

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALTI
EKSENLİ ROBOT KOL İLE ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME
VE YAPAY ZEKA TABANLI TASNİFLENMESİ**

Zekeriya KAYA

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY**

**II. Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Koray ÖZSOY**

ISPARTA - 2023



© 2023 [Zekeriya KAYA]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Robot ve Robotik Sistemlerin Tarihçesi	1
1.2. Endüstriyel Robotlar	2
1.3. Kontrol Döngüsü Tipine Göre Robotlar	3
1.3.1. Açık döngü kontrol sistemi	3
1.3.2. Kapalı döngü kontrol sistemi	4
1.4. Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Robotik Sistemler	6
1.4.1. Scara koordinatlı robot kol.....	6
1.4.2. Kartezyen koordinatlı robot kol	7
1.4.3. Silindirik robot kol	7
1.4.4. Küresel robot kol.....	8
1.4.5. Eklemlili koordinatlı robot kol.....	9
1.5. Robot Kolun Kullanım Alanları.....	9
1.5.1. Robotik sistemlerin avantajları	9
1.5.2. Robotik sistemlerin dezavantajları.....	10
1.6. Robot Sistemlerde Python Programlama Dilinin Kullanımı.....	11
1.7. Robot Kolların Programlamasında Kullanılan Python Kütüphaneleri.....	11
1.8. Görüntü İşleme.....	11
1.8.1. Görüntü işleme aşamaları.....	11
1.8.2. Görüntüde alan bulma	12
1.9. Eklemeli İmalat ve Üç Boyutlu Yazıcılar	12
1.10. Üç Boyutlu Baskı	13
1.11. Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinde Üretim Süreci	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. S7 1200 PLC'ler ile Motor Kontrolü	24
3.2. Temel PLC sistemleri	25
3.2.1. Merdiven programları	25
3.2.2. Komut listesi programlama	26
3.3. Adım Motorları.....	26
3.4. Adım Motor Sürücü Düzenegi	27
3.5. Kullanılan materyaller.....	29
3.5.1. Polilaktik Asit Malzeme.....	31
3.5.2. Görüntü işlemede kullanılan kameranın özellikleri	32
3.6. CAD Yazılımında Modellerin Tasarlanması	32
3.7. Robot Kol için kullanılan PLC Programı.....	33
3.8. 5+1 Eksenli Robot Kolun Tasarımı, İmalatı ve Kontrolü	35
3.9. Görüntü Yakalama	36
3.10. U ² -Net Yapay Zeka Modeli	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38

4.1. Robot Kol Modellenmesi ve Programlanması	38
4.1.1. Taban şasesi	38
4.1.2. Döner tabla	39
4.1.3. Bağlantı kolu	40
4.1.4. Ön kol.....	40
4.1.5. Bilek	41
4.1.6. Uç işlevci.....	41
4.2. Tia Portal Yazılımı	42
4.3. Tiaportal axis1 kontrolü	42
4.4. Motor Kontrol Projesi Oluşturma	42
4.5. Axis_1 eksen kontrol ayarları	43
4.6. PLC Programında Kullanılan Etiketler.....	46
4.7. PLC Programında Kullanılan Fonksiyonlar	47
4.7.1. MC_Power komutu	47
4.7.2. MC_Home komutu	48
4.7.3. MC_Move Absolute komutu	49
4.7.4. Zamanlayıcı komutu	50
4.8. İleri Kinematik Hesaplamalar	51
4.9. Ters Kinematik Hesaplamalar	52
4.10. Görüntü İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Ürün Tasnifleme Sonuçları.....	57
4.11. Robot Kolun Çalışmasının Doğruluk Analizi	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	66

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALTI EKSENLİ ROBOT KOL İLE ÜRÜNLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY ZEKA TABANLI TASNİFLENMESİ

Zekeriya KAYA

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Koray ÖZSOY

Bu tez çalışmasında, 5+1 serbestlik derecesine sahip bir robot kolunun belirli bir konumdaki ve belirli biçimdeki bir objeyi tespit edip buna göre kontrol sağlaması amaçlanmıştır. Çalışılan teorik ve algoritmik yapının gerçek ve simülasyon uygulamalarında kullanılması hedeflenmiştir. Robot kolun uygulamasında gerçek zamanlı ve akıllı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Tasarım çalışmamızda altı adet step motor kullanılarak robot kol kontrolü gerekli hesaplamalar yapılarak yapılmıştır. Robota gideceği konumu alacağı objeyi bilme yeteneği görüntü işleme teknolojisiyle kazandırılmıştır. Öncelikle robot kol tasarım programlarıyla tasarlanmıştır. Tasarlanan robot kol eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemesi kullanılarak imal edilmiştir. Tasarlanan robot kola uygun motor ve programlama kartı olan programlanabilir mantık denetleyici (PLC) uygulanmıştır. PLC'ye ara yüz yazılımı ile altı eksen programlanmıştır. Robot kolun uzuv uzunlukları ve eksen hareketlerine göre D-H tablosu hesaplanmıştır. Her bir eksen için dönüşüm matrisleri elde edilip ileri ve ters kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada nesnelerin tespiti ve ağırlık merkezleri hesaplamak için görüntü işleme, görüntülerdeki arka planları silmek için ise U²-Net yapay teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen RGB görüntüler üzerinde arka plan silmek için ve nesnelerin renge göre tespit edebilmek için renk uzayları HSV renk uzayına dönüştürülmüştür. Çalışma sonucunda parçaları üretilen ve yazılımı kodlanan robot kol 5+1 serbestlik dereceli eksenle hareket edebilmektedir. Bunun yanında görüntü işleme teknikleri ile cisimleri rengini ayırt edip belirli noktalardaki konumlara hareketlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Görüntü işleme, Robot kol, Yapay zeka

2023, 66 sayfa

ABSTRACT

Master's Thesis

IMAGE PROCESSING AND AI-BASED CLASSIFICATION OF PRODUCTS WITH SIX-AXIS ROBOT ARM MANUFACTURED BY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD

Zekeriya KAYA

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Mechatronic Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bekir AKSOY

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Koray ÖZSOY

In this thesis, it is aimed that a robot arm with 5+1 degrees of freedom can detect an object in a certain position and shape and provide control accordingly. It is aimed to use the studied theoretical and algorithmic structure in real and simulation applications. Real-time and smart applications have been realized in the application of the robot arm. In our design study, the robot arm control was made by using six stepper motors by making the necessary calculations. The ability of the robot to know the object to which it will go, where it will go, has been gained by image processing technology. First of all, it was designed with robot arm design programs. The designed robot arm was manufactured using PLA material with the additive manufacturing method. A programmable logic controller (PLC), which has a suitable motor and programming card, has been applied to the designed robot arm. Six axes are programmed to the PLC with the interface software. D-H table was calculated according to the limb lengths and axis movements of the robot arm. Transformation matrices were obtained for each axis and forward and inverse kinematics calculations were made. In the study, image processing was used to detect objects and calculate centroids, and U²-Net artificial techniques were used to erase the backgrounds in the images. Color spaces have been converted to HSV color space in order to remove the background on the obtained RGB images and to detect objects by color. As a result of the study, the robot arm, whose parts are produced and whose software is coded, can move on an axis with 5+1 degrees of freedom. In addition, image processing techniques distinguish the color of objects and move to positions at certain points.

Key Words: Additive manufacturing, Image processing, Robot arm, Artificial intelligence

2023, 66 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin y¼r¼t¼lmesinde desteğini ve emeğini hiğbir zaman esirgemeyen tez danıŐmanlarım sayın Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY'a ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Koray ÖZSOY'a teŐekk¼rlerimi sunarım. Tezimin her aşamasında yanımda bulunan Osamah Khaled Musleh Salman'a teŐekk¼rlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Zekeriya KAYA
ISPARTA, 2023



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Açık döngü kontrol sistemi.....	4
Şekil 1.2. Kapalı döngü kontrol sistemi.....	5
Şekil 1.3. Scara robot çalışma alanı.....	6
Şekil 1.4. Kartezyen robot çalışma alanı.....	7
Şekil 1.5. Silindirik robotun çalışma alanı.....	8
Şekil 1.6. Küresel robot çalışma alanı.....	8
Şekil 1.7. İnsan kolu ile mafsallı robot kolunun çalışma alanı.....	9
Şekil 1.8. Görüntü işleme adımlarının gösterimi.....	12
Şekil 1.9. Görüntü eşleme yöntemlerinden görüntüde alan bulma örneği.....	12
Şekil 1.10. Eklemeli imalat sürecinin genel yapısı.....	14
Şekil 3.1. S7 1200 PLC cihazı ve birimleri.....	24
Şekil 3.2. Step motor uçlarının bağlantısı.....	26
Şekil 3.3. Step motor uçlarının bağlantısı.....	27
Şekil 3.4. TBA6600 step sürücü.....	28
Şekil 3.5. Step sürücü bağlantısı ve deep switch konumları.....	28
Şekil 3.6. TBA6600 bağlantı şeması.....	29
Şekil 3.7. Dişli imal edilirken 3B yazıcı görüntüsü.....	29
Şekil 3.8. Ön kol imal edilirken 3B görüntüsü.....	30
Şekil 3.9. Kullanılan kameranın görüntüsü.....	32
Şekil 3.10. Döner eksen, bağlantı kolu, ön bilek CAD modeli.....	33
Şekil 3.11. PLC programı akış şeması.....	34
Şekil 3.12. Çalışmanın iş akış diyagramı.....	36
Şekil 4.1. Robotun temel bileşenleri.....	38
Şekil 4.2. Taban şasesi.....	39
Şekil 4.3. Döner tabla.....	39
Şekil 4.4. Bağlantı kolu.....	40
Şekil 4.5. Bağlantı kolu.....	41
Şekil 4.6. Robot kolu bileği.....	41
Şekil 4.7. Uç işlevci.....	42
Şekil 4.8. Technology Object, Add nev object.....	43
Şekil 4.9. Teknoloji objesi tanımlama ve teknoloji objesinin bölümleri.....	43
Şekil 4.10. Eksen teknolojisi PTO ayarları.....	44
Şekil 4.11. Motor mekanik ayarlarının yapılması.....	44
Şekil 4.12. Axis-1 step motor çalışma limitlerinin belirlenmesi.....	45
Şekil 4.13. Kol step motor dinamik ayarlarının yapılması.....	45
Şekil 4.14. Mod 0 home işlemi.....	46
Şekil 4.15. Axis-1 step motorunun manuel home konumuna getirilmesi.....	46
Şekil 4.16. PLC etiketleri.....	47
Şekil 4.17. MC_Power komutu.....	48
Şekil 4.18. MC_Home komutu.....	49
Şekil 4.19. MC_Move absolute komutu.....	50
Şekil 4.20. Düz zamanlayıcı komutu.....	50
Şekil 4.21. Ters kinematik.....	51
Şekil 4.22. Ters kinematik.....	53
Şekil 4.23. Ters kinematik.....	54
Şekil 4.24. Ters Kinematik.....	55
Şekil 4.25. Görüntü işleme ile nesne tespiti ve konum bilgileri hesaplama.....	57

Şekil 4.26. U ² -Net ile arkaplan silme işlemi	58
Şekil 4.27. Çalışmada kullanılan nesnelər	58
Şekil 4.28. Robot kolun çalışmasının doğruluk analizi.....	59



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. S7 1200 PLC özellikleri.....	25
Çizelge 3.2. T6600 motor sürücüsünün teknik özellikleri	27
Çizelge 3.3. 3B yazıcının teknik özellikleri.....	30
Çizelge 3.4. PLA ve filamentlerin teknik özellikleri	31
Çizelge 3.5. Dilimleme ve baskıda kullanılan parametreler	31
Çizelge 4.1. MC_Power komut parametreleri	48
Çizelge 4.2. Homing modları	49
Çizelge 4.3. MC_Move absolute komutu parametreleri	50
Çizelge 4.4. D-H tablosu.....	51



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim
D-H	Denavit-Hartenberg
FDM	Kaynaşmış Birikme Modellemesi
HMI	İnsan-Makine Arayüzü
PLA	Polilaktik Asit
PLC	Programlanabilir lojik kontrolör
PTO	Puls Train Output
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
Scara	Selective compliance assembly robotic arm
SLS	Selektif Lazer Sinterleme
TIA	Entegre Otomasyon
3B	3 boyutlu



1. GİRİŞ

1.1. Robot ve Robotik Sistemlerin Tarihçesi

“Robot” kelimesi ilk olarak 1921 yılında Çek yazar Karel Capek’in tarafından bir tiyatro oyununda “robota” şeklinde telaffuz edilmiş olup “zorla çalıştırılan işçi” anlamını taşımaktadır. Robot kelimesi birçok programlanmış hareketlerle aletleri, özel cihazları, malzemeleri ya da parçaların taşınması amacıyla tasarımı gerçekleştirilen birçok işlevi bulunan makine olarak ifade edilmiştir (Barutçuoğlu, 2001). Amerikan Robot Enstitüsü tarafından yapılan tanımlamaya göre robot kelimesi; parçaların, malzemelerin ve araçların hareketinin sağlanması amacıyla tasarlanan çok fonksiyonlu, programlanabilir manipülatör ya da çeşitli komutları gerçekleştirebilmek amacıyla değişken programlı hareketleri yapabilen bir mekanizma olarak da tanımlanabilmektedir (Özsoy, 2012). Robot kelimesinin en kapsamlı tanımı ve sınıflandırılması ISO 8373 standartlarına göre bireylerin sürekli bir biçimde kendilerine yararı olacak araç ve gereçleri ortaya çıkarma isteği bitkilere, hayvanlara ve özellikle bireylerin kendine benzer cihazları oluşturma aşamasına kadar birçok parametreyi içermektedir (Acar, 2007). Çoğunlukla roman ve efsanelerde sıklıkla ifade edilen robot düşüncesi aynı yıllarda bireylere yardımcı olması için planlanarak tasarımı yapılmıştır (Özmen, 2018; De Backer vd., 2018). Yunan düşünür Aristoteles M.Ö. IV. yy. da ifade etmiş olduğu; eğer her araç yapması tanımlanan her işi kendi gerçekleştirebilseydi, bireylere gereksinim duymadan birçok işlerin gerçekleştirilebileceği düşüncesinden ilk defa otomasyon kavramını ortaya çıkmıştır. (Barutçuoğlu, 2001). Bu bağlamda tarihin farklı zaman dilimlerinde mekanik çalışan robotlar üzerine yaklaşımlar 20. yüzyılda ortaya çıkmıştır. Robotlar ilk olarak 1900’lü yıllarda robotlardan dokuma tezgahlarında işleri kolaylaştıran iş makineleri olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak esas olarak ulaşılmak istenen bireylerin yapmış olduğu işleri yapabilen robotların oluşturulması olmuştur. Konu ile ilgili ilk çalışmalar General Motors’un otomotiv endüstrisinde montaj faaliyetlerinde robotların kullanılması olmuştur (Acar, 2007). Robotun tanımından ve tarihteki kullanımı için öngörülen alanlardan yola çıkılarak günümüzde robotik olarak adlandırılan yeni bir bilim dalı ortaya çıkmıştır. Robotik bilim dalı geleneksel mühendislik sınırları ile kesişen yeni bir modern teknoloji alanı olarak açıklanmaktadır. Robotik bilim dalı;

makine, bilgisayar ve elektronik alanlarının birleşiminden oluşmaktadır. Ayrıca karar vererek fiziki faaliyetler ile bir görevi gerçekleştirerek bireylerin yerini doldurabilecek makinelerle ilişkin çalışmaları da kapsamaktadır (Ersöz, 2007). Robotik alanındaki gelişmelerde uzaktan kumanda ve sayısal kontrol kavramları önemli bir yer tutmaktadır. Konu ile ilgili John Parson'ın geliştirmiş olduğu uzaktan kumandalı makineler 1940'larda Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nce sonrasında ise Atom Enerjisi Kurumu'nda, radyoaktif maddeler ve endüstriyel sektörler gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Ayberk, 2001; Alp, 2012; Berki, 2013). Robotik sistemler 1954 yılında Cyril Walter Kenward ile patenti alınarak ilk "endüstriyel robot" olarak adlandırılan bir sistem tasarlanmıştır (Yılmaz, 2010). Ancak robotik eylemleri tanımlayabilmek için geçmişten, dördüncü sanayi devrimine kadar olan sürecin iyi bir biçimde analiz edilmesi gerekmektedir. Sanayi devrimi üretim miktar ve şekillerini etkileyen aynı zamanda değiştirebilme potansiyeline sahip teknolojik değişimleri kapsayan bir süreç olarak ifade edilmektedir (Kalkan, 2018). Bu bağlamda fizik mühendisleri George C.Devol ve Joseph F. Engelberger parça aktarım robotu yaparak neticesinde "Unitmate" isminde ilk robotik firmasını kurmuşlardır. Unitmate firmasının kurulmasından sonrasında ise dünyada özellikle de Avrupa, Japonya ve ABD'de birçok işletme robotik üzerine çalışmalar başlatmışlardır. Ayrıca bu gelişmelere paralel olarak robotik bilimine Stanford akademisi tarafından geliştirilen ilk uygulama dili sayılan WAVE yazılım dili geliştirilmiştir (Yılmaz, 2010). Robotlar çalışma prensiplerine göre, kontrol yöntemleri, eklem yapıları, işlevsel özellikleri ve kullanım alanları olmak üzere farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Tarihsel gelişime bağlı olarak endüstriyel robotlar ve mobil robotlar olarak kronolojik olarak sıralanıp aşağıda alt başlıklarda detaylı bir biçimde incelemiştir (Buğday, 2018; Özmen, 2018; De Backer vd. 2018).

1.2. Endüstriyel Robotlar

Endüstriyel robotlar ISO 8373 standartlarına göre; üç ya da daha çok programlanabilir eksene sahip, birçok amaca hizmet eden, otomatik kontrol edilebilir, herhangi bir yerde sabitlenebilen ya da tekerlekleri olan endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen manipülatörler olarak tanımlanmıştır. Programlanabilir endüstriyel robotların kendi başına iş yapabilmeleri özellikleri olmasından dolayı montaj, imalat, taşıma ve kesme gibi pek çok işlemi gerçekleştirebilmektedir. Bu nedenle endüstriyel robotların kullanımı

sanayide işçilik maliyetlerinin azaltmanın yanı sıra üretim miktarlarını da büyük ölçekte arttırmıştır. Robotların kullanılmaya başlanması ile bireylerin hata paylarının önemli olduğu, bireylerin yaşamında tehlikeye neden olan ve dikkat gerektiren faaliyetlerde yüksek başarımlı, tekrarlı ve tutarlı neticeler sağlanmıştır (Şahin, 2006). Endüstriyel robotların en çok tercih nedenleri arasında araba, uçak, buzdolabı, telefon, gibi topluma hizmet etmesi beklenen araç, gereç ve benzeri ürünlerin üretilmesini kısa zamanda ve hatasız bir biçimde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir (Özel, 2022). Kullanım alanı günden güne artış gösteren endüstriyel robotlar; eklem yapılarına, güçlerine, hareket potansiyellerine, işlevlerine, hassasiyetlerine, boyutlarına, kontrol yöntemlerine ve kullanmış oldukları enerjiye göre farklı biçimlerde sınıflandırmaktadır. Fakat genel olarak yapılan sınıflandırmaya göre ilk üç uzvunun özelliğine göre scara tip, döner mafsallı, küresel, silindirik ve kartezyen olarak sınıflandırılmaktadırlar (Şahin, 2006; Koca vd. 2009; De Backer vd. 2018).

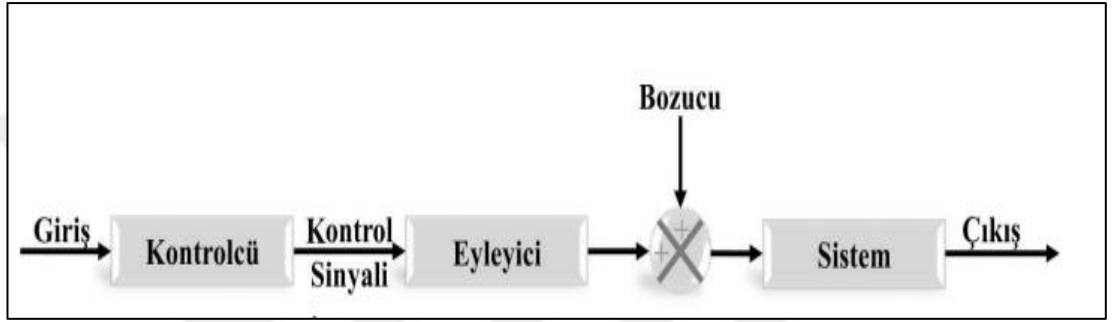
1.3. Kontrol Döngüsü Tipine Göre Robotlar

Kontrol sistemi robotların gerçekleştireceği faaliyetlerdeki giriş değişkenlerine bağlı görevlerini gerçekleştirmektedirler. Bu nedenle kontrol döngüsü; açık döngü kontrol sistemi ve kapalı döngü kontrol sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Açık döngülü ve kapalı döngülü sistemlere ait bilgiler aşağıdaki alt başlıklarda detaylı bir biçimde verilmiştir.

