

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ESNEK ALGILAYICI KONTROLLÜ 3 PARMAKLI KAVRAYICI**  
**ROBOT EL TASARIMI VE UYGULAMASI**

**REŞAT COŞKUN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**  
**2017**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ESNEK ALGILAYICI KONTROLLÜ 3**  
**PARMAKLI KAVRAYICI ROBOT EL TASARIMI**  
**VE UYGULAMASI**

**REŞAT COŞKUN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI**  
**PROF. DR. ERKAN ZERGEROĞLU**

**GEBZE**  
**2017**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**FLEXIBLE SENSOR CONTROLLED 3  
FINGERED GRIPPER ROBOTIC HAND DESIGN  
AND APPLICATION**

**REŞAT COŞKUN**  
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR**  
**PROF. DR. ERKAN ZERGEROĞLU**

**GEBZE**  
**2017**



## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/01/2017 tarih ve 2017/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 08/05/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Reşat COŞKUN'un tez çalışması Elektronik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Prof. Dr. Erkan ZERGEROĞLU

ÜYE

:Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE

:Doç. Dr. Janset DAŞDEMİR

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

### İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU  
Gebze Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

Robot teknolojisinde, uç elemanlarının kullanım alanları oldukça geniştir. Belirli bir işi yapması için üretilen uç elemanları olduğu gibi, genel kullanım amaçlı üretilen, birçok farklı işin yapılabilmesine olanak sağlayan, üniversal uç elemanları da bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, kontrol eldiveniyle yönetilen 3 parmaklı kavrayıcı el robotunun tasarlanması ve üretilmesi üzerinde durulmuştur.

Teze konu olan projedeki, kontrol eldiveniyle yönetilen kavrayıcı el robotu; insan elinden elde edilen hareketi esnek algılayıcılar yardımıyla taklit ederek cisimleri kavramaya çalışır. Robotun bu fonksiyonu, 5 parmaklı insan elinden eli ve bilek hareketinden elde edilen hareket verilerinin, insan elinden farklı bir tasarımda taklit edilebilmesini gerektirir. Böylece bu çalışma, insan elindeki hareket sistemlerinin ürettiği kavrayıcı etkiyi, farklı bir hareket sistemiyle yakalamayı hedefleyen bir yaklaşım sunmaktadır. Tez çalışması için üretilen kavrayıcı el robotunun kuvvet parmağına abduksiyon ve adüksiyon hareketi insan elinde olduğu gibi taklit edilmiş ve 3 parmaklı bir yapıda bu hareketlerin farklı geometri nesnelere üzerindeki kavramaya olan etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak tezin amacı, insan elinden gelen hareket verilerinin, farklı bir tasarıma aktarılmasına yönelik bir yaklaşım sunmak ve insan elinden farklı bir tasarımla insan elinin kavrama kabiliyetinin ne derece yakalanabildiğine dair veriler üretmektir.

Endüstriyel alanlarda kullanılan kavrayıcı el robotları, programlandıkları şekilde tekrarlanan tanımlı hareketleri yapmaktadır. Çalışmaya konu olan kavrayıcı el robotu insan elinin kavrayıcı hareketinden gelen verilerin okunması ve farklı bir tasarımda taklit edilebilmesi ile rastgele belirlenen görevlerde, insan sağlığına uygun olmayan çalışma koşullarında ve insan eli becerisinin kullanılması gerektiren uygulamalarda kendine kullanım alanı bulabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Esnek algılayıcılar, 3 parmaklı kavrayıcı, tendon.

## SUMMARY

End effectors are found widely area of utilization in robotic applications. As well as, there are end effectors to be use for performing certain task, universal effectors are also used for grasping most kind of object. In this thesis study, designing and manufacturing three-fingered gripper robot hand manipulated by control glove are discussed.

Three fingered gripper robot hand can grasp different shape of object with using human hand gestures. This function requires imitation five finger and wrist gesture of human hand. Flex sensors are used for interpreting data of hand gesture movements. So, this study shows an approach to emulation of gripping ability of human hand with different hand structure.

Adduction and abduction of thumb are functioned one to one in imitation process. Thus, gripping effect of this function can be investigated over different geometrical objects.

This thesis aims that shows an approach to interpret human hand gestures in different hand structure and this approach produced data on the grasping capability of human hand with a different design than human hand.

Industrial end effectors are generally manipulated recursive pre-defined movement according its softwired. 3 fingered gripper robot hand can find usage area for inappropriate for human health enviroments and random defined tasks.

**Key words: Flex sensors, 3 fingered gripper, tendon.**

## TEŐEKKÖR

Başta, yÖksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiğbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu alıŐmanın oluŐmasının yolunu açan danıŐmanım Prof. Dr. Erkan ZERGEROğLU'na

ve gÖstermiŐ olduğu desteklerinden ve her zaman yanımda olan aileme en içten teŐekkÖrlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Tezin Yapısı	2
1.3. Çalışma Öncesi Öngörülen Yaklaşımlar	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Robot Kavrayıcılar	6
2.2. El Hareketli Kontrol Sistemleri	9
3. METODOLOJİ	15
3.1. Genel Bakış	15
3.2. Mekanik Tasarım	17
3.2.1. Limit Noktalar	17
3.2.2. Parmak Tasarımı	18
3.2.3. Parmak alt eklemi	19
3.2.4. Avuç içi tasarımı	20
3.2.5. Servo Yerleşimi	21
3.2.6. Tendon Yerleşimi ve Çalışma Şekli	22
3.3. Kavrayıcı Robot El Kontrol Devresi	24
3.3.1. Kontrol Kartı	24
3.3.2. Esnek Algılayıcılar	25
3.3.3. Servo Motor	26
3.3.4. Esnek Algılayıcı Servo Motor Kontrol Devresi	27
3.4. Yazılım Algoritması	28

3.5. Gerçek Zamanlı Sanal Prototip Simülasyonu	31
4. SON TASARIM EVRESİ	36
4.1 Karşılaşılan Problemler ve Çözümler	36
5. DENEYLER ve ANALİZ	39
5.1. Esnek Algılayıcı Değerlerinin Ölçümü	39
5.2. Farklı Geometrilik Cisimler Üzerinde Kavrama Testi	46
6. SONUÇLAR	50
6.1. Genel Çıktılar ve Değerlendirmeler	50
6.2. Gelecek Geliştirmeler	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	57
EKLER	58

# SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

## Simgeler ve Açıklamalar

### Kisaltmalar

CMC	:	Carpometacarpal
DIP	:	Distal Phalanges
IP	:	Intermediate Phalanges
MCP	:	Metacarpals Phalanges
PIP	:	Proximal Phalanges
PWM	:	Pulse Width Modulation
WR	:	Wrist

# ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
1.1:	RTR Hand Kavrayıcı el prototipleri. 7
1.2:	Barret Hand Aktüatör sistem yapısı. 8
1.3:	Robotiğ kavrayıcı el eklem yapısı ve çalışma alanı. 8
1.4:	Veri Eldivenlerinin Karakteristik Sınıflandırması. 11
1.5:	Eldiven Tabanlı sistemler. 12
1.6:	Farklı Eldiven Sistemlerinin Karşılaştırması. 13
2.1:	Kavrayıcı el parmak üst eklemi. 18
2.2:	Kavrayıcı el parmak alt eklemi. 19
2.3:	Kavrayıcı el parmak içi yapısı. 20
2.4:	Kavrayıcı el parmak dönel hareket yapısı. 21
2.5:	Kavrayıcı el parmak dönel hareket yapısı. 21
2.6:	Kavrayıcı el parmak tendon makara sistemi. 22
2.7:	Parmak eklem açma tendonu makara sarılım yönü. 23
2.8:	Parmak eklem kapama tendonu makara sarılım yönü. 23
2.9:	Kavrayıcı Robot el Kontrol Devresi. 27
2.10:	Kavrayıcı Robot el yazılım algoritma akış diagramı. 30
2.11:	Sanal Prototip Simülasyonu motor yerleşimleri. 31
2.12:	Sanal prototip Simülasyon algoritması akış diagramı. 32
2.13:	Sanal prototip Simülasyon Labview blok Diagramı. 34
3.1:	Burkulma Hareketi için eklenen servo motorlar. 37
3.2:	3 Parmaklı Kavrayıcı Robot El Son Tasarımı. 38
4.1:	Parmak 1 Burkulma hareketi. 41
4.2:	Parmak 2 Burkulma hareketi. 42
4.3:	Parmak 3 Burkulma hareketi. 43
4.4:	Parmak 3 Dönel hareket. 44
4.5:	Parmak 1 ve Parmak 2 Dönel hareket. 45
4.6:	Silindirik Cismin Kanca Hareketiyle Kavranması. 47

4.7:	Farklı Ağırlıklardaki Silindirik Cisimlerin Kanca Hareketiyle yük altında Kavranması.	47
4.8:	Diktörge Cismin Farklı Noktalardan Kavranması.	48
4.9:	Küresel Kavranma Hareketi.	49
4.10:	Adüksiyon Halindeki Başparmak ile Amorf Yapıdaki Cismin Kavranması.	50

## TABLolar DİZİNİ

<b><u>Tablo No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1: Arduino Teknik Özellikleri.	24
4.1: Başparmak Eklemleri Bükülme Dereceleri.	40
4.2: İşaret Parmağı Eklemleri Bükülme Dereceleri.	40
4.3: Orta Parmak Eklemleri Bükülme Dereceleri.	40
4.4: Bilek Eklemi Bükülme Derecesi.	40
4.5: İşaret Parmağını Algılayıcı Ölçümleri.	41
4.6: Orta Parmağını Algılayıcı Ölçümleri.	42
4.7: Başparmak Algılayıcı Ölçümleri.	43
4.8: Başparmak Adüksiyon Algılayıcı Ölçümleri.	44
4.9: Bilek eklemi Algılayıcı Ölçümleri.	45

# 1.GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Robotlar günümüz teknolojisinde endüstriyel alanlarda özellikle otomotiv endüstrisinde birçok farklı işlerde kendine kullanım alanı bulmuştur. Bunların çoğu önceden programlanmış veya bir operatör tarafından kontrol edilen manipülatörlerdir. Manipülatörler kadar yapacağı görev tanımına göre kullanılan uç elemanları da büyük önem taşımaktadır.

Kavrayıcı robot ellerin yapabildikleri hareket çeşitleri, mekanik yapılarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada; 3 parmaklı kavrayıcı robot elin tasarlanacaktır. Kavrayıcı el prototipi, esnek algılayıcılar vasıtasıyla bir kontrol eldiveniyle kontrol edilecektir.

İnsan eli birçok farklı işi yerine getirebilecek bir yapıya sahiptir. İnsan elinin fonksiyonlarının büyük bir bölümünü yerine getirmesine sağlayan yapı, konumu ve hareket kabiliyetiyle başparmak yani kuvvet parmağıdır. Başparmak insan elinde, temel olarak burkulma ve dönel hareketi yapabilmektedir. Bu parmağı diğerlerinden ayrılan belirgin özelliği ise dönel hareketi daha fazla gerçekleştirebilmesidir. Bu tanımla, insan elinin yerine kullanılan robotik uç elemanlarında da kuvvet parmağının, kavrama kabiliyetine olan etkisi büyüktür.

3 parmaklı kavrayıcı ellerde, genellikle dönel hareket 2 parmak tarafından gerçekleştirilmekte ve parmakların hepsi burkulma hareketini yapabilmektedir. Bu tip tasarlanan kavrayıcı ellerde, dönel hareketi gerçekleştiremeyen parmak, kuvvet parmağı yani insan elindeki başparmağa karşılık gelmektedir. Bu çalışmada ise 3 parmaklı kavrayıcı elin kuvvet parmağına, insan elinde olduğu gibi dönel hareket kabiliyeti kazandırılması amaçlanmıştır.

Tez çalışması sonucunda, bu yapıda tasarlanan kavrayıcı robot el ile hangi temel hareketlere ulaşıldığı ve kuvvet parmağının dönel hareketinin farklı geometrideki cisimler üzerindeki kavramaya olan etkisi çalışmanın asıl amacıdır.

Kuvvet parmağının dönel hareketi ise insan elindeki başparmağın üzerine yerleştirilen esnek algılayıcı ile hareketin birebir insan elindeki gibi taklit edilmesi sağlanmıştır.

Kavrayıcı el prototipi tamamlandıktan sonra, farklı geometrilere cisimler üzerinde kavrama işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kavrama işlemlerinde dönel hareket kabiliyetine sahip olan kuvvet parmağının amorf yapıdaki cisimlerin daha kolay kavranabildiği ve aynı cismin farklı temas noktalarından kavranabildiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda üretilen kavrayıcı el prototipinde, kuvvet parmağına abduksiyon ve aduksiyon hareketleri taklit ettirilerek bu parmağın konumuna göre diğer parmaklar kuvvet parmağına dönüşebilmektedir.

## 1.2 Tezin Yapısı

Tezin yapısı 5 temel bölümden oluşmaktadır.

Tezin birinci bölümünde, tez konusuna neden olan çalışmanın ve çalışmanın genel hatlarıyla birlikte motivasyon çalışmanın amacı belirtilmiştir. Çalışma sonucu ortaya çıkacak olan kavrayıcı el prototipinin tasarımında ve üretiminde karşılaşılabilecek sorunlar ve çalışmanın başarıya ulaşması için izlenebilecek yaklaşımlar belirtilmiştir. Bununla birlikte bu bölümde, tez çalışmasına benzer yapıdaki yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde ise, teze konu olan projenin başarıya ulaşması için belirlenen genel yaklaşımdan bahsedilmiştir. Yapılan genel yaklaşımlar, üretilen prototipi oluşturan temel bileşenler; mekanik, elektronik, yazılım olarak sınıflandırılmıştır. Kavrayıcı el prototipinin tasarım öncesi, tasarım süreci ve üretim süreci bu bileşenler altında detaylandırılarak, tezin amacına yönelik nasıl kurgulandıkları üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, üretilen prototipin gerçekleştirilme sürecinde karşılaşılan problemler, oluşan problemlerin muhtemel nedenleri ve bu problemlerin çözümüne yönelik yapılan değişikliklerden bahsedilmiştir. Yapılan bu değişikliklerin, tasarımın genel yapısında oluşturduğu etkiler, hedeflenen prototipe karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde ise prototipin tasarımı ve üretimi sırasında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler ve oluşturulan prototip ile yapılmış elde edilen deneysel verilerin grafikleri birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca kavrayıcı robot elin, farklı geometrilere cisimler üzerindeki kavrama hareketleri, başarılı ve başarısız olunan kavrama hareketleri bu bölümde açıklanmıştır. Başarıya ulaşamayan kavrama hareketlerinin nedenleri de bu bölümde bahsedilmiştir.

Son bölümü olan sonuç bölümünde ise tasarlanan ve üretilen kavrayıcı el prototipiyle yapılan kavrama testleri irdelenerek ulaşılan olumlu ve olumsuz sonuçlar detaylandırılmıştır. Çalışma sırasında karşılaşılan problemler ve bunların çözümüne dair tavsiyeler, yapılabilecek muhtemel geliştirmeler bahsedilmiştir.

### 1.3 Çalışma Öncesi Öngörülen Yaklaşımlar

Kontrol eldiveniyle eş zamanlı kontrol edilen 3 parmaklı kavrayıcı el robotu prototipinin tasarlanması ve tasarlanan yapının istenilen şekilde kontrol edilebilmesi için çalışma öncesi çözümcü yaklaşımlar geliştirilmesi gereken konular bu bölümde incelenmiştir.

Kavrayıcı el prototipinin kontrolü için bir kontrol eldiveni tasarlanması gerekmektedir. Giyilebilir teknolojiler incelendiğinde IMU, optik, kimyasal, esnek, ısı gibi birçok algılayıcı grubunun kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada tasarlanacak olan kontrol eldiveni, harekete bağlı veri üretmesi gerektiğinden esnek algılayıcı grubundan bükülme katsayısına göre direncinde değişkenlik gösteren esnek algılayıcı kullanılması iyi bir tercih olacağı düşünülmüştür. Esnek algılayıcıların yorulma katsayılarının yüksek olması, birçok kez tekrarlanacak olan kontrol işlemi içinde kullanımını avantajlı kılmaktadır. Bu algılayıcıları kullanırken ise dikkat edilmesi gereken çabuk kırılmalarıdır.

Üzerinde durulması gereken bir diğer konu ise esnek algılayıcıların, kontrol eldiveni üzerindeki yerleşimleridir. Kavrayıcı robot eldeki parmakların burkulma hareketlerinin birbirinden bağımsız olarak yapması gerekmektedir. Burkulma hareketleri için başparmak, işaret parmağı ve orta parmağın kullanılması ve esnek algılayıcıların bu parmakların burkulma yüzeylerine yerleştirilmesi birbirinden bağımsız olarak gerçekleşmesi gereken bu hareketler için yeterli olmaktadır. Fakat kavrayıcı el prototipinde parmakların dönel hareketi için başparmak hariç bu parmaklar insan elinde dönel hareketi tam olarak gerçekleştirememektedir. Ayrıca işaret parmağı ve orta parmak için, parmaklar üzerinde algılayıcıların bükülme işlemini gerçekleştirebilecek net bir konum bulunmamaktadır. Hal böyleyken kavrayıcı elin parmaklarında dönel hareketin el üzerinde tanımlanan farklı bir harekete göre tanımlanması gerekmektedir. Senkronize olarak birbirlerine zıt yönde hareket etmesi amaçlanan bu parmakların kontrolü

için bilek hareketi kullanılması uygun olacaktır. Bilek hareketinin bu parmakların dönel hareketi için seçilmenin bir diğer nedeni, kullanılan parmakların hareketlerinden etkilenmemesi ve hareketi gerçekleştğinde kullanılan parmaklarda herhangi bir hareketi tetiklememesidir. Yani bilek hareketi parmaklardan bağımsız olarak tanımlanabilmektedir. Bu durumda bir hareket gerçekleştirilirken diğer algılayıcılar hareketten etkilenmeyerek, kavrayıcı robot elin daha stabil çalışması sağlanabilecektir. Kontrol eldiveninin bu şekilde tasarlanmasının dezavantajı ise başparmak ve ortaparmağın dönel hareketini birebir taklit edememesidir. Burada yapılan hareketin taklidi, insan elinde yapılan farklı bir hareketin kavrayıcı robot el üzerinde farklı bir hareketin kontrolü için kullanılmasıdır.

Kavrayıcı el prototipinin yapımında kurgulanması gereken yaklaşımların bir diğeri ise mekanik olanlardır.

İnsan elinde parmakların hareketi tendonların fleksör kaslar tarafından çekilmesiyle yapılmaktadır. İnsan elinde bulunan bu tendon sistemi, daha az çekici kuvvet kaynağı ile daha fazla hareketin yapılmasını sağlamaktadır. Buradan tendonların çalışma prensibi örneklenerek kavrayıcı elin hareketleri, temelde aynı prensiple tasarlanarak bir uyarıcı ile farklı pozisyonel konumlar yakalanabilecektir.

Kavrayıcı robot elin parmaklarının burkulma hareketini açma-kapama olarak tanımlayabiliriz. Tanımlanan her bir hareket için insan elinde olduğu gibi bir adet tendon kullanmak mantıklı bir yaklaşım olacaktır. Burkulma hareketinde açma-kapama işlemi birbirlerine zıt yönde gerçekleşen hareketlerdir. O halde tendon yerleşimleri birbirlerine göre ters olarak yapılmalıdır. Böylece eklemler üzerinde birbirine göre ters olarak yerleştirilen tendonlar, aynı yönden tahrik edilseler bile birbirlerine göre zıt yönlerde hareket sağlayabilirler. Kavrayıcı el prototipinin dönel hareketi için ise tendon içeren bir sistem kullanmaya gerek yoktur. Çünkü yapılacak dönel hareket tek eklemler üzerinden gerçekleştirilecektir. Böyle bir durumda ise dönel hareketi sağlayan eklemlerin, direk motorlar üzerinden uyarılması daha uygun bir yaklaşım olacaktır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde teze konu olan projeye ilişkin önceden yapılmış çalışmalar, bu çalışmaların sonuçlarıyla birlikte yorumlamalarına yer verilmiştir.

Robotikte, kavrayıcı el mekanizmalarının birçok çeşidi bulunmaktadır. Kavrayıcı el mekanizmaları, yapacakları iş tanımlarına ve mekanik yapılarına göre sınıflandırılmaktadır. Spesifik bir iş için tanımlanabilecek kavrayıcılar olduğu gibi çok farklı genel amaç için kullanılan kavrayıcı mekanizma ve yapıları da mevcuttur. Literatür taramasının ilk bölümünde kavrayıcı el mekanizmalarına genel bir bakış sunularak daha önce yapılan çalışmalara ve kısaca bu çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir.

Literatür taraması için incelenen bir diğer başlık ise el mimik kontrol sistemleridir. Robotik uygulamalarının her alanında el mimikli kontrol sistemleri kullanılabilir fakat genel kullanım amacı, insan elinin hareketlerini taklit ederek kendisiyle aynı yapıda olan bir biyonik el veya farklı bir mekanik yapıdaki kavrayıcı el mekanizmasının kontrol edilmesidir. Literatür taramasının bu bölümünde el mimik kontrol sistemlerinde kullanılan elemanlar ve el mimik kontrol sistemlerinin sınıflandırılmasına yer verilmiştir.

Literatür taramasında son olarak teze konu olan projedeki kullanılan yöntemler ve önceki çalışmalar farklı yönlerden incelenerek yakın tarihteki çalışmalara ve sonuçlarına ve yorumlamalarına yer verilmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan kavrayıcı el robotunun mekanik yapısı ve insan elinin yapısı birbirinden farklıdır. Bu durumda kavrayıcı el robotunun parmak sayısı, parmaklardaki eklem sayısı insan elinin hareket yapısına yapılan tasarımın izin verdiği ölçülerde mümkün olabilecek en yakın şekilde uyarlanmaya çalışılmıştır.

