

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

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AMPUTELER İÇİN GİYİLEBİLİR YUMUŞAK ROBOTİK AKTÜATÖRLER İLE
UZUV TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Mine SEÇKİN

**HAZİRAN 2017
UŞAK**

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

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AMPUTELER İÇİN GİYİLEBİLİR YUMUŞAK ROBOTİK AKTÜATÖRLER İLE
UZUV TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Mine SEÇKİN

UŞAK 2017

Mine Seçkin tarafından hazırlanan “Amputeler İçin Giyilebilir Yumuşak Robotik Aktüatörler İle Uzun Tasarımı” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Necla YAMAN TURAN
Tez Danışmanı, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Erkan TÜRKER
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İdris KAYNAK
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Prof.Dr. Esen ÖZDOĞAN
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim ÜÇGÜL
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi

Tarih: 09.06.2017

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof.Dr. İsa YEŞİLYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mine SEÇKİN



AMPUTELER İÇİN GİYİLEBİLİR YUMUŞAK ROBOTİK AKTÜATÖRLER İLE UZUV TASARIMI

(Doktora tezi)

Mine SEÇKİN

UŞAK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran, 2017

ÖZET

Bir insanın kol, bacak, ayak veya elinin bir kısmı veya tamamının olmaması ya da sonradan alınması durumuna *ampütasyon*, bu kişilere de *ampute* denir. Amputelerin hayatlarını normal insanlar gibi sürdürebilmeleri için ortez ve protezler kullanılmaktadır. Çoğu protez, kaybedilen uzvun fonksiyonunu ve görünümünü tam olarak taklit edemez ancak bir dereceye kadar kişiye yardımcı olabilmektedir. Takma uzuvların hemen hemen hepsi katı mekanik yapılardan oluşmaktadır. Bu sebeple bunlar kaybedilen uzuvdan işlev, his ve görünüş bakımından farklıdır. Ayrıca işlevsel takma uzuvların kişiye göre yapılmaları zahmetlidir ve pahalıdır. Bu tezin amacı ise bu problemin üstesinden gelebilmek için yumuşak (soft) robotik yapılardan faydalanarak kaybedilen uzva daha benzer, daha az rahatsızlık verebilecek, daha estetik görünüme sahip ve kişiye göre üretimi daha kolay ve ucuz ortez ya da protezlerin üretilebilmesi için *giyilebilir aktüatör üretilmesi ve geliştirilmesi* dir.

Tez kapsamında 3 farklı üretim yöntemi kullanılarak giyilebilir protez el ve giyilebilir rehabilitasyon eldiven cihazı üretilmiştir. Protez el üretiminde birincisi dökme kalıplama yöntemi ile pnömatik silikon parmak, ikincisi kesme yöntemi ile sünger el üretimi ve üçüncü olarak da CAD/CAM üretim ile elastik bağlantıları olan el ile esnek filamentten giyilebilir el üretilmiştir. Bu farklı protez ellerin karşılaştırılması yapılmış olup, sonuç ve öneriler bölümünde gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bilim Kodu : 621.02.00.

Anahtar Kelimeler: Giyilebilir makineler, yumuşak robot, protez, ortez

Sayfa Adedi: 95

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Necla YAMAN TURAN

LIMB DESIGN WITH WEARABLE SOFT ROBOTIC ACTUATORS FOR AMPUTEES

(PHD. Thesis)

Mine SEÇKİN

UŞAK UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

June, 2017

ABSTRACT

Amputation is a form of amputee in which a person's arms, legs, feet or hands are not partly or entirely absent or are subsequently taken away. Orthotics and prosthetics are used to keep Amputees' lives as normal people. Most prostheses can not exactly mimic the function and appearance of the lost limb, but can help a degree to one. Almost all of the anchoring limbs are made up of solid mechanical structures. For this reason, they are different from the lost limb in terms of function, feeling and appearance. In addition, it is troublesome and costly to make the functional fittings according to the individual. The purpose of this thesis is to produce and develop wearable actuators for the production of easier or cheaper orthoses or prostheses, which are more similar, less uncomfortable, more aesthetic, and easier to manufacture than the lost prostate by using soft robotic structures to achieve this problem.

Within the scope of thesis, wearable prosthetic hand and wearable rehabilitation glove device was produced by using 3 different production methods. In denture hand production, first hand pliable filament wearable hand was produced with pneumatic silicone finger by cast molding method, secondly by sponge hand production by cutting method and thirdly by elastic connection with CAD / CAM production. Comparisons of these different types of prostheses have been made, and the results and suggestions have been mentioned in future studies.

Science Code: 621.02.00.

Key Words: Wearable machines, soft robot, prostheses, orthoses , rehabilitation

Page Number: 95

Adviser: Prof. Dr. Necla YAMAN TURAN

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danıőman hocam sayın Prof. Dr. Necla Yaman Turan'a, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan değerli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Erkan Türker ve Yrd. Doç. Dr. İdris Kaynak'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalıőmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eőim Ahmet aędaő Seçkin'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin baőlangıcından bitimine kadar bana inanan, hayatımın bu en yorucu ve en keyifli yolculuğu süresince bana destek, anlayıő ve sabırlarını esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

UBAP06-2015/TP005 No'lu proje ile maddi olarak çalıőmamı destekleyen Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Mine SEÇKİN

2017

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	viii
TABLoların LİSTESİ	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 GİYİLEBİLİR MAKİNELER.....	3
2.1 Giyilebilir Makineler	3
2.2 Giyilebilir Makinelerin Yapısı.....	3
2.2.1 Mekanik Kısım	3
2.2.2 Elektronik Kısım	4
2.3 Giyilebilir Makinelerin Uygulama Alanları	5
2.3.1 Sağlık	5
2.3.2 Spor.....	9
2.3.3 Askeri	10
2.3.4 Sanayi	12
2.3.5 Engelli yardım	13
2.3.6 Eğitim	14
3 ROBOTİK ELİN GEÇMİŞİ, BUGÜNÜ VE GELECEĞİ.....	15
4 YUMUŞAK ROBOTİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	20
4.1 Bükülebilir Aktüatörler.....	20
4.2 Tekstil Katkılı Aktüatörler.....	22
4.3 Pnömatik Yapay Kaslar	28
4.4 Dielektrik Elastomer Aktüatörler	30

4.5	Şekil Birikimli Üretim (Shape Deposition Manufacturing (SDM)) parmaklar	31
5	TEZİN AMACI VE HEDEFLER	33
6	MATERYAL VE YÖNTEM	35
6.1	Tez Kapsamında Uygulanan Protez Üretim Teknikleri.....	37
6.1.1	Kalıplama ile Üretim	37
6.1.2	Kesme ile Üretim.....	42
6.1.3	CAD/CAM ile Üretim	49
6.2	Giyilebilir Rehabilitasyon Eldiven Cihazı Tasarımı.....	61
6.3	Tüm Sistemlerin Çalışma Prensibi	66
7	GİYİLEBİLİR PROTEZ EL MENTEŞESİ İÇİN TEST CİHAZI TASARIMI, TESTLER VE SONUÇLARI.....	68
7.1	Malzeme ve Deney Düzeneği	68
7.2	Sonuçlar	71
8	PROTEZ ELLERİN UYGULADIĞI BASINÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN TEST CİHAZI TASARIMI VE GERÇEK İNSAN ELİ İLE KIYASLAMASI	82
9	SONUÇ VE ÖNERİLER	85
	KAYNAKLAR.....	87
	EKLER	96
	EK-1 Devrenin şematik çizimi	96
	Ek -2 Devrenin baskı şematiği	97
	ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Robotik ellerde kullanılan malzemeler	4
Şekil 2.2. Robotun çalışma şeklinin şematik gösterimi.....	4
Şekil 4.1. Kanallardan oluşan bükülebilir aktüatör	21
Şekil 4.2. Farklı esneklikteki malzemelerde kıvrılma	21
Şekil 4.3. Tekstil katkıli aktüatör	23
Şekil 4.4. Elyaf katkıli aktüatörde tek sarmal.....	23
Şekil 4.5. Elyaf katkıli aktüatörde çift sarmal	24
Şekil 4.6. Aktüatörde birden fazla durumun bir arada kullanılması.....	25
Şekil 4.7. Tekstil katkıli aktüatörün işlem basamaklarının şematik gösterimi [8]	27
Şekil 4.8. Yapay kasa hava verilmesi sonucundaki değişimi[75]	29
Şekil 4.9. SDM parmak	32
Şekil 5.1. Tekstil elektroniği ve tekstil sensör sistemlerinin gelişmesi[96]	33
Şekil 6.1. Kaba kesim işlemi ve kesim aparatı	44
Şekil 6.2. Kılavuz kanallarının açılmasının şematik görüntüsü	45
Şekil 6.3. Kılavuzların kanallara yerleştirilmesi	46
Şekil 6.4. Kıvrılmayı sağlayan çentiklerin hazırlanması	47
Şekil 6.5. Servo motorların bağlanması.....	47
Şekil 6.6. Parmak CAD çizimleri	50
Şekil 6.7. 3 boyutlu yazıcıda parmak basıma hazırlanması	50
Şekil 6.8. Motor yatağının cad çizimi	63
Şekil 6.9. Protez ellerin çalışma prensibinin algoritması	67
Şekil 7.1. Deney düzeneğinin cad çizimi	69
Şekil 7.2. Analiz işleminin şematik gösterimi	70
Şekil 7.3. 1 Numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	72
Şekil 7.4.2 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	72
Şekil 7.5.3 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	73
Şekil 7.6.4 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	73
Şekil 7.7.5 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	73

Şekil 7.8.7 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	74
Şekil 7.9.8 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	74
Şekil 7.10.9 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği	75
Şekil 7.11.10 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	75
Şekil 7.12.11 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	76
Şekil 7.13.12 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	76
Şekil 7.14.13 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	77
Şekil 7.15.14 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	77
Şekil 7.16.15 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	78
Şekil 7.17.16 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği.....	78
Şekil 7.18.İvme ve dolgu oranı grafiği	79
Şekil 7.19. Frekans ve dolgu oranı grafiği	79
Şekil 7.20. Dolgu oranının frekans büyüklüğüne etkisi	80
Şekil 7.21.Zaman alanında kabuk sayısı ve ivme grafiği	80
Şekil 7.22. Kabuk sayısı ve frekans grafiği	81
Şekil 7.23. Frekans alanında tepe büyüklüğü ve kabuk sayısı grafiği.....	81
Şekil 8.1. Örnek test sonuç grafiği	84
Şekil 8.2. Protez eller ile gerçek ellerin uyguladığı basınçlar	84

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.2. Başparmak rehabilitasyonu için aktüatör [5].....	6
Resim 2.1 Titreme (tremor) hastalığı için giyilebilir ölçüm ve değerlendirme robotu (Tremor neurorobot)	6
Resim 2.3. Giyilebilir yapay kas [6].....	7
Resim 2.4. (a) Rehabilitasyon eldiveni[7] (b) Tekstil katkılı el rehabilitasyon cihazı [8] ...	7
Resim 2.5. Giyilebilir elektronik maske [11]	8
Resim 2.6. (a) Akıllı saat, (b) Samsung Gear (c) Sony Smartband , (d) Q sensör[1]	9
Resim 2.7. Bebekler için akıllı çorap [17].....	9
Resim 2.8. Akıllı çorap[20]	10
Resim 2.9. Kalp ritmini ölçen sütyen [21].....	10
Resim 2.10. Mayın ayakkabısı [22].....	11
Resim 2.11. Hedef almayı öğreten giyilebilir dış iskelet [23].....	11
Resim 2.12. Darpa firmasının tasarladığı askerler için giyilebilir dış iskelet.....	12
Resim 2.13. Giyilebilir robot [24]	13
Resim 2.14. Akıllı eldiven [26]	13
Resim 2.15. Engelliler için giyilebilir dış iskelet	14
Resim 2.16. (a) NeuroSky MindWave Mobile, (b) Emotiv EPOC	14
Resim 4.1 Esneme sınırlayıcı malzeme ve tek sarmallı aktüatöre hava basıncı uygulandığındaki hali (Bükülme ve kıvrılma)	23
Resim 4.2. Tek sarmallı aktüatörün hava basıncı sonrası kıvrılarak uzaması.....	24
Resim 4.3. Çift sarmal ve sınırlayıcı katman ilavesi sonrası aktüatördeki kıvrılma hareketi [75]	25
Resim 4.4. Çift sarmallı aktüatörde uzama hareketi (a) Öncesi (b) Sonrası	25
Resim 4.5. Tekstil katkılı aktüatörün son hali [75]	26
Resim 4.6. Tekstil katkılı aktüatörden protez el [75]	27
Resim 4.7. Tekstil katkılı aktüatörden giyilebilir rehabilitasyon cihazı.....	28
Resim 4.8. Pnömatik yapay kas.....	28
Resim 4.9. McKibben yapay kasın hava basıncı öncesi ve sonrası hali.....	30
Resim 6.1. Pnömatik silikon parmak kalıbı.....	37
Resim 6.2. İki bölümden oluşan Dragon Skin silikon kauçuk	38
Resim 6.3 Silikon kauçuk hazırlama işlemi	38
Resim 6.4. Silikonun kalıplara dökülmesi.....	39
Resim 6.5. Kalıba dökülen silikondaki baloncukların patlatılması	39
Resim 6.6. Kalıba dökülen silikonun kelepçeler ile kapatılması.....	39
Resim 6.7. Lazer kesim	40

Resim	Sayfa
Resim 6.8. Kevlar ile sarılması.....	40
Resim 6.9. Kevlar ile kaplama sonrası tekrar silikon kaplama işlemi.....	40
Resim 6.10. Rondela ve hava geçiş kanalı olan tıpa	41
Resim 6.11. Pnömatik hava pompaları	41
Resim 6.12. Parmak hareketi için kılavuz aktüatör	43
Resim 6.13. Servo motor yatağı	43
Resim 6.14. Kesici aparatlar	44
Resim 6.15. Kılavuz kanallarının açılması	45
Resim 6.16. Kılavuzların yerleştirilmiş hali	46
Resim 6.17. Sünger elin kavrama hali	48
Resim 6.18. Hava pompalarının büyüklüğü ile sünger el	48
Resim 6.19. Parmakların kevlar iplik ile motorlara bağlanması	51
Resim 6.20. Elektronik devre ön yüz	51
Resim 6.21. Elektronik devre arka yüz	52
Resim 6.22. Arduino mikrodenetleyicisi	52
Resim 6.23. Devreye İvme ölçer ve Bluetooth' un yerleştirilmesi	53
Resim 6.24. Giyilebilirlik için kişiye özel kumaş kolluk tasarımı	53
Resim 6.25. DC Motor yatağı ve makara sistemi.....	54
Resim 6.26. DC motorlu esnek filamentten el.....	54
Resim 6.27. DC motorlu robotik el elektronik devresi.....	55
Resim 6.28. Bağlantıları yapılmadan önceki protez el.....	56
Resim 6.29. Elastik bağlantısı ile protez parmak	56
Resim 6.30. Elastik bağlantıları olan elin avuç içi mekanizması	57
Resim 6.31. Elastik bağlantıları olan protez elin avuç içi mekanizması	57
Resim 6.32. Elastik bağlantıları olan protez el	58
Resim 6.33. Elektronik giyilebilir protez el (Boş hali).....	59
Resim 6.34. Elektronik giyilebilir protez el kapağı (boş hali)	59
Resim 6.35. Kapağa Motorların yerleşmiş hali	60
Resim 6.36. Protez elin kapalı halinin üst görünüşü	60
Resim 6.37. Protez elin iç görünüşü	61
Resim 6.38. Esnek eldiven	62
Resim 6.39. Yüzüklerin CAD çizimi.....	62
Resim 6.40. Yüzüklerin eldivene yerleştirilmiş hali	63
Resim 6.41. Motor yatağı	64
Resim 6.42. Motorların kalıba yerleştirilmesi	65
Resim 6.43. Motorlarla eldivendeki yüzüklere kevlar takılmasıyla eldivenin birleşmiş hali	66
Resim 7.1. Deney cihazı (a) Menteşe gergin (b) Menteşe boşta	69
Resim 8.1. BMP180 basınçölçer	82
Resim 8.2. Basınçölçerin top içerisine yerleştirilmesi	82

Resim 8.3. Basınçölçerin yerleşim sonrası hava almayacak şekilde bantlanması.....	83
Resim 8.4. Basınç ölçüm test cihazı	83



TABLULARIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. Yıllara göre robot tipleri ve kullanım alanları.....	17
Tablo 4.1. Yumuşak robot üretim yöntemlerinin karşılaştırılması.....	31
Tablo 6.1. Tez kapsamında kullanılan materyal ve yöntemler.....	36
Tablo 6.2. Parmak için kullanılan malzemelerin test sonuçları[47].....	42
Tablo 7.1. Deney düzeneğinde kullanılan malzemeler ve araçlar.....	68
Tablo 7.2. Numunelerin özellikleri ve ortalama elde edilen değerler.....	71
Tablo 8.1. Ellerin uyguladığı basınç sonuçları.....	84

1 GİRİŞ

Bir insanın kol, bacak, ayak veya elinin bir kısmı veya tamamının olmaması ya da sonradan alınması durumuna **ampütasyon**, bu kişilere de **ampute** denir. Amputelerin hayatlarını normal insanlar gibi sürdürebilmeleri için ortez ve protezler kullanılmaktadır. **Ortez**, işlevini kısmen veya tamamen kaybetmiş uzuvların performansını arttırmak ve daha fazla kullanılabilir hale getirmek amacıyla vücuda takılan yardımcı cihazlardır. **Protez** ise eksik olan vücut uzuvlarını taklit edecek şekilde yapılmış aygıtların genel adıdır. Bunlar kauçuk, vinil, akrilik, porselen, titanyum, altın ve benzeri malzemelerden yapılabilmektedir. Protezleri vücuda tutturma işlemi; organ hasarının olduğu kısımda protezin girip tutunabileceği bir mekanik tutucu alan varsa mekanik tutuculukla, mekanik tutuculuğun az olduğu durumda sap, klemp, kısıkaç, kanca, kroşe gibi yardımcı elemanlarla veya bazı doku yapıştırıcılarıyla sağlanmaktadır. Çoğu protez, kaybedilen uzvun fonksiyonunu ve görünümünü tam olarak taklit edemez ancak bir dereceye kadar yardımcı olabilir. Takma uzuvların hemen hemen hepsi katı mekanik yapılardan oluşmaktadır. Bu sebeple bunlar kaybedilen uzuvdan işlev, his ve görünüş bakımından farklıdır. Ayrıca işlevsel takma uzuvların kişiye göre yapılmaları zahmetli ve pahalıdır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için yumuşak (soft) robotik yapılardan faydalanılmaktadır. Bu tez kapsamında yumuşak robotik yapılar kullanılarak kaybedilen uzva daha benzer, daha az rahatsızlık verebilecek, daha estetik görünüme sahip ve kişiye göre üretimi daha kolay ve ucuz ortez ya da protezlerin üretilmesi için **giyilebilir aktüatör üretilmesi ve geliştirilmesi** amaçlanmıştır.

Örtünme, barınma ve dekorasyon amacıyla kullanılan tekstil ve hazır giyim endüstrisi özellikle malzeme ve elektronik teknolojilerinin gelişmesi çeşitli giyilebilir teknolojilerin doğmasını sağlamıştır. Buradan yola çıkarak giyilebilir uzuv, rehabilitasyon cihazı tasarımı yapılması hedeflenmiştir.

Bu projede biyomedikal ve robotik teknolojilerinde yeni bir konu olan yumuşak robotiğin giyilebilir ürünlerde kullanılmasıyla protez, ortez ve rehabilitasyon alanlarında

kullanımı amaçlanmıştır. Geleneksel robotik yapılar, katı ve sert malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Bu yapıları sayesinde ağır işlerde ve yüksek zorluk gerektiren görevler için idealdirler. Ancak bu şekilde oluşturulan sistemler canlı dokularla pek uyumlu değildir. Bu sebeple geleneksel robotların giyilebilirliği azdır, ancak son yıllarda yapılan çalışmalar özellikle giyilebilir teknolojiler konusunda gelecek vaat etmektedir. Bu çalışmalar içerisinde yumuşak robotikler canlı dokularla uyumlu halde çalışmayı ve canlı yapıları taklit etmeyi kendisine amaç edinmiştir. Çalışmada protez ve ortezlerin kaybedilen uzuvdan işlev, his ve görünüm bakımından daha rahat olacak, kişiye özel üretimi yapılabilecek teknolojilerin kullanılması hedeflenmiştir.

Tez dört aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada kalıplama üretim yöntemi ile pnömatik silikon parmak, ikinci aşamada kesme yöntemi ile sünger el, üçüncü aşamada CAD/CAM üretim yöntemi ile esnek bağlantıları olan filament el ve esnek filament ile giyilebilir esnek protez el ve dördüncü aşamada da giyilebilir rehabilitasyon eldiven cihazı üretilmiştir. Çalışmalar sonucunda çıkan ürünlerin karşılaştırmalı olarak avantajları ve dezavantajları irdelenmiştir.

2 GİYİLEBİLİR MAKİNELER

2.1 Giyilebilir Makineler

Örtünme, barınma ve dekorasyon amacıyla kullanılan tekstil ve hazır giyim endüstrisinin teknoloji gelişmeleriyle birleşmesi sonucu giyilebilir teknoloji doğmuştur. Günümüzde teknolojinin gelişmesine paralel olarak elektronik cihazların küçülmesi, bu cihazların kıyafetlere, aksesuarlara montesinin kolay olmasını da sağlamıştır. İlk giyilebilir bilgisayar Edward O. Thorp tarafından 1955 yılında tasarlanmış ve Claude Shannon'un katılımı ile 1961 yılında icat edilmiştir [1,2]. Giyilebilir akıllı cihazlar ile bilgisayara gerek kalmadan bilgi alışverişi gerçekleştirilmiştir.

Giyilebilir teknolojiler ile gündelik hayatta kullandığımız saat, gözlük, yüzük, bilezik, bandana gibi aksesuarlar daha kullanışlı hale gelmiş olup özellikle sağlık ve spor alanında büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Geçmişten günümüze giyilebilir cihazlar incelendiğinde, tasarımların daha küçük hale geldiği ve yapı olarak daha estetik olduğu da gözlenmiştir.

2.2 Giyilebilir Makinelerin Yapısı

Giyilebilir makineler incelendiğinde mekanik ve elektronik kısımları olduğu görülmektedir.

2.2.1 Mekanik Kısım

Giyilebilir makinelerin mekanik bölümleri bileşenler ve eyleyiciler olarak sınıflandırılabilir. Bileşenler sert bileşenler, yumuşak bileşenler ve hem sert hem yumuşak hibrit bileşenler olarak sınıflandırabilmektedir. Malzemede kullanılan bileşenin dağılımına göre de makine sert robot, yumuşak robot veya hibrit robot olarak adlandırılabilir.

Malzeme olarak geçmişten günümüze bir robotik elde kullanılan malzemeler incelendiğinde çok çeşitli malzemeler görülmüştür. Bunlar aşağıdaki Şekil 2.1.'de verildiği gibidir. Sert malzeme olarak alüminyum, teflon, akrilik, plastik, kadavra kemiği gibi malzemeler kullanılırken, yumuşak malzeme olarak kauçuk, sünger, kumaş kullanılmaktadır.

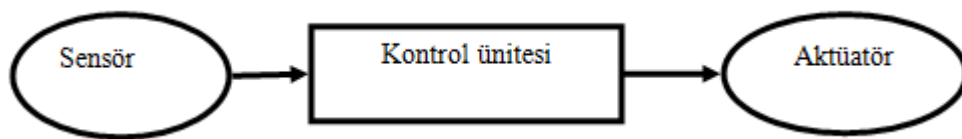
Aluminium	X	X		X		X	X		X	X				X			X				
Rubber	X	X		X	X		X	X							X		X	X	X		
Coating materials			X														X				
ERF							X	X													
Foams								X			X										
Nylon																					
Yarn																				X	X
Teflon											X										
Fabric																				X	X
ABS																					X
Elastomer														X							
Acyrlc														X						X	
Plastic		X	X		X						X				X	X					
Molded cadaver bones												X									
	1977	1982	1983	1985	1986	1987	1989	1991	1996	2000	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2012	2013	2014	

Şekil 2.1. Robotik ellerde kullanılan malzemeler

Eyleyiciler makinenin hareketinin sağlayan birimlerdir. Mekanik olarak bunlar ip, şerit veya tel gibi malzeme olmakla birlikte pnömatik veya hidrolik gibi sistemler olmaktadır.

2.2.2 Elektronik Kısım

Elektronik bölümü oluşturan bileşenler; sensörler, kontrol ünitesi ve aktüatörlerdir. Robot sensörler yardımıyla çevreden alınan veri kontrol ünitesi aracılığı ile hareket mekanizmasını harekete geçirir ve aktüatörler yardımı ile istenen hareket gerçekleşmiş olur.



Şekil 2.2. Robotun çalışma şeklinin şematik gösterimi

Kontrol ünitesi robot ile ilgili program yazılımını içerir. Program sensörlerden elde ettiği veriye göre makineyi çalıştırır. Aktüatörler hareket mekanizması ile genellikle aynı bölümde yer alır. Son yıllarda aktüatörlerdeki gelişmelerden dolayı iki farklı bölüm olarak çalışmaktadırlar. Hareket mekanizması enerji kaynağından kuvvet üretirken bu üretilen kuvvet aktüatörde harekete dönüştürülmektedir.

2.3 Giyilebilir Makinelerin Uygulama Alanları

Giyilebilir makinelerin kullanım alanları sağlık, spor, askeri, sanayi, engelli yardımında ve eğitim alanında yaygın bir kullanım alanı vardır.

2.3.1 Sağlık

Giyilebilir makinelerin sağlık alanında kullanımı üç şekilde olabilmektedir. Birincisi mekanik yapılar şeklinde protez, ortez veya rehabilitasyon cihazı gibi hastaya destek şeklinde olanlar, ikincisi sensörler yardımı ile vücuttan sağladığı verileri işleyerek faydalı bilgi haline getirme şeklinde olanlar, üçüncüsü de bu iki sistemin birleştirilmesiyle elde edilen sistemlerdir. Sensörlerin mikron boyutlara kadar küçültülmesi sayesinde kumaş içerisine gömülerek giyeceklere yerleştirilmesi ile vücut verilerini sağlamada kolaylık sağlanmıştır. Bu sayede 7/24 bireyin kontrolü yapılabilmektedir. Yalnız yaşayan yaşlıların kalp basıncı, tansiyonu ve şeker gibi rahatsızlıklarının takibi sağlanırken, bebeklerde üzerine giydiği kıyafeti sayesinde ateş kontrolü ayağına giydirilen akıllı çoraplar sayesinde de ebeveynlere kolaylık sağlamıştır.

Literatürde tremor (titreme) hastalığı ölçümü ve değerlendirmesinde kullanım amaçlı giyilebilir robot üretimi görülmektedir (Resim 2.1). Tremor hastaları için kullanılan robotta esnek bir kumaş içerisinde EEG sistemi bulunmaktadır [3,4].



Resim 2.1 Titreme (tremor) hastalığı için giyilebilir ölçüm ve değerlendirme robotu (Tremor neurorobot)

M

Maeder-York ve arkadaşları rehabilitasyonda kullanılan mevcut metotların pahalı olduğunu ve yumuşak robotik yapılarla bu işin daha ucuza yapılabileceğini belirtmişlerdir. Resim 2.2’de görülen başparmak rehabilitasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında başparmak üzerine elyaf takviyeli bir yumuşak robotik aktüatör yerleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada elyaf takviyesini farklı şekillerde uygulayarak aktüatörde dönerek bükülme, dönerek uzama, bükülme ve uzama hareketlerini sağlamışlardır [5].



Resim 2.2. Başparmak rehabilitasyonu için aktüatör [5]

Toshiro 2005 yılında ileri yaş toplumlarında yaşlı ve engelli insanların günlük aktivitelerine yardımcı ve ağır işleri için bir yardımcı kullandıklarına dikkat çekmiş ve böyle bir teknolojiyi geliştirilebilmesi insan için güvenli ve arkadaşçıl bir aktüatöre ihtiyaç olduğunu belirtmiştir. Küçük, hafif olma ve uygun bir yumuşaklık da sağlaması gerekliliğini ve bu tip aktüatörlere yumuşak aktüatör denildiğini belirtmiştir. Pnömatik lastik yapay kas geliştirmiş ve insanlara yumuşak mekanizmaları giyilebilir şekilde uygulamıştır. Giyilebilir yardımcı güç aletin insanın kas kuvvetine günlük hayattaki aktiviteler, rehabilitasyon, ağır işler gibi benzeri durumlarda yardımcı olduğunu

açıklamıştır. Laboratuarda lastik kasların birkaç çeşidini geliştirip ürettiklerini belirtmiştir. Ayrıca Resim 2.3'te gösterilen giyilebilir yardımcı güç eldiveni ve üst kol için güç sağlayıcı atel gösterilmiştir. Bazı değerlendirmeler insana yardımcı teknolojiler için pnömatik yumuşak aktüatörlerin etkinliğini açıklamıştır [6].



Resim 2.3. Giyilebilir yapay kas [6]

Polgerinos 2013 yılında soft robot teknolojisi kullanarak rehabilitasyon eldiveni üretmiştir. Tasarımda eğilme ve düzgün parmak hareketinin yapılabilen bir yumuşak aktüatör tasarımı yapmış ve geometrik analizini yapmıştır. Rehabilitasyon eldiveninde pnömatik hava kanallı silikon aktüatörü elastik bir kumaş ile giyilebilir hale getirmiştir [7]. 2014 yılında da Resim 2.4'te gösterilen eldiveni geliştirerek giyilebilir el rehabilitasyon cihazını geliştirmiştir [8].



Resim 2.4. (a) Rehabilitasyon eldiveni[7] (b) Tekstil katkıli el rehabilitasyon cihazı [8]

Gövdeye veya göğse bağlanan sistemler kalp, nabız veya iç organlardaki değişimleri algılamak için tasarlanmıştır. Örneğin akıllı t-shirt ile gövdenin tamamından

hipertansiyon ve kalp yetmezliği durumlarında veri toplama ile sağlık amaçlı uygulama yapılmıştır [9].

Bir diğer giysi örneği ise Cyncadia Health tarafından geliştirilmiş iTBra cihazıdır. Bu cihaz meme kanserini teşhis amacıyla kullanılan akıllı sütyendir. Sütyen, gömülü sensörler ile meme dokusundaki değişimleri takip ederek kansere karşı uyardır. Toplanan veriler kaydedilmekte ve kişiye meme sağlığı konusunda kılavuzluk yapmaktadır [10]. Bir diğer uygulama Resim 2.5' te gösterilen yüz kaslarında problem olduğunda, kasların çalışmasını sağlayan giyilebilir maske Kenj Suzuki tarafından bulunmuştur [11].