1.3.1. Açık döngü kontrol sistemi

Açık çevrim ya da ileri besleme kontrol, sistemleri girişinin çıkıştan bağımsız bir biçimde üretildiği denetim sistemi olarak ifade edilmektedir (Tekin, 2008; Alp, 2012). Diğer bir ifade ile girdi üretimi esnasında sistemin vermiş olduğu cevap dikkate alınmamaktadır. Söz konusu sistemler bozucu giriş etkisinin az olduğu ya da hiç olmadığı durumlarda ve denetlenen sistemin tam anlamıyla modellenemediği şartlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Bilgiç, 2018). Örnek olarak robot kolun bir malzemeyi belirlenen bir konumdan alıp, belirlenen diğer bir konuma taşıma işlemi gerçekleştirmesi açık döngülü bir sisteme örnek olarak verilebilir. Açık döngülü taşıma sistemlerinde taşıma esnasında sürekli 500 gramlık malzemeyi taşıyacakmış gibi uç elemanına kuvvet sağlamaktadır. Dolayısıyla robotun yükü ne olursa olsun

sürekli 500 grama denk olan kuvveti uç elemanına sağlanmaktadır. Örneğin taşınması beklenen yükün ağırlığı 300 gram olursa robot uç elemanına sağlanacak kuvveti azaltmamaktadır. Bu nedenle kuvvet tasarrufu yapılması beklenen sistemlerde açık döngü kontrol sistemi tercih edilmemektedir. Yukarıda verilen örneğin tam tersi olarak taşınacak yükün ağırlığı 1 kilogram olarak belirlendiğinde ise robotun uç elemanına sağlamış olduğu kuvvetin arttırması gerekmektedir. Ancak açık döngü kontrol sisteminde duruma göre ek kuvvet sağlamamaktadır (Alp, 2012). Şekil 1.1’de açık döngü kontrol sistemi gösterilmiştir (Bilgiç, 2018).



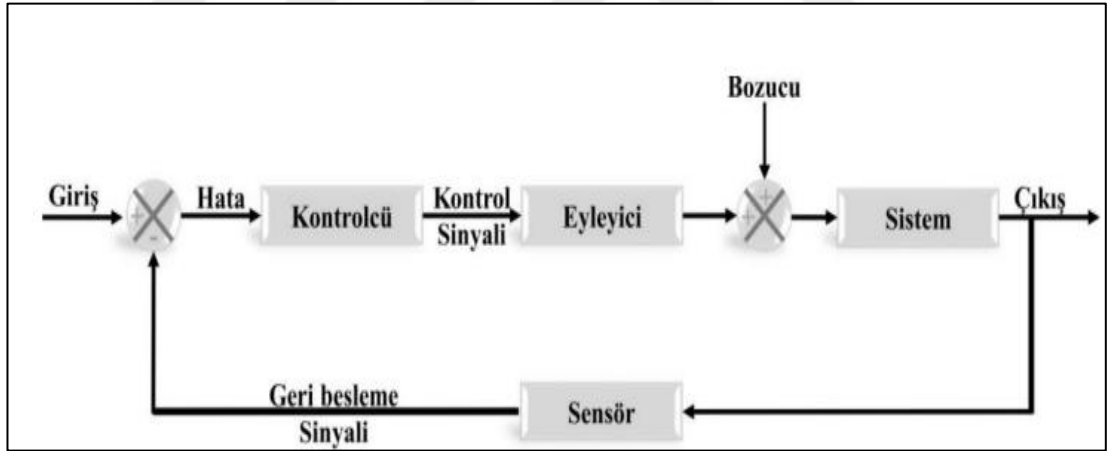
Şekil 1.1. Açık döngü kontrol sistemi (Bilgiç, 2018)

Şekil 1.1 incelendiğinde giriş; kontrol sisteminin başlangıcı olmakla birlikte çıkışta ulaşılmak istenen durumu açıklamaktadır. Kontrolcü, giriş değerini uygun kontrol sinyaline dönüştürerek eyleyici için hazırlamaktadır. Eyleyici veya diğer bir ifade ile hareket üretici sistemden çıkış sağlamak amacıyla sisteme daha fazla fiziki hareket sağlamaktadır. Bozucu giriş; ortamda bulunan titreşim, gürültü gibi sistemden çıkış işlemini olumsuz biçimde etkileyen dış kaynaklı girdiler şeklinde ifade edilmektedir (Bilgiç, 2018).

1.3.2 Kapalı döngü kontrol sistemi

Kapalı çevrim kontrol sistemleri ya da kapalı döngü kontrol sistemleri “sistemi etkileyen kontrol işaretinin sistem çıkışında da göz önüne alınarak üretildiği” sistemler şeklinde tanımlanmaktadır (Tekin, 2008). Diğer bir ifade ile sistemin vermiş olduğu cevabın tasarımcı tarafından belirlenerek, örnekleme zamanı şeklinde adlandırılıp belirlenen zaman aralıklarında karşılaştırma elemanında değerlendirilmesi yapılarak yeniden girdi üretilmektedir. Söz konusu sistem değişen çalışma şartlarına sahip ya da bozucu girişlerin etkilerinin çok olduğu sistemlerde daha fazla

kullanılmaktadır. Çıkış değişkenleri sürekli olarak ölçülüp kontrol sinyali üretildiğinden değişken şartlara ve bozucu girişlere karşı denetleyici performansı açık çevrim kontrolcülere göre daha başarılı olmaktadır. Ancak sistemin tasarımları karmaşık olmakla birlikte çıkış durumlarının ölçülmesi amacıyla ek sensörlere gereksinim duyulmasından dolayı maliyetleri artmaktadır. (Bilgiç, 2018). Kapalı döngü kontrol sistemleri, açık döngü kontrol sistemlerinin tersine çıkışın giriş üzerinde etkisi bulunmaktadır. Çıkışta oluşan değişimler robotun daha sonraki hareketi üzerinde etkili olmakta ve durumunu değiştirebilmektedir. Açık döngü kontrol sistemlerinde ele alınan örnek göz önünde bulundurulduğunda aynı şartlarda kapalı döngü kontrol sistemi tercih edilmiş olsaydı robotun uç elemanına bağlı yükte azalma olduğunda hemen girişe bu durum bildirileceğinden dolayı uç elemanına sağlanan kuvvet azalmaktadır. Benzer bir biçimde robotun uç elemanına bağlı yük artış gösterdiğinde bu durum girişe bildirilecek ve uç elemanına sağlanan kuvvette artış olacaktır (Borovic vd., 2005). Şekil 1.2’de basitleştirilmiş biçimde kapalı döngü kontrol sistemi gösterilmiştir (Bilgiç, 2018).



Şekil 1.2. Kapalı döngü kontrol sistemi (Bilgiç, 2018)

Şekil 1.2 incelendiğinde kapalı döngü kontrol sisteminde yer alan giriş; çıkışta ulaşılması hedeflenen durumu ifade etmektedir. Kontrolcü ise eyleyici için giriş işaretini uygun kontrol sinyaline dönüştürmektedir. Eyleyici diğer bir ifade ile hareket üretici sistemden çıkış yapabilmek amacıyla sisteme daha fazla fiziksel hareket sağlamaktadır. Bozucu giriş; ortamda bulunan titreşim, gürültü gibi sistemden çıkış işlemini olumsuz biçimde etkileyen dışardan kaynaklanan girdiler şeklinde ifade edilmektedir. Geri besleme ya da sensör elemanı sistemin cevabını ölçerek

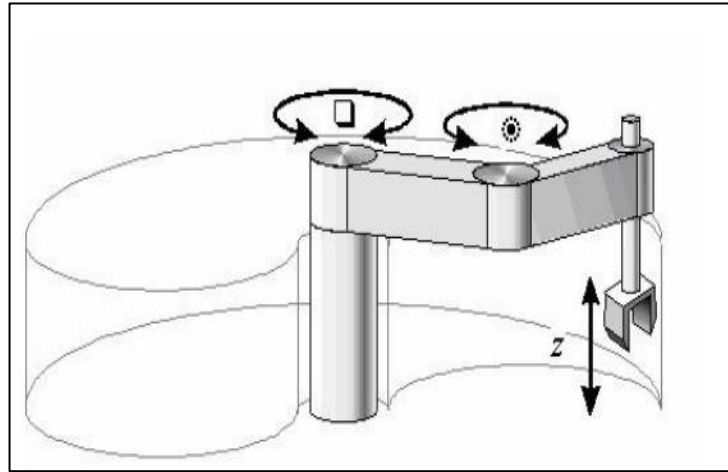
karşılaştırma elemanına iletmekte ve hata değerini hesaplamaktadır. Sonrasında ise kontrolcü meydana gelen hata durumuna göre tekrardan kontrol sinyali üretmekte ve çevrim belirli aralıklar ile tekrarlanmaktadır (Bilgiç, 2018).

1.4. Endüstriyel Tesislerde Kullanılan Robotik Sistemler

Robotik sistemler yapısına göre döner mafsallı, silindirik, scara, kartezyen, küresel, olarak sınıflandırılmaktadır (Şahin, 2006). Aşağıdaki alt başlıklarda yapılarına göre sınıflandırılan robotik sistemler detaylı bir biçimde ele alınmıştır.

1.4.1. Scara koordinatlı robot kol

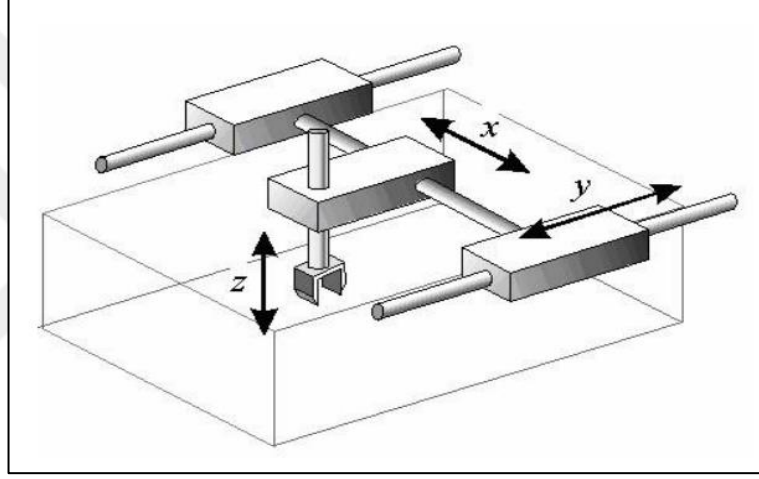
“Selective Compliant Articulated Robot Arm” kelimelerinin ilk harflerinden oluşturulmuş robotik sisteme scara koordinatlı robotik sistem adı verilmiştir. Scara robot sistemler pnömotik kol ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Elektrik motoru, Scara robotun kendi eksenini etrafında dönebilmesini sağlamaktadır. Scara robotların en önemli özelliklerinden birisi de çalışma hızlarının yüksek olmasıdır. (Buğday, 2018; Keşkekçi, 2019). Şekil 1.3’te scara robotun çalışma alanı verilmiştir (Çengelci ve Çimen, 2005).



Şekil 1.3. Scara robot çalışma alanı (Çengelci ve Çimen, 2005)

1.4.2. Kartezyen koordinatlı robot kol

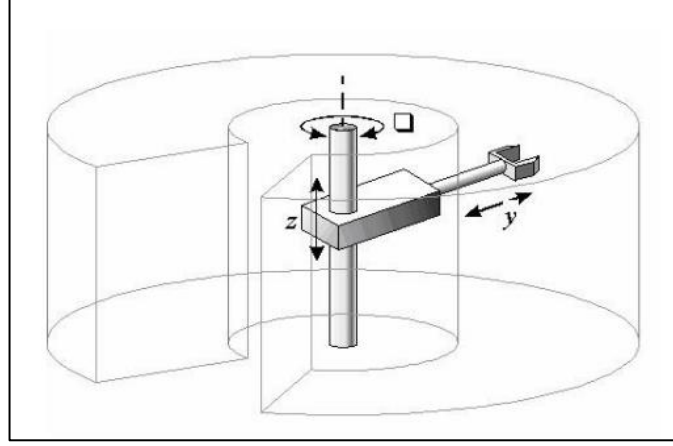
Kartezyen koordinatlı robot kolları, x , y , z eksenlerinde taşıma, tutma, hareket gibi işlemleri yapabilen robot kollar olarak tanımlanmaktadır. Kartezyen koordinatlı robot kollarda, kolun ilk üç eklemının birbirine dik prizmatik eklemlerden oluştuğu bir düzlem ile ifade edilmektedir. Bu nedenle eleman ve bileşenlerin eklenmesi oldukça kolaydır. Bunun yanında robotun kendi gövdesine uzama şansı yoktur. Şekil 1.4'te kartezyen robotun çalışma alanı gösterilmiştir (Çengelci ve Çimen, 2005; Keşkekçi, 2019).



Şekil 1.4. Kartezyen robot çalışma alanı (Çengelci ve Çimen, 2005)

1.4.3. Silindirik robot kol

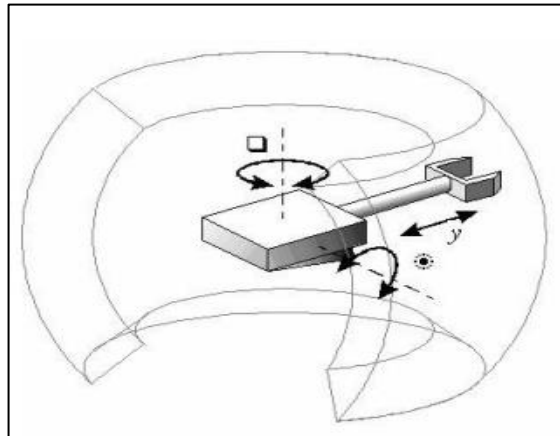
Silindirik robot kolları x , y , z eksenlerinde doğrusal hareket edebilecek bir biçimde tasarımı yapılan robotlar olarak tanımlanmıştır (Buğday, 2018). Şekil 1.5'te silindirik robot kolun çalışma alanı gösterilmiştir. İlk eklem dönel olmasından dolayı diğer robot kollara göre daha hızlı çalışmaktadır. Ayrıca silindirik robotların kinematik eşitlikler ve kontrolü oldukça kolaydır (Çengelci ve Çimen, 2005; Keşkekçi, 2019).



Şekil 1.5. Silindirik robotun çalışma alanı (Çengelci ve Çimen, 2005)

1.4.4. Küresel robot kol

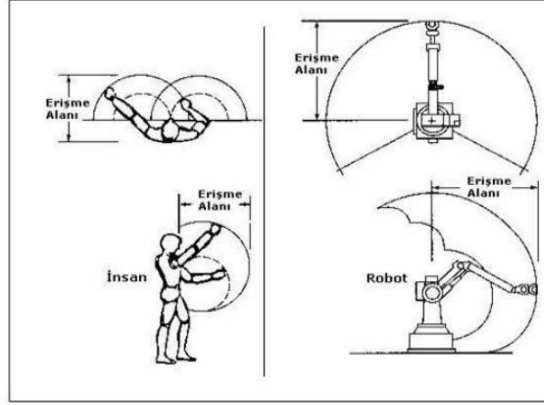
Biri doğrusal, ikisi küresel eksen olmak üzere toplam üç eksenenden oluşan robot kollarıdır. Doğrusal ekseninde uzama ve kısalma hareketi, küresel ekseninde ise dönme hareketi yapılmaktadır. Tıpkı scara düzleşim gibi endüstride sıklıkla tercih edilen bir robotik koldur. Çalışma uzayları oldukça büyük ve kinematik denklemleri nispeten karmaşıktır. Çalışma hassasiyeti her noktada aynı değildir. Silindirik ve kartezyen robot kollarına göre daha kompleks bir yapıları bulunmaktadır. Şekil 1.6'da küresel robot kolunun çalışma alanı gösterilmiştir (Çengelci ve Çimen, 2005; Buğday, 2018; Keşkekçi, 2019).



Şekil 1.6. Küresel robot çalışma alanı (Çengelci ve Çimen, 2005)

1.4.5. Eklemlı koordinatlı robot kol

Eklemlı koordinatlı robot kolu insan kolundan esinlenilerek tasarlanmıştır. Eklem koordinatlı robotlar, insan kolunun sahip olduğu hassasiyet ve esnekliği taşımaktadırlar (Buğday, 2018). İnsan kolu ile mafsallı robot kolunun çalışma alanı Şekil 1.7’de gösterilmiştir (Alp, 2012).



Şekil 1.7. İnsan kolu ile mafsallı robot kolunun çalışma alanı (Alp, 2012)

1.5. Robot Kolun Kullanım Alanları

Robot kollar, özellikle kesme, boyama, taşıma ve konumlandırma gibi birçok endüstriyel alanda sıklıkla tercih edilmektedirler. Ayrıca robot kollar endüstriyel alanların dışında tarım, hayvancılık, maden, metal endüstrisi, gıda, tekstil, ilaç sanayi, elektronik, eğitim, tıp gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Keşkekçi, 2019).

1.5.1. Robotik sistemlerin avantajları

Robotik sistemler toplum ve akademik alanda yararları aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Bhbosale vd., 2020):

- Programlama, kendi kendine yazma, kendini değiştirme gibi özellikleri sayesinde olası hataları engellemeleri.
- Robotların yemek ve mola gibi insani ihtiyaçlara gerek duymamaları.

- Robotlar insanlar gibi yorulma problemleri yaşamadıkları için uzun süre çalışacak şekilde yeniden programlanabilmeleri.
- Tehlikeli durumlarda inisiyatif alarak koruma sağlayabilmeleri (Ersöz, 2007).
- Robotik ve yapay zeka bilimi, madencilik gibi risk taşıyan meslek gruplarında insanların yerine kullanılabilmesi.
- Robotlar işlemlerin insanlara göre daha başarılı ve hızlı bir biçimde gerçekleştirebilmelerinden dolayı zamandan tasarrufu sağlamaları.
- Yapay zeka teknolojisi ile birlikte endüstrilerde ve şirketlerde kullanılabilmesi (Ersöz, 2007).

1.5.2. Robotik sistemlerin dezavantajları

Robotik sistemler dezavantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Bhbosale vd., 2020):

- Ekipmanları oldukça maliyetli olduğu için geliştirilmeleri oldukça zor olması.
- Robotik sistemlerin oluşturulması, yeniden inşa edilmesi ve onarılmasının oldukça maliyetli olması.
- Robotik sistemlerin kullanım alanlarının artması ile birlikte toplumda işsizlik problemlerine sebep olabilme düşüncesi.
- Robotik sistemlerin deneyimsiz personeli tarafından kullanılmasından kaynaklanan problemler (Ersöz, 2007).
- Robotik sistemlerin tekrar eden görevler ve diğer işlerde sistemin çoğunlukla robot tarafından değiştirilmesinden dolayı kullanım standartlarında oluşan problemler.
- Makinelerin insanlarla önemli bir bağ geliştirememesi.
- Robotik sistemler tasarlandıkları veya programlandıkları görevleri yerine getirebilmeleri ancak bunun dışındaki gerçekleşen tüm olaylarda bir çözüm üretmemeleri işletmelerde farklı problemlere sebep olabilmektedir (Ersöz, 2007).

1.6. Robot Sistemlerde Python Programlama Dilinin Kullanımı

Python, ilk sürümü Guido van Rossum tarafından 1991’de ortaya konulmuş genel amaçlı bir programlama dilidir. Yorumlanan ve dinamik bir dil olan Python, esas olarak prosedürel ve nesne tabanlı programlama yaklaşımlarını ve belli bir oranda da fonksiyonel programlamayı desteklemektedir (Dierbach, 2012; Malkoç, 2012; Resinovič, 2015; Ayvaz vd. 2016).

1.7. Robot Kolların Programlamasında Kullanılan Python Kütüphaneleri

Tez çalışmasında robot kolun görüntü işleme aşamaları için Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilen yazılımda OpenCv, os, numpy ve PIL kütüphaneleri kullanılmıştır.

1.8. Görüntü İşleme

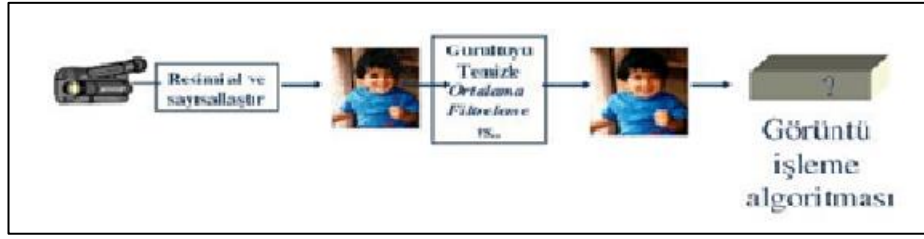
Üç boyutlu nesnelere oluşan bir anın basit iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanmasına “görüntü” adı verilmektedir. Başka bir ifade ile üç boyutlu nesnenin iki boyutlu haritası olarak da tanımlamak mümkündür. Sayısal görüntü işleme, bilgisayar ile çalışan birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Görüntü işleme teknikleri ile sayısal görüntü verileri kullanılarak düzeltilmiş, iyileştirilen görüntüler üzerinde analizler yapılmaktadır. Ayrıca nesne tanıma işlemleri de görüntü işleme teknikleri ile gerçekleştirilebilmektedir (Samtaş ve Gülesin, 2011).

1.8.1. Görüntü işleme aşamaları

Görüntü işlemenin aşamaları Şekil 1.8’de gösterilmiştir. İlk aşamada olarak sayısallaştırılan görüntünün griye çevrilmesi ile gürültü temizleme işlemi uygulanmıştır. Gürültü temizleme işleminden sonra ise farklı filtreleme yöntemleri ve farklı algoritmalar uygulanarak yeni görüntülerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Görüntü işleme kullanılarak yapılan tüm işlemler, görüntü üzerindeki en küçük görüntü elemanı olan pikseller üzerinde gerçekleştirilmektedir (Karakoç, 2011). Aşağıda görüntü işleme temel işlemlerinin özeti maddeler halinde verilmiştir.