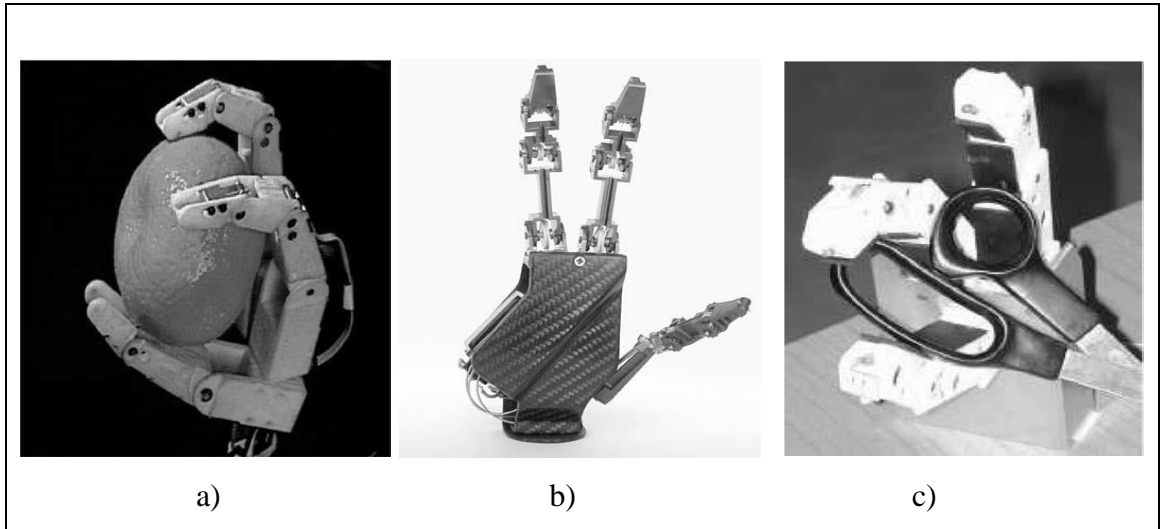
Literatür çalışmasının bu bölümünde, tez çalışması için tasarımı ve üretimi yapılacak olan özellikle 3 parmaklı ve tendon sistemiyle çalışan kavrayıcı el robotları incelenmiştir.

Robot el çalışmalarının ilki ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır. Yapabildikleri iş itibariyle gelişimleri göz önüne alındığında çalışmaların 1980'lerin başında başladığını söyleyebiliriz. Yapılan bu çalışmalardan en çok bilinenleri UTAH/MIT ve Salisbury Hand prototipleridir. Bu prototiplerin yapılması için kullanılan mekanik tasarımları, kinematik ve kontrol yöntemleri gelecek çalışmalar için bir kaynak oluşturmuştur.

UTAH/MIT hand prototipi insansı yapıyla, makara tendon sistemi kullanılan 4 parmaklı bir yapıya sahiptir. UTAH/MIT Hand prototipi, bilek dahil 25'in üzerinde derece serberstisine sahiptir. Genel kullanımlara çok uygun olmamakla birlikte, yapılabilecek araştırma çalışmalarına ve deney amaçlı kullanımlara uygun bir platformdur [1].

Antropomorfik olmayan ilk yapılan çalışmalara ise örnek olarak Salisbury Hand prototipini gösterebiliriz. Her parmağında 3 serbestlik derecesi bulunan Salisbury Hand 3 parmaklı yapısıyla küresel cisimler üzerindeki kavrama kabiliyetini yüksek olarak nitelendirebiliriz [2].

RTR 1 hand prototipi 3 parmaklı yapıya sahip olup FDM tekniği kullanılarak ABS ile üretilmiş tam hareketlendirilmiş bir kavrayıcıdır. Daha sonra hareketli makara sistemi kullanılarak RTR 2 hand versiyonu geliştirilmiştir. RTR 2 hand protez çalışması olarak yapılan ilk girişim özelliğini de taşımaktadır. Bir sonraki geliştirmesi yapılan Spring hand olarak da bilinen RTR 3 hand prototipinde ise yumuşak kavrayıcı yapılı farklı bir hareketlendirme sistemi kullanılmıştır [3].

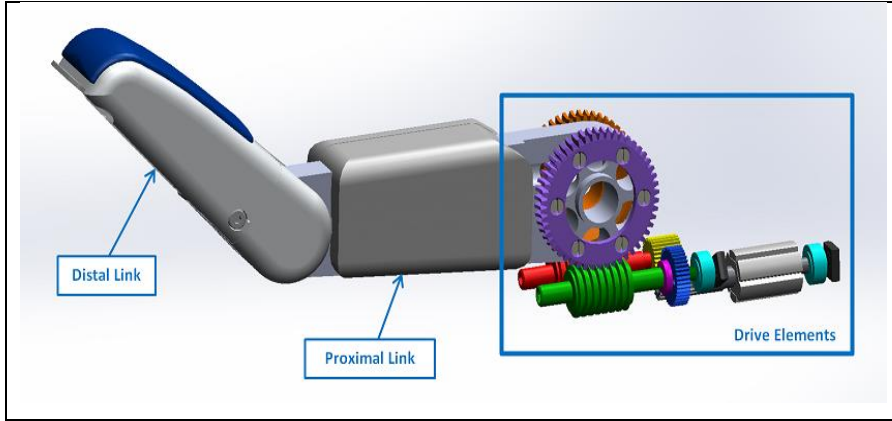


Şekil 1.1: a) RTR 1 Hand, b) RTR 2 Hand, c) RTR 3 Hand

Yakın zamanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, yapılarının genellikle insansı olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni insan elinin farklı cisim ve objeler üzerindeki kavrama kabiliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Antropomorfik yapıdaki robot eller, sağlık sektöründe kullanımının fark edilmesiyle de bu yapıdaki robot el çalışmalarında artış yaşanmıştır.

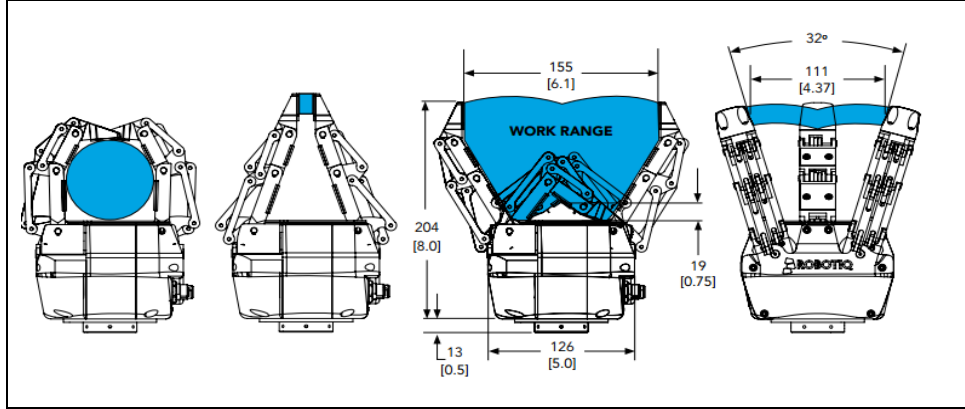
Yakın zamanda yapılan çalışmaların aksine kavrama kabiliyetleri yüksek, antropomorfik olmayan uç elemanları da üretilmiştir. İncelenen çalışmalarda kavrama kabiliyetleri ve kapasitelerinin değişkenliklerin tendon sistemleri ve mekanik yapılarından kaynaklandığı gözlenmektedir. Yüksek kavrama kabiliyetine sahip olan Barrett Hand bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Tendon sistemli birçok robot uygulamasında, yüksek performans sağlamak için tendonların %50 oranında önceden gerilmiş olması gerekmektedir. Tendon kullanan birçok sistem karmaşık yapılar kullanırken, Barrett Hand bu konuda yenilikçi bir yaklaşım getirmiştir. Sonsuz vida ve manşon yatağını zıt tendon elementi olarak kullanan Barrett Hand, uyguladığı bu teknikle tek elle yapılabilecek tek bir hareketi bir kilitleme mekanizmasına ihtiyaç duymadan yapılmasına olanak sağlamıştır [4].



Şekil 1.2: Barret Hand Aktüatör sistem yapısı.

Dikkat çeken bir diğer adaptif 3 parmaklı kavrayıcı robot uygulaması olarak Robotiq'i gösterebiliriz. Robotiq eklem noktaları itibariyle farklı bir mekanizmaya sahiptir. Robotiq uygulamasının bu eklem mekanizması, farklı şekil ve büyüklükteki cisimleri kavrama sırasında parmakların farklı şekilde hareket edebilmelerine olanak sağlamaktadır. Birçok farklı manipilatöre uyarlanabilen Robotiq, eklem yapısı itibariyle parmaklarda dönel hareket sağlanamamaktadır.



Şekil 1.3: Robotiq kavrayıcı el eklem yapısı ve çalışma alanı.

El hareketli kontrol sistemleri otomotiv, tüketici elektroniği, oyun, savunma ve sağlık gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. El hareketli kontrol sistemleri, günümüz teknolojisinde birçok şekilde tasarlanabilmektedir. Genellikle kullanılan metotlar görüntü işleme veya algılayıcı tabanlı olanlardır.

Bu tez çalışmasında algılayıcı kullanılarak bir kavrayıcı elin, insan elini taklit etmesi ve yorumlanması amaçlanmıştır. Kavrayıcı robot elin, kontrol işlemi için esnek algılayıcılar kullanılmıştır.

Literatür taramasının bu bölümünde, eldiven tabanlı sistemlerde üretilen el hareket verilerinin kullanım alanları ve bu konuda yapılan çalışmalara yer verilecektir.

İnsanlar günlük hayatlarında birçok görevi yerine getirmek için ellerini kullanırlar. Bu yüzden, günlük olarak yapılan bu hareketler üzerinde bilimsel çalışmalar yapılarak geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

El hareketinden veri edinimi; el hareketlerinin analizi ve farklı yapıda birçok mekanizmanın kontrolü gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Eldiven tabanlı sistemlerin geliştirilmesine yönelik ilk çalışmalar bundan 40 yıl önce başlamıştır.

Bu konuda yapılan çalışmaların ilki olarak, MIT’de üretilen Sayre Glove gösterilebilir. Sayre Glove, 1977 yılında Rich Sayre’nin ortaya attığı bir fikir üzerine Thomas De Fanti ve Daniel Sandin tarafından geliştirilmiştir. Sayre Glove, Led Glove olarak da adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmada parmak yapısı için esnek borular kullanılmıştır. Esnek tüplerin bir ucuna bir ışık kaynağı ve diğer ucuna ise fotosel yerleştirilmiştir. Parmak işlevi gören esnek boruların bükülmesi ile ışık kaynağından fotosele ulaşan ışık miktarı düşmektedir. Fotoselde oluşan bu değişim gerilim değerinde bir değişime sebep olmakta ve bu şekilde parmak hareketlerinden oluşan veri elde edini mi sağlanmıştır [5].

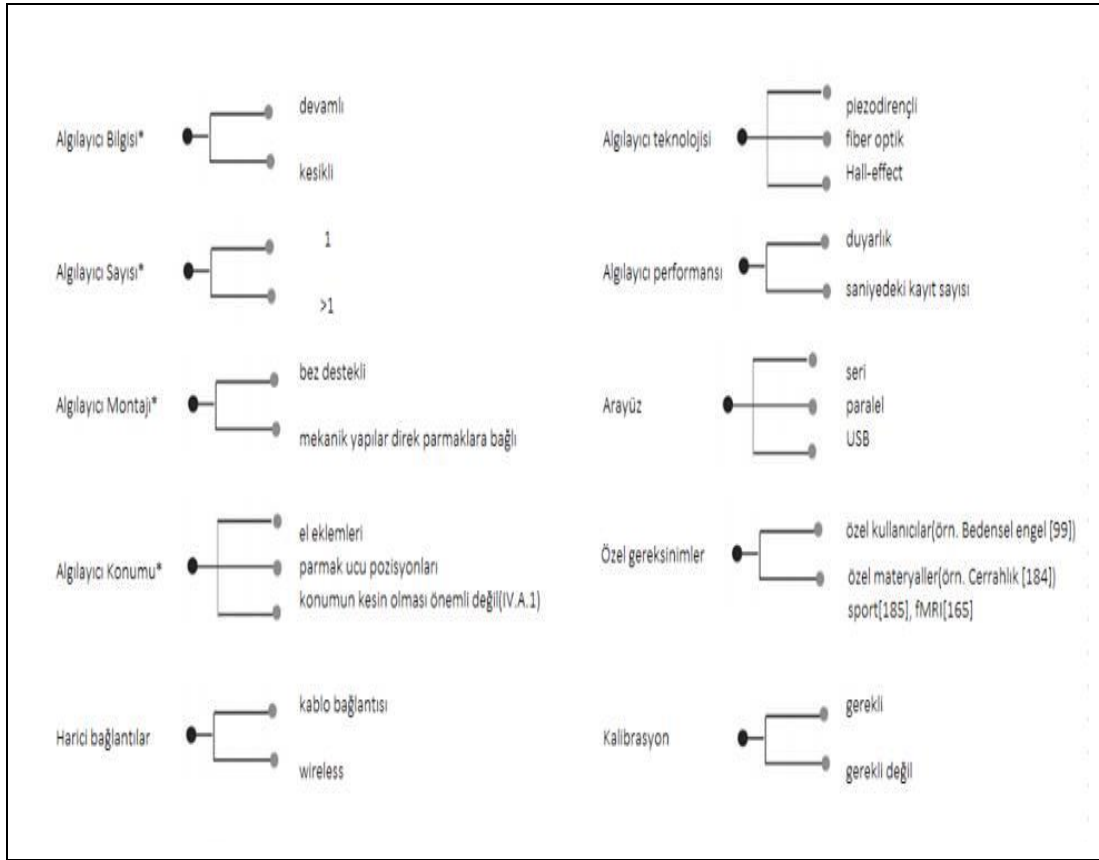
MIT-LED Glove 1980’lerde geliştirilerek, kamera tabanlı bir sistemler yerleştirilen ledlerin takibi yapılmış ve gerçek zamanlı bilgisayar animasyon ortamı yaratılmıştır [5].

Bu alanda yapılan farklı bir çalışma ise dijital giriş veri eldiveni çalışmasıdır. Bu çalışmada üretilen eldiven, insan eli hareketlerine göre alfa numerik karakterler üretmektedir. Yani, işaret dilini yazıya dökmektedir [6].

Veri edinim eldivenlerinin 1987 yılında ticarileşmesi bu alanda yapılan araştırmalara hız kazandırmış ve dünyadaki popülerliğini arttırmıştır. Veri eldiveninin orijinal versiyonu olan Data Glove, 1982 yılında Zimmerman tarafından geliştirilen esnek plastik tüplerin eldiven üzerine dikilerek, ışık kaynağı ve detektörler kullanılarak yapılmıştır. Fiber optik kullanılarak Visual Language Research şirketi tarafından geliştirilen versiyonu ise 1987 yılında ticarileştirilmiştir. 5-15 algılayıcı bulunduran eldivenlerde genellikle 10 adet algılayıcı bulunmaktaydı. Bunların 8 tanesi 4 parmağın MCP ve PIP eklemlerindeki kıvrılma değerini ölçmek için kullanılıyordu. Kalan 2 algılayıcı ise başparmak için kullanılmaktaydı. Bazı durumlarda, adüksiyon ve abdüksiyon algılayıcıları ise başparmağın, başta işaret parmağı olmak üzere komşu parmaklara olan uzaklığının bulunması için kullanılıyordu [8], [9], [10].

Bütün bu gelişmelerden sonra birçok kullanım alanı olduğunu kanıtlayan hareket verisi üreten eldivenler, araştırmacıların daha çok ilgisini çekmiştir. Bu alanda yapılan ilk az maliyetli eldiven ise Nintendo tarafından üretilen Power Glove’dur [7]. Power Glove Nintendo oyun konsollarında kontrol aygıtı olarak kullanılmak üzere 1989 yılında ticarileştirilmiştir. Power Glove yapısı itibariyle Ink printer teknolojisi kullanılarak direnç gösteren bir malzeme ile üretilmiştir. Eldiven ile başparmak, işaret parmağı, orta parmak ve yüzük parmağının hareketleri ile kontrol yapılabilmektedir.

Veri eldiven tabanlı sistemlerin karakteristikleri incelendiğinde ise 10 farklı başlık altında sınıflandırılabilir.



Şekil 1.4: Veri Eldivenlerinin Karakteristik Sınıflandırması.








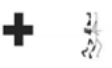

Ticarileşmiş birçok veri eldivenli sistem bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Space Glove, Cyber Glove, Human Glove, 5DT Glove, ve daha yakın zamanda ticarileşen DidjiGlove gösterilebilir.

Gösterilen Örneklerin hepsi veri eldiven sistemli çalışmasına rağmen, algılayıcı teknoloji, algılayıcı yerleşimi ve pozisyonu bakımından farklılık göstermektedir. Bu gibi parametreler ise veri eldiveninin karakteristiğini belirlemektedir. Veri eldiven sistemlerinin ortak noktaları ise eklemlerin bükülme açılarını ölçmeleri, giyilebilir algılayıcılarla desteklenmeleri ve sıklıkla genel kullanım amaçlı üretilmeleridir.



Şekil 1.5: Eldiven Tabanlı sistemler.

a) Space Glove, b) CyberGlove II, c) Humanglove, d) 5DT Data Glove, e) Didjiglove.

Aygıt	Teknoloji	Algılayıcı	Algılayıcı Hassasiyeti	Kayıt/saniye	Arayüz	Ugulama Alanı
<i>Sayre Glove(University of Illinois)</i>	esnek ince tüpler, ışık kaynağı	7 flex C	Mevcut değil	Mevcut değil	Mevcut değil	sliderlar ve diğer 2B icatların çokboyutlu kontrolünde
<i>MIT LED Glove(MIT)</i>	LED	Mevcut Değil C	Mevcut değil	Mevcut değil	Mevcut değil	
<i>Digital Entry Data Glove(AT&amp;T Bell Telefon)</i>	N/A	4 flex C	Mevcut değil	Mevcut değil	Mevcut değil	
<i>Data Glove(MIT, VPL Inc.)</i>	Mevcut değil	5-15 flex C	12bit	30-160hz	seri	
<i>Power Glove(Mattel Invellivision)</i>	piezodirençli	4 flex C	2bit	Mevcut değil	seri	
<i>Space Glove(W Industries, Virtuality Entertainment Systems)</i>	fiber optik	6 flex C	12bit	Mevcut değil	Sadece W Industries'in ürünleriyle çalışıyor.	
<i>CyberGlove(Stanford University, Virtual Technology)</i>	piezodirençli	18,22 flex C	8bit	filtrenmemiş 150hz filtrenmiş 112hz - 18 Algılayıcı	seri	
<i>5Dt, 16DT Glove(5DT)</i>	fiber optik	5(5DT) 14(16DT) flex C	8bit	200hz(5DT), 100hz(16DT)	seri,USB, adaptör kullanılabilir	
<i>Humanglove(Humanware Srl)</i>	Hall-effect algılayıcılar	20,22 flex C	0,4 derece	50hz	seri	
<i>Didjiglove(Didjiglove Pty. Ltd)</i>	kapatisif algılayıcılar	10 flex C	10bit	200hz	seri	

Şekil 1.6: Farklı Eldiven Sistemlerinin Karşılaştırması.

Yapılan eldiven karakteristik sınıflandırılmalarına göre, literatür taraması için yapılan veri eldiveni incelemelerinin sonucunda her eldivenin birbirine göre kullanım alanı uygunluğuna göre avantajları ve dezavantajları olduğu gör÷lmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak genel amaçlı kullanım eldivenleri yerine, eldivenlerin kullanılacağı uygulama alanı veya görev tanımına göre tasarlanarak üretilmesi daha yüksek performans ve uygunluk sağlayacaktır.

İnsan anatomisi incelendiğinde, her uzuv kendi başına veya bir diğeriyle birlikte farklı yeterlik gereksinimlerindeki görevleri yapmaktadır. Burada şüphesiz insan eline ayrı bir parantez açmak gereklidir. İnsan eli; alet kullanımı, hassasiyet gerektiren, kompleks işler ve rasgelelik gerektiren görevlerde en efektif yapıya sahiptir. Robotikte ise bu yapıya yakın veya daha üst yeteneklerde bir kavrayıcı tasarımı, kontrol sistemi ve sistemler bütünü elde etme çabası uzun süredir bulunmaktadır.

İnsan elinde radyal ekseninde en yüksek çalışma aralığına sahip parmak başparmaktır. Teze konu olan projedeki kavrayıcı el tasarımında, her parmak radyal olarak geniş çalışma aralığında dönebilme kabiliyetine sahiptir. Bu açıdan bakıldığında tasarlanan deneysel kavrayıcı el prototipinin 3 adet başparmağına sahip olduğu söylenebilir.

Yakın zamanda yapılan çalışmalar incelendiğinde Shadow Hand gibi kompleks yapıllı kavrayıcı tasarımlarına ve kinematiklerine rağmen kavrama kabiliyetleri hala insan eline oranla istenilen seviyede değildir.

Son zamanlarda yapılan bu çalışmaların aksine; kompleks kinematik yapılar kullanılmadan da kavrama kabiliyetlerinin geliştirilebileceği yönünde çalışmalar yapılmaktadır. 2014 yılında İtalyan Enstitüsü tarafından yapılan bir çalışmada kompleks kinematiklerin kavrama kabiliyetini geliştirmede gerekli olmadığı yönündedir. Bu sonuca ulaşırken kullanılan destekleyici sav ise kavrama işleminde başparmağın optimal yerleşimi ile kompleks kinematik sistemlerdeki kavrama kabiliyetine yakın veya daha iyi sonuç elde edilebildiğidir. Yapılan araştırma çalışması ICub robot eli ile farklı yapılarıdaki cisimlerin kavrama işlemleri gerçekleştirilmiştir. El ile konumlandırılan ICub parmaklarıyla yapılan kavrama işlemlerinde, başparmak ile diğer parmaklar arasında güçlü bir negatif kovaryans olduğu gözlemlenmiştir. Burada ulaşılan deneysel verilere göre başparmak konumunun, kavrama işleminde en kritik konumda olduğu ve doğru kavrama yönünü belirlediği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra diğer parmakların ise kavrama işleminde başparmağına göre destekleyici olarak konumlandığı sonucuna da ulaşılmıştır [11].

