

**T.C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**5-EKSENLİ ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL**

**EMRE SARIALTIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**YRD. DOÇ. DR. MEHMET AKİF ŞENOL**

**İSTANBUL, 2017**

Emre SARIALTIN tarafından hazırlanan “5- Eksenli Endüstriyel Robot Kol” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Yrd.Doç.Dr. Mehmet Akif ŞENOL

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

**Başkan :**Prof.Dr. Ali OKATAN

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

**Üye :**Doç.Dr. Mehmet SAĞBAŞ

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Yeni Yüzyıl Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: 21/06/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Nuri KURUOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

21/06/2017

EMRE SARIALTIN

5-EKSENLİ ENDÜSTRİYEL ROBOT KOL  
(Yüksek Lisans Tezi)

EMRE SARIALTIN

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
HAZİRAN 2017

ÖZET

Robot ve robot uzuvlarının tasarımı yapılırken en büyük tasarım kaynağı insandır. Bu çalışmada insan vücudunun bir organı olan kol örnek alınarak 5-eksenli bir robot kol tasarımını SolidWorks 2013x64 Edition programı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bilindiği üzere robot kolun eksen sayısı arttıkça hareket yeteneğinde de artış olmaktadır. Robot kolunun hareketi için ters kinematik hesaplamaları yapılmaktadır. Robot kolun çalışma prensibi ve kontrol mekanizmaları incelenerek arduino programlama ile tasarımı yapılmıştır. Bu projede tasarlanan robot kolun hareket kabiliyetleri Arduino Uno R3 micro controllerı programlanarak servo motorların her birinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Böylece servo motorlarının girişlerinin bulunduğu devre dışında herhangi bir devreye gereksinim duyulmaksızın arduino üzerinden istenilen işlemler gerçekleştirilmiştir. Mekanik kısmın çiziminden sonra 3D printer kullanılarak her bir tasarım parçalarını bu 3D printerden alarak montajı gerçekleştirilmiştir, daha sonra Tasarlanan robot kol fiziksel olarak gerçekleştirilerek istenilen hareketleri yaptığı deneysel olarak gösterilmiştir.

AnahtarKelimeler : 5- eksen, robot, kol, solidworks

SayfaAdedi : 87

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akif ŞENOL

# 5-AXIS INDUSTRIAL ROBOT ARM

(Master's Thesis)

EMRE SARIALTIN

GELİŞİM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

JUNE 2017

## ABSTRACT

Human is the biggest design source when designing robot and robot parts. Taking as a sample from the arm of a human body, this work which is a 5-axis robot arm design is carried out by using the SolidWorks 2013 x64 Edition program. As is known, the robot arm axis number increases, the movement ability increases. Inverse kinematic calculations are made for robot arm motion. By giving information about the working principle of the robot arm and control mechanisms, the design of the robot arm is carried out by Arduino programming by carrying it to a more flexible structure. The ability of robot arm which is designed in this project are carried out control each servo motor by programming arduino uno R3 micro controls. By this way except circuit which exists access of servo motor, all processes are carried out on an arduino and also there is no need to another circuit. After drawing mechanical part, each of the design pieces montage are carried out by using 3D print and taking its pieces from that printer, and then this designed robot arm was showed as an experiment by carrying out physically all the wishes which are wanted.

KeyWords : 5-axis, robot, arm, solidworks

PageNumber : 87

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Mehmet Akif ŞENOL

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma sürecinde bilgi, öneri ve deneyimlerini esirgemeyen, araştırmanın her aşamasında fikirleriyle yol gösteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akif ŞENOL'a, bilimsel çalışmamın her alanında pratik bilgileri ile destek olan mesai arkadaşlarıma ve özellikle Ali ÇETİNKAYA ve Tuğba SARAY'a, çalışmalarım süresince maddi manevi fedakarlıktan kaçınmayan çok değerli aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	ix
SİMGELERİN LİSTESİ .....	xi
1.GİRİŞ .....	1
2. ROBOT TASARIMI .....	8
2.1. Robotların Tarihçesi .....	10
2.2. Robotların Genel Özellikleri .....	12
2.2.1. Robotlar .....	12
2.2.2. Endüstriyel Robotların İş güvenliği ile İlişkisi .....	20
2.2.3. İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Endüstriyel Robotlar .....	21
2.2.4. Mevzuat ve Standartlar .....	21
2.2.5. Robot Sistemlerinde Emniyet .....	22
2.2.5.1. Robot Ekipmanı ve Fiziksel Çevresi İle İlgili Emniyet Gereklikleri .....	23
2.2.5.2. Emniyet Bileşenleri ve Kontrol Sistemi ile İlgili Gereklikler .	23
2.2.5.3. Robot Sistemi ile İlgili Çalışmalardaki Diğer Tedbirler .....	25
2.3. Tasarlanacak Robotun Özellikleri .....	26
2.3.1. Robot Kolun Tasarımı .....	27
2.3.2. Tasarlanacak Robot Kolun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	30
2.3.3. Tasarlanacak Robotun Elektrik-Elektronik Özellikleri .....	33
2.3.3.1. Servo Motorlar .....	33
2.3.3.2. DC Servo Motorların Çalışma Prensibi .....	35
2.3.3.3. DC Servo Motorlar ve AC Servo Motorların Karşılaştırılması.	36
2.3.3.4. DC Servo Motorların Özellikleri.....	37
2.3.3.5. DC Servo Motorların İç Yapısı .....	38
2.3.3.6. Arduino Elektronik Kartı .....	38
2.4. Tasarlanacak Robot Kolda İzlenecek Yol ve Yöntemler .....	42

	<b>Sayfa</b>
3. ROBOT KOLUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ .....	43
3.1. Mekanik Parçaların Üretilmesi ve Montajı .....	44
3.2. Yazılım ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	51
4. ULUSLAR ARASI STANDARTLAR VE YAPILAN DENEYLER .....	63
4.1. Uluslar Arası Standartlar .....	63
4.2. Yapılan Deneyler .....	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	68
KAYNAKÇA .....	70
Ek: I. ULUSLAR ARASI ROBOT STANDARTLARI İSO (10218-1) .....	72
Ek: II. ULUSLAR ARASI ROBOT STANDARTLARI İSO (10218-1) .....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	77



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Abaküs Tasarımı .....	10
Şekil 1.2.a. William Grey Walter, Robot Kaplumbağa .....	11
Şekil 1.2.b. Çift Taraflı Hareket Edebilen Shakey .....	11
Şekil 2.1. Sanayide Kullanılan Robot Kollar .....	13
Şekil 2.2. X,Y,Z Kartezyen Robot Kol .....	15
Şekil 2.3. Silindirik Robot Kol .....	16
Şekil 2.4. Küresel Robot Kol .....	16
Şekil 2.5. Scara Robot Kol .....	17
Şekil 2.6. Mafsallı Robot Kol .....	18
Şekil 2.7. Hidrolik ile Çalışan Robot Kollar .....	18
Şekil 2.8. Pnömatik Robot Kol .....	19
Şekil 2.9. Motor Tutucununun 3D Printerda Baskısı .....	28
Şekil 2.10. Orta Kol 3D Printerda Baskısı .....	28
Şekil 2.11. Alt Kolun 3D Printerda Baskısı .....	29
Şekil 2.12. Ana Gövde Kapak 3D Printerda Baskısı .....	29
Şekil 2.13. Üst Motor Tutucu .....	29
Şekil 2.14. Bilinmesi Gereken Değerler .....	30
Şekil 2.15. Robot Kolun Üstten Görünüşü .....	31
Şekil 2.16. Robot Kolun (mz) Düzlemindeki Görüntüsü .....	31
Şekil 2.17. Omuz Açısı .....	32
Şekil 2.18. Dirsek Açısı .....	32
Şekil 2.19. Bilek Açısı .....	33
Şekil 2.20. Uzun, Disk ve Çan Rotorlu Servo Motorların Yapısı .....	34
Şekil 2.21. DC Servo Motor Sürücü Çalışma Prensibi .....	36
Şekil 2.22. DC Servo Motorun İç Yapısı .....	38
Şekil 3.1. Gerçekleştirilen Robot Kolun Ana Gövdesi Gösterilmektedir .....	44
Şekil 3.2. Gerçekleştirilen Robot Kolun Ana Gövde Kapağı Gösterilmektedir .....	45
Şekil 3.3. Gerçekleştirilen Robot Kolun Alt Motor Tutucusu Gösterilmektedir .....	46
Şekil 3.4. Gerçekleştirilen Robot Kolun Alt Kolu Gösterilmektedir .....	47
Şekil 3.5. Gerçekleştirilen Robot Kolun Orta kolu Gösterilmektedir .....	48

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.6. Gerçekleştirilen Robot Kolun Üst Motor Tutucusu Gösterilmektedir .....	49
Şekil 3.7. Gerçekleştirilen Robot KolunMotor Tutucusu Gösterilmektedir .....	50
Şekil 3.8. Arduino Uno R3 .....	51
Şekil 3.9. Program Akış Diyagramı .....	53
Şekil 4.1 Robot Kolun Tanımlanan Başlangıç Değerine Gelmesi .....	65
Şekil 4.2 Robot Kolun Tutma İşlemi Pozisyonuna Gitmesi .....	65
Şekil 4.3 Robot Kolun Malzemeyi Taşımaya İçin Sıkma İşlemi .....	66
Şekil 4.4. Robot Kol Ürünü Bıkram Hareketi .....	66
Şekil 4.5 Robot Kolun İlk Hareketine Dönmesi .....	67



## SİMGELERİN LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
$l_{tb}$	= Taban Yüksekliği
$l_a$	= Arka Kol Uzunluğu
$l_o$	= Ön Kol Uzunluğu
$l_e$	= El Uzunluğu
$l_t$	= Tutucu Uzunluğu
$\Gamma$	= El Açısı
$x,y,z$	= Kartezyen Koordinantları (mm)
$\emptyset$	= Taban Motorunun Dönme Açısı
$M$	= Orjin ile Uç Noktası Arasındaki Mesafe
$\theta$	= Omuz Motorunun Dönme Açısı
$\varphi$	= Dirsek Motorunun Dönme Açısı
$a_c$	= Çokgenin İç Açıları Toplamı
$n$	= Çokgenin Kenar Sayısı
$\delta$	= Bilek Açısı

## 1.GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanlar daima kendi işlerini kolaylaştıracak bir takım sistemlere ihtiyaç duymuşlar ve bu ihtiyaçlar doğrultusunda araştırmalar yapmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde bilgi akışları sağlanmış ve hızla artmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda insanlar kaliteli ürünleri ucuza imal edebilmek amacıyla birbirleri ile rekabete girmişlerdir. Kaliteli ürünleri üretebilmek için çalışan kişilerin tecrübeli ve iyi eğitilmiş olmalarının yanında hataları en aza indirmeleri gerekmiştir. İnsanların fiziki güçlerini aşan durumları ve kaliteli ürünleri hatasız ve ucuza imal edebilmek için otomasyon sistemleri geliştirilmiştir. Makineler sayesinde artık insanlar fiziki güçlerinin yetmediği yerlerde bu makinelerden yardım almaktadır. İlk zamanlarda insanların yardımıyla çalışan makineler, teknolojik gelişmelerden dolayı insanların gücüne ihtiyaç duymaksızın tasarlanan otomasyon sistemleri sayesinde kendi başlarına çalışır duruma gelmiştir.

Bu otomasyon sistemlerinin uygulama alanlarından biride robotlardır. Bilindiği gibi robotlar tasarlanırken, insan vücut yapısı örneklenerek tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise insan vücudunun bir organı olan kol örnek alınarak 5-eksenli bir robot kol tasarımı gerçekleştirilmektedir. Robot kolun eksen sayısı arttıkça hareket yeteneğinde de artış olmaktadır. Robot kolun tasarımını gerçekleştirirken, kolların boyutunu kullanılacak yer ve fizik kanunları belirlerken, malzemenin dayanımı ve türünü ise çalışma ortamı belirlemektedir. Bu bilgiler doğrultusunda tasarlanan robot kollar sayesinde insanların çalışma alanı genişlemiş, hız ve fiziki güç gerektiren yerlerde kullanımları artmıştır. İnsanların fiziki güçleri sınırlı olduğundan dolayı insan gücünden daha fazla güç gerektiren yerler için insan yapısına benzer bir yapıda bulunan insansı robotlar tasarlanmaya başlanmıştır. Son yıllarda insansı robotlar ve insansı robotlara ait uzuvların tasarımı önemli ölçüde artmaktadır. Sanayide insanların fiziki gücünden daha fazla güçlerin kullanıldığı yerlerde, hareketlerin daha kısıtlı olduğu yerlerde, insanlar için tehlike arz eden yerlerde, zor koşullarda ağır görevleri yerine getirebilecek tekrarlayıcı nitelikli görevler için insansı robotlara ait uzuvlar tasarlanmakta, üretilmekte ve geliştirilmektedir. Üretilen robotlar ve uzuvları kendi kararlarını alamadığından dolayı insan yönetimi

gerekmekte idi. Teknoloji alanında atılan adımlar ve yapılan yenilikler arttıkça insanların yerini alabilecek kendi kendini kontrol edebilen sistemler ortaya çıkmıştır.

Zamanla bu kavram genişlemiş ve bir işlemi başından sonuna kadar herhangi bir insanın müdahalesi olmaksızın kendi kararlarını alarak ve bu kararlar doğrultusunda işlemi yapabilecek robot otomasyon sistemleri geliştirilmiştir. Robot otomasyon sistemleri çeşitli algılama elemanları yardımıyla, çevresinden gelen bilgiler doğrultusunda ve kendi veri tabanındaki bilgileri kullanarak karar verebilen, vermiş olduğu bu kararlar doğrultusunda işlemleri uygulayabilen mekanizmalardır. Basit bir şekilde bakarsak robot kolun hareketi için mekanik veya plastik mekanizmalardan, bu mekanizmaların hareketi için motorlardan, motor kontrolü için sürücü ve elektrik-elektronik devrelerden yararlanılmaktadır. Çevresinden gelen bilgilere tepki verebilmesi için ise sensörlerden yararlanır. Robot kolun nerde nasıl hareket etmesi ise tasarlanan algoritma ile sağlanmaktadır. Bu algoritmalar doğrultusunda tasarlanan program ile robotun hareket aksanı tamamlanmış olmaktadır. Algoritmayı ne kadar çok doğru tasarlarsanız robotunuzun hata yapma olasılığını okadar çok düşürürsünüz.

Bu projede tasarlanan robot kolun hareket kabiliyetleri Arduino Uno R3 micro controlleri programlanarak servo motorların her birinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Böylece servo motorlarının girişlerinin bulunduğu devre dışında herhangi bir devreye gereksinim duyulmaksızın arduino üzerinden istenilen işlemler gerçekleştirilmiştir. Mekanik tasarımını da SolidWorks programı kullanılarak robot kolun çizimi ve boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Mekanik kısmın çiziminden sonra 3D printer kullanılarak her bir tasarım parçalarını bu 3D printerdan alarak montajı gerçekleştirilmiştir. Bu robotun çalışabilmesi için gerek duyulan güç ise 9V pil tarafından gerçekleştirilecektir.

Bu konuda aşağıda son zamanlarda yapılan çalışmaların özeti sunulmaktadır.

- Sung Kyun KİM ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları çalışmalarında; son yıllarda cerrahi yardımcı robotlar, cerrahi alanı için başarılı bir başlangıç yaptıklarını büyük boyutları ve yüksek fiyatlarından dolayı bu cerrahi robotların minyatürleşmesine giderek daha fazla ihtiyaç duyulduğunu, kompakt bir cerrahi robot için tasarım metodolojisi sunulmuş çalışma alanı ve kuvvet gereksinimlerini göz önüne alarak, tasarım parametrelerini belirlemek için simülasyon ve deneyler

yaptıklarını beyan etmişlerdir. Analizler sonucunda 5 DOF küresel mekanizmalı kompakt cerrahi robot CURES geliştirilmiş ve özellikleri sunulmuştur [1].

- Jean Pierre GAZEAU ve arkadaşları 2009 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; endüstriyel geniş baskı uygulamaları için yeni bir 5 eksenli robot sunmuşlardır. Robot, Poitiers Üniversitesi'nden LMS1'de geliştirilmiş ve bu buluş için 2006'da uluslararası bir patent alınmıştır. Örneğin, römork tentesi gibi sabit bir yüzeye geniş formatlı üç boyutlu baskı yapılmıştır. Robot, mürekkep püskürtmeli baskı bloğu ve yüzey üzerine püskürtülen mürekkebi kurutmak için bir cihazdan oluşmaktadır. Baskı kafalarını konumlandırmak ve yazdırılacak yüzeye yönlendirmek için 5 serbestlik derecesine sahip mekanik aygıtın kinematik çalışması yapılmıştır. Robotun yapısı, yüksek hız kapasitesi ve baskı çözünürlüğü ile kolaydır. Çalışma prensibi ve mekanik yapısı anlatılmış ve robotun geometrik modeli ve kontrolü tartışılmıştır. Sonuç olarak, baskı sonuçları önerilen 3D yazdırma robotunun verimliliğini göstermektedir [2].
- Bekir ÇENGELCİ ve Hasan ÇİMEN 2010 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; mermer sektörünün bir alt sektörü olan mozaik sektöründe, klasik yöntemlerle üretim yapıldığını, bu sektörde üretim aşamasında ve sonrasında bir çok problem yaşandığını kendi çalışmalarında amacın üretim sistemlerinde yaşanan sorunlara çözüm bulmak olduğunu; ayrıca endüstriyel otomasyon sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmak olduğu için 5 eksenli RV-2AJ Mitsubishi marka robot kol ile cam mozaiklerin sıralama işlemi gerçekleştirdiklerini beyan etmişlerdir. Kullanılan sistemin avantaj ve dezavantajları tartışılarak uygulanan bu sistemin eski çalışma sisteminden daha verimli olduğu ve daha kaliteli mal ürettiği belirlenmiştir [3].
- Musa ATAS ve arkadaşları 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; 5 serbestlik derecesine sahip satranç oynayan bir robotik kol sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemin; ana kontrolör, görüntü işleme, makine öğrenimi, oyun motoru ve robot kol hareket motoru modülleri bulunmaktadır. Görüntü işleme rakip satranç taşı taşıdığı anda tetiklenmektedir. Belirli bir zaman aralığında alınan görüntüler sınıflandırma amacıyla makine öğrenme birimine iletilir. Sınıflandırma işlemi yapıldıktan sonra rakibin geçerli hareketi doğru bir çıktı üretmek için oyun motoruna bir giriş olarak gönderilir. Üretilen çıktı robot kolunun konumlandırılması için hareket motoruna iletilir [4].

- Ufuk GÜRLER ve arkadaşları 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; insanların ihtiyaçlarının hızla artmasından dolayı ve teknolojinin gelişmesiyle insanların ihtiyaçlarının karşılanması için yapılmış çalışmalar, insan hayatını daha bir kolay hale getirdiğini ve yapılan bu çalışmaların robot kol çalışmalarında yoğunlaştığını ifade etmişlerdir. Robot kollar harici bir kullanıcı ile veya önceden robot için yazılmış kodlar aracılığı ile çalışmakta olduğunu belirtmişlerdir. Robot kolları tıp ve endüstri alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ufuk Güler ve arkadaşlarının yapmış oldukları bu projedeki robot kol 5 eksenli olup 6 adet servo motorlardan oluşmaktadır ve 5 eksen yönünde hareket edebildiğini ve bundan dolayı bir malzemeyi bir noktadan başka bir noktaya taşıdıklarını ve bu robot ile karıştırma işemini yaptıklarını belirtmişlerdir [5].
- Amir RAZZAGHIAN ve Reihaneh Kardehi MOGHADDAM 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; 5 DOF üst ekstremite dış iskelet robotunun konum takibi için bulanık hareket yöntem kontrolörü kullanmışlardır. Önerilen kontrol yönteminde, ilk olarak kontrol girdisi ters dinamik yöntem kullanılarak tasarlanmıştır. Daha sonra belirsizliklerin istenmeyen etkilerini gidermek için PID kontrol kullanılmış ve kapalı döngü sisteminin asimptotik olarak kararlı olduğunu matematiksel olarak ispatlanmıştır. Son olarak klasik hareket yöntemine kıyasla istenmeyen davranış olgularını önlemek için T-S bulanık hareket yöntemi uygulanmıştır. Simülasyon sonuçlarında; bulanık hareket yönteminin istenilen sonucu verdiği gözlenmektedir [6].
- Koyo YU ve arkadaşlarının 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; pozisyon ve açı ayarlaması için 5 DOF implant yardımcı robotun temel yapısı analiz edilmiştir. Konum kontrol sistemi ters matris kullanılarak kararsız hale getirilmiştir. 5 DOF robot manipülatörü hem konum ayarı hem de açı ayarı için modüle edilmiş potansiyel alan genişletilmiştir. “Küpürün başladığına” ilişkin bilgiler öğrenmek için üç zorunluluk performansı gerekmektedir.
  - ✓ Manipülatör varış yerine kadar serbest bir şekilde hareket ettirilebilir.
  - ✓ Manipülatör hedefe yaklaştığında, yakınsama kolaylığı için ayar kuvveti uygulanır.
  - ✓ Manipülatör hedefin üzerindeyken çarpışmayı önlemek için ayar kuvveti uygulanır.

5 DoF manipülatörü için modüle edilmiş potansiyel alanın analiz sonuçlarının geçerliliği, simülasyon ve deney ile teyit edildi [7].

