



T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ EKSENLİ ROBOT KOL TASARIMI VE ROBOT KOLUN
KONTROLÜ İÇİN EEG VERİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ
İLE SINIFLANDIRILMASI**

KAAN ASLIM
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AKGÜN

İSTANBUL - 2024



T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ EKSENLİ ROBOT KOL TASARIMI VE ROBOT KOLUN
KONTROLÜ İÇİN EEG VERİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ
İLE SINIFLANDIRILMASI**

KAAN ASLIM
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AKGÜN

İSTANBUL - 2024



LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı Öğrencisi Kaan Aslım tarafından hazırlanan “*Üç Eksenli Robot Kol Tasarımı ve Robot Kolun Kontrolü için EEG Verilerinin Makine Öğrenmesi ile Sınıflandırılması*” konulu çalışması jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 01/10 /2024

Jüri Üyesinin Ünvanı, Adı, Soyadı ve Kurumu:

İmzası

Jüri Üyesi : Dr.Öğr.Üyesi Gökçe Akgün
Haliç Üniversitesi

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Behiye Yüksel
Atlas Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr.Öğr.Üyesi Muhammet Sinan Başarslan
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Bu tez yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun kararıyla kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Nihat İnanç
Müdür

Kaan Aslım Yüksek Lisans Tezi

ORJİNALLİK RAPORU

%9

BENZERLİK ENDEKSİ

%8

İNTERNET KAYNAKLARI

%6

YAYINLAR

%5

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

%1

2

Submitted to Kirikkale University

Öğrenci Ödevi

%1

3

Arman, Arailym. "Türkiye Türkçesi Öğrenen Kazak Öğrencilerin Sözcük Düzeyinde Yaptıkları Yanlışlar", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

%1

4

dergipark.org.tr

İnternet Kaynağı

<%1

5

Dagdelen, Adnan Fatih. "Silikon ve Plastik Esaslı Mutfak Gereçlerinden Gidaya Gecen Toplam Kalıntı ve Metal Konsantrasyonlarının Arastırılması", Bursa Uludag University (Turkey), 2021

Yayın

<%1

6

Submitted to Karadeniz Teknik University

Öğrenci Ödevi

<%1

7

Submitted to Curtin University of Technology

ETİK BEYANI

Haliç Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Kaan Aslım

01/10/2024

ÖZET

ÜÇ EKSENLİ ROBOT KOL TASARIMI VE ROBOT KOLUN KONTROLÜ İÇİN EEG VERİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE SINIFLANDIRILMASI

Haliç Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Akgün

Kasım 2024, 130 sayfa

Gelecekte insan-makine etkileşiminin yaygın olarak düşünceler ve beyin sinyalleri kullanılarak gerçekleştirileceği düşünülmektedir. Beyin-makine arayüzü olarak adlandırılan bu etkileşim türü üzerine yeni uygulama yöntemlerinin keşfedilmesi ve yaygınlaşması ile birlikte, teknoloji ve günlük hayatta yeni bir gelişim döneminin yaşanması ve bu gelişmelerden endüstriyel üretim sektörünün de etkilenmesi beklenmektedir. Bahsedilen konu üzerine yapılacak çalışmalar, literatüre katkı sağlayarak süreci hızlandıracaktır. Bu amaçla bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında endüstride yaygın olarak kullanılan robot kolların 3 eksenli bir versiyonunun PLC devresi kullanılarak oluşturulması ve kontrolü için EEG yöntemi ile elde edilen verilerin makine öğrenmesi ile sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır. Teknolojik sistemlerin kontrol uygulamalarında beyin-makine arayüzü kullanılmasının pratikliği ve verimi arttıracakı düşünülmektedir. Ayrıca, bahsedilen uygulamanın yaygınlaşması ile endüstriyel makinelerin fiziksel engelli bireylerin kullanımına uygunluğu artacaktır. Projenin bir diğer amacı ise, CAD, yapısal analiz, robot kolun kinematiki, PLC devresi, beyin sinyalleri, EEG, makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma üzerine yapılan çalışmaların derlenerek, bir mekatronik sistemin tasarımı ve üretilmesi üzerine, yaygın üretim yöntemleri ve endüstriyel standartta ekipmanların kullanımını içeren temel bir bilgi kaynağı oluşturmaktır. Projenin ilk aşamasında robot kol tasarlanmış ve üretilmiştir. Projenin ikinci aşamasında EEG cihazı ile beyin sinyalleri kayıt altına alınmış, robot kolun manipülasyonunda kullanılabilmesi için gerekli makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Robot kolun çalışma testi, çalışma uzayı içerisinde uygun bir cismi bir noktadan farklı bir noktaya taşıması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde beyin-makine etkileşiminin mevcut kontrol uygulamalarına bir alternatif sunduğu ancak sektörde yaygın olarak kullanımı için daha verimli beyin-makine arayüzü teknolojileri ve yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robot Kol, EEG, Beyin-Makine Arayüzü, Makine Öğrenmesi, PLC.

ABSTRACT

DESIGN OF A 3-AXIS ROBOT ARM AND CLASSIFICATION OF EEG DATA WITH MACHINE LEARNING TO CONTROL THE ROBOT ARM

Haliç University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Gökçe Akgün

November 2024, 130 pages

It is thought that in the future, human-machine interaction will be widely achieved using thoughts and brain signals. With the discovery and spread of new application methods on brain-machine interface, it is expected that a new period of development will be experienced in technology, daily life and industrial production sector. Research and studies on the subject will contribute to the literature and will be useful in terms of accelerating the process and catching up with the developing technology. For this purpose, within the scope of this Master's Thesis, a 3-axis version of the robot arms widely used in the industry was created using PLC circuit, and for its control, the data obtained by EEG method was classified with machine learning. With the use of brain-machine interface on such machines it is aimed to increase the practicality and efficiency of control. In addition, it will increase the suitability of industrial machines for use by physically disabled individuals. Another aim of the project is to create a basic information source on the design and production of a mechatronic system. Firstly the mechatronic system consisting of the mechanics, electronics and software of the robot arm was designed and put into production. Secondly the brain signals representing the researcher's direction commands were recorded with an EEG device, classified with machine learning algorithms necessary for the manipulation of the robot arm. Testing of the robot arm is done by moving a suitable object to a different point within the workspace. As a result of the studies, it has been concluded that control applications with brain signals offer an alternative to current control applications, but for active use in the sector, better technology and methods must first be developed in the field of brain-machine interface.

Key Words: Robot Arm, EEG, Brain-Machine Interface, Machine Learning, PLC.

TEŞEKKÜR

Teknolojik gelişmelerle birlikte, insanın teknolojiyle etkileşim yöntemleri de gelişmektedir. Bu durum karşılıklı olarak birbirini etkileyerek insanın günlük yaşantısını şekillendirmektedir. Makineleşme ile birlikte manuel kumanda uygulamaları, elektroniğin gelişmesi ve dijitalleşme ile birlikte kablosuz, uzaktan, dokunmatik vb. çok daha pratik kontrol yöntemleri insanlara çok büyük kolaylık sağlamış ve günlük yaşantıda çok yaygın bir yer edinmiştir. Bu gelişmelerin mevcut kullanımı, gittikçe soyutlaşan teknolojik uygulamalar ve insanların pratiklik arayışı gözlemlendiğinde, gelecekte özellikle insanların teknolojik cihazlarla etkileşiminde düşünceler, beyin sinyalleri vb. aracılığı ile beyin-makine etkileşimi yöntemlerinin yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında, beyin-makine etkileşimi konusunda protezler, tıbbi aletler ve günlük cihazların kullanımı üzerine yapılmış çalışmalara bir alternatif olarak, teknolojinin her zaman en önemli alanlarından bir tanesi olacak olan endüstriyel üretim sektöründeki makinelerin, beyin-makine etkileşimi ile kontrol edilebilirliği üzerine temel bir çalışma olması amacıyla üç eksenli bir robot kolun tasarlanması ve robot kolun kontrolü için EEG verilerinin makine öğrenmesi ile sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır.

Ayrıca bütün eğitim hayatım boyunca gözlemlediğim, teorik, akademik çalışmalarla elde edilen bilgi birikiminin pratikteki uygulamalara aktarımı ve gerçekleştirilmesi kısmındaki eksikliğin, teori ile pratiği bir bütün olarak ele alan bir eğitim yaklaşımı ve teorik temeller ile sektördeki mevcut uygulama yöntemlerini birlikte çalışan kaynakların artırılması ile giderileceğine inanmaktayım. Bu doğrultuda, tez çalışmamın, sektörde aktif olarak kullanılan yöntemlerden yararlanılarak bir mekatronik sistemin oluşturulması ve beyin-makine etkileşimi üzerine, endüstriyel robot kolların basitleştirilmiş bir versiyonu olan üç eksenli bir robot kolun tasarlanarak üretilmesi ve EEG verilerinin robot kol kontrolü için makine öğrenmesi ile sınıflandırılması örnekleri aracılığıyla temel bir kılavuz olması amaçlanmıştır.

Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitim sürecim boyunca eğitimime olan çok değerli katkıları ve yol göstericilikleri için başta Tez Danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Akgün “Haliç Üniversitesi” hocama, Sayın Prof. Dr. Behiye Yüksel “Atlas Üniversitesi” hocama ve eğitimimde emeği geçen bütün hocalarıma çok teşekkür ederim. Ayrıca, bu projenin gerçekleştirilmesi için bana her türlü desteği, imkanı sağlayan sevgili aileme ve üretim sürecinde emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler ve Literatür Taraması	2
1.1.1. Mekatronik Sistemler	5
1.1.2. Mekanik Tasarım.....	5
1.1.3. Elektronik Tasarım	6
1.1.4. Yazılım Tasarımı	7
1.1.5. Kontrol Modeli Tasarımı	7
1.1.6. Analiz.....	8
1.1.7. Yapısal Analiz	9
1.1.8. Sonlu Elemanlar Analizi.....	9
1.1.9. Robot Kol	9
1.1.10. Robot Kolun Kinematığı.....	10
1.1.11. PLC.....	10
1.1.12. EEG	11
1.1.13. Beyin Sinyallerinde Standart Frekanslar	11
1.1.13.1. Delta bandı.....	11
1.1.13.2. Teta bandı	12
1.1.13.3. Alfa bandı	12
1.1.13.4. Beta bandı	12
1.1.13.5. Gama bandı	12
1.1.14. EEG Cihazı	12
1.1.15. FFT Analizi.....	13
1.1.16. Dalgacık Dönüşümü Analizi	13
1.1.17. Makine Öğrenmesi	14
2. GEREÇ VE YÖNTEM	15
2.1. Robot Kolun Fiziksel Modeli ve Hareket Denklemi.....	15
2.2. Robot Kolun Çalışma Uzayı	22
2.3. Robot Kolun Mekanik Tasarımı.....	24
2.4. Robot Kolun Elektroniği	27
2.5. Robot Kolun ANSYS Programı ile Sonlu Elemanlar Analizi.....	31
2.6. PLC Yazılımı	33
2.7. EEG ile Beyin Sinyali Veri Kümesinin Elde Edilmesi	37
2.7.1. EEG Verilerinin Toplanması Kullanılan Yazılım	41
2.8. Makine Öğrenmesi	41
2.8.1. KNN.....	42
2.8.2. Karar Ağacı.....	42
2.8.3. Naive Bayes.....	43
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
3.1. Mekanik Tasarımda Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar.....	45

3.2. Elektronik Tasarımda Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar	45
3.3. Robot Kolun Analiz Sonuçları	46
3.4. Makine Öğrenmesi Sonuçları	51
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	59
EKLER	63
EK-1a.....	64
EK-1b	65
EK-1c.....	66
EK-1ç.....	67
EK-1d	68
EK-1e	69
EK-2	70
EK-3	71
EK-4	72
EK-5	73
EK-6	74
EK-7	75
EK-8	76
EK-9	77
EK-10	78
EK-11	79
EK-12	80
EK-13	81
EK-14	82
EK-15	83
EK-16	84
EK-17	85
EK-18	86
EK-19	87
EK-20	88
EK-21	89
EK-22	90
EK-23	91
EK-24	92
EK-25	93
EK-26	94
EK-27	95
EK-28	96
EK-29	97
EK-30	98
EK-31	99
EK-32	100
EK-33	101
EK-34	102
EK-35	103
EK-36	104
EK-37	105
EK-38	106

EK-39	107
EK-40	108
EK-41	109
EK-42	110
EK-43	111
EK-44	112
EK-45	113
EK-46	114
EK-47	115
EK-48	116
EK-49	117
EK-50	118
EK-51	119
EK-52	120
EK-53	121
EK-54	122
EK-55	123
EK-56	124
EK-57	125
EK-58	126
EK-59	127
EK-60a	128
EK-60b	129
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Görseller Veri Seti Oluşturulurken Kullanılan Görseller.....	38
2.2. EEG Uyarılar Veri Seti Oluşturulurken Kullanılan Düşünceler.....	39
3.1. Uyarılar Veri Seti Başarım Oranları	52
3.2. Görseller Veri Seti Başarım Oranları	52



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1.1. Mekatroniği Oluşturan Bilim Dallarının Birbiri ile Etkileşimi.....	5
1.2. Temel Açık ve Kapalı Kontrol Döngüleri.....	8
1.3. Kapalı Döngü Kontrol Modeli	8
1.4. FFT Zaman-Frekans Boyutu Dönüşümü.....	13
1.5. Dönüşümlerin Zaman-Frekans Çözünürlük Karşılaştırması.....	14
2.1. Robot Kolun Serbest Cisim Diyagramı (SCD)	16
2.2. Giriş Uzvunda Oluşan Moment SCD.....	16
2.3. Giriş Uzvu Dişlileri	17
2.4. İkinci Uzuvara Oluşan Moment SCD.....	18
2.5. Tutucu Uca Aktarılan Kuvvet ve Momentler.....	20
2.6. YZ Düzlemindeki Hareketin İleri Kinematik Analizi	21
2.7. ZY Düzlemindeki Çalışma Alanının Monte Carlo Metodu ile Hesabı.....	23
2.8. Robot Kolun Y Eksen Etrafındaki Açısal Çalışma Alanı.....	23
2.9. Üç Eksenli Robot Kol SolidWorks Çizimi	24
2.10. Üç Eksenli Robot Kol	26
2.11. Robot Kol Güç Paneli	27
2.12. Robot Kol Devre Şeması.....	29
2.13. Robot Kol Elektrik Panosu.....	30
2.14. Motor Kutusu ve Motor Arasında Tanımlanan Bağlı Temas.....	31
2.15. Robot Kol Üzerinde Oluşturulan Ağ	32
2.16. Uygulanan Kuvvetler ve Sınır Koşulu	33
2.17. Sınır Koşulları ve Kuvvetlerin Değerleri	33
2.18. TiaPortal PLC Ayarları Bölümü	34
2.19. TiaPortal Adım Motor ve Sürücü Ayarları Bölümü	35
2.20. TiaPortal PLC Etiketleri Bölümü.....	36
2.21. TiaPortal Sanal Kontrol Paneli.....	37
2.22. NeuroSky Mindwave Mobile 1 EEG Cihazı.....	38
2.23. EEG Görseller Veri Seti Dosyalama Biçimi.....	40
2.24. EEG Görseller Veri Seti İçeriği	40
2.25. EEGID Programı	41
2.26. Örnek Karışıklık Matrisi	43
3.1. Şasi Deplasman Sonuçları.....	46
3.2. Şasi Deplasman Sonuçları Değerleri.....	46
3.3. Şasi Gerilme Sonuçları.....	47
3.4. Şasi Gerilme Sonuçları Değerleri.....	48
3.5. Robot Kolun Ana Mil Üzerinde Oluşturduğu Moment	48
3.6. Robot Kolun Oluşturduğu Moment Değerleri.....	49
3.7. Kritik Dişli Çifti Üzerindeki Moment ve Sınır Koşulu.....	49
3.8. Kritik Dişli Çifti Üzerindeki Gerilme Sonuçları.....	50
3.9. Kritik Dişli Çifti Üzerindeki Gerilme Sonuçları Detay Görünüm	50
3.10. Kritik Dişli Çifti Üzerindeki Gerilme Sonuçları Değerleri.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	İvme
A	A olayı
b	Kayış kalınlığı
B	B olayı
β°	Kayış kavrama açısı
C_i	Karar ağacı denklemi i .sınıf tipi değişkeni
cm	Santimetre
F	Kuvvet
FN	Karışıklık matrisi yanlış negatif
FP	Karışıklık matrisi yanlış pozitif
g	Gram
g	Yer çekimi ivmesi
Hz	Hertz
i	Dişli çevrim oranı
kg	Kilogram
L_1	Robot kol birinci uzuv uzunluğu
L_2	Robot kol ikinci uzuv uzunluğu
m_1, m_2, m_3, m_4	Kütle
M_1, M_2	Moment
m	Metre
μ	Statik sürtünme katsayısı
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
Ms	Milisaniye
n	Devir
N	Newton
N_m^i	m düğümüne erişen C_i sınıflı örnek sayısı
N_m	Bir m düğümüne erişen toplam örnek sayısı
P	Kayışın ileteceği güç
P	Safsızlık değeri
P	P olayı
P_β	Kayışın 1 mm kalınlığının iletebildiği güç
P_y	Tutucu ucun y eksenini bileşeni
P_z	Tutucu ucun z eksenini bileşeni
Q_1	Birinci uzvun z eksenini ile yaptığı açı
Q_2	İkinci uzvun z eksenini ile yaptığı açı
r	Moment kuvvet kolu
S	Güvenlik Faktörü
T	Tork
TN	Doğru negatif
TP	Doğru pozitif
V	Volt

w	Açısal hız
x_1	Öklid mesafesi x eksenindeki ilk mesafe
x_2	Öklid mesafesi x eksenindeki ikinci mesafe
y_1	Öklid mesafesi y eksenindeki ilk mesafe
y_2	Öklid mesafesi y eksenindeki ikinci mesafe
z	Dişli diş sayısı
z_{kasnak}	Kasnak diş sayısı
z_w	Kasnak kavrayan diş sayısı

Kısaltmalar

AI	Yapay Zeka
BMI	Beyin-Makine Arayüzü
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	Bilgisayar Sayımlı Yönetim
DES	Simetrik Şifreleme Algoritması
DH	Denavit-Hartenberg Parametreleri
EDA	Elektronik Dizayn Otomasyonu
EEG	Elektroensefalografi
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
IIoT	Endüstriyel Nesnelerin İnterneti
IoT	Nesnelerin İnterneti
KNN	K-En Yakın Komşu
ML	Makine Öğrenmesi
NLGI	Ulusal Yağlama Gresli Enstitüsü
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
SCD	Serbest Cisim Diyagramı
SEA	Sonlu Elemanlar Analizi

1. GİRİŞ

İnsanın öğrenme yeteneği, gelişme isteği ve ihtiyaçları tarih boyunca yenilikler üretmesine ve teknolojinin gelişmesine neden olmuştur. Bu gelişim süreci, insanın temel ihtiyaçlarını karşılanmasına destek olması amacıyla ilkel aletler üretmesi ile başlamış, günümüzde dünya çapında gerçekleşen çok daha karmaşık eylemleri destekleyen sayısız üretim ve teknolojiye dönüşerek ilerlemiştir. Bütün bu sürece bakıldığında gelecekte insanın ve teknolojinin karşılıklı gelişiminin çok daha hızlı ve büyük çapta ilerleyeceği görülmektedir.

Teknoloji alanında tarihin büyük bir döneminde çoğunlukla fiziksel güç veya doğanın işlenmemiş kaynakları kullanılmıştır. Bu durum 18.yüzyılda Sanayi Devrimi'nin keşfi ile değişmiştir. Sanayi Devrimi ile kullanılan fiziksel güç ve elle üretim yöntemlerinin yerini makineler ve doğal kaynakların işlenmesi ile elde edilen gücün kullanımı almıştır. Sanayi Devrimi ile birlikte çok daha hızlı ve büyük çapta gelişen teknoloji, insanlığa sağladığı imkanlar ile birlikte karşılıklı olarak nüfus ve üretim artışına neden olmuştur. Bahsedilen bu etkilerin sonucunda endüstriyel üretim sektörleri oluşmuş ve endüstriyel üretim, makineleşme dünyadaki düzenin ana yapı taşlarından biri haline gelmiştir.

Endüstriyel üretimin yaygınlaşması ve keşfedilen yeni bilimsel gelişmeler ile birlikte özellikle yarı iletkenlerin keşfinden sonra makineleşme çok büyük bir ivme ile elektronikleşmeye dönüşmüştür. Elektromekanik sistemlerle başlayan elektronik çağı, bilgisayar ve cep telefonu gibi cihazların keşfiyle günlük yaşantımızı derinden etkilemiştir. Gelişen teknoloji sadece yeni makinelerin, cihazların, araçların üretilmesi ile sınırlı kalmamış, bu sistemlerin kullanımına, birbirleriyle ve insanlarla etkileşimine de etki etmiştir. Bu etkinin bir sonucu olarak insan-makine etkileşimi (HMI) açısından, mekanik kumanda yöntemleri ile başlayan uygulamalar, günümüzde dokunmatik ekranlar, sesli komutlar vb. teknolojilere dönüşerek çok daha gelişmiş, uygulaması kolay ve pratik hale gelmiştir. Teknolojinin sürekli daha

pratik, etkili olan çözümlere yönelimi ve mevcut gelişmelerin daha soyut, dijital, çok bileşenli sistemlere doğru ilerlemesi göz önüne alındığında, gelecekte insan-makine etkileşiminin yaygın olarak düşünceler ve beyin sinyalleri ile gerçekleştirileceği düşünülmektedir. Beyin sinyalleri ve düşünceler ile kontrol uygulamalarının, dokunmatik ekranlar, akıllı cihazlarda kullanılan diğer teknolojiler vb. günümüz insan-makine etkileşimi yöntemlerinin sağladığı pratikliği ve hakimiyeti çok daha ileri seviyeye taşıyarak, akıllı cihazların ilk yaygınlaştığı dönemdekine benzer bir etkiyle, günlük yaşamı ve insanlığın teknolojiyle etkileşimini derinden etkileyerek, teknolojiye yeni bir dönem başlatacağı düşünülmektedir.

Bu tez kapsamında gelecekte yaygınlaşacağı düşünülen beyin sinyalleri, düşünceler aracılığı ile gerçekleşecek olan insan-makine etkileşiminin, teknolojinin her zaman yapı taşlarından bir tanesi olacak olan endüstriyel üretim alanında yaygın olarak kullanılan robot kollar uygulamasına odaklanılmıştır. Bu doğrultuda üç eksenli temel bir robot kolun tasarlanması ile kontrolü için elektroensefalografi (EEG) verilerinin makine öğrenmesi ile sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır. Gelecekte diğer bütün alanlarla birlikte, endüstriyel üretim alanında da yaygın olacağı düşünülen beyin-makine etkileşimi (BMI) uygulamalarının araştırılması, konu ile ilgili yapılacak her türlü çalışma, gelecek teknolojilere zemin hazırlamak ve literatüre bilgi kaynağı sunmak açısından önem arz etmektedir.

1.1. Genel Bilgiler ve Literatür Taraması

İnsan etkileşimli teknolojik sistemlerin kontrol uygulamalarında, genellikle fiziksel etkileşim gerektiren ve o sistem için özel olarak tasarlanmış, bir kontrol cihazı veya pano kullanılır. Endüstride yaygın olarak kullanılan Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) ile otomasyon uygulamaları bu durumun en bilinen örneklerindendir (Barz vd., 2015; Gonzalez vd., 2021). Fiziksel etkileşim doğal olarak bazı durumlarda pratiklik, mobilite ve yük gibi faktörler için olumsuzluk yaratmaktadır. Ayrıca genellikle her bir sistem için ayrı bir kontrol cihazı, pano üretmek ve kullanmak gerekmektedir. Bu durum ise üretim açısından ekstra emek, zaman ve maliyete neden olmaktadır. Bu kayıpları azaltmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmakla birlikte özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) alanında dikkat çekici çalışmalar yürütülmektedir.

Nesnelerin İnterneti cihazların bir veri ağı oluşturacak şekilde İnternet üzerinden bağlanarak insan etkileşimine imkan verecek şekilde veri transfer etmesidir (Gazis, 2021). IoT sayesinde cihazlar arasındaki etkileşimde standart makineler arası direkt etkileşime göre daha verimli sonuçlar alınabilmektedir. Mukhsin ve Yulianti (2021) uzaktan kumanda ile kontrol uygulamalarında farklı cihazlar için birçok kumanda kullanmak yerine Nesnelerin İnterneti sistemi olarak çalışan tek bir kontrol cihazı ile kumanda uygulaması üzerine çalışmışlardır. Her geçen gün artarak devam eden endüstri alanındaki IoT uygulamaları Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) veya İnternet 4.0 olarak adlandırılmaktadır. Gonzalez vd. (2021) bir IIoT uygulaması olarak hidrolik güç makinesinin İnternet üzerinden uzaktan kumanda ile kontrolü üzerine çalışmışlardır.

Bahsedilen bu kayıplara alternatif bir çözüm, her seferinde ayrı bir üretim gerektiren fiziksel etkileşimli kontrol üniteleri kullanmak yerine tek bir EEG cihazı ile beyin sinyalleri aracılığıyla çalışan insan-makine etkileşimi uygulamaları geliştirmektir. EEG kafa yüzeyine yerleştirilen elektrotlar ile beyin aktiviteleri ile ilgili olan nöronların elektrik iletimleri sırasında kafa yüzeyinde meydana getirdikleri gerilimlerin ölçülmesi ve analiz edilmesi şeklinde çalışır (Germain, 2015). Beyin sinyalleri üzerine yapılan çalışmalar 1920'lere kadar uzansa da özellikle son 20 yılda büyük gelişme göstermiştir. EEG teknolojisinin gelişmesi ve beyin sinyalleri üzerine yapılan çalışmalarla yeni analiz yöntemlerinin keşfedilmesiyle birlikte insan makine etkileşiminde kullanılan standart makine-makine haberleşmesi yöntemleri ile gerçekleştirilen kontrol uygulamalarını ileri taşıyan IoT gibi uygulamalar daha da ileri taşınarak, insan-makine etkileşimindeki birçok ara basamağı ortadan kaldırma imkanı doğmuştur. Bu sayede makineler ve insanlar arasında klasik yöntemlere kıyasla çok daha direkt, anlık etkileşim kurarak daha pratik, verimli sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu uygulamaların endüstri standartlarına ve günlük kullanıma uygun hale gelmesi için birçok çalışma yürütülmektedir. Bozinovska ve Adrijan (2021) EEG uygulamalarının çeşitli kontrol devrelerine entegre edilmesi üzerine araştırma yürütmüşlerdir. Padfield, Camilleri, Camilleri, Fabri ve Bugeja. (2022) dinamik cihazların EEG ile kontrolü üzerine araştırma yürütmüşlerdir.

EEG ve benzeri teknolojiler ile gelecekte kullanıcılar ve cihazlar arasında neredeyse kayıpsız etkileşimler gerçekleştirilebileceği ve akıllı cihazların hayatımıza

girmesiyle teknoloji alanında yaşadığımız sıçramanın bir benzerini teknolojik aletlerle tamamen düşünceler ile etkileşime geçerek yaşayacağımız düşünülmektedir.

EEG uygulamaları cihazlarla etkileşimi yeni boyutlara taşıyarak endüstri ve günlük hayattaki verimi, kullanım pratikliğini arttırmasının yanında engelli bireylerin teknoloji ile etkileşimi ve daha da önemlisi günlük hayat kalitelerini arttıran gelişmiş protez uygulamalarına da imkan vermektedir. Özellikle fiziksel uzuvlarını kaybetmiş ya da doğuştan uzva sahip olmayan bireyler için beyin sinyalleri ile anlık çalışan uzuvlar geliştirilmesi üzerine dünya çapında çalışmalar yürütülmektedir. Maassarani vd. (2021) EEG ile 4 eksenli bir protez kol projesi üzerine çalışmış, beyin sinyalleri aracılığıyla protez kolu hareket ettirerek bir cismi taşıma görevini başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Beyrouthy, Kork, Korbane ve Abdulmonem (2016) uygun maliyetli, 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş, uzuv hislerini taklit etmek amacıyla çeşitli sensörlerle donatılmış protez kol projesi üzerine çalışmışlardır.

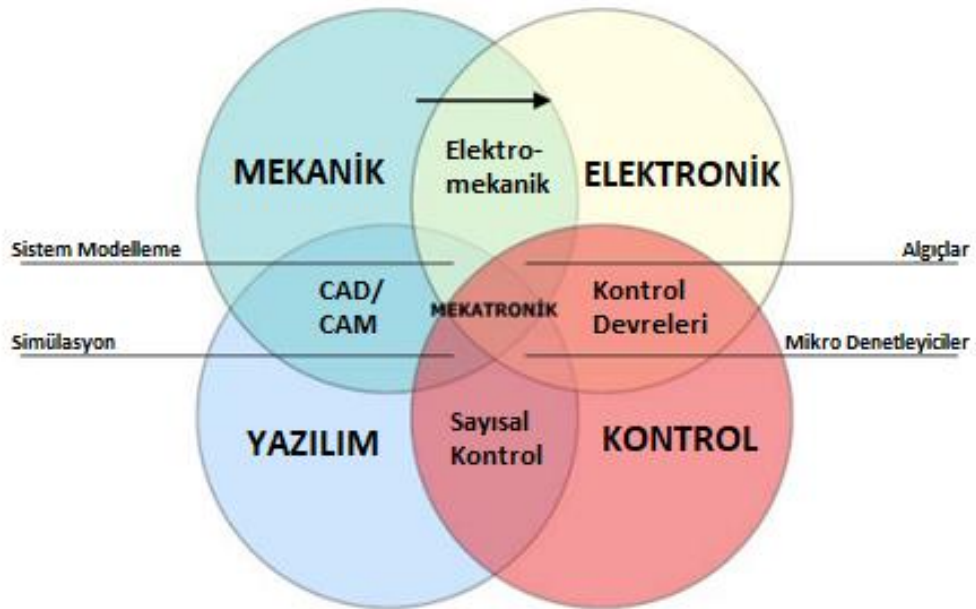
Gelecekte birçok alanda teknolojik cihazlarla etkileşimin beyin sinyalleri gibi yöntemlerle fiziksel etkileşimin kısıtlarından kurtularak pratikleşeceği öngörülmektedir. Bu nedenle konu üzerindeki çalışmaların sayısının ve derinliğinin arttırılması faydalı olacaktır. Varbu, Muhammad ve Muhammad (2022) 202 adet yayından yararlanarak EEG uygulamalarının geçmişi, mevcut uygulamaları ve gelecekteki kullanım alanları üzerine derleme bir çalışma yapmış, mevcut yönelimin özellikle medikal alanla birlikte diğer alanlarda da geliştiğinden bahsetmişlerdir.

Bu projede, bahsedilen fiziksel insan-makine etkileşimlerine ve kısıtlamalarına alternatif çözüm olarak bir beyin-makine etkileşimi uygulamasının incelenmesi amaçlanmış, bu doğrultuda bir EEG cihazı ile elde edilen verilerin makine öğrenmesi ile sınıflandırılması ve endüstride yaygın olarak kullanılan robot kolların, Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) devresi ile çalışan üç eksenli bir versiyonunun tasarlanması ve üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Uygulama sırasında beyin sinyalleri EEG cihazı ile araştırmacı üzerinden toplanmış ve elde edilen özgün veri, farklı makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Geliştirilebilecek ara yazılım ile sınıflandırma sonuçları kullanılarak, robot kolun temel hareketlerinin (sağa, sola, ileri, geri, yukarı, aşağı, tutma, bırakma gibi) gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise beyin sinyalleri, EEG donanımı ve yazılımı, robot kolun kinematiği, CAD tasarımı, yapısal analizi ve makine öğrenmesi konuları üzerine yapılacak çalışmaların derlenerek bilgi

kaynağı haline getirilmesi, araştırmacının ve okuyucuların konu ile ilgili bilgi birikimini arttırarak EEG ve robot kol alanlarında literatüre katkı sağlamaktır.

1.1.1. Mekatronik Sistemler

“Mekatronik sistemler mekanik, elektronik, kontrol ve yazılım bileşenlerinden oluşan; algılayıcıları aracılığıyla istenilen verileri toplayan, bu verileri kontrolcüler ve hafızasındaki yazılımlar aracılığıyla yorumlayarak gerekli kararları alabilen, bu kararlar doğrultusunda tahrik elemanları ile de gerekli tepkileri veren tüm makine, cihaz ve sistemlerdir”(Özkan,2009:304). Mekatroniği oluşturan öğeler Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Mekatroniği oluşturan bilim dallarının birbiri ile etkileşimi (Özkan, 2009).

Mekatronik sistemlerin tasarım yaklaşımında, adım adım ilerleyen geleneksel tasarım yöntemlerine ek olarak, her bir tasarım aşamasında sistemin genel modeli ile mekanik, elektronik, yazılım bileşenleri bir bütün olarak birbiriyle uyumlu olacak şekilde eş zamanlı incelenerek tasarlanmaktadır.

1.1.2. Mekanik Tasarım

Mekanik tasarım, belirli girdiler ve parametreler altında istenilen sonuçları verecek fiziksel sistemin fonksiyonel olarak çalışacak şekilde oluşturulmasıdır. Mekanik tasarım sürecine genellikle taslak çizimi ile başlanılmaktadır ve istenilen fonksiyonelliğin sağlanabilmesi için mukavemet, malzeme, makine elemanları,

kinematik vb. makine mühendisliği konularından faydalanılarak tasarım, çalışma koşullarına uygun şekilde düzenlenmektedir. Günümüzde birçok tasarım bilgisayar destekli tasarım programlarından faydalanılarak yapılmaktadır.

Mekanik tasarımın üretilmesinde endüstride yaygın olarak kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Genellikle maliyet ve pratiklik açısından tercih edilen lazer kesim yöntemi, levha formundaki çeşitli materyallerin, yüksek sıcaklıktaki lazer ile bilgisayar üzerinden tasarlandığı şekilde kesilerek işlendiği bir üretim yöntemidir. Yüksek sıcaklık uygulamanın uygun olmadığı durumlarda kullanılan su jeti ile kesim yönteminde, aynı işlem yüksek basınçlı su kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Hacimli tasarımların üretilmesinde yaygın olarak CNC ve tornalama gibi talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. CNC uygulamalarında üretilmek istenilen üç boyutlu tasarıma göre programlanan talaşlı imalat makinesi, otomatik olarak kullanılan malzemeyi işleyerek üretim yapmaktadır. Tornalama yönteminde ise yüksek devirde dönen bir mil üzerine sabitlenen malzemeyi, manuel olarak bir uzman işlemektedir.

Mekanik tasarım gerçekleştirilirken üretimin sağlıklı ve uzun ömürlü çalışabilmesi için dikkat edilmesi gereken bir konu da yağlamadır. Endüstriyel sistemlerde birlikte çalışan mekanik parçaların arasındaki sürtünmeyi ve aşınmayı azaltmak amacıyla parçalar arasına eklenen elemana yağ, bu işleme de yağlama denmektedir. Yağlama sürtünme ve aşınmayı azaltmakla birlikte verimliliği artırmak, parça ömrünü uzatmak, korozyondan korunmak, ısı dengesini sağlamak, sızdırmazlık sağlamak, kiri uzaklaştırmak gibi amaçlarla da kullanılmaktadır. Mekanik tasarım gerçekleştirilirken yağlamaya imkan verecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Benzer şekilde kullanılacak yağ türü ve uygulama yöntemi de tasarımın çalışma koşullarına göre seçilmelidir.

1.1.3. Elektronik Tasarım

Elektronik devre tasarımı, sistemin planlandığı şekilde çalışması için gerekli olan elektronik bileşenlerin ve özelliklerinin belirlenmesi, bu bileşenler arasındaki etkileşimin oluşturulmasıdır. Elektronik devre tasarlanırken öncelikle sistem modelinin gerçekleştirilmesi için kullanılması gereken, istenilen çalışma koşullarına uygun özellikteki motorlar, sensörler, işlemciler, güç kaynakları gibi ana elektronik bileşenler, ürünlerin veri sayfaları incelenerek belirlenmektedir ve bu bileşenlerin

birbirleriyle etkileşimini gösteren basit bir blok diyagramı oluşturulmaktadır. Oluşturulan blok diyagramından ve elektronik bileşenlerin veri sayfalarından yararlanılarak bu elektronik bileşenlerin bir bütün olarak çalışabilmesi için gerekli olan diğer devre elemanları, akım, voltaj vb. giriş, çıkış değerleri ve elemanlar arasındaki gerçek bağlantı noktalarını gösteren devre şeması çizilmektedir. Devre şemaları yaygın olarak elektronik dizayn otomasyonu (EDA) programları kullanılarak yapılmaktadır.

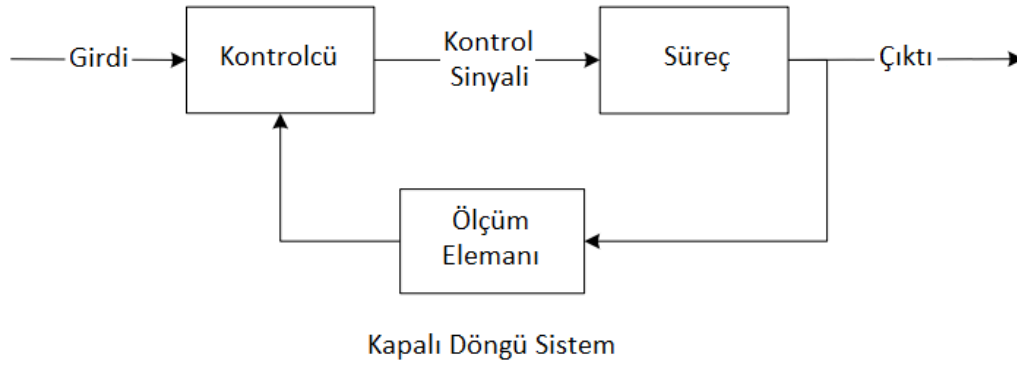
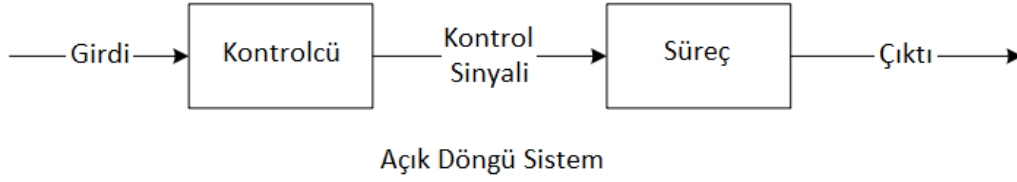
1.1.4. Yazılım Tasarımı

Bir sistemin yazılım bileşeni oluşturulurken adım adım sistemde gerçekleşmesi istenilen olayları ve bu olayları etkileyen değişkenleri içeren, bu olayların birbiriyle etkileşimini sıralı bir düzen içerisinde gösteren bir akış şeması oluşturulmaktadır. Kullanılacak yazılım dili, program ve diğer donanımlar, sistemin tasarlandığı gibi çalışmasına ve akış şemasındaki etkileşim düzeninin en verimli şekilde gerçekleşmesine uygun olacak şekilde seçilmektedir. Gerçekleştirilecek uygulamanın yaygın bir uygulama olması durumunda, o uygulama özelinde daha fazla hazır kütüphane içeriğine sahip olan yazılım dilinin seçilmesi pratik bir yaklaşımdır. Kodlama, oluşturulan akış şeması temel alınarak sistem modelindeki fonksiyonları gerçekleştirecek şekilde yazılmaktadır.

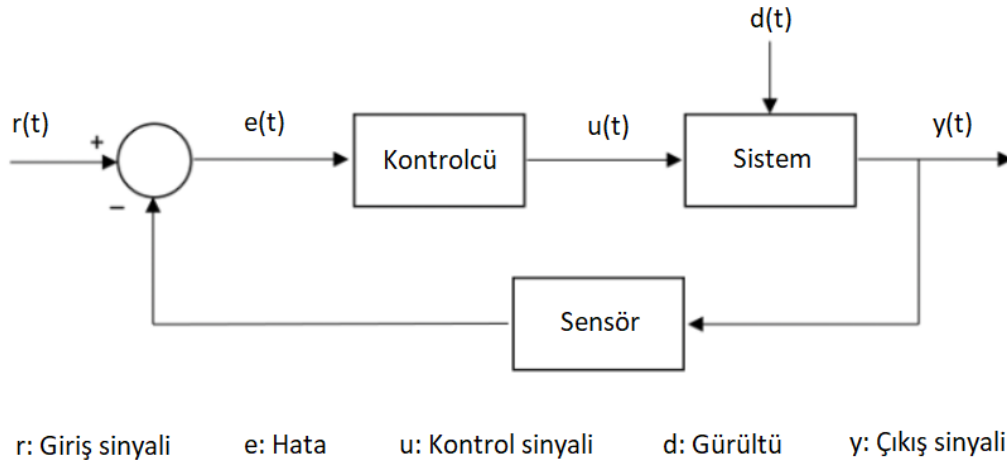
1.1.5. Kontrol Modeli Tasarımı

Sistem kontrolü, bir sistemin tasarlandığı şekilde çalışmasını sağlamak ve denetlemek amacıyla matematiksel modelinin oluşturulmasıdır. Sadece giriş değişkeni olarak seçilen parametre ile kontrol edilen açık kontrol modeli ve hem giriş değişkeni hem de modellenen süreçten ortaya çıkan sonuçla beraber kontrol edilen kapalı kontrol modeli olmak üzere iki tip kontrol modeli vardır. Bahsedilen modellere ilişkin temel döngüler Şekil 1.2’de verilmiştir. Otomasyon sistemlerinde genellikle kapalı kontrol modeli kullanılmaktadır. Kapalı kontrol modeli; temel olarak kontrol değişkeni olarak seçilen parametreyi ifade eden giriş sinyali, kontrol edilen olguyu, durumu ifade eden süreç, sürece etki eden dış etkenleri ifade eden gürültü, süreçten geçen değişkenin son halini ifade eden çıkış ve çıkıştan alınan verilerin giriş sinyalinden farkını, sapmasını ifade eden geribildirim bölümlerinden oluşmaktadır. Kapalı kontrol modellerindeki temel döngü Şekil 1.3’te verilmiştir. Fonksiyonlar ve değişkenler cinsinden ifade edilerek oluşturulan bu matematiksel

model ve denklemlerden oluşan bileşenleri hem sistemin sayısal olarak denetlenmesine hem de diğer tasarım süreçlerinin şekillendirilmesine imkan vermektedir.



Şekil 1.2. Temel açık ve kapalı kontrol döngüleri (Alleman ve Oien, 2023)



Şekil 1.3. Kapalı döngü kontrol modeli

1.1.6. Analiz

Mühendislik uygulamalarında tasarlanan yapılar üretim veya kullanım aşamalarında test edilerek işlevsellikleri, kararlılıkları, kullanım güvenliği gibi unsurlar incelenmekte, varsa tasarım hataları düzeltilerek ürün istenilen hale getirilmektedir. Geçmişte bu testler genel olarak üretilen prototipler üzerinden

gerçekleştirilmiştir ancak günümüzde maliyet, zaman ve emek açısından, yakın tarihte gelişen bilişim sistemleri sayesinde analiz için simülasyon programları tercih edilmektedir.

1.1.7. Yapısal Analiz

Yapısal analiz, bir yapının üzerine etkiyen yüklerin ve iç kuvvetlerin incelenmesi yoluyla, çalışması istenilen koşullar altında mevcut tasarımın ve bileşenlerinin planlandığı şekilde çalışacağını test edilmesidir. Bu sayede tasarlanan yapının istenilen şekilde çalıştığı ve kullanıma uygun, güvenli olduğu tespit edilmiş olmaktadır.

1.1.8. Sonlu Elemanlar Analizi

Yapısal analiz yapılırken kullanılan en yaygın yöntemlerden bir tanesi Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) yöntemidir (Balaban ve Penekli, 2020). SEA yönteminde bir bütün olan yapı, sonlu sayıda parçaya bölünmektedir, bu parçaların özelliklerindeki değişim analiz edilerek, yapının bütünündeki değişime ulaşılmaktadır. Bu işlem gerçekleştirilirken yapı düğüm noktaları ile birbirine bağlı parçalara ayrılmaktadır. Eleman denilen bu parçaların her birine fiziksel büyüklükler tanımlanmaktadır. Elemanların birleştiği düğüm noktalarının oluşturduğu yapıya ağ denilmektedir ve bu ağ, düğüm noktalarına tanımlanmış değişkenlerden oluşan bir denklem sistemini ifade etmektedir ve sistem bilinmeyen değerler için çözüldüğünde düğüm noktalarındaki gerilme, yer değiştirme gibi değerler bulunmakta, sistemdeki maksimum gerilme ve deplasman ile emniyetli gerilme ve deplasman değerleri kıyaslanarak sistemin güvenliği tayin edilmektedir. Sonlu Elemanlar Analizi yönteminde yapıların üzerinde oluşan düğüm noktası sayısı çoğu zaman çok yüksek olduğu için analizler bilgisayar kullanılarak yapılmaktadır. En yaygın kullanılan SEA programı ANSYS'dir.

1.1.9. Robot Kol

Robot kollar, insan kolu ve bu uzvun çok amaçlılığından esinlenilerek çeşitli amaçları gerçekleştirmek üzere tasarlanmış çoklu serbestlik dereceli mekanik uzuvlardır. Endüstride yaygın olarak kullanılan kartezyen, silindirik vb. özel amaçları gerçekleştirmek için tasarlanmış versiyonları vardır (Bozdemir ve Adıgüzel, 1999). Robot kollar, mobil robotlarla birlikte robotik alanının en yaygın kullanıldığı

uygulamalardır. Robot kolların hareketleri kinematik ve kinetik analiz yöntemleri kullanılarak incelenmektedir. Kinematik analiz bir cismin hareketinin ona neden olan kuvvetlerden bağımsız olarak hareketin sadece konum, hız ve ivme bileşenlerinin incelenmesidir (Molotnikov ve Molotnikova, 2022). Kinetik analiz ise cismin hareketine neden olan ve hareket sonucunda oluşan kuvvetlerin bu hareket bileşenleriyle etkileşiminin incelenmesidir (Featherstone ve Orin, 2000). Hareket analizlerinin gerçekleştirilmesinde ileri analiz ve ters analiz olmak üzere iki adet yaklaşım vardır. İleri analiz yaklaşımında matematiksel işlemler aracılığıyla sisteme girilen değişkenler üzerinden sonuçtaki değişime ulaşılmaktadır ve robot kollar gibi sistemlerde manuel kontrol uygulamaları gibi giriş değişkenlerinin denetlenmesinin gerekli olmadığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ters analiz yaklaşımında ise sonuçta gerçekleşen değişimin matematiksel işlemlerden yararlanılarak nasıl oluştuğu incelenerek giriş değişkenlerine ulaşılmaktadır. Ters analiz yaklaşımı, çıktının istenilen şekilde gerçekleşeceğini denetlemek için giriş değişkenlerinin kontrol edildiği, otonom çalışan endüstriyel robot kollar gibi sistemlerde kullanılmaktadır.

1.1.10. Robot Kolun Kinematığı

Robot kollar karmaşık mekanizmalar şeklinde olabileceği gibi genellikle uç uca eklenmiş uzuvların oluşturduğu daha temel kinematik zincirlere sahiptir. Bunun nedeni daha karmaşık mekanizmaların hareketini ifade eden matematiksel modelleri oluşturmanın daha zorlu bir süreç olması nedeniyle genellikle daha basit tasarımların ve robotun hareketini ifade etmek için daha pratik yöntemlerin tercih edilmesidir. Bu yöntemler arasında en yaygın olanı Denavit-Hartenberg (DH) yöntemidir. Bu yöntemde kartezyen koordinat sistemi üzerinde uzuvların dönme ve öteleme değerlerini ifade eden homojen dönüşüm matrisleri kullanılarak, kolun uç kısmının toplam hareketine ulaşılmaktadır, bu şekilde kolun ileri kinematik analizi gerçekleştirilmiş olmaktadır (Kaya, Aksoy ve Özsoy, 2023).