Resim 2.5. Giyilebilir elektronik maske [11]

Beyindeki sinirsel aktiviteye dair elektriksel bilgiler kafatasına yerleştirilen sensörlerle alınabilmektedir. Bu yöntemle Elektroensefalografi (EEG) denir. Bu yöntemde kullanılan cihazlarda 10-20 metoda göre kafatasının farklı bölgelerine elektrotlar yerleştirilir, elektrotlardan alınan elektrik sinyallerinin oluşturduğu potansiyel farklardan faydalanarak ilgili bölgeler hakkında elektriksel faaliyet incelenmiş olur. Bu cihazlar epilepsi ve benzeri hastalıkların teşhisinde kullanılmaktadır.

El, kol bacak gibi uzuvlara takılarak buralardaki kas hareketlerini, nabız sayısını, adım sayısını biyo sensörler ile algılayarak veri elde eden sistemlerde mevcuttur. Bu uygulamalar saat, eldiven ve çorap içerisine yerleşik şekilde kullanılmaktadır.

El bileğine takılan biosensörlü saatler ile sağlık bilgilerini bulup platform üzerinde saklar. Deriye gönderilen ışığın yansımından alınan ölçüm ile bilgi üretilmektedir [12]. Akıllı bileklikler, günlük aktivite takibinde yaygın olarak kullanılan giyilebilir akıllı cihazlardandır. Resim 2.6'da gösterilen Samsung Gear Fit [13] ve Sony Smartband [14] bu cihazlara örnektir. Sensör ise MIT tarafından geliştirilen Q sensör ile duygusal durum

ölçümü yapılmaktadır. Duyguları deri iletkenliğini, sıcaklığı ve hareketleri ölçme yoluyla belirlemektedir [15].



Resim 2.6. (a) Akıllı saat, (b) Samsung Gear (c) Sony Smartband , (d) Q sensör[1]

Bebekler için geliştirilmiş giyilebilir cihazlar ile bebeğin nefes alıp almadığı, bebeğin konforu ve sağlık durumunu her an kontrol edebilme imkânı sağlamaktadır. Bebekler için örnek giyilebilir cihaz Resim 2.7’de gösterilmiştir [16]. Owlet adı verilen cihaz ile bebeğin nefes alıp almadığı gibi durumlar kontrol edilebilmektedir. Bu cihazlar ile nefes alıp almadığının kontrolü yanında, bebeğin konforu ve sağlık durumunu her an kontrol edebilme imkânı sağlamaktadır.



Resim 2.7. Bebekler için akıllı çorap [17]

2.3.2 Spor

Elektromiyografi (EMG) ile kas hareketlerinin ölçümü gerçekleştirilen sistemler spor ve antrenman amaçlı sistemlerdir. Oyuncuların performans düzeyi takip ve kontrol edilir [18]. Sensoria firmasının ürettiği makinede yıkanabilen, akıllı çorap, kullanıcısının ayağının her yere basışını gerçek zamanlı takip etmektedir, koşucuların tekniklerini analiz etmekte fayda sağlamaktadır. En büyük avantajı teknolojiyi, tekstil malzemesinin içine

yedirerek son kullanıcıya basitlik sağlaması ve kullanımdan sonra çıkarıp yıkanabilmesidir [19]. Akıllı çorap ile adım sayma, hız, kalori ve mesafe hesabı gibi işlemlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır.



Resim 2.8. Akıllı çorap[20]

Spor alanında birçok uygulama olup Resim 2.9’da bir diğer uygulama ise spor sırasında kalp ritmini ölçen Victoria Secret markalı sütyen görülmektedir [21].



Resim 2.9. Kalp ritmini ölçen sütyen [21]

2.3.3 Askeri

Lemur Studio Design firması Resim 2.10’da görülen giyilebilir mayın detektörü tasarlamışlardır. Mayın ayakkabısı bir metal detektörü gibi çalışır. Çalışma prensibi de tabanında iletken bir malzeme vardır ve bu malzeme elektromanyetik alan yaratarak 2 metre çevresindeki metal parçalarını radyo alıcı ve mikro işlemci ile tespit ederek bir saate gönderir [22].



Resim 2.10. Mayın ayakkabısı [22]

Askeri alanda askerin yük taşımasında yardım edecek, üzerindeki yükü hafifletecek dış iskeletlerin yanı sıra, ABD askerleri hedef almayı öğreten ve daha düzgün atış yapmasını sağlayan dış iskelet tasarlamışlardır [23] (Resim2.11) . Resim 2.12’de Darpa firmasının tasarladığı askerler için giyilebilir dış iskelet görülmektedir.



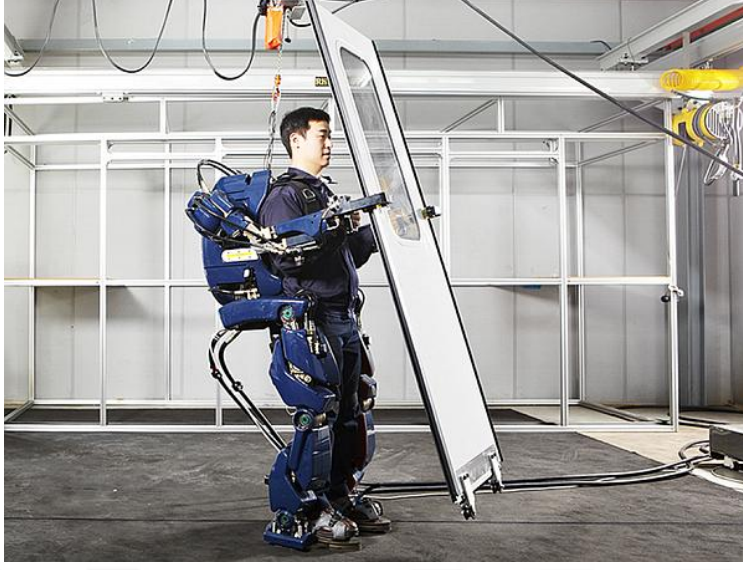
Resim 2.11. Hedef almayı öğreten giyilebilir dış iskelet [23]



Resim 2.12. Darpa firmasının tasarladığı askerler için giyilebilir dış iskelet

2.3.4 Sanayi

Robotların hem zor arazi şartlarında kamyon kasasına eşya yerleştirmede insanlar kadar başarılı olmamasından dolayı hem işçilerin yerini alacak robotu üretmenin pahalı olmasından dolayı Hyundai firması Resim 2.13'te görülen insanlara güç kazandıran dış iskelet üretimi yapmıştır [24].



Resim 2.13. Giyilebilir robot [24]

2.3.5 Engelli yardım

Akıllı eldiven ile görme engellilerin el ve parmak hareketlerini, sensörler ve bilgisayar yardımıyla yazıya dökülebilmesi sağlanmıştır [25]. Resim 2.14’te görülen eldivenin her bir parmağında sensörler monte edilmiştir ve bu sayede, el ve parmak hareketleri bilgisayara aktarılmaktadır. El ve parmak hareketlerini okuyan özel bir yazılım ile de işaret diline kodlanmış harfler yazıya dökülmektedir [26].



Resim 2.14. Akıllı eldiven [26]

Engelliler için giyilebilir dış iskelet hayvanların iskelet yapılarından ilham alınarak tasarlanmıştır. Bu giysiler değişik güç mekanizmalarına sahip olup kullanıcıları tarafından giyilmesi rahattır. Resim2.15’te görülen engelliler için giyilebilir dış iskelet eklemlerde

sensörler ve hızlandırıcılar yerleştirilmesiyle giyen kişinin yeteneklerini arttırmaktadır [27].



Resim 2.15. Engelliler için giyilebilir dış iskelet

2.3.6 Eğitim

Sağlık alanında yaygın bir şekilde kullanılan EEG cihazı günümüzde, bilimsel araştırma, oyun ve insan bilgisayar arayüzü amacıyla da çeşitli taşınabilir cihazlar kullanılmaktadır [28,29]. Bu amaçla kullanılanlar iki tiptedir; Neurosky gibi kuru problular [30] ve Emotive Epoc gibi ıslak problular [31] Bu cihazlar Resim 2.16’da gösterilmiştir.



a



b

Resim 2.16. (a) NeuroSky MindWave Mobile, (b) Emotiv Epoc

3 ROBOTİK ELİN GEÇMİŞİ, BUGÜNÜ VE GELECEĞİ

El sadece kavrama olarak değil dokunma, basınç, sıcaklık, ağırlık gibi fiziksel özelliklerin anlaşılmasında kullanıldığı için insan için önemli bir uzuvdur. Bu nedenle çok uzun zamandır protez el çalışmaları yapılmaktadır. Geçmişten günümüze el yapımında kullanılan malzemeler Tablo 3.1’de verilmiştir. Modern robotik elin geçmişi 1970’li yıllara dayandığı görülmektedir. Önceleri bir parmak, iki parmak üzerine çalışmalar yapılırken ilerleyen zamanlarda parmak sayısı artırılarak gerçek ele yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Malzeme olarak yumuşak malzeme kullanmaya yönelim arttığı Tablo 3.1’de görülmektedir. Kullanım alanının genel olarak da biyomedikal uygulamalar olduğu görülmüştür.

Crossley 1975 yılında üç parmaklı mekanik bir el prototipi tasarlamıştır [33]. 1977 yılında Hanafusa ve Asada da üç parmaklı yumuşak kauçuk kaplamalı alüminyumdan oluşan bir el tasarlamışlardır [34].

Okada 1982 yılında bilgisayar kontrollü çok eklemlili parmak yaparak protez amaçlı kullanılabilirliğini vurgulamıştır [35]. Okada’nın yapmış olduğu el günümüzde halen daha robotik ellerin yapıtaşı niteliği taşımaktadır. Fearing iki parmaklı yumuşak kauçuk kaplamalı derlin plastikten oluşan el yapısını dizayn etmiştir [36]. Salisbury ve Roth 1983 yılında üç parmaklı plastik malzeme üzerine sürtünme önleyici kaplamalı el yapısını göstermiştir [37].

Kobayashi 1985 yılında üç parmaklı on iki eklemlili robotik el yapmıştır, malzeme olarak da yumuşak kauçuk kaplamalı alüminyum kullanmıştır [38]. Brockett yağlı elastik kauçuk kaplamalı bir malzemedan bir deneysel parmak çalışması yapmıştır [39]. Rovetta, üç parmaklı kauçuk kaplamalı alüminyumdan el yapmıştır [40].

Jacobsen ve arkadaşları 1986 yılında dört parmaklı plastik üzerine kauçuk kaplamalı el dizaynı gerçekleştirmişlerdir. UTAH/MIT el olarak adlandırmışlardır [41]. 1987 yılında Kim ve arkadaşları PUMA/ RAL olarak adlandırılan onbeş eklemlili, dört parmaklı alüminyum bir el yapmışlardır [41].

Van Brussel ve arkadaşları 1989 yılında üç parmaklı alüminyum üzerine kauçuk kaplamalı kavrayıcı tasarlamışlardır [42]. Kenaley ve Cutkosky Elektro reolojik sıvı

kaplamalı elastik kauçuk kullanarak deneysel bir parmak tasarlamışlardır. Elektro reolojik sıvı: belirli oranlarda silikon yağı ile mısır nişastası karışımından oluşan sıvı olduğunu açıklamışlardır [43]. Akella ve Cutkosky pudra kaplamalı elastik kauçuktan deneysel bir parmak çalışması yapmışlardır [44]. Pao ve Speeter altı serbestlik dereceli her parmağın 4 eklemi olan 4 parmaklı el tasarımı yapmışlardır [45]. Cutkosky ve Kao diğer bir çalışmasında bilgisayar kontrollü bir el dizayn etmişlerdir [46].

Howe ve arkadaşları 1990 yılında elastik kauçuk kaplı sünger kavrama seti hazırlamışlardır [47]. Akella ve arkadaşları 1991 yılında elektro reolojik kaplamalı kauçuktan bir parmak tasarlamışlardır [48]. Monkman ve Taylor hafızalı süngerler yapısı sayesinde kavrayıcı iki parmak dizayn etmişlerdir [49]. Crisman ve arkadaşları 1996 yılında esnek kolay kontrol edilebilen robotik el tasarlamışlardır [50] ve robotlarını GRASPAR robot olarak adlandırmışlardır. Farry ve arkadaşları miyoelektrik teleoperasyonlu kompleks bir robotik el tasarlamışlardır [51]. Lovchik ve Diftler insan eline benzer beş parmaklı el tasarlamışlardır [52].

DeLaurentis ve arkadaşları 2000 yılında alüminyumdan dört parmaklı robotik el tasarlamışlardır. Bu alüminyum elin şekil hafızalı alaşımly yapay kaslar ile hareket etmesi sağlanmıştır [53]. Lotti ve Vassura 2002 yılında Teflon, delrin, nylon gibi malzemelerden çeşitli eller yapmışlardır [54]. Wilkinson ve arkadaşları 2003 yılında erimiş kadavra kemiklerive eklemelerini viskoz malzeme ile kaplayarak el dizaynını gerçekleştirmiştir [55].

Lotti ve arkadaşları 2005 yılında robotik elin mekanik karmaşıklığını azaltmayı hedeflemiş ve daha üstün nitelikli bir el yapmışlardır, bu ürünü de UB hand olarak da adlandırmışlardır [56]. Cabas ve arkadaşları 2006 yılında iki parmak ve bir başparmağı olan el tasarlamışlardır. RL1 olarak adlandırılan bu ürün ASIBOT robot bünyesinde kullanmışlardır. Özellikle engelli insanlar için hafif tasarlanan bir üründür [57]. Takamuku ve arkadaşları 2007 yılında zengin dinamik hareketleri olan tendon sürücülü bir el dizayn etmişlerdir [58]. Dai ve Wang farklı bir avuç içine sahip el tasarlamışlardır [59].

Gosselin ve arkadaşları 2008 yılında on beş serbestlik derecesine sahip bir aktüatörden oluşan robotik el tasarlamışlardır [60]. Gaiser ve arkadaşları beş parmağı olan bir el ve üç dişi olan kavrayıcı tasarlamışlardır. FRH-4 el olarak adlandırılan bu el esnek akışkan aktüatörler ile çalışmaktadır [61]. Rosen ve arkadaşları 2009 yılında B. gerçek ele benzeyen DC motorlar ile çalışan el protezi yapmışlardır [62].

Nagase ve arkadaşları 2012 yılında Japonya nüfusunun yaşlanmasından dolayı rehabilitasyon ve günlük işlerde yardımcı olması amacıyla çok parmaklı silikon kauçuktan el tasarlamışlardır [63]. Belter ve Dollar 2013 yılında bir aktüatör tarafından kontrol edilen SDM parmaklar ve akrilik bir avuçtan oluşmuş mekatronik bir el yapmışlardır [64]. Deimel ve Brock pnömomatik aktüatörlerden oluşan RBO el olarak adlandırılan bir el tasarlamışlardır. Üç tekstil katkılı aktüatör parmak ve silikondan olan bir avuca sahiptir [65]. Jeong ve arkadaşları güç egzersizleri sırasında kullanmak için giyilebilir robotik el tasarlamışlardır [66]. Polygerinos ve arkadaşları bükülebilir silikon aktüatörlerden oluşan el rehabilitasyonu için giyilebilir cihaz tasarlamışlardır. [7]. Galloway ve arkadaşları silikon kauçuk, kevlar iplik ve cam kumaştan oluşan tekstil katkılı aktüatörlerden protez el üretmişlerdir [67].

2014 yılında Meder-York ve arkadaşları başparmak rehabilitasyonu için tekstil katkılı aktüatörlerden giyilebilir cihaz tasarlamışlardır [5]. Al-Timemy ve arkadaşları amputelerin egzersizleri sırasında kullanmaları için beş parmaktan oluşan akrilonitril bütadien stiren (ABS) el tasarlamışlardır [68]. Park ve arkadaşları 2015 yılında violin çalan hobi amaçlı robotik el yapmışlardır [69].

Tablo 3.1. Yıllara göre robot tipleri ve kullanım alanları

El Adı	Kullanım Alanı	Yıl	Kaynak
Hanafusa El	Endüstriyel	1977	[34]
Crossley El	Uzaktan kumandalı robot ve protez cihaz	1977	[33]
Okada El	Endüstriyel kullanım, insana yardımcı robot	1982	[35]
Fearing El		1982	[36]
Kobayashi El	Endüstriyel	1985	[38]
Deneysel	Kavrayıcı	1985	[39]
Rovetta El	Kavrama	1985	[40]
Utah/MIT El	Endüstriyel	1986	[41]
PUMA/RAL El	Endüstriyel	1987	[70]
Usta kavrayıcı	Protez el	1989	[42]

Tablo 3.1. Devamı

El Adı	Kullanım Alanı	Yıl	Kaynak
Kavramsal parmak	Robotik uygulamalar	1989	[43]
Kavramsal parmak	Robotik uygulamalar	1989	[44]
Kavramsal parmak	Robotik uygulamalar	1991	[48]
Kavrayıcı	Robotik uygulamalar	1996	[50]
DeLaurentis	Kavrama uygulamaları	2000	[53]
Lotti & Vassura	Kavrama uygulamaları	2002	[71]
Wilkinson	Kavrama uygulamaları	2003	[55]
Lotti /UB El	Protez El	2005	[56]
Cabas/ RL1 El	Yaşlı ve engelli insanlara yardım	2006	[57]
Takamuku	Robotik uygulamalar	2007	[58]
Gosselin	Robotik uygulamalar	2008	[60]
Gaiser FRH-4 El	Endüstriyel	2008	[61]
Rosen	Protez el	2009	[62]
Nagase	Protez ve rehabilitasyon el	2012	[63]
Belter & Dollar	Protez el	2013	[64]
Deimel & Brock/ RBO El	Kavrama uygulamaları	2013	[65]
Polygerinos	Rehabilitasyon	2013	[7]
Galloway	Protez el	2013	[67]
Maeder- York	Rehabilitasyon	2014	[72]
Al-Timemy	Protez el	2014	[68]
Beir/RHI	Protez el	2014	[73]
Deepan	Keman çalma (Hobi uygulamaları)	2015	[74]

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde robotik elin gün geçtikçe daha fonksiyonelleştiği görülmüştür. Kullanıcı konforunun artması içinde bu çalışmalar yapılmaya devam etmesi de beklenmektedir. Gün geçtikçe daha kolay giyilebilir, takılıp çıkarılabilir robotik eller, daha ince işleri yapabilen ellerin yapılması beklenmektedir.

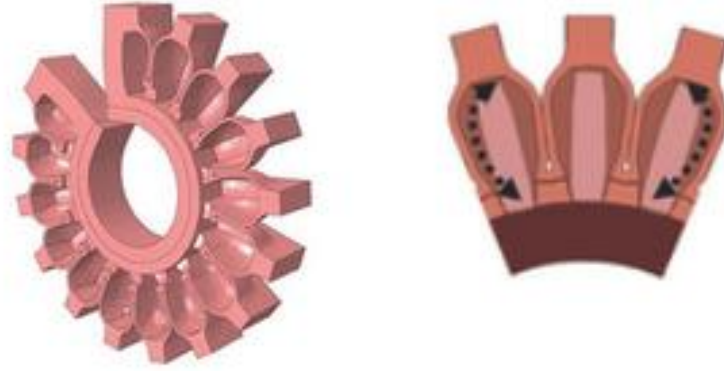


4 YUMUŞAK ROBOTİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

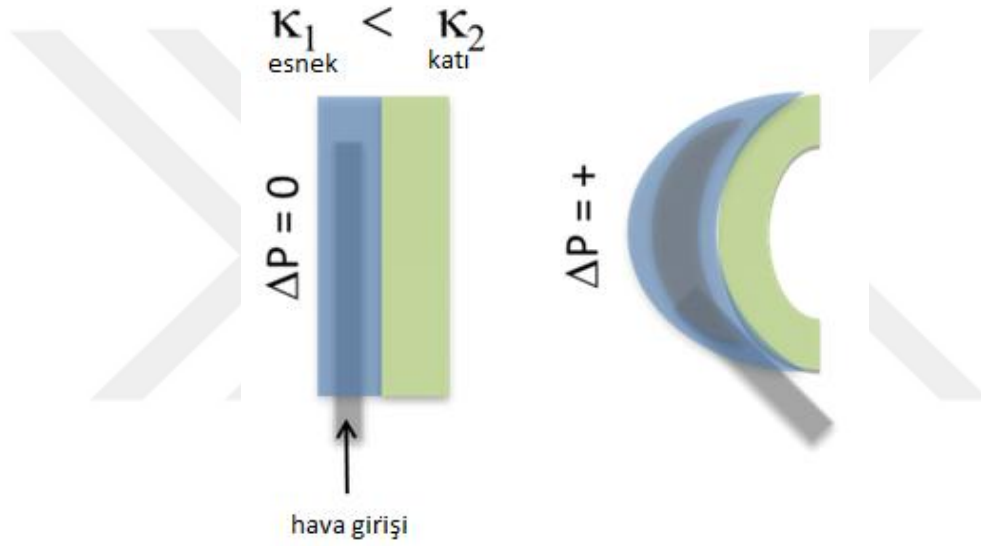
Yumuşak robotik, yumuşak, esnek malzemeler ile biyolojik sistemlerden esinlenerek klasik robot tasarımlarının ilkeleriyle birleştirmesi ile oluşturulmuş robotlardır [75]. Bu tanımlar ve açıklamalar çerçevesinde yumuşak robotik, biyolojik canlılardan esinlenerek tasarlanan, esnek ve akışkan malzemeler kullanılarak üretilen çeşitli tahrik sistemleri ile işlevlerini yerine getiren robotik sistemlerdir. Literatür taramalarında çok çeşitli yumuşak robot üretim yöntemleri bulunmaktadır. Temel olarak beş başlıkta topladığımızda bükülebilir aktüatörler, tekstil katkılı aktüatörler, pnömatik yapay kaslar ve dielektrik elastomer aktüatörler ve SDM (Shape Deposition Manufacturing) parmaklardır.

4.1 Bükülebilir Aktüatörler

Bükülebilir aktüatörler, içinde hava kanalları olan elastomer bir yapıdır. Şekil 4.1'de bükülebilir aktüatör gösterilmiştir. Basınç uygulandığında bu kanallar şişer ve hareket gerçekleşir. Bükülebilir aktüatörlerde hareket kontrolü kanalların şekil veya kalınlığı gibi özelliklerinde değişiklik yapılarak sağlanabilir. Basınç uygulandığında genişleme sertliğin en az olduğu bölgede gerçekleşir. Eğer bu aktüatörler tek tip elastomerden meydana geliyorsa genişleme en ince kısımda gerçekleşir. Tasarımcılar istenilen hareketi duvar kalınlığını değiştirerek önceden programlayabilirler. Aktüatörün hareketini bir diğer kontrol etme şekli de esnekliği farklı olan malzemelerin kullanılmasıdır. Katman katman iki farklı malzeme yerleştirildiğinde, esnek katmandan hava basıncı uygulandığında, esnek katman esneyerek sert katmanla birlikte bükülme hareketi gerçekleşir [7,75–80] Farklı esnekliğe sahip malzemelerin kıvrılması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kanallardan oluşan bükülebilir aktüatör



Şekil 4.2. Farklı esneklikteki malzemelerde kıvrılma

Bükülebilir aktüatör üretim işlem basamakları

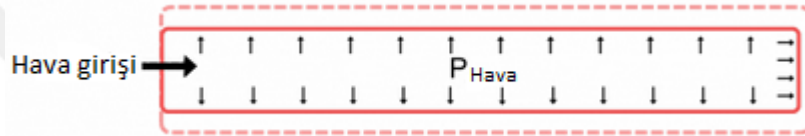
- 1- 3B yazıcı ile kalıp hazırlama: İki adet solidwork ile tasarlanan kalıp 3B yazıcıda basılır. Kalıplardan biri ana kalıp diğeri kaplama yapmak için kullanılır.
- 2- Elastomer hazırlama: Silikon kauçuk elastomer iki bölümden oluşmaktadır. Bu iki bölümün karışım oranı her marka silikon kauçuk için farklıdır. Bu aşamada hassas terazi ve santrifüj mikser kullanılır.
- 3- Elastomerin kalıplara dökümü: Hazırlanan silikon kauçuk ana kalıba dökülür ve vakum odasında bekletilir. Kuruma oda sıcaklığında 24 saatte gerçekleşirken laboratuvar fırınında 65 °C' ta 10 dakika yeterlidir.

4- Silikonların birleştirilmesi: Kalıplardan çıkarılan silikon parçalar birleştirilir ve aktüatör oluşturulur.

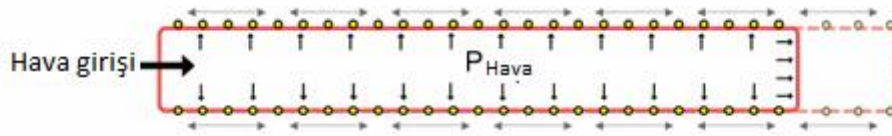
5- Hava kaynağının bağlanması: Son olarak elastomer gövdeye hava kaynağı bağlanır.

4.2 Tekstil Katkılı Aktüatörler

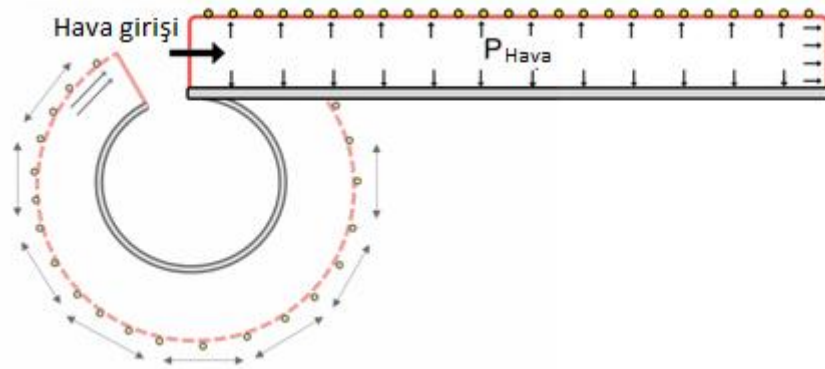
Tekstil katkıli aktüatörlerde ana tasarım uzamayan takviye malzemesinin elastomer ile kaplanmasını içerir. Elastomer kalıp çeşitli şekillerde malzeme katkısıyla farklı hareketler gerçekleştirebilir. Bu hareketler şişme, uzama ve bükülmedir. İçine hava basılan bir balon her yönden şişer, fakat genişlemesinin istenmeyen bölgelere tekstil malzemesi (esnek olmayan) katkısı ile hareketin yönü ve şekli değiştirilebilir.



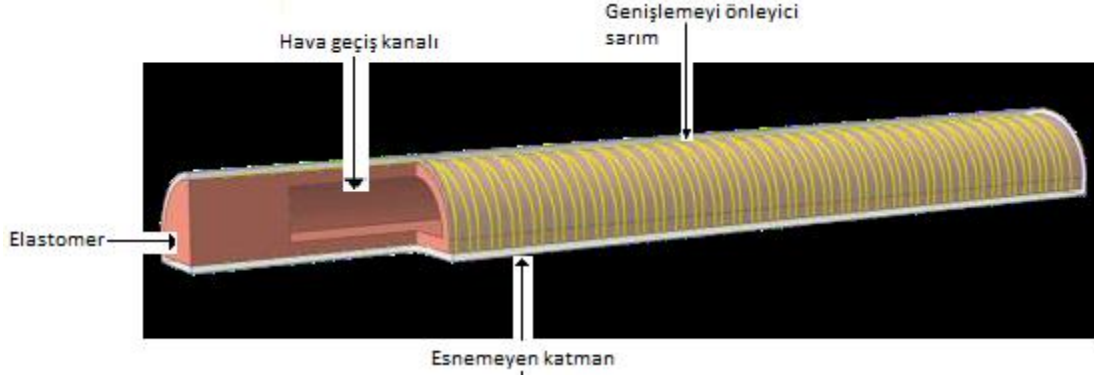
Esnek bir malzemenin içerisine hava basıncı uygulandığında, her yönde genişleme başlar.



Malzemenin etrafı sarıldığında, enine genişleme önlenir boyuna uzama gerçekleşir.

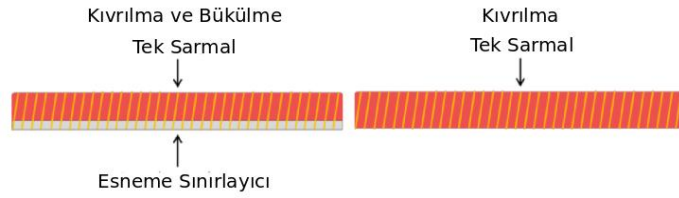


Malzemenin hem etrafı sarılır hem alt yüzeyine uzamayan esnemeyen tekstil malzemesi yapıştırıldığında kıvrılma hareketi gerçekleşmiş olur [5,67,75]. Şekil 4.3'de tekstil katkıli aktüatör görülmektedir.

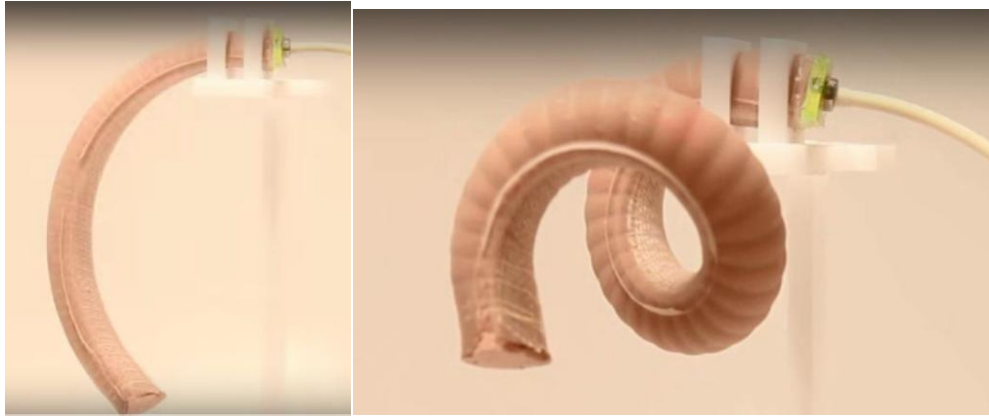


Şekil 4.3. Tekstil katkıli aktüatör

Harvard üniversitesi Wyss enstitüsü elyaf katkıli aktüatörlerde hangi yapının nasıl hareket değişikliğini gerçekleştirdiği incelemiştir. Resim 4.1'de esneme sınırlayıcı malzeme ve tek sarmal ile kıvrılma hareketinin nasıl oluştuğu görülmektedir.