- Feng CAO ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; Scara'ya dayanan yeni bir 5 DOF kaynak robotu tasarlamış ve analizini yapmışlardır. Robot bir birine dik olan iki serbestlik derecesinden oluşan fonksiyonel işlevini getirilmesiyle yalnızca uyumlu olmakla kalmayıp aynı zamanda çok fonksiyonludur. Modeli oluşturduktan sonra ileri ve ters kinematiklerin formülüne D-H yöntemi ile ulaşılmıştır. Bu yöntemle 5 DOF robotun konumu ve hız ayarı için gereklidir. Bu uygulamada robotun güvenilirliğini sağlamak için robotun modalitesi ANSYS ile analiz edilmiştir [8].
- Xuefeng ZHU ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; uyarıcı uzuvların rehabilitasyon robot yörünge izleme kontrolündeki doğrusal olmayan ve belirsizlik problemlerine odaklanmaktadır. Rehabilitasyon robot sisteminin tekrarlaya görev ve yinelemeli öğrenme kontrolünün özellikleri üzerinde yapılması gerektiği düşünülerek, doğrusal olmayan bir doygunluk fonksiyonu sınıfı getirilmiş ve doğrusal olmayan iteratif öğrenme kontrol algoritması ileri sürmüşlerdir. Bu algoritmada yaygın olarak kullanılan doğrusal PID robot dinamiği kontrolünü kullanılmıştır. Model bilgisi doğru olmadığı ve sadece pozisyon geribildiriminin ölçülebildiği koşullar altında iyi kontrol kalitesi elde edilmiştir. Rehabilitasyon robot dinamikleri model özellikleri ile birleştiğinde, kapalı döngü sisteminin küresel asimptotik kararlılığını kanıtlamak için Lyapunov kararlılık teorisini uygulanmıştır. Rehabilitasyon robot sisteminin beş serbestlik derecesinin simülasyon sonuçları, önerilen doğrusal olmayan iteratif öğrenme kontrolünün iyi bir kontrol olduğunu göstermektedir [9].
- Carmine Dario BELLICOSO ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; 5 serbestlik dereceli light-weight robot manipülatörünün tasarımı, modellenmesi ve kontrolü sunulmaktadır. Prisma Ultra-Lightweight 5 kol (PUL5AR) olarak adlandırılan robot kolu dikey kalkış ve insansız hava aracı iniş takımı ile donatılmış manipülasyon görevlerini yerine getirmek için tasarlanmıştır. Kol, kompakt ve hafiftir. Mekanik aksamı, iniş manevralarında kendini katlayacak şekilde tasarlanmıştır. Üstelik, bu tasarım, kolun ağırlık merkezini mümkün olduğunca araç tabanı ile sınırlandırmaktadır ve böylece sistemin toplam atalet ve statik dengesizliğini azaltmak için tasarlanmıştır [10].



- Chi-Yi TSAI ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; alma ve bırakma görevini yerine getirmek için 5 serbestlik derecesine sahip robot manipülatörü için servo kontrol problemi ele almışlardır. Karşı etkileşim matrisi hesaplaması olmaksızın bir algılama ve reaksiyon davranışından esinlenerek hazırlanmış yeni bir hibrid anahtarlamalı reaktif tabanlı görsel servo kontrol yapısı, bu problemin etkin bir şekilde ele alınması için önerilmiştir. Önerilen yapı mantık temelli yaklaşımlara benzer, ancak bulanık modelleme ve / veya bulanık kural taban öğrenme gereksinimleri atlanmıştır. Bunu başarmak için donanımsal sınırlamaları göz önüne alarak bir görüntü pozisyonu hata vektörünü arzu edilen bir bitiş efektör hız vektörüne doğrudan eşlemek için yeni bir donanıma duyarlı reaktif fonksiyon yaklaşımı sunulmuştur. Bu yaklaşım, görsel servo sistemlerin geliştirilmiş güvenilirliği ile basitleştirilmesine yardımcı olur. Ayrıca, önerilen kontrol sistemi görsel servo sistemin dayanıklılığını ve verimliliğini arttırmaya izin veren, hem görüntü temelli hem de konuma dayalı reaktif planlama şemalarını içeren bir hibrit anahtar kontrolörüdür [11].
- Fatih PEHLİVAN ve Arif ANKARALI'nın 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; AL5A robotun ters ve düz kinematik denklemlerini elde ettiklerini ve bunu geometrik bir yaklaşımla sağladıklarını dile getirmişlerdir. Robotun uc yörüngesinin izlenmesinde kinematik hesaplamalar yaptıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca yörünge izlemede PID kontrolcü kullanmışlar ve hassas bir şekilde izlettirmişlerdir[12].
- Sabarigirish S. ve Mija S.J. 2016 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; 5 serbestlik derecesine sahip robotik manipülatör için engeller oluşturulduğunda başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yörüngenin belirlenmesini sunmuşlardır. Yörünge planlaması, robotik manipülatörler tarafından gerçekleştirilen seçim ve yerleştirme görevinin en önemli noktalarından biridir. Engeller oluşturulduğunda 5 serbestlik derecesine sahip robotik manipülatör için çeşitli olasılıklar göz önüne alınmıştır. Engelin olduğu ve olmadığı durumlar için bir algoritma oluşturulmuştur. Robotun yörünge hareketini kübük polinom kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 5 DOF Vi Microsystems Robotu modellenmiş ve analiz edilmiştir. Engellerin konumuna bağlı olarak aynı noktalardan geçmemesi için farklı yollar elde edilmiş, yörünge belirleme algoritması ve hesaplamaları MATLAB simülasyonları kullanılarak yapılmıştır [13].

- Hasan KARCI ve Ali TANGEL'in 2016 yılında yapmış oldukları çalışmalarında; mobil araç üzerine yerleştirdikleri bir robot kol ile cisimleri ultrasonik algılayıcılar ile boyutlarına göre ayırt ettikleri bir sistem geliştirdiklerini beyan etmişlerdir. Ultrasonik algılayıcıdan aldıkları verilere göre mobil aracı konum ve hız kontrolü ile tasarladıkları eksenli robot kolun konum pozisyonuna ait sayısal tasarım bir FPGA ile gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Mobil araç üzerinde bulunan robot koludaki motorların DC motor olduklarını ve bunların DC motor sürücüleri tasarladıklarını, motorların hızlarını ve pozisyon kontrollerinde VHDL kodu ile PWM sinyalleri ile sağladıklarını beyan etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmalarında PWM sinyalleri için frekans bölme tekniğini kullanmış olup FPGA'nın paralel işlemleri yapma özelliğinden yararlanarak mobil robotun üzerinde bulunan üniteleri aynı anda kontrol ettiklerini bu çalışmalarında belirtmişlerdir [14].
- Edris FARAH'ın 2017 yılında yapmış olduğu çalışmada; Kanserli brakiterapi tedavisinde, çoklu radyoaktif tohumların bir cerrahi iğne ile kanser tümörü içine implante edildiğini ve tohumların yerleri, iğnenin hasta vücudunun içindeki istenen konuma doğru yerleştirilmesine bağlı olduğu, bu nedenle brakiterapi tedavisinin etkinliği için iğne yerleştirilmesinin çok önemli olduğuna vurgu yaparak iğnenin kanser tümörüne istenen yörüngeyi takip etmesini sağlamak için bir 5 DOF cerrahi robot için Bulanık PID kontrol sistemini dizayn etmişlerdir. Önerilen kontrol sisteminin etkililiğini göstermek için MATLAB kullanan sayısal simülasyon geliştirilmiştir. Kontrolör tasarımını doğrulamak için PID kontrolöre göre karşılaştırmalı değerlendirme sunulmuştur. Sunulan sonuçlar, önerilen kontrol sistemini kullanarak tatmin edici bir izleme hassaslığının elde edilebileceğini vurgulamıştır [15].

## 2. ROBOT TASARIMI

Robot tasarımını gerçekleştirmeden önce robot ile ilgili genel olarak yapılması gereken bir takım belli kriterler doğrultusunda hareket edilmesi gerekir. Bu kriterleri şöyle sıralayabiliriz;

- ✓ Tasarlanacak robotun amacının belirlenmesi.
- ✓ Amaca uygun algılayıcılar yani sensörlerin belirlenmesi.
- ✓ Tasarlanacak robot için algoritmaların düzenlenmesi.
- ✓ Tasarlanan robotun mekanik tasarımın gerçekleştirilmesi.
- ✓ Robot için elektronik devre tasarımının gerçekleştirilmesi.
- ✓ Robot için programın tasarlanması.
- ✓ Tasarımı biten robotun parçalarının birleştirilmesi ve denenmesi.
- ✓ Deneme esnasında varsa hataların tespit edilmesi ve giderilmesi.

Tasarlanacak robotun amacının belirlenmesi: Robot kollar endüstri sanayisinin hemen hemen her alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyahanelerde ürünleri boyamak için tasarlanan boyacı robot kol, ağır yükleri indirme-bindirme işlemleri için tasarlanan robot kol, taşıma işlemleri için tasarlanan robot kol, seri üretimlerde parçaları renklerine göre çok hızlı bir şekilde ayırma yeteneğine sahip robot kol vb tasarımlar yaparak insanlar kendi işlerini kolaylaştırmışlardır. Bu projede tasarlanacak olan robot kol ise bir ürünü bir noktadan başka bir noktaya tutucular sayesinde taşıma işlemi yapacaktır.

Amaca uygun algılayıcıların (sensörlerin) belirlenmesi: Tasarlanan robot kolun amacının belirlenmesi; çevresinde hangi değişimleri algılanması gerektiğininde belirlemiş olur (renk ayrımı, sıcaklık değerini algılama, nem değerini algılama vb). Robot kol bu amaca uygun bir şekilde çevresinden gelen tepkiler doğrultusunda karar verebilme yeteneğini sağlamak ve vermiş olduğu bu kararlar doğrultusunda uygulamasını gerçekleştirmek amaçlı sensörler kullanılır.

Tasarlanan robot için algoritmaların düzenlenmesi: Robot tasarımındaki en önemli adım algoritmanın tasarlanmasıdır. Algoritma; robotun yapacağı işlemleri mantıklı bir biçimde sıralanmasıdır. Robot için tasarlanan algoritmada çevresinde bulunan nesnelere hangisi yada hangilerini algılaması gerektiğini, kaç adet sensörün kullanılacağını ve bunların

hangilerinin öncelikli olarak çalışacağına ilişkin karar aldırma algoritmanın önemi oldukça büyüktür. Algılama sırasında hata yapılırsa tasarlanan robotun doğru çalışma ihtimali de ortadan kalkar.

Tasarlanan robotun mekanik tasarımı: Robot kolun tasarımı basit bir şekilde ve amacına en uygun olan malzemeyi seçerek tasarlanmalıdır. Tasarlanan robotun uyması gereken bazı kriterler varsa bu kriterleri göz önüne almak daha sağlıklı bir tasarım gerçekleştirilmesini sağlar. Bu kriterler (robot kolun ağırlığı, boyutu vb). Tasarlanan malzemeye uygun olarak motor seçimi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Robot kolun mekanik düzeneğinin doğru bir şekilde tasarlanmasını ve çalışmasını sağlamak için önce motor seçimini gerçekleştirmek gerekmektedir. Motor seçimini yaparken motorun devir sayısı, çektiği akım, çalışma gerilimi ve motorun robot kol tasarımı için gerekli olan büyüklüğü seçmek gerekir.

Robot için elektronik devre tasarımı: Devre tasarımına gelindiğinde artık robot için önemli kısımlar belirlenmiş anlamına gelmektedir. Robot için seçilmiş sensörlerin, hangi işlemin öncelikli olacağı, seçilen motorların özelliklerinin bilindiği anlamına gelmektedir. Elektronik devre tasarımında yukarıda bahesedilen özelliklerin artık işlenmesi yani seçilen sensörlerin çevreden topladığı bilgileri microcontrollera aktarması ve microcontroller aracılığı ile motorların doğru şekilde sürülmesi gerekmektedir.

Robot için programın tasarlanması: Robot kol için tasarlanan programda dikkat edilmesi gereken en önemli adımlardan birisi robotun algoritmik yapısı ve kullanılan microcontrollerın giriş çıkış pinleridir. Her programlama dili ve microcontrollerın kendine ait özellikleri vardır ve bu yüzden farklı komutlar gerektirebilir. Microcontroller ve programlama dilini bu tasarıma başlamadan evvel ön araştırma yapılması çalışmanın daha verimli, daha kolay bir şekilde tasarlanmasını ve kullanılan algoritma sayesinde iyi bir program yazılmasını sağlar.

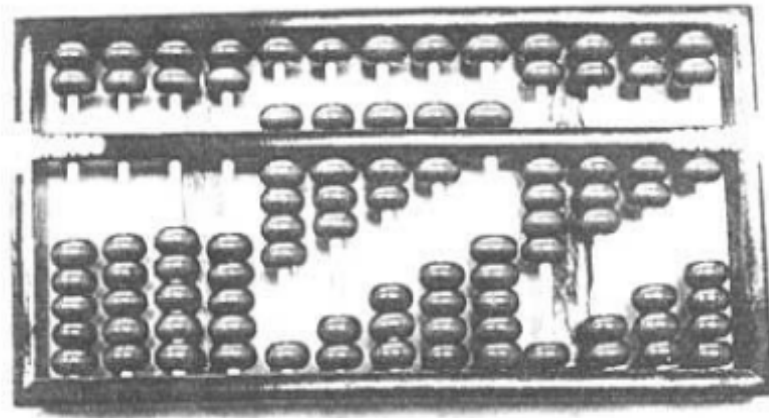
Tasarımı biten robotun parçalarının birleştirilmesi ve denenmesi: Yukarıda belirtilen robot için gerekli olan adımlar yerine getirildiğinde artık robot için mekanik düzenekler, elektronik devreler, motorlar, sensörler robot kolu için uygun alanlara yerleştirilebilir. Sensörleri ve motorları giriş-çıkış pinlerine bağlanır ve devre için gerekli olan gerilim beslemesi yapılır. Böylece robot ilk deneme için hazırlanmış olur.

Deneme esnasında varsa hataların tespit edilmesi ve giderilmesi: Robot ilk uygulamada doğru bir şekilde çalışmayabilir. Bu gibi durumlarda hatanın neden dolayı oluştuğunu tespit ederek tekrar deneme yapılır. [16]

## 2.1. Robotların Tarihçesi

Robot ismi ilk olarak çekoslovak bir yazar olan Karel Capek “Rossum’s Universal Robots” adlı oyununda kullanılmıştır. “Robota” çekoslovakça’da “zorla çalıştırılan işçi” anlamına gelmektedir. Genel bir tanımla robotlar, otonom olan veya programlanabilir elektronik yapısı olan hem bilgisayar hemde uzaktan yönetilebilme kapasitesine sahip mekanik cihaz olarak tanımlamak mümkündür. Robot tarihinde ilk üretilen robotlar süs ve eğlenme amaçlı olup iç mekanizmalarından daha çok dış görünüşe önem verilmektedir. İlk tasarlanan robotlar tek bir görevi yerine getirebilirken, insanlar robotların birden fazla görevleri üstlenmeleri için yeniden tasarımları gerekmektedir. Zamanla robotları geliştirerek insanların neredeyse bütün ihtiyaçlarına cevap verir hale getirilmiştir. Özellikle robotlar endüstri alanında geliştirilmiş, zorlu, ağır ve fazla güç gerektiren işlerde kullanımına başlanmıştır. İlk üretilen robotlara örnek vermek gerekirse;

- Hindistan’da M.Ö 1000 yıllarında geliştirilen Abaküs, hala günümüzde kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 Abaküs Tasarımı

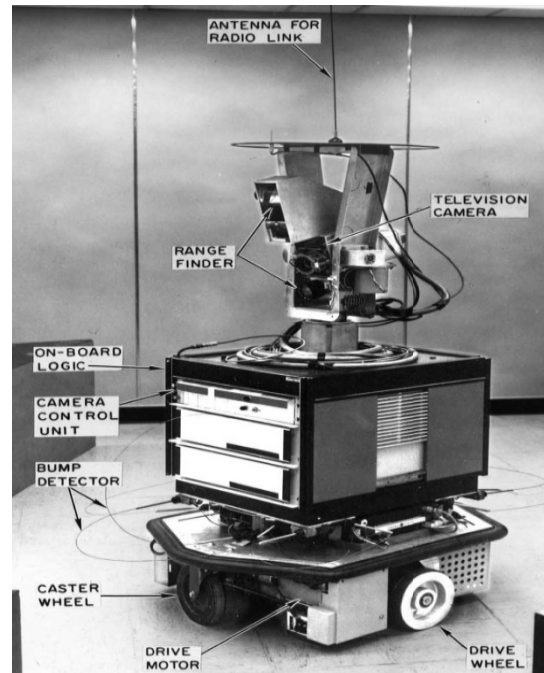
- İskenderiye’li bir mucit olan Ctesibius M.Ö 250 yıllarında su ile çalışan bir saat tasarlamıştır.
- Wolfgang Von Kempelen’nin 1769 tarihinde geliştirdiği satranç oynayan robot tasarımı zamanında oldukça ilgi görmüştür. Fakat daha sonra robotun içerisine bir

çocuğun yerleştirildiği anlaşılmış. Bu durum o dönemlerde otomatların oldukça popüler olduğu anlamına gelmektedir.

- Droz'un 1774'de geliştirdiği en karmaşık robot olan "otomatik sekreter" 40 harf uzunluğunda mesaj yazabilme kapasitesine sahiptir.
- Londra'da 1928 yılında tasarlanan elektrikle çalışan robot, üzerinde elektromıknatıslar, makaralar, çarklar ve elektrik motorlarının bulunmasına rağmen sabit bir erişim sahası bulunmaktaydı.
- 1930'lu yıllarda duvarları boyayabilen endüstriyel robotlar geliştirildi.
- Uçak tasarımcıları tarafından pilota yardımcı olmak amacı ile geliştirilen otomatik pilotlar 1930 tarihinde geliştirilmiştir.
- Shannon 1940'lı yıllarda yapay zeka ile geliştirdiği labirent çözebilen robot fare basit bir algoritma ile çalışmaktadır.
- Psikolog William Grey Walter, ilk otonom robotu 1950'li yıllarda tasarladı. Bu robot kaplumbağalar üzerinde, fotoelektrik göze yönelmelerini sağlayan yükselticiler ve motorlar bulunmaktadır.
- Stanford Araştırma Enstitüsü'nde 1968 – 1972 tarihleri arasında geliştirilen Shakey isimli robot çift taraflı hareket edebilen ve yapacağı hareketleri kendi tasarlayabilme özelliğine sahip bir robottur.



Şekil 1.2.a. William Grey Walter,  
Robot Kaplumbağa



Şekil 1.2.b. Çift Taraflı Hareket Edebilen  
Shakey

- Rodney brooks 1980'lerin başlarında “dünyanın en iyi modeli kendisidir” düşüncesini savunarak sadece etrafındakilere tepki veren bir robotun tasarımının daha başarılı olacağını savundu. Psikolog olan Valentino broitenberg 1984 yılında Araçlar adında bir kitap yayınlamıştır. Bu kitapta basit algılayıcılar ve motorlardan oluşan 14 farklı araçta değişik davranışların gözlemlenebileceğine dair düşüncesele deneyler yer almaktadır. Rodney brooks bu kitap sayesinde böceklerden esinlenerek başarılı robot örnekleri ortaya çıkarmıştır.
- Rodney brooks 1990'da tasarlamış olduğu 30 cm'lik robot böceğin üzerinde 23 motor, 10 mikro işlemci ve 150 adet algılayıcı bulunmaktadır. Robot böcek engeller üzerinden geçebilmekte, dik inişler yapabilmekte ve tutunarak kendisini 25 cm yüksekliğe çekebilmektedir.
- Nomad adında bir robot 1998 tarihinde NASA'nın desteğiyle Antartika'da gök taşı bulmak ve ayda bulunan buzullarla ilgili bilgi topmaka için tasarlanmıştır.
- AR-GE çalışmalarına başlayan AKINSOFT 2009 yılında görüntü işleme alanında 2 prototip robot geliştirdi. Bu prototip robotlar üzerinde yazılımlar geliştiren AKINSOFT bir yandan da humanoid (insansı) robotların prototipleri içinde çalışmalar yürütmeye başladı. [17]

## 2.2. Robotların Genel Özellikleri

### 2.2.1. Robotlar

Genel olarak robotlar hayatımızın her alanında yer edinmiş, ihtiyaçlarımız doğrultusunda tasarlanmış ve hayatımızda olmazsa olmazlarımız arasına girmiştir, günlük hayatımızda kullandığımız makinelere robot denilebilmesi için dış dünya ile ufakta olsa ısı, ışık, dokunma gibi bir algılama söz konusu olması gerekmektedir. Bir robotun algılama yapabilmesi için tasarlanmış sensörler (algılayıcılar) bulunmaktadır. Bu algılayıcılar sayesinde robot dış dünyada yani çevresinde olan biten herşeyden haberdar olmakta ve dış etkenlere göre kararlar alarak bu kararlar doğrultusunda hareket etmektedir. Genel olarak bir robotun tanımı daha öncede bahsedildiği gibi, otonom veya programlanabilir elektronik yapısı olan hem bilgisayar hemde uzaktan yönetilebilme kapasitesine sahip mekanik cihaz olarak tanımlamak mümkündür. Bir diğer deyişle robot, çevresinden gelen bilgiler ışığında gerçek zamanlı olarak bilgi edinmesini sağlayan sensörlerden (algılayıcılardan) gelen bilgiler doğrultusunda doğru karar alabilmesini sağlamak için kullanılan mikro işlemcilerden ve verilen kararlar doğrultusunda ise hareket etmesini sağlayan motorlardan oluşmaktadır.

Gün geçtikçe ilerleyen robot teknolojilerinde insan örnek alınarak insan uzuvları taklit edilmeye başlanmıştır. Taklit edilen insan uzuvlarından endüstri sanayisi için en popüler robot kol olmuştur.



**Şekil 2.1. Sanayide Kullanılan Robot Kollar**

Robot kol endüstri sanayisinin neredeyse tamamında yer edinmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Robot kollar insanların çalışmadığı yerlerde, ağır ve zor şartlar altında sürekli tekrar eden yerlerde kullanılır. İhtiyaçlarımız doğrultusunda üretilen bu robotların her birinin kullanım noktalarına göre mekanik ve elektronik özellikleri farklılık göstermektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi robotlar çevresinden gelen bilgiler doğrultusunda hareket eden mekanizmalardır. Robot kolları, bulunduğu çalışma ortamına ve fiziksel kurallara göre tasarlanmaktadır. Tasarlanan robot kollar isteğe ve kullanım yerlerine göre pnömatik, hidrolik ve elektrik motorları ile gerçekleştirilmektedir. Bir mekanizmaya robot denilebilmesi için en önemli şartlardan birisi algılamasıdır. Çevresinde algılaması istenilen ısı için ısı sensörleri (NTC,PTC), basınç ölçmesi için (fiberoptik yoğunluk ölçerler, vakum sensörleri, sıvı bazlı manometreler, fark transformatörleri (LVDT, TVDT)), mesafe ve yer değiştirmek için (ultrasonik sensörler, fark transformatörleri, fotoelektrik sensörler, manyetik ve kapasitif sensörler ) gibi bilgiyi alması için çeşitli algılayıcı türleri ile desteklenerek istenilen sonuçlar elde edilebilir. Robotlar programlanmış görevleri bağımsız olarak yerine getirebilirken, doğrudan operatör tarafından kontrolüde mümkündür. Robotlar genelde endüstri için tasarlanmış olsalarda günümüzde evlerimize de girmektedir. İnsan hayatına kolaylık sağlamak amaçlı tasarlanmışlardır. Bu özelliklere göre robotların avanjları ve dezavajlarında bulunmaktadır.



Robotların avantajları aşağıda gösterildiği gibi yazılabilir.