1.1.11. PLC

Açılımı Programlanabilir Mantıksal Denetleyici olan PLC endüstriyel ortamlarda kullanıma uygun olarak, içerisine yüklenen yazılım aracılığıyla, ortamdaki girdileri izleyerek çıktıları kontrol etmek üzere geliştirilmiş basit bir bilgisayardır. PLC'ler otomasyon uygulamalarında, geliştirilen sistemlere kolay

entegre edilebilen, büyük üreticilerin sağladığı hizmetlerden faydalanma avantajı olan, modüler bir çözüm oldukları için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Piyasada alternatifleri bulunmakla beraber yaygın olarak Siemens S7-1200 veya 1500 modelleri ve TiaPortal programı kullanılmaktadır. TiaPortal programı PLC'nin kodlanması, bilgisayar ile etkileşimi, kumanda ara yüzü oluşturulması gibi birçok otomasyon uygulamasının geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

1.1.12. EEG

EEG, beyin sinyallerinin, kafa yüzeyine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla düşünceler sonucunda çok sayıda nöron arasında iletilen elektrik akımının, kafa yüzeyinde oluşturduğu potansiyel farklar olarak ölçülmesi yöntemidir. Ölçümü yapan alete elektroensefalograf denmektedir. EEG yöntemi ile beyin aktiviteleri ve düşüncelerden oluşan beyin sinyalleri kayıt altına alınarak incelenebilir, kullanılabilir hale gelmektedir. EEG uygulamalarında voltaj cinsinden ölçülen bu değerlere ham veri denmektedir ve Hızlı Fourier Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü gibi çeşitli sinyal işleme yöntemleri kullanılarak daha anlamlı frekans cinsinden verilere dönüştürülerek analiz edilmektedir (Farnsworth, 2024). EEG yöntemi, başlangıçta beyin üzerine yürütülen araştırmalar ve medikal uygulamalarda kullanılmak amacıyla ortaya çıkmıştır ancak gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde teknolojik bir etkileşim aracına dönüşmektedir.

1.1.13. Beyin Sinyallerinde Standart Frekanslar

Ham verilerin işlenmesi sonucunda elde edilen farklı frekans aralığındaki değerler, beyindeki farklı durum ve aktiviteleri ifade etmektedir (Germain, 2015).

1.1.13.1. Delta bandı

1-4 Hz aralığındaki frekanslara Delta Bandı denmektedir. Beynin sağ lobunda ve Talamus bölgesinde daha yoğun olarak açığa çıkmaktadır. Delta bandı derin uyku sırasında açığa çıkmaktadır ve öğrenilen bilgi ve yeteneklerin hafızaya kaydedilmesi ile ilişkilendirilmektedir.

1.1.13.2. Teta bandı

4-8 Hz aralığındaki frekanslara Teta bandı denmektedir. Beynin ön lobu bölgesinde yoğun olmakla birlikte tamamından ölçülebilmektedir. Teta dalga boyu mental iş yükü ve bilişsel çalışmalar ile ilişkilendirilmektedir.

1.1.13.3. Alfa bandı

8-12 Hz aralığındaki frekanslara Alfa bandı denmektedir. Alfa frekansı duyu organları ve motor fonksiyonlarıyla ilişkilendirilmektedir. Alfa frekansı gözler kapalı haldeyken, zihin özellikle bir konuya odaklanmadığında yükselmektedir.

1.1.13.4. Beta bandı

12-25 Hz aralığındaki frekanslara Beta bandı denmektedir. Beynin hem ön hem de arka lobunda ölçülmektedir. Odaklanma, bir konu veya olay üzerinde düşünme, yoğun bilişsel yük ile ilişkilendirilmektedir.

1.1.13.5. Gama bandı

25 Hz ve üzerindeki frekanslara Gama bandı denmektedir. Beynin hangi bölümünde olduğu ve tam olarak hangi durumla ilişkili olduğu kesin olmamakla beraber bilişsel davranışlar veya motor fonksiyonlarla ilişkili olabileceği üzerine fikir ayrılıkları mevcuttur.

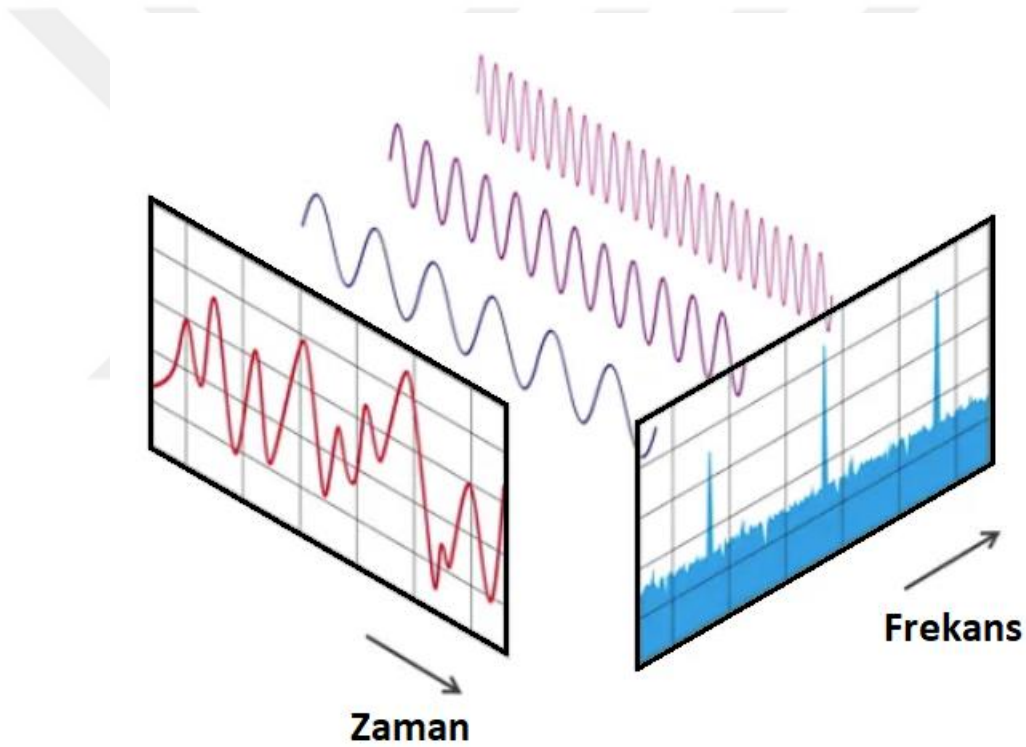
1.1.14. EEG Cihazı

EEG cihazı, beyinde nöronlar arasında iletilen elektrik akımının oluşturduğu sinyali, kafa yüzeyine yerleştirilen farklı konumlardaki elektrotlar ile referans elektrotu arasında oluşan potansiyel farklar cinsinden ölçen cihazdır. EEG cihazlarının farklı kanal sayılarına ve kuru, ıslak gibi farklı elektrot türlerine sahip olan modelleri vardır. Genellikle bilimsel çalışmalarda 32 veya daha yüksek kanallı cihazlar kullanılmakla birlikte, daha hatasız veri ölçme özellikleri nedeniyle ıslak elektrotlu cihazlar tercih edilmektedir. EEG ölçümlerinde yaygın olarak beyinde belirlenmiş önemli noktalara yerleştirilen standart elektrot konumlandırmasını ifade eden 10-20 sistemi kullanılmaktadır. EEG cihazı seçiminde donanım özelliklerinin gerçekleştirilecek çalışmaya uygunluğu ile birlikte bir diğer önemli parametre, EEG cihazını etkili şekilde kullanabilmek için gerekli olan üretici firmanın sunduğu

yazılımın içeriğinin de çalışma için yeterli olması ve bu yazılım desteğine erişim imkanındır.

1.1.15. FFT Analizi

Temel olarak herhangi bir sinyalin farklı sinüs dalgalarının toplamı cinsinden ifade edilebileceğini gösteren Fourier Dönüşümü temeline dayanan Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) analizi, bilgisayar ortamında Fourier Dönüşümü'nü çok hızlı şekilde gerçekleştirebilecek bir algoritmadır. FFT analizinde incelenen sinyal zamana bağlı boyuttan frekansa bağlı boyuta çevrilmiştir. Bu sayede analiz edilen sinyalde ortaya çıkan frekanslar üzerinden, sinyal içerisinde incelenen olgular daha verimli yorumlanabilmektedir. Şekil 1.4'te bu işlem görselleştirilmiştir.

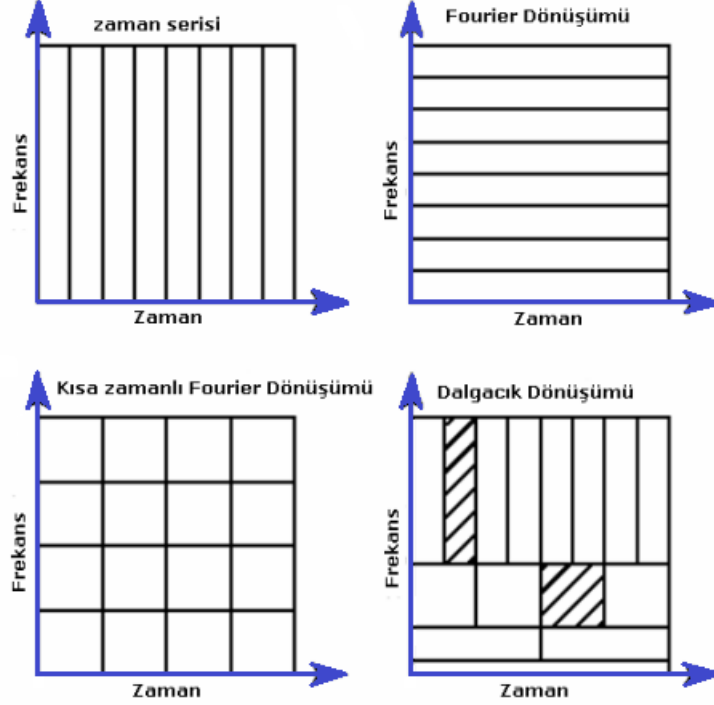


Şekil 1.4. FFT zaman-frekans boyutu dönüşümü (Yılmaz, 2024)

1.1.16. Dalgacık Dönüşümü Analizi

Dalgacık Dönüşümü Analizi'nde sinyal, genişliği ve konumu sürekli değişerek sinyali tarayan, pencere adı verilen bir fonksiyon ile incelenmektedir. Bu sayede sinyal, farklı ölçek şekillerine sahip frekans-zaman boyutuna dönüştürülmektedir. Bu sayede sinyalin farklı konumlarındaki yüksek ve düşük frekans değişimleri daha yüksek çözünürlükte elde edilmektedir ve incelenen frekans

değişimlerinin hangi anda gerçekleştiğini gösteren bir analiz gerçekleştirilmiş olmaktadır. Dalgacık Dönüşümü ve diğer sinyal işleme yöntemlerinin çözünürlük üzerindeki etkisi Şekil 1.5’te görselleştirilmiştir.



Şekil 1.5. Dönüşümlerin zaman-frekans çözünürlük karşılaştırması (Öner, Yeşilyurt ve Yılmaz, 2017)

1.1.17. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi (ML), veri ve algoritmalar aracılığıyla insanların öğrenme biçimini taklit eden bilgisayar sistemleri oluşturmaya odaklanan bir yapay zeka (AI), bilgisayar bilimi dalıdır. Makine öğrenmesi alanında geliştirilmiş çeşitli yöntemler ve bu yöntemler altında kullanılan farklı algoritmalar vardır. Bu yöntemler temel olarak, sistemin eğitildiği verilerin girdi-çıkı ilişkisinin insan tarafından tanımlanarak sisteme verildiği denetimli öğrenme, algoritma içerisinde belirlenen parametrelere göre sistemin kendi kendine belirlediği denetimsiz öğrenme ve bu iki öğrenme yönteminin birleşimi olan yarı denetimli öğrenme olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu öğrenme yöntemleri altında sistemin nasıl çalışacağını belirleyen farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Kullanılacak yöntem ve algoritmaların gerçekleştirilecek uygulamanın özelliklerine uygun olarak seçilmesi daha doğru sonuçlar elde edilmesi açısından önemli bir kriterdir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

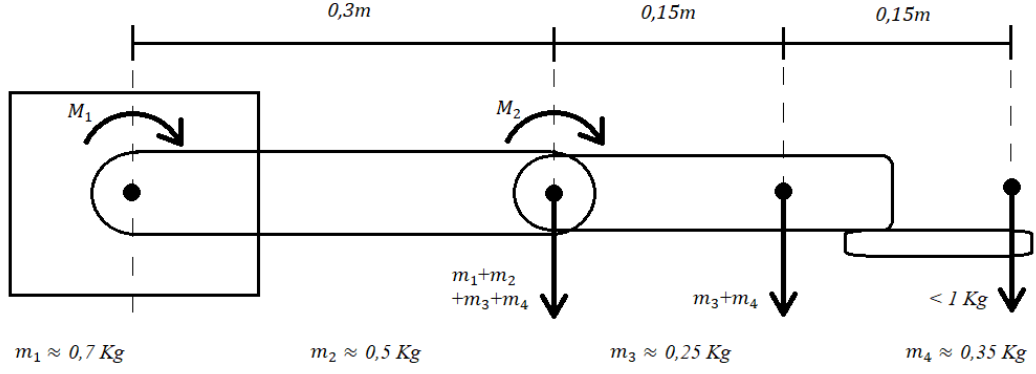
Bu Tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama robot kolun mekaniği, elektroniği, yazılımı ve bunların kontrolünden oluşan bir mekatronik sistem olarak ele alınmış, tasarım ve üretim bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Tezin ikinci aşamasında bir EEG cihazı kullanılarak araştırmacının beyin sinyalleri, kayıt altına alınmış, elde edilen veriler çeşitli makine öğrenmesi yöntemleriyle analiz edilerek sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda, geliştirilebilecek bir ara yazılım ile robot kolun kontrolünün, belirli bir doğrulukla bu sınıflandırma sonuçları kullanılarak gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

2.1. Robot Kolun Fiziksel Modeli ve Hareket Denklemi

Mekanik sistemlerin modellenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en pratik ve yaygın olanlardan bir tanesi gerçek geometrinin ve sisteme etkiyen kuvvetlerin basitleştirilerek kütle merkezlerini ifade eden noktalar ve bunlar arasındaki uzaklıklar cinsinden yazılarak incelendiği serbest cisim diyagramı yöntemidir.

Tez çalışması kapsamında üretilmiş olan robot kol önce serbest cisim diyagramı yöntemi ile sadeleştirilmiş haliyle çizilmiş, bu form üzerinden istenilen çalışma parametreleri göz önüne alınarak uzuvların moment ve boyut hesapları yapılmıştır.

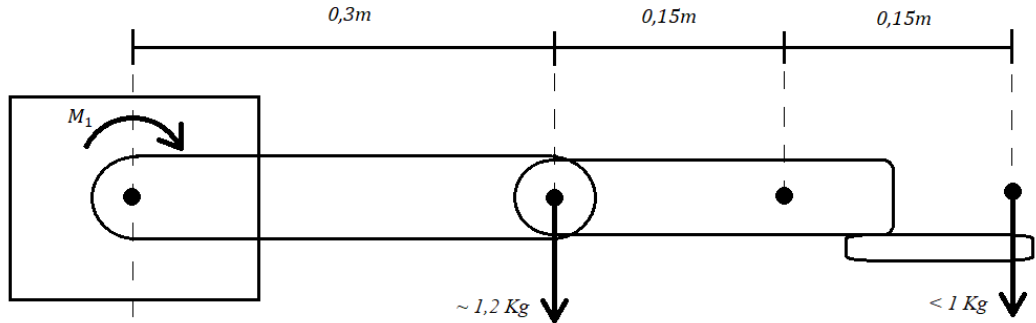
Elde edilen değerler robot kolun mekanik tasarımı, elektronik bileşenlerinin seçimi ve malzeme seçiminde kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Robot kolun serbest cisim diyagramı (SCD)

Robot Kolun serbest cisim diyagramı Şekil 2.1’de verilmiştir. Burada M_1 giriş uzvu momentini, M_2 ikinci uzuv momentini, m_1 giriş uzvu şasi kütlesini, m_2 giriş uzvu iç aksam kütlesini, m_3 ikinci uzuv şasi kütlesini, m_4 ikinci uzuv iç aksam kütlesini ifade etmektedir.

m_1 , m_2 , m_3 ve m_4 değerleri, $2,72 \text{ g/cm}^3$ olan alüminyum yoğunluğu ile kullanılacak sac levhalar ve iç aksamaların hacimleri çarpılarak yaklaşık olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Giriş uzvunda oluşan moment SCD

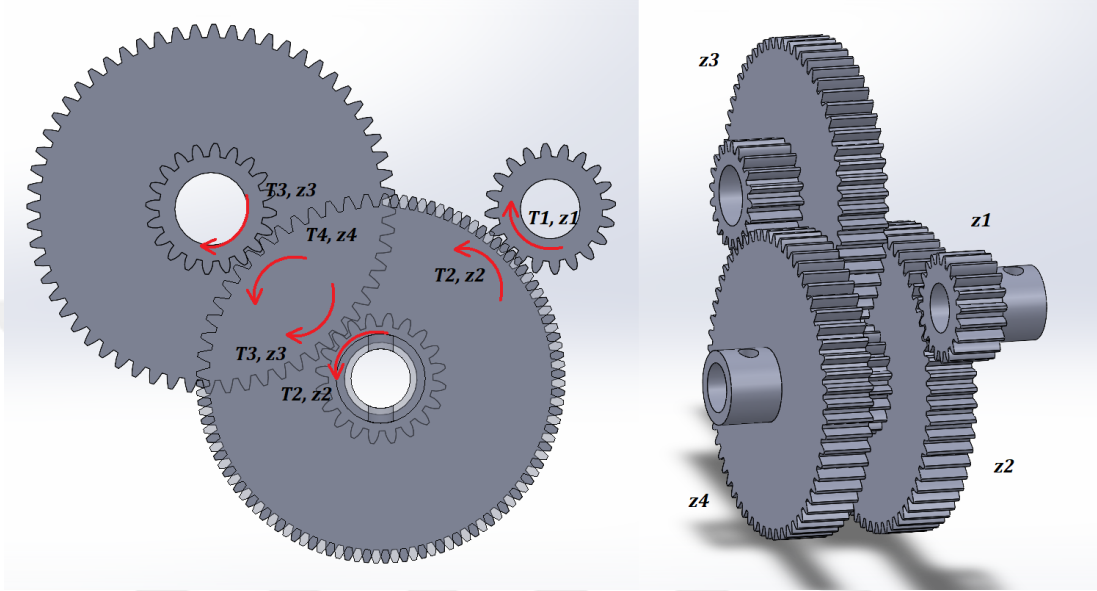
Giriş uzvu üzerinde oluşan moment görseli Şekil 2.2’de verilmiştir. 1 kg’lık yük ve robot kolun şasi ve iç aksamalarının giriş uzvu üzerinde oluşturduğu yaklaşık moment Denklem 2.1 kullanılarak yaklaşık 10 N·m olarak hesaplanmıştır.

$$M_1 = \left(0,3 \text{ m} \times \left(1,2 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right) + \left(0,6 \text{ m} \times \left(1 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right) \quad 2.1$$

Robot kolun oluşan moment altında çalışabilmesi ve eksenleme amacıyla giriş uzvu motorunda, Şekil 2.3’te görüldüğü gibi dört adet dişli kullanılmıştır. Tork,

açısal hız, diş sayısı ve devir etkileşimini gösteren dişli çevrim oranı, genel haliyle Denklem 2.2’de verilmiştir. Denklem 2.2’de i dişli çevrim oranını, n deviri, w açısal hızı, z diş sayısını, T torku ifade etmektedir.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad 2.2$$



Şekil 2.3. Giriş uzvu dişlileri

2,2 N·m tork üreten giriş uzvu motoru dört adet özel dişli ile, her dişli arasında 60/20 çevrim oranında güç aktarmaktadır. Birinci dişlinin ikinci dişliye aktardığı tork, diş sayılarına bağlı olarak Denklem 2.3 kullanılarak 6,6 N·m olarak hesaplanmıştır. Denklem 2.3’te T_1 2,2 N·m değerinde olup, birinci dişlinin torkunu, T_2 ikinci dişlinin torkunu, z_1 20 değeri ile birinci dişlinin diş sayısını, z_2 60 değeri ile ikinci dişlinin diş sayısını ifade etmektedir.

$$T_2 = \frac{T_1 \times z_2}{z_1} \quad 2.3$$

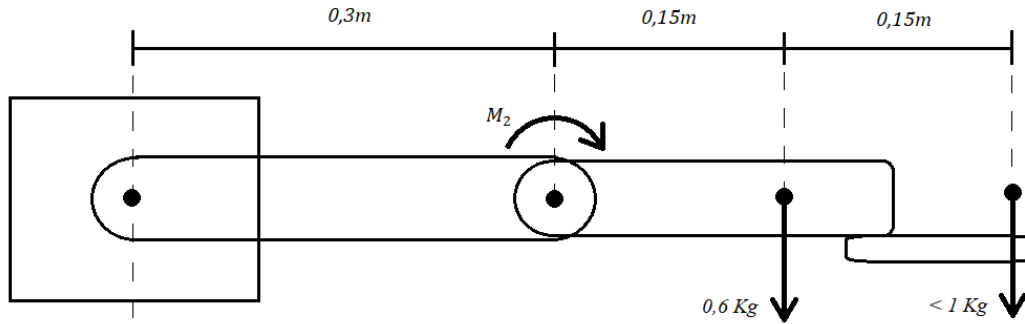
İkinci dişlinin üçüncü dişliye aktardığı tork, diş sayılarına bağlı olarak Denklem 2.4 kullanılarak 19,8 N.m olarak hesaplanmıştır. Denklem 2.4’te T_2 6,6 N·m değerinde olup, ikinci dişlinin torkunu, T_3 üçüncü dişlinin torkunu, z_2 20 değeri ile ikinci dişlinin diş sayısını, z_3 60 değeri ile üçüncü dişlinin diş sayısını ifade etmektedir.

$$T_3 = \frac{T_2 \times z_3}{z_2} \quad 2.4$$

Üçüncü dişlinin dördüncü dişliye aktardığı tork, diş sayılarına bağlı olarak Denklem 2.5 kullanılarak 59,4 N.m olarak hesaplanmıştır. Denklem 2.5'te T_3 19,8 N.m değerinde olup, üçüncü dişlinin torkunu, T_4 dördüncü dişlinin torkunu, z_3 20 değeri ile üçüncü dişlinin diş sayısını, z_4 60 değeri ile dördüncü dişlinin diş sayısını ifade etmektedir.

$$T_4 = \frac{T_3 \times z_4}{z_3} \quad 2.5$$

Giriş uzvu motoru ve dişlilerinin ürettiği toplam 59,4 N.m değerindeki tork, robot kolun kendi ağırlığının ve 1 kg'lık yükün, giriş uzvu mili üzerinde oluşturduğu 10 N.m değerindeki momenti fazlasıyla karşılamaktadır. Böylece giriş uzvunun moment kontrolü yapılmış olmaktadır.



Şekil 2.4. İkinci uzuvda oluşan moment SCD

İkinci uzuv üzerinde oluşan moment Şekil 2.4'te verilmiştir. 1 kg'lık yük ve ikinci uzvun şasi ve iç aksamalarının ikinci uzuv mili üzerinde oluşturduğu yaklaşık moment Denklem 2.6 kullanılarak yaklaşık 4 N.m olarak hesaplanmıştır.

$$M_2 = \left(0,15 \text{ m} \times \left(0,6 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right) + \left(0,3 \text{ m} \times \left(1 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right) \quad 2.6$$

İkinci uzuv motorunun, motor kutusunda bulunan iki adet özel dişli ile, 60/20 çevrim oranıyla ürettiği tork değeri 6,6 N.m olup, Denklem 2.3 ile aynı şekilde hesaplanmıştır. Üretilen tork bir kayış aracılığıyla motor kutusundan ikinci uzuv miline aktarılmış, oluşan ufak kuvvet kaybı ihmal edilmiştir. İkinci uzuv motoru ve dişlilerinin ürettiği yaklaşık 6,6 N.m değerindeki tork, ikinci uzuv mili üzerinde oluşan 4 N.m'lik momenti karşılamaktadır. Böylece ikinci uzvun moment kontrolü yapılmış olmaktadır.

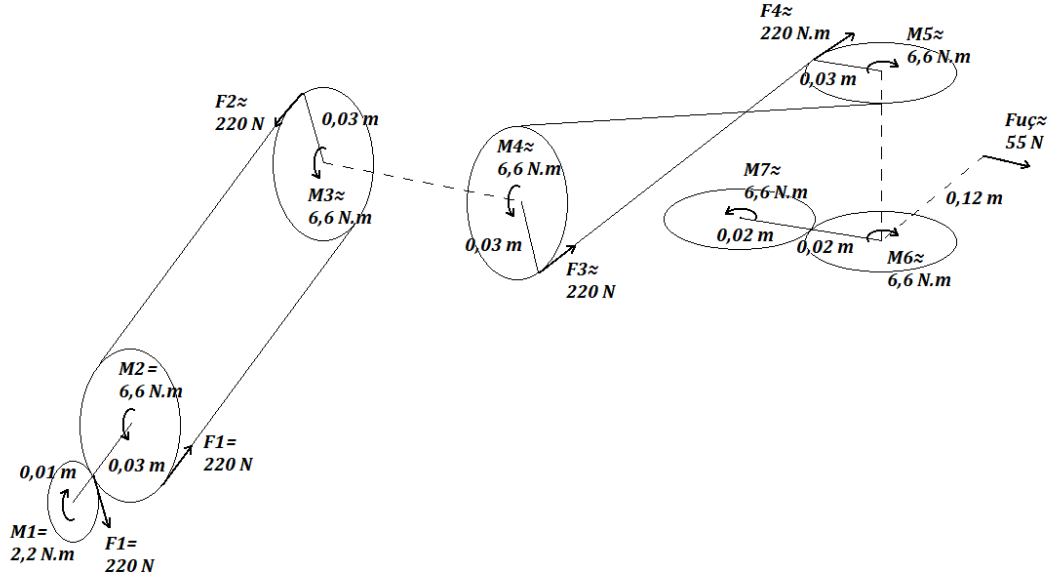
Robot kolun 1 kg ağırlığındaki uygun hacimli bir cismi tutabilmesi için gereken kuvvetin hesabı Denklem 2.7 kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.7’de $F_{U\zeta}$ tutma kuvvetini, μ statik sürtünme katsayısını, m taşınacak yükü, g yer çekimi ivmesini, a ivmeyi, S güvenlik faktörünü ifade etmektedir. Paralel kavramaya sahip tutucu uçlar için geçerli olan denklemde tutma kuvveti, tutucu ucun iki parmağının uyguladığı yaklaşık toplam kuvveti ifade etmektedir. Statik sürtünme katsayısı, robot kolun taşıyacağı yüklerin genellikle karton malzeme olması ve tutucu ucun performansını arttırmak için uç kısma giydirilecek olan kauçuk malzeme düşünülerek, kauçuk ile karton malzemeler arasındaki standart değer olan 0,6 değeri seçilmiştir. Robot kolun çalışma hızı yavaş olduğu için ivme önemszenmeyerek sıfır alınmıştır. Taşınacak maksimum yük 1 kg, yer çekimi ivmesi $9,81 \text{ m/s}^2$ ve güvenlik katsayısı 2 alınmıştır.

$$F_{U\zeta} = \frac{m \times (g+a)}{\mu} \times S \quad 2.7$$

Robot kolun 1 kg’lık yükü taşıyabilmesi için tutucu ucun yaklaşık 32,7 N değerinde kuvvet üretmesi gerektiği hesaplanmıştır. Tutucu uç motoru ve dişlisinin, tutucu uca aktardığı kuvvet, Denklem 2.8 ve 2.9 kullanılarak, Şekil 2.5’te gösterilen taslak çizim üzerindeki aktarılan kuvvetler, kuvvet kolları ve momentlerden faydalanılarak 55 N bulunmuştur. Bu sayede tutucu ucun 1 kg’lık yükü taşıyabileceği sonucuna ulaşılarak kontrol hesabı gerçekleştirilmiştir. Denklem 2.8 ve Denklem 2.9 için M momenti, F kuvvet koluna uygulanan kuvveti, r kuvvet kolunu ifade etmektedir.

$$M = F \times r \quad 2.8$$

$$F = \frac{M}{r} \quad 2.9$$



Şekil 2.5. Tutucu uca aktarılan kuvvet ve momentler

Kullanılacak kayışların uzunlukları Solidworks programı üzerinden kasnak çevreleri ve kasnaklar arası mesafeler kullanılarak hesaplanmıştır. Dişli kutusu ile ikinci uzuv mili arasındaki kayışlar için, HTD5M standart ölçülerine sahip iki adet 740 mm uzunluğunda kapalı kayış kullanılmıştır. Kullanılacak kayışların güç aktarımı için kayış kalınlığı kontrolü Denklem 2.11’de verilmiştir. Denklem 2.11’de kullanılan kavrayan diş sayısı parametresinin hesabı Denklem 2.10’da verilmiştir.

$$z_w = \frac{\beta^\circ}{360^\circ} \times z_{kasnak} \quad 2.10$$

Denklem 2.10’da z_w kavrayan diş sayısını, β° kavrama açısını, z_{kasnak} kasnak diş sayısını ifade etmektedir. Kavrama açısı 180° , kasnak diş sayısı 24 olarak alınmış, denklem sonucunda kavrayan diş sayısı için 12 değeri elde edilmiştir.

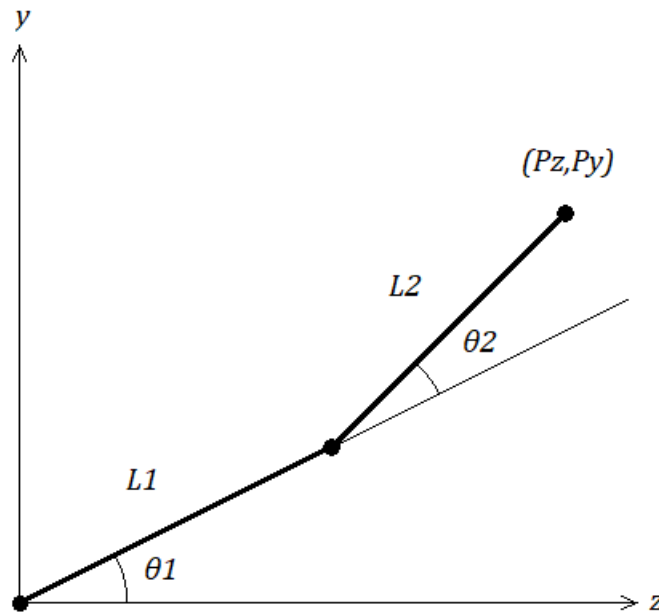
$$b \geq \frac{K_{i\delta}}{z_w} \times \frac{P}{P_B} \quad 2.11$$

Denklem 2.11’de b , aktarılmak istenilen gücün taşınabilmesi için gereken minimum kayış kalınlığını, $K_{i\delta}$ işletme faktörünü, z_w kavrayan diş sayısını, P iletilecek güç, P_B kayışın 1 mm genişliğinin ilettebildiği gücü ifade etmektedir. Burada işletme faktörü 1,1, kavrayan diş sayısı 12, iletilecek güç 6,6 W ve kayışın 1 mm genişliğinin ilettebildiği güç 0,1 W/mm olarak alınmıştır.

Denklem hesabı sonucunda, ikinci uzuv motoru ve dişlisinin ürettiği 6,6 N·m değerindeki moment kuvvetini aktarmak için kullanılan kayış türünün minimum kalınlığının 6,05 mm olması gerektiği Denklem 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sayede 10 mm kalınlığında kullanılan ikinci uzuv kayışlarının kontrol hesabı gerçekleştirilmiştir.

Tutucu uç kayışının uzunluk hesabı benzer şekilde Solidworks programı üzerinden kasnak çevreleri ve kasnaklar arası mesafeler kullanılarak hesaplanmıştır. Tutucu uç kayışı için HTD5M standart ölçülerine sahip bir adet 485 mm uzunluğunda kapalı kayış kullanılmıştır. 10 mm kalınlığında kullanılan tutucu uç kayışının kontrol hesabı yine Denklem 2.10 ve Denklem 2.11 kullanılarak, ikinci uzuv kayışları ile aynı parametreler altında gerçekleştirilmiş ve aynı sonuçlara ulaşılmıştır.

Robot kolun uç noktasının y ve z eksenlerindeki konumlarını ifade eden denklemler, zy koordinat sistemindeki hareket için ileri kinematik analiz yapılarak, uç uca ekli olan uzuvların uzunlukları olan L_1, L_2 ve z ekseni ile yaptıkları θ_1, θ_2 açıları cinsinden yazılmıştır. Bu sayede robot kolun zy koordinat sistemindeki hareket denklemleri, Denklem 2.12 ve Denklem 2.13 elde edilmiş olmaktadır. Robot kolun bu koordinat sistemi üzerindeki sadeleştirilmiş çizimine ilişkin görsel Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. yz düzlemindeki hareketin ileri kinematik analizi

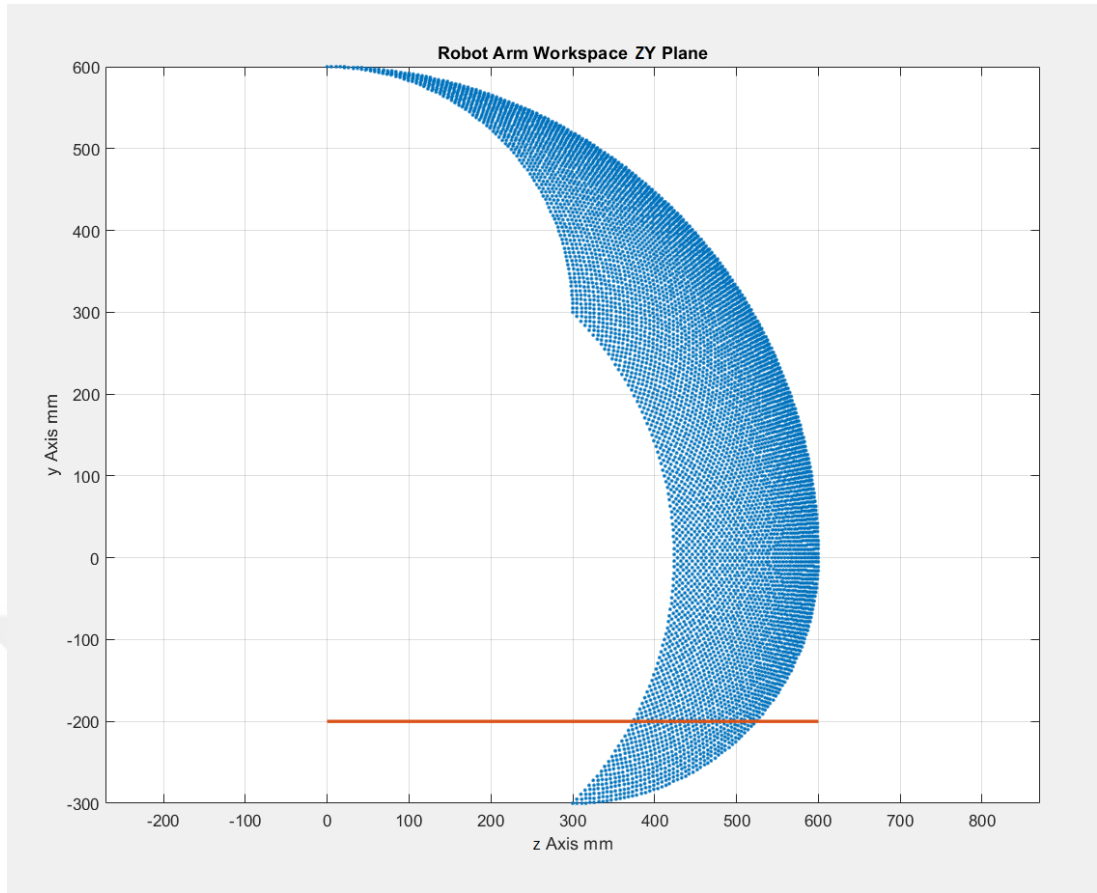
$$P_z = L_1 \times \cos\theta_1 + L_2 \times \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad 2.12$$

$$P_y = L_1 \times \sin\theta_1 + L_2 \times \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad 2.13$$

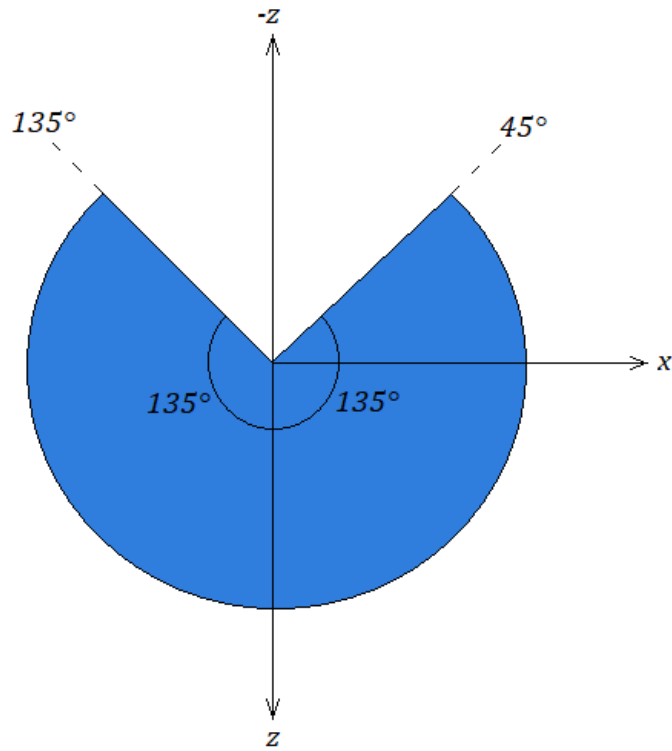
Denklem 2.12 ve Denklem 2.13 için P_z tutucu ucun z eksenini bileşenini, P_y tutucu ucun y eksenini bileşenini, L_1 birinci uzuv uzunluğunu, L_2 ikinci uzuv uzunluğunu, θ_1 birinci uzvun z eksenini ile yaptığı açığı, θ_2 ikinci uzvun z eksenini ile yaptığı açığı ifade etmektedir.

2.2. Robot Kolun Çalışma Uzayı

Robot kolun çalışma uzayı, zy düzlemindeki çalışma alanı ve y eksenini etrafındaki dönme cinsinden ifade edilmiştir. Şekil 2.7’de gösterilen zy düzlemindeki çalışma alanı, ilk uzvun sıfır ile doksan derece arasında, ikinci uzvun sıfır ile eksi doksan arasında değer alması ile sınırlandırılmıştır. y eksenini etrafındaki açısal çalışma alanı ise başlangıç noktasından her iki yönde yüz otuz beş derece olarak belirlenmiş ve Şekil 2.8’de gösterilmiştir. zy düzlemindeki çalışma alanının hesabı pratik olması nedeniyle, çalışma uzayı hesaplarında yaygın olarak kullanılan Monte Carlo Metodu ile MATLAB üzerinden hesaplanmıştır. Monte Carlo metodunda çalışma uzayı, robot kolun uç noktasının pozisyonunu ifade eden hareket denklemlerinin, belirlenen alt ve üst sınırlar arasında, yüksek tekrarda rastgele değer almasıyla elde edilmektedir (Zhu ve Tian, 2018).



Şekil 2.7. zy düzlemindeki çalışma alanının Monte Carlo Metodu ile hesabı

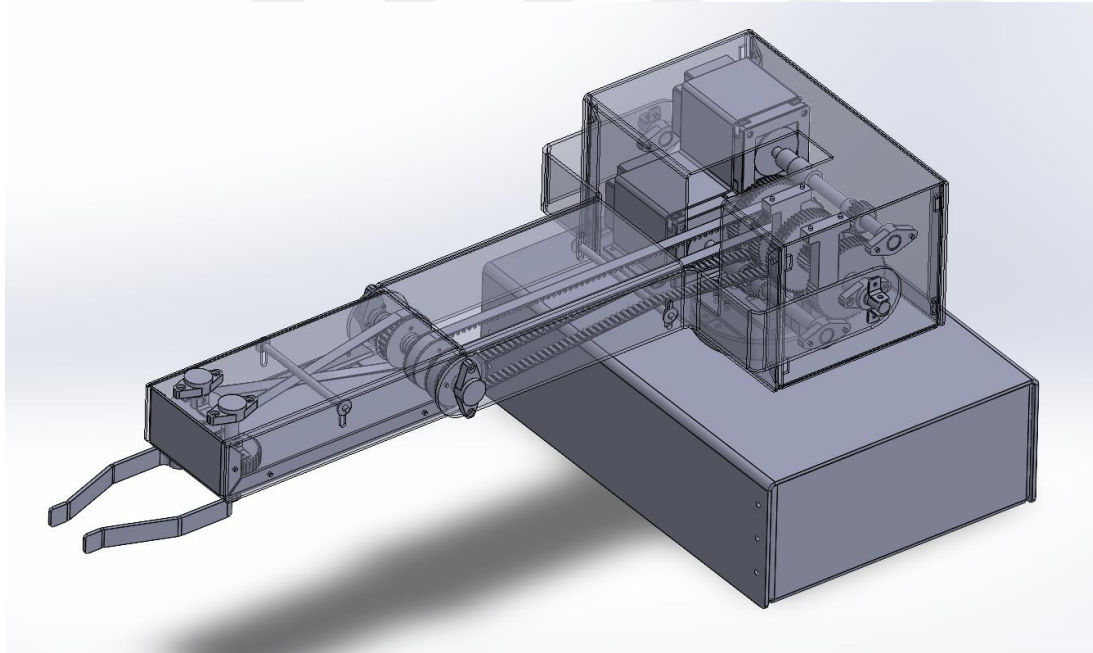


Şekil 2.8. Robot kolun y eksenini etrafındaki açısal çalışma alanı

2.3. Robot Kolun Mekanik Tasarımı

Mekanik tasarım, belirli girdiler ve parametreler altında istenilen sonuçları verecek fiziksel sistemin fonksiyonel olarak çalışacak şekilde oluşturulmasıdır. İstenilen fonksiyonelliğin sağlanabilmesi için mukavemet, malzeme, makine elemanları, kinematik vb. makine mühendisliği konularından faydalanılmaktadır. Günümüzde birçok tasarım bilgisayar destekli çizim programlarından faydalanılarak yapılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında tasarım sürecine taslak çizim ile başlanmış, robot kolun fiziksel modeli bölümünde bahsedilen serbest cisim diyagramı oluşturularak taslak üzerinde kuvvet, tork, boyut vb. hesaplamalar yapılmıştır. İstenilen parametrelere göre düzenlenen tasarım sonrasında SolidWorks programı üzerinden, çizim, unsurlar, sac levha ve montaj modülleri kullanılarak, belirlenen çalışma koşullarını, parametreleri sağlamak için makine elemanları ders içeriğindeki dişliler, dişli kayışlar, kasnaklar konularından faydalanılarak fonksiyonel olarak tekrar çizilmiştir.



Şekil 2.9. Üç eksenli robot kol SolidWorks çizimi

Şekil 2.9’da SolidWorks programı üzerinden çizilen robot kol tasarımı verilmiştir. Bütün parçalar ve parçaların oluşturduğu yapı, tasarım ve üretim sürecinin önemli bir parçası olan üretilebilirlik faktörü göz önünde bulundurularak tasarlanmış, gerekli olduğu takdirde düzenlenmiştir.

Tasarlanan robot kolun üzerindeki, dişli gibi, sistemdeki en kritik olan parçaların maruz kalacağı yükler önce analitik olarak hesaplanmış sonrasında bilgisayar destekli analiz programı ANSYS üzerinden kontrol edilmiş, aşınma ve yük altında kalacak parçalar ile kritik geometriye sahip parçalar 1040 kalite çelikten imal edilmiştir. Robot kolun genelinde hem işlenebilirlik hem de hafiflik göz önünde bulundurularak endüstride yaygın olarak kullanılan 5754 kalitesinde alüminyum kullanılmıştır.

Tasarım, ANSYS programı üzerinden yapısal analiz ile kontrol edildikten sonra tekrar güncellenerek üretim aşamasına geçilmiştir.

Kullanılan farklı metal türleri korozyon etkisi göz önünde bulundurularak siyah kaplama yöntemi ile kaplanmış bu sayede galvanik seride farklı soyluk dereceleri olan metallerin temasları kesilerek oluşabilecek korozyona önlem alınmıştır. Geniş yüzeylere sahip şasesinin uzun vadede korozyona uğramaması amacıyla oksijenle temasını kesmek için spreyl boya ile kaplanarak önlem alınmıştır.

Metal bileşenli tasarımlarda sürtünme kaynaklı aşınma ve deformasyonun önüne geçmek, robot kolun mekanik bileşenlerinin daha verimli hareket edebilmesini sağlamak için endüstride yaygın olarak kullanılan gres yağı türleri araştırılmış ve mevcut uygulama için en uygun olan, Ulusal Yağlama Gres Enstitüsü (NGLI) standartına göre iki sertliğinde alüminyum kompleks gres kullanılmıştır.

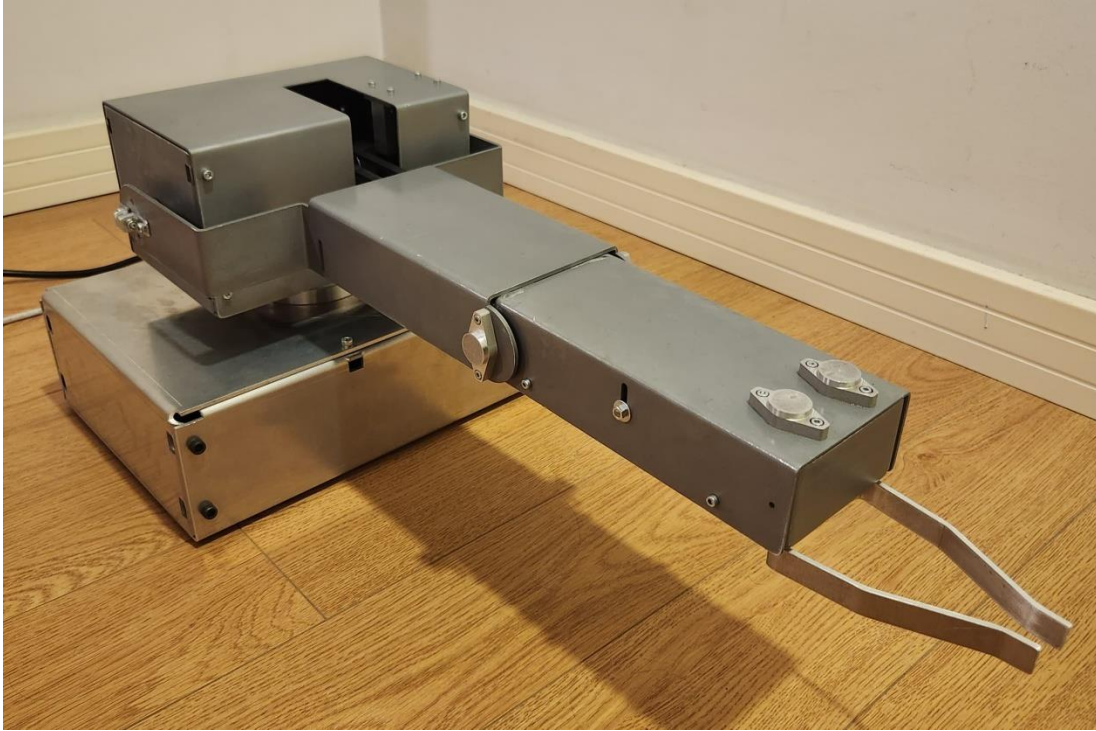
Mekanik parçaların üretimi, parçaların türüne, geometrisine ve üretim metotlarına uygunluğuna bakılarak lazer kesim, su jeti, CNC işleme, tel erozyon vb. piyasada yaygın olarak kullanılan yöntemlerle yapılmıştır.

Robot kolun devre panosu, dişli kutusu, uzuvlarından oluşan iki ve üç milimetre kalınlığındaki bölümlerden oluşan şasesinin üretimi için sac metal üretim yöntemi seçilmiş, levha halinde çizilen parçalar lazer kesim ile kesildikten sonra abkant büküm yöntemi ile bükülerek ürettirilmiştir.