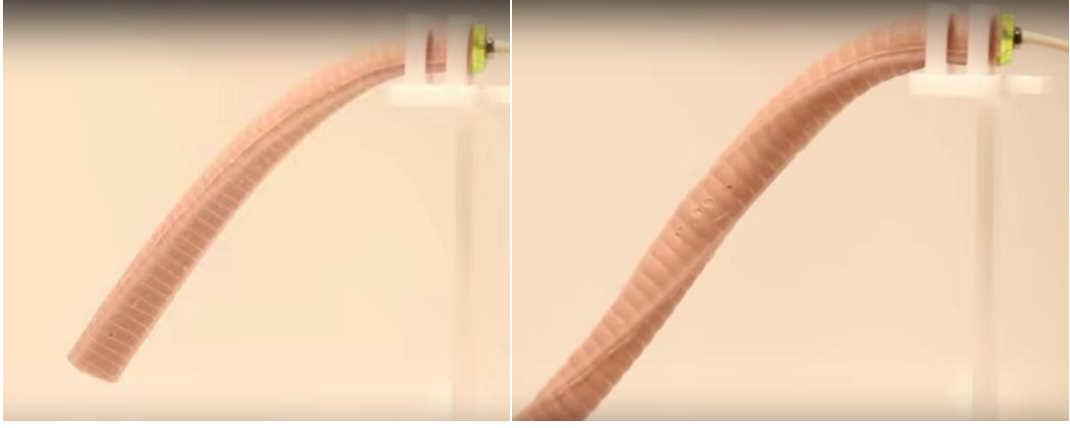


Şekil 4.4. Elyaf katkıli aktüatörde tek sarmal



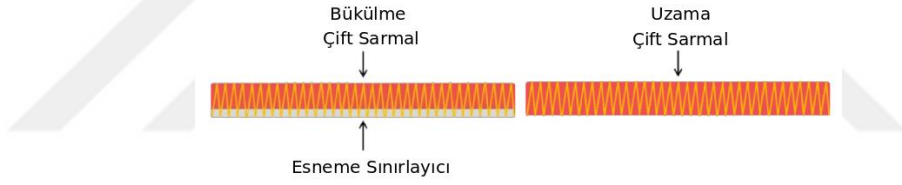
Resim 4.1 Esneme sınırlayıcı malzeme ve tek sarmallı aktüatöre hava basıncı uygulandığındaki hali (Bükülme ve kıvrılma)

Resim 4.2'de tek sarmallı aktüatörün hava basıncı sonrası kıvrılarak uzaması görülmektedir. Esneme sınırlayıcı malzemenin olmamasının kıvrılmayı nasıl etkilediği görülmektedir.



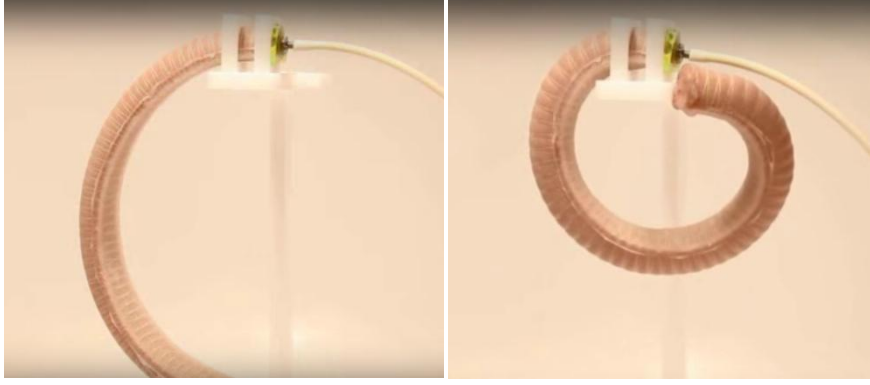
Resim 4.2. Tek sarmallı aktüatörün hava basıncı sonrası kıvrılarak uzaması

Şekil 4.5' de aktüatörde çift sarmal ve esneme sınırlayıcı katman ilavesi görülmektedir. Resim 4.3' te çift sarmal ve sınırlayıcı katman ilavesi sonrası gerçekleşen kıvrılarak bükülme hareketi görülmektedir.



Şekil 4.5. Elyaf katkılu aktüatörde çift sarmal

Şekil 4.7 'de aktüatöre çift sarmal uygulandığında aktüatörde uzamanın olduğu, esneme sınırlayıcı tabaka ilavesi sonrasında da bükülmenin gerçekleştiğini gözlemlemiştir.

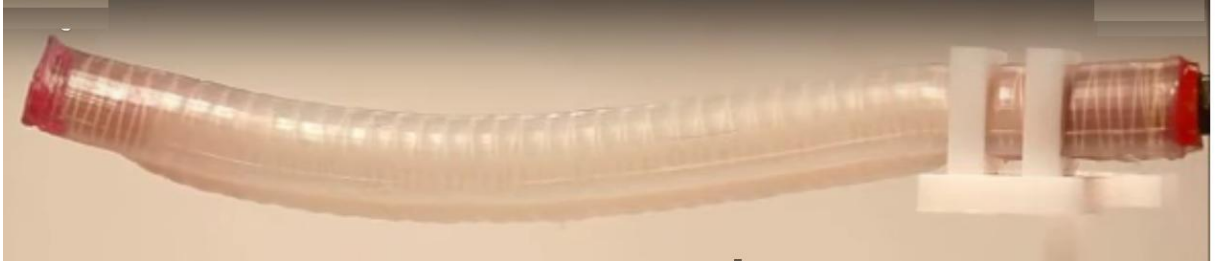


Resim 4.3. Çift sarmal ve sınırlayıcı katman ilavesi sonrası aktüatördeki kıvrılma hareketi [75]

Resim 4.4'te ise çift sarmallı aktüatörde hava basıncı uygulanması sonrası gerçekleşen hareket görülmektedir. Tüm bu yüzeylerin eklenmesi istenen harekete göre tek seferde uygulanabilirken, aynı aktüatör üzerinde Şekil 4.6 ve Resim 4.5'te görüldüğü gibi birden fazla durumda bir arada kullanılabilir.



(a)

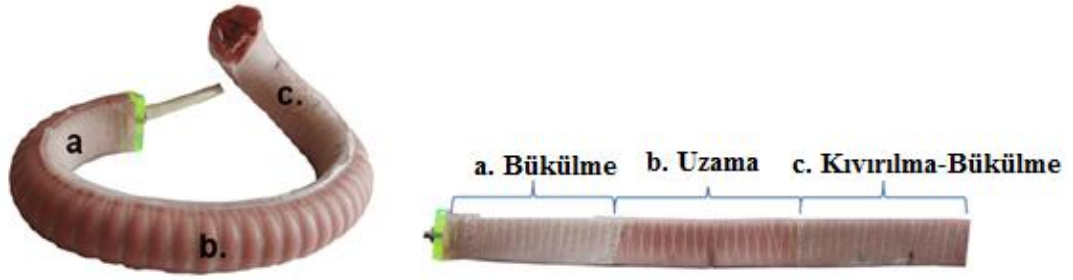


(b)

Resim 4.4. Çift sarmallı aktüatörde uzama hareketi (a) Öncesi (b) Sonrası



Şekil 4.6. Aktüatörde birden fazla durumun bir arada kullanılması

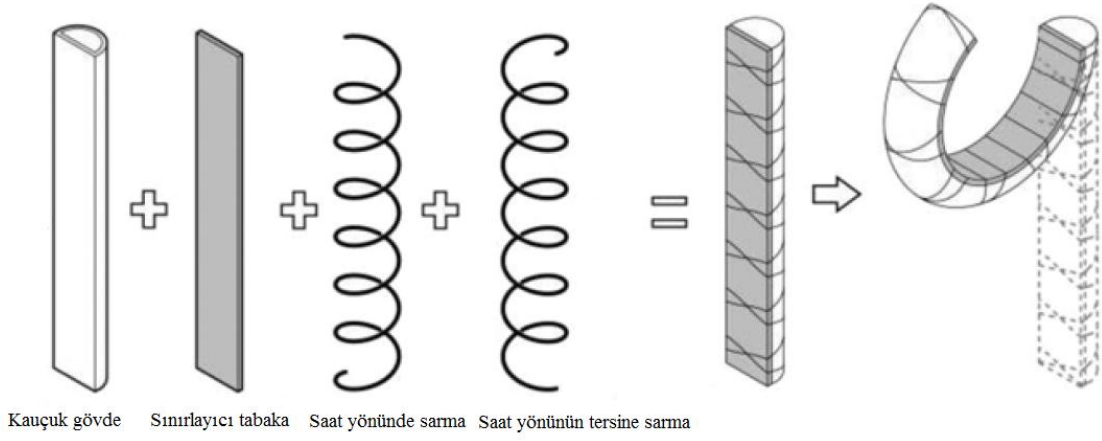


Resim 4.5. Tekstil katkıli aktüatörün son hali [75]

Tekstil katkıli aktüatör üretim işlem basamakları

- 1- 3B yazıcı ile kalıp hazırlama
- 2- Elastomer hazırlama.
- 3- Elastomer kalıplara dökme.
- 4- Donan elastomere tekstil malzemeleri ekleme. Tamamı kevlar iplikle sarılırken, alt bölge için cam kumaş yapıştırma
- 5- İlaveler tamamlandıktan sonra tekrar silikon kaplama
- 6- Bir ucu tamamen kapatma
- 7- Diğer ucunda hava geçiş kanalının ayarlanması
- 8- Hava pompasına bağlanması

Şekil 4.7’de işlem basamaklarının şematik çizimi görülürken Resim 4.6’ da tekstil katkıli aktüatörden elde edilen ürünün son hali görülmektedir. Resim 4.7’de tekstil katkıli aktüatörün rehabilitasyon cihazı olarak kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Tekstil katkılı aktüatörün işlem basamaklarının şematik gösterimi [8]



Resim 4.6. Tekstil katkılı aktüatörden protez el [75]



Resim 4.7. Tekstil katkıli aktüatörden giyilebilir rehabilitasyon cihazı

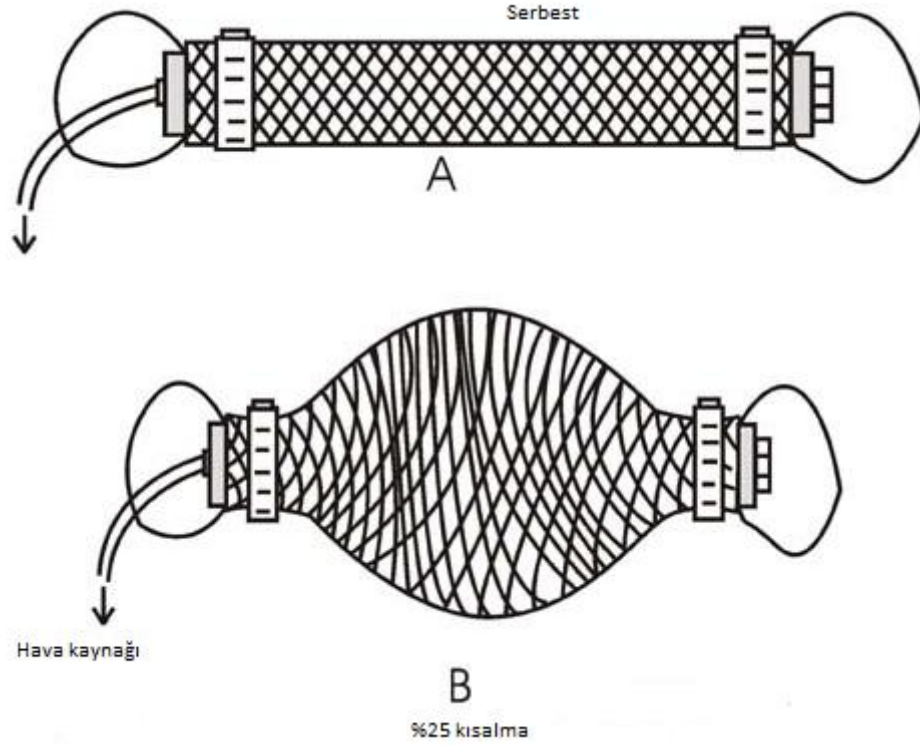
4.3 Pnömatik Yapay Kaslar

Mc Kibben yapay kaslarının geçmişi 1950'lere dayanmaktadır. Hafif ve kolay üretiliyor olması en büyük iki avantajıdır. Kaslar şişmeyen bir iç tüp ve örme bir yüzeyden oluşmaktadır. İki ucu kapalıdır. İç tübe basınç uygulandığında şişme gerçekleşir, örme yüzey makas şeklindeki bağlantıları radyal uzamayı lineer daralmaya çevirir. Resim 4.8'de pnömatik yapay kas verilmiştir.



Resim 4.8. Pnömatik yapay kas

Standard McKibben'da % 25 bir kısalma gerçekleşir. Farklı malzemeler ve yapının kullanılması da bu oranı etkiler [81–83]. Şekil 4.8'de bu değişimin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.8. Yapay kasa hava verilmesi sonucundaki değişimi[75]

Pnömatik yapay kas üretim işlem basamakları:

- 1- İç tüp hazırlama
- 2- Örme yüzeyin hazırlanması
- 3- Örme yüzeyin içerisine tüp yerleştirildikten sonra yüzeyine kaplamada yapılabilir ve hava kaynağı bağlanır.

Resim 4.9'da Mc Kibben yapay kasın hava basıncı ile değişimi gösterilmiştir.



Resim 4.9. McKibben yapay kasın hava basıncı öncesi ve sonrası hali

4.4 Dielektrik Elastomer Aktüatörler

Bir dielektrik elastomer aktüatör yumuşak, gergin dielektrik membranın rijit dairesel bir çerçeveye takılmasından oluşur [75].

Dielektrik elastomer aktüatör üretim işlem basamakları

- 1- Membran rijit çerçeveye bağlanması
- 2- Aktif bölgeler karbon yağı ile boyanması
- 3- Bakır kablolar uygulanması
- 4- Aktif bölgelere bakır bantlar bağlanması

Yapılan araştırmalar sonucunda bu dört yumuşak robotik aktüatörler yapılarında kullanılan malzemeler, üretim işlem basamakları, kullanılan cihaz sayıları, tekrar edilebilirlik derecesi, aktüatörlerin gerçekleştirdiği hareketler olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 4.1’de yumuşak robot üretim yöntemleri toplu olarak gösterilmiştir ve karşılaştırılması verilmiştir.

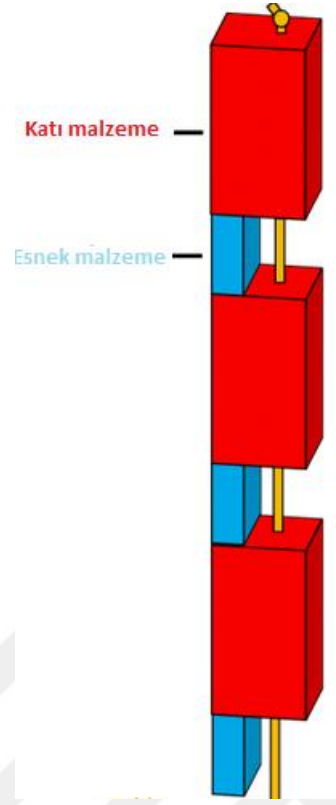
Tablo 4.1. Yumuşak robot üretim yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Malzemeler ve Uygulama için ilave malzemeler	Üretim işlem basamakları sayısı	Araç gereç sayısı	Tekrar edilebilirlik	Aktüatör fonksiyonları
Bükülebilir aktüatörler [78],[7],[84],[80],[85]	<ul style="list-style-type: none"> • Silikon kauçuk • Pnömatik tüp • Kâğıt • Pompa • Kontrol devresi • Güç kaynağı 	5	8	Kolay: İşlem basamaklarında beceri gerektirmiyor.	• Bükülme
Tekstil katkılı aktüatörler [67],[5],[79]	<ul style="list-style-type: none"> • Silikon kauçuk • Silikon yapıştırıcı • Tekstil malzemeler • Pompa • Kontrol devresi • Güç kaynağı 	8	8	Normal: 1 adım beceri gerektiriyor (4. adım)	• Bükülme • Kıvrılma • Uzama
Pnömatik yapay kaslar [86],[81],[87],[88]	<ul style="list-style-type: none"> • Elastomer iç kese • Örme dış yüzey • Kelepçeler • Pompa • Kontrol devresi • Güç kaynağı • Katı malzemeler 	3	1	Zor: 3 adım beceri gerektiriyor.	• Çekme
Dielektrik Elastomer Aktüatörler [89],[90],[91]	<ul style="list-style-type: none"> • VHB bantlar • Akrilik • Karbon yağı • Bakır bant • Kontrol devresi • Yüksek voltaj güç kaynağı 	4	1	Çok zor: 4 adım beceri gerektiriyor.	• Çekme • Bırakma

Tablo 4.1 incelendiğinde kıyaslamada en önemli özelliğin fonksiyon sayısı ve tekrar edilebilirlik olmasından dolayı en kullanışlı aktüatör tipinin tekstil katkılı aktüatör olduğu “International Conference on Software Maintenance and Evolution” Antalya 2015’ te bildiri olarak sunulmuştur [92].

4.5 Şekil Birikimli Üretim (Shape Deposition Manufacturing (SDM)) parmaklar

SDM parmaklarda eklem gibi kıvrılma yapması gereken bölgelerde esnek malzeme, diğer bölgelerde katı malzeme kullanılmasıyla elde edilen parmaklardır. Şekil 4.9’da SDM parmak verilmiştir.

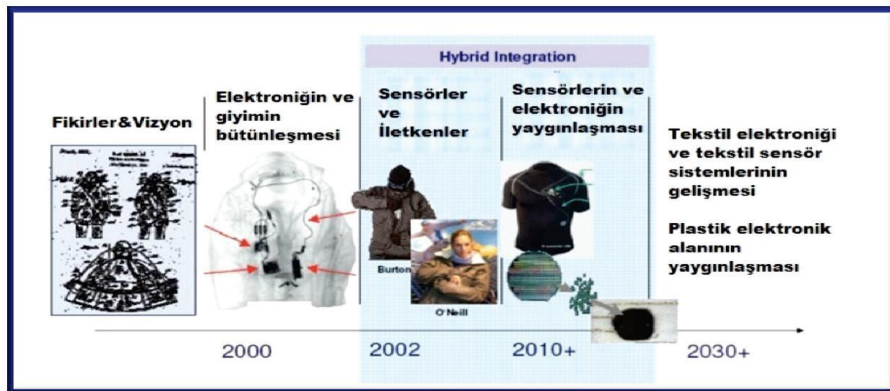


Şekil 4.9. SDM parmak

Gerilim uygulandığında esnek malzeme bükülür ve parmağın bükülmesini sağlar prensibi ile kıvrılma hareketi gerçekleşmektedir [93], [75].

5 TEZİN AMACI VE HEDEFLER

TUSİAD tarafından 2016 yılında yayınlanan “Türkiye’nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklik Olarak Sanayi 4.0” adlı raporuna göre Türkiye’de tekstil sektöründe ürün ve üretim yöntemi açısından sanayi 4.0 tekniklerinin uygulanmadığı veya çok düşük seviyede olduğu belirtilmiştir. Sanayi 4.0 ilkelerinin tekstile uygulanması durumunda % 10-16 potansiyel verimlilik artışı yaşanacağını vurgulamışlardır [94]. Sanayi 4.0, üretim sektöründe meydana gelen devrimler nedeniyle ülkeler ve şirketlerin küresel boyutta yaşanan bu değişimlere ayak uydurmak zorunda kalması ve artan rekabet koşulları arasında rekabet üstünlüklerini devam ettirebilmek amacıyla geliştirilen stratejilerden Almanya’da gündeme gelen stratejilerden birinin adıdır [95]. Sanayi 4.0 temel olarak üründen üretime her alanın bilişim teknolojileri ile bir araya getirilmesini önermektedir. Sanayi 4.0 tekstil sektörünün esnek, hızlı ve daha çok ürün elde edilmesini sağlayan üretim süreçlerine kavuşmasını sağlamaktadır [96]. Akıllı tekstiller, teknik tekstiller içerisinde katma değeri en yüksek ve en ileri teknoloji kullanılan alanlardandır. Tekstilde iyileştirmenin sadece dokuma, örme, baskı ve boya alanında gelişme olmayıp daha akıllı sistemlerin gerek üretim esnasındaki tekniklerin gerekse satılacak ürünlerin daha yüksek katma değer sağlaması gerekmektedir. Ege bölgesi sanayi odasının raporuna göre tekstildeki gelişmeler Şekil 5.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1. Tekstil elektroniği ve tekstil sensör sistemlerinin gelişmesi[96]

Sanayi 4.0' da belirtildiği gibi Tekstil sektöründe rekabeti arttırmak amacıyla küçük bir adım olan tekstili, robotik ve 3b yazıcı kullanarak yazılım desteği ile bir ürün üreterek, giyilebilir makinelerin avantajları ve yeni bir konu olan yumuşak robotik üretim yöntemlerini birleştirerek kaybedilen uzva daha benzer, daha az rahatsızlık verecek, kişiye göre üretimi daha kolay ucuz ortez ya da protezlerin tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Bölüm 6'da anlatılan uygulamalar yapılmış olup üretilebilirliği ve üretimin tekrar edilebilirliği incelenmiştir.

Projede öncelikle tekstil katkılı silikon parmak tasarımı yapılmış olup, üretimde görülen zorluklar, tekrar edilebilirliğinin zor olması nedeniyle, yine esnek malzemeden elektronik giyilebilir el tasarımı yapılma yolunda ilerlenmiştir.

Silikon parmak üretimindeki dezavantajlar;

- Malzemenin karışım sırasında kabarcıklar oluşturması ve çok el emeği gerektirmesi,
- Silikondan karışım oluşturmasının zor olması,
- Hava boşluğu gibi elde olmayan sebepler nedeniyle matematiksel modellemenin zor olması
- Seri üretim tekniklerinin geliştirilmemiş olması,
- Her bir üretim için 3 boyutlu yazıcıdan kalıp tasarlanıp basılma maliyeti,
- Genellikle pnömomatik olarak çalıştırılması ve hava sızdırmazlık problemi,
- Kullanılan pompalar hantal olması, taşınabilirliği zor olması,
- Komple yumuşak olması nedeniyle sarkma ve salınım yapması,
- Her seferinde el emeği ile kalıplara dökülerek yapılması nedeniyle tekrarlanabilirliği zor olması,
- Karışım oluşturma aşamasında birçok cihaz ve alete gerek duyulması,
- Silikon malzemenin yapışkan bir malzeme olması nedeniyle bulaşması.

Tüm bu nedenlerden dolayı CAD/ CAM ile üretim ile 3 boyutlu yazıcı kullanarak esnek filament ile giyilebilir elektronik el tasarımı yapıp üretilmiştir. Tez kapsamında giyilebilir rehabilitasyon eldiven cihazı üretimi de yapılmıştır.

6 MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmalar Tablo 6.1’de görüldüğü üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada pnömatik hava kanallarından oluşan parmak, ikinci aşama sünger el tasarımı, üçüncü aşama üç boyutlu yazıcı destekli elastik bağlantıları olan protez el ve dördüncü aşama giyilebilir rehabilitasyon eldiveni cihazı tasarlanmasıdır. Üretilen bu ürünlerin karşılaştırmalı olarak avantajları ve dezavantajları verilmiştir. Yumuşak el üretiminde üç farklı üretim yöntemi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla, kalıplama, kesme ve CAD/CAM ile üretimdir. Rehabilitasyon eldiveni içinde yüzüklerle rehabilite tekniği kullanılmıştır.

Tablo 6.1. Tez kapsamında kullanılan materyal ve yöntemler

Aşama	Yöntem	Ürün	Kullanılan Malzemeler	Kullanım Amacı
1.	Kalıplama ile üretim	Silikon Parmak	PLA Filament	Kalıp üretimi
			Dragon Skin 10-20-30	Silikon parmak oluşturmak
			Kevlar	Parmak hareketi gerçekleştirmek
			Dokuma Kumaş	
			Pnömatik hava Pompası	Hava basıncı sağlamak
2.	Kesme İle Üretim	Sünger El	Sünger	El gövdesi
			Plastik tüp	Kılavuz aktüatör
			Kesici aparatlar	Kesme ve şekil verme
			Kevlar	Hareket mekanizması
			Servo motorlar	
			PLA Filamenet	Motor yatağı oluşturmak
3.	CAD/CAM ile Üretim	Esnek filamentten giyilebilir servo motorlu protez el	Esnek filament	El malzemesi
			PLA filament	El malzemesi
			Kevlar	Hareket mekanizması
			Servo motor	
		Esnek filamennten giyilebilir DC motorlu Protez el	Esnek filament	El malzemesi
			PLA filament	El malzemesi
			Kevlar	Hareket mekanizması
			DC motor	
		Elastik bağlantıları olan protez el	Esnek filament	El malzemesi
			PLA filament	El malzemesi
			Kevlar	Hareket mekanizması
			DC motor	
		Tüm mekanizmaları avuç içerisinde olacak şekilde esnek protez el	Esnek filament	El malzemesi
			PLA filament	El malzemesi
			Kevlar	Hareket mekanizması
DC motor				
4.	Yüzüklerle Rehabilitte	Rehabilitasyon cihazı	Eldiven	Ele giydirmek
			PLA filament	Yüzük ve motor yatağı
			Kevlar	Hareket mekanizması
			Servo motor	

6.1 Tez Kapsamında Uygulanan Protez Üretim Teknikleri

6.1.1 Kalıplama ile Üretim

6.1.1.1 Pnömatik silikon parmak

Pnömatik silikon parmak üretimi kalıp üretimi, silikon kauçuk solüsyon hazırlama, solüsyonu kalıplara dökme, donan silikon iskelete tekstil takviyesi, tekrar silikon ile kaplama ve pnömatik hava pompası ile bağlama aşamalarından oluşmaktadır.

Kalıp üretimi

Öncelikle cad programı ile kalıp tasarımı yapıp 3 boyutlu yazıcı ile kalıp üretimi yapılmıştır. Kalıp Resim 6.1’de görüldüğü gibi 4 parçadan oluşmaktadır.



Resim 6.1. Pnömatik silikon parmak kalıbı

Silikon kauçuk solüsyon hazırlama

Silikon kauçuk Part A ve Part B olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Bkz. Resim 6.2) . Karışım oluşturmada her markada Part A ve Part B karışım oranları farklıdır. Bu çalışmada silikon kauçuk olarak DRAGON SKIN 10, 20 ve 30 kullanılmıştır. Dragon Skin silikon kauçuğun karışım oranı 1: 1 dir.



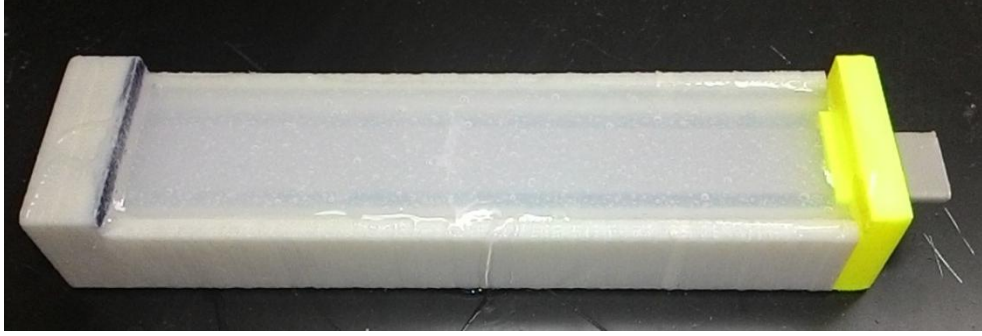
Resim 6.2. İki bölümden oluşan Dragon Skin silikon kauçuk

Resim 6.3'te görüldüğü gibi, 1:1 Part A ve Part B den oluşan silikon kauçuk solüsyonu içerisinde kabarcık kalmayacak şekilde karışım hazırlanır.



Resim 6.3 Silikon kauçuk hazırlama işlemi

Sürekli karıştırılarak karışım homojen hale getirilir ve kalıplara dökülür (Resim 6.4). Dökümü yapıldıktan sonra silikonda baloncuk varsa patlatılır (Resim 6.5) ve kalıp kelepçelenir (Resim 6.6) . Silikon kauçuk oda koşullarında 16- 24 saat bekletilir ve süre sonunda donmuş şekilde kalıptan çıkarılır.



Resim 6.4. Silikonun kalıplara dökülmesi

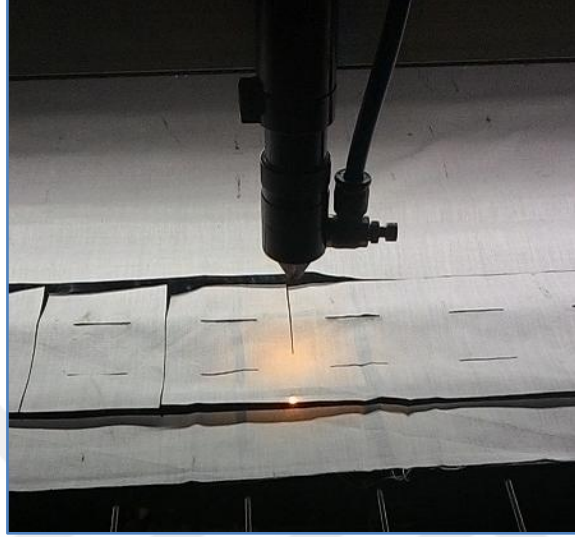


Resim 6.5. Kalıba dökülen silikondaki baloncukların patlatılması



Resim 6.6. Kalıba dökülen silikonun kelepçeler ile kapatılması

Silikon iskelete istenilen hareketi sağlayabilmek için çeşitli tekstil yüzeyleri kullanılmıştır. Bunun için tekstil yüzeyler ilave edilerek üzerinde hareket bölgeleri çizilmiş ve kesilmiştir. Ancak elle yapılan çizim ve kesimlerde hatalar olduğu görülmüştür. Kesimlerin daha düzgün ve ölçülü olması amacıyla lazer kesim kullanılmıştır (Resim 6.7).



Resim 6.7. Lazer kesim

Kalıptaki silikonun 24 saat donduktan sonra, kalıptan çıkarılır ve üzeri kevlar ile sarılır (Resim 6.8) . Silikon kalıbın alt bölgesi kumaş ile kaplanır ve tekrar ayrı bir kalıpta kaplama işlemi gerçekleştirilir.



Resim 6.8. Kevlar ile sarılması

Kevlar ile kaplanan parmağın tekrar silikon kaplaması yapılır ve tekstil malzemelerinde silikon kalıp ile bütünleşmesi gerçekleşir (Resim 6.9).