- Robotlar, insanların yapamayacağı zorluklardaki işleri yaparlar.
- İşçilik maliyetini azaltırlar.
- Tehlike içeren veya elverişsiz ortamlarda çalışırlar.
- Seri (tekrarlı) işlerde standart oluşturarak ürünler üzerinde aynı işlemleri yapabilirler.
- Geri bildirimli veya geri bildimi olmadan mekanik olarak çalışmaya devam ederler.
- Yapım ve bakım maliyetlerinde pahalı olmasına rağmen en ucuz işçilik robotlardadır.
- İnsanlar gibi yorulma durumu olmaz.
- Hem uzaktan hemde operatör tarafından kontrol edilebilirler.
- Tehlike durumunda koruma sağlayabilirler.
- Eğitici ve öğretici olabilirler.
- Zaman alıcı ve basit işleri hızlı bir şekilde yaparak zamandan tasarruf ederler.

Robotların dezavantajları aşağıda gösterildiği gibi yazılabilir.

- İstenilen iş gücünü temin edeceğinden ve iş gücünü ucuzlatacağından dolayı insanların işsiz kalma olasılığını arttırabilir.
- Seri imalatlarda yanlış veri girilmesi durumunda sürekli olarak yanlış ürün üretilebilir.
- Yanlış programlandığında insanlar için tehlikeli ve kötü sonuçlar doğurabilir.
- İlk kurulumlarda yüksek maliyetler yer alır.
- Programlamanın dışında hareket edemezler.
- Bakım ve onarımlar olduğunda zaman kaybı vardır.

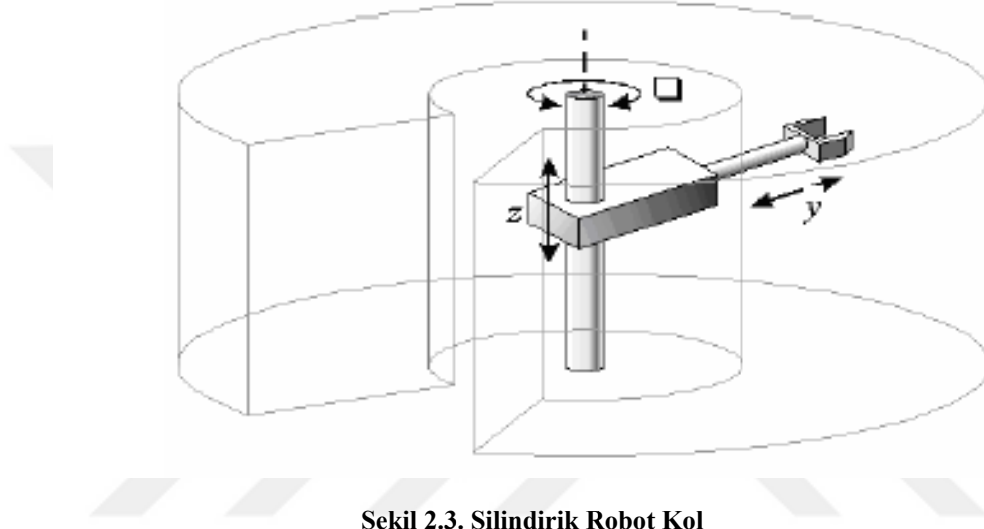
Endüstri alanında kullanılan robot kollar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Kartezyen robotlar; bu robot kollar endüstri alanında tutma ve taşıma amaçlı kullanılmakta ve X,Y,Z eksenlerinde doğrusal olarak hareket etme yeteneğine sahiptirler. Kartezyen robot kolları basit bir yapıya sahiptirler ve bu basit yapıları sayesinde robot kollarının hareketlerinin planlanmasını kolaylaştırır. Kartezyen robotlar eğilme ve bükülme işlemleri için uygun olmadığından bu işlemleri gerçekleştiremez. X eksenini Y eksenini ve Z ekseninin doğrultusunda hareketleri gerçekleştirir. Eğilme ve bükülme hareketleri olmadığı için diğer robotlara göre daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. Bu durum kartezyen robot kollarının fabrikalarda yük taşıma, indirme-bindirme işlemlerinde sıklıkla kullanılmasını sağlamaktadır. Kartezyen robotlar nemli, rütübetli ve ıslak alanlarda kullanılabilir. Küçük yük taşımalarında pnömatik sistemli robot kollar kullanılırken, ağır yüklerde hidrolik sistemli robot kollar tercih edilmektedir.

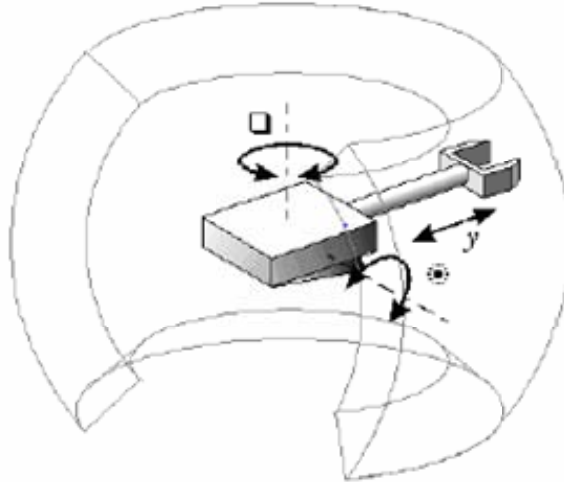


Şekil 2.2. X,Y,Z Kartezyen Robot Kol

2. Silindirik robot kollar; silindirik robot kollar kendi eksenini etrafında dönebilir ve kartezyen robotlardaki gibi X,Y,Z eksenlerine hareketleri mümkündür. Silindirik robot kolların çalışma alanı içerisindeki hareketleri oldukça iyidir. Silindirik robot kolların çalışma alanlarının genişlikleri, tasarlanan robot kolun uzunluğu ile orantılı olarak artmaktadır. Silindirik robot kollar çalışma alanlarına göre hidrolik, pnömatik ve elektrik motorları ile tasarlanabilir. Tozlu, rütübetli ve nemli ortamlarda kullanılabilirler.



3. Küresel robot kollar; küresel robotların iki eksenini kendi etrafında döner ve bir diğer ekseninde ise kola uzama-kısalma sağlar. Bu robot kol yapı olarak eklemlili robot kollara benzemektedir. Programlanabilme özelliği diğer robot kollara göre daha zordur. Küresel robot kollar genellikle eğme, bükme vb yerlerde kullanılır.



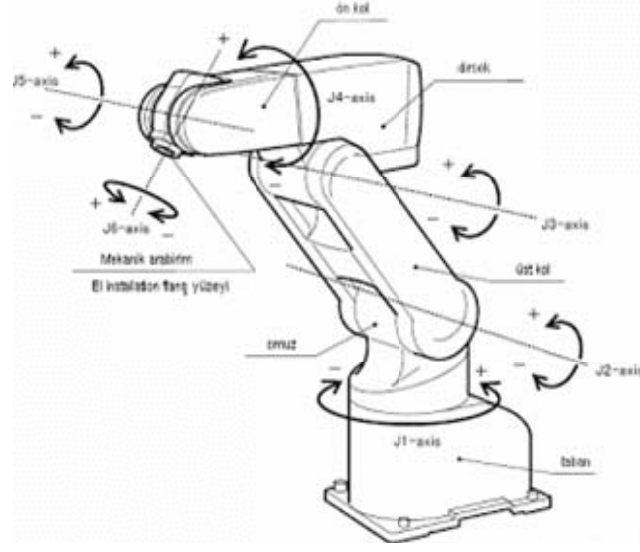
Şekil 2.4. Küresel Robot Kol

4. Scara robot kol; scara robot kolların yüksek hız ve iş kapasitesinin yanısıra montajının kolay olması ve az yer kaplamasından dolayı endüstri alanlarında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Scara robot kolları iki eklem yerlerinde elektrik motoru ve aşağı yukarı hareket etmesini sağlayan pnömatik koldan meydana gelmektedir. Robot kolda bulunan elektrik motorlarının amacı, kolu kendi eksenleri etrafında dönmesini sağlamaktır. Bu özellikler robot kola esnek bir hareket imkanı tanımaktadır. Scara robot kol elektronik sanayisinde, elektronik kartlara malzemelerin monte edilmesinde kullanılır.



**Şekil 2.5. Scara Robot Kol**

5. Mafsallı robot kol; mafsallı robot kollar hareket kabiliyeti en yüksek olan robot koldur. Robot kolun her bir mafsalı ayrı ayrı kontrol edilebilir servo motorlar vesilesi ile oluşur. Bu motorlar 12- 24 V gerilim ile beslenir. Diğer robot türlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu için programlanması da zordur. Mafsallar program içerisinde sınırlandırılabilir olduğundan sınırlandırılarak belirtilen alan içerisinde hareket edebilir. Bu tanımlama özelliğinden dolayı çalışma esnasında robot kol etrafında bulunan herhangi bir parçaya çarparak zarar verme olasılığını ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 2.6. Mafsallı Robot Kol

Yukarıda tanımlanan robot kol çeşitlerinin hareketlerini tamamlamak ve sürekli olarak tekrarlamaları adına yapılmış tahrik sistemleri bulunmaktadır. Bu tahrik sistemleri;

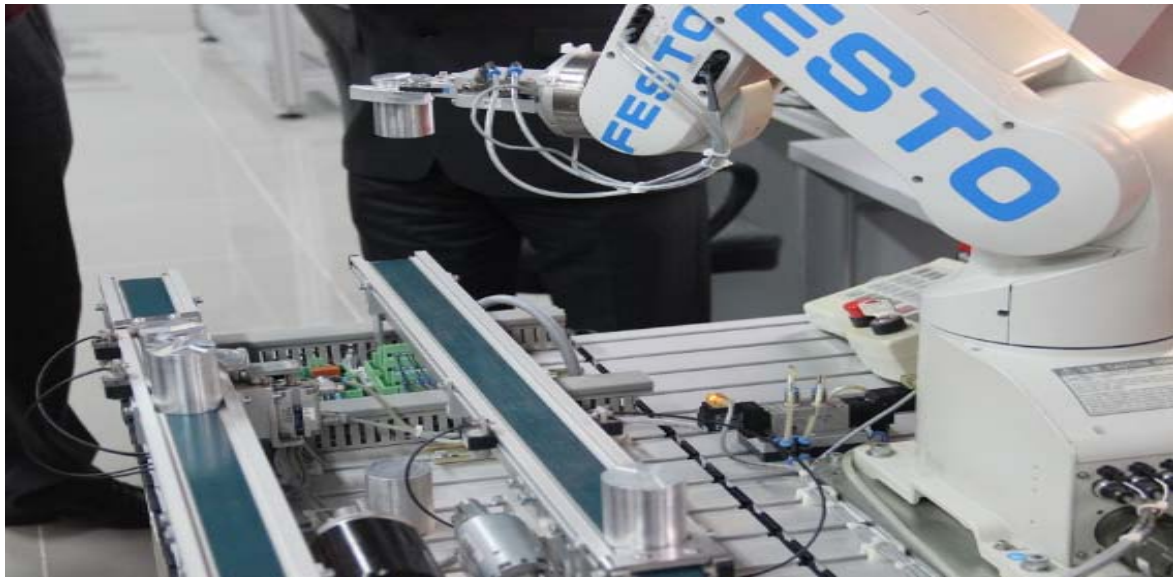
- ✓ Hidrolik tahrik sistemler.
- ✓ Pnömatik tahrik sistemler.
- ✓ Elektrik tahrik sistemleridir.

Hidrolik tahrik sistemi; Hidrolik sistemler sıvı yağların sıkışma özelliğinden yararlanarak çok güç gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Hidrolik tahrik sistemlerinden elde edilen gücü diğer tahrik sistemlerinden elde etmek pek mümkün değildir. Bu sistemler ilk zamanlardaki kadar sık kullanılmamaktadır. Bunun sebebi ise hidrolik yağların sızarak alanı kirletmesidir.



Şekil 2.7. Hidrolik ile Çalışan Robot Kollar

Pnömatik tahrik sistemi; Endüstri alanında çalışan bütün fabrikalarda basınçlı havanın bulunması ve maliyet bakımından diğer tahrik sistemlerinden ucuz olmasından dolayı fabrikalar bu tahrik sistemini kullanmaktadır. Fakat bu tahrik sistemi diğer tahrik sistemlerine nazaran daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Pnömatik sistemler fazla güç gerektirmeyen yerler için ideal bir tahrik sistemidir. Basit yapılı tasarlanan robotların eksen hareketlerinin tahrik işlemleri için kullanılırken, daha karmaşık yapılı robotlarda ise tutucu kısımlarının tahrik edilmesinde kullanılır. Endüstride pnömatik robotlar genelde vakumlayarak taşıma işlemi için kullanılmaktadır.



**Şekil 2.8. Pnömatik Robot Kol**

Elektrik tahrik sistemleri; Robot kollar için elektrik tahrik sistemleri AC Servolar, DC Servolar ve Step motorlardan oluşmaktadır.

- AC Servo motorlar; Pozisyon ve hız kontrollerinde kullanılmaktadır. DC servo motorlara göre daha ucuzdur ve bakımı daha az ihtiyaç duymaktadır. AC servo motorlar sessiz çalışma özelliği ile daha yaygın olarak tercih edilmektedir.
- DC servo motorlar; Bu servo motorlar da AC servo motorlar gibi pozisyon ve hız kontrolleri için kullanılmaktadır. DC servo motorlar diğer motorlara göre pahalı bir bakıma ve masraflı bir kurulumuna sahiptir.
- Step motorlar; Diğer bir deyişle adım motorları robot kollarında pozisyon kontrollerinde daha hassas olmasından dolayı tercih edilir. Daha çok robot tutucularında kullanılır. Diğer motor türlerine göre sürücü ünitelerinin daha ucuz olmasından dolayı tercih edilir.[18]

### 2.2.2. Endüstriyel Robotların İş güvenliği ile İlişkisi

Endüstriyel robotlar iş güvenliği ile ilişkisi iki şekilde incelenebilir; İş güvenliği yönünden büyük risk içeren işlerde robotların çalıştırılması, robotlar tarafından oluşturulan riskler olarak tanımlanabilir.

Günümüz sanayisinde kullanılan robotlar; büyük risk içeren, insan sağlığı için riskli işlerde ve sürekli aynı işlemi yapması istenen yerlerde kullanılır. Daha öncede bahsedildiği gibi bunlar, malzeme taşıma, montaj, kaynak, kesme, boyama vb uygulamalardır.

Riskler için bir kaç örnek vermek gerekirse; nakil ve birleştirme işlerinde ergonomik riskler bulunmakta, kaynak işlemlerinde UV ışınları ve toksik gazlarının riski bulunmakta, boyama işleminde insan solunumuna yönelik riskler vardır. Paketlemede, montajlama da ve yarı mamül ürünleri yükleme- boşaltmada ergonomik risklerin yanısıra psikometrik riskler de mevcuttur. Bunların yanısıra gürültü sanayi uygulamalarında en önemli risklerin başında gelmektedir.

Yukarıda bahsi geçen risk kaynaklarının oluşturdukları bu sürecin hem hızlı hem de hatasız yapılması zorunluluğu düşünüldüğü takdirde, iş kaza riski oldukça fazla büyüdüğü görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında insanların yerlerine robotların kullanımı, riski kaynağından yok ettiği için uygun davranış olarak kabul edilebilir.

Araştırmalar neticesinde bulunan sonuçlara göre robot kazaları genellikle stabil olmayan durumlarda, yani robot kolun programa uygun olarak çalıştığı esnada değil de robotu programlarken, robot kolun bakımı yapılırken, robot kolun çalışması testi yapılırken, robot kolun kurulumunu yaparken veya gerekli ayarlamaları gerçekleştirirken robot kazalarının meydana gelmesidir. Bu tip iş kazaları robotlar tarafından oluşturulan riskler kapsamında gösterilir. Bakım veya onarım esnasında görevlinin geçici olarak robot çalışma bölgesine girmesi ve robot çalışma bölgesindeyken yaptığı bir dikkatsizlik sonucu kazaya yada kazalara yol açtığı görülmektedir.

### 2.2.3. İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Endüstriyel Robotlar

- Robot çalışma alanı içerisinde bir hücreye hapsedilmelidir.
- Acil durumlarda robotu o anda konumunda durduracak bir "acil durum düğmesi" yalnızca robotun kontrol ünitesi üzerinde değil kabin veya tel kafes üzerinde de bulunmalı, sayısı ve pozisyonu gerek içeride bakım çalışması yapan teknisyenin gerekse dışarıdan gerekli durumlarda müdahale edilebilecek mesafelere göre belirlenmelidir.
- Yüksek şiddette gürültü içeren durumlarda robot mutlaka ses izolasyonu yapılmış bir kabin içerisine hapsedilmeli, kaynak operasyonlarında da benzeri şekilde tehlikeli ışınların çevredeki çalışanlara ulaşamayacağı kapalı kabinler kullanılırken aynı zamanda kaynak bölgesindeki tehlikeli gazların tahliyesini sağlayacak havalandırma tertibatı bulunmalıdır.
- Yoğun manyetik alanlarının oluşturduğu üretim tekniklerinde bu manyetik alanların elektronik haberleşme üzerindeki olumsuz etkileri sistem tasarımı ve kullanılan güvenlik ekipmanları tercihinde göz önüne alınmalıdır.
- Robotun hapsedildiği hücredeki çalışma bölgesine açılan kapı üzerinde mutlaka güvenlik kilidi (safety interlock) bulunmalıdır. Böylece bakım ya da benzeri sebeple içeri girildiğinde robotun çalışması otomatik olarak durdurulmuş olacaktır.
- Acil durdurma butonuna ilave olarak harekete karşı duyarlı sensör kullanılarak robot çalışma alanına görevlinin girmesi, gerekli tedbirlerden dolayı robotun çalışmasını durduracaktır.
- Robot sistemi için yapılan programlamada robot kol tam güçte çalışmıyor olması gerekmektedir. [19]

### 2.2.4. Mevzuat ve Standartlar

Robotlarla ilgili mevzuatlar iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Bu mevzuatların ilki piyasa gözetimi ve denetimi için oluşturulmuş olan mevzuattır. Bunun bir parçası olan, 4703 sayılı Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanuna dayanılarak çıkarılmış olan 2006/42/AT Makine Emniyet Yönetmeliği'ne göre, robot ekipmanı tek başına tamamen bitmiş makine değil, kısmen tamamlanmış makine olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla kendi başına bu yönetmelik açısından CE İşareti



gerekliliklerini taşımamaktadır. Robot ekipmanı, hattın entegrasyonu tamamladığında ve komple bir proses hattı halini aldığı anda tamamlanmış makine olarak değerlendirilir ve Makine Emniyet Yönetmeliği ve ilgili diğer yönetmeliklerin (Alçak Gerilim, Elektromanyetik uyumluluk, vb.) gerekliliklerini yerine getirdiği takdirde CE İşareti alarak hizmete koyulabilir.

Son kullanıcıların odağında olan mevzuattan bahsetmek gerekirse, başlangıç noktası, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa dayanılarak çıkarılmış olan, 2009/104/AT İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği ve Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğidir. Bu iki yönetmelik de emniyetli bir robot uygulamasının kanuni dayanaklarıdır. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kendi amir metni ile de risk değerlendirmesini şart koşmaktadır. Risk değerlendirmesi, Makine Emniyet Yönetmeliği'nin de bir gerekliliği olan teknik dosyanın mecburi bir parçası olmaktadır. İş güvenliği literatüründe de söz edilmekte olan, bir iş güvenliği çözümüne geçmeden önce problemin tanımı, büyüklüğünün ve doğasının tespitinin yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla risk değerlendirmesi tüm çözümler için en önde gelir.

Emniyet gerekliliklerini belirlemek için risk değerlendirmesi ile inceleme işlemine başlanır. Risk değerlendirme işleminde tüm çalışma evreleri düşünülür (öğretme, bakım, ayar, temizlik vb). Beklenmeyen durumların önlenmesi, makul ölçüde öngörülebilir yanlış kullanım, kontrol sistemi arızaları, özel robot uygulamalarına ait tehlikeler de bu risk değerlendirmesinde yer almaktadır.

EN ISO 12100 standardı, risk değerlendirmesi için genel bir çerçeve ve rehberlik sağlayan A tipi bir standarttır. Her risk değerlendirmelerinde bu standardın rehberliğinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

### **2.2.5. Robot Sistemlerinde Emniyet**

EN ISO 10218-2 standardı robot sistemlerinin gerekliliklerini ortaya koymaktadır. Bu C tipi standartta, her C tipi standartta olduğu gibi, B tipi standartlara da atıflar bulunmaktadır. Standartlardan gelen tüm bu gereklilikler 3 ana bölümde incelenebilir:

- Robot ekipmanı ve fiziksel çevresi ile ilgili emniyet gereklilikleri
- Emniyet bileşenleri ve kontrol sistemi ile ilgili gereklilikler
- Robot sistemi ile ilgili çalışmalardaki diğer tedbirler.

### 2.2.5.1. Robot Ekipmanı ve Fiziksel Çevresi ile İlgili Emniyet Gereklilikleri

Robot ekipmanı en az aşağıdaki emniyet gerekliliklerine sahip olmalıdır;

- Motor milleri, tahrik kayışları, aktarma bileşenleri gibi hareketli kısımlar uygun sabit ya da hareketli kapamalara sahip olmalıdır. Kapamaların gereklilikleri EN ISO 14120 standardında belirtilmiştir.
- Robotun kaidesine olan bağlantısı, mukavemet gereklilikleri üreticinin ve prosesin gerekliliklerine göre hesap edilmeli ve uygulanmalı.
- Robotların tasarımı ve imalatı yapılırken, hidrolik, pnömatik, elektrik ya da vakumun kaybedilmesinde tehlikeye oluşmamalıdır.
- Elektriksel bileşenler IEC 60204-1 standardına uygun olmalıdır.
- Robotu çevreleyen kapamaların tümü EN ISO 14120 standardına uygun olmalı.