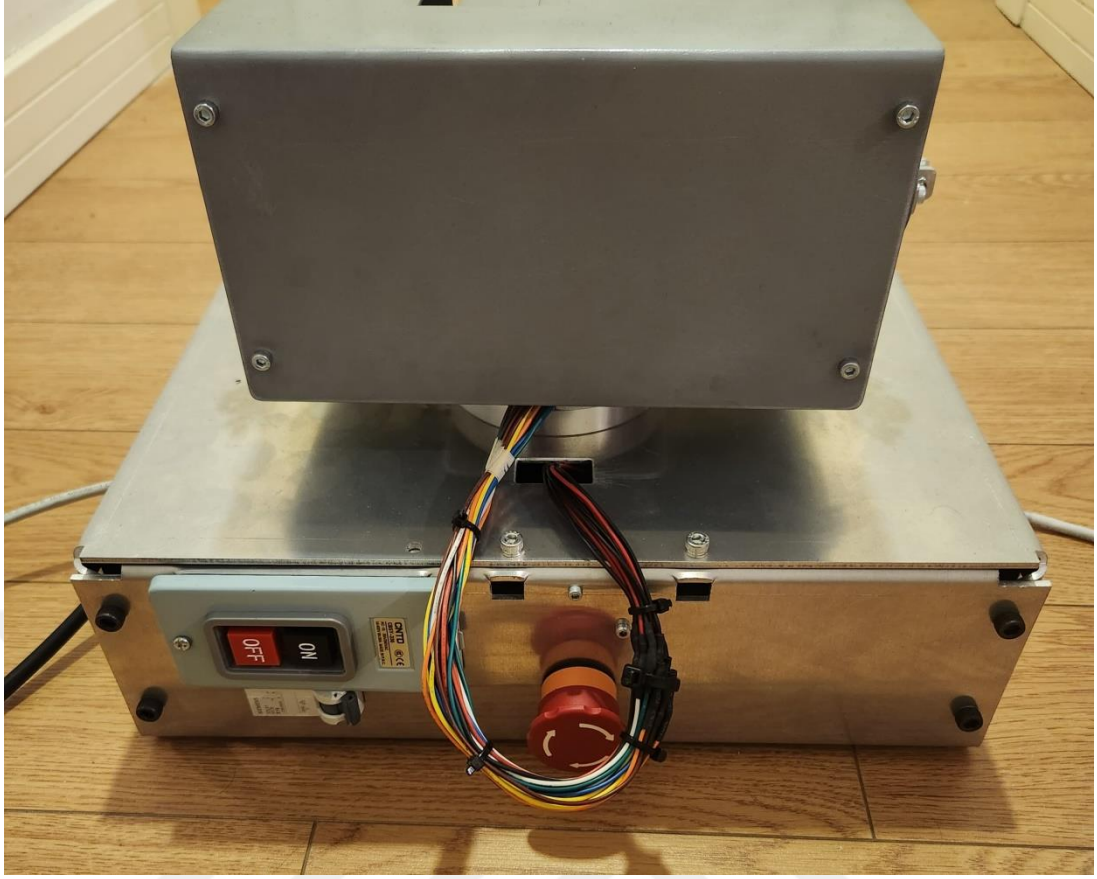
Güç iletim sistemini oluşturan dişli ve kasnaklar gibi parçalardan uygun olanlar, alüminyum malzemenin özellikleri, on milimetre kalınlığındaki gövdeleri ve ince kenarlı geometrileri nedeniyle lazer kesim yönteminde termal deformasyona uğramaması için su jetinde kesilerek ürettirilmiştir. Dişli ve mil yatağı gibi parçalardan lazer kesim veya su jeti gibi levha parçadan kesilemeyecek olan daha karmaşık geometrili olanlar CNC işleme, tornalama vb. yöntemlerle ürettirilmiştir.

Miller, kayışlar gibi bazı parçalar uygun ölçülerde hazır satın alınmıştır. Tasarım aşamasında diğer parçaların boyutları, hazır satın alınan parçalara uygun şekilde tasarlanmıştır.

Robot kolun montajı ve parçaların gerekli düzeltmeleri araştırmacı tarafından üniversitenin mekanik atölyesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Robot kolun üretilmiş halini gösteren görseller Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.10. Üç eksenli robot kol



Şekil 2.11. Robot kol güç paneli

2.4. Robot Kolun Elektroniği

Robot kolun yapılan tasarıma uygun olarak çalışması için gereken adım motor, motor sürücü, kontrolcü, güç kaynağı gibi temel devre bileşenleri belirlenerek basit bir blog diyagramı oluşturulmuştur. Blog diyagramından, tasarım parametrelerinden ve ürünlerin veri sayfalarından faydalanılarak gerekli olan bütün elektronik elemanlar belirlenmiş ve devre şeması çizilmiştir.

Dört adet 2.2 N·m tork değerine sahip olan Nema 23 adım motoru kullanılmıştır. Seçilen motorların kontrol edilebilmesi için yaygın olarak kullanılan CWD556-A (M542 olarak da geçmektedir) adım motor sürücülerden dört adet kullanılmıştır. Adım motorlarda her bir sürücü bir adet motor sürebilmektedir.

Endüstriyel uygulamalarda yaygın bir çözüm olması nedeniyle kontrolcü olarak Siemens S7-1200 PLC kullanılmıştır. Dört adet motor kontrol etmek

amacıyla, dört adet pals çıkışı olan 1214C modeli seçilmiştir.* Sistem 220 V 50 Hz alternatif akım ile beslenmiştir.

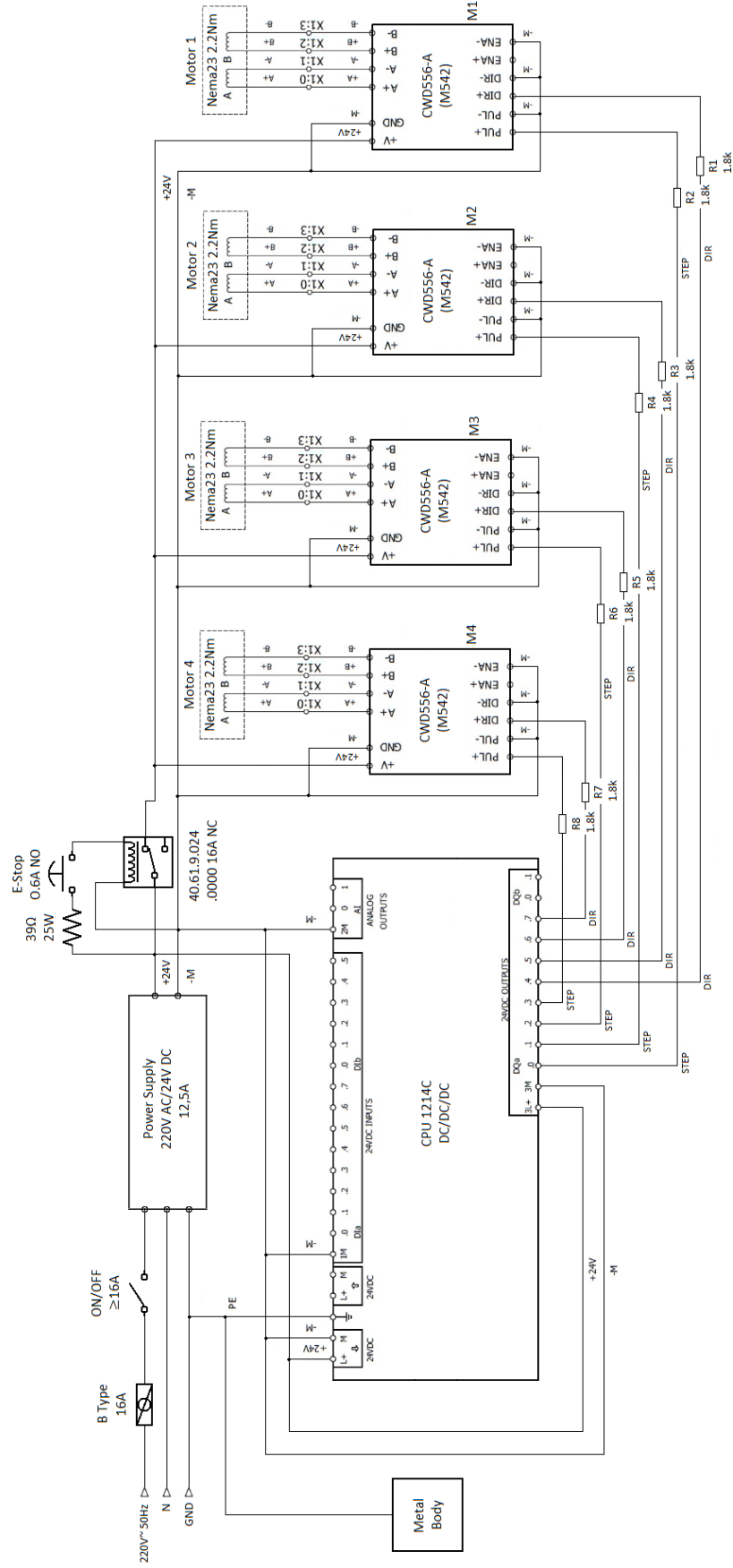
Seçilen diğer elektronik bileşenlerin 24 V gerilimle ile çalışması nedeniyle 220 V alternatif akımı, 24 V doğru akıma dönüştüren, devredeki motor, motor sürücü gibi diğer elemanların kullanacağı toplam akımı karşılayabilecek güçte 12,5 A akım besleyebilen, sabit gerilim çıkışlı, akım ve kısa devre korumalı güç kaynağı kullanılmıştır.

Sisteme enerji girilirken güvenlik amacıyla, 220 V faz kablosuna 16 A, B tipi bir sigorta bağlanmıştır.

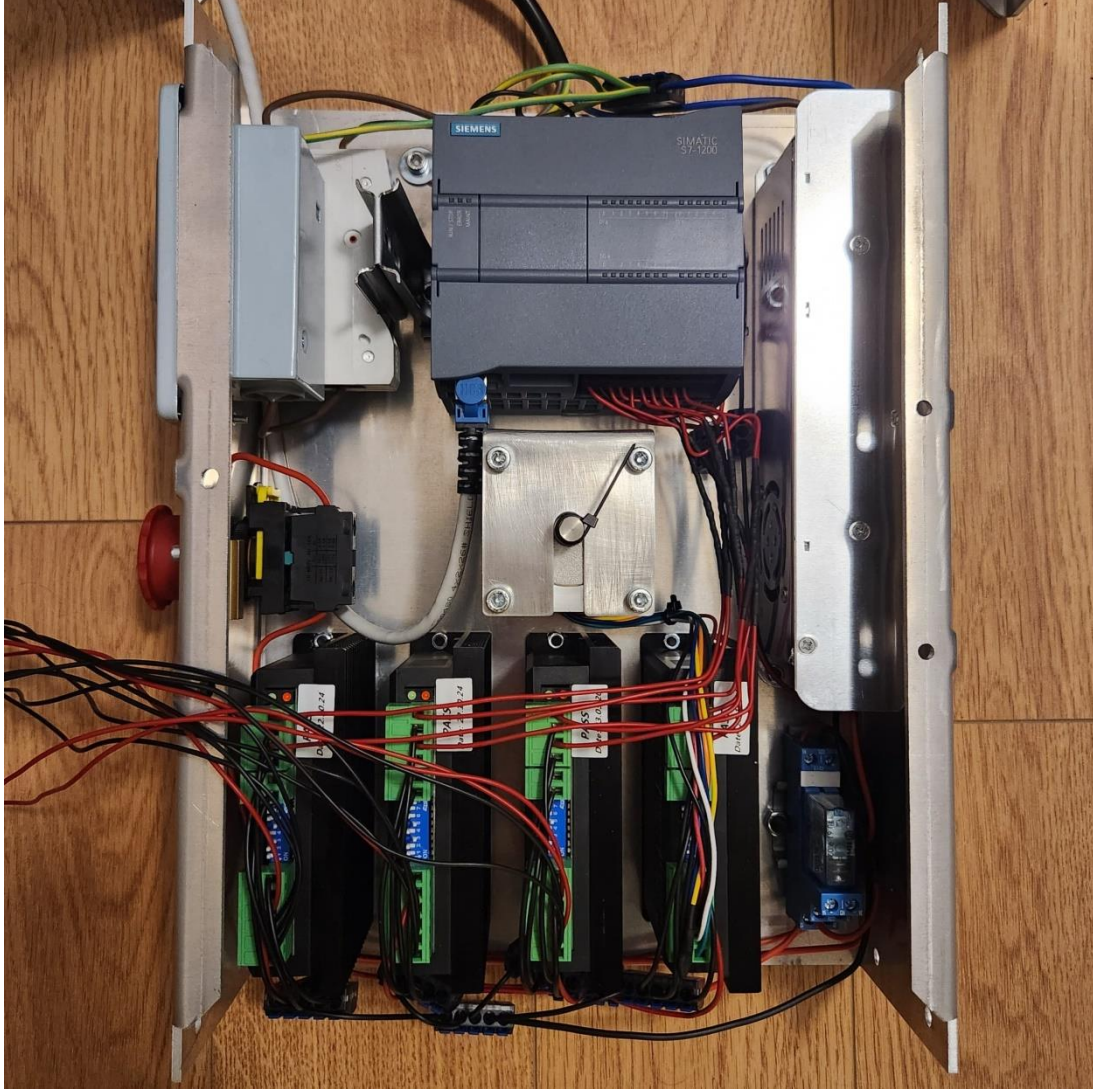
Robot kolun olası bir hatası durumunda, güvenlik nedeniyle hareketi durdurmak amacıyla, motor sürücü ve motorlara giden enerji, normalde açık bir acil durdurma butonu ile tetiklenecek röle devresinden geçirilmiş, böylece ek bir güvenlik önlemi alınmıştır.

Şekil 2.12’de gösterilen elektronik devrenin montajı araştırmacı tarafından üniversitenin elektronik laboratuvarından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Montajın tamamlanmış hali Şekil 2.13’te verilmiştir.

* Pals zamana bağlı olarak değişen voltaj veya akım sinyalidir.



Şekil 2.12. Robot kol devre şeması



Şekil 2.13. Robot kol elektrik panosu

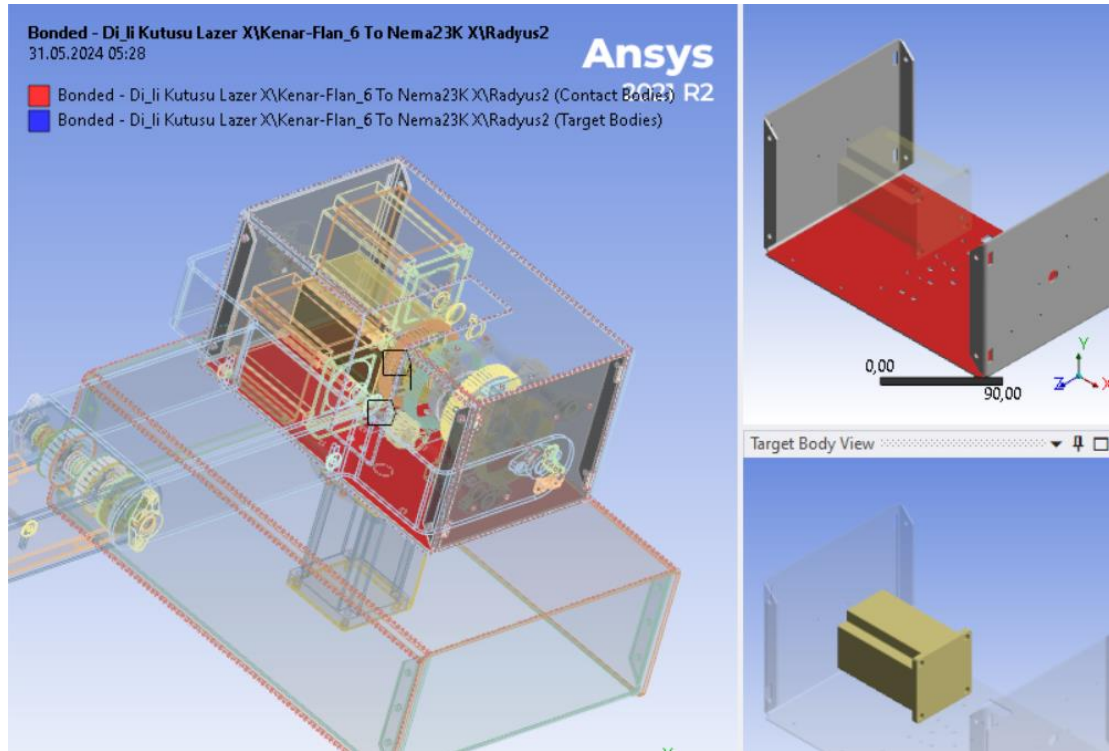
2.5. Robot Kolun ANSYS Programı ile Sonlu Elemanlar Analizi

Serbest cisim diyagramı çizilerek hesaplanan kuvvetler ve momentler baz alınarak tasarlanan elektro-mekanik tasarımın sonlu elemanlar yöntemi ile ANSYS üzerinden analizi yapılarak hata kontrolü gerçekleştirilmiştir.

SolidWorks programında çizilen robot kolun üç boyutlu modeli kullanılarak ANSYS Workbench modülü üzerinden yapısal analiz yapılmıştır. ANSYS yazılımının geometri düzenleme bölümü olan SpaceClaim üzerinden robot kolun gerekli geometrik düzenlemeleri yapılmıştır.

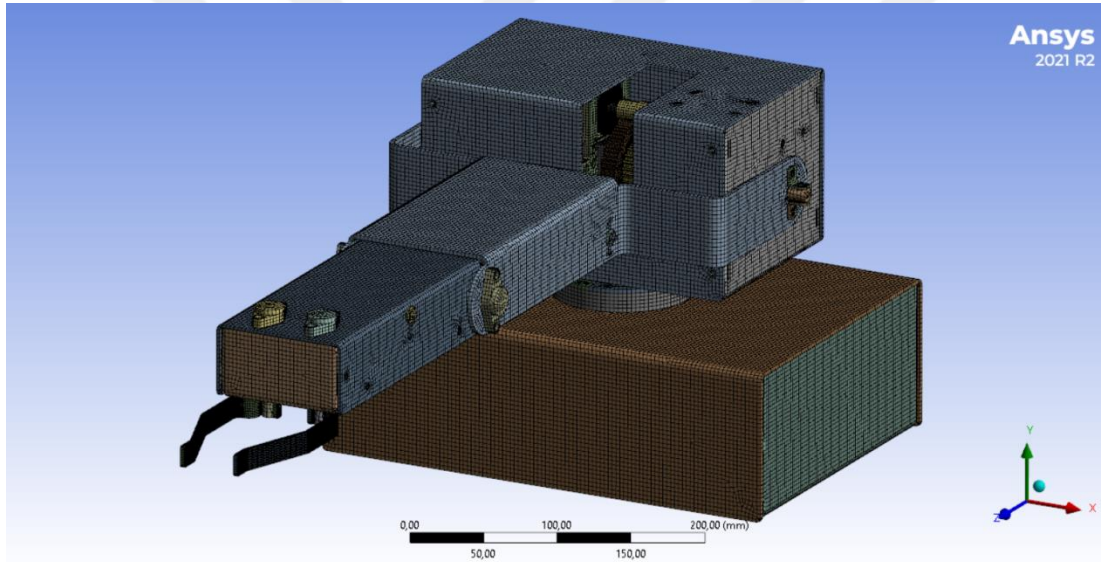
Robot kolun analizi kullanılan bilgisayarların kapasitesi nedeniyle sadeleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, iç aksamlar ihmal edilmiş, robot kolun gövdesini oluşturan metal şasi analiz edilmiştir.

Öncelikle robot kolun bileşenleri üzerindeki gerçek, fiziksel kısıtları tanımlayan temas noktaları tanımlanmıştır. Kullanılan temas noktaları, tasarımın gerçekte yapacağı harekete uygun şekilde seçilmiştir. Birbirine göre hareketsiz, sabit olan parçalarda bağlı temas türü, birbirine yüzey olarak yapışık ancak bağımsız olarak dönebilen hareketli parçalar için ayırma yok temas türü kullanılmıştır. Şekil 2.14'te oluşturulan bağlı temas noktalarından bir örnek görülmektedir.



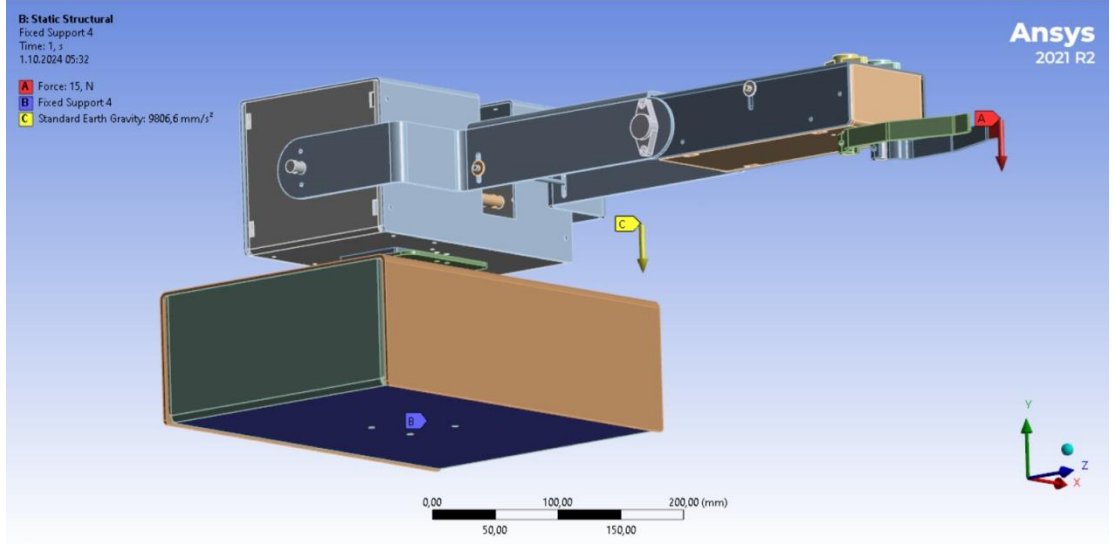
Şekil 2.14. Motor kutusu ve motor arasında tanımlanan bağlı temas

Her bir parça için ayrı olarak ağ oluşturulmuştur. Robot kolun tamamı için oluşturulan ağ şekil 2.15'te görülmektedir. Toplamda 245.973 düğüm noktası kullanılmıştır. Ağların kalitesi ve yapısı, analizin yürütüldüğü bilgisayarın gücünün imkan verdiği ölçüde, her bir parça için mümkün olan en verimli sonucu verecek şekilde tercih edilmiştir. şasi analizi yapılırken parçaların çoğunda 3 mm eleman boyutu kullanılmış, gerekli olan yerlerde eleman boyutu küçültülmüştür. Ağ oluşturma yöntemi olarak sac levha gibi geniş yüzey ve ince kalınlığa sahip parçalarda süpürme yöntemi kullanılmıştır. Kalın parçalarda ise altıgen baskın ağ oluşturma yöntemi kullanılmıştır. Eleman kalitesi olarak mümkün olan bütün parçalarda ikinci dereceden, dörtgen tipinde elemanlar kullanılmış, bilgisayarın ağ oluşturamadığı küçük detaylar içeren bazı parçalarda ise doğrusal ve dörtgen ile üçgen karışık tipte elemanlar kullanılmıştır.

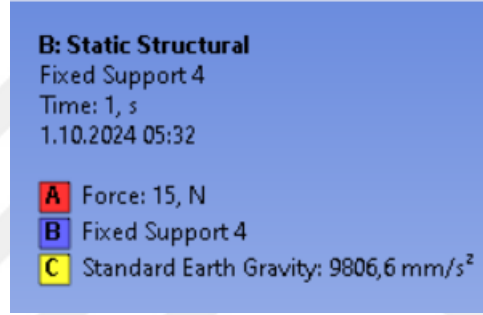


şekil 2.15. Robot kol üzerinde oluşturulan ağ

Model üzerinde, robot kolun üzerindeki gerçek etkileri simüle edecek şekilde kuvvet ve deplasman sınır şartları eklenmiştir. Robot kol zemin üzerinde çalışacağı için deplasman sınır şartı olarak, tasarımın taban kısmı sabitlenmiştir. Yer ekimi ivmesi, robot kolun gerçek uygulamada maruz kalacağı şekilde negatif y eksenini yönünde eklenmiştir. Belirlenen maksimum 1 kg'lık çalışma ağırlığına ek olarak, ihmal edilen aksamaların yaklaşık ağırlığı olan 0,5 kg eklenmiş, tutucu uca negatif y eksenini yönünde toplamda 15 N'luk bir kuvvet uygulanmıştır. şekil 2.16'da eklenen kuvvetler ile sınır şartının konumları, şekil 2.17'de ise eklenen kuvvetler ile sınır şartının değerleri görülmektedir.



Şekil 2.16. Uygulanan kuvvetler ve sınır koşulu



Şekil 2.17. Sınır koşulları ve kuvvetlerin değerleri

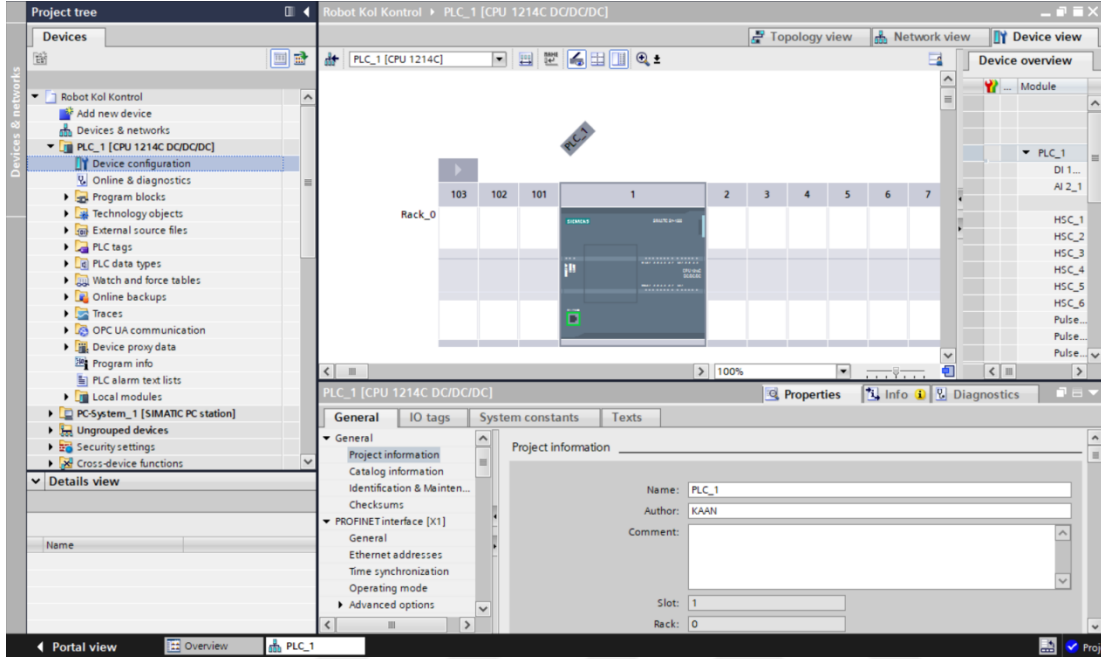
Analiz yürütülerek; robot kol boyunca deplasman değerleri, gerilme değerleri ve moment tepkisi test edilmiştir.

Analiz sonrasında, Üç Eksenli Robot Kol Tasarımı ve Robot Kolun Kontrolü için EEG Verilerinin Makine Öğrenmesi İle Sınıflandırılması Yüksek Lisans Tezi'nin tasarım aşamaları, daha önce bahsedilen mekatronik sistem tasarımına uygun şekilde güncellenerek üretim aşamasına geçilmiştir.

2.6. PLC Yazılımı

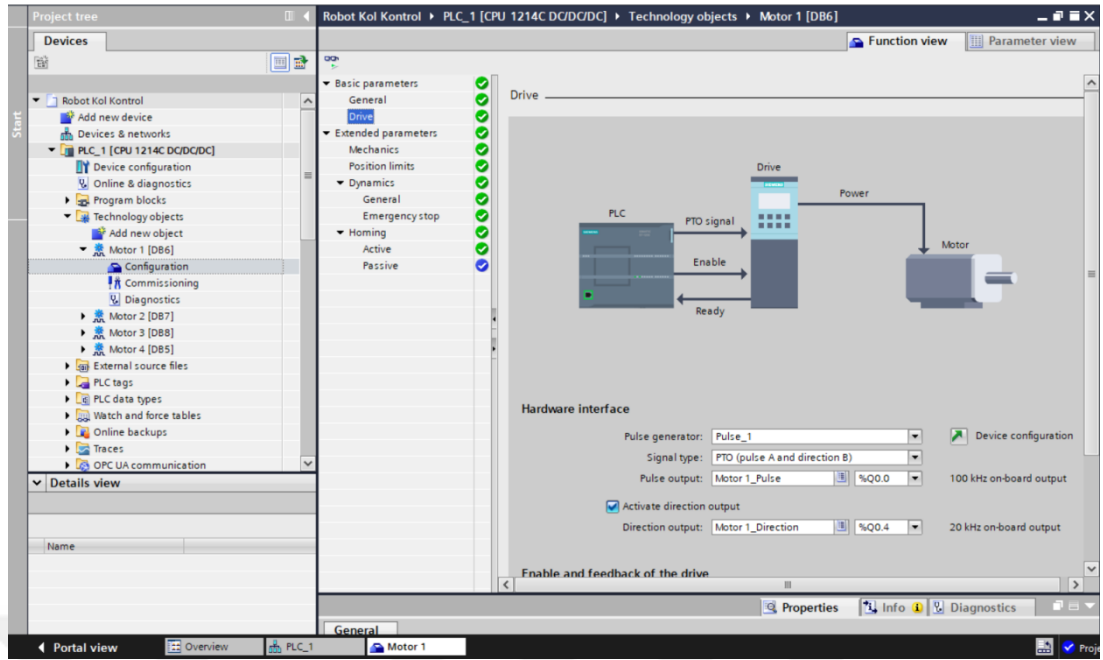
Robot kolun çalışma uzayına uygun olarak manuel kontrolünü gerçekleştirmek için Siemens'in otomasyon uygulamalarında ve PLC ürünlerinin kodlanmasında kullanılmak üzere geliştirdiği TiaPortal V18 yazılımı kullanılmıştır.

Öncelikle proje ağacı kısmında yeni cihaz ekle bölümünden kullanılan PLC modeli seçilerek projeye eklenmiş ve cihaz ayarları altında, özellikler sekmesi üzerinden gerekli ayarları yapılmıştır. PLC sekmesi görseli Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. TiaPortal PLC ayarları bölümü

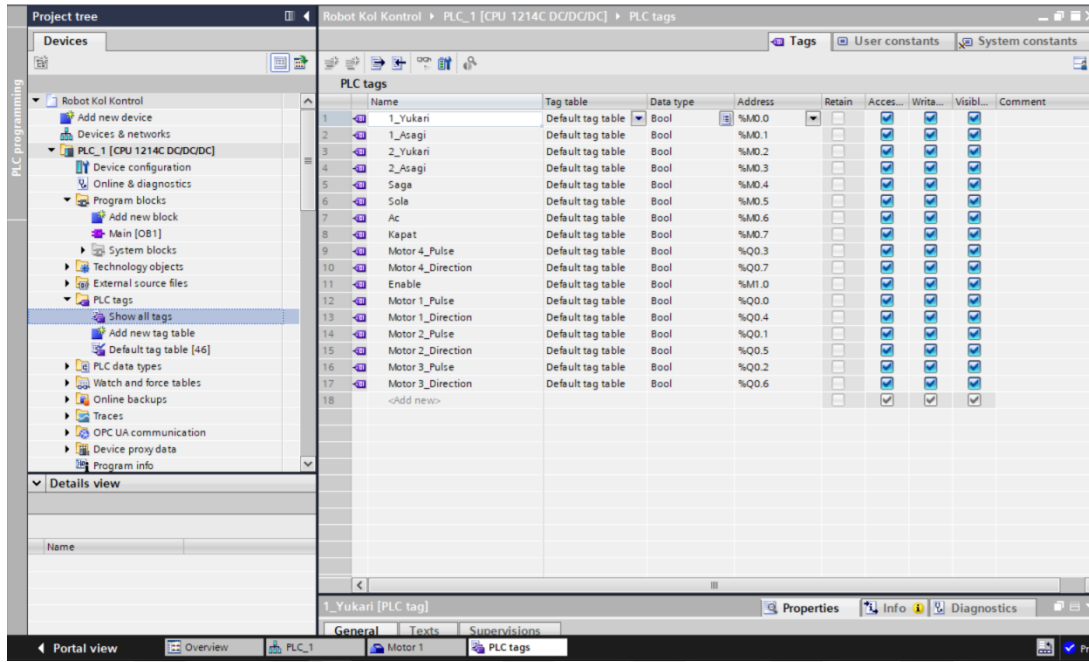
Sonrasında teknoloji objeleri bölümünden dört adet step motor eklenmiş ve sinyal türü, veri giriş-çıkış pinleri, zamana bağlı voltaj sinyali değişimlerini ifade eden pils değerleri ve ivme ayarları gibi ayarları yapılmıştır. Bahsedilen teknoloji objeleri sekmesi Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. TiaPortal adım motor ve sürücü ayarları bölümü

PLC etiketleri bölümünden, daha sonra blok diyagramı altında kullanılacak olan hazır motor kontrol fonksiyon bloklarına atanmak üzere, PLC etiketleri oluşturulmuştur. Etiketler, programda kullanıldığı bölümdeki cihazın fiziksel giriş-çıkış pinlerinden oluşan fiziksel adreslerinin soyut olarak isimlendirilmesidir. Bu isimlendirme sırasında, etiketin ifade ettiği fiziksel pin ve bu pin üzerinden okunacak veri tipi tanımlanmaktadır. Bu sayede gerçekleştirilecek olaylar bu etiketlere tanımlanarak, başka olaylarla bağdaştırılarak, kontrol edilebilmektedir.

Bu Tez çalışmasında, oluşturulan PLC etiketleri ile projeye bir başka cihaz olarak eklenen sanal kullanıcı ara yüzündeki yön tuşlarına atanan, sanal kullanıcı arayüzü (HMI) etiketleri bağdaştırılmıştır. Bu sayede sanal ara yüz üzerindeki yön tuşları aracılığıyla, PLC blok diyagramındaki motorların hareketlerini kontrol eden hazır fonksiyon blokları kontrol edilebilmektedir.

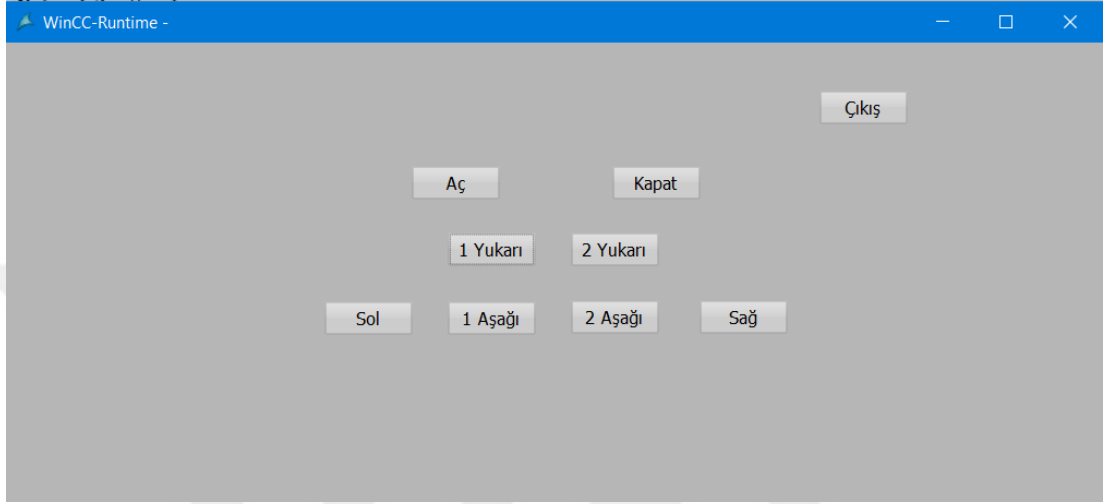


Şekil 2.20. TiaPortal PLC etiketleri bölümü

Manuel kontrolü gerçekleştirecek blok diyagramından oluşan kod, program blokları bölümü altındaki ana fonksiyon içerisine, hazır fonksiyon blokları kullanılarak yazılmış ve derlenerek PLC'ye yüklenmiştir (Bkz. EK-1a, EK-1b, EK-1c, EK-1ç, EK-1d, EK-1e). Bu kısımda, oluşturulan PLC etiketleri, blok diyagramında motor kontrolü vb. olaylar için kullanılan hazır fonksiyon bloklarını kontrol eden mantık değişkenlerine atanmıştır. Bu sayede motorların kontrol değişkeni haline gelen PLC etiketleri ile sanal ara yüz üzerindeki yön tuşlarına atanan sanal ara yüz etiketleri bağdaştırılabilir, ara yüz üzerinden motorların canlı kontrolü gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Oluşturulan PLC etiketleri Şekil 2.20'de görülmektedir.

Yeni cihaz ekle bölümünden, insan-makine ara yüzleri altında gerçek zamanlı WinCC profesyonel ara yüzü seçilerek sisteme eklenmiştir. İsimlendirme, IP adresi ayarlama gibi gerekli ayarlar yapılmıştır. Ayarlar yapıldıktan sonra bu cihaz altındaki sanal ara yüz etiketleri oluşturulmuş, cihaz seçenekleri altındaki ekran bölümünden yeni ekran eklenerek, yön tuşlarından oluşan soyut ara yüz panosu tasarlanmış, tasarlanan bu tuşlara sanal ara yüz etiketleri atanmış ve sonrasında sanal arayüz etiketleri ile PLC etiketleri bağdaştırılmıştır. Bu sayede WinCC uygulaması üzerinden açılabilen sanal ara yüzden oluşan kontrol panosu aracılığıyla gerçek zamanlı olarak, PLC blok diyagramındaki motor kontrol fonksiyon bloklarının kontrolü gerçekleştirilebilir hale getirilmiştir.

TiaPortal içeriği hazırlandıktan sonra robot kol çalıştırılmış, hazırlanan kod, program üzerinden durdurulan PLC'ye derlenerek yüklenmiş, PLC tekrar çalıştırılmış, blok diyagramı bölümü üzerinden çevrimiçi moda geçilmiş, sonrasında sanal ara yüz seçilerek simülasyon başlatılmış, açılan WinCC uygulaması üzerindeki, Şekil 2.21'de gösterilen sanal kontrol panosu aracılığıyla robot kolun gerçek zamanlı manuel kontrolü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.21. TiaPortal sanal kontrol paneli

2.7. EEG ile Beyin Sinyali Veri Kümesinin Elde Edilmesi

Bu Tez çalışması kapsamında tek kanallı bir EEG cihazı olan NeuroSky Mindwave Mobile 1 kullanılarak, robot kolun uzuvlarının nötr, birinci uzuv yukarı, birinci uzuv aşağı, ikinci uzuv yukarı, ikinci uzuv aşağı, tutucu ucu aç, tutucu ucu kapat, sağ, sol komutlarıyla eşleştirilmek üzere, 5 ms'lik örneklendirme sıklığıyla, 15 saniye boyunca, farklı görsellere ve duyguları etkileyecek hayallere odaklanılarak oluşturulan beyin sinyalleri EEGID adında bir yazılımla kayıt altına alınmış, Excel dosya formatında ham veri, farklı frekans değerleri gibi niteliklerden oluşan veri setleri oluşturulmuş ve bu setler çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılmıştır.* Kullanılan EEG cihazının görseli Şekil 2.22'te verilmiştir.

* Nötr komutu, diğer sinyallerle kıyaslanmak üzere kaydedilen, beynin olağan halinin ürettiği sinyaldir.



Şekil 2.22. NeuroSky Mindwave Mobile 1 EEG cihazı (Ashikin, Nafea, Hisham ve Harun, 2018)

Robot kolun her bir hareket komutu için ayrı olarak belirlenen farklı şekil ve renklerdeki görsellere odaklanılarak kayıt altına alınan beyin sinyalleri ile Görseller Veri Seti oluşturulmuştur. Örneğin birinci uzvun yukarı hareketi için mavi üçgen görseline 15 saniye boyunca odaklanılarak kayıt altına alınmış, aşağı komutu için kırmızı kare görseline 15 saniye boyunca odaklanılmış, diğer komutlar için benzer şekilde ilerlenmiştir. Aynı yöntemle korku, mutluluk vb. farklı duyguları tetikleyecek hayallere odaklanılarak Uyarılar Veri Seti oluşturulmuştur. Kullanılan görseller ve düşünce içerikleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Görseller veri seti oluşturulurken kullanılan görseller

Komutlar	Görseller
Birinci Uzun Yukarı	
Birinci Uzun Aşağı	

Çizelge 2.1. Görseller veri seti oluşturulurken kullanılan görseller (devamı)

İkinci Uzun Yukarı	
İkinci Uzun Aşağı	
Tutucu Uç Aç	
Tutucu Uç Kapat	
Sağ	
Sol	

Çizelge 2.2. EEG uyarılar veri seti oluşturulurken kullanılan düşünceler

Komutlar	Uyarılar
Birinci Uzun Yukarı	Kırmızı Ayı (Korku)
Birinci Uzun Aşağı	Yeşil Ağaç (Güven)
İkinci Uzun Yukarı	Kızıl Ateş (Öfke)
İkinci Uzun Aşağı	Turkuaz Deniz (Sakinlik)
Tutucu Uç Aç	Beyaz Işık (Mutluluk)
Tutucu Uç Kapat	Üzgün Çocuk (Üzüntü)
Sağ	Çöp Kamyonu (İğrenme)
Sol	Taze Ekler (İstek/İştah)

Robot kolun hareket komutları ile eşleştirilecek olan beyin sinyalleri ayrı ayrı, 5 ms'lik örneklendirme sıklığıyla, 15 saniye boyunca kayıt altına alınmış ve her bir veri setinde 17 farklı nitelik altında yaklaşık olarak 15.000 gözlem elde edilmiştir. Elde edilen veri setlerinin dosyalama biçimi Şekil 2.23'te, veri seti içeriği ise Şekil 2.24'te verilmiştir.

Ad	Değiştirme tarihi	Tür	Boyut
 İkinci Uzun Asagi Komutu - Sari Cizgi	21.08.2024 18:00	Microsoft Excel Vir...	302 KB
 İkinci Uzun Yukari Komutu - Yesil Daire	21.08.2024 17:59	Microsoft Excel Vir...	299 KB
 İlk Uzun Asagi Komutu - Kirmizi Kare	21.08.2024 17:58	Microsoft Excel Vir...	304 KB
 İlk Uzun Yukari Komutu - Mavi Ucgen	21.08.2024 17:57	Microsoft Excel Vir...	302 KB
 Notr	21.08.2024 17:56	Microsoft Excel Vir...	300 KB
 Sag Komutu - Mor Altigen	21.08.2024 18:05	Microsoft Excel Vir...	297 KB
 Sol Komutu - Beyaz Ok	21.08.2024 18:05	Microsoft Excel Vir...	308 KB
 Tutucu Uc Ac Komutu - Kahverengi Ay	21.08.2024 18:02	Microsoft Excel Vir...	309 KB
 Tutucu Uc Kapat Komutu - Siyah D	21.08.2024 18:02	Microsoft Excel Vir...	299 KB

Şekil 2.23. EEG görseller veri seti dosyalama biçimi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	timestamp	poorSignal	eegRawVa	eegRawVa	attention	meditation	blink	Strenç	delta	theta	alphaLow	alphaHigh	betaLow	betaHigh	gammaLow	gammaMit	tagEvent	location
2	1,72E+12	0	82	1,80E+11	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
3	1,72E+12	0	84	1,85E+11	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
4	1,72E+12	0	65	1,43E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
5	1,72E+12	0	87	1,91E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
6	1,72E+12	0	96	2,11E+01	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
7	1,72E+12	0	104	2,29E+03	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
8	1,72E+12	0	96	2,11E+01	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
9	1,72E+12	0	87	1,91E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
10	1,72E+12	0	100	2,20E+04	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
11	1,72E+12	0	105	2,31E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
12	1,72E+12	0	107	2,35E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
13	1,72E+12	0	104	2,29E+03	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
14	1,72E+12	0	73	1,60E+11	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
15	1,72E+12	0	83	1,82E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
16	1,72E+12	0	91	2,00E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
17	1,72E+12	0	81	1,78E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
18	1,72E+12	0	59	1,30E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
19	1,72E+12	0	55	1,21E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
20	1,72E+12	0	67	1,47E+11	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
21	1,72E+12	0	84	1,85E+11	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
22	1,72E+12	0	89	1,96E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
23	1,72E+12	0	64	1,41E+00	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
24	1,72E+12	0	55	1,21E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
25	1,72E+12	0	88	1,93E+03	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
26	1,72E+12	0	77	1,69E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
27	1,72E+12	0	72	1,58E+03	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
28	1,72E+12	0	72	1,58E+03	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
29	1,72E+12	0	89	1,96E+06	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	
30	1,72E+12	0	86	1,89E+11	34	70	57	1228386	36547	16758459	25440	15854	24480	5029	13026	Tag0	unknown	

Şekil 2.24. EEG görseller veri seti içeriği

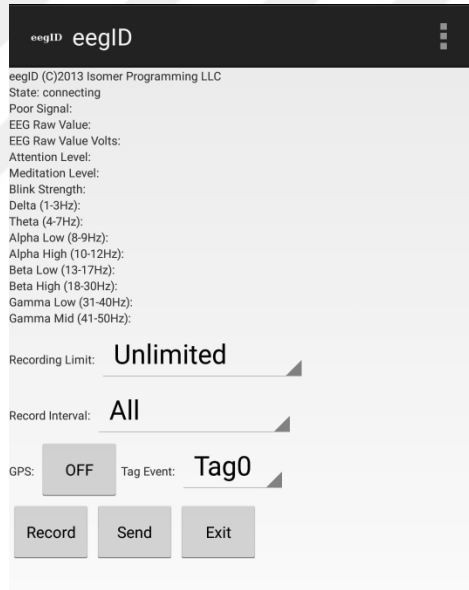
Elde edilen niteliklerden sayısal değeri olmayan veya etkisi göz ardı edilebilecek olan zaman, zayıf sinyal, dikkat, meditasyon, göz kırpma gücü, etkinlik etiketi ve konum parametreleri çıkarılmıştır. Makine öğrenmesi sınıflandırma uygulamasında, elektrotlardan ölçülen voltajı ifade eden ham EEG verisi değerleri, delta, teta, alfa düşük, alfa yüksek, beta düşük, beta yüksek, gama düşük, gama yüksek, gama karışık olmak üzere toplamda 10 adet, EEGID programının, ham EEG

verisi üzerinden, kendi yazılımıyla türettiği frekans değerlerinden oluşan nitelikler kullanılmıştır.

2.7.1. EEG Verilerinin Toplanmasında Kullanılan Yazılım

EEG verilerinin toplanmasında, Android cihazlarda çalışan ve üçüncü parti bir yazılım olan EEGID programı kullanılmıştır. Programın ana menü görseli Şekil 2.25’de verilmiştir.

Program EEG cihazına bluetooth üzerinden bağlanarak anlık olarak toplanan voltaj, frekanslar vb. nitelikleri göstermektedir. Gösterilen verileri farklı ayar seçenekleriyle kaydedebilen program, kayıt işlemi tamamlandıktan sonra verinin e-posta üzerinden vb. şekilde iletilmesine imkan vermektedir. Bu sayede program, sinyal aracılığıyla anlık herhangi bir kontrol uygulamasına direkt imkan vermese de, pratik bir şekilde veri seti oluşturma imkanı sunmaktadır.



Şekil 2.25. EEGID programı

2.8. Makine Öğrenmesi

Bu Tez çalışmasında çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak, kaydedilen beyin sinyallerinin robot kolun yön komutlarıyla eşleştirilebilmesi için sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır. Oluşturulan veri setleri çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilmiş, sinyallerin farklı algoritmalar ile ne kadar doğrulukla sınıflandırılabilirdiği test edilmiştir.

Bu işlemler MATLAB üzerinden K-En Yakın Komşu (KNN), Karar Ağacı, Naive Bayes gibi yaygın olarak uygulanan makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri setlerinin %80'i algoritmalara eğitim olarak verilmiş, %20'si test olarak kullanılmıştır.

