



**GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI DELTA ROBOT KONTROLÜ**

**Okan YILDIRIM**

**Yüksek Lisans Tezi  
Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI  
EYLUL/2019**

**T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI DELTA ROBOT KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Okan YILDIRIM**

**161137106**

**Anabilim Dalı: Yazılım Mühendisliği**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18/06/2019**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 26/09/2019**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI (F.Ü.)**

**Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Murat KARABATAK**

**Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ALÇİN**

**EYLUL/2019**

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında endüstri için paketleme çözümüne yönelik paralel tip delta robot tasarımı, gerçekleştirilmesi ve görüntü işleme ile robotun kontrolünü sağlayacak bir mimari kurulmuştur. Tasarımı gerçekleştirilen robot mekaniksel ve programsal yapıları oluşturularak simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu sistem kullanılarak, beyaz et işleme tesisinde yer alan hareketli bir konveyör bant üzerinde ki tavuk parçalarının servo motorlar aracılığı ile ürünlerin paketlenmesine yönelik daha hızlı bir çalışma olması amaçlanmıştır. Kullanılan robot için teknoloji ve yazılımların kurulum adımları, sistemin gerçekleştirilmesi ve testlerin yapılma adımları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Okan YILDIRIM  
ELAZIĞ - 2019

## TEŐEKKÖRLER

Bu tez çalışması boyunca bana zaman ayıran, değerli bilgilerini benimle paylaőan ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI 'a teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca hayatımın her anında ilgi, anlayıő ve desteklerini esirgemeyen aileme çok teőekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	II
TEŞEKKÜRLER.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET .....	VI
SUMMARY .....	VII
TABLolar LİSTESİ .....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	IX
<b>1 GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Literatür Taraması</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Tezin Amacı</b> .....	<b>3</b>
<b>2 ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Hareketlerine Göre Robotların Sınıflandırılması</b> .....	<b>5</b>
2.2.1 Kartezyen Robotlar.....	6
2.2.2 Silindirik Robot .....	6
2.2.3 Küresel Robot .....	7
2.2.4 Scara Robot.....	8
2.2.5 Mafsallı Kollara Sahip Robot .....	9
2.2.6 Paralel Robot .....	10
<b>3 MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Dönme Matrisi</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Öteleme Vektörü</b> .....	<b>14</b>
3.1.3 Homojen Dönüşüm Matrisi .....	15
<b>3.2 İleri Yön Kinematığı</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3 Denativ-Hartenberg Yöntemi</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4 Ters Yön Kinematığı</b> .....	<b>19</b>
<b>4 GÖRÜNTÜ İŞLEME ve YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Sayısal Görüntü İşleme</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2 Görüntü İşlemede Kullanılan Terimler</b> .....	<b>26</b>
<b>4.3 Görüntü İşleme Teknikleri</b> .....	<b>28</b>
<b>4.4 OpenCV</b> .....	<b>29</b>
<b>5 DELTA ROBOT TASARIMI</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1 Tasarım</b> .....	<b>31</b>
5.1.1 Malzeme Ölçülerinin Belirlenmesi.....	31
5.1.2 SolidWorks ile Mekanik Tasarım .....	32

5.1.3 ANSYS ile Malzeme Analizi.....	35
<b>5.2 Yazılım</b> .....	<b>39</b>
5.2.1 Görüntü İşleme .....	39
5.2.2 Matlab ile Robot Kinematığının Çıkarılması.....	44
5.2.3 Delta Robotun Doğrulanması .....	45
<b>5.3 Donanım</b> .....	<b>47</b>
5.3.1 Servo Motor Seçimi.....	47
5.3.2 Redüktör Seçimi .....	48
<b>6 SONUÇLAR</b> .....	<b>49</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>50</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>53</b>



## ÖZET

Dünya nüfusu gün geçtikçe hızla artarken gıdaya olan ihtiyaçlarda paralel olarak artış göstermiştir. Bu doğrultuda gıda endüstrileri bu artan talebi karşılayacak gelişim sağlamışlardır. Endüstriyel gıdalar sayesinde dünyanın birçok noktasına ihracat sağlanmaktadır. Üretimi gerçekleştirilen ürünler insan sağlığına zarar vermemesi için usulüne uygun üretim gerçekleştirilip, birçok denetim ve kontrollerden geçip piyasaya sürülmektedir.

En sağlıklı ürün ortaya çıkarabilmek açısından yeni gelişmeler ortaya atılmış ve bu gelişmelerden biri de ürünlerin herhangi bir dış ortama ve kişiye maruz kalmadan makine yardımıyla direkt paketlenmesi sürecidir. Teknolojinin endüstriye adapte edilmesi ile birlikte paketleme sektörü ile alakalı çalışmalar da hızlı bir gelişim göstermektedir. Gıda endüstrisinde gerçekleşen sistemlerde paketleme maliyetini minimuma düşürmek açısından paralel tip delta robot çeşitleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada görüntü işleme kontrollü bir delta tip paralel robot simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon çerçevesinde beyaz et işleme endüstrisinde yer alan tavuk ürünleri ile alakalı deneyler gerçekleştirilmiştir. Parçalanmış tavuğun uzuv parçaları yani kanat, bagnet, bonfile gibi ürünlerin konveyör bant üzerinden geçişi esnasında kamera yardımı ile bant üzerindeki ürün koordinatları belirlenerek Matlab'da tasarımı yapılan delta robota aktarılmıştır. Delta robotun, belirlenen konuma yönelmesi ve ürünleri bant üzerinde toplanması için başarısı incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Delta robot, görüntü işleme, kinematik analizi

## SUMMARY

### **Delta Robot Control With Image Processing Base**

As the world population increases rapidly, the need for food has increased in parallel. In this respect, food industries have made progress on this sector. Thanks to industrial foods, exports to many parts of the world are provided. In order to prevent any harm to human health, the products produced are duly produced and passed through many inspections and controls.

New developments have been made in order to produce the healthiest product and one of these developments is the process of direct packaging of the products with the help of machinery without being exposed to any external environment and person. With the adaptation of technology to the industry, the studies related to the packaging sector are also developing rapidly. Parallel type delta robots are used in the food industry in order to reduce the packaging cost to a minimum.

In this study, a delta type parallel robot simulation with image processing control is realized. In the context of this simulation, experiments related to poultry products in the white meat processing industry were performed. The product coordinates on the belt were determined with the help of the camera during the passage of the products such as limb parts of the shredded chicken, namely wing, baguette, tenderloin, and transferred to the delta robot designed in Matlab. The success of the Delta robot for the orientation of the designated location and the collection of products on the belt was examined.

**Key Words:** Delta robot, image processing, kinematic analysis



## TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 5.1</b> Mekanik malzeme boyutları.....	32
<b>Tablo 5.2</b> Kollar üzerine uygulanan kuvvetler .....	36
<b>Tablo 5.3</b> Kollar üzerine uygulanan kuvvetlere ait ANSYS analiz değerleri .....	36
<b>Tablo 5.4</b> Destek sehpası analiz değerleri .....	38



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Kartezyen Robot.....	6
Şekil 2.2 Silindirik robot.....	7
Şekil 2.3 Küresel robot .....	8
Şekil 2.4 Scara robot .....	9
Şekil 2.5 Mafsallı robot kol .....	9
Şekil 2.6 Delta robot .....	10
Şekil 3.1 Clavel'in Delta robot tasarımı .....	11
Şekil 3.2 Euler açı gösterimi .....	13
Şekil 3.3 Roll-Pitch-Yaw açıları .....	14
Şekil 3.4 Delta robot eklem noktaları .....	16
Şekil 3.5 Serbest eklemlerle oluşan küreler .....	16
Şekil 3.6 $J'_1, J'_2$ ve $J'_3$ noktalarının kaydırılması .....	17
Şekil 3.7 D-H çıkarımı için serbest robot kol .....	19
Şekil 3.8 Robot uzuv tanımlamaları.....	20
Şekil 3.9 YZ düzlemi küresi .....	21
Şekil 3.10 FJ ve EJ dairesi kesişimi.....	21
Şekil 3.11 Z eksenini etrafında döndürme .....	22
Şekil 4.1 Görüntünün Oluşması.....	26
Şekil 4.2 Gri tonların 16x16 boyutundaki bir matriste gösterimi .....	27
Şekil 4.3 RGB Renk modeli.....	28
Şekil 4.4 HSV renk modeli .....	28
Şekil 4.5 Histogram grafiği.....	29
Şekil 5.1 Temel delta robot prototipi .....	32
Şekil 5.2 Pazı kolu ve paralel kollar .....	33
Şekil 5.3 Efektör uç.....	33
Şekil 5.4 Destek plakaları a) üstten görünüm b) objektif görünüm .....	34
Şekil 5.5 Destek sehpası .....	34
Şekil 5.6 Delta robotun destek sehpası üzerindeki yerleşimi .....	34
Şekil 5.7 Kollar için toplam deformasyon analizi a) pazı kolu b) paralel kol.....	36
Şekil 5.8 Robot destek sehpası.....	37

<b>Şekil 5.9</b> Eşit yükte gerilme analizi .....	38
<b>Şekil 5.10</b> Toplam deformasyon analizi .....	38
<b>Şekil 5.11</b> Görüntü işleme adımları .....	40
<b>Şekil 5.12</b> Kameradan alınan ilk görüntü .....	41
<b>Şekil 5.13</b> HSV uygulanmış görüntü .....	41
<b>Şekil 5.14</b> Eşikleme işlemi uygulanmış görüntü.....	42
<b>Şekil 5.15</b> MedianBlur ve Erosion uygulanmış görüntü.....	42
<b>Şekil 5.16</b> Orta noktaları bulunan son görüntü .....	43
<b>Şekil 5.17</b> Ters kinematik programı.....	44
<b>Şekil 5.18</b> Efektörün birinci bagete yönelim görüntüsü <b>a)</b> Altan <b>b)</b> Perspektif .....	45
<b>Şekil 5.19</b> Efektörün ikinci bagete yönelim görüntüsü <b>a)</b> Altan <b>b)</b> Perspektif.....	46
<b>Şekil 5.20</b> Efektörün başlangıç noktasına yönelim görüntüsü <b>a)</b> Altan <b>b)</b> Perspektif.....	46
<b>Şekil 5.21</b> Servo motor görüntüsü .....	47
<b>Şekil 5.22</b> Kullanılacak olan redüktör tipinin görüntüsü .....	48

# 1 GİRİŞ

Günümüz endüstriyel işletmelerinde üretim ve talebin artması sonucunda gelişen teknoloji ile birlikte bir veya birden fazla insanın yapabildiği işi tek bir makinenin gerçekleştirebildiği uygulamalar hızla artış göstermiştir. Gıda endüstrisinde ürünlerin minimum şekilde insan eline temas ettirilmesi, insan gücünün kısıtlı olması ve artan talebe cevap verilmesi gerektiğinden insansız paketleme teknolojilerine ihtiyaç duyulmuştur. Hayatımızın kolaylaşmasını sağlayan bu teknoloji sistemi devamlı gelişime açık şekilde ve farklı kullanım şekilleri ile karşımıza çıkmaktadır. Üretim tesislerinde en çok karşılaşılan problem, sistemin devamlı çalışıyor olması sebebi ile herhangi bir duruşa taviz vermeden akan bir bant üzerindeki ürünlerin paketlenmesidir.

Makinelerde görme duyarlı kontrol işlemi birçok endüstriyel uygulamalarda geniş uygulama sahasına sahip olması sebebi ile robotik alanında da önemli bir yer tutmaktadır. Makine görmesi için yapılan görüntü işleme uygulamaların çoğu henüz araştırma aşamalarında gelişim göstermektedir. Aynı şekilde görüntü işleme teknolojisi robotik alanında da giderek artan bir rolü bulunmaktadır. Görüntü işleme ile nesne tanıma sistemleri, nesnelere birbirinden boyutlarına ve özelliklerine göre ayırmak, nesnelere buldukları sahnede tam olarak hangi koordinatlarda bulduklarını belirlemek veya çalışma alanı için en uygun yeri tespit etmek gibi birçok uygulama alanı vardır.

Bu tez çalışması içerisinde, görüntü işleme ile nesne tanıma yöntemleri kullanılarak paralel robot tasarımı ve Matlab'ta simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

## 1.1 Literatür Taraması

Literatürde robotik sistemlerin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar içerisinde paralel tip delta robot tasarımı, kontrolü ve robotların görerek işlem yapması ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Delta tip paralel robotun diğer endüstriyel robotlar ile karşılaştırıldığında en önemli avantajı yüksek hızda ivmelenme yeteneğidir. Paralel robot yüksek matematik kontrol tekniğine ihtiyaç duymadan basit konstrüksiyona sahiptir. Yüksek hız ve az yer kaplaması sebebiyle gıda, elektronik ve ilaç endüstrisinde kullanımı yaygındır [1].

Zaatri ve arkadaşları 2007'de PPP pasif merkezi segmentine eklenen üç serbestlik dereceli bir robotun geometrik bir modelini ortaya atmışlardır [1].

Raimundo ve Lalaleo' 2015 de eklem aktüatörlerini kontrol etmek için Robotik Çalışma Sistemi (ROS) ve OpenCV kütüphaneleri tarafından desteklenen bir Python algoritması önermişlerdir [2].

Kulaksız 2010 da sabit ürünler üzerinde NI Vision Builder ile görüntü işleyerek ABB IRB 360 Delta manipülatörünü kullanmıştır [3].

Bhagyashri ve arkadaşlarının 2016'da yaptığı çalışmada, görüntü işleme tabanlı otomatik bisküvi sınıflandırma tekniği ile bisküvilerin renk ve ebatlara göre sınıflandırma işlemi yapılmıştır [4].

MOK JUAN HONG JAN 2015'de yaptığı çalışmada görüntü işleme ve PLC tabanlı konveyör bant sistemini kullanarak basit bir öğretim aracı geliştirmiştir [5].

Angel ve arkadaşları 2013'te yaptıkları çalışmada, paralel bir delta tipi endüstriyel robot tasarım metodolojisi önermişlerdir. Hız, hassaslık ve hassasiyetin büyük avantajları ürün paketleme ve seçiminde kullanışlı olmasını sağladığı için bu tür robot endüstriler için bir alternatif olarak öne sürülmüştür [6].

Tzou ve arkadaşlarının 2016'da mekanik tasarımı için SolidWorks'ün kullanıldığı yeni bir delta robot önermişlerdir. Robot kollarının oluşturulması için ileri ve ters kinematik analizleri yapılmış ve robotun gerçekleştirilmesi için motorların kablolanması, donanım sistemi kontrol edilmiştir. XYZ koordinatları robota aktarıldığında motorların o konuma gidebilmesi açısından çıkışlarının doğruluğunu arttırmak için geleneksel bilyalı mafsalların yerine küresel rulman kullanılmıştır. Önerilen tasarımın performanslarını doğrulamak için çizim, dominolar oynamak, görüntü işleme temelli nesne sınıflandırması vb. uygulamalar yapılmıştır [7].

Doğan 2010'da, delta paralel robotların robot eklemlerine eksen yerleştirme ve eksenler arası dönüşüm matrisi oluşturma kavramları için altyapı oluşturmuştur. Daha sonra bu alt yapı kullanılarak Delta paralel robot eklemlerine koordinat sistemleri yerleştirilmiş, ileri yön kinematiği ve ters yön kinematik hesapları yapılmıştır [8].

Liu ve arkadaşları 2015'te, görüntü konumlandırma özelliğine sahip bir paralel robot için hareket kontrol sistemi üzerine çalışmışlardır. Sistem, makinenin görmesi için kamera ve delta robottan oluşmaktadır. Makine görme aşaması sırasında nesnenin görüntüsü kamera tarafından yakalandıktan ve sonra görüntünün kenarlarını elde etmek için görüntü işleme adımlarından düzeltici filtre, eşik algoritması ve kenar algılama süreci

uygulanmıştır. Kamera ve robot sistemi arasındaki koordinat dönüşümü sayesinde merkezin bilgileri her çalışan motor için kontrol komutlarına dönüştürülmüştür. Delta robotun yörünge, planlama ve izleme kontrolleri ile nesnelere sırayla belirtilen konuma getirilmiştir [9].

L. T. Anh ve J. B. Song 2010'da geliştirdikleri sistemde hareket halinde olan nesnelere yakalayabilmek için, robot kolun üzerine bağlı kamera kullanmışlardır. Alınan görüntüler üzerinde önceki görüntüler ile karşılaştırma yöntemi kullanılarak hareketli nesnelere algılanmışlardır [10].

## **1.2 Tezin Amacı**

Delta robotlar, yüksek doğruluk, hızlı tepki, daha fazla güvenilirlik ve çok yönlülük nedeniyle, endüstrinin çeşitli sektörlerinde otomasyon sistemlerini iyileştirmek amacıyla yapılması gereken her türlü işi optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Delta robotların bu özellikleri nedeni ile kullanıldıkları sektöre bağlı olarak farklı tasarımları bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, beyaz et işleme tesisinde hareketli konveyör üzerinde bulunan tavuk parçalarının kamera ile konumunun tespiti ve bu tavuk parçalarının yakalanması için bir delta robot tasarımı ve Matlab'ta simülasyonu amaçlanmıştır.

Bunun için delta robotun fiziksel olarak meydana getirilmesi esnasında karşılaşılabilecek tüm adımlar ele alınarak, mekanik tasarımı, programlanması ve görüntü işleme uygulaması ile endüstriye uygun bir robot tasarımı yapılmıştır.