### 2.2.5.2. Emniyet Bileşenleri ve Kontrol Sistemi ile İlgili Gereklilikler

Kötü mühendislik uygulanmış emniyet ekipmanları ve daha sinsi tehlikeler getirebilecek olan görünmez kazaların önüne geçebilmek adına emniyet bileşenleri ve kontrol sistemi ile ilgili şu gereklilikler uygulanabilir:

- EN ISO 13849-1 standardında tanımlanmış olan makinelerin risk seviyesine göre kontrol sistemi gerekliliğinin büyüklüklerini anlatmak adına kullanılan, en düşük seviyesi a' dan en yüksek seviyesi e' ye kadar harflerle ifade edilen soyut bir derecelendirme sistemidir. EN ISO 10218 standartlarının ikisinde de ifade edildiği üzere, robot sistemlerinde kontrol sisteminin emniyetle ilgili kısımları, Kategori 3, PL d gerekliliklerini sağlamak durumundadır. Performans seviyesini, bileşenlerin arızaya geçme ihtimalleri, arıza teşhis kabiliyetleri, birbirleriyle bağlantı şekilleri, gibi pekçok faktör etkilemektedir.
- Bir robot sisteminde her alandan tehlikeli alana erişimi değerlendirmelidir. Prosesin ve verimlilik ihtiyaçlarının gerektirdiği ölçüde giriş ya da varlık algılayan emniyet ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu emniyet ekipmanları için şu gereklilikler söz konusudur:

- ✓ Işık perdeleri doğru çözünürlükte seçilmeli (parmak, el, vücut koruma), ve EN ISO 13855 standardına uygun şekilde pozisyonlandırılmalıdır. Bu da ancak robotun durma performansının ölçüldüğü bir ESPE ölçümü ile mümkün olabilir. Bu ölçümle,

robotun durma süresi ve bu süre boyunca ne kadar hareket ettiği bulunarak ışık perdesinin emniyetli konumu belirlenir.. Çünkü ışık perdesi yakınında çalışanlar emniyette oldukları hissine kapılacaklar ve “dikkatli olma zırhlarını” aşağı indirecekler ancak ışık perdesinin yanlış konumlandırması nedeniyle kötü durma performansına sahip bir ekipmanın oluşturduğu beklenmedik tehlikeye maruz kalacaklardır.

- ✓ Işık perdelerinde muting ve blanking fonksiyonları dikkatli şekilde kurgulanmalı, sistemin malzeme giriş-çıkışı ile insan uzvunu ayırt edebilecek yeteneğe sahip olduğu doğrulanmalıdır.
- ✓ Tehlike alanından malzeme, kıvılcım vs. fırlaması/sıçraması riskinin bulunduğu durumlarda kapamasız optik koruma önlemleri uygun olmayacaktır.
- ✓ İzlemeli kapılarda tek başına mekanik dilli siviç kullanımından kaçınılmalıdır. Çünkü bu bileşenlerin tek başlarına PL d' yi sağlama yetenekleri bulunmamaktadır.
- ✓ Kontrol sistemlerinin öngörülebilir yanlış kullanımı ya da işletme kültürlerindeki farklılıklarından dolayı manipülasyonu gibi durumlar değerlendirilmelidir. Örneğin, izlemeli kapıların hazırdaki bir ikinci aktüatör ile manipüle edileceği düşünülüyor ise, kapı izleme için, EN ISO 14119 standardına göre, manipülasyon ihtimali daha düşük, kodlu, tam kodlu veya eşsiz tam kodlu izleme sistemleri kullanılmalıdır. Ya da arıza teşhisi için içerde gözlem yapmak isteyen bir çalışanın varlığını algılayacak emniyet paspasları, alan tarayıcılar kullanılmalıdır.
- ✓ Kontrol sistemi emniyet baskın kurgulanmalıdır. Örneğin emniyet kapısının açıldığı ve emniyet ihlali durumunun mevcut olduğu durumda, robotun iş parçasının yerinde olduğu ve artık start alabileceği bilgisini veren standart bir sensörün aktivasyonu robot hareketliliğini başlatmamalıdır.

- ✓ Öğretme amacıyla robot alanında bulunulması gerekiyorsa, üç konumlu ve sadece orta konumda çıkış üreten hold-to-run el kumandaları kullanılmalıdır. Öğretme modunda sadece el kumandası aktif olmalı el kumandasından kumanda edilirken robotun hızı 250 mm/s değerini aşmamalıdır. Manuel kumanda bileşenleri için sadece el kumandası aktif olurken, robot sistemi, hattaki herhangi bir acil stop butonundan acil duruşa geçirilebilmelidir.

### 2.2.5.3. Robot Sistemi ile İlgili Çalışmalardaki Diğer Tedbirler

Riskler için şu gerekliliklerden bahsedilmelidir.

- EN ISO 14118 standardına uygun olarak, her makinede olduğunu gibi robot sistemlerinde de, makineye (elektrik, pnömatik, vakum, vb.) ve prosese (bakım, ayar, temizlik) özel hazırlanmış, işletmenin çalışanları tarafından benimsenmiş, aktif şekilde kullanılan bir kilitleme etiketleme (Lock Out Tag Out – LOTO) sistemi bulunmalıdır. Her makinedeki enerji kesme noktaları ya da pnömatik devresi ya da prosesler aynı olmadığından tek bir jenerik LOTO prosedürü de tüm makineler için kullanılamaz. Dolayısıyla makineyi uygun şekilde sıfır enerji düzeyine getirebilmek için makinenin enerji noktaları ve devre şemaları çalışılarak LOTO prosedürleri hazırlanmalıdır.
- Kısa süreli robot alanına girişlerde, emniyet kapısının çalışanın üstüne kapanmasını önlemek için ilgili önlemlerden biri yada birkaçı bir arada alınmalıdır. Bu önlemlerden her biri her işletmenin emniyet kültürü, idari yapısı, çalışan yetkinliği ve farkındalığı için ya da ikinci kişilerin robot alanında bulunmasını algılamak için uygun olmayabilir. Hangi tedbirin riski kabul edilebilir seviyeye çektiğini riski değerlendiren ekip karar vermelidir. Kilitlemeli emniyetli kapı sistemi asma kilit takılabilir özellikte olmalıdır. Böylece kilit takarak içeri girme prosedürü idari şekilde uygulanabiliyorsa, bu çalışma şekli robotun beklenmeyen çalışmasını önleyerek yeterli risk azaltımı sağlayacaktır.
- Diğer tüm tedbirlerden sonra insan vücuduna karşı maruziyetleri minimize etmek için ilgili EN standartlarına uygun, CE işaretli kişisel koruyucu donanımların kullanılması gerekmektedir. [20]

### 2.3. Tasarlanacak Robotun Özellikleri

Tasarlanan robot kollarının davranışsal özellikleri, en basit şekliyle algılamaya karşı gösterilen tepki şeklinde tanımlamak mümkündür. Bu tepkisel sistemler robotlara bir birinden bağımsız olarak belirli bir hedefsel hareketler kazandırarak bu hareketlerin tasarımı uygun bir şekilde yapılmasını amaçlar.

Tepkisel sistemleri kısaca tanımlamak gerekirse,

- Gösterdikleri tepkilerde her zaman somut bilgiler içerir.
- Robotların yapacakları hareketlerin temelini oluştururlar.
- Tasarlanan hayvansal modeller bu sistemlerin temelini oluştururlar.
- Yapılan robotlar için tasarlanan yazılımlar birimseldir.

Bu özelliklerden yola çıkarak algılayıcılar vesilesi ile gösterdikleri tepkilerden robotların davranışsal yani hareket temellerini oluşturmak mümkündür. Bahsedilen bu davranışların temelini sorgulamak gerekirse,

- Tasarlanan robot sistemleri için doğru davranışların temeli nedir?
- Basit davranışlar nelerdir?
- Tasarlanan robot sistemlerinin davranışları nasıl etkin bir şekilde düzenlenir?
- Davranışlar algılayıcılar üzerine temellendirilebilir mi?

Yukarıda sorulan bu soruların cevapları kesin olarak verilemesede tasarlanan robotlarda izlenecek yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

1. Etolojik olarak yönlendirme/Sınırlandırılan tasarımlar.
2. Durumsal hareket tabanlı tasarımlar.
3. Deneysel olarak bulunmuş tasarımlar.

Etolojik olarak yönlendirme/sınıflandırılan tasarımlar; Etolojik yönlendirme de biyolojik araştırmalar üzerinden gidilir. Tasarlanan hayvansal robot modelleri bilişimsel gereklilikleri karşılamak için algı-motor yetenekleri temellendirilir. Tasarlanan hayvansal robot modellerinin deneysel sonuçları, örnek alınan gerçek hayvanın biyolojik sonuçlarıyla karşılaştırılır ve tasarlanan hayvansal robot modeli, gerçek hayvan modelinin verilerine uyum sağlayacak şekilde değiştirilir yada geliştirilir.

Durumsal hareket tabanlı tasarımlar; Tasarlanan robotun hareketleri robotun içinde bulunduğu duruma bağlıdır. Bundan dolayı algılama problemi robotun içinde bulunduğu durumu tanımasına ve hangi hareketi yapması gerektiğini seçmesine dayanır. Bu davranışlar tanımlanmış ve sınırlı koşullar altında geçerli olan micro davranış olarak görülebilir.

Deneysel olarak bulunmuş tasarımlar; Robot hareketleri değişmez ve aşağıdan yukarı şekilde tasarlanır. Robotun sınırlı sayıda hareketleri mevcuttur ve gerçek dünyada deneyler yaparak, neyin çalışıp-çalışmadığını görmek kusurlu hareketleri yakalayarak sistemin düzgün bir performans gösterenedek yeni davranışlar eklenmesidir.

Yukarıda tanımlanan bu davranış biçimlerinden yola çıkarak tasarlanan robot kol, insanın uzuvlarından olan kol örneklenerek tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarım da bahsi geçen kol insan koluna ait opsiyonlara sahiptir. Daha öncede bahsedildiği gibi tasarımda robotun hareketlerini mantıklı bir şekilde ve sırayla yapması için doğru bir algoritma yapısına sahip olması ve iyi bir programlama gerekmektedir. Bu tasarımda yapılan robot kol nakil işlemi gerçekleştirmek üzere yapılmıştır, programlama da belirtilen tanımlı alanlardaki malzemeyi bir noktadan başka bir noktaya nakletmesi için tasarlanmıştır.

Bu robot kol üniversite laboratuvarında çalışacağından dolayı her bir parçanın tasarımı SolidWorks ile gerçekleştirilip malzeme seçimi 3D-PRINTER ile plastik çıktısı alınarak gerçekleştirilecektir. Tasarıma başlanmadan önce motor seçimleri yapılması gerekmektedir. Motor seçimi tasarlanan parçaların tahmini ağırlıkları ve kaldıracağı yüke bağlı olarak seçim yapılması gerekmektedir. Bu projede seçilen motor SG90 RC Mini Servo Motor-Tower Pro olarak belirlenmiştir. Motorda plastik dişliler bulunmakta ve robot ağırlığını zorlanmadan kaldırmaktadır. Bu motorun sürülmesi için tasarlanan Arduino kartları bulunmaktadır.

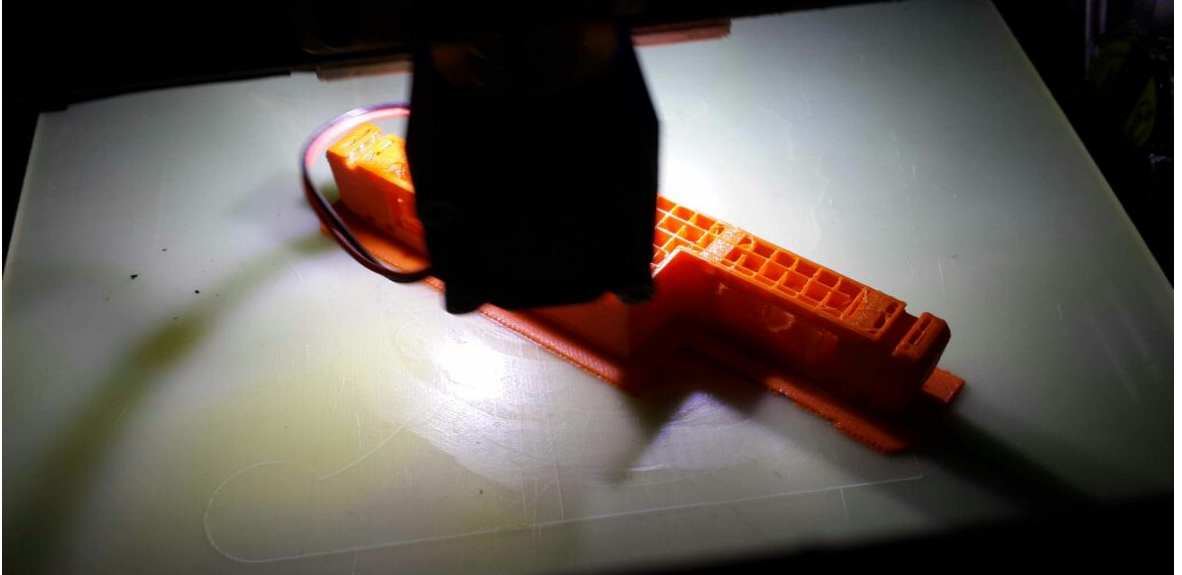
### **2.3.1. Robot Kolun Tasarımı**

Mekanik parçaların tasarımı ve mekanik parçaların montajı olarak iki grupta incelenebilir. Mekanik parçaların oluşturulmasında, robotik kolun yapımında kullanılacak olan parçaların ölçümleri milimetrik olarak SolidWorks programı aracılığı ile yapılmaktadır. Mekanik parçaların montajlanmasında ise robotik kol için kullanılacak olan servo motorların adlandırılmaları ve robot kolun çalışma anındaki görevleri açıklanmıştır. Tasarımın gerçekleştirilmesi bir takım adımlardan oluşmaktadır. Bu adımlar;

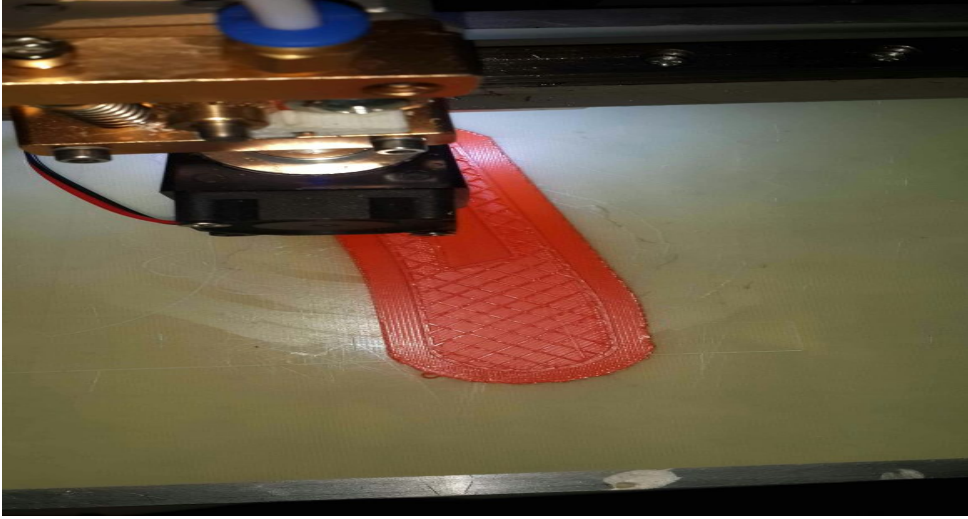
- Malzemeler belirlenerek tasarımların yapılması.
- Robot kolun çalışmasını sağlayan servo motorların belirlenmesi.
- Tasarımda kullanılacak mikrodenetleyici ve yazılımın belirlenmesi.
- Robot kolun montajının yapılması.
- Oluşan hatalar analiz edilerek sistemin doğru yapılandırılmasını sağlamak.



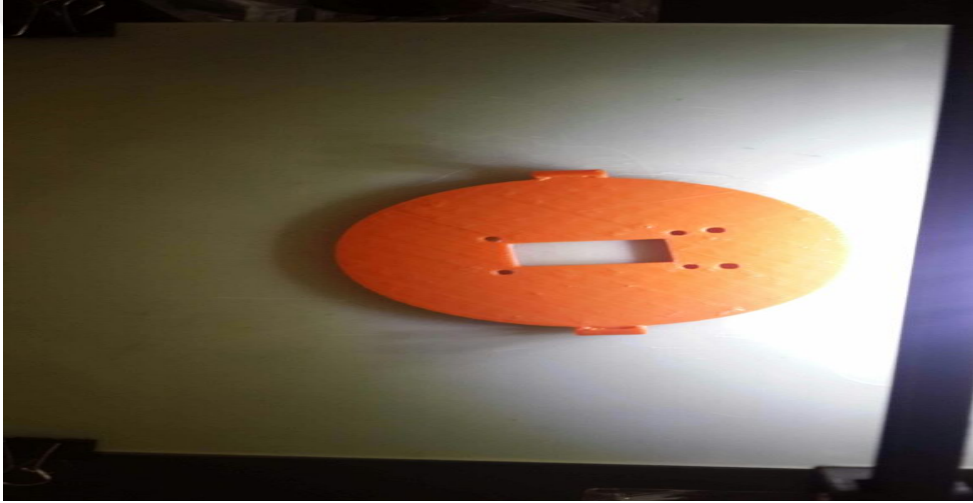
Şekil 2.9. Motor Tutucunun 3D Printerda Baskısı



Şekil 2.10. Orta Kol 3D Printerda Baskısı



Şekil 2.11. Alt Kolun 3D Printerda Baskısı



Şeki 2.12. Ana Gövde Kapak 3D Printerda Baskısı



Şekil 2.13 Üst Motor Tutucu

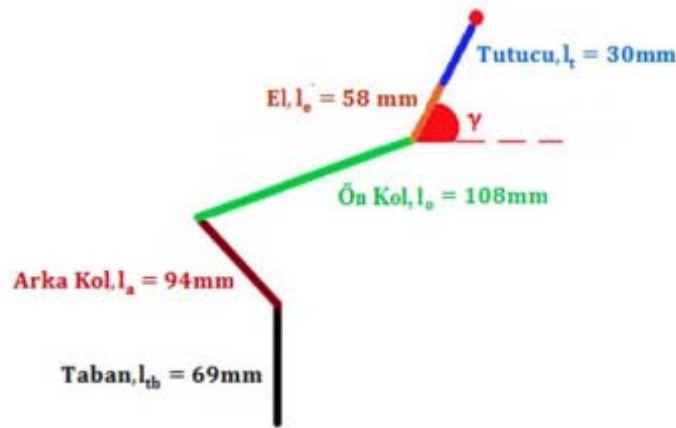


### 2.3.2. Tasarlanacak Robot Kolun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Robot koldaki her bir uzuvu hareket ettiren motorların dönme açıları ters kinematik hesabı ile hesaplanabilmektedir. Hesaplama işlemi için, aşağıda belirtilen uzuvların uzunluklarını, elin en son konumunun açısını ve robotik kolun uç noktasının bulunduğu kartezyen koordinatlarının bilinmesi gerekmektedir.

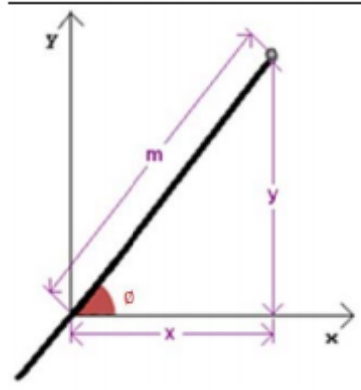
- Taban yüksekliği, ( $l_{tb}$ )
- Arka kol uzunluğu, ( $l_a$ )
- Ön kol uzunluğu, ( $l_o$ )
- El uzunluğu, ( $l_e$ )
- Tutucu uzunluğu, ( $l_t$ )
- El açısı,  $\gamma$  (eğer açı aşağıdaki şekilde olduğu gibi kırmızı çizginin üzerinde ise açı pozitif (+), değil ise negatif (-) alınmalıdır).
- x, y ve z koordinatları (mm)

Robot kolun hareketli parçalarının kalibrasyonunun tekrar ayarlanmasına ihtiyaç duyulmayan işlerde kullanılacağı düşünülecek ve tutucu motorunun açısal konumunun sabit olduğu ve değişmediği varsayılacaktır.



Şekil 2.14. Bilinmesi Gereken Değerler

Tasarlanan robot kolun ilk konumu tabana  $90^\circ$  olacak şekilde varsayarsak, taban elemanının alt merkezi orjin olarak kabul edildiğinde aşağıdaki şekilde gösterilen her bir uzuvun kartezyen koordinatlarındaki konumları kullanılarak her bir motorun dönme açıları bulunmuş olur.

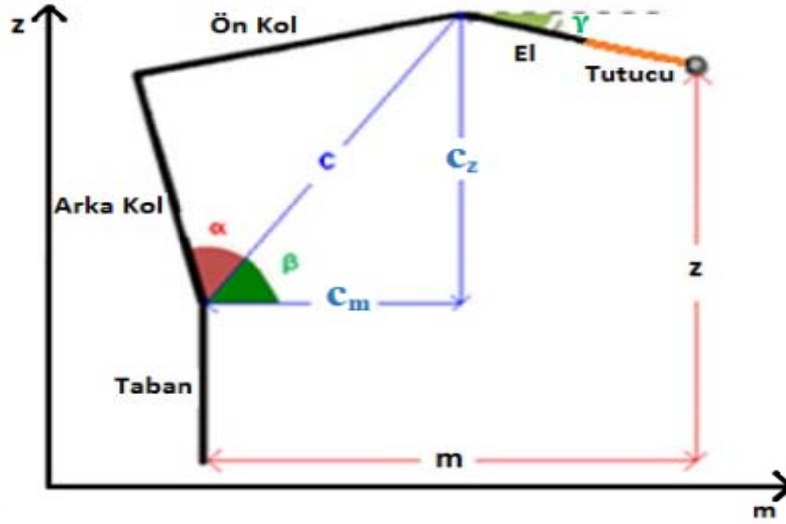


Şekil 2.15. Robot Kolum Üstten Görünüşü

Üstteki şekilde görüldüğü gibi tabandaki motorun hareketi ile x,y,z eksenleri haricinde yeni bir eksen (m) oluşturulmuştur.

(1)  $\varnothing = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$  bu denklemde  $\varnothing$  taban motorunun dönme açısıdır.

(2)  $m = \sqrt{x^2 + y^2}$  bu denklemde (m) robot kolun en alt noktası orjin ile uç noktası arasında ki (m) eksen boyunca oluşan mesafedir.