## 3. METODOLOJİ

### 3.1 Genel Bakış

Esnek algılayıcılarla kontrol edilen kavrayıcı el prototipinin metodolojisine genel bir bakış sunmak için prototip üretimindeki süreçleri, işlem türlerine göre sınıflandırabiliriz. Böyle bir sınıflandırmayla prototip üretim sürecini; tasarımlama, ilişkilendirme, simülasyon ve gerçekleştirme olarak dört ayrı süreçte ele alabiliriz.

Tasarımlama sürecinde; öngörülen prototipin kavrama kapasitesinin olabilecek en yüksek seviyeye ulaşması ve prototipin, üzerine esnek algılayıcılar yerleştirilen kontrol eldiveninden gelen komutu olabilecek en iyi şekilde uygulaması amaçlanmıştır. Bu süreçte; öngörülen sistem mekanik, elektronik ve yazılım tabanlı değerlendirilip, birbiriyle uyumlu şekilde tasarlanmıştır. Bunun için ilk önce, insan elinin kavrayıcı hareketini taklit edebilecek mekanik bir tasarım geliştirilmiştir. Daha sonra, geliştirilen bu mekanik tasarımın, kontrol eldiveninden gelen verilere göre eşzamanlı yönetilmesine yönelik olarak sistemin elektronik ve yazılımsal tasarımı geliştirilmiştir.

İlişkilendirme sürecinde; öngörülen prototipin istenilen prensipte davranması ve doğru hareketi sağlaması amaçlanmıştır. Bu süreçte; öngörülen prototip için oluşturulan tasarım bileşenleri birleştirilip, kontrol eldiveninden gelen hareket verilerini uygulayacak bir biçimde senkronize edilmiştir. Bunun için ilk önce, kontrol eldivenindeki hareket verilerinin, öngörülen prototipin mekanik tasarımındaki hareket sistemlerini yöneten elektronik ve yazılım sistemlerinde işlenmesine yönelik eşleştirmeler yapılmıştır. Daha sonra, işlenen bu verilerin mekanik tasarımda bulunan hareket sistemlerindeki doğru bileşenlere dağıtılıp, doğru yönde ve doğru ölçüde hareket etmesine yönelik hesaplamalar modellenmiştir.

Simülasyon sürecinde; öngörülen prototipin üretiminden önce, tasarım ve ilişkilendirme sürecindeki hataların önceden fark edilip, müdahale edilebilmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte; öngörülen prototipin bilgisayar ortamındaki mekanik tasarımı, kontrol eldiveninden gelen hareket verileriyle ilişkilendirilir ve test edilir. Hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlayan bu süreç içerisinde, üzerine esnek algılayıcılar yerleştirilmiş kontrol eldiveniyle hareket komutları verilir ve bilgisayar ekranı üzerinden, verilen komutlara yönelik sistemin nasıl davranış gösterdiği eş zamanlı olarak kontrol edilir. Eğer istenilen davranışların dışında bir davranış gözlemlenirse, bu davranışa

sebepler olarak tasarım ve ilişkilendirme işlemleri yeniden kurgulanır. Simülasyon işlemi sırasında bir hata gözlenmezse prototip üretimi gerçekleştirilebilir.

Gerçekleme sürecinde, öngörülen prototipin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte; öngörülen prototipin donanımsal ve yazılımsal sistemlerini oluşturan bileşenler elde edilerek bir araya getirilir ve ilişkilendirilir. Donanımsal sistemi oluşturmak için öngörülen prototipin, mekanik tasarımını ve elektronik tasarımını oluşturan bileşenler elde edilir. Elde edilen bileşenler montajlanarak prototipin donanımsal sistemi tamamlanır. Kontrol eldiveninden gelen hareket verilerinin donanımsal sistemlerine aktarılması için gereken ilişkilendirme işlemleri de prototipin yazılımsal sistemini oluşturmaktadır. Böylece ilişkilendirme işlemlerini de tamamladıktan sonra, esnek algılayıcılarla kontrol edilen kavrayıcı el prototipini üretmiş oluruz.

## 3.2 Mekanik Tasarım

### 3.2.1 Limit Noktalar

Kavrayıcı robot el prototipi tasarlanırken, insan elinin kavrama kabiliyetini olabildiğince taklit edebilmesi ve kontrol eldivenindeki esnek algılayıcılar ile gönderilen verilerin doğru uygulayabilmesi amaçlanmıştır. Bunun için insan elinin 5 adet parmakla yaptığı kavrama hareketlerinin 3 adet parmakla uygulanmasına ihtiyaç duyulmuş ve böylece üç yapraklı yonca modeli tasarımı açığa çıkmıştır. Bu tasarım sayesinde tüm parmaklar; eklem hareketleriyle avuç içine doğru katlanabilmesinin yanı sıra, aynı zamanda XZ düzleminde dönel hareket yapabilmektedir. Bu şekilde düzgün olmayan geometriye sahip birçok farklı cismin kavranabilmesi amaçlanmıştır.

Xz düzleminde parmak 1 ve parmak 2 hareketlerinin el mimikleri birbirlerine bağlı olduğundan bu 2 parmak senkronize hareket etmektedir. Birbirlerine zıt yönde hareket gerçekleştiren bu parmaklar, sistem mekaniğindeki çarpışma konumlarına göre sınırlandırılmıştır. Parmaklar XZ düzleminde dönel hareket için, referans konumlarından itibaren  $z^+$  ve  $z^-$  yönlerinde 60 derecelik dönme hareketi yapabilmektedir.

Kavrayıcı elin parmakları, xy düzlemi üzerinde burkulma yani parmakların açma-kapama hareketini yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Parmakların xz düzlemi üzerindeki burkulma hareketinin belirlenen bir limiti bulunmaktadır. Bunun nedeni kullanılan tendon sisteminin, sabit bağlandığı noktalar itibariyle, burkulma hareketi gerçekleşirken tendonların boylarının değişmesidir. Değişen tendon boylarının izin verdiği ölçülerde, burkulma hareketinde y ekseninin x eksenine dik olduğu konum parmağın maksimum açılabilirdiği nokta olarak ayarlanmıştır. Parmaklar birbirinden bağımsız kontrol edilmesine rağmen, hareket etmelerinin bir sıralaması bulunmaktadır. Bunun nedeni sistemde burkulma hareketini sağlayan her parmak için bir adet esnek algılayıcı bulunmasıdır. Bu kontrol yöntemine göre, ilk önce üst eklem hareket etmektedir. Üst eklem XY düzleminde taradığı açı maksimum 103 derecedir. Üst eklem limit açısına geldiğinde, alt eklem kontrol eden servo motor aktif olmakta ve burkulma işlemi alt eklem için yapılmaktadır. Alt eklem ise üst eklem limit açısına ulaştıktan sonra 42 derecelik bir burkulma hareketi yapmaktadır.

### 3.2.2 Parmak Tasarımı

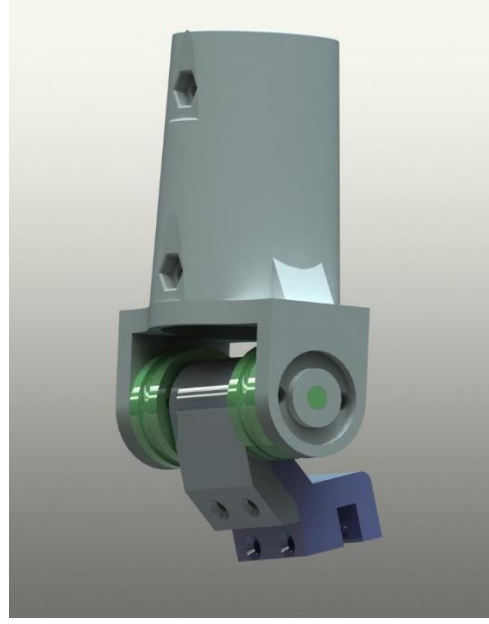
Kavrayıcı el tasarımında 3 parmak kullanılmıştır. Parmakların her birinde 2 adet eklem bulunmaktadır. Her eklem simetrik olarak tasarlanıp birbirlerine vida ile montelenmiştir. Eklem noktalarında bulunan makaraların üzerinde 2 adet tendon yatağı bulunmaktadır. Bu makaralar bir boğuma sabitlenmiştir ve eklem noktalarından hareket edebilmektedirler. Eklem noktalarından birbirine bağlı olan boğumlar birbirine bağıl olarak hareket etmektedir yani parmak açıldığında 2 boğumda açma, kapandığında ise 2 boğumda kapama hareketini yapmaktadır. Kavranacak nesne açısından parmağın uç kısımları daha eğrisel bir yapıyla tasarlanmıştır.



Şekil 2.1: Kavrayıcı el parmak üst eklemi.

### 3.2.3 Parmak Alt Eklemi

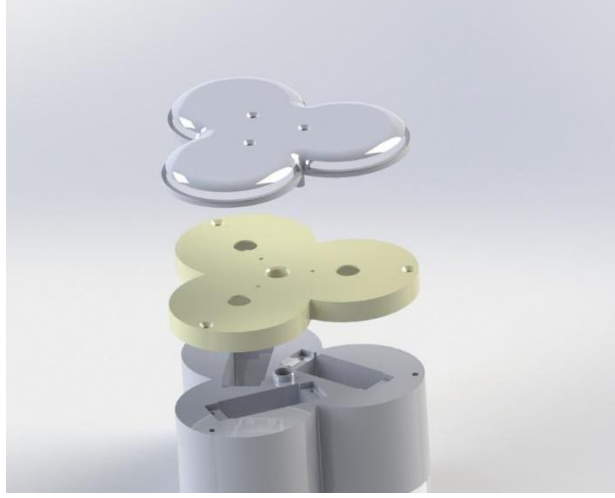
Parmak alt eklemi; avuç içi ile parmağı birbirine bağlayan eklemdir. Bu kısmın bir ucunda yan hareketi sağlayan servo kafası bulunmaktadır. Eklemın diğer ucunda ise parmağın ilk eklemine bağlı bir hareketli makara sistemi bulunmaktadır. Ayrıca parmakların açma-kapama hareketini sağlayan servo da bu eklemın içine monte edilmiştir.



şekil 2.2: Kavrayıcı el parmak alt eklemi.

### 3.2.4 Avuç İçi Tasarımı

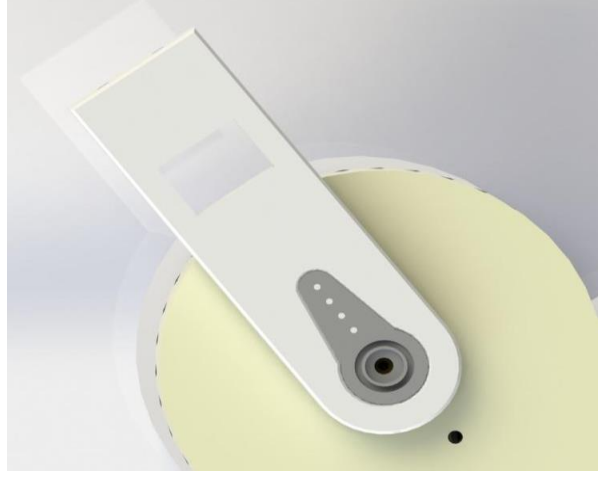
Kavrayıcı elin tasarımında, avuç içi 3 yapraklı yonca Şeklindeki esinlenilerek tasarlanmıştır. Avuç içi, hem parmakların yatay ekseninde dairesel hareket edip zor geometrili parçaları kavrayabilmesini sağlamakta hem de kavrayıcı harekette destek tabanı olmaktadır. Böylece hem küçük hacimli parçaların kavranması için parmakların hareket kabiliyeti maksimize edilirken hem de büyük hacimli parçaların kavranması için geniş ve parmakların kavrayıcı hareketini destekleyici bir etki sağlanmıştır.



Şekil 2.3: Kavrayıcı el parmak içi yapısı.

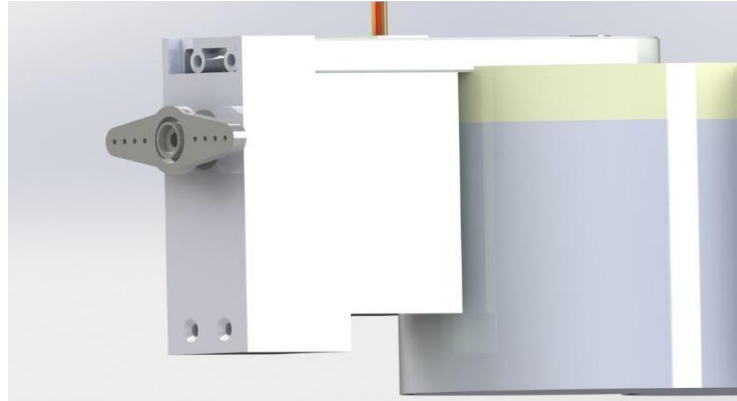
### 3.2.5 Servo Yerleşimi

Kavrayıcı elin tasarımında 9 adet servo motor kullanılmıştır. Servo motorlardan 3 tanesi, 3 yapraklı yonca şeklindeki, avuç içinin altına yerleştirilmiştir. Avuç içine yerleştirilen servo motorlar, parmakların xz yatay eksenindeki dönele hareketi sağlamıştır.



Şekil 2.4: Kavrayıcı el parmak dönele hareket yapısı.

Parmakların burkulma hareketi için toplamda sistemde 6 adet servo motor kullanılmıştır. XY düzlemindeki burkulma hareketi sağlaması her parmak 2 adet servo motor kullanmaktadır. Parmaklarda kullanılan servo motorların bir tanesi alt eklem motor bloğunun içine diğeri ise bu motora paralel olarak motor bloğunun dışına sabitlenmiştir.



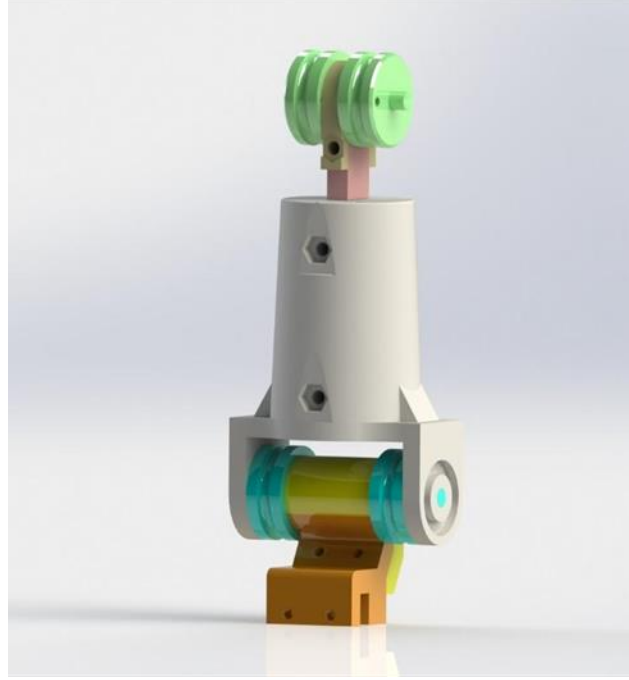
Şekil 2.5: Kavrayıcı el parmak dönele hareket yapısı.

### 3.2.6 Tendon Yerleşimi ve Çalışma şekli

Kavrayıcı elin parmakları 2 düzlemde hareket edebilmektedir. Bunların bir tanesini xz düzlemi üzerinde parmakların yaptığı dönel hareket, diğerini ise xy düzlemi üzerinde yaptığı burkulma hareketi olarak tanımlayabiliriz.

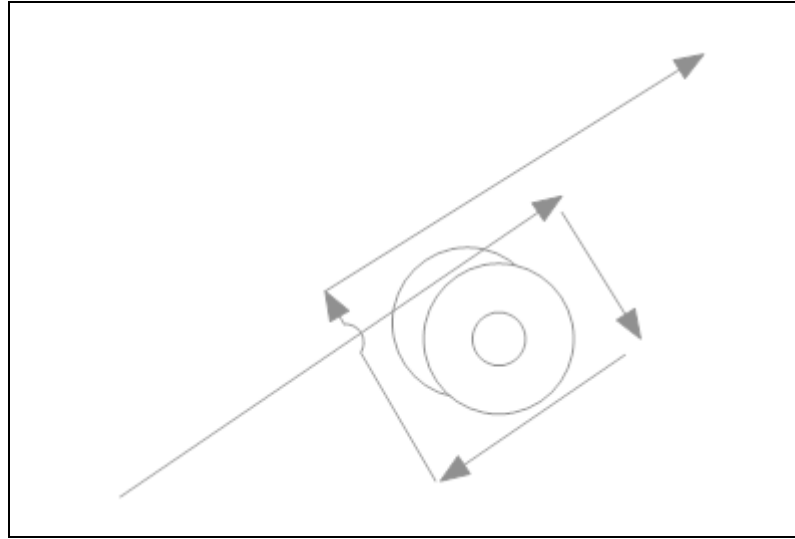
Kavrayıcı robot el tasarımında tendonlar, sadece parmakların xy düzlemindeki açma-kapama hareketi için kullanılmıştır. Xz düzlemindeki parmakların dönel hareketi ise servo başına bağlı bir mekanizma tarafından tahrik edilmektedir.

Kavrayıcı robot elin burkulma hareketinde her parmak 4 adet tendon ile uyarılmaktadır. Parmaklarda eklem vazifesi gören makaralara yataklarından sarılarak geçirilen tendonların bir uçları sabit, diğer uçları ise servo motorların başlık uçlarına bağlanmıştır.

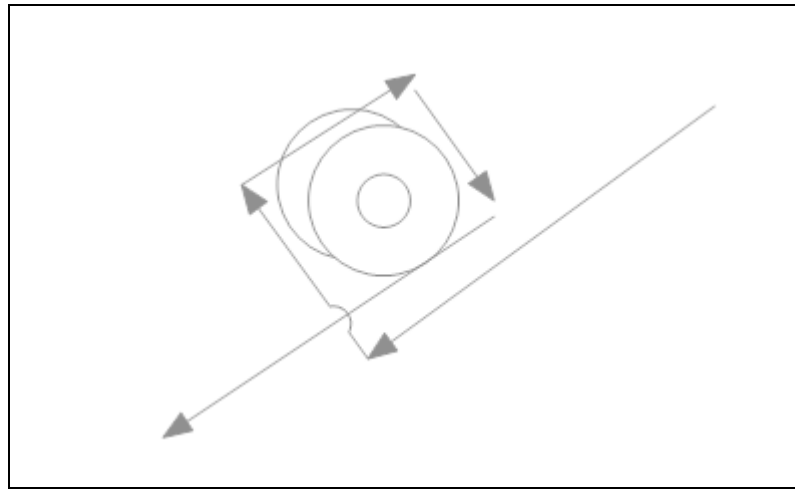


Şekil 2.6: Kavrayıcı el parmak tendon makara sistemi.

Tendonlar her eklem için birbirlerine ters şekilde makara yataklarına sarılmıştır. Bu şekilde burkulma hareketi iki yönlü olarak her eklem için tanımlanabilmektedir.



Şekil 2.7: Parmak eklem açma tendonu makara sarılım yönü.



Şekil 2.8: Parmak eklem kapama tendonu makara sarılım yönü.

Makaraların her birinde 2 adet tendon yatağı bulunmaktadır. Tendonun bir ucu parmağın uç noktasına sabitlenmiş, diğer ucu ise servo kafasının bir ucuna bağlanmıştır. Diğer tendonun da aynı şekilde bir ucu parmağın ucuna sabitlenmiş, diğer ucu ise servo başının diğer ucuna bağlanmıştır. Tendonlar parmak ucundaki sabit noktadan başlayarak makaralara tam tur döndürülmüş ve servo ucuna bağlanmıştır. Parmakların eklemleri için kullanılan makaralar üzerinden geçirilen tendonlar; makaralar üzerinden birbirlerine zıt yönlerde tam tur döndürülerek bağlanmıştır. Bu sayede servo motor bir

yöne döndüğünde, döndüğü yöne bağlı olan tendon makaraları gerekli hareketi yapacak, servo motor diğer yöne döndüğünde ise bağlı olduğu uçtaki tendon diğer tendona göre makaralara ters sarıldığından, parmak diğer yöndeki hareketini yapacaktır. Bu sayede parmaklara tendonlar vasıtasıyla açma-kapama hareketi kazandırılmıştır.

### 3.3 Kavrayıcı Robot El Kontrol Devresi

#### 3.3.1 Kontrol Kartı

Kavrayıcı elin kontrol devresi Atmega tabanlı sistem üzerine kurulmuştur. Kullanılan geliştirme kartı Arduino Mega 2560 r3 versiyonudur. Atmega2560 mikro kontroller kullanılmaktadır. Kart üzerinde 16 adet Analog giriş/çıkış, 15 tanesi PWM olarak kullanılabilen, toplamda 54 adet dijital giriş/çıkış pini bulunmaktadır. Analog pinlerin her biri ADC olarak kullanılabilir. Arduino ADC 10 bit çözünürlüğünde olup, 0-1023 tamsayı dönüşümü yapabilmektedir.

Tablo 2.1: Arduino Teknik Özellikleri.

Mikrokontrol	Atmega2560
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi	7-12V
Dijital I/O Pin	54 (15 PWM Çıkış)
Analog I Pin	16
DC Akım I/O Pin	20mA
DC Akım 3.3V Pin	50 mA
Flash Hafıza	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock	16 MHZ

### 3.3.2 Esnek Algılayıcılar

Esnek Algılayıcı bükülme miktarı göre direnci değişen bir devre elemanıdır. Esnek algılayıcıların direnç değeri, algılayıcının bükülme miktarına göre doğrusal olarak değişmektedir. Algılayıcı düz konumunda iken, algılayıcıdan alınan direnç değeri en düşük seviyesinde olup, bükülme derecesine göre, ölçülen direnç değeri artış göstermektedir.

