistemin robot kollar üzerindeki etkileri ele alınacaktır. Yazılım mimarisi olarak robot işletim sistemi olarak bilinen ROS ile robot kol paketlerinin fiziksel hareketleri ve donanımsal yazılımı yapılacaktır. Prototip için elektronik kart tasarımı gerçekleştirilip kartın genel yapısından ve robot kollar için senkronizasyonu sağlanacaktır.

2. ENDÜSTRİYEL ROBOT KOLLAR

Robot kolların Endüstri 4.0 ile birçok alanda sağlık, ulaşım, hizmet gibi sektörlerde insanlara desteği teknolojik gelişmelerle birlikte artmaktadır. Günümüze kadar olan kısımda servis robotları ve endüstriyel robotlar olarak iki kısımda incelenmekteydi. Günümüzde ise robotlar algılayıcı sistemler ile insan görevlerinin yerine getirilmesine büyük ölçüde katkı sağlamıştır. İşçi maliyetlerinin artması iş yükünün fazlalaşması gibi sebeplerden dolayı robotik sistemlere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple endüstriyel alanlarda rekabet ve kaliteyi arttırmak için robotik sistemler başlangıç unsurları arasında yerini almaktadır. Üretim tekniklerine endüstriyel gelişimin etkisi tarihsel süreçleri ile Şekil 2.1’de verilmiştir (Andrea 2016).

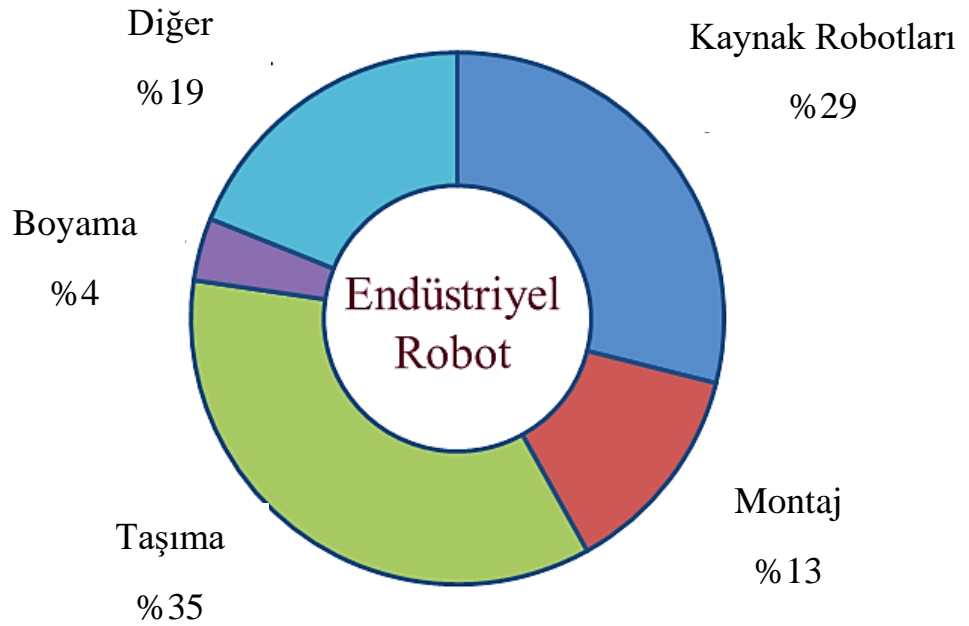


Şekil 2.1: Üretim tekniklerine endüstriyel gelişimin etkisi

Üretim alanlarındaki haberleşme istemlerinin gelişmesi ve kontrol mekanizmalarının ön plana çıkmasıyla beraber gelişen yazılım ve donanım sektörünüzde bu alanda çalışmalar yapması konusunda desteklemektedir. Endüstri ortamının yeni konseptler ile ortaya çıkmasını sağlamıştır . Bu oluşum içerisinde farklı robot sistemlerinin kullanımı ve uygulama alanlarının gelişmesi zorunlu hale gelmektedir (Makrisa 2015). Bu sistemle beraber tehlikeli ortamlarda kullanılacak güvenlik çalışmaları göz önünde bulundurularak insan etkileşimli sistemler ve robotlar üretilmesi hız kazanmıştır. İnsanlar ile robotların birbirleriyle ortak çalışma alanları ilk olarak insansı robotlar ve çoklu görevde kullanılan robotlar için hazırlanmaya başlamışlardır.

Üretim yerlerinde robotların gelişimiyle beraber esnek çalışma zamanları ve insanlarla etkileşim ile robotların daha hızlı ve kolay çözümlene yetenekleri ortaya çıkmaya başlamıştır (Papakostas 2011). Endüstri 4.0 kapsamında ürünlerin bakım, onarım ve takibi nesnelerin interneti ile gerçekleştirilmektedir. Bunu gerçekleştirecek sistemlerde donanımsal ve gerçek zamanlı olarak yüksek miktarda veri toplama işlemini yapabilen endüstriyel tipte mikro elektromekanik sistem (MEMS) tabanlı sensörler üretilmeye başlanmıştır. Ayrıca ürünleri kişiselleştirerek üretimle ilişkisini sağlayabilmek için bellekli ve akıllı donanımlara ihtiyaç bulunmaktadır (ifr.com web sitesi 2016).

Endüstriyel alanlarda insanlara yardım edebilecek robotlar ilk olarak belirli bir bölgen başka bölgeye taşıma işlemi için gerekli görülmüştür. Şekil 2.2’de üretimde robotların hangi alanlarda kullanılması ile ve bu alanların üretim alanlarına etkisi takip edilmiştir.



Şekil 2.2: Üretim tekniklerine endüstriyel robotların kullanım oranları

Bu çalışmalar ışığında insanlar ile robotların etkileşimleri ve bu alanda yapılan çalışmalar içerik olarak incelenmiş olup bu alandaki teknolojik gelişmeler ışığında yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Aynı zamanda işbirlikçi robot sistemlerinin diğer sistemlere oranla kullanım alanları avantaj ve dezavantajları ve kullanım yöntemleri incelenip gerekli çalışma ortamları ile ilgili detaylı fikirler ortaya konmuştur. Robotların genel olarak türleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

2.1 Robotların Sınıflandırılması

Robotlar kullanıldıkları alanlara göre farklı sınıflara ayrılabilir. Kullanılan kontrol yöntemlerine göre, çalışma ortamlarına göre ve işlevsel yapılarına göre sınıflara ayrılabilir. Robotlar bu sınıflandırmadan dolayı iki farklı alanda incelenmektedirler (Çakmak 2006).

Endüstriyel robotlar genel olarak kullanıldıkları yerler, hareket kabiliyeti ve eklem yapılarına göre ayrılırken, mobil robotlar daha çok boyutları, uygulama alanlarına göre farklılık göstermektedir. Mobil robotlar kendi içinde farklı görev ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırma insansı özelliklere sahip olan sistemlerde insansı robot olarak, bir robotun birden fazla iş yüküne sahip olmasına bağlı çoklu robot sistemi, birlikte çalışarak daha fazla iş akışını sağlanması planlanan sürü robotlar, ve çok küçük boyutlarda işlem gerçekleştirebilen mikro robotlar, doğadaki canlıların özelliklerinden yola çıkılarak ele alınan biyo-ilhamlı robotlar ve insan ile etkileşim kurarak verilen görevlerin daha hızlı ve kolay yerine getirilmesini sağlayan işbirlikçi robotlar olarak sınıflandırılmaktadır.

2.1.1 Mobil Robotlar

Endüstriyel robotların dezavantajlarından biri olarak belirli bölgelerde çalışabilen ve sadece verilen basit komutları yerine getirmesi gibi etmenlerden dolayı farklı robot sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Teknolojinin hızla gelişmesiyle beraber robotlardaki değişim mobil robotlarla beraber biraz daha artarak robotların karar verebilme yeteneklerine sahip olması, kullanılan alanların dışında farklı alanlarda kullanılması, farklı eksenlerde ve yörüngeleri değiştirilebilir sistemler olması bu sistemin oluşmasında büyük önem arz etmektedir. Örneğin acil durum alanlarında insanların ulaşamadığı yerlerde kullanılması, uzay ve havacılık alanındaki çalışmalarda, insansız yapılması beklenen zorlu görevlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mobil robotlarda kendi içinde farklı sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Alanlarına göre mikro-nano robotlar, sürü robotları, birden fazla görevde kullanılabilen işbirlikçi robotlar şeklinde farklı bir sınıflandırma yapılmaktadır.

2.1.2 İnsansı Robotlar

İnsan gibi düşünen, konuşan, yürüyen, karar verebilen ve olaylara karşı tepki gösterebilen akıllı robot fikri 1990'lı yıllardaki elektronik ve mekanik sistemlerdeki gelişmelerle birlikte daha fazla olarak yaygınlaşmış ve birçok farklı alanlarda kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Acar 2008). Bu durum birçok üretim ve ARGE sistemlerinin ilgisini çekmiş büyük yatırımlarla geliştirilmeye başlanmıştır. Özellikle dengede kalabilme, problemlere karşı daha rijit çözümler üretebilmesi, kendi görev ve sorumlulukları uyarınca hareket edilmesi gibi konularda büyük ölçekli gelişmeler yapılmıştır. Uzay ve askeri alanlardaki yoğun çalışmalar ile Honda şirketinin “Asimo”, Waseda Üniversitesinin “WABIAN-RII”, Twente Üniversitesinin “Tulib” KAIST Mühendisliğin “KHR” robotları bu alandaki başarılı içinde yer almaktadır (Park 2005). Türkiye’de ise “SURALP” robotu bu düzeyde yapılan ilk çalışmalardan biri olarak görülmektedir. İnsansı robot çalışmaları uzay ve havacılık sistemleriyle birlikte robot bilimindeki gelişmelere lokomotif olmuştur.

Bu alanda tasarlanmış farklı insansı robotlar bulunmaktadır. Bu alanda farklı üniversitelerin çalışmalarından bilgiler aktarılacaktır. MIT üniversitesi tarafından 1993 yılında “Cog” isimli robot için çalışmalara başlanmıştır (Şekil 2.3). 21 serbestlik derecesine sahip olan insan duyu organlarından görme işitme, konuşma gibi alanlarda da gelişmeler sağlamaktadır (Brooks 1999).



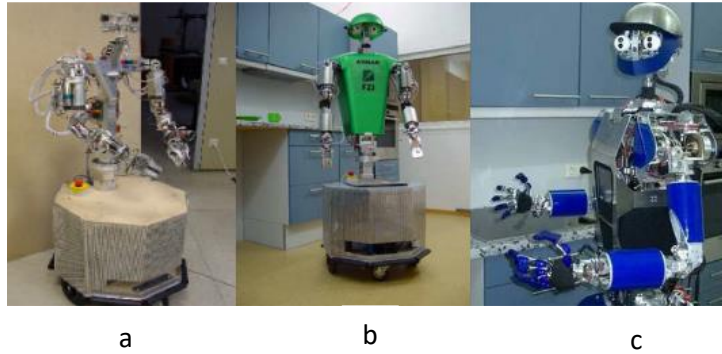
Şekil 2.3: MIT Üniversitesi tarafından geliştirilen robot

Fukuoka Üniversitesi, Kyushu Matsusita Şirketi ve Kyushu Sangyo Üniversitesinin ortaklaşa çalışması olan insansı robot 1999 yılında geliştirilmiştir. Robotun ağırlığı yaklaşık 130 kg olarak belirlenmiştir (Şekil 2.4).

Robotun boyu 180 cm, eni 74 cm ve derinliği 100 cm Őeklinindedir. Robotun ana yapısı ile etkileŐime geĕebilmesi iĕin, 2 adet mikrofonu ve 1 adet hoparlörü, 2 adet CCD kamerası vardır.



Şekil 2.4: 1999 yılında geliştirilen robot



Şekil 2.5: a) Armair-I b) Armair-II c) Armair-III

Michigan Őniversitesi (ABD) tarafından 2002 yılında “DAV” isimli gezgin insansı robot geliştirilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Michigan Őniversitesine ait robot

Wakayama Üniversitesi (Japonya) tarafından 2002 yılında “Robovie” isimli gezgin insansı robot geliştirilmiştir (Şekil 2.7). Üst kısmı insana benzeyen görüntüye sahip olan bu robot insanlarla iletişim amacıyla tasarlanmıştır. İşitme, görme ve dokunma gibi insana ait olan duyuların fonksiyonlarını yerine getirmek için değişik algılayıcılara sahiptir (Kanda 2002).



Şekil 2.7: Robovie isimli robot

İmalatı gerçekleştirilen bu robotun yüksekliği 120 cm ve çapı 40 cm olup toplam 40 kg ağırlığa sahiptir. Robot toplam 11 serbestlik derecesine sahiptir. Bunlardan 3 adedi gövdenin hareketini sağlayan tekerleklere (2 adedi sürücü teker, 1 adedi gezgin teker), 4 adedi kollara ve 4 adedi kafaya aittir .

Robotun çevresiyle ve insanlarla iletişim kurabilmesi için 16 adet yüzey algılayıcısı, gezgin platformun çevresinde 10 adet yüzey algılayıcısı, tüm yönlü görüntü algılayıcısı, insan sesini algılamak için 2 adet mikrofon ve karşısına çıkan engelleri algılamak için 24 adet ultrasonik sensörü vardır (Kanda 2002).

Shenyang Üniversitesi (Çin) tarafından 2005 yılında “YIREN” isimli gezgin insansı robot geliştirilmiştir (Şekil 2.8). Bu robotun tekerlekleri karışık alanda hareketini sağlamak için tasarlanmıştır. Robot toplam 23 serbestlik derecesine sahiptir. Bunlardan 3 adedi gövdenin hareketini sağlayan tekerleklere (2 adedi sürücü teker, 1 adedi gezgin teker), 7 adedi kollara, 1 adedi el, 2 adedi bel ve 2 adedi boyun bölgesine aittir (Kanda 2002).



Şekil 2.8: Yiren isimli robot

Alman Uzay Merkezi (Almanya) tarafından 2009 yılında “Justin” isimli gezgin insansı robot geliştirilmiştir (Şekil 2.9). İmalatı gerçekleştirilen bu robotun üst gövdesi 693 mm uzunluğundadır. Robotun üst gövdesi 50 kg olup toplam ağırlığı 195 kg’dır. Robot toplam 51 serbestlik derecesine sahiptir. Bunlardan 8 adedi gövdenin hareketini sağlayan tekerleklere, 3 adedi gövdeye, 7 adedi kollara, 12 adedi ellere ve 2 adedi kafaya aittir (Fuchs 2009).



Şekil 2.9: Justin isimli robot

Robotun alt platformu genişleyip daralabilen bir mekanizmaya sahip olup boyu 1052-1220 mm, eni 658-728 mm arasında değişmektedir. Bu yapı robotun esnek bir hareket kabiliyetine sahip olmasını sağlamaktadır

Dijital dönüşüm ve ileri üretim teknikleri ile sağlanan Endüstri 4.0 süreci üretim süreçlerinde çalışacak robotlarında görev tanımları ve şekilleri değişmektedir. Almanya’da ve birçok diğer ülkede Endüstri 4.0 süreci olarak adlandırılan bu süreç,

Amerika’da akıllı üretim (smart manufacturing), Japonya’da “Innovation-25” ismi ile adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0 kapsamında geliştirilen kollaboratif endüstriyel robotlar operatör ile aynı ortamda iş bölümü içerisinde çalışarak esnek üretim sisteminde önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye’de en çok katma değer sağlayacağı değerlendirilen ileri robotik sistemler ve kollaboratif endüstriyel robotlar Endüstri 4.0’ın önemli alanlarından. Kollaboratif endüstriyel robotların operatörler ve diğer robot otomasyon sistemi ile nesnelerin interneti (IoT) vasıtasıyla etkileşimi geleceğin akıllı fabrikalarındaki üretim sisteminin temel yapısını oluşturmaktadır (Amir 2016).

2.1.3 Çoklu Robotlar

Tek robot sistemlerin çoklu görevlilik özellikleri geliştirildikçe yapıları karmaşık hale gelmeye, işlem ve hareket kabiliyetleri sınırlanmaya başlamıştır (Kara 2016). Daha sonraları robot sistemlerinin yapısal olarak küçülmesi, düşük maliyetlerde ve ulaşılabilir hale gelmesi tek robot sistemlerin görevlerini birden fazla robotun ortak veya görev paylaşımı yapabileceği çoklu robot sistemlerin doğmasına neden olmuştur (Wang 2013). Çoklu robotların, birbirleriyle haberleşerek, koordineli bir şekilde ekip anlayışıyla kısmi ya da tam otonom olarak verilen karmaşık görevleri yapabilmeye yetenekleri basit, sağlam, güvenilir yapılar olması üstünlükleri olarak ortaya çıkmıştır. Çoklu robotlar heterojen veya homojen ekiplerden oluşabilir. İletişim, ortamı algılama, görev anlayışları farklı olabilir. Çoklu robotlarda amaç hedeflenen görevi, robotların belirlenen donanım ve özelliklerine göre birden fazla robotla gerçekleştirebilmektir. Arama kurtarma, keşif, ortamdan bilgi alma, girilmesi zor tehlikeli ortamlara girme, felaket alanlarında haritalama gibi işlerde son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır (Tuna 2012).

2.1.4 Sürü Robotlar

Sürü robotlar ise doğada birden fazla robotun yapması gereken işlemi yapan çoklu robotlardan farkı ise birlikte çalışarak sürü halinde bir sistemden kullanılan robot çeşitleridir. Bu alanda kullanılan robotların çok küçük alanlarda da çalışabilmesi ve mikro boyutlarda işlemler gerçekleştirmesi bu robotik sistem türünün ortaya çıkmasında önemli rol almıştır (Akyol 2012). Bu sistemin diğer robot sistemleri ile kıyaslandığında dağınık yapıdan uzak birleşik ve eşit çalışma prensibi ve uygulanan sistemlerin ortak olması sebebi ile karışılacak olan problemlerin çözümünde de ortak olarak çözülebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Aynı zamanda sağlamlık güvenilirlik ve esnek çalışma yapısıyla beraber otomasyon sistemlerinde tercih olarak kullanılması ön plana çıkmaktadır (robotpark.com web sitesi 2018). Tüm bu detaylara ve özelliklere rağmen bu alanda çok fazla gelişme sağlanamayıp dünyadaki araştırmaları halen devam etmektedir. Harvard Üniversitesinin yaptığı bir çalışmayla bu robotların çok küçük boyutlarda 1100 adedin üzerinde efektif olarak uyguladıkları sistemler mevcuttur.

2.1.5 Mikro-Nano Robotlar

Mikrobotlar , 20. yüzyılın son on yılında mikrodenetleyicinin ortaya çıkması ve silikon üzerinde mikroeletromekanik sistemlerin (MEMS) ortaya çıkması sayesinde doğdu, ancak birçok mikrobot sensörler dışındaki mekanik bileşenler için silikon kullanmaz. Bu tür küçük robotların ilk araştırması ve kavramsal tasarımı, 1970'lerin başında ABD istihbarat teşkilatları için sınıflandırılmış araştırmalarda gerçekleştirildi . O zaman tasavvur edilen uygulamalar, savaş esiri kurtarma yardımı ve elektronik önleme görevlerini içeriyordu. Alta yatan minyatürleştirme destek teknolojileri o zamanlar tam olarak geliştirilmemişti, bu nedenle prototip geliştirmedeki ilerleme, bu erken hesaplamalar ve konsept tasarımından hemen gelmiyordu. 2008'den itibaren, en küçük mikro robotlar çizik tahrikli aktüatör kullanıyor.Kablosuz bağlantıların, özellikle Wi-fi (yani ev ağlarında) gelişimi, mikrobotların iletişim kapasitesini ve sonuç olarak daha karmaşık görevleri yerine getirmek için diğer mikrobotlarla koordinasyon yapma yeteneklerini büyük ölçüde artırdı.

Gerçektende, Harvard Üniversitesi'nde kendisini çeşitli şekillerde bir araya getiren 1.024 robot sürüsü ve DARPA'nın hafif, yüksek mukavemetli yapılar inşa edebilen "MicroFactory for Macro Products" programı için SRI International'da mikrobotlar üretiyor.

Xenobot adı verilen mikrobotlar da metal ve elektronik yerine biyolojik dokular kullanılarak inşa edildi . Xenobot'lar, kendi kendine güç sağladıkları, biyolojik olarak parçalanabildikleri ve biyoyumlu oldukları için geleneksel mikrobotların bazı teknolojik ve çevresel komplikasyonlarından kaçınırlar.

2.1.6 Biyo-ilhamlı Robotlar

Son yıllarda, mühendislik tasarımında biyolojiden ilham alan yaklaşımların faydaları giderek daha açık hale geldi. Ayrıntı düzeyi önemli ölçüde değişebilse de, bir tür biyolojik etkinin robotik sistemlerin performansını artırabileceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Canlı organizmalar, geleneksel mühendislik metodolojileri kullanılarak gerçekleştirilenin zor olduğu kanıtlanmış bir dizi arzu edilen mühendislik özelliği sergileyen karmaşık sistemlerdir. Bu alandaki araştırmalar, sensör geliştirme, yapay zeka, nörobilim, simülasyon/modelleme ve robotik tekniklerini başarılı bir şekilde birleştirmiştir.

Biyolojiden ilham alan robotik, robotistler ve biyologlar arasındaki iş birliğini güçlendirmeyi amaçlayan çok disiplinli bir yaklaşımla karakterize edilir. IEEE Robotics and Automation Society (RAS) Biorobotics Teknik Komitesi (TC), biyolojik ve yapay (otonom veya yarı özerk) sistemler arasındaki etkileşim için bir forum ve yayma mekanizması sağlamak ve biyolojiiyi bir öğrenme aracı olarak sunmak amacıyla oluşturulmuştur.

2.1.7 İşbirlikçi ve Etkileşimli Robotlar

Bir kobot veya işbirlikçi robot, paylaşılan bir alanda veya insanlarla robotların birbirine yakın olduğu yerlerde doğrudan insan-robot etkileşimi için tasarlanmış bir robottur.

Cobot uygulamaları, robotların insan temasından izole edildiği geleneksel endüstriyel robot uygulamalarıyla çelişir . Cobot güvenliği, hafif yapı malzemelerine, yuvarlatılmış kenarlara ve doğal hız ve kuvvet sınırlamasına veya güvenli davranışı sağlayan sensörlere ve yazılımlara dayanabilir (Wang 2015). Cobot'lar, robot bilimindeki en son teknolojidir ve otomasyon dünyasını önemli ölçüde değiştirmiştir. Cobot adı, "işbirlikçi robot" un bir türevidir. Bu robotlar işbirlikçidir çünkü insanlarla güvenli bir şekilde birlikte çalışabilirler. Bunu, robota "his" veren hassas sensörlerle donatıldıkları için yapabilirler. Robotun çalışması kesintiye uğrarsa, bir güvenlik moduna geçer. Geleneksel robotlar, potansiyel olarak insanları yaralayarak yollarına devam ederdi. İşbirlikçi özelliklere ek olarak, robotların birkaç avantajı daha vardır. Cobot'lar, küçük ve orta ölçekli üreticiler için oyun alanını eşitledi. Onlarca yıldır büyük üreticiler, geleneksel endüstriyel robotları kullanarak otomasyon avantajına sahip oldular. Ancak bu büyük, pahalı ve karmaşık robotlar, küçük üreticilere özgü düşük hacimli, yüksek karma üretimin aksine, yüksek hacimli ve değişmeyen üretim süreçleri için tasarlandı (Alonso 2013).