Şekil 2.16. Robot Kolum (mz) Düzlemindeki Görüntüsü

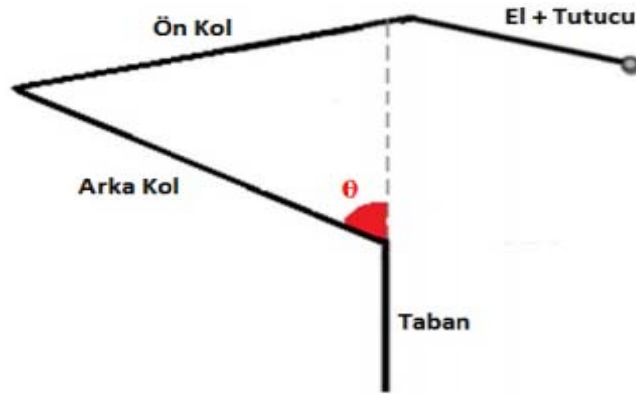
$$(3) \quad c_z = z - l_{tb} - (l_e + l_t)\sin(\gamma)$$

$$(4) \quad c_m = m - (l_e + l_t)\cos(\gamma)$$

$$(5) \quad c = \sqrt{(c_z)^2 + c_m^2}$$

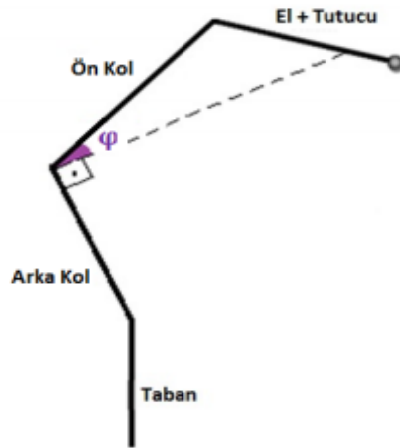
$$(6) \quad \beta = \arctan\left(\frac{c_z}{c_m}\right)$$

$$(7) \quad \alpha = \arccos\left(\frac{(l_a)^2 + c^2 - (l_o)^2}{2(c)(l_a)}\right)$$



Şekil 2.17. Omuz Açısı,  $\theta$

$$(8) \quad \theta = \beta + \alpha - \frac{\pi}{2} \text{ bu formülde } \theta \text{ omuz motorunun dönme açısıdır.}$$

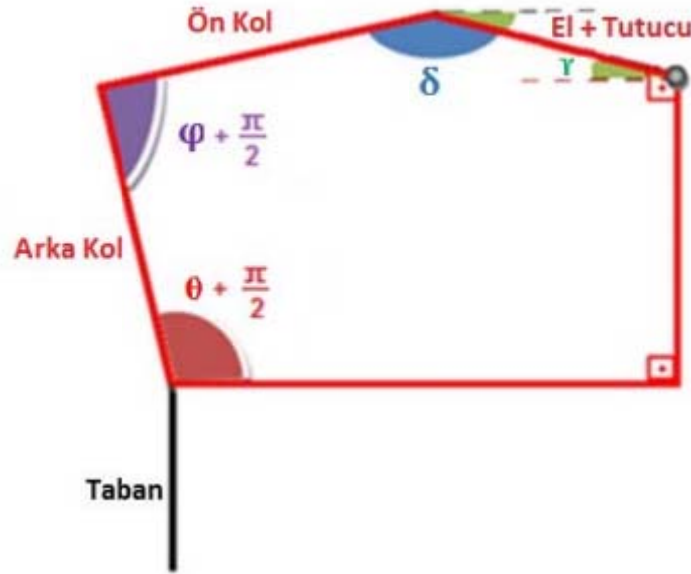


Şekil 2.18. Dirsek Açısı

$$(9) \quad \varphi = \arccos\left(\frac{(l_a)^2 + (l_o)^2 - c^2}{2l_o l_a}\right) - \frac{\pi}{2} \text{ bu denklemde ki } \varphi \text{ dirsek motorunun dönme açısıdır.}$$

Bilek motorunun dönme açısını bulabilmek için çokgenin iç açı teoremi kullanılır.

(10)  $a_c = (n - 2)\pi$  burada  $a_c$  çokgenin iç açıları toplamı ve  $n$  ise çokgenin kenar sayısını göstermektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 5 kenarı olan çokgenin iç açısı  $\delta$  (13) numaralı denklemden gibi bulunur.



Şekil 2.19. Bilek Açısı  $\delta$

$$(11) \quad a_c = (5 - 2)\pi = 3\pi$$

$$(12) \quad 3\pi = \theta + \varphi + \delta - \gamma + \frac{4\pi}{2}$$

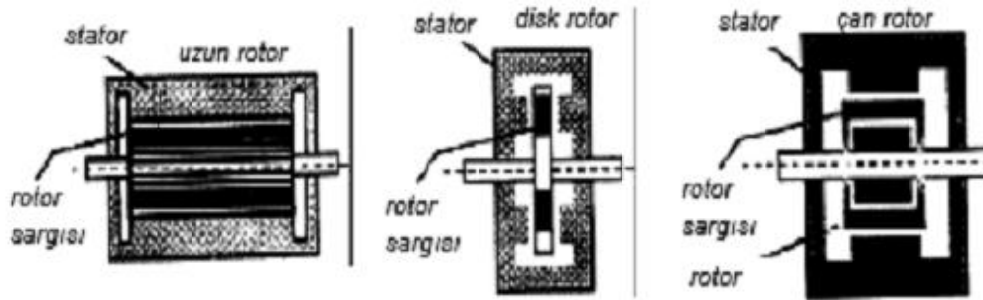
$$(13) \quad \delta = \pi - [\theta + \varphi - \gamma] \quad [21]$$

### 2.3.3. Tasarlanacak Robotun Elektrik-Elektronik Özellikleri

#### 2.3.3.1. Servo Motorlar

DC motorlar sabit ve hareketli bölümlerden meydana gelmektedir. Sabit bölüme stator, hareketli bölüme rotor denilmektedir. DC motorlara DA motorlarda denilebilir. İletkenlerin birine DC akım verildiğinde iletken, stabil bir manyetik alan oluşturmaktadır. N ve S kutuplarından oluşmuş manyetik alan etki alanında bulunan ve iletme kabiliyetine sahip nesnelere ya da değişik manyetik alan da sabit mıknatısların gösterdiği etkiyi göstermektedir. İletkenler nesnelere kendine çekerken, aynı kutuplara sahip manyetik alanları itmektir, farklı kutuplara sahip manyetik alanları ise kendisine çekmektedir. N kutbunun bulunduğu yerden S kutbunun bulunduğu yere doğru oluşan bu kuvvet manyetik akı olarak adlandırılmaktadır.

Servo motor; belirli bir düzeneğin işleyişinde hataları algılayan ve yan bir geri besleme sistemiyle denetleyip hataları kaldıran otomatik aletlerdir. Servo motorlar robotik sistemlerde sıklıkla kullanılan motor çeşitlerinden en önde geleni demek yanlış bir tabir olmaz. Bu sistemler mekanik olabileceği gibi elektronik, pinömatik, hidrolik veya başka alanlarda da kullanılmaktadır. Servo motorların çıkışı; mekaniksel konum, hız veya ivme gibi parametrelerin kontrol edildiği bir mekanizmadır. Servo motorlarının içerisinde AC, DC veya Step motorlar bulunmakta, sürücü ve kontrol devresi de içerisinde yer



almaktadır.

**Şekil 2.20. Uzun, Disk ve Çan Rotorlu Servo Motorların Yapısı**

Servoları, DC ve AC motor tipi olarak iki farklı grupta sınıflandırabiliriz. Bu DC servo motorların, genelde bir doğru akım motoru bulunmaktadır.

Motorlara gerek duyulan doğru akım aşağıdaki yöntemlerle bulunmaktadır.

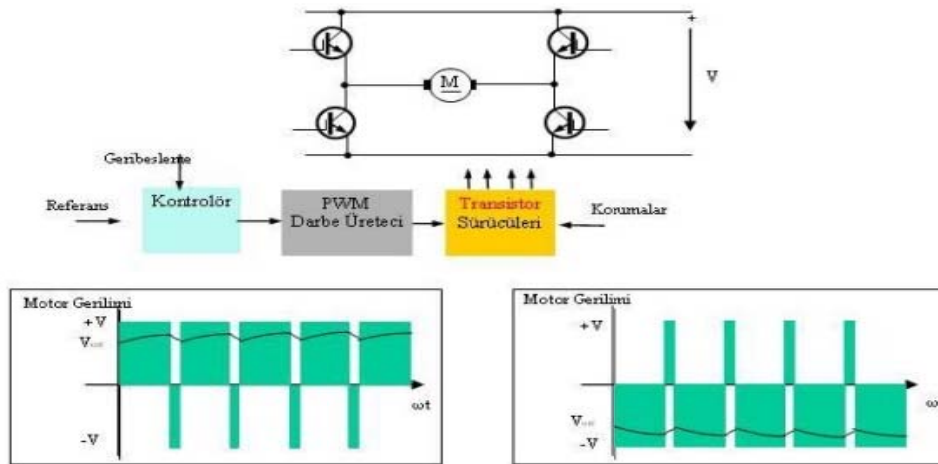
- AC akım tristör üzerinden geçirilerek.
- AC akım doyumlu reaktörden geçirilerek.
- Elektrik yükselticiden
- Regüleks, amplidin, retotrl vb yükselteçlerden elde edilmektedir.

Doğru akım motorların yapısı klasik DC motorlardaki gibi rotor, stator, gövde fırça ve kollektörlerden oluşmaktadır. Doğru akım motorları minimal güçlerden çok büyük güçlere (0,05 Hp-1000 Hp) kadar üretilmektedir. Doğru akım motorların yapıları küçüktür ve endüvi hesaplaması, (yükseklik\*uzunluk/çap oranıyla) kutup atalet momentlerini minimum yapacak şekilde tasarlanmaktadır. Küçük çaplıdır ve genelde içerisinde kompanzasyon sargıları olan, kuvvetli manyetik alanı boyu uzun doğru akım motorlarında servo motor denilmektedir.

Alan sabitli mıknatıslarıya kurulabilmekte, motor sabit mıknatıslı DC motorlar (PMDC) olarak bilinirler ve yalnızca motorun rotorunu kontrol edebilir. PMDC motorlar ufakçapta yükler için kullanılmaktadır. Doğru akım motorlarında sabit kutuplu manyetik alanı oluştururken DC kaynağı kullanılmaktadır. Servo motorların rotoruna değişken bir gerilim uygulanır ve iki gerilimin dolaştırmakta olduğu akımın oluşturduğu manyetik alanlar bir birlerini ittirerek dönüşü sağlamış olur. doğru akım motorlarının endüvisi uzun, çan veya disk şeklinde olmaktadır. Disk endüviye sahip motor kısa ve hafif olduğu için robot mafsallarında hareketini kolaylaştırmak adına kullanılabilir. Uzun ve ince endüvili servoların boyutları küçük olduğundan dolayı her yere montaj yapılması kolaydır. Çan tipli rotorlu servolar ise 3000 d/d gibi yüksek hızlara ulaşabilme kapasitesi vardır. Doğru akım servo motorlar darbe genişliği modülasyonu ile çalışmakta olup, genellikle analog veya dijital sürücülerdir. Geri besleme olarak hall sensörü, tako jeneratör veya arttırımlı encoder kullanılır.

### **2.3.3.2 DC Servo Motorların Çalışma Prensibi**

Doğru akım servo motorlar çalışma şekli olarak, endüktörü (stator) sürekli mıknatıslı bir doğru akım motoru denilebilir. Manyetik alanla içerisinde akım geçirilecek olan iletkenlerin aralarında ki etkileşimden dolayı döndürme momenti oluşur. Doğru akım motorlarda fırçalarının bulunduğu alanlarda her iki dönüş yönü içerisinde döndürme momentininin açılma değerinin  $90^\circ$  olmasını sağlayacak şekilde saptanmaktadır. Kolektör segmentlerinin fazla olmasından dolayı, momentin sıfır noktasında endüvilerin hareketsiz kalması engellenmektedir. Doğru akım servo motorlarında endüvi eğlensizlik momenti çok düşüktür. DC servo motorlarının bazılarında küçük zaman sabitleri bulunmaktadır. Piyasada bulunan düşük güçlü doğru akım servo motorların genellikle bilgisayar kontrollü mekanizmalarda (yazıcılar, tarayıcılar, disket sürücüsü vs) gibi yerlerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.21. Doğru Akım Servo Motor Sürücü Çalışma Prensibi

Doğru akım servo motorlarında alan sargısı rotor sargısına seri veya paralel bağlanmaktadır. Rotor sargısından bağımsız olarak uyarlanan alan sargısının akısı rotor sargısından geçen akımın fonksiyonu değildir. Bazı doğru akım servo motorlarda akı sabit tasarlanmıştır. Uyarma sargısı robottan bağımsız yada sabit mıknatıs ile uyarlanan motorlarda hız kontrolü rotor gerilimi ile yapılmaktadır. Bu şekilde yapılan kontrole rotor kontrolüdenilmektedir.

Uyarma sargısının oluşturduğu akı ile yapılan kontrole rotor akımı sabit tutulmaktadır. Endüktör de bulunan uyarım sargısının oluşturduğu akı kontrolüyle de hız ayarlanmaktadır. Bu tip yapıda bulunan motora alan kontrollü motor adı verilmektedir. Endüvi sargısından geçen akımı sabit tutmak büyük bir sorundur. Rotor kontrolü motorlara göre alan kontrollü motorların alan sabitleri daha büyüktür. Büyük aralıklarla değişen hız ayarlarında endüvi geriliminin değiştirilmesi, küçük aralıklarla hassas hız ayarı gereken yerlerde alan sargılarının yarattığı manyetik akı hız kontrolü tercih edilmektedir.

### 2.3.3.3. DC Servo Motorlar ve AC Servo Motorların Karşılaştırılması

- Fırçasız servo motorlar DC servo motorların bakım gereksinimlerini ortadan kaldırmak için geliştirilmiş motorlardır. Modern servo sistemlerde kullanılan fırçasız servoların en önemli üstünlüğü fırça ve komütatör elemanlarının var olmasıdır.
- Kolektörlü doğru akım motorlarında oluşan sorunlar açık şekilde belirgin olmayabilir. Fırçaların içerisinde oluşan kirliliğin bile problem oluşturma ihtimali

vardır. Fırçasız motorların verimi, eş ölçüde olan DC motora kıyasla yüksek ve fırçalarının sürtünme etkisi olmadığı için sürtünme kuvveti verimi arttırmaktadır.

- Kolektör ve fırça aksamının yokluğu motor boyutunu düşürmektedir. Bu yalnızca motorun hacminde düşüş sağlamakla kalmaz rotoru destekleyen rulmanlarının arasındaki mesafeyi ve rotor boyutunun kısılmasını dolayısı ile rotorun yanal rijitliğide arttırılmış olur.
- Fırçasız motorlarda sargıların sabit stator içine sarılmasından dolayı ısı yalıtımı için kesit alanı sağlayabilmekte ve sargılarda oluşabilecek ısı artışını algılayacak elemanlar ile kolaylıkla algılanmaktadır.
- Günümüz teknolojisi ile yapılan servo motorlarındaki konum sinyallerinin belirlenmesi amacıyla bir encoder veya resolver kullanılmaktadır. Encoder ve motorların ana iskelet üzerinde toplanması ile sistem daha kompakt bir yapıda bulunmaktadır.
- DC motorlarda bulunan kolektörlerin aksine Fırçasız Doğru akım motorları, akımı yarı iletken elemanlarla doğrulturlar. Rotor manyetik alanının encoder vesilesi ile algılanarak, algıladığı konuma uygun olacak şekilde stator sargılarına üç fazlı AC akım verilmesi, dolayısıyla kalıcı mıknatıslı senkron motor tipindeki fırçasız servoları zamana AC servolar olarak da adlandırılır.

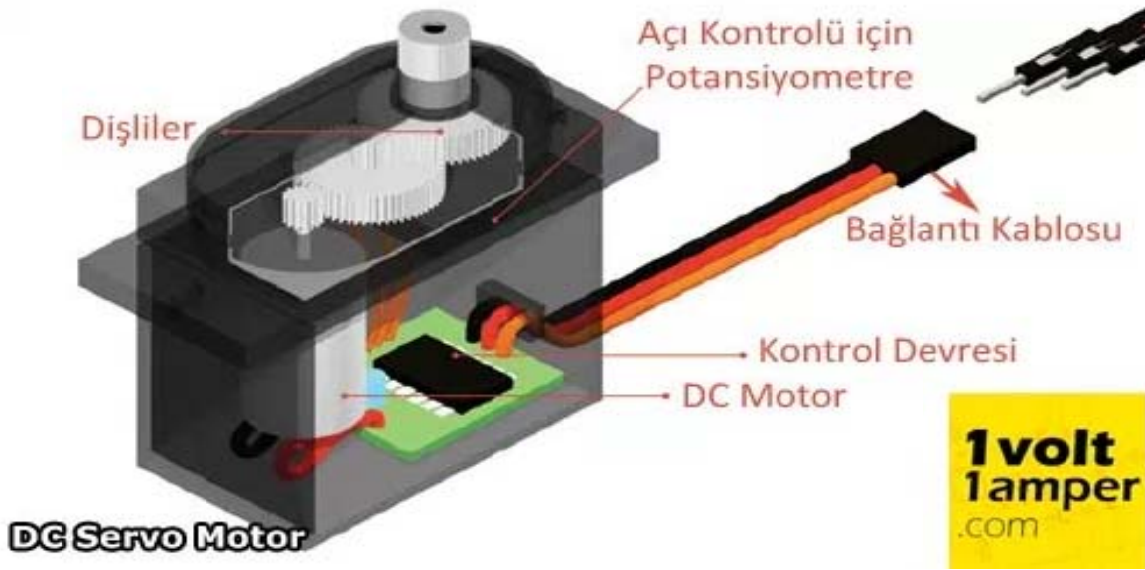
#### 2.3.3.4. DC Servo Motorların Özellikleri

- Kalkma momenti düşüktür.
- Motorun boyutu uzundur.
- Servoların çapları, normal motorlara oranla büyüktür.
- Endüvilerinin dönme momentleri, endüvilerin çaplarına göre değişir.
- Doğru akım motorları az enerji harcarlar. [22]



### 2.3.3.5. DC Servo Motorların İç Yapısı

Servoların içinde DC motor bulunduğu için doğru akım motoru ismini almaktadır. DC servolara ek olarak çıkışlarından biri mil görevi gören bir potansiyometre ile kontrol devresi,DC servoların milini kontrol etmektedir. Kontrol devresi, dirençlerin değerlerine göre potansiyometreyle servo motorun o anda hangi açılarda bulunduğunu tespit etmektedir. Eğerki servoların miligönderilen sinyal ile aynı açıda ise motor çalışmaz. Çalışıyor ise içerisindeki DC motorun çalışmasını durdurur. [23]



Şekil 2.22. DC Servo Motorun İç Yapısı

### 2.3.3.6. Arduino Elektronik Kartı

Arduino Uno; Atmega328 temelli bir mikrodenetleyici kartıdır. Üzerinde 14 adet dijital giriş/çıkış pini (6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 6 analog giriş, 16Mhz kristal, usb soketi, güç soketi, ICSP konektörü ve reset tuşu bulundurmaktadır. Kart üzerinde mikrodenetleyicinin çalışması için gerekli olan her şey bulunmaktadır. Kolayca usb kablosu üzerinden bilgisayara bağlanabilir, adaptör veya pil ile çalıştırılabilir.

#### Teknik Özellikler:

- Mikrodenetleyici            ATmega328
- Çalışma Gerilimi            5V
- Giriş Gerilimi                7-12V

- Giriş Gerilimi (limit)	6-20V
- Dijital I/O Pinleri	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
- Analog Giriş Pinleri	6
- Her I/O için Akım	40 mA
- 3.3V Çıkış için Akım	50 mA
- Flash Hafıza	32 KB (ATmega328) 0.5 KB kadarı bootloader
- SRAM	2 KB (ATmega328)
- EEPROM	1 KB (ATmega328)
- Saat Hızı	16 MHz
- Uzunluğu	68.6 mm
- Genişliği	53.4 mm
- Ağırlığı	25 g

### Güç:

Arduino Uno enerjisini USB üzerinden veya harici güç kaynağı üzerinden almaktadır. Dışarıdan takviye edilen güç kaynağı hem AC hemde DC olabildiği gibi piller de olabilir. Adaptör kart üzerinde bulunan merkez pozitif güç soketinden bağlanmaktadır. Kartın sürekli olarak çalışması için USB'nin bağlı olmasına gerek yoktur. Kart yalnızca adaptör veya pil ile çalışmaktadır. Bunlardan dolayı kart bilgisayardan bağımsız olarak çalıştırılmış olur. Dışarıdan bağlanan kaynak 6-20V arası olmalıdır. fakat bu değerler alt ve üst değerleridir. Kart için gerekli olan besleme 7-12V arasındadır. kartın üzerindeki regülatör 7V altındadır çalışmayacaktır. 12V üzerindeki değerlerde ise ısınacaktır. arduino kartının üzerinde bulunan microcontrollerin çalışma voltajı 5V'dur. Vin pini yada güç soketinden verilen 7-12V arası voltaj kartta bulunan voltaj regülatörü ile 5V'a düşürülerek karta dağıtılır. Güç pinleri aşağıda gösterilmektedir.

- **VIN:** Dışarıdan bağlanan kaynağın 7-12V arasında ki voltaj girişi dir.
- **5V:** Regülatör üzerinden 5V çıkışı verir. Kart yalnızca usb'den çalıştırılacak ise usb'den gelecek olan 5V doğrudan bu pin'den çıkış olarak verilecektir. Karta güç Vin (7-12V) yada güç soketi'den (7-12V) verilecekse regülatör üzerinden çıkan 5V doğrudan bu pin'den çıkış olarak verilecektir.
- **3.3V:** Kart üzerindeki 3.3V regülatörü çıkış pinidir. Maksimum 50mA çıkış vermektedir.

- **GND:** Toprak pinidir.

### **Hafıza:**

Atmega328 32 KB'lık flash belleğe sahip olup (0.5 Kb'tını bootloader kullanmaktadır). 2 KB SRAM ve 1 KB EEPROM'u vardır.

### **Giriş-Çıkış:**

Arduino Uno üzerinde bulunan 14 tane dijital pin vardır ve bunların tamamı giriş-çıkış olarak kullanılmaktadır. Ayrıca arduino uno üzerinde 6 adet analog giriş pini debarındırmaktadır. Arduino kartın toplamda 20 adet dijital giriş-çıkış pinleri bulunmaktadır ve bunların lojik seviyesi 5V'dur. Her pin maksimum 40mA giriş-çıkış akımı ile çalışmaktadır. Arduino üzerindeki bazı pinler farklı özelliklerdedir. Bu pinler aşağıda gösterilmektedir.

- **Seri Haberleşme, 0 (RX) ve 1 (TX):** TTL Seri veri alıp (RX), vermek (TX) için kullanılmaktadır. TTL ve TX pinleri kartın üzerindeki Atmega16u2 usb seri dönüştürücüsüne bağlanmaktadır. Bilgisayardan karta veri aktarılırken yada bilgisayar ile arduino uno arasında haberleşmesi yapılırken de bu pinler kullanılmaktadır.
- **PWM (3,5,6,9,10,11):** 8-bit çözünürlükte olup PWM çıkış pini olarak kullanılır.
- **SPI, 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK):** SPI haberleşmesinde kullanılmaktadır.
- **LED, 13:** arduino uno üzerindeki 13. pine bağlı bir led vardır. Pin HIGH yapılırsa led yanar, LOW yapılırsa led sönmektedir.
- **Analog, A0-A5:** Arduino uno'da 6 adet 10 bit çözünürlüğüne sahip analog giriş pinleri mevcuttur. Analog pinlerin tamamı dijital giriş-çıkış olarak da kullanılır. Pinler 0-5V aralığında ölçülür.
- **I2C, A4 veya SDA pini ve A5 veya SCL pini:** I2C haberleşmesinde kullanılmaktadır.
- **AREF:** Analog giriş pini için referans pinidir.
- **Reset:** microcontrollerin resetlenmesi gerektiğinde bu pin LOW yapılarak arduino uno'yu resetlenmiş olur. Ayrıca resetleme işlemi kartta bulunan Reset Butonu ile de yapılmaktadır.