## 2 ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

Robot, köle ve işçi anlamlarına gelen çekçe “robot” kelimesinden gelmektedir [11]. Robotlar birçok farklı görevi yapmak için programlanmış makinelerdir. Endüstriyel bir robotun en kapsamlı tanımı; programlanabilir eksenleri üç veya daha fazla olan, programlanabilir, çok amaçlı kullanılabilen, otomatik bilgisayar kontrollü, bir yerde sabit duran veya tekerlekli versiyonu olan, ortamdaki aldığı verileri programlamanın ayrıntısına göre ve çevresi hakkında sahip olduğu bilgiyle yorumlayarak, anlamlı karar verip ve amacına yönelik hareket edebilen, endüstriyel uygulamalarda kullanıma uygun manipülatördür [12]. Amerikan Robot Enstitüsü tarafından robot; yeniden programlanabilen; maddeleri, parçaları, aletleri, özel cihazları yerinden oynatabilen çok fonksiyonlu makinedir, şeklinde tanımlanmaktadır [12].

Gün geçtikçe gelişen ve geliştikçe büyüyen üretim teknolojisi artan talepler neticesinde artık daha hızlı olmaya ve hızı arttırırken de kaliteden ödün vermemesi gerekmektedir. Artan taleplere cevap verebilmek ve kaliteden taviz vermemek için endüstride yeni arayışlara girilmiş ve endüstriyel robotlar tasarlanmıştır. İnsan kullanımını tekrarlı işlemler için endüstride yavaş kalmakta ve üretimde kaliteyi düşürüp maliyeti arttırmaktadır. Ürün kalitesi bir bakıma çalışan personelin elindedir. Personelin dikkatsizliği, psikolojik sorunu vb. etkenler kişinin çalışması yönünde doğrusal etkiye sahip olup ürünün kalitesini düşürmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı endüstriyel robotlar hem kaliteli hem de hızlı üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Robotların artıları;

- Robotların kullanıldığı bütün sektörlerde üretimi, güvenliği, verimliliği ve kaliteyi arttırmaktadır.
- Robotlar insanların çalışması güç olabilecek tehlikeli ve ağır ortam koşullarında çalışmaktadır.
- Robotlar her zaman aynı performansta ve aynı kararlılıkta ara vermeden sürekli çalışmalarını sürdürmektedir.
- Robotların kurulum maliyeti yüksek olmasına karşın, sürekli ve verimli çalışmaları neticesinde kendilerini çok kısa sürede amorti etmektedirler.

- İnsanlara göre çalışma esnasında doğruluk ve hassasiyetleri daha yüksektir.
- Çok ürün, az maliyet

Robotların eksileri;

- Endüstride robotlar, insanların yerini alarak insan çalışması gereken yerlerde robotlar çalışmasından dolayı işsizliğe neden olmaktadır.
- Robotlarda oluşabilecek arıza durumunda çevresinde bulunan insanlara zarar verebilir.
- Programlanarak çalıştırıldıkları için, kendi kendine karar verme özelliği olmadığından programın dışına çıkamazlar. Program içerisine yazılmayan bir senaryo ile karşılaşıldığında hata verirler.
- Robotlar yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir ve yedek parça ve bileşenleri pahalıdır.

## 2.1 Hareketlerine Göre Robotların Sınıflandırılması

Bir robot koldaki her hareketli parça birbirine eklemler kullanılarak bağlantısı yapılır. Robot kolların uçlarında ki bileğine bağlı olan tutucular takılır. Alacağı malzeme cinsine göre tutucular da değişiklik göstermektedir. Örneğin; parmaklı, vakumlu, manyetik, görünüm ve dokunma kabiliyetli tutucular vb. çeşitleri üretmek mümkündür. Tutucular vasıtası ile robotlar, yapacağı işe göre özelleştirilmiş olurlar. Endüstriyel robotların düzgün çalışmasını kontrol edebilmek için kullanılan kavramların en önemlisi tekrarlanabilirlik ve serbestlik derecesidir. Robota verilen konum bilgisini her seferinde aynı hassasiyetle sağlayabilme kabiliyetine tekrarlanabilirlik, bir cismin sabit bir noktaya göre konumunu saptamak için gerekli olan bağımsız değişkenlerinin sayısına da serbestlik derecesi denir.

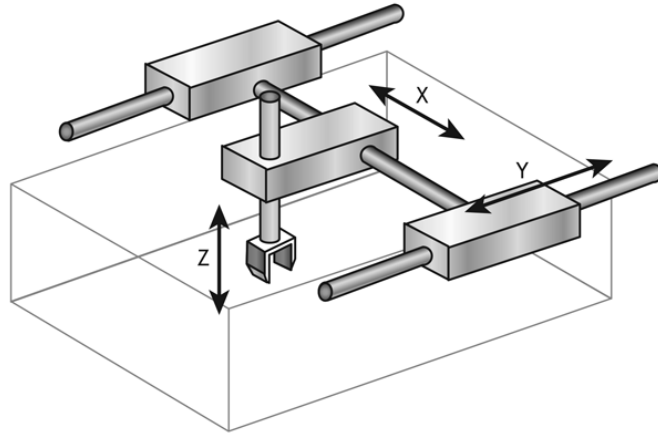
Robotlarda serbestlik derecesi (Degree of Freedom) hesabını yapmak için mafsal ve eyleyiciler sayılarak bulunabilir. Robotik alanında eksen, serbestlik derecesi olarak düşünülmektedir. Eğer bir robot üç serbestlik derecesi sistemi kullanılıyorsa  $x, y$  ve  $z$  ekseninde yönelim yapıp hareket edebileceği anlamına gelmektedir. Ancak eğilme veya dönme hareketlerini robot gerçekleştiremez. Robotun serbestlik derecesi arttırıldığında robot için daha fazla çalışma alanına çıkılmış olur.



Sabit robotlar, işlemlerini gerçekleştirme esnasında pozisyonlarını değiştirmeden bitiren robot çeşitleridir. Robotun sabit olması teriminden kastedilen, çalışmakta olan robotun temelini sabit olması ilkesine dayanmaktadır. Bu tarz sabit robotlar genellikle kol denilen uzuv yardımıyla bir uç efektörün pozisyonunu veya yönünü değiştirerek çevresine müdahale de bulunmaktadır. Bu robotlar, uç tutucunun konumu ve yönünü kontrol ederek pozisyonunu değiştirir. Son tutucu bir delme, kaynak veya kısıkaç özelliklerine sahip olabilir. Endüstride çoğunlukla sabit robotlar kullanılmaktadır. Sabit robotlar kartezyen, silindirik, küresel, paralel gibi farklı gruplara ayrılır.

### 2.2.1 Kartezyen Robotlar

Kartezyen veya makas köprüsü robotları (doğrusal robotlar olarak da bilinir), kartezyen koordinat sistemini kullanan üç lineer mafsal içerir. Lineer kılavuz rayları kullanarak  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenlerinde çalışır. Bu kılavuz rayları, her doğrusal kılavuz rayına karşılık gelen eksende hareket ettirilerek tutucunun doğru konuma ulaştırılmasına yardımcı olur [13]. Bu robotlar tipik olarak alma ve yerleştirme çalışmalarında, montaj işlemlerinde, makine aletleri ve ark kaynağı kullanımı için uygundur. Şekil 2.1'de kartezyen robotun genel bir görüntüsü verilmektedir.

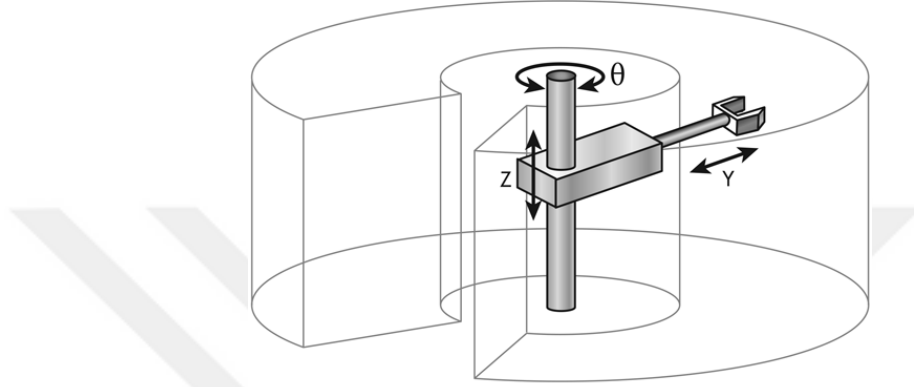


Şekil 2.1 Kartezyen robot [13]

### 2.2.2 Silindirik Robot

Silindirik robot, dönme hareketi için merkez noktasında kendi etrafında dönebilen bir mafsal ve doğrusal hareket için prizmatik bir mafsal oluşmaktadır. Şekil 2.2'de

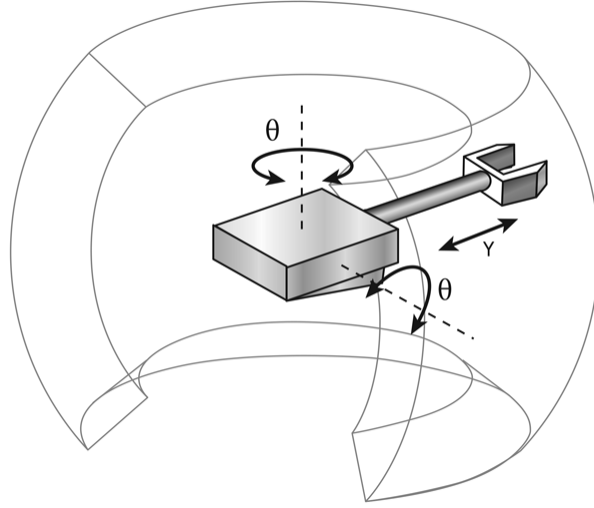
verilen silindirik robotta bağlantı eksenini boyunca, döner mafsallı bağlantı dönme hareketini oluşturur; Prizmatik eklem boyunca ise doğrusal bir hareket elde eder. Çalışma alanı silindir şeklindeki bir ortam içerisinde gerçekleştirildiğinden bu isimle adlandırılır. Kartezyen robot çeşitlerine göre hareket serbestliği daha geniştir [13]. Silindirik robotlar montaj işlemleri, takım tezgâhlarının ve kalıp döküm makinelerinin kullanımı ve nokta kaynağı için kullanılır.



Şekil 2.2 Silindirik robot [13]

### 2.2.3 Küresel Robot

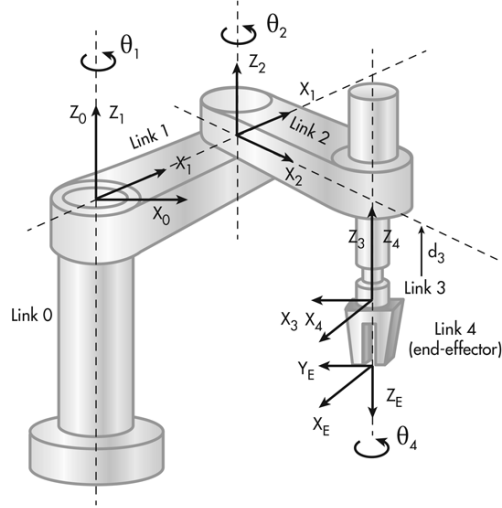
İki döner bağlantı ve doğrusal bir bağlantının birleşimi ile küresel robot meydana gelir. Küresel şekline benzer bir çalışma alanı elde etmek için kutupsal koordinat sisteminde çalışır. Bunlar kutupsal robotlar olarak da bilinmektedir. Küresel robotta iki döner mafsallı eklem robotu kendi etrafında dönmesini sağlarken, doğrusal mafsallı eklem ise kola uzama ve kısalma işlemini yaptırmaktadır. Bağlantılı eksenlerin birleştirilmesi ile bir küresel koordinat sistemi oluşturur ve küresel şekilli bir çalışma alanına sahiptir. Kartezyen ve silindirik robotlara kıyasla kinematik yapıları daha karmaşıktır [13]. Şekil 2.3'te gösterilen küresel robotlar, kaynak ve yapıştırma işlemlerinde, eğme, bükme işlemlerinde takım tezgâhlarının taşınması, punta kaynağı, döküm, kızartma makineleri ve gaz ve ark kaynağı için kullanılır.



Şekil 2.3 Küresel robot [13]

#### 2.2.4 Scara Robot

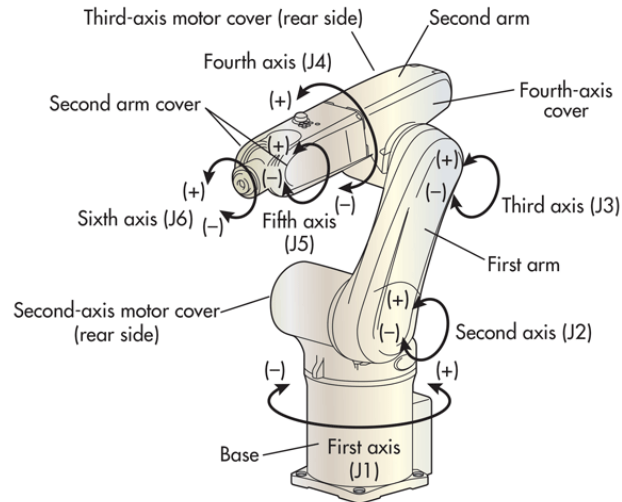
Bir SCARA robot temel olarak, delme veya kılavuz çekme işlemleri gerektiren işler, montaj uygulamalarında kullanılmaktadır. Tasarımda silindirik olan uyumlu kol, seçilen bir düzlemde ona uyum sağlayan iki paralel bağlantıdan oluşur (Şekil 2.4). İki kolun birleşim noktasından elektrik motoru monte edilmiş ve aşağı yukarı hareketini sağlayabilmek için pnömatik koldan oluşmaktadır. Eklemin kendi etrafında dönmesini sağlamak için elektrik motorları kullanılmaktadır. Tutucuya bağlı bulunan kol “z” ekseninde hareket edip, tutucu pnömatik tahriklidir [13]. Elektronik kartlarda devrelerin montajını gerçekleştirilmek için çoğunlukla bu robotların tercih edilmesinin sebebi scara robotlar hız ve konum kabiliyeti yüksek olmasından dolayı kullanılmaktadır. Tutma, alma ve yerleştirme işleri için kullanılır.



Şekil 2.4 Scara robot [13]

## 2.2.5 Mafsallı Kollara Sahip Robot

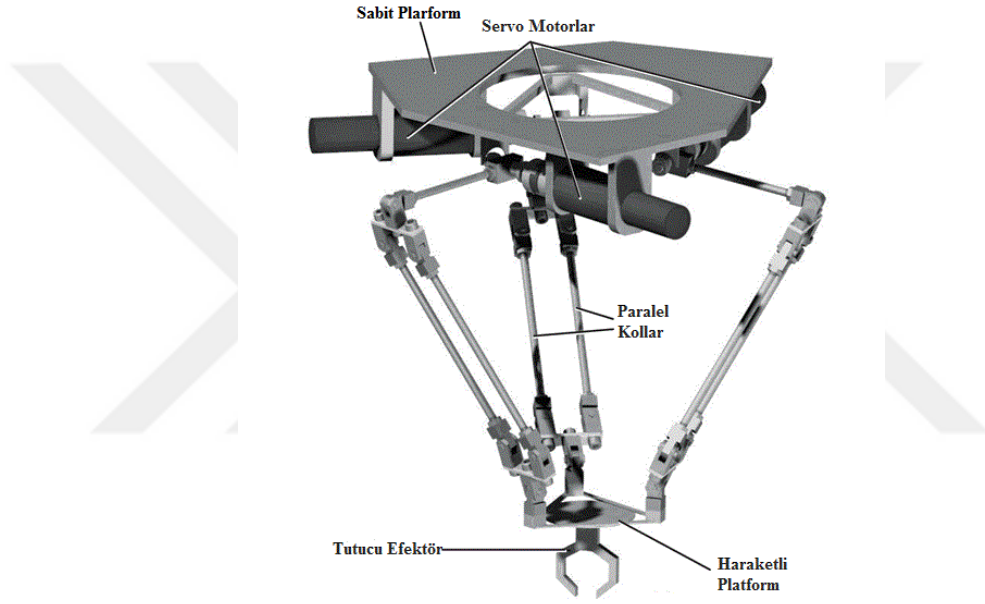
Mafsallı robot kolları, günümüzde üretimde kullanılan en yaygın robotlardan bazılarıdır. Ağır kaldırma veya tehlikeli hareketler gerektiren montaj işlemlerinde çok kullanılmaktadırlar. Robotik kollar veya mafsallı robotlar, iki eklemlili basit bir yapıdan 10 veya daha fazla eklemlili karmaşık bir yapıya kadar değişebilen döner mafsallara sahiptir. Kol, döner bir mafsala sahip bir tabana montelenir. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi, döner mafsallar, koldaki eklemleri bağlar; her bir eklem farklı bir eksenidir ve ek bir serbestlik derecesi sağlamaktadır (Şekil 2.5). Endüstriyel robotik kolların dört veya altı eksenli bulunmaktadır [13]. Bu tür robotlar temel olarak montaj işlemleri, döküm, gaz ve ark kaynağı ve boya uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Mafsallı robot kol [13]

## 2.2.6 Paralel Robot

Paralel veya delta robotlar, ilaç ve yiyecek sıralama, paketlenme işleri gibi alma ve yerleştirme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 2.6’da gösterilen paralel robotlar aynı zamanda delta robotlar olarak da adlandırılmaktadır. Ortak bir tabana bağlı eklemlili paralelkenarlardan oluşmaktadır. Paralelkenarlar kubbe şeklinde bir çalışma alanı içerisinde üç adet paralel kolun ucuna bağlı olan tek bir tutucu ucunu hareket ettirir [13]. Öncelikle gıda, ilaç ve elektronik endüstrilerinde kullanılmaktadır. Robotun kendisi hassas hareket kabiliyetine sahiptir, bu nedenle alma ve yerleştirme işlemleri için idealdir.