2.8.1. KNN

Sınıflandırılacak olan veriyi kendisine en yakın K adet komşusuna göre belirlemektedir. K adet komşunun çoğul sınıfı ne ise yeni veriyi o sınıfa dahil etmektedir. Uzaklık mesafesi olarak Öklid mesafesini kullanmaktadır. Mesafe ölçümüne ait Denklem 2.14'te görülmektedir. Literatürde farklı uzaklık mesafeleri (Torres-Sospedra, Montoliu, Trilles, Belmonte ve Huerta, 2015) kullanılmış olursa da en yaygın kullanım Öklid mesafesidir.

$$Mesafe = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad 2.14$$

2.8.2. Karar Ağacı

Karar ağaçlarında düğümler yer almaktadır (Keser, Yayan, Yazıcı ve Günal, 2016). Bu düğümler, özellik değerlerine göre iki veya daha fazla alt ağaca ayrılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bir m düğüme erişen bir örneğin C_i sınıfında olma olasılığı Denklem 2.15 kullanılarak hesaplanmaktadır (Alpaydın, 2013). Karar ağacı oluşturma ve alt dallara ayırma işlemi safsızlık ölçüsü hesaplanarak gerçekleştirilmektedir. Bir düğüme gelen tüm değerler aynı içeriğe sahipse, o düğüm saf kabul edilmekte ve safsızlık değeri olarak sıfır alınmaktadır. Safsızlık değerinin sıfır olduğu durumlarda, bir düğümü daha fazla alt düğüme bölmeye gerek yoktur.

$$P = (C_i | x, m) \equiv P_m^i = \frac{N_m^i}{N_m} \quad 2.15$$

$C_i = i$. Sınıf tipi

N_m^i = Bir m düğüme erişen C_i sınıfına ait örnek sayısı

N_m = Bir m düğüme erişen toplam örnek sayısı.

2.8.3.Naive Bayes

Naive Bayes yönteminde, incelenen veriler Bayes Teoremi kullanarak olasılık hesabı ile sınıflandırılmaktadır. Bu teoremde verilerin özelliklerini ifade eden ön olasılıklardan yararlanılarak diğer özelliklerini ifade eden olasılıklara Denklem 2.16 aracılığıyla ulaşılmaktadır.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)*P(A)}{P(B)} \quad 2.16$$

$P(A|B)$: B olayı gerçekleştiği durumda A olayının meydana gelme olasılığı

$P(B|A)$: A olayı gerçekleştiği durumda B olayının meydana gelme olasılığı

$P(A)$: A olayının önsel olasılığı

$P(B)$: B olayının önsel olasılığı

Elde edilen sonuçların başarımlı doğruluk, özgüllük, duyarlılık, kesinlik ve F1-Skoru parametrelerinin hesaplanması ile değerlendirilmektedir. İlgili parametrelerin hesaplanmasında karışıklık matrisi kullanılmaktadır. Burada yalnızca iki sınıf için verilen örnek karışıklık matrisi Şekil 2.26’de görülmektedir (Bilen, 2021).

		GERÇEK	
		Pozitif	Negatif
TAHMİN	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

Şekil 2.26. Örnek karışıklık matrisi (Bilen, 2021)

Şekil 2.27’de yer alan TP, FP, FN ve TN değerlerinin tanımlamaları aşağıda verilmiştir:

TP: Pozitif (P) olarak sınıflandırılan ve gerçekten de pozitif olan verilerin sayısını gösterir (Doğru Pozitif – TP).

FP: Pozitif (P) olarak sınıflandırılan ancak gerçekte pozitif olmayan verilerin sayısını gösterir (Yanlış Pozitif – FP).

FN: Negatif (N) olarak sınıflandırılan ancak gerçekte pozitif olan verilerin sayısını gösterir (Yanlış Negatif – FN).

TN: Negatif (N) olarak sınıflandırılan ve gerçekten de negatif olan verilerin sayısını gösterir (Doğru Negatif – TN).

Doğruluk hesaplanması Denklem 2.17’de görülmektedir.

$$Doğruluk = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad 2.17$$

Duyarlılık hesaplanması Denklem 2.18’de görülmektedir.

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP+FN} \quad 2.18$$

Özgüllük hesaplanması Denklem 2.19’de görülmektedir.

$$Özgüllük = \frac{TN}{TN+FP} \quad 2.19$$

Hassasiyet hesaplanması Denklem 2.20’de görülmektedir.

$$Hassasiyet = \frac{TP}{TP+FP} \quad 2.20$$

F1-Skoru hesaplanması Denklem 2.21’de görülmektedir.

$$F1 \text{ Skoru} = \frac{2 \cdot (Precision \cdot Sensitivity)}{Precision + Sensitivity} \quad 2.21$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mekanik Tasarımda Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

Mekanik tasarımda standart parçalar kullanmak yerine özgün tasarımlar yapıldığında üretim maliyeti ve zorluğu artmaktadır. Ayrıca düşük adetli özgün üretim işlerinde piyasada üretici bulmanın zor olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenlerle mekanik tasarım aşamasında mümkün olduğunca standart ekipmanların, parçaların kullanılması, tasarımın bu parçalara göre oluşturulması üretim aşamasını kolaylaştıracaktır.

Tasarım aşamasında mekatronik sistemi bir bütün olarak ele almak, karşılaşılabilecek sorunların çözümü açısından adım adım ilerleyen tasarım yöntemlerine göre daha pratik çözümler sunmaktadır.

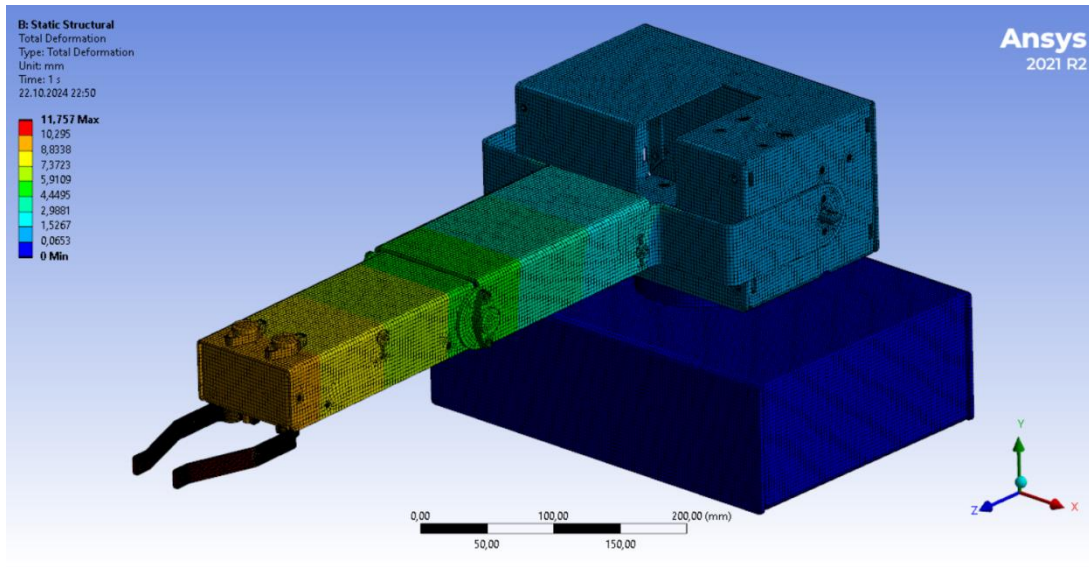
3.2. Elektronik Tasarımda Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

Tez kapsamında robot kolun uzun süreli çalışmayacak olması ve montaj boşlukları aracılığıyla, oluşacak sıcaklığı tolere edebiliyor olması nedeniyle termal analiz kapsam dışı tutulmuş, devre panosu elemanları arasında standart boyutlarda hava boşlukları bırakılmıştır. Bir saat süreyle çalıştırılan robot kolun ulaştığı sıcaklık gözlemlendiğinde uzun süreli çalışacak her türlü devre ve cihazın termal analiz yapılarak, stabil sıcaklık altında çalıştığının, devre elemanlarının bu sıcaklık altında sağlıklı çalıştığının kontrol edilmesinin, gerekli durumlarda ısıyı dengeleyecek sistemlerin kullanılmasının özellikle ticari ürünler için çok önemli bir uygulama olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

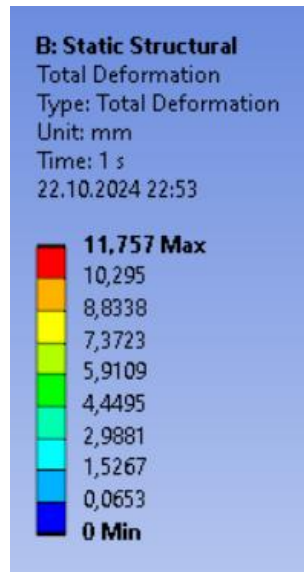
3.3. Robot Kolun Analiz Sonuçları

Robot kolun ilk analizi sonucunda, tasarlanan giriş uzvu parçasının yüksek deformasyona uğradığı görülmüştür. Bu nedenle ilgili parça 2 mm kalınlıktan 3 mm kalınlığa çıkartılarak tekrar analiz edilmiş ve sorunun giderildiği gözlemlenmiştir.

Analiz sonucunda maksimum deplasman değerinin, robot kolun en uç kısmında 11,75 mm olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bahsedilen deplasmana ve deplasman değerlerine ait görseller Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu değer analiz gerçekleştirilirken iç aksamaların ihmal edilmesi ve sadece şasinin incelenmesi nedeniyle gerçekte gözlemlenen deformasyon miktarından daha yüksektir.

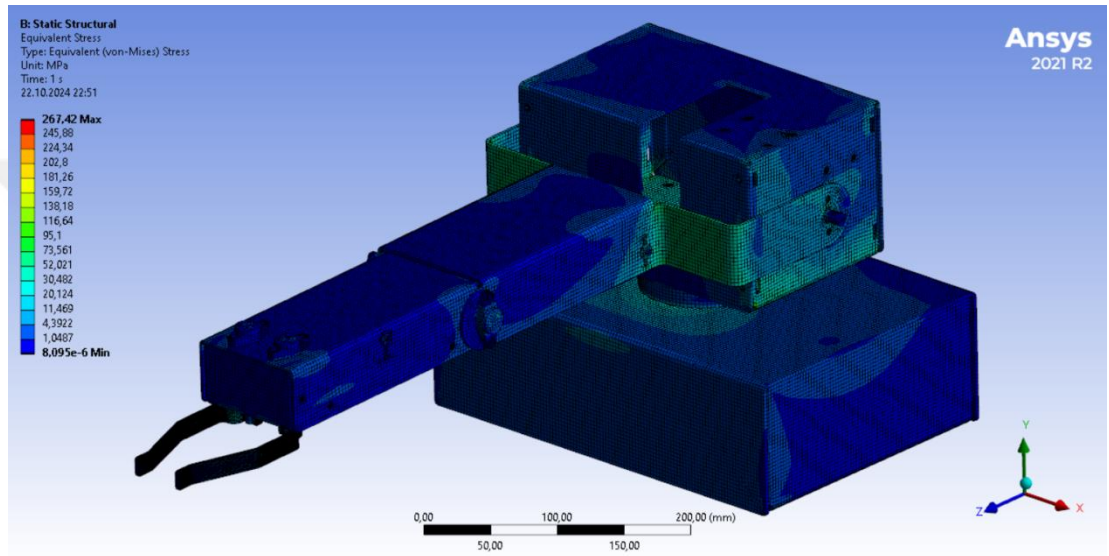


Şekil 3.1. Şasi deplasman sonuçları



Şekil 3.2. Şasi deplasman sonuçları değerleri

Gerilme sonuçları incelenirken, Von-Mises eşdeğer gerilmeler kontrol edilmiş, robot kola etki eden maksimum gerilme 267,42 MPa olarak elde edilmiştir ancak bu durum oluşturulan ağ özellikleri sebebiyle bu tarz çözümlerde karşılaşılabilen ağ üzerindeki tekillik hatasının bir sonucudur. Şekil 3.3 üzerinde yeşil ve açık mavi tonlarında görünen, robot kolun geometrik olarak en kritik noktalarındaki, 30-40 MPa büyüklüğündeki gerilme değerleri, kullanılan 5754 serisi alüminyumun 80-100 MPa akma direncinden daha küçüktür. Bu nedenle robot kolun şasi mekanik tasarımının güvenli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



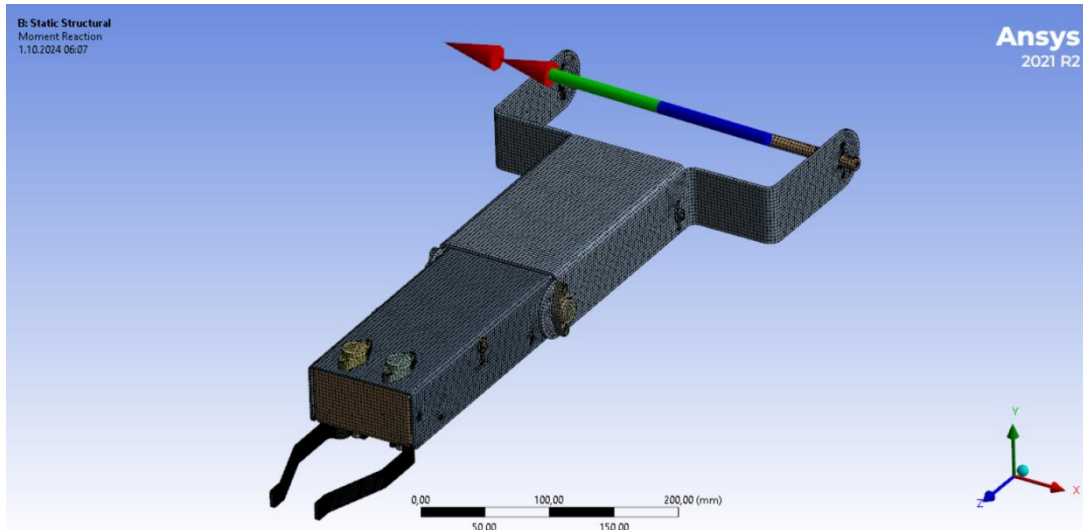
Şekil 3.3. Şasi gerilme sonuçları

Elde edilen gerilme değerlerine ilişkin görsel Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Şasi gerilme sonuçları değerleri

Bilgisayarın kapasitesi nedeniyle, analiz sadeleştirilmiş, robot kol üzerinde en büyük moment kuvvetinin olduğu, en riskli bölüm iki adımda incelenmiştir. Bu bölüm giriş uzvunu taşıyan dişlidir. Sadeleştirme doğrultusunda Şekil 3.5'te görüldüğü üzere giriş uzvundan itibaren analiz edilen robot kolun ucuna 15 N'luk kuvvet uygulanmış ve motor kutusundaki dişlilere bağlı olan ana mil üzerinde oluşturduğu moment değeri Şekil 3.6'da görüldüğü gibi 6825 N·mm olarak elde edilmiştir.

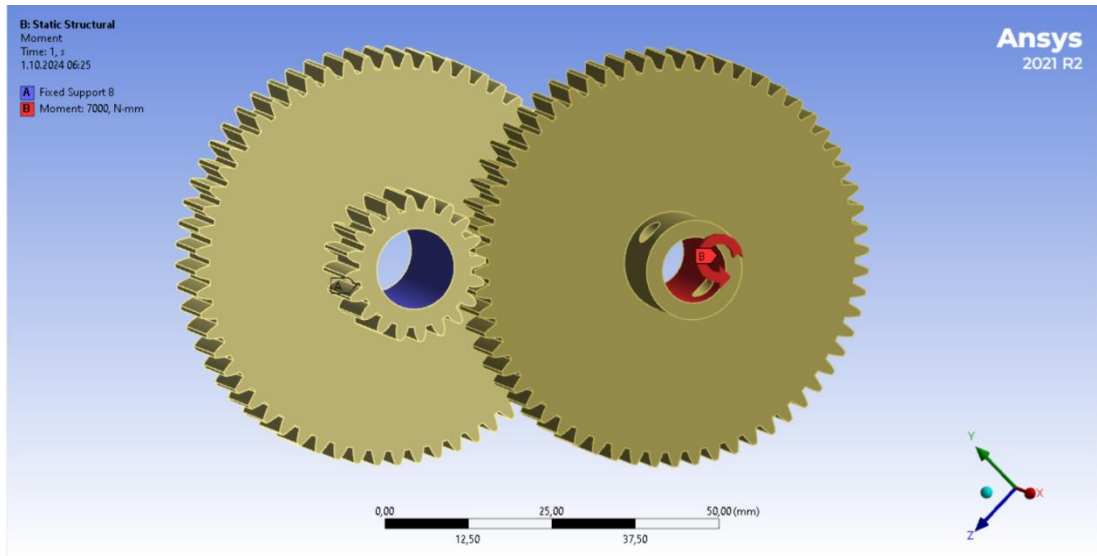


Şekil 3.5. Robot kolun ana mil üzerinde oluşturduğu moment

Details of "Moment Reaction"	
Definition	
Type	Moment Reaction
Location Method	Boundary Condition
Boundary Condition	Fixed Support 7
Orientation	Global Coordinate System
Summation	Centroid
Suppressed	No
Options	
Result Selection	All
☐ Display Time	End Time
Results	
Maximum Value Over Time	
☐ X Axis	-6825, N·mm
☐ Y Axis	-55,899 N·mm
☐ Z Axis	-255,03 N·mm
☐ Total	6830, N·mm
Minimum Value Over Time	
☐ X Axis	-6825, N·mm
☐ Y Axis	-55,899 N·mm
☐ Z Axis	-255,03 N·mm
☐ Total	6830, N·mm
Information	

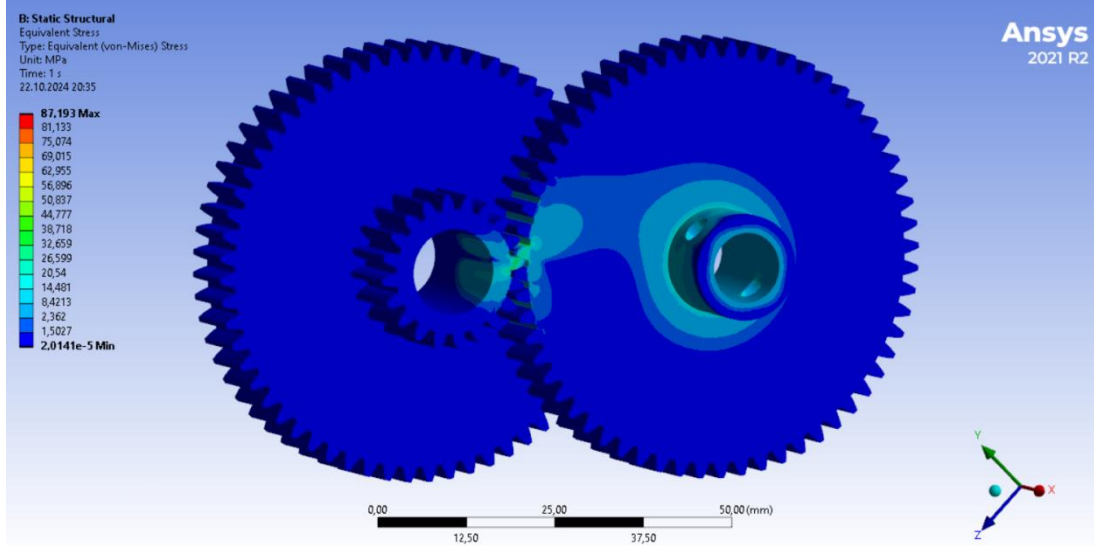
Şekil 3.6. Robot kolun oluşturduğu moment değerleri

İkinci adımda, elde edilen moment değeri, ana mil üzerinde en fazla yüke maruz kalan, kritik dişli çifti olarak adlandırılan dişlilere uygulanmıştır. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere dişli çiftinden bir tanesi, en kötü senaryo olan kilitlenme durumunda olacağı gibi sabitlenmiş, giriş uzvuna bağlı olan dişliye, robot koldan elde edilen moment değeri uygulanmış, analiz yürütülerek sonuçlar elde edilmiştir.

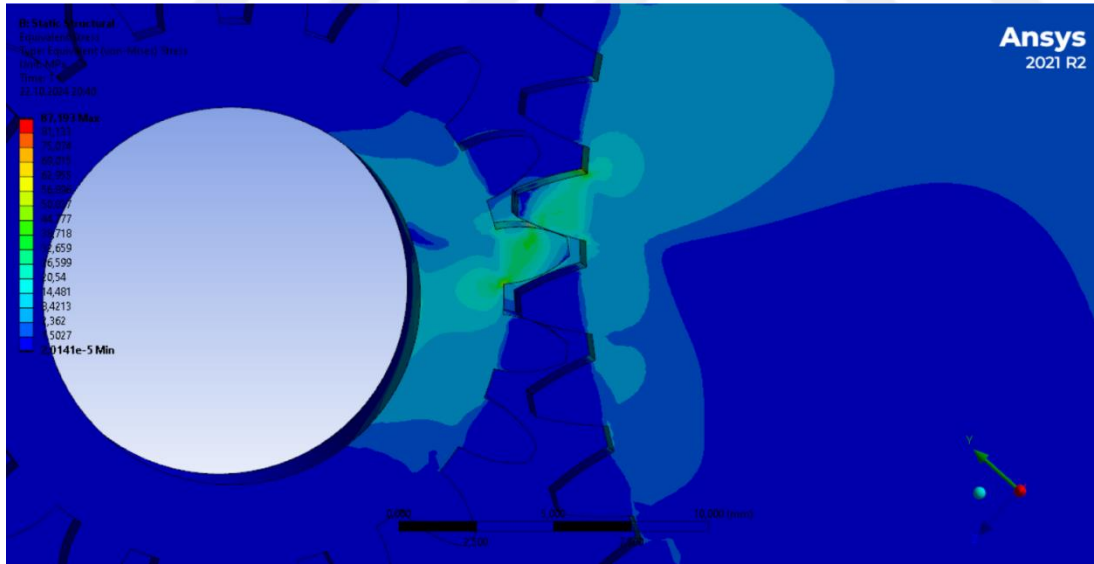


Şekil 3.7. Kritik dişli çifti üzerindeki moment ve sınır koşulu

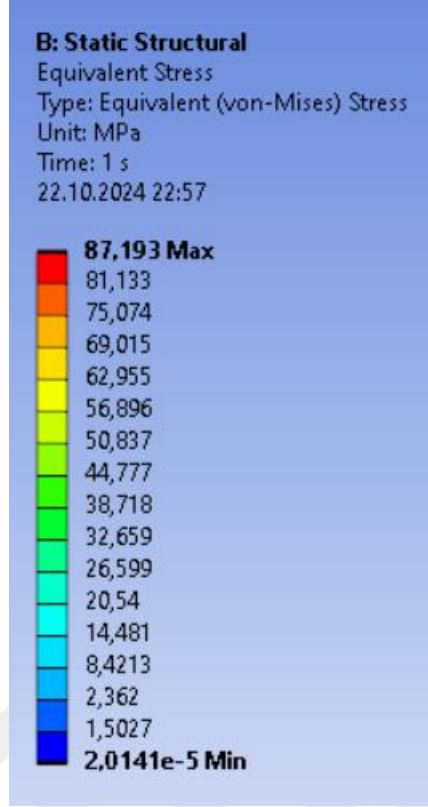
Şekil 3.10’da görüldüğü üzere kritik dişli çifti üzerindeki gerilmenin değeri 87,193 MPa bulunmuştur. Bu değer robot kolun dişlilerinde kullanılan 1040 kalite çeliğin 420 MPa ile 640 MPa değerleri arasındaki akma dayanımından oldukça düşüktür. Bu sayede dişlinin kuvvet kontrolü gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gerilmenin fiziksel dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kritik dişli çifti üzerindeki gerilme sonuçları



Şekil 3.9. Kritik dişli çifti üzerindeki gerilme sonuçları detay görünüm



Şekil 3.10. Kritik dişli çifti üzerindeki gerilme sonuçları değerleri

Analiz sonucunda, gerekli olan durumlarda tasarım güncellenmiş ve robot kol üretilmiştir. Robot kol analizde kontrol edildiği gibi tüm bileşenleriyle birlikte başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır.

3.4. Makine Öğrenmesi Sonuçları

Beyin sinyallerinden oluşan veri setlerinin, robot kolun kontrol komutlarıyla eşleştirilmek üzere, çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlar farklı başarı parametreleri ile değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında robot kolun belirlenen kontrol komutları; birinci uzuv yukarı, birinci uzuv aşağı, ikinci uzuv yukarı, ikinci uzuv aşağı, tutucu ucu aç, tutucu ucu kapat, sağ ve sol olmak üzere sekiz adettir. Bu nedenle makine öğrenmesi için veri kümesi oluşturulurken sekiz ayrı sınıf tanımlanmıştır.

Bunlara ek olarak beynin herhangi özel bir şey düşünmeden ve yapmadan olağan halinin yaydığı sinyallerden oluşan nötr komutu da oluşturulmuş, beynin farklı komutlar ile nötr hali arasındaki farkı gözlemlemek amacıyla sınıflandırmaya katılmıştır. Toplamda dokuz adet sınıf oluşturulmuş ve 9x9'luk bir karışıklık matrisi

elde edilerek başarımlar hesaplamaları bu matris üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yürütülen analizlerde veri setlerinin %80'i eğitim, %20'si test olarak kullanılmıştır.

Uyaranlar ve Görseller veri setlerinin, kullanılan farklı makine öğrenmesi yöntemleri altında farklı başarımlar hesaplamalarını içeren sınıflandırılma sonuçları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Uyaranlar veri seti başarımlar oranları

	KNN	DES	Naive Bayes
Doğruluk:	0.882037	0.842491	0.502021
Duyarlılık:	0.882025	0.842434	0.501733
Özgüllük:	0.985254	0.980310	0.937739
Kesinlik:	0.882142	0.857306	0.540971
F1-Skoru:	0.882040	0.845055	0.499581

Çizelge 3.2. Görseller veri seti başarımlar oranları

	KNN	DES	Naive Bayes
Doğruluk:	0.863385	0.853157	0.511749
Duyarlılık:	0.863372	0.853316	0.511437
Özgüllük:	0.982924	0.981648	0.938962
Kesinlik:	0.863593	0.865135	0.557925
F1-Skoru:	0.863399	0.855620	0.511287

Sonuçlar incelendiğinde, 0,8820387 değeri ile en yüksek sınıflandırma doğruluğunu Uyaranlar Veri Seti, KNN yöntemi ile sınıflandırıldığında vermiştir. Gerçekleştirilen uygulama için kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri arasında en başarılı olan yöntem KNN olarak görülmektedir.

Kullanılan veri setlerinin içerik farklarının ve farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin sınıflandırma sonuçlarına etkisi incelendiğinde, KNN yönteminin, 0,882037 doğruluk oranı elde edilen Uyarılar Veri Seti'nde, 0,863385 doğruluk oranı elde edilen Görseller Veri Seti'ne göre daha yüksek başarı ile sınıflandırma yaptığı görülmektedir. DES yönteminin, 0,853157 doğruluk oranı elde edilen Görseller Veri Seti'nde, 0,842491 doğruluk oranı elde edilen Uyarılar Veri Seti'ne göre daha yüksek başarı ile sınıflandırma yaptığı görülmektedir. Naive Bayes makine öğrenmesi yönteminin, 0,511749 doğruluk oranı elde edilen Görseller Veri Seti'nde, 0,502021 doğruluk oranı elde edilen Uyarılar Veri Seti'ne göre daha yüksek başarımlar sonuçları elde etmesiyle birlikte, her iki veri setinde de kullanılan diğer yöntemlere göre daha düşük sınıflandırma başarımları elde ettiği görülmektedir.

Görseller ve uyaran düşüncelerden oluşan veri setlerindeki içerik farklarının sınıflandırma sonuçlarına etkisine kıyasla, kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinin daha büyük etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

EEG yönteminin, beyin sinyalleri üzerine yürütülen çalışmalarda kullanılan en etkin yöntemlerden bir tanesi olmasına rağmen, ölçümlerin kafaya takılan büyük bir aparat aracılığıyla gerçekleştiriliyor olması nedeniyle, günlük, yaygın kullanım için bazı dezavantajlar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde gerçekleştirilen EEG çalışmalarında, verilerin toplanması, işlenmesi ve incelenmesi süreçlerinde araştırmacıların kendi yazılımlarını geliştirmek yerine yaygın olarak üretici firmaların hazır, ücretli yazılım programlarını kullandığı görülmüştür. Bu durum kısa vadede araştırma sürecini pratikleştirmekle birlikte, elde edilen EEG verilerine erişimi ve özgürce kullanımını zorlaştırmaktadır.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen tez çalışmasının robot kol tasarımı, analizi ve üretilmesinden oluşan ilk aşamasından elde edilen tecrübeler doğrultusunda, bir proje gerçekleştirilirken, tasarım, üretim ve uygulama süreçlerinde, özel durumlar haricinde, yaygın olarak kullanılan yöntemlerin, standart ürünlerin ve standart kuralların kullanılmasının daha verimli ve uygun maliyetli bir çözüm olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Analiz her ne kadar gerçek uygulamaya benzer şekilde gerçekleştirilse de, kullanım şekli veya çalışma koşulları ile ilgili hesaba katılmayan durumlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle önemli, ticari uygulamalarda analiz sonuçlarına göre uygun revizyonların yapılmasından sonra, seri üretime geçilmeden önce prototip üretimi yapılmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gerçekleştirilen tez çalışmasının EEG ve makine öğrenmesi bölümlerinden oluşan ikinci aşamasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda, endüstriyel robot kollar vb. sistemlerin manuel kontrol uygulamalarında, beyin sinyallerinden oluşan EEG verilerinin, makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılarak kontrol aracı olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bahsedilen kontrolün daha etkin şekilde, anlık olarak gerçekleştirilebilmesi için, EEG sinyallerinin mümkün olduğunca gürültüsüz, temiz toplanması, elde edilen ham verinin farklı sinyal işleme yöntemleriyle işlenerek, bu işlemde elde edilen yeni verilerle birlikte analiz edilmesi, kullanılacak makine öğrenmesi yönteminin gerçekleştirilmek istenen duruma uygun seçilmesi, yüksek sınıflandırma doğruluğu elde etmek için yüksek sayıda eğitim verisi kullanılması, bahsedilen bu işlemleri anlık olarak gerçekleştirecek ve elde edilen sınıflandırma sonuçlarını kontrol edilmek istenilen makinenin hareket komutlarıyla eşleştirecek bir yazılımın oluşturulması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Literatürdeki EEG sinyalleri ile cihazların canlı kontrolü üzerine bahsedilen uygulamaya benzer örnek çalışmalardan yararlanılarak

özellikle endüstriyel makinelerin kontrolü üzerine gerçekleştirilen çalışmaların sayısı ve içeriği zenginleştirilmelidir.

EEG sinyalleri kayıt altına alınırken, elektrotların ve yerleştirildikleri kafa yüzeyinin akımı daha iyi iletecek şekilde net temas etmesinin ve temiz olmasının, sinyal üzerinde gürültü oluşturabilecek, göz kırpmak, yutkunmak, hareket etmek, konuşmak vb. hareketlerin minimum seviyede olmasının kaydedilen sinyalin kalitesini önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir.

EEG uygulamalarında elektrotlardan ölçülen potansiyel farkı ifade eden ham verinin tek başına analiz edilmesi ile anlamlı sonuçlara ulaşmanın zor olduğu görülmüştür. Ham verinin, Hızlı Fourier Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü gibi sinyal işleme yöntemleri ile düzenlenerek elde edilen frekans bantları vb. diğer verilerle birlikte makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılmasının daha yüksek başarılı sonuçlar ortaya koyduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Makine öğrenmesi algoritmasının eğitiminde kullanılan veriler dışında yeni ölçülen bir EEG sinyali verisini yüksek başarıyla sınıflandırabilmesi için eğitim aşamasında yüksek sayıda veri kullanılması gerektiği gözlemlenmiştir.

Yapılan tez çalışması ve literatürdeki çalışmalardan elde edilen çıkarımlar doğrultusunda beyin-makine etkileşiminin gelecekte daha çok yaygınlaşması beklenmektedir ancak bu teknolojilerin günlük hayatta daha pratik şekilde kullanılabilmesi için beyin sinyallerini uzaktan ölçebilen daha gelişmiş yöntemlerin, kompakt cihazların üretilmesi gerekmektedir. Bu konuda yürütülen araştırma sayısı ve derinliği artırılmalıdır.

Beyin sinyalleri ile kontrol uygulamalarında kullanılan yöntem ve teknoloji ile birlikte önemli olan bir diğer parametre, kullanıcıların iyi bir odağa, net düşünce akışına sahip olmasının gerekmesidir. Bu durum gelecekte yaygınlaşacak düşünceler aracılığıyla teknolojik aletlerin kontrolü uygulamalarıyla birlikte odaklanma ve konsantrasyon kabiliyetlerinin daha çok önem kazanacağını, bu yetenekleri geliştirmek için yapılabilecekleri ve meditasyon gibi zihinsel egzersizlerin etkilerini araştıran çalışmaların yaygınlaşması gerektiğini göstermektedir.

Tez çalışmasında bahsedilen bütün bu konular neticesinde, akıllı cihazlar vb. teknolojilerin üretilmesi ile son yirmi yılda yaşanan gelişimin bir benzerinin gelecek yıllarda düşünceler aracılığıyla teknolojik aletlerle etkileşim konusunda yaşanacağı

düşünülmektedir. Gelişmekte olan teknolojiyi yakalayabilmek, bu alanda özgün çalışmalar yürütebilmek ve üretim yapabilmek için konu üzerinde yapılan araştırmalara daha çok önem verilmesi ve bu konu hakkındaki araştırma sayısı ve derinliğinin artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.





KAYNAKLAR

Alleman, G.B., Oien, A. (2023) Is there an underlying theory of software project management?. *PM World Journal*, 12(5), 1-22. <https://pmworldjournal.com/article/is-there-an-underlying-theory> adresinden erişildi.

Alpaydın, E. (2013). *Yapay Öğrenme* (Çev: E. Alpaydın). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.

Ashikin, A.K.N., Nafea, M., Hisham, A.A.B., & Harun, F.K.C. (2018). Brainwave-controlled system for smart home applications. *2nd International Conference on BioSignal Analysis, Processing and Systems (ICBAPS)* (pp. 75-80). IEEE.

Balaban, H., Penekli, U. (2020). Sonlu elemanlar yöntemlerinin tasarım süreçlerine yararlı etkileri. *Mühendis ve Makine Güncel*, 61(730), 17-22.

Barz, C., Latinovic, T., Deaconu, S.I., Pop-Vadean, A., Berdie, A., & Pop, P.P. (2015). Remote control of a robotic arm using the operator panel. *4. International Conference on Social and Technological Development (STED)*, Banja Luka, Bosnia-Herzegovina, 1-2 October.

Beyrouthy, T., Kork, A.S., Korbane, A.J., & Abdulmonem, A. (2016). EEG mind controlled smart prosthetic arm. *2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies*, Egaila, Kuwait, 3-6 August.

Bilen, B. (2021 February 4). Karışıklık matrisi (Confusion matrix). <https://burhanbilen.medium.com/karışıklık-matrisi-confusion-matrix-990dfc718653> adresinden erişildi.

Bozdemir, M., Adıgüzel, E. (1999). Puma tipi robot ile insan kolu hareketlerinin karşılaştırılması; alternatif bir robot kol omuz tasarımı. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2-3), 1057-1061.

Bozinovska, L., Adrijan, B. (2021). EEG emulated control circuits for brain machine interface. Inside H. Nakano (Edt.), *Electroencephalography - From Basic Research to Clinical Applications* (ss.1-20). IntechOpen.

Farnsworth, B. (2024 May 30). EEG (Electroencephalography): the complete pocket guide. *Imotions Blog*, <https://imotions.com/blog/learning/best-practice/ee/> adresinden erişildi.

Featherstone, R., Orin, D. (2000). Robot dynamics: equations and algorithms. *IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 826-834). IEEE

Gazis, A. (2021). What is IoT? the internet of things explained. *Academia Letters*, 1003, 1-8. https://www.researchgate.net/publication/352189699_What_is_IoT_The_Internet_of_Things_explained adresinden erişildi.

Germain, J. (2015). Neuroprosthetics: An Investigation Into Utilizing EEG Brain Waves To Control A Robotic Arm. Masters dissertation, *Boston College Department of Computer Science*, Boston College.

Gonzalez, G.A., Santiago, I.B., Godinez, I.B., Martinez, P.B., Roman, O.D., Galicia, A.L., & Garay, J.M. (2021). Remote control and monitoring of a hydraulic machine. *XI International Congress of Physics Engineering*. Mexico city, Mexico, 27-29 September.

Kaya, Z., Aksoy, B., & Özsoy, K. (2023). Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen altı eksenli robot kol ile görüntü işleme ve yapay zeka tabanlı ürünlerin tasniflemesi. *Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM)*, 4(1), 193-210.

Keser, S. B., Yayan, U., Yazıcı, A., & Günel S. (2016). A priori verification and validation study of RFKON database. *International Journal of Computer Science: Theory and Application*, 5(1), 20–27.

Maassarani, A., Akoğlu, I., Hoballah, I., Absi, N., Corky, Y., & Kurt, S.Y. (2021). Project 1229: EEG controlled robotic arm. Lisans Tezi, *Bahçeşehir University Faculty of Engineering and Natural Sciences*, Bahçeşehir University.

Molotnikov, V., Molotnikova, A. (2023). *Theoretical and Applied Mechanics*. Springer.

Mukhsin, H., Yulianti, B. (2021). Remote control based on internet of things. *Proceedings of the Indonesian National Science Technology and Innovation Seminar 3 (SENASTINDO)*(pp. 157-168).

Öner, İ.V., Yeşilyurt, M.K., & Yılmaz, E.Ç. (2017). Wavelet analiz tekniği ve uygulama alanları. *Ordu Üniversitesi Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 7(1), 42-56.

Özkan, B. (2009). Mekatronik sistemlerde uygulanan belli başlı kontrol yöntemleri. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2(3), 302-316.

Padfield, N., Camilleri, K., Camilleri, T., Fabri, S., & Bugeja, M. (2022). A comprehensive reivew of endogenous EEG-based BCIs for dynamic device control. *Sensors*, 22(15), 5802. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5802> adresinden erişildi.

Torres-Sospedra, J., Montoliu, R., Trilles, S., Belmonte, Ó., & Huerta J. (2015). Comprehensive analysis of distance and similarity measures for Wi-Fi fingerprinting indoor positioning systems. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(2), 263-279.

Varbu, K., Muhammad, N., & Muhammad, Y. (2022). Past, present, and future of EEG-based BCI applications. *Sensors*, 22(9), 3331. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3331> adresinden erişildi.

Yılmaz, S. (2023 Aralık 20). Hızlı Fourier Donüşümü (FFT - Fast Fourier Transform). *Medium Blog*, <https://medium.com/teknopar-akademi/h%C4%B1zl%C4%B1-fourier-don%C3%BC%C5%9F%C3%BCm%C3%BC-fft-fast-fourier-transfor-m-391a3cb71284> adresinden erişildi.

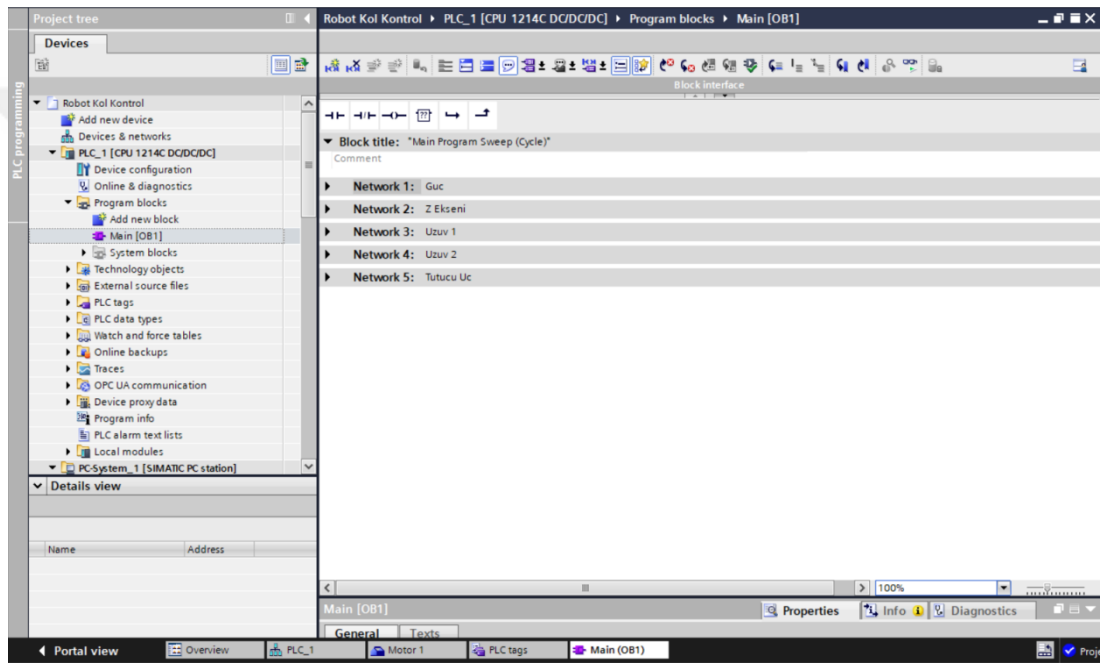
Zhu, J., Tian, F., (2018). Kinematics analysis and workspace calculation of a 3-DOF manipulator. *2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science*, Harbin, China, 24-26 December.