Esnek algılayıcılar direnç değerlerine göre; Düşük, orta, yüksek direnç aralığına sahip olmak üzere 3 sınıftadır [12].  $1k\Omega$  -  $20k\Omega$  aralığı düşük,  $20k\Omega$  -  $50k\Omega$  aralığı orta,  $50k\Omega$  -  $200k\Omega$  ise yüksek direnç aralığı sınıfına girmektedir.

Kavrayıcı el uygulamasında düşük direnç sınıfında olan, düz konumunda  $10k\Omega$  direnç değerine bükülme durumunda ise  $60k\Omega$  -  $110k\Omega$  aralığında direnç değişimi gösteren 4.5" boyutunda esnek algılayıcılar kullanılmıştır.

Esnek algılayıcılarda bükülmenin algılanarak belli bir gerilim değerine dönüşümü için kullanılan bazı temel algılama topolojileri bulunmaktadır.

Esnek algılayıcının bükülme açısını ölçmek için farklı yapılarda algılama devreleri oluşturulabilir.

Algılayıcının direnci ile bir başka direnç, gerilim bölücü (Voltage Divider) yapısında bağlanarak bir buffer aracılığıyla kaynaktan akım çekmek için kullanılabilir ya da ayarlı kazanç devresi kullanılarak esnek algılayıcıdan elde edilen direnç değişimi bilgisi, farklı iki yapıda gerilime dönüştürülüp değeri belli oranlarda değiştirilebilir.

Belli bir eşik değeri ile karşılaştırma yapılarak farklı bükülme açıları için anlık tepkiler üretilebilir. Bu durum genellikle spesifik bükülme noktaları için tetiklenmesi gereken işlevler için kullanılmaktadır.

En çok kullanılan yöntem ise direnç-gerilim dönüştürücü bir devre yapısı ile esnek algılayıcının direnci ile orantılı bir değerde gerilim üretilerek kullanılmasıdır. Bu topolojiler birçok uygulamada çok farklı şekillerde uygulanabilmektedir.

Kavrayıcı elin kontrolü için kullanılan esnek algılayıcıların direnç değişim değerleri orantısal olarak gerilim değerlerine dönüştürülerek kullanılmıştır.

### 3.3.3 Servo Motor

Genellikle robotik uygulamalarında, tam tur dönüşlere gerek olmayan eksenlerde, hassas konumlandırma gereken yerlerde kullanılır. Servo motor 0 ila 360 derece arasında 1 derece hassasiyetle dönebilen motor çeşididir. DC motorların aksine tam tur atamaz. Servo motorlar da çıkış; mekaniksel konum, hız veya ivme gibi parametrelerin kontrol edildiği bir düzendir. Servo motorlarda mühim olan hız değil açı değerleridir. Servo motor yapısı itibariyle içinde bir adet DC motor bulunur. DC motor bir dişli sistemiyle servo motorun miline bağlantılıdır. Bu dişli sistem servo motorların daha fazla yük kaldırabilmesini sağlamaktadır. Servo motorun miline bağlı olan dişli yapısı servo motorların hızlarını düşürmektedir. Kullanılan dişli sistemine göre servo motorların kaldırabileceği yük değişir. Servo motorların kaldırabileceği yük tork gücü üzerinden ifade edilir. Servo motorların torku, motor miline bağlı 1 cm uzunluğundaki çubuğun kaldırabileceği maksimum yük olarak tarif edilir.

Kavrayıcı el uygulamasında parmakları kavrama hareketi için servo motorlar kullanılmıştır. Servo motorlarda mühim olan hız değil açı değerleridir. PWM ile servo motor kaç derece dönmesi gerektiğini algılar ve sinyalin istediği derece kadar dönme hareketini gerçekleştirir. Kavrayıcı el uygulamasında kontrolünü sağlamamız gereken parametre açı olduğundan bu uygulamanın yapılmasında servo motor tercih edilmiştir.

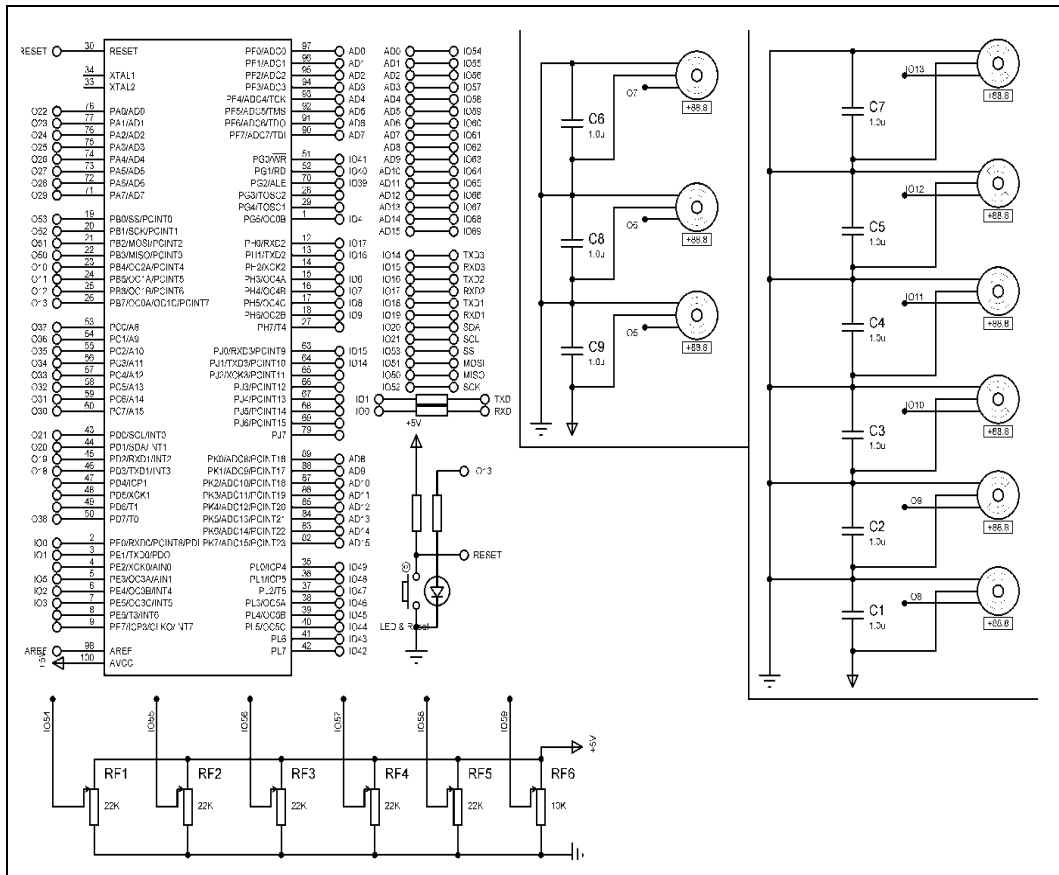
Kavrayıcı el uygulamasında kullanılacak servo motorun seçimi, taşıyacağı maksimum yüke göre yapılmıştır.

Servo motorun üç adet bağlantı kablosu bulunmaktadır. Bu kablolar genellikle kırmızı, turuncu (bazen sarı) ve siyah (bazen kahverengi) olmaktadır. Bu renkler kabloların görevini göstermektedir. Kırmızı renk besleme (genellikle 5 volt) bağlantısını, siyah veya kahverengi renk de toprak bağlantısını göstermektedir. Geriye kalan turuncu kablo ise motorun açısını belirleyecek olan veri bağlantısıdır. Motorun dönüş açısının belirlenmesi için veri hattı üzerinden PWM adı verilen özel kare dalga sinyalleri yollanmaktadır. PWM sinyali belirli bir süre 5 volt, belirli bir süre 0 volt düzeyinde verilen gerilimdir. 5 volt düzeyinde geçen süreye "görev zamanı", toplam süreye de "PWM periyodu" denir. Servo motorun kontrolü için ayarlanmış özel görev zamanları ve PWM periyotları bulunmaktadır. Bu ayarlar dışındaki PWM sinyalleri servo motoru düzgün çalıştıramaz.

Kavrayıcı el uygulamasında MG995 servo motor kullanılmıştır. Kullanılan servo motor 120 derece hareket kabiliyetine sahiptir. Kullanılan servo motor 10 kg torka sahiptir [13].

### 3.3.4 Esnek Algılayıcı Servo Kontrol Devresi

Kavrayıcı elin kontrolü için Atmega2560 tabanlı bir mikroişlemciye sahip Arduino MEGA2560 R3 geliştirme kartı kullanılmıştır. Arduino’da servo motor kontrolü için özelleştirilmiş PWM pinleri bulunmaktadır. PWM pin sayısı Arduino’nun türüne göre değişmektedir. Arduino Mega2560 kartında 15 adet PWM pini bulunmaktadır. Kavrayıcı el uygulamasında 9 adet servo motor kullanılacağından bu pinlerin 9 tanesi kullanılmıştır.



Şekil 2.9: Kavrayıcı Robot el Kontrol Devresi.

Kavrayıcı robot elin servo motor ile kontrolü için 5 adet 4.5” boyutunda esnek algılayıcı kullanılmıştır.

Esnek algılayıcıları kavrayıcı el robotunda kullanabilmek için arduino kartının analog pinleri ile toprak pini arasına 22k ohm değerinde dirençler yerleştirilerek direnç değerleri voltaj değerlerine çevrilmiştir. Bu şekilde devre gerilim bölücü olarak çalışması sağlanmıştır. Analog girişlerden alınan algılayıcı değeri arduino içerisindeki 10 bitlik AD Converter ile dijitale çevrilmiş, üretilen PWM sinyallerine göre robot elin eksenel hareketlerinin kontrolü sağlanmıştır.

### 3.4 Yazılım Algoritması

Robot elin yazılımı arduino tabanlı yazılmış olup arduinonun içinde bulunan kütüphanelerden faydalanılmıştır. Simülasyon işlemleri için ise yazılıma bazı farklı kütüphaneler eklenmiştir.

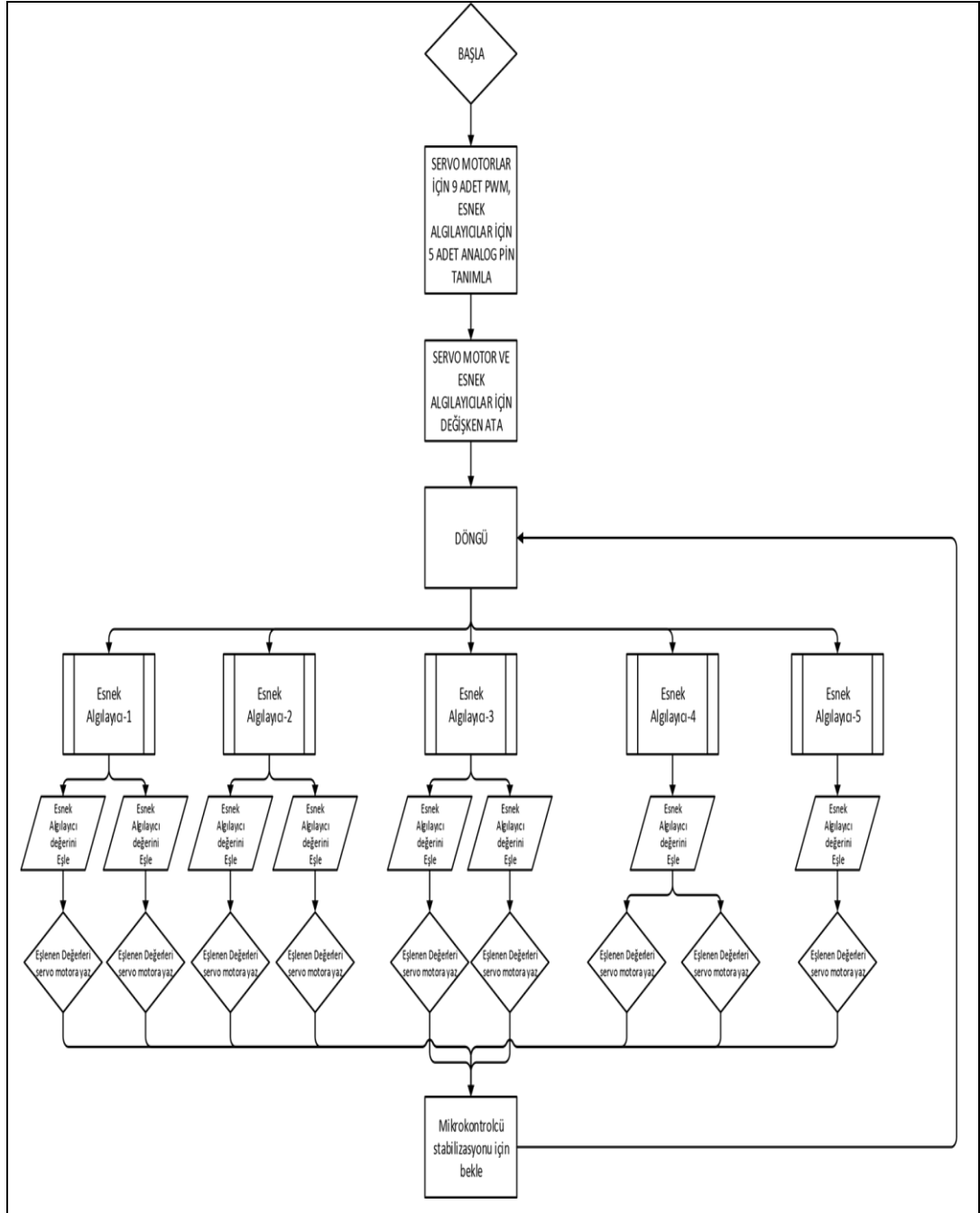
Kavrayıcı robot elin yazılımı için ilk önce sistemin kontrolü için kullanılacak olan esnek algılayıcıların farklı konumlardaki direnç ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler için Deney 1 yapılmıştır. Deney 1’deki ölçümlerin yapılmasının sebebi, esnek algılayıcıların farklı açılardaki bükülme değerlerinin, kavrayıcı robot el mekanizmasının hareketini sağlayacak olan servo motorlarının çalışma aralıklarının belirlenmesidir.

Sistemin yazılımda, toplamda servo motorlar için 9 adet PWM pini ve esnek algılayıcılar için 5 adet analog pin tanımlanarak, bu pinler yazılımda değişkenlere atanmıştır.

Deney 1’de yapılan ölçümler insan elinin eklem hareket aralıklarına göre belirlenmiştir. Deneyden elde edilen analog veriler, insan eline benzetimi yapılan kavrayıcı robot elin her eklemının hareket etmesini sağlayan servo motorlara tanımlanan, açılal çalışma aralıklarıyla eşlemesi yapılmıştır.

Kavrayıcı robot elde, parmakların açma-kapama hareketleri 2 adet servo motor ve 4 adet tendon yardımıyla sağlanmaktadır. Parmakların açma-kapama hareketi ise 1 adet esnek algılayıcı tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda, esnek algılayıcının minimum ve maksimum çalışma aralığı içerisinde 2 farklı eşleme yapılmıştır. Yapılan 2 eşleme işlemi ise 2 adet servo motorun çalışma aralığı olarak tanımlanmıştır.

Kavrayıcı robot elde, parmakların dönel hareketi, 2 adet esnek algılayıcı tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda, kavrayıcı robot elin kuvvet parmağı dönel hareketini diğer parmaklardan bağımsız olarak yapmaktadır. Dönel hareket kabiliyetine sahip olan diğer iki parmak ise birbirlerine zıt, senkronize olarak hareket etmektedir. Senkronize olarak hareket eden bu parmaklar, bir adet esnek algılayıcı tarafından kontrol edilmektedir. Dönel hareketi sağlayan servo motorların açısız çalışma aralıkları birbirlerine eşittir. Fakat aynı algılayıcıdan tanımlanan eşleme işlemleri birbirlerine zıt olarak tanımlanmıştır.



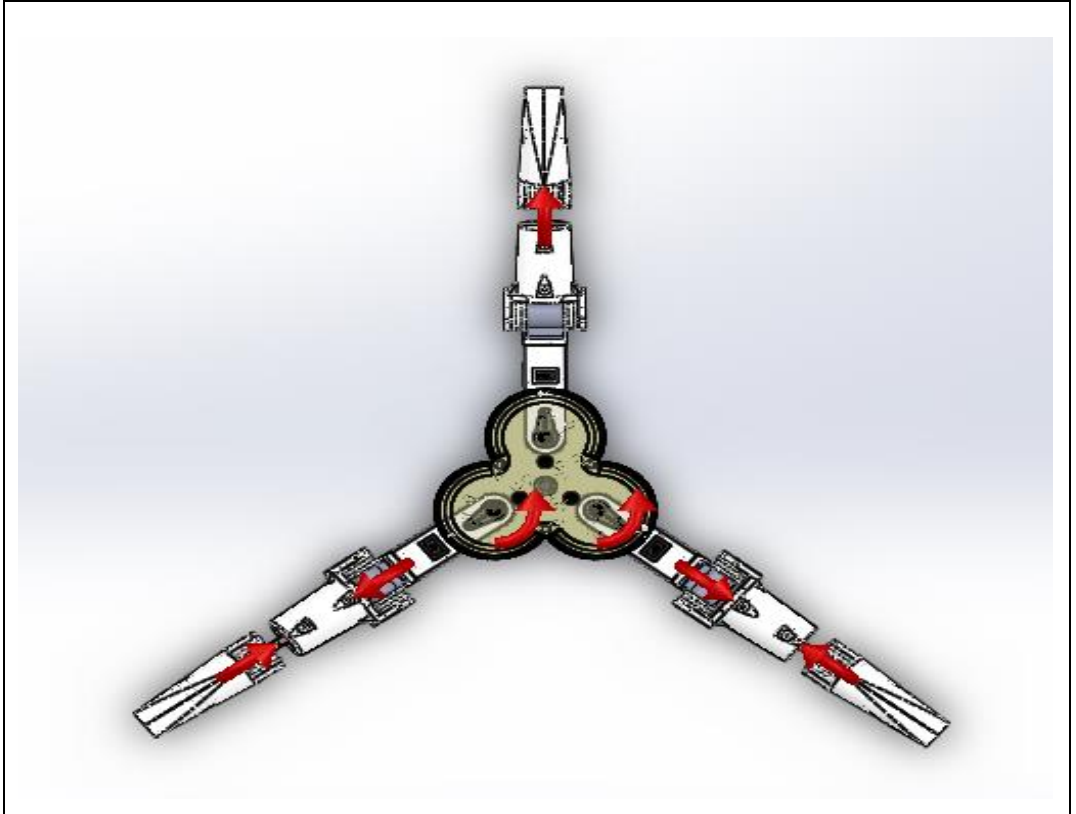
Şekil 2.10: Kavrayıcı Robot el yazılım algoritma akış diagramı.

Kavrayıcı robot elin kontrolü için kullanılan Arduino işlemcisi ile servo motorların çalışma esnasında bir zaman problemi bulunmaktadır. Esnek algılayıcılardan gelen, analog veriler arduino tarafında sürekli olarak okunarak dijitale çevrilmektedir. Servo motorların kontrolünü sağlayan PWM sinyalleri ve arduino mikroişlemcisi arasında bir zaman problemi oluşmaktadır. Bu yüzden PWM sinyalleri gönderildikten sonra sistem bir süre beklemekte ve döngü tekrar başa dönerek, esnek algılayıcılardan gelen verilerin işlenmesine tekrar başlanmaktadır.

### 3.5 Gerçek Zamanlı Sanal Prototip Simülasyonu

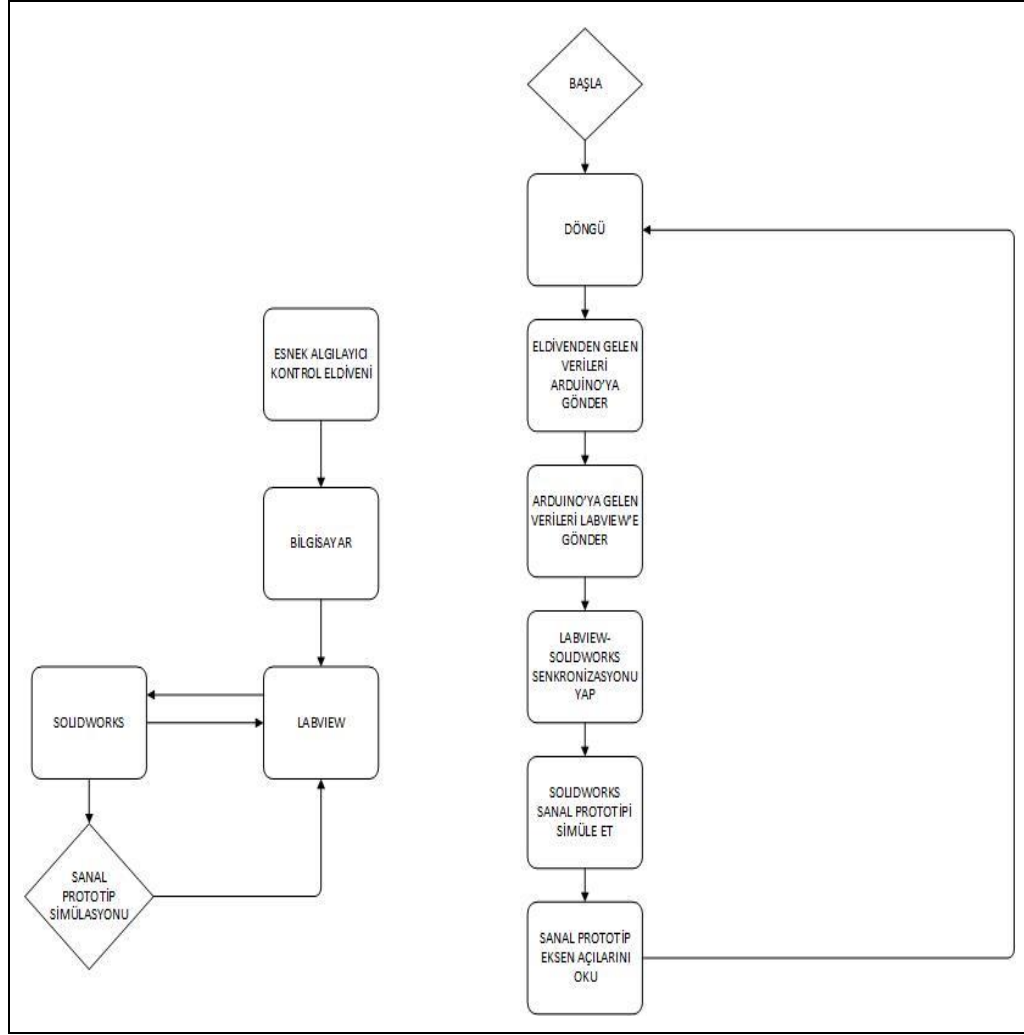
Kavrayıcı robot elin mekanik tasarımında birbirini tamamlayan parçalar kullanılmaktadır. Bu parçalar 3 boyutlu çizim programları yardımıyla çizildikten sonra, üretilmeden önce gerçek zamanlı prototip simülasyonuna sokulmuştur. Bu simülasyonun amacı; çok parçadan oluşan hareketli bir sistemi tasarlarken, birbirini tamamlayan parçaların tasarımlarında gözden kaçırılabilir hataları üretim öncesinde görmek ve bu hatalara anında müdahale ederek doğru tasarımları elde etmektir. Ayrıca gerçek zamanlı prototip simülasyonu sayesinde, gerçekleştirilmesi öngörülen prototipin, farklı şekil ve büyüklükteki cisimlerle test edip, mekanik kabiliyetleri ve sınırları hakkında da fikir sahibi olmaktır.