2.1.8 Haptik Sistemler

Robotik ve sanal gerçeklik literatüründe, haptik geniş bir şekilde robotlar, insanlar ve gerçek, uzak veya simüle edilmiş ortamlar arasındaki çeşitli kombinasyonlarda gerçek ve simüle edilmiş dokunma etkileşimleri olarak tanımlanır. Robot yardımcı minimal invaziv cerrahide haptik teknolojisinin amacı, cerrahın uzaktaki bir mekanizmayı çalıştırmış gibi hissetmediği, bunun yerine kendi ellerinin hastayla temas ediyormuş gibi hissettiği "şeffaflık" sağlamaktır. Bu, dokunsal bilgileri elde etmek için hasta tarafındaki robotta yapay dokunsal sensörler ve bilgiyi cerraha iletmek için dokunsal ekranlar gerektirir. Haptikleri doğada kinestetik (kasların ve eklemlerin kuvvetleri ve konumlarıyla ilgili) ve/veya kutanöz (dokunsal; ciltle ilgili) olarak sınıflandırıyoruz. Dokunma, bazı durumlarda elde edilmesi ve gösterilmesi şöyle dursun, modellenmesi ve ölçülmesi zor olan kuvvet, dağıtılmış basınç, sıcaklık, titreşimler ve dokuyu içerir. RMIS sisteminin sağladığı manevra kabiliyetinden ve el becerisinden ödün vermeden cerraha sayısız dokunsal bilgi sağlamak büyük bir teknik zorluktur. Aynı zamanda, robot bileşenleri, özellikle tek kullanımlık aletler, düşük maliyetli ve sağlam kalmalıdır (Popescu 2014).

2.2 Endüstriyel Robotların Avantajları ve Dezavantajları

Endüstriyel robot kolların avantaj ve dezavantajlarına bakacak olursak:

2.2.1 Avantajları

- Üretimdeki maliyet oranının düşürülmesi
- İşçilik maliyetlerinin azalması
- Üretim yerlerindeki vardiya sorununa kesin çözüm olarak sürekli çalışabilmesi
- Kısa sürede kendi maliyetini çıkarabilmesi
- İnsan yaşamının tehlikeli olabileceği ortamlarda güvenli bir şekilde çalışabilmesi
- Aynı performans kalite ve verimlilikle çalışmasına devam edebilmesi
- İnsanlara oranla daha hızlı daha fazla yük taşıma işlemlerine elverişli olması

2.2.2 Dezavantajları

- Yanlış yapılan bir işlemde yorumlama yeteneğinin olmaması
- Verilen görevleri yapabilmesi açısından farklı yerlerde uygulama yapması zordur
- Yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu
- Bakım ve onarıma ihtiyaç duyması
- Rutin yapılması planlanan görevlerde yanlış işlem olduğunda fark edememesi

2.3 İşbirlikçi Robot Ana Bileşenleri

İşbirlikçi robot bileşenleri diğer sistemlerde olduğu gibi kullanılan amaca yönelik değişkenlik gösterebilmektedir. Genel olarak bakacak olursak robot kolların ana sistem parçaları şunlardır:

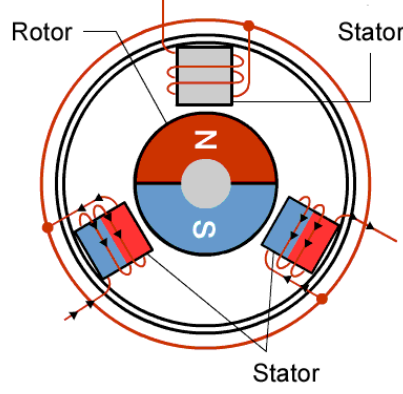
- Motor (Dc, Servo veya Step Motor)
- Redüktör (Sikloid, Harmonik, Planet vb.)
- Enkoder
- Mikroişlemci
- Mikrodenetleyici
- Sensörler
- Bağlantı Elemanları
- Gövde
- Diğer yardımcı ekipmanlar

2.3.1 Motor

İşbirlikçi robotların üretiminde en önemli faktörlerden biri motor seçimi konusunda yapılır. Kullanılan Motorun voltaj, amper değeri, tork kapasitesi ,boyutları vb. konularda birbirlerinden ayrılan motor çeşitleri mevcuttur. Bu kısımda motor seçiminde kullanılan yöntemlerden bahsetmek gerekirse motorların doğrudan kola bağlanması durumunda koldaki ağırlığın doğrudan motor tarafından karşılanması çok güç olacaktır. Bunun için redüktör dediğimiz sistem ile motor torkunu arttırılması düşünülür. Fakat bu sistem ile tork artışı sağlanması mümkünken aynı zamanda hız kaybına da sebep olmaktadır. Bunun doğrultusunda seçilen motorun yüksek rpm değerlerinde olması beklenmektedir.

2.3.1.1 Fırçasız Dc Motor

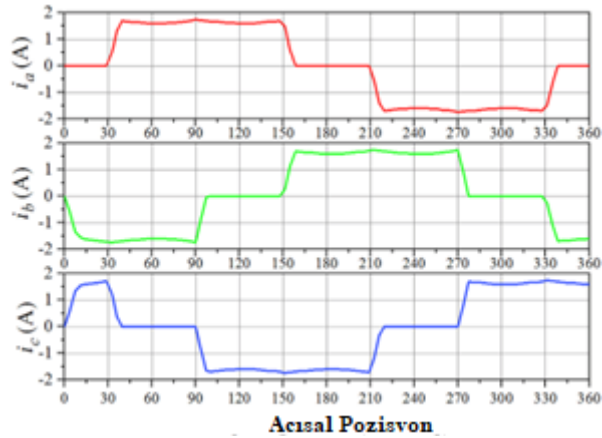
Bir fırçasız dc motor iki ana parçadan oluşmaktadır. İlk olarak stator ve rotor olarak incelenmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Fırçasız Motor İç yapısı

Bobin üzerine uygulanan elektrik akımı ile manyetik bir alan oluşur ve oluşan manyetik alan ile mıknatis kutupları sürekli değişebilmektedir. Buna paralel olarak elektrik motorlarının çalışma şekli şu şekildedir.

Statora uygulanan elektrik akımı ile bobinde bulunan rotor kutupları yer değiştirip birbirlerine çekmeye başlayacaktır. Ve bu sayede manyetik alan oluşumu gerçekleşecektir. Bu şekilde sistemde bulunan her bobini sırayı ile aktif etmeye çalışırsak rotor sistemde bulunan mıknatis ile beraber dönme eylemi gerçekleştirecektir. Ve bu sayede dönme eylemi gerçekleşmiş olacaktır.

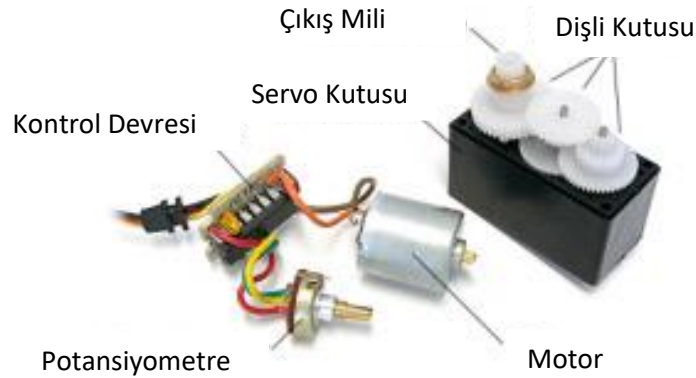


Şekil 2.11: Fırçasız motor elektrik dalga formu

Şekil 2.11’de gösterilen dalga formunu inceleyecek olursak her bir harekette negatif bir faz olduğunu ve aynı adımda birde pozitif faz olduğunu diğer fazın ise nötr olduğunu görmekteyiz. Bu üç fazın uç noktalarını birbirlerine bağlayıp böylece iki faz aynı anda elektrik akımını paylaşarak tek bir akım kullanabilecek anlamına gelmektedir.

2.3.1.2 Servo Motor

Servo motorların iç yapısında aslında hareketi sağlamak için bir dc motor kullanıldığı görülmektedir. Bu motorun dışında ise bir dişli yapısı ile potansiyometre ve motorun kontrolü için gerekli motor sürücü bulunmaktadır. Burada potansiyometrenin görevi motorun dönüş süresi ve adımını ölçmektir. Şekil 2.12 ‘de bulunan dc motor hareket ettikçe bununla beraber potansiyometrede hareket etmektedir. Motor sürücü ise potansiyometreden aldığı veriler ile motorun ilk konumunda diğer konuma dönmesi işlemini motora iletir. Servo motorların çalışma açıları genellikle 180 derece olup ihtiyaç doğrultusunda 360 derece dönebile servo motorlarda geliştirilmektedir. Servo motorların genel voltaj aralığı 4 ile 6 volt arasında iken isteğe bağlı olarak 7 ile 9 volt arasında da kullanılan servolar bulunmaktadır.



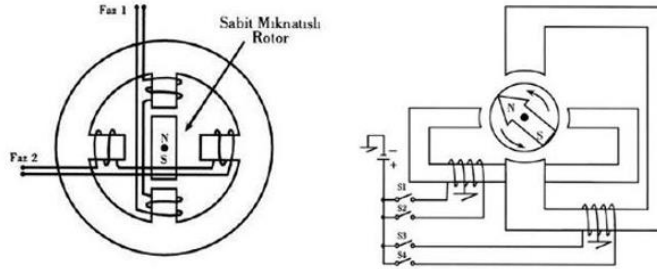
Şekil 2.12: Servo motor iç yapısı

Servo motorlar PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) sinyal ile hareketlerini sağlamaktadırlar. Bu sinyaller bir mikrodenetleyiciden ya da uzaktan kontrol sistemleri ile çalışabilmektedirler. Servo motor her 20 ms’de bir pals değeri algılamaktadır. Pals uzunluğu motorun dönüş adımını etkilemektedir. Örnek olarak 1.5 ms’lik bir pals, motorun 90 derece pozisyonunu almasını sağlayacaktır (Nötr Pozisyon).

Servolar hareket etmeleri için bir komut aldıklarında önce istenilen pozisyona hareket ederler, sonrasında ise o pozisyonda kalırlar. Servo motorlar kendi buldukları konumda sabit bir şekilde dururken dışarıdan uygulanan etmenlere karşı güç uygulayabilmektedirler. Servo motorlar buldukları konumu sürekli olarak koruyamazlar. Buldukları konumları devam ettirebilmeleri için sürekli pals üretilmesi gerekmektedir. Hareket etmeleri için kullandıkları pals değerinin belirli bir aralığı bulunmaktadır. Bu değer minimum değeri 1 ms iken maksimum değeri 2 ms olarak bilinmektedir (botem.com web sitesi 2022).

2.3.1.3 Step Motor

Elektrik enerjiyle beraber motorun dönme hareketini sağlayan ve bunu fiziksel enerjiye dönüştürerek adımlar ile açısıl hareket sağlayan yapılardır. Farklı yapılarda bulunan step motorlar amaca uygun olarak farklı niteliklerde kullanılan sistemler olarak üretilen bir motor çeşididir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Step motor elektriksel diyagramı

Farklı projeler için farklı boyut ve hız içerebilen çeşitli sistemlerde kullanılabilen farklı güçlerde kullanılabilen step motor çeşitleri bulunmaktadır. Step motorların genel özellikleri ise şöyledir:

- Step motorlar farklı boyutlarda sınıflandırılırlar
- Step motorda hız parametresi kullanılan yerlere göre farklı olarak ayarlanabilmektedir. Ve motorun hızını sistem içinde çalışırken de ayarlamak mümkün olacaktır.

- Step motorlar üzerindeki kontrol, step motor sürücüleri aracılığı ile arttırılabilir.
- Step motorlar diğer motor sistemlerine göre fiyat performans olarak ön plana çıkmaktadırlar. Aynı zamanda motor bakımı ve kullanımı daha kolaydır.
- Lojik kontrol sistemleriyle de ortak çalışabilmektedir.
- Çeşitli ihtiyaçlara karşılık verebilmektedir.

2.3.2 Redüktör

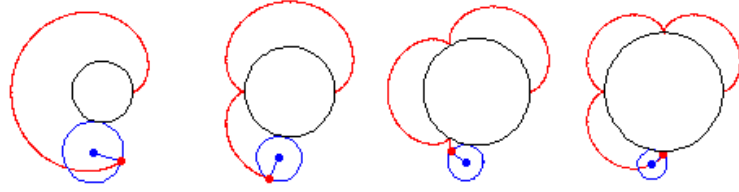
İşbirlikçi robot kolların diğer önemli bileşenlerinden biri de redüktörlerdir. Redüktörler kullanıldıkları sistemlerde devir-tork oranının değişmesini sağlayan başlıca etmenlerden biridir. Motor ucuna bağlanan giriş parçasıyla dişliler yardımıyla torkun artmasını ya da azalmasını sağlayabilmektedir. Redüktörlerin genel amaçlarından biri ise farklı dönme yönleri elde etmek, küçük alanlarda yüksek çevrim oranı sağlayıp torkun artmasını sağlamak, güç aktarımını sağlamak gibi başlıca özellikleri bulunmaktadır. Redüktör türleri ise şu şekildedir.

2.3.2.1 Planet Dişli Redüktör

Planet dişli redüktörler bir dış dişliye eşit biçimde yerleştirilmiş olan pinyon dişliler sistemidir. Motordan aldığı ilk dişli pinyon dişlileri tahrik ederek dış dişlinin dönmesini sağlar. Merkez dişlinin dönüş yönü ile çıkış dişlisinin dönüş yönü farklıdır. Sistemdeki kullanılan diş sayısı arttıkça dönme etkisi azalmaya başlar. Gücün belirli bir kısmı dönme gücü olarak aktarımı sağlandığından bu redüktör sistemlerinin gücü oldukça verimlidirler. Planet redüktörler birleşik ve kompakt yapıları sayesinde diğer redüktör sistemlerine nazaran daha fazla tork ve güç üretim sağlamaktadırlar (neugart.com web sitesi 2018).

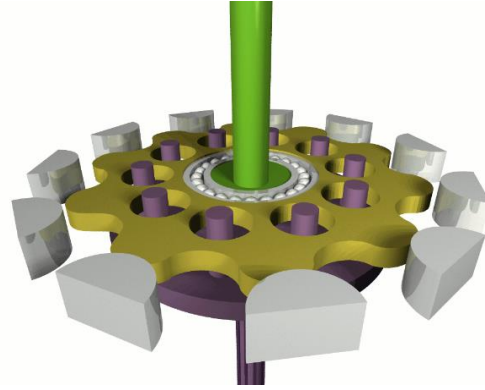
2.3.2.2 Sikloidal Redüktör

Günümüzde birçok farklı robot kollarda hassasiyet ve tork artımına ihtiyaç vardır. Bu alanlarda kullanılması özellikleri ile farklı redüktör sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri olarak bilinen sikloid redüktörler giriş milindeki hızı belirli oranda düşürerek sikloid eğriler ile tork artımı ve güç planlaması sağlamaktadırlar.



Şekil 2.14: Sikloid hareket çizelgesi

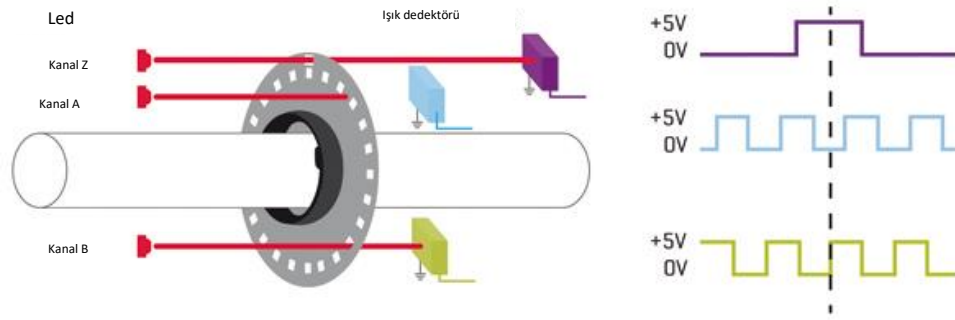
Sikloid eğrinin tam olarak yaptığı görevden bahsetmek gerekirse Şekil 2.14 'de bir mil etrafında bir nokta etrafında dönerek çıkarmış olduğu eğri yapılarıdır. Sikloid redüktörler eksantrik bir mil kullanılarak oluşturulan ve bu eksantrik parçanın sikloid dişliyi aksenal bir biçimde döndürmesiyle sikloidin dış çeperdeki dişlilerle sıkışmasını sağlayarak sorunsuz dönmesini sağlamaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: 10:1 sikloid simülasyonu

2.3.3 Enkoder

Enkoder motor miline bağı olduğu hareket karşılık sinyaller üreterek kullanılan elektromekanik sistem olarak bilinmektedir. Enkoderin ana görevlerinde biri motorun konum bilgisini tur sayısı ile hesaplara kullanabilmesidir. Ve hız ve yön gibi parametrelerde de kullanılmaktadır. Doğrusal veya döner olmak üzere ikiye de ayrılır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: Artımsal tip enkoder elektronik dalga şeması

2.3.4 Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyici (MCU ve μC), bir metal oksit tabaka üzerine mosfet ve transistörlerin yerleşimiyle kurulmuştur ve karşıdan alınan veriyi hafızasında depolayan ve bu bilgiyi derleyip çıktı olarak veriler sunabilen yapılardır.

Mikrodenetleyicinin yapısında:

- CPU
- RAM
- ROM
- I/O Portları
- Seri ve Paralel Portlar
- Sayıcılar

- D/A (Dijital to Analog) çeviriciler
- A/D (Analog to Dijital) çeviriciler

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yapılan çalışmalarda kullanılan malzemelerin seçimi, malzemelerin teknik özellikleri, robot kol tasarım süreçleri, yazılım entegrasyon süreci, elektronik kart tasarım ve üretim süreci ile ilgili bilgiler verilmektedir.

3.1 İşbirlikçi Robot Malzeme Ve Ekipman Seçimi

İşbirlikçi robotların genel malzeme seçimlerinde yukarıda belirtilen hususlar çerçevesinde en verimli malzeme ve ekipmanlar belirlenmiştir. Seçim kısmında önceden test edilmiş ve teknik özellikleri kullanım amacına uygun bir şekilde belirlenmiştir.

3.2 İşbirlikçi Robot Donanım Özellikleri

Bu bölümde tercih edilen donanım malzemeleri ve bu malzemelere ait teknik bilgiler paylaşılmaktadır.

3.2.1 Fırçasız Dc Motor

Fırçasız dc motor seçimi yapılırken ilk öncelikle robot kol için uygun ölçülerde motor özellikleri ayrıldıktan sonra motorun volt, amper, Kv değeri, Rpm değeri, watt değeri gibi parametrelerin karşılanması gereken motor özelliklerine göre uygun motor araştırılması yapılmıştır. Kullanılması uygun görülen motorun özellik tablosu Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Sk3 6374 Motor özellikleri

KV (rpm/V)	149.00	Maksimum Akım (A)	70.00
Direnç (mh)	21.00	Maksimum Voltaj (V)	44.00
Güç (W)	2250.00	Mil Çapı (mm)	8.00
Uzunluk B (mm)	86.00	Yükseklik (mm)	63.00
Dış Çap (mm)	74.00	Toplam Uzunluk (mm)	113.00

3.2.2 Motor Sürücü

Robot kol için kullanılan motor sürücü seçiminde ana parametre motor özelliklerini amper ve volt değerlerini karşılayabilmesi aynı zamanda sistemde kullanılacak enkoder ile haberleşme yapabilmesi, Uart bağlantı pinlerine sahip olması ve kullanılan yazılıma uygunluğuna göre seçim yapılmıştır. Tablo 3.2 'de seçilen motor sürücünün teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 3.2: Odrive V3.6 volt, amper aralık değerleri

Özellikler	Min.	Tip	Maks.	Birim Açıklamalar Ve Notlar	
DC Voltaj	15		58	V	
Aux Lojik Voltaj		12	14	V	Opsiyonel
Motor Akım			20	A	Soğutmasız
			80	A	Aktif Soğutmalı (25°)
			120	A	Anlık (3 saniye maks.)

3.2.3 Enkoder

Enkoder seçiminde önemli parametreler kullanılan enkoder indeks sinyali ,maksimum çalışabileceği rpm, voltaj değeri, CPR değeri gibi değerlerin motor ile eş değer olması belirlenmiştir. Seçimi yapılan enkoder ile ilgili detaylı bilgi Tablo 3.3 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.3: AMT 102 serisi enkoder özellikleri

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER					
Parametre	Koşullar / Açıklamalar	Min.	Tip	Maks.	Birimler
Güç kaynağı	VDD	3,60	5,00	5,50	V
Anlık akım değeri	yüksüz akım değeri		6,00		mA
Yüksek seviye çıkış		voo-o.8			v
Düşük seviye çıkış				0.4	v
Çıkış akımı	Kanal başına CMOS havuz/kaynak			2,00	mA
Yükselme/Düşme zamanı			30,00		ns
ARTIMLI ÖZELLİKLER					
Parametre	Koşullar / Açıklamalar	Min.	Tip	Maks.	Birimler
Kanal	A, B, ve X indeksi				
Dalga Biçimi	CMOS voltajı kare dalga				
Faz farkı	A, B'yi sola dönüş için yönlendirir [önden bakıldığında]		90,00		derece
Kareleme çözünürlükleri	48, 96, 100, 125,192, 200, 250, 256,384, 400, 500, 512, 800, 1000,1024, 2048				PPR
İndeks	360 derece dönüş başına bir darbe				
Kesinlik			0.25		derece
	256, 5/2, 1024, 2048	49,00	50,00	51,00	%
Görev döngüsü [her çözünürlükte]	48, 96, 100, 125,192,200, 250, 384,400, 500	47,00	50,00	53,00	%
	800, 1000	43,00	50,00	56,00	%

3.2.4 Mikrodenetleyici

Robot kol için uygun mikrodenetleyici seçiminde öncelik olarak sistem frekansı (Hz) değeri, dijital ve analog kullanılabilir bağlantı pin sayısı, baud rate değeri gibi parametreler göz önünde bulundurularak seçim yapılmıştır. Seçilen malzemenin genel özellikleri Tablo 3.4 üzerinde belirtilmiştir.

Tablo 3.4: TEENSY 4.1 özellikleri

Ethernet	10 / 100 Mbit DP83825 PHY
USB bağlantı	5 Pin ile Güç bağlantısı
SDIO (4 bit veri)	Mikro SD Soket
PWM Pinleri	35
Analog Girişler	18
Serial portları	8
Bellek Hafızası	8 Mbyte
Breadboard I/O	42
Alt SMT Pedleri	7
SD Kart Sinyal	6
Toplam I/O Pin	55

3.2.5 Gövde Üretim Malzemesi

Robot kolun dış gövdesinin üretimi için belirlenen malzemenin istenilen özellikler dayanıklılığının yüksek olması aynı zamanda üretim maliyetinin düşük ve üretim için deneme yapılabilmesine elverişli olması bakımından 3d yazıcı ile gövde üretimi yapılmıştır. Burada kullanılan malzeme tercihi PLA (Polilaktik asit) malzeme ile tamamlanmıştır. PLA malzemenin aşağıdaki özellikleri göz önünde bulundurularak doluluk oranı, ağırlık gibi kolun genel özelliklerine uyumu sağlanmıştır.