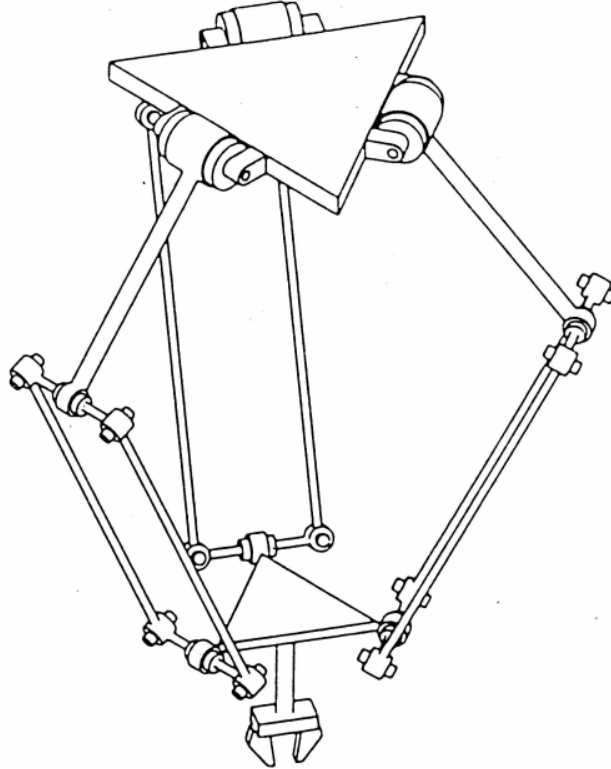


Şekil 2.6 Delta robot [13].

### 3 MATERYAL ve YÖNTEM

Robotlar ve etkileşimde bulunacağı nesnelerin konumları üç boyutlu uzayda açıklanabilir. Böyle bir durumda kabul edilen sıfır noktasına göre robotun ve nesnenin konum tanımı yapılması gerekmektedir. Robotun nesneye ulaşabilmesi açısından, robot uç tutucu ile nesneye koordinat sistemleri yerleştirilmesi gerekmektedir. Robotikte matematiksel analizlerin yapılması açısından yerleştirilen koordinat sistemi ile kabul edilen sıfır noktasının koordinat sistemleri arasında matematiksel hesaplamalar uygulanması gerekmektedir.

Şekil.3.1’de gösterilen delta robot üç serbestlik derecesine sahiptir. Delta robotu üst sabit tavan ile alt hareketli tutucu platformu arasında paralel olarak bağlanmış üç eşit koldan meydana gelmektedir. Üst döner mafsallar vasıtası ile alt tutucu platformun konumu değiştirmektedir.



Şekil 3.1 Clavel'in delta robot tasarımı [14]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi robot manipülatörleri, eklem parçaları ile birbirine bağlanmış uzuvların açık uçlu kinematik zinciri olarak kabul edilmektedir. Kinematik zincirin bir ucu sabit noktaya bağlı iken diğer ucu efektör tutucuya bağlanmaktadır. Eklemlerle birbirine bağlanmış uzuvlardan oluşan bu robot kolun hareketi, her bir uzvun bir önceki uzva göre hareketlerinin toplamından oluşturulmaktadır. Bir katı cismin üç boyutlu koordinat sisteminde ki konumunu ve yönelimini belirtmek için dönme matrisi ve öteleme vektörü oluşturulmaktadır. Homojen dönüşüm gösterimleri kullanılarak bu matris ve vektörü birleştirilmektedir.

### 3.1 Dönme Matrisi

Doğrusal cebirde bir dönme matrisi, Öklid uzayında bir dönüş gerçekleştirmek için kullanılan matristir. Örneğin, iki boyutlu  $x$ - $y$  kartezyen düzlemi içerisinde yer alan noktaları koordinat sisteminin orijini etrafında bir  $\theta$  açısıyla saat yönünün tersine döndürmek için Denklem 3.1’de ki gibi bir matris kullanılır [8].

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Dönme işleminden sonra Denklem 3.2 de gösterildiği gibi koordinat noktası  $(x, y)$  ‘den  $(x', y')$  konumuna dönüşmektedir.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$x' = x\cos\theta - y\sin\theta$$

$$y' = x\sin\theta + y\cos\theta$$

Üç boyutlu  $xyz$  koordinat sistemi için dönme matrisi tanımlanmaktadır. Koordinat sistemi, eksenlerden birinin etrafında dönmesi ile dönüşüm matrisi hesaplanır [8].

- $x$  eksenini etrafında  $\theta$  açısı kadar dönme sonucu oluşan dönme matrisi denklem 3.3 de verilmektedir;

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

- y eksenini etrafında  $\theta$  açısı kadar dönme sonucu oluşan dönme matrisi Denklem 3.4 de verilmektedir [15];

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

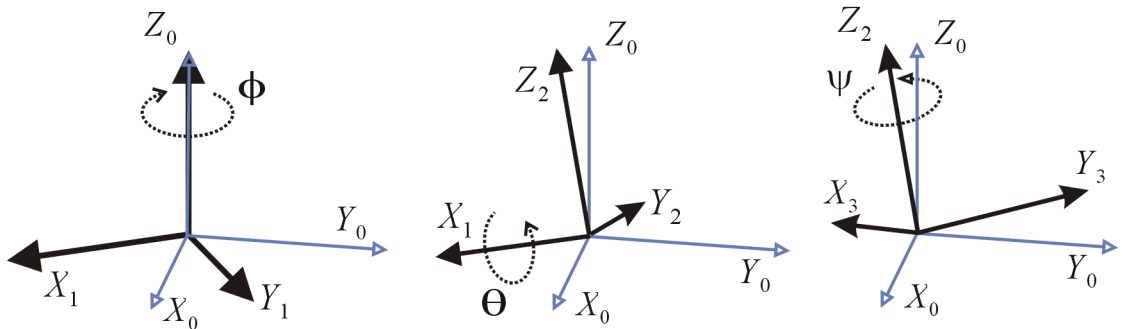
- z eksenini etrafında  $\theta$  açısı kadar dönme sonucu oluşan dönme matrisi Denklem 3.5 de verilmektedir [15];

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Koordinat sisteminin kendi etrafında dönmesi tek olmayabilir. Bunun sonucunda elimizde birden fazla farklı koordinat sistemleri elde edilmiş olur. Sonuç olarak elde edilen koordinat sistemi üç eksen arasında belli açılarla dönme gerçekleştirmiş olur. Oluşturulan koordinat sistemlerinden, elimizde bulunan rastgele bir koordinat sisteminin temel sabit noktaya göre dönme matrisini elde etmek için üç adet açı değeri gereklidir.

- **Euler Açı Değeri**

Bir üç eksenli koordinat sisteminin merkez noktası etrafında serbestçe dönebilen bir katı cismin konumunun belirtilmesinde kullanılan açılara euler açıları denmektedir (Şekil 3.2). X eksenini etrafında  $\theta$  açısı kadar, Z eksenini etrafında  $\Phi$  açısı kadar, ve Z eksenini etrafında da  $\Psi$  açısı kadar döndürülmesi ile elde edilen bu açılar euler açılarına karşılık gelmektedir [16].



Şekil 3.2 Euler açı gösterimi [16]

Dönme matrisi ( $R_0^1$ ), Denklem 3.6'da ki gibi oluşturulmaktadır [15].

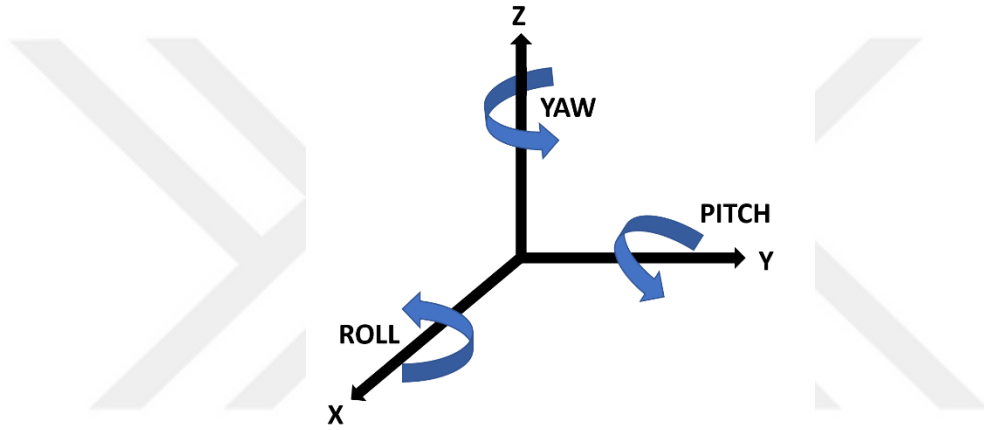


$$R_0^1 = R_z(\Phi)R_x(\theta)R_z(\Psi) \quad (3.6)$$

$$R_0^1 = \begin{bmatrix} \cos\Phi\cos\theta\cos\Psi - \sin\Phi\sin\Psi & -\cos\theta\cos\Phi\sin\Phi - \sin\Phi\cos\Psi & \cos\Phi\sin\theta \\ \sin\Phi\cos\theta\cos\Psi + \cos\Phi\sin\Psi & -\sin\Phi\cos\theta\sin\Psi + \cos\Phi\cos\Psi & \sin\Phi\sin\theta \\ -\sin\theta\cos\Psi & \sin\theta\sin\Psi & \cos\theta \end{bmatrix}$$

- **Roll/Pitch/Yaw Açılarının gösterimi**

Şekil 3.3'te gösterildiği gibi x eksenini etrafında  $\Psi$  açısı kadar döndürülmesi, Y eksenini etrafında  $\theta$  açısı kadar ve Z eksenini etrafında da  $\Phi$  açısı kadar ile elde edilen bu açılar sırasıyla Roll/Pitch/Yaw açıları olarak isimlendirilmektedir [17].



Şekil 3.3 Roll-Pitch-Yaw açıları [17]

Şekil 3.3'te gösterilen gösterilen Roll/Pitch/Yaw açıları ile dönme matrisi Denklem 3.7'de ki gibi tanımlanır [17].

$$R_0^1 = R_z(\Phi)R_y(\theta)R_x(\Psi) \quad (3.7)$$

$$R_0^1 = \begin{bmatrix} \cos\Phi\cos\theta & -\sin\Phi\cos\Psi + \cos\Phi\sin\theta\sin\Psi & \sin\Phi\sin\Psi + \cos\Phi\sin\theta\cos\Psi \\ \sin\Phi\cos\theta & \cos\Phi\cos\Psi + \sin\Phi\sin\theta\sin\Psi & -\cos\Phi\sin\Psi + \sin\Phi\sin\theta\cos\Psi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\Psi & \cos\theta\cos\Psi \end{bmatrix}$$

### 3.2 Öteleme Vektörü

Kinematikte, çeşitli miktarları bulmak için matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Özellikle, yer değiştirme vektörünün modülünü bulmak için, bir vektör cebirinden bir formül uygulamak gerekmektedir. Vektörün başlangıç ve bitiş noktalarının

koordinatlarını, yani ilk ve son pozisyonu için öteleme vektörü Denklem 3.8’de görüldüğü gibi  $d_0^1$  ile tanımlanır [15].

$$d_0^1 = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

### 3.1.3 Homojen Dönüşüm Matrisi

Bir robot ana koordinat sisteminden ara koordinat sistemine doğru birbirine prizmatik veya döner eklemlerle bağlanmış seri uzuvlardan oluşmaktadır. İki uzuv arasındaki eklem ilişkisi bir homojen dönüşüm matrisiyle açıklanabilir. Denklem 3.9’ de her bir eklem noktasına bir koordinat sistemi yerleştirilmesiyle birbirine bağlı iki eklem arasındaki ilişki  $T_i^{i+1}$  dönüşüm matrisiyle elde edilir. Homojen matrisinin tersinin alınabilmesi için 4x4 boyutunda oluşturulmuştur [15].

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} R_0^1 & d_0^1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 4} \quad (3.9)$$

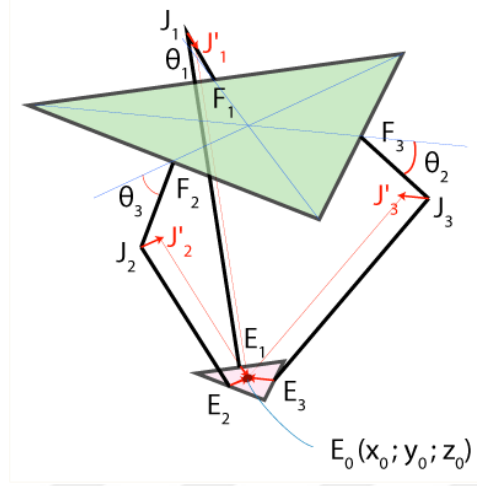
Burada ki denklemde  $T_0^1$  matrisi 1. koordinat sisteminden sıfıncı koordinat sistemine dönüşünü ifade etmektedir.

### 3.2 İleri Yön Kinematiği

Bir robot manipülatörü, birbirine eklemler ile bağlanmış uzuvlarla birlikte bir seri eklem noktalarından oluşmaktadır. Mekanizmanın her bir eklemine bir koordinat sistemi yerleştirildiğinde, bu koordinat sistemleri arasındaki bağıl pozisyon ve yönelimi homojen dönüşüm matrisleri kullanılarak belirlenir.  $T_0^1$  olarak adlandırılan homojen dönüşüm matrisi, bir eklem ile bir sonraki eklem arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Benzer şekilde bu sıralama  $T_i^{i+1}$  şeklinde gösterimlerle devam etmektedir. Arka arkaya sıralanan bu eklem dönüşüm matrisleriyle ana koordinat sistemi ile araç koordinat sistemi arasındaki ilişki tanımlanır. Bu ilişkiye de ileri yön kinematiği denir ve Denklem 3.10 de formüle edilmiştir. Ana koordinat sistemi ile araç koordinat sistemi arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanır [15].

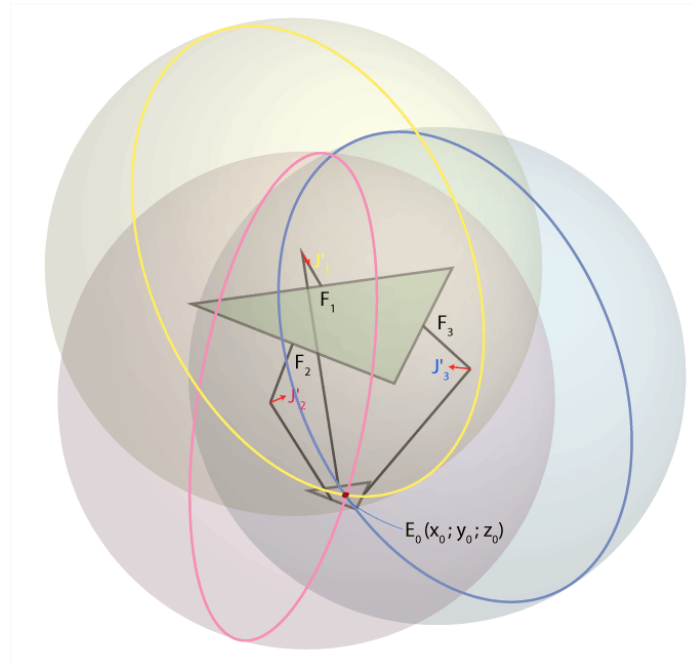
$$H = T_0^n = T_0^1 \cdot T_1^2 \dots T_{n-1}^n \quad (3.10)$$

Şekil 3.4 de verilen delta robot çiziminde  $\theta_i$  eklem açılarını,  $E_0$  son efektörün konumunu,  $J_1, J_2$  ve  $J_3$  eklem noktalarını vermektedir.



Şekil 3.4 Delta robot eklem noktaları [18]

$J_1, J_2$  ve  $J_3$  noktaları serbest eklem olmasından dolayı merkezi  $J_i$  olan ve  $J_i E_i$  yarı çapında dönebilen Şekil 3.5’de ki gibi üç adet daire oluşturur. Şekil 3.5’de yer alan  $J_1 E_0, J_2 E_0$  ve  $J_3 E_0$  doğru noktaları kullanılarak küre merkezleri  $J_1, J_2$  ve  $J_3$  noktalarından  $J'_1, J'_2$  ve  $J'_3$  noktalarına taşınır. Bu işlemin sonucunda mevcut üç küre  $E_0$  noktasında kesişecektir.



Şekil 3.5 Serbest eklemlerde oluşan küreler [18]

$E_0$  noktasının koordinatlarını bulmak için Denklem 3.11 eşitliği çözülmesi gerekir.

$$(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 = r_e^2 \quad 3.11$$

Denklem 3.11'de verilen eşitlikte  $x_j, y_j$  ve  $z_j$  küre merkezlerinin koordinatlarını ve  $r_e$  ise küre yarıçapını vermektedir.