- Görüntüden gürültüyü kaldırmak,

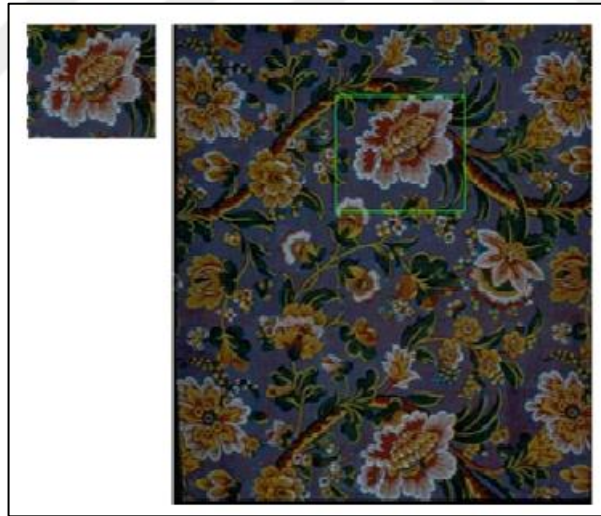
- Kontrast ve renk ayarlanması,
- Bulanıklaştırma ve keskinleştirme.



Şekil 1.8. Görüntü işleme adımlarının gösterimi (Karakoç, 2011).

1.8.2. Görüntüde alan bulma

Görüntü de alan bulma; eldeki görüntünün başka bir görüntüdeki yerinin bulunması olarak tanımlanmaktadır. Görüntüdeki bir bölümün başka bir görüntüdeki yerinin belirlenmesi işlemine ise görüntüde alan bulma adı verilmektedir. Şekil 1.9’da görüntü alan bulma örneği gösterilmiştir (Karakoç, 2011).



Şekil 1.9. Görüntü eşleme yöntemlerinden görüntüde alan bulma örneği (Karakoç, 2011).

1.9. Eklemeli İmalat ve Üç Boyutlu Yazıcılar

1984 yılında Charles Hull tarafından ilk üç boyutlu yazıcı geliştirilmiştir. İlk geliştirilen üç boyutlu yazıcı SLA-250 olarak adlandırılmıştır. Yine aynı yıl SLS ve FDM yöntemleri keşfedilmiştir. 1993 yılında ilk renkli baskılar Massachusetts Institute

of Technology (MIT) tarafından geliştirilen Three Dimensional Printing (3DP) teknolojisi ile geliştirilmiştir. Bu yöntemde, iki boyutlu yazıcılarda kullanılan mürekkep teknolojisine benzer bir yöntem kullanılmıştır. 1996 yılında yüksek çözünürlüklü modeller üretebilen ilk üç boyutlu yazıcılar Z Corporation firması tarafından tasarlanmıştır. İlk açık kaynak kodlu üç boyutlu yazıcı ise 2007 yılında Reprap ismiyle toplumun hizmetine sunulmuştur.

1.10. Üç Boyutlu Baskı

Üç boyut diğer bir ifade ile eklemeli imalat olarak bilinen üç boyutlu baskı, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımına bir prototip eklenerek serbest biçimli yapılar üreten bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Noorani, 2017). Charles Hull üç boyutlu baskı teknolojisinde en yaygın format olan STL (stereolitografik) dosya formatının öncüsü olarak kabul edilmektedir (Gokhare vd., 2017; Schubert vd., 2014). Başka bir ifade ile üç boyutlu baskı veya eklemeli imalat (AM), bilgisayar kontrolleri ile art arda malzeme katmanlarının yerleştirildiği eklemeli işlemler yoluyla bir üç boyutlu modelden veya diğer elektronik veri kaynaklarından herhangi bir şekildeki üç boyutlu nesneyi yapma işlemidir (Schubert vd., 2014). Bir başka tanıma göre üç boyutlu baskı terimi ile eşanlamlı olarak kabul edilen “Katı serbest biçimli fabrikasyon”, bir katkı maddesi tabanlı üretim teknikleri olarak açıklanmaktadır (Au vd., 2016). Üç boyutlu baskı, bir çift gözlük veya diğer üç boyutlu nesnelere gibi bir nesne üretmek için plastik veya metal gibi malzemelerin katmanlar halinde birbiri üzerine yerleştirildiği bir üretim yöntemidir. Bu işlem, iki boyutlu bir nesne üreten geleneksel mürekkep tabanlı yazıcılardan ayrılmaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojisi, öncelikle mühendislik prototipleri oluşturmak için mühendislikte tercih edilmiş olup zamanla kullanım alanı genişlemiştir (Schubert vd., 2014). Üç boyutlu baskı teknolojisi hem endüstriyel hem de ticari dünyada önemli etkiler yaratarak hızlı bir şekilde ilerlemekte ve kullanılmaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojisi kısa sürede çeşitli alanlarda, büyük ölçekli üretimlerde, son derece karmaşık parçaların mühendisliğinde ve hatta kişisel kullanımda tercih edilerek geliştirilmiştir (Su ve Al’Aref, 2018). Ayrıca moda tasarımı, gıda tasarımı, bileşen tasarımı için doku mühendisliği, otomotiv ve havacılık alanlarında geniş uygulamalarla ilgili bir teknoloji olarak da kullanılmaktadır (Gross vd., 2014). Bununla birlikte, baskı malzemelerindeki son gelişmeler artık üç boyutlu yazıcıların geleneksel olarak üretilen öğelerle karşılaştırılabilir nesnelere yapmasına

olarak sağlamıştır. Geleneksel yazıcıların aksine, üç boyutlu baskı, ürünlerin büyük ölçekte kitlesel olarak özelleştirilmesini sağlama potansiyeline sahiptir ve oftalmoloji dahil olmak üzere tıp ile ilgili alanları da kapsamaktadır (Schubert vd., 2014). Üç boyutlu baskı, özel dijital dosyalarda saklanan bilgilere dayalı olarak üç boyutlu yazıcı adı verilen özel cihazların kullanımı yoluyla üç boyutlu fiziksel ürünlerin oluşturulmasını kolaylaştıran bir teknolojidir. Üç boyutlu baskı, yaparak öğrenme olarak da bilinen uygulamalı öğrenmeyi kolaylaştırmaktadır. Bunun yanında planlama ve üretimi birbirine bağlamakta ve dokunulabilen ve kullanılabilen bir prototip oluşturarak gerçekçi üç boyutlu küçük modellerin kalitesi hakkında anında geri bildirim sağlamaktadır (Papp vd., 2016).

1.11. Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinde Üretim Süreci

İki boyutlu katmanların üst üste birleştirilmesi ile üç boyutlu model elde edilmektedir. Eklemeli imalat birçok farklı materyal ve yöntem ile gerçekleştirilebilen bir uygulamadır. İşlem süreci bütün eklemeli imalat cihazlarında benzer şekilde ilerlemektedir. Şekil 1.10'da üç boyutlu yazıcıların çalışma sistemini genel hatlarıyla gösterilmiştir (Özdoğan, 2021).



Şekil 1.10. Eklemeli imalat sürecinin genel yapısı (Özdoğan, 2021)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yıldırım (2022) yapmış olduğu çalışmada araç lastiklerinin jantlara oturduğu kısımlarda bulunan karbon oranı arttırılmış lastik topuk çemberlerini, lastik üretilirken iki çember sarma makinesi arasına altı eksenli bir robot kolu yerleştirmiştir. Çıplak çemberleri robot kolunun alabileceği şekilde, sarımı bitmiş çemberi de robot kolunun bırakabileceği bir şekilde besleme ve toplama olarak iki çember dizim aparatı tasarlamıştır. Mevcut sarma makineleri üzerine, milikenin sarımını çember üzerinde başlatıp, sarımın tamamlanmasından sonra kesmekte ve son parçanın sarımını tamamlayan mekanik bir yapı ilave edilmiştir. Bunun yanında mevcut makine üzerine sarım sayma ve sarım sayısı girilme seçenekleri ilave edilmiştir. PLC tabanlı çalışan sarma makineleri ile robot kontrol ünitesi haberleştirilerek ortak çalışan bir sistem tasarlamıştır. Arıza durumlarında iki makinenin beraber durmaması için, operatör ile de çalışabilme seçeneği de eklenmiştir. Yapılan çalışma ile makinelerde sürekli operatör kullanım ihtiyacı ortadan kalkmış, iki operatörün iş gücünden tasarruf sağlanmış, çember sarımı standart hale getirilmiş, birim sürede sarımı yapılan çember sayısı ortalama %30 oranında arttırılmış ve operatör kaynaklı hatalar ortadan kaldırılmıştır.

Yıldırım (2021) yaptığı çalışmada, Üç serbestlik dereceli PRR (prismatic revolute revolute) scara robot kolun sanal ortamda P, PI, PD ve PID denetleyiciler kullanarak, scara robot kolun verdiği cevapları referans girişi ile kıyaslayarak sistemin verimliliğini incelemiştir. Çalışma simülasyon ile gerçekleştirilmiştir. Üç eksenli robot kolun kinematik hesaplamaları yapılarak, robotun çalışma uzayı, konumu hesaplanarak Matlab yazılımında çözülmüştür. Çalışmada, üç eksenli robot kolun kontrol yöntemlerinde verimlilik üzerine bir karşılaştırma yapılmıştır. Literatürde bu konuda az sayıda çalışma olması dikkate alındığında, optimum çözümün gerekliliği ve kolay sonuca ulaşma gerekliliği düşünülerek, yapılan çalışmanın katkı sağlaması amacıyla yazılmış ve bundan sonra ilgili konuda çalışma yapacaklara referans teşkil etmesi amaçlanmıştır.

Çelebi vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada, geniş bir kullanım alanına sahip olan ve endüstriyel otomasyon sistemlerinden sayılan robot tasarımını ve üretimini ele almışlardır. Yapılan çalışmada altı eksenli robot kolunun tasarımı ve üretimi

hedeflenmiştir. Bu doğrultuda imalat tabanlı ve bilgisayar destekli tasarım yazılımı olan Catia V5 yardımıyla oluşturulmuş planlanan parçaların detaylandırılmış model ve çizimleri yapılmıştır. Söz konusu parçalar üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla polilaktik asit kullanılarak basımı yapılmıştır. Üretilen parçalar uygunluk ve kalite açısından incelenerek montaj aşamasına getirilmiştir. Bilek, tutucu gibi eklem görevi olan bölgeler ile ana döndürme mekanizmalarına servo motorlar yerleştirilerek bu aşama da tamamlanmıştır. Sonrasında ise motorların tanımlanan görevlerini yerine getirebilmesi için Arduino yazılım geliştirme kiti ile programlama işlemi yapılmış, sonrasında ise bütün parçaların birleştirilmesi için rulman ve vida kullanılmıştır. Böylece hedeflenen elektro-mekanik sistemli altı eksenli robot kol üretimi gerçekleştirilmişlerdir.

Attaran (2017) yapmış olduğu çalışmada, eklemeli imalat yöntemlerinin geleneksel üretim yöntemleri göre karşılaştırmalarını ele almışlardır. Yöntemleri üretim hızı, maliyet gibi başlıkları karşılaştırmışlardır. Ayrıca gelecek yıllarda hedeflenen düzeyleri belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada eklemeli imalat yöntemlerinin mevcut durumlarını ve üretim teknolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir.

Gutiérrez vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, hafif bir takma robot kolun tasarımı yapılması hedeflemişlerdir. Bu hedefi gerçekleştirmek için FDM tasarım yöntemini tercih etmişlerdir. Çalışmada bireye özel takma kol tasarımı ve üretimi yapılırken sınırlı bütçeye rağmen bütün işlevlerinin tam olmasına dikkat etmişlerdir.

Kayışlı ve Uğur (2017) yapmış oldukları çalışma, üç serbestlik derecesine sahip robotun uç işlevcisine değişken kuvvet uygulanarak dayanıklılığının test edilmesini hedeflemişlerdir. Çalışmanın amacının gerçekleştirilmesi için bulanık mantık kontrol ve PID kontrol yöntemini tercih etmişlerdir. Bu yöntemde benzetim ortamında tasarımı ve simülasyonu oluşturulan robot kolunun kontrolü bulanık mantık ve klasik PID yardımıyla sağlanmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçları karşılaştırılmalı bir biçimde sunmuşlardır.

El Naser vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada, çapak temizleme özelliği bulunan robot kol tasarımı yapmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla robot kolun uç kısmına çapak temizleyici uyumlaştırılması yapmışlardır. Çalışma kapsamında tasarlanan sistemde

kuvvet kontrolü büyük önem taşımaktadır. Çapak temizleme maksadıyla tasarlanmış olan bu robot kol prototip olmasının yanında parametre değerlerinin değiştirilmesiyle endüstriyel amaçlar doğrultusunda da kullanımı mümkün olmuştur.

Yüzgeç vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, insansı robot kolunun kablosuz bir eldiven sistemiyle uzaktan kontrol etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda üç boyutlu yazıcı aracılığı ile tasarlanan robot kolu imal etmişlerdir. Buna ek olarak uzaktan kontrolün sağlanması için ise özel bir kullanıcı eldiven tasarlamışlardır. Yapılan tasarımın detayında ise bireyin parmak eklem hareketlerinin algılanması amacıyla eldivenin üzerine eğim sensörü eklenmiştir. Robot kolunda tüm parmak eklemlerinin hareketlenmesi için servo motorlardan ve iplerden yararlanılmıştır. Çalışmanın amacı itibarıyla kullanıcı eldivenden robot koluna komutların iletilmesi için kablosuz haberleşme modüllerini kullanmışlardır.

Ayata ve Çakır (2013) çalışmalarında, FPGA tabanlı üç eksenli robot kol kontrolünün araştırılması amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda FPGA mimarisiyle endüstriyel faaliyetlerde tercih edilen robot kolun kontrolünü gerçekleştirilmişlerdir. Gerçekleştirilen uygulama bilgisayar ile ilişkili bir sistem olmadığından robot kol kontrol kartına gereksinim duyulmadan PWM, FPGA üretici şeklinde kullanılmıştır. Böylelikle kontrol kartlarının bilgisayarlara olan ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır. Çalışma kapsamında robot kollarda bulunan beş tane servo motor FPGA geliştirme kartlarının üzerinde bulunan anahtarlar yardımıyla açılarının değiştirilebildiği uygulamalar geliştirmişlerdir. Tasarlanmış olan robot koldaki servo motorların FPGA üzerindeki GPIO (General Purpose Input Output) birimine bağlantısı yapılarak Verilog HDL (Hardware Description Language) kodu yazılmış servo motorların dönüş açısı ve yönü saptanarak bord üzerindeki anahtarlar vasıtasıyla robot kollar harekete geçirilmiştir. Tüm bunların yanında Verilog donanım tanımlama diliyle hazırlanmış olan kod parçaları birleştirilerek işlevli bir modül oluşturmuşlardır. Oluşturulan modüller aracılığıyla bord üzerindeki switchlerin her bir bitlik hareketi ile robot kola 9°'lik açı yaptırılması sağlanmıştır.

Kun (2016) yaptığı çalışmada, FDM yönteminin kullanıldığı bir üç boyutlu yazıcıyla farklı bir üç boyutlu yazıcı oluşturabilmenin mümkün olduğunu ifade etmiştir. Bunun

yanında çalışmada, üretilen parçalarla üç boyutlu model dosyalarını karşılaştırarak yeni üretimi yapılan yazıcının eski yazıcıyla kıyaslama yapmıştır.

Özgür ve Mezouar (2016) yapmış oldukları çalışmada, robot kol kinematik analizinde tercih edilen Denavit-Hartenberg (D-H) yönteminin yanında “birim dört parçalı karmaşık sayılar” yöntemiyle nasıl yapılabileceğini ifade etmişler ve örnek uygulamalar geliştirmişlerdir.

Stansbury ve Idacavage (2016) çalışmalarında, eklemeli imalat kavramı üzerine odaklanmayı amaçlamışlardır. Çalışma doğrultusunda söz konusu kavram tanıtılarak polimerlerle gerçekleştirilen eklemeli imalat yöntemleri hakkında bilgiler sunmuşlardır.

Spadafora vd. (2015)’nin yapmış olduğu çalışma, su altı faaliyetlerinde kullanmak için FDM yöntemi kullanılarak robot el tasarımı ve imalatını üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amaca ulaşip ulaşmadığını prototip dalgıç bir robot üzerine yerleştirerek test etmişlerdir.

Tumbleston vd. (2015) yapmış olduğu çalışmada, yeni bir eklemeli imalat yöntemi olan sürekli sıvı ara yüzü ile imalat (Continuous Liquid Interface Production) teknolojisini ele almayı amaçlamışlardır. Söz konusu yöntemde katman temelli üretimin yerine devamlılık gösteren bir üretim yöntemi bulmuşlardır. Çalışma neticesinde yöntemin klasik üç boyutlu yazıcılara göre yaklaşık olarak yüz kat daha hızlı ve fiziksel dayanıklılığı çok daha yüksek ürün çıktısı elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Havusoğlu (2014) yapmış olduğu çalışmada, robot kol tasarımı, kinematik analiz, etkileşimli kontrol üzerine odaklanmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda robot kolun oluşturulması esnasında alüminyum parçalar, servo motorlar kullanılmıştır. Ayrıca hazırlanan bilgisayar ara yüz programıyla gerçek zamanlı kontrol uygulamaları da geliştirmiştir.

Berki (2013) yapmış olduğu çalışmada, robot kol tasarımını gerçekleştirmiştir. Tasarımı yapılan robot kolun yapay sinir ağlarıyla kontrolünün nasıl sağlanabileceği konusunda çalışmıştır. Çalışma neticesinde robot kollarına ilişkin kontrol sistemi tasarımı için yapay sinir ağlarının alternatif bir yöntem olarak tercih edilebileceği ifade etmiştir.

Güleç ve Ertuğrul (2013) yapmış oldukları çalışmada, insansı robot projelerine ilişkin yalnızca robot kol kısmının tasarımını ve yörünge kontrol için kullanmışlardır. Çalışmanın amacını gerçekleştirmek için SolidWorks programıyla robot kol tasarımı yapılarak Matlab programında robot kola ilişkin kinematik, ters kinematik çözümlerini analitik olarak hesaplamışlardır. Bunun yanında benzetim işlemi için kübik ve trapez hız profiline ait iki farklı yörünge planlaması tercih edilmiştir. Sonrasında ise hareket esnasında ihtiyaç duyulan yaklaşımlı tork değeri hesaplanarak Matlab Simulink ortamında PID kontrol modeli oluşturmuşlardır. Böylece benzetim işlemi neticesinde ihtiyaç duyulan tork miktarlarını tasarım aşamasında tercih edilen dişli ve motor mekanizmaları için karşılayıp karşılamadığı tespit etmişlerdir.

Gündoğdu ve Yücedağ (2013) yapmış oldukları çalışmada, arayüz ya da ses yardımıyla kontrolü sağlanabilecek bir mobil robot kol tasarımını ele almışlardır. Çalışma kapsamında mobil araca robot kol entegre edilmesi ve bu sistemlerin tasarlanan ses sistemi ve arayüzle kontrolü sağlanarak daha hızlı ve verimli duruma getirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma amacının gerçekleştirilmesi için ilk olarak robot kol bulunan bir mobil araç tasarlanmış, daha sonra ise tasarlanan mobil aracın ve robot kolun arayüz ve ses komutlarıyla kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrol sonucunda, kontrol sistemi ile ses komutlarıyla, arayüz ile kontrol sistemine kıyasla daha verimli olduğu belirtmişlerdir.

Xia ve Fu (2013), yapmış oldukları çalışmada, kartezyen pnömotik robotun sürekli olarak kayan kipli denetimi (SMC) araştırmışlardır. Araştırma kapsamında ilk olarak SMC tasarımına ilişkin literatür bilgisi verilerek ardından doğrusal ve doğrusal olmayan pnömotik robotlara ait bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmada açık kapalı döngü testleri de gerçekleştirmişlerdir.

Alp (2012)'in yapmış olduğu çalışmada, bir adet tutucu ve üç eksene sahip olan bir robot manipülatörü ile insansı el hassasiyetini kazandırmak amacıyla ivme ölçer sensörlerden iletilen komutlar ile yönlendirmesi yapılan mikroişlemci tabanlı PIC ile kontrolü sağlanabilen servo motor sürücü kart tasarımını gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmanın amacına ulaşabilmesi için robot manipülatörün tasarımında Dassault Systems şirketinin geliştirmiş olduğu Solidworks programı tercih etmiştir. Beş adet servo motoru sürebilen motor sürücü kartı baskı devre tekniğiyle üretilerek tasarımları Eagle ve Proteus çizim programlarında tasarlanarak çizilmiştir. Motor sürücü kartının donanımı ve insansı el hassasiyeti göz önünde bulundurularak freescale şirketi tarafından tasarlanan orta sınıf üç eksenli ivme ölçer sensörlerin seçimi ile sağlamıştır. Robot kollarının uzuvları ve gövdelerinin yapımında kestamid, alüminyum parçalar ve pleksiglas malzemeler seçilerek Solidworks'te tasarımı yapılan parçaların lazer kesim ile üretimi yapılmıştır. Yüksek yatırım tutarları ile profesyonel bir biçimde oluşturulması durumunda robot prototipini hareket ettiren düzenek ve insansı el hassasiyeti bulunan orta sınıf ivme ölçerlerin insan el hassasiyetinin birebir sağlayan bir tasarımın mümkün olabileceğini ifade etmiştir.