Tablo 3.5: PLA filament ısıl özellik tablosu

Isıl Özellikler	PLA
Erime Akış İndeksi (MVI)	10.3cm ³ /10dk
Kırılganlık Sıcaklığı	60-65°C
Gevşeme Sıcaklığı	70-80°C
Erime Sıcaklığı	160-190°C
Basım Sıcaklığı	190-220°C
Yatak Sıcaklığı	50-70°C

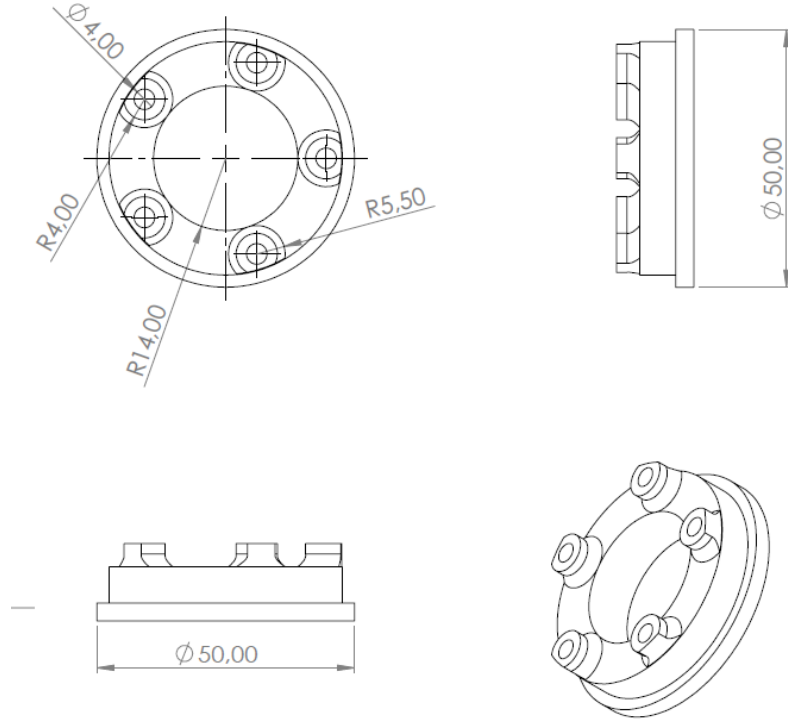
3.3 İşbirlikçi Robot Tasarım Süreçleri

Robot kol tasarım süreci gelişen teknoloji ve isteklere göre, sürekli olarak sürdürmeleri gereken bir süreçtir. Bu süreç yeni fikrin gelişmesi ve pazar çalışması yapılarak başlar. Araştırmalar sonucu ise ürünün prototipinin hazırlanması başlar. Meydana getirilen ürünün ön çalışması yapıldıktan sonra test ve güncelleme süresi başlar bu aşamalarda başarılı olan ürün nihai ürün olarak pazara çıkarılabilecektir.

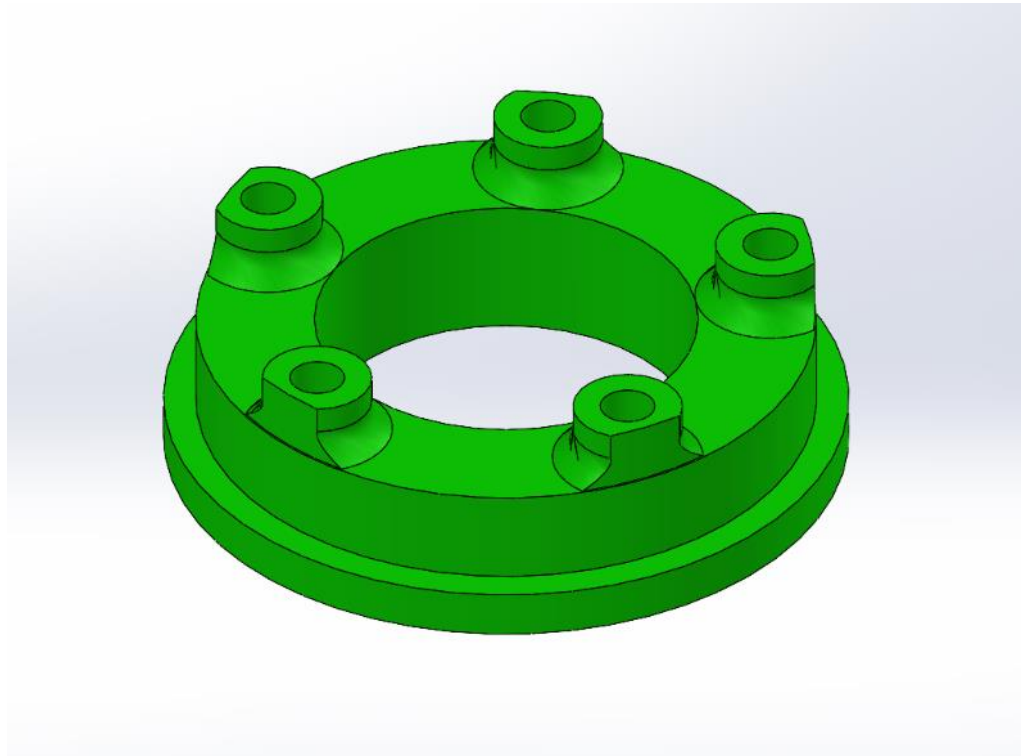
Tasarım süreci öncesinde ürünün planlaması ve araştırılması yapılmıştır. Tasarım süreci öncesinde yapılacak olan sistemin girdisi olarak hedef belirlemiştir. Proje hedefinde son kullanıcıya yönelik Pazar ve rekabet analizi yapılır. Hizmet ürün standardı belirlenmiştir. Daha sonra tasarım fikir ortaya konulduktan sonra tasarım çalışması başlatılmıştır.

Tasarım süreci geliştirme süreci ile entegre edilmiştir. Yapılan sistemin verimlilikleri avantaj ve dezavantaj noktaları boyutları ağırlıkları gibi unsurların yenilenmesinde katkı sağlamaktadır.

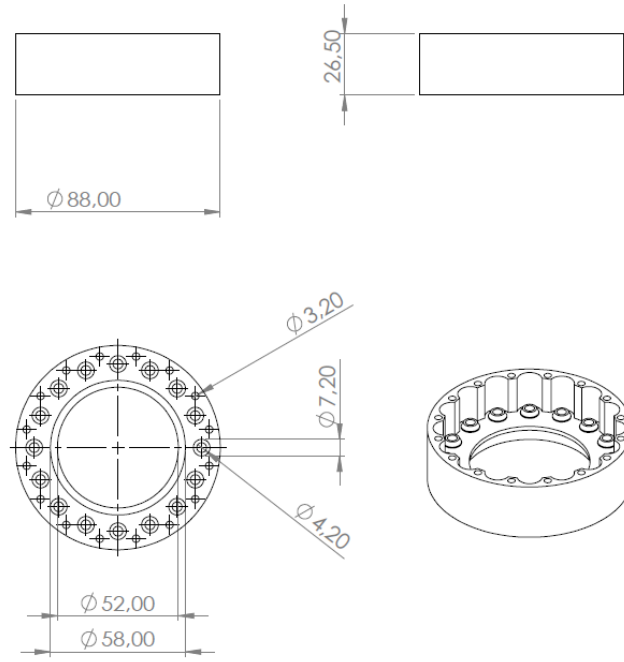
Bu çalışmada ele alınan robot kol tasarım süreci ise öncelikle malzeme seçimi konusunda gerekli malzemelerin ve ekipmanların belirlenmesi daha sonra maliyet tablosu ile üretilebilirlik çalışmaları yapıldıktan sonra ürünün nihai katı modeli ve montaj sistemi oluşturulmuştur. Çalışmanın yapıldığı robot kol sisteminin aşağıda teknik resimleri ile 3 boyutlu tasarım görselleri Şekil 3.1 - Şekil 3.32 'de verilmiştir.



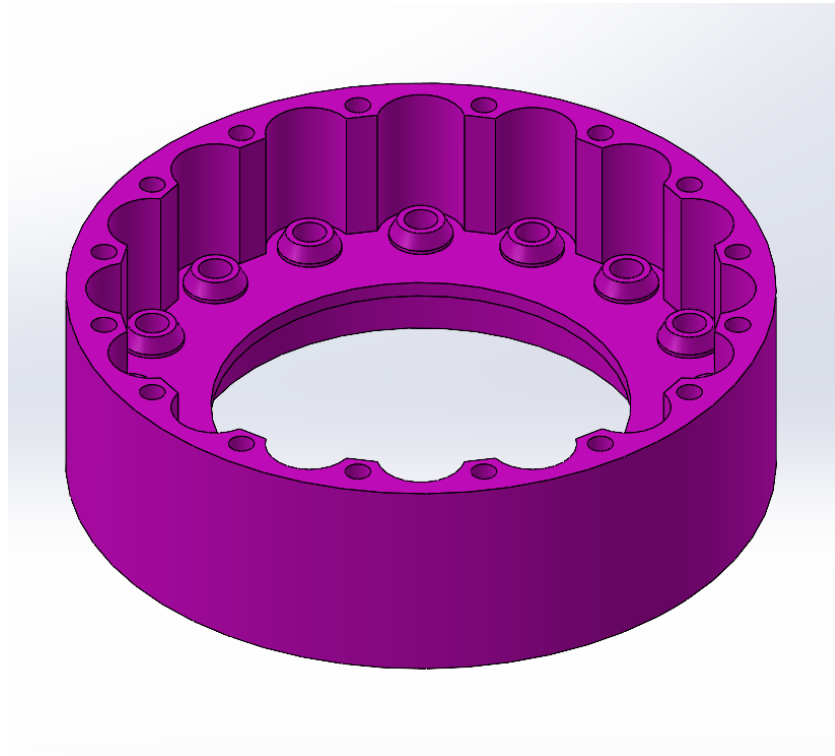
Şekil 3.1: Alt çıkış teknik resim çizimi



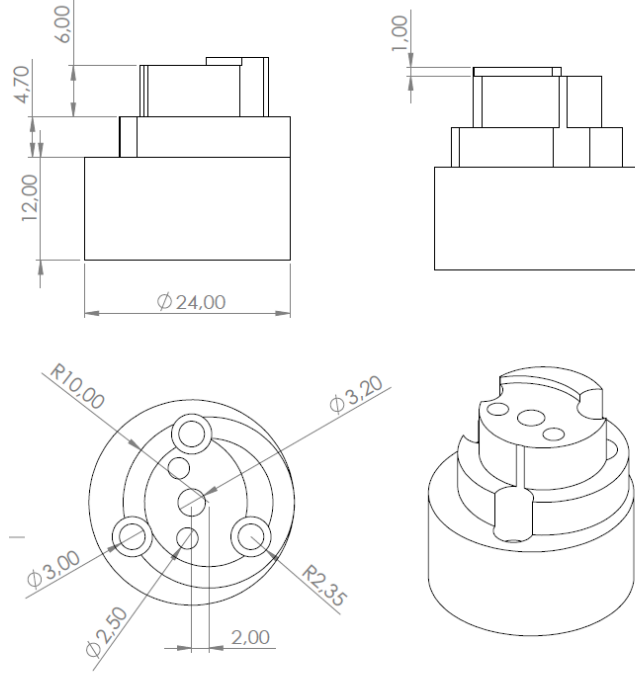
Şekil 3.2: Alt çıkış 3d model görünümü



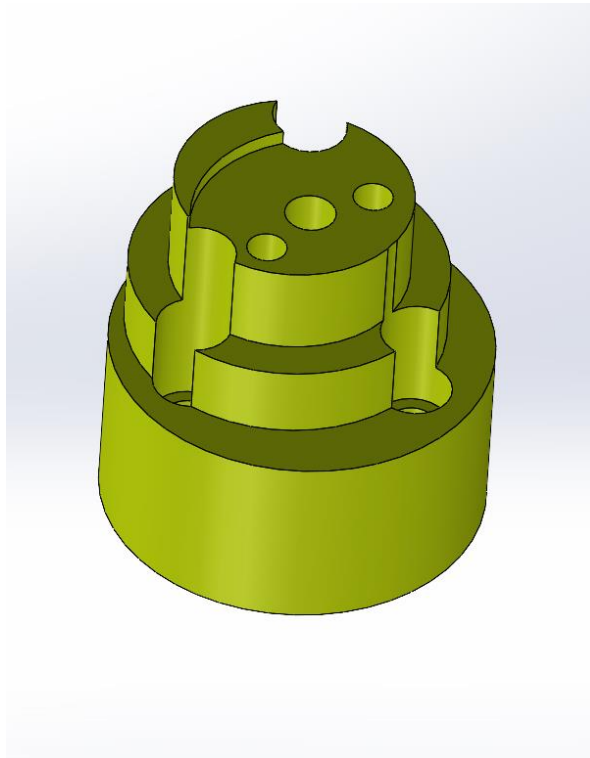
Şekil 3.3: Sikloid gövde teknik resim çizimi



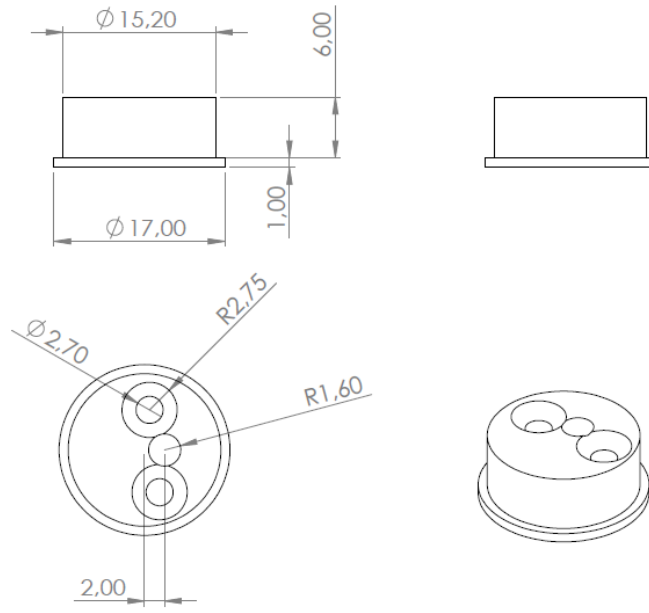
Şekil 3.4: Sikloid gövde 3d model görünümü



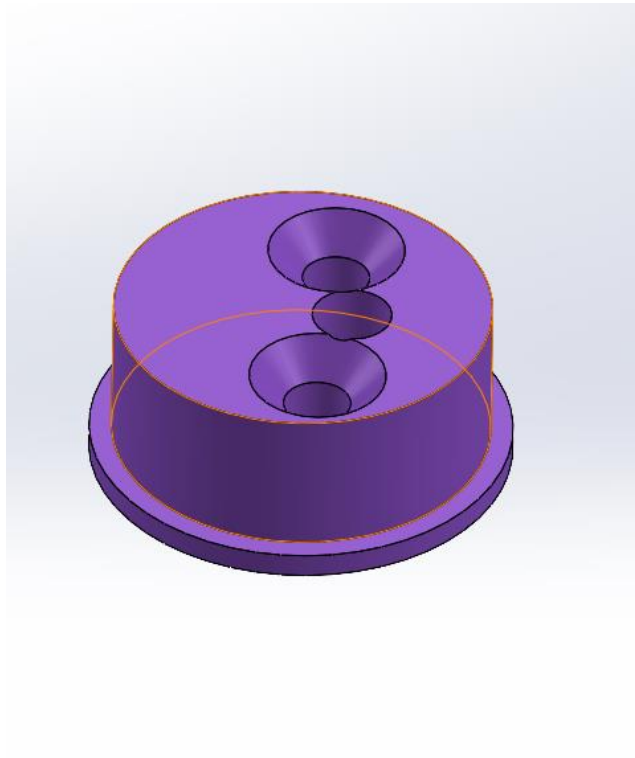
Şekil 3.5: Eksantrik alt teknik resim çizimi



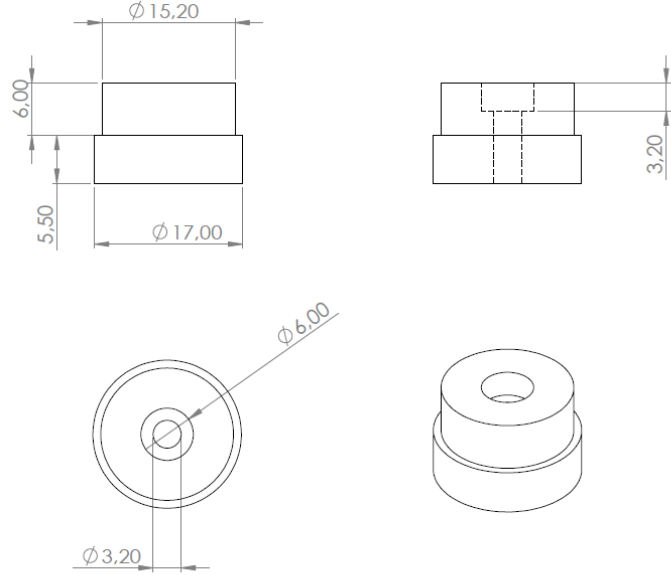
Şekil 3.6: Eksantrik alt 3d model görünümü



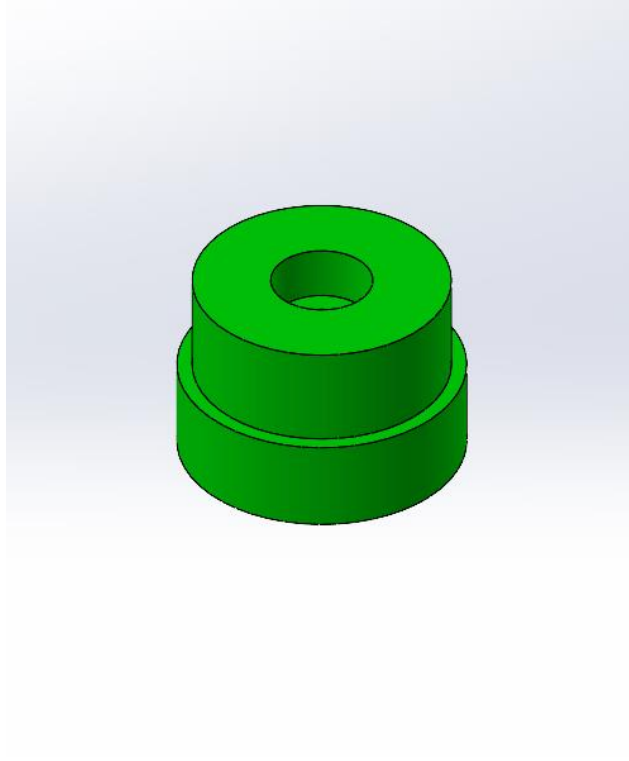
Şekil 3.7: Eksantrik orta teknik resim çizimi



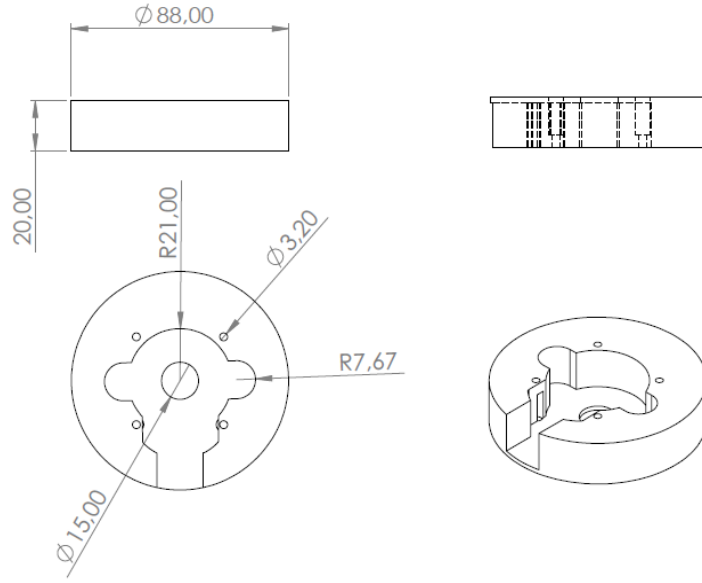
Şekil 3.8: Eksantrik orta 3d model görünümü



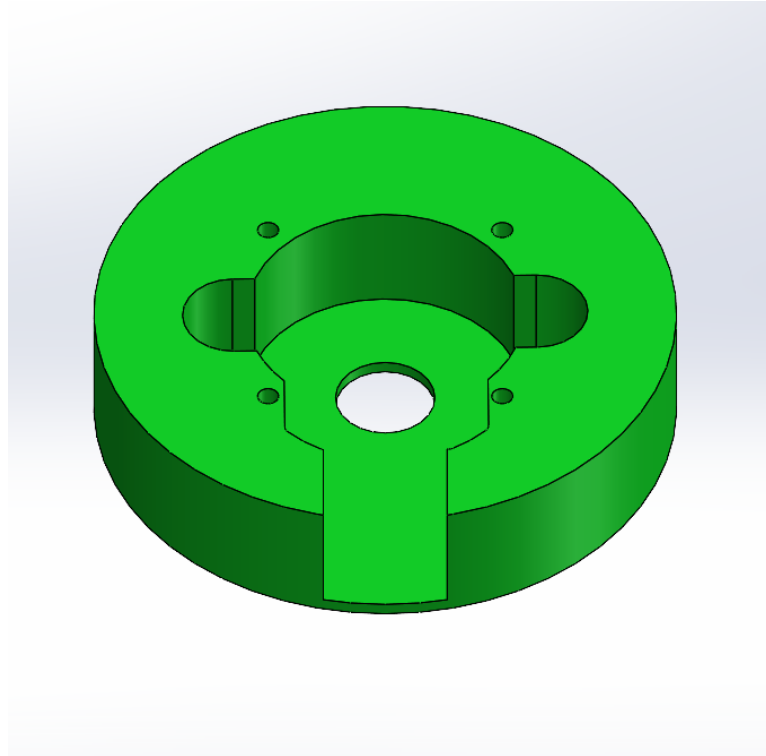
Şekil 3.9: Eksantrik üst teknik resim çizimi



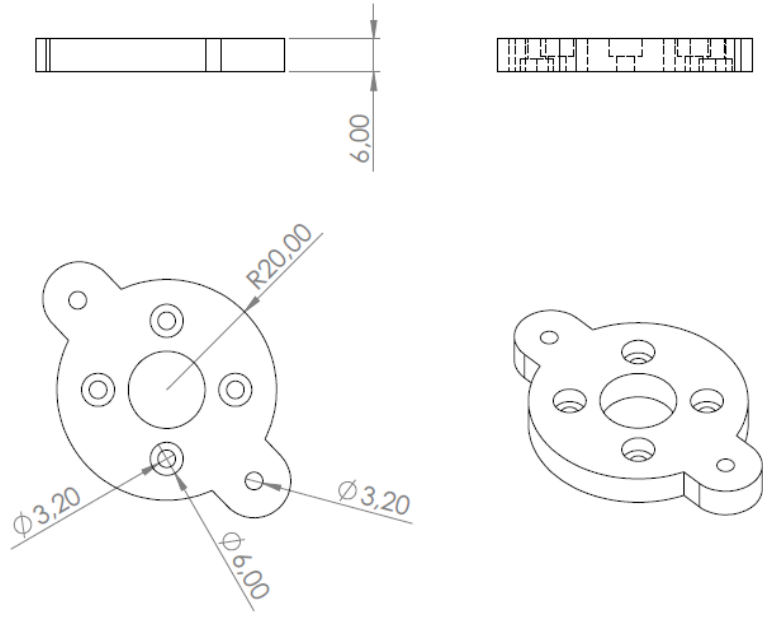
Şekil 3.10: Eksantrik üst 3d model görünümü