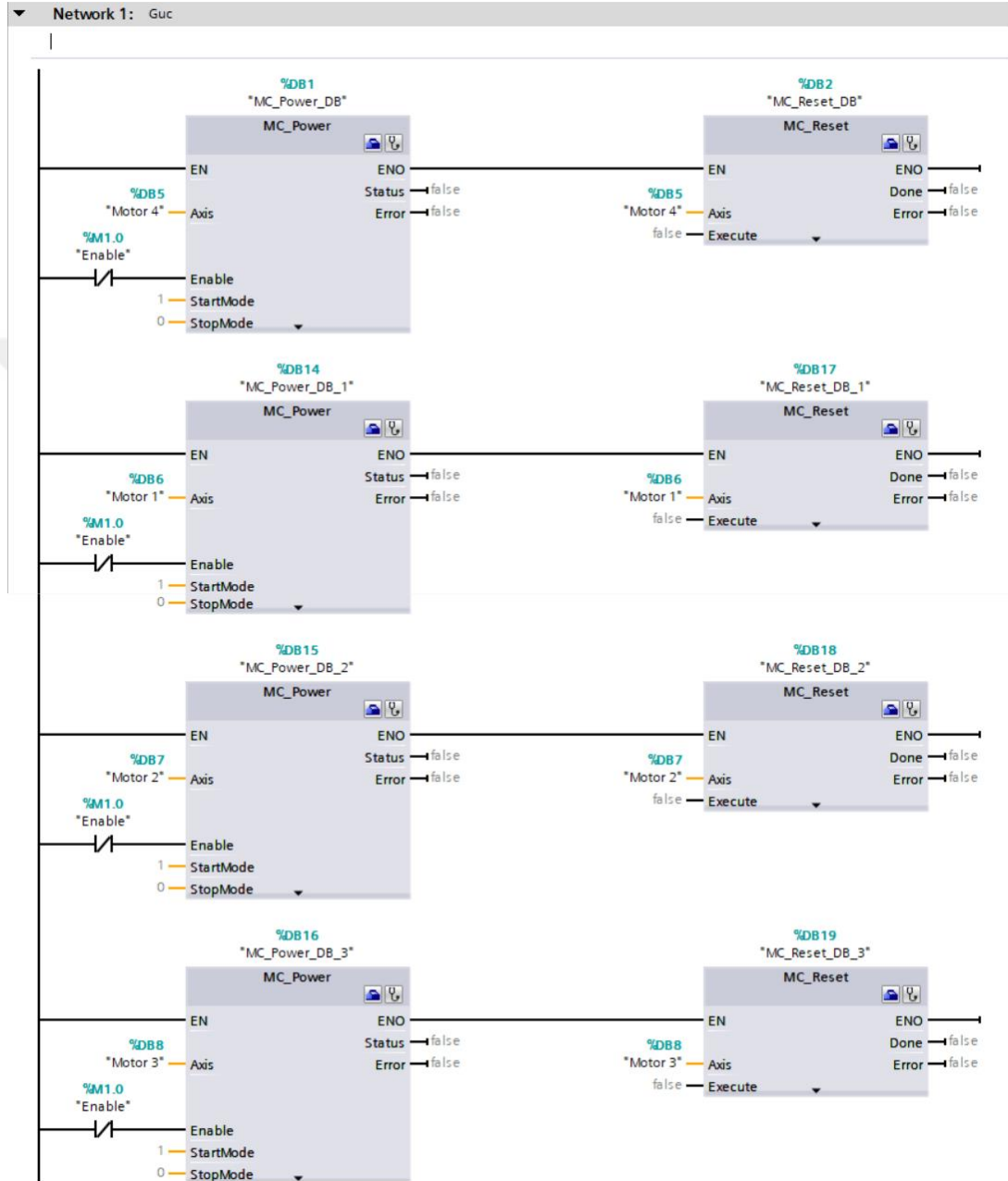


EK-1a: TiaPortal Blok Diyagramı 1



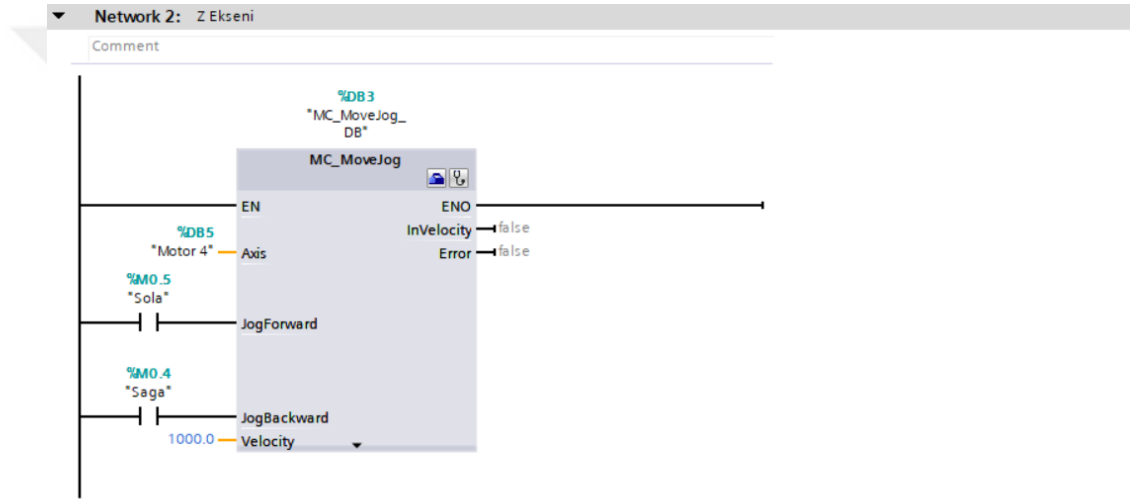
Şekil 1.1. TiaPortal blok diyagramı genel başlıkları

EK-1b: TiaPortal Blok Diyagramı 2



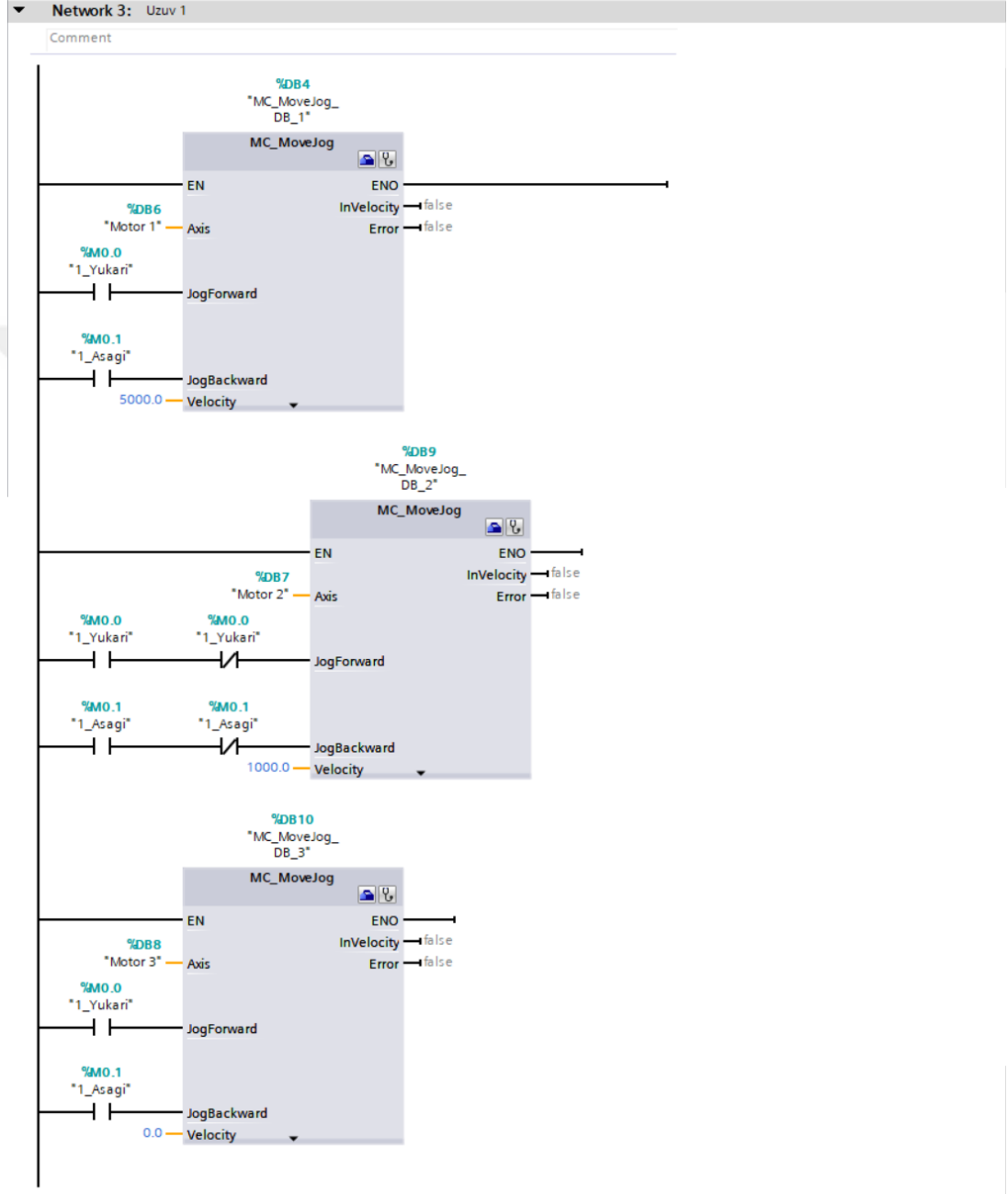
Şekil 1.2. TiaPortal güç blok diyagramı

EK-1c: TiaPortal Blok Diyagramı 3



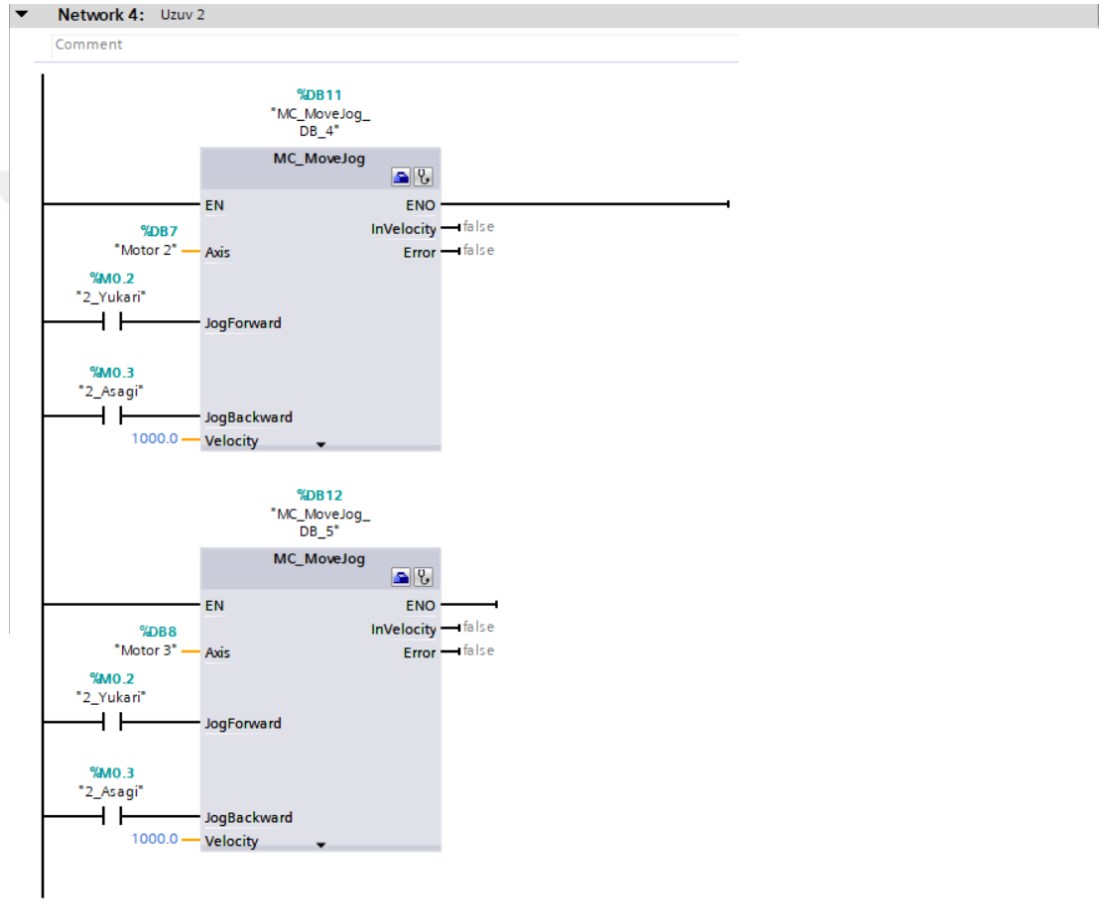
Şekil 1.3. TiaPortal z ekseni motoru blok diyagramı

EK-1ç: TiaPortal Blok Diyagramı 4



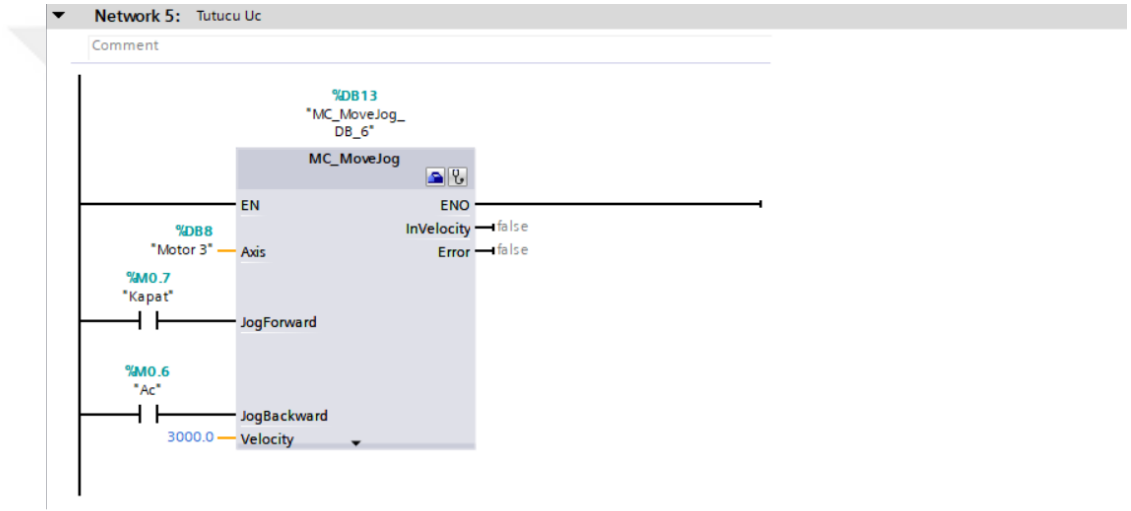
Şekil 1.4. TiaPortal birinci uzuv motorları blok diyagramı

EK-1d: TiaPortal Blok Diyagramı 5



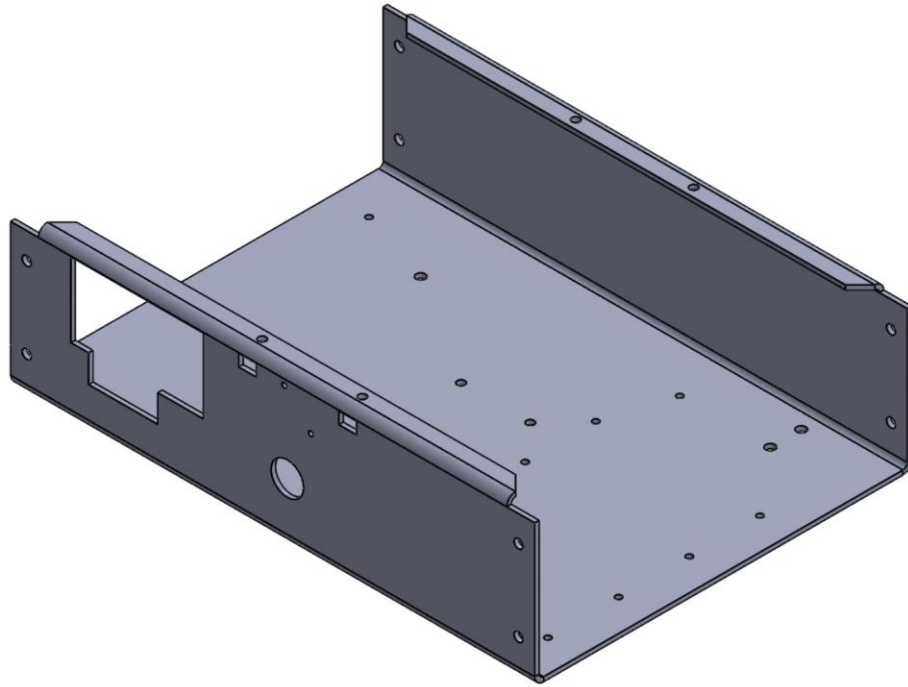
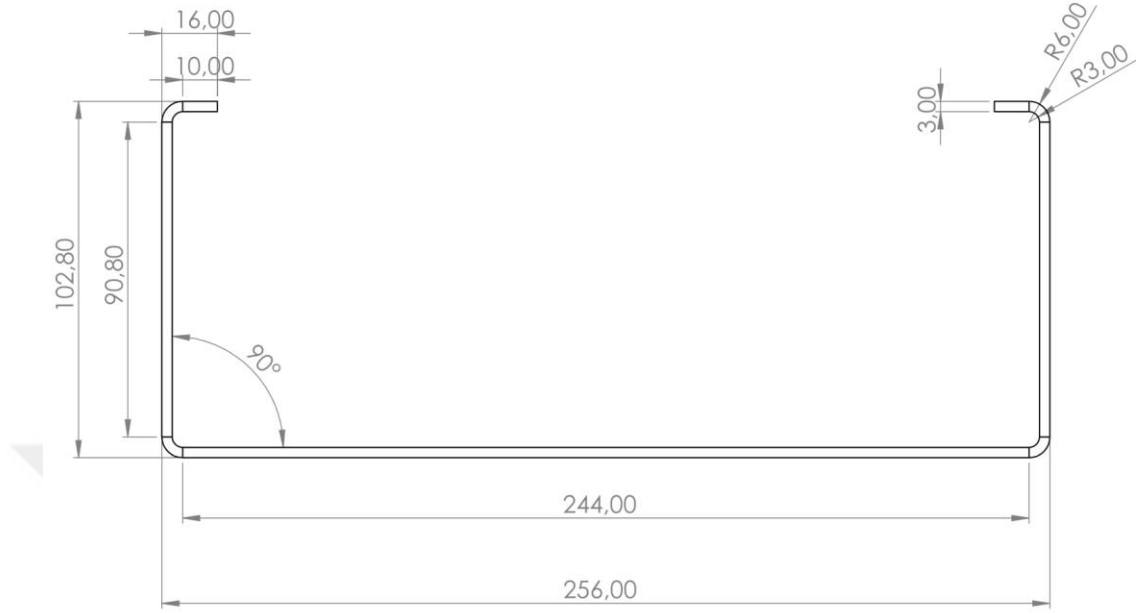
Şekil 1.5. TiaPortal ikinci uzuv motorları blok diyagramı

EK-1e: TiaPortal Blok Diyagramı 6



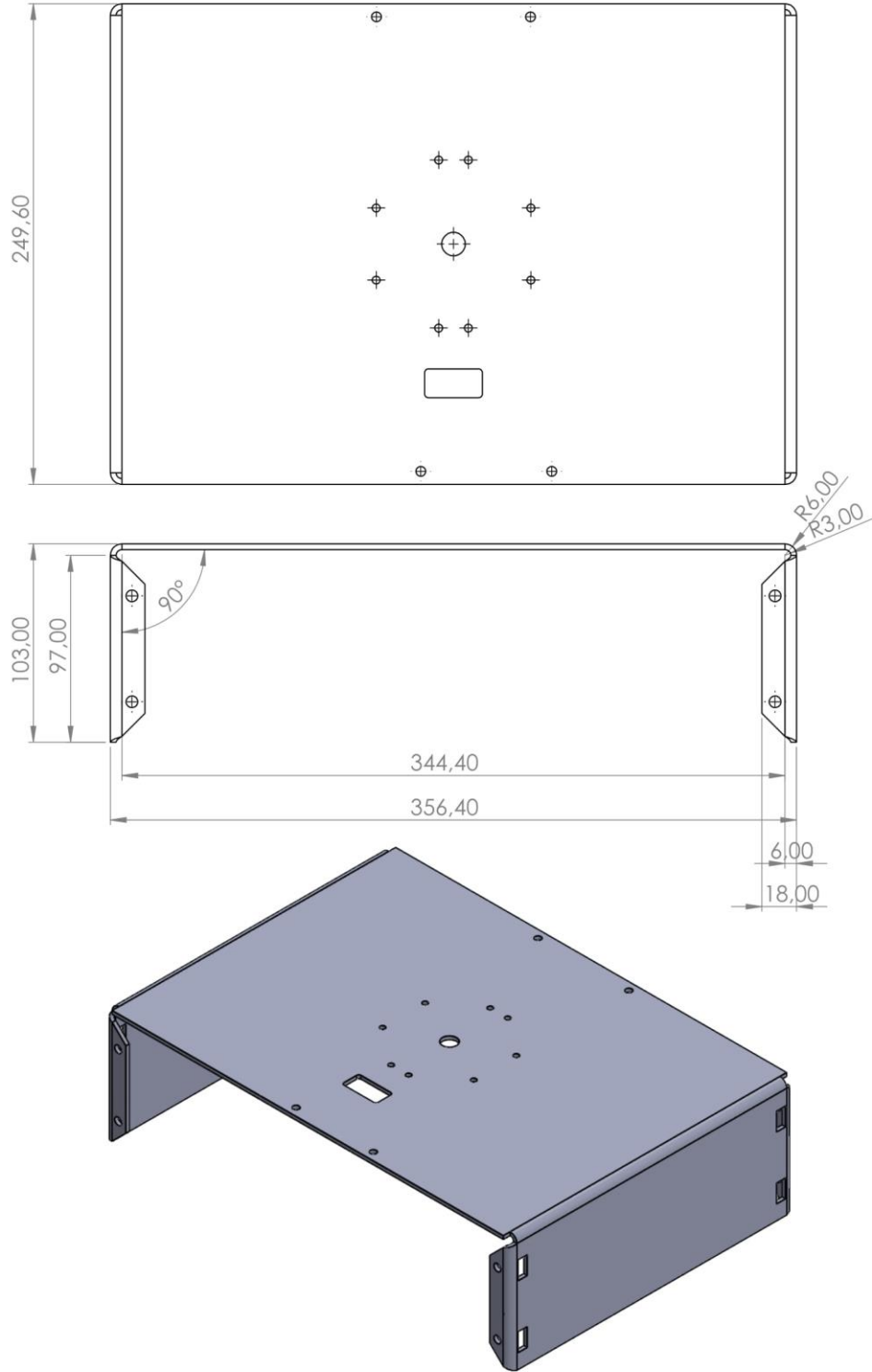
Şekil 1.6. TiaPortal tutucu uç motoru blok diyagramı

EK-2: Teknik Resim Devre Panosu 1 (Parça 1)



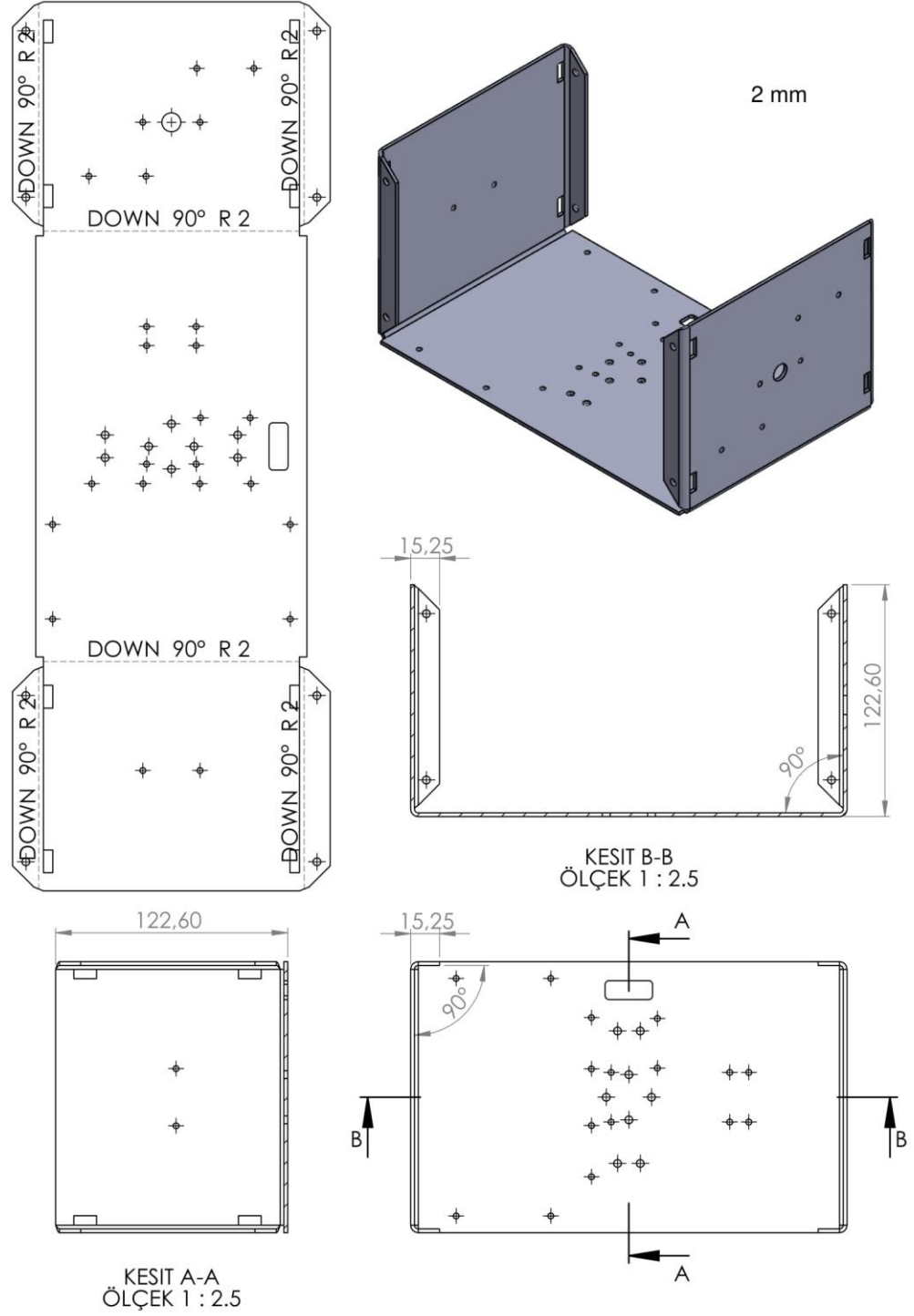
Şekil 2.1. Devre panosu 1

EK-3: Teknik Resim Devre Panosu 2 (Parça 2)



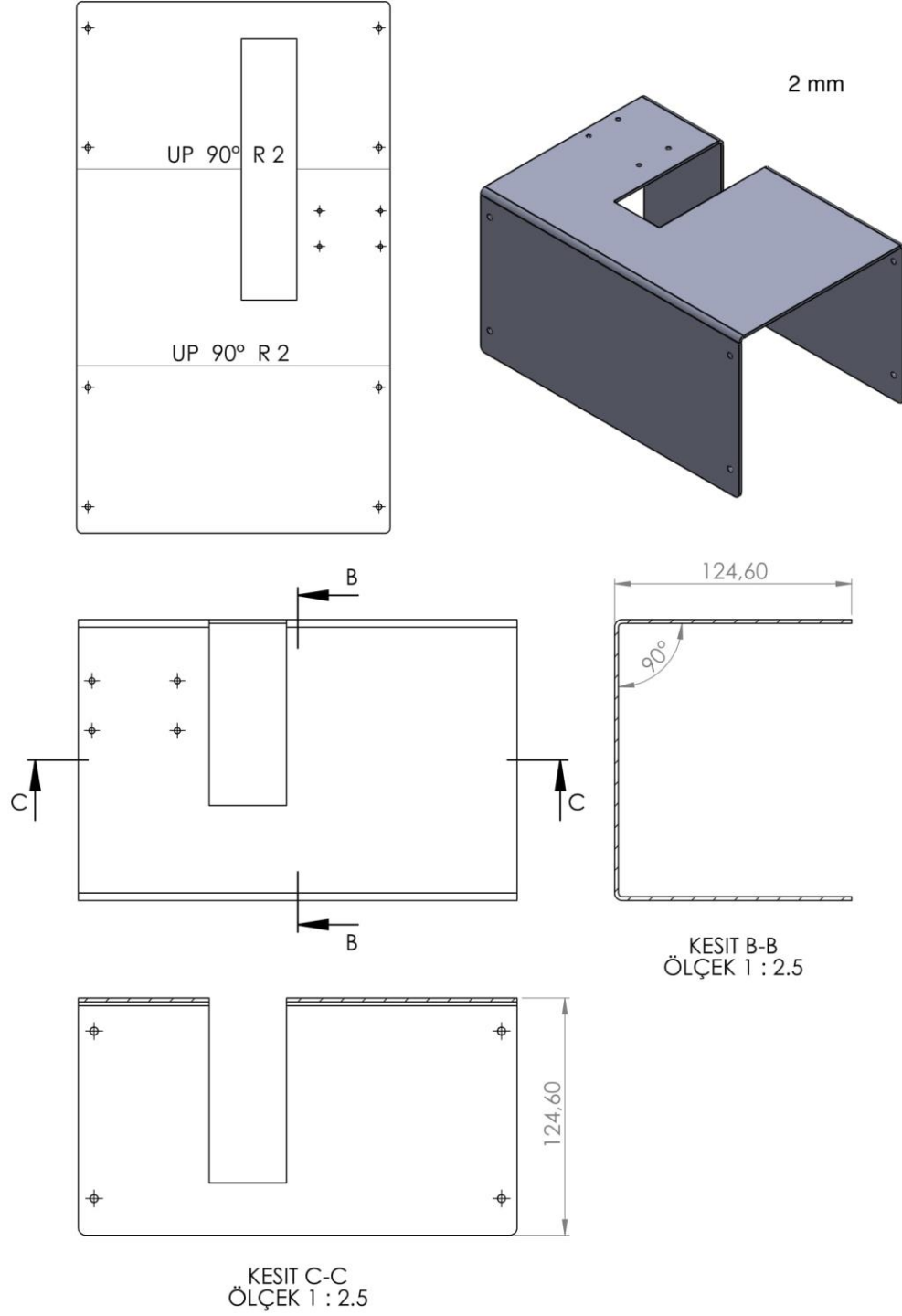
Şekil 3.1. Devre panosu 2

EK-4: Teknik Resim Motor Kutusu 1 (Parça 3)



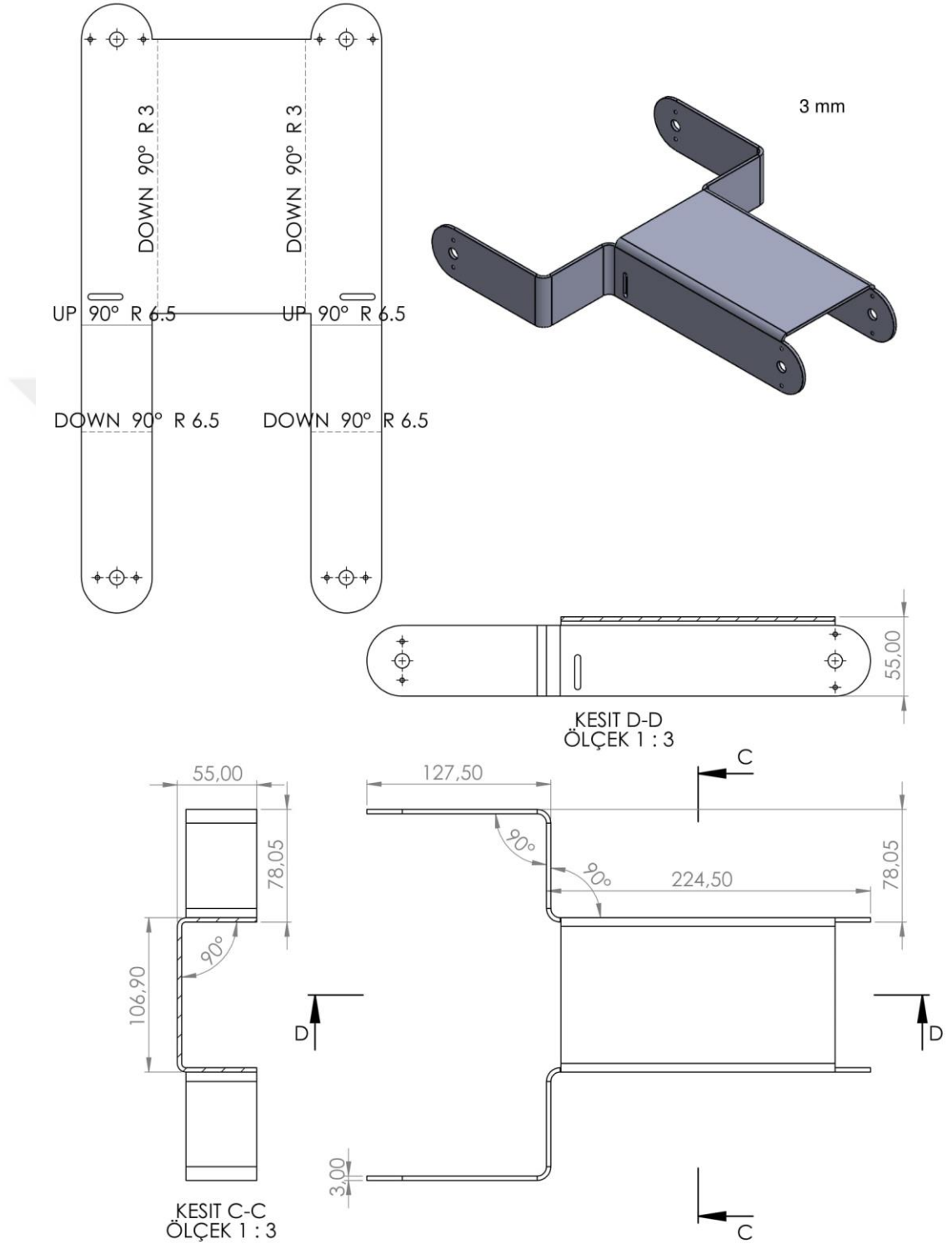
Şekil 4.1. Motor kutusu 1

EK-5: Teknik Resim Motor Kutusu 2 (Parça 4)



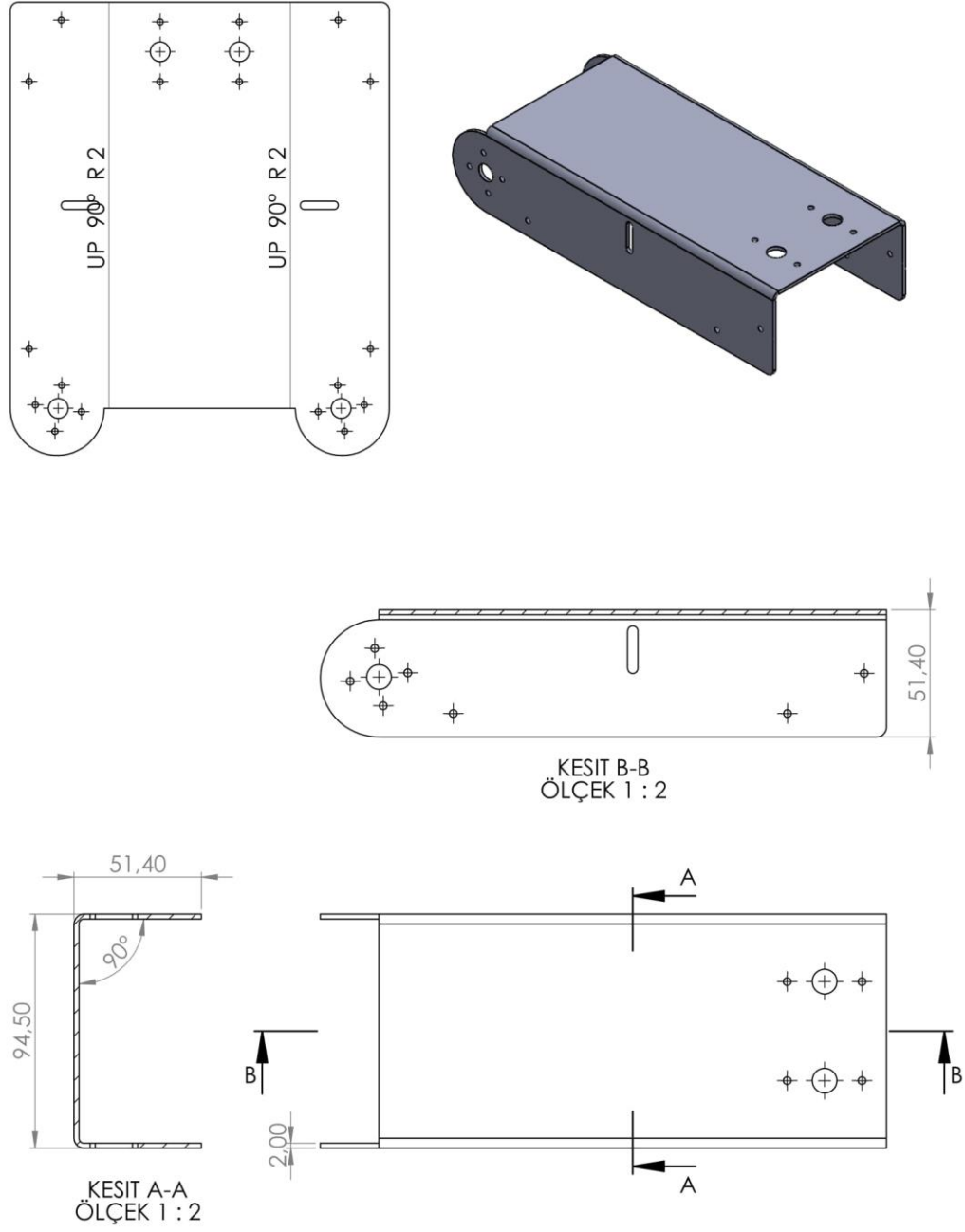
Şekil 5.1. Motor kutusu 2

EK-6: Teknik Resim Giriş Uzvu (Parça 5)



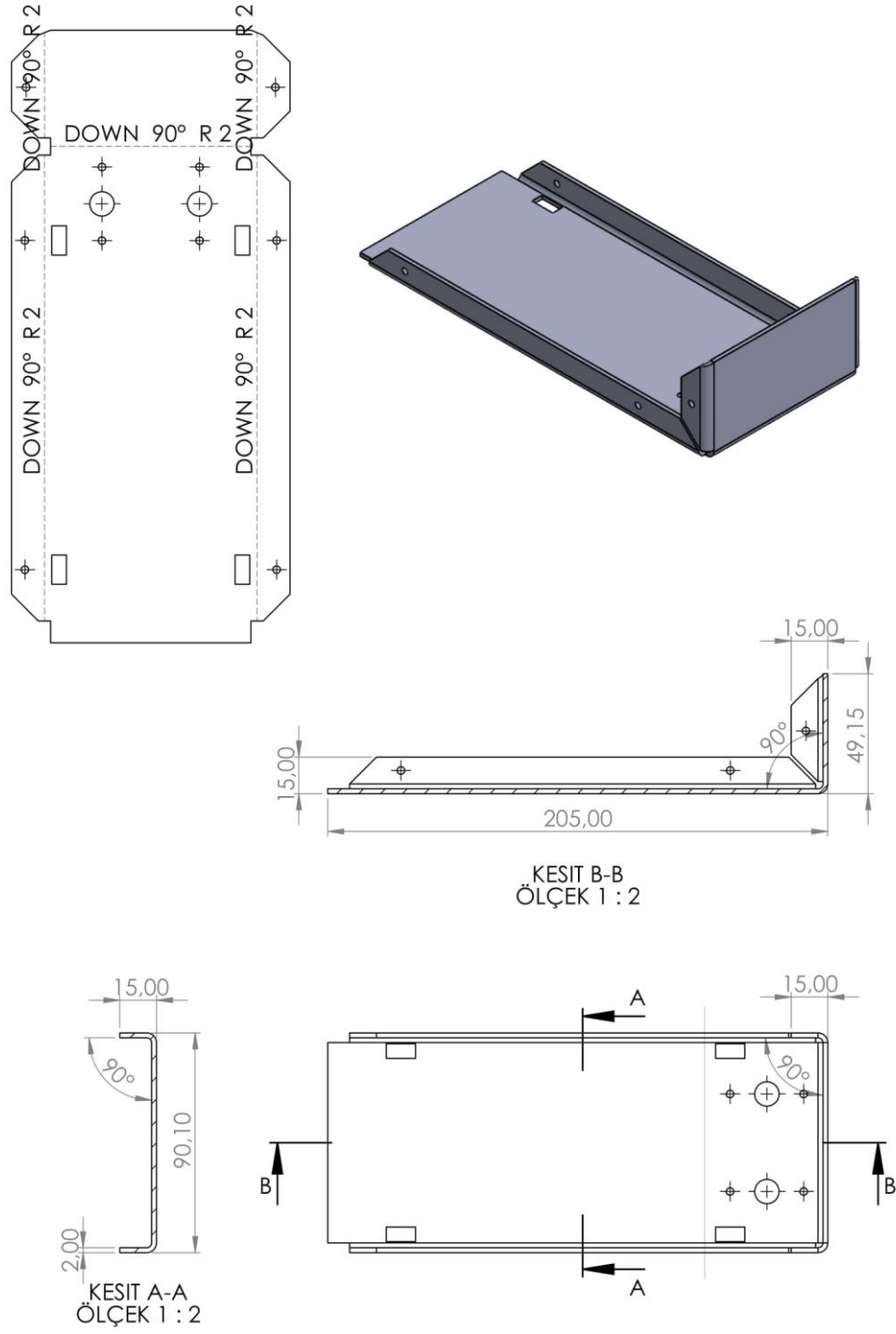
Şekil 6.1. Giriş uzvu

EK-7: Teknik Resim İkinci Uzuv (Parça 6)



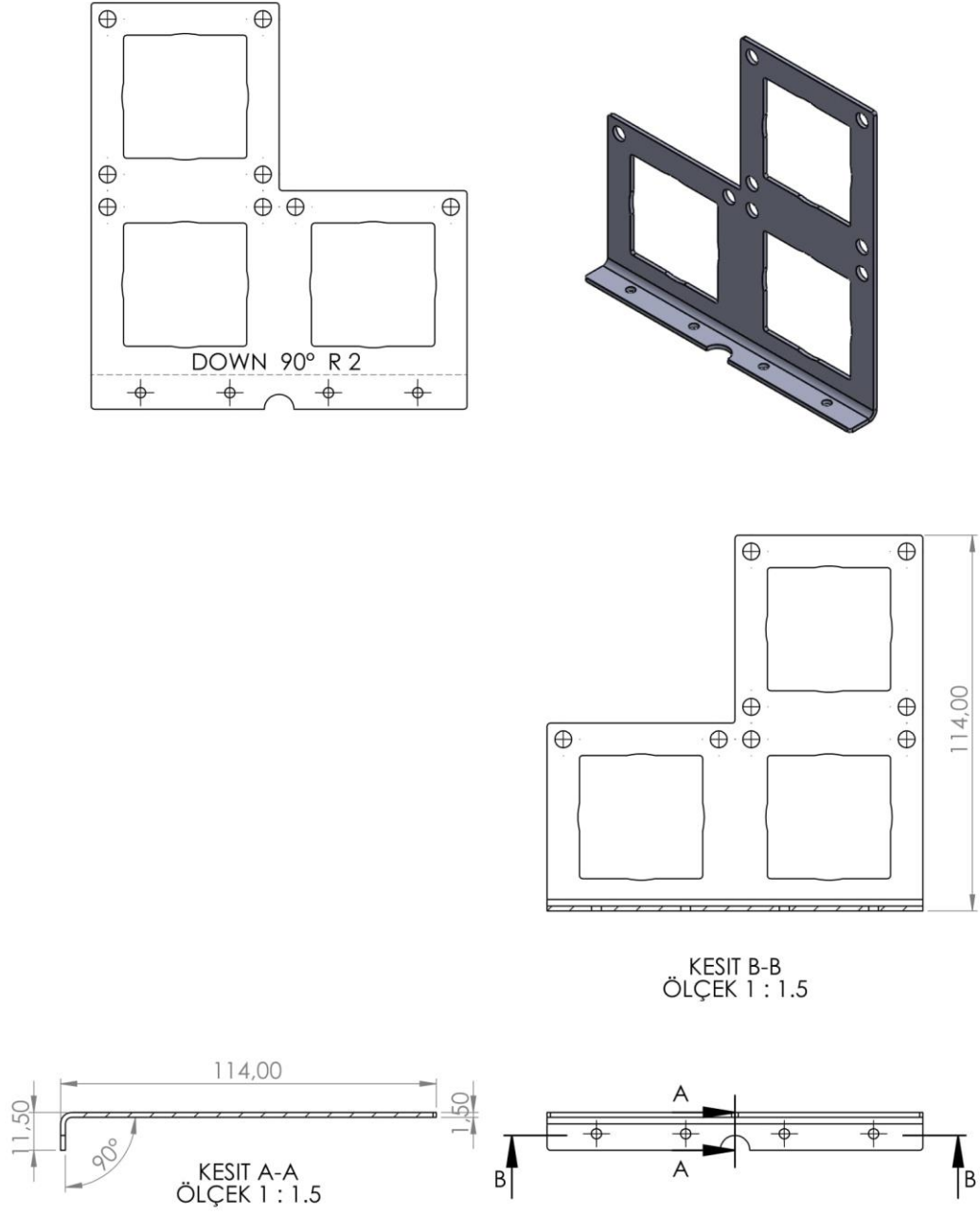
Şekil 7.1. İkinci uzuv

EK-8: Teknik Resim İkinci Uzun Kapağı (Parça 7)



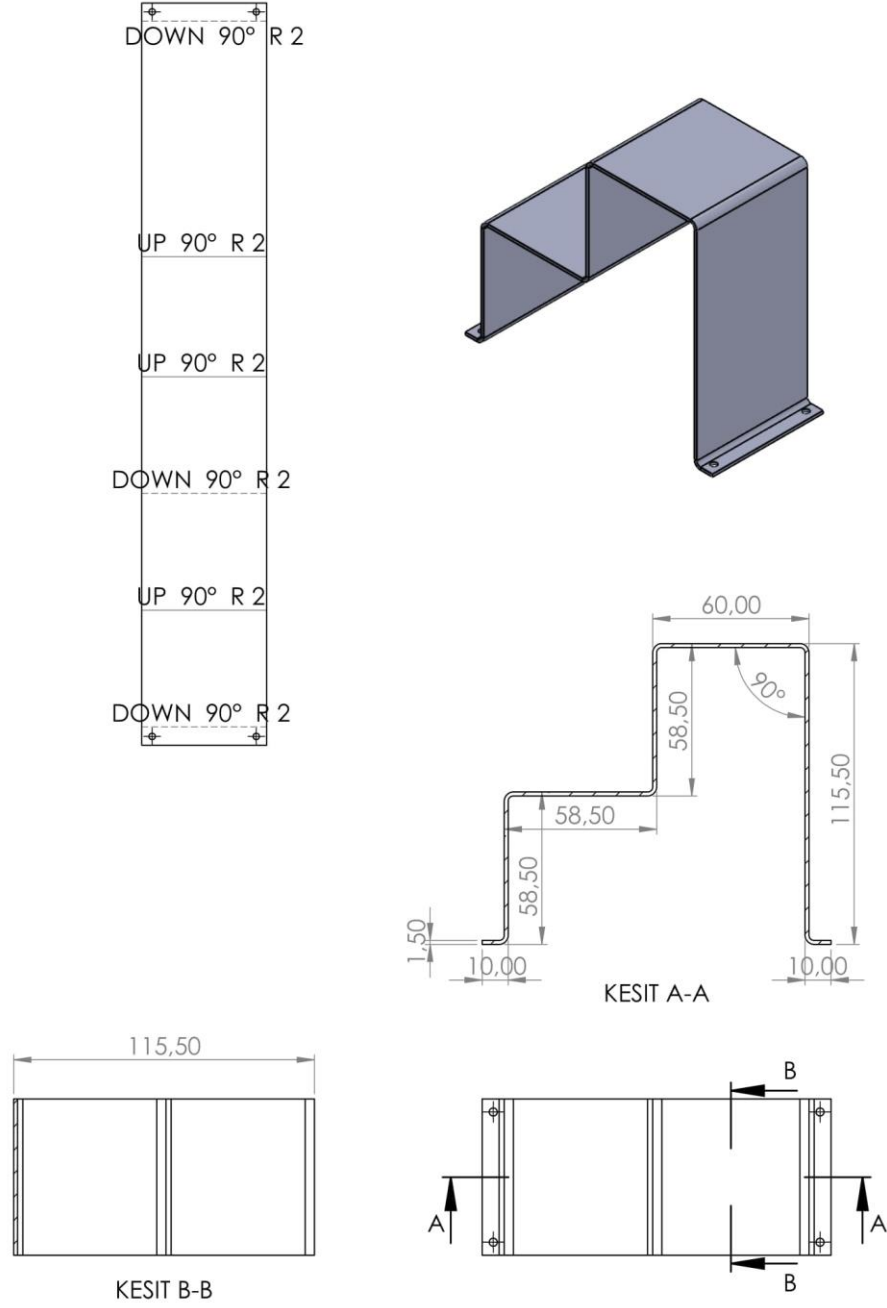
Şekil 8.1. İkinci uzun kapağı

EK-9: Motor Tutucu 1 (Parça 8)



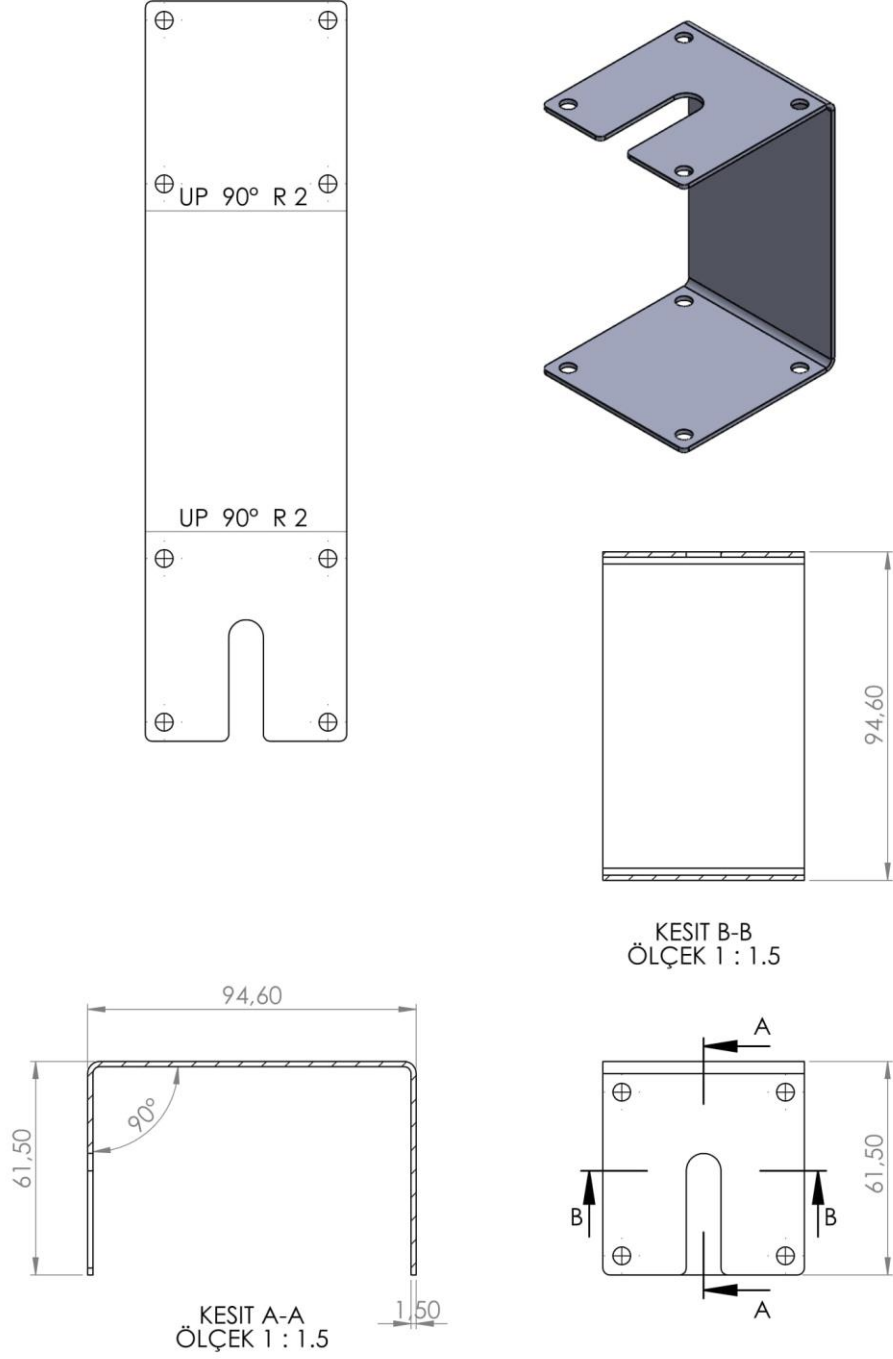
Şekil 9.1. Motor tutucu 1

EK-10: Motor Tutucu 2 (Parça 9)