Taşkaya (2012) çalışmasında, robot kolların uzaktan kontrolünün sağlanması için ihtiyaç duyulan bilimsel, eğlence veya endüstriyel maksatlı sistemleri simüle etmiştir. Yapmış olduğu “Uzak Bilgisayar Kontrollü Robot Kol” projesinde, tasarlanmış olan dört eklemlili iskelet robot kolun yedi farklı servo motor tarafından kontrolünü sağlamıştır. Mikrodenetleyiciler tarafından PWM sinyalleriyle yönlendirilen söz konusu servo motorlar Delphi programlama diliyle hazırlanmış olan “Uzak Bilgisayar Kontrollü Robot Kol (RCRA)” arayüz programı aracılığıyla bilgisayarda fare ve klavye tarafından kontrol etmiştir. Fare ve klavye yardımıyla bilgisayar üzerinden aynı anda yapılan kontrolün yanında iki farklı demo hareketiyle daha önce tanımlaması yapılan bu iki farklı görevin komutları sırası ile robot kol aracılığı ile yapılması sağlamıştır. Bilgisayar ile sağlanan kontrol işleminde uzak bağlantının desteklenmesi amacıyla seri-ethernet dönüştürücü kullanılmıştır. Böylece internet ve yerel ağlar aracılığı ile robot kola ihtiyaç duyulan komutlar yüklenebilmektedir. Dolayısıyla internet aracılığıyla robot kola erişmek ve kontrol etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca erişim güvenliğinin sağlanabilmesi için arayüz programına şifre koruması eklenmiştir. Böylece yetkisi bulunmayan kullanıcıların robot kola erişimi kısıtlamıştır. Söz konusu çalışmada robot kolun motorlarını sürerek arayüz cihazı ile bağlantı sağlamak

amacıyla mikrodenetleyicilerden Renesas R8C/25 grubundan R5F21256SNFP tercih etmiştir.

Rüstemli vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, robot kolunun parçası olan adım motorları kullanılarak paralel port üzerinden kontrol edilmesine ilişkin genel bilgileri sunmuşlardır. Çalışmada robot kolun işlevselliğini gerçekleştiren adım motorlar için sürücü devreleri oluşturulması vurgulamışlardır. Ayrıca bilgisayar üzerinde hazırlanan program vasıtasıyla iki eksenli robot kolun paralel port aracılığı ile kontrolünün gerçekleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bunlara ek olarak; bireylerin fiziki oluşumları itibariyle bedensel olarak tüm faaliyetleri yapabilme durumuna sahip olmadıkları ve fiziki şartlarının ve güçlerinin yeterli olmadığı durumlarda kullanmak maksadı ile farklı makinelerin meydana getirildiği konuları da incelemişlerdir.

Çetinkaya (2008) yapmış olduğu çalışmada, dört serbestlik derecesine sahip olan robot kolunun ve uç işlevcisinin bilgisayar aracılığı ile hazırlanan kontrol programı yardımı ile konumunu kontrol etmeyi amaçlamıştır. Bunun için robot kollardan birisine eklemlerine açıların algılanması amacıyla hassas potansiyometre takılmış ve “master kol” olarak adlandırılmıştır. Diğer robot kol ise master kolun eklem açılara ve kontrol programında sanal eklemlerde oluşturulan ve eklem açılara göre hareket eden RC Servo motor yerleştirilerek slave kol olarak adlandırılmıştır. Slave ve master kolların kontrolleri bilgisayar aracılığı ile ADC DAQ kartları ile sağlanmaktadır. Bunun yanında master koldan elde edilen eklem açılara ya da kontrol programında oluşturulan sanal eklem açılara göre robot kollarının ileri düzey kinematik hesapları yapılmış ve programda bilgi amaçlı olarak uç işlevcisinin konum vektörleri de verilmiştir. Kontrol programından elde edilen seçime göre slave kol, master kol tarafından gerçekleştirilen hareketleri adım adım takip etmektedir. Ayrıca slave kol, kontrol programında yer alan sanal potansiyometrelerin açılarını da takip eden bir sistem geliştirmiştir.

Eren (2006) yapmış olduğu çalışmada, çoklu serbestlik derecesine sahip robot kolun bilgisayar tarafından kontrol edilebilmesi için ihtiyaç duyulan kontrol sisteminin tasarlanmasını ve uygulanmasını amaçlamıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda motor kurulumu, ayarları ve kontrol kartı ile bilgisayarlar tarafından kontrolleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında prototipin tahrik mekanizması alternatif akımla

alışan servo motordan alınmıştır. Visual C++.NET bilgisayar programı aracılığıyla OCX program parçacığı yardımıyla eksen kontrol kartına istek gönderilmiş kart bu istekleri servo sürücülere ileterek servo sürücüler motorları sürülen bir sistem tasarlamıştır.

Çengelci ve imen (2005) yapmış oldukları çalışmada, önemi günden güne artan endüstriyel robotlar hakkında genel bilgi vermeyi amaçlamıştır. Bunun için ekonomik olarak gelişmiş olan ülkelerin üretim sistemlerinde otomasyon sistemlerinin kullanılması gerekliliğinin önemine değinmişlerdir. Gelişmiş ülkelerin ekonomik düzeylerini daha yukarı taşımak için otomasyon teknolojilerinin etkin bir biçimde kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Tiryaki ve Kazan (2005) yapmış olduğu çalışmada, üç eklemli scara robotunu ele alarak dinamiğini yapay sinir ağlarıyla modellemeyi amaçlamışlardır. Yapay Sinir Ağları modelinin çıkışta izin verilen sapmaları, çok kk sapmalar ile başarılı biçimde tespit etmiştir. Böylece scara robotların modellenmesi sorununa çok iyi düzeyde çözüm üretmişlerdir.

Bostan (2004) alışmasında, yapılmış olan simülasyon denemeleri neticesinde altı serbestlik dereceli PUMA 560 robotunun daha önce hesaplanan dinamik parametreler altında; PD kontrol algoritması ile hesaplanan moment yöntemi metoduyla yörünge kontrolü yapmayı hedeflemiştir. Hedefin gerçekleştirilmesi neticesinde zamana bağlı olarak eklemlerin hız ve konum eğrileri oluşturmuştur.

Çalışkan (2004) tarafından yapılan çalışma, mekatronik sistemlerde kontrolün internet tabanlı oluşturulması ve kartezyen robot üzerinde uygulaması gerçekleştirmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda kontrol birimi için sunucu bilgisayara bağlı PLC tercih edilmiştir. Ayrıca kartezyen robota üç farklı renkte lastik topların dokuz farklı noktada olacak şekilde renklerin yerlerinin değiştirilerek taşınması görevini de yapacak yazılımı da yapmıştır. Bunun yanında topların varacağı nokta tespiti ile koordinat bilgileri programa tanıtılmış ve çalışmanın amacına ulaştığını ifade etmiştir.

Yarım (2004) yapmış olduğu çalışmada internet aracılığıyla erişilmesi mümkün olan mikro denetleyici tabanlı elektronik kart tasarımını ve üretimini amaçlamıştır. Çalışma

amacının gerçekleşmesi için internet aracılığı ile robot kol kontrolünü başarı ile gerçekleştirmiştir.

Tonbul ve Sarıtaş (2003) çalışmalarında, beş eksenli robot kolda ters ve ileri kinematik hesaplamalarına ilişkin çalışmalar yapmışlardır. Çalışma kapsamında hesaplamaların nasıl yapılacağı ve yörünge planlamasına üzerine odaklanılmıştır. Çalışmanın amacına ulaşip ulaşmadığına ilişkin robot kol üzerinde gerekli hesaplamalar uygulanarak test işlemlerini gerçekleştirmişlerdir.

Ayberk (2001) çalışmasında, farklı nesnelerin tanınmasına ilişkin görüntü işleme sistemiyle nesnelere görüntü destekli ayırmada kullanılacak robot manipülatörüyle ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bunun için DC motorların, üç boyutlu uzayda gösterilen yörüngeyi takip edilebilmesi açısından C++ programlama dili aracılığı ile özel mafsal kontrol algoritması geliştirmiştir. Çalışmanın amacına ulaşip ulaşmadığını test etmek amacıyla 24 tanımlı nesne görüntü tanıma ile bağlantılı bir şekilde robot kol üzerinde eş zamanlı bir biçimde çalıştırılmış ve farklı yolları takip edip etmediği incelenmiştir. Çalışma sonucunda 5-10 mm dolaylarında bir kesinlik değeriyle yörünge takibi sağlanabilmiş ve yaklaşık %95 doğruluk oranında nesne tanımlama işlemini gerçekleştirmiştir.

Gören (2001) yapmış olduğu tez çalışmasında, mikro denetleyici kontrollü ve algılamalı örümcek robot tasarımı yapmıştır. Gerçekleştirmiş olduğu robot tasarımında enerji sorunu ön plana çıkmıştır. Robotta bulunan 12 adet servo motor yaklaşık olarak 3 amper akım çekmiştir. Mevcut verilen akımın üzerinde 4,5 amperlik batarya ile sorun azda olsa çözüme ulaşmış gibi görünse de bataryanın ağır olmasından kaynaklı denge sorunu meydana gelmiştir. Ayrıca dış gövdenin yapımında tercih edilen epoksi malzemesinin işlenmesi oldukça zor ve sert bir malzeme olmasından dolayı bunun yerine elmas bıçaklarının tercih edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. S7 1200 PLC'ler ile Motor Kontrolü

Servo, herhangi bir mekanizmanın işleyişini hatayı algılayarak yan bir geri besleme düzeneğinin yardımıyla denetleyen ve hatayı gideren otomatik aygıt olarak tanımlanmaktadır. Robot teknolojisinde en çok kullanılan motor çeşididir (Anonim, 2023a). Servo ve adım motorları TIA Portal (entegre otomasyon portalı) ve PTO (puls train output) çıkışı ile sürücüler yardımıyla kontrol edilebilmektedir. Bu sebeple kullanılacak adım motorların pals girişine sahip olması gerekmektedir. Çalışmada aşağıda maddeler halinde teknik özellikleri verilen ve Şekil 3.1'de gösterilen S7 1200 CPU cihazında PTO amacıyla çıkışlar (dijital) bulunmaktadır. S7 1200 CPU, güç kaynağı, CPU, yüksek hızlı hareket kontrol sistemi, mikroişlemci, giriş devresi, çıkış devresi gibi bileşenleri ve profinet, analog giriş ve çıkışları tek bir cihazda bulunduran bir cihazdır (Siemens, 2019). PLC cihazında ise RS485, GPRS, RS232, Profibus gibi haberleşme modülleri bulunmaktadır (Siemens, 2019).



Şekil 3.1. S7 1200 PLC cihazı ve birimleri (Siemens, 2019)

Ayrıca S7 1200 PLC cihazında bellek kart yuvası, durum LED'leri, güç konnektörü, kullanıcı bağlantı konnektörü, CPU'nun altında profinet konnektörü bulunmaktadır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. S7 1200 PLC özellikleri

S7 1200 PLC Özellikleri	
Fiziksel boyut	110x100x75
Karta yerleşik I/O	14 giriş/10 çıkış 2 adet analog giriş
Sinyal modülü genişlemesi	8
Haberleşme modülü	3
Yüksek hızlı sayıcı	100 kHz (Ia.0-Ia.5), 30 kHz (Ia.6-Ib.5)
Pals çıkışları	100 kHz (Qa.0-Qa.3), 20 kHz (Qa.4-Qb.1)
Profinet	1 adet
Gerçek zaman tutma süresi	20 gün
Proses imaj boyutu	Giriş ve çıkışlar; 1024 bytes

3.2. Temel PLC sistemleri

PLC; kumanda elemanlarının (röle, kontaktör, zaman rölesi, sayıcı) yerine kullanılabilen mikro işlemci tabanlı elektronik aygıtlar olarak tanımlanmaktadır (Hız, 2019). PLC cihazları ile sayma, zamanlayıcı işlemleri kullanılan yardımcı programlar ile gerçekleştirilmektedir. PLC cihazı ile karmaşık otomasyon sorunlarını çözüme ulaştırmada sıklıkla kullanılan bir sistemdir. Ayrıca basit kumanda problemleri için oluşturulmuş kompakt cihazlar da akıllı röle de olarak adlandırılmaktadır. Giriş ve çıkış sayısı fazla olmayan basit sistemlerde akıllı röleler tercih edilmektedir. Genel olarak PLC sistemleri;

- Paketleme sistemleri,
- Dolum sistemleri,
- Elektro-pnömotik ve hidrolik sistemlerde,
- Kontrollü robot işlemlerinde,
- Tarım, tekstil, gıda gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Hız, 2019).

PLC cihazları güvenilir cihazlar oldukları için arıza yapma ihtimalleri diğer röleli sistemlere göre daha azdır. Ayrıca PLC sistemleri çevre şartlarından daha az etkilendikleri için daha kararlı çalışmaktadırlar.

3.2.1. Merdiven programları

Merdiven diyagramı grafik tabanlı bir programlama dili olup kontrol devrelerinde kullanılan röle-mantık panellerinden modellenmiştir. Merdiven diyagramı yatay merdiven basamakları üzerine inşa edilmiştir. Bu merdiven basamakları en solda ve en sağda iki direk üzerine birleşmektedir. Merdiven basamaklarına İngilizce olarak

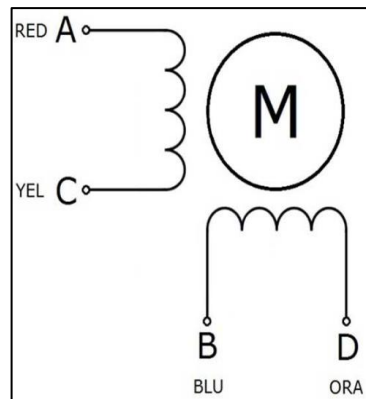
Ladder programlama olarak isimlendirilmektedir. Ladder programı görsel bir programlama olması programlama kolaylığı sağlamasına rağmen karmaşık ve büyük devreleri programlamada problemlere yol açmaktadır (Anonim, 2023b).

3.2.2. Komut listesi programlama

Komut listesi (STL) istenilen işlevleri yerine getiren bir dizi komut satırından oluşan programlardır. Bir komut yapılan işlemi belirten Mnemonic ve üzerinde işlem yapılan hafıza alanlarını gösteren operantlardan oluşmaktadır. STL geniş programlama imkanları sunmaktadır. Ladder'ın aksine görsel yerine komutlar kullanılmaktadır. Ayrıca hatasız ve derlenmiş olmak şartıyla STL, FBD ve Ladder yöntemleriyle yazılan programlar birbirlerinin formatına dönüştürülebilmektedir (Megep, 2011).

3.3. Adım Motorları

Adım (step) motorları, girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık analog dönme hareketi yapan fırçasız, genellikle kalıcı mıknatıs kutuplu doğru akım motorlarıdır. Bu motor tipinin ilk olarak 1930'lu yıllarda ortaya çıkmış, daha sonraki yıllarda gemilere ve çeşitli savaş ağırlıklı teçhizata uygulanarak geliştirilmiştir (Altun vd., 2016). Adım motorları, sürücünden gelen komuta göre adım adım ilerleyebilen motorlardır. Adım motorları çok yüksek hızlara ulaşabilmektedirler. Adım motorlarının uçlarının bağlantı şemaları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Step motor uçlarının bağlantısı



Şekil 3.3. Step motor uçlarının bağlantısı

3.4. Adım Motor Sürücü Düzenegi

Sürücüye verilen kare dalganın (pals) frekansına göre kaynak gerilimini sargılara sırasıyla uygulayan elektronik cihazlara adım motor sürücüleri adı verilmektedir. Tez çalışmasında kullanılan küçük adımlarda hareket edebilen TB6600 adım motor sürücüsü kullanılmıştır. TB6600 motor sürücüsünün teknik özellikleri Çizelge 3.2’de ve görselleri ise Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. T6600 motor sürücüsünün teknik özellikleri

T6600 Motor Sürücüsünün Teknik Özellikleri	
Giriş Akımı	0-5.0A
Çıkış Akımı	0.5-4.0A
Güç (maksimum)	160W
Mikro Adım	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Sıcaklık	-10~45°C
Nem	-
Ağırlık	0.2 kg
Boyutu	96x56x33 mm

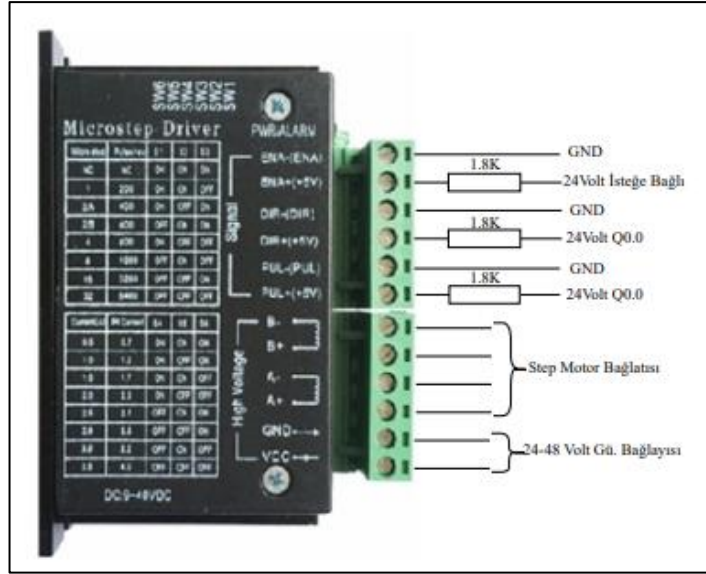


Şekil 3.4. TBA6600 step sürücü



Şekil 3.5. Step sürücü bağlantısı ve deep switch konumları

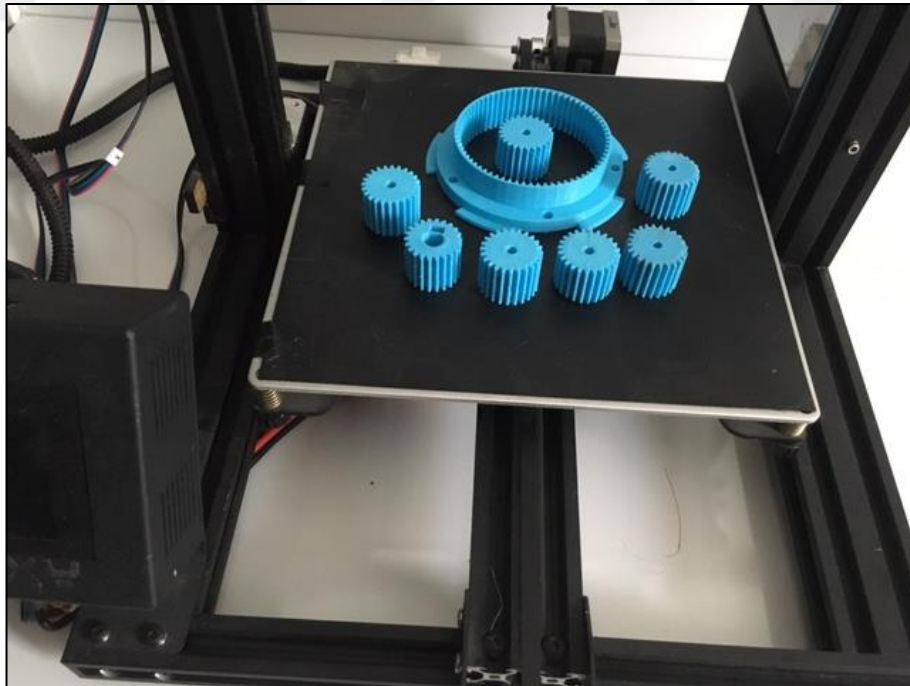
Şekil 3.6'da TBA6600 1545 bağlantı şeması gösterilmiştir. Sürücünün PUL+ ucuna PLC' den gelen pals çıkışları verilmektedir. PLC pals çıkışı 24 volt olduğundan dolayı, girişi 5 volta uygun olan sürücü girişlerinin yanmaması için 2.2 k Ω direnç bağlanmıştır.