Öncelikle  $J'_1, J'_2$  ve  $J'_3$  noktalarının koordinatlarını bulunması gerekmektedir [19].

$$OF_1 = OF_2 = OF_3 = \frac{f}{2} \tan(30) = \frac{f}{2\sqrt{3}} \quad 3.12$$

$$J_1J'_1 = J_2J'_2 = J_3J'_3 = \frac{e}{2} \tan(30) = \frac{e}{2\sqrt{3}} \quad 3.13$$

$$F_1J_1 = r_f \cos(\theta_1) \quad 3.14$$

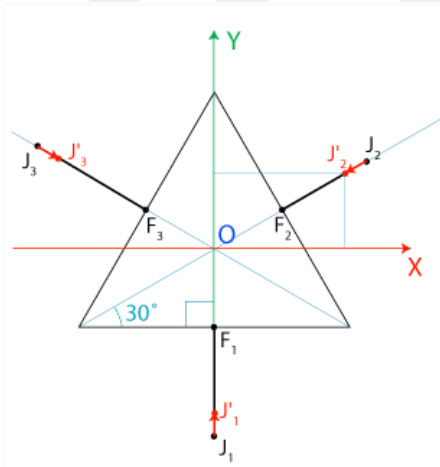
$$F_2J_2 = r_f \cos(\theta_2)$$

$$F_3J_3 = r_f \cos(\theta_3)$$

$$J'_1(0; -\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} - r_f \cos(\theta_1); -r_f \sin(\theta_1)) \quad 3.15$$

$$J'_2((\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cos(\theta_2)) \cos(30); (\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cos(\theta_2)) \sin(30); -r_f \sin(\theta_2))$$

$$J'_3((\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cos(\theta_3)) \cos(30); (\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cos(\theta_3)) \sin(30); -r_f \sin(\theta_3))$$



Şekil 3.6  $J'_1, J'_2$  ve  $J'_3$  noktalarının kaydırılması [18]

Verilen denklemlerde  $J_1$ 'in koordinatları  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $J_2$ 'in koordinatları  $(x_2, y_2, z_2)$ ,  $J_3$ 'in koordinatları  $(x_3, y_3, z_3)$  olacak şekilde belirtilmiştir.  $x_0 = 0$

$$\begin{cases} x^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_e^2 & 3.16 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_e^2 \Rightarrow \begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 - 2y_1y - 2z_1z = r_e^2 - y_1^2 - z_1^2 & 3.16 \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_2x - 2y_2y - 2z_2z = r_e^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 & 3.17 \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_3x - 2y_3y - 2z_3z = r_e^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 & 3.18 \end{cases} \end{cases}$$

$$w_i = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 \quad 3.19$$

Denklem 3.19 ele alınıp sırası ile Denklem 3.16, Denklem 3.17 ve Denklem 3.18'in yerine  $w_i$  değişkenli formüller fazılır. Ardından Denklem 3.16'dan Denklem 3.17 çıkartılarak Denklem 3.20, Denklem 3.16'dan Denklem 3.18 çıkartılarak Denklem 3.21 ve Denklem 3.17'den Denklem 3.18 çıkartılarak Denklem 3.22 elde edilir.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2x + (y_1 - y_2)y + (z_1 - z_2)z = \frac{w_1 - w_2}{2} \end{array} \right. \quad 3.20$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_3x + (y_1 - y_3)y + (z_1 - z_3)z = \frac{w_1 - w_3}{2} \end{array} \right. \quad 3.21$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (x_2 - x_3)x + (y_2 - y_3)y + (z_2 - z_3)z = \frac{w_2 - w_3}{2} \end{array} \right. \quad 3.22$$

Denklem 3.20 ve Denklem 3.21 ele alındığında;

$$x = a_1z + b_1 \quad 3.23$$

$$y = a_2z + b_2 \quad 3.24$$

$$a_1 = \frac{1}{d} [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)]$$

$$a_2 = -\frac{1}{d} [(z_2 - z_1)x_3 - (z_3 - z_1)x_2]$$

$$b_1 = -\frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)(y_3 - y_1) - (w_3 - w_1)(y_2 - y_1)]$$

$$b_2 = -\frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)x_3 - (w_3 - w_1)x_2]$$

$$d = (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2$$

Denklem 3.23 ve Denklem 3.24 numaralı denklemleri Denklem 3.17'ün yerine yazılması durumunda Denklem 3.25 eşitliği elde edilir.

$$(a_1^2 + a_2^2 + 1)z^2 + 2(a_1 + a_2(b_2 - y_1) - z_1)z + b_1^2 + (b_2 - y_1)^2 + z_1^2 - r_e^2 = 0 \quad 3.25$$

Yazılan Denklem 3.25 eşitliği olan bu kuadrik denklemin çözülerek  $z_0$  değeri bulunması gerekmektedir. Bulunan  $z_0$  değeri Denklem 3.23 ve Denklem 3.24'de yerlerine yazılması durumunda  $x_0$  ve  $y_0$  değerleri hesaplanır [19].

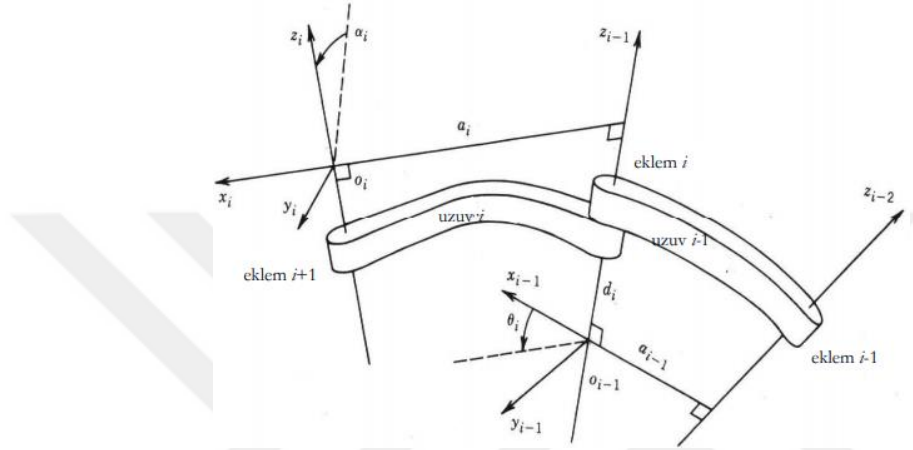
### 3.3 Denativ-Hartenberg Yöntemi

Denativ-Hartenberg yöntemi, robotların eklem değişkenlerinin belirlenmesi için kullanılan kinematik yöntemdir. Robotun eklem noktalarına koordinat sistemleri yerleştirilmesinin ardından D-H değişkenleri bulunur (Şekil 3.7). Bu yöntemde robot kinematiği hesaplamak için dört ana değişken kullanılmaktadır [14]. Bu değişkenler;

- $a_i$  : iki eksen noktası arasında ki uzuv mesafesi,

- $d_i$ : iki komsu eklem arasında ki eksen açısı,
- $\alpha_i$ : üst üste çıkan iki eklem arasında ki eklem kaçıklığı
- $\theta_i$ : iki komşu uzuv arasındaki eklem açısı şeklindedir.

D-H parametrelerinden uzuv uzunlukları ( $a_i$ ) ve eksen açıları ( $d_i$ ) robotun hareket etmesiyle değişmezken, eklem döner ise eklem açısı ( $\theta_i$ ) eğer eklem prizmatik ise eklem kaçıklığıdır ( $\alpha_i$ ) değişen parametrelerdendir.



Şekil 3.7 D-H çıkarımı için serbest robot kol [14]

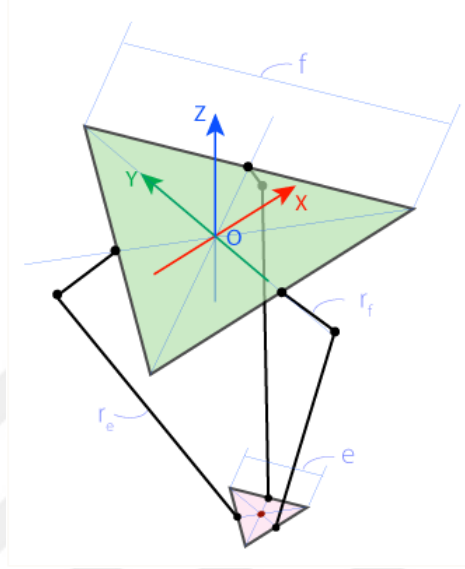
$$A_i = Rot_{z,\theta_i} Trans_{z,d_i} Trans_{x,a_i} Rot_{x,\alpha_i} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 3.26$$

Her bir ekleme ait genel dönüşüm matrisi Denklem 3.26'dan elde edilir. Dönüşüm matrislerinin çarpılmasıyla uç efektörün son konumu ve yönelimini gösteren genel bir dönüşüm matrisi elde edilir.

### 3.4 Ters Yön Kinematığı

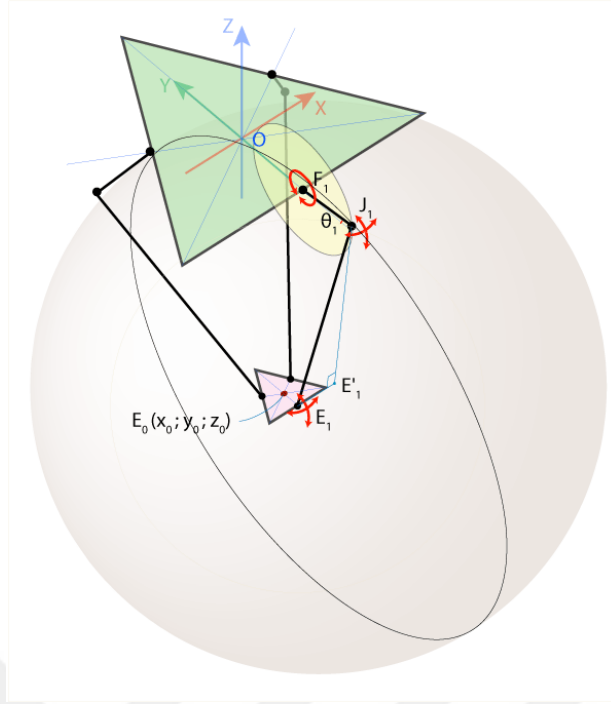
Robotun uç işlevcisinin ana koordinat sistemine göre konumu ve yönelimi sisteme verildiğinde robotun bu konuma ve yönelime gelebilmesi için gerekli eklem değişkenlerinin bulunmasını amaçlamaktadır. Başka bir deyişle de uç efektörün konum ve yönelim bilgisini almak için kartezyen koordinat sisteminden eklem koordinat sistemine dönüştürme işlemi olarak da tanımlanmaktadır. Burada son efektörün konumu bilinir ve eklem parametreleri bilinmemektedir [14].

Delta robotun geometrisi için bazı temel parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.8’de gösterilen  $f$  sabit üçgen kenarını,  $e$  efektör üçgenin kenarını,  $r_f$  üst pazı kolun uzunluğunu,  $r_e$  paralel kolun uzunluğunu belirtmektedir. Delta robotun sabit destek plakası merkezine yerleştirilen koordinat sistemi başlangıç olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle son efektörün konumlanacağı koordinat devamlı negatif olacaktır.



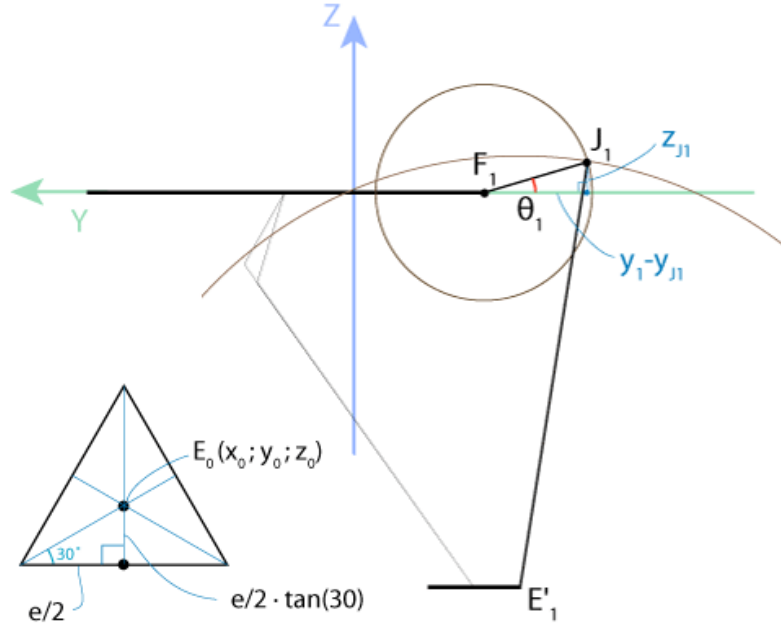
Şekil 3.8 Robot uzuv tanımlamaları [18]

Delta robot içerisinde kullanılan mafsallardan dolayı Şekil 3.9’da gösterilen  $F_1J_1$  kolu sadece  $YZ$  düzleminde dönebilir. Bu dönme sonucunda oluşan dairenin merkezi  $F_1$  ve yarıçapı  $r_f$  şeklindedir.  $J_1$  ve  $E_1$  mafsal noktaları evrensel eklem olmasından dolayı serbestçe dönebilmektedir.  $E_1J_1$  paralel kolu merkezi  $E_1$  olarak dönüş yaptığında, yarıçapı  $r_e$  olan bir küre meydana getirir.



Şekil 3.9 YZ düzlemi küresi [18]

Bu küre YZ düzlemin de kesişen merkezi  $E'_1$  olan ve yarıçapı  $E'_1J'_1$  uzunluğuna sahip bir dairedir.  $J_1$  noktası  $r_f$  yarıçapındaki dairenin  $E'_1$  ve  $F'_1$ 'de ki merkezlerle kesişme noktası olarak bulunabilir. Eğer  $J_1$  biliniyorsa,  $\theta_1$  açısı hesaplanabilir. Şekil 3.10'da karşılık gelen denklemleri ve YZ düzlem görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.10 FJ ve EJ dairesi kesişimi [18]



$$E(x_0, y_0, z_0) \quad 3.27$$

$$EE_1 = \frac{e}{2} \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}} \quad 3.28$$

$$E_1 \left( x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) = E_1 \left( 0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) \quad 3.29$$

$$E_1 E_1' = x_0 \Rightarrow E_1' J_1 = \sqrt{E_1 J_1^2 - E_1 E_1'^2} = \sqrt{r_e^2 - r_0^2} \quad 3.30$$

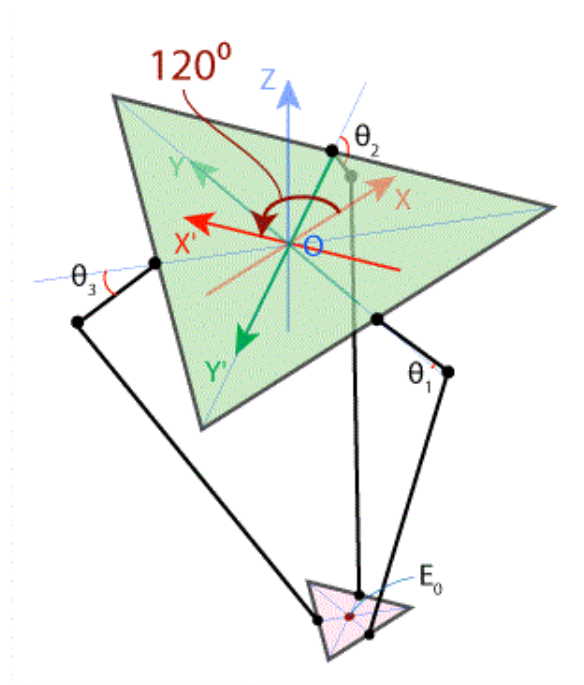
$$F_1 \left( 0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0 \right) \quad 3.31$$

$$\begin{cases} (y_{j1} - y_{F1})^2 + (z_{j1} - z_{F1})^2 = r_f^2 \\ (y_{j1} - y_{F1})^2 + (z_{j1} - z_{F1})^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \left( y_{j1} + \frac{f}{2\sqrt{3}} \right)^2 + z_{j1}^2 = r_f^2 \\ \left( y_{j1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}} \right)^2 + (z_{j1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \quad 3.32$$

$$\Rightarrow J_1(0, y_{j1}, z_{j1})$$

$$\theta_1 = \arctan \left( \frac{z_{j1}}{y_{F1} - y_{j1}} \right) \quad 3.33$$

$F_1 J_1$  eklemi sadece YZ düzleminde hareket etmektedir, bu nedenle X koordinatını bu ekleme kullanılmamaktadır. Diğer  $\theta_2$  ve  $\theta_3$  açılarını hesaplamak için delta robot simetrisini kullanılmalıdır [18]. Öncelikle, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi, XY düzlemindeki koordinat sistemini Z eksenini etrafında saat yönünün tersine 120 derece açıyla döndürülmesi durumunda Denklem 3.34 eşitlikleri meydana gelir.



Şekil 3.11 Z eksenini etrafında döndürme [18]

$$\begin{aligned}x' &= x\cos(120) + y\sin(120) \\y' &= -x\sin(120) + y\cos(120) \\E_0(x_0; y_0; z_0) &\Rightarrow (x'_0; y'_0; z_0)\end{aligned}\tag{3.34}$$

Yeni bir referansın koordinat sistemi için  $x'$ ,  $y'$  ve  $z'$  noktaları bulunmaktadır ve bu noktalar  $\theta_1$  açısını bulmak için kullanılan matematiksel denklemler kullanılarak  $\theta_2$  açısı hesaplanmaktadır. Bu hesaplama esnasında yapılması gereken  $E_0$  noktası için yeni bir  $x'_0$  ve  $y'_0$  noktalarının belirlenmesidir.  $\theta_3$  açısını bulmak için referans koordinat sisteminin saat yönünde döndürülmesi [20] .



## 4 GÖRÜNTÜ İŞLEME ve YÖNTEMLERİ

Görüntü işleme kavramı son dönemlerde sıklıkla kullanılan kavramlardan birisi olup, bilgisayar görmesi ile birlikte ve endüstride en önemli unsurlardan birisi olmaktadır. Görüntü işleme kavramını temel olarak tanımlanacak olursa, bir görüntü alma araçları ile alınan dijital görüntünün analiz edilerek bu kaynaklar üzerinden anlamlı veriler çıkartma ve genel özelliklerini ortaya çıkarma verilen bir isimdir [21]. Günümüzde birçok uygulama Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Görüntü işleme kavramı dijital verilerle işlem yapan bir süreç olmasına karşın, içerisinde dijital ve analog işlemleri aynı anda barındırmaktadır. Genel mantık olarak dijital bir görüntü, resmin iki boyutlu x ve y koordinatlarından oluşmaktadır. Bunun sonucunda iki boyutlu bir matris oluşturulmaktadır. Oluşturulan veriler bilgisayar tarafından yorumlanan sinyaller olarak okunmaktadır.