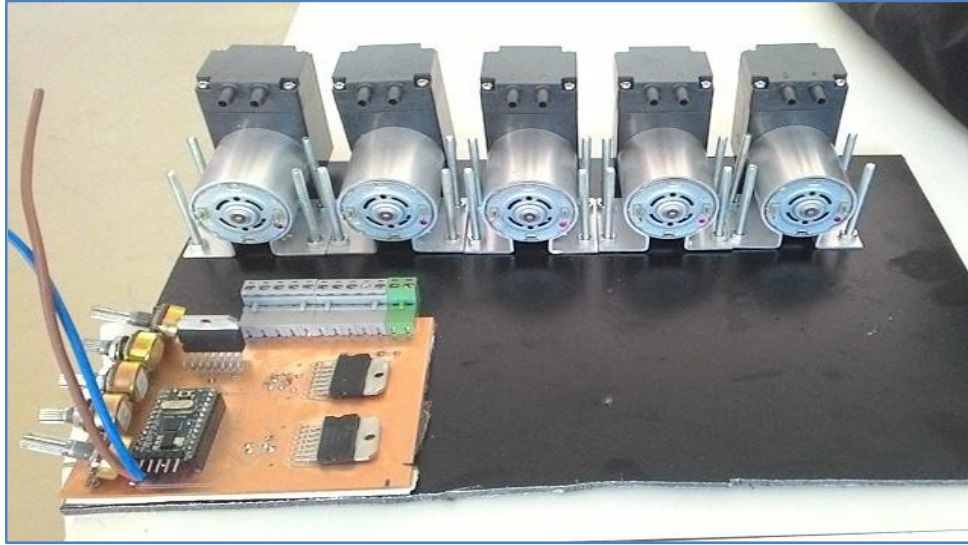
Resim 6.9. Kevlar ile kaplama sonrası tekrar silikon kaplama işlemi

Kaplama işlemi sonrasında aktüatörün bir ucu rondela diğer ucu da tıpa ile kapatılır. Rondela ve tıpa da kalıptan çıkan silikon uzuv için cad programı ile tasarlanmış olup 3 boyutlu yazıcıda yapılmıştır (Resim 6.10).



Resim 6.10. Rondela ve hava geçiş kanalı olan tıpa

İki ucu da ayarlanan aktüatörün hava sızdırmazlığa karşı bağlantı noktaları teflon bant ile sarılıp hava pompasına bağlanmıştır. Resim 6.11’de hava pompaları görülmektedir.



Resim 6.11. Pnömatik hava pompaları

Yapılan çalışmalar sonucunda kevlar ipliğın sarılması ve alt tabakaya dokuma kumaş yapıştırılması ile elde edilen parmak modeli ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Pnömatik olan işlemler de sızdırmazlık sorunu ile karşılaşmıştır ve bu problemi giderici önlemler alınmıştır.

6.1.2 Kesme ile Üretim

6.1.2.1 Sünger el tasarımı

Yapılan literatür taramaları sonucunda Shimoga ve Goldenberg [47] parmaklar için en uygun malzeme araştırmalarında plastik, kauçuk, sünger, pudra, macun ve jel kullanarak kıyaslamalar yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda süngerin parmak için en uygun malzeme olduğunu bulmuşlardır. Test sonuçları Tablo 6.1’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6.2. Parmak için kullanılan malzemelerin test sonuçları[47]

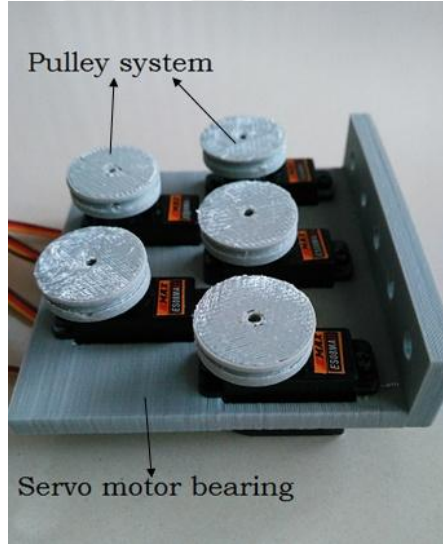
Malzeme cinsi	Kriterler			
	Darbe enerjisi azaltma αf	Yüze uygunluk βf	Gerilme enerjisi tüketimi γf	Üç Özelliğin toplamı δf ($\alpha+\beta+\gamma$)
Plastik	6	6	6	6(18)
Kauçuk	3	5	3	4(11)
Sünger	1	1	1	1(3)
Pudra	2	4	4	3(10)
Macun	5	3	5	5(13)
Jel	4	2	2	2(8)

Yapılan literatür taramaları sonucunda sünger malzemedan yapılmış herhangi bir aktüatör, protez, ortez ile karşılaşılmamıştır. Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla sünger protez el denemesi yapılmıştır. Kullanılan malzemeler; Sünger, kevlar, yapıştırıcı, servo motor, kılavuz aktüatör ve bir adet kontrol devresidir.

Kılavuz aktüatör minimum sürtünmeli kevlar iplik ile hareketi kontrol eden bir Resim 6.12’de görüldüğü gibi plastik tüp şeklindeki yapıdır. Sistemin hareket etmesini sağlayacak şekilde plastik tüpe şekil verilir ve şekilde parmağın kıvrılma hareketini gerçekleştirmesini sağlayan kılavuz görülmektedir. Eklem için ekstra bir malzemeye ihtiyaç duyulmadan eklem bölgelerinde çentikler oluşturularak kıvrılma sağlanmıştır.



Resim 6.12. Parmak hareketi için kılavuz aktüatör



Resim 6.13. Servo motor yatağı

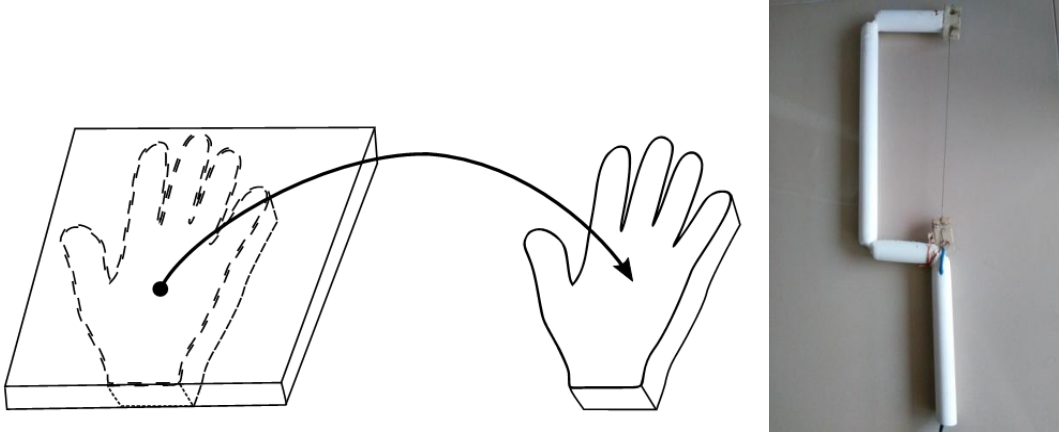
Çalışmada sıcak tel sünger kesici, makas ve falçata gibi çeşitli kesiciler kullanılmıştır. Çalışma için 2 çeşit sünger kesici yapılmıştır. Kesicilerden bir tanesi süngeri genel hatlarıyla el şeklinde Resim 6.14’ te görüldüğü üzere kesmek için kaba kesici, diğeri de süngerde kılavuz aktüatörleri yerleştirmek için kanal hazırlamak için kullanılır.



Resim 6.14. Kesici aparatlar

6.1.2.1.1 Sünger el üretim işlem basamakları

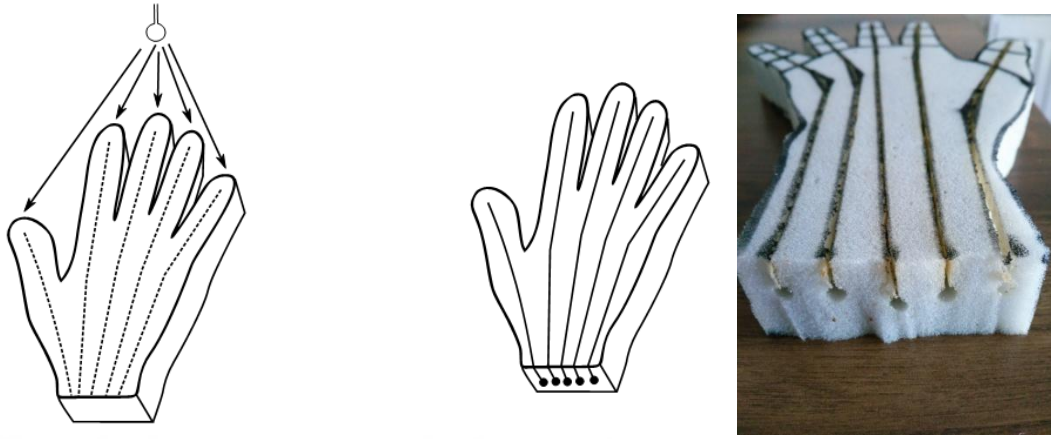
1. Kesme ve şekil verme



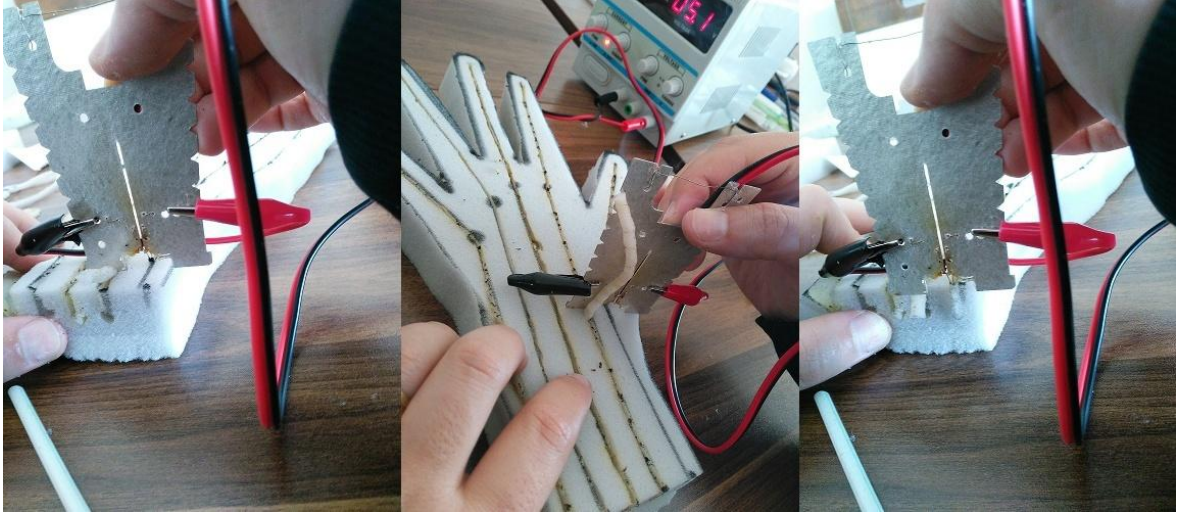
Şekil 6.1. Kaba kesim işlemi ve kesim aparatı

Sünger tabaka üzerine el çizimi yapılır ve Şekil 6.1'de görüldüğü gibi kaba kesim yapılır.

2. Derin kılavuz kanalı açma



Şekil 6.2. Kılavuz kanallarının açılmasının şematik görüntüsü

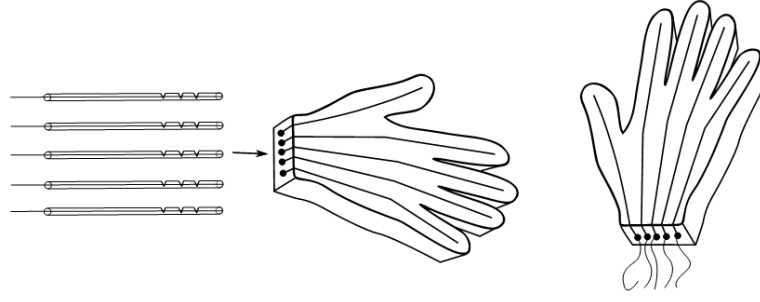


Resim 6.15. Kılavuz kanallarının açılması

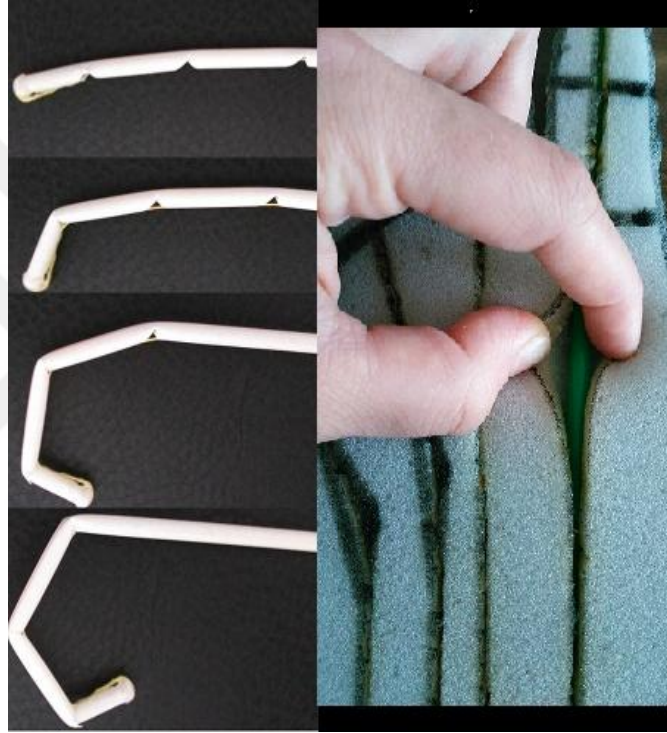
Şekil 6.2 ve Resim 6.15'te gösterildiği gibi üzerinde kanalların kesileceği bölgelerin çizimleri yapılır ve tüp şeklinde hazırlanan kılavuzları yerleştirmek amacıyla derin kılavuz kanalları açılır.

3. Kılavuz hazırlama ve yerleştirme

İnce tüp şeklinde olan kılavuzun, kıvrılma hareketini gerçekleştirebilmesi eklem yerlerinden kesitler alınır. Böylece yumuşak sünger robotik el için kemik vazifesi gören sistem hazırlanmış olur. Bu tüp kılavuz içerisine daha sonra servo motorlara bağlanarak kılavuzda hareketi sağlayacak olan, kevlar iplik yerleştirilir (Şekil 6.3- Resim 6.16) .



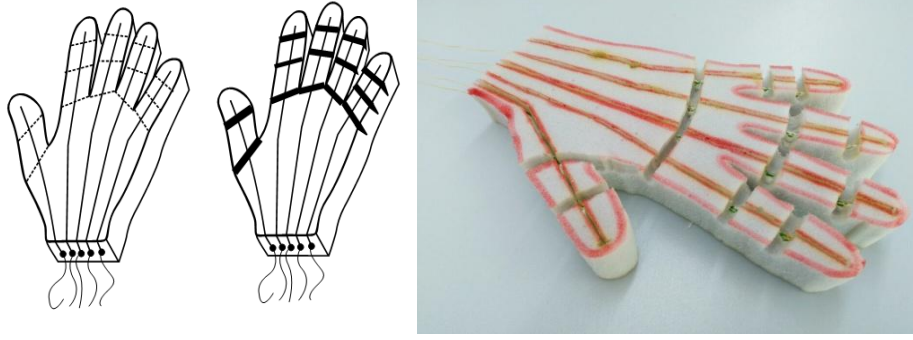
Şekil 6.3. Kılavuzların kanallara yerleştirilmesi



Resim 6.16. Kılavuzların yerleştirilmiş hali

4.Elin yüzeyinde kıvrılmayı sağlayan çentikleri hazırlama

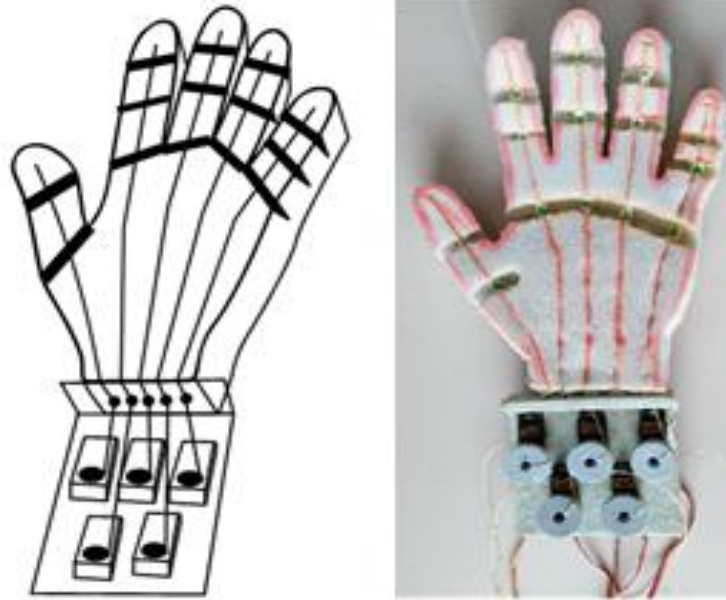
Şekil 6.4’de görüldüğü gibi kıvrılmayı kolaylaştırıp ve ekstra eklem eklemekten ince kesici ile çentik oluşturularak eklem yerleri oluşturulur.



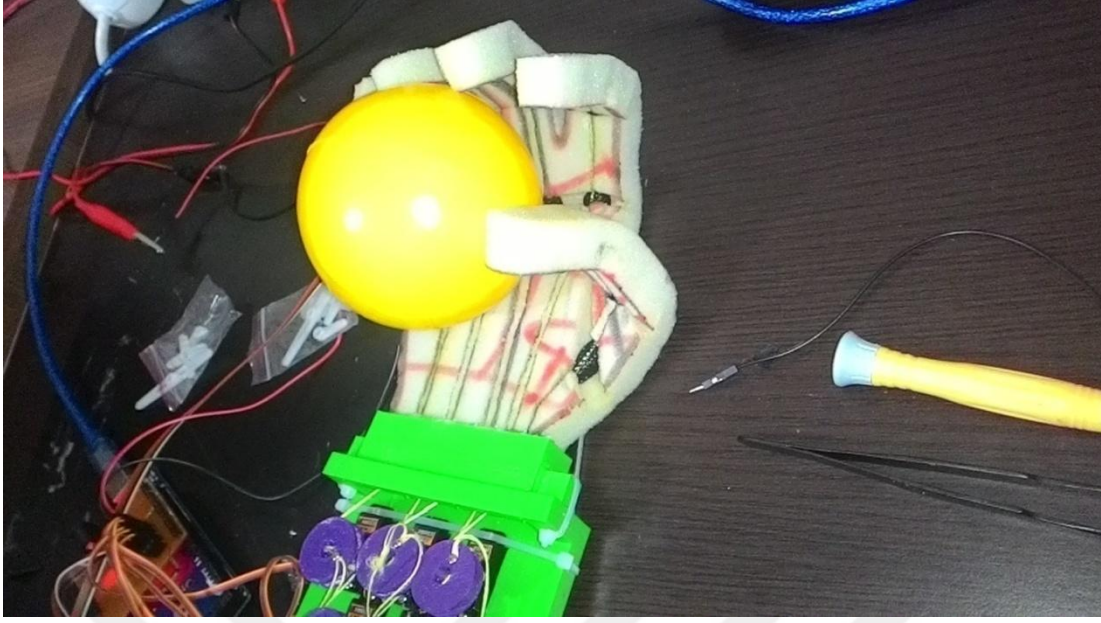
Şekil 6.4. Kıvrılmayı sağlayan çentiklerin hazırlanması

5. Kevlar iplikler ile servo motorlara bağlama

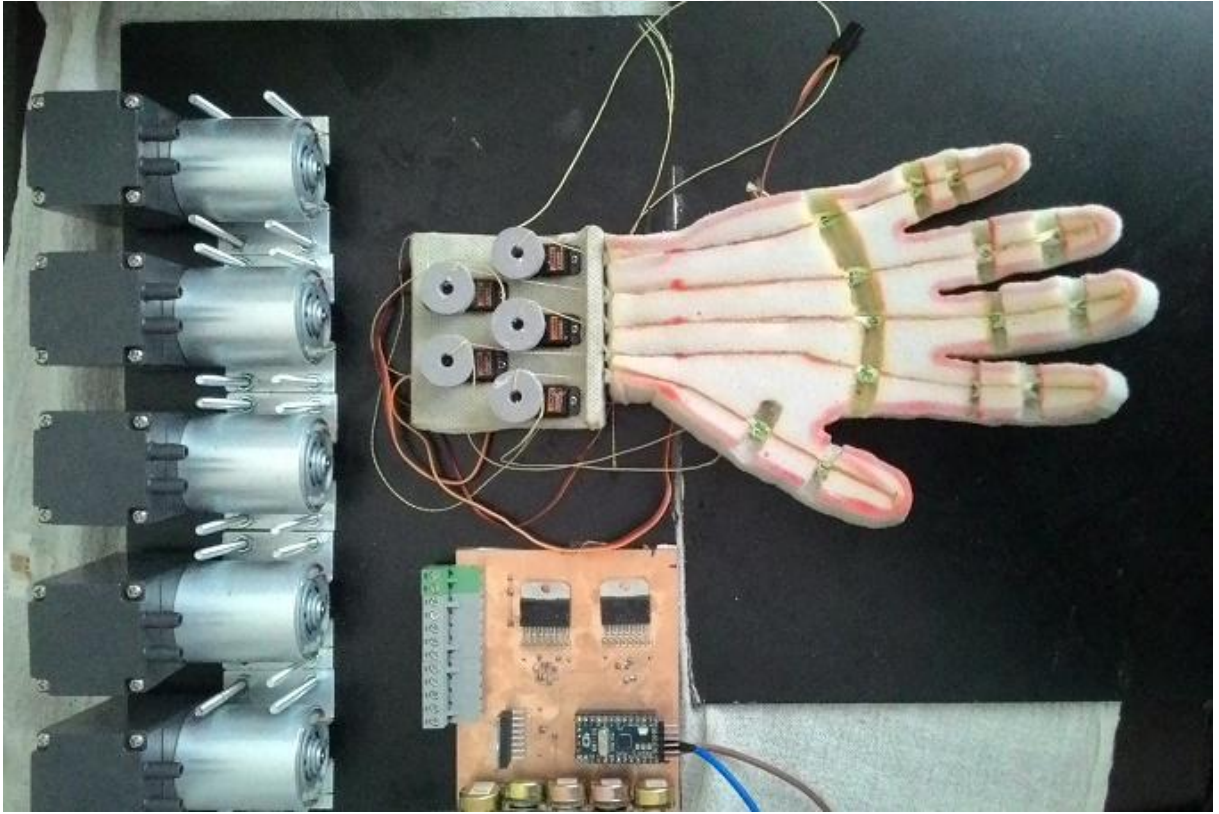
Şekil 6.5’ de görüldüğü şekilde kevlar iplikler ile servo motorlara bağlanır. Yapılan son çalışmada plastik tüp yerine karbon örme tüp kullanılmıştır, daha esnek yapısı ve düşük sürtünme sayesinde kıvrılma kolaylaştığı görülmüştür. Resim 6.17’de sünger elin kavrama hali görülmektedir. Resim 6.18’de kalıplama ile üretimde kullanılan hava pompalarının büyüklüklerinin sünger el ile kıyaslaması yapılmıştır. Tasarımda küçülmeye gidildiği görülmüştür.



Şekil 6.5. Servo motorların bağlanması



Resim 6.17. Sünger elin kavrama hali



Resim 6.18. Hava pompalarının büyüklüğü ile sünger el

6.1.3 CAD/CAM ile Üretim

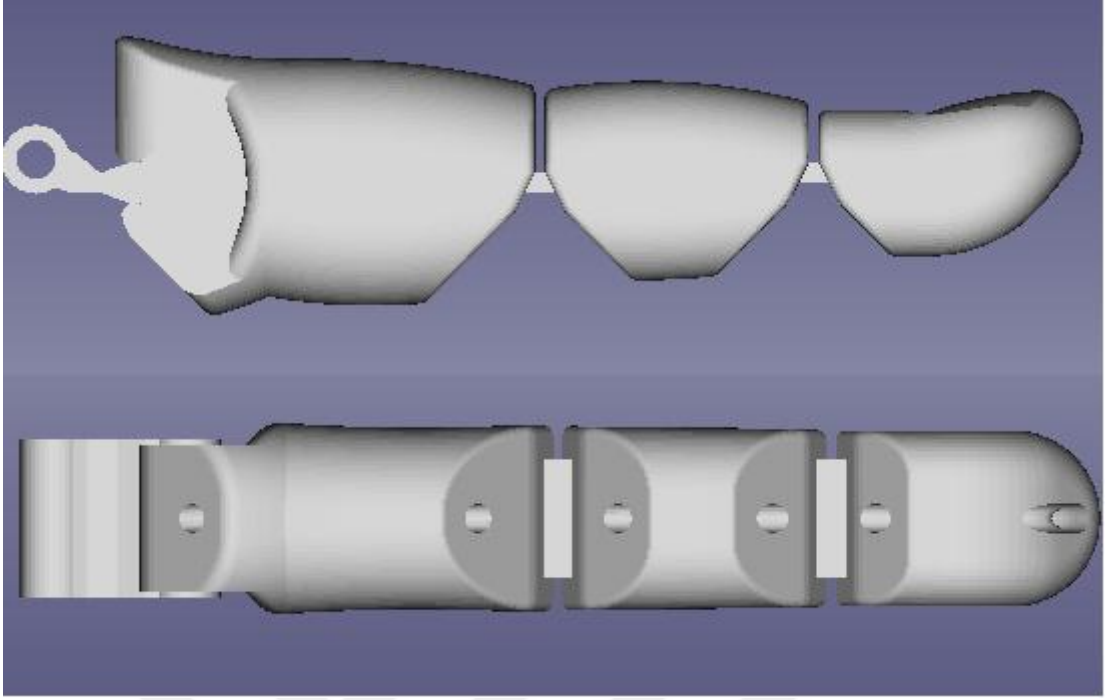
Literatürde ve piyasada bulunan birçok mekanik ve elektronik ellerdeki dezavantajlarını minimuma indirmek için CAD/CAM ile el tasarlanmıştır. Öncelikli olarak takıldığında minimum rahatsızlık verecek şekilde, gerçek ele en yakın şekilde tasarlanmış bir eldir. Piyasada sert filamentten basılmış elastik bağlantıları olan mekanik eller vardır [97] mekaniğinde bilekte kıvrılma hareketi ile elde kıvrılma hareketi gerçekleşirken bizim çalışmamızda elektronik olarak hareket sağlanmıştır. Protezin tüm parmakları esnek filamentten bir bütün halinde basılmış olup, her bireye uygun olarak basılabilmektedir.

6.1.3.1 Esnek filamentten giyilebilir servo motorlu protez el

Giyilebilir esnek filamentten protez el, tez çalışmasının son aşamasıdır. Esnek filamentten üç boyutlu yazıcıda basılan protez elin parmakları esnemeyen, çelik kadar mukavemetli, aşınma sorunu en az olan kevlar iplik ile motorlara bağlanmıştır. Her bir parmak için bir adet servo motor kullanılmıştır ve bu motorlar bileğe monte edilerek, kullanacak kişiye minimum rahatsız edecek şekilde tasarlanmıştır. Giyilebilirliği kişiye göre ayarlanabilmesi amacıyla cırt bantlı ve az esneyen bir kumaştan veya esnek filamentten kol kalıbı basılarak cırt bant ile bağlantısı yapılabilir. Giyilebilirliği kullanıcıya göre ayarlanabilir, dikimi kişiye özel yapılabilir.

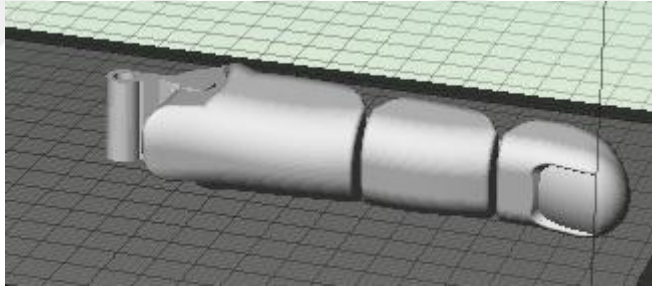
Üretim İşlem Basamakları

1. Şekil 6.6' da görüldüğü gibi CAD programı ile avuç ve parmak çizimleri yapılır. Parmak çizimleri thingiverse'den alınmış olup [98], avuç tasarımı değiştirilmiştir.



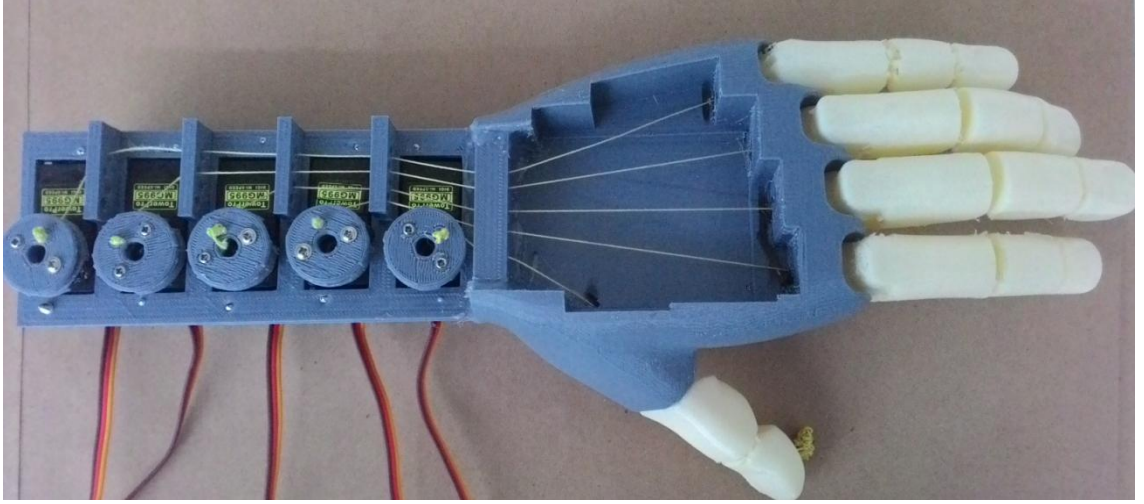
Şekil 6.6. Parmak CAD çizimleri

2. 3 boyutlu yazıcıda parmak ve avuç basılır.