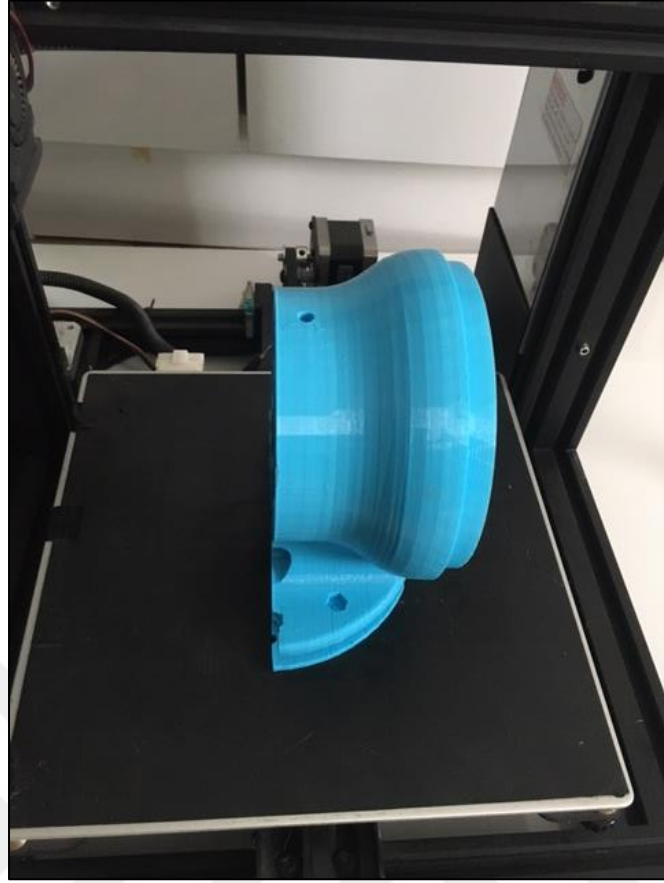
Şekil 3.6. TBA6600 bağlantı şeması

3.5. Kullanılan materyaller

Tez çalışmasında kullanılan robot kola ait parçaların üç boyutlu yazıcı üretim aşamaları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Dişli imal edilirken 3B yazıcı görüntüsü



Şekil 3.8. Ön kol imal edilirken 3B görüntüsü

Tez çalışmasında kullanılan robot kola ait parçaların üretimde kullanılan üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. 3B yazıcının teknik özellikleri

Adı	Birim	Boyutlar
Baskı alanı	mm	255x255x260
Tabaka kalınlığı	mikron	20
Materyal		PLA/ABS/HIPS/WOOD/PC/PVC
Baskı teknolojisi		Fused filament fabrication (FFF)
Uyumlu filament çapı	mm	1.75
Nozzle çapları	mm	0.2/0.3/0.4
Ağırlık	kg	8.5
İmalat ölçüleri	mm	478x455x520
Yapı plakası		110 °C ısıtmalı cam yapı plakası (max)
Maksimum güç çıkışı	W	360
Dosya transferi		SD kart
Baskı yazılımı		Cura/Tronxy slicer

Çizelge 3.4'te ise robot kola ait üretilen parçalar için kullanılan filamentlerin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. PLA ve filamentlerin teknik özellikleri

Baskı sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Bozulma sıcaklığı (°C,0,45 MPa)	Gerilme direnci (MPa)	Kopma uzaması (%)	Eğilme direnci (MPa)	Etki dayanıklılığı (kJ/m ²)
205-225	1.24	52	60	29	87	7

Robot kolun imalat aşamasında dilimleme ve baskıda kullanılan parametreler; kullanılan baskı hızı, filament katman kalınlığı, nozzle, hassasiyet, nozzle sıcaklığı, tabla sıcaklığı, duvar kalınlığı, dolgu oranı, fan hızına ait teknik bilgiler Çizelge 3.5’te verilmiştir. İmalat aşamasında dolgu oranı %20, baskı hızı ise 200 mm/sn olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Dilimleme ve baskıda kullanılan parametreler

Özellik	Birimi	Ölçümü
Baskı Hızı	mm/s	200
Filament	1.75 mm	PLA
Katman Kalınlığı	mm	0.2
Nozzle	mm	0.4
Hassasiyet	mm	±0.1
Nozzle Sıcaklığı	°C	230
Tabla Sıcaklığı	°C	70
Duvar Kalınlığı	mm	2
Dolgu Oranı	%	20
Fan Hızı	%	80

3.5.1. Polilaktik Asit Malzeme

Polilaktik asit (PLA) mısır nişastası kullanılarak elde edilen bir çeşit biyoplastik malzemedir. Bu nedenle biyobozundur, doğada ve hatta lenf sıvısı içerisinde bile çözünebilmektedir. Sağlığa herhangi bir zararı bulunmadığı için kullanıcılar tarafından sıkça tercih edilmektedir. Robot kolun tüm eklemleri FDM yöntemiyle polilaktik asit malzeme kullanılarak imal edilmiştir.

3.5.2. Görüntü işlemede kullanılan kameranın özellikleri

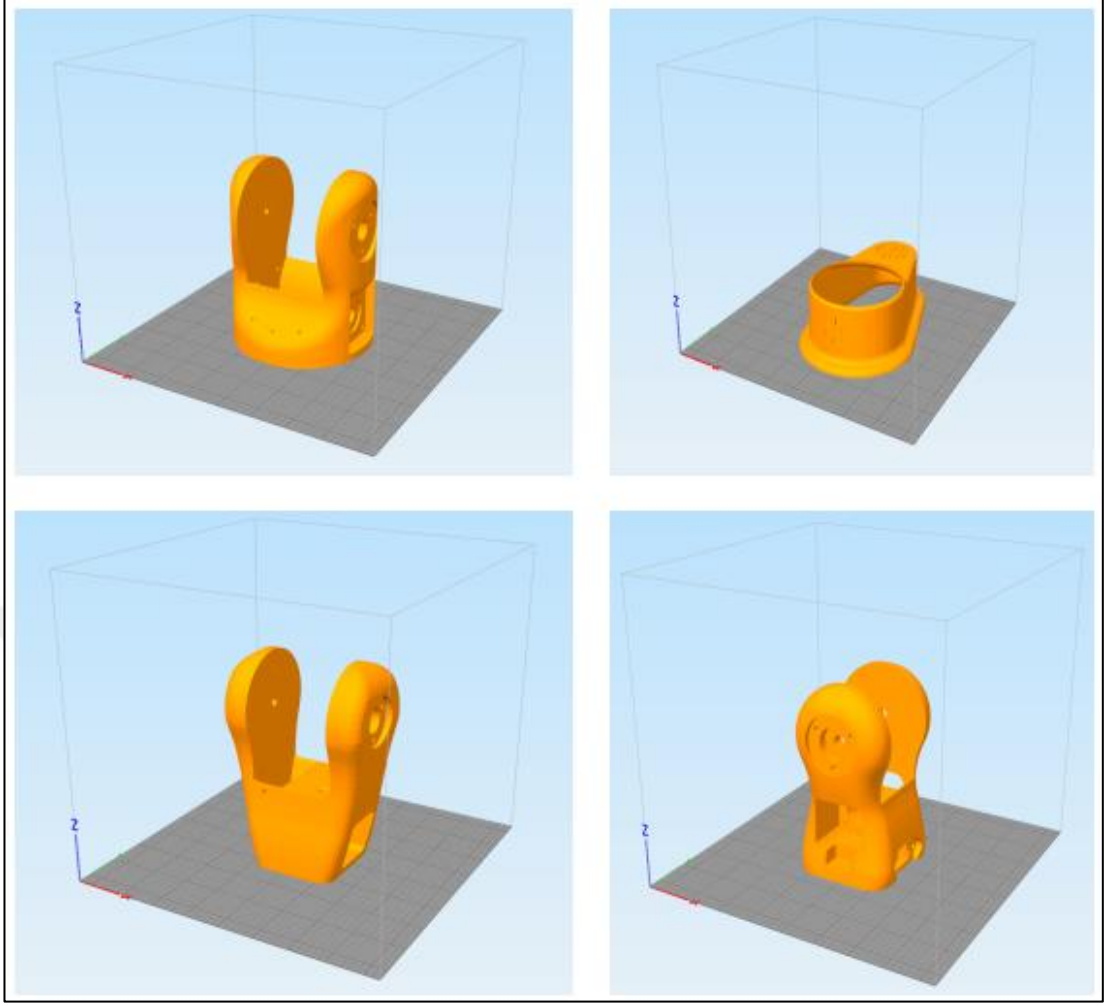
Tez çalışmasında robot kol renklere göre sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirmede görüntüleri almak için Logitech marka kamera kullanılmıştır. Kamera, 30 fpsde 1080 piksel (1920x1080 piksel, 78° diyagonal görüş açısı, USB Tip-A) seçeneği ile çalıştırılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan Logitech kameraya ait görsel Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kullanılan Logitech marka kameranın görüntüsü

3.6. CAD Yazılımında Modellerin Tasarlanması

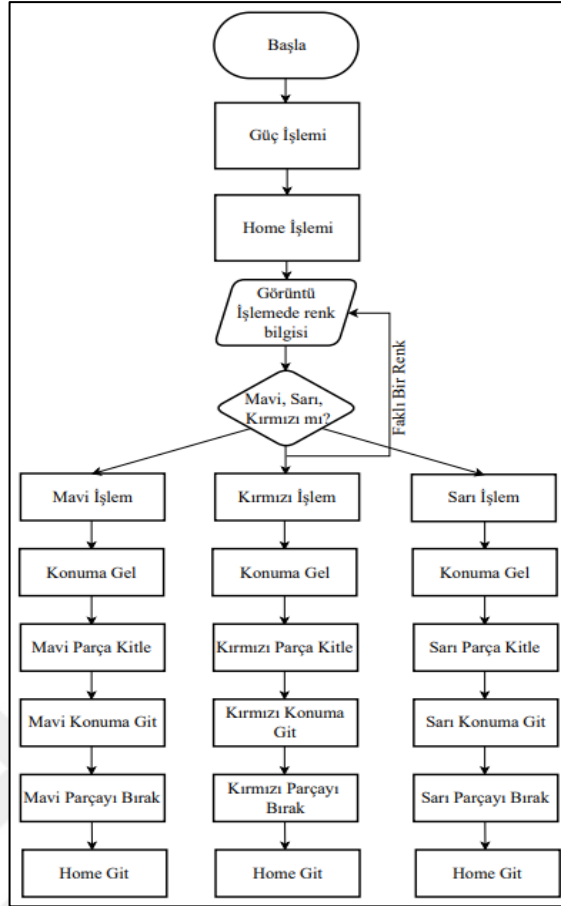
CAD, iki boyutlu ve üç boyutlu tasarımların bilgisayar ortamında modellenmesi için kullanılan bir yazılımdır. Tez çalışmasında robot kola ait parçalar CAD yazılımında tasarlanmış ve döner eksen, bağlantı kolu, ön bilek montajları dijital ortamda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.10'da robot kolun alt platformuna ait model görülmektedir.



Şekil 3.10. Döner eksen, bağlantı kolu, ön bilek CAD modeli

3.7. Robot Kol için kullanılan PLC Programı

Tez çalışmasında geliştirilen 5+1 eksenli robot kolun iş akış diyagramı Şekil 3.11’de verilmiştir.

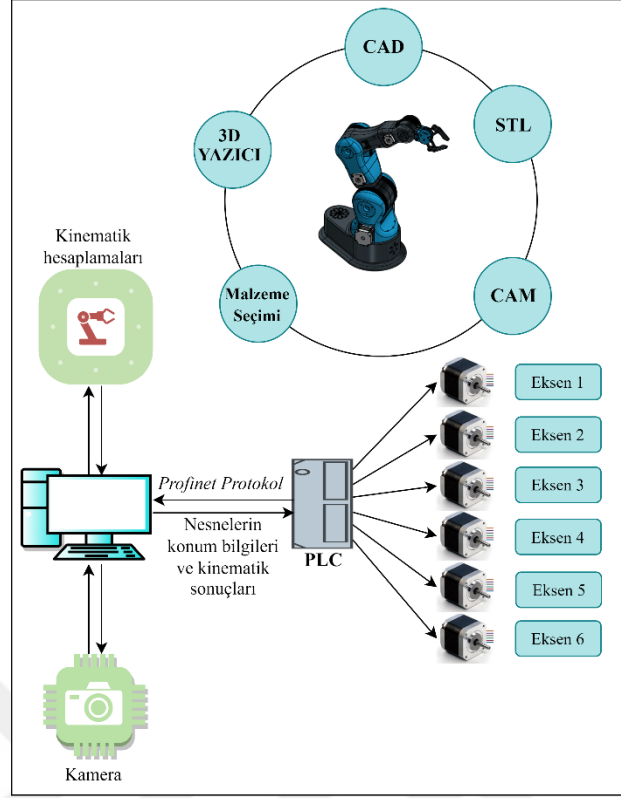


Şekil 3.11. PLC programı akış şeması

Şekil 3.11 incelendiğinde robotun ilk çalıştığında manuel olarak başlangıç noktasına (Home işlemi) gitmektedir. İkinci aşamasında ise robot kola entegre edilen kamera kullanılarak robot kol bandı izleyerek hareket etmektedir. Bandı üzerinde geçen nesnelerin arka planları U²-Net yapay zeka yöntemi kullanılarak silinmiş ve RGB renk formatındaki görüntüler renk uzay dönüşümleri ile HSV renk uzayına dönüştürülerek tespit edilmiştir. Tespit edilen nesneler renklerine göre sınıflandırarak konumu hesaplanmıştır. Tez çalışmasında mavi, sarı ve kırmızı olmak üzere üç farklı renk sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Tespit edilen nesnenin rengine göre belirlenen konumlara hareket etmektedir. Bunun için ilk olarak robot kolu istenilen noktadan nesneyi alarak hedef konuma ilerleyip nesneyi bıraktıktan sonra başlangıç konumuna geri dönmektedir.

3.8. 5+1 Eksenli Robot Kolun Tasarımı, İmalatı ve Kontrolü

Çalışmada geliştirilen 5+1 eksenli robot kola ait iş akış diyagramı Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.12 incelendiğinde geliştirilen robot kolun tasarım ve imalat ile robot kolun kontrolü olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Robot kolun tasarım ve imalat bölümü CAD, STL, CAM, malzeme seçimi ve üç boyutlu yazıcı ile üretilmesi olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada robot kolun katı modellemesi CAD tasarım programları ile tasarlanmıştır. İkinci aşamada ise tasarlanan üç boyutlu katı modeller .STL dosya formatına dönüştürülmüştür. Sonraki aşamada ise .STL formatına dönüştürülen parçaların CAM programları ile dilimleme işlemi (G kodları elde edilmiştir) yapılarak parçalar üretim süreci için hazır hale getirilmiştir. Dördüncü aşamada ise parçaların üretimi için PLA malzemesi seçilmiştir. Son aşamada ise tasarlanan parçaların üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Robot kolun kontrol bölümü ise PLC, PC, Kamera, kinematik ve adım motorlarından oluşmaktadır. Logitech kamerasından elde edilen görüntüler bilgisayara aktarılarak analiz edilmektedir. Bu aşamada elde edilen görüntülerin arka planları U²-Net yapay zeka yöntemi ilearka planları temizlenip içerisimde nesne olup/olmadığı tespit edilmektedir. Nesne tespit işlemi gerçekleştirildikten sonra nesnenin konum bilgilerine göre ters kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Ters kinematikten elde edilen eksenlerin açıları profinet haberleşme protokoluyla PLC’ye gönderilmiştir. PLC’ye gelen açı bilgileri pulse dönüştürülerek adım motorlarına sinyal gönderilmiştir.



Şekil 3.12. Çalışmanın iş akış diyagramı

3.9. Görüntü Yakalama

Tez çalışmasında ilk olarak RGB görüntüler üzerinde arka plan silmek için ve nesnelerin renge göre tespit gerçekleştirebilmek için renk uzayları HSV (Hue Saturate Value) renk uzayına dönüştürülmüştür. Bir sonraki aşamada ise HSV renk uzayına dönüştürülen görüntüler üzerinde H, S ve V kanallarına 0-255 arasında bir aralık seçilmiştir. Seçilen aralık dışında kalan tüm pikseller arka plana ait olduğu kabul edilmiştir. Belirlenen H, S ve V kanal değerlerine göre çalışmada kullanılan sarı, mavi ve kırmızı nesnelerin tespit edilmektedir.

3.10. U²-Net Yapay Zeka Modeli

U²-Net, görüntü segmentasyonu için kullanılan bir yapay zeka modelidir. Bu model, özellikle doğal sahnelerin segmentasyonu için kullanılmaktadır. U²-Net, çeşitli evrişimsel sinir ağı tabakalarının birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Model, görüntü segmentasyonu, görüntü tamamlama, nesne tanıma gibi birçok uygulama alanında

kullanılabilmektedir. U²-Net, açık kaynak kodlu olarak mevcuttur ve kullanıcılar tarafından özelleştirilip ve geliştirilebilmektedir (Ye vd., 2022; Shao vd., 2022).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Robot Kol Modellenmesi ve Programlanması

Tez çalışmasında çalışmada üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen robot kola ait parçalar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

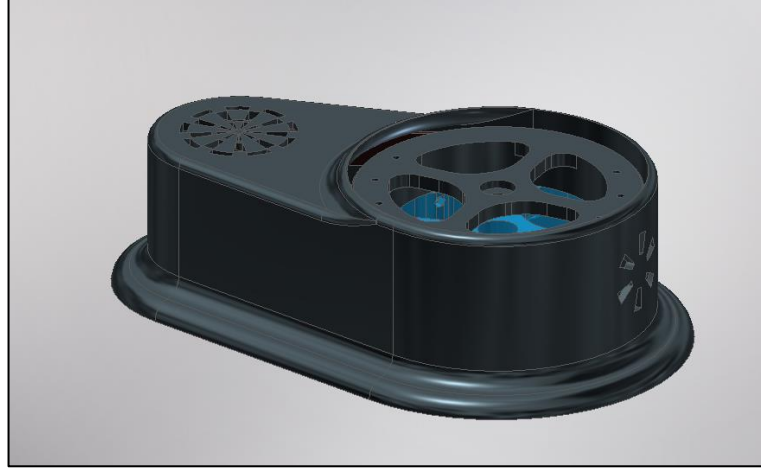


Şekil 4.1. Robotun temel bileşenleri

Şekil 4.1 incelendiğinde robot kolün bilek, ön kol, bağlantı kolu, döner tabla ve taban şasesi parçalarından oluştuğu görülmektedir. İmal edilen bu parçalara ait detaylı bilgiler aşağıda verilen alt başlıklarda detaylı bir biçimde ele alınmıştır.

4.1.1. Taban şasesi

Taban şasesi robotun zeminle bağlantısını sağlamaktadır. Bu kısım herhangi bir yönde hareket etmeyen sabit bir parçadır. Şekil 4.2’de çalışma için üretilen taban şasesine ait görsel gösterilmiştir.

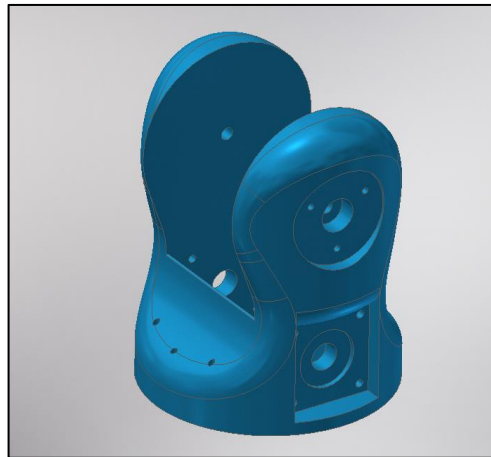


Şekil 4.2. Taban şasesi

Şekil 4.2 incelendiğinde taban şasesinde adım motorlara kayış yardımıyla bağlantı sağlamak için kayış kasnak sisteminin olduğu görülmektedir.

4.1.2. Döner tabla

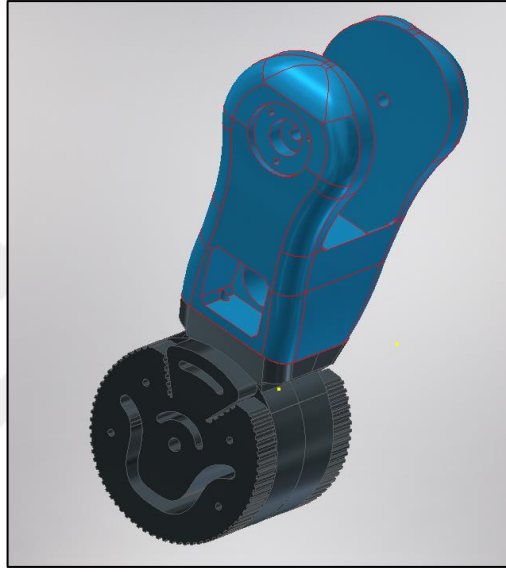
Döner tabla, taban şasesinin hemen üzerinde yer alan ve y ekseninde hareket ederek robot kolunun çalışma alanını artıran bölümdür. Döner tabla taban şasesine bağlı olup üzerinde taban şasesinden gelen hareketle dönmeyi sağlayan iki adet adım motoru bulunmaktadır. Şekil 4.3'te çalışma için imal edilen döner tablaya ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.3. Döner tabla

4.1.3. Bağlantı kolu

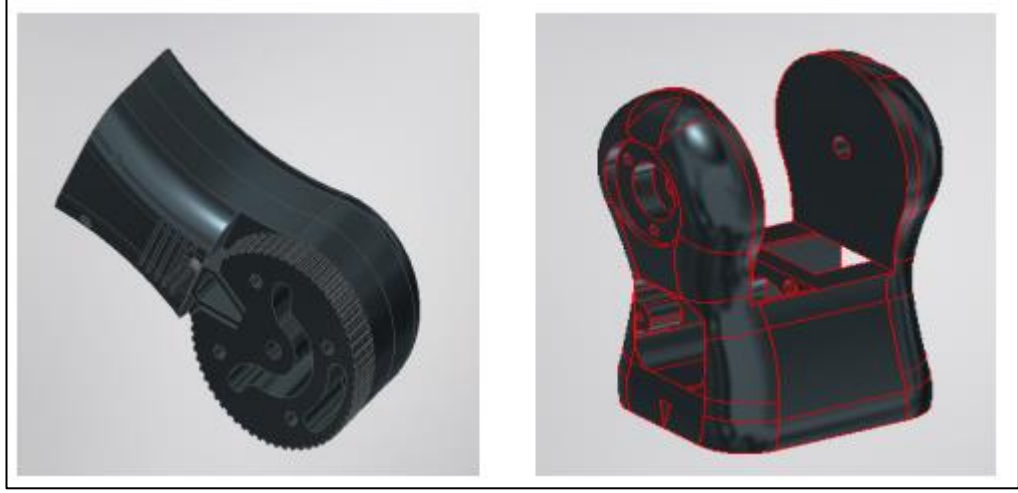
Bağlantı kolu, Robotun ikinci eksenini oluşturan kısımdır. Bu kısım robot kol ağırlılığının yaklaşık %70'ini oluşturan ve dūřey ekseninde hareket eden parçadır. Tez çalışmasında bağlantı kolu üzerine yoğunlaşılarak optimizasyon işlemleri gerçekteşirilmiştir. Bağlantı kolu dōner tablaya bağlı olup dōner tablanın üzerinde bulunan iki adet adım motoru hareket sağlanmaktadır. Őekil 4.4'te robotun bağlantı kolu gōsterilmiřtir.