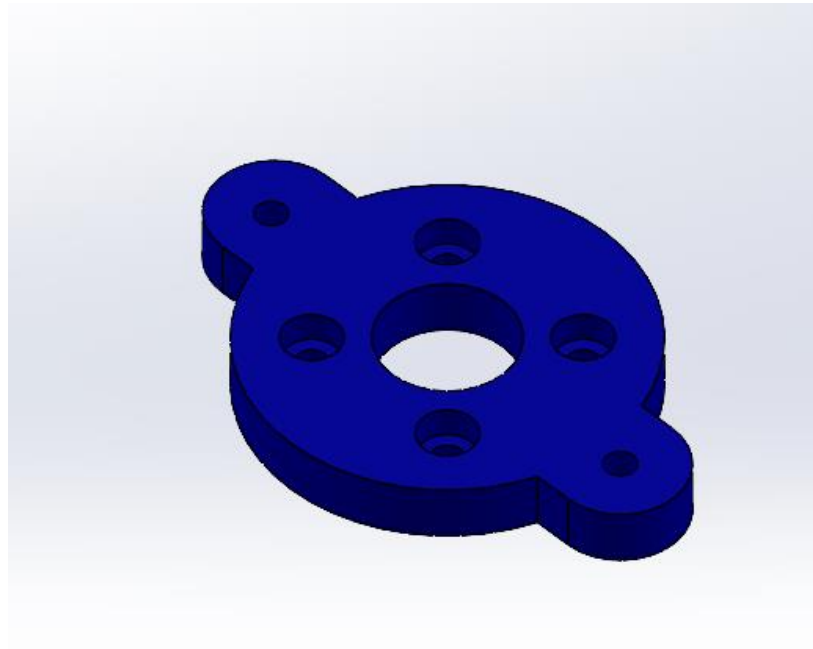
Şekil 3.11: Arka kapak teknik resim çizimi



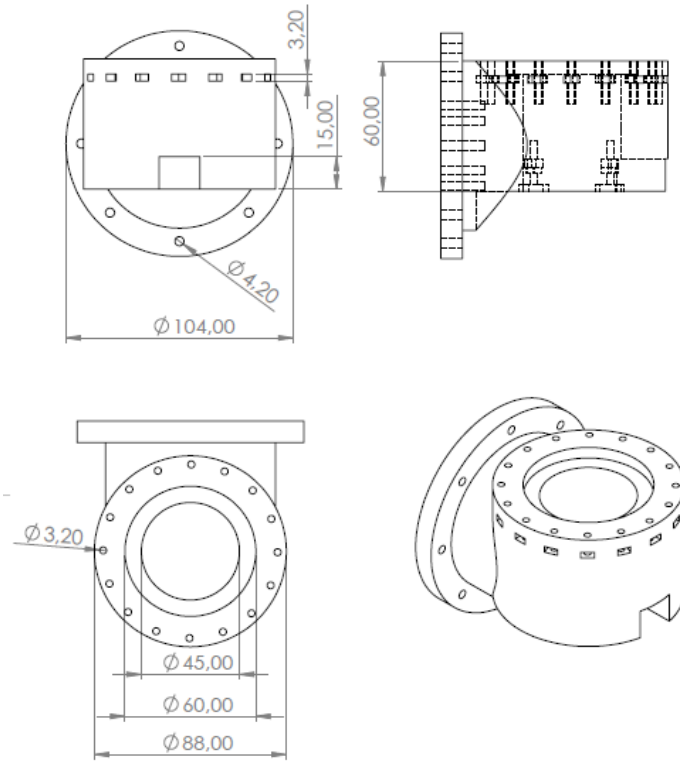
Şekil 3.12: Arka kapak 3d model görünümü



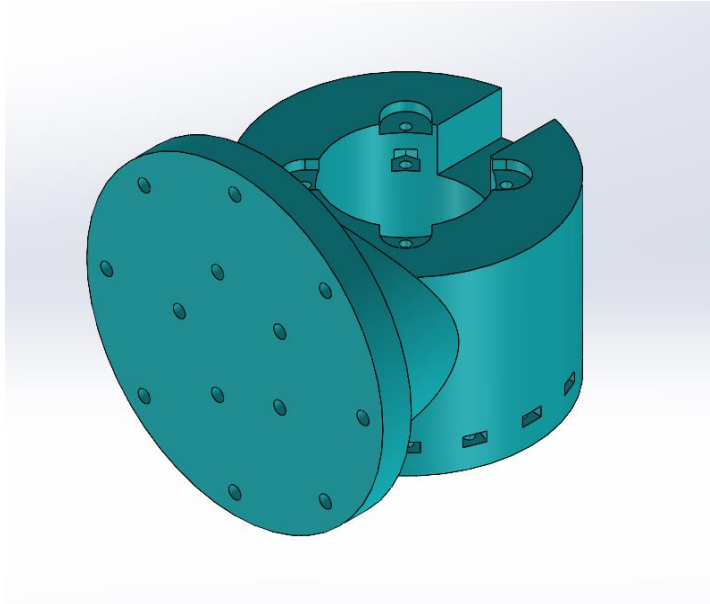
Şekil 3.13: Encoder tutucu teknik resim çizimi



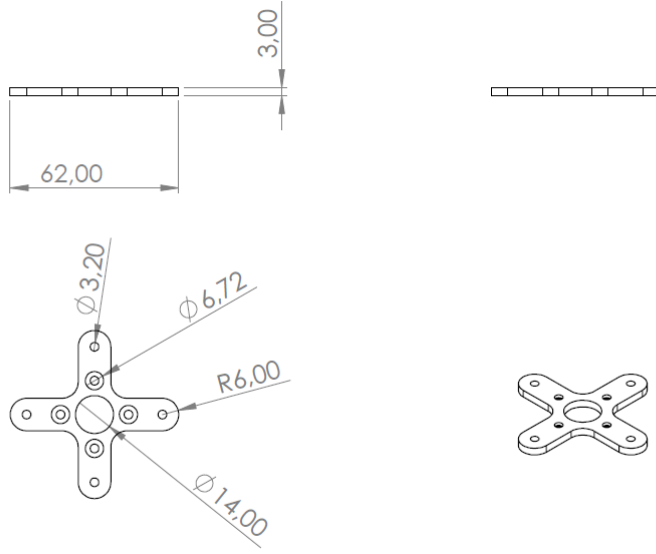
Şekil 3.14: Encoder tutucu 3d model görünümü



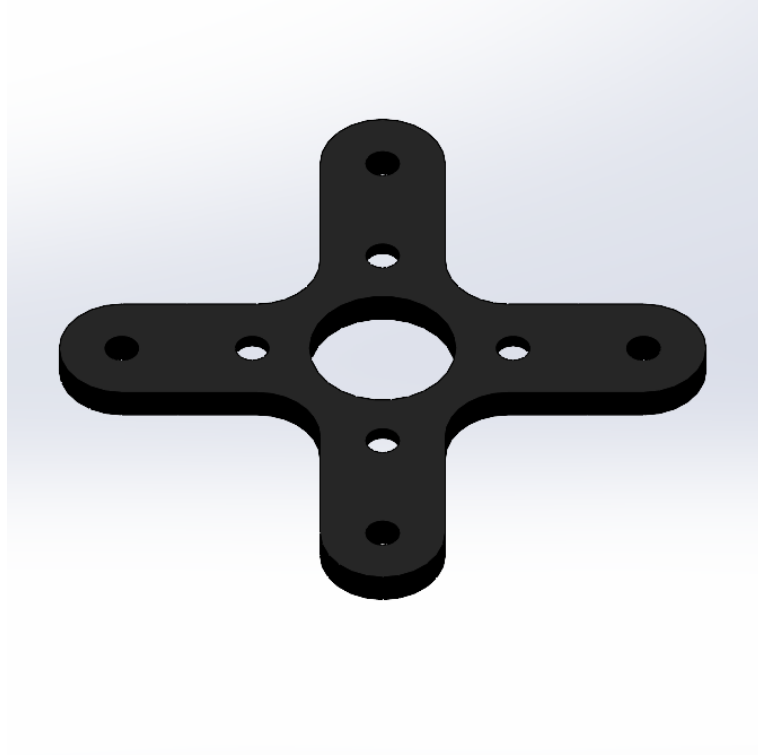
Şekil 3.15: Motor gövde teknik resim çizimi



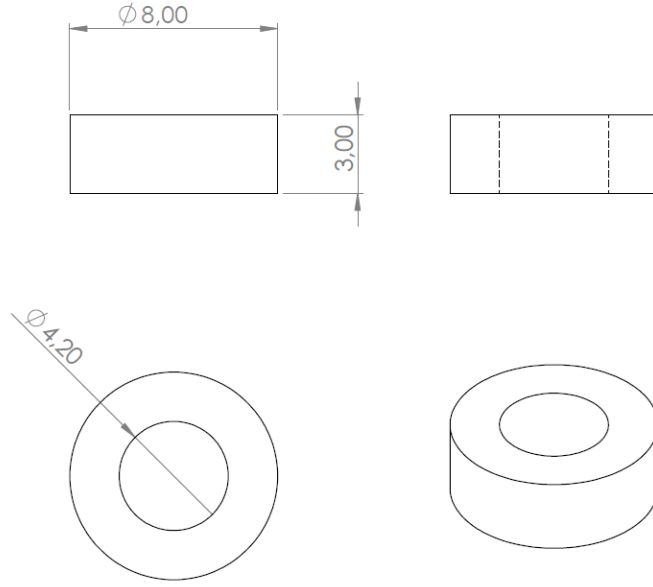
Şekil 3.16: Motor gövde 3d model görünümü



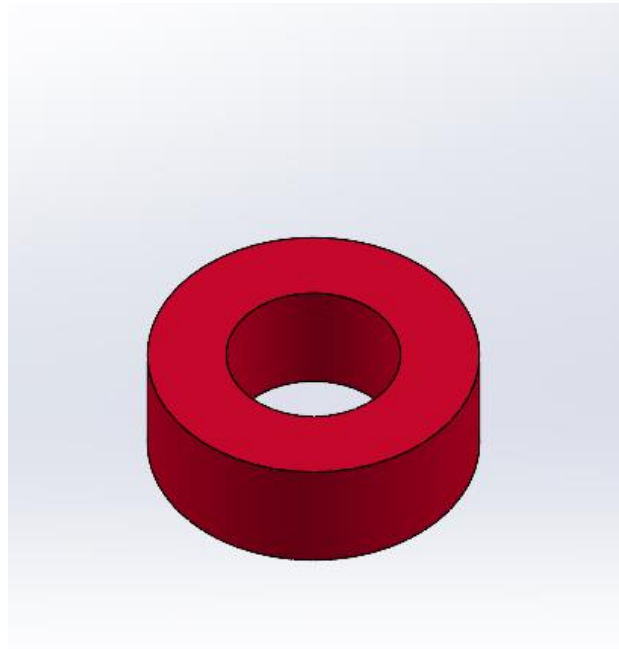
Şekil 3.17: Motor tutucu teknik resim çizimi



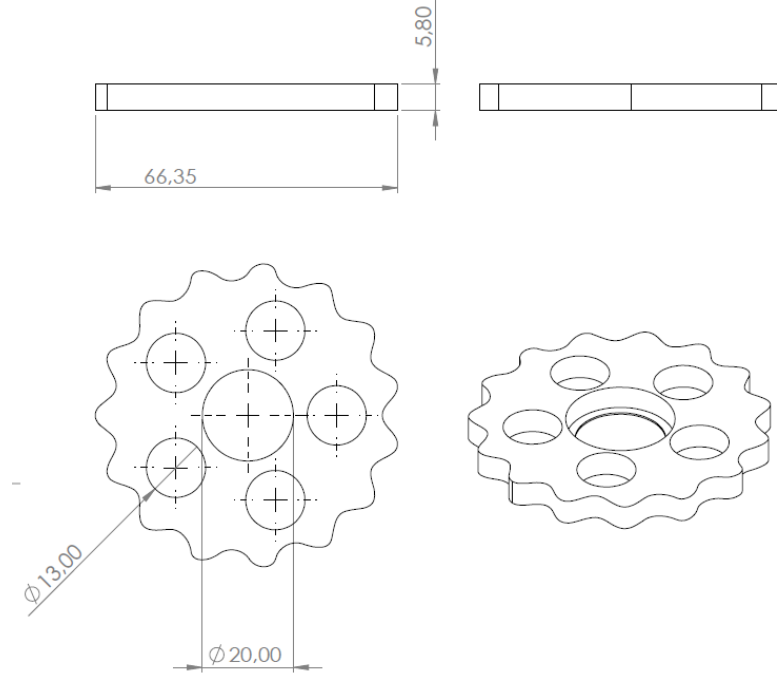
Şekil 3.18: Motor tutucu 3d model görünümü



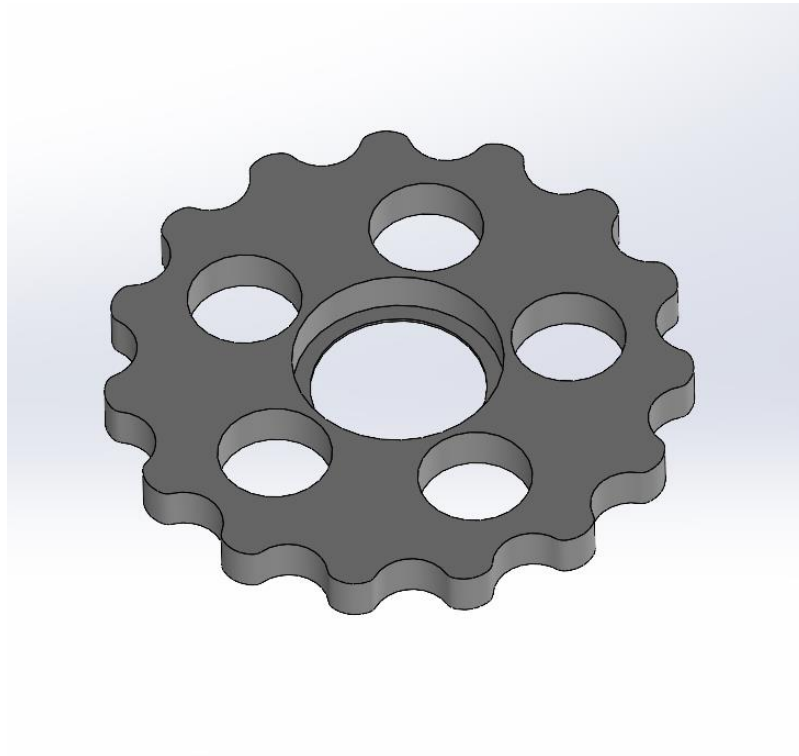
Şekil 3.19: Rulman aralayıcı teknik resim çizimi



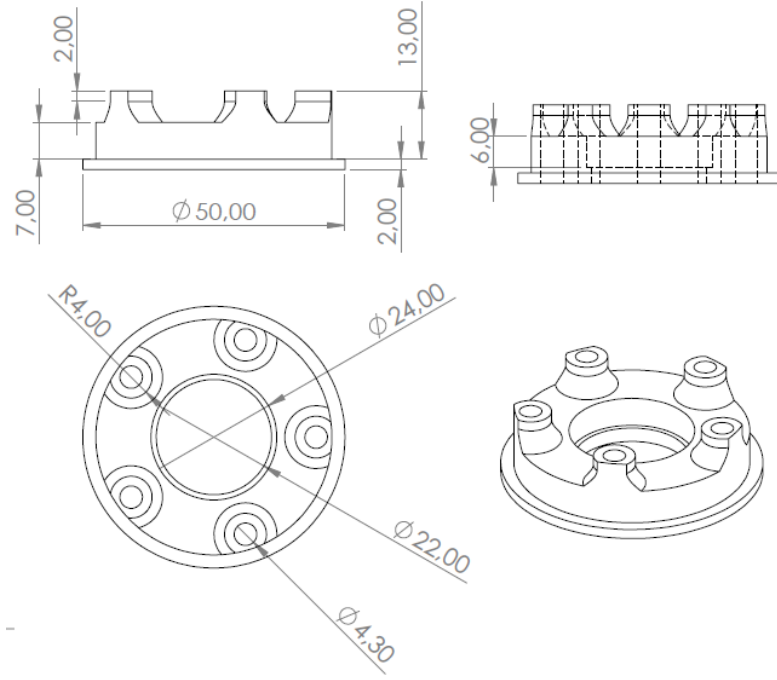
Şekil 3.20: Rulman aralayıcı 3d model görünümü



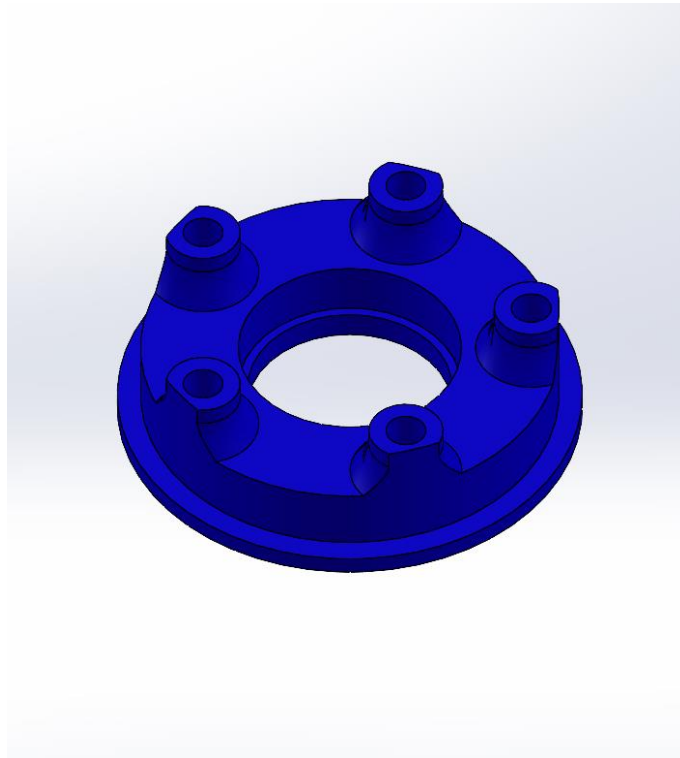
Şekil 3.21: Sikloid dişli teknik resim çizimi



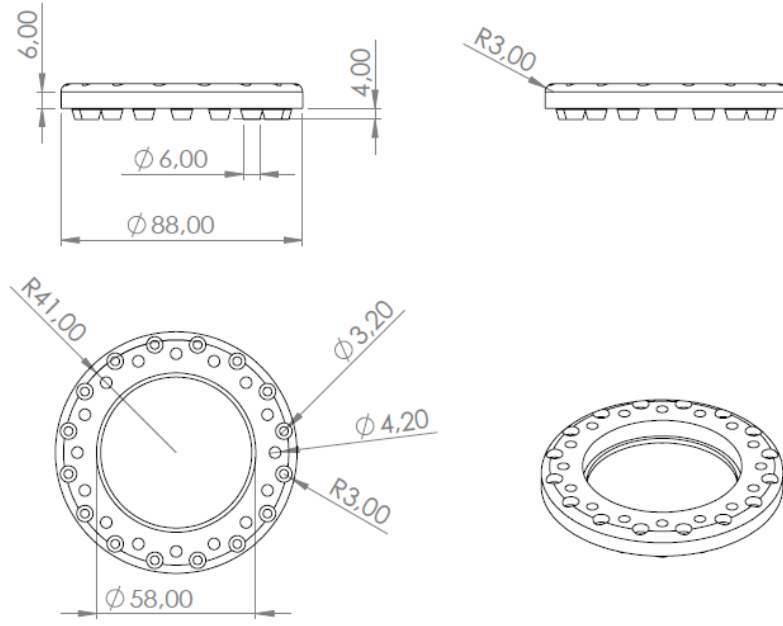
Şekil 3.22: Sikloid 3d model görünümü



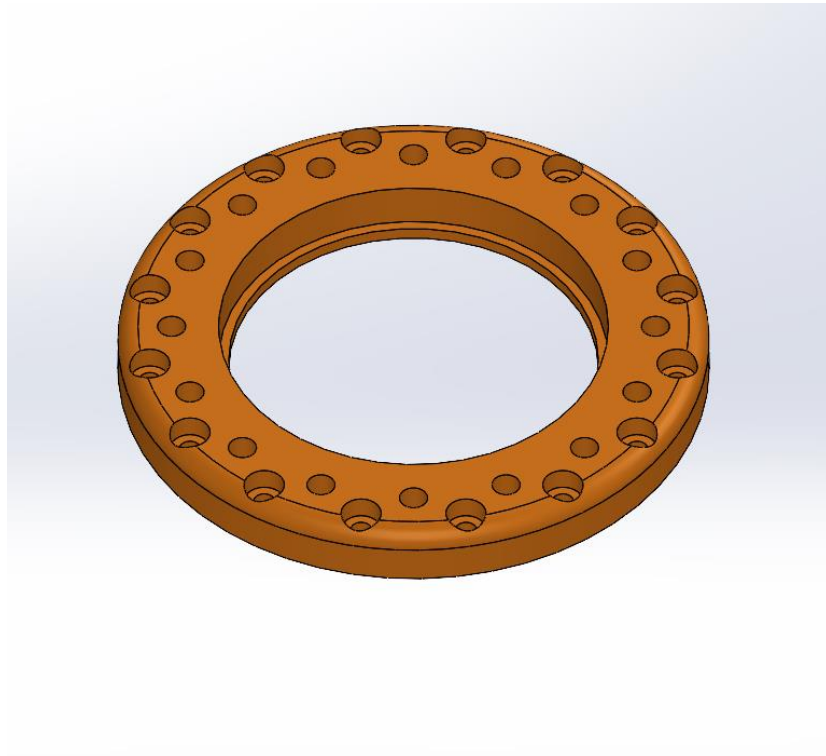
Şekil 3.23: Üst çıkış teknik resim çizimi