Bir plaka tanıma işleminde, bilgisayarla görme adımı plakayı okuması iken, görüntü algılayıcı cihazlardan elde edilen görüntüden anlamlı veriler çıkartılması görüntü işleme yöntemlerinin bir parçasıdır. Görüntüyü bilgisayarlı görme sistemleri ile elde edilen görüntüde anlamlı veriler çıkarma sürecine genel olarak görüntü işleme olarak adlandırılmaktadır. Görüntü İşleme genel olarak kullanım alanları; askeri, endüstri, robotik, trafik, radar, tıp, güvenlik vb. sıralanabilir.

Görüntüyü işlemek için üç farklı yöntem kullanılmaktadır:

- Birbirinden bağımsız olarak her pikselin işlenebilmesidir. Böyle bir durumda pikseldeki renk değeri herhangi bir katsayı ile çarpılır, pikseller üzerinde görüntü işleme adımları gerçekleştirilir. Bu işlemler gerçekleştirilmesi esnasında işlem yapılan piksel ile diğer komşu piksellerin değerleri arasında bir bağlantı yoktur ve diğer komşu piksellerin değerleri dikkate alınmaz.
- Her bir piksel hesaplanırken, komşusu olan pikseller ile ağırlık hesaplaması yapılabilir.
- Hareketli görüntülerin işlenmesinde, ilk alınan görüntünün ikinci görüntüdeki farkının zamanla değişimindeki bir özelliği kullanılarak saptanabilir.

Yukarıda anlatılan işlemler uygulanması sonucunda yeni bir görüntü ortaya çıkar. Bu yapılan yöntemlerle, görüntü iyileştirme, görüntü sıkıştırma, nesne tanıma, nesne takip gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

## 4.1 Sayısal Görüntü İşleme

Görüntü oluşması, üç boyutlu gerçek nesne koordinat sisteminden, görüntü alma cihazlarının merceğine nesneden yansıyan ışığın iki boyutlu koordinat sistemine dönüştürmesi ile meydana gelir. Görüntü işlemeye yönelik bir sistemde görüntü yakalamak için aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır [22].

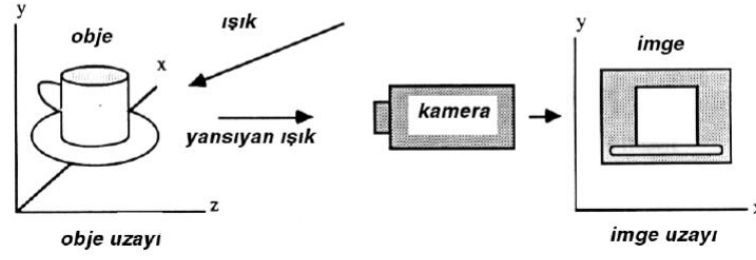
- a. Görüş alanı boyutu (genişlik ve yükseklik)
- b. Çalışma mesafesi (objektiften nesneye olan mesafe)
- c. Alan derinliği (görüntünün kabul edilebilir bir şekilde çözülebildiği objektife yakın ve uzak mesafeden)
- d. Görüntü işleme için görüntü yakalama sıklığı
- e. Işık miktarı ve aydınlatmada değişkenlik
- f. Sensör tipi
- g. Minimum çözülebilir özellik veya en boy oranı
- h. Tetikleme yöntemi (dijital giriş, yazılım, saat tabanlı)

Bunlardan önce, aşağıdaki parametrelerin belirlenmesi gerekir.

- a. Lens F-durdurma
- b. Sensör formatı
- c. Geri Odak Uzaklığı
- d. İletişim Arabirimi
- e. ADC çözünürlüğü (8-32 bit)

Tipik bir makine vizyon uygulamasının yanı sıra donanım seçim kriterleri de oldukça önemlidir.

Görüntü işlemede ilk adım, bir ışık kaynağı yardımı ile görünür hale gelmiş nesneden yansıyan ışınların kameraya aktarılmasıdır (Şekil 4.1). Nesneden yansıyan ve tanımlanmasını sağlayan bu ışınlar, kamerada elektrik sinyallerine çevrilir. Böylece görüntü, analog sinyallere çevrilmiş olur. Analog sinyal halini alan görüntü bir analog/dijital dönüştürücü yardımıyla dijital sinyallere dönüştürülür. Bunun sonucunda dijital görüntü elde edilmiş olur. Ardından dijital görüntü ön-işleme adımına tabii tutulur. Ön işleme adımında görüntünün bazı küçük çaplı işlemlerden geçirilerek sonraki adımlarda daha kolay bir şekilde işlenebilmesinin önünü açar. Bu işlemler temel olarak; görüntü onarma, görüntü iyileştirme ve görüntü sıkıştırma olarak adlandırılmaktadır.



**Şekil 4.1** Görüntünün Oluşması [22]

Önişleme adımı tamamlandıktan sonra sıradaki adım bölümlenme olarak isimlendirilmektedir. Bölümlenme; bölütleme, parçalara ayırma, segmentasyon olarak da isimlendirilir. Segmentasyon işlemi, bir görüntüdeki nesneyi arka planından veya görüntü içerisindeki istenilen verinin değişik özelliklere sahip diğer bölgelerden ayrıştırılma işlemidir. Segmentasyon işleminde görüntünün hangi bölgesi, hangi özelliği ile ilgileniyorsak o verinin çıkartım yapılmasını üstlenmektedir [23].

Son olarak çıkarım ve yorumlama adımı gelmektedir. Bu aşamada, dijital görüntüden elde edilen ham verilerin, ayrıntıların ön plana çıkarılmasıdır. Ön plana çıkarılan bu ham bilgilerin, çeşitli karar verme mekanizmaları ile etiketlenilmesi, sınıflandırılması işlemini kapsamaktadır [23].

## 4.2 Görüntü İşlemede Kullanılan Terimler

Görüntü işlemede kullanılan terimler üç ana grupta ele alınabilir. Bunlar görüntü tiplerine göre ikili görüntü, gri görüntü ve renkli görüntüden oluşmaktadır.

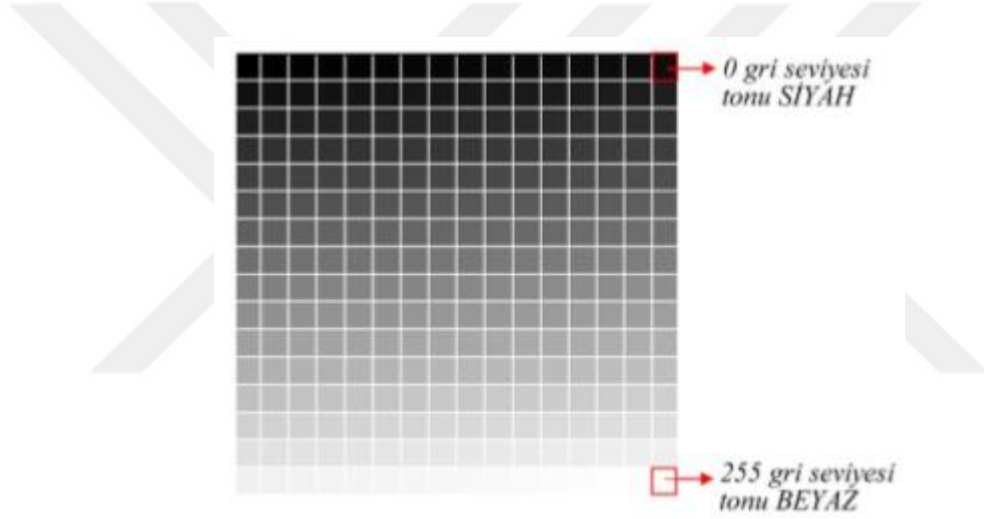
### a. İkili Görüntü

Görüntünün sayısallaştırılması sırasında, görüntü tüm renklerden arındırılarak resmin siyah ve beyaz renklerden oluştuğu yöntemdir. Bir matris biçiminde olan sayısal görüntü için bir eşik değeri belirlenir ve eşik değerinden yüksek olanlar ve düşük olanlar şeklinde iki sınıfa ayrılır. Sayısallaştırılmış bir gri görüntünün matrisi artık yeni bir matris ile sadece maksimum 255 ve minimum 0 değerlerinden oluşmuş olur. Bu şekilde iki renkli siyah ve beyaz görüntü elde edilmiş olur [21].

## b. Gri Görüntü

Görüntünün dijitalleştirme işleminde, her bir pikselin parlaklık değerinin ve görüntü boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. Dijital görüntüde her pikselin parlaklık değeri gri seviye görüntü olarak adlandırılır. Sırasıyla her bir pikselin parlaklık değerine göre kodlanan bit sayısı gri seviye değer aralığını belirtir.

Gri seviyenin en üst tonu beyaz, en düşük tonu ise siyah renk olarak adlandırılmaktadır. Bu iki renk arasında kodlanan görüntülere ise gri-ton olarak adlandırılır (Şekil 4.2). Gri seviye görüntüde yer alan her piksel 8 bit ile kodlanmış olup gri görüntülerde bir piksel  $2^8 = 256$  farklı gri tona karşılık gelmektedir. Mantık olarak; 0 değeri alan gri seviyeli piksel siyah rengi, 255 değeri alan gri seviyeli piksel ise beyaz rengi göstermektedir [23]. Bu değerler arasındaki piksel değerleri ise gri tonlara karşılık gelir.



Şekil 4.2 Gri tonların 16x16 boyutundaki bir matriste gösterimi [23]

## c. Renkli Görüntü

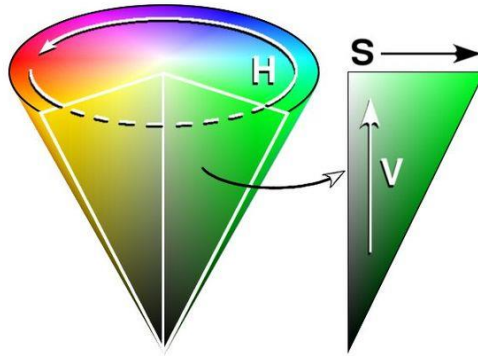
Üç katmanlı bir yapıya sahiptir ve üç adet gri tonlamalı görüntünün üst üste getirilmesi ile meydana gelmektedir. Bilgisayar ekranında renkli görüntülerin her bir pikseli 24 bit'lik veri olarak oluşturulur. Her bir renk 8 bit ile kodlanmaktadır. Üç renk  $3 \times 8 = 24$  bit ile kodlanmaktadır.

- **RGB:** Renk modeli kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin isimlerinin baş harflerinden oluşmaktadır [24]. Şekil 4.3'te, kırmızı, yeşil ve mavi renklerin değişen oranlarda birbirlerine eklenmesi ile yeni renkler oluşmaktadır. RGB renk modelleri içerisinde en çok kullanılan modeldir [20]. LCD, plazma ve LED ekranların tümünde, görüntü işleme uygulamalarında RGB modeli kullanılmaktadır.



Şekil 4.3 RGB Renk modeli [20].

- **HSV:** Renk, doygunluk ve parlaklık kavramlarının birleşimi ile HSV renk uzayı meydana gelmektedir (Şekil.4.4). Doymunluk kavramı rengin canlılığını belirtmektedir. Parlaklık kavramı rengin aydınlığını hakkında bilgi vermektedir. Herhangi bir görüntü işleme uygulamasında sabit renkteki bir nesneyi ayırt etmek için HSV renk modelini kullanmak daha doğru sonuçlar vermektedir. Renklerin daha net ayırt edilebilmesi için eşik değerin sadece hue değerine uygulanması gerekir. Renk H (Hue) değeri ile seçilmektedir. Rengin doymunluğu S (saturation) ile seçilmektedir. Rengin parlaklığı ise V (value) seçilmektedir [25].



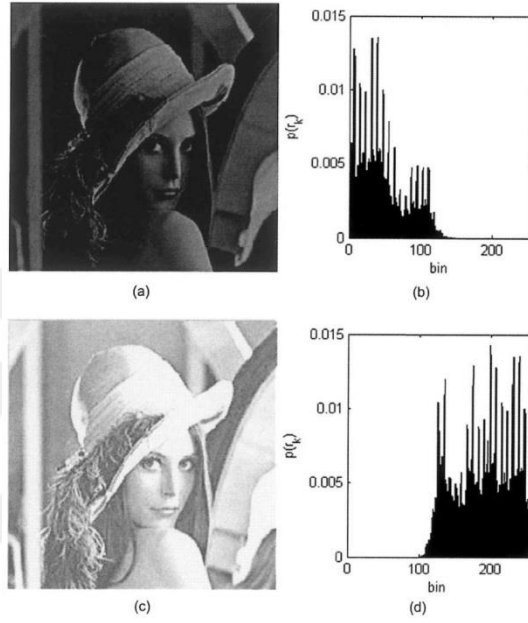
Şekil 4.4 HSV renk modeli [25]

### 4.3 Görüntü İşleme Teknikleri

Dijital görüntünün elde edilmesinin ardından, görüntünün işlenerek istenilen verinin çıkartım adımına geçilir. Histogram ve segmentasyon görüntü işleme teknolojilerinde sık kullanılan tekniklerdir.

### a. Histogram

Gri renk tonuna çevrilmiş görüntünün, imge içindeki gri seviyesine karşılık gelen her bir nokta değerine karşılık gelen bir fonksiyondur. Gri seviye değerini apsis eksenini gösterirken, meydana gelme sıklığını ise ordinat eksenini göstermektedir [26]. Başka bir anlatım diliyle histogram, Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi dijital bir resim içerisindeki renklerden kaç adet olduğunu gösteren grafiklerdir.



Şekil 4.5 Histogram grafiği [26]

### b. Segmentasyon

Genellikle segmentasyon işlemi görüntü işlemenin ilk aşamasıdır. Bir görüntüyü her bir ayrı görüntü parçası içerisinde farklı özelliklerin tutulduğu anlamlı bölgelere ayırmaya görüntü bölütleme olarak da adlandırılmaktadır. Örneğin, görüntü içerisinde yer alan benzer imgelerin görüntü içerisindeki farklı iki nesneyi temsil edebilir. Başka bir örnek ile açıklamak gerekirse bir x-ray görüntüsü çekilmiş bir kırık kemiğin çevresinde yer alan diğer görüntülerden ayırt edebilmek için segmentleme yapılabilir. Tüm görüntülere uygulanabilecek genel bir segmentasyon yöntemi yoktur [27].

## 4.4 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) açık kaynaklı bir bilgisayarlı görme ve makine öğrenme için kullanılan yazılım kütüphanesidir. OpenCV, bilgisayarlı



görme uygulamaları için ortak bir altyapı sağlamaktadır. OpenCV, BSD lisanslı bir ürün olmasından dolayı kütüphane kodunun kullanması ve değiştirmesi kolaylaştırılmıştır [28].

OpenCV kütüphanesi, hem klasik hem de modern işlemler için kullanılabilen 2500'den fazla optimize edilmiş algoritmaya sahiptir. Bu algoritmalar, yüz tanıma, nesnelere tanıma ve algılama, videolardan insan hareketlerini sınıflandırma, kamera hareketlerini izlemek, hareketli nesnelere izlemek, nesnelere 3B modellerini çıkarmak gibi birçok uygulamaya sahiptir [28].

OpenCV 47000'den fazla kullanıcıya sahip olup 14 milyondan fazla indirme sayısına ulaşmıştır. OpenCV kütüphanesi; şirketler, araştırma şirketleri ve devlet kurumları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. OpenCV'yi kullanan Google, Yahoo, Microsoft, Intel, IBM, Sony, Honda, Toyota gibi köklü firmaların yanı sıra, OpenCV'yi yaygın olarak kullanan Applied Minds, VideoSurf ve Zeitera gibi birçok yeni girişim şirketleri de bulunmaktadır [28].

OpenCV kütüphanesi; C ++, Python, Java ve MATLAB arayüzlerine sahiptir. Birçok Windows, Linux, Android ve Mac OS gibi işletim sistemi ortamında çalışmaktadır. OpenCV genellikle gerçek zamanlı bilgisayarlı görme uygulamalarına dayanmaktadır. OpenCV, MMX ve SSE talimatlarından faydalanmaktadır. Tam donanımlı bir CUDA ve OpenCL arayüzleri aktif olarak geliştirilmeye devam etmektedir. OpenCV kütüphanesi içerisinde 500'den fazla kullanılabilen algoritma bulunmaktadır. OpenCV, doğal olarak C ++ dilinde yazılmıştır ve STL kaplarıyla sorunsuz çalışan şablonlu bir arayüze sahiptir [28].

## 5 DELTA ROBOT TASARIMI

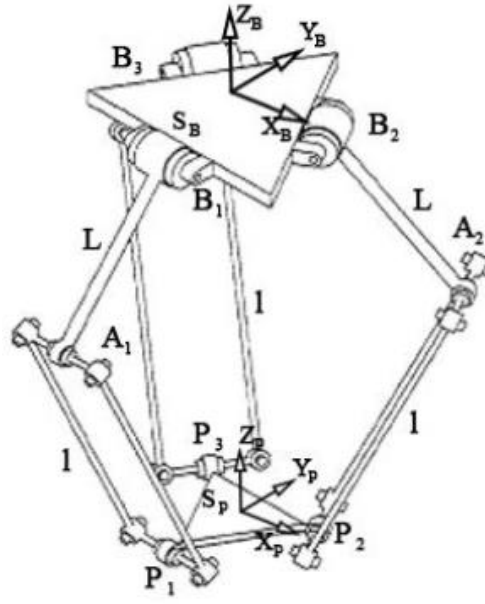
Bir robotik çözümün gereklilikleri, tümüyle anahtar teslimi şeklinde ve fabrika kurulumuna kadar son derece karmaşık bir sistemin tek bir parça halinde kullanıcıya tedarik edilene kadar geçen zaman büyük ölçüde değişkenlikler göstermektedir. Tasarımı gerçekleştirilen delta robot hareketli bant üzerinden geçen tavuk parçalarını kamera ile tespit edip onları özelliklerine göre ayırma işleminde kullanılması amaçlanmıştır. Tek bir endüstriyel işlemin bütününün karmaşıklığı neticesinde çalışmanın kapsamı aşağıdaki gibi üç bölümde ele alınmıştır.