Şekil 4.4. Bağlantı kolu

4.1.4. Ön kol

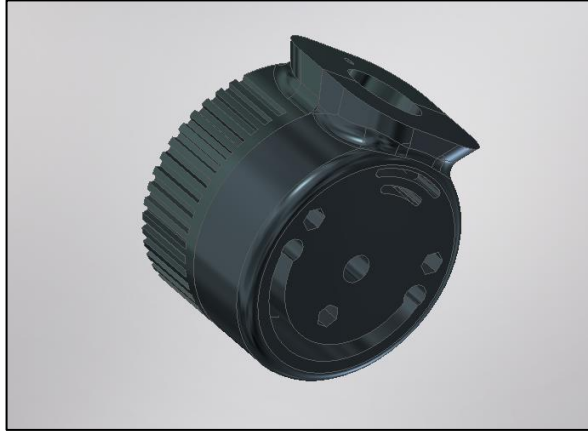
Őn kol, robotun üçüncü eksenini oluşturmaktadır ve dūřey yönde hareketi sağlayan kısımdır. Altı eksenli robotlarda hassasiyeti artırmak ve robotu daha işlevsel hale getirebilmek için üçüncü eksene kendi ekseninde dōnebilen (dōrt üçüncü eksen) bir ön kol daha eklenmektedir. Őn kol, bağlantı koluna bağlı olup bir adet adım motoru ile hareket sağlanmaktadır. Őekil 4.5'te robot kolunun ön kolları gōsterilmiřtir.



Şekil 4.5. Bağlantı kolu

4.1.5. Bilek

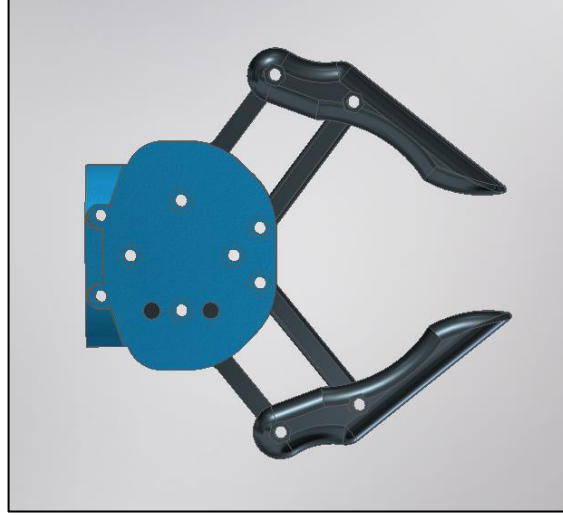
Bilekler, robot kolun en ucunda yer alan kısımdır. Çalışmada kullanılan bilekler üç serbestlik derecesine sahiptir ve insansı temel hareketler yapabilmektedir. Bilek, ön kola bağlı olup adım motoru ile hareket sağlayarak uç işleyiciye yönlendirmektedir. Şekil 4.6’da tez çalışmasında kullanılan bileğe ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.6. Robot kolu bileği

4.1.6. Uç işlevci

Çalışmada modellenen robot tasarımında kullanılan uç işlevci Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Uç işlevci, robot kol bileğine bağlı olup adım motoru ile hareket sağlanmıştır.



Şekil 4.7. Uç işlevci

4.2. Tia Portal Yazılımı

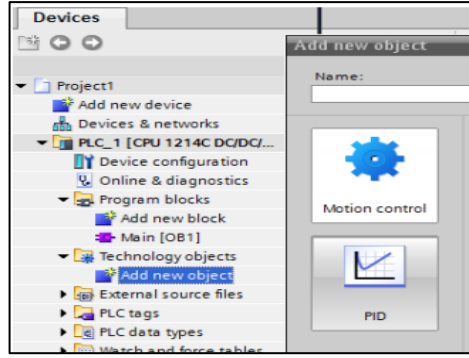
Tez çalışmasında Siemens firmasının ürettiği ve PLC cihazlarını programlamak için Tiaportal programı kullanılmıştır. Tiaportal yazılımı ile HMI (Human-Machine Interface) dokunmatik panel programı, PLC programlama, hareket kontrolü, uzaktan kumanda gibi birçok işlemi aynı anda gerçekleştirebilmesinden dolayı tercih edilmiştir.

4.3. Tiaportal axis1 kontrolü

Tiaportal yazılımı ile adım motoru ve servo motorların bağlı olduğu eksen, vidalı mil, konveyör bant gibi parçaların hareket kontrolü sağlanmıştır. Yapılan çalışmada tiaportal V15.1 yazılımı ve bu yazılımın içinde bulunan Axis V5.0 eksen kontrolü alt programı ile robot kolun eksen kontrolü sağlanmıştır.

4.4. Motor Kontrol Projesi Oluşturma

Şekil 4.8’de verilen görseldeki proje ağacı altında açılan pencereden “Motion control” kısmı seçilip istenilirse harekete bir isim verilerek onaylanma işlemi gerçekleştirilmiştir.

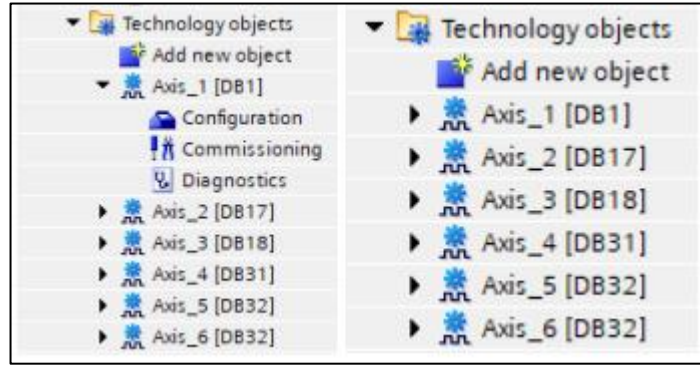


Şekil 4.8. Technology Object, Add new object

“S7 1200 Motion Control” fonksiyonlarının V4.0’den sonraki versiyonlarından birisi olan V5.0 versiyonunda yer alan “To_CommandTable” fonksiyonu kullanılmıştır. Bir sonraki aşamada ise “To_Axis_PTO” fonksiyonunu seçilerek işlem onaylanmıştır.

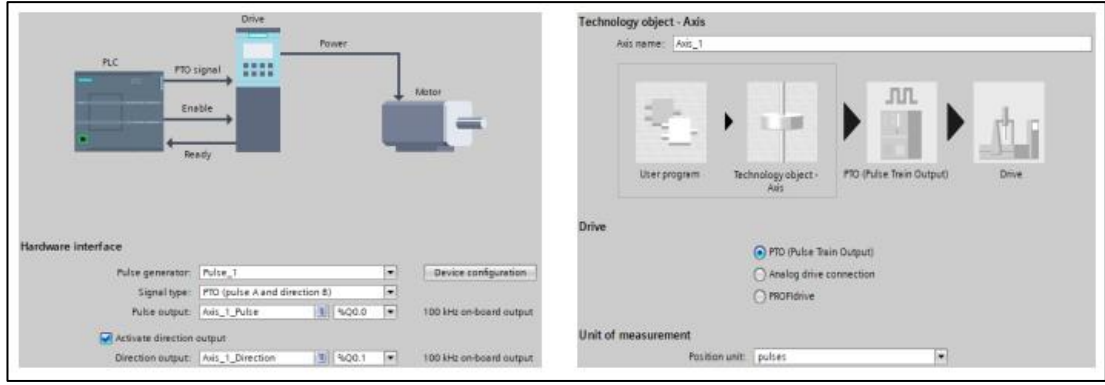
4.5. Axis_1 eksen kontrol ayarları

Şekil 4.9’da görseli verilen pencerenin sol bölümünde yer alan ayar kısmından teknoloji obje penceresine seçilerek altı adet adım motoru için altı adet teknoloji objesi tanımlanmıştır. Robot kolun x-y-z konumunda hareket ettiren altı adım motoru için sırasıyla Şekil 4.9’da görseli verilen teknoloji objeleri tanımlanmıştır.



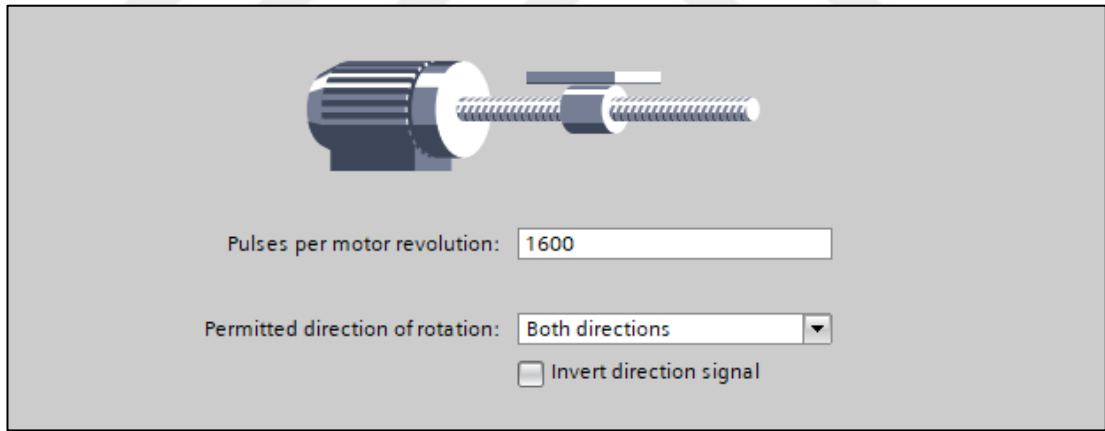
Şekil 4.9. Teknoloji objesi tanımlama ve teknoloji objesinin bölümleri

Sonraki aşamada ise Şekil 4.10’da görseli verilen konfigürasyon penceresi seçilerek PTO(Puls Train Output) ayarları yapılmıştır.



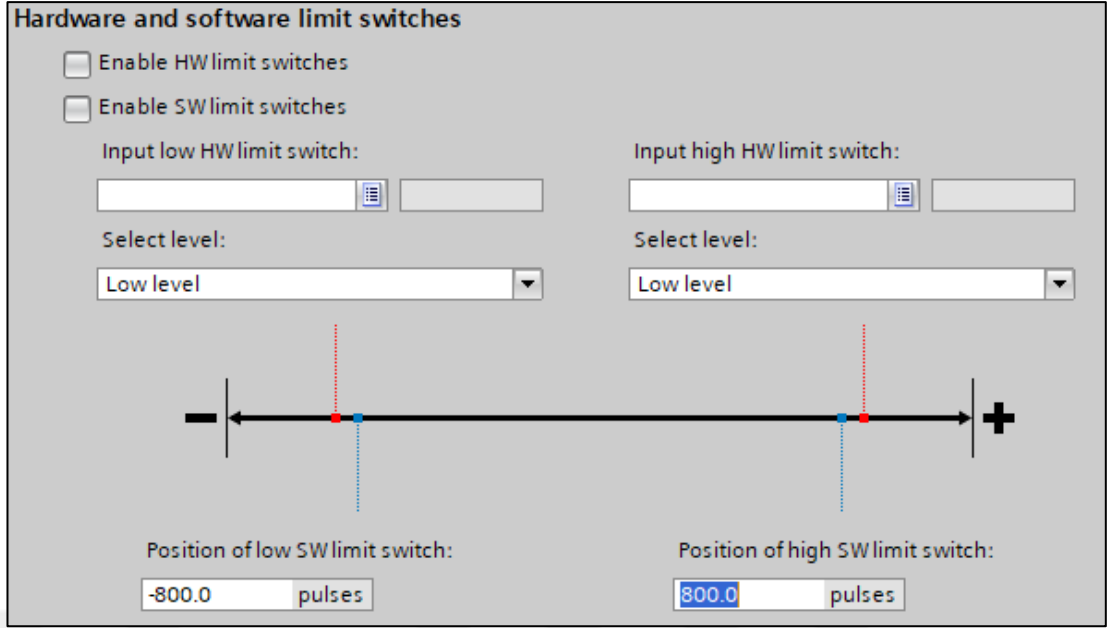
Şekil 4.10. Eksen teknolojisi PTO ayarları

PLC'nin Q0.0 ucu kare dalga çıkışı için, PLC'nin Q0.1 ucu yön bilgisi için ayarlanmıştır. Q0.0 ucu hızlı sayıcı_1 sayesinde kare dalga çıkışı verebilmektedir. Şekil 4.10'de Axis-1 step motorun mekanik ayarlarının gerçekleştirildiği görsel görülmektedir. Step motorun bir tur dönmesi için gerekli kare dalga sayısı vidalı mil step motorunda olduğu gibi 5000 pals olarak belirlenmiştir. Şekil 4.11'de Axis-1 motorun bir tur dönmesi için step motor mekanik ayarlarına ait görsel görülmektedir.



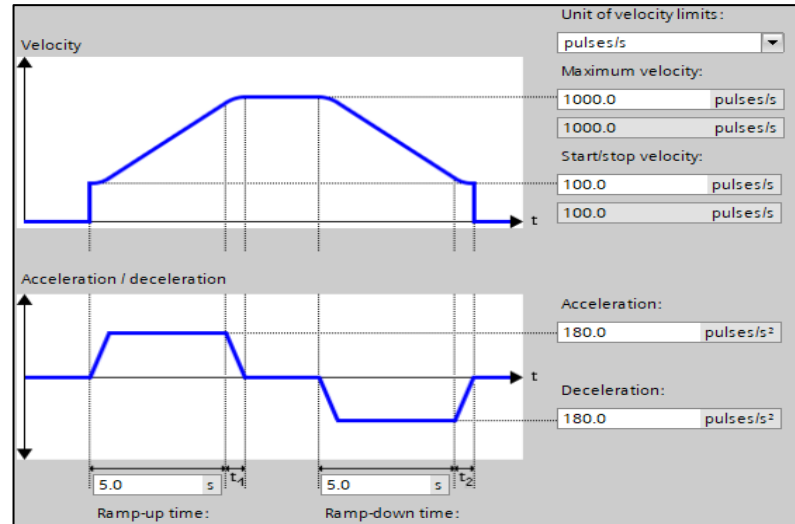
Şekil 4.11. Motor mekanik ayarlarının yapılması

Step motorun bir tur dönmesi için gerekli kare dalga sayısı döner eksen step motorunda olduğu gibi 1600 pals olarak belirlenmiştir. Axis-1 step motoru vidalı mile veya kayış sistemine bağlı değildir. Sadece bir tur dönme işlemi gerçekleştirmektedir. Motorun bir tur dönmesi için mekanik ayar kısmında açı ayar sistemi olmadığı için 360° açığa denk gelen mesafe 50 mm olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle sistemde, 25 mm 90° dereceye 12.5 mm ise 45° dereceye karşılık gelmektedir. Şekil 4.12'de görülen Axis-1 motor çalışma sınırlarına ait görsel verilmiştir.



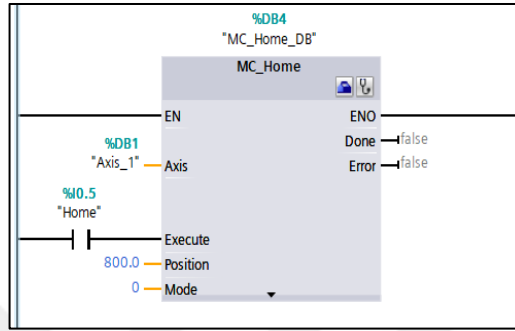
Şekil 4.12. Axis-1 step motor çalışma limitlerinin belirlenmesi

Robot kolun adım motoru bir eksen etrafında dönme hareketi yaptığı için sadece yazılımsal switchler tercih edilmiştir. Axis-1 adım motoru için mekaniksel sınır 40 mm olarak belirlenmiştir. Adım motoru, tasarımda tam bir tur dönemeyeceği için 800 puls pozitif tarafta, -800 puls negatif tarafta olmak üzere toplam 1600 puls dönme sınırı olarak belirlenmiştir. Axis-1 step motorunun dinamik ayarları, Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

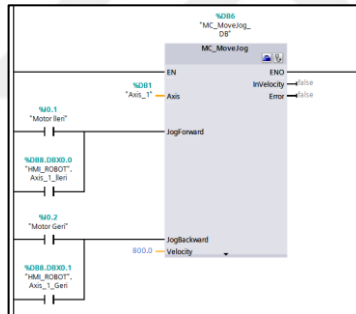


Şekil 4.13. Kol step motor dinamik ayarlarının yapılması

Axis-1 adım motoru bir turdan daha az hareket ettiği için kalkış ve maksimum hız değerleri düşük olarak belirlenmiştir. Böylece motorun titreşimli çalışması önlenmiş ve adım hatası en aza indirilmiştir. Axis-1 v5.0 alt programında home işleminin gerçekleştirilmesi için motorun bir turdan daha fazla dönmesi gerekmektedir. Bunun için sistem manuel olarak sıfır noktasına getirilmesi gerekmektedir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te tez çalışmasında kullanılan program için manuel home işlemine ait görseller gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Mod 0 home işlemi



Şekil 4.15. Axis-1 step motorunun manuel home konumuna getirilmesi

4.6. PLC Programında Kullanılan Etiketler

Tez çalışmasında tasarlanan robot kolun programlanması için S7 1200 PLC cihazı kullanılmıştır. S7 1200 cihazının programlanmasında TIA portal yazılımı kullanılmıştır. TIA portal yazılımının en büyük özelliklerinden birisi etiket kullanımıdır. Etiketler özellikle karmaşık programlarda kullanıcılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Kullanılacak olan etiketler Şekil 4.16'da görüldüğü gibi önceden tanımlanabilir ya da program esnasında tanımlanan etiketler listelenmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca TIA portal yazılımı ile kullanılacak olan etiketlerin veri tipini belirlemek, adreslerinin tanımını yapmak ve görüntülemek oldukça basit bir

biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca Şekil Şekil 4.16’da görülen retain sekmesi işaretlendiğinde olası elektrik kesintisi durumunda, işaretlenen etiketler bilgisi hafızada tutulabilmektedir.

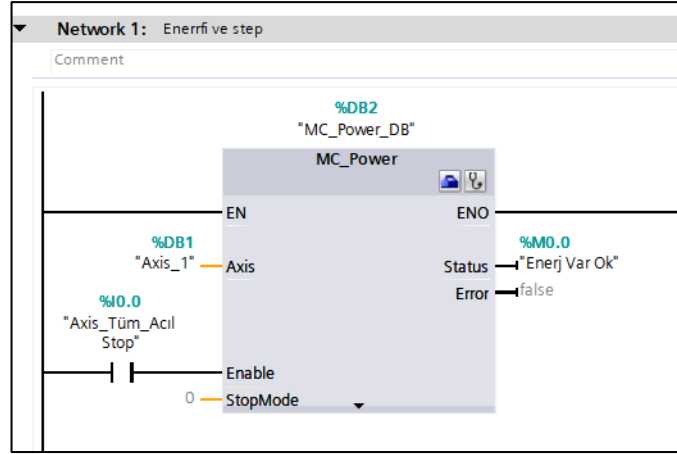
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	Axis_1_Pulse	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Axis_1_Direction	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Axis_Tüm_Acil Stop	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Enerj Var Ok	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Home Panel	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Home Tamam	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Axis_Tüm_Step Dur Paner	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Motor İleri	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Motor Geri	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Pozisyona Git	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Servo Pozisyon	Real	%MD100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Axis_2_Pulse	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Axis_2_Direction	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Axis_2_Home_Panel	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Axis_2_Home_Tamam	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Axis_2_Enerji_Var_Ok	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Axis_2_Pozisyona_Git	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Axis_3_Pulse	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Axis_3_Direction	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Axis_3_Home_Panel	Bool	%M2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Axis_3_Enerji_Var_Ok	Bool	%M2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Axis_3_Home_Tamam	Bool	%M2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Axis_3_Pozisyona_Git	Bool	%M2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	Axis_4_Pulse	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	Axis_4_Direction	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	Axis_4_Home_Panel	Bool	%M3.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	Axis_4_Enerji_Var_Ok	Bool	%M3.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	Axis_4_Pozisyona_Git	Bool	%M3.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	Axis_4_Home_Tamam	Bool	%M3.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	Axis_5_Pulse	Bool	%M4.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	Axis_5_Direction	Bool	%M4.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	Axis_5_Home_Panel	Bool	%M4.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	Axis_5_Enerji_Var_Ok	Bool	%M4.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	Axis_5_Pozisyona_Git	Bool	%M4.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	Axis_5_Home_Tamam	Bool	%M4.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Şekil 4.16. PLC etiketleri

4.7. PLC Programında Kullanılan Fonksiyonlar

4.7.1. MC_Power komutu

MC_Power komutu, hareket kontrolünde kullanılan bir komuttur. Bu komut kullanılmadığı takdirde diğer hareket kontrolü komutları pasif hale geçmektedir. MC_Power komutu, Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Tiaportal yazılımında ekranın sağ alt köşesinde bulunan “motion control” sekmesi altında yer almaktadır. Motion control ile adım motoru ve servo motorların hareket kontrolünde eksene enerji veren veya enerjisini kesen komuttur.