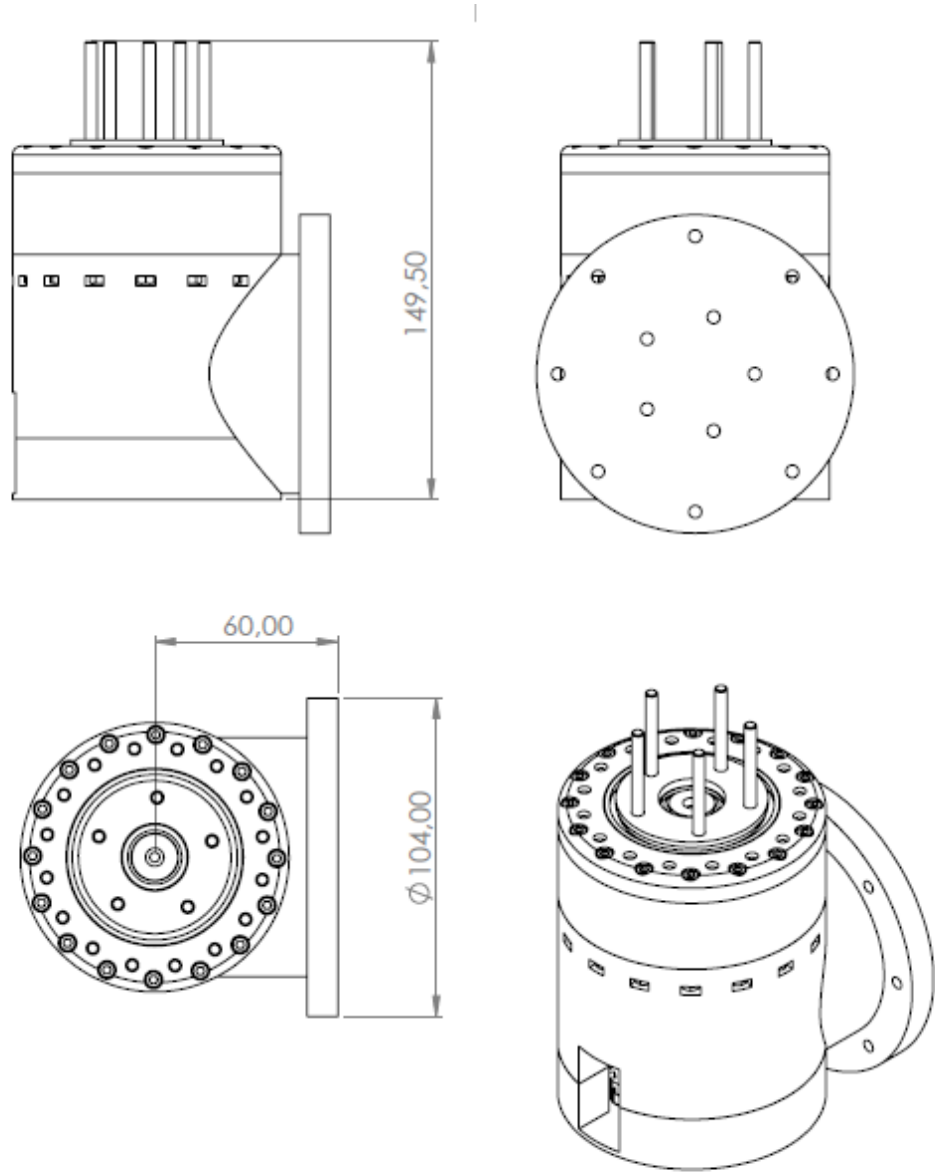
Şekil 3.24: Üst çıkış 3d model görünümü



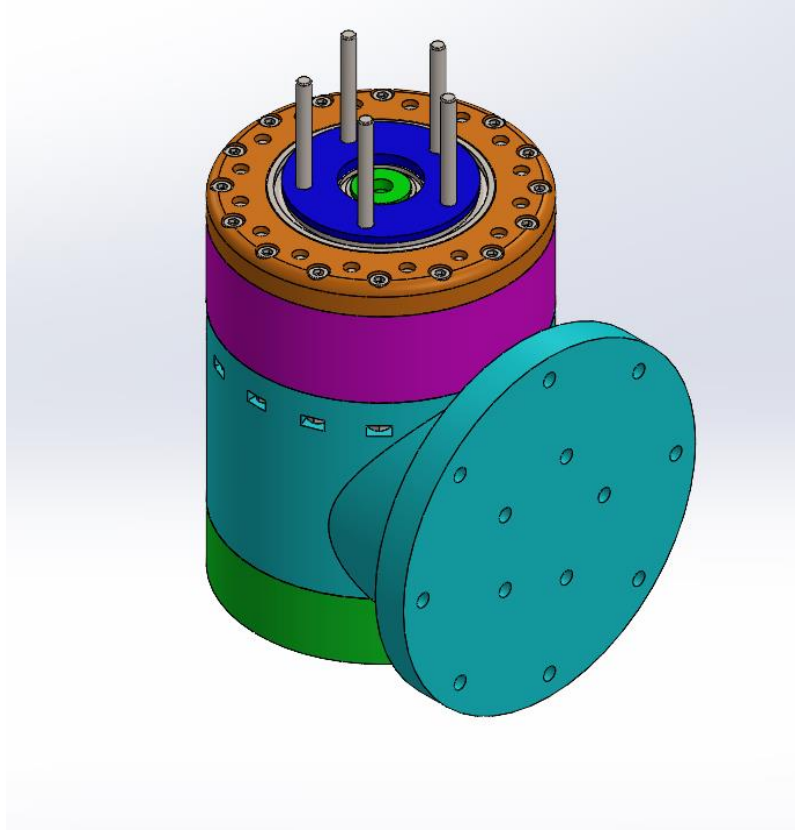
Şekil 3.25: Üst kapak teknik resim çizimi



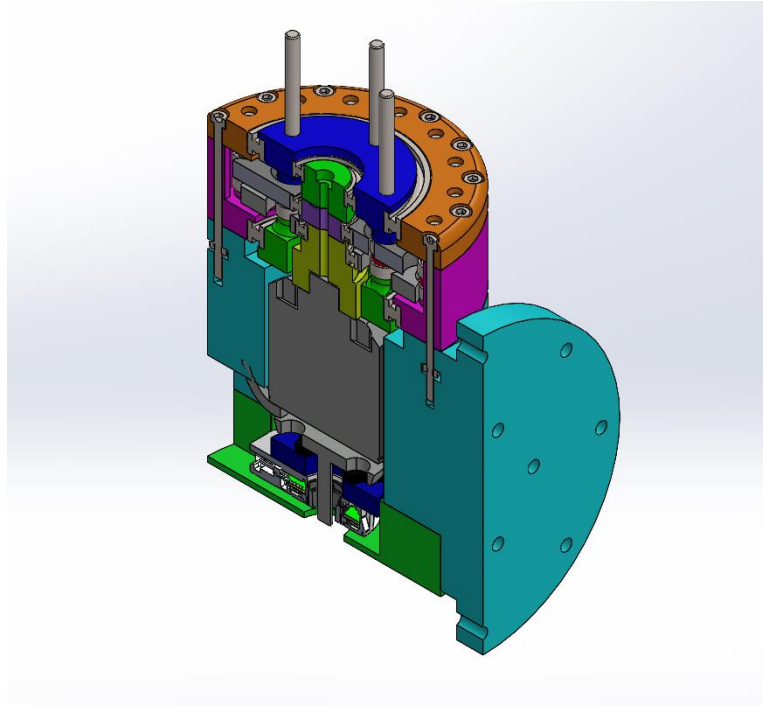
Şekil 3.26: Üst kapak 3d model görünümü



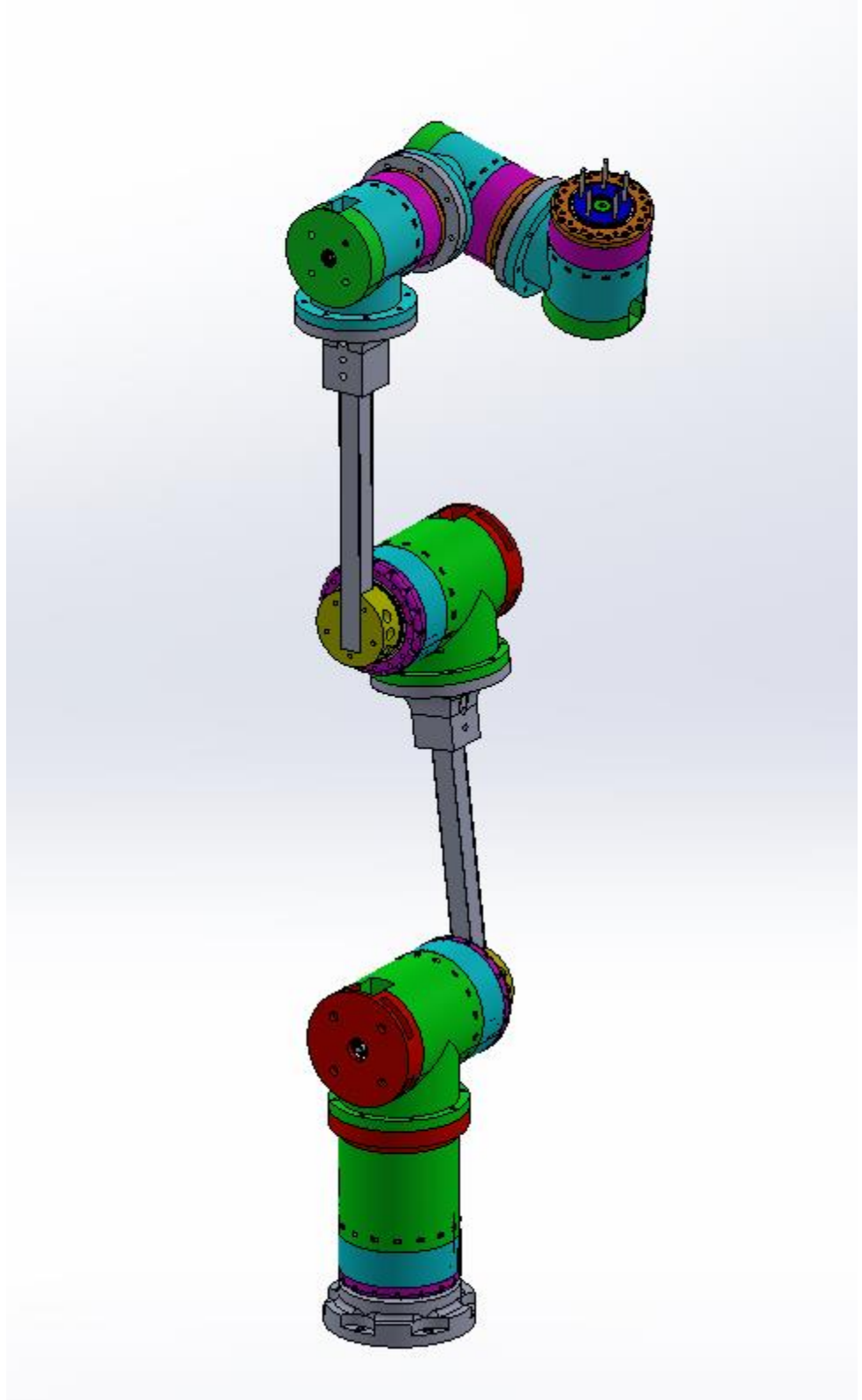
Şekil 3.27: Motor tüm teknik resim çizimi



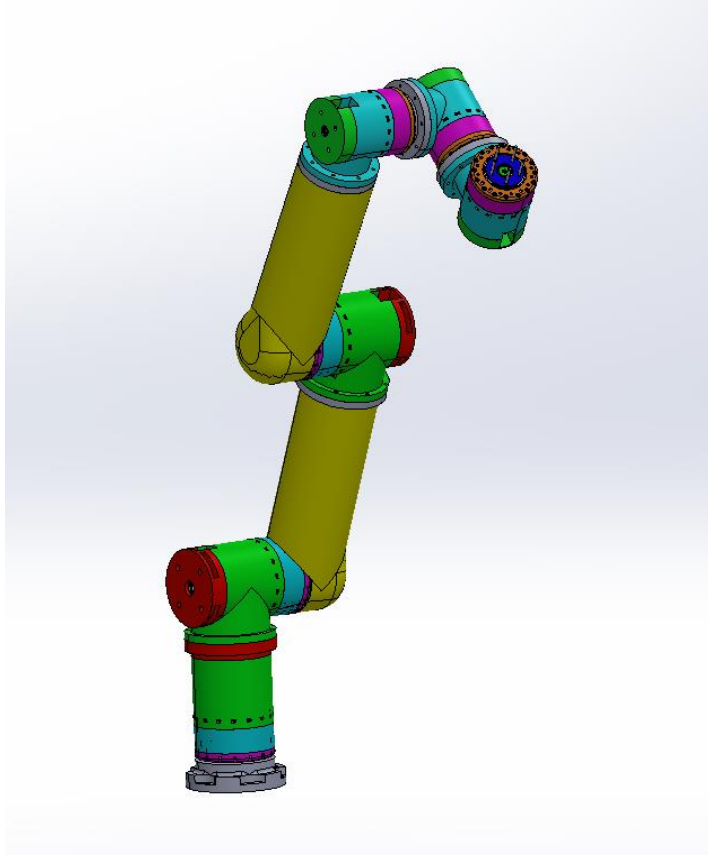
Şekil 3.28: Motor tüm 3d model görünümü



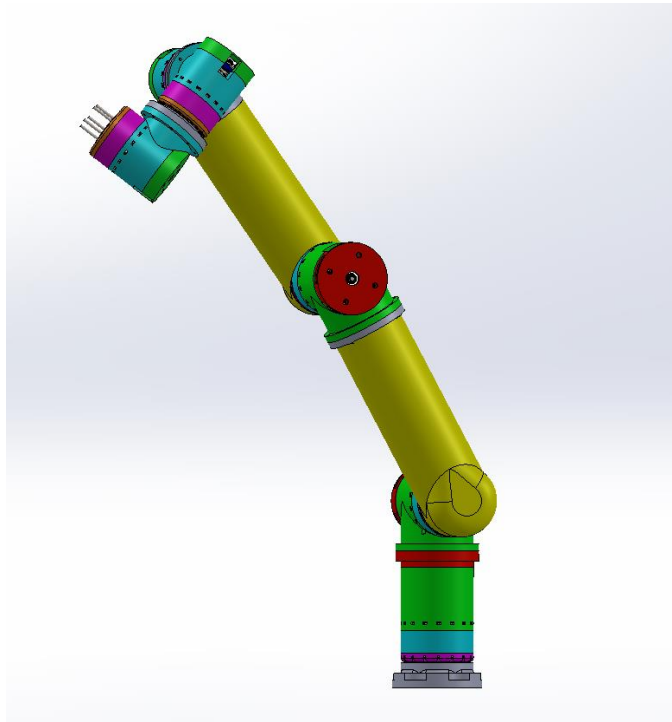
Şekil 3.29: Motor sistemi iç yapısı 3d model görünümü



Şekil 3.30: Robot Kol tüm bileşen görünümü



Şekil 3.31: Robot Kol 3 boyutlu görünüm (1)



Şekil 3.32: Robot Kol 3 boyutlu görünüm (2)

3.4 Yazılım Entegrasyon Süreci

3.4.1 Robot İşletim Sistemi

2000'li yıllarda Stanford üniversitesinde PR (Personal Robot Program) ve STAIR (Stanford AI Robot) sistemlerde geliştirilmek üzere ROS ortaya çıkarılmıştır. Menlo Park, California'da Willow Garage olarak bilinen şirkette destekler sağlanarak sistem geliştirilmiştir. Ros'un gelişmesine katkı sağlayarak BSD lisansı altında çalışmalar başlamıştır. Ros robotik topluluklarındaki araştırmalar sonucunda yaygın olarak robotik alanda kullanılmaya başlamıştır. Ros şu anda endüstriyel ve deneysel alanlarda dünyanın her yerinde binlerce üretici tarafından kullanılmaktadır. Robotik işletim sistemler Melodic Morenia, Lunar Loggerhead ve Kinetic Kame adlı işletim sistemleri ile hizmet vermektedir. Ros'a ait işletim sisteminde bulunan paketler ve yığınlar, dünyada ki üniversite şirket ve bireysel kullanım amacıyla geliştirilmekte ve açık kaynak kodlu olup lisanslanmaktadır.

Ros özel bir yazılım ve çerçeve olarak platformlar için hazırlanmıştır. İlk başta simülasyon, robotik malzeme ve yazılımsal düğümler ile birbiriyle haberleşme mesaj aktarma sistemlerini sağlar. Modern dünyada robotların hata yapma olasılığı daha az olduğu için makinelere olan ihtiyaç artmaktadır. Robotik araştırma ve uygulamaları, sağlık hizmetlerinden yapay zekaya kadar uzanmaktadır. Bir robot, kendisine bir miktar algılama gücü verilmedikçe çevreyi anlayamaz. Algılama gücünü vermek için LIDAR, RGB-D kamera, IMU (atalet ölçüm birimleri) ve sonar gibi farklı sensörler kullanabiliriz. Bir robot, sensörleri ve haritalama algoritmalarını kullanarak çevrenin bir haritasını oluşturabilir ve kendisini haritanın içinde bulabilir.

3.4.2 ROS Mimarisi

ROS, donanım soyutlama, cihaz kontrolü, süreçler arası iletişim ve dosya yönetimi gibi herhangi bir işletim sisteminden beklenen hizmetleri sağlayan açık kaynaklı bir robot yazılım platformu olan Robot İşletim Sistemini temsil eder. Ayrıca, farklı iş istasyonlarında kod oluşturma, yazma, hata ayıklama ve çalıştırma yeteneği sağlayan çeşitli araçlar ve kitaplıklar sağlar (Garage 2011). Açık kaynak yazılım sistem mimarisine sahip olduğu için robot kol yazılımının geliştirilmesinde ROS mimarisi kullanılmıştır.

ROS, Windows, Linux, Mac gibi klasik anlamda gerçek bir işletim sistemi değil, kurulu işletim sistemi üzerinden çalışan ve çizelgeleme, veri iletimi gibi işlemleri gerçekleştirme yeteneğine sahip bir meta işletim sistemidir. ROS ayrıca tüm sistemi donanımın kendisinde uygulamak yerine sanal bir ortam oluşturmamıza, robot modeli oluşturmamıza, algoritmaları uygulamamıza ve sanal dünyada görselleştirmemize yardımcı olur. Bu nedenle, sistem buna göre geliştirilebilir ve bu da nihai olarak donanımda uygulandığında bize daha iyi bir sonuç sağlar. Uygulamalar ve dağıtılmış bilgi işlem kaynakları arasında sanallaştırma katmanını kullanarak alım, yükleme, izleme ve hata işleme gibi özellikleri vardır (Koenig 2004). Bunları başarmak için ROS 'un aşağıdaki gibi bazı ayırt edici özellikleri kullanır:

3.4.2.1 Dağıtılmış Yapı

ROS, düğüm adı verilen küçük yazılım modüllerinden oluşturulmuştur; burada her düğüm, bir arama tablosu görevi gören ve bu düğümler arasındaki iletişimi sağlayan "roscore" adlı bir ana düğüm yardımıyla bağımsız olarak veri çalıştırma ve veri alışverişi yapma yeteneğine sahiptir.

3.4.2.2 Paket Yönetimi

ROS' ta birbiriyle ilişkili ve aynı amaca hizmet eden kodlar paketler halinde gruplanarak kolayca yönetilebilen paket sistemi robot kol yazılım mimarisinde kullanılmıştır.

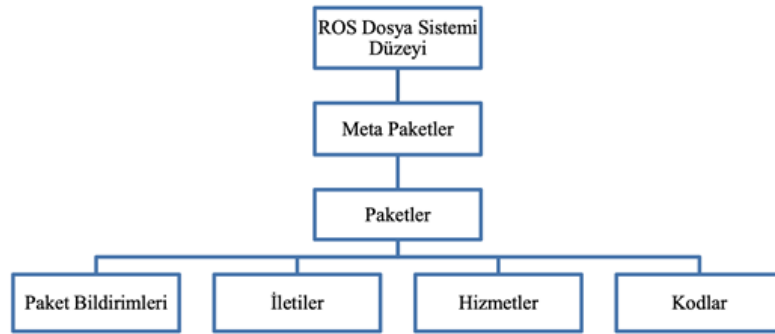
3.4.2.3 Genel Depolama

Robot kol yazılımları; ROS açık kaynaklı paket tabanlı bir çerçevedir, bu nedenle paketler, genel düzeyde (ör. GitHub) herhangi bir geliştirici tarafından kullanılabilmesi için depolanmıştır.

3.4.2.4 Yazılım Dilleri

ROS platformu, Python, C++ ve Lisp gibi farklı programlama dillerini destekleyen istemci kitaplıkları sağlar. Böylece, ROS yazılım modülleri, kendisi için bir istemci kitaplığının yazıldığı herhangi bir dilde yazılabilir. ROS istemci kitaplıkları, iletilerin ağ üzerinden iletilmeden önce nasıl "düzleştirildiğini" veya "serileştirildiğini" açıklayan bir kuralı izleyerek birbirleriyle iletişim kurar. Geliştirilen robot kol yazılım mimarisinin oluşturulmasında Python, C++ dilleri kullanılmıştır.

Şekil 3.33 'de robot kol ROS dosyalarının ve klasörünün hafızada nasıl düzenlendiğine ait şematik yapı gösterilmektedir.



Şekil 3.33: ROS dosyalama sistem şeması

3.4.3 ROS Terminolojisi

Hesaplamalı grafik düzeyi ROS'ta hesaplama düğümler ile işlem ağı oluşturularak yapılır. Bu ağlar hesaplama grafikleri olarak da isimlendirilir. Hesaplama grafikleri düğümler, sunucular, mesajlar, konular, servisler ve ROS saklayıcılarıdır. Geliştirilen robot kolda bu bağlamda gerekli terminoloji kullanılmıştır.

3.4.3.1 Düğümler

Düğüm, ROS'taki en küçük yazılım modülüdür; bağımsız olarak çalışabilen ve eşler arası bağlantılar kurarak veri göndermek ve almak için diğer düğümlerle iletişim kurabilen yürütülebilir bir program olarak tanımlanabilir. Bu işlem, düğümlerin kendi aralarında veri alışverişi yapmasına izin vermek için adlandırma ve kayıt hizmetleri veren bir çekirdek düğüm tarafından sağlanır ve bu düğüme ana düğüm (roscore) adı verilir. Robot kolun yazılım mimarisinde birçok sensörle bütünleşmiş çalışan düğüm yazılımları geliştirilmiştir.

3.4.3.2 Mesajlar

Düğümler, tamsayı, kayan nokta, boolean vb. gibi ilkel veri tipi olabilen veya Lidar gibi sensörlerden gelen mesajlar gibi diğer mesajlardan oluşan mesajları ileterek kendi aralarında veri alışverişi yaparlar. Kodların maksimum yeniden kullanılabilirliğini sağlamak için ROS, düğümler şeklinde tasarlanmıştır. Bu nedenle, bu düğümler arasında mesajların iletilmesiyle sağlanan bir iletişim mekanizması olmalıdır. Geliştirilen mimaride enkoder, kamera vb. sensörlerden verileri taşıyan birçok mesaj oluşturulmuştur.

3.4.3.3 Topics

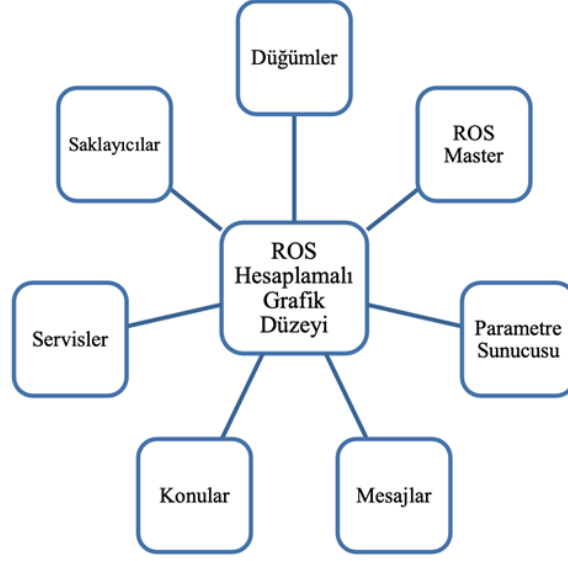
Bu yöntem, temel ve en çok kullanılan iletim yöntemi olarak kabul edilir. Sürekli veri alışverişi yapılırken kullanılan asenkron tek yönlü mesaj gönderme/alma yöntemidir. Mesajlar, belirli bir veri türü için bir kanalı temsil eden konular aracılığıyla sırayla gönderilir. Konular üzerinden iletişim, yayıncı (gönderen düğüm) ve abone (alıcı düğüm) kavramlarını kullanır ve her ikisi de ana düğümde kayıtlı aynı konu adını kullanarak aynı tür mesajları kullanır. Konular tek yönlü olduğundan ve sürekli mesaj gönderip almak için bağlı kaldıklarından, mesajların periyodik olarak yayınlanmasını gerektiren sensör verileri için uygundur.