- i. Tasarım
  - a. Malzeme ölçülerinin belirlenmesi
  - b. Solidworks ile malzeme tasarımı
  - c. ANSYS programı ile malzeme analizi
- ii. Yazılım
  - a. Görüntü işleme
  - b. Matlab ile robot kinematiğinin çıkartılması
  - c. Delta robotun doğrulanması
- iii. Donanım
  - a. Servo motor seçimi
  - b. Redüktör Seçimi

### 5.1 Tasarım

#### 5.1.1 Malzeme Ölçülerinin Belirlenmesi

Delta robotlar sabit taban ile uç efektör arasındaki paralel üç kollardan oluşur. Delta robot modeli üst kolları hareket ettirmek için döner bağlantılar kullanmaktadır. Delta robot, uç efektörünü  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  koordinatlarında çevrilmektedir. Son efektör üçgeninin yan uzunluğu  $sP$ , alt kolların uzunluğu  $l$  iken üst kolların uzunluğu  $L$  olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.1) [29]. Delta robota ait mekanik malzeme boyutları Tablo 5.1’de verilmiştir. Delta robotun mekanik malzeme boyutları ABB firmasının IRB 360-3/1130 model robotun uzuv boyutları ele alınarak tasarım yapılmıştır.



Şekil 5.1 Temel delta robot prototipi [29]

Tablo 5.1 Temel delta robota ait mekanik malzeme boyutları [30]

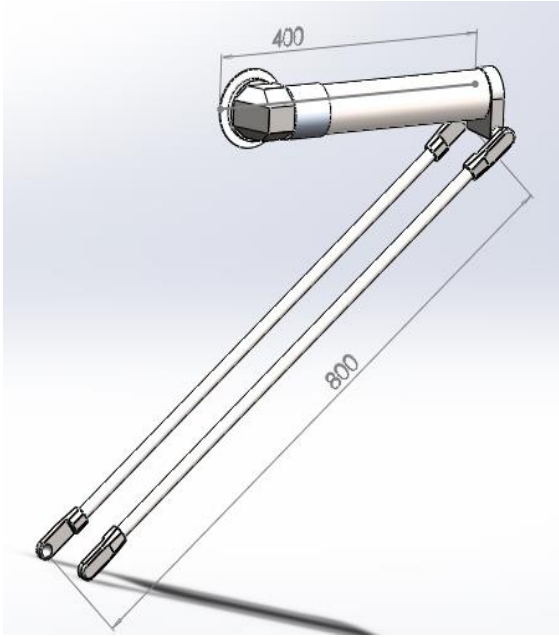
Tanım	Anlamı	Değer (mm)
$S_B$	Sabit Üçgen Kenarı	320
$S_P$	Tutucu Üçgen Kenarı	100
$L$	Pazı Kolu Uzunluğu	400
$l$	Paralel Kol Uzunluğu	800
$W_B$	Sabit üçgen için orta nokta ile yakın kenar arasında ki mesafe	93
$U_B$	Sabit üçgen için orta nokta ile köşe nokta arasında ki mesafe	185
$W_P$	Tutucu üçgen için orta nokta ile yakın kenar arasında ki mesafe	29
$S_P$	Tutucu üçgen için orta nokta ile köşe noktası arasında ki mesafe	58

### 5.1.2 SolidWorks ile Mekanik Tasarım

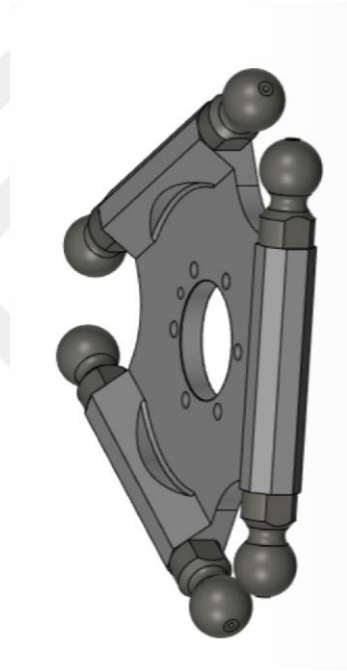
Delta robot da yer alan sabit üst üçgen platform ile alt hareketli platform küçük boyutlara, pazı kolu ile uzun kollar ise sağlanabilecek en ideal çalışma hacmini yakalamak amacıyla mümkün olan boyutlarda tasarımı gerçekleştirilmiştir. Eleman

boyutları boyutlandırılması esnasında motor torkundan daha fazla tork gerektirmeyecek şekilde boyutlandırılmıştır.

Paralel kolların uzunlukları Tablo 5.1’de gösterildiği gibi 800mm şeklinde ayarlanmış ve motor üzerinden bağlantılı kuvvet kollarının uzunlukları ise 400mm şeklindedir. Şekil 5.2 de paralel kollar ve pazı kolunun montajlanmış hali verilmektedir. Bu şekilde üç adet paralel kollar ve pazı kolu montajlanmış hali birleştirilerek Şekil 5.2’de verilen efektör uç yardımıyla birbirlerine bağlantısı gerçekleştirilmektedir. Yani altı adet paralel kolun bir ucu efektöre bağlı iken pazı kollar ise servo motorlardan aktarım güzü almaktadır.

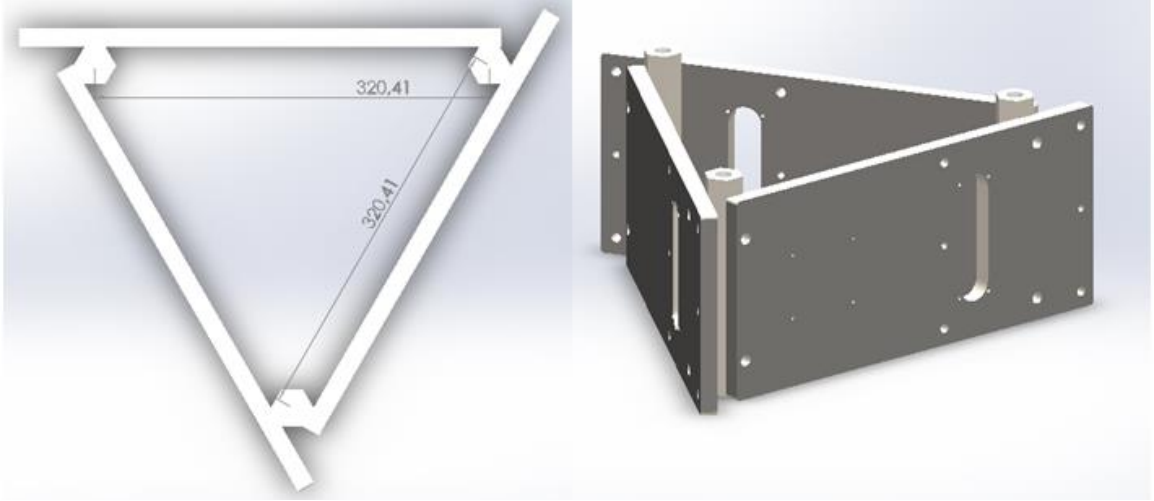


**Şekil 5.2** Pazı kolu ve paralel kollar



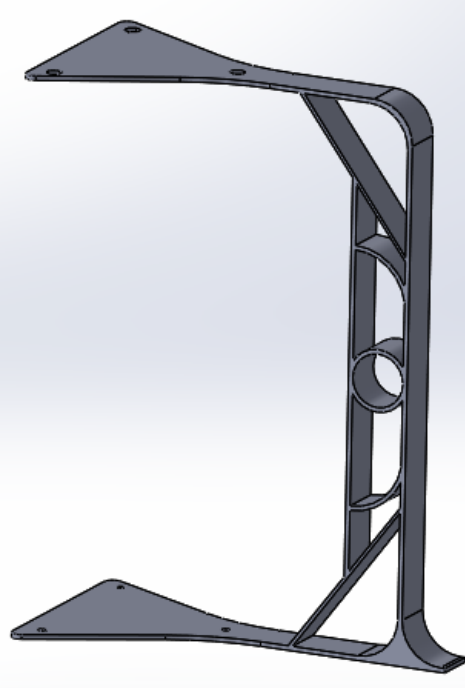
**Şekil 5.3** Efektör uç

Bir delta robotunda üç adet servo motor bulunmaktadır. Servo motorlar ile pazı kollarını aktarım olarak kullanarak efektör ucunun (Şekil 5.3) konum değiştirmesine olanak sağlamaktadır. Motorlar ise robot üzerinde destek plakaları (Şekil 5.4) yardımıyla sabitlenerek robot için ana iskeleti oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Tablo 5.1’de gösterildiği gibi sabit üçgen kenarı 320mm olarak verilmektedir. Destek plakalarının büyüklüğü delta robotun çalışma hacminin ortaya çıkarılmasında da önem taşımaktadır.

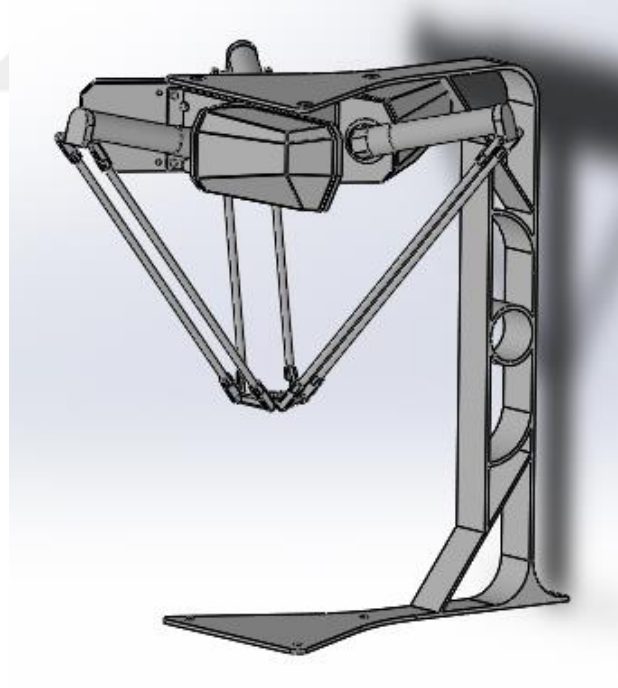


**Şekil 5.4** Destek plakaları a) üstten görünüm b)objektif görünüm

Oluşturulan delta robot askıda bulunup altından bant sistemi oluşturulması gerekmektedir. Bunun için Şekil 5.5'te gösterilen destek sehpası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.6' da ise destek sehpası ile delta robotun montajlanmış haline ait tasarıma yer verilmiştir.



**Şekil 5.5** Destek sehpası



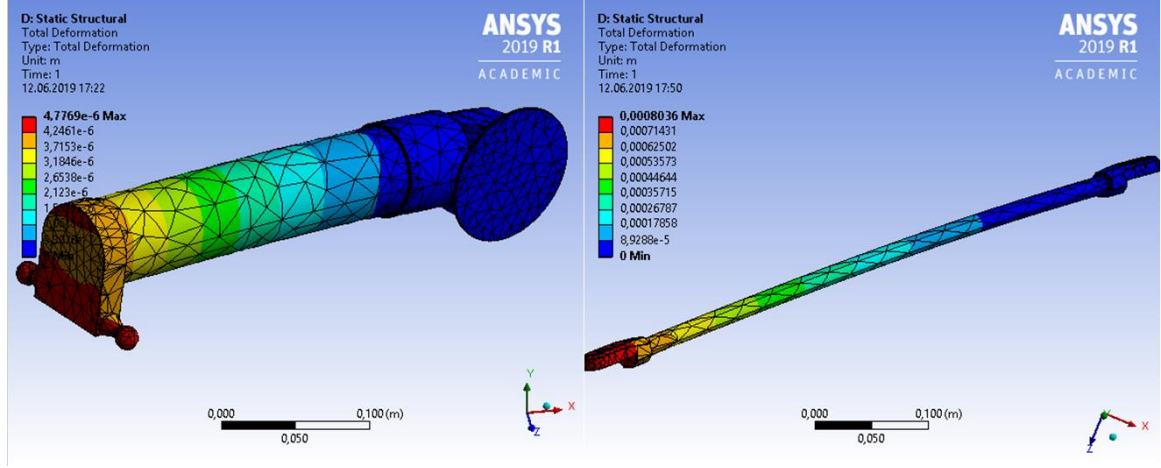
**Şekil 5.6** Delta robotun destek sehpası üzerindeki yerleşimi

### 5.1.3 ANSYS ile Malzeme Analizi

Mekanik tasarımda mafsallı noktalarının ve mafsallardan gelen kuvvetlerin belirlenmesi için kuvvet analizleri ANSYS programı ile yapılmıştır. ANSYS programında SOLIDWORKS programı yardımıyla gerçekleştirilen tasarım ve tasarım ölçüleri kullanılmıştır (Şekil 5.6).

Paralel robotlarda her eksenindeki tork sadece üst gövdenin ağırlığını değil aynı zamanda aktüatörlerin ağırlığını da desteklemeye ihtiyaç duyar. Bu nedenle, taban platformu belirli bir yere hareket ettiğinde, kademeli servo motorların başlangıçtaki konumdan diğer konuma statik stabilite için gereken minimum torku sağlaması gerekir. Eğer servo motorlar gerekli torku sağlayamazsa, robot dengesiz çalışır ve bitiş noktasına daha stabil bir yaklaşma sağlayamaz. Ayrıca, her bir paralel kolu basit bir statik model geliştirilerek uzama ve bükülme hesabı yapılır. Ek olarak, dişli tahrikleri için gerekli tork ve harmonikler ortalama tork kapasite sınırını aşmamalıdır. Harmonik dişli tahriki, servo motorlardan daha fazla torka mevcut olsa bile, maksimum 560 Nm tork kullanmasına izin verir. Harmonik dişlilere aşırı yüklenilirse, dişli tahrikinin artar ve dişli ömrü kısılacaktır. Bundan kaçınmak için, delta robotun, dişli tahriki için izin verilen maksimum tork kapasitesi dahilinde tutulmalıdır. Bu nedenle, hareketi desteklemek için gereken her kontrol eksenindeki maksimum tork 560 Nm ile sınırlandırılmıştır [31].

Servo motorlar üzerine fazla yük binmemesi açısından paralel kolların ve pazı kolların tasarımı ve imalatı hafif malzeme ile yapılmalıdır. Paralel kollar için alüminyum malzeme ile üretim yapıldığı düşünülerek ANSYS programında malzeme alüminyum olarak seçilmiştir. Kollar üzerine yapılan tasarımlar sonucunda paralel kolun tanesinin ağırlığı 479.4gr olarak ANSYS programı ile saptanmıştır. Aynı şekilde Şekil 5.7'de belirtilen pazı kolu için malzeme ağırlığı 1584.5 gr olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.7 Kollar için toplam deformasyon analizi a) pazı kolu, b) paralel kol

Tek bir pazı koluna binebilecek maksimum yük 4kg olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda pazı kolu için basınç dayanımı ve uzama miktarları Tablo 5.2’de, analiz değerleri ise Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.2 Kollar üzerine uygulanan kuvvetler

Uygulanan Yön	Pazı Kolu	Paralel Kol
X	0	20N
Y	40N	30N
Z	0	15N

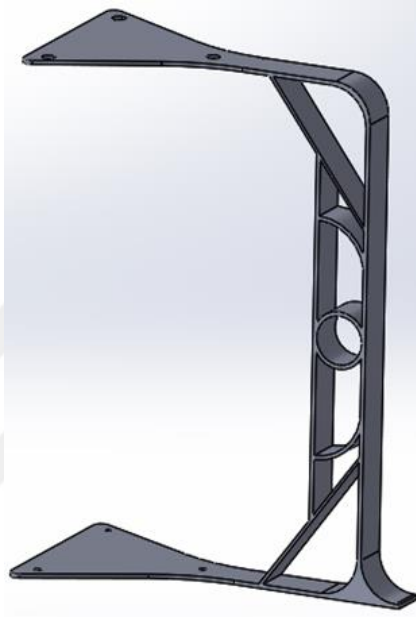
Tablo 5.3 Kollar üzerine uygulanan kuvvetlere ait ANSYS analiz değerleri

Pazı Kolu				Paralel Kol			
Basınç Dayanımı		Uzama Miktarı		Basınç Dayanımı		Uzama Miktarı	
Max (Pa)	Ort. (Pa)	Max (mm)	Ort. (mm)	Max (Pa)	Ort. (Pa)	Max (mm)	Ort. (mm)
$3,036 \times 10^6$	$1,739 \times 10^5$	$4.776 \times 10^{-3}$	$1.606 \times 10^{-3}$	$6,029 \times 10^6$	$7,077 \times 10^5$	0.8036	0.36788

Paralel kollar, pazı kollarına ve efektör malzemesine oynar başlıklı mafsallar ile bağlantılı olmasından yanı sabit bir noktaları bulunmamasından dolayı x, y ve z koordinat sisteminin üçünden de yük gelebilme ihtimali bulunmaktadır. Paralel kolun üç koordinat noktasından da Tablo 5.2’de ki gibi kuvvetler uygulanarak simülasyonu

gerçekleştirilmiştir. Simülasyonu gerçekleştirilen malzemenin görüntüsü Şekil 5.7’de, uzama miktarı ise Tablo 5.3’te verilmektedir. Tabloda ki çıkan sonuçlara göre uygulanan kuvvetler ışığında paçı kolunun ve paralel kolun dayanımı yüksek olduğu gözlenip kaldırma kapasitesinin robot için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

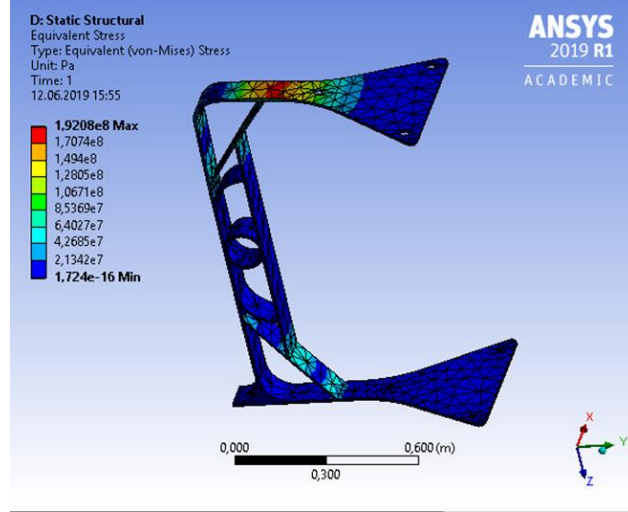
Delta robot için robot destek sehpaları da robotun sabit tutulup işlem yapılabilmesi açısından önem arz etmektedir. Şekil 5.8’de verilen resimde robot destek sehpası için tasarım yer almaktadır.