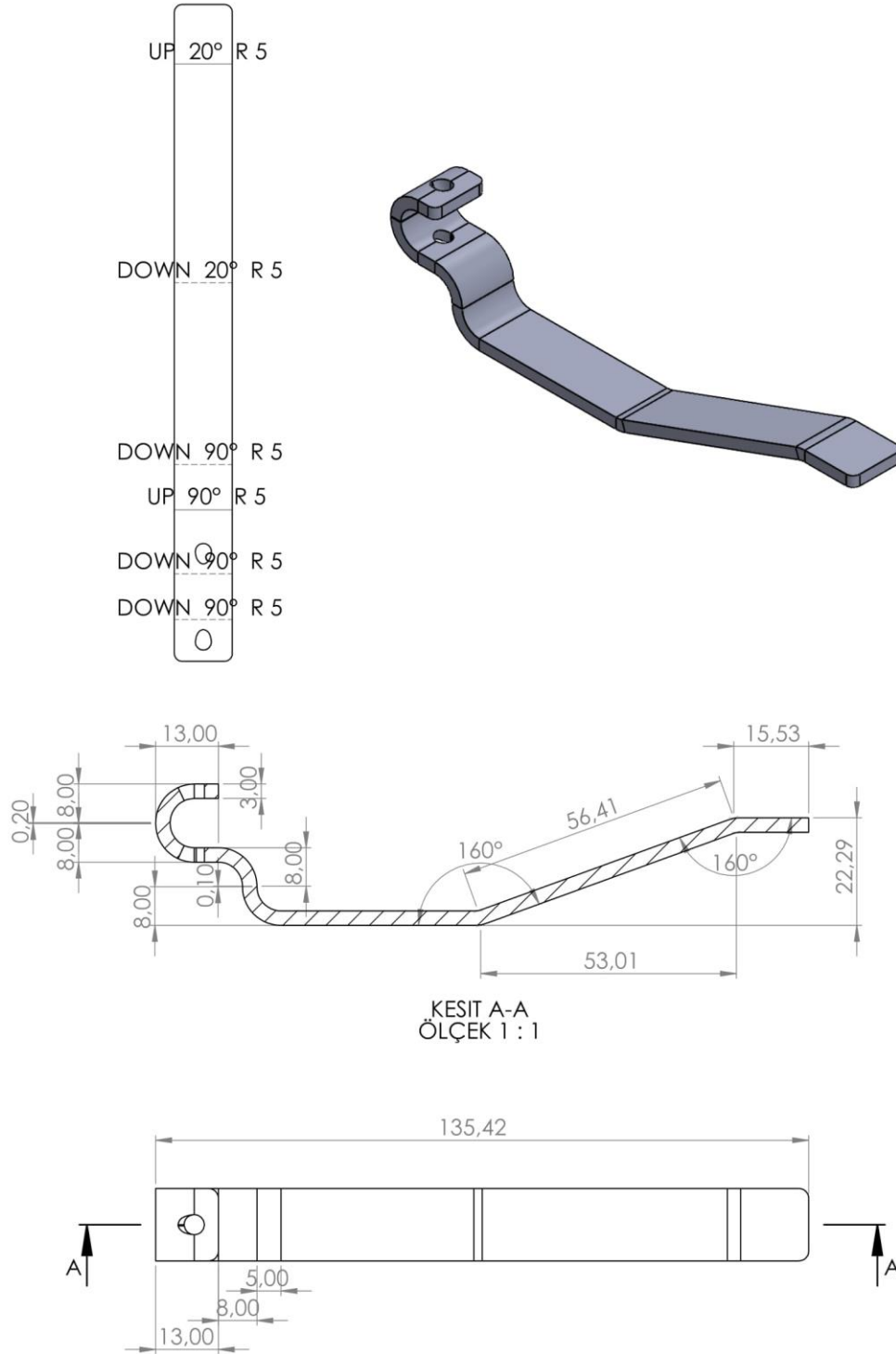
Şekil 10.1. Motor tutucu 2

EK-11: Motor Tutucu 3 (Parça 10)



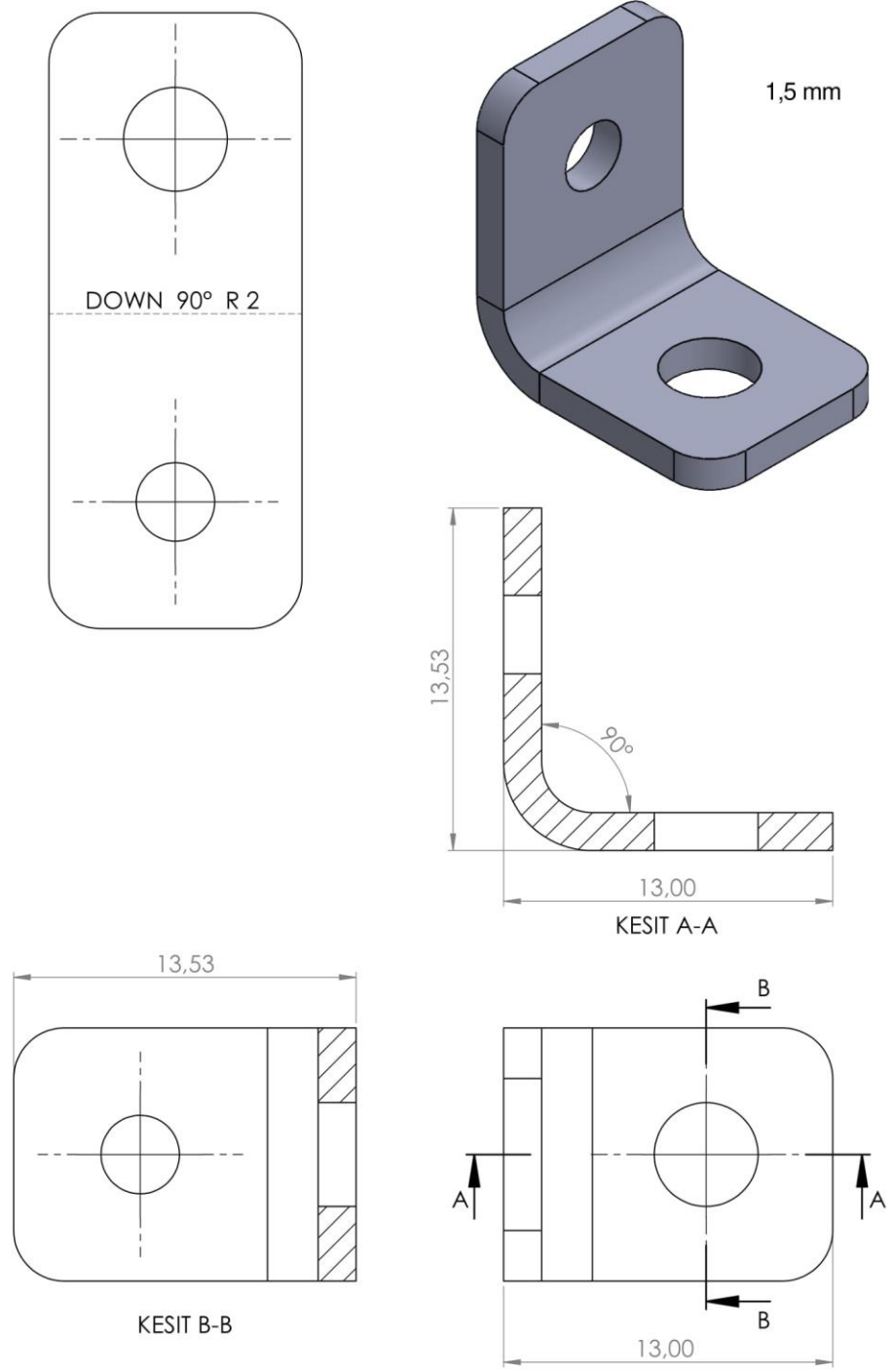
Şekil 11.1. Motor tutucu 3

EK-12: Tutucu Uç (Parça 11)



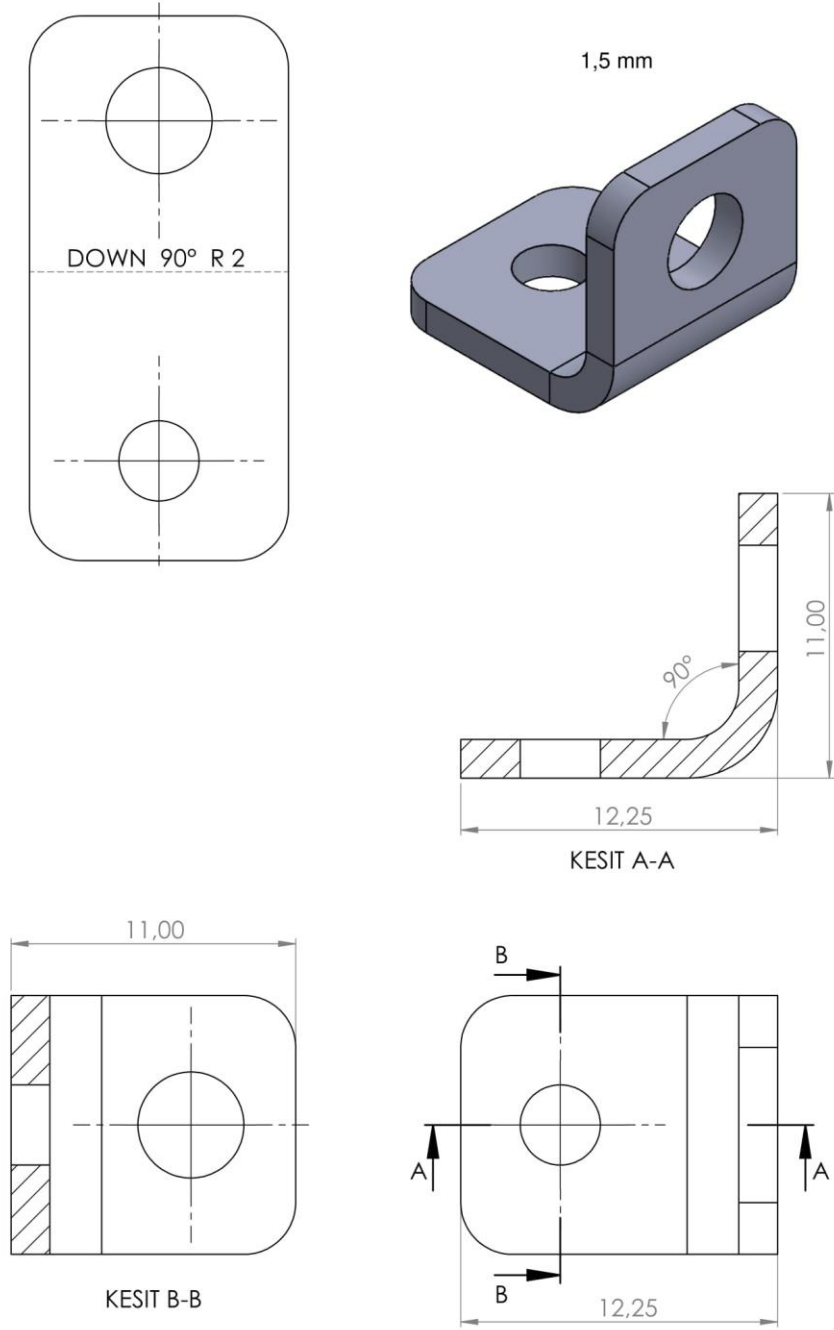
Şekil 12.1. Tutucu uç

EK-13: 1040 Giriş Uzu K   bent 1040 (Par  a 12)



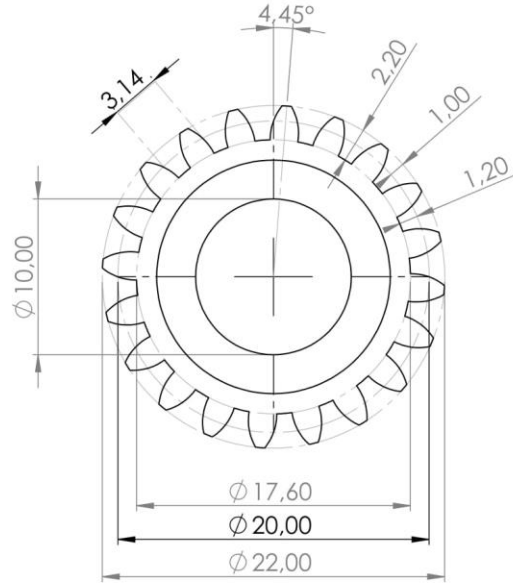
    il 13.1. Giri   uzu k    bent 1040

EK-14: İkinci Uzun Köşebent 1040 (Parça 13)



Şekil 14.1. İkinci uzun köşebent 1040

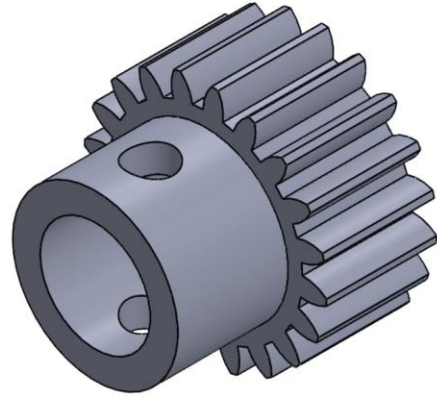
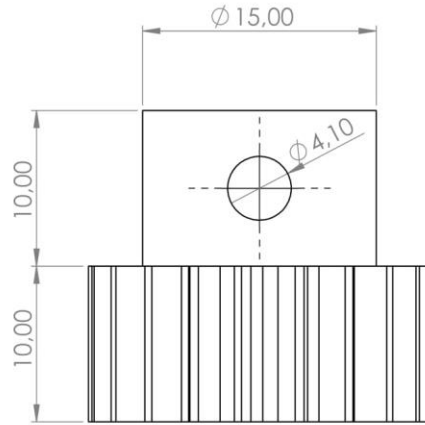
EK-15: Dişli 20 mm 1040 (Parça 14)



Dis Adimi: 3.14 mm

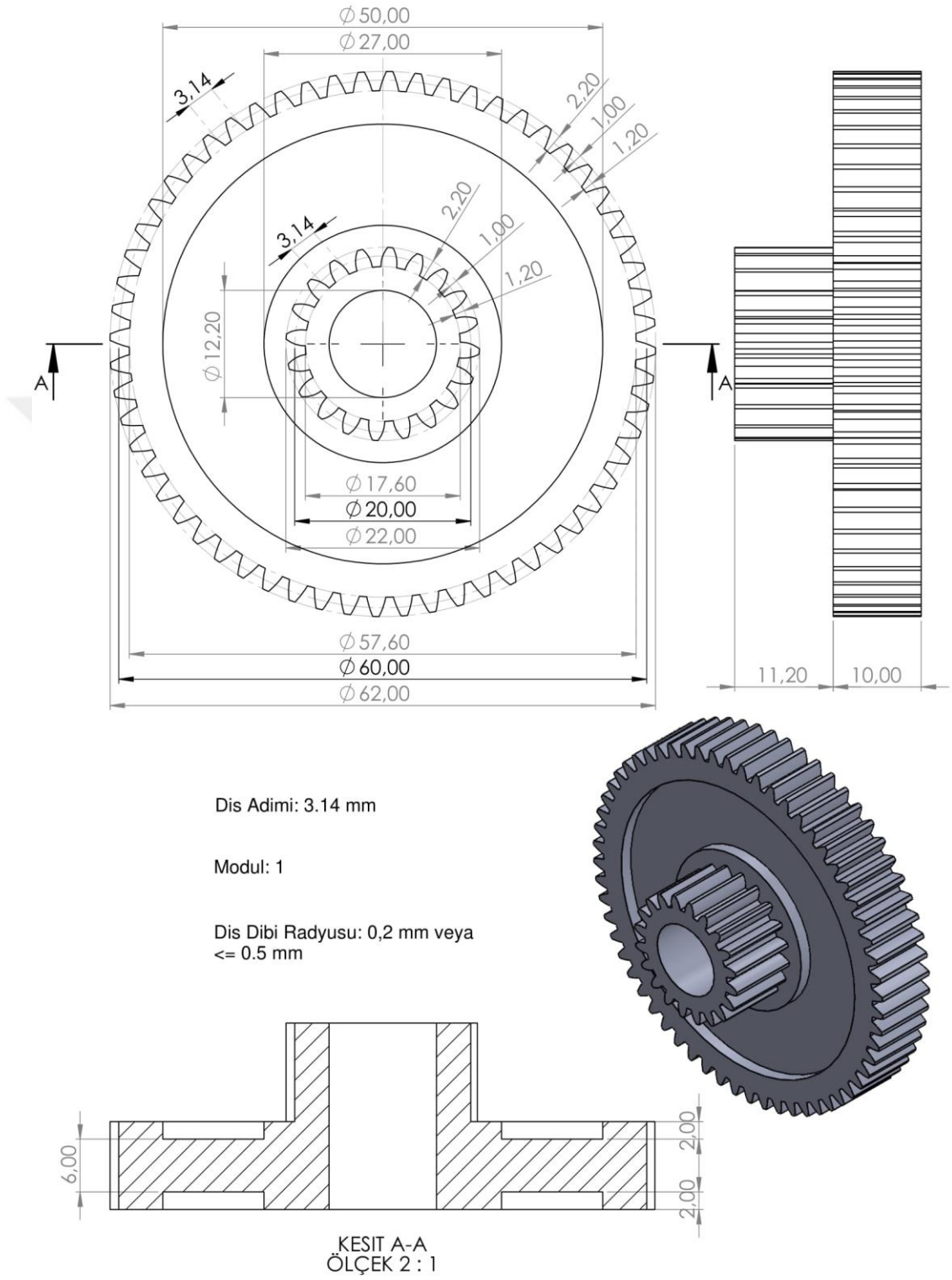
Modul: 1

Dis Dibi Radyusu: 0,2 mm veya
 ≤ 0.5 mm



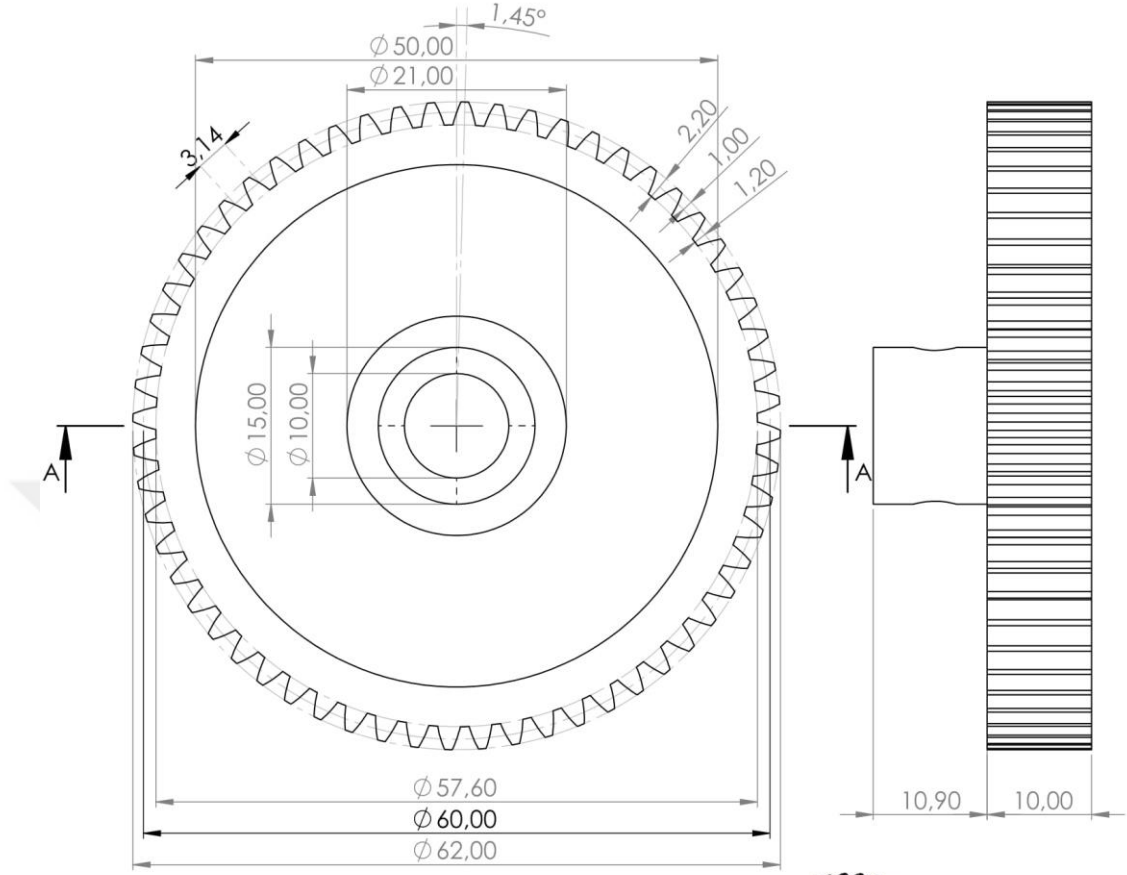
Şekil 15.1. Dişli 20 mm 1040

EK-16: Dişli 20-60 mm 1040 (Parça 15)



Şekil 16.1. Dişli 20-60 mm 1040

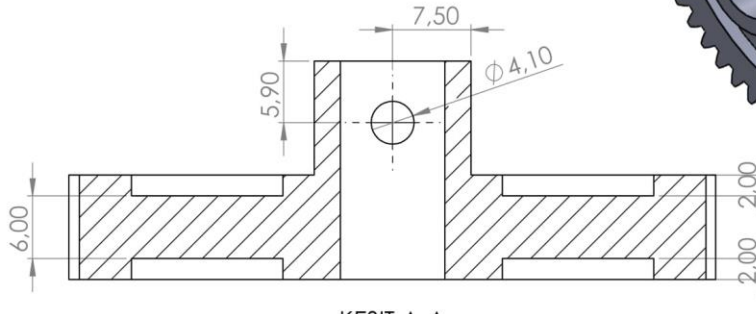
EK-17: Dişli 60 mm 1040 (Parça 16)



Dis Adimi: 3.14 mm

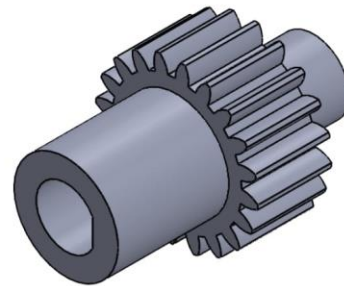
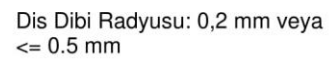
Modul: 1

Dis Dibi Radyusu: 0,2 mm veya
 ≤ 0.5 mm



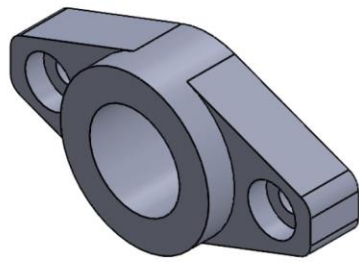
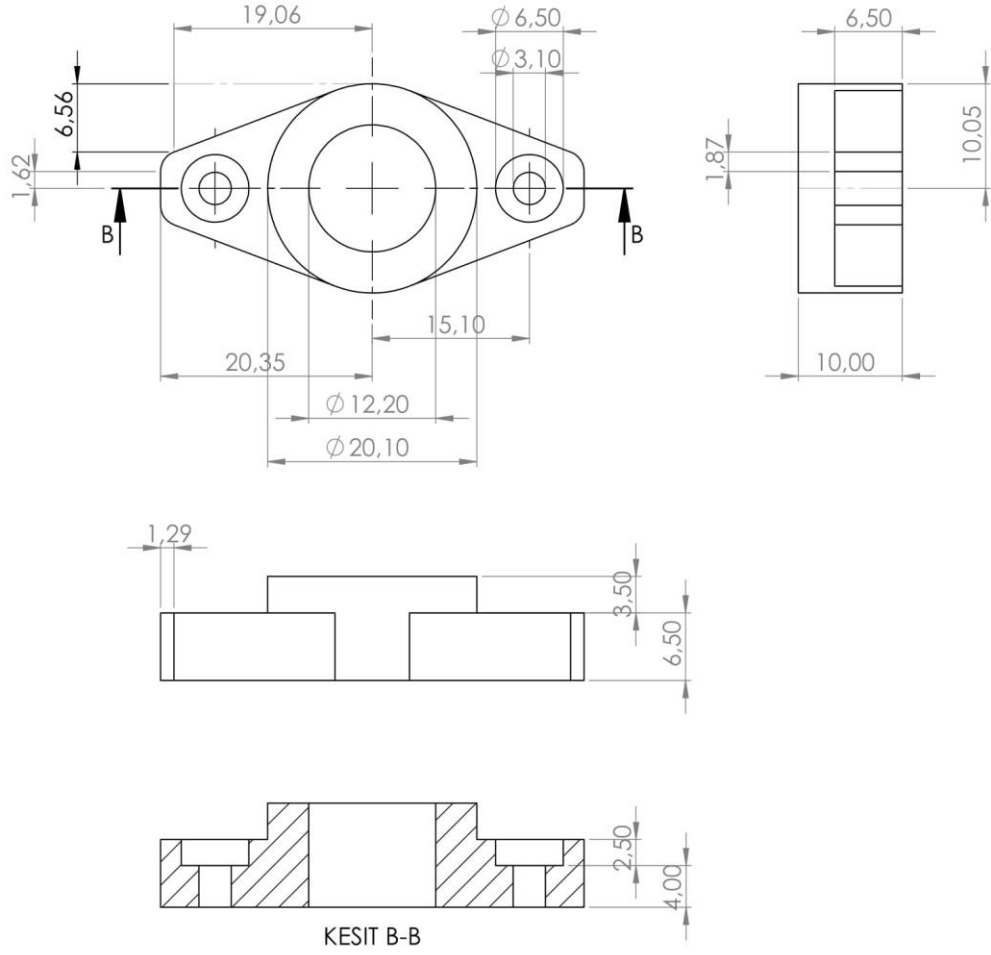
KESİT A-A
 ÖLÇEK 2 : 1

Şekil 17.1. Dişli 60 mm 1040



86

EK-19: Giriş Uzvu Mil Yatağı (Parça 18)



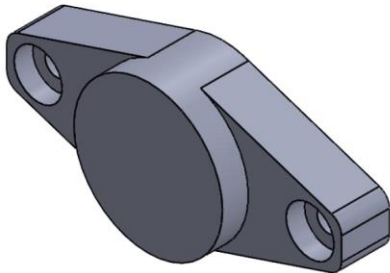
Koselerdeki radyuslar egridir, yaklaşık değer alınabilir.

5754 Alüminyum Malzeme

6 Adet

Parça tamamen simetriktir

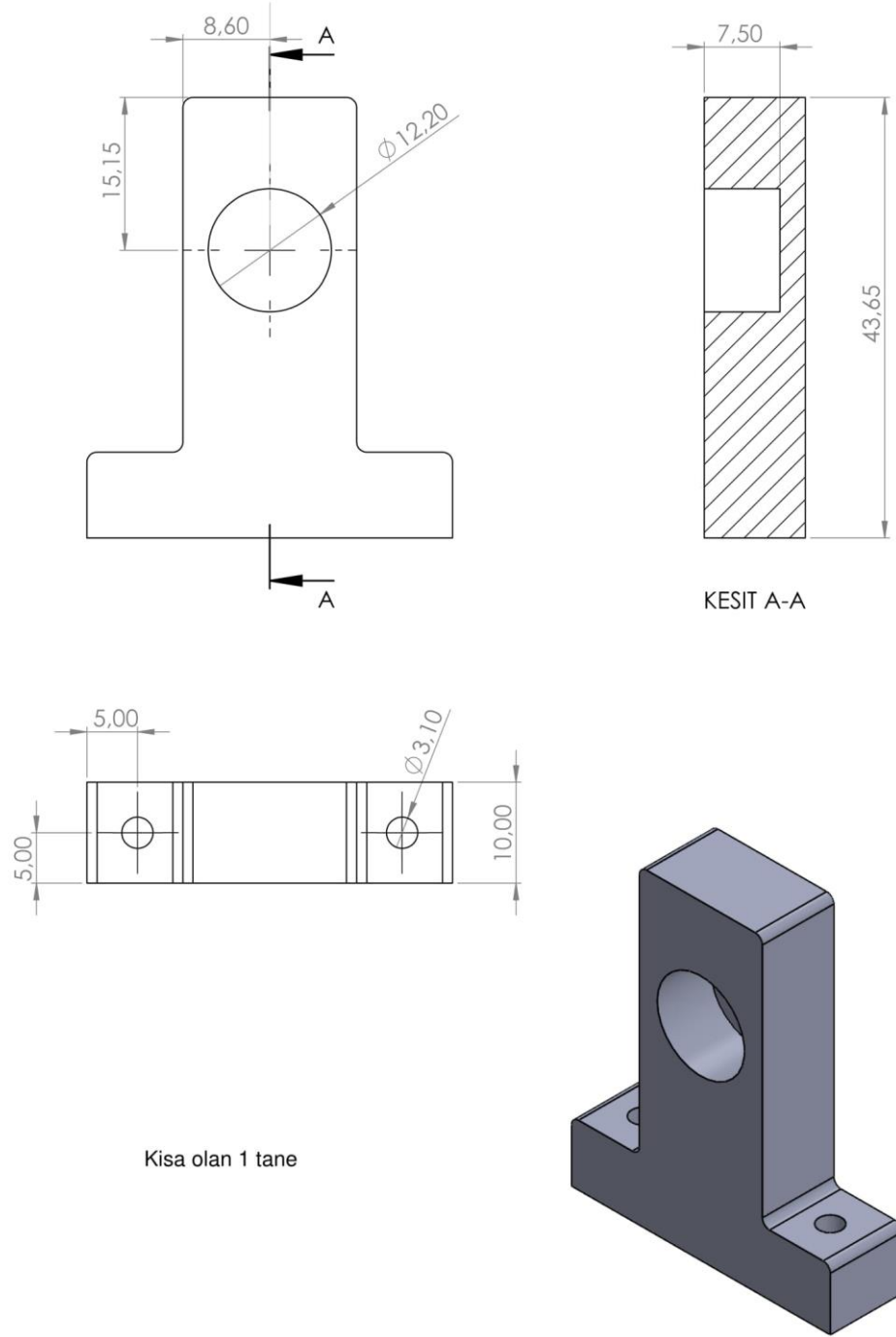
Şekil 19.1. Giriş uzvu mil yatağı



Parça tamamen simetriktir

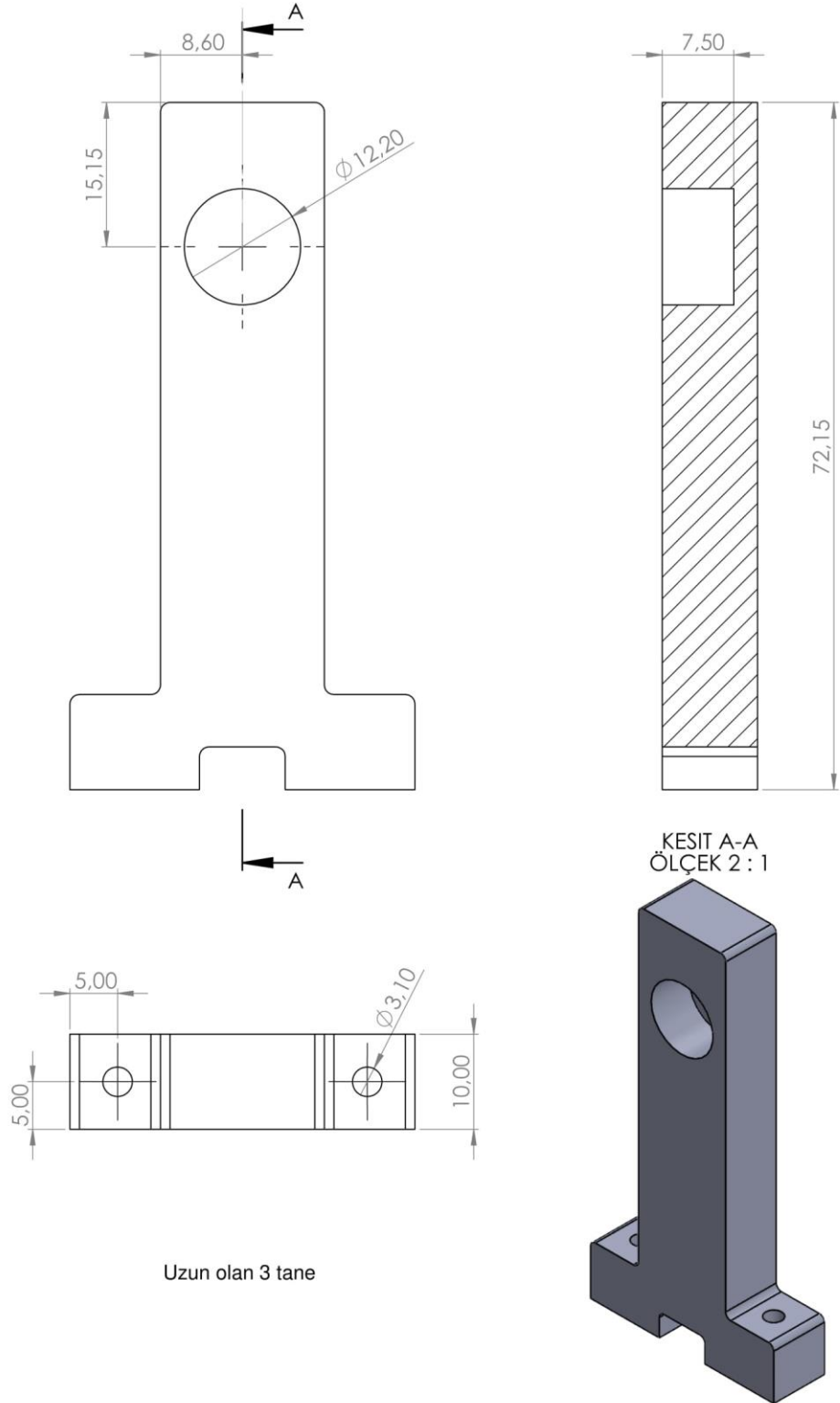
88

EK-21: Mil Tutucu Kısa (Parça 20)



Şekil 21.1. Mil tutucu kısa

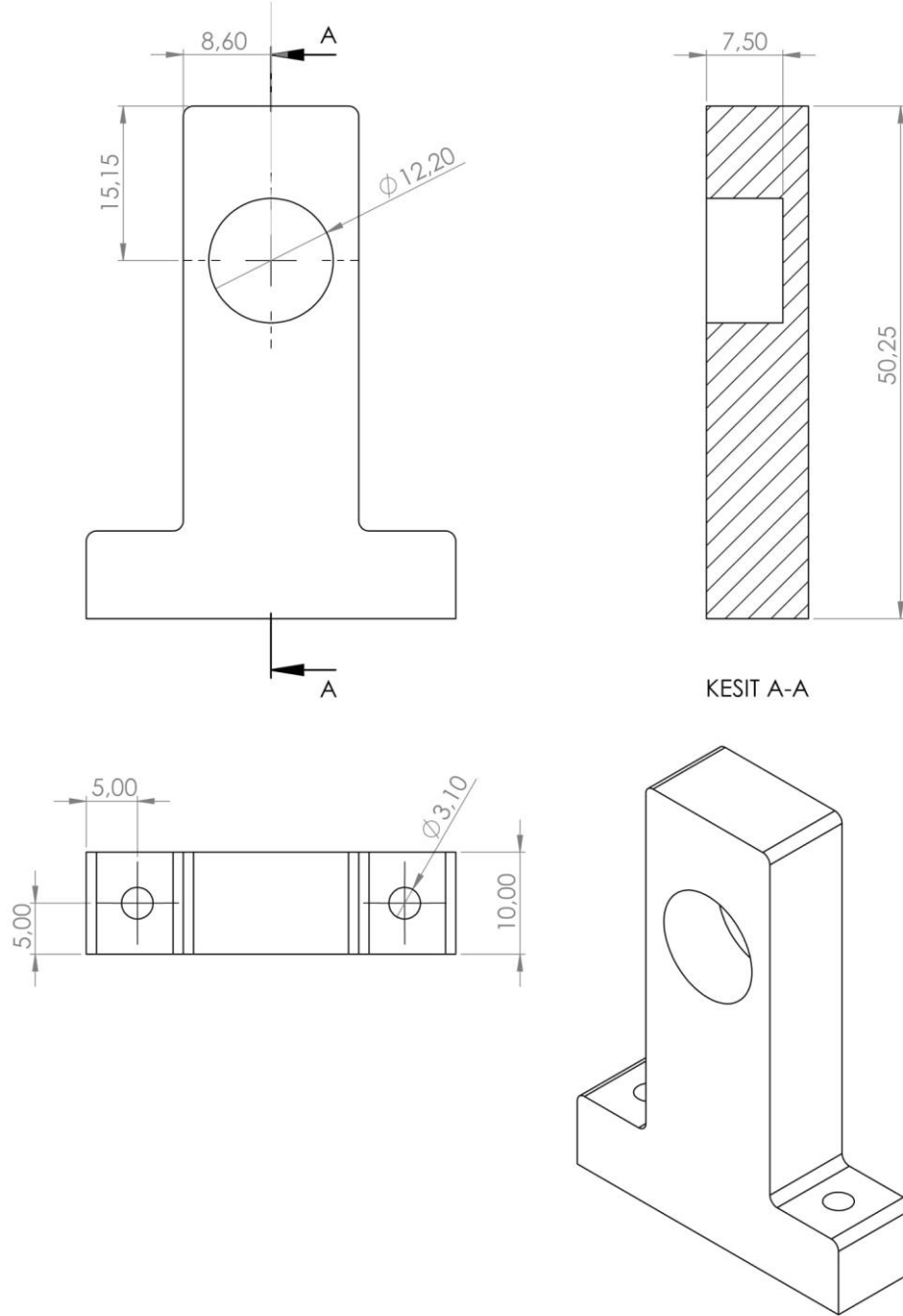
EK-22: Mil Tutucu Uzun (Parça 21)



Şekil 22.1. Mil tutucu uzun

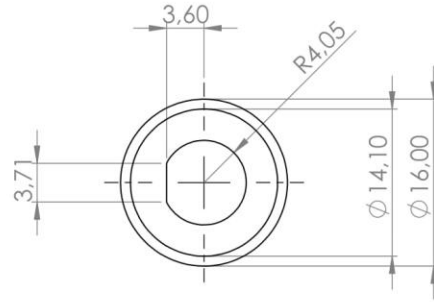
EK-23: Mil Tutucu Orta (Parça 22)

Orta boy olan 2 tane

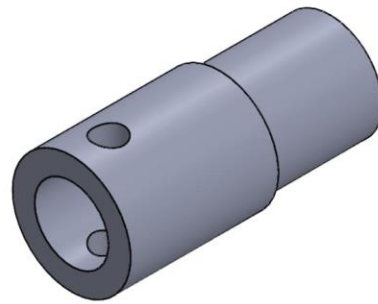
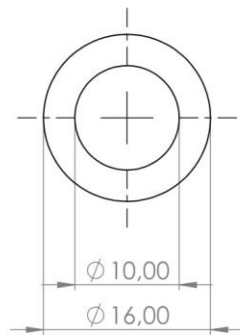
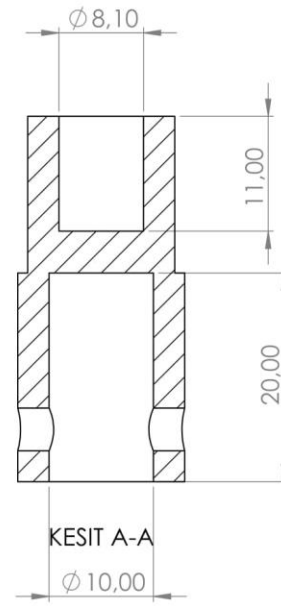
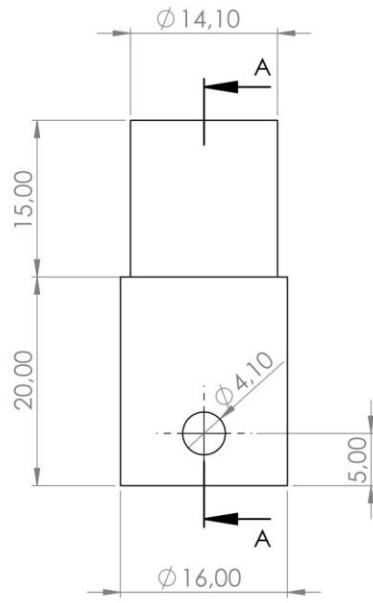


Şekil 23.1. Mil tutucu orta

EK-24: Mil Eki (Parça 23)

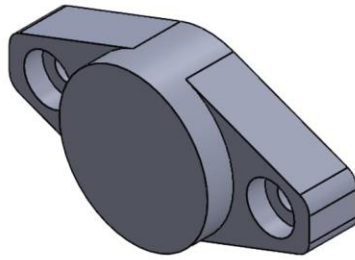
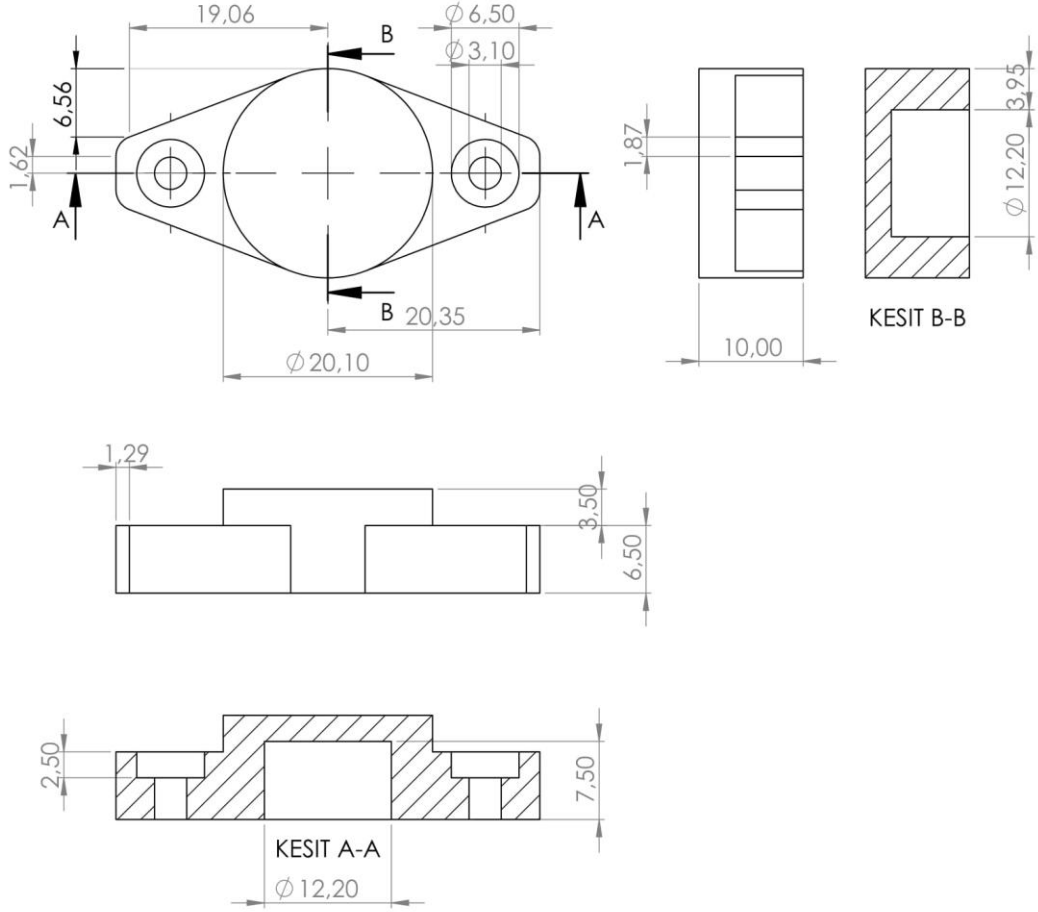


2 Adet



Şekil 24.1. Mil eki

EK-25: Tutucu Uç Mil Yatağı (Parça 24)



Koselerdeki radyuslar egridir, yaklasik deger alinabilir.