### **Haberleşme:**

Arduino'nun bilgisayar aracılığı ile diğer bir arduino ya da microcontroller ile haberleşmesi için farklı seçenekler bulunmaktadır. Atmega328, 0 (RX) ve 1 (TX) pinleri üzerinden UART TTL (5V) seri haberleşme imkanı sunmaktadır. Arduino kartında yer alan Atmega16u2 usb seri dönüştürücüsünde bilgisayar üzerinde sanal com port açarak Atmega328 ile bilgisayar arasında bir köprü kurulmasını sağlamaktadır. Arduino yazılımının içerisinde bulundurduğu seri monitör ile arduino ile bilgisayar arasında text temelli bilgilerin gönderilip alınmasını sağlamaktadır. Usb seri dönüştürücüsüyle bilgisayar arasında usb üzerinden haberleştirildiğinde kart üzerindeki RX ve TX ledleri yanmaktadır. Arduino uno'nun üzerinde bir tane seri port mevcuttur. Fakat SoftwareSerial kütüphanesiyle port sayısı yazılımla arttırılmaktadır.

### **Programlama:**

Arduino Uno kartı bilgisayar yazılımı olan (Arduino IDE) ile programlanmaktadır. Programlamada Tools > Board sekmesinin altında Arduino Uno'yu seçip yazılıma başlanır. Arduino Uno'da bulunan Atmega328 entegrasına bootloader denilen özel bir yazılım yüklüdür. Yazılımın yüklü gelmesinden dolayı kartı programlarken başka bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz. Haberleşme STK500 protokolü ile sağlanmaktadır. Bootloader'e yüklenen yazılım bypass edilerek kart microcontrollerin ICSP header'i üzerinden ISP programlayıcı ile programlanmaktadır (Referans). Bootloader yazılımında olduğu gibi Atmega16u2 içerisinde bulunan kaynak yazılımda açık kaynaklıdır.

### **USB Aşırı Akım Koruması:**

Arduino Uno üzerindeki resetleme özelliğine sahip sigorta bilgisayar üzerinde bulunan usb portunu kısa devrelere ya da aşırı akım tüketimine karşı korumakta olup kart, bilgisayar usb portunun üzerinden 500mA'den fazla akım çektiği takdirde otomatikmen usb üzerinden almakta olduğu gücü koruma amacı ile kesecektir. Fazla akım ya da kısa devre ortadan kaldırılınca sigorta tekrar eskidurumuna dönerek bağlantı kurar.[24]

#### 2.4. Tasarlanacak Robot Kolda İzlenecek Yol ve Yöntemler

Öncelikle robot kolların tarihi hakkında araştırmaları yapılarak, robot sistemlerinin kurulması için yeteri kadar bilgiler edinilmiştir. Bu projede gerçekleştirilen robot kol eklemleri tip olup 5 eksen yönünde hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca üzerinde barındırdığı tutaç ile tutma eylemini yapmaktadır. Robot kolun kontrolü için Arduino Uno R3 mikrodenetleyici tercih edilmiştir.

Bu çalışmalar yapıldıktan sonra motor seçimleri gerçekleştirilmelidir. Hangi tip motoru seçeceğimizi robota hangi hareketleri ne sıklıkla yada nasıl yaptıracağımız belirlemektedir. Bu projede DC servo motorlar tercih edilmiştir. DC servo motorların tercih sebebi ise hasas çalışabilmeleri ve yüksek torka sahip olmalarıdır. DC servo motorlar hakkında gerekli bilgiler edinilmiştir.

Motor seçimi yaparken robot kolun tasarımı hakkında bilgi edinilmeli hangi malzemeden yapılacağı hangi fiziki şartlarda ve hangi ortamlarda kullanılacağı daha da önemlisi kaç eksenli olarak tasarlanacağı biliniyor olması gerekmektedir. Robot kolun tasarımını gerçekleştirmek için SolidWorks tasarım programından yararlanılmıştır. Tasarım için gerekli modeller düşünülmüş ve en iyi sonucu verebilecek olan model tercih edilmiştir.

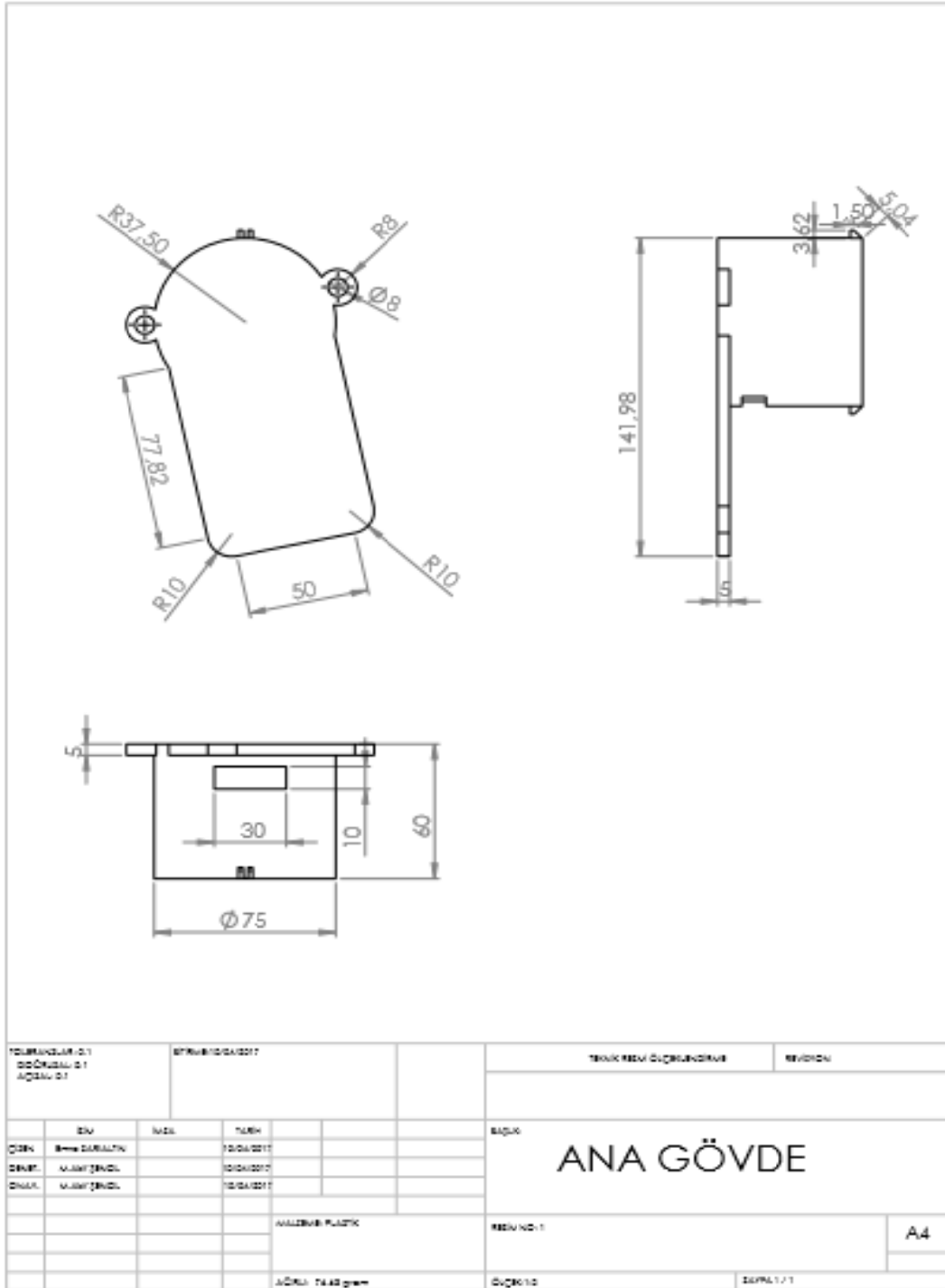
Son zamanlarda oldukça popüler hale gelen Arduino uno R3 micro controller ile robot kolun kontrolü gerçekleştirilmiştir. Arduino uno R3 microcontrollerin seçilme nedeni ise açık kaynak kodlu olması ve fazla motor sayısından dolayı diğer sürücü kartlarıyla uyumlu bir yapısının bulunmasıdır.

### 3. ROBOT KOLUN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

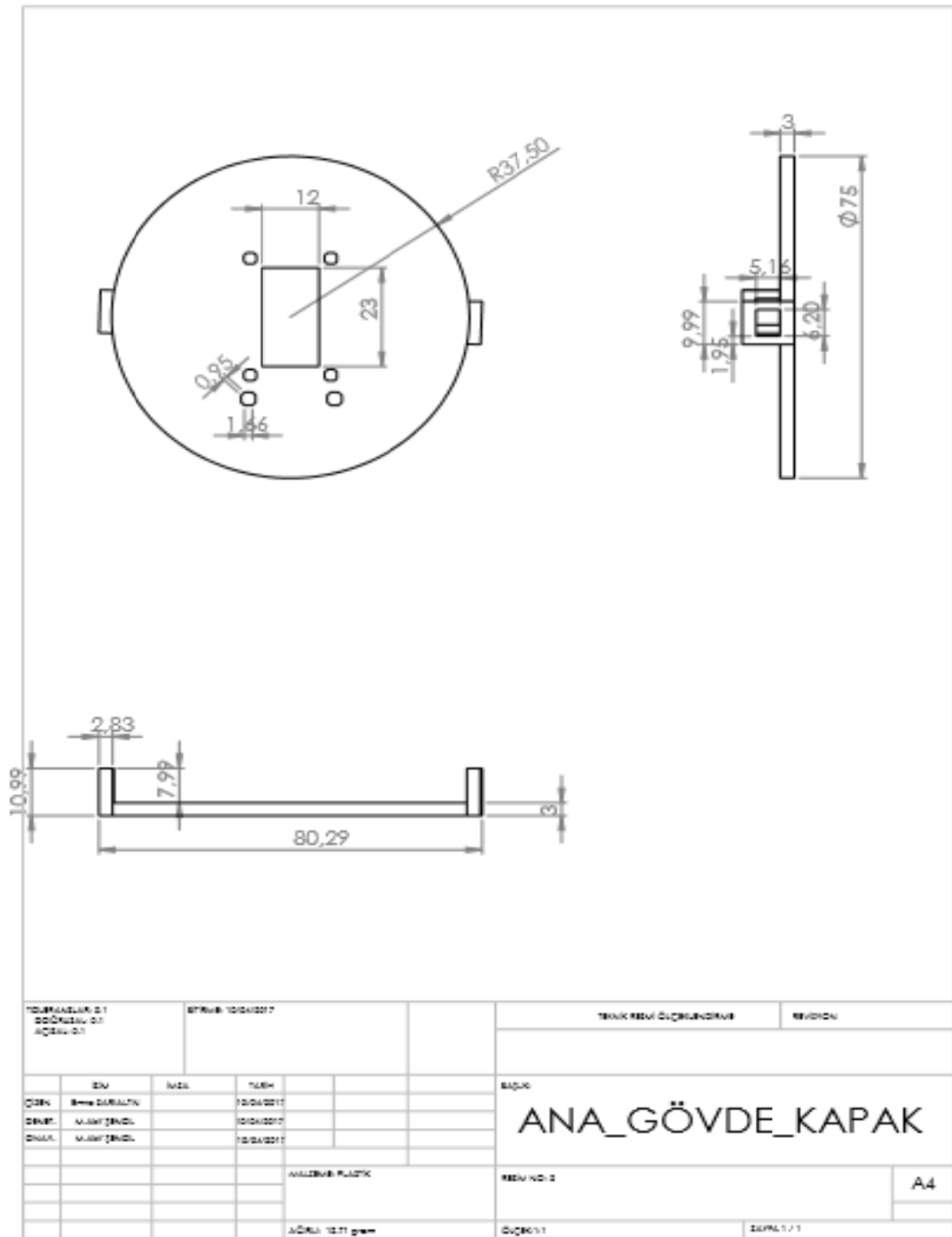
Tasarlanan robot kolu oluşturan parçaların adları, görevleri, hareket kabiliyetleri, hareket açıları ve yönleriyle ilgili tanımlamalar aşağıda verilmiştir.

- **Ana Gövde:** Robot kolun ilk tasarlanan bölümüdür. Bütün parçaları taşır ve yere sabitlenmesini sağlar. Ayrıca üzerin de elektronik devreleri barındırır. Ana gövdenin tasarımında tüm taşıdığı parçaların ağırlıkları ile kaldıracağı iş parçasının ağırlıkları statik olarak sorunsuzca taşınabilmelidir.
- **Ana Gövde Kapağı:** Ana gövdenin üzerine monte edilir. Robot kolun ilk hareketinin başlangıç yeridir. Ana gövde kapağın ilk eksen de denilebilir. Çünkü ana gövde kapağına monte edilen motor sayesinde robot kol yatay eksen üzerinde sağa sola hareket etmektedir. Kol 180 hareket edebilme kabiliyetine sahiptir.
- **Alt Motor Tutucu:** Robot kolun ilk ekseninin ve ikinci ekseninin birleştirildiği yerdir. Alt motor tutucu, robot kolun düşey düzlemde aşağı ve yukarı hareketini sağlamaktadır. Bu hareketle aşağı ve yukarı 180 olabilmektedir.
- **Alt Kol:** Robot kolun ikinci ekseninin hareketiyle aşağı yukarı hareket etmektedir.
- **Orta Kol:** Robot kolun üçüncü ekseninin başladığı yerdir. Bu kol düşey düzlemde 180 aşağı ve yukarı hareket etmektedir.
- **Üst Motor Tutucu:** Dördüncü eksenin başlangıcıdır. Bu tutucu düşey düzlemde 180 aşağı yukarı hareket etmektedir.
- **Motoru Tutucu:** Bu tutucu motor robot kol üzerinde motorların sabitlenmesini sağlamaktadır.
- **Tutucu:** Ürünlerin bir noktadan bir noktaya taşınması için sıkma ve bırakma hareketini yapmaktadır.