Gerçek zamanlı prototip simülasyonunu gerçekleştirebilmek için bir hazırlık evresi gerekmektedir. Bu evrede; gerçekleştirilmesi öngörülen prototipin, kontrol eldiveninden gelen verilere göre hareket etmesi sağlanır.



Şekil 2.11: Sanal Prototip Simülasyonu motor yerleşimleri.

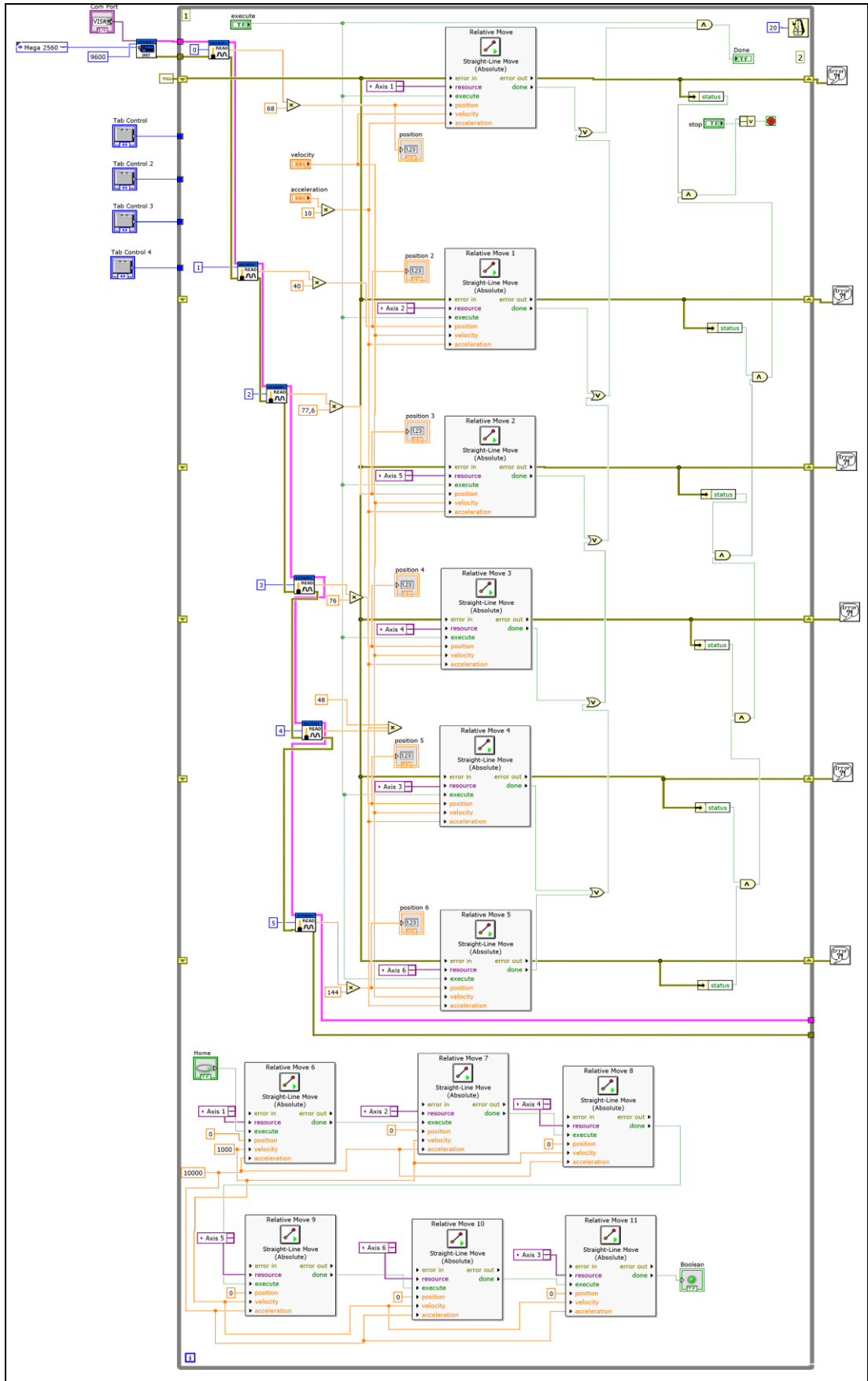
Simülasyon işlemi için eldivenin üzerine esnek algılayıcılar yerleştirilmiştir. Solidworks programıyla tasarlanan kavrayıcı el robotunun, eldiven ile solidworks üzerinde kontrol edilmesi sağlanmıştır. Bu işlem sırasında servo motorlar kullanılmayarak, bilgisayar üzerinde yerleşim noktalarına Solidworks programı üzerinde tanımlanmıştır.



Şekil 2.12: Sanal prototip Simülasyon algoritması akış diagramı.

Simülasyon işlemi metodolojisi donanım ve yazılım tabanlı gerçekleşmektedir. Simülasyon işlemi sırasında donanım olarak, kavrayıcı robot elin kontrolünde kullanılacak olan eldivenin kendisi, birebir olarak kullanılmıştır. Prototipin üretilmeden önceki tasarımı da sanal prototip olarak simülasyon işlemi sırasında birebir kullanılmıştır.

Sanal prototip simülasyon işlemi için esnek algılayıcı kontrol eldiveni ile sanal prototipin ilişkilendirilmesi ve gerçek zamanlı çalışması gerekmektedir. Bu ilişkilendirme için ise Labview programı kullanılmıştır. Labview programının kullanım amacı, eldiven üzerinden gelen verilerin okunması ve Solidworks programına aktarılmasıdır.



Şekil 2.13: Sanal prototip Simülasyon Labview blok Diagramı.

Solidworks programı ile Labview programı arasında ilişkilendirilme yapılabilmesi için Labview programının Softmotion modülü kullanılmıştır.

Simülasyon işleminin gerçekleştirilebilmesi için yapılan işlemler 2 sınıf altında gruplandırılmıştır. Öncelikle eldiven üzerinden gelen verilerin, Labview üzerinde okunması ve bunun bir tetikleyiciye gönderilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, esnek algılayıcıların arduino geliştirme kartına bağlanan pinleri, haberleşme tipi ve hızı dikkate alınarak, Labview üzerinden arduino'nun haberleşmesi sağlanmıştır. Hazırlanan kontrol eldiveni, esnek algılayıcı devresi ve arduino bağlantıları, Labview üzerinde birebir tatbik edilmiştir.

Simülasyon işlemi sırasında kullanılan yazılım algoritması, kavrayıcı robot elin kontrolü için kullanılan yazılım ile aynıdır. Sistemin kalibrasyonu için yapılan esnek algılayıcıların farklı açılardaki analog ölçümleri, simülasyon işlemi için kullanılmıştır. Simülasyon işlemi için yazılıma ek olarak, Labview kütüphanesi ve senkronizasyon için kodlar eklenmiştir.

Esnek algılayıcı kontrol eldiveninden alınan veriler Labview üzerinden okunduktan sonra, Solidworks sanal prototipi, Softmotion modülüne aktarılmıştır. Softmotion modülüne aktarılan sanal prototip üzerinde tanımlanan motorlar, esnek algılayıcı kontrol eldiveni ile etkileşimde olan tetikleyicilerle ilişkilendirilmiştir.

Bu şekilde eldiven üzerinden gelen esnek algılayıcılar ile tanımlanan eksenlerin hareketleri sağlanmıştır. Esnek algılayıcı kontrol eldiveni ile farklı şekillerde cisimler kavranarak, bu esnadaki sanal prototipin hareketleri incelenmiştir. Ayrıca, eksenler minimum ve maksimum çalışma aralıklarında test edilerek tasarımda olabilecek hatalar gözlemlenmiştir.

Simülasyonu gerçekleştirilen sanal prototipin tendon hareketleri yerine, eklem yerlerine aynı esnek algılayıcı tarafından tetiklenen 2 adet motor yerleştirilerek tendonların hareketi taklit edilmeye çalışılmıştır. Tendon hareketlerine göre oluşacak, kavrayıcı robot elin hareketleri birebir taklit edilmiş olsada, simülasyon işlemi sırasında kullanılan muadil sistem prototipin üretimi sonrasında sorunlara yol açmıştır. Fakat simülasyon işlemi sonucunda kavrayıcı robot elin hareketleri, esnek algılayıcı kontrol eldiveni ile kontrolü sağlanmış, kavrayıcı robot elin aksenal hareketleri ve kavrama kabiliyeti hakkında gözlem yapma ve analiz yapma imkanı sağlamıştır.

Bu aşamadan sonra kavrayıcı robot elin üretim aşamasına geçilmiştir.

## 4. SON TASARIM EVRESİ

### 3.1 Karşılaşılan Problemler ve Çözümler

Kavrayıcı robot elin üretimi için mekanik, elektronik tasarımlar yapılmıştır. Yapılan tasarımlar bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiş ve her aşama sanal ortamda test edilmiştir. Simülasyonları yapılan tasarım aşamaları birbirleriyle ilişkilendirilerek tümleşik simülasyonlar yapılmıştır.

Tümleşik simülasyonlar yapıldıktan sonra, sistemin elektronik aksamaları üretilmiş ve kavrayıcı robot elin mekanik aksamaları için sanal prototipleme işlemi yapılmıştır. Sanal prototiplemenin amacı, tasarım sırasında gözden kaçan noktaları görerek, prototip üretilmeden önce oluşabilecek hataları görmektir. Bu işlem ayrıca, kavrayıcı robot elin, insan elinin hareketlerini nasıl yorumlayacağını hakkında gözlemsel ve açısalsal olarak veriler sağlamaktadır.

Prototipin üretimi gerçekleştirildikten sonra, kavrayıcı robot elin parmakların açma-kapama hareketi sırasında problemler gözlenmiştir. Bunun nedeni simülasyon işlemleri sırasında tendon kullanımı yerine, her eklem için ayrı motor tanımlanarak benzetim yapılmış olmasıdır.

3 Boyutlu yazıcı ile üretimi gerçekleştirilen kavrayıcı robot el prototipinin; parmakların açma-kapama hareketinde üst eklemde hareket sağlanamamıştır. Prototip kavrama işlemini gerçekleştirirken, parmak alt eklemi tendon vasıtasıyla hareket etmekte, üst eklem ise sabit hareketini sürdürdüğü gözlemlenmiştir.

Sorunun çözümü için farklı malzemeler tendon olarak kullanılmış, tendonların bağlanma noktaları ve bağlama şekilleri değiştirilmiştir. Yapılan her işlemde parmakların açma-kapama hareketi için sadece alt eklem ya da üst eklem hareket ettiği gözlemlenmiştir. Farklı çözümlerin denenmesine rağmen her iki eklem birlikte açma-kapama hareketini yapması sağlanamamıştır.

Uygulanan farklı çözüm yöntemlerine rağmen sorunun çözülememesinin nedeni ise parmak üzerindeki eklemlerin, tendon yataklarının birbirine dik gelmemesi ve üretilen prototipin tendon bağlantı noktalarının yanlış konumlandırılması olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte üretilen prototip bir 3 boyutlu yazıcı vasıtasıyla üretilmiştir. Prototipin istenilen hassasiyette üretilmemesi de tendonların çekişini etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Kavrayıcı robot elin parmaklarının açma-kapama tam olarak sağlayamamasından dolayı, parmakların açma-kapama hareketleri için parmaklara birer adet daha servo motor eklenmiştir. Bu revize ile açma-kapama hareketini sağlayan parmakların her eklemi için bir adet servo motor ile tahrik edilmiştir.



Şekil 3.1: Burkulma hareketi için eklenen servo motorlar.

Sistemde yapılan bu değişiklik bazı avantaj ve dezavantajlar oluşturmuştur. Eklenen servo motorlar mekanik aksamda bir değişikliğe yol açmamıştır. Elektronik aksamda yapılan değişiklik ise kontrol devresine eklenen 3 adet servo motor çıkışıdır.

Sistemin kontrolünde arttırılan servo motor sayısına rağmen, kullanılan esnek algılayıcı sayısı aynı kalmıştır. Bu işlem için yazılımda açma-kapama hareketini sağlayan esnek algılayıcılar için 2 adet eşleme yapılması gerekliliğini doğurmuştur.

Parmakların açma-kapama hareketlerini sağlayan başparmağın MCP eklemine kadar olan esnek algılayıcı değeri kavrayıcı robot elin parmağının üst eklemine, işaret ve orta parmağın ise PIP eklemlerine kadar olan esnek algılayıcı değerleri parmakların üst eklemlerini kontrol etmektedir. MCP ve PIP eklemlerinden sonra değişen esnek algılayıcıların direnç değer aralıklarında diğer servo motorlar aktif hale geçmekte ve parmakların alt eklemleri hareket etmektedir. Yapılan bu işlem ile kavrayıcı robot elin parmakların açma-kapama hareketinin, insan eli parmaklarının hareketlerine daha çok benzemesine yol açmıştır. Sonuç olarak hareket kabiliyetinde oluşan bu sorun, çözümünü itibariyle istenilen hareket benzetimine daha da yaklaşılmasını sağlamıştır.



Şekil 3.2: 3 Parmaklı Kavrayıcı Robot El Son Tasarımı.

Kavrayıcı robot elin parmakların açma-kapama hareketi için eklenen servo motorlar farklı bir soruna yol açarak parmakların çalışma aralığının düşmesine neden olmuştur. Bunun nedeni ise farklı servo motorlardan hareketleri sağlanan eklemlerin, birbirlerinin hareketlerine göre tendon uzunluklarının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bu sorunun çözümü için ise üst eklemin hareketi için kullanılan servo motorun yerleşim noktasının değişmesi, alt eklemin hareketini sağlayan servo motordan, üst ekleme daha yakın bir konuma konulması gerekmektedir. Örnek olarak, üst eklemin hareketini sağlayan servo motor, alt eklem bloğunun içerisine yerleştirilebilir. Bu durumda üretilen prototipin tasarımında değişiklik yapılarak tekrar üretilmesi gerekmektedir. Yapılabilecek bu değişiklikle parmakların açma-kapama hareketindeki çalışma aralıkları arttırılabilir.

## 5.DENEYLER VE ANALİZ

### 5.1 Esnek Algılayıcı Değerlerinin Ölçümü

Bu çalışmada eldiven üzerinden kontrol edilen, kavrayıcı el robotunun kalibrasyonu için gerekli olan esnek algılayıcıların farklı bükülme açılarındaki direnç değerleri ölçülmüştür.

Kavrayıcı el robotunun kontrolü için 5 adet esnek algılayıcı, el üzerinde farklı konumlarda yerleştirilmiştir. Esnek algılayıcıların, eldiven üzerindeki farklı konumlarından dolayı her algılayıcı farklı bükülme aralığında çalışmaktadır. Bu yüzden, her algılayıcının maksimum bükülme açıları farklı olmaktadır. Farklı açılarda bükülen esnek algılayıcılarında çalışma aralıkları farklı olduğundan, her bir algılayıcı için ayrı ayrı ölçümler yapılması ve çalışma aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışma aralıkları belirlenen esnek algılayıcılardan alınan veriler daha sonra kavrayıcı robotun servo motorlarını kalibre edilirken kullanılacaktır.

Sistemin kontrolü için eldiven üzerinde toplamda 5 adet esnek algılayıcı bulunmaktadır. Kavrayıcı robotun mekanik hareketleri ise 9 adet servo motor ile uyarılmaktadır. Sistemdeki bazı algılayıcılar birden fazla servo motoru kontrol etmektedir. Servo motorların aktif veya pasif durumdaki geçme noktalarında, esnek algılayıcıların çalışma aralıkları ve eldiven üzerindeki mimiklerin kavrayıcı eldeki hareketlere benzetimine göre yapılmıştır. Bu durumda da her esnek algılayıcı için bükülme açılarındaki verdiği maksimum ve minimum direnç değerinin yanında, insan elindeki parmakların eklem noktalarındaki direnç değerleri ve benzetim için bazı spesifik açılardaki direnç değerleri ölçülmelidir.

Parmaklar üzerine yerleştirilen 3 adet algılayıcı, robot kontrol üzerindeki parmakların açma-kapama hareketlerini sağlamaktadır. Bu algılayıcılar, tasarımda yapılan değişiklikler sonrası, her biri 2 adet servo motorun kontrolünü sağlamaktadır. Eldiven üzerindeki esnek algılayıcıların, kavrayıcı robot el üzerindeki uygulamasında, insan eli mimiklerine en yakın benzetim için şu şekilde bir yaklaşım uygulanmıştır.

Uygulanan yaklaşımda, insan elinin parmaklarındaki eklemlerin büküm açılarının doğruluk açı ölçümlerinin zor olmasından dolayı, daha önceden yapılmış bir çalışmadaki veriler kullanılmıştır [14]. Yapılan çalışmada her parmak için farklı eklem

noktalarının, kolun bulunduğu açısal konuma göre ölçümleri yapılmıştır. Esnek algılayıcıların ölçümleri yapılırken, kol dirseğinin 90 derece açıyla konumlandırıldığı varsayılmıştır.

Tablo 4.1: Başparmak Eklemleri Bükülme Dereceleri.

	IP	MCP	CMC
Baş Parmak	80°	55°	50°

Tablo 4.2: İşaret Parmağı Eklemleri Bükülme Dereceleri.

	DIP	PIP	MCP
İşaret Parmağı	80°	100°	90°

Tablo 4.3: Orta Parmak Eklemleri Bükülme Dereceleri.

	DIP	PIP	MCP
Orta Parmak	80°	100°	90°

Tablo 4.4: Bilek Eklemi Bükülme Derecesi.

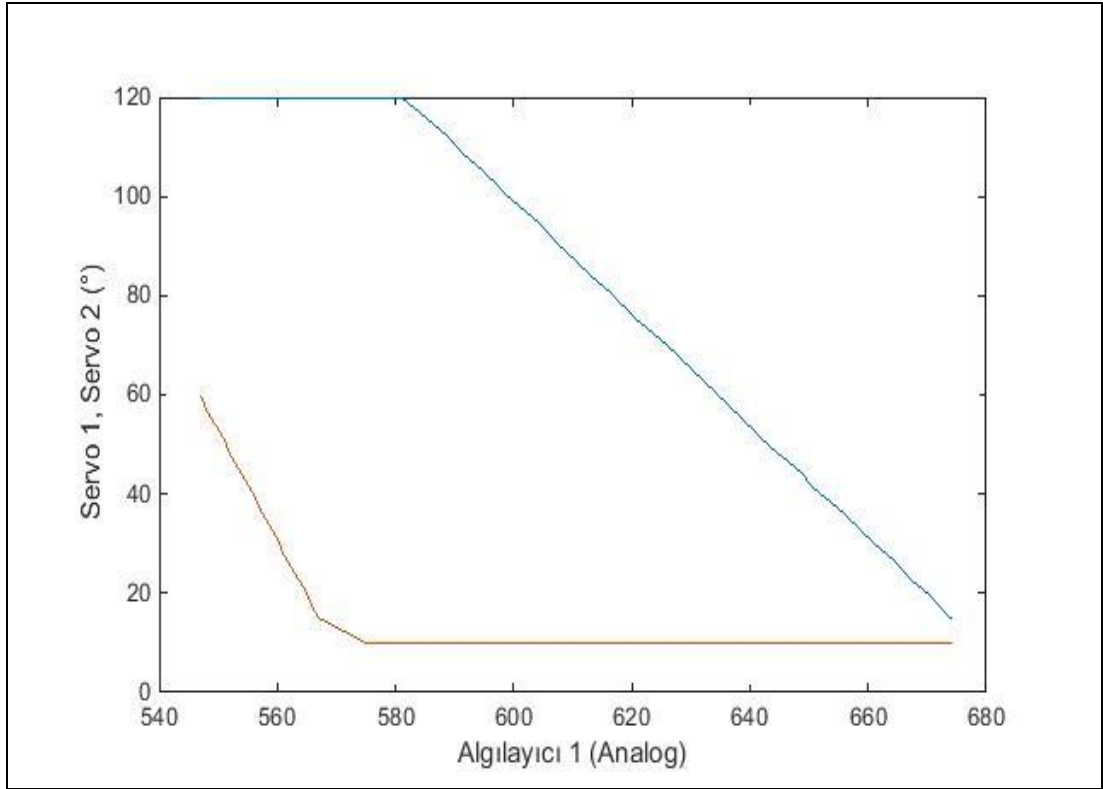
	Wr
Bilek	80°

Ölçümü yapılan Esnek algılayıcılar için; DIP, PIP, MCP, IP, CMC ve WR eklemlerinin bükülme açılarındaki değerler dikkate alınmıştır.