3.4.3.4 Hizmetler

İkinci iletişim türü hizmetlerdir. Servis istemcisinin bazı servisleri talep ettiği ve servis sunucusunun gelen taleplere cevap verdiği istek/yanıt mesajlarına dayanan çift yönlü senkron iletişim yöntemidir. Konunun aksine, hizmet bağlantıyı sürdürmez. Bu nedenle, hizmetin istek ve yanıtı tamamlandığında, iki düğüm arasındaki bağlantı kesilir. Bu nedenle, genellikle bir robota belirli bir eylemi gerçekleştirmesi veya belirli bir koşulla belirli olayları gerçekleştirmesi için düğümlere komut vermek için kullanılır.

3.4.3.5 Eylemler

Son iletişim yöntemi türü, hizmet yöntemine çok benzeyen, ancak görev durumunu istemciye periyodik olarak bildiren geri bildirim mesajları içermesiyle karakterize edilen eylem kullanarak bağlantı kurmaktır. Bu nedenle, eylem üzerinden iletişim, istenen bir hedefin tamamlanması uzun zaman aldığında kullanılır ve bu nedenle ilerleme geri bildirim gereklidir (Şekil 3.34).



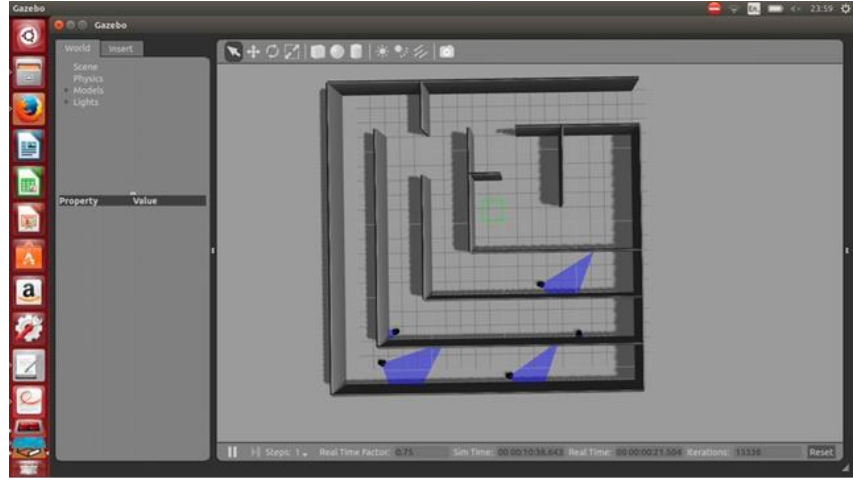
Şekil 3.34: Robot kol ROS ana sistem parçacıkları

3.4.4 Gazebo Simülasyonu

Gazebo, robot geliştirme için gerekli 3D simülasyon için robotlar, sensörler, ortam modelleri sağlayan ve fizik motoru ile gerçekçi simülasyon sunan bir 3D simulatördür. Gazebo, son yılların en popüler simulatörlerinden biridir ve ABD'deki DARPA Robotics Challenge'ın resmi simulatörü olarak seçilmiştir. Yüksek performansı ve çeşitli eklentileri nedeniyle robotik alanındaki en ünlü simulatörlerden biridir. Ayrıca Gazebo, ROS ve topluluğundan sorumlu Open Robotics tarafından geliştirilmekte ve dağıtılmaktadır, dolayısıyla ROS ile uyumludur. Robot kol simülasyon ortamında gerçekleştirmek amacıyla gazebo simülasyon ortamı kullanılmıştır.

Gazebo bağımsız bir program olarak çalışabilir, ancak Gazebo ile farklı türde Uygulama Programlama Arabirimleri (API'ler) ve kitaplıklar kullanarak bağlantı kurma olanağı da vardır. ROS, Gazebo ile bağlantı kurmak için kullanılacak ve robot alanında güçlü bir araç oluşturan en popüler API'lerden biri olarak kabul edilir. Bunu yapmak için ROS, bağımsız Gazebo çevresinde sarmalayıcılar sağlayan ve farklı

ROS bileşenleriyle entegrasyon sağlayabilen `gazebo_ros_pkgs` adlı bir dizi paket kullanır. Bu paketler, ROS mesajlarını, konularını ve hizmetlerini kullanarak Gazebo'da bir robotu simüle etmek için gerekli arabirimleri sağlar ve Gazebo'da bulunan sonar, tarayıcı lazer mesafe bulucuları ve GPS gibi mevcut sensör modelleriyle iletişim kurma yeteneği verir. Şekil 3.35 de gazebo kullanılarak oluşturulmuş simülasyon.



Şekil 3.35: Robot kol Gazebo simülasyon ortamı

Şekil 3.35'te Gazebo'da bir robotu simüle etmek için gerekli arabirimleri sağlayan bir dizi ROS paketi olan `gazebo_ros_pkgs` arabirimine genel bir bakışı göstermektedir. Bu arayüzde bulunan bazı paketler aşağıda açıklanmıştır (gazebosim.com web sitesi 2019).

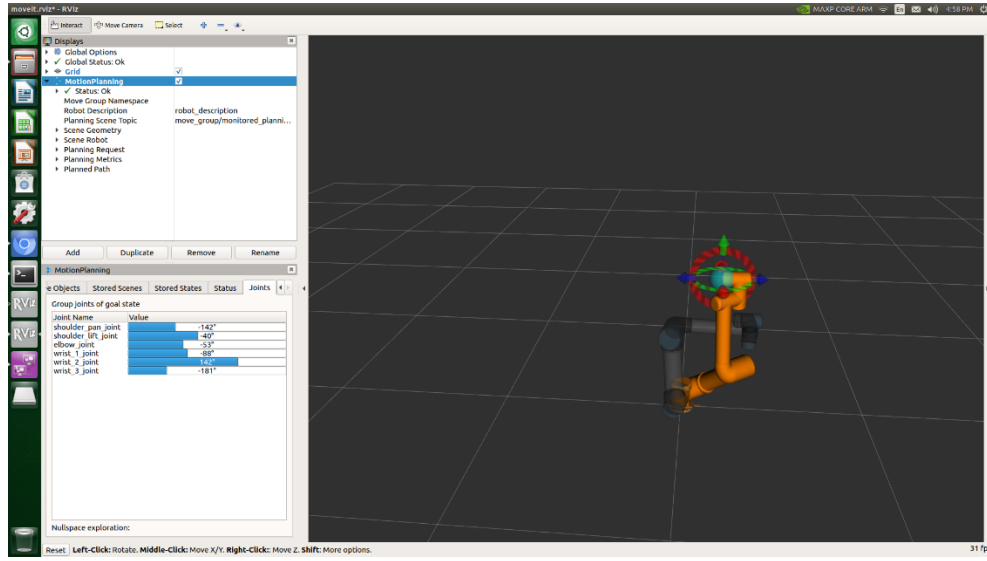
gazebo_msgs: Bu paket, üç mesaj alışverişi yönteminden birini kullanarak ROS'tan Gazebo ile etkileşim için kullanılır.

gazebo_worlds: Bu paket `gazebo_ros` ile birleştirilmiştir, herhangi bir başlatma dosyasında kullanılacak çeşitli önceden tasarlanmış dünyalar ve model dosyaları sağlar.

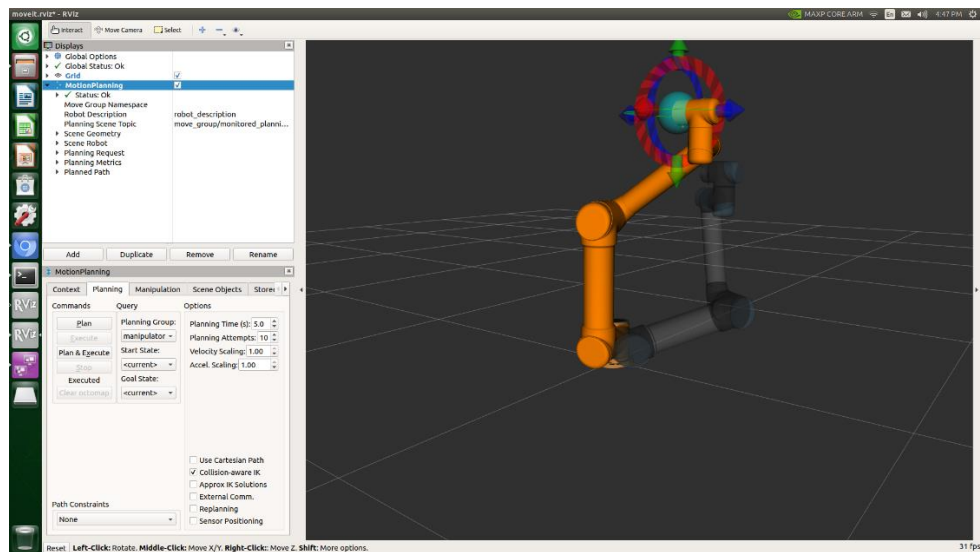
gazebo_tests: Bu paket gazebo eklentileriyle birleştirilmiştir, gazebo, araçlar ve eklentiler için çeşitli birim testleri içerir.

gazebo_api_plugin: gazebo ile uğraşmak ve Gazebo'ya robot modelleri oluşturmak için çeşitli araçlar sağlayan bir gazebo eklentisidir.

Bu kısma kadar yapılan çalışmalarda kullanılan sistem yöntem ve tanımlar yapılmıştır. Daha sonra oluşturulan robot kol yapısı sisteme dahil edilip robotun genel profili üzerinde eksen çalışması ivme hız konum gibi değerlerin optimizasyonu için gerekli olan moveit paketi ile robot kol kontrolü gösterilmektedir (Şekil 3.36).

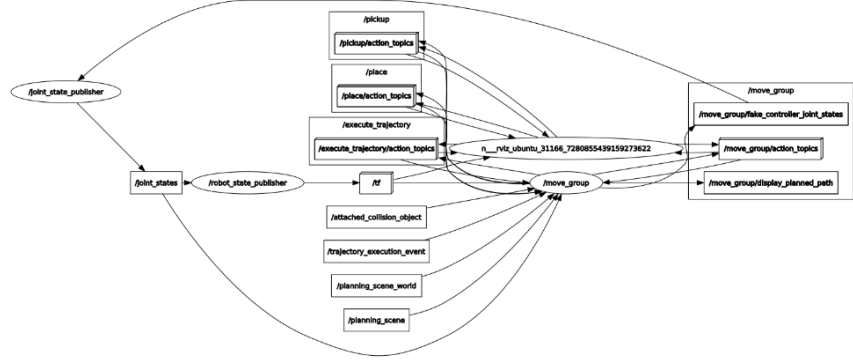


Şekil 3.36: Rviz robot modeli simülasyonu açılı parametre optimizasyonu



Şekil 3.37: Rviz simülasyon robot model hız, açılı ve ivme diyagramı

Robot sistem çalışmasında elde edilen girdiler ve bu girdiler ile kontrol edilen çıktıların grafik tablosu ve bu tablo üzerindeki düğümlerle beraber robotun seri akış grafikleri gözükmetedir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38: rqt_graph ile robot kol düğüm yapısı

Her bir düğüm ana ros çekirdeği ile haberleşmekte olup aynı zamanda robottan aldığı anlık veriler ile bir mesaj yayınlamasını sağlamaktadır. Burada robotun urdf modeli oluşturulup dönme eksenleri sistem üzerinde belirtildikten sonra robot kol modelinin simülasyon ortamında test işlemleri tamamlanmıştır

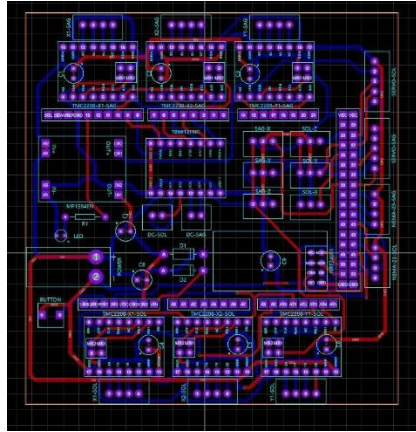
3.5 Elektronik Kart (PCB) Tasarım Süreci

Robot kolun elektronik kart tasarım süreci robot kolda kullanılan sistemlerin tek bir kontrol ünitesinde birleştirilerek devre şeması oluşturulması sağlanmıştır. Bu kısımda kolda kullanılan motorlar, motor sürücüler, mikrodenetleyici, voltaj dönüştürme için voltaj regülatörleri, enkoder bağlantısı vb. ekipmanların tek bir kart üzerinde devre şeması çizilerek üretimi sağlanmıştır. PCB ise elektronik bileşenlerin devre üzerine yerleştirilip bacalarının ince bir iletken bakır levha üzerinden geçirilerek oluşturulmuş yapılardır.

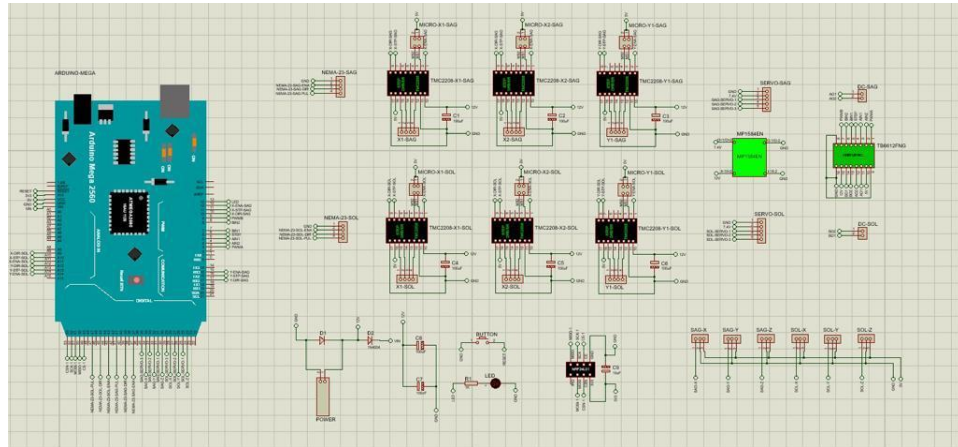
Elektronik kart tasarımı iki bölümde oluşturulmuştur.

3.5.1 Anakart

Anakart devredeki tüm modüllerin mikrodenetleyici ile bağlantısını ve motorların mikrodenetleyiciden aldığı görev doğrultusunda çalışması için enkoder sürücüler ve motorların bağlantısı bu kart üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kartın tasarım sonucu nihai şekli iki boyutlu olarak Şekil 3.39 'da ve Şekil 3.40'da verilmiştir.

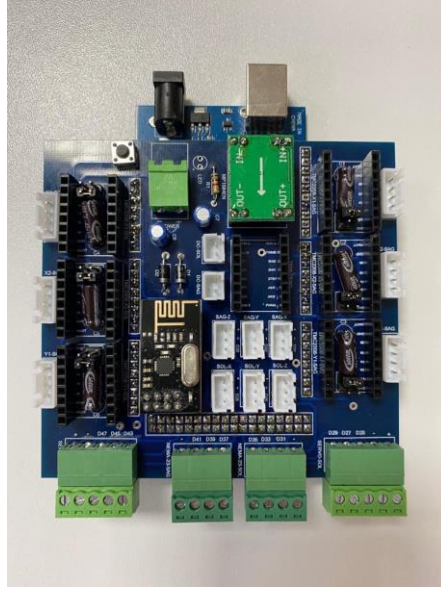


Şekil 3.39: Ares devre şeması



Şekil 3.40: Isıs devre şeması

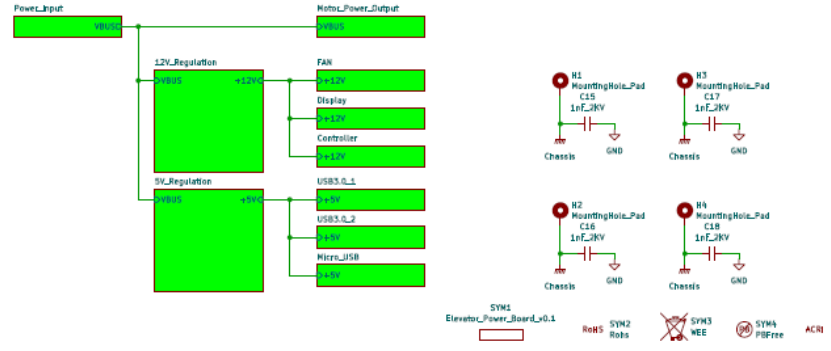
Kartın üretiminden sonraki nihai montaj görüntüsü Şekil 3.41'de görülmektedir.



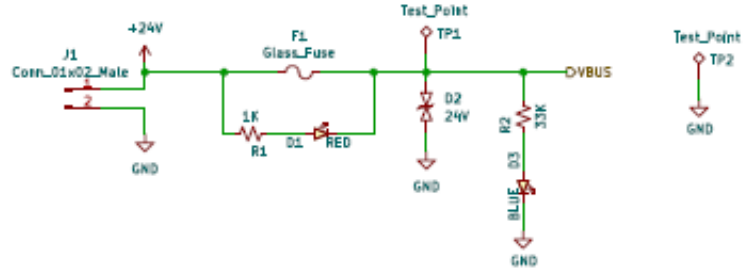
Şekil 3.41: Robot kontrol ana kart görüntüsü

3.5.2 Güç Kartı

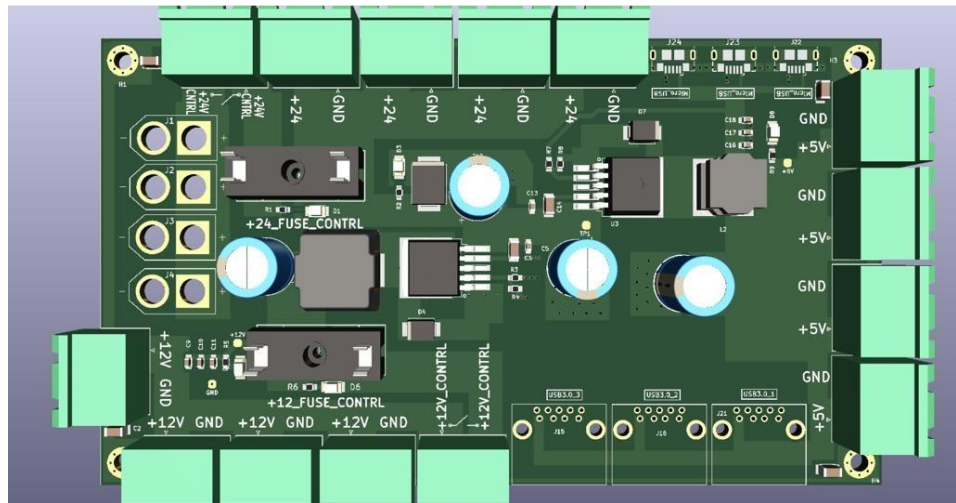
Robot kolda sistemin güç hattının farklı voltaj değerlerinde olmasından dolayı sistemde güç kartına ihtiyaç duyulmuştur. Bu güç kartının ana prensibi ise şebekeden gelen 220V değerini ilk etapta 24V değerine indirgenmesi ve sonrasında motorların çalışması için gerekli olan 24V enerjisi sağlamıştır. Sistemdeki mikro denetleyici ve enkoder için 12V ile 5V değerlerini kartın üzerine yerleştirilen XL4015 voltaj regülatörü sayesinde mikrodenetleyici ve enkoder enerjisi sağlanmıştır. Şekil 3.42 'de ve Şekil 3.43 'de güç kartının tasarım çizimi ve Şekil 3.44 'te 3 boyutlu simülasyon görüntüsü verilmiştir.



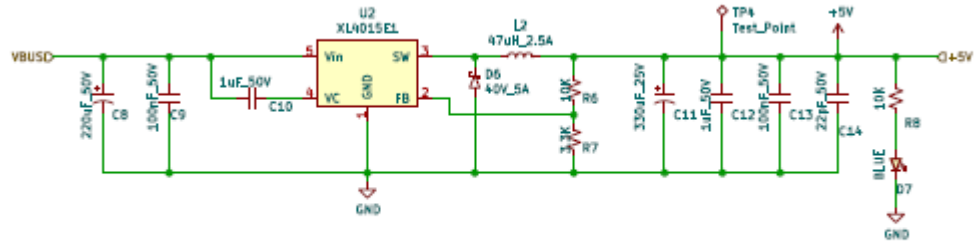
Şekil 3.42: Güç kartı genel şeması



Şekil 3.43: Güç kartı geri besleme devre şeması



Şekil 3.44: Güç kartı simülasyon ortamı



Şekil 3.45: Güç kartı regülatör devre şeması

3.5.3 Kart Tasarımında Kullanılan Bakır Plaket Çeşitleri

Elektronik kart tasarım sürecinden sonra üretim süreci için öncelikle bakır plaket seçimi yapılmalıdır. Bu seçim kartın kullanılacağı ortam, ısı, sıcaklık, nem, dayanıklılık gibi fiziksel ve iletkenlik direnci, kimyasal tepkime hızı gibi özelliklerine göre belirlenmektedir.

- FR-1 / FR-2: bu tür malzemeler kağıt ve fol malzemelerinden elde edilir.
- FR-3: Selülozik kâğıt ve epoksi
- FR-4: cam elyaf ve epoksi
- FR-5: yüksek sıcaklıkta bir epoksi reçine bağlayıcı içinde bir cam elyaf takviyesidir
- FR-6: Dokunmamış camyünü ve polyeester
- G-10: cam elyaf kumaş ve epoksi reçineden oluşan kompozit bir malzemedir.
- CEM-1: Bu malzemeler kâğıttan ve iki kat dokuma cam epoksi ve fenol bileşiklerinden yapılır ve sadece tek taraflı baskılı devre kartlarının üretimi için kullanılır.
- CEM-2: Selülozik kâğıt ve epoksi
- CEM-3: Serisi Bakır Kaplı Laminant Bu tür ürünler üç alt tabaka renginde üretilir: beyaz, siyah ve doğal renk.
- RO3000: yüksek frekanslarda mükemmel elektriksel özelliklere ve yüksek termal kararlılığa sahiptir.

- RO4000: Bu, çok yüksek frekans aralığı için, bir yandan politetrafloroetilen (PTFE) içeren malzemelerinkiyile karşılaştırılabilir performans elde etmek ve diğer yandan PCB teknolojisini basitleştirmek için tasarlanmış bir malzeme ailesidir.

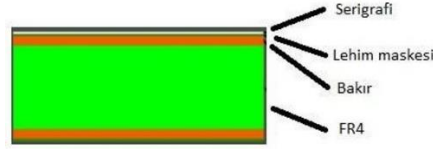
Kullanılmış olan bakır plaketin detaylı özellikleri Tablo 3.6 'da belirtilmiştir.