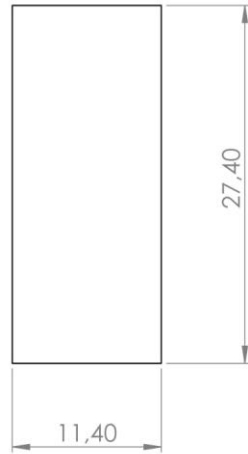
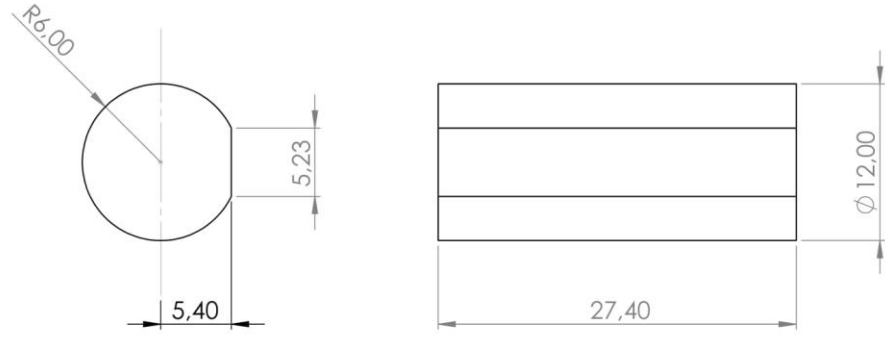
5754 Alüminyum Malzeme

2 Adet

Parça tamamen simetriktr

Şekil 25.1. Tutucu uç mil yatağı

EK-26: Uzatma Mili (Parça 25)

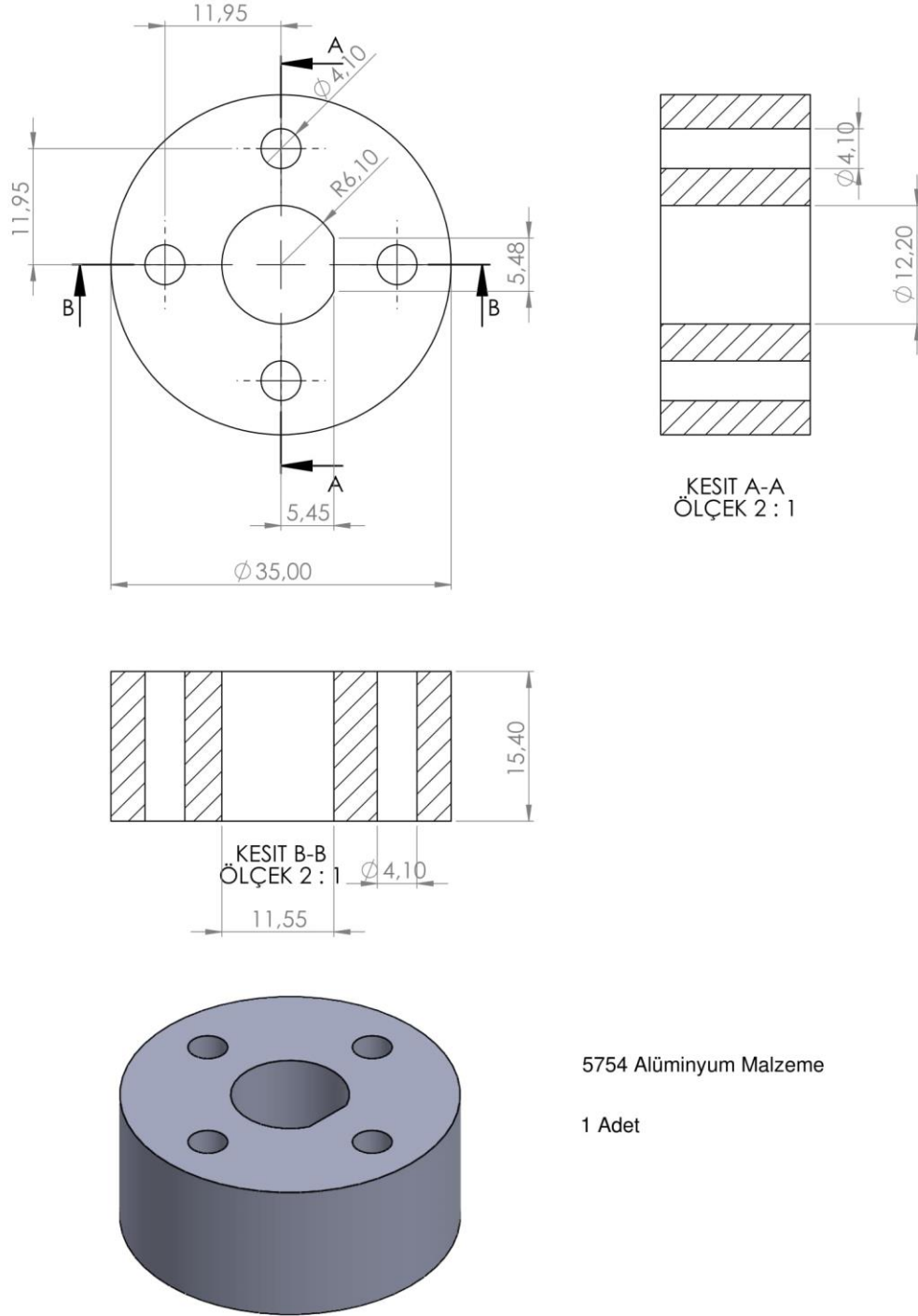


5754 Alüminyum Malzeme

1 Adet

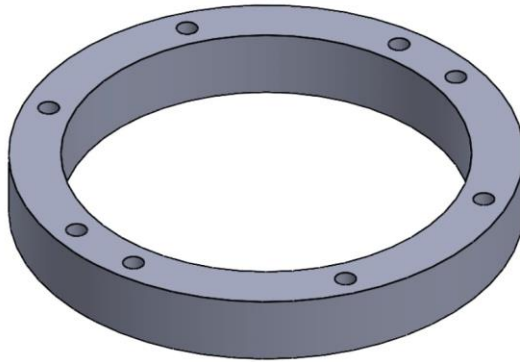
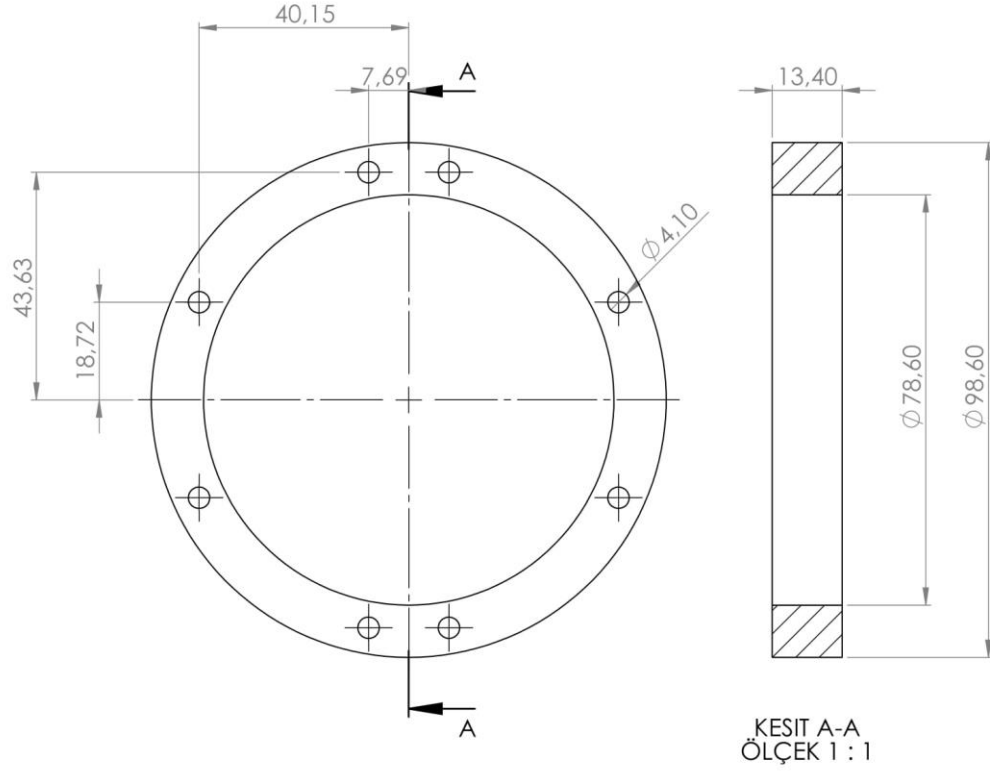
Şekil 26.1. Uzatma mili

EK-27: Z Ekseni Mil Tutucu (Parça 26)



Şekil 27.1. Z eksen mil tutucu

EK-28: Z Eksenli Yuvası 1 (Parça 27)



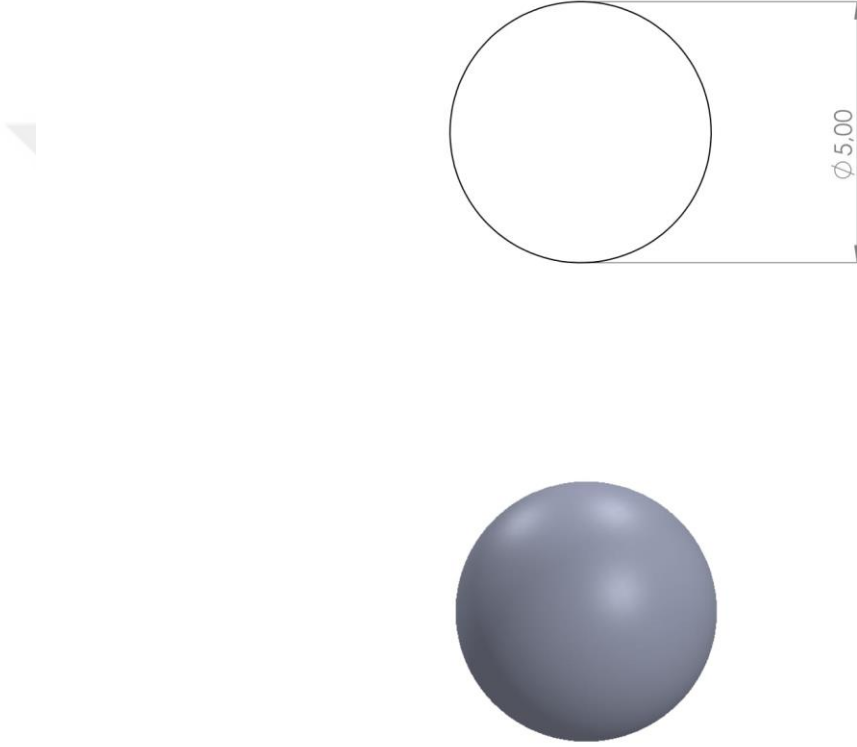
Delik Konumları Simetrik

5754 Alüminyum Malzeme

1 Adet

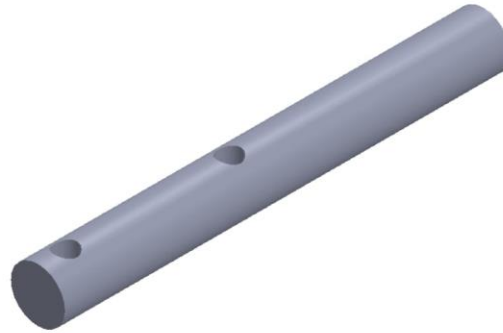
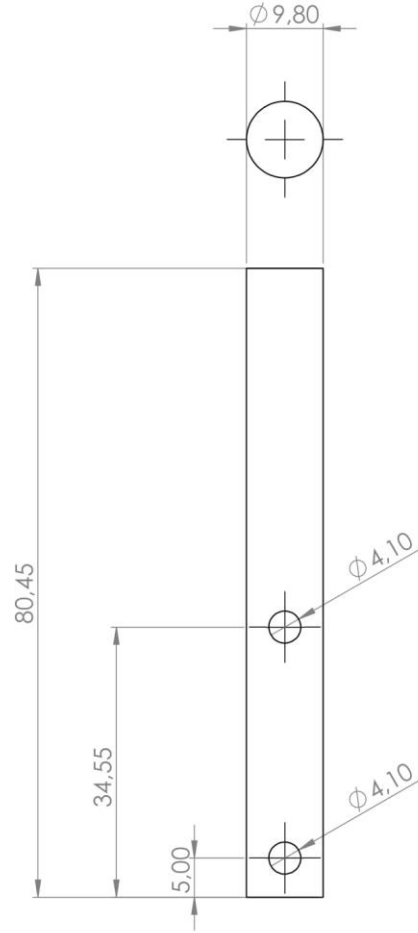
Şekil 28.1. Z eksenli yuvası 1

EK-29: Çelik Bilye 5 mm (Parça 28)



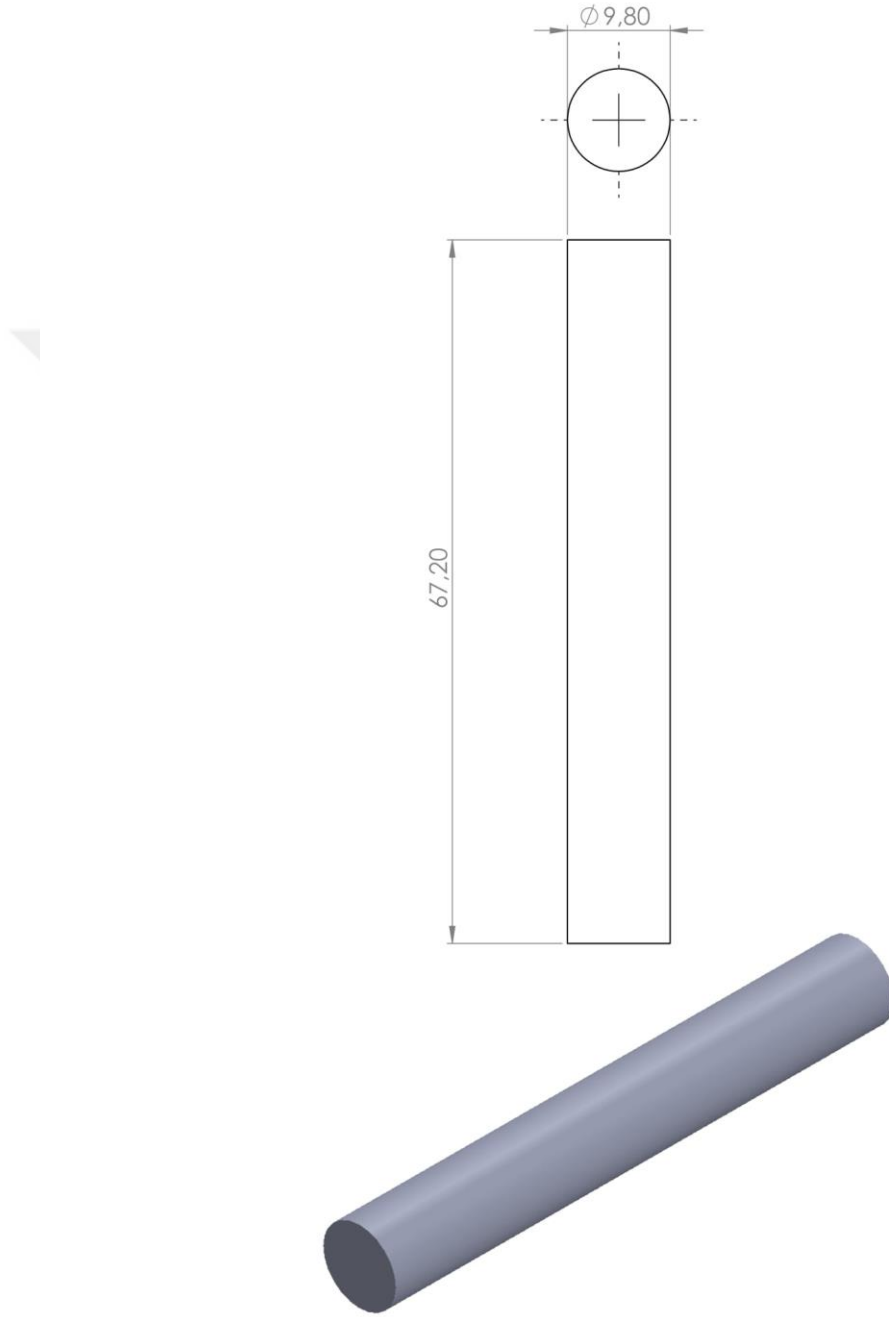
Şekil 29.1. Çelik bilye 5 mm

EK-30: Giriş Uzvu Ortak Mili (Parça 29)



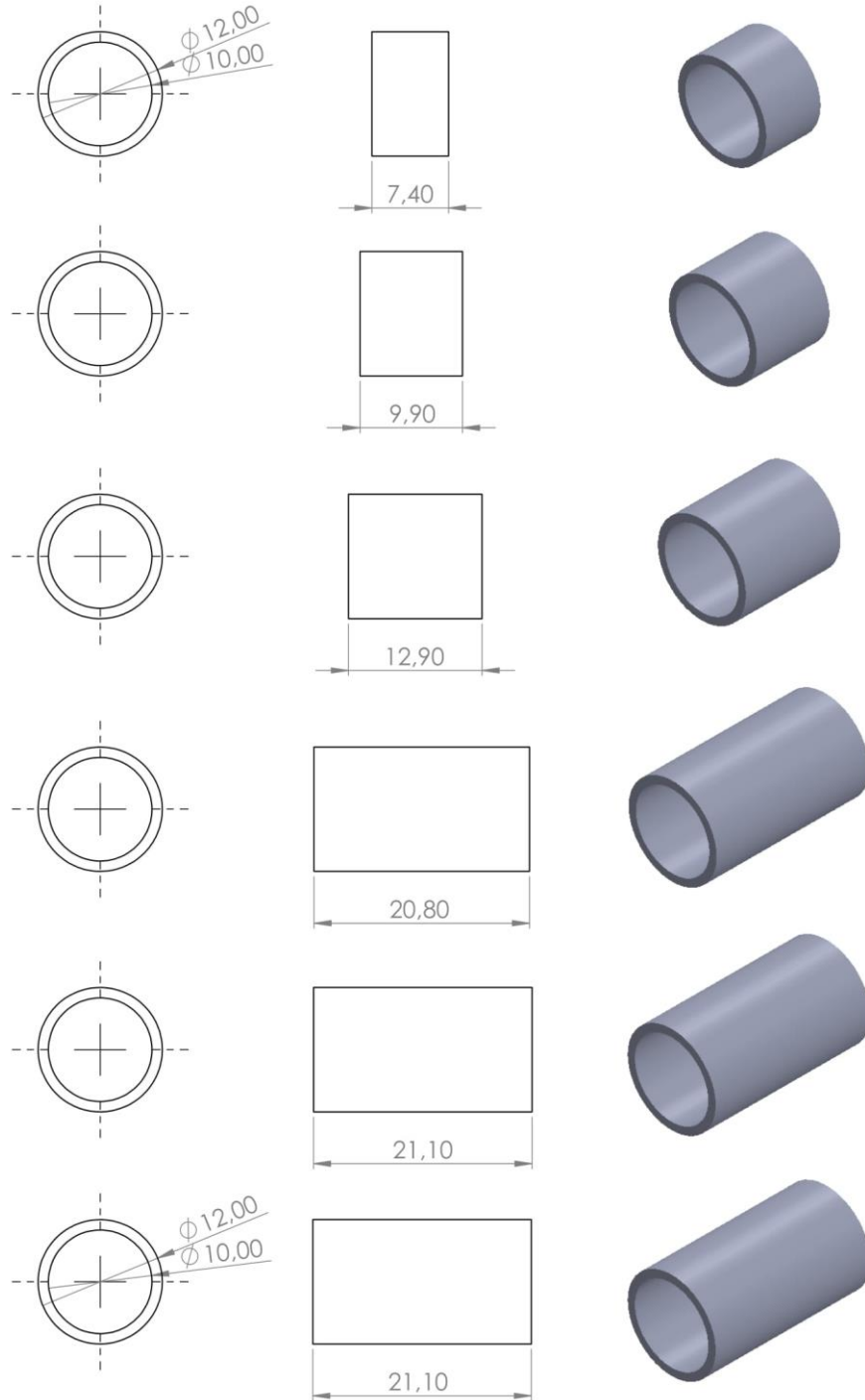
Şekil 30.1. Giriş uzvu ortak mili

EK-31: Kasnakların Ortak Mili (Para 30)



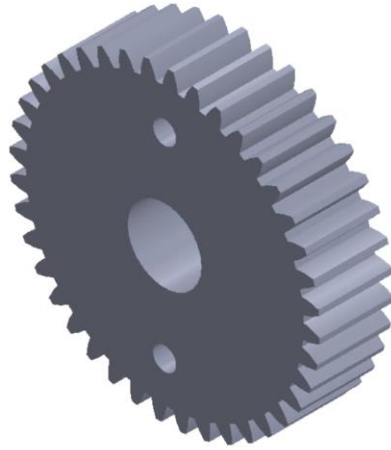
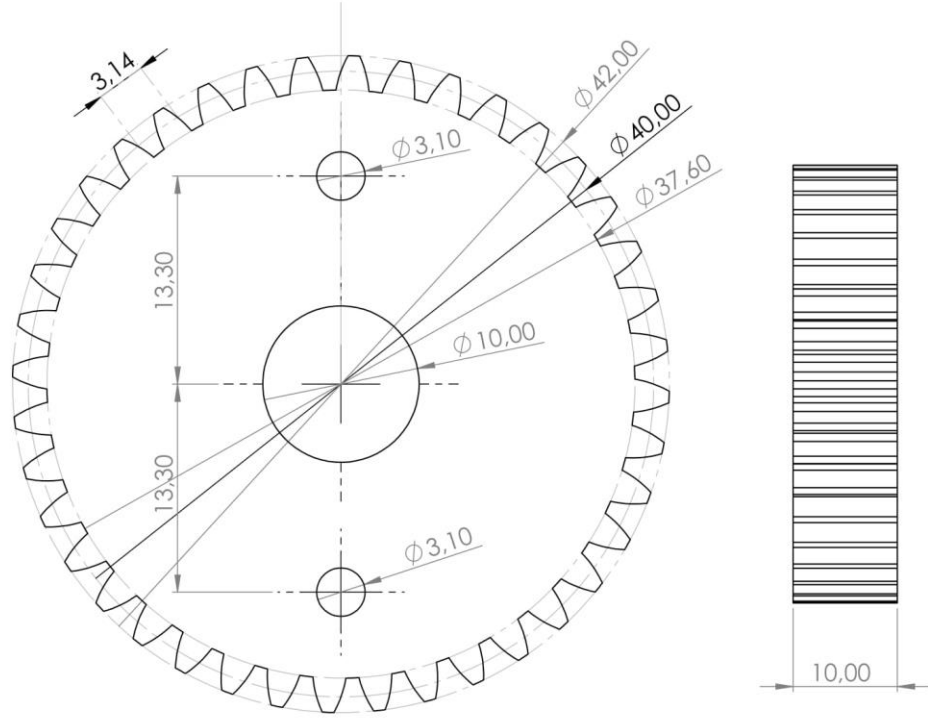
Şekil 31.1. Kasnakların ortak mili

EK-32: Burçlar (Parça 31, 32, 33,34, 35, 36)



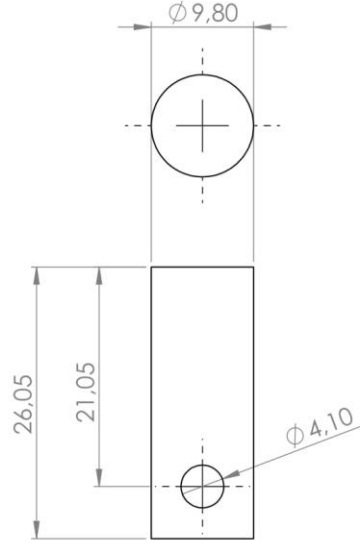
Şekil 32.1. Burçlar

EK-33: Dişli 40 mm (Parça 37)



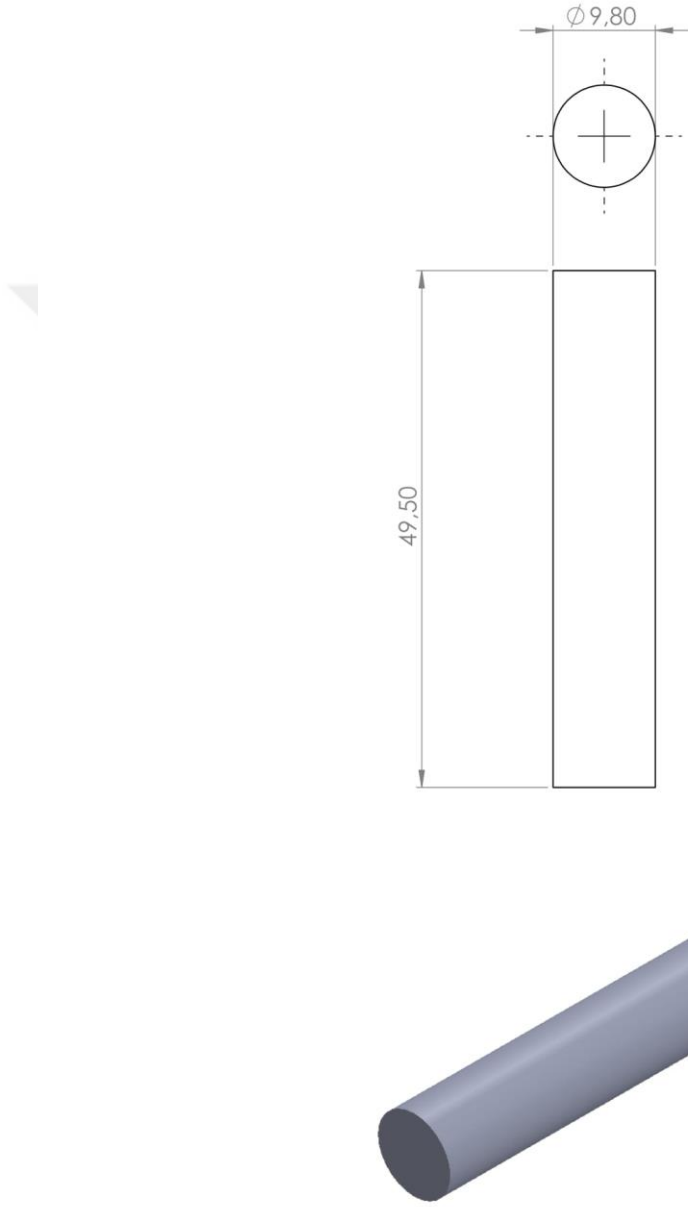
Şekil 33.1. Dişli 40 m

EK-34: Giriş Uzvu Dış Mil (Parça 38)



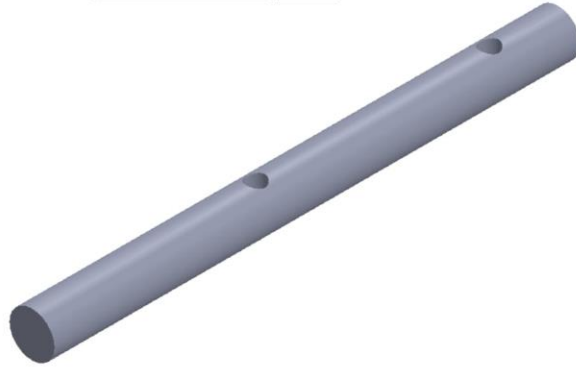
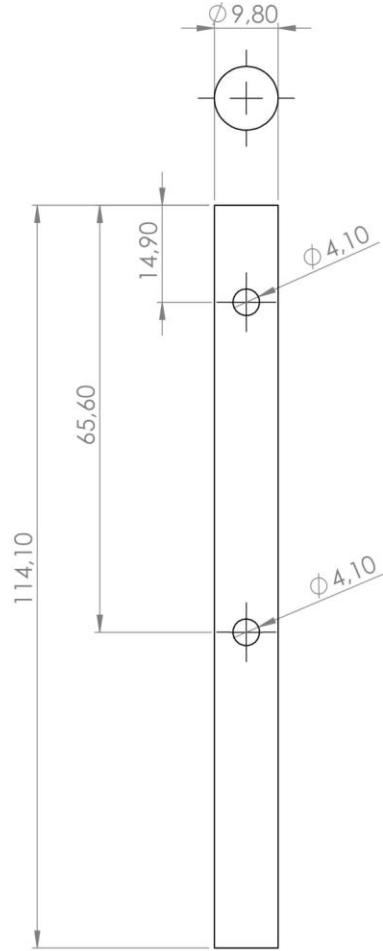
Şekil 34.1. İkinci uzuv köşebent

EK-35: Giriş Uzvu Motoru Destek Mili (Parça 39)



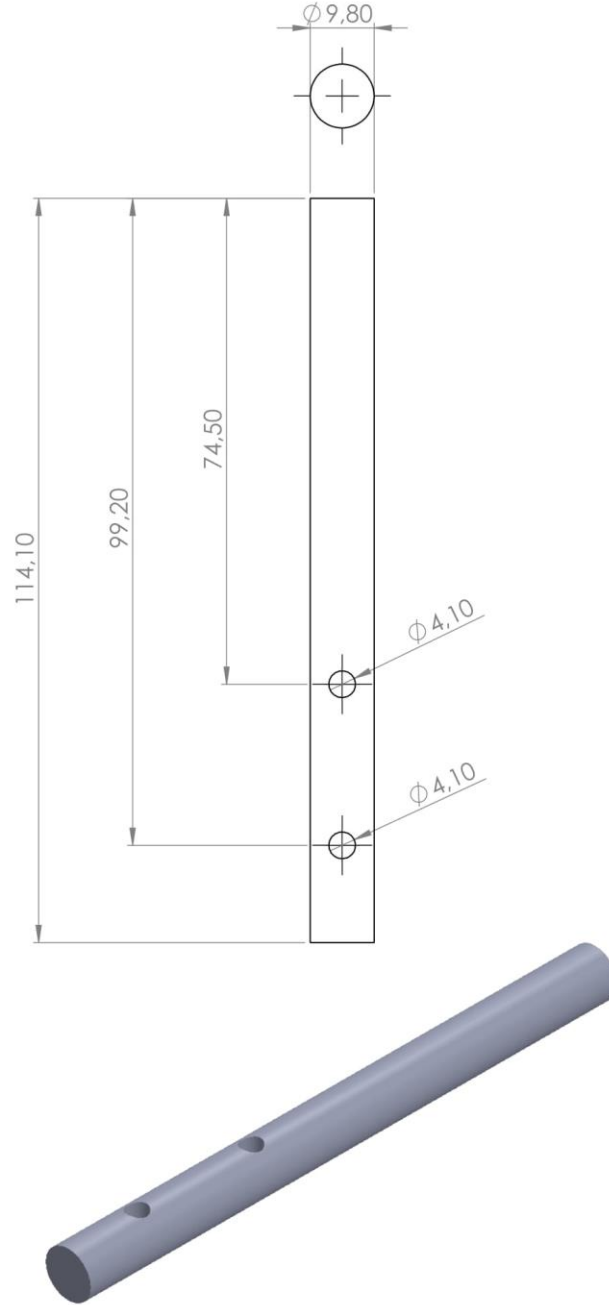
Şekil 35.1. Giriş uzvu motoru destek mili

EK-36: Giriş Uzvu Motoru Mili (Parça 40)



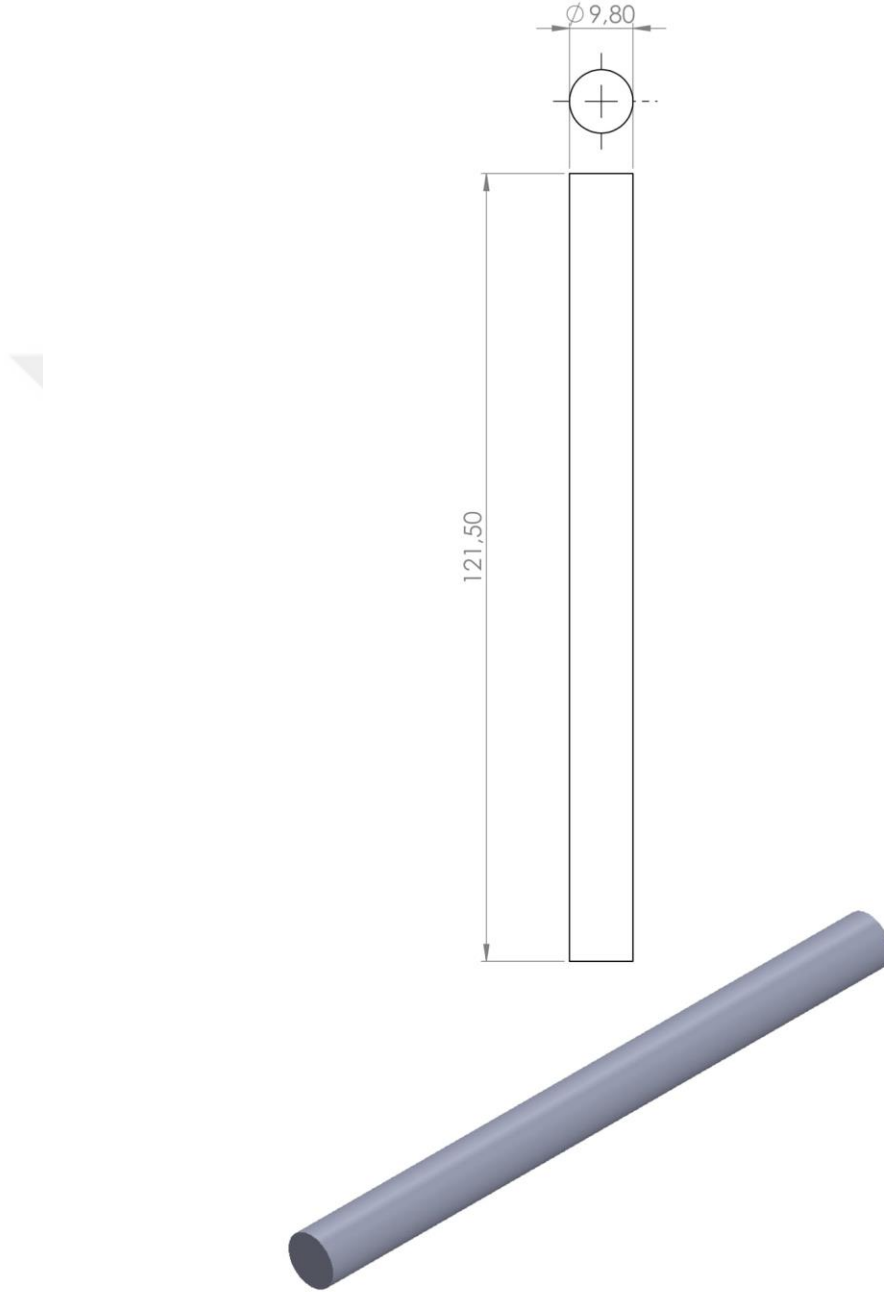
Şekil 36.1. Giriş uzvu motoru mili

EK-37: İkinci Uzuv Motoru Mili (Parça 41)



Şekil 37.1. İkinci uzuv motoru mili

EK-38: İkinci Uzuv Mili (Parça 42)



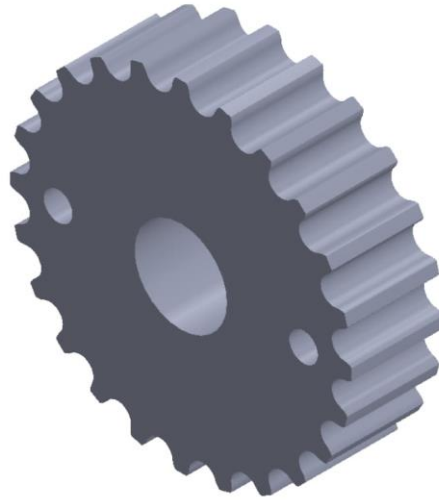
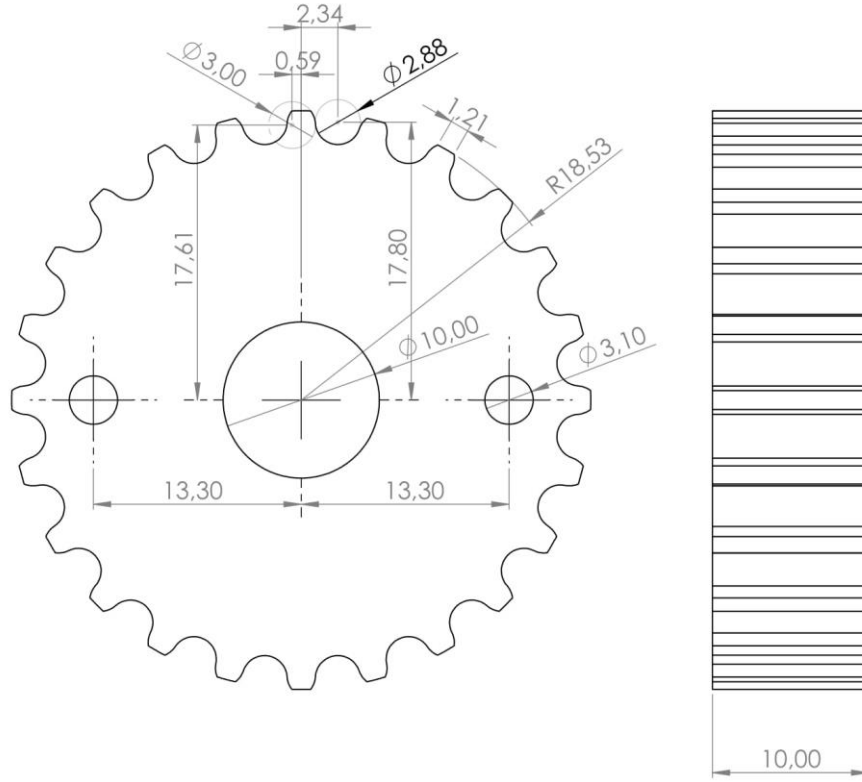
Şekil 38.1. İkinci uzuv mili

EK-40: Kasnak 37 mm 2 (Parça 44)



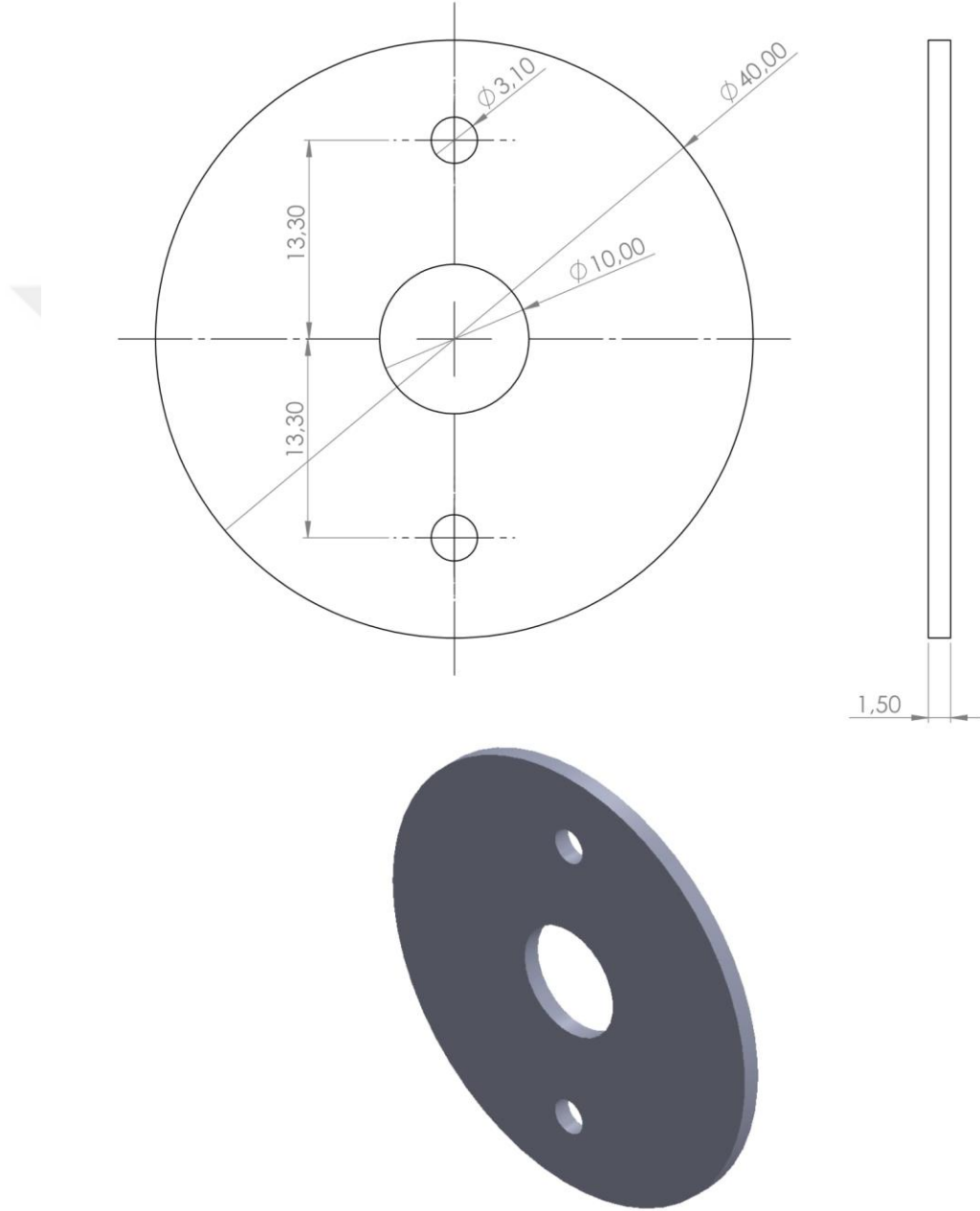
Şekil 40.1. Kasnak 37 mm 2

EK-41: Tutucu Uç Kasnağı 1 (Parça 45)



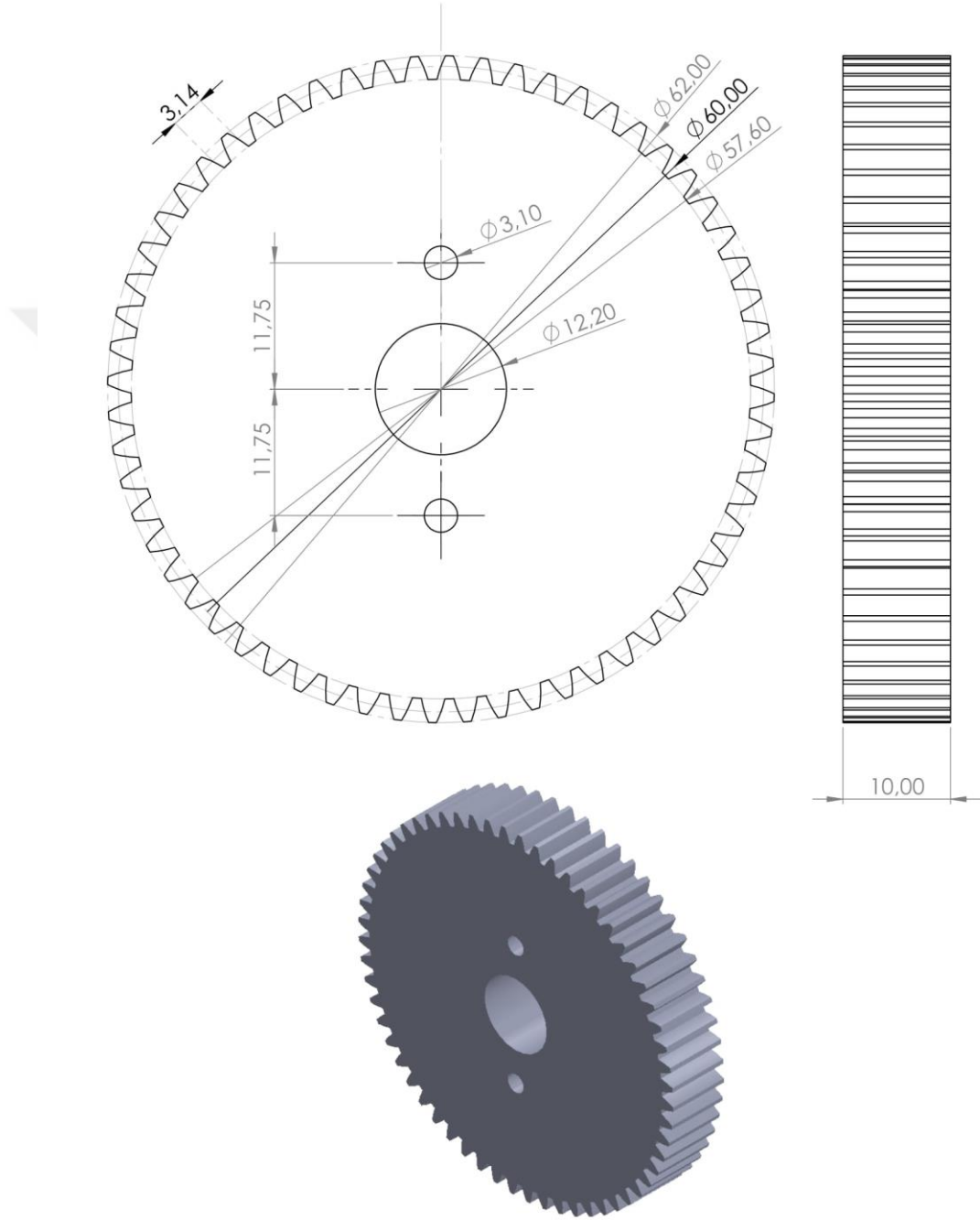
Şekil 41.1. Tutucu uç kasnağı 1

EK-42: Tutucu Uç Kasnağı 2 (Parça 46)



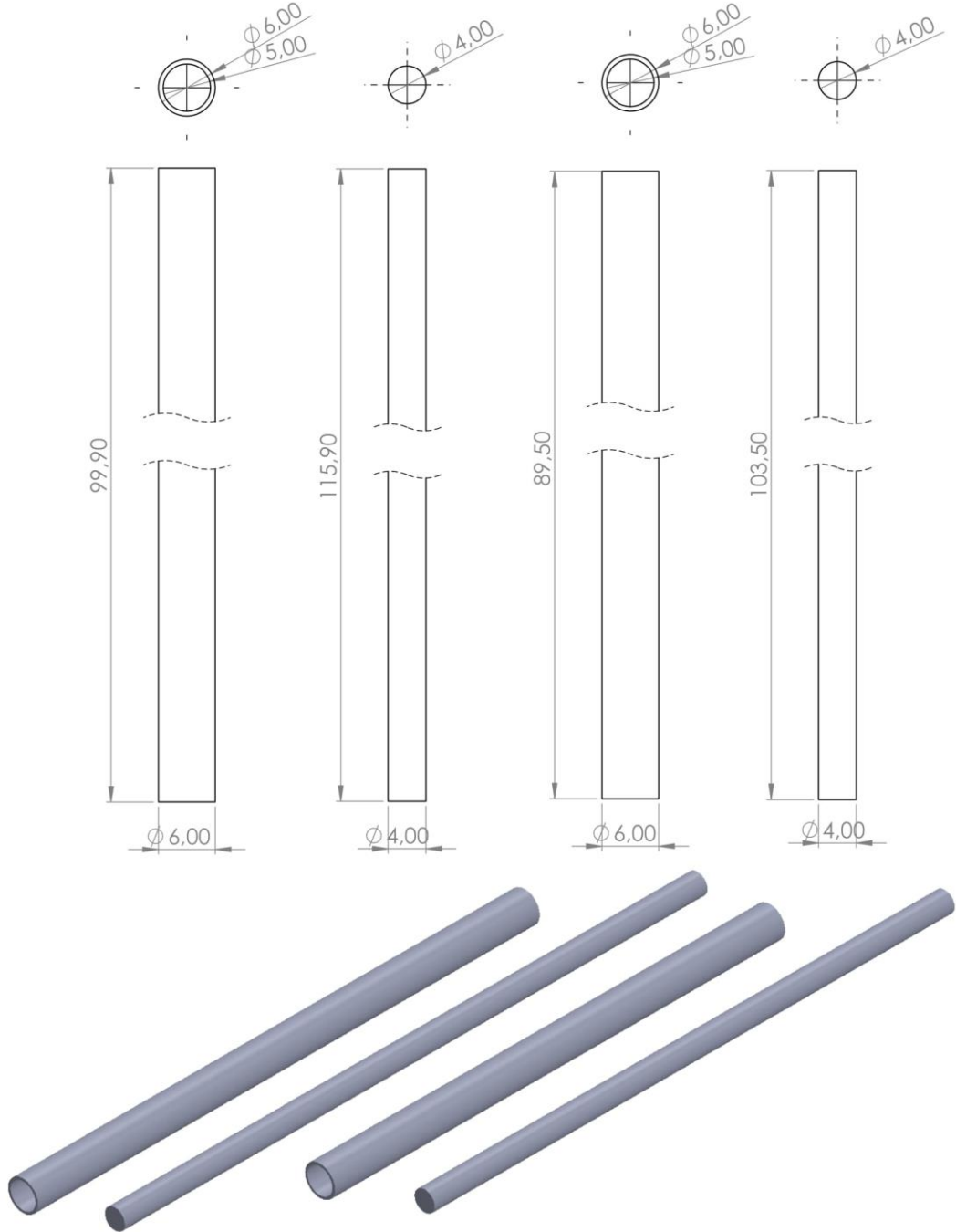
Şekil 42.1. Tutucu uç kasnağı 2

EK-43: Kasnak Dişlisi 60 mm (Parça 47)



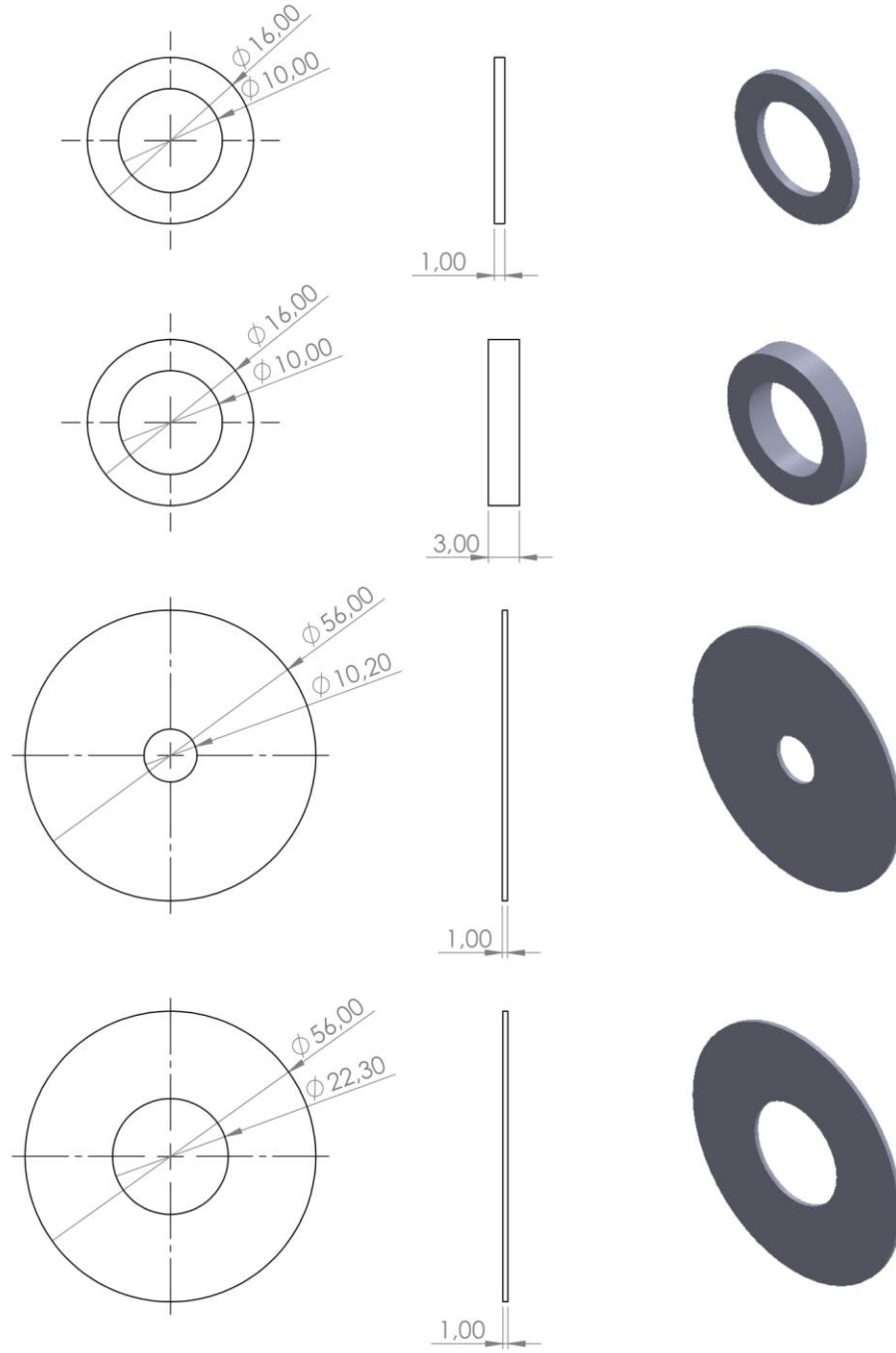
Şekil 43.1. Kasnak dişlisi 60 mm

EK-44: Kayış Civataları ve Boruları (Parça 48, 49, 50, 51)