Kavrayıcı robot el üzerindeki 1 numaralı parmağı kontrol eden işaret parmağı, DIP ve PIP eklemlerinin maksimum açılarını kapsayarak, kavrayıcı robot el üzerindeki bu parmağın üst eklemine hareketini tamamlamaktadır. İşaret parmağı PIP ile MCP eklemi arasında bir derecede büküldüğünde ise kavrayıcı robot üzerindeki parmağın alt eklemi hareket etmektedir. Bu yaklaşımla 3 eklemlilik olan işaret parmağı, 2 eklemlilik bir kavrayıcı parmakta benzetimi en yakın şekilde yapılması amaçlanmıştır.

Tablo 4.5: İşaret Parmağını Algılayıcı Ölçümleri.

İşaret Parmağı	Düz	DIP	PIP	MCP
Parmak Açısı	0°	80°	100°	90°
Algılayıcı Direnci	11.3k	14.7k	21.8k	22.6k
Analog Değeri	668	592	515	487
Servo 1 (V)	0.17	0.35	0.42	0.42
Servo 2 (V)	0.15	0.15	0.15	0.27

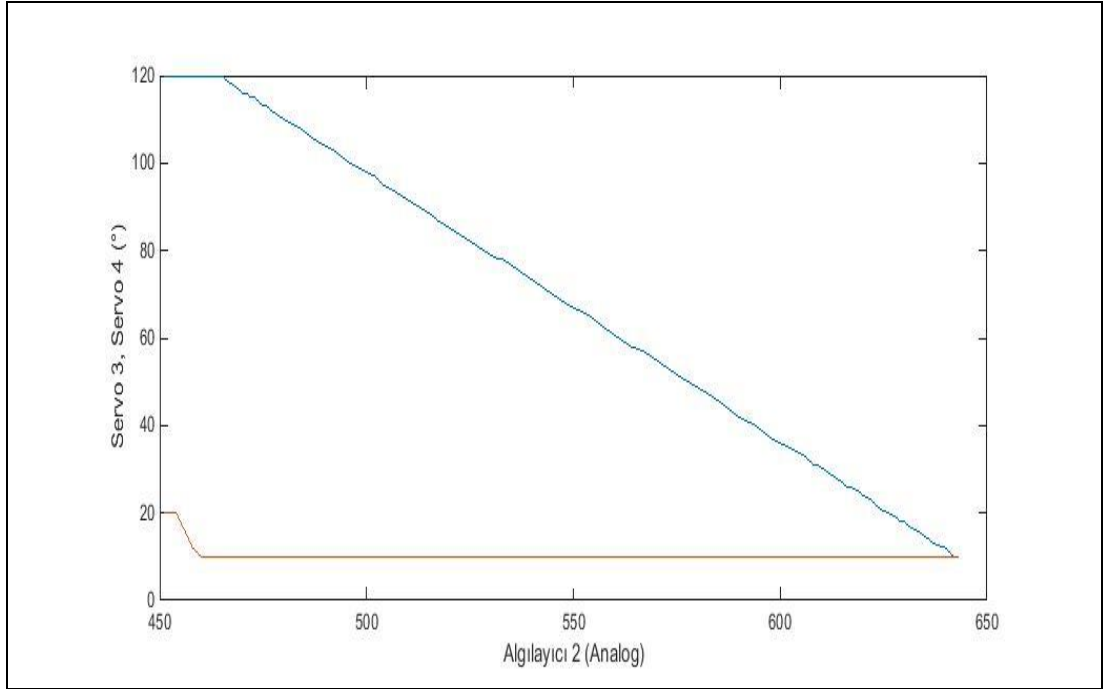


Şekil 4.1: Parmak 1 Burkulma hareketi.

Kavrayıcı robot el üzerindeki 2 numaralı parmağı kontrol eden orta parmağı, DIP ve PIP eklemlerinin maksimum açılarını kapsayarak, kavrayıcı robot el üzerindeki bu parmağın üst eklemine hareketini tamamlamaktadır. İşaret parmağı PIP ile MCP eklemi arasında bir derecede büküldüğünde ise kavrayıcı robot üzerindeki parmağın alt eklemi hareket etmektedir. Bu yaklaşımla 3 eklemlilik olan işaret parmağı, 2 eklemlilik bir kavrayıcı parmakta benzetimi en yakın şekilde yapılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak işaret parmağı ve orta parmak aynı eklemlere sahip oldukları için işaret parmağı için yapılan ölçüm yöntemi burada da kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise işaret parmağının ve orta parmağın aynı bükülme açlarına sahip olmamasıdır.

Tablo 4.6: Orta Parmağını Algılayıcı Ölçümleri.

OrtaParmak	Düz	DIP	PIP	MCP
Parmak Açısı	0°	80°	100°	90°
Algılayıcı Direnci	13.3k	18.8k	32.6k	39.2k
Analog Değeri	636	563	452	367
Servo 3 (V)	0.17	0.26	0.43	0.43
Servo 4 (V)	0.15	0.15	0.15	0.18

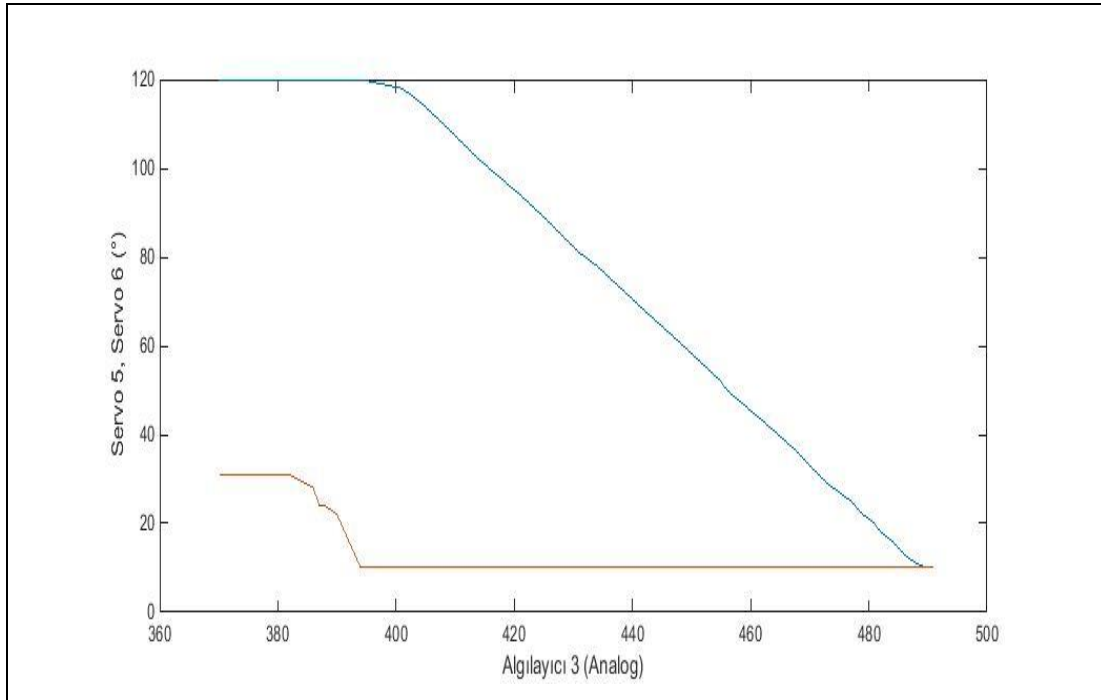


Şekil 4.2: Parmak 2 Burkulma hareketi.

Kavrayıcı robot el üzerindeki 3 numaralı parmak ise başparmak ile kontrol edilmektedir. Başparmakta işaret ve orta parmağa göre IP ve CMC eklemi bulunmaktadır. CMC ekleminin açılma konumları ise yine bu parmağın yanıl hareketini sağlamak için kullanılmaktadır.

Tablo 4.7: Başparmak Algılayıcı Ölçümleri.

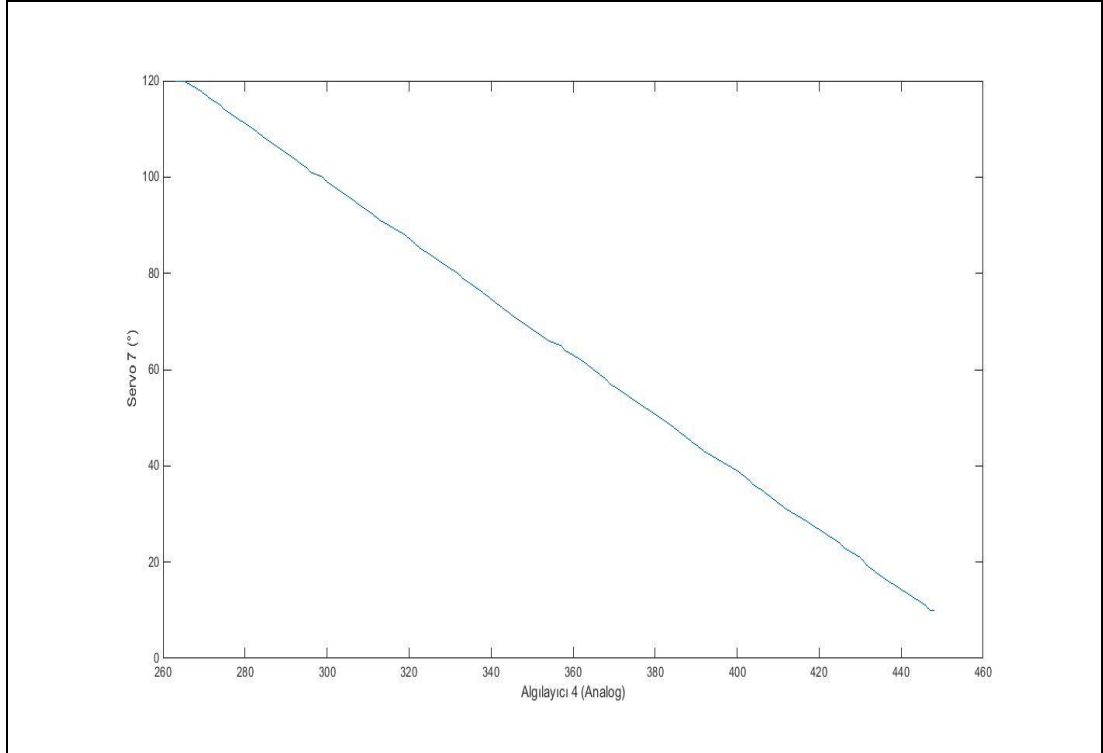
Baş Parmak	Düz	IP	MCP
Parmak Açısı	0°	80°	55°
Algılayıcı Direnci	8.96k	12.74k	17.42k
Analog Değeri	481	365	303
Servo 5 (V)	0.15	0.20	0.20
Servo 6 (V)	0.18	0.42	0.42



Şekil 4.3: Parmak 3 Burkulma hareketi.

Tablo 4.8: Başparmak Adüksiyon Algılayıcı Ölçümleri.

Baş Parmak	Düz	CMC
Parmak Açısı	0°	50°
Algılayıcı Direnci	24.2	50.6
Analog Değeri	441	277
Servo 7 (V)	0.15	0.42

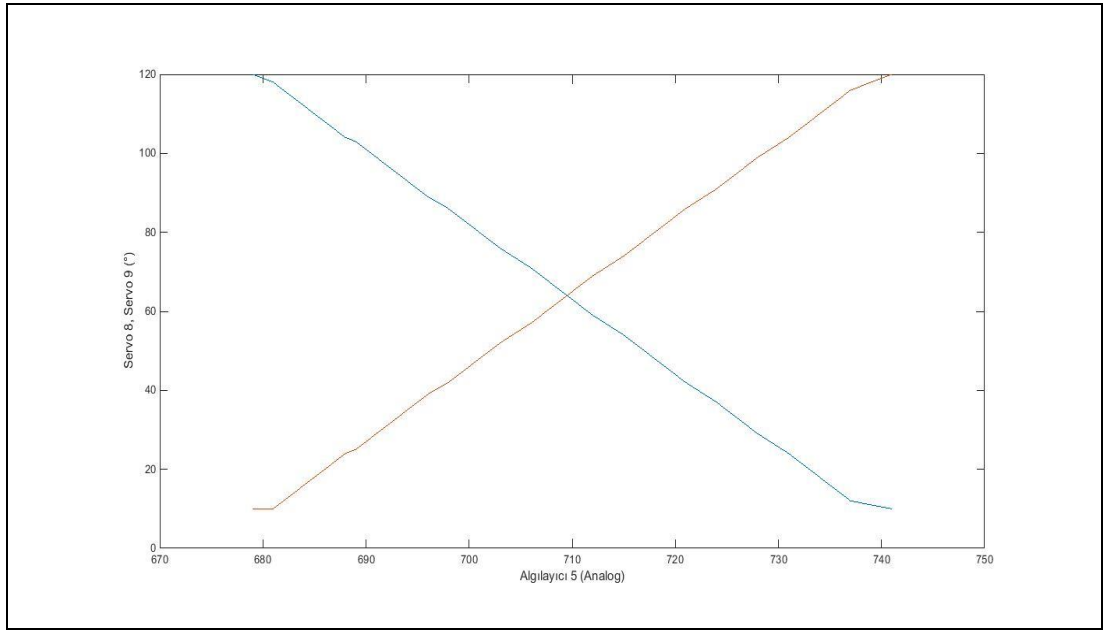


Şekil 4.4: Parmak 3 Dönel hareket.

Kavrayıcı robot el üzerindeki 1 ve 2 numaralı parmakların yanal hareketi ise bileğin üzerine yerleştirilen bir esnek algılayıcı tarafından kontrol edilmektedir. Burada tek bükülme eklemine sahip olan bileğin, bu aralıktaki algılayıcı değerleri ölçülmüştür.

Tablo 4.9: Bilek eklemi Algılayıcı Ölçümleri.

Bilek	Düz	WR
Parmak Açısı	0°	80°
Algılayıcı Direnci	8.02	11.28
Analog Değeri	739	680
Servo 8 (V)	0.15	0.39
Servo 9 (V)	0.15	0.36



Şekil 4.5: Parmak 1 ve Parmak 2 Dönel hareket.

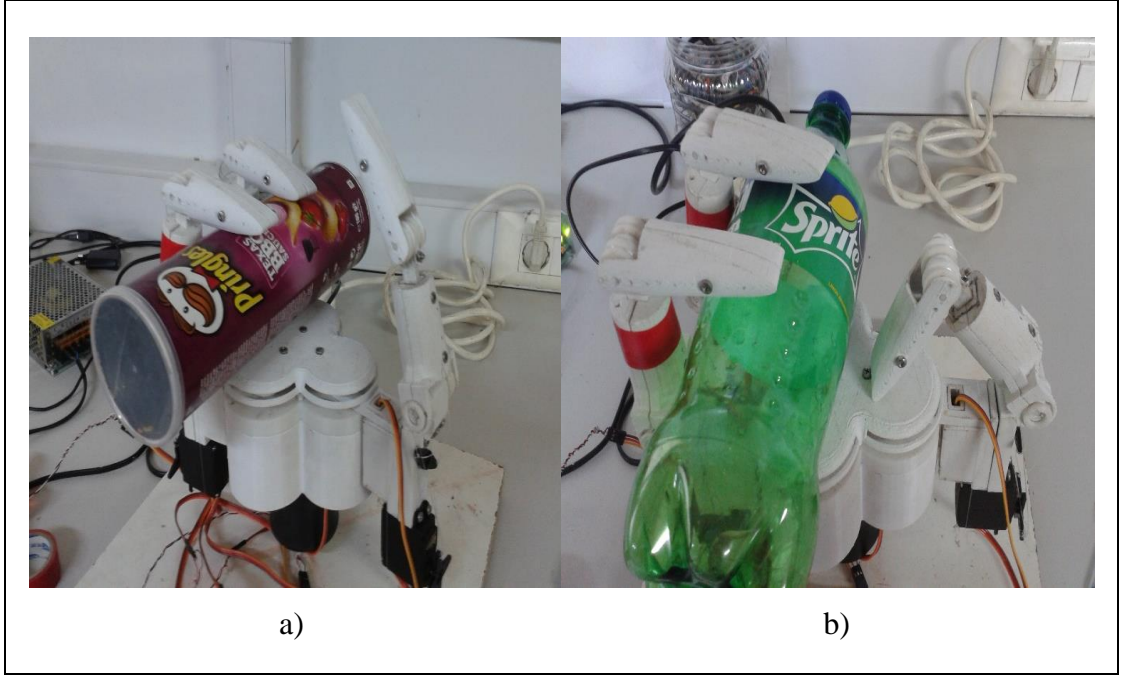
## 5.2 Farklı Geometrilik Cisimler Üzerinde Kavrama Testi

Çalışmanın bu bölümünde, üretilen 3 parmaklı kavrayıcı el robotu ile farklı geometrilere sahip cisimler üzerinde kavrama işlemleri yapılmıştır. Yapılan kavrama işlemlerinde, kavrayıcı el robotunun bazı temel hareketleri yapabildiği, bazılarını ise yapamadığı gözlemlenmiştir.

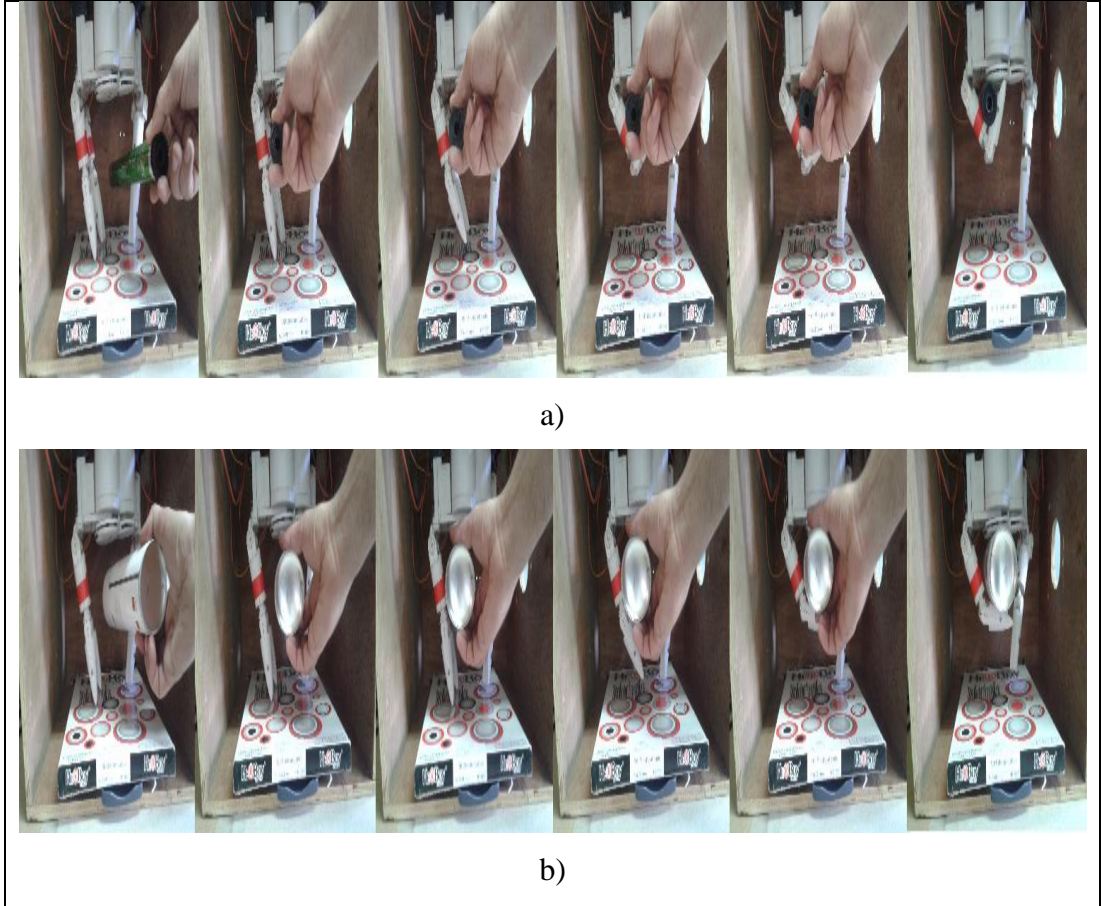
Kavrayıcı el robotunun kuvvet parmağı ve diğer parmaklar dönel hareket yapabilmektedir. Kavrayıcı robotun bu özelliği sayesinde kuvvet parmağı dönel ekseninde farklı açılarda konumlanarak, aynı cismi farklı şekillerde kavrayabildiği gözlemlenmiştir.

Temel hareketlerden kanca, silindirik, küresel, tutam hareketleri farklı geometrik yapılardaki cisimler ile kavrama işlemleri yapılmıştır. Aynı kavrama işlemi, aynı cisim üzerinde çok kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan kavrama işlemlerinde tekrarlılık sayısının değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Örneğin; kanca hareketinde 40-50 defa tekrarlanabilen hareket dizisi, yine kanca hareketinde sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise kullanılan tendonların bazen tendon yataklarından çıkmasıdır. Ayrıca aynı hareketi gerçekleştirmek için kontrol eldiveniyle yapılan harekette de bir müddet sonra farklılaşma olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise esnek algılayıcıların eldiven üzerindeki bükümlerinin, harekete göre bir müddet sonra farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Tekrarlılık sayısında stabilizasyon için yapılabilecek çözüm önerileri ise tez çalışmasının sonuç bölümünde belirtilmiştir.