### 3.1. Mekanik Parçaların Üretilmesi ve Montajı

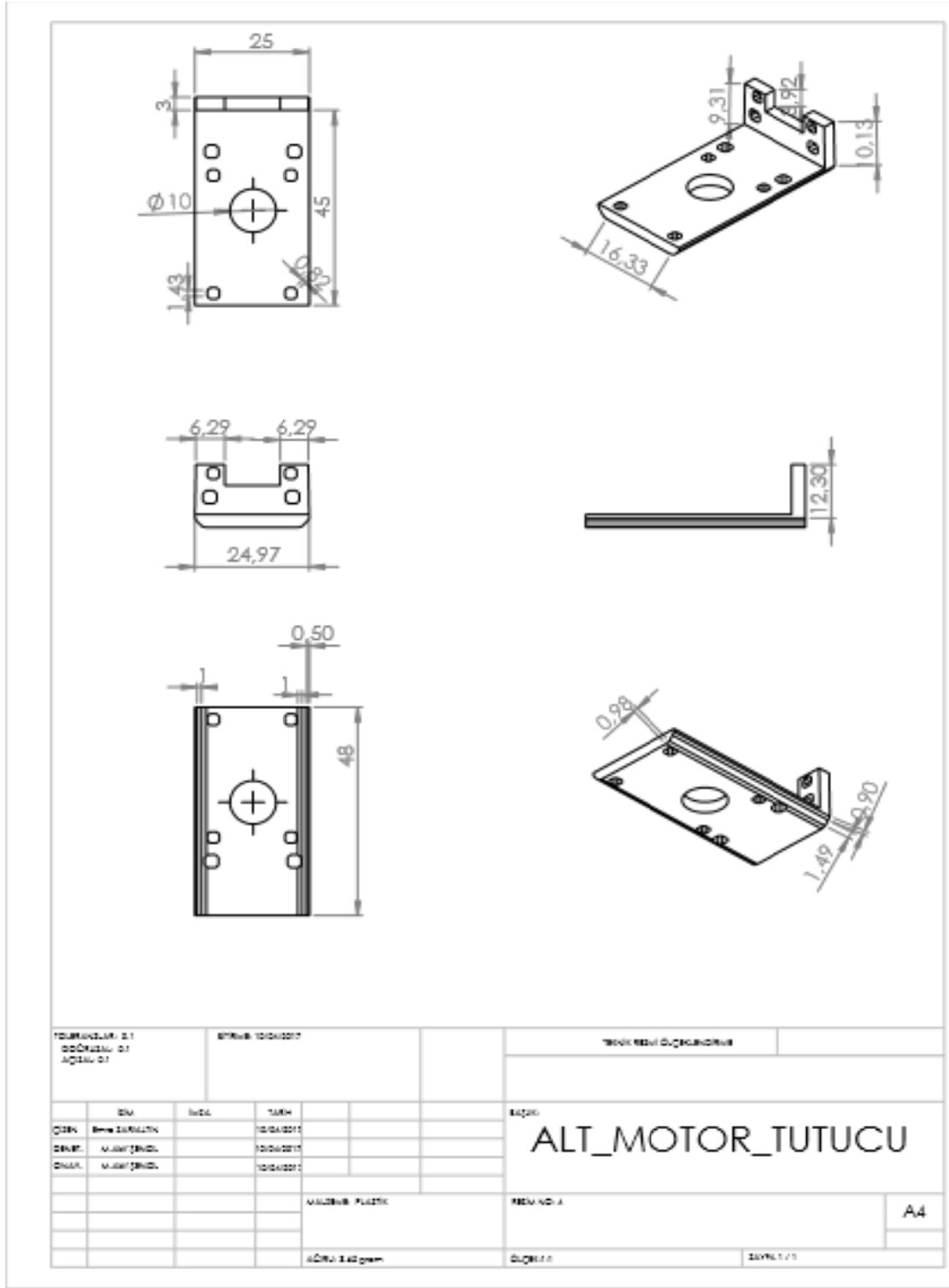


Şekil 3.1. Gerçekleştirilen Robot Kolun Ana Gövdesi Gösterilmektedir

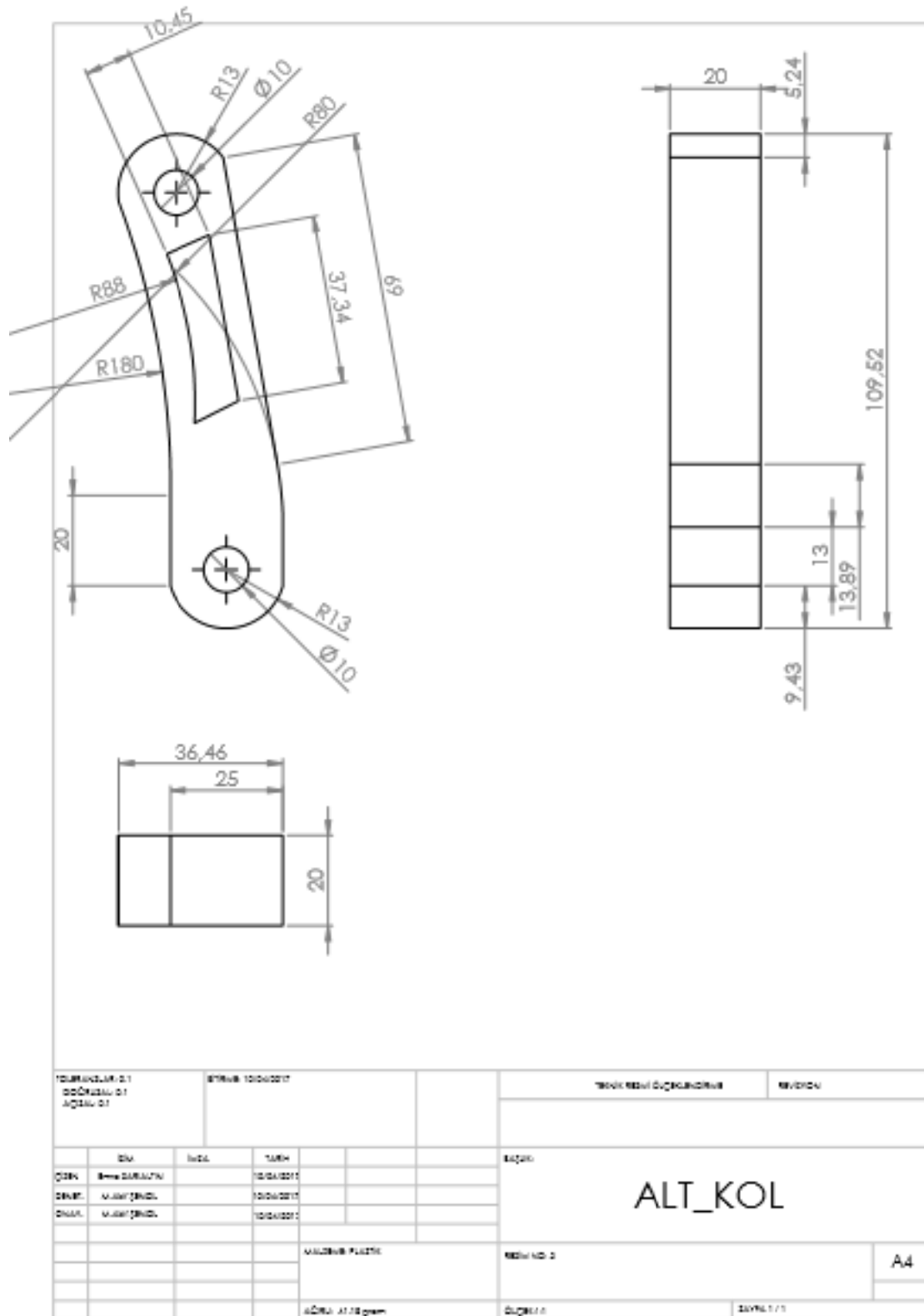


Şekil 3.2. Gerçekleştirilen Robot Kolun Ana Gövde Kapağı Gösterilmektedir



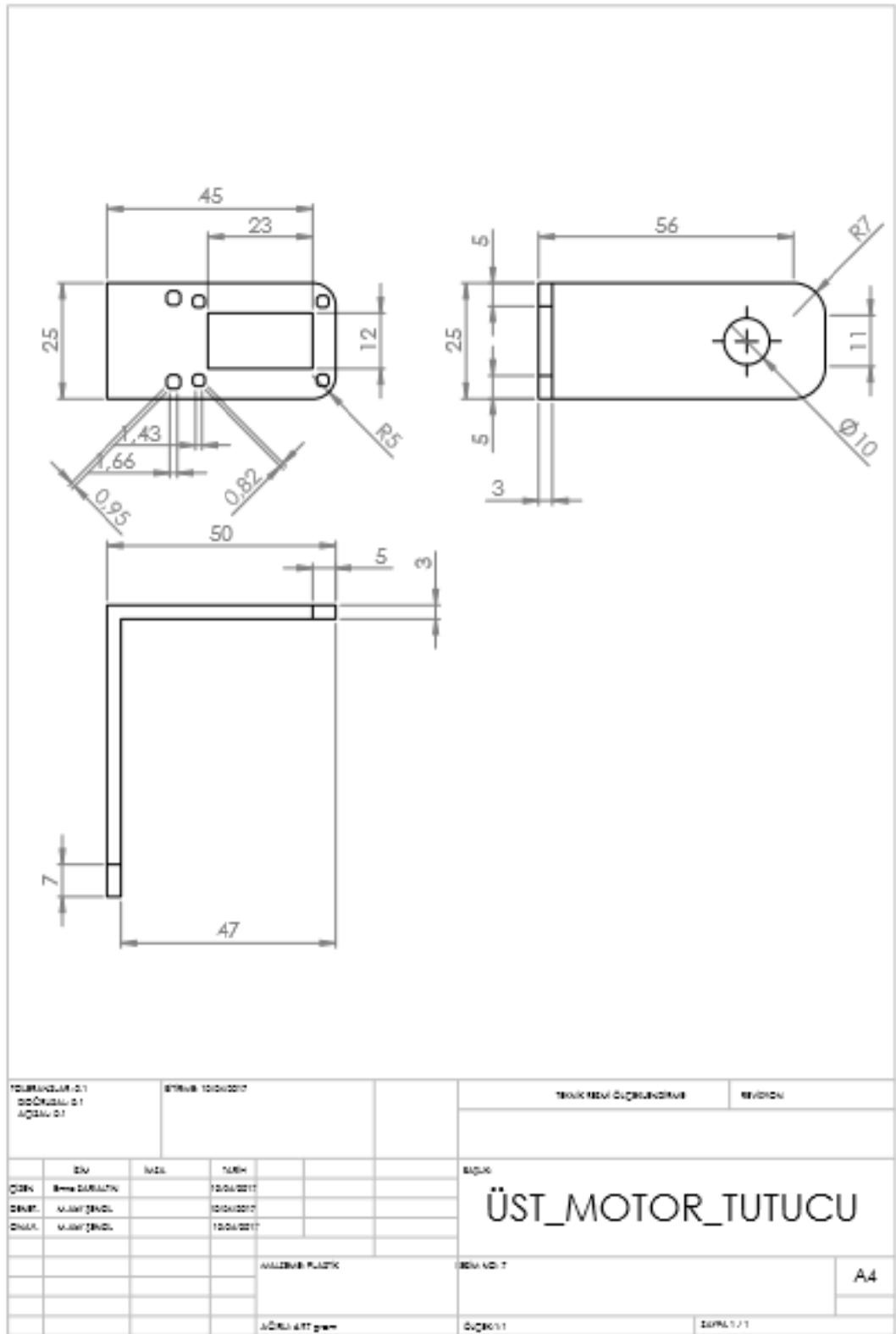


Şekil 3.3. Gerçekleştirilen Robot Kolun Alt Motor Tutucusu Gösterilmektedir



Şekil 3.4. Gerçekleştirilen Robot Kolu Alt Kolu Gösterilmektedir





Şekil 3.6. Gerçekleştirilen Robot Kolum Üst Motor Tutucusu Gösterilmektedir



### 3.2. Yazılım ile İlgili Yapılan Çalışmalar

**Arduino;** bir Giriş/Çıkış kartı ve Processing/Wiring dilinde yapılmış bir uygulama içeren geliştirme olanaklı fiziksel olarak programlama imkanı sunan bir platformdur. Arduino kartlarında bir tane Atmel AVR microcontroller (ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4 gibi) mevcuttur. Arduinokartlarında 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilatör (bazılarında seramik rezonatör) bulunmaktadır..



Şekil 3.8 Arduino Uno R3

**Arduino'nun temel bileşenleri:** Arduino uno R3 geliştirme ortamı (IDE), Arduino bootloader (Optiboot), Arduino'ya ait kütüphaneler, AVR Dude (Arduino'nun microcontrolleri yazılımı) ve derleyiciden (AVR-GCC) oluşmaktadır. Arduino programı geliştirme ortamı (IDE) ve kütüphaneden oluşur. IDE, Java dilinde yazılmış ve Processing diline dayanmaktadır. Kütüphane ise C ve C++ dilinde yazılarak AVR-GCC ve AVR Libc. ile derlenmiştir. bootloader bileşeni Arduino 'nun optiboot bileşenidir. Bu bileşen, Arduino'da bulunan microcontrollerin programlamasını sağlar.

Arduino'nun bu kadar çok tercih edilmesinin sebebi ise microcontroller hakkında çok fazla bilgiye ihtiyaç duyulmadan, herkesimin programlama yapabilmesine olanak veren Arduino kütüphanesidir. Arduino kütüphanesi, geliştirme ortamıyla gelmekte ve "libraries" klasörünün altında yer alır.

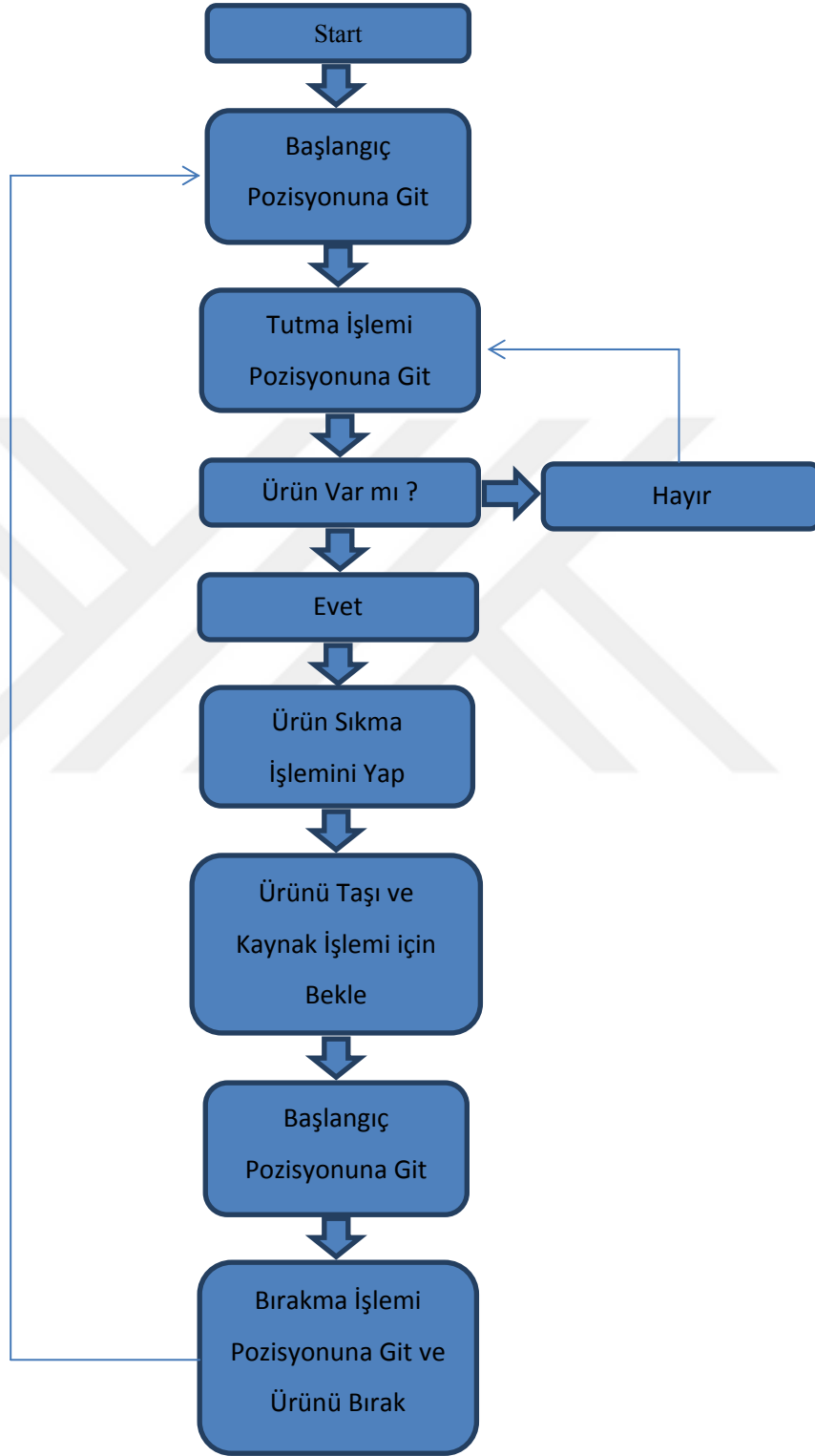
Arduino kütüphanesi ile rahatlıkla yazılım yapılmaktadır. Analog ve digital sinyaller alınarak çalıştırılabilir. Algılayıcılar kullanılarak, çevresinde bil alan robotlar ve robot sistemleri tasarlanabilir. Tasarlanan projelere göre hareket, ses, ışık gibi tepkiler oluşturulabilir.

Çoğunlukla programlama ve yazılım alanlarında kullanılan microcontroller tipi PIC olsa da açık kaynak kodlu olmasından dolayı günümüzde arduino dünyada oldukça popüler bir yer edinmiştir. Arduino hemen hemen her alanda ve her projeye uygundur.

Arduino'nun tercih edilme sebepleri aşağıda belirtilmiştir;

- Geliştirme ortamının basitliği ve diğer microcontrollerlar ile kullanılması.
- Geliştirilmiş kütüphanesi ile zor olan bütün işlemleri rahatlıkla çözebilir.
- Piyasalarda Arduino ile uyumlu ve birlikte çalıştırılabilecek donanımların bulunması.
- Açık kaynaklı olduğundan dolayı çevresi ile iletişim basittir.
- Arduino kullanıcılarının sayısının fazla olmasından dolayı herhangi bir sorunla karşılaşıldığında kolaylıkla çözüme ulaşılması. [24]

Tasarlanan programın algoritmik yapısı aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Program Akış Diyagramı



Tasarlanan robot kol ile ilgili yapılan yazılım aşağıda gösterilmektedir.

```
#include <Servo.h> // include server library

Servo ana_govde; // servo motor tanımlamaları

Servo alt_kol; // servo motor tanımlamaları

Servo orta_kol; // servo motor tanımlamaları

Servo orta_kol2; // servo motor tanımlamaları

Servo ust_kol; // servo motor tanımlamaları

Servo tutucu; // servo motor tanımlamaları

bool dongu1 = false;

bool dongu2 = false;

bool dongu3 = false;

bool dongu4 = false;

void setup() // pin bağlantı tanımlamaları

{

ana_govde.attach(11); // ana_govde 11.pine bağlı

alt_kol.attach(10); // alt_kol 10. pine bağlı

orta_kol.attach(9); // orta_kol 9.pine bağlı

orta_kol2.attach(6); //orta_kol2 6.pine bağlı

ust_kol.attach(5); // ust_kol 5.pine bağlı

tutucu.attach(3); // tutucu 3.pine bağlı
```

```
dongu1 = true; // ilk döngüye giriş kosulu

tutucu.write(60); // ana gövde başlangıç değeri 90

delay(1000); // 1 saniye bekleme

}

void baslangic() // başlangıç işlemi için hareket tanımlamaları

{

    ana_govde.write(90); // ana gövde başlangıç değeri 90

    delay(1000); // 1 saniye bekleme

    alt_kol.write(92); // alt_kol başlangıç değeri 92

    delay(1000); // 1 saniye bekleme

    orta_kol.write(90); // orta kol başlangıç değeri 90

    delay(1000); // 1 saniye bekleme

    orta_kol2.write(90); // orta kol2 başlangıç değeri 90

    delay(1000); // 1 saniye bekleme

    ust_kol.write(90); // üst kol başlangıç değeri 90

    delay(1000); // 1 saniye bekleme

    tutucu.write(60); // tutucu başlangıç değeri 10

    delay(1000); //1 saniye bekleme

}

void alma() // alma işlemi için hareket tanımlamaları

{

    for (int pos = 90; pos <= 120; pos += 1) // ana gövde başlangıç değeri 90 ise 120 ye kadar
    arttırarak git
```

```
{  
  
ana_govde.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
for (int pos = 92; pos >= 60; pos -= 1) // alt kol başlangıç değeri 92 ise 60 a kadar azaltarak  
git  
  
{  
  
alt_kol.write(pos); // yukarıdaki değerleri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
for (int pos = 90; pos >= 40; pos -= 1) // orta kol2 başlangıç değeri 90 ise 40 a kadar  
azaltarak git  
  
{  
  
orta_kol2.write(pos); // yukarıdaki değerleri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
for (int pos = 90; pos <= 175; pos += 1) //orta kol başlangıç değeri 90 ise 175 a kadar  
arttırarak git  
  
{  
  
orta_kol.write(pos); // yukarıdaki değerleri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
for (int pos = 90; pos <= 90; pos += 1) // ust kol başlangıç değeri 90 ise 90 a kadar  
arttırarak git
```

```
{  
  
ust_kol.write(pos); // yukarıdaki değerleri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
for (int pos = 60; pos >= 10; pos -= 1) // tutucu başlangıç değeri 10 ise 40 a kadar  
arttırarak git  
  
{  
  
tutucu.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
delay(2000); // 2 saniye genel bekleme süresi  
  
}  
  
void tutma() //tutma işlemi için hareket tanımlamaları  
  
{  
  
for (int pos = 120; pos <= 120; pos += 1) // ana gövde başlangıç değeri 120 ise 120 ye  
kadar arttırarak git  
  
{  
  
ana_govde.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır  
  
delay(15); // pin değeri için bekleme süresi  
  
}  
  
for (int pos = 60; pos <= 60; pos += 1) // alt kol başlangıç değeri 60 ise 60 a kadar  
arttırarak git  
  
{  
  
alt_kol.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır
```

```
delay(15); // pin değeri için bekleme

}

for (int pos = 40; pos <= 40; pos += 1) // orta kol2 başlangıç değeri 40 ise 40 a kadar
arttıranarak git

{

orta_kol2.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır

delay(15); // pin değeri için bekleme

}

for (int pos = 175; pos <= 175; pos += 1) // orta kol başlangıç değeri 175 ise 175 e kadar
arttıranarak git

{

orta_kol.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır

delay(15); //pin için bekleme süresi

}

for (int pos = 90; pos <= 90; pos += 1) // üst kol başlangıç değeri 90 ise 90 a kadar
arttıranarak git

{

ust_kol.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır

delay(15); // pin için bekeleme süresi

}

for (int pos = 10; pos <= 60; pos += 1) // tutucu başlangıç değeri 40 ise 40 a kadar
arttıranarak git

{

tutucu.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır
```

```
delay(15); // bekleme süresi

}

delay(2000); // 2 saniye genel bekleme

}

void birakma() // bırakma işlemi için hareket tanımlama

{

for (int pos = 120; pos <= 50; pos -= 1) // ana gövde başlangıç değeri 120 ise 50 e kadar
azaltarak git

{

ana_govde.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır

delay(15); // pin için bekleme süresi

}

for (int pos = 60; pos <= 60; pos += 1) // alt kol başlangıç değeri 60 ise 60 a kadar
arttırarak git

{

alt_kol.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır

delay(15); // pin için bekleme süresi

}

for (int pos = 40; pos <= 40; pos += 1) // orta kol2 başlangıç değeri 40 ise 40 a kadar
arttırarak git

{

orta_kol2.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır

delay(15); //pin için bekleme süresi

}

}
```

```
for (int pos = 175; pos <= 175; pos += 1) // orta kol başlangıç değeri 60 ise 175 e kadar
arttırarak git
{
orta_kol.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır
delay(15); // pin için bekleme süresi
}
for (int pos = 90; pos <= 90; pos += 1) // üst kol başlangıç değeri 90 ise 90 a kadar
arttırarak git
{
ust_kol.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır
delay(15); //pin için bekleme süresi
}
for (int pos = 60; pos >= 10; pos -= 1) // tutucu başlangıç değeri 40 ise 10 a kadar azatarak
git
{
tutucu.write(pos); // yukarıdaki değeri yazdır
delay(15); //pin için bekleme süresi
}
delay(2000); // 2 saniye genel bekleme süresi
}
void loop()
{
tutucu.write(60); // ana gövde başlangıç değeri 90
delay(1000); // 1 saniye bekleme
```

// sıralamadan çıkmaması için döngülerin takip edilmesi aşağıda gösterilmektedir.

```
if(dongu1==true)
```

```
{
```

```
  baslangic();
```

```
  dongu1=false;
```

```
  dongu2=true;
```

```
  dongu3=false;
```

```
  dongu4=false;
```

```
}
```

```
if(dongu2==true)
```

```
{
```

```
  alma();
```

```
  dongu1=false;
```

```
  dongu2=false;
```

```
  dongu3=true;
```

```
  dongu4=false;
```

```
}
```

```
if(dongu3==true)
```

```
{
```

```
  tutma();
```

```
  dongu1=false;
```

```
  dongu2=false;
```

```
  dongu3=false;
```



```
dongu4=true;
}
if(dongu4==true)
{
birakma();
dongu1=true;
dongu2=false;
dongu3=false;
dongu4=false;
}
}
```

## 4.ULUSLAR ARASI STANDARTLAR VE YAPILAN DENEYLER

### 4.1. Uluslar Arası Standartlar

Makinelerin güvenliği ile ilgili uluslar arası standart ISO 12100 (2010) tarihinde yürürlüğe giren makinelerde güvenlik- tasarım için genel prensipler-risk değerlendirilmesi ve risk azaltılması standardıdır. Bu standart gerek Avrupa Birliği tarafından EN standardı olarak kabul edilmiş ve EN ISO 12100 standart numarası ile halen Avrupa Birliği üye ülkelerinde yürürlükte bulunmaktadır. Ülkemizde ise 12/04/2011 tarihinde kabul edilmiş ve TS-EN ISO 12100 standart numarası ile ülkemizde de geçerli bulunmaktadır. Bu standar aynı zamanda Avrupa Birliğinin 2006 /42/EC direktifi kapsamındadır.

Standartlar genel olarak, tip A, tip B, tip C şeklinde gruplara ayrılırlar. Tip A standartlar, makineler için temel tasarım rehberliği ve temel terminolojiyi verirler. Bu nedenle bu tip standartlara temel güvenlik standardı da denir. Tip B sınıfı standartlar ise bir makine grubunun veya alt setinin belirli açılardan güvenlikleri ile ilgili kuralları verir. Bu nedenle tip B grubu standartlara grup güvenlik standartları da denir. Tip C sınıfı standartlar ise münferit makine grupları için veya makinaların spesifik bir tipi için kurallar öngörülür. Bu nedenle bu standartlara uzman standartlar da denir.[25]

Robotlarda özel bir makina grubunu oluşturdukları için kendine özgü kuralları içeren özel standartlara tabiidir. Endüstriyel robotlar için uluslar arası iki standart bulunmaktadır. Bunlardan ilki ISO 102018-1: Endüstriyel Ortamlar İçin Robotlar- Güvenlik Kuralları- Kısım 1: Robot Standardıdır. Diğeri ise ISO 102018-2 Robotlar ve Robotik Düzenler- Endüstriyel Robotlar için Güvenlik Kuralları Kısım 2: Robot Sistemler ve Entegrasyonları Standardıdır. Bu iki standarda ilişkin önemli kısımlar[26] nolu referansta verilmekte olup ayrıca bu çalışmada Ek1 ve Ek 2 olarak verilmiştir.

ISO102018-1:2006 standardında genel olarak endüstriyel robotların kullanımı için spesifik güvenlik tasarım kuralları, koruma önlemleri ve buna ilişkin bilgiler verilmektedir.

ISO 102018-2: 2011 standardında genel olarak endüstriyel robot sistemlerin tasarımı, üretimi, montajı, çalıştırılması. bakımı gibi kurallar ile robotları oluşturan bileşenlere ait kurallar verilmektedir.

Endüstrilerde kullanılan gerçek robotlarda aşağıdaki tehlike tanımlamaları ve bunların değerlendirmeleri önem arz etmektedir.

- A) Öğrenme, bakım, ayarlama, ve temizleme (silme) dahil robotta amaçlanan çalışmalar,
- B) Beklenmedik harekete başlama,
- C) Bütün yönlerden personel tarafından erişim,
- D) Robotun makul düzeyde tolere edilebilir yanlış çalışma,
- E) Kontrol sistemindeki hataların etkileri,

Endüstriyel robotlar deneyler esnasında aşağıdaki şekilde doğrulama işlemlerinden geçirirler:

- A: Gözle muayene,
- B: Uygulama deneyler,
- C: Ölçme,
- D: Çalışma sırasında gözlem,
- E: Devre şemalarının analizi,

Aşağıdaki alt bölümde yapılan doğrulama deneylerinde, deneylerin doğruluğu gözle, çalışma sırasındaki gözlemlerle, elektiriksel değerlerde ise ölçmelerle doğrulama işlemi yapılmıştır.