Şekil 4.17. MC_Power komutu

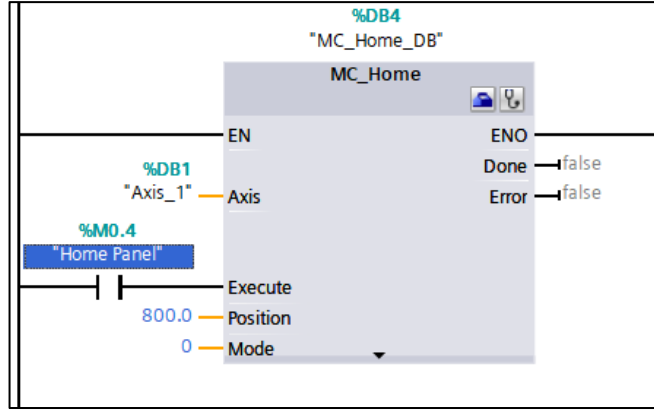
Çizelge 4.1’de MC_Power komutuna ait sıklıkla kullanılan fonksiyonlara ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4.1. MC_Power komut parametreleri (Siemens, 2019)

Parmetre ve Tipi	Veri Tipi	Açıklama	
Axis	IN	Axis_1	Eksen teknoloji nesnesi
Enable	IN	Bool	False (varsayılan): Tüm aktif görevler parametreleridirler "Stop Mode" a göre iptal edilerek eksen durdurulur. True: Hareket kontrolü, eksenini etkinleştirmeye çalışır.
Stop Mode	IN	Int	Eksen, duraklama haline geldikten sonra devre dışı bırakılır Eksen yavaşlama olmadan devre dışı bırakılır. Sarsıntı kontrolü ile acil durdurma sağlanır.

4.7.2. MC_Home komutu

Robot belirli bir konuma geldiğinde bulunduğu noktayı 0 olarak kabul etmesi için MC_Home komutu kullanılmaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. MC_Home komutu

Eksende home işlemini gerçekleştirmek dört farklı homing seçeneğine ait bilgiler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Tez çalışmasında mod=0 kullanılmıştır.

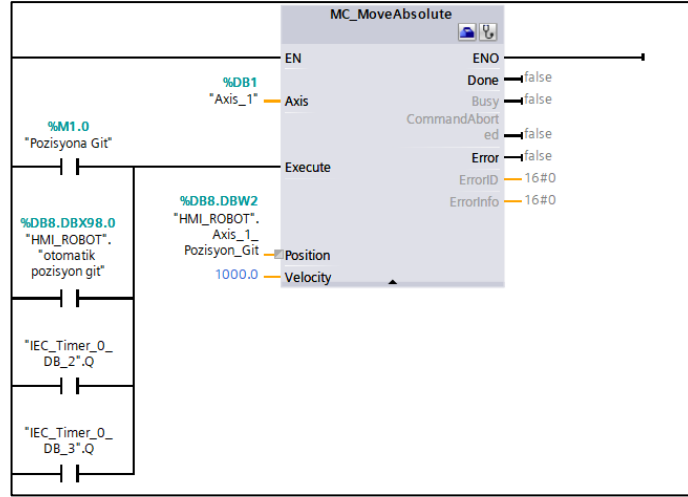
Çizelge 4.2. Homing modları

Direct homing absolute (Mod = 0):	Geçerli eksen konumu "Position" parametre değerine ayarlanır. Bulunduğu konumu home kabul eder.
Direct homing relative (Mod = 1):	Geçerli eksen konumu "Position" parametre değeriyle kaydırılır
Passive homing (Mod = 2):	Passive homing sırasında, MC_Home komutu herhangi homing hareketi gerçekleştirmez. Bu adım için gerekli olan dönme hareketi, diğer hareket kontrol komutları aracılığıyla kullanıcı tarafından uygulanmalıdır.
Active homing (Mod = 3):	Homing prosedürü tanımlanan eksen teknolojisinde ayarlandığı gibi otomatik olarak yürütülür.

Position seçeneği home moduna bağlı bir parametredir. Home modu tanımlandıktan sonra eksenin konumlanacağı pozisyon belirlenmiştir. Pozisyon değeri 0.0 seçilirse home modu seçilen değerde kalacaktır. Axis parametresi tanımlanan eksen seçmek için execute parametresi ise MC_home komutunu aktif etmek için kullanılan parametrelerdir.

4.7.3. MC_Move Absolute komutu

MC_Move absolute komutunun görseli Şekil 4.19, komutun özellikleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir. Vidalı mil üzerindeki tablanın home noktasından 100 mm ileri gitmesi istenirse position kısmına 100 yazılır. Home komutundan 80 mm ters yöne gitmesi isteniyorsa position kısmına -80 yazılır. Bu yüzden MC_Move absolute komutu, home komutu ile kullanılmak zorundadır.



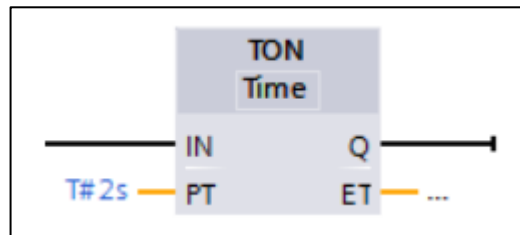
Şekil 4.19. MC_Move absolute komutu

Çizelge 4.3. MC_Move absolute komutu parametreleri

Paremtre ve Tipi	Veri Tipi	Açıklama	
Axis	IN	Axis_1	Eksen teknoloji nesnesi
Execute	IN	Bool	Görevi pozitif kenar ile başlatma
Pozition	IN	Bool	Mutlak hedef pozisyonu
Velocity	IN	Real	Eksen hızı
Done	OUT	Bool	True = Mutlak hedef pozisyonuna ulaşıldı

4.7.4. Zamanlayıcı komutu

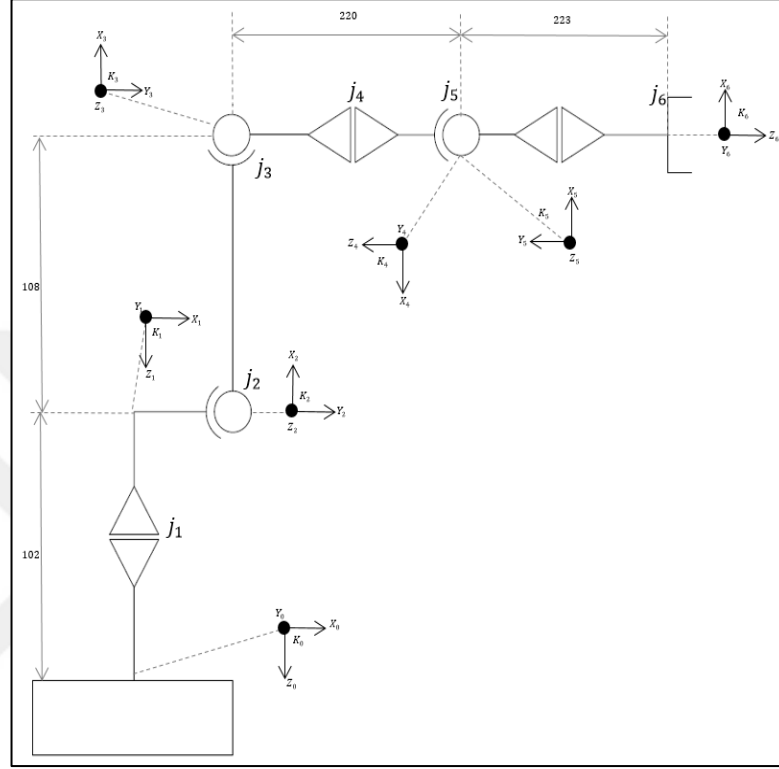
TON zamanlayıcısı, ayarlanan süre gecikmesinden sonra Q çıkışını on (açık) yapmaktadır. TOF zamanlayıcısı ise ayarlanan süre gecikmesinden sonra Q çıkışını off (kapalı) olarak resetlemektedir. TONR zamanlayıcısı, ayarlanan süre gecikmesinden sonra Q çıkışını on (açık) olarak ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu zamanlayıcıda geçen süre, R girişi, zamanı resetlemek için kullanılına kadar geçen çoklu zamanlama periyotlarının toplamı kadardır (Siemens, 2019). TON zamanlayıcısının sembolü Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Düz zamanlayıcı komutu

4.8. İleri Kinematik Hesaplamalar

Şekil 4.21’de gösterilen tasarlanan robot kolun eklem uzunlukları, dönüş açıları gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Ters kinematik

Robot kolun D-H Tablosuna ait bilgiler Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. D-H tablosu

D-H Tablosu					
Eksen No	α_{i-1}	$a_{i-1}(m)$	θ_i	$d_i(m)$	
0	0	102	-	-	
1	90	0	128	θ_1	
2	0	220	0	Θ_2-90	
3	90	0	0	θ_3	
4	-90	0	223	Θ_4+180	
5	90	0	0	Θ_5+180	
6	0	0	x	Θ_6	

Denklem (4.1)’de (i) eksen takımı ($i - 1$) eksen takımına göre ${}^{i-1}_i T$ Dönüşüm matrisi elde edilmektedir. Çizelge 4.4’te verilen verilere göre denklem (4.1)’de 5+1 eksene

göre dönüşüm matrisi hesaplamaları yapılmıştır ve 6 adet dönüşüm matrisi elde edilmiştir.

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

Denklem (4.1)'den elde edilen altı adet dönüşüm matrisi denklem (4.2)'de yerine yazılarak denklem (4.2) elde edilmiştir.

$${}^0T_6 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (4.2)$$

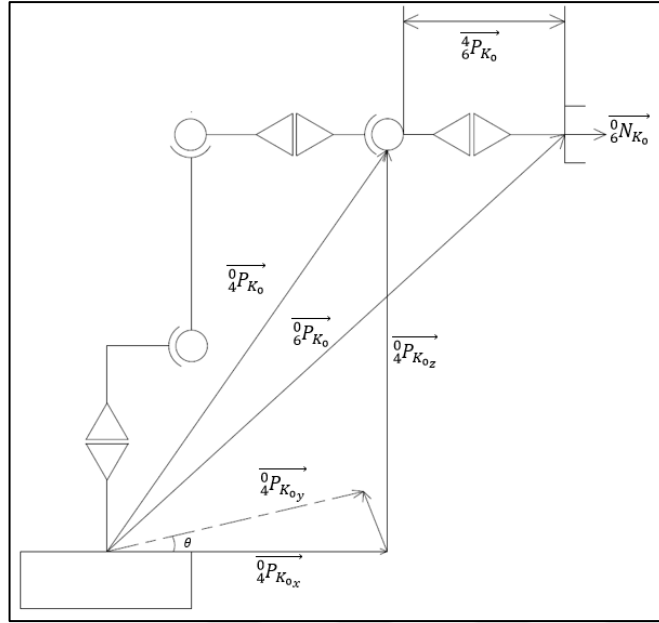
Denklem (4.2) incelendiğinde referans eksen takımına göre uç işlevcinin eksen takımı hesaplamak için aradaki dönüşüm matrislerin çarpım işlemi gerçekleştirilmiştir. Denklem (4.3) ileri kinematik referans eksen takımına göre uç işlevcinin eksen takımının dönüşüm matrislerine ait matematiksel eşitlik verilmiştir.

$${}^0T_6 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Matris son sütunünde üç işlevcinin x,y ve z konum koordinatını ifade etmektedir. r_{14} 'ün x eksenindeki konumu (P_x), r_{24} 'ün y eksenindeki konumu (P_y) ve r_{34} 'ün z eksenindeki konumu (P_z) temsil etmektedir.

4.9. Ters Kinematik Hesaplamalar

Ters kinematik diyagramı Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Ters kinematik

Şekil 4.22’de gösterildiği gibi ilk eklem açısının hesaplanması için vektörün izdüşümü kullanılmaktadır. Uç işlevicinin bulunduğu konuma göre altı eksenin konumları hesaplanmaktadır. Bunun için denklem (4.4) ile denklem (4.5) arasında verilen matematiksel eşitlikler kullanılmıştır.

$${}^0_G T = \begin{bmatrix} {}^0_G T_{11} & {}^0_G T_{12} & {}^0_G T_{13} & {}^0_G T_{14} \\ {}^0_G T_{21} & {}^0_G T_{22} & {}^0_G T_{23} & {}^0_G T_{24} \\ {}^0_G T_{31} & {}^0_G T_{32} & {}^0_G T_{33} & {}^0_G T_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

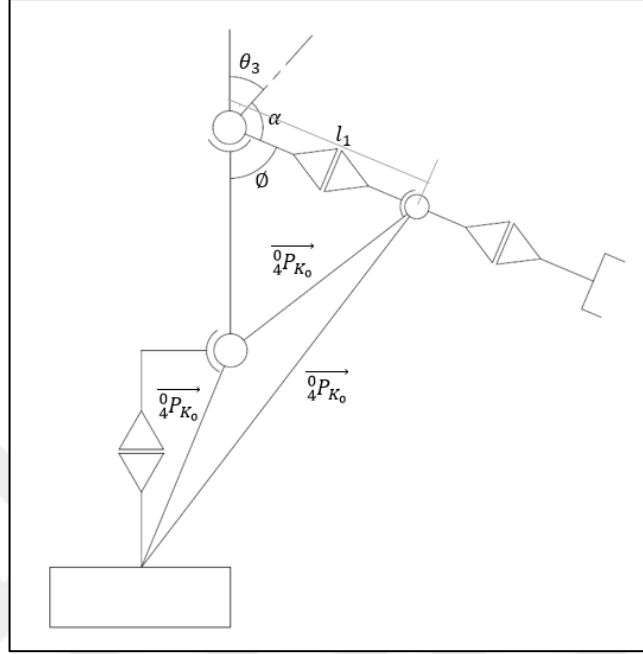
$${}^0_6 N_{K_0} = \begin{bmatrix} {}^0_G T_{13} \\ {}^0_G T_{23} \\ {}^0_G T_{33} \end{bmatrix} \begin{cases} \overrightarrow{{}^0_6 N_{K_0}} = d_6 \times \overrightarrow{{}^0_6 N_{K_0}} \\ \overrightarrow{{}^0_6 P_{K_0}} = \begin{bmatrix} {}^0_G T_{14} \\ {}^0_G T_{24} \\ {}^0_G T_{34} \end{bmatrix} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\overrightarrow{{}^0_4 P_{K_0}} = \overrightarrow{{}^0_6 P_{K_0}} - \overrightarrow{{}^0_6 P_{K_0}} = \begin{bmatrix} {}^0_G T_{14} - d_6 {}^0_G T_{13} \\ {}^0_G T_{24} - d_6 {}^0_G T_{23} \\ {}^0_G T_{34} - d_6 {}^0_G T_{33} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Denklem (4.4)’te ${}^0_G T$ hedef transform matrisi iken K ise frame temsil etmektedir.

$$\theta_1 = \begin{cases} \text{Arctan2}({}^0_G T_{24} - d_6 {}^0_G T_{23}, {}^0_G T_{14} - d_6 {}^0_G T_{13}) \\ \text{Arctan2}({}^0_G T_{24} - d_6 {}^0_G T_{23}, {}^0_G T_{14} - d_6 {}^0_G T_{13}) + \pi \end{cases} \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te θ_1 ise ilk eklemin açısıdır. Şekil 4.23'te gösterildiği gibi üçüncü eklemin açısının hesaplanması için denklem (4.6) ile denklem (4.9) arasında verilen matematiksel eşitlikler kullanılmıştır.



Şekil 4.23. Ters kinematik

$${}^0_2T = \begin{bmatrix} {}^0_2T_{11} & {}^0_2T_{12} & {}^0_2T_{13} & {}^0_2T_{14} \\ {}^0_2T_{21} & {}^0_2T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ {}^0_2T_{31} & {}^0_2T_{32} & {}^0_2T_{33} & {}^0_2T_{34} \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\vec{{}^0_2P_{K_0}} = \begin{bmatrix} {}^0_2T_{14} \\ {}^0_2T_{24} \\ {}^0_2T_{34} \end{bmatrix} \vec{{}^2_4P_{K_0}} = \vec{{}^2_4P_{K_0}} - \vec{{}^0_4P_{K_0}} = \begin{bmatrix} \vec{{}^2_4P_{K_{0x}}} \\ \vec{{}^2_4P_{K_{0y}}} \\ \vec{{}^2_4P_{K_{0z}}} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$\varnothing = \text{Arcsin} \left(\frac{\left(l_1^2 - a_2^2 + \left| \vec{{}^2_4P_{K_0}} \right|^2 \right)}{2 \left| \vec{{}^2_4P_{K_0}} \right| l_1} \right) + \text{Arcsin} \left(\frac{\left(\left| \vec{{}^2_4P_{K_0}} \right| - \frac{l_1^2 - a_2^2 + \left| \vec{{}^2_4P_{K_0}} \right|^2}{2 \left| \vec{{}^2_4P_{K_0}} \right|} \right)}{a_2} \right) \quad (4.7)$$

$$\alpha = \text{Arctan}(-d_4, a_3) \quad (4.8)$$

$$\theta_3 = \begin{cases} \pi - \varnothing - \alpha \\ \pi + \varnothing - \alpha \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\theta_2 = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - (|\beta_1| + \beta_2) \\ \frac{\pi}{2} + (|\beta_1| - \beta_2) \end{cases} \quad (4.15)$$

İlk olarak denklem (4.10) kullanılarak dönüşüm matrisinden K_2 çerçevesi ile K_4 çerçevesi arasındaki $\overrightarrow{42P_{K_2}}$ değeri hesaplanmıştır. Daha sonra β_1 ve β_2 olan açıların matematiksel eşitlikleri elde edilmiştir. Son olarak ikinci eklem açısının θ_2 açı değeri hesaplanmıştır. Beşinci eklem açısını hesaplamak için denklem (4.17) ve denklem (4.18)'de verilen matematiksel eşitlikler kullanılmıştır. İlk olarak $\theta_4 = 0$ olarak kabul edip $\overrightarrow{40N_{K_0}}$ vektörü ile θ_5 açı değeri hesaplanmıştır.

$${}^0_2T = \begin{bmatrix} {}^0_2T_{11} & {}^0_2T_{12} & {}^0_2T_{13} & {}^0_2T_{14} \\ {}^0_2T_{21} & {}^0_2T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ {}^0_2T_{31} & {}^0_2T_{32} & {}^0_2T_{33} & {}^0_2T_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \overrightarrow{4N_{K_0}} = \begin{bmatrix} {}^0_4T_{13} \\ {}^0_4T_{23} \\ {}^0_4T_{33} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

$$\theta_5 = \pi - \text{Arccos}(\overrightarrow{40N_{K_0}} \cdot \overrightarrow{60N_{K_0}}) \quad (4.18)$$

Dördüncü ve altıncı eklemlerin açıları hesaplanmak için denklem (4.19) ile denklem (4.24) arasında verilen eşitlikler kullanılmıştır. θ_4 ve θ_6 açı değerlerini hesaplamak için 4_6R rotasyon matrisi kullanılmıştır.

$${}^4_6R = {}^0_4R^{-1} {}^0_6R = {}^4_0R {}^0_6R \quad {}^4_6R = \text{Rot}_z(\theta_4) \text{Rot}_y(\theta_5 + \pi) \text{Rot}_z(\theta_6) \quad (4.19)$$

$$\text{Rot}_y(\theta_5 + \pi) = \begin{bmatrix} \cos(\pi + \theta_5) & 0 & \sin(\pi + \theta_5) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\pi + \theta_5) & 0 & \cos(\pi + \theta_5) \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$\text{Rot}_z(\theta_6) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_6) & -\sin(\theta_6) & 0 \\ \sin(\theta_6) & \cos(\theta_6) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

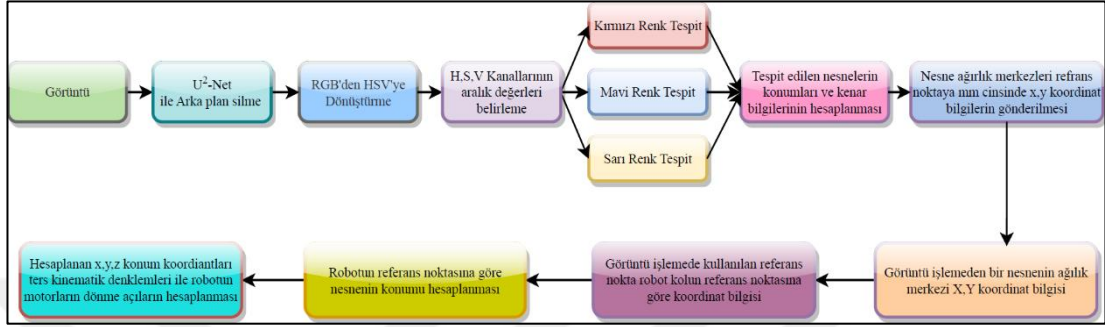
$${}^4_6R = \begin{bmatrix} -c_4c_5c_6 - s_4s_6 & c_4c_5s_6 - s_4c_6 & -c_4s_5 \\ -s_4c_5c_6 + c_4s_6 & s_4c_5s_6 + c_4c_6 & -s_4s_5 \\ s_5c_6 & -s_5s_6 & -c_6 \end{bmatrix} \quad {}^4_6R = \begin{bmatrix} {}^4_6R_{11} & {}^4_6R_{12} & {}^4_6R_{13} \\ {}^4_6R_{21} & {}^4_6R_{22} & {}^4_6R_{23} \\ {}^4_6R_{31} & {}^4_6R_{32} & {}^4_6R_{33} \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

$$\theta_4 = \text{Arctan}(-{}^4_6R_{23}, -{}^4_6R_{13}) \quad (4.23)$$

$$\theta_6 = \text{Arctan}({}^4_6R_{32}, {}^4_6R_{31}) \quad (4.24)$$

4.10. Görüntü İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Ürün Tasnifleme Sonuçları

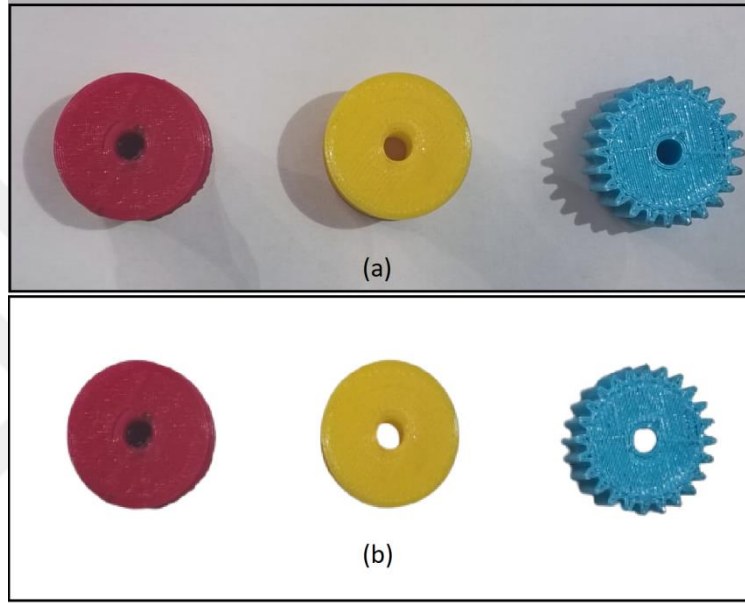
Çalışmada görüntü işleme teknikleri kullanılarak Şekil 4.25’de verilen iş akış diyagramı kullanılarak nesnelerin tespiti ve ağırlık merkezleri hesaplanmıştır. Ayrıca Python programlama dili çalışmaya özel bir yazılım geliştirilmiştir.