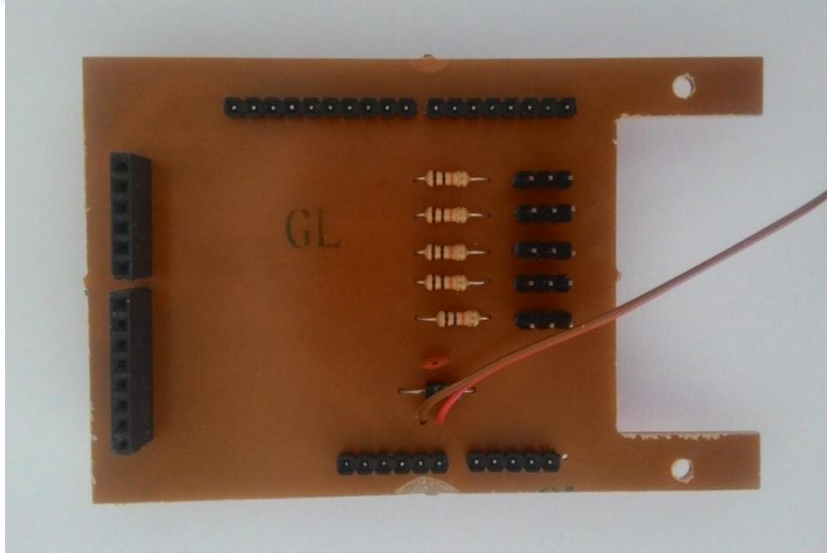
Şekil 6.7. 3 boyutlu yazıcıda parmak basıma hazırlanması

3. Motor yatağı CAD programı ile çizilir ve 3 boyutlu yazıcıdan çıkartılır.
4. Motorlar yerlerine yerleştirilir.

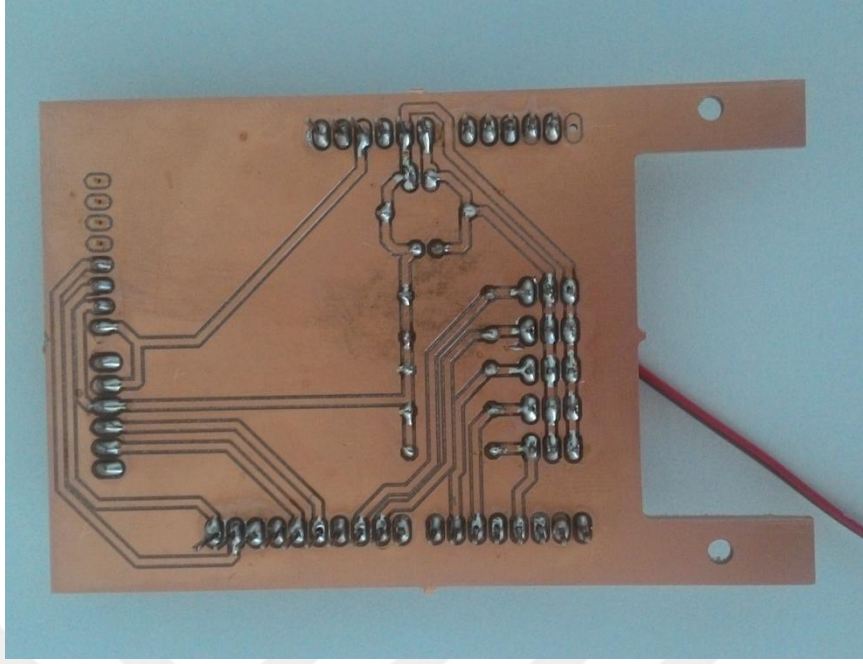


Resim 6.19. Parmakların kevlar iplik ile motorlara bağlanması

5. Kevlar iplik parmak hareketi kılavuzu olarak parmaklara geçirilir ve motorlarla bağlantı yapılır.
6. Elektronik devre çizimi yapılır. Elektronik devre LPKF S103 ile basımı yapılır. Şekil 6.20ve Şekil 6.21’de devrenin işlenmiş hali görülmektedir.

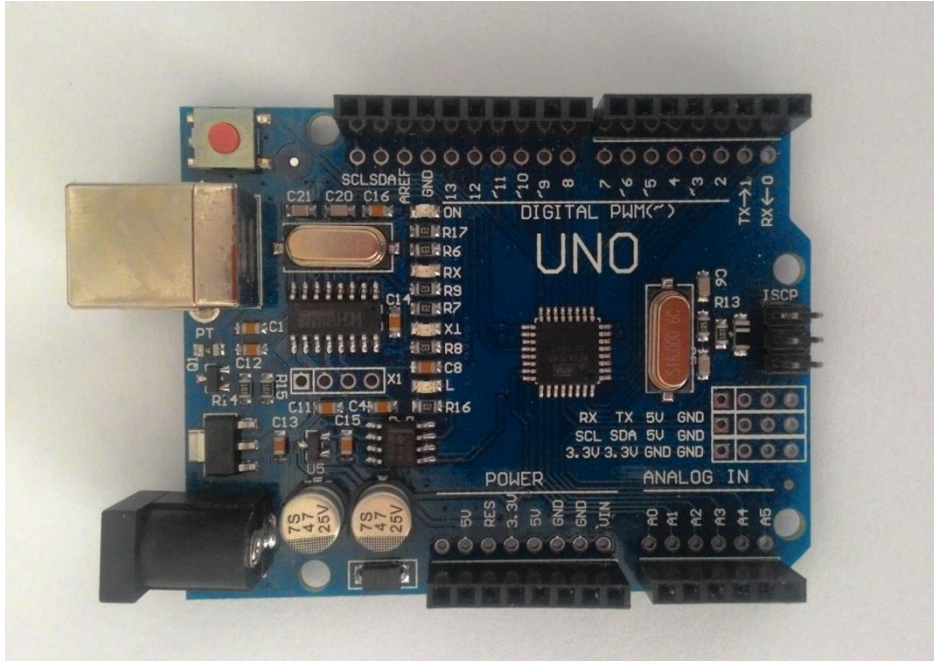


Resim 6.20. Elektronik devre ön yüz

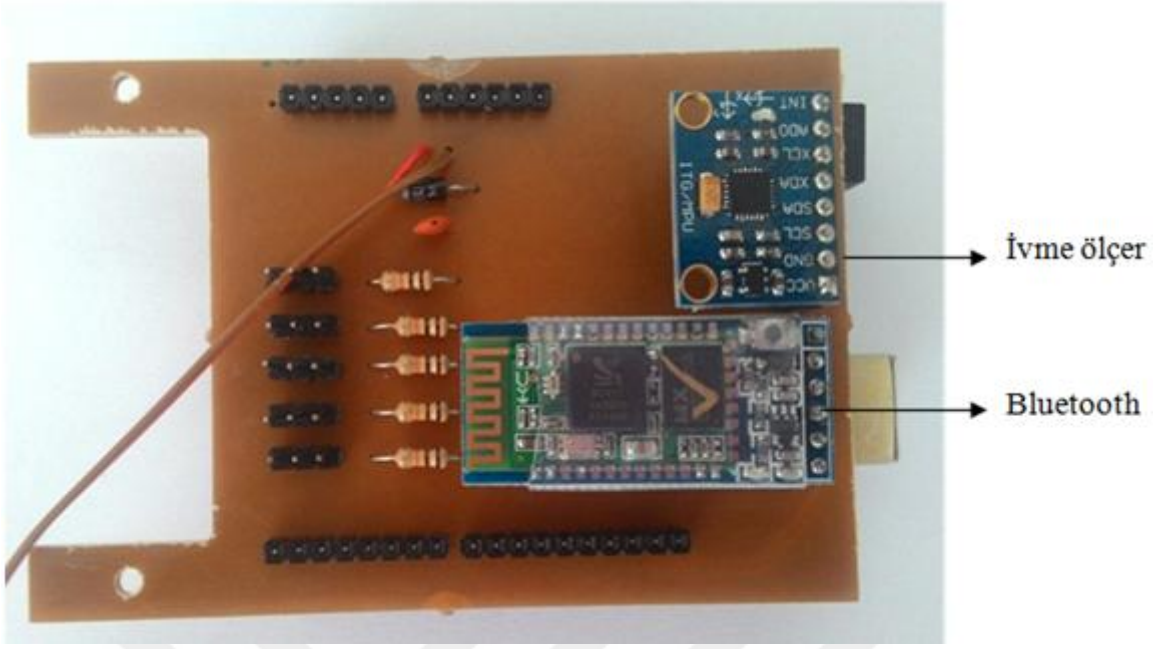


Resim 6.21. Elektronik devre arka yüz

7. Elektronik devre ve Resim 6.22’de görülen arduino mikrodenetleyicisi birleştirilir, kol üzerinde yerleşimi yapılır ve batarya ile beraber el çalışır hale getirilir.
8. Resim 6.23’de görülen devreye kontrolü sağlamak amacıyla bluetooth ve ivme ölçer yerleşimi yapılır.



Resim 6.22. Arduino mikrodenetleyicisi



Resim 6.23. Devreye İvme ölçer ve Bluetooth' un yerleştirilmesi

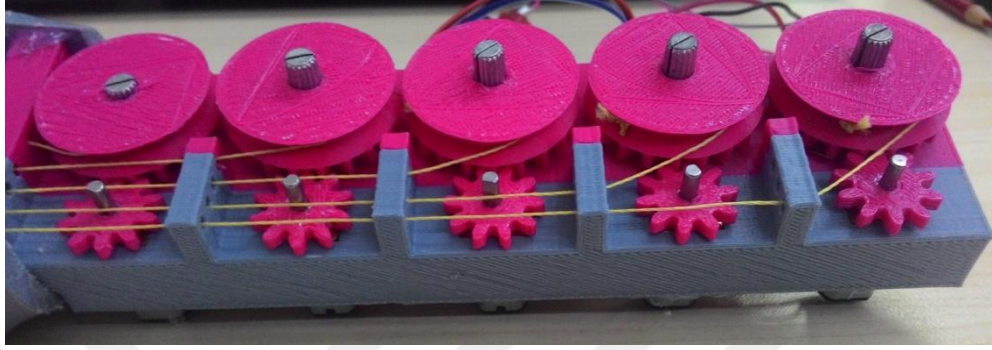
9. Giyilebilirliği sağlamak amacıyla 3 boyutlu yazıcı ile esnek malzemedan kişiye özel giyilebilir kol basılır ve cırt bantlar ile bağlantısı yapılır. Giyilebilirliği için başka bir yöntem Resim 6.24'de görülen sert az esnek bir kumaştan yine kişiye özel üretimdir.



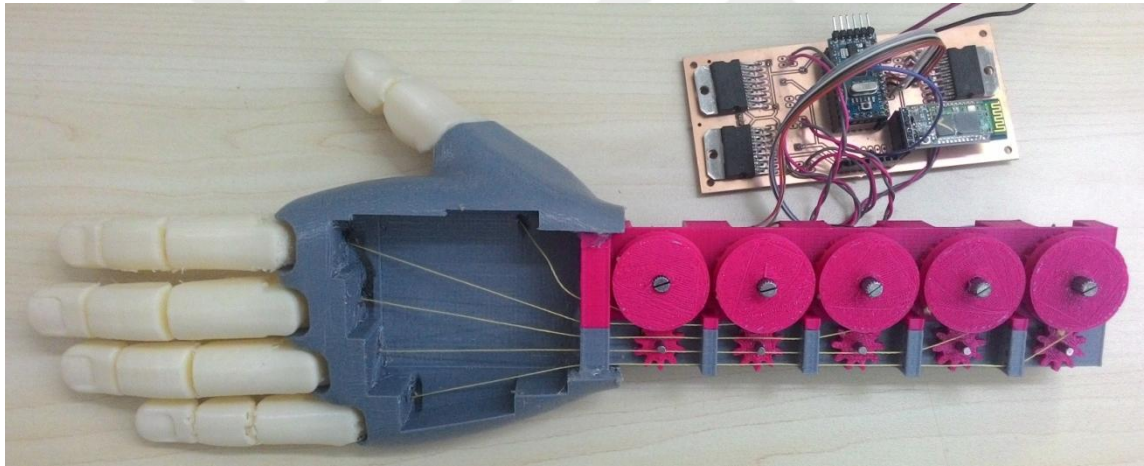
Resim 6.24. Giyilebilirlik için kişiye özel kumaş kolluk tasarımı

6.1.3.2 Esnek filamentten giyilebilir DC motorlu protez el

Üretim işlem basamakları servo motorlu ile aynı olup servo motor yerine DC motorlar kullanılmıştır. Motorların torkunu arttırmak amacıyla Resim 6.25 ve 6.26'da görülen makara sistemi tasarlanarak 3 boyutlu yazıcıda üretilmiştir.

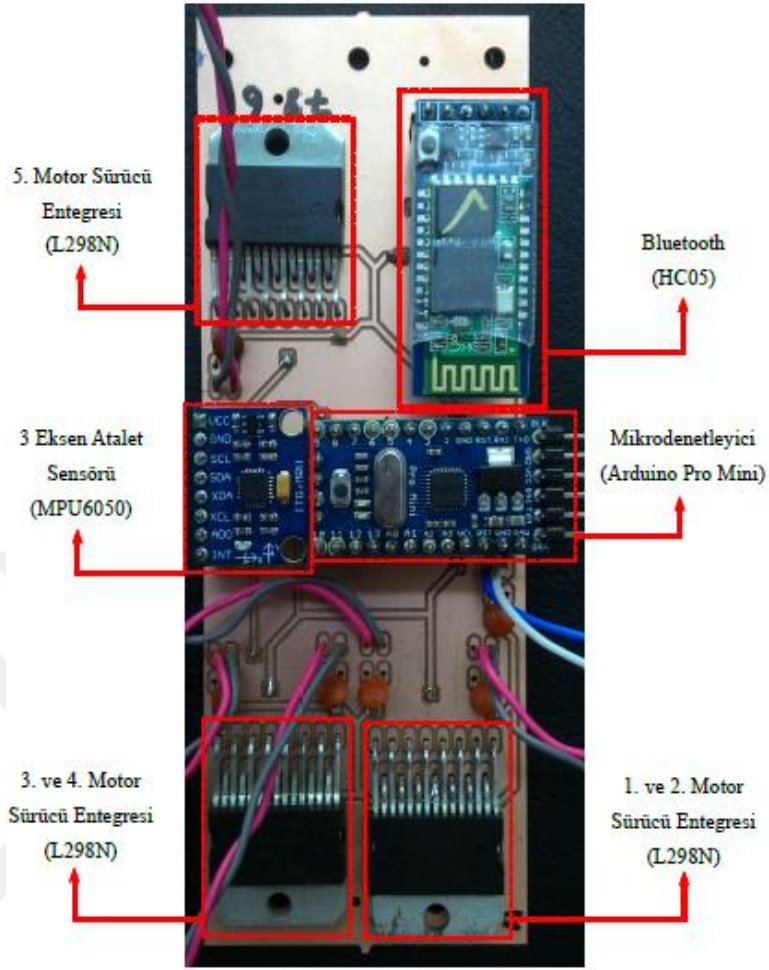


Resim 6.25. DC Motor yatağı ve makara sistemi



Resim 6.26. DC motorlu esnek filamentten el

Resim 6.27 de DC motorlu elin elektronik devresi görülmektedir. Devrede her bir motor için motor sürücü entegresi, eksen atalet sensörü, uzaktan kontrol amacıyla bluetooth ve bir adet de mikro denetleyici bulunmaktadır.



Resim 6.27. DC motorlu robotik el elektronik devresi

6.1.3.3 Elastik bağlantıları olan protez el

CAD/CAM ile üretimde herhangi bir birleştirici mekanizmaya ihtiyaç duymadan parmak eklemlerine esnek bağlantı (menteşe) yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Piyasada mekaniği olup [97] tez kapsamında motorlar avuç içinde olacak şekilde avuç tasarlanıp giyilebilir protez el üretilmiştir. Resim 6.28’de görüldüğü üzere toplam 16 katı parça ve 14 elastik bağlantıdan oluşmaktadır.



Resim 6.28. Bağlantıları yapılmadan önceki protez el

Resim 6.29'da elastik bağlantılar sonrası protez parmak görülmektedir. Her bir parmak eklemine bir elastik bağlantı takılmasıyla oluşur. Parmak çizimleri Thingiverse Flexy hand'den alınmıştır [97].



Resim 6.29. Elastik bağlantısı ile protez parmak

Giyilebilir protez elin avuç içi kapaklı yapıdadır ve Resim 6.30'da görüldüğü gibidir. Kapaklı avuç içi sayesinde tüm mekanizma avuç içinde yerleştirilerek kullanıcıya rahatsızlık minimuma indirilmektedir.



Resim 6.30. Elastik bağlantıları olan elin avuç içi mekanizması

Kapaklı avuç içine yerleştirilen malzemeler Resim 6.31’de görüldüğü gibidir. Her bir parmak için bir adet olacak şekilde beş adet motor, bir kontrol devresi ve bir bataryadan oluşmaktadır. Resim 6.32’de elin son hali görülmektedir.



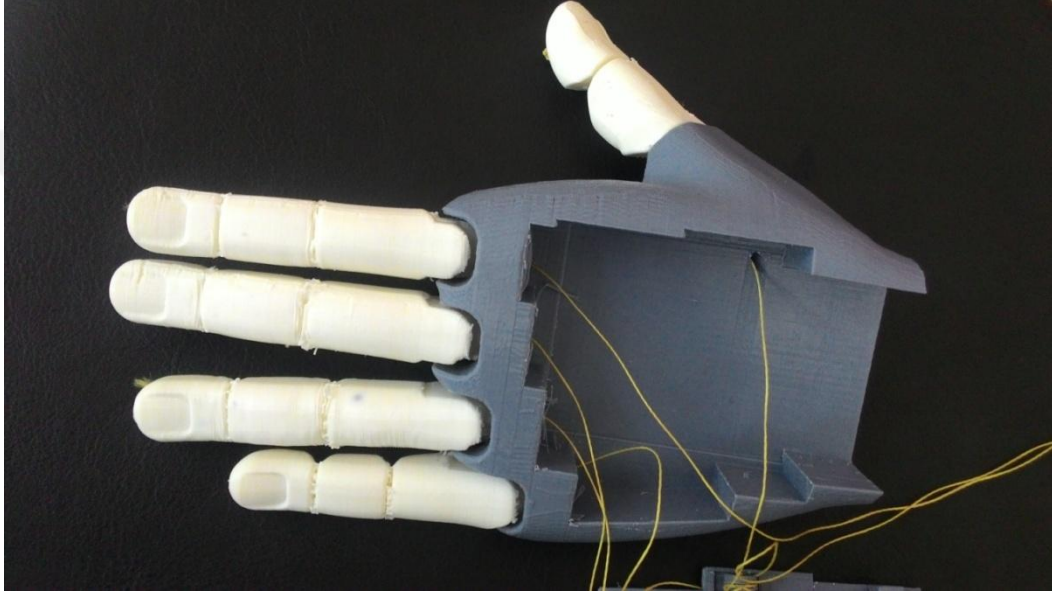
Resim 6.31. Elastik bağlantıları olan protez elin avuç içi mekanizması



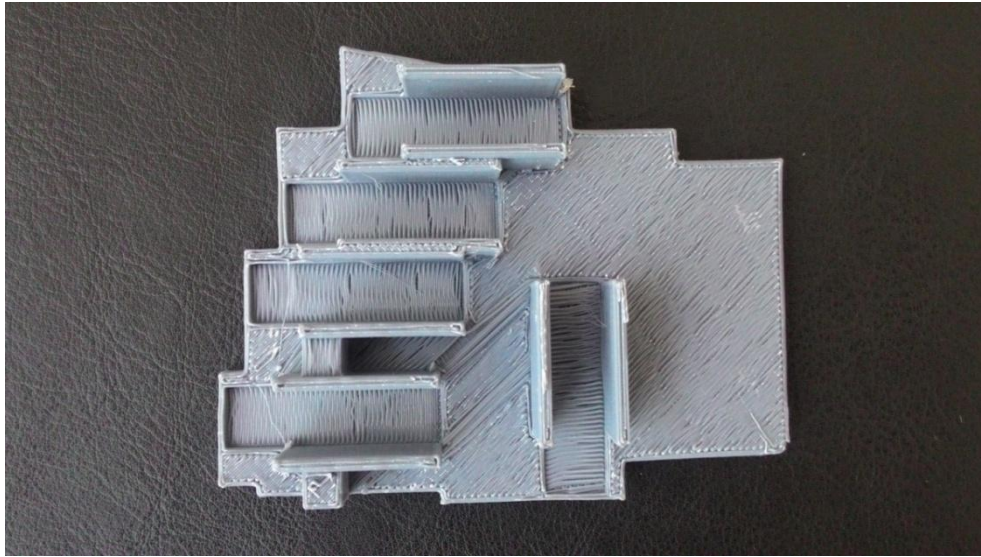
Resim 6.32. Elastik bağlantıları olan protez el

6.1.3.4 Tüm mekanizmalar avuç içinde olacak şekilde esnek protez el tasarımı

Yapılan protez ellerin en son aşaması olarak tüm mekanizmalar avuç içerisinde olacak şekilde protez el tasarımı yapılmıştır. Üretim işlem basamakları ve kullanılan malzemeler giyilebilir esnek protez el ile aynı olup, motorlarda değişiklik yapılmıştır. Çalışmada her bir parmak için ayrı bir DC motor kullanılmıştır. Şekil 6.33 ve 6.34'de elin 3b yazıcıda üretilen mekanik kısmı bulunmaktadır.

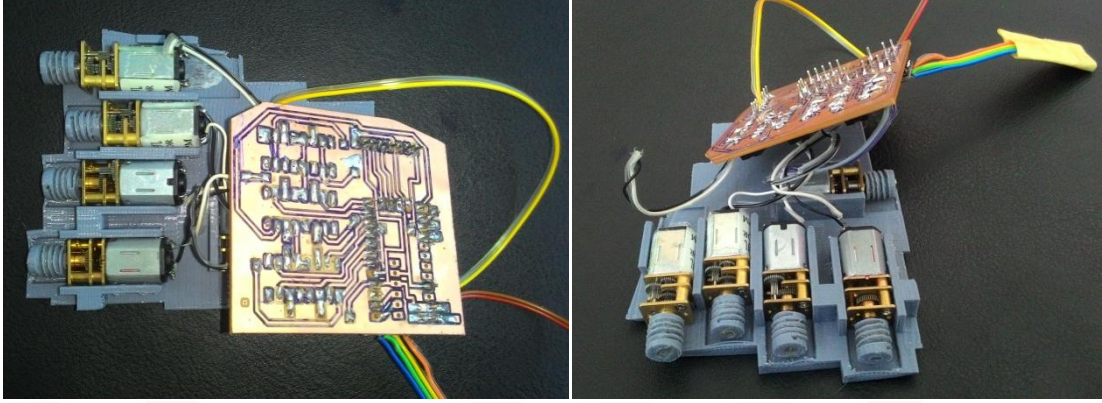


Resim 6.33. Elektronik giyilebilir protez el (Boş hali)

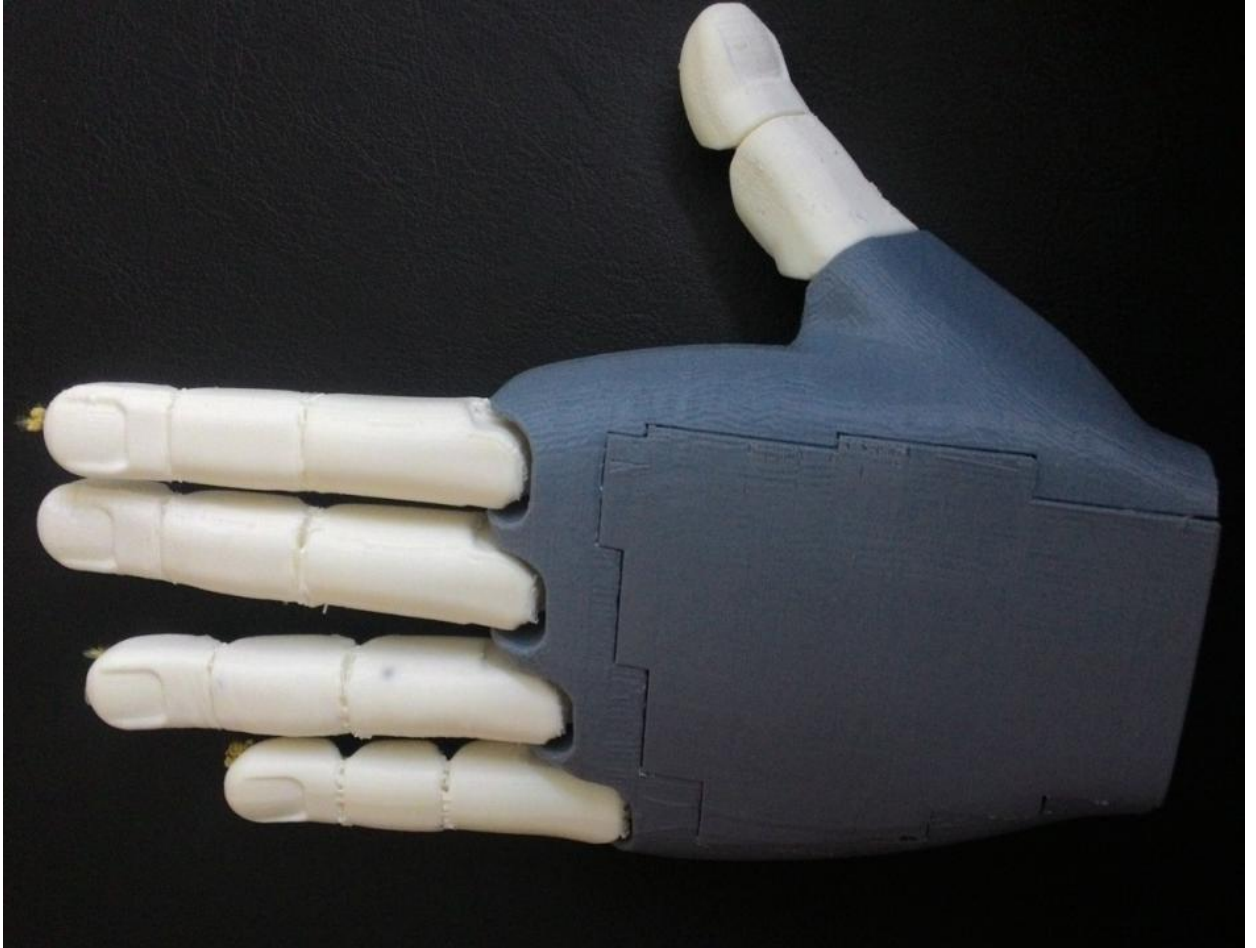


Resim 6.34. Elektronik giyilebilir protez el kapağı (boş hali)

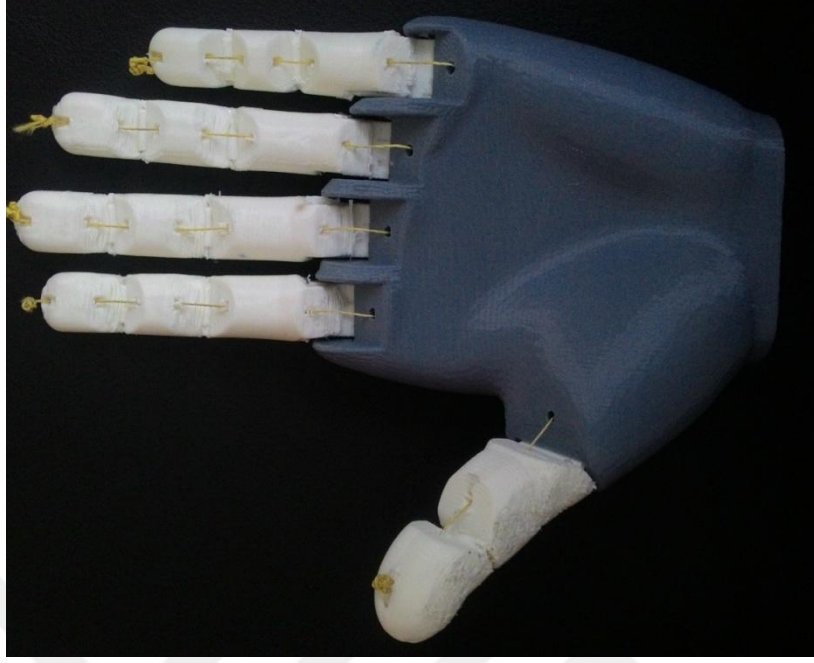
Şekil 6.35’de görüldüğü üzere motorların ve elektronik bölümün avuç içerisine yerleştirilmesi görülmektedir. Kapak üzerinde her bir motor için yuva olacak 3b yazıcıda üretilmiştir. Şekil 6.36 ve 6.37’de elin son hali bulunmaktadır.



Resim 6.35. Kapağa Motorların yerleşmiş hali



Resim 6.36. Protez elin kapalı halinin üst görünüşü



Resim 6.37. Protez elin iç görünüşü

6.2 Giyilebilir Rehabilitasyon Eldiven Cihazı Tasarımı

El rehabilitasyonunda fizik tedavi bölgesel olarak sadece ele uygulanır. El rehabilitasyonu tedavisinde elin işlevinin geri getirilmesi, el hareketlerinin kolaylaştırılması ve hareket yetisinin geri getirilmesi hedeflenir. El rehabilitasyonunun da sadece elin işlevinin yerine getirilmesi değil, aynı zamanda elde oluşan ağrı ve sızılar da giderilir.

El rehabilitasyonu için her seferinde rehabilitasyon merkezine ya da farklı maliyetli cihazlar yerine el hareketini sağlayıcı giyilebilir rehabilitasyon eldiveni tasarlanmıştır. Cihaz kişiye özel üretim olup, kullanacak kişinin parmak eklem ölçüleri alınıp o bölgelere eldiven üzerinde üç boyutlu yazıcıdan yüzük üretilip ve bu yüzüklerden kevlar iplik ile servo motorlara bağlantı kurulup, parmaklara açma kapama işlemi yaptırılarak el rehabilite edilmesi amaçlanmıştır.

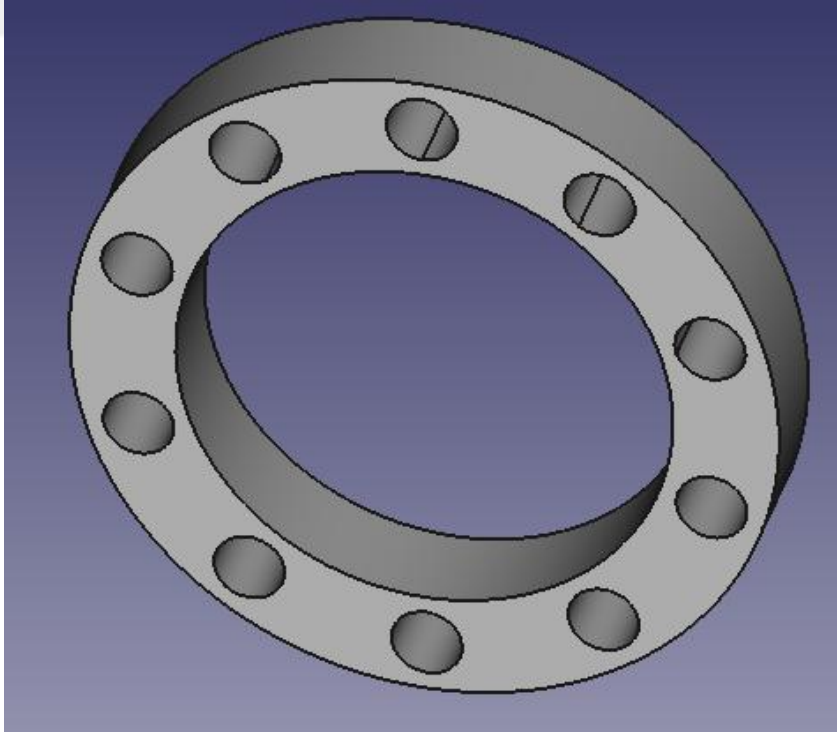
Üretim işlem basamakları

1. Resim 6.38’de görüldüğü üzere bileği uzun olacak şekilde esnek eldiven örülür.



Resim 6.38. Esnek eldiven

2. Kullanacak kişinin parmak eklem ölçüleri alınır ve 3 boyutlu yazıcıdan o bölgelere uygun yüzükler Resim 6.39’da görüldüğü gibi CAD programında çizilir ve 3b yazıcıda üretilir.