**Şekil 5.8** Robot destek sehpası

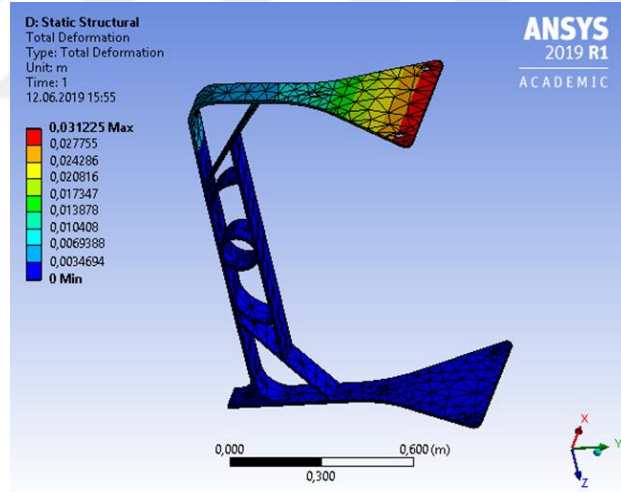
Robot destek sehpası olarak tasarlanan malzemelerin analizi ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımın her bir noktasına uygulanan eşit kuvvette analiz görüntüsü Şekil 5.9’da verilmektedir. Yapılan analizin sonuçları ise Tablo 5.5’te verilmektedir.





Şekil 5.9 Eşit yükte gerilme analizi

Robot destek sehpası için toplam aşınma analiz sonuçları Şekil 5.10'da verilmektedir. Bu verilen görüntülere göre kırmızı alanların azlığı sebebiyle tasarımın bükülme ve uzama miktarı uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10 Toplam deformasyon analizi

**Tablo 5.4** Destek sehpaası analiz değerleri

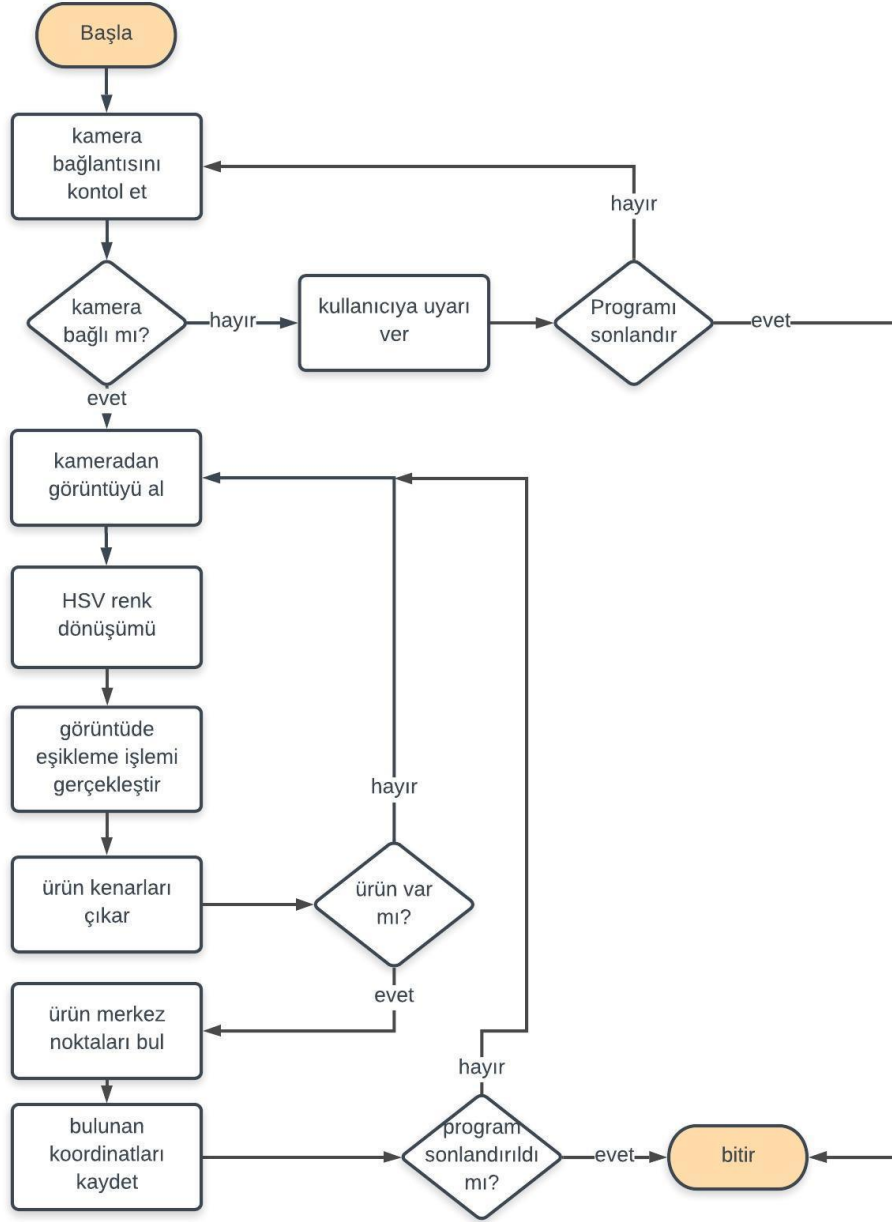
Destek		Sehpaası	
Basınç	Dayanımı	Uzama	Miktarı
Max(Pa)	Ort.(Pa)	Max(mm)	Ort.(mm)
1,9208e+008	1,4547e+007	31,225	4,581

Destek sehpaası malzeme cinsi paslanmaz demir olarak seçimi yapılmıştır. Şekil 5.10'te tasarımın ağırlığı 53,779 kg olarak hesaplanmaktadır. Çizimi gerçekleştirilen destek sehpaasına 'z' yönünde 1000N'luk kuvvet uygulanarak ANSYS programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Tablo 5.4'te tasarımı gerçekleştirilen destek sehpaasında uzama ve bükülme miktarları gözlemlenmiştir. Destek sehpaası tasarımında uzama miktarı maksimum 31,22mm olduğu hesaplanmış ve robot destek sehpaası olarak kullanılması uygun olduğu gözlemlenmiştir.

## 5.2 Yazılım

### 5.2.1 Görüntü İşleme

Bant üzerinden geçen tavuk parçalarının kamera ile görüntüsü alınarak, görüntünün işlenmesine ait akış şeması Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Kamera, tasarımı yapılacak delta robotun bant giriş bölgesine ve giriş bandındaki tüm ürünleri görecektir şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Görüntü işleme ile ilgili yazılım C++ üzerinde gerçekleştirilmiş olup OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen yazılım ile kameradan alınan görüntüler işlenerek, delta robotun parçaları toplayabilmesi için ürünlerin merkezleri bulunmuştur.



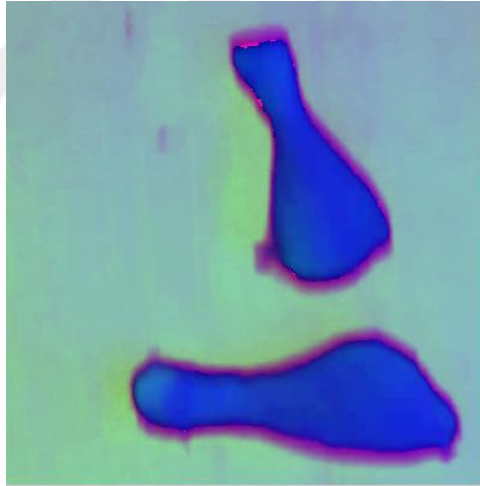
Şekil 5.11 Görüntü işleme iş akışı

- Hareketli konveyör üzerindeki tavuk baget parçalarının sınırlarının ve merkez noktalarının belirlenmesi için kamera yardımıyla görüntüsü alınmıştır (Şekil 5.12).



**Şekil 5.12** Kameradan alınan ilk görüntü

- Şekil 5.13’de RGB olarak görüntüsü alınan tavuk parçasının HSV renk uzayına dönüştürülmüş hali verilmektedir.



**Şekil 5.13** HSV uygulanmış görüntü

- HSV renk uzayı dönüşümüne tabi tutulmuş görüntüye eşikleme işlemi uygulanmıştır (Şekil 5.14). Bu sayede belirli eşik altında olan kısımlar siyah (0), üstünde olan kısımlar beyaz (1) olacak şekilde ikili(binary) görüntü elde edilmiştir



Şekil 5.14 Eşikleme işlemi uygulanmış görüntü.

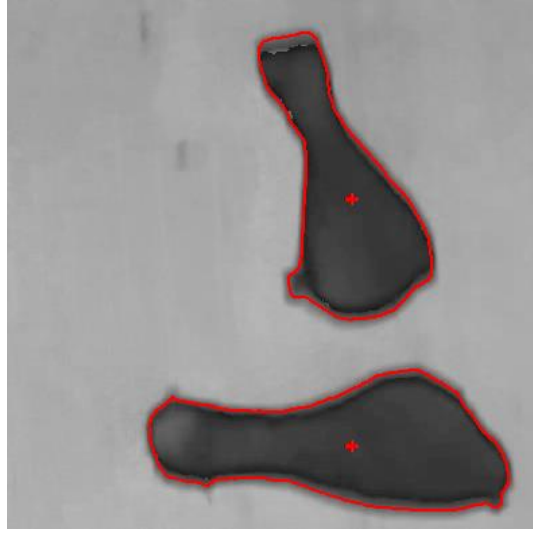
- İkili görüntüye ait kenarların belirgin şekilde tespit edilebilmesi için ilk olarak medianblur filtrelemesi uygulanarak görüntü üzerindeki gürültüler minimize edilmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 MedianBlur ve Erosion uygulanmış görüntü

- Kenar noktaları çıkarılan binary resmin orta noktasının bulunabilmesi için kenarları kesintisiz olarak kenar birleşiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için konturlar kullanılmaktadır. Konturlar görüntüde, aynı renk ve yoğunluğa sahip olan tüm kesintisiz pikselleri sınır boyunca birleştiren bir eğri olarak adlandırılabilir[32]. Kenar birleşimi sağlanan görüntüde yer alan resmi

tespit edip orta nokta OpenCV'nin moment fonksiyonu kullanılarak bulunmuştur (Şekil 5.16).



**Şekil 5.16** Orta noktaları bulunan son görüntü.

Görüntünün gerçek ortam koşullarında ki merkez koordinatlarının belirlenmesi için nesnenin yer aldığı noktanın boyutları bilinmesi gerekmektedir. Görüntüler kullanılırken 1200pixel x 1200 pixel boyutlarında görüntüler kullanılmış olup bu görüntüler 500mm x 500mm boyutlarında ki sahneden alınmıştır. Verilen sahne boyutları kullanılarak görüntünün piksel uzayından gerçek ölçü birim uzayına dönüşümü Denklem 5.1'de ki gibi,

$$|AB| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (5.1)$$

formüle edilir. Burada;  $|AB|$  A noktası ile B noktası arasındaki uzaklığı,  $x_1$  bulunan tavuk parçasının merkez noktasının koordinat sisteminde x yönünde uzaklığını,  $y_1$  bulunan tavuk parçasının merkez noktasının koordinat sisteminde y yönünde uzaklığını ifade eder.  $x_2$  ve  $y_2$  koordinat sisteminde görüntünün başlangıç noktasını ifade eder.

Buna göre 1 pikselin uzunluğu Denklem 5.2'de ki gibi hesaplanır. Nesnenin yer aldığı bölge referans olarak belirlenip, örnek bir sahne 50cm x 50 cm boyutlarında ele alınmıştır. Kameradan alınan görüntünün boyutları ise 1200x1200 piksel şeklindedir. Tespit edilen nesnelerin sahne üzerindeki koordinat sistemine olan uzaklıkları Denklem 5.2'de gibi tanımlanır.

$$P_{uzunluk} = \frac{sahne\sqrt{2}}{|AB|} \quad (5.2)$$

$$1 \text{ pikselin uzunlu\u011fu} = \frac{50\sqrt{2}}{\sqrt{(1200 - 0)^2 + (1200 - 0)^2}} = 0.041 \text{ cm}$$

Bulunan bir pikselin uzunlu\u011fu, görüntünün piksel uzaklığı ile \u00e7arpımı sonucunda görüntünün ger\u00e7ek koordinat sisteminde konumu hesaplanmış olmaktadır.

### 5.2.2 Matlab ile Robot Kinematığının \u00c7ıkarılması

Robotun t\u00fcm \u00e7alışma alanındaki hareketini g\u00f6rselleştirmek i\u00e7in MATLAB'da bir delta robot modeli oluşturulmuştur. Robotun fiziksel \u00f6zellikleri, delta robot tasarımına g\u00f6re ayarlanmıştır. Bu tasarıma g\u00f6re robotun \u00e7alışma noktalarını ve ulaşabileceği noktalar i\u00e7in fikir sahibi edinilmektedir. Matlab programı esnasında Matlab R2013a versiyonu kullanılmıştır.

Robot kinematığı \u00e7ıkarımı esnasında uzuv boyutları daha \u00f6nce Tablo 5.1'de belirtilmiş olan \u00f6l\u00e7\u00fclere g\u00f6re hesaplamalar yapılmaktadır. Tasarımı yapılan robotta, belirtilen koordinatlara hareket edilmesi istenmesinden dolayı genellikle ters kinematik denklemleri kullanılmaktadır.

```

y1=-f/(2*sqrt(3));
k=e/(2*sqrt(3));
y=y-k;
a=(x^2 + y^2 + z^2 + r_f^2 - r_e^2 - y1^2)/(2*z);
b=(y1-y)/z;

d=-(a+b*y1)^2+r_f*(b^2*r_f+r_f);
if(d<0)
    disp('konum sınırlar i\u00e7erisinde değil');
    s=1;
else
    yj = (y1 - a*b - sqrt(d))/(b^2 + 1);
    zj = a + b*yj;
    aci_teta = 180*atan(-zj/(y1 - yj))/pi;

    if (yj>y1)
        aci_teta=aci_teta+180;
    end
    s=0;
end
end

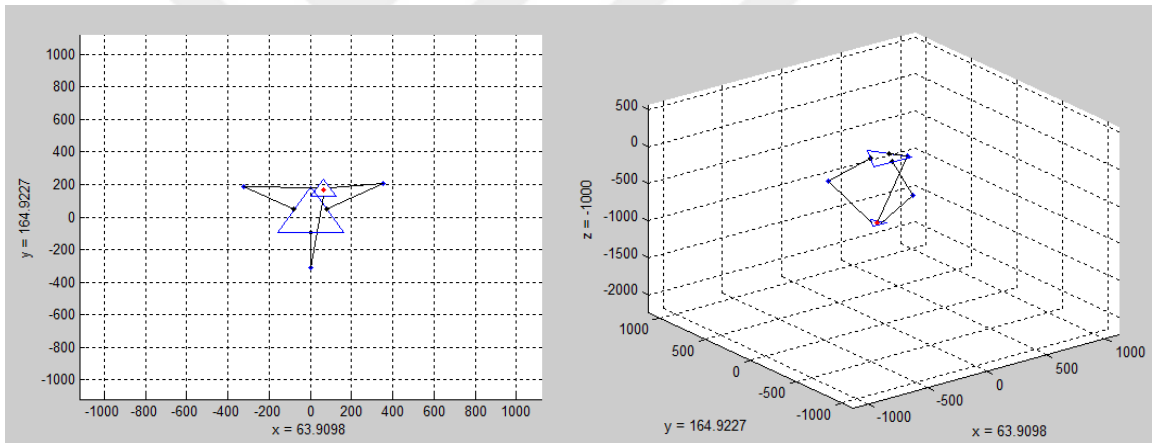
```

şekil 5.17 Ters kinematik programı

Kamera tarafından bulunan görüntü robot için ulaşamayacak bölgede ise delta robotun bu noktaya hareket etmesi kısıtlanmaktadır.