Kavrayıcı robot el prototipiyle başarılı bir şekilde yapılan hareketlerden biri kanca hareketidir. Kanca hareketi ile farklı çaplardaki, silindirik yapıdaki 2 farklı cismin kavranması kavrayıcı robot el ile kolaylıkla sağlanmıştır.

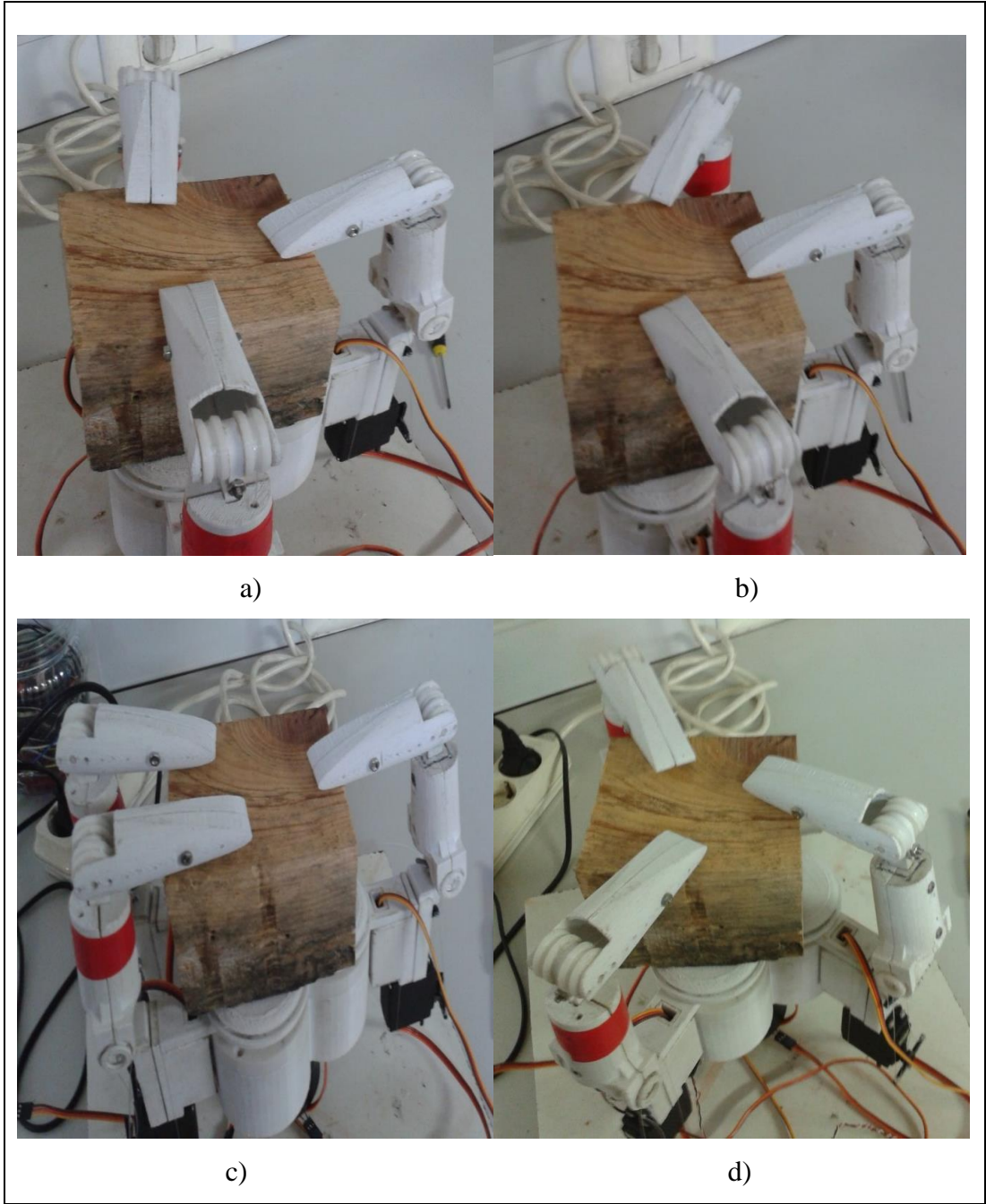


Şekil 4.6: Silindirik Cisimlerin Kanca Hareketiyle Kavranması.  
a) Kanca Kavrama Testi 1, b) Kanca Kavrama Testi 2



Şekil 4.7: Farklı Ağırlıklardaki Silindirik Cisimlerin Kanca Hareketiyle Kavranması.  
a) Kanca hareket serisi 1, b) Kanca hareket serisi 2

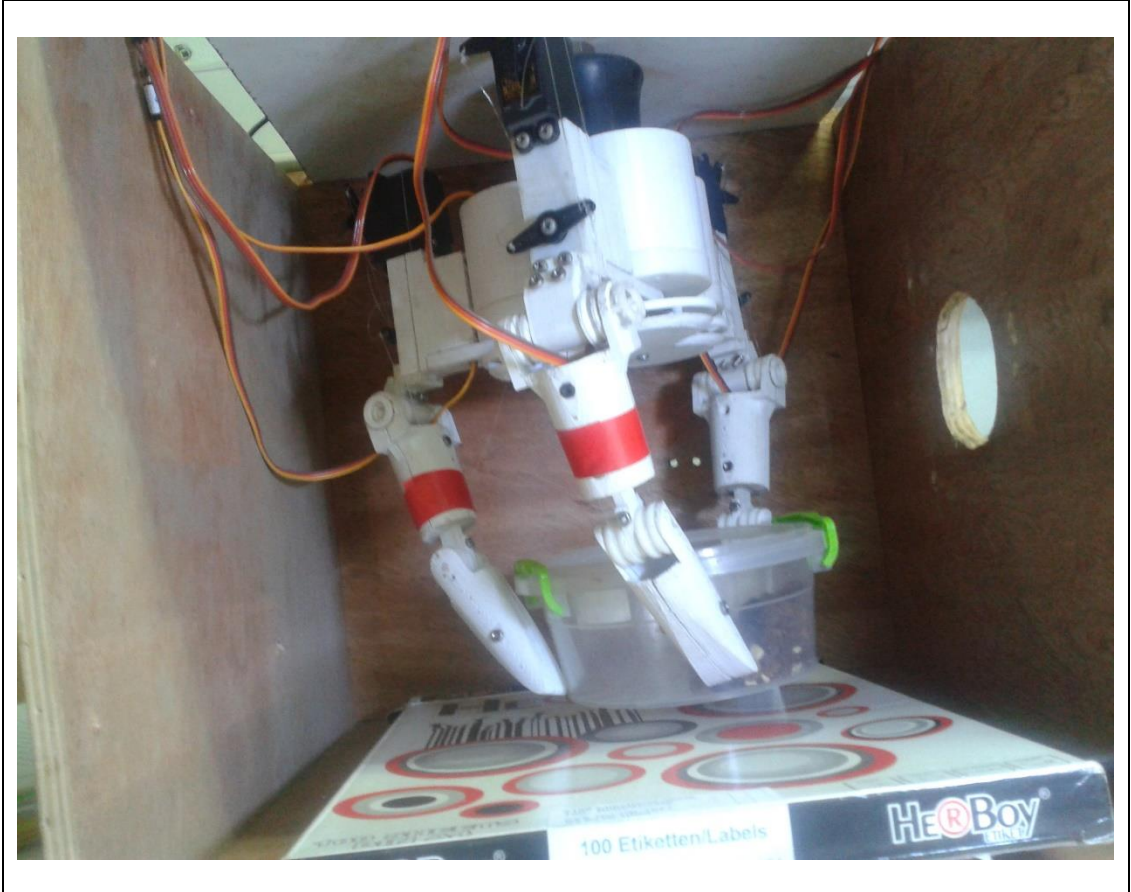
Kavrayıcı robot ile bir tahta kare bloğu üzerinde 4 farklı kavrama şekli ile bir dizi kavrama hareketi yapılmıştır.



Şekil 4.8: Diktörge Cismin Farklı Noktalardan Kavranması.  
a) Küresel Hareket 1, b) Küresel Hareket 2, c) Küresel Hareket 3,  
d) Küresel Hareket 4

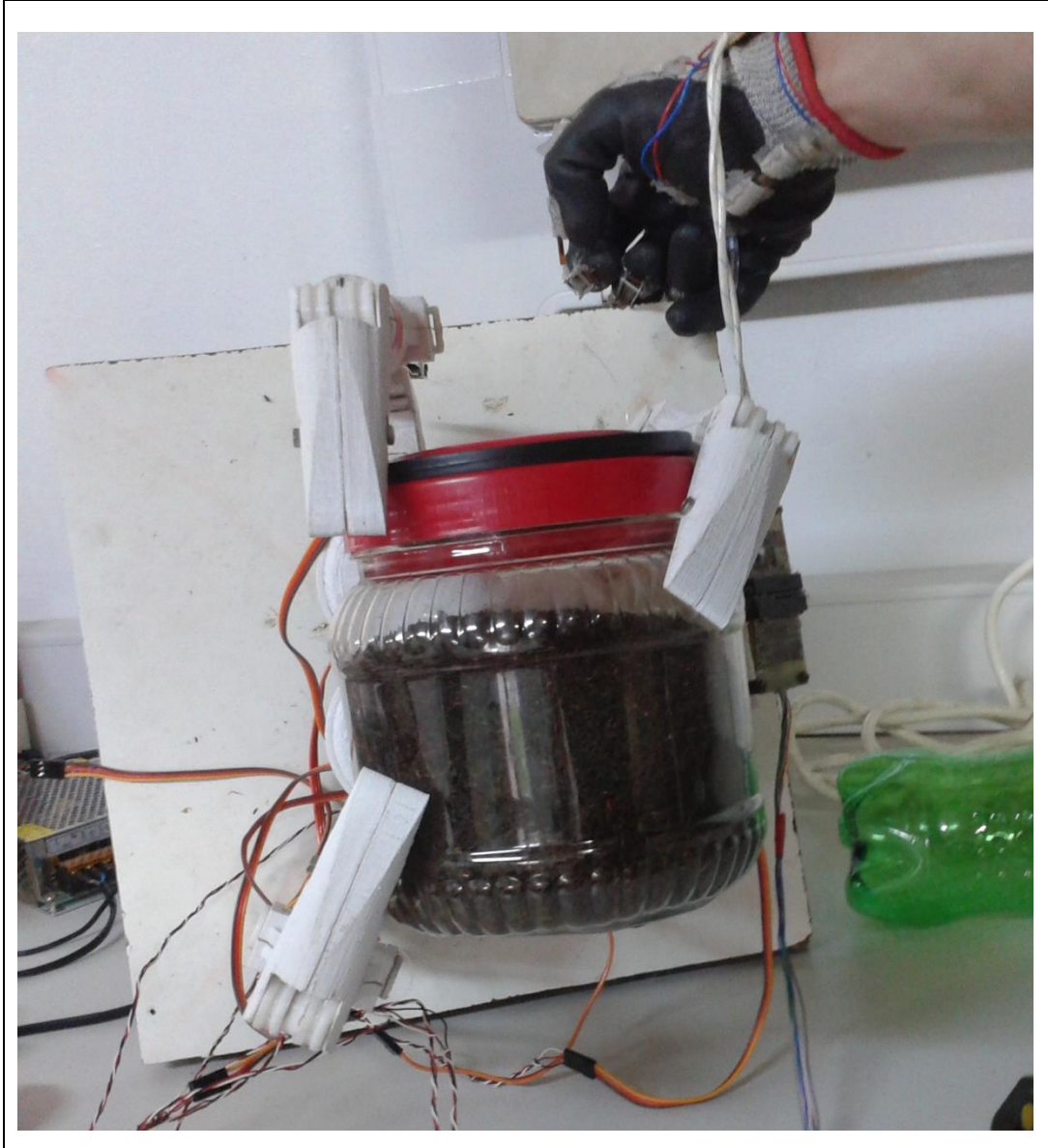
Bir başka kavrama işleminde ise tutam hareketi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Fakat çalışma sırasında yapılan zorunlu modifikasyon nedeniyle bu hareket stabil ve net bir şekilde gerçekleştirilememiştir.

Kavrama işlemiyle yapılan bir diğer hareket ise küresel hareket olmuştur. Kanca hareketiyle birlikte cismi en iyi kavrayan hareketlerden biri olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.9: Küresel Kavranma Hareketi

Yapılan son kavrama işlemi ise silindirik yapıdaki bir kavanozun kavrama hareketidir. Bu kavrama işleminde ise tez çalışmasında incelenmek istenen kuvvet parmağının adüksiyon ve abdüksiyon hareketinin kavrama işlemi üzerindeki etkisine dair gözlem yapılabilmektedir.



Şekil 4.10: Adüksiyon Halindeki Başparmak ile Amorf Yapıdaki Cismin Kavranması.

## 6. SONUÇLAR

### 6.1 Genel Çıktılar ve Değerlendirmeler

Tez çalışması sonucunda, 3 parmaklı deneysel kavrayıcı prototip tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen deneysel kavrayıcının farklı şekillerde kontrolü sağlanarak kavrama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında kavrayıcının kontrolü esnek algılayıcılarla desteklenmiş bir eldiven ile sağlanmıştır. Esnek algılayıcılarla desteklenmiş eldiven ile kavrayıcının kontrolü stabil olarak sağlanamamış ve bir dizi sorun ile karşılaşmıştır. Bunun nedeni kullanılan algılayıcıların kırılma katsayıları yüksektir ve sık sık algılayıcıların kırılarak çalışma sürecinde sorun yaratmıştır. Bunun yanı sıra algılayıcı değeri, esneme oranına göre zamana göre değişmektedir ve tekrarlanan kavrama deneylerinde ölçümler farklı çıkabilmektedir. Bu gibi birtakım sorunlar sebebiyle çalışma kapsamında kavrayıcının kontrolü bilgisayar ortamında tasarlanan bir arayüz aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Arayüz Matlab ile geliştirilmiş ve arayüz üzerinden yapılan kontrol ile kavrayıcının kavrama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma başlangıcında üretilmesi ve çalışma şekli planlanan prototip; tasarım ve model tabanlı kontrol simülasyonu yapılarak üretimine geçilmiştir. Kavrayıcının CAD tasarımı Solidworks ile gerçekleştirilmiştir. Model tabanlı kontrol sistemi ise Labview programıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sürecinde Solidworks ve Labview programı tümleşik olarak birlikte kullanılmıştır. Fakat Simülasyon sürecinde kavrayıcının tendon sistemi birebir simüle edilmemiştir. Simülasyon sürecinde sorunsuz kontrolü sağlanan kavrayıcının mekanik yapısı; birebir simüle edilmeyen tendon sisteminden dolayı, üretim sonrası oluşan birtakım sorunların fark edilememesine yol açmıştır. Kavrayıcının mekanik yapısından kaynaklı oluşan sorunlardan dolayı istenilen fonksiyonellik sağlanamamıştır. Sorunun çözümü için kavrayıcı üzerinde modifikasyonlar yapılmış ve bu modifikasyonlar bir dizi olumlu ve olumsuz sonuçlar oluşturmuştur.

İlk olarak; kavrayıcı parmaklarının DIP ve PIP eklemlerini, tendon yardımıyla bir servo tahrik motoru kullanarak burkulma hareketini gerçekleştirmesi öngörülmüştür. Burada hedeflenen kavrama yolu sırasıyla; PIP eklemının tahrik edilmesi, parmağın kavranacak nesne ile temas etmesi, nesne tarafından hareketi engellenen PIP ekleminin sonra DIP eklemının tahrik edilerek bu eklemın cisim ile temasıyla kavrama işleminin tamamlanmasıdır.

Üretim sonrası yapılan denemelerde kavrayıcı öngörülen taksonomiye başarıyla gerçekleştirilememiştir. Kavrayıcı ile yapılan denemelerde ise DIP ve PIP eklemlerinin birlikte hareket ettiği, sırasıyla burkulma hareketini gerçekleştiremediği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda denemelerle birlikte, sorunun tespiti için mevcut mekanik yapılar tekrar irdelenmiş ve gözlemsel tespitler yapılmıştır. Çalışmanın bu fazında, kavrayıcı yapıları ve kavrayıcı tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar hakkında daha detaylı bilgi edinimi kazanılmıştır.

Yapılan gözlemsel çıkarımlar ile mevcut tasarım üzerinde sorunun çözümü için değişiklikler ile birtakım denemeler yapılmıştır.

Deneyisel kavrayıcı prototipinin üretimi 3D yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden parçalar üzerindeki çözünürlük, yüzey işlem uygulanmasına rağmen düşüktür. Bu sebeple sistemde hareketli parçalar arasındaki sürtünme katsayısı yüksektir. Çalışmada ek dosyada belirtilen P3 ve A1 parçaları makara yatağını oluşturmaktadır. Burada hem makara yatağının iki parçadan oluşması nedeniyle dairesellik tam olarak sağlanamamış, hem de yüzey çözünürlüğü nedeniyle makara yatağındaki sürtünme yüksektir. Bu sorunun çözümü için bu parçalar arasına makine yağı sürülerek denemeler yapılmıştır. Uygulanan yöntem ile hedeflenen taksonomi sıralaması başarıyla gerçekleştirilmiştir. Fakat yağın etkisini kaybetmesiyle parmak hareket kabiliyetini yitirmektedir. Bu nedenle uygulanan yöntemle kalıcı bir çözüm üretilememiştir.

Kavrayıcı parmakların, burkulma hareketini sağlayan tendonlar için farklı tipte malzemeler kullanılarak denemeler yapılmıştır. Denemeler sırasında ve öncesinde tendonların yapısı, tendonlar için kullanılacak malzeme tipleri ve özellikleri, gerilim oranları, bağlantı şekillerine ve insan el anatomisinin yapısına dair edinimler kazanılmıştır. Tendon malzemesi olarak ip, bakır tel, kaplamalı bakır tel, kaplamalı çelik tel, lastik ve misina kullanılmıştır. Kullanılan malzeme tiplerinden tendon çekişli sistemler için en uygun olanı çelik teldir. Üretilen kavrayıcı abs malzeme olduğu için çelik tel tendonun hareketiyle bir müddet sonra sürtünme yüzeylerini kesmesi muhtemeldir. Bu yüzden tendon olarak kaplamalı çelik telin kullanımı denenmiştir.

Tendon çekişli sistemlerde, tendon bağlama noktalarına dikkat edilmelidir. Tasarım aşamasında tendonların bağlanacağı uç noktaları için özel bir yapı oluşturulmalıdır. Kavrayıcının tasarım aşamasında çelik tendona özel bir bağlama noktası oluşturulmadığı için çelik tel tendon olarak istenilen şekilde bağlanamamıştır.

Kullanılan malzemeler açısından, çalışmada yapılan kavrayıcı için en uygun tendon misinadır. Misina bükülebilir yapısı itibariyle bağlantı noktalarının sabitlenmesi çelik tele göre daha kolaydır. Birçok deneme yapıldığından dolayı, denemeler genellikle misina ile gerçekleştirilmiştir.

Tendonlar için diğer önemli durum ise ön gerilme oranlarıdır. Tendon çekişli kavrayıcılarda, kavrama hareketinin başarılı ve sıkı bir biçimde gerçekleştirilmesi için tendonların ön gerilme oranı %50 olmalıdır [4]. Çalışmada kullanılan tendonlar da ön gerilme yeteri kadar uygulansa bile, misinalar yapı itibariyle esnemekte ve ön gerilme oranlarını çok kısa sürede kaybetmektedir. Özellikle eklem ağırlığı arttırıldığında, misinaların çok çabuk esnediği ve esnemenen dolayı uzayarak ön gerilme oranlarını kaybettiği görülmüştür. Bu yüzden denemeler sırasında sık sık tendonların yenilenmesi gerekmiştir.

Tasarım fazında yapılan bir diğer hata ise eklem makaralarına tendonlar dik olarak gelmemektedir. DIP eklem makarası ile PIP eklem makarasının genişlikleri farklıdır. DIP eklem makarasından gelen tendon PIP makarasına genişleyerek ulaşmaktadır. Tasarım aşamasında da bu hata gözden kaçırılmıştır. Burada iki eklem makarasının da aynı genişlikte olması gerekmemektedir. Fakat tendon aktarımı sırasında, tendon açısı sabit kasnak veya kasnaklar ile değiştirilerek tendonlar eklem makaralarından dik olarak geçirilmelidir. Tasarımsal bu hatanın sistemde oluşturduğu etki ise burkulma için gerekli motor torkunun artması ve bazen tendonların makara yataklarından çıkarak beklenmeyen hatalar oluşturmasıdır.

Çalışmada yapılan kavrayıcı için yapılabilecek bir diğer tasarım iyileştirmesi ise ek olarak teknik çizimlerde verilen U1 parçasıdır. U1 parçası DIP eklem makarasını alt parmak boğumu ile bağlantıyı sağlamaktadır. Bu parçanın uzunluğu arttıkça; DIP eklem makarasının merkez noktası ile alt parmak boğumunun üst noktasına olan uzaklığı artmaktadır. Bu da sistemde aynı parmak üzerindeki tendonlar için eşit ve yeterli derecede ön gerilme uygulanmadığında bu noktada bir moment oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle üst parmak boğumunda kasma ve burkulma yönünden 90 ° y ekseninde moment oluşumu gözlemlenmiştir.

Bu aşamaya kadar uygulanan yöntemler ve denemelerde istenilen sonuç alınmayınca kavrayıcı üzerinde birtakım modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tek motor ile sağlanamayan burkulma hareketi için parmaklara birer adet tendon tahrik motoru eklenmiştir. Burada hedeflenen çözüm, belirlenen sıralamaya göre hareketi sağlanamayan eklem boğumlarının, ayrı tendonlarla ve farklı motorlarla çekilmesidir. Parmaklara eklenen bir adet motor ile hedeflenen kavrama kabiliyeti kavrayıcıya kazandırılmıştır.

Kavrayıcının mekanik yapısındaki bu iyileştirme ile kavrama test aşamasına geçilmiştir. Kavrayıcı ile temel kavrama hareketlerinden tutam, kanca, silindirik ve küresel kavrama testleri gerçekleştirilmiştir.