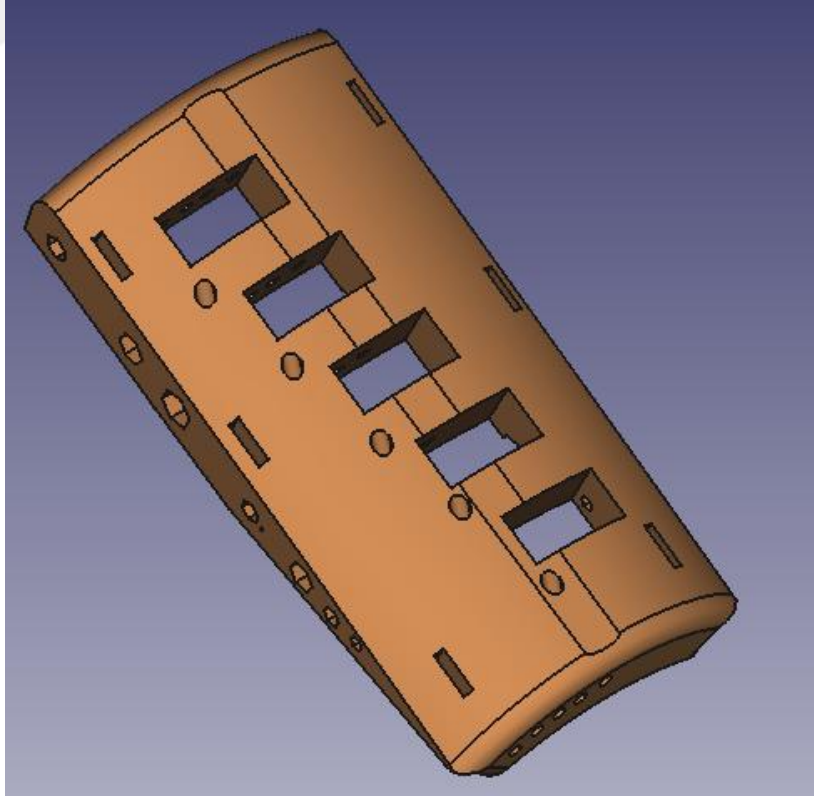
Resim 6.39. Yüzüklerin CAD çizimi

3. Yüzükler eklem bölgelerine birbirleri ile temas etmeyecek şekilde resim 6.40'da görüldüğü şekilde dikilir.

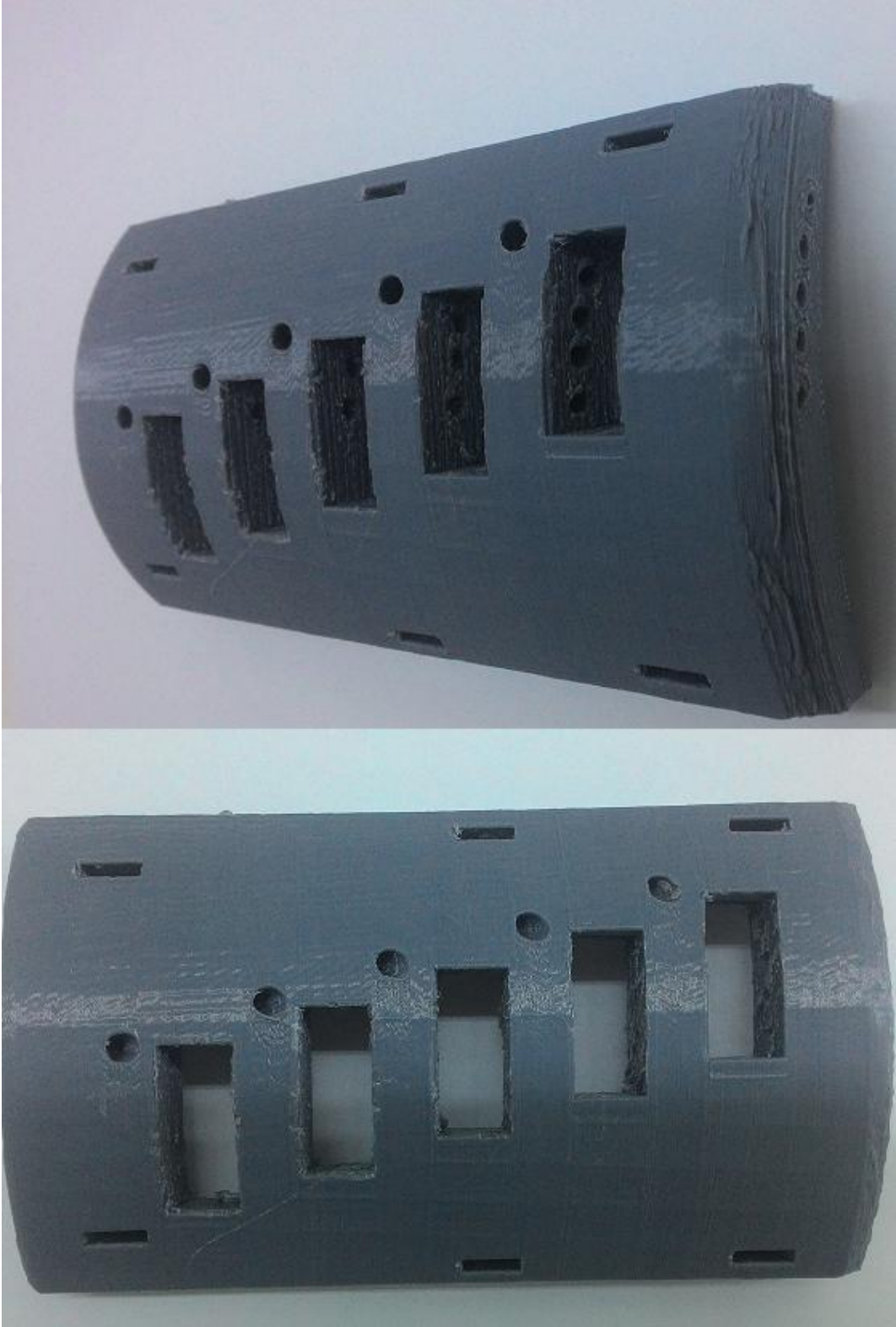


Resim 6.40. Yüzüklerin eldivene yerleştirilmiş hali

4. Motorların yerleştirilmesi için bileğe uyumlu motor yatağı çizimi yapılır (Şekil 6.8) ve 3 boyutlu yazıcıda üretilir (Resim 6.41).

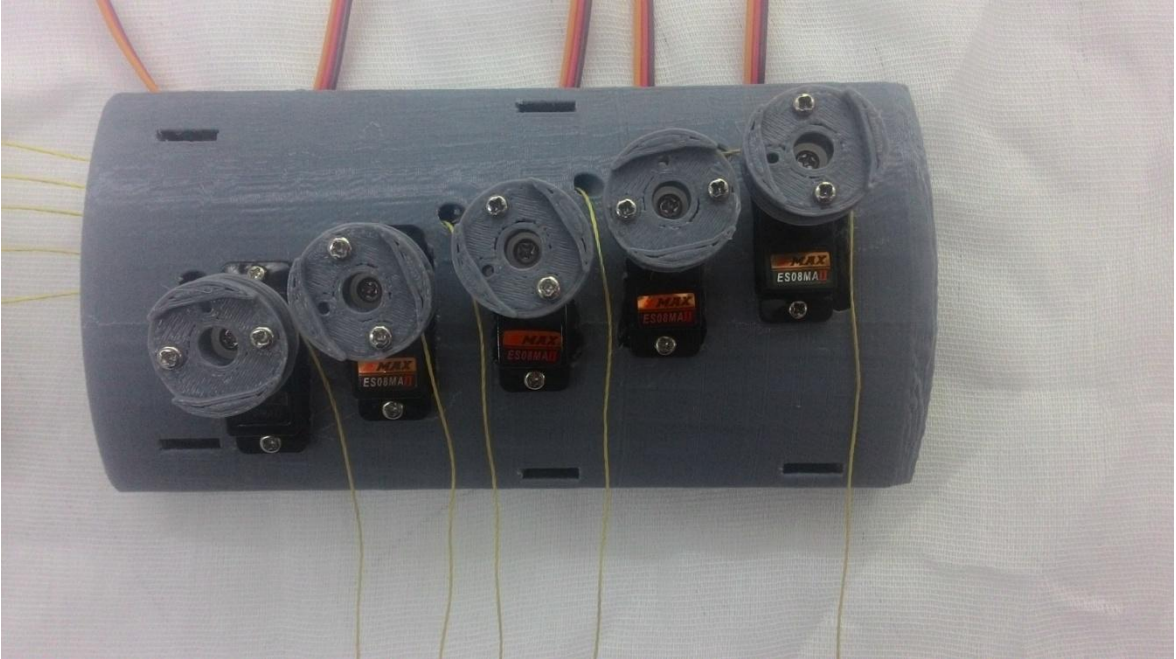
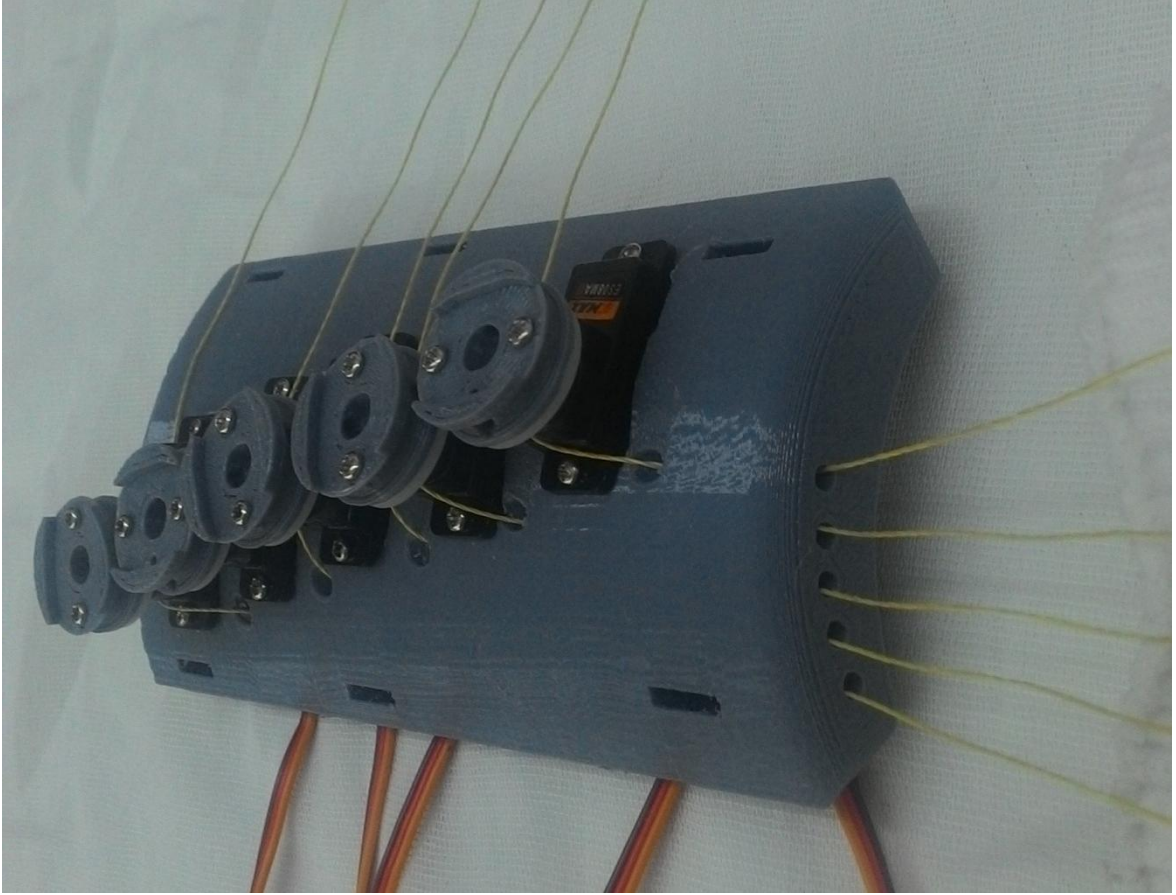


Şekil 6.8. Motor yatağının cad çizimi



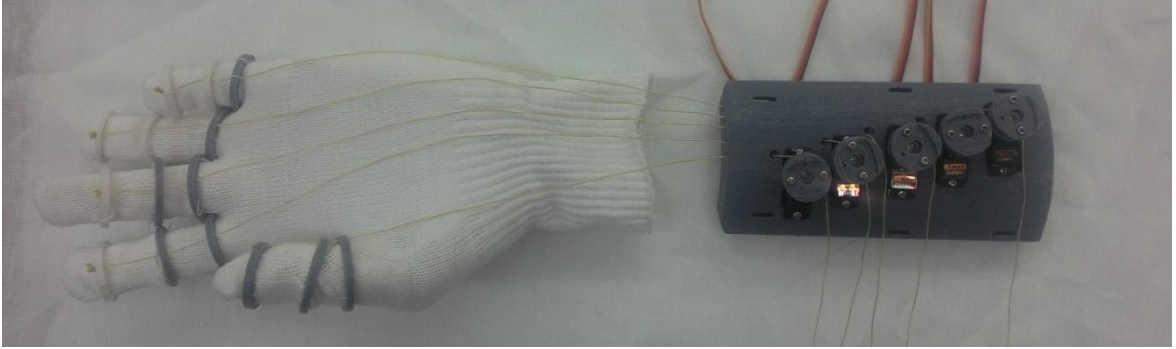
Resim 6.41. Motor yatağı

5. Resim 6.42’de görüldüğü gibi motorların kalıba yerleştirilmesi sağlanır.



Resim 6.42. Motorların kalıba yerleştirilmesi

6. Yüzüklerde deliklerden keklar iplik geçirilir ve keklar iplikler servo motorlara Şekil 6.43’de görüldüğü gibi bağlanırlar.



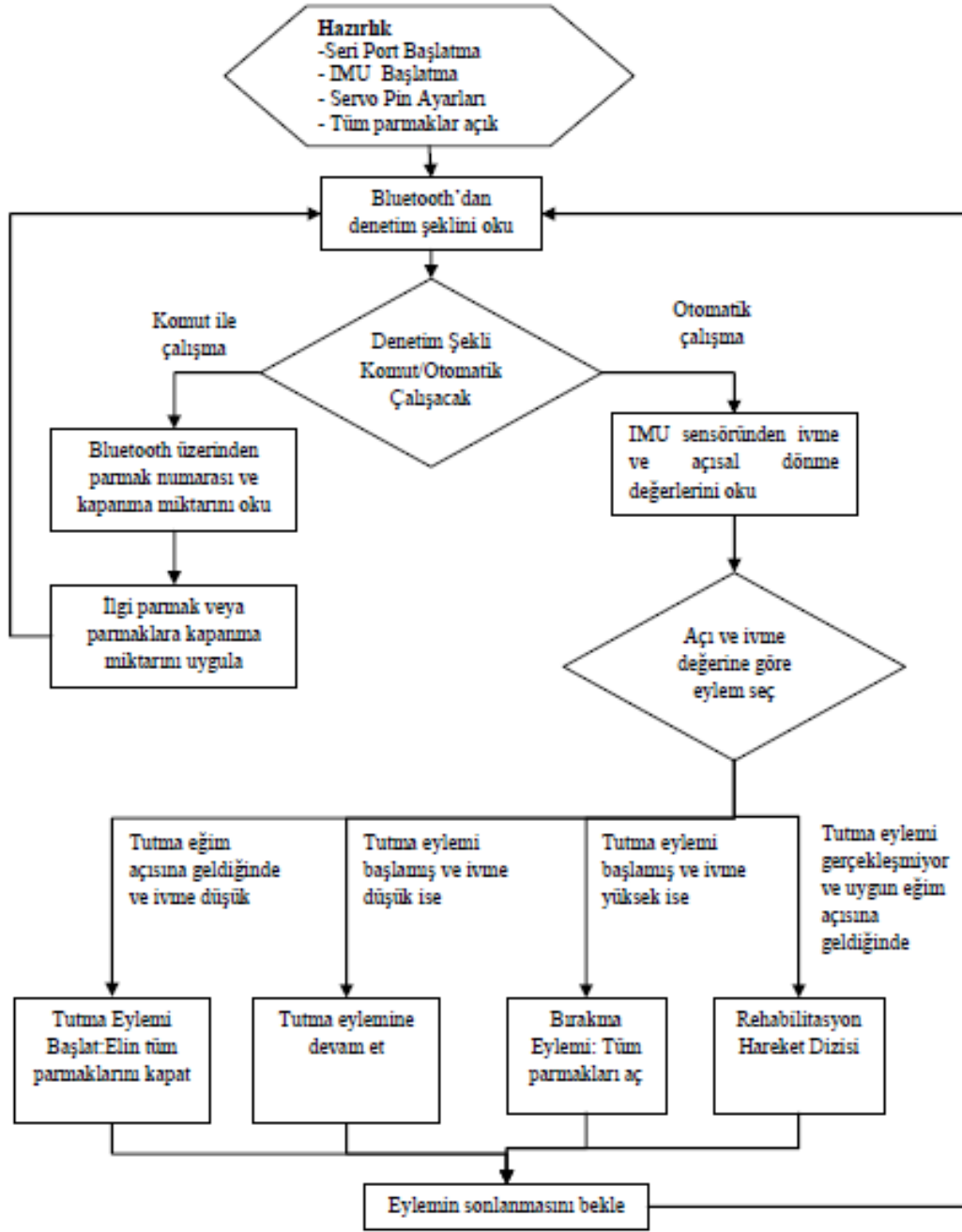
Resim 6.43. Motorlarla eldivendeki yüzüklere keklar takılmasıyla eldivenin birleşmiş hali

6.3 Tüm Sistemlerin Çalışma Prensibi

Tüm sistemlerin çalışma prensibi Şekil 6.9’da görüldüğü gibi olup maddeler halinde incelediğimizde:

- Hazırlık aşamasında gerçekleştirilen işlemler ;
 - Seri port başlatma
 - Inertial Measurement Unit (IMU) başlatma
 - Servo pin ayarları
 - Tüm parmaklar açık
- Bluetooth’dan denetim şekli seçilir,
- Denetim şekli Komut veya Otomatik olarak seçilir.
- Komut ile çalışma seçildiğinde bluetooth üzerinden parmak numarası ve kapanma miktarını uygular ve daha sonra bluetooth’dan komut okumaya devam eder.
- Otomatik çalışma seçildiğinde IMU sensöründen ivme ve açısal dönme değerlerini okur, açı ve ivme değerlerine göre eylem seçer.

Sistem için devre çizimi Autodesk eagle programı ile gerçekleştirilmiştir. Devre üretimi LPKFS103 programında gerçekleştirilmiştir. İlgili bağlantılarını gösteren şematik çizimi devrenin şematiği ve baskı devresinin nasıl olduğunu gösteren board çizimi EK 1 ve Ek 2 olarak verilmiştir.



Şekil 6.9. Protez ellerin çalışma prensibinin algoritması

7 GİYİLEBİLİR PROTEZ EL MENTEŞESİ İÇİN TEST CİHAZI TASARIMI, TESTLER VE SONUÇLARI

Giyilebilir robotik ellerin parmaklarında kullanılmak üzere esnek menteşeler ve istenen özellikleri sağlayıp sağlamadığını bakmak için test cihazı tasarlanmıştır. Menteşe ve test cihazı 3 boyutlu yazıcıda üretilmiştir. Test malzemeleri ve üretimi tekrar edilebilirliği açısından ekonomik, kolay tedarik edilebilir malzemeler seçilmiştir. Menteşe üretim yönteminde yeni bir yöntem olan 3 boyutlu yazıcıdan üretilmiştir. Yapılan literatür taramalarında 3 boyutlu yazıcıdan üretilen menteşelerin karakteristik analizleri görülmemiştir.

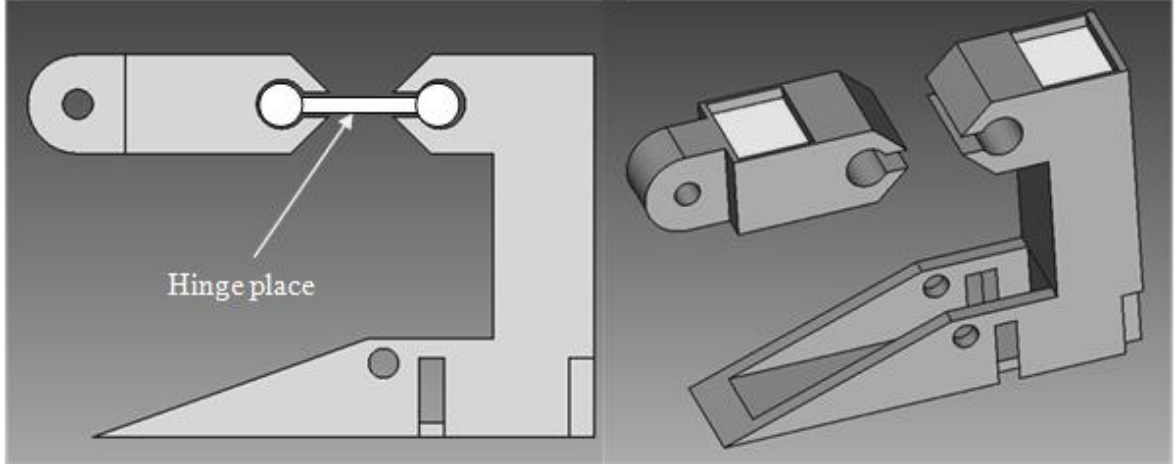
7.1 Malzeme ve Deney Düzenegi

Tablo 7.1’de esnek menteşe test cihazı tasarımı ve deney için kullanılan malzemeler ve araçlar kullanım yeri ve amacıyla birlikte verilmiştir.

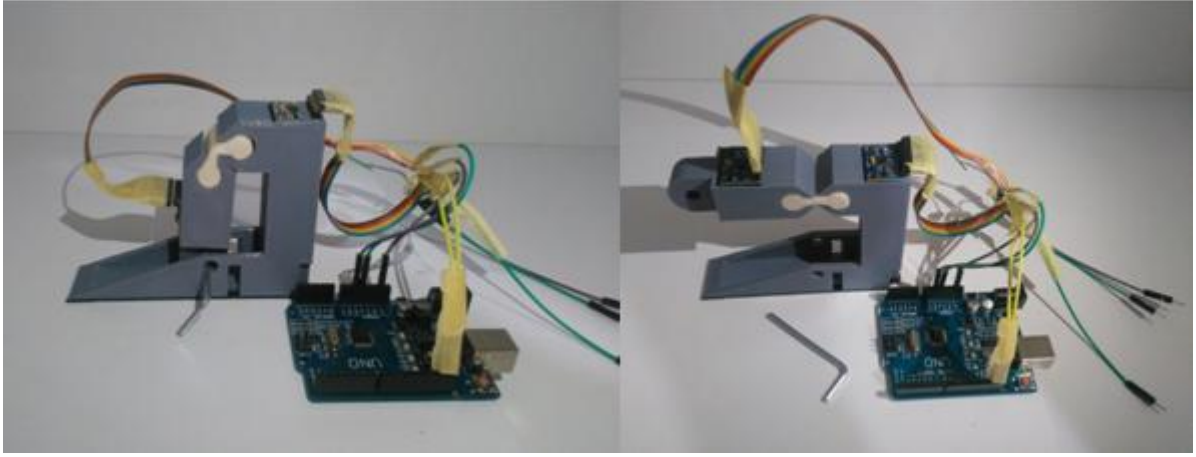
Tablo 7.1. Deney düzeneginde kullanılan malzemeler ve araçlar

Çeşit-Marka	Açıklama	Kullanım yeri
Esnek 3b filament -Ninja flex	Esnek menteşenin ham malzemesi	Menteşe üretimi
3b Yazıcı - MakerBot Replicator 2	Menteşe üretim cihazı	Menteşe üretimi Deney düzenegi
CAD yazılımı -FreeCAD	Menteşe ve deney düzeneginin 3b tasarımı	Menteşe üretimi Deney düzenegi
IMU Sensör-MPU6050	Deney düzeneginin ivme ve titreşimini ölçme	Deney düzenegi
Mikroişlemci-Arduino UNO	IMU Sensör ve bilgisayar arasında arayüz	Deney düzenegi
Veri toplama yazılımı	Sensör sinyallerini toplama ve analiz etme. Yazılım Python (numpy, scipy, matplotlib) ile hazırlanmıştır.	Deney düzenegi Veri analizi
Bilgisayar		
Polylaktik Asit Filament	Deney düzenegi malzemesi	Deney düzenegi

Şekil 7.1’de deney düzeneginin Cad çizimi Resim 7.1’de deney cihazının son hali ve deney sırasındaki gergin ve boştaki halleri görülmektedir.



Şekil 7.1. Deneş düzeneğinin cad çizimi



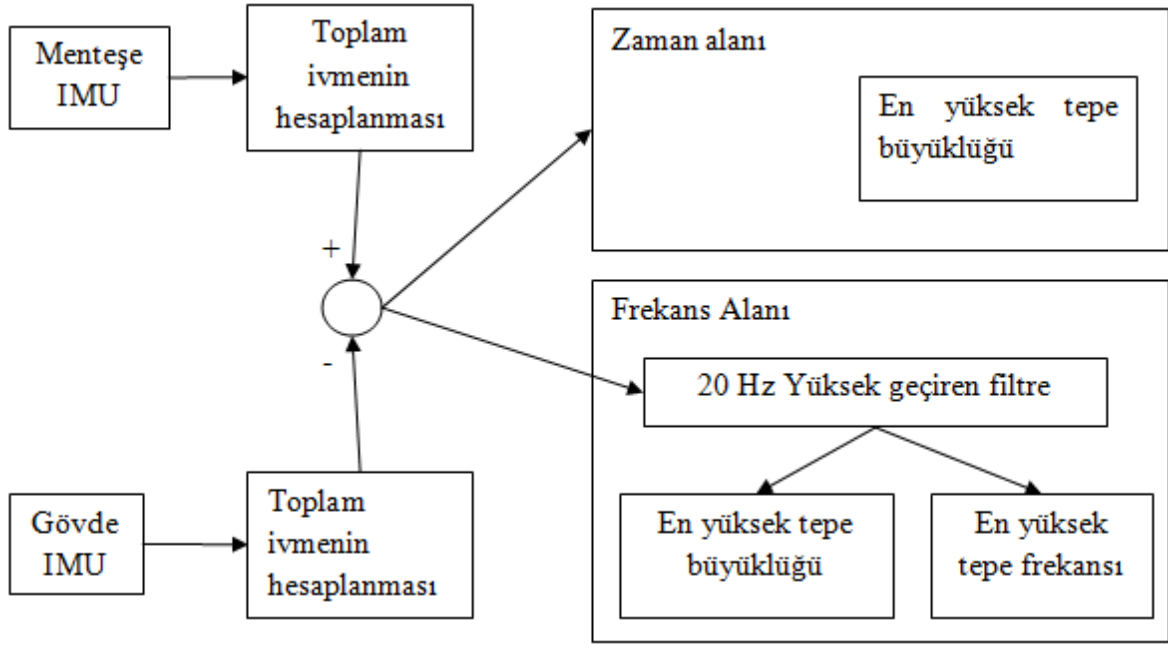
(a)

(b)

Resim 7.1. Deneş cihazı (a) Menteş e gerşin (b) Menteş e boşta

Deneşde jiroskop ve ivmeölçer bulunan bir IMU (Inertial Measurement Unit) kullanılmıştır. İvmeölçer ivmeyi ölçen bir elektromekanik cihazdır. İvmeölçerde harekete neden olan kuvvetler statik veya dinamik olabilir [99]. Uygulama kolaylığı ve ekonomikliği açısından IMU sensör olarak MPU 6050 tercih edilmiştir. IMU'dan gelen veriler I2C protokolü yardımıyla mikro kontrollere iletilirler. MPU6050 16g hızlanma algılayacak şekilde yapılandırılmıştır. Mikrodenetleyici IMU sensör ve bilgisayar arasında arayüzdür. Mikrodenetleyici, gelen ham verileri seri port üzerinden bilgisayara aktarır. Gelen veriler csv (coma seperated value) dosyası halinde python programı ile toplanır. Veriler toplandıktan sonra pitondaki numpy, scipy ve matplotlib kütüphaneleri ile IMU

sensörde analiz edilir. Bu özellikler bir zaman alanı ve iki frekans alanı değeri arasında birleştirilmiştir. Test cihazındaki titreşimi çıkarmak amacıyla iki adet IMU sensör kullanılmıştır. Test cihazındaki titreşimleri çıkardıktan sonra zaman alanı özellik değeri ilk zirve değeri olarak hesaplanır. Frekans alanı özellikleri, spektral güç yoğunluğu kullanılarak çıkarılır ve iki aşamayı içerir. Birinci aşamada, 20Hz'lik bir yüksek geçiren filtre vardır. İkinci aşama, ilk tepe büyüklüğü ve 20Hz'in üzerindeki frekans değeridir. Sensör sinyallerinin analizi için özelliklerin çıkartılması gösterilmiştir. Şekil 7.3'te Analiz işleminin şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7.2. Analiz işleminin şematik gösterimi

Test için 16 adet numune üretilmiştir ve özellikleri tabloda verilmiştir. Dolgu şekli, dolgu yoğunluğu ve kabuk sayısının titreşime etkisi bakılmıştır. Numune özellikleri Tablo 7.2'de belirtildiği gibidir.