Tablo 3.6: Fr4 fiziksel özellikleri

FR4 TERMAL ÖZELLİKLERİ	DEĞER
Termal iletkenlik (x ve y eksenleri)	~0.9 W/(m.K)
Termal iletkenlik (z ekseni)	~0.3 W/(m.K)
Termal genleşme katsayısı (x ve y eksenleri)	~13 ppm/K
Termal genleşme katsayısı (z ekseni)	~70 ppm/K
Cam geçiş sıcaklığı (Tg)	~135°C ile ~170 °C
Özgül ısı kapasitesi	~1100 J/(kg.°C)

3.5.4 Kart Yapısı ve Katmanları

Elektronik kartın yapısı 4 farklı yüzeyden oluşmaktadır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46: Fr4 iç yapısı

3.5.4.1 Substrat (Standart Katman)

Genellikle bir PCB'nin temeli olan ilk kaplama malzemesine FR2 (Alev Dayanımlı) ve FR4 olabilen bir substrat denir. Isıya ve alev oluşumuna karşı dayanıklı sentetik reçine ve bonfig kağıdı olarak da bilinmektedir. Pcb üzerinde kullanılan bakır malzemenin kart üzerindeki iletkenlik ve fiziksel değerlerine bakılarak FR4 substrat seçilmiştir.

3.5.4.2 Bakır

Belirli bir sıcaklıkta laminasyon yöntemiyle substrata yüzeye yapıştırılan bakırdır. Farklı türlerde PCB'ler olduğu için bakır katman sayısında PCB'lerin türüne bağlı olarak değişmektedir.

Teknolojinin gelişimi, bakır kaplamanın İstenilen elektronik devrelerin ihtiyaçları nedeniyle 16 bakır katmanına kadar kaplanmış PCB'ler de vardır. Elektronik kart sisteminde seçilen bakır malzemenin birden çok katmanlı olarak kullanılmıştır.

3.5.4.3 Lehim Maskesi

Bakır katmanı ile lehim yolunu birbirinden ayıran temas etmesini engelleyen katmandır. Lehim maskesi, sistemin çalışmasında kısa devre oluşturabilecek alanı engellemekle beraber devrenin yalıtkan özelliğini korur. Güç kontrol ünitesinin üretiminde lehim maskesi ile devredeki kısa devre oluşumları engellenmiştir.

3.5.4.4 Serigrafi

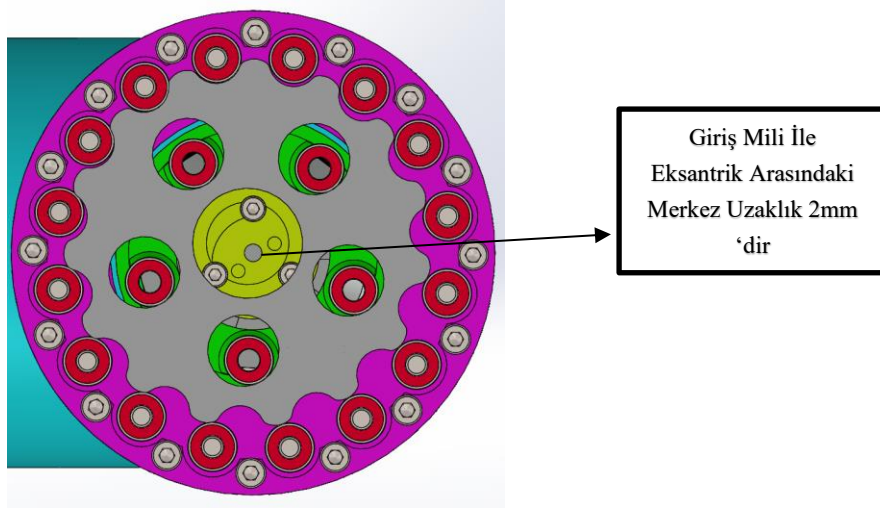
İnsanların bir seriyi daha kolay bir şekilde monte edebilmeleri için PCB'de monte edilen elektronik bileşenler için göstergeler veya işaretler sağlamaya hizmet eder. Serigrafi genellikle beyaz veya siyahtır, baskılı harfler, sayılar ve PCB'de semboller bulunur.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 Sikloid Dişlinin Robot Kol Üzerindeki Etkileri

Robot kol tasarım sürecinde belirlenen redüktör sistemi için uygun görülen sikloid redüktör sistemi motordan gelen giriş milini hızını belirli oranda düşürmesi sağlanan bir mekanizmadır.

Giriş mili eksantrik alt parçasına monte edilerek eksantrik parçanın eksantrik hareket yapmasını sağlamıştır. Buradaki eksantrik ile giriş milinin merkez uzaklıkları 2 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Sikloid dişli eksantrik arası bağlantı

Eksantrik mil ile sikloid redüktör dişlinin arasına rulman ile aksenal hareketi iletmesi sağlanmıştır. Bu sayede motor bir tur attığı zaman eksantrik alt parçası motor ile birlikte dönerek sikloid parçanın aksenal hareketine sebep olmuştur. Bu kısımda sikloid dişlinin oranı devreye girmektedir. Sikloid dişlide redüksiyon oranı aşağıdaki formül ile belirlenmektedir.

$$r = \frac{P - L}{L} \quad (1)$$

Bu formüldeki "L" değeri dış çeperdeki sikloid parçanın aksenal dönerken temas ettiği rulman sayısını "P" değeri ise sikloid üzerindeki lobları temsil etmektedir.

Bu aşama ilk olarak dış çeperde 16 rulman kullanılıp, sikloid redüktör lob sayısı 15 olarak belirlenmiştir. Tasarım sürecinde SOLIDWORKS programıyla çizimler yapıldığı için sikloid dişlinin çizimi de bu program sayesinde yapılmıştır. Sikloid dişlinin çizimi için öncelikle kullanılan formül aşağıda belirtilmiştir.

$$X = (R \cdot \cos(t)) - (R_r \cdot \cos(t + \arctan(\sin((1-N) \cdot t) / ((R/EN) - \cos((1-N) \cdot t)))) - (E \cdot \cos(N \cdot t)) \quad (2)$$

$$Y = (-R \cdot \sin(t)) + (R_r \cdot \sin(t + \arctan(\sin((1-N) \cdot t) / ((R/EN) - \cos((1-N) \cdot t)))) + (E \cdot \sin(N \cdot t)) \quad (3)$$

Bu formüldeki değerler aşağıdaki gibi ele alınır

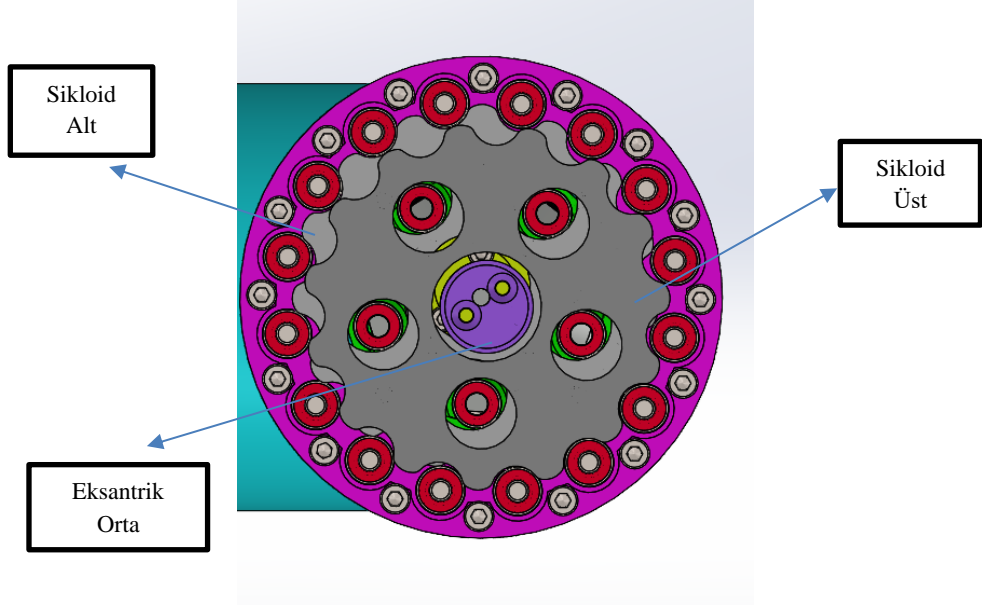
R: Sikloid dişlinin yarıçap değeri

N: Dış çeperde kullanılacak rulman sayısı

E: Giriş mili ile eksantrik arasındaki merkez uzaklık

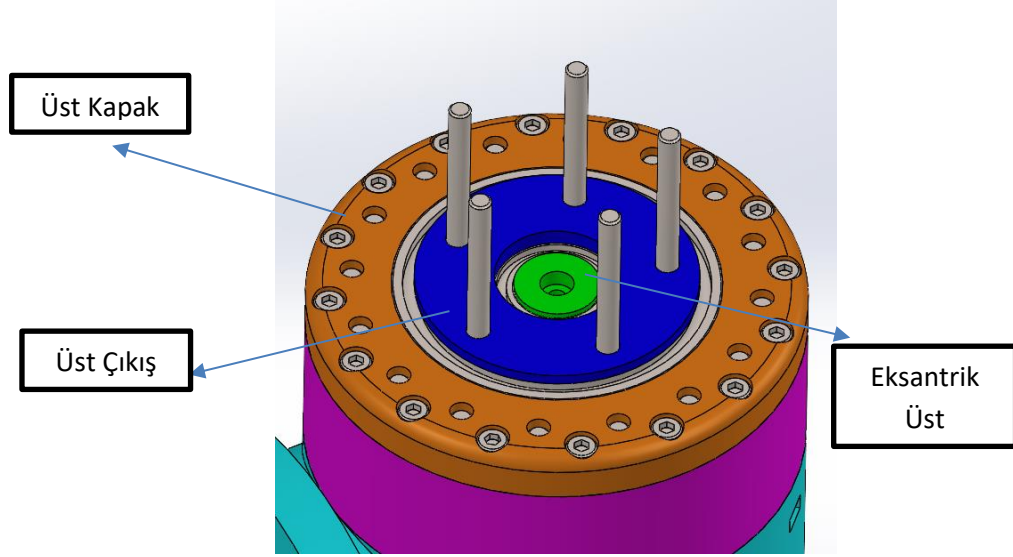
R_r: Dış çeperdeki rulman yarıçap değeri

Formüldeki değerler ile boyut ölçüleri ve redüksiyon oranı belirlenmiş olur ve eğri çizimi yapılır. Eğri çizimi yapıldıktan sonra burada parçanın katı model olarak oluşturulması gerçekleşir. İlk test aşamasında 1:15 oranında redüksiyon hedeflenmiştir. Ve dış rulman çapı 12mm olarak belirlenmiş, sikloid dişlinin istenilen çapı 84 mm olarak belirlenmiştir. İstenilen redüksiyon oranına bağlı olarak “N” değeri 15 olarak belirlenmiştir. Bu sayede redüktör dişlinin oluşturması tamamlanmıştır. Redüktör dişlinin ilk etabı oluşturması bittikten sonra test aşaması yapılmış ve motorun redüksiyon ile titreme sorunu meydana gelmiştir. Ve bu aşamada dişli sisteminin üzerine aynı formül kullanılarak ikinci bir dişli yapılmıştır. Bu dişlinin amacı ise diğer dişliden 180 derece faz farkı ile oluşturulmasıdır. Bu sayede eksantrik bir tarafa yönelim sağladığında diğer tarafta oluşan boşluğu üst taraftaki ikinci dişli sayesinde engellemesi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki görselde kinci dişli ve bu dişliye bağlı eksantrik alt parçaya monte edilmiş eksantrik orta parça görülmektedir.



Şekil 4.2: Sikloid dişli ile orta eksantrik bağlantı gösterimi

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi üst sistemin redüksiyon artımına katkısı yoktur. Sadece faz farkından kaynaklı olan boşluğun giderilerek titreme ve salınım oranının artması engellenmiştir. Daha sonra ise sistemin üst kapağının çizimi yapılmış olup çıkış mili için gerekli parçanın çizimi yapılmıştır. Burada yapılan çalışmada çıkış milini tek mil olarak değil dairesel olarak eşit açılarda çoğaltılmış 5 mil ile sağlamaktadır. Bu sayede tek mildeki burulma ve aşırı yüklenme sorunu daha aza indirgenmiştir. Ve eksantrik parça ile sikloid dişlilerin üst kapak ve üst çıkış parçalarına temas etmemesi için üst kapak ve üst çıkış parçası tasarlanmış eksantrik parçaların birbirlerinden ayrılmasını engellemek amacı ile de eksantrik üst parçası tasarlanmıştır. Şekil 4.3’de görsel detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Redüktör üst bağlantı

Bu sayede sikloid dişli ile motor sisteminin tasarımı tamamlanmıştır. Ve 1:15 redüktör sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemin üretimi 3d yazıcılar ile PLA malzemelerden üretimi sağlanmıştır. Bu malzeme ile yapılan testlerde ise yapılan çalışmaların dayanıklılık ile parçanın alüminyum ile üretilmesi kıyaslanmıştır. Sikloid dişlinin belirli zamandan sonra sürtünmeden kaynaklı aşınmaların meydana geldiği ve üretilen malzemenin zamanla özelliklerini yitirmesi ve motorun güç kullanımı sırasında yüksek ısılarda çalışması ile PLA malzemenin deformeye uğraması gözlemlenmiştir. Ve istenilen redüksiyon oranında kayıpların olduğu ve torkun düşmesine sebep olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan PLA özellikleri ile kullanılması planlanan alüminyum karşılaştırılması Tablo 4.1 'de belirtilmiştir.

Tablo 4.1: PLA ile 6061 alüminyum karşılaştırma tablosu

Malzeme	PLA	6061 Alüminyum
Özellik		
Elastik Modülü	2.2	69
Kesme Mukavemeti	62	84
Çekme Dayanımı	53	130
Erime Sıcaklığı	140	580
Termal Genleşme	68	24
Yoğunluk	1.3	2.7

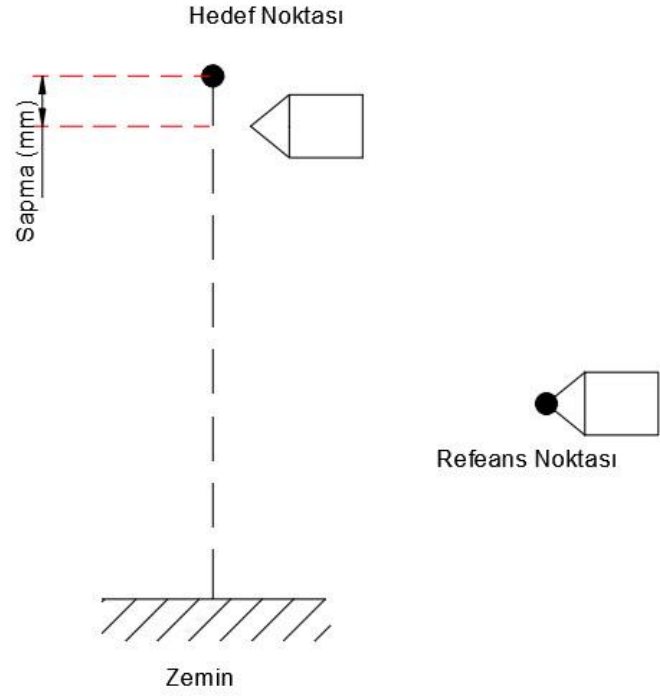
Verilen bilgilere bakılacak olursa 6061 Alüminyum malzemenin PLA malzemeye kıyasla daha yüksek ısı ortamlarında çalışabilmesi yoğunluğunun daha yüksek değerde olması ve dayanıklılık konusunda daha verimli olması gözlemlenmiştir. Fakat PLA ile üretim aşamasının daha hızlı olması maliyetinin ucuz ve test edilebilirliğinin yüksek olması gibi avantajlara sahip olduğu için ilk aşamada PLA üretimi yapılmış. İkinci aşama için alüminyum ile üretilmesi kararlaştırılmıştır. Alüminyum ile üretilecek olan parçada PLA malzemeye kıyasla tolerans ve sapma değerleri hesaplanıp sürtünmeyi minimuma indirmek hedeflenmiştir.

4.2 Sikloid Dişli Sisteminin Optimizasyon Çalışmaları

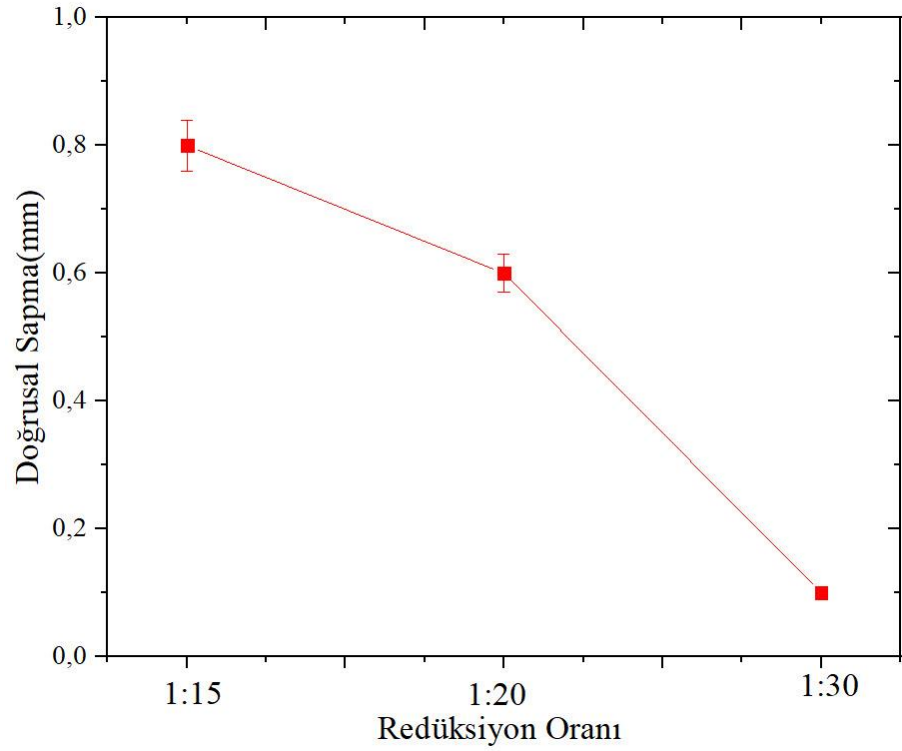
Prototip üretimi gerçekleştirilen sikloid dişli mekanizmasının robot kol mekanik- elektronik sistem parametreleri üzerindeki etkisi; açısal sapma, doğrusal sapma, akım, tork ve hız açısından etkileri incelenmiştir.

4.2.1 Redüksiyon Oranın Doğrusal Sapma Üzerindeki Etkisi

Redüksiyon oranının doğrusal sapma üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla geliştirilen sistem Şekil 4.4 'te verilmiştir. Redüksiyon oranının doğrusal sapma üzerindeki etkisi üç farklı redüksiyon oranı (1:15, 1:20 ve 1:30) açısından incelenmiştir (Şekil 4.4). Şekil 4.5 'den açıkça görülmektedir ki redüksiyon oranı doğrusal sapma üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Redüksiyon oranı arttıkça doğrusal sapma miktarı 0,2 mm ile 1:30 redüksiyon oranında elde edilmiştir. Redüksiyon oranının optimizasyonu ile açısal sapmanın optimize edilebileceği belirlenmiştir.



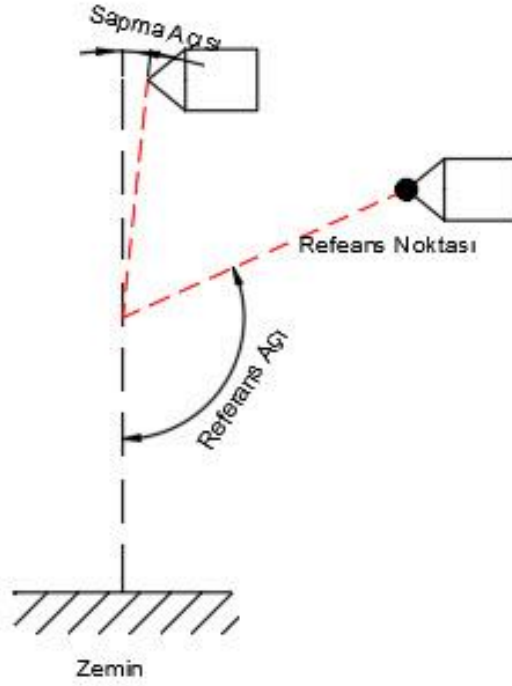
Şekil 4.4: Redüksiyon Oranın Doğrusal Sapma Üzerindeki Etkisinin Şematik Gösterimi



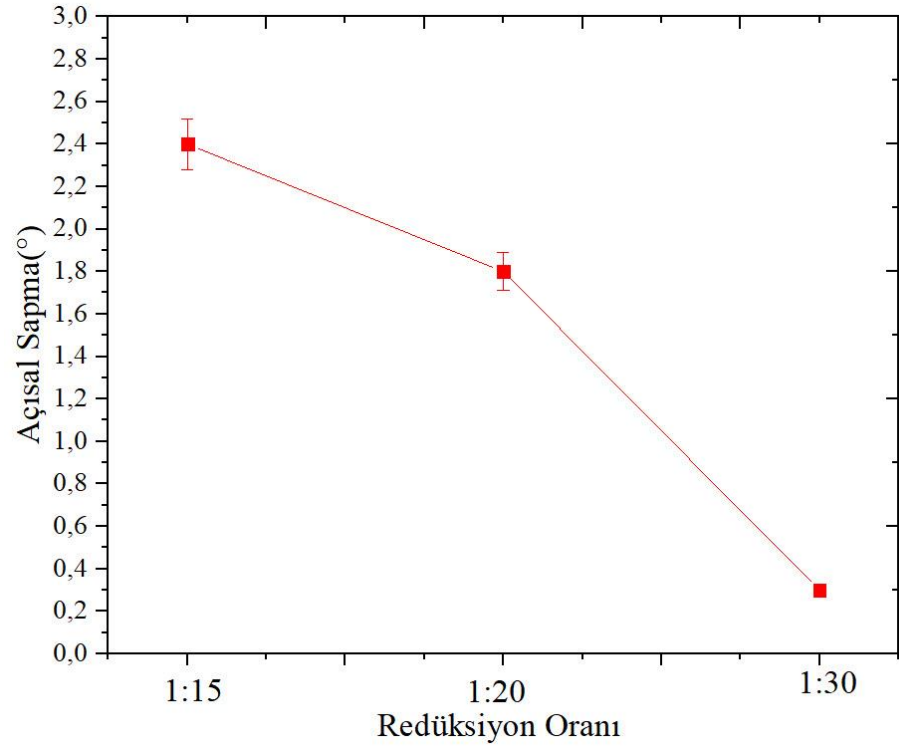
Şekil 4.5: Redüksiyon Oranın Doğrusal Sapma Üzerindeki Etkisi

4.2.2 Redüksiyon Oranın Açısal Sapma Üzerindeki Etkisi

Robot kollarda çalışma performansı açısından diğer önemli bir parametre açısal sapmadır. Bu amaç ile açısal sapmayı belirlemek için özel bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır (Şekil 4.6) ve farklı redüksiyon oranlarının açısal sapma üzerindeki etkileri incelenmiştir (Şekil 4.7). Redüksiyon oranının artması ile açısal sapma değerinin önemli derecede azaldığı Şekil 4.7’den açıkça görülmektedir. Doğrusal sapma ile benzer şekilde en düşük açısal sapma daha en yüksek redüksiyon oranı 1:30’da $0,2^\circ$ olarak belirlenmiştir. Açısal sapmadaki bu azalma redüksiyon oranının artması ile artan hareket tolerans yeteneği ile açıklanabilir.