### 5.2.3 Delta Robotun Doğrulanması

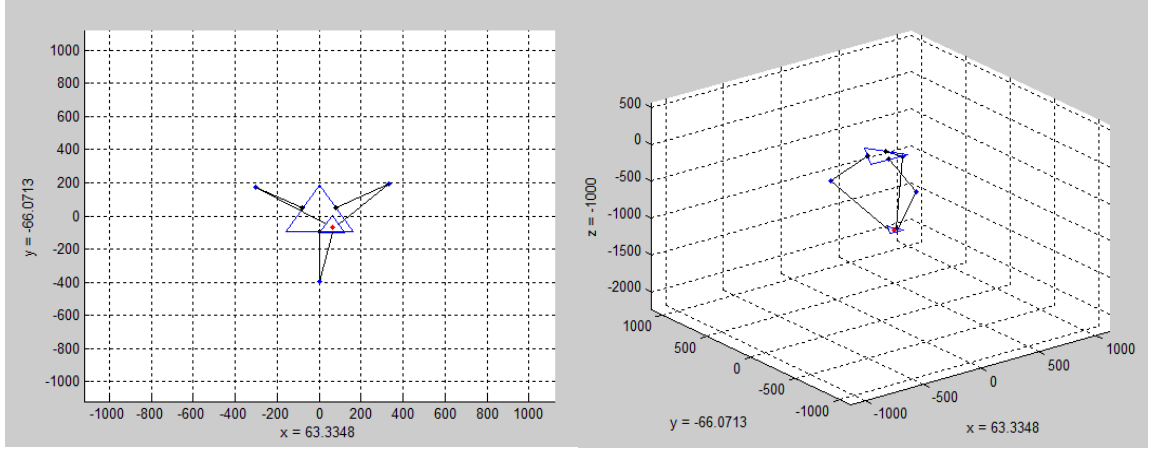
Delta robot için belirtilen uzuv boyutlarına göre orantısal olarak bir robot modeli Matlab'da oluşturulmuştur. Oluşturulan bu delta robotun hareket edeceği noktalar Şekil 5.16 sonucu elde edilen koordinatlara göre çalışmaktadır. Alınan görüntüde iki adet nesne bulunmuştur. Bu nesnelerin koordinatları görüntü işleme programından diziye atılarak robot kontrol tarafına çekilmektedir. Oluşturulan dizide  $x$ ,  $y$  ve  $z$  koordinatlarında sırasıyla nesnelerin bulunduğu noktaya hareket etmektedir. Tüm tavuk parçalarını dolaşmasından sonra robot tekrar başlangıç noktasına dönmektedir.



Şekil 5.18 Son efektörün birinci bagete yönelimi a) Alttan görünüm b) Perspektif görünüm

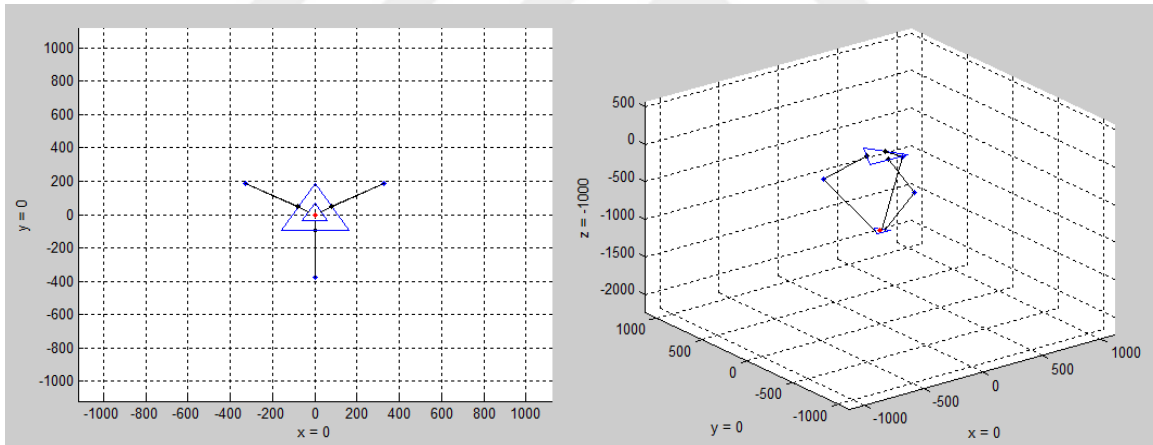
Delta robot modeline görüntü işlemeden gelen ilk baget parçasına ait koordinatlara ( $x$ : 63.9098mm,  $y$ :164.9227mm,  $z$ :-1000mm) göre delta robot modelin yönelimi Şekil 5.18'de verilmektedir.





**Şekil 5.19** Son efektörün ikinci bagete yönelimi a) Alttan görünüm b) Perspektif görünüm

Üç boyutlu koordinat sisteminde efektörün  $x$  yönünde 63.3348mm  $y$  yönünde 66.0713mm ve  $z$  yönünde -1000mm kadar yönelim yapılması istendiğinde bu değerler matlab simülasyonuna aktarılması sonucunda delta robotun son efektör konumu Şekil 5.19’de verilmektedir.



**Şekil 5.20** Son efektörün başlangıç noktasına a) Alttan görünüm b) Perspektif görünüm

Üç boyutlu koordinat sisteminde efektörün başlangıç noktasına geri yönelimi yapılması sağlanmıştır. Başlangıç noktası  $x$  yönünde 0 mm  $y$  yönünde 0 mm ve  $z$  yönünde -1000mm kadar yönelim yapılması sonucu oluşan delta robotun son efektör konumu Şekil 5.20’de verilmektedir.

Robotun gitmesi planlanan pozisyonun bir hareket planı ortaya çıkartılmıştır. Ters kinematik kullanarak, üst kolların açıları hesaplanabilir ve bu açılar ile elde edilen konum veya konumların doğruluğunu hesaplamak için Matlab ile denklem kullanılmaktadır. Bu

şekilde, istenen ve elde edilen pozisyonları karşılaştırarak sonuçların doğruluğunu göstermek mümkündür.

### 5.3 Donanım

#### 5.3.1 Servo Motor Seçimi

Herhangi bir robotik işlemin özündeki temel, kesin, doğru ve programlanabilir hareket kontrolüdür. Bu sorunun gerçekleştirildiği araç, Servo motorların ve Servo motor sürücülerin kullanılmasıdır.

Malzeme seçimi yapılırken motorun kaldırabileceği yükler, robotun dakika da ki adım miktarı hesaba alınarak servo motor, redüktör ve servo motora göre sürücü seçimi yapılmıştır. Robot ile al ve bırak yapabilmek için kaldırabileceği max yük 500gr şekline hesaba katılmıştır. Bu bağlam da 400 V AC besleme ile 2,37 momente sahip, maksimum akım taşıma kapasitesi 2.95A ve dakikada 6000 devire sahip servo motor seçimi yapılmıştır. Seçimi yapılan servo motorun genel görüntüsü Şekil 5.21’de gösterilmektedir. Motor seçimi yapılması esnasında robotta herhangi bir kayma olmaması açısından frenli olmasına dikkat edilmektedir.



Şekil 5.21 Servo motor görüntüsü [33]

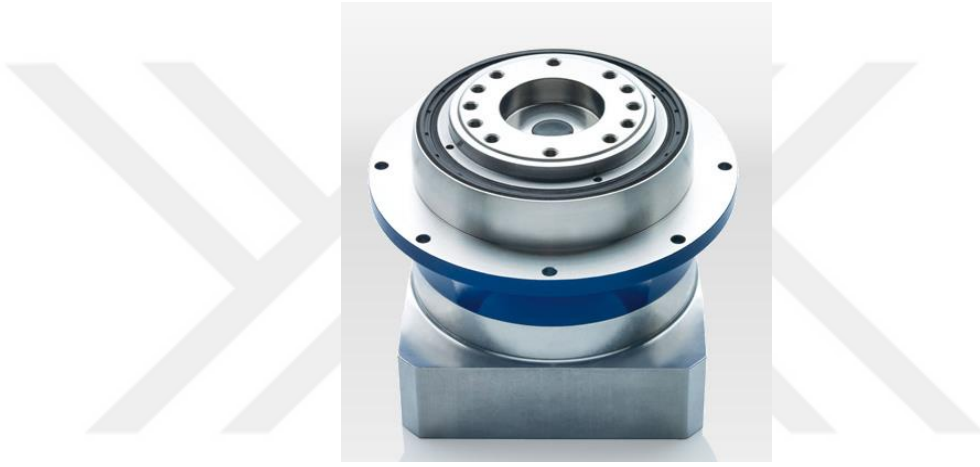
### 5.3.2 Redüktör Seçimi

Servo motor üzerine yüklerin direkt binmemesi için bir redüktör tipi seçilmektedir. Redüktör tipi seçimi esnasında çevrim oranı 31 olan dişli grubu seçimi yapılmıştır. Denklem 5.3'te redüktör çıkış devri hesaplama formülü verilmektedir.

$$\text{Redüktör Çıkış Devri} = \frac{\text{Redüktör Giriş Devri}}{\text{Çevrim Oranı}} \quad (5.3)$$

$$\text{Redüktör Çıkış Devri} = 6000/31$$

$$\text{Redüktör Çıkış Devri} = 193,54 \text{ dev/dak}$$



Şekil 5.22 Kullanılacak olan redüktör tipinin görüntüsü [34]

WITTENSTEIN marka  $TP^+$  modelleri yüksek torklu planet redüktörleri, yüksek dinamik uygulamalar için geliştirilmiş üniteler için standart bir versiyonudur (Şekil 5.22). Yüksek doğruluğu ve yerden tasarruf sağlayan tasarımı ile ayırt edici özelliklerdendir. Delta robot uygulamalarında bu sebeplerden dolayı tercih edilmektedir [34].

## 6 SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, hareketli bir konveyör bant üzerinden akan tavuk parçalarının kamera yardımıyla koordinatları belirlenerek paketlenmesinde kolaylık sağlayacak yeni bir delta robot tasarımı ve çalışma simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Robotun kinematiğinin hesaplanması, robot modelinin oluşturulması ve görüntü işleme adımlarından oluşmaktadır. Tasarlanan robotun hareket probleminde, robot ucunun son konumunu hesaplamak için kinematik çözümler kullanılmıştır. Kinematik hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler simülasyon ile doğrulanmıştır. Robot modeli SolidWorks ortamında tasarımı oluşturularak parça boyutları ile mekanik tasarımın birebir aynı olması sağlanmıştır.

Bilgisayara bağlı olan kamera ile bant üzerinden hareketli ürünleri yakalayıp bant üzerinden koordinat çıkarımı OpenCV Kütüphanesi kullanılarak C++ programlama dili ile yapılmıştır. Piksel olarak nesnenin merkez uzaklıkları bulunduktan sonra X-Y koordinat sisteminde milimetre cinsinden uzaklığı hesaplanmıştır.

Alternatif olarak, robotun çalışma alanındaki hareketini gözlemlemek için robotun MATLAB'da temsili oluşturulmuştur. Tasarımı yapılan delta robotun gerçekleştirilmesi için gerekli tüm analizler ve tasarım yapılmıştır. Gelecekte tasarımı yapılan delta robotun gerçekleştirilmesi ve beyaz et sektöründe kullanılması düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] **A. Zaatri, M. Giordano, Herfia.**, 2007, *Kinematics Analysis Of A Parallel Robot With A Passive Segment.*, *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*, s. 15.
- [2] **Rivas-Lalaleo, David Raimundo**, 2015, *Delta robot controlled by robotic operating.* June 2015, *Iteckne*, Cilt 1, s. 12.
- [3] **Kulaksız, Ahmet.** *Görüntü işleme destekli paralel robot kontrolü.* İstanbul : Marmara Üniversitesi, 2010.
- [4] **Bhagyashri P. Kulkarni, Monika A. Satpute, Prof. S.A.Soundattikar**, 2016, *Image processing and PLC based automated biscuit sorting system* , *Ijarse*, Cilt 5.
- [5] **Hong, Mok Juan.**, 2015, *Image Processing and PLC Based Conveyor Belt System for Industrial Automation and Control*, Malezya : University Technical Malaysia, Melaka.
- [6] **L. Angel, J. Bermúdez, O. Muñoz.**, 2013, *Dynamic Optimization and Building of a Parallel Delta-Type Robot.*, *International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Shenzhen, China.
- [7] **Chen-Yu Tzou, Min-Jie Hsu, Jing-Zhe Jian, Yi-Hsing Chien, Wei-Yen Wang, Chen-Chien Hsu.** 2016, *Mathematical Analysis and Practical Applications of a Serial-Parallel Robot with Delta-Like Architecture.* *International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)*, Cilt 2, s. 80-90.
- [8] **Doğan, Ersin**, 2010, *Delta Paralel Robot İleri Ve Ters Kinematik Hesaplamaları.* Eskişehir : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
- [9] **Chao-Shu Liu, Wei-Lun Chang, Chi-Hao Lin.** 5, 2015, *The Design of a Motion Control System for a Parallel Robot with Image Positioning .*, *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, s. 647-654.
- [10] **T La Anh, JB Song.** , 2012, *Robotic grasping based on efficient tracking and visual servoing using local feature descriptors.* : *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Cilt 3, s.l.
- [11] **Kaygusuz, Doğukan.**, *Endüstriyel Robotlar. Elektrik Port.* <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/endustriyel-robotlara-giris-1-bolum/15219#ad-image-0> .,[Çevrimiçi] 24 01 2019.

- [12] **Adıgüzel, Ömer Yasin.**, Endüstriyel Robotlar ve Programlama. *Mekatronik Mühendisliği*. <http://www.mekatronikmuhendisligi.com/endustriyel-robotlar-ve-programlama.html>., [Çevrimiçi] 24 01 2019.
- [13] **Gonzalez, Carlos.** [Alıntı Tarihi: 05 04 2019.], What's the Difference Between Industrial Robots? *New Equipment Digest*. <https://www.newequipment.com/industry-trends/what-s-difference-between-industrial-robots>., [Çevrimiçi] 12 11 2016.
- [14] **Staicu St., Carp-Ciocardia D. C.**, 2003, Dynamic analysis of Clavel's Delta Parallel Robot , International Conference on Robotics & Automation, Cilt 14, s. 4116-4121.
- [15] **Bingöl, Z.Küçük.**, 2005, *Robot Tekniği*. İstanbul : Birsen Yayınevi.
- [16] **Hristijan Gjoreski, Matjaz Gams**, 2011, *Activity/Posture Recognition using Wearable Sensors Placed on Different Body Locations..* Ljubljana.
- [17] <https://www.i2cdevlib.com/forums/topic/582-mpu6050-flip-orientation/>., I2Cdevlib Forums . [Çevrimiçi] 02 08 2017. [Alıntı Tarihi: 19 04 2018.]
- [18] <http://forums.trossenrobotics.com/tutorials/introduction-129/delta-robot-kinematics-3276/>., Delta Robot Kinematics. *Trossen Robotics Community*. [Çevrimiçi] 27 07 2009. [Alıntı Tarihi: 25 08 2019.]
- [19] **Zsombor-Murray, P.J.** , 2004, *Descriptive Geometric Kinematic Analysis of Clavel's "Delta" Robot*. McGill University, Montr'eal.
- [20] **C., Akhselim.**, [Alıntı Tarihi: 12 05 2019.], akhselim ajans. *RGB ve CMYK nedir?* <https://www.akhselimajans.com/2018/07/11/rgb-ve-cmyk-nedir/>, [Çevrimiçi] 06 09 2018.
- [21] **Ian T. Young, Jan J. Gerbrands.**, 2007, *Fundamentals of Image Processing* . s.l. : Delft University of Technology.
- [22] **K.Sinan YILDIRIM, Cenk İNCE.**, 2003, Görüntü İşleme. *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- [23] **Çayıroğlu, İbrahim.** Görüntü İşleme -Temel Kavramlar, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karabük .
- [24] **Sever, Merve.**, [Alıntı Tarihi: 05 05 2019.], Elektrik Port. <https://www.elektrikport.com/universite/sayisal-goruntu-islemede-kullanilan-renk-modelleri/21711#ad-image-0>., [Çevrimiçi] 8 10 2018.

- [25] <https://gerardnico.com/data/type/color/hsv.>, [Alıntı Tarihi: 13 05 2019.] , Color - (HSV|HSI|HSL) (Hue, Saturation) (Value|Intensity|Lightness) Color Space. *Gerardnico Color*. [Çevrimiçi] 13 09 2017.
- [26] **Minz, Sonajhaira.**, 2016, *Rough Sets in Data Mining and Spatial Computing.*, School of Computer & Systems Sciences, Jawaharlal Nehru University, New Delhi.
- [27] **AYDIN, ilhan.** İmage segmentasyon ., Fırat Üniversitesi, Elazığ .
- [28] **Kumar, Varun.**, [Alıntı Tarihi: 06 05 07.] <https://www.quora.com/What-is-openCV.> , [Çevrimiçi] 12 05 2018.
- [29] **Williams, Robert L.**, 2016, *The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions*, Mechanical Engineering, Ohio University, Ohio .
- [30] *Product specification - IRB 360.* s.l. : ABB, 2019.
- [31] **Wong, Edwart.**, 1998, *Use of a delta robot as a walking machine.* s.l. : University of Canterbury.
- [32] <http://mavienginberk.blogspot.com/2017/06/opencv-dersleri-ders18-kontur-part-1.html>. [Alıntı Tarihi: 15 05 2019.] kontur part-1. *mavienginberk*. [Çevrimiçi : 06 2017].
- [33]. AM8552 | Servomotor. *Beckhoff*. [Alıntı Tarihi: 25 05 2019.] [https://www.beckhoff.com/english.asp?drive\\_technology/am8552.htm](https://www.beckhoff.com/english.asp?drive_technology/am8552.htm). [Çevrimiçi] Beckhoff, 2019.
- [34] **Wittenstein.**, [Alıntı Tarihi: 28 05 2019.], TP+ Planetary gearboxes. *Wittenstein*. <https://alpha.wittenstein.de/en-en/products/servo-gearboxes/low-backlash-planetary-gearboxes/tp-planetary-gearboxes/>.

## ÖZGEÇMİŞ

### Adı Soyadı

Okan YILDIRIM

### Doğum Yeri ve Tarihi

Uşak / 21.07.1993

### Yabancı Dili

İngilizce

### İletişim (Telefon/e-posta) :

5369124030 / okanyildirim.64@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

#### Lise :

Eşme Endüstri Meslek Lisesi Bilgisayar Donanım Bölümü(2006-2010)

#### Lisans

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği (2010-2015)

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği (2012-2015)

#### Yüksek Lisans

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yazılım Mühendisliği (2016-2019)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Gedik Tavukçuluk ve Tarım Ürünleri AŞ. (2015 - )

Bakım Onarım ve Otomasyon Sorumlusu

### Yayımları (SCI ve diğer)

2018 ICONDATA/Yalova - Paralel tip delta robot manipülatörünün tasarlanması

2018 ICONDATA/Yalova - Görüntü işleme ile ürün koordinatları belirleme