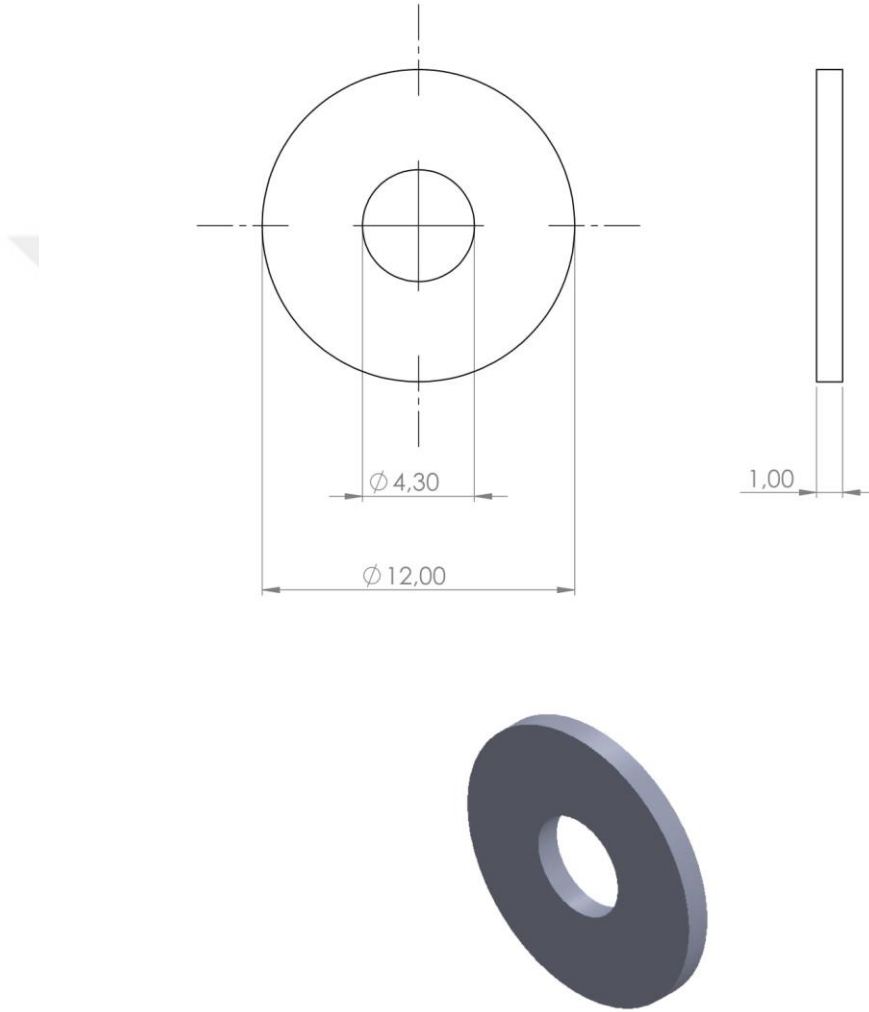
Şekil 44.1. Kayış civataları ve boruları

EK-45: Pleksi Pullar (Parça 52, 53, 54, 55)



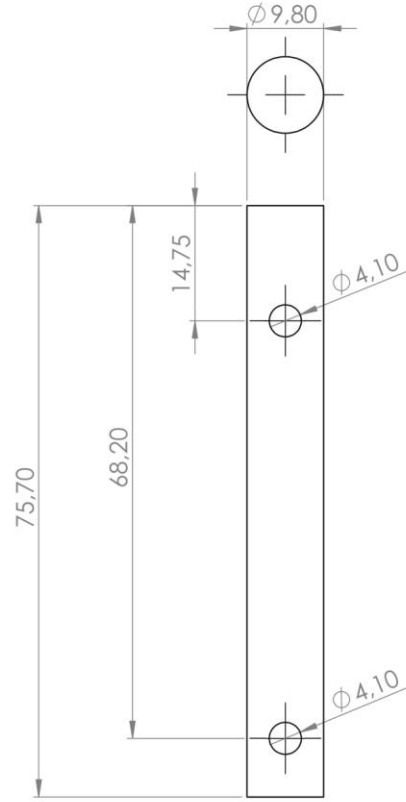
Şekil 45.1. Pleksi pullar

EK-46: Metal Pul (Parça 56)



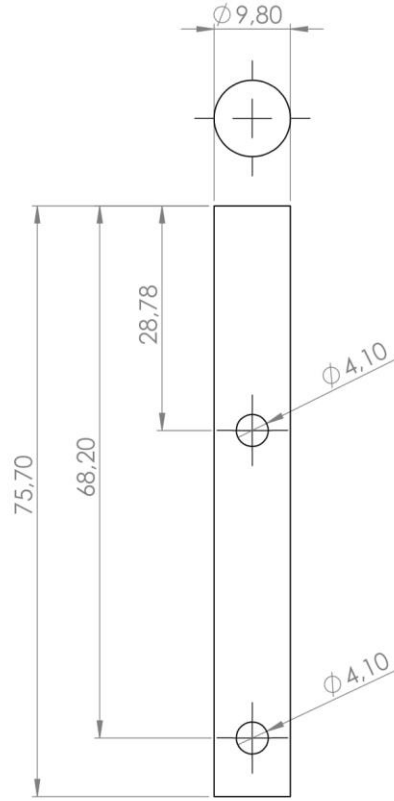
Şekil 46.1. Metal pul

EK-47: Tutucu Uç Mili 1 (Parça 57)



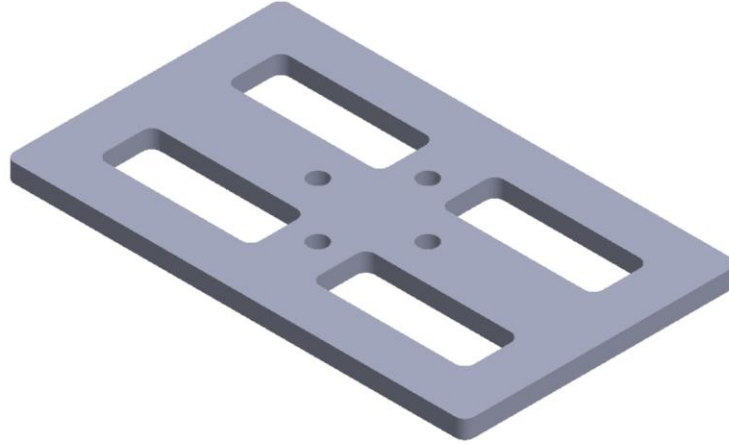
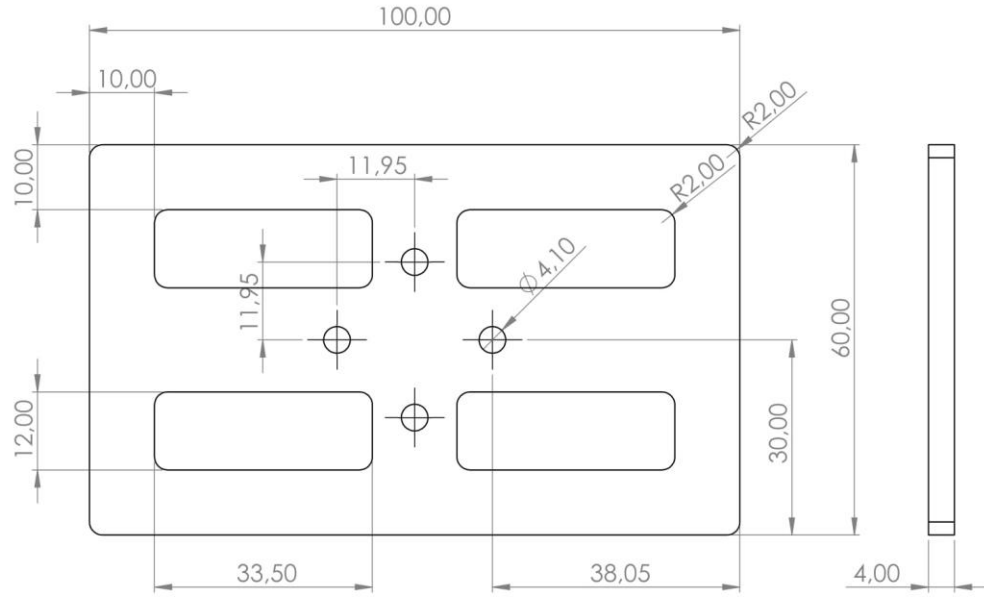
Şekil 47.1. Tutucu uç mili 1

EK-48: Tutucu U Mili 2 (Para 58)



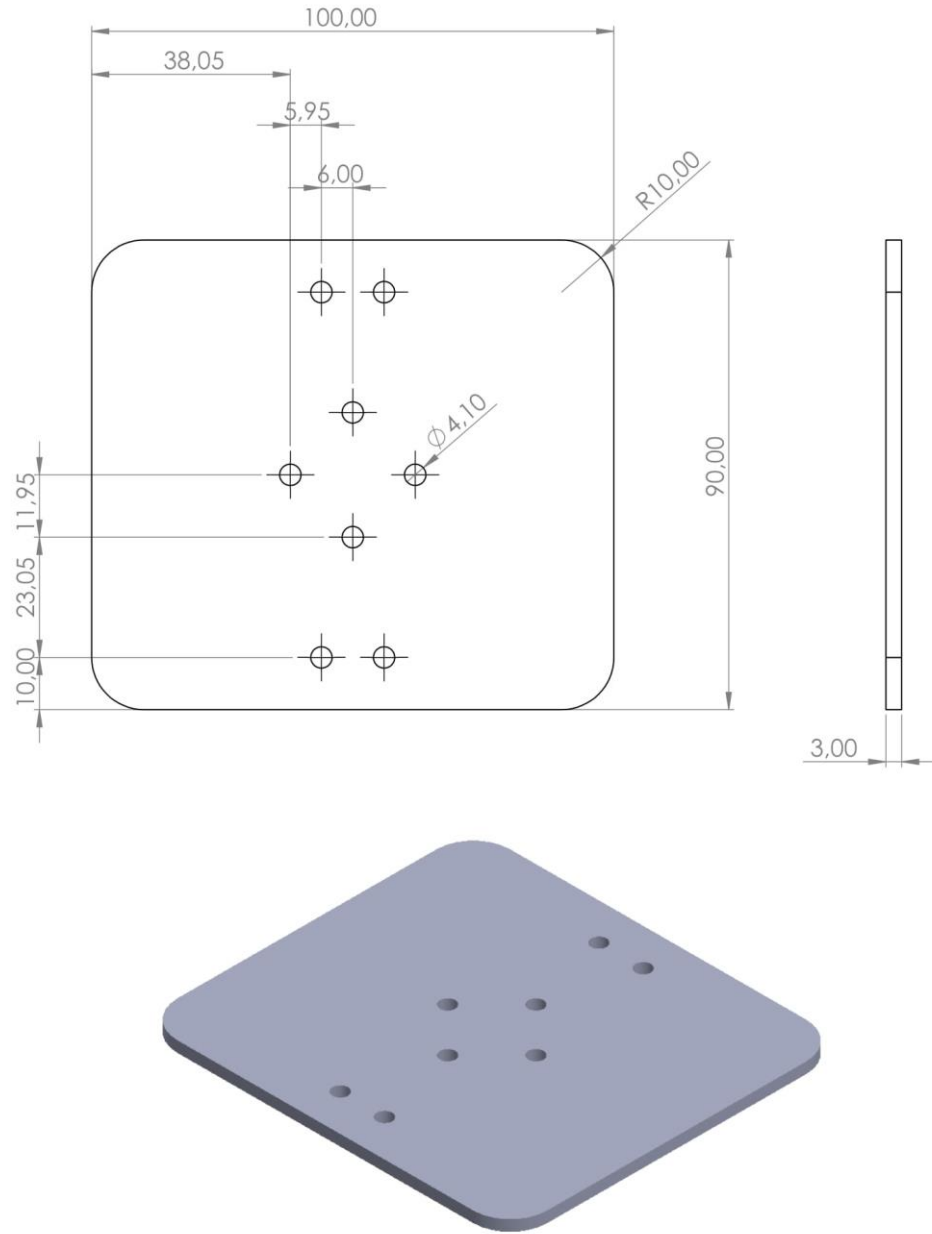
Şekil 48.1. Tutucu uç mili 2

EK-49: Motor Kutusu Altlığı 1 (Parça 59)



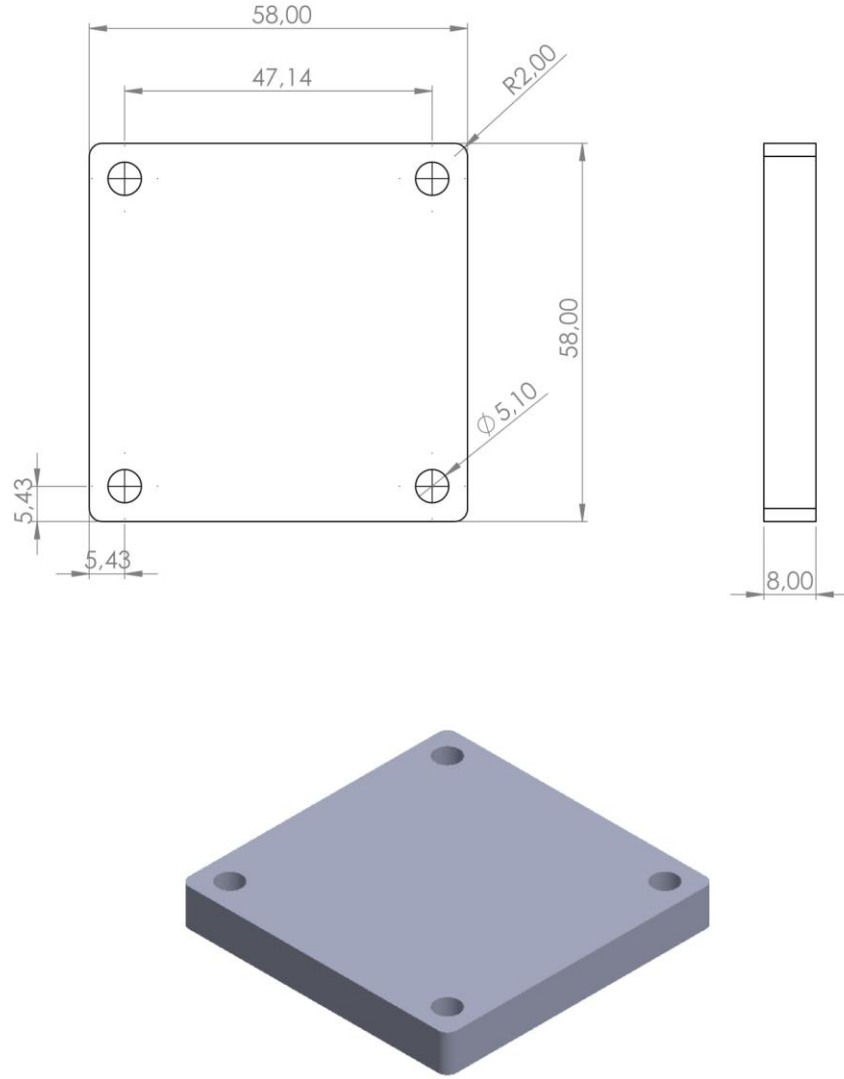
Şekil 49.1. Motor kutusu altlığı 1

EK-50: Motor Kutusu Altlığı 2 (Parça 60)



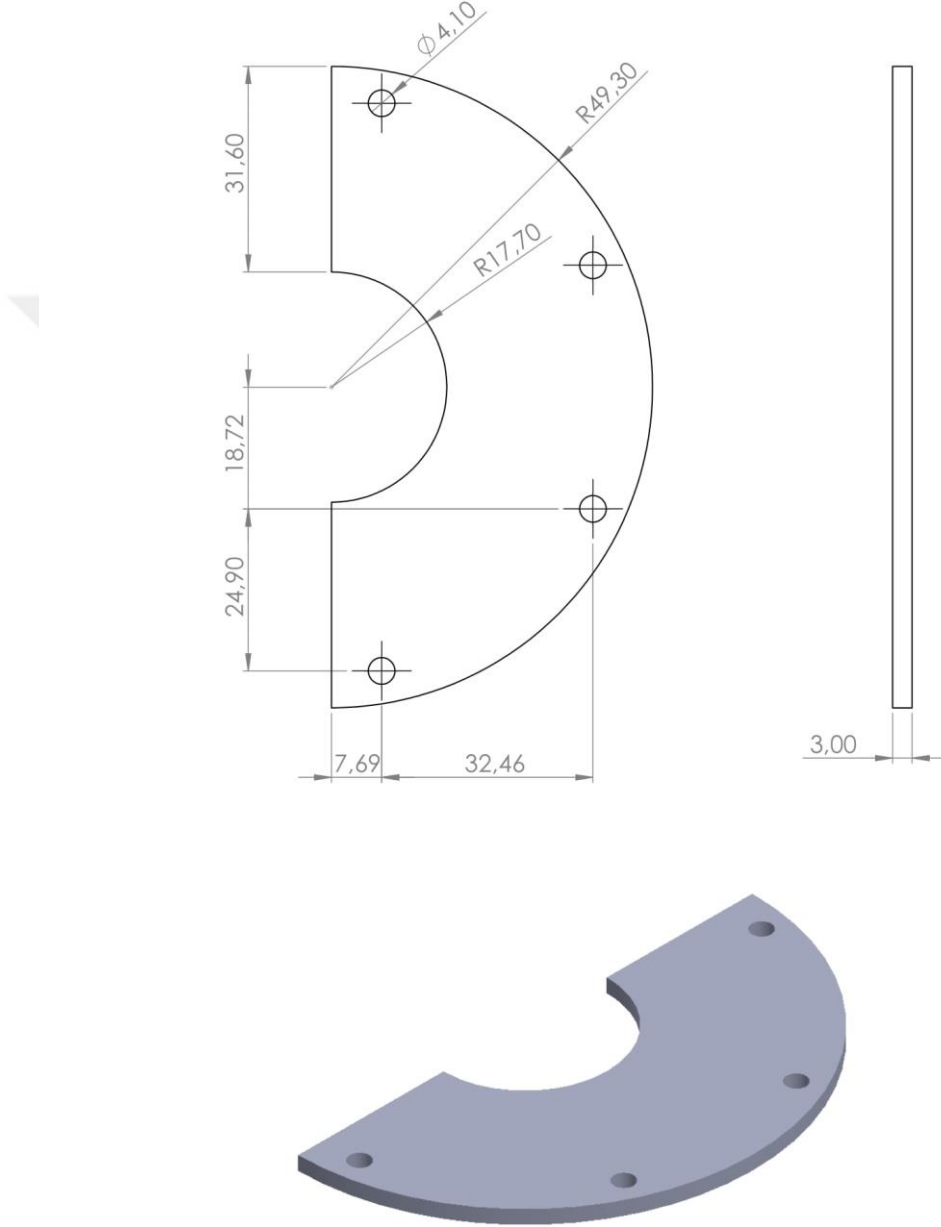
Şekil 50.1. Motor kutusu altlığı 2

EK-51: Z Eksenli Motor Altlığı (Parça 61)



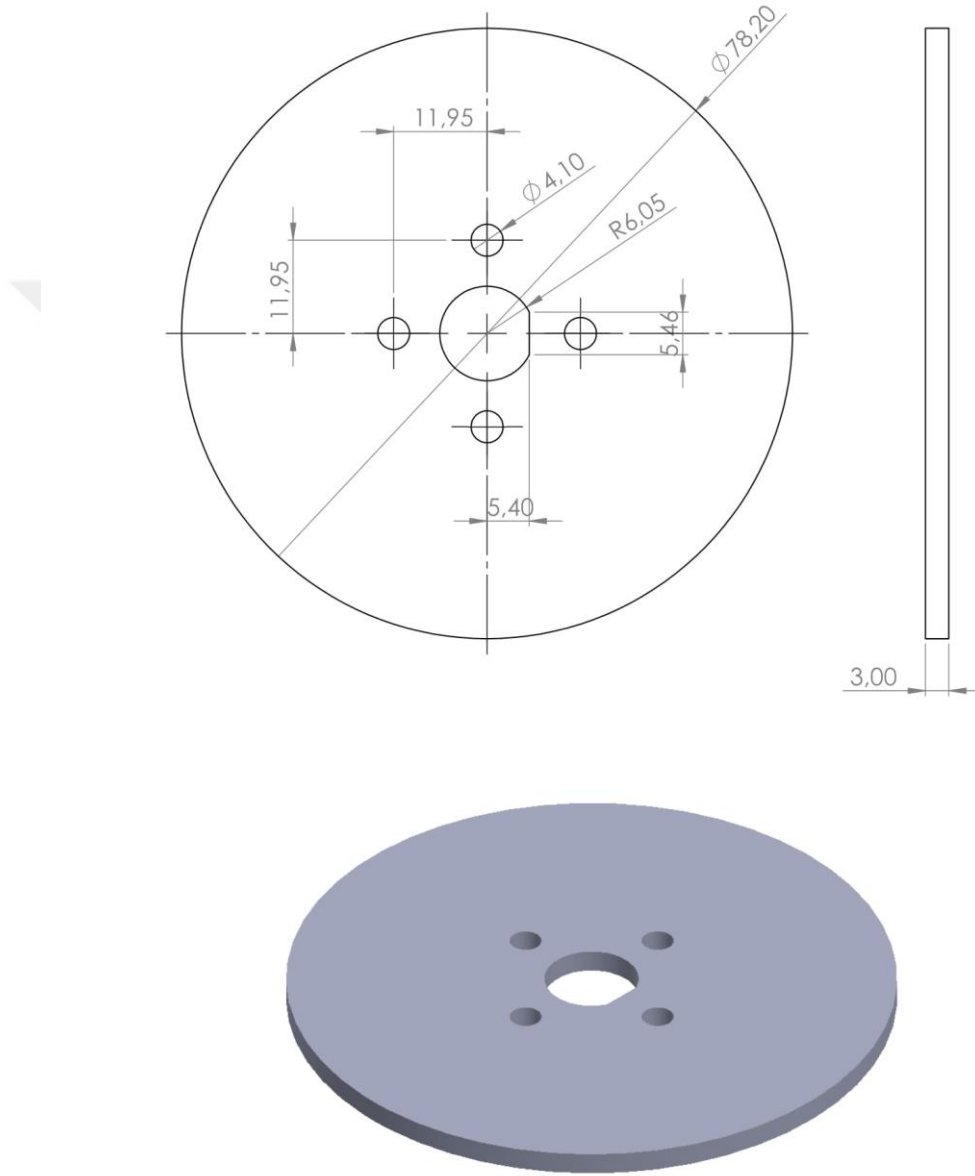
Şekil 51.1. Z eksenli motor altlığı

EK-52: Z Ekseni Yuvası 2 (Parça 62)



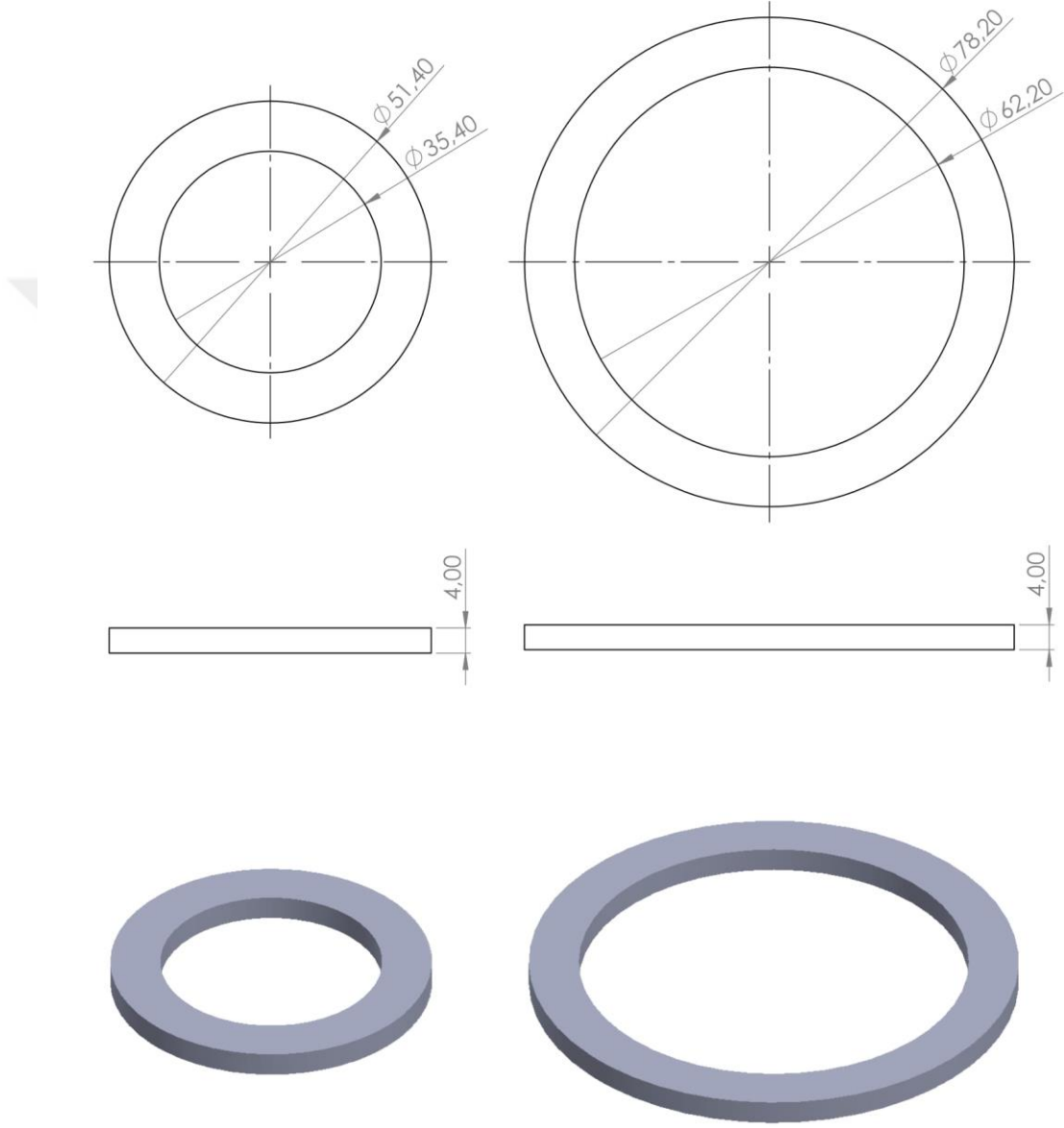
Şekil 52.1. Z ekseni yuvası 2

EK-53: Z Ekseni Yuvası Diski (Parça 63)



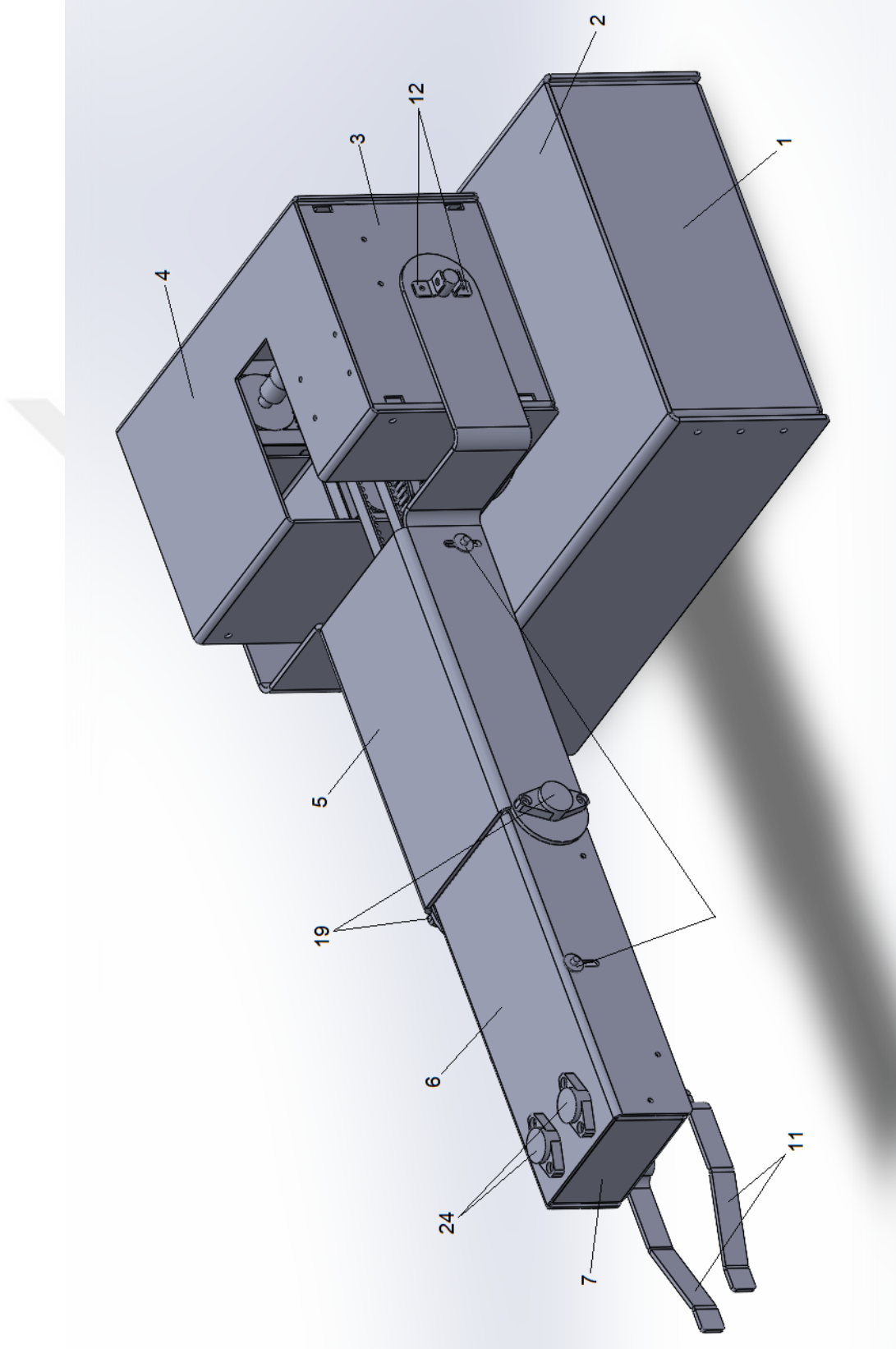
Şekil 53.1. Z eksenı yuvası diskı

EK-54: Z Ekseni Yuvası Pleksi Pullar (Parça 64, 65)

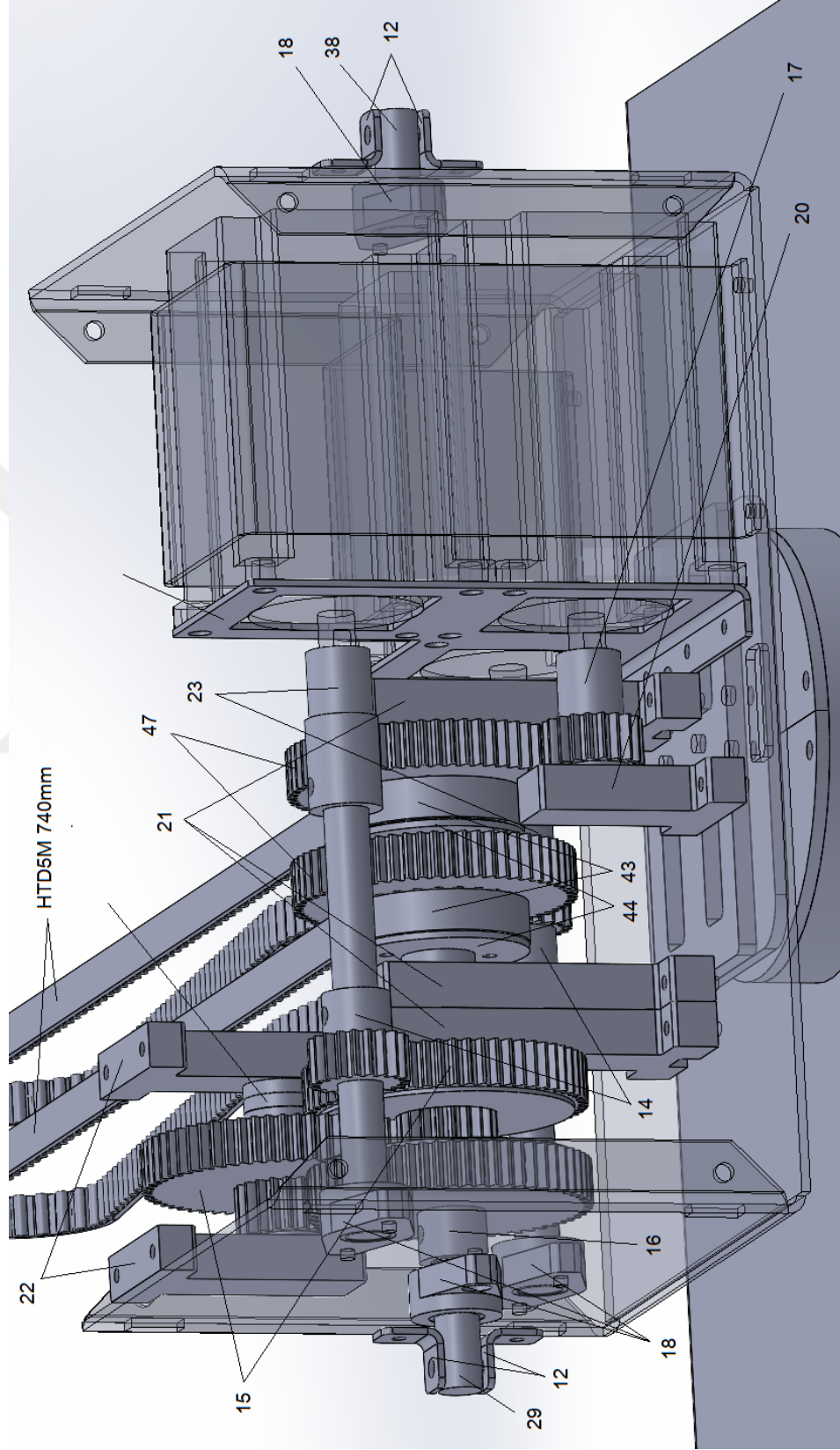


Şekil 54.1. Z eksenli yuvası pleksi pullar

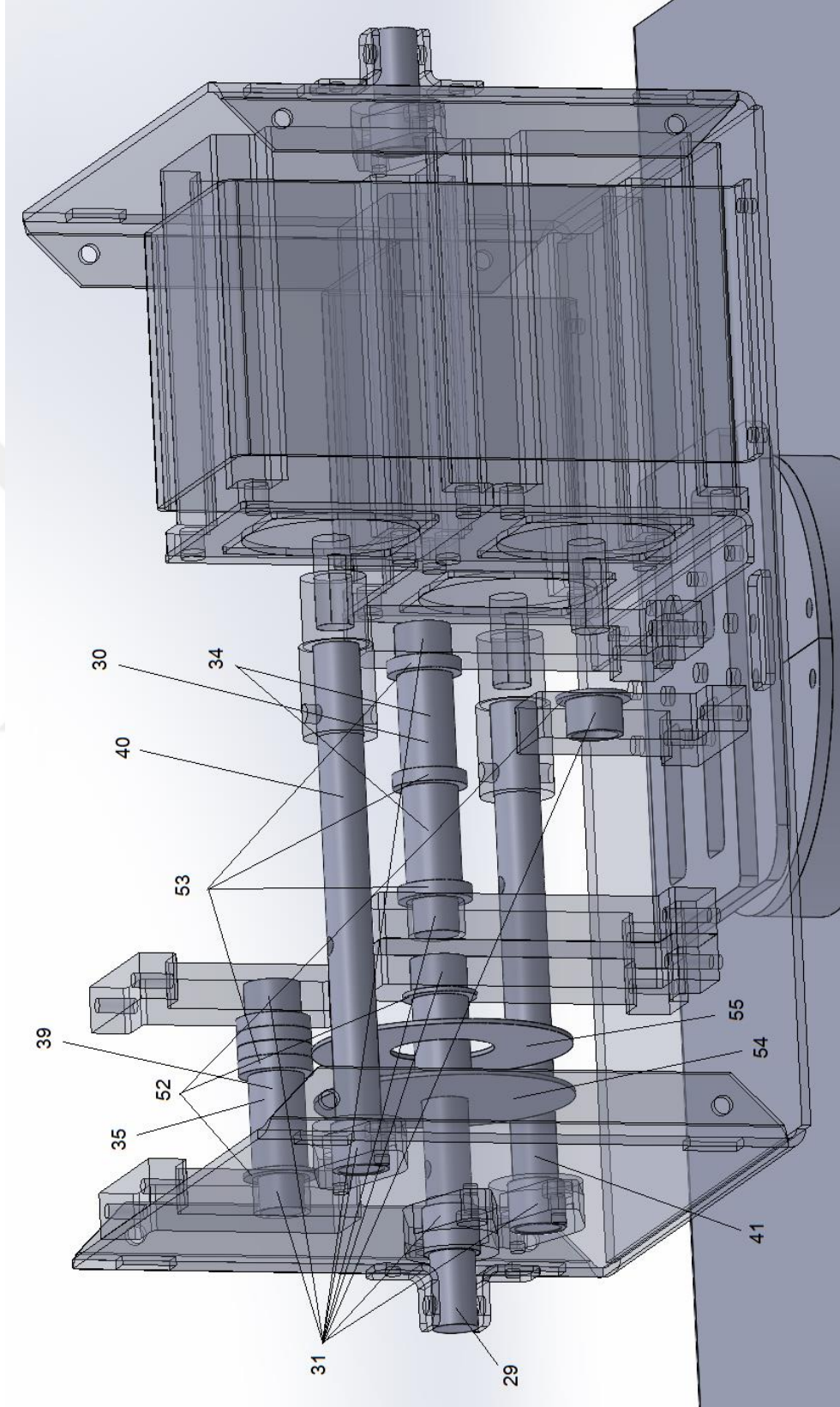
EK-55: Montaj Görsele 1



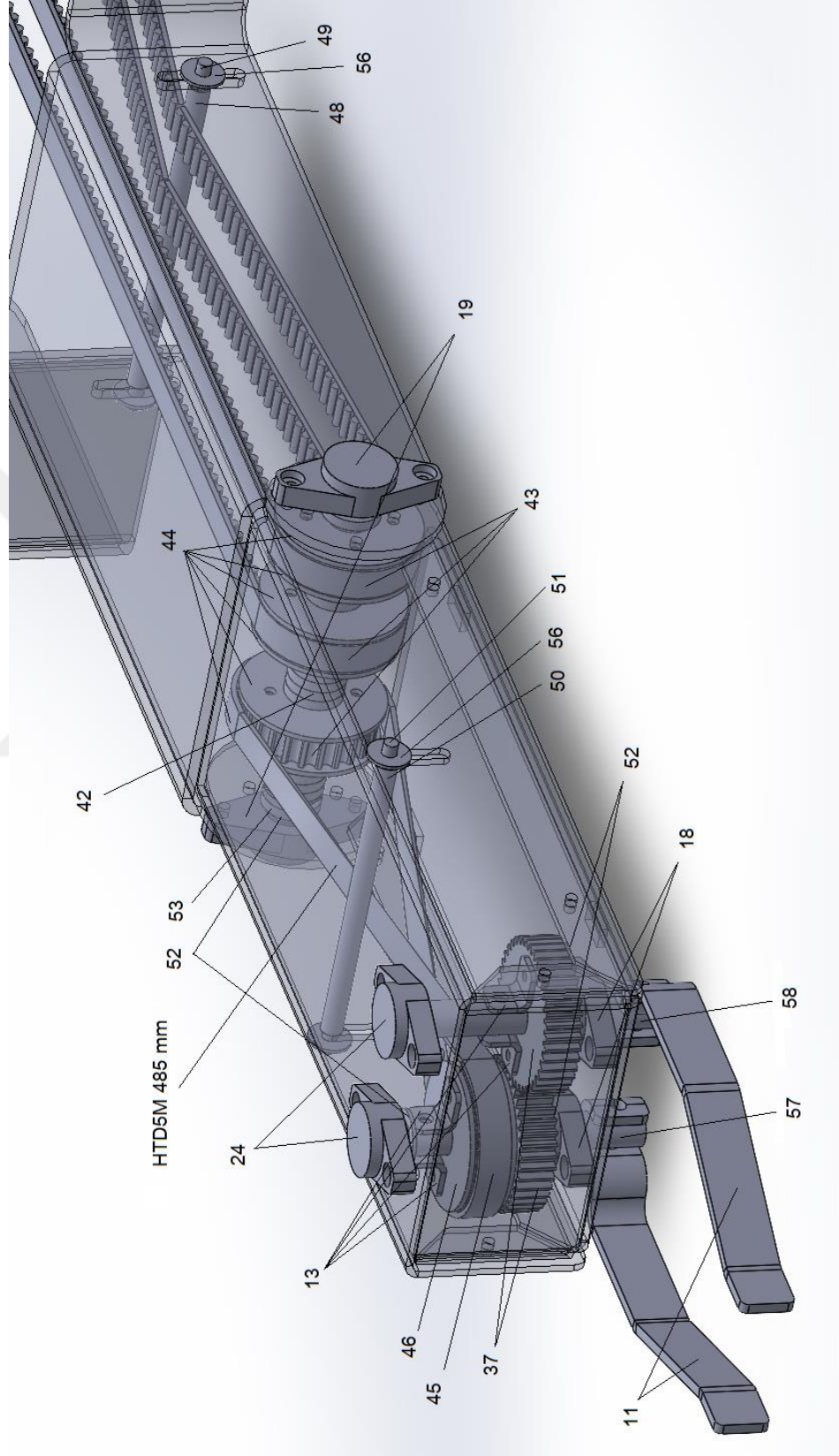
Şekil 55.1. Montaj görseli 1



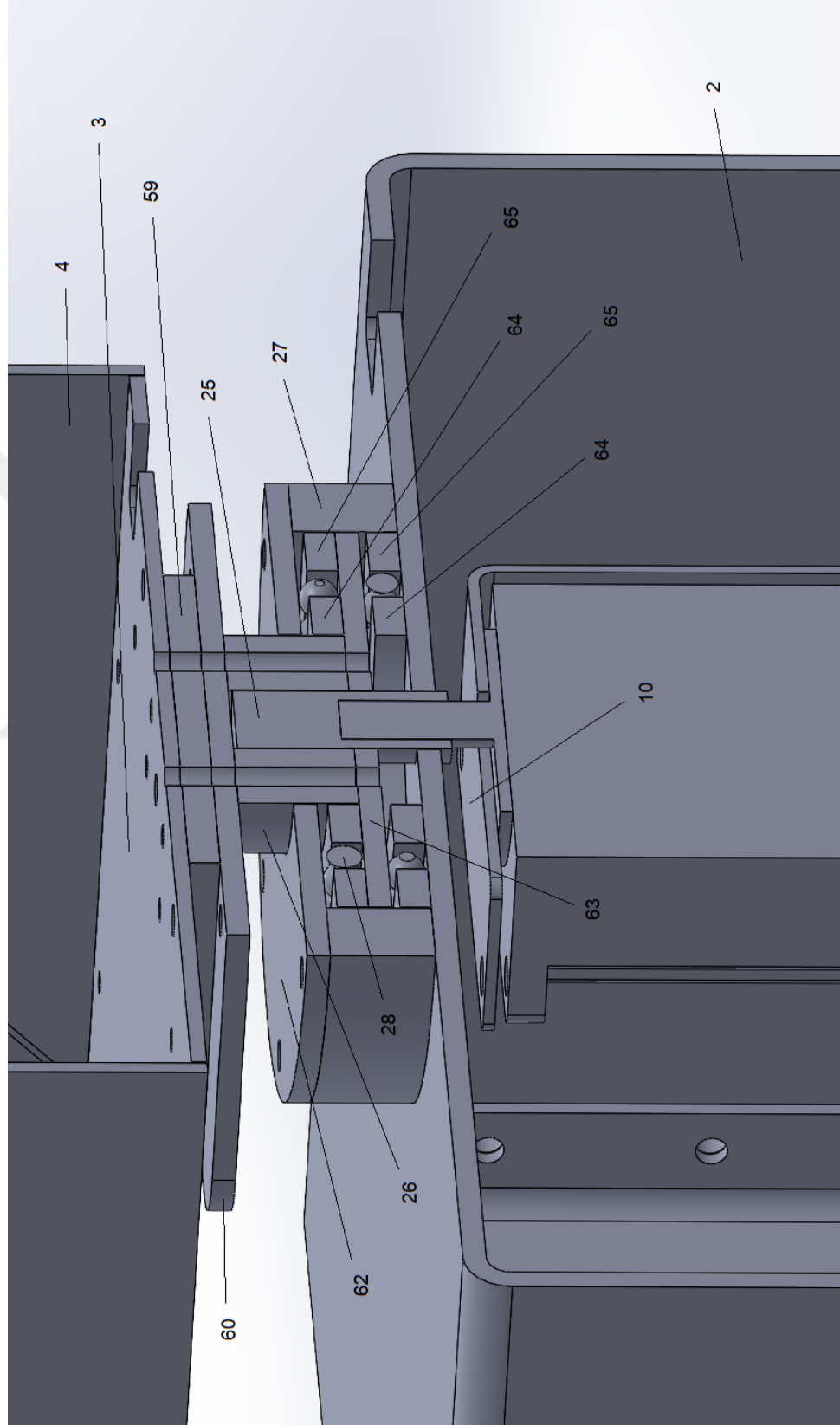
Şekil 56.1. Montaj görseli 2



Şekil 57.1. Montaj görseli 3



Şekil 58.1. Montaj görseli 4



Şekil 59.1. Montaj görseli 5

EK-60a: Etik Kurul Onay Kararı



T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Tarih: 28.12.2022

Sayı: 261

Konu: Etik Kurulu İzni

Sayın Kaan Aslım,

Yapmış olduğunuz başvuru Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından incelenmiş olup Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Akgün'ün danışmanlığında planladığınız **“Üç Eksenli Robot Kolun EEG ile Kontrolü”** başlıklı çalışmanız kurulumuzun 28.12.2022 tarihli toplantısında etik yönden uygun bulunmuştur.

Bilgilerinize sunarım.

Prof. Dr. Melek Güneş Yavuzer
Haliç Üniversitesi Girişimsel Olmayan
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

Ek: Etik Kurulu Kararı

Güzeltepe Mahallesi, 15 Temmuz Şehitler Caddesi, No:14/12 34060 Eyüpsultan – İSTANBUL
Tel: (0 212)-924-24-44 | Faks: (0 212)-999-78-52
e-mail: etikkurul@halic.edu.tr www.halic.edu.tr

EK-60b: Etik Kurul Onay Kararı

		T.C. HALIÇ ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU		Yayın Tarihi : 10.12.2015 Revizyon Tarihi : 16.09.2020 Revizyon No : 02 Sayfa No : 1/1	
Tarih: 28.12.2022		Karar No:			
Toplantı Sayısı:		Kaan Aslım'ın Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Akgün'ün danışmanlığında yürüteceği "Üç Eksenli Robot Kolun EEG ile Kontrolü" başlıklı çalışması incelendi, yapılan inceleme sonucunda çalışmanın etik yönden uygun olduğuna karar verildi.			
Adı-Soyadı	Alanı	Kurumu	Araştırma ile ilişkisi	Toplantıya Katılma	İmza
Prof. Dr. Melek Güneş YAVUZER (Başkan)	Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon	Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Prof. Dr. Burcu IRMAK YAZICIOĞLU	Moleküler Biyoloji ve Genetik	Haliç Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Doç. Dr. Hatice İlhan Odabaş	Spor Yöneticiliği	Haliç Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Dr.Öğr.Üy. Nevra Alkanlı	Biyofizik	Haliç Üniversitesi Tıp Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Dr.Öğr.Üy. Burcu Türk	Psikoloji	Haliç Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Dr.Öğr.Üy. Gülcan Kendirkıran	Hemşirelik	Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Dr.Öğr.Üy. Seda Saka	Fizyoterapi ve Rehabilitasyon	Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
Dr.Öğr.Üy. Çiğdem Yıldırım Maviş	Gıda Mühendisliği	Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☐ Hayır ☐	
Dr.Öğr.Üy. Maral Törenli Çakıroğlu	Hukuk	Haliç Üniversitesi İşletme Fakültesi	Var ☐ Yok ☒	Evet ☒ Hayır ☐	
ETKU:10					

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kaan Aslım

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu : Lisans

Lisans : Bahçeşehir Üniversitesi 2019

Yüksek Lisans : Haliç Üniversitesi 2021-2024

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar : Rota Teknik Mak. San. ve Tic. A.Ş. 2017

PRÜFTECHNIK Proaktif Bakım
Teknolojileri ve Hizmetleri San. ve Tic.
A.Ş. 2018

Yayınları (SCI) :

Yayınları (Diğer) :

Araştırma Alanları : Robot kollar, otonom mobil robotlar, insansı
robotlar, mekatronik sistemler, EEG