#### **4.2. Yapılan Deneyler**

Bu proje kapsamında yapılan deneyler aşağıda yer almakta olup, deneyler İstanbul Gelişim Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği ve Mekatronik Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Robot kol için düşünülen ilk adım başlangıç değerlerinin oluşturulmasıdır. Robot kol sisteme hangi hareketler ile başlaması gerektiğine, başlangıç kodları ile karar vermektedir. Şekil 4.1 de gösterilen resimde robot kol için ilk adım gerçekleştirilmiştir



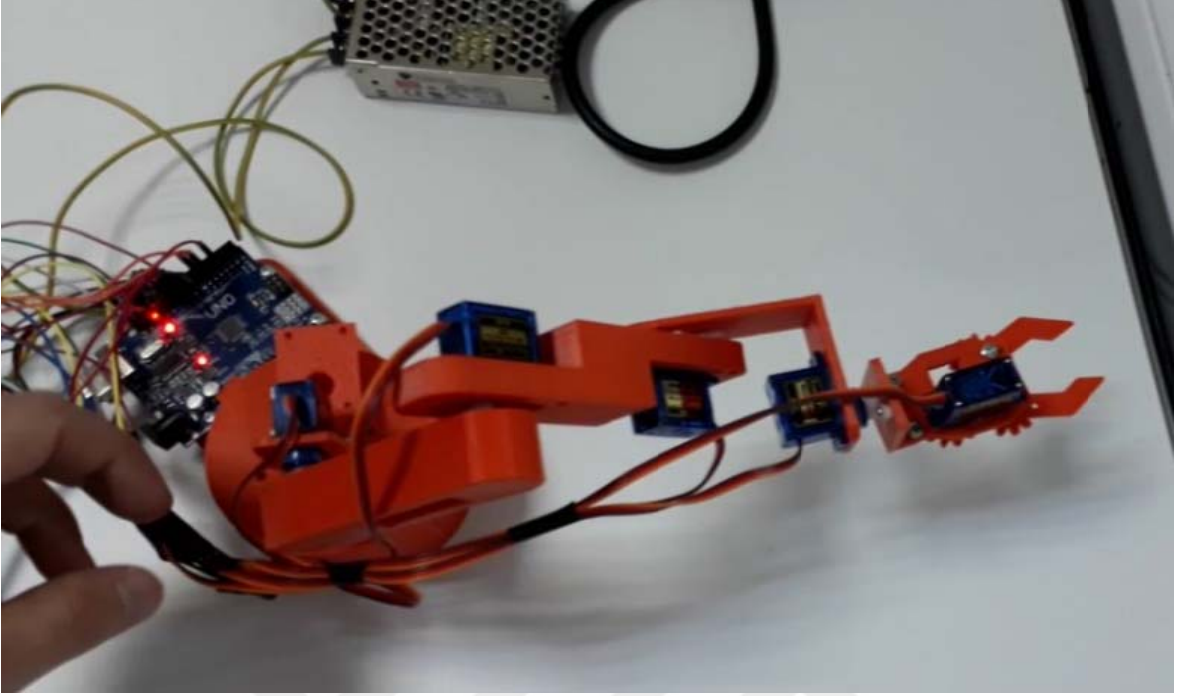
Şekil 4.1 Robot Kolun Tanımlanan Başlangıç Değerine Gelmesi

Robot kol için tanımlanan ikinci adım tutma işlemini gerçekleştirmesidir. Tutma işlemini yapabilmesi için robot kolun belirtilen açılarda hareket etmesi gerekmektedir.



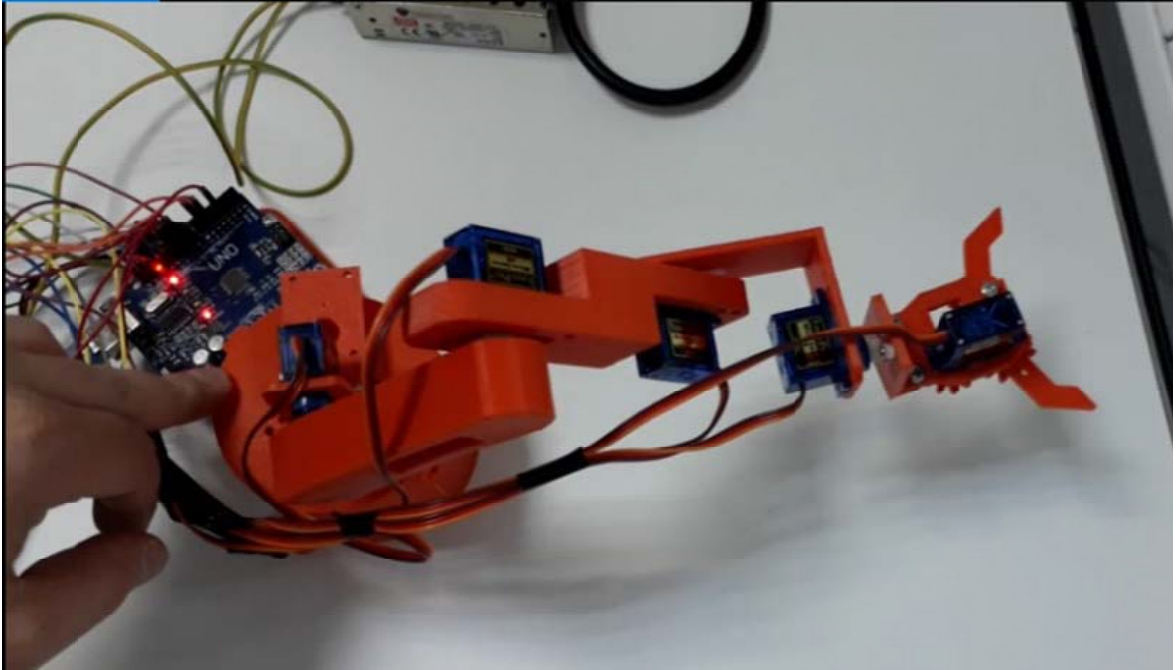
Şekil 4.2 Robot Kolun Tutma İşlemi Pozisyonuna Gitmesi

Robot kol taşıma hareketini gerçekleştirebilmesi için ürüne sıkma işlemi uygulamaktadır.



**Şekil 4.3 Robot Kolun Malzemeyi Taşımaya İçin Sıkma İşlemi**

Sıkma işleminden sonra taşınmakta olan ürün istenilen konumda bırakılır. Bırakma işlemi şekil 4.4 de gösterilmektedir.



**Şekil 4.4. Robot Kolun Ürünü Bırakma Hareketi**

Robot kol bütün döngüleri tamamlamış, başlama hareketini yapmış, ürünü tutma hareketini tamamlamış, ürünü tanımlı bölgeye götürmüş ve bırakma işlemini yapmıştır. Bütün bu süreçlerden sonra emniyet gerekliliklerinden dolayı başlangıç konumuna dönmüştür.



**Şekil 4.5 Robot Kolun İlk Hareketine Dönmesi**

Gerçekleştirilen deneyler bu proje kapsamında prototip bir robot kol üzerinde yapıldığından standartlarda öngörülen profesyonel deneyler bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Robot kollar, birçok alanda geliştirilebilmektedir. Robot kolların ortaya çıkmasından dolayı birçok işin yapımı kolaylaşmakta ve ortaya çıkabilecek hatalar en aza indirgenmiştir. Sanayide kullanılan kaynak robotları, taşıma robotları, bu projede gerçekleştirilen robot kolun geliştirilmiş halidir. Robot kollarının kullanım alanları oldukça fazladır. Gerçekleştirilen robot kol prototip niteliği taşımakta olup kapsamlı bir robot sistemleri için geliştirilebilir bir niteliğibulunmaktadır.

Tasarlanan projenin amacı, 5 eksenle hareket kabiliyeti sağlayan robot kol tasarımı ve bu robot kol için uygun microcontroller ile bilgisayar aracılığı ile kontrolünün sağlanmasıdır. Bu amaçla gerekli olan teorik ve pratik bilgiler edinilmiş ve projenin yapımı için gerek duyulan altyapı oluşturulmuştur. Tasarımın gerçekleştirilmesi ve geliştirilmesi istenilen amaca uygun olarak yapılmıştır.

Gerçekleştirilen bu robot kol, bir nesneyi tanımlı olan bir bölgeden alarak başka bir bölgeye nakil işlemi yapmaktadır. Bu işlem Arduino Uno R3 microcontroller yardımıyla bilgisayarda tasarlanan bir ara yüz ile yapılmıştır.

Robot kol parçaları teknik resimleri çizildikten sonra 3D yazıcı ile gerçeklemeleri yapılmış ve biraraya getirilerek montajı yapılmıştır. Yazılım işlemleri tamamlandıktan sonra, güç besleme katı da monte edilerek robot kol fonksiyon testlerine tâbi tutulmuştur.

Deneyle olarak, başlangıç konumuna gelme, ürünü alma konumuna gelme, ürünü yakalama, ürünü hedefe ulaştırma ve sorunsuzca bırakma, başlangıç konumuna geri dönerek aynı hareketleri periyodik ve otomatik olarak tekrar yapma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın devamında endüstride kullanılmak üzere gerçek robot kolların tasarımı, gerçekleştirilmesi ve Avrupa Birliğinin 2006 /42/EC direktifi kapsamında olan Makinelerin Güvenliği ile ilgili uluslararası standart ISO 12100 a uygun ve aynı zamanda ISO 102018-1: Endüstriyel Ortamlar İçin Robotlar- Güvenlik Kuralları- Kısım 1: robot standardıdır. Diğerleri ise ISO 102018-2 Robotlar ve Robotik Düzenler- Endüstriyel Robotlar için Güvenlik Kuralları Kısım 2: Robot Sistemler ve Entegrasyonları standartlarına uygun robotların gerçekleştirilmesi olmalıdır.

Yapılan çalışmanın devamında tasarlanan robot kolu geliştirerek her bir motoru ayrı ayrı hareket ettirmek yerine, insan kolunda olduğu gibi bütün bir parça olarak hareketini sağlamak istenilen işlemi hem daha hızlı hemde daha doğru bir şekilde çalışmasına neden olacaktır. Robot kol istenilen işlemde ürüne doğru hareket ettiğinde eksenlerin her birinin aynı anda hareketini gerçekleştirmesi için ise fuzzy logic kuralları kullanılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada fuzzy logic kullanıldığında eksen hareketlerine bütünlük kazandırılmış ve motorların çalışmasında ki ani durma ve kalkma işlemleri ortadan kaldırılarak seri bir hareket kazandırılmış olur.





## KAYNAKÇA

1. (Design of a compact 5-DOF surgical robot of a spherical mechanism: CURES), Advanced Intelligent Mechatronics, 2008. AIM 2008. IEEE/ASME International Conference on.
2. (A novel 5-axis robot for printing high resolution pictures from media on 3D wide surfaces), Industrial Technology, 2009. ICIT 2009. IEEE International Conference on.
3. (Mozaik Sıralama İşleminin Robot Kol İle Gerçekleştirilmesi), Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi cilt (7) sayı (3).
4. (Satranç oynayan robot kol), Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Konferansı (SİU), 2014 22.
5. (Arduino ile Robot Kol Kontrolü), Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü.
6. (Fuzzy sliding mode control of 5 DOF upper-limb exoskeleton robot), Technology, Communication and Knowledge (ICTCK), 2015 International Congress on.
7. (Modulated potential field using 5 DoF implant assist robot for position and angle adjustment), Industrial Electronics Society, IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE.
8. (A Novel 5-DOF welding robot based on SCARA), Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2015 IEEE 10th Conference on.
9. (Nonlinear iterative learning control of 5 DOF upper-limb rehabilitation robot), Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2015 IEEE International Conference on.
10. (Design, modeling and control of a 5-DoF light-weight robot arm for aerial manipulation), Control and Automation (MED), 2015 23th Mediterranean Conference on.
11. (A Hybrid Switched Reactive-Based Visual Servo Control of 5-DOF Robot Manipulators for Pick-and-Place Tasks), IEEE Systems Journal ( Volume: 9, Issue: 1, March 2015 ).
12. (5 Serbestlik Dereceli Robot Kolunun Kinematik Hesaplamaları ve PID ile Yörünge Kontrolü), Uluslararası katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu (UMTS 2015), 14-17 Haziran 2015, İzmir Türkiye.

13. (Obstacle avoiding trajectory planning for 5 degree of freedom robot), Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), IEEE International Conference on.
14. (FPGA tabanlı 5 eksenli mobil robot kolu tasarımı ve prototip gerçekleştirilmesi), Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31 (2), 295-302, (2016).
15. (Fuzzy PID based path tracking control of a 5-DOF needle-holding robot), Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), 2017 International Conference on.
16. [http://www.robotiksistem.com/robot\\_yapimi.html](http://www.robotiksistem.com/robot_yapimi.html)
17. Evrim İtir Barutçuoğlu July 2, 2001 (Robotların Tarihçesi)
18. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2005 (2) 69-78
19. U. Çağrı Tapıcı Mak. Yük. Müh. A Sınıfı İSG Uzmanı./ [www.is-sagligi-ve-guvenligi.com](http://www.is-sagligi-ve-guvenligi.com)
20. Ahmet Erdiñç Makine Emniyeti Danışmanı Makine Mühendisi CMSE® Sertifikalı Makine Emniyeti Uzmanı – TÜV Nord
21. (5 Serbestlik Dereceli Robot Kolunun Kinematik Hesaplamaları ve PID ile Yörünge Kontrolü), Uluslararası katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu (UMTS 2015), 14-17 Haziran 2015, İzmir Türkiye.
22. <http://diyot.net/dc-servo-motorlar/>
23. <http://1volt1amper.com/malzeme-bilgisi/servo-motor-nedir-ve-servo-motor-yapisi/>
24. [www.robotiksistem.com/arduino\\_nedir\\_arduino\\_ozellikleri.html](http://www.robotiksistem.com/arduino_nedir_arduino_ozellikleri.html)
25. [www.controleng.com/machinel/safty](http://www.controleng.com/machinel/safty)
26. ISO 12018-1 ve 10218-2

## **EK1: ULUSLAR ARASI ROBOT STANDARTLARI ISO (10218-1)**

### **4.Tehlike Tanımlama Ve Risk Değerlendirmesi**

Tehlike tanımlamasında, tanımlanan tehlikeler üzerinde bir risk değerlendirmesi yapılır. Bu risk değerlendirmelerinden özellikle dikkat edilmesi gerekenler aşağıda belirtilmiştir.

- a) Robota yönelik operasyon, eğitim, bakım, ayar ve temizlik esansında dikkat edilmesi,
- b) Kişilerin robota her yönden erişiminin olması,
- c) Robot kontrol sisteminde makul şekilde öngürülebilir yanlış kullanım,

### **5. Tasarım Gereksinimleri Ve Koruyucu Önlemler**

#### **5.1. Genel**

Robot ile ilgili tehlikeler için ISO 12100 deki ilkelere göre dizayn edilmesi gerekmektedir. Robot ve robot sistemlerinin tasarımları aşağıdaki şartlara uygun olmalıdır.

- Görsel muayene,
- Pratik testler,
- Ölçüm,
- Gözlem işlemi sırasında devre şemaları,
- Anliz

#### **5.2. Genel Şartlar**

##### **5.2.1. Güç İletim Elemanları**

Motor milleri gibi bileşenlerden kaynaklanan tehlikelere maruz kalma, dişliler, tahtik kayışları ve bağlantıları sabit koruyucular tarafından taşınmaktadır.

##### **5.2.2. Güç Kaybı Veya Değişimi**

Robot ve robot sistemlerinde güç kaybı veya güç farklılıkları tehlike oluşturacaktır. Gücü yeniden başlatma herhangi bir hareketi tetikleyecektir. Elektrik, hidrolik, pnömatik olarak tasarlanan sistemler tehlike olarak kabul edilir.

##### **5.2.7. Elektirikli Cihazlar**

Robot elektrik ekipmanları ve dizaynı ile ilgili koşullar IEC 60204-1 de yer almaktadır.[26]

## **EK2: ULUSLAR ARASI ROBOT STANDARTLARI ISO (10218-2)**

### **5.2 Emniyetli Kontrol Sistemi Performansı (Donanım / Yazılım)**

#### **5.2.1 Genel**

Emniyet kontrol sistemleri (elektrik, hidrolik, pnömatik ve yazılım) olarak 5.2.2 bölümünde bahsedilen kısımlara uymakla yükümlüdür. Robot sistem güvenlikle ilgili kontrol sistem performansı ve herhangi bir şekilde döşenmiş ekipman açıkça kullanılmak üzere bilgi verilmesi gerekmektedir.

#### **5.2.2 Performans Gereksinimi**

Kontrol sistemlerinin emniyet ile ilgili parçaları, PL uyacak şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. 2006 yılında ISO 13849-1 de açıklandığı gibi yada donanım hata toleransı, 2005 yılında SIL 2'ye uymaları ve en az yirmibir test yapılması ve 1- IEC 62061'de yapılan açıklamaya uygun olması gerekmektedir. bahsedilen bu özellikler şu anlama gelmektedir;

- a) Parçanın her biri hata güvenlik fonksiyonlarının kaybına yol açmamalı
- b) Güvenlik fonksiyonuna göre, her bir hata tek tek tespit edilecektir.
- c) Güvenlik fonksiyonu her zaman gerçekleştirilmeli ve bu durum muhafaza edilmelidir.
- d) Oluşan hatalar makul ve öngürülebilir olmalıdır.

### **5.3 Tasarım Ve Montaj**

#### **5.3.1 Çevre Koşulları**

Robot sistemleri ve robot hücreleri korucuyu önlemler dikkate alınarak dizayn edilmesi gerekmektedir. çevre sıcaklığı nem elektromanyetik etkileşimler, aydınlatma vs gibi çevre koşulları dikkate alınmalıdır. Bu çevre koşulları teknik kısıtlamalar nedeniyle bazı gereksinimlere yol açabilir. Robot, robot sismlerileri ve bu robotlara ait hücreler çevre koşullarına göre seçilmelidir.

### **5.3.2 Kontroller**

Operasyonel kontrol ve ekipmanlar (örneğin kaynak kontrol, prömatik valfler vs) kişiyi zora sakmayacak şekilde otomatik işlem kontrolü kullanarak güvenli alan dışına yerleştirilmiş olmalıdır.

### **5.3.3. Hareket Ettirici Kontroller**

Kumanda ile yapılan kontroller ICE 60204-1 de ki gereksinimleri karşılamak zorundadır. Kontroller ISO 10218-1de bahsedildiği gibi olmalıdır. Robot sistemleri herhangi bir harici uzaktan komutlara yanıt vermediği koşullarda tehlikeli durumlara neden olacaklardır.

### **5.3.4. Güç Gereksinimleri**

Robot ve diğer ekipmanlar (hidrolik, mekanik, pnömatik) , makine bileşenleri üreticiler tarafından belirlenen gereksinimleri, elektrik tesisatı ICE60204-1 deki gereksinimleri karşılamak zorundadır.

### **5.3.5. Potansiyel Dengeleme/Topraklama**

Korucuyu bağlantılar ve fonksiyonlar IEC 60204-1 deki gereksinimleri karşılamak zorundadırlar.

### **5.3.8 Robot Sistemi Ve Hücre Durdurma Fonksiyonları**

#### **5.3.8.1. Genel**

Her robot sisteminde veya robot hücrelerinde acil durdurma olması gerekmektedir. ilgili ilave koruyucu yada acil durdurma bağlantısının eklenebilir cihazlar olması gerekmektedir.

#### **5.3.8.2. Acil Durdurma Fonksiyonu**

Hareket yada diğer tehlikeli işlevlerin elle başlatma imkanının olması ve ICE 60204-1 ve ISO 13850 şartlarına uygun acil durdurma fonksiyonlarının olması gerekmektedir.

## **5.4 Robot Hareket Sınırlandırılması**

### **5.4.1 Genel**

Kişilerin potansiyel maruziyetlerini azaltmak amacıyla robot sistemleri tasarlanmış ve entegre edilmiştir. Robot sistemleri özellikle büyük bir çalışma hacmine (maksimum alan) sahip olabilir.

### **5.4.2 Kısıtlı Alanların Oluşturulması Ve Korunması**

Makinelerin düzeni ve konumu çevreyi güvence altına almakta ve tehlikelere karşı korumaktadır. Robot sistemleri kısıtlı bir alan ile sınırlayarak kurulacaktır. Uç takımı, mefruşat ve iş parçaları kısıtlanmış alandan daha küçük yapılmalıdır.

## **5.10 Korunması**

### **5.10.1 Genel**

Tasarım tehlikeleri ortadan kaldırmak veya riskleri yeteri kadar azaltmak amacıyla yapılmalıdır. Tehlikeli alanlara erişim, koruyucu cihazlar gibi önlemler alınmalıdır. Tamamlayıcı koruyucu önlemler, kişisel koruyucu ekipmanlar ve bilgilendirme robot kollunımında gereklidir.

### **5.10.3. Asgari( Emniyet) Mesafeleri**

#### **5.10.3.1. Genel**

Tüm önlemler güvenli bir şekilde monte edilmeli ve kişilerin etrafına, altına veya bir koruma yoluyla yaklaşmasına engel olacak şekilde tehlike oluşturmayacak bir mesafede yer almalıdır.

#### **5.10.3.2. Asgari (Emniyet) Mesafeleri İçin Korumalar**

Sabit veya hareketli korumalar ISO 14120 deki gereklilikleri ve bunların minimum mesafelerini karşılamalıdır. ISO 13857 de tehlikelerin önlenmesi ihtiyaçlarına göre belirlenir. ISO 13857 minimum koruma güvenliğini belirlemek için kullanılır.

### 7.2. 5. Sistem Bilgileri

Robot sistemine ilişkin bilgiler;

- a) Sistemin bağlantı parçaları, kendi korumaları ve/veya koruyucu cihazların açıklamaları,
- b) Emniyet işlevlerini açıklayan güvenlik gereksinimleri spesifikasyon kontrol sistemi tarafından gerçekleştirilen ve emniyet bütünlüğü, kesikli durma devreleri, güvenlik kontrol ve güvenli iletişim,
- c) Diğer kontrolör fonksiyonları, operatör panelleri ,
- d) Kumanda, elektrik, hidrolik, pnömatik diyagramlar,
- e) Elektrik ekipmanları ile ilgili teknik belgeler ve parçaları,
- f) Radyasyon, gazlar, buharlar, toz ve titreşim, diğer tehlikelere ilişkin verilerin oluşturulması ve kullanılan ölçüm yöntemleri,
- g) Robot sistemlerine zorunlu olduğuna dair tasdik belgeleri,
- h) Diğer makinelere arayüz gereksinimleri,
- i) Dinamik sınırlama bölgelerinin konumu,
- j) Sistemin ömrünün amaçlanması,

### 7.2.6. Sistemin Kullanımı

Entegre robot sisteminin kullanımına ilişkin bilgiler;

- a) Riskler tasarımcı tarafından alınan önlemlerle ortadan kaldırılmıştır.
- b) Belirli parçaların kullanımı ile belirli uygulamalar için gerekli olan özel önlemler.
- c) Öngürülebilir yanlış kullanım ve yasaklanmış kullanımlar.
- d) Malzeme akışı.
- e) Kullanım amacı.
- f) Görev bölgeleri ve bunlarla bağlantılı kalıcı riskler.
- g) Operatör görevleri, yer ve robotlar.
- h) Manuel kontrolü etkinleştirme.
- i) Seçimler ve ayarlar.
- j) Kişisel koruyucu ekipmanlar.[26]

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Emre SARIALTIN  
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti  
Doğum tarihi ve yeri : 28.08.1988 Türkiye - Bursa  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 05355452137  
e-mail : sarialtin@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	21/06/2017
Lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği	30/06/2015
Lise	Hürriyet Anadolu Teknik Lisesi	27/06/2008

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
03/2011-09/2013	Bursa	Otomasyon Teknikeri
09/2016	Bursa	Fabrika Sorumlusu

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Spor yapmak, Balık Beslemek





*ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR..*