Kavrayıcı üzerinde yapılan zorunlu modifikasyon nedeniyle kavrayıcı tutam hareket kabiliyetini kaybetmiştir. Bir başka bakış açısıyla tendon çekiş sıralamasına göre sadece tutam veya kanca, silindirik, küresel hareketlerini gerçekleştirmektedir. Dört temel kavrama hareketini ise aynı anda gerçekleştirememektedir. Tendon çekiş sıralaması değiştirilerek tutam hareketi kavrayıcı ile yapılmıştır. Fakat parmak uçları arası mesafenin uzak olmasından dolayı bu hareket ile küçük cisimlerin tutulması uygun değildir.

Kavrayıcı ile yapılan bir diğer kavrama hareketi ise kanca hareketidir. Kanca hareketi 2 parmak ve 3 parmak ile iki farklı şekilde başarıyla yapılmıştır. Tasarım itibariyle parmakların her biri MCP ekleminde dönel hareketi gerçekleştirebilmektedir. Bu yapıyla 3 parmak kanca hareketi de başarıyla uygulanabilmiştir.

Başarıyla uygulanan bir diğer kavrama hareketi ise Silindirik kavramadır. Bu harekette farklı çaplarda ve ağırlıklarda silindirik cisimler ile kavrama testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada geliştirilen kavrayıcı prototipiyle yapılan en kolay cisim kavramaları küresel kavrama hareketi ile gerçekleştirilmiştir. Kavrayıcının yapı itibariyle 3 parmaklı oluşu ve parmakların dönel hareket kabiliyeti küresel kavrama hareketi ile cisim kavranmasında avantaj oluşturmuştur. Bu kavrama tipi ile cisim kavramalarını daha kolay gerçekleştirmek ve kavrayıcının kavrama kabiliyetini arttırmak amacıyla parmak uç yapısında modifikasyon yapılabilir. Tasarımda parmak uç yapısı düz ve sert yapıdadır. Bu nedenle kavrama esnasında, cismin pozuna bağlı olarak bazen cismin kavranmadığı ve kaydığı gözlenmiştir. Parmak uçları daha yumuşak yapıda bir malzemedir yapılarak, objenin kayması engellenebilir ve obje pozları tolere edilebilir.

İnsan eli anatomisinde parmakların açma-kapama hareketi uzama ve kısılmaya, yaklaşma-uzaklaşma hareketi ise abdüksiyon ve adüksiyon hareketleri olarak tanımlanmaktadır. Abdüksiyon ve adüksiyon çalışma aralığı en geniş olan parmak ise başparmaktır. Ayrıca başparmak insan parmağında MCP eklemi diğer parmaklara göre farklı konumlanmıştır.

Başparmağın kavramaya olan etkisi ise toplam kavrama kabiliyetinin 1/3'üne eşdeğerdir. Bu açıdan başparmağın insan elinde ayrı bir önemi bulunmaktadır. Başparmağa bu özelliği kazandıran etmen ise abdüksiyon ve adüksiyon çalışma aralığının diğer parmaklara göre çok daha fazla olması olarak yorumlanabilir. Çalışmada yapılan tasarımda bu yapıdan esinlenerek, her parmağın geniş çalışma aralığında adüksiyon ve abdüksiyon hareketi yapması hedeflenmiştir.

Kavrama işleminin başarıyla gerçekleşmesini etkileyen en önemli faktörlerden biri başparmağın konumudur. Kavrama işleminde başparmak kavrama yönünü belirlerken diğer parmaklar, bu parmağa göre destekleyici pozisyon almalıdır [Cotugno G. et al, 2015]. Buradan yola çıkarak, geliştirilen deneysel prototipte kavrama işleminin yönünü herhangi bir parmak belirleyebilir şeklinde bir yorum yapılabilir. Rasgele seçilen bir parmak, başparmak vazifesi görerek diğer parmaklar destekleyici parmak konumlarına da getirilebilir. Bu yapının kavrama üzerine etkisi ise cisimlerin geometrik yapısına bağlıdır. Örneğin; Amorf yapıdaki cisimlerin kavranmasında, her parmak hem başparmak hem de birbirlerine göre destekleyici konumlarına, çalışma aralığının izin verdiği ölçülerde noktasal olarak konumlandırılabilir.

Kavrama deneylerinin tamamlanmasıyla, kavrayıcı üzerinde tekrar modifikasyonlar yapılmıştır. Kavrayıcıya eklenen tahrik motorları kavrayıcının burkulma hareketindeki çalışma aralığını düşürmüştür. Bunun yanı sıra tendonların eklemlerin çekişinden dolayı bağıl olarak birbirini germesi, tendonların uzamasına sebep olmakta ve tendonlar üzerindeki ön gerilme oranını kısa sürede düşürmektedir. Bu fazda yapılan modifikasyonların amacı; kavrayıcının çalışma aralığını arttırmak ve tekrarlılık sayısında artış sağlamak olmuştur.

Kavrayıcıların tendon bağlantı noktaları tahrik motoru olarak kullanılan servo motorlarda kullanılan standart başlardır. Yapılan modifikasyonda bu başlar dairesel bir makara ile değiştirilerek, uzayan tendonların toplanması sağlanmıştır.

Sonuç olarak; çalışma kapsamında düşük maliyetli bir kavrayıcının tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Kavrayıcı ile 2 farklı algoritma kullanılarak 4 temel kavrama tipi olan tutam, kanca, silindirik ve küresel kavrama hareketleri farklı geometri

cisimler üzerinde başarıyla gerçekleştirilmiştir. Kavrayıcının kontrolü ise esnek algılayıcı destekli bir eldiven ve bilgisayarlı arayüz üzerinden sağlanmıştır. Çalışma sürecinde; kendine robotikte kullanım alanı bulan tasarım, model tabanlı kontrol simülasyonları, bilgisayarlı arayüzle kontrol gibi konularda edinimler sağlanmıştır. Ayrıca kavrayıcı tipleri ve yapıları, kontrol şekilleri, tendon çekişli sistemler, ters ve ileri kinematik konularında da araştırma yapma imkanı bulunmuştur.

## 5.2 Gelecek Geliştirmeler

Kavrayıcının üretim sonrası fonksiyonelliğine bakılarak avuç içi ile parmakları bağlayan MCP eklemi sorunsuz çalışmaktadır. Fakat motor tahrik kısımlarında daha rijit bir yapı kullanılabilir.

Avuç içi, parmakların dönel eksenindeki çalışma aralığının dışına genişletilebilir.

Alt eklem makara yatağı tek parça yapılarak dairesellik kazandırılabilir. Bu yolla eklem daha kolay hareket etmesi sağlanabilir.

Üst eklemde parmak içinde bulunan tendon bağlama noktasına torsiyon yayı eklenebilir.

Üst eklem makarasından gelen tendonun açısı, alt parmak boğum içine konumlandırılacak bir sabit makara ile alt eklem makarasına dik olarak gelmesi sağlanabilir.

Tek tahrik motoruyla burkulma hareketinin sağlanması için alt ve üst parmak boğumlarına parmak açma yönüne göre torsiyon yayı eklenebilir.

Kavrayıcıda çelik tendon kullanımı için tendon bağlama noktaları oluşturulmalıdır. Misina kullanımı için ise zemberek makara kullanılarak gerekli ön gerilme sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Jacobsen, S., Iversen, E., Knutti, D., Johnson, R. & Biggers, K., (1986), “Design of the utah/m.i.t. dextrous hand”, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1520–1532, San Francisco, CA, USA, 7-10 April.
- [2] Salisbury J. K., (1982), “Kinematic and force analysis of articulated hands”, Doctoral thesis, Stanford University.
- [3] Birglen L., Laliberté T., Gosselin C., (2008), “Springer Tracts in Advanced Robotics”, 1st Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] Tai E., (2007), “Design of an Anthropomorphic Robotic Hand for Space Operations”, Master of Science, University of Maryland.
- [5] Sturman D. J., Zeltzer D., (1994), “A survey of glove-based input”, IEEE Comput. Graphics and Applications., 14(1), 30–39.
- [6] Grimes G., (1983), “Digital data entry glove interface device,” U.S. Patent 4,414, 537.
- [7] LaViola J. J., (1999), “A survey of hand posture and gesture recognition techniques and technology”, Technical Report No:CS-99-11, Computer Science Department, Brown University., USA.
- [8] Zimmerman T. G., (1982), “Optical flex sensor,” U.S. Patent 4,542,291.
- [9] Eglowstein H., (1990), “Reach out and touch your data”, Journal of Byte, 15(7), 283–290.
- [10] Gardner D. L., (1989), “The Power Glove,”, Journal of Design News, 45(23), 63– 68.
- [11] Cotugno G., Konstantinova J., Althoefer K., Nanayakkara T., (2014), “On the Dexterity of Robotic Manipulation: Are Robotic Hands Ill Designed?”, The Sixth International Conference on Cognitive Sciences, 1413-1417 University College London, London, UK, 23-25 June.
- [12] Web 1, (2017), [www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/flex22.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/flex22.pdf), (Erişim Tarihi: 01/01/2017).
- [13] Web 2, (2017), [www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995\\_Tower-Pro.pdf](http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf), (Erişim Tarihi: 01/01/2017).
- [14] Walter B. Greene M.D., James D., Heckman M.D., (1994), “Clinical Measurement of Joint Motion”, 1st Edition, American Academy of Orthopaedic Surgeons.



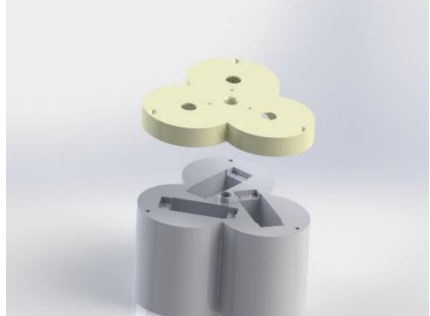

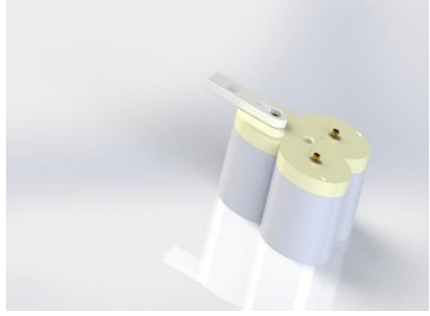
## ÖZGEÇMİŞ

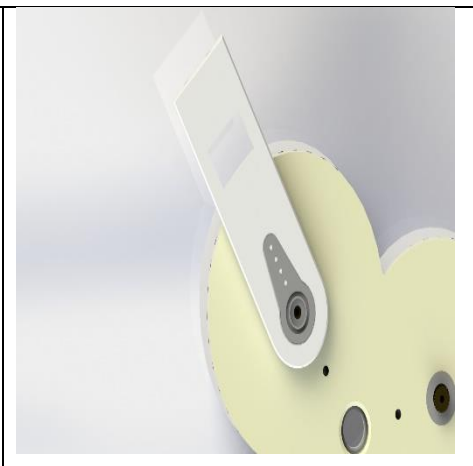

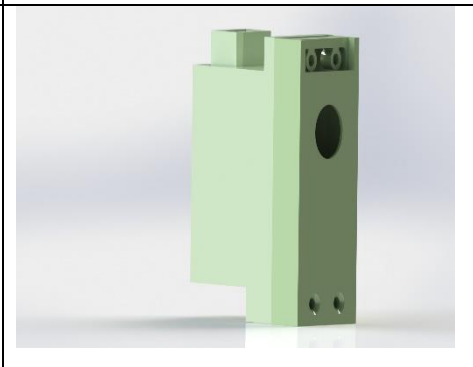
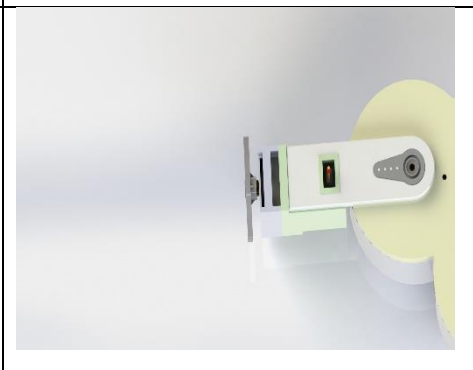
Reşat Coşkun 1989 yılında İzmir’de doğdu. 2007 yılında başladığı Yakın Doğu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünü 2012 yılında başarıyla tamamlayarak bir yarı dönemden sonra 2013 bahar döneminde Gebze Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

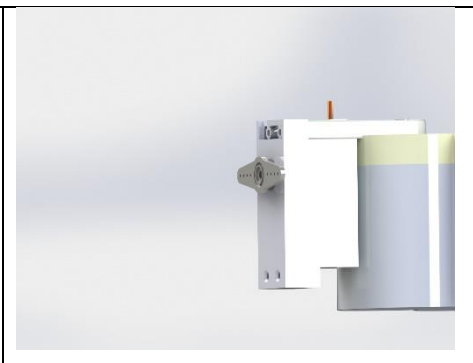
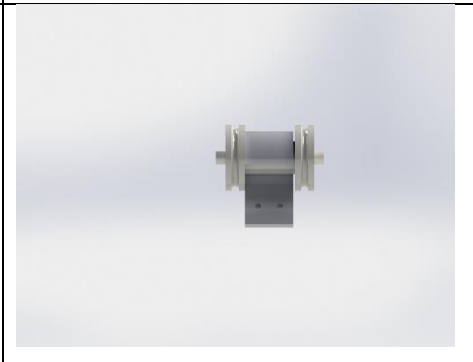

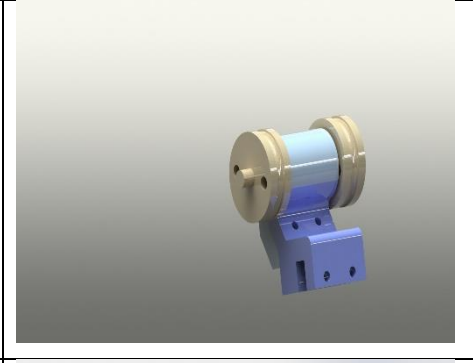

**EK- A: Parça Listesi**

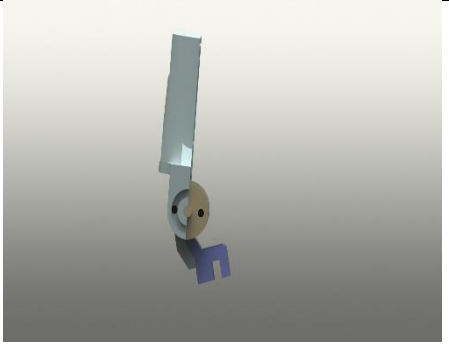

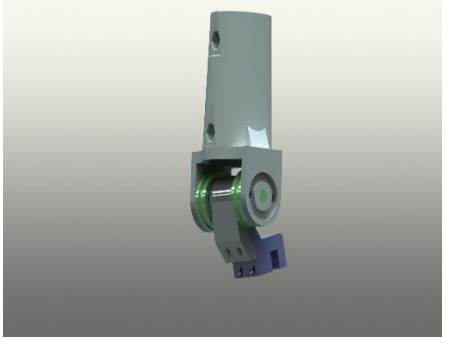
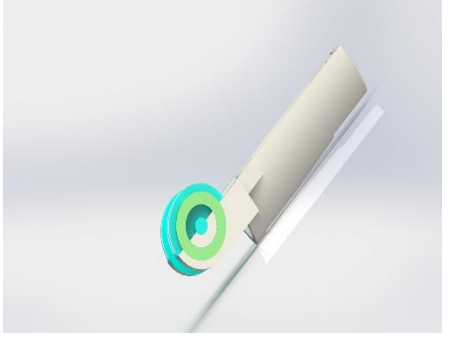
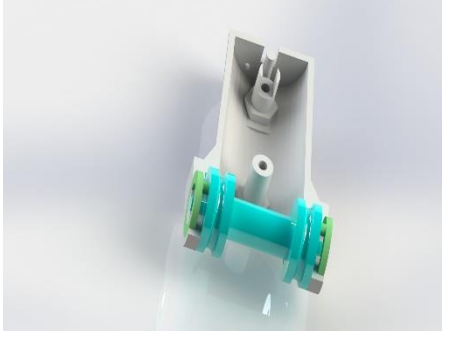
<b>Parça Numarası</b>	<b>Parça Adı</b>	<b>Sayfa Numarası</b>	<b>Parça Numarası</b>
1	Avuç içi Gövde	1	G1
2	Avuç içi Servo Kapak	1	G2
3	Avuç içi Servo	3	G3
4	Avuç İçi Kapak	1	G4
5	Parmak Motor Blok	3	P1
6	Parmak Motor Blok Kapak	3	P2
7	Parmak Alt Eklem Bağlantı	3	P3
8	Alt eklem tutucu	3	A1
9	Alt eklem makara	3	A2
10	Alt parmak	6	A3
11	Alt eklem makara kilit	6	A4
12	Üst eklem tutucu	3	U1
13	Üst eklem makara	3	U2
14	Üst eklem makara kilit	3	U3
15	Üst parmak	6	U4

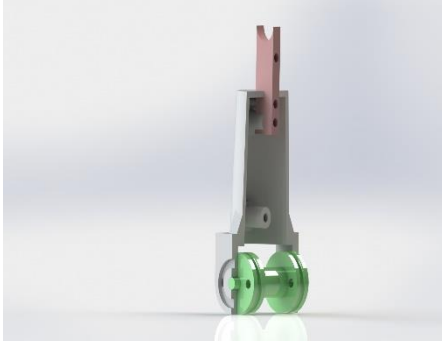
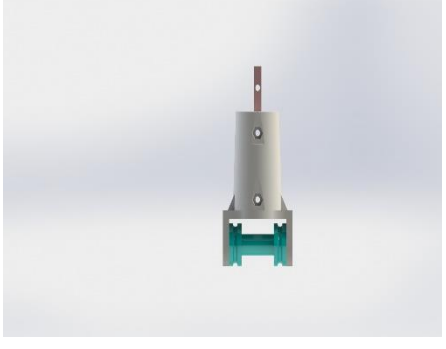
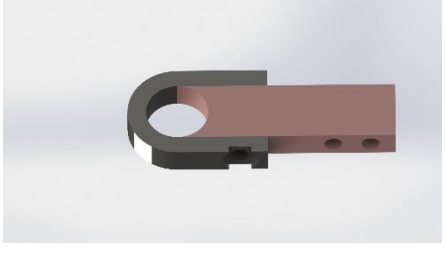

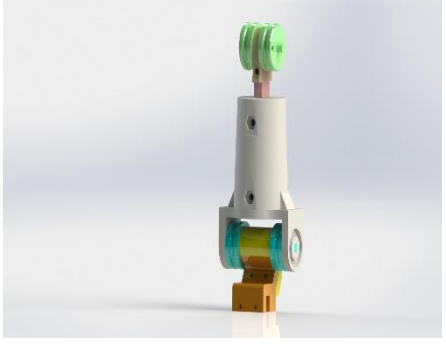
## EK- B: Montaj İşlem Yolu




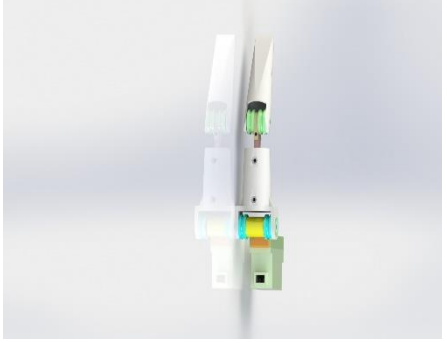

İşlem Numarası	İşlem Yolu	Render
1	G1-S1	
2	G1-S1-S2-S3	
3	G1-G2	
4	G1-S1-S2-S3-G2-G3	
5	G1-S1-S2-S3-G2-G3	


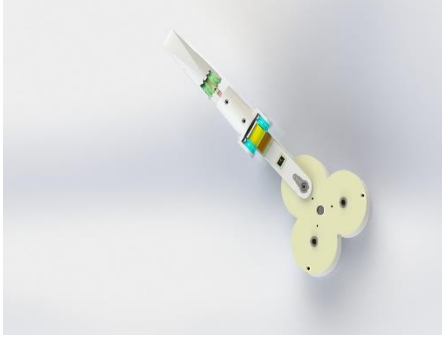

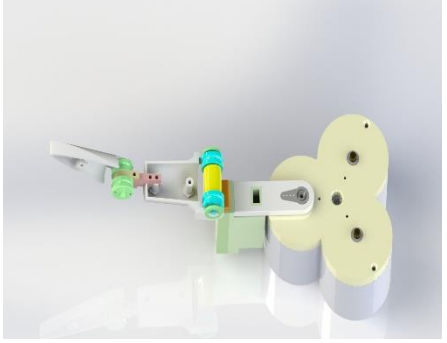
6	G1-S1-S2-S3-G2-G3	
7	G1-G2-G4	
8	P1-P2	
9	P1-S4-P2-G3	

10	P1-S4-P2-G3	
11	P3-A2	
12	P3-A1	
13	P3-A2-A1	
14	A2-A3	

15	P3-A2-A3	
16	A2-A3	
17	P3-A2-A1-A3-A3	
18	A2-A3-A4	
19	A2-A3-A4	

20	A2-A3-U1	
21	A2-A3-A3-U1	
22	U1-U3	
23	U1-U2-U3	
24	P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3	

25	U2-U4	
26	U2-U4-U4	
27	P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4	
28	P1-P2-P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4	
29	P1-P2-P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4	

30	P1-P2-P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4	
31	P1-S4-P2-G3-P1-P2- P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4	
32	P1-P2-P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4	
33	P1-P2-P3-A2-A1-A3-U1-U2-U3-U4	
34	G1-S1-S2-S3-G2-G3-G3-G3-P1-S4-P2- P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4- P1-S5-P2-P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4- P1-S6-P2- P3-A2-A1-A3-U1-A3-U2-U3-U4-U4-G4	