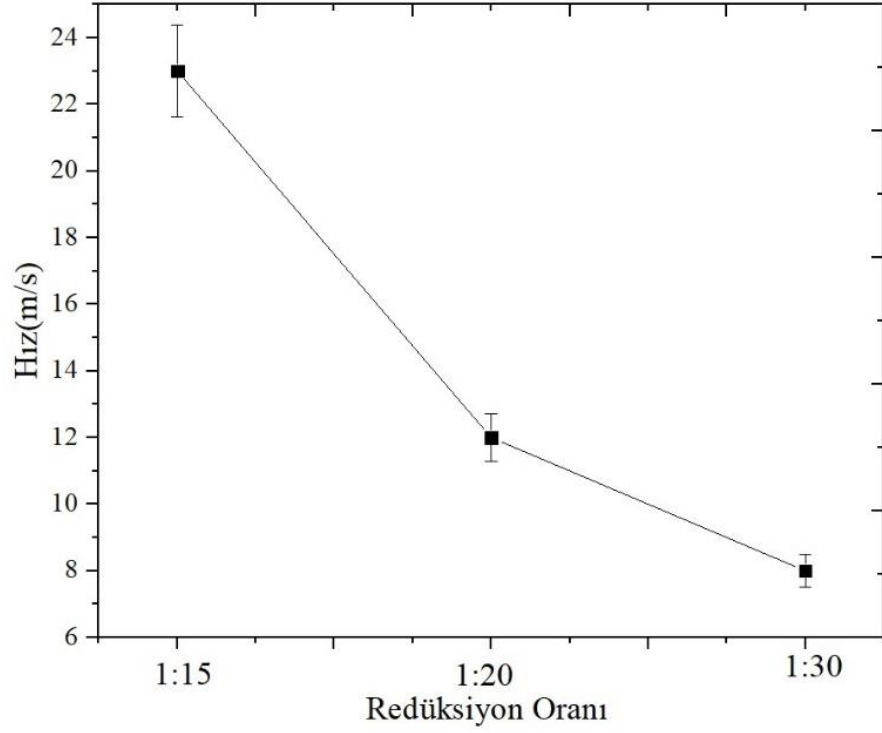
Şekil 4.6: Redüksiyon Oranın Açısal Sapma Üzerindeki Etkisinin Şematik Gösterimi



Şekil 4.7: Redüksiyon Oranın Açısız Sapma Üzerindeki Etkisi

4.2.3 Redüksiyon Oranın Hız Üzerindeki Etkisi

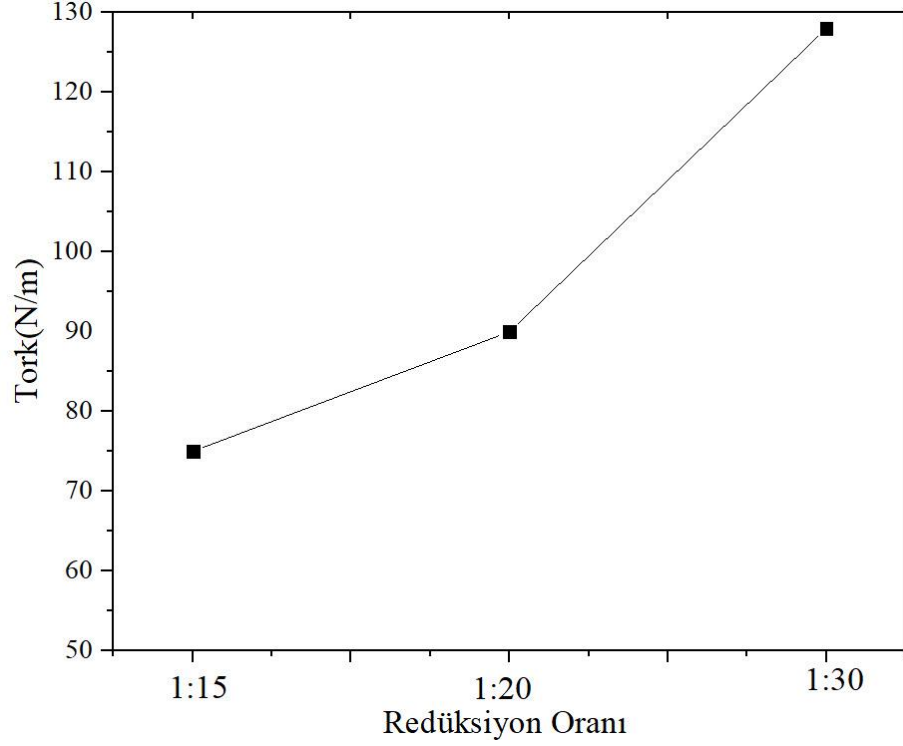
Robot kolların en önemli özelliklerinden biride ani değışen hız oranlarında aynı performansı gerçekleştirebilme özelliğidir. Endüstriyel bir robot kolda uygun hız değeri elde edilmesi robot kolun işlevselliğii açısından oldukça önemlidir. Redüksiyon oranının hız üzerindeki etkisi Şekil 4.8’de verilmiştir. Redüksiyon oranının artması ile elde edilen hız değeri önemli derecede azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.8). Benzer hız değeri elde etmek için devir optimizasyonu çalışmalarını yapılması gerektiğii belirlenmiştir. En yüksek hız 1:15 redüksiyon oranında 24 m/s elde edilmiştir.



Şekil 4.8: Redüksiyon Oranın Hız Üzerindeki Etkisi

4.2.4 Redüksiyon Oranın Tork Üzerindeki Etkisi

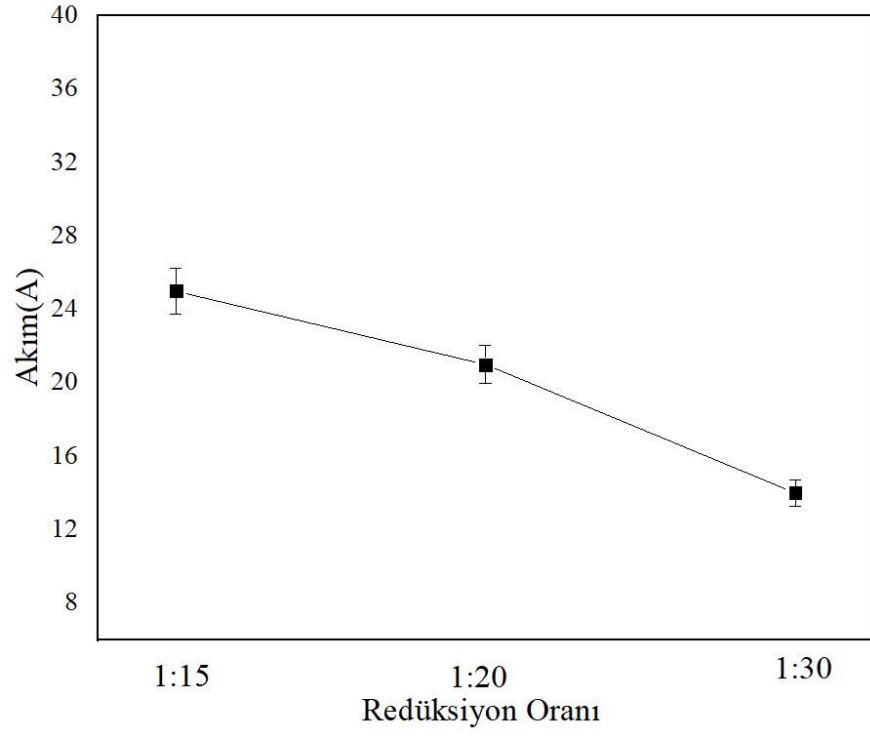
İşbirlikçi robotların yüksek tork değerlerindeki performansı tüm sistemin optimize edilebilirliği açısından oldukça önemlidir. Farklı tork oranlarında farklı mekanik özelliklere gereksinim duyulduğu bilinmektedir. Tork - çevrim oranı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla farklı redüksiyon oranlarının tork üzerindeki etkisi kapsamlı olarak incelenmiştir (Şekil 4.9). Redüksiyon oranının artması ile tork değerinin lineer olarak arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç daha önceki yapılan çalışmalar ile paralellik sağlamaktadır. En yüksek tork 125 N/m ile 1:30 redüksiyon oranında elde edilirken en düşük tork değeri 75 n/m ile 1:15 redüksiyon oranında elde edilmiştir. Şekil 4.9'da redüksiyon oranı ile robot kol tork değerlerinin optimize edilebileceği görülmektedir.



Şekil 4.9: Redüksiyon Oranın Tork Üzerindeki Etkisi

4.2.5 Redüksiyon Oranın Akım Üzerindeki Etkisi

İşbirlikçi robotların performans kriterlerinden anahtar parametrelerden biride robot kolun servis şartlarındaki akım değerleridir. Akım değerlerini optimize etmek ve redüksiyon oranlarının etkisini belirlemek amacıyla farklı redüksiyon oranlarının akım değerleri ele alınmıştır (Şekil 4.10). Akım testlerinde 5 kg taşıma yükü (payloads) standart olarak kullanılmıştır. Redüksiyon oranının artması ile çekilen akım değerlerinin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Optimum redüksiyon oranının 1:30 redüksiyonda ve yaklaşık 16 A olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçların literatür çalışması ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.10: Redüksiyon Oranın Akım Üzerindeki Etkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 6 eksenli endüstriyel bir işbirlikçi robot kolun endüstriyel tasarım süreçleri gerçekleştirilmiş ve oluşturulan model üzerinde elektronik devre şeması kurulup analizleri yapılmıştır. İstemin yazılım optimizasyonları ve test işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- İşbirlikçi robot kol hedef kitle belirlenerek amaca uygun şekilde ergonomik tasarımının gerçekleştirildiği belirlenmiştir.
- Tasarımı yapılan ürünün nihai malzeme seçimi, üretim süreçlerinin prototip ürün üretilmesi için doğru seçildiği belirlenmiştir.
- Yapılan çalışmanın hedef kitle doğrultusunda hedef opsiyonlar belirlenerek yapılan çalışmanın opsiyonel modellenmesi tamamlanmıştır.
- Elektronik kart şemasında modellerin farklı sistemler sistem üzerinde çalışabilmesi malzeme ömürleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.
- Son kullanıcının yani robot kol için belirlenen hedef kitle ile test optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve gerekli parametreler belirlenmiştir.
- Redüktör sisteminin nihai ürün olarak kullanılmasında malzeme değişiklikleri ile daha uzun ömürlü ve daha dayanıklı olması sonuçlarına varılmıştır.
- Yazılım ve test optimizasyonlarında kullanılan paketlerin ve simülasyon ortamının gerçek veriler ile doğruluğu test edilerek optimizasyon parametreleri belirlenmiştir.
- Sanal ortam ile gerçek ortam arasında robotun eksenel farkları göz önünde bulundurularak gerekli parametrelerin ve düğümlerin iletişimi yenilenmiştir.
- Endüstriyel robot kol sistemlerinin günümüzdeki kullanım alanlarına göre değerlendirmeler yapıp sistemin farklı alanlarda kullanılması için farklı paketler ve bu paketlere bağlı olarak deneysel malzemeler belirlenmiştir.

- Robot koordinat haritasında kullanılacak alana bağılı olarak eklem sayısının değiştirilebilir ve kullanıcının talebine göre gripper sistemleri üzerinde optimizasyon parametreleri belirlenmiştir.
- Sikloid redüksiyon oranının kontrolü ile robot kolun hız, tork, akım, doğrusal sapma, açısal sapma değerlerinin optimize edilebileceği belirlenmiştir.
- Redüksiyon oranının artması ile tork artışının doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiş olup optimum tork değerinin 1:15 redüksiyon oranında elde edilmiştir.
- Hız ile redüksiyon oranının ters orantılı olarak arttığı gözlemlenmiş olup redüksiyon oranının artmasıyla birlikte hızın düşmesi gözlemlenmiştir.
- Redüksiyon oranının artması ile akım artışının ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiş olup optimum tork değerinin 1:15 redüksiyon oranında elde edilmiştir.
- Redüksiyon oranının artmasıyla birlikte doğrusal sapma miktarının minimum değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Hassasiyet olarak belirlenen değer 1:15 redüksiyon için uygun değer olarak ön görülmüştür.
- Açısal sapma değerinin tork kuvveti ve redüksiyon oranı artması ile motor hızının azalmasına bağılı olarak sapma değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

4D-virtualiz Simulator. 4d-virtualiz.com. Retrieved October 3, 2019, from <https://www.4d-virtualiz.com>

A. Amir, G. Sascha, S. Francesca, (2016) Metrics and benchmarks in human-robot interaction: Recent Advances in cognitive robotics, *Cognitive Systems Research*.

Acar M., İki Ayaklı Yürüme Hareketinin Modellemesi ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

Akyol S. ve Alataş B., Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları,c. 1, ss. 36-50, 2012.

Albers A., Brudniok S., Otnad J., Sauter C., Sedchaicharn K. Upper Body of a new Humanoid Robot the Design of ARMAR III, 6th IEEE International Conference on Humanoid Robots, Genova, 308-313, 2006.

Alonso I. G., Collaborative Tasks Between Robots Based on the Digital Home Compliant Protocol over UPnP, ss. 357-371, 2013.

Asfour T., Berns K., Dillmann R., The Humanoid Robot ARMAR Design and Control. Romansy 13, Theory and Practice of Robots and Manipulators, 307-312, 2000.

Bakhshipour M., Ghadi M. J. ve Namdari F., Swarm robotics search & rescue: A novel artificial intelligence-inspired optimization approach, *Appl. Soft Comput. J.*, 2017.

Bischoff R., Graefe V., HERMES-a versatile personal robotic assistant, *Proc. of the IEEE-Special Issue on Human Interactive Robots for Psychological Enrichment*, 92(11), 1759-1779, 2004.

Bischoff R., Graefe V., Integrating Vision, Touch and Natural Language in the Control of a Situation-Oriented Behavior Humanoid Robot, *IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, Japan*, 999-1004,1999.

Bloesch P ve Fankhauser M., Collaborative Navigation for Flying and Walking Robots, sayı August, 2016.

Brooks R. A., Breazeal C., Marjanovic M., Scassellati B., Williamson M. M. The Cog Project: Building a Humanoid Robot. Computation for Metaphors, Analogy, and Agents, Springer, 52-87, 1999.

C. Andrea, P. Robin, C. Andre, L. Antoine, F. Philippe (2016) Collaborative manufacturing with physical human-robot interaction, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 40 1-13.

Christensensen J. L. ve Nielsen J., Development Modeling and Control of A Humanoid Robot, Aalborg University, Masters Thesis, 2007.

cuidevices.com(2022)

Çakmak T. T., Robotlar, ss. 15-20, 2006.

Fuchs M., Borst C, Robuffo P., Baumann A., Kraemer E., Langwald J., Gruber R., Seitz N., Plank G., Kunze K., Burger R., Schmidt F., Wimboeck T., Hirzinger G., Rollin Justin Design considerations and realization of a mobile platform for a humanoid, IEEE International Conference on Robotics Automation, Kobe, 4131-4137, 2009.

G. Michalosa, S. Makrisa, P. Tsarouchia, T.Guaschb, D. Kontovrakisa, G.Chryssolourisa (2015) Design considerations for safe human-robot collaborative work places, *Procedia CIRP* (37) 248 – 253.

Gazebo and ROS Integration. Retrieved October 3, 2019, from http://gazebosim.org/tutorials/?tut=ros_overview

Han J.D., Zeng S.Q., Tham K.Y., Badgero M., Weng J.Y., Dav: A Humanoid Robot Platform for Autonomous Mental Development, Proceedings of the 2nd International Conference on Development and Learning, 73-81, 2002.

<http://wiki.ros.org>, Erişim Tarihi: 27.08.2018.

<http://wiki.ros.org/kinetic>, Erişim Tarihi: 27.08.2018.

<http://wiki.ros.org/lunar>, Erişim Tarihi: 27.08.2018.

<http://www.donusumtr.com/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=6&id=55&id2=57>(2022)

<http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>

<https://blog.elfatek.com.tr/2019/10/23/sikloid-disli-reduktorlu-aktuator-tasarimi/>

<https://diyot.net/encoder/>(2022)

<https://docs.odriverobotics.com/v/latest/specifications.html>(2022)

<https://elektrikinfo.com/pcb-nedir/>(2022)

https://en.wikipedia.org/wiki/Cycloidal_drive(2022)

https://hobbyking.com/en_us/turnigy-aerodrive-sk3-6374-149kv-brushless-outrunner-motor.html?__store=en_us(2022)

<https://maker.robotistan.com/mikrodenetleyici-mikroislemci/>

<https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>(2022)

<https://maker.robotistan.com/rc-servo-motor-nedir/>(2022)

<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri>(2022)

<https://www.botem.com.tr/servo-motor-nedir/>(2022)

<https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/>(2022)

<https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/>(2022)

<https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/>(2022)

[https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/\(2022\)](https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/(2022))

[https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/\(2022\)](https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/(2022))

[https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/\(2022\)](https://www.elektrikde.com/pcb-nedir-pcbnin-katmanlari-ve-cesitleri/(2022))

[https://www.elektrikport.com/universite/baskili-devre-karti-yapimi-elektrikport-akademi/8940#ad-image-0\(2022\)](https://www.elektrikport.com/universite/baskili-devre-karti-yapimi-elektrikport-akademi/8940#ad-image-0(2022))

<https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/fircasiz-dc-servo-motor-3974/>

[https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/step-motor-cesitleri-4010/\(2022\)](https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/step-motor-cesitleri-4010/(2022))

[https://www.emo.org.tr/ekler/bfab61ba6134070_ek\(2022\)](https://www.emo.org.tr/ekler/bfab61ba6134070_ek(2022))

[https://www.makeitfrom.com/compare/6061-AlMg1SiCu-3.3214-H20-A96061-Aluminum/Glycol-Modified-Polyethylene-Terephthalate-PETG-PET-G\(2022\)](https://www.makeitfrom.com/compare/6061-AlMg1SiCu-3.3214-H20-A96061-Aluminum/Glycol-Modified-Polyethylene-Terephthalate-PETG-PET-G(2022))

[https://www.mokotechnology.com/tr/fr4-thermal-conductivity/\(2022\)](https://www.mokotechnology.com/tr/fr4-thermal-conductivity/(2022))

[https://www.motioncontroltips.com/how-do-cycloidal-gears-work-and-where-are-they-used/\(2022\)](https://www.motioncontroltips.com/how-do-cycloidal-gears-work-and-where-are-they-used/(2022))

[https://www.motorobit.com/blog/icerik/step-motor-nedir-nasil-calisir\(2022\)](https://www.motorobit.com/blog/icerik/step-motor-nedir-nasil-calisir(2022))

[https://www.neugart.com/tr-tr/yetkinliklerimiz/planet-disli\(2022\)](https://www.neugart.com/tr-tr/yetkinliklerimiz/planet-disli(2022))

[https://www.pjrc.com/store/teensy41.html\(2022\)](https://www.pjrc.com/store/teensy41.html(2022))

[https://www.researchgate.net/figure/The-simulated-phase-current-waveforms-of-the-stator-ironless-PM-BLDC-motor-at-full-load_fig10_331426223\(2022\)](https://www.researchgate.net/figure/The-simulated-phase-current-waveforms-of-the-stator-ironless-PM-BLDC-motor-at-full-load_fig10_331426223(2022))

<https://www.robocombo.com/blog/icerik/fircasiz-dc-motor-nedir-ve-calisma-prensibi>

[https://www.sahinrulman.com/blog/step-motor-nedir-cesitleri-nelerdir-ve-nasil-calisir\(2022\)](https://www.sahinrulman.com/blog/step-motor-nedir-cesitleri-nelerdir-ve-nasil-calisir(2022))

J. Krüger, T. K. Lien, A. Verl, (2009) Cooperation of human and machines in assembly lines, *Manufacturing Technology*, (58) 628-646.

Kanda T., Ishiguro H., Ono T., Imai M., Nakatsu R., Development and Evaluation of an Interactive Humanoid Robot “Robovie”, IEEE International Conference on Robotics Automation, Washington, 1848-1855, 2002.

Kara M., Oğul Robotlari Yön Bulma Problemi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

Koenig, N., & Howard, A. (2004, September). Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In

Ly D.N., Regenstien K., Asfour T., Dillmann R., A Modular and Distributed Embedded Control Architecture for Humanoid Robots. International Conference on Intelligent Robots and Systems, Japan, 2775-2780, 2004.

Morita T., Shibuya K., Sugano S. Design and Control of Mobile Manipulation System for Human Symbiotic Humanoid Hadaly-2. IEEE International Conference on Intelligent Robotics and Automation, Leuven, 1315-1320, 1998.

N. Papakostas, G. Michalos, S. Makris, D. Zouzas, G. Chryssolouris (2011) Industrial applications with cooperating robots for the flexible assembly, *Int.J.Comput. Integr.Manuf.* 24 (7) 650–660.

Oh H., Ramezan A., Sun C. ve Jin Y, Bio-inspired self-organising multi-robot pattern formation : A review, *Rob. Auton*

P. Akella, M. Peshkin, E. Colgate, W. Wannasuphoprasit, N. Nagesh, J. Wells, S. Holland, T. Pearson, B. Peacock (1999) Cobots for the automobile assembly line, *IEEE, ICRA*.

Park I., Kim J., Lee J. ve Oh J., Mechanical Design of Humanoid Robot Platform KHR-3 (KAIST Humanoid Robot -3 : HUBO) , c. 3, ss. 321-326, 2005.

Park I., Kim J., Lee J. ve Oh J., Mechanical Design of Humanoid Robot Platform KHR-3 (KAIST Humanoid Robot3 : HUBO) , c. 3, ss. 321-326, 2005.)

Popescu N., Popescu D., Cozma A. ve Vaduva A. J., Hardware design and implementation of an Intelligent Haptic Robotic Glove, EPE 2014 - Proc. 2014 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng., sayı Epe, ss. 174-177, 2014.

Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., ... & Ng, A. Y. (2009, May). ROS: an open-source Robot Operating System. In ICRA workshop on open source software (Vol. 3, No. 3.2, p. 5).

S., Mino M., Uno Y., Hara K., Tanak H., Tsuoruoka T., Development of Autonomous Mobile Humanoid Robot. Industrial Electronics Society, 529-534, 1999.

Tang J., Watanabe K., Shiraishi Y. Design and traveling experiment of an omnidirectional holonomic mobile robot. In Proc. of IEEE/RSJ Int. conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS' 96), Osaka, 66-73, 1996.

Tiejun Z., Dalong T. Mingyang Z. The Development of a Mobile Humanoid Robot with Varying Joint Stiffness Waist. Mechatronics and Automation, IEEE International Conference (Volume: 3), 1402-1407, 2005.

Tuna G., Çoklu Algılayıcı Füzyonunun Çoklu Robot Sistemlerinde Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama Proglemine Uygulanması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2012.

W. Garage, ROS: Robot Operating System, 2011[J]. URL: <http://www.ros.org>, 2011

Wang J., Li Y. A Survey on the Structures of Current Mobile Humanoid Robots-2 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, Macao, 1826-1829, 2008.

Wang L, Collaborative robot monitoring and control for enhanced sustainability, ss. 1433-1445, 2015.

Wang T., Dang Q. ve Pan P., A Multi-Robot System Based on A Hybrid Communication Approach, c. 1, sayı 1, ss. 91–100, 2013.

www.robotpark.com.tr/blog/tum-robot-tipleri/nano-robotlar.

Yeni sanayi devrimi akıllı üretim sistemleri yol haritası, TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı (2016).