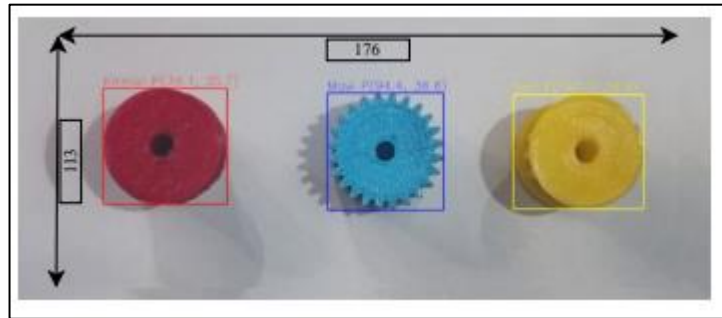
Şekil 4.25. Görüntü işleme ile nesne tespiti ve konum bilgileri hesaplama

Şekil 4.25’te görüldüğü gibi ilk olarak RGB görüntüler üzerinde arka plan silmek için yapay zeka tabanlı ve önceden eğitilmiş U²-Net modeli kullanılmıştır. İkinci aşamada ise arka planı silinmiş görüntüler üzerindeki nesnelerin rengine göre tespit edebilmek için renk uzayları HSV’ye dönüştürülmüştür. Bir sonraki aşamada ise HSV renk uzayına dönüştürülen görüntüler üzerinde H, S ve V kanallarına 0-255 arasında bir aralık belirlenmiştir. Seçilen aralık dışında kalan tüm pikseller arka plana ait olduğu kabul edilmiştir. Belirlenen H, S ve V kanal değerlerine göre çalışmada kullanılan sarı, mavi ve kırmızı nesnelerin tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Sarı rengi için H kanalın alt değeri 20 ve üst değeri 30 olarak seçilirken S ve V kanalların alt değerleri 100 ve üst değerleri 255 olarak seçilmiştir. Mavi rengi için H kanalın alt değeri 90 ve üst değeri 120, S kanalın alt değeri 80 ve üst değeri 255 ve V kanalın alt değeri 2 ve üst değeri 255 olarak seçilmiştir. Son olarak kırmızı rengi için H kanalın alt değeri 136 ve üst değeri 180, S kanalın alt değeri 87 ve üst değeri 255 ve V kanalın alt değeri 111 ve üst değeri 255 olarak seçilmiştir. Nesne tespit işleminden sonra görüntü tekrar RGB renk uzayına dönüştürülmüştür. RGB görüntüler üzerinde işlem maliyetini azaltmak için görüntüler gray scale (siyah-beyaz) dönüştürülmüştür. Tez çalışmasında bu işlemleri gerçekleştirebilmek için ilk olarak gray görüntüye dönüştürülen görüntü üzerinde hangi bölgelerde nesne olduğu tespit etmek için eşikleme (thresholding) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise görüntü üzerindeki tespit edilen nesne sınır bilgileri ve alanı hesaplamak için contours fonksiyonu ile nesnelerin sınır

noktaları belirlenmiştir. Son aşamada ise findcontours fonksiyonlu hesaplanan sınır bilgilerine göre nesnenin ağırlık merkezi hesaplanarak bir referans noktaya göre nesnenin ağırlık merkezinin x ve y konum koordinatları milimetre cinsinden hesaplanmıştır. Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de görüntü işleme yöntemlerinde kullanılan nesnelere ait görseller verilmiştir. Çalışmada U²-Net modeli ile elde edilen arka plan silme işleminin bir örnek sonucu Şekil 4.26’da verilmiştir. Şekil 4.26 incelendiğinde U²-Net arka plan silmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



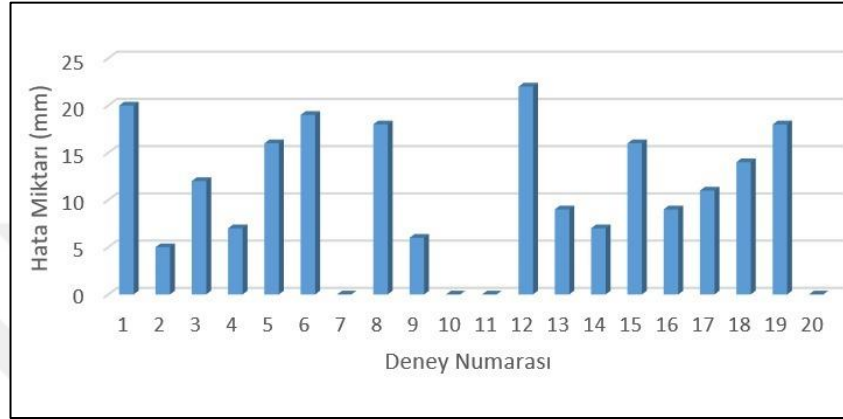
Şekil 4.26. U²-Net ile arkaplan silme işlemi



Şekil 4.27. Çalışmada kullanılan nesnelere

4.11. Robot Kolun Çalışmasının Doğruluk Analizi

Çalışmada geliştirilen robot kolun doğruluk analizi yapmak için 20 adet deney yapılmıştır. Her deneyde robot kolun gitmesi gereken konuma ve gittiği konuma arasındaki hata payı milimetre olarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerden elde edilen hata miktarları Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. Robot kolun çalışmasının doğruluk analizi

Şekil 4.28 incelendiğinde hata miktarları 0 mm ile 22 mm arasında değiştiği görülmektedir. Robotun ortalama hata payı 10.50 mm olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki birçok endüstri alanında robot kollar kullanılmaktadır. Robot kolların kullanımı insan gücüne dayalı işleri kolaylaştırmakta, hız ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamakta ve oluşabilecek hatalarda en aza indirilmektedir. Robot kollar endüstride taşıma, kaynak, üretim gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Tez çalışmasında 5+1 serbestlik derecesine sahip robot kol tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan robot kol üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan robot kolun motor seçimi, sürücü ve kontrolcü seçimi yapılmıştır. Çalışma için gerekli literatür araştırması yapılmış ve gerekli malzemeler temin edilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen robot kol bir nesneyi tanımlı bir konumdan alarak başka bir tanımlı konuma taşıyabilme özelliğine sahiptir. Üretilen robot kolda deneysel olarak taşıma, başlangıç ve bitiş hareketlerini yaparak hedefe ulaşırma sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Üretilen robot kol eğitim, ticari gibi alanlarda kullanılabilirliği düşünülmektedir. Bir sonraki aşamada ise geliştirilen 5+1 serbestlik derecesine sahip robot kolun D-H tablosu oluşturulmuştur. D-H tablosunda robotun uzuv uzunlukları ve açıları belirlenmiştir. D-H tablosu kullanılarak dönüşüm matrisi ile her eksen için D-H tablosu kullanarak her eksen için dönüşüm matrisi hesaplanmıştır ve robotun ileri kinematik analizi yapılmıştır. İleri kinematik hesaplamaları denklem (4.1-4.3) arasında verilmiştir. Buna ek olarak robot kolun ters kinematik hesaplamaları yapılarak gitmesi gereken konuma motorların açılarının matematiksel modelleri elde edilmiştir. Ters kinematiğin analiz sonuçları denklem 4-23 arasında verilmiştir. Tez çalışmasının son bölümünde görüntü işleme teknikleri ve nesnelere ait arka planları temizle de U²-Net yapay zeka yöntemi kullanılarak düzlem üzerinde bulunan nesnelere renklerine göre tespit edilmiştir. Tespit edilen nesnelere ağırlık merkezlerini hesaplanarak x ve y koordinatları elde edilmiştir. Görüntü işleme bölümünde görüntüyü HSV renk uzayına mavi, sarı ve kırmızı renkleri için H, S ve V kanallarının aralık değerleri belirlenerek sınıflandırılmıştır. Tez çalışmasında bilgisayar ortamında mekatronik kontrolün nasıl sağlanacağı konusunda akademiye bir katkı sağladığı düşünülmektedir. Aynı zamanda yapay robotların çalışma yapıları ve robotun üretim parçalarını imal edilmiştir. Yapay bir robot kolu çalıştırmak için kontrol programı oluşturulmuştur. İlerleyen çalışmalarda yapay zeka yöntemleri kullanılarak robot kol üzerinde geliştirmeler yapılarak akademik literatüre katkıların sağlanması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, M. (2007). *İki Ayaklı Yürüme Hareketinin Modellemesi ve Kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Alp, O. E. (2012). *Genel Amaçlı Robot Kolu Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Altun, Y., Öztürk, Z., & Özüberk, H. (2016). Bulanık mantık ve arduino kullanarak step motorun hız kontrolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 672-680.
- Anonim (2023a). Servo Motor. https://tr.wikipedia.org/wiki/Servo_motor. (Son erişim tarihi: 01 Ocak 2023)
- Anonim, (2023b). Hangi PLC Dili Seçilmeli? En Sık Kullanılan PLC Programlama Dilleri. <https://www.lojikprob.com/elektronik/hangi-plc-dili-secilmeli-en-sik-kullanilan-plc-programlama-dilleri/>. (Son erişim tarihi: 01 Ocak 2023)
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business horizons*, 60(5), 677-688.
- Au, A. K., Huynh, W., Horowitz, L. F., & Folch, A. (2016). 3D- printed microfluidics. *Angewandte Chemie International Edition*, 55(12), 3862-3881.
- Ayata, F., & Çakır, A. (2013). FPGA Tabanlı Üç Eksenli Robot Kol Kontrolü. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 92-99.
- Ayberk, A. (2001) *Bir robot manipülatörün görsel ve yörünge kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ayvaz, U., Çoban, A., Gürüler, H., & Peker, M. (2016). *Python Dilinin Öznitelikleri, Programlama Eğitiminde ve Yazılım Dünyasındaki Yeri*.
- Barutçuoğlu, E. I. (2001). *Robotların Tarihçesi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Berki, K. (2013). *Yapay Sinir Ağları ile Robot Kolu Kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bhbosale, S., Pujari, V., & Multani, Z. (2020). Advantages and Disadvantages of Artificial Intelligence. *Aayushi International Interdisciplinary Research Journal*, 77, 227-230.
- Bilgiç, H. H. (2018). *Esnek Sistemlerin Kontrolü İçin Yapay Zekâ Teknikleri İle Girdi Şekillendirici Tasarımı*, (Doktora Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Borovic, B., Liu, A. Q., Popa, D., Cai, H., & Lewis, F. L. (2005). Open-Loop Versus Closed-Loop Control of MEMS Devices: Choices and Issues. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 15(10), 1917.
- Bostan, B. (2004). *PUMA 560 robotunun hesaplanmış moment metoduyla kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Buğday, M. (2018). *Endüstriyel robot kollarının tasarımından kaynaklanan ölü yüklerin sonlu elemanlar yöntemi ile optimize edilmesi ve işletme maliyetlerine etkisinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çalışkan, A. (2004). *Mekatronik sistemlerde internet tabanlı kontrol ve kartezyen robot üzerinde bir uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çelebi, A., Korkmaz, A., Yılmaz, T., & Tosun, H. (2019). 3 Boyutlu Yazıcı ile 6 Eksenli Robot Kol Tasarım Ve İmalatı. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(3), 269-278.
- Çengelci, B., & Çimen, H. (2005). Endüstriyel robotlar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 69-78.
- Çetinkaya, Ö. (2008). *Bir Kolun Hareketlerini Takip Eden Dört Dönel Mafsallı Robot Kolu Tasarımı ve Deneysel Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- De Backer, K., DeStefano, T., Menon, C., & Suh, J. R. (2018). *Industrial robotics and the global organisation of production*.
- Dierbach, C. (2012). *Introduction to computer science using python: A computational problem-solving focus*. Wiley Publishing.
- El Naser, Y. H., Karayel, D., Ozkan, S. S., & Atali, G. (2017). Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı. *In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISITES2017 Baku-Azerbaijan*.
- Eren, İ. (2006). *Gereğinden Çok Serbestlik Dereceli Robot Kolu Kontrol Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ersöz, H. (2007). *Endüstriyel Robotlar ve Uygulama Alanları*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Gokhare, V. G., Raut, D. N., & Shinde, D. K. (2017). A review paper on 3D-printing aspects and various processes used in the 3D-printing. *Int. J. Eng. Res. Technol*, 6(6), 953-958.

- Gören, A. (2001) Bilgisayar destekli uzaktan kumandalı manipülatör araç ve veri transferi sistemi. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014). *Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences.*
- Gutiérrez, S. C., Zotovic, R., Navarro, M. D., & Meseguer, M. D. (2017). Design and manufacturing of a prototype of a lightweight robot arm. *Procedia Manufacturing, 13*, 283-290.
- Güleç, M. Ö., & Ertuğrul, Ş. (2013). İnsansı Robot Kolu Tasarımı ve Yörünge Kontrolü. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2014, Kocaeli-Türkiye*, 11, 13.
- Gündoğdu, K., & Yücedağ, İ. (2013). Ses veya Arayüz Yardımı ile Kontrol Edilebilen Mobil Robot Kol Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1(1)*, 24-31.
- Havusoğlu, H. (2014). *Robot kol tasarımı, kinematik analizi ve etkileşimli kontrolü.* (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kalkan, K. (2018). *Endüstri 4.0: Sektörel Bazda İncelenmesi ve Patent Sistemi Üzerindeki Etkisi*, Ankara.
- Karakoç, M. (2011). *Görüntü İşleme Teknikleri ve Yapay Zekâ Yöntemleri Kullanarak Görüntü İçinde Görüntü Arama.* (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kayışlı, K., & Uğur, M. (2017). 3 Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolun Bulanık Mantık ve PID ile Kontrolü. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji.*
- Koca, H., Doğan, M., & Taplamacıoğlu, M. C. (2009). Endüstriyel Robotların Yapıları, Kullanım Alanları ve Market İstatistikleri. *Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi V. Otomasyon Sempozyumu*, 7-10.
- Kun, K. (2016). Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology. *Procedia Engineering, 149*, 203-211.
- Malkoç, B. (2012). Temel Bilimler Ve Mühendislik Eğitiminde Programlama Dili Olarak Python. *XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 201.
- Megep, (2011). Plc Programlama Teknikleri. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Plc%20Programlama%20Teknikleri.pdf. (Son erişim tarihi: 01 Ocak 2019)
- Noorani, R. (2017). *3D printing: technology, applications, and selection.* CRC Press.

- Özdoğan, S. (2021). *Eklemeli İmalat Yöntemleriyle Üretilen Parçaların Baskı Parametrelerinin Üç-Nokta-Eğilme Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Özel, M., (2022). *Gerçek Zamanlı Görüntü İşleme Kullanılarak Kartezyen Robot İle Fotolitografide Maske Hizalama*. (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Özgür, E., & Mezouar, Y. (2016). Kinematic modeling and control of a robot arm using unit dual quaternions. *Robotics and Autonomous Systems*, 77, 66-73.
- Özmen, M. S. (2018). İki ve üç boyutlu farklı robotik sistemler arasında kinematik dönüşüm analizleri. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü)
- Papp, I., Tornai, R., & Zichar, M. (2016). What 3D technologies can bring to education: the impacts of acquiring a 3D printer. *In 2016 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications*, 000257-000262. IEEE.
- Resinovič, B. (2015). The use of Nao, a humanoid robot, in teaching computer programming. *In the Proceedings of International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution and Perspectives—ISSEP*, 63.
- Rüstemli, S., Yılmaz, M., & İnanç, N. (2009). İki Eksenli Robot Kolun Paralelport Üzerinden Kontrolü. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 45-49.
- Samtaş, G., & Gülesin, M. (2011). Sayısal görüntü işleme ve farklı alanlardaki uygulamaları. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2(1), 85-97.
- Schubert, C., Van Langeveld, M. C., & Donoso, L. A. (2014). Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *British Journal of Ophthalmology*, 98(2), 159-161.
- Shao, J., Zhou, K., Cai, Y. H., & Geng, D. Y. (2022) Application of an Improved U²-Net Model in Ultrasound Median Neural Image Segmentation. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 48(12), 2512-2520.
- Siemens (2019). S7 1200 PLC'ler. www.siemens.com.tr (Son erişim tarihi: 01 Aralık 2019)
- Spadafora, F., Muzzupappa, M., Bruno, F., Ribas, D., & Ridao, P. (2015). Design and construction of a robot hand prototype for underwater applications. *IFAC-Papers On Line*, 48(2), 294-299.
- Stansbury, J. W., & Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental materials*, 32(1), 54-64.

- Su, A., & Al'Aref, S. J. (2018). *History of 3D printing*. In 3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine, Academic Press, 1-10.
- Şahin Y. (2006) *Scara Tip Bir Robotun Yörünge Kontorlünde PID Kontrol Uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Taşkaya, H. O. (2012). *Uzak Bilgisayar Kontrollü Robot Kol*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tekin, E. (2008). *Kontrol sistemlerinde bozucuların giderilme yöntemleri*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Tonbul, T., & Sarıtaş, M. (2003). Inverse Kinematics Calculations and Trajectory Planning of Edubot robot arm with five axess. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18(1).
- Tumbleston, J. R., Shirvanyants, D., Ermoshkin, N., Januszewicz, R., Johnson, A. R., Kelly, D., Chen, K., Pinschmidt, R., Rolland, J. P., Ermoshkin, A., Samulski, E. T., & DeSimone, J. M. (2015). Continuous liquid interface production of 3D objects. *Science*, 347(6228), 1349-1352.
- Xia, Y., & Fu, M. (2013). *Compound control methodology for flight vehicles*. Berlin: Springer.
- Yarım, M. A. (2004). *İnternet üzerinden TCP/IP protokolünü kullanarak robot kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ye, Z., Wei, J., Lin, Y., Guo, Q., Zhang, J., Zhang, H., Deng, H. & Yang, K. (2022) Extraction of olive crown based on UAV Visible images and the U²-Net deep learning model. *Remote Sensing*, 14(6), 1523.
- Yıldırım, E. (2022). *PLC tabanlı 6 eksenli endüstriyel robot ile miliken bezi sarma sisteminin otomasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yıldırım, G. (2021). *3 eksenli bir robot kolun kontrol metotların incelenmesi ve verimlilik analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Yılmaz, D. (2010). *Bir Robot Kolunun Bilgisayar Destekli Kinematik Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yüzgeç, U., Büyüktepe, H. E., & Karakuzu, C. (2016). Kablosuz Eldiven Sistemi İle Kontrol Edilen Robot Kol Tasarımı. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri Ve Mühendisliği Dergisi*, 9(2), 35-42.

ÖZGEÇMİŞ