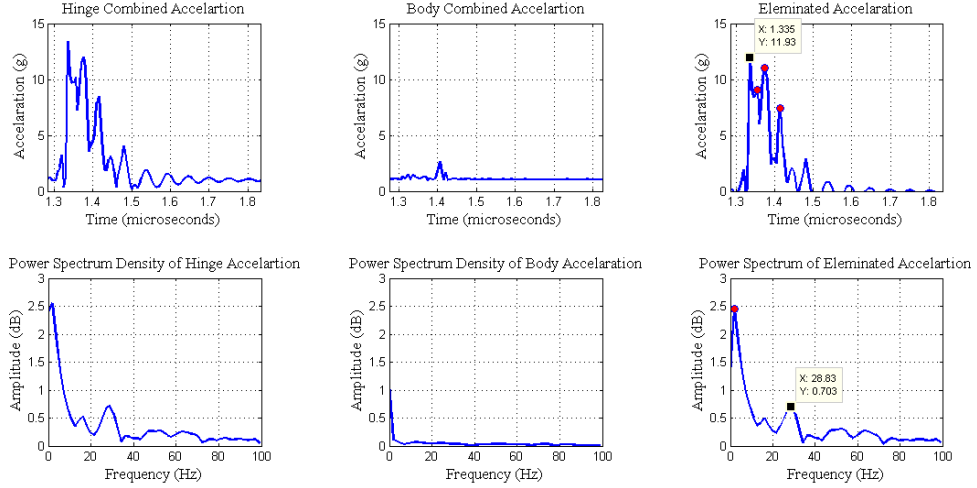
Tablo 7.2. Numunelerin özellikleri ve ortalama elde edilen değerler

Numune	Dolgu Şekli	Dolgu Yoğunluğu %	Kabuk sayısı	Zaman Tepe değeri (g)	Frekans (Hz)	Frekans Tepe noktası (dB)
e01	Altıgen	0	2	11,50	27,39	0,719
e02	Altıgen	5	2	15,40	37,48	0,890
e03	Altıgen	10	2	17,59	41,80	0,735
e04	Altıgen	30	2	19,15	70,63	0,645
e05	Altıgen	50	2	19,90	73,15	0,800
e06	Altıgen	70	2	20,27	75,95	0,848
e07	Lineer	0	2	11,69	26,31	0,682
e08	Lineer	5	2	15,37	33,15	0,835
e09	Lineer	10	2	17,21	38,20	0,961
e10	Lineer	30	2	19,05	51,17	0,749
e11	Lineer	50	2	18,40	69,55	0,777
e12	Lineer	70	2	19,27	75,68	0,801
(h+l)/2	Kabuk	0	2	11,50	27,39	0,719
e13	Kabuk	0	3	17,85	36,40	0,864
e14	Kabuk	0	4	18,30	45,77	0,880
e15	Kabuk	0	5	18,49	46,66	0,907
e16	Kabuk	0	6	17,88	52,97	0,978

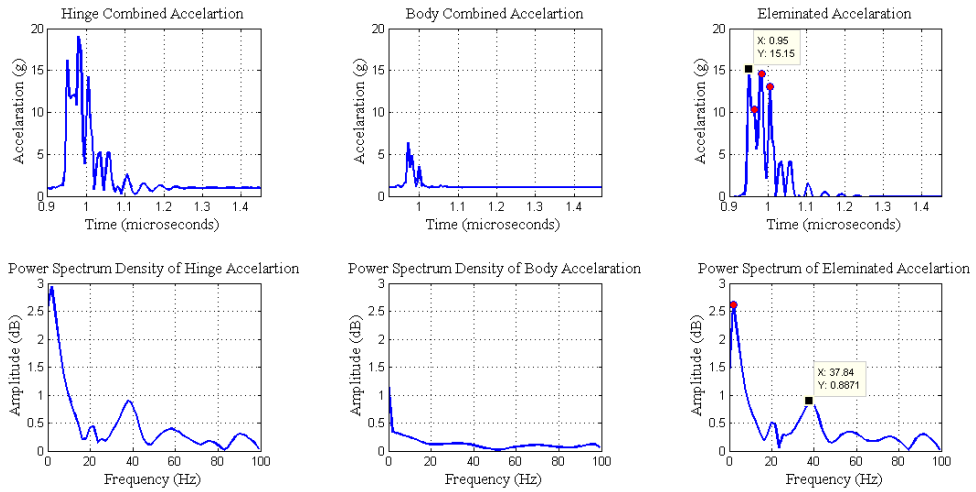
7.2 Sonuçlar

Menteşe üzerinde depolanan enerjinin ölçümü, dolgu şekli, dolgu oranı ve kabuk sayısının bu enerji üzerindeki etkisine bakılmıştır. Frekansın yükselmesi üzerindeki enerjiyi daha hızlı bir şekilde boşaltması anlamına gelir. Eğer parmakta kıvrıldıktan sonra hızlı bir toparlama istendiği takdirde, frekansın en yüksek gerçekleştirdiği dolgu oranı, dolgu şekli ve kabuk sayısı seçilir. Elde edilen ivme ve frekans grafikleri Şekil 7.3' ten Şekil 7.17'e kadar görüldüğü gibidir. Grafiklerde görülen ilk sıradaki grafikler zaman

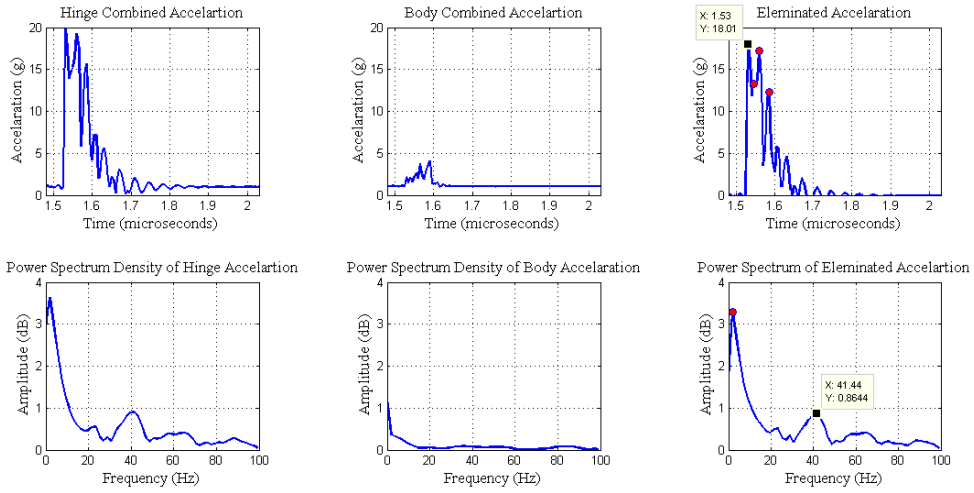
bölgesindeki menteşedeki toplam bileşke ivmeden test cihazına eklenen ivmeölçerden elde edilen ivmenin çıkarılmasıyla elde edilen grafik görülmektedir. İkinci sıradaki grafik ise frekans bölgesinde fourier dönüşümü ile elde edilmiş güç spektral yoğunluk görülmektedir.



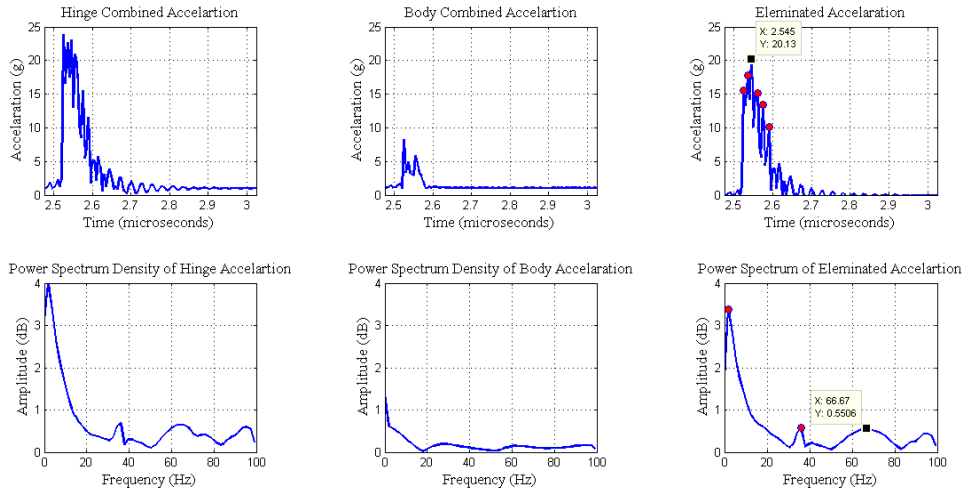
Şekil 7.3. 1 Numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



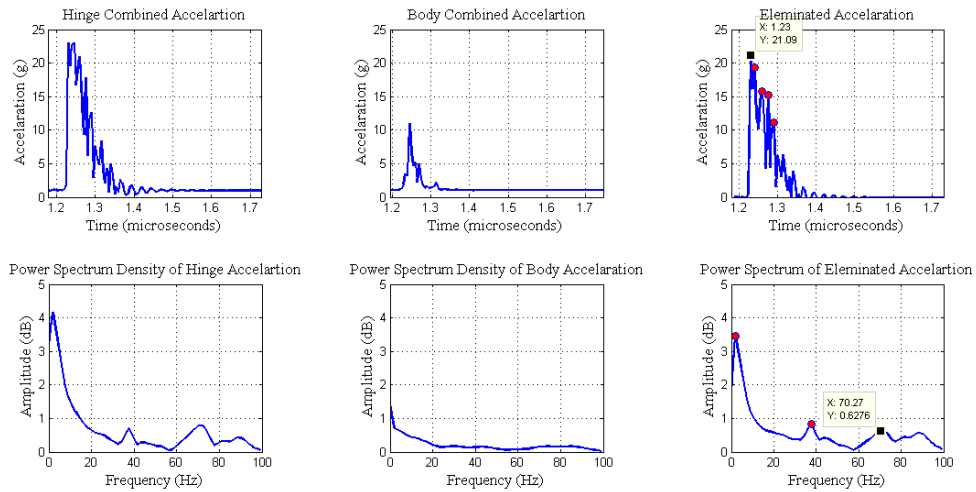
Şekil 7.4.2 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



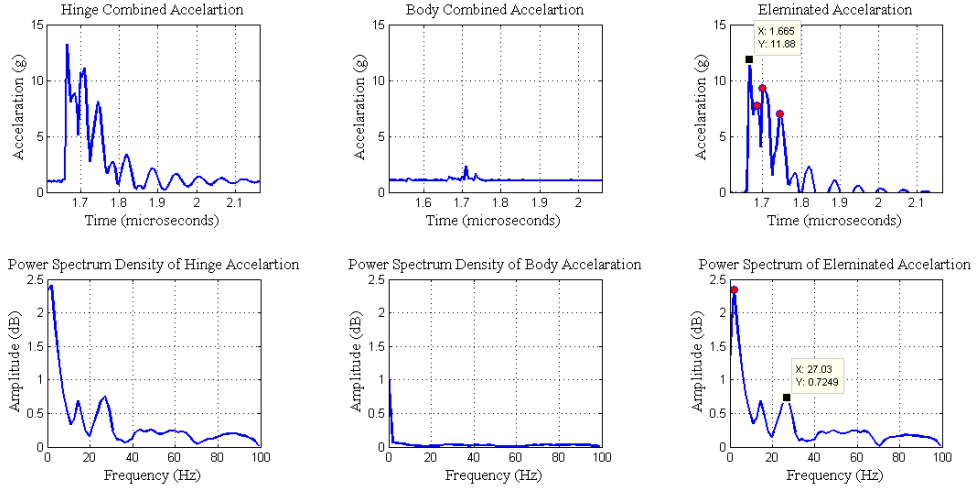
Şekil 7.5.3 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



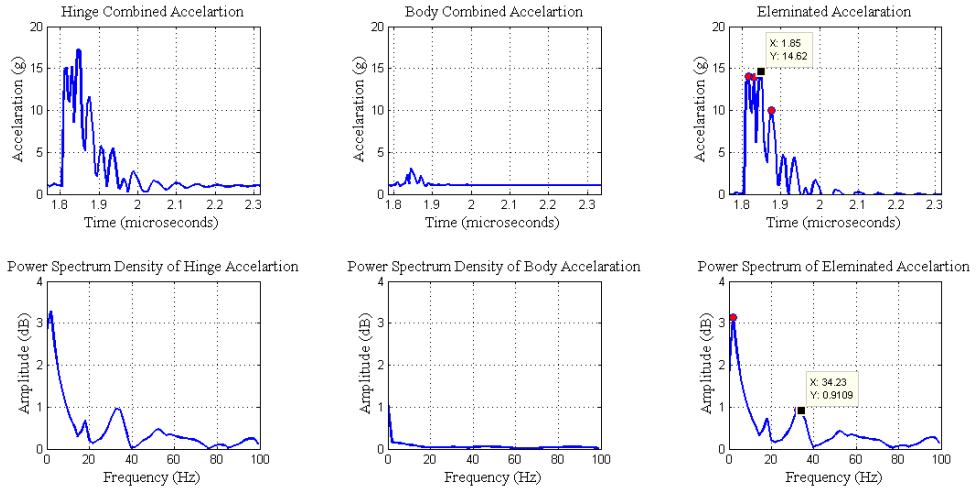
Şekil 7.6.4 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



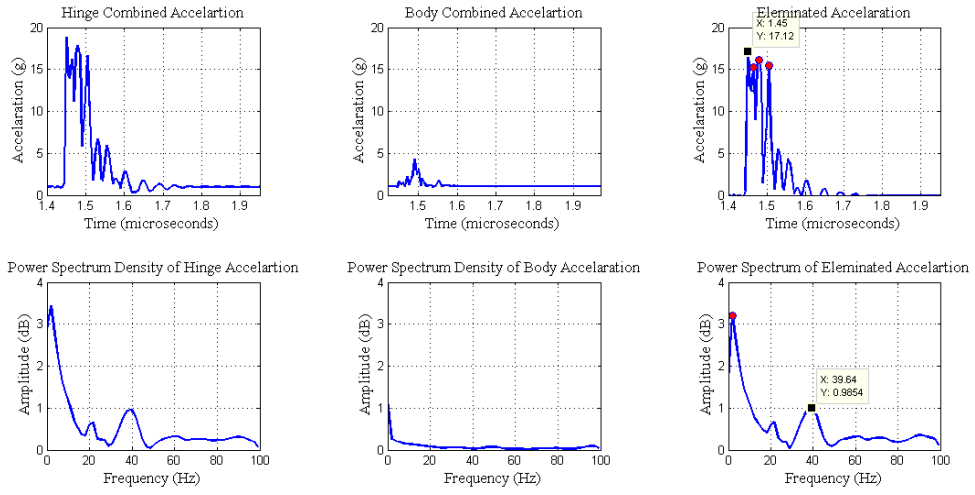
Şekil 7.7.5 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



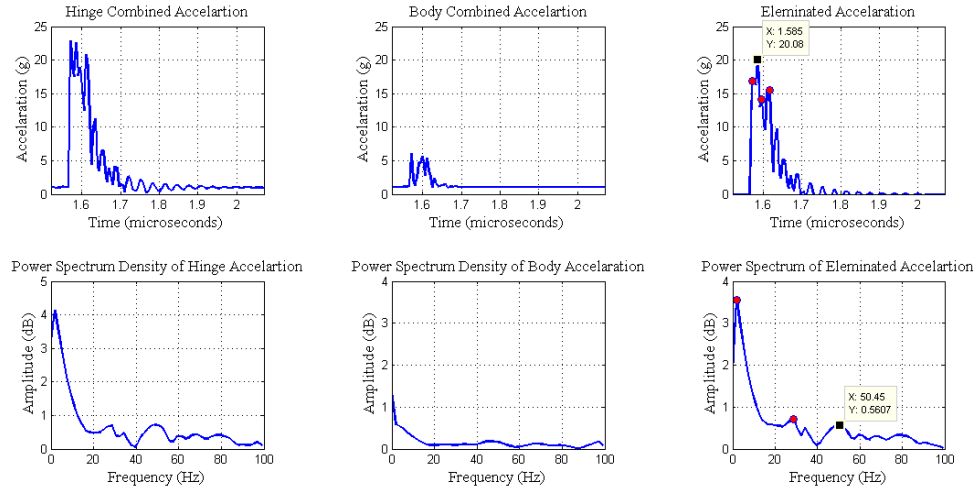
Şekil 7.8.7 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



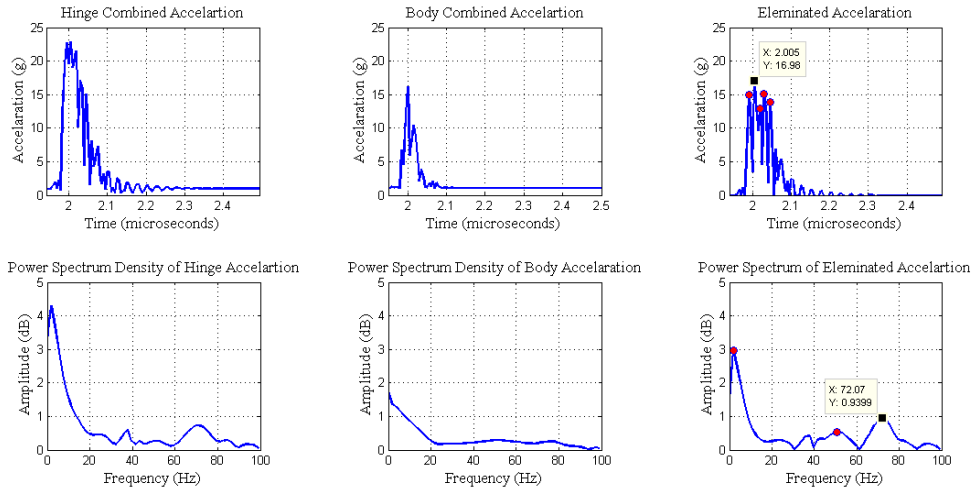
Şekil 7.9.8 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



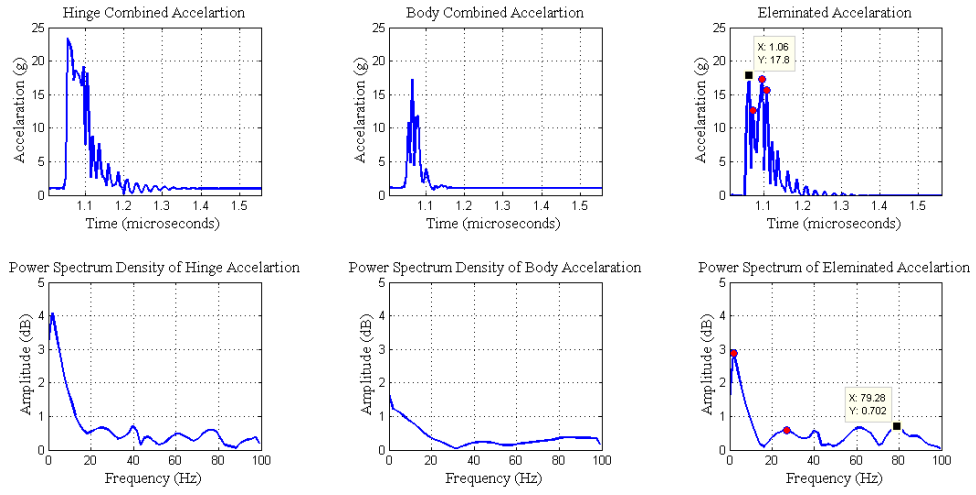
Şekil 7.10.9 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



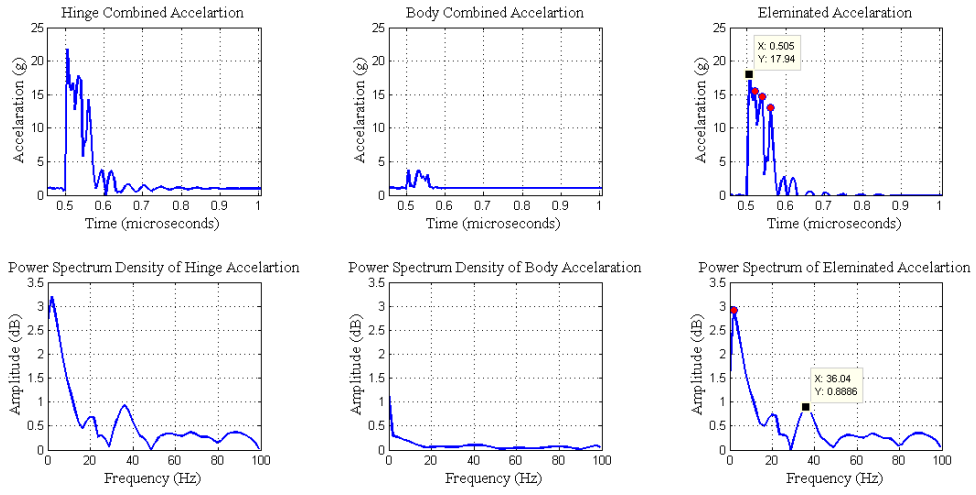
Şekil 7.11.10 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



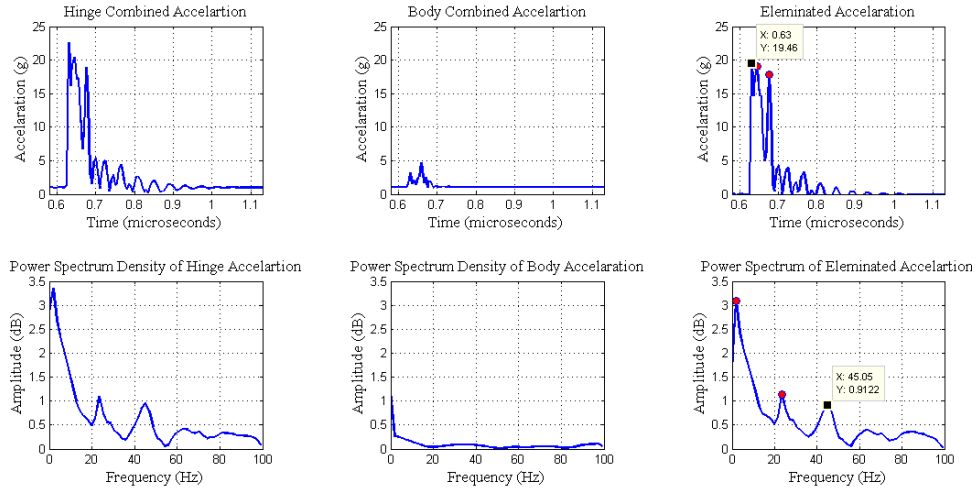
Şekil 7.12.11 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



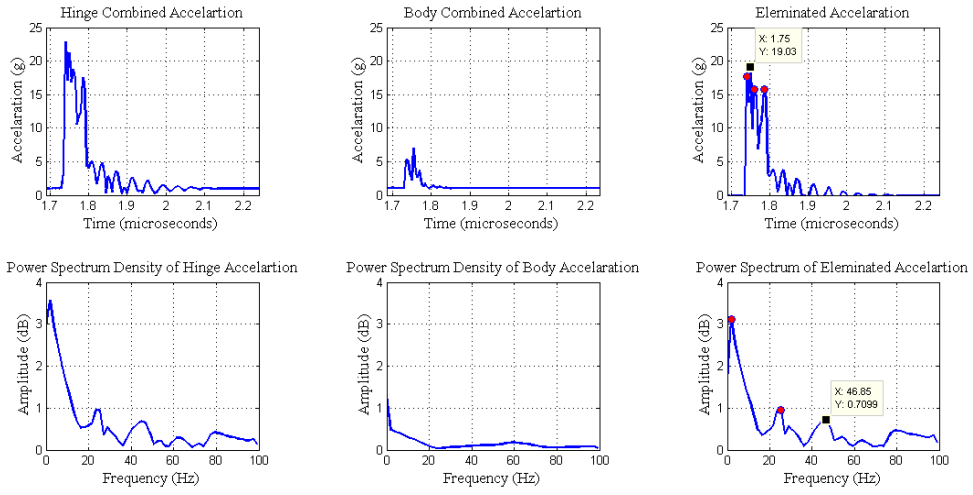
Şekil 7.13.12 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



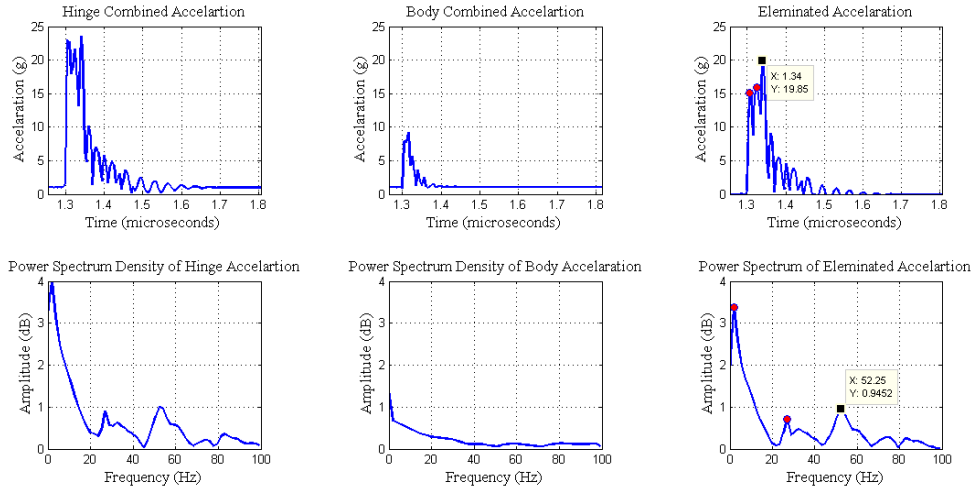
Şekil 7.14.13 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



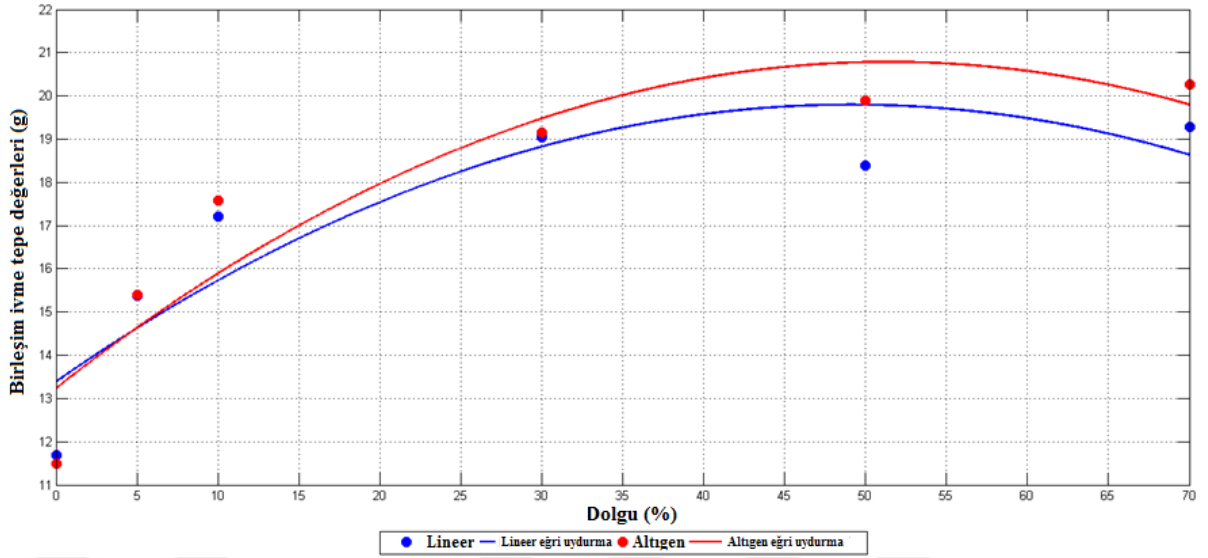
Şekil 7.15.14 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



Şekil 7.16.15 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği

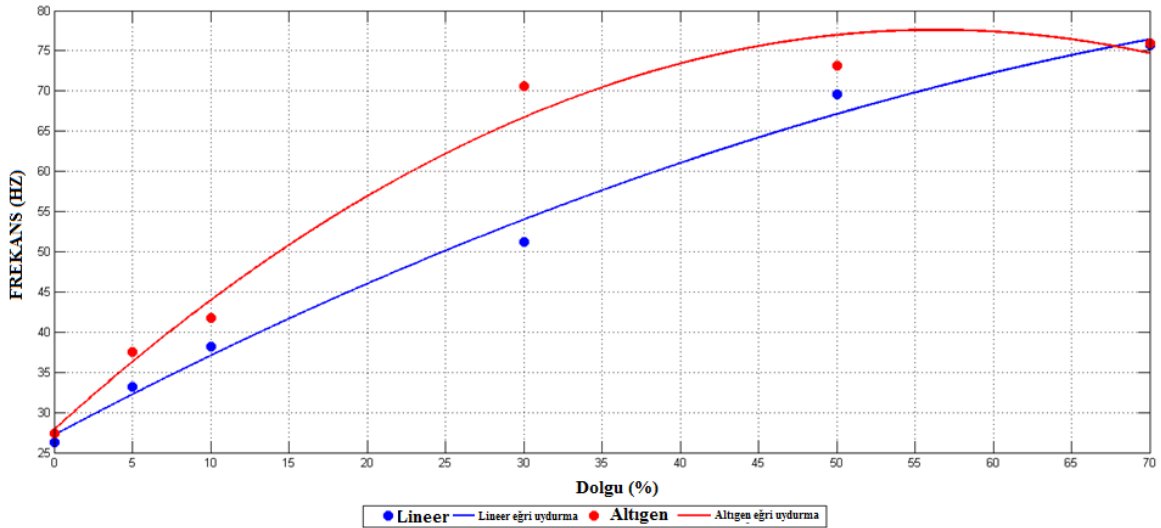


Şekil 7.17.16 numaralı numunenin ivme ve frekans grafiği



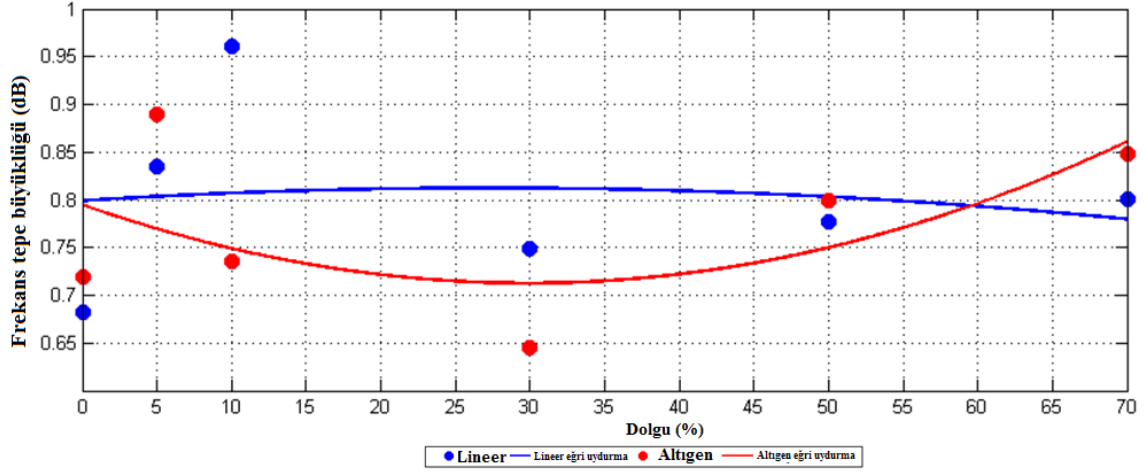
Şekil 7.18.İvme ve dolgu oranı grafiği

Dolgu oranının ivmeye etkisi Şekil 7.18'deki grafikte görüldüğü gibi hem altıgen hem lineer için artan bir eğri çizmiştir. Her iki dolgu şekli içinde yaklaşık aynı değerlerde başlayıp altıgende daha büyük artış göstermiştir.



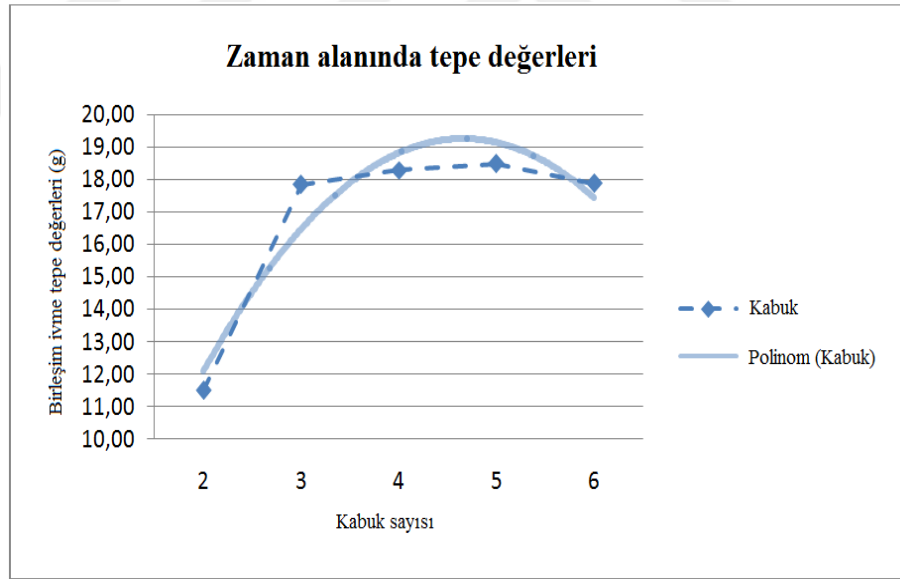
Şekil 7.19. Frekans ve dolgu oranı grafiği

Şekil 7.19'da dolgu oranının frekansa etkisi görülmektedir. Hekzagonalin titreşim frekansı lineerden daha yüksek olduğu görülmüştür. % 0 dolgu oranında aynı noktada başlamıştır. Orta değerlerde hekzagonal ve lineer arasındaki fark artsa da % 100'de tekrar eşitlenmesi beklenmektedir.



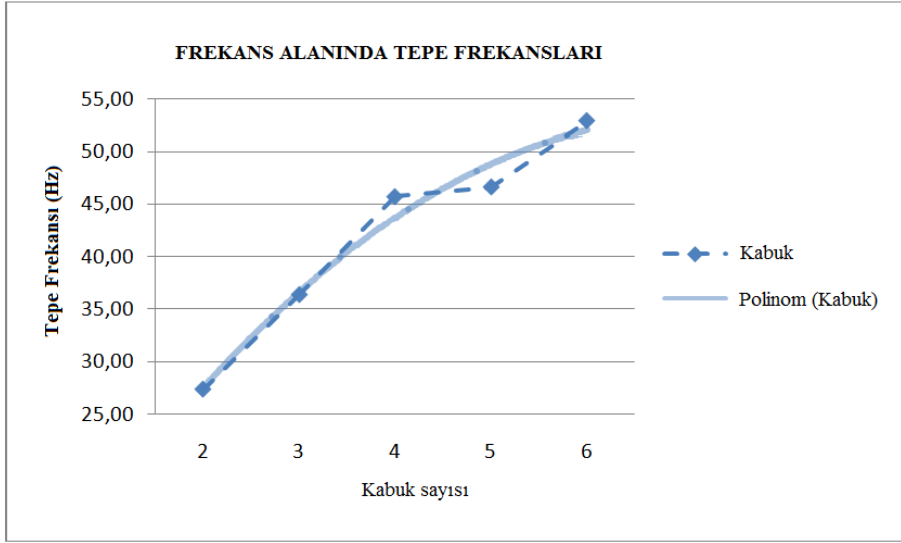
Şekil 7.20. Dolgu oranının frekans büyüklüğüne etkisi

Şekil 7.20’de frekans tepe değeri dağınık bir görüntü sergilemiştir. Dolgu oranının artması veya azalmasıyla herhangi bir etkinin oluştuğunu söyleyecek anlamlı etki görülmemiştir. Bu değer 0,6 -1,2 dB arasında değiştiği görülmüştür.



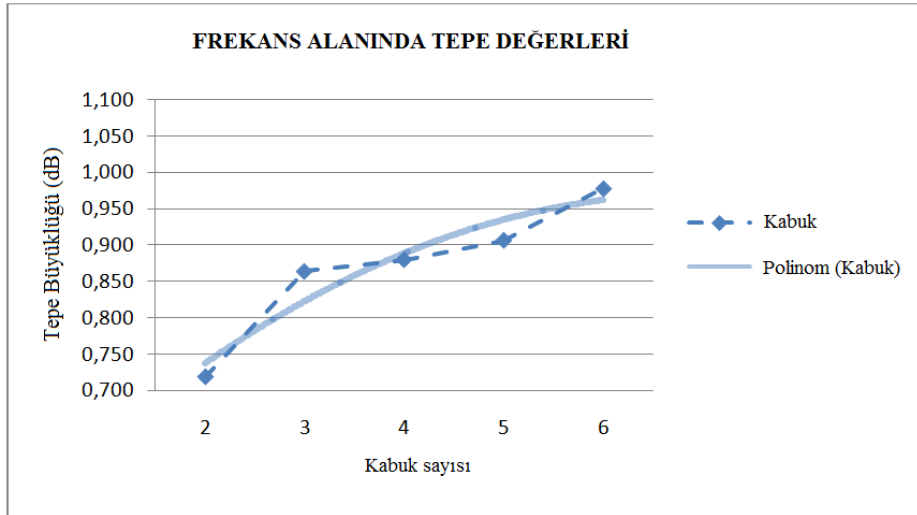
Şekil 7.21. Zaman alanında kabuk sayısı ve ivme grafiği

Şekil 7.21’de görüldüğü üzere kabuk sayısının ivmeye etkisi, kabuk sayısı arttıkça ivmenin arttığı, 2 kabuktan 3 kabağa çıkıldığında belirgin bir artış görülürken 3 ve 6 kabuk arasında çok belirgin bir artış görülmemiştir.



Şekil 7.22. Kabuk sayısı ve frekans grafiği

Kabuk sayısının tepe frekansına etkisi bakıldığında, kabuk sayısı arttıkça frekansın arttığı görülmüştür (Şekil 7.22).



Şekil 7.23. Frekans alanında tepe büyüklüğü ve kabuk sayısı grafiği

Kabuk sayısı arttıkça tepe büyüklüğü de arttığı Şekil 7.23' te görülmektedir.

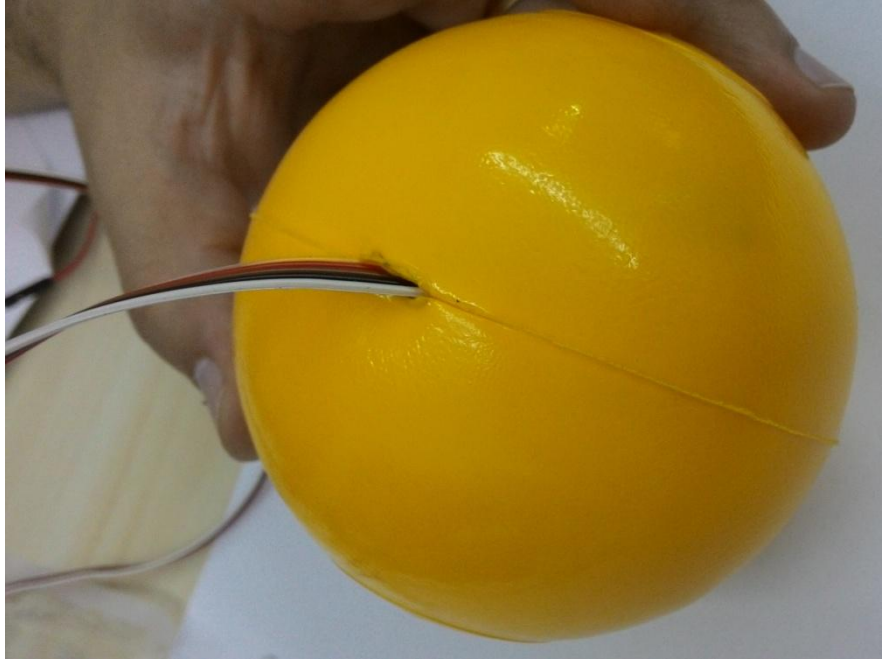
Sonuç olarak tüm grafikler toplu olarak ele alındığında dolguyu arttırmak yerine kabuk sayısını da arttırarak menteşe için aynı davranışı sergilemenin mümkün olduğu görülmüştür. Bu çalışma ileride giyilebilir robot üretiminde eklem gibi esnek bölgelerde kullanılacak olan menteşe seçiminde ışık olacaktır.

8 PROTEZ ELLERİN UYGULADIĞI BASINÇ ÖLÇÜMÜ İÇİN TEST CİHAZI TASARIMI VE GERÇEK İNSAN ELİ İLE KIYASLAMASI

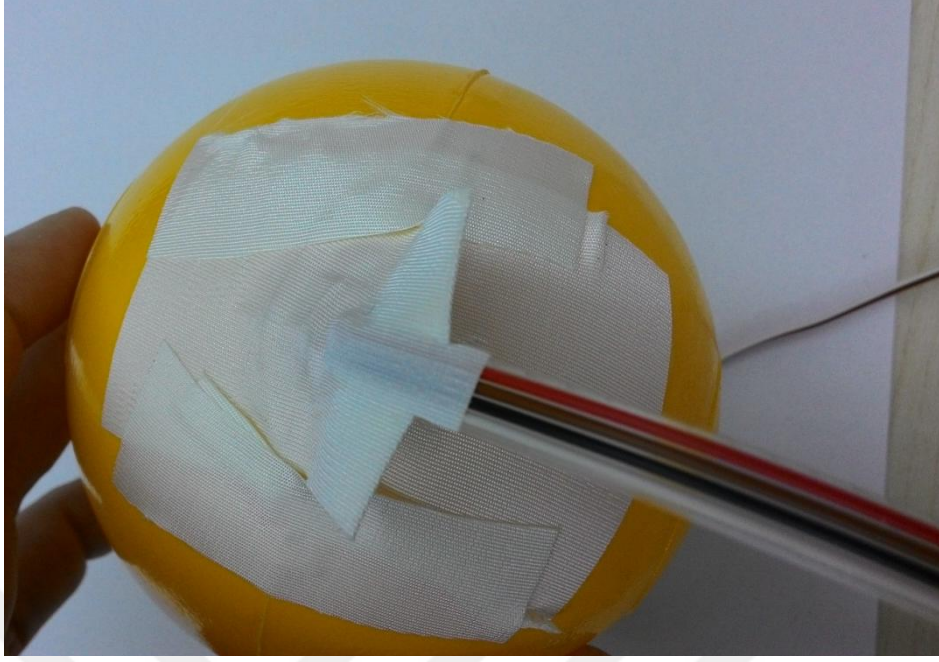
Test cihazı Resim 8.1. 'de görülen 1 adet BMP180 marka basınç ölçerin Resim 8.2.'de görüldüğü şekilde yumuşak bir topun içerisine yerleştirilmesi ve Resim 8.3' te görüldüğü gibi hava almayacak esnek ipek bant ile bantlanması ile Resim 8.4.' teki basınç ölçüm test cihazı elde edilmiştir.



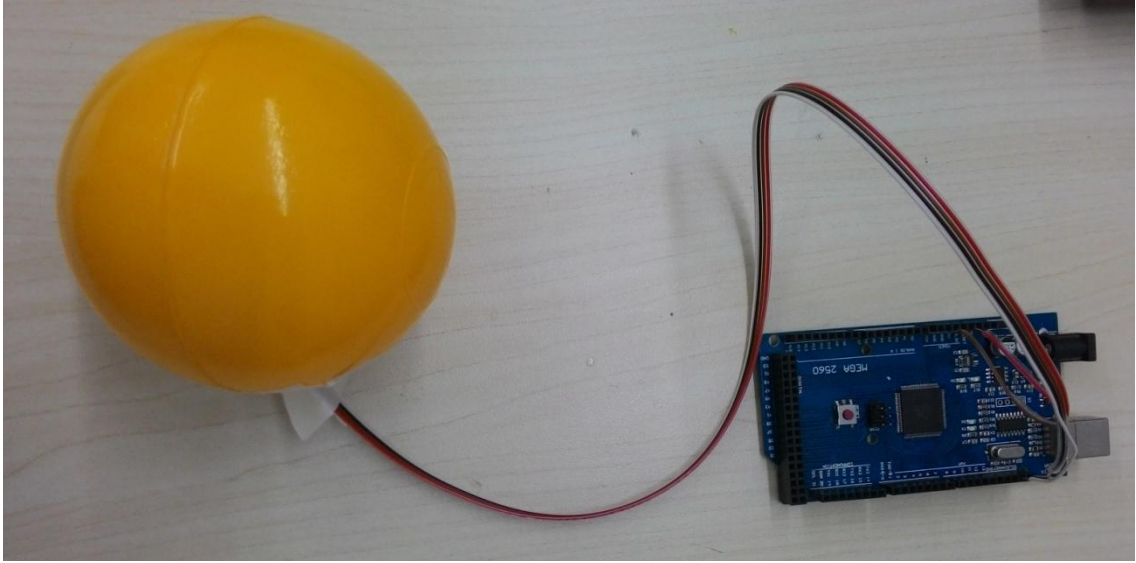
Resim 8.1. BMP180 basınçölçer



Resim 8.2. Basınçölçerin top içerisine yerleştirilmesi

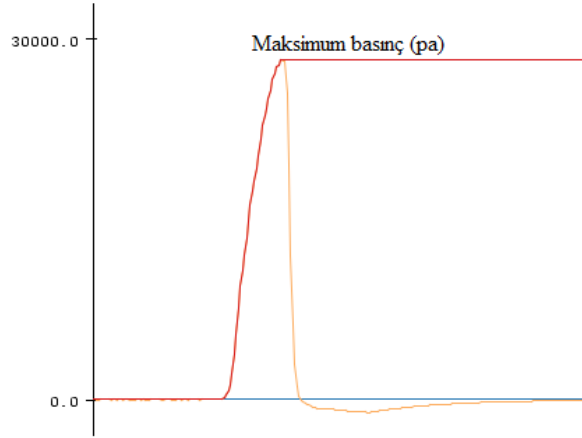


Resim 8.3. Basınçölçerin yerleşim sonrası hava almayacak şekilde bantlanması



Resim 8.4. Basınç ölçüm test cihazı

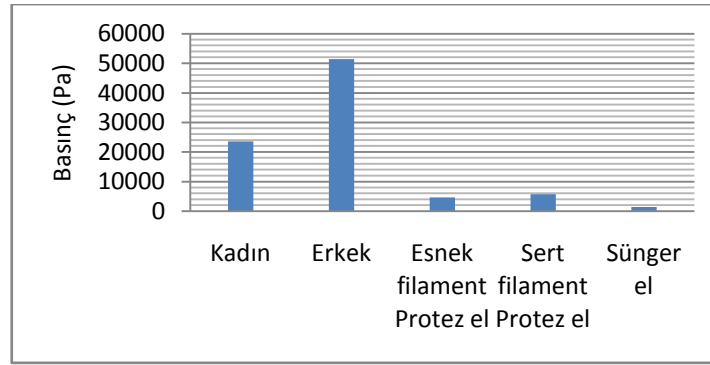
Basınç ölçüm cihazı ile 25°C sıcaklıkta on tane kadın ve on tane erkek eli basınç ölçümü yapılmış olup bu ölçümler yumuşak filamentten elde edilen robotik el ve sert filamentten elde edilen robotik ellerle kıyaslaması yapılmıştır. Test ölçüm sırasındaki örnek grafik Şekil 8.1 de görüldüğü gibi olup test sonuçları Tablo 8.1' de verilmiştir.



Şekil 8.1. Örnek test sonuç grafiği

Tablo 8.1. Ellerin uyguladığı basınç sonuçları

	Uygulanan basınç (Pa)
Kadın	23629
Erkek	51491
Esnek filament Protez el	4684
Sert filament Protez el	5729
Sünger el	1408



Şekil 8.2. Protez eller ile gerçek ellerin uyguladığı basınçlar

Yapılan test sonuçlarında üretilen protez ellerin gerçek insan eli kadar olmasa da basınç uyguladıkları üretilen protez eller içerisinde en iyi basıncı sert filamentten elde edilen elin uyguladığı görülmüştür.

9 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında üç farklı üretim yöntemi kullanılarak protez el üretilmiştir. Bunlardan birincisi kalıplama yöntemi ile üretim olup dezavantajları aşağıdaki gibidir.

- Malzemenin karışım sırasında kabarcıklar oluşturması ve çok el işi gerektirmesi,
- Hava boşluğu gibi elde olmayan sebepler nedeniyle matematiksel modellemenin zorluğu,
- Seri üretim tekniklerinin geliştirilmemiş olması,
- Her bir üretim için 3 boyutlu yazıcıdan kalıp tasarlanıp basılması maliyeti,
- Genellikle pnömatik olarak çalıştırılmaktadır, hava sızdırmazlık sorunu yaşanmaktadır,
- Ayrıca kullanılan pompalar hantaldır, taşınabilirliği zorlaştırmaktadır,
- Komple yumuşak olması yerçekiminden dolayı sarkma ve salınım yapmaktadır,
- Her seferinde el işi ile kalıplara dökülerek yapılmasından dolayı tekrarlanabilirliği zordur,
- Karışım oluşturma aşamasında birçok cihaz ve alete gerek vardır,
- Silikon malzeme karışımı oluşturması zorluğu yanında yapışkan bir malzeme olup bulaşması söz konusudur.

İkinci aşama kesme ile üretim yöntemini kullanarak sünger protez el , sünger protez el mini servo motorlar kullanılarak elde edildiği için pnömatik silikon parmaklara göre daha küçük, daha hafif ve kullanımı daha kolay olmasının avantajı yanı sıra kavrama yeteneği iyi olmadığı görülmüştür.

Üçüncü aşamada CAD/CAM üretim yöntemini kullanarak iki farklı protez el üretilmiştir. Birincisi bağlantıları elastik kendisi katı olan protez el, ikincisi parmakları elastik malzemeden avuç katı malzemeden olacak şekilde tasarlanan giyilebilir protez el. Elastik elin giyilebilirliği esnek örme yapıya sahip kumaş ve cırt bantlar ile sağlanmıştır.

Tekstil sektörünün sadece örtme ve süsleme olarak görülmemesi, sağlık, güvenlik gibi başka hizmetlerde de fonksiyonellik katılarak kullanılması gerekmektedir. Dünya da yapılan çalışmalar incelendiğinde malzeme ve elektronik teknolojisinin gelişmesi ile elektronik tekstillerin yaygınlaştığı özellikle sağlık alanında elektronik tekstilin yaygın bir şekilde kullanıldığı anca ülkemizde çok yaygın olmadığı görülmektedir.

Tez kapsamında giyilebilir protez el ve giyilebilir rehabilitasyon eldiven cihazı üretilmiştir. Protez elin giyilebilirliği az esnek örme bir kumaş ile sağlanırken kişiye özel ayarlanabilirliği de cırt bantlar ile mümkündür. Üretilen elektronik giyilebilir ele farklı eldivenler kullanarak kavrama özelliği değiştirilebilirken, kullanım alanının gereklerine göre de eldiven değiştirilerek protez harici sıcaktan etkilenmeyecek şekilde kevlar eldiven gibi eldivenler ile de ısı işlem gerektiren eli direk kullanamadığımız alanlarda yanmaz giyilebilir elektronik el olarak da kullanılabilir. Rehabilitasyon eldiveni de kişiye özel üretimi yapılabilen, kolay taşınabilir olması ve düşük maliyetli olması en büyük avantajlarındanır.

Çalışmada piyasada 5000 TL ve 7000 TL arasında olan biyonik ellerin fiyatlarının aşağı çekilebilirliği gösterilmiş olmakla beraber kolay üretilebilirliği de gösterilmiştir. Sanayi 4.0 için tekstil sektöründe küçük bir adım olan robotik ve 3b yazıcıyı giyimde, medikal sektöründe tekstile entegresi sağlanmış olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Sağbaşı, E.A., Ballı, S., and Yıldız, T., "Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünü, Bugünü ve Geleceği", (n.d.). <http://ab.org.tr/ab16/bildiri/243.pdf> (accessed May 17, 2017).
- [2] Thorp, E.O.,1998, The invention of the first wearable computer, in: *Wearable Comput. 1998 Dig. Pap. Second Int. Symp. On, IEEE*, : pp. 4–8. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=729523 (accessed August 13, 2016).
- [3] Gallego, J.A., Rocon, E., Ibanez, J., Dideriksen, J.L., Koutsou, A.D., Paradiso, R., Popovic, M.B., Belda-Lois, J.M., Gianfelici, F., Farina, D., and others,2011, A soft wearable robot for tremor assessment and suppression, in: *Robot. Autom. ICRA 2011 IEEE Int. Conf. On, IEEE*, : pp. 2249–2254. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5979639 (accessed November 13, 2014).
- [4] Rocon, E., Belda-Lois, J.M., Ruiz, A.F., Manto, M., Moreno, J.C., and Pons, J.L.,2007, "Design and Validation of a Rehabilitation Robotic Exoskeleton for Tremor Assessment and Suppression", *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 15 (3) :367–378.
- [5] Maeder-York, P., Clites, T., Boggs, E., Neff, R., Polygerinos, P., Holland, D., Stirling, L., Galloway, K., Wee, C., and Walsh, C.,2014, "Biologically Inspired Soft Robot for Thumb Rehabilitation", *J. Med. Devices.* 8 (2) :20933.
- [6] JFPS International Symposium on Fluid Power, and Japan Fluid Power System Society.,2005, The 6th JFPS International Symposium on Fluid Power Tsukuba 2005 November 7-10., The Japan Fluid Power System Society, Tokyo, .
- [7] Polygerinos, P., Lyne, S., Wang, Z., Nicolini, L.F., Mosadegh, B., Whitesides, G.M., and Walsh, C.J.,2013, Towards a soft pneumatic glove for hand rehabilitation, in: *Intell. Robots Syst. IROS 2013 IEEEERSJ Int. Conf. On, IEEE*, : pp. 1512–1517. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6696549 (accessed November 12, 2014).
- [8] Polygerinos, P., Wang, Z., Galloway, K.C., Wood, R.J., and Walsh, C.J.,2014, "Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation", *Robot. Auton. Syst.*
- [9] Rajeshwari, Y., and Srilatha, T.,2013, "A Real–Time Continuous Monitoring of Health Using Wearable Biosensors", *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng. Website Www Ijetae Com ISSN 2250-2459 ISO 9001 2008 Certif. J. Vol. 3 Issue 9.* <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.396.1483&rep=rep1&type=pdf> (accessed July 20, 2016).

- [10] "Sağlık Sektöründe Giyilebilir Teknoloji Ürünleri | Giyilebilir Teknoloji", (n.d.). <http://www.giyilebilirteknolojim.com/saglik-sektorunde-giyilebilir-teknoloji-urunleri/> (accessed August 13, 2016).
- [11] Electronica, A., 2014, Robot Mask / Kenji Suzuki, Dushyantha Jayatilake (JP). <https://www.flickr.com/photos/arselectronica/14850167242/> (accessed October 27, 2016).
- [12] "Samsung's new Simband is a fitness tracker on steroids", *Wearable*. (n.d.). <http://www.wearable.com/samsung/samsungs-new-simband-is-a-fitness-tracker-on-steroids-472> (accessed August 14, 2016).
- [13] "Gear fit | SAMSUNG Electronics Turkey", (n.d.). <http://www.samsung.com/tr/consumer/mobile-devices/wearables/gear/SM-R3500ZKATUR> (accessed August 14, 2016).
- [14] "SmartBand SWR10 – Giyilebilir Teknoloji - Sony Mobile (Türkiye)", (n.d.). <http://www.sonymobile.com/tr/products/smart-products/smartband-swr10/> (accessed August 14, 2016).
- [15] Grifantini, K., "Sensor Detects Emotions through the Skin", *MIT Technol. Rev.* (n.d.). <https://www.technologyreview.com/s/421316/sensor-detects-emotions-through-the-skin/> (accessed August 14, 2016).
- [16] "Amazon.com : Owlet Baby Monitor - Infant Heart Rate and Oxygen Monitor (Current Version) : Baby", (n.d.). https://www.amazon.com/Owlet-Baby-Monitor-Current-Version/dp/B013PY7FJQ/ref=pd_sim_75_3?ie=UTF8&dpID=51YGHtTrTL&dpSrc=sims&preST=_AC_UL160_SR160%2C160_&refRID=1TEDKN1WX08VWCMRQT72 (accessed August 14, 2016).
- [17] Yormaz, N., "Bebeklere Özel Akıllı Çorap: Owlet", *Tek Doz Dijital*. (n.d.). <http://www.tekdozdijital.com/bebeklere-ozel-akilli-corap-owlet.html> (accessed May 17, 2017).
- [18] DelsysAdmin, "Trigno™ Flex", *Delsys Inc.* (n.d.). <http://www.delsys.com/trigno-flex/> (accessed August 14, 2016).
- [19] Demir, E., "Giyilebilir Teknolojinin Geleceği Akıllı Giysiler: Sensoria Akıllı Çorap", (n.d.). <http://bigumigu.com/haber/giyilebilir-teknolojinin-gelecegi-akilli-giysiler-sensoria-akilli-corap/> (accessed August 14, 2016).
- [20] "Sensoria Fitness Smart Sock Review | Digital Trends", (n.d.). <https://www.digitaltrends.com/fitness-apparel-reviews/sensoria-fitness-smart-sock-review/#/5> (accessed May 17, 2017).

- [21] "Victoria's Secret unveils wearable tech sports bra | Unique Style Platform", (n.d.). <http://uniquestyleplatform.com/blog/2014/12/02/victorias-secretswearable-tech/> (accessed October 27, 2016).
- [22] "Lemur Studio Design develops mine detector in a shoe", (n.d.). <http://newatlas.com/lemur-studio-saveonelife/30569/> (accessed August 14, 2016).
- [23] Avcı, O., "ABD yeni geliştirdiği dış iskelet ile askerlere hedef almayı öğretecek", (n.d.). <http://www.donanimhaber.com/diger-bilim-ve-teknoloji/haberleri/ABD-yeni-gelistirdigi-dis-iskelet-ile-askerlere-hedef-almayi-ogretecek.htm> (accessed October 27, 2016).
- [24], 2016, "Hyundai Giyilebilir Robot Üretti >> Dış iskelet ile süper işçi çağı başlıyor", *Kozan Demircan*. <http://khosann.com/dis-iskeletlerle-super-kahraman-gucu-dunya-kupasinda-topa-ilk-tekmeyi-dis-iskelet-kullanan-felcli-bir-genc-vurdu/> (accessed October 27, 2016).
- [25], 2015, "Görme engelliler için akıllı eldiven", *NTV*. <http://www.ntv.com.tr/teknoloji/gorme-engelliler-icin-akilli-eldiven,CaHXTyPheU6bdkGxziCCog> (accessed August 14, 2016).
- [26] "En son teknoloji, mobil, internet haberlerini önce siz öğrenin! | Teknoloji Gündem", *Teknolojigundem.com*. (n.d.). <http://www.teknolojigundem.com/haber/gorme-engelliler-icin-akilli-eldiven/1029456> (accessed October 31, 2016).
- [27] "Engeliler için Giyilebilir Dış İskeletler | Doğa ve İnovasyon", (n.d.). <http://dogaveinovasyon.com/engeliler-icin-tasarlanan-giyilebilir-dis-iskeletler/> (accessed October 31, 2016).
- [28] Sezer, Adem, İnel, Yusuf, Seçkin, Ahmet Çağdaş, and Uluçınar, Ufuk, 2015, "An Investigation of University Students' Attention Levels in Real Classroom Settings with NeuroSky's MindWave Mobile (EEG) Device", *International Educational Technology Conference*, İstanbul, TURKEY: 88-101 .
- [29] Sezer, A., İnel, Y., Seçkin, A.Ç., and Uluçınar, U., 2017, "The Relationship between Attention Levels and Class Participation of First-Year Students in Classroom Teaching Departments", *Int. J. Instr.* 10 (2) :55–68.
- [30] "Neurosky", (n.d.). <http://neurosky.com/> (accessed August 13, 2016).
- [31] "EMOTIV Epoc - 14 Channel Wireless EEG Headset", (n.d.). <http://emotiv.com/epoc/> (accessed August 13, 2016).
- [32] "MindWave", (n.d.). <http://store.neurosky.com/pages/mindwave> (accessed August 15, 2016).
- [33] Crossley, F.E., and Umholtz, F.G., 1977, "Design for a three-fingered hand", *Mech. Mach. Theory*. 12 (1) :85–93.

- [34] Hanafusa, H., and Asada, H.,1977, "Stable Prehension of Objects by the Robot Hand with Elastic Fingers", *Trans. Soc. Instrum. Control Eng.* 13 (4) :370–377.
- [35] Okada, T.,1982, "Computer control of multijointed finger system for precise object-handling", *Syst. Man Cybern. IEEE Trans. On.* 12 (3) :289–299.
- [36] "Fearing, R. S. 1982. Exploration of the dexterous hand control problem. Research report no. 82-CRD-337. Schenectady, NY: General Electric Company, p. 20. - [37] Salisbury, J.K., and Roth, B.,1983, "Kinematic and Force Analysis of Articulated Mechanical Hands", *J. Mech. Transm. Autom. Des.* 105 (1) :35.
- [38] Kobayashi, H.,1985, "Control and Geometrical Considerations for an Articulated Robot Hand", *Int. J. Robot. Res.* 4 (1) :3–12.
- [39] "Brockett, R. W. 1985 (St. Louis, MO, March). Robotic hands with rheological surfaces. 1985 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 942-946.
- [40] Rovetta, A.,1985, Sensor controlled multifunction robot hand, in: Institute of Electrical and Electronics Engineers, : pp. 1060–1063.
- [41] Jacobsen, S.C., Iversen, E.K., Knutti, D.F., Johnson, R.T., and Biggers, K.B.,1986, Design of the Utah/MIT dextrous hand, in: Robot. Autom. Proc. 1986 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 1520–1532. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1087395 (accessed April 1, 2016).
- [42] Vanbrussel, H., Santoso, B., and Reynaerts, D.,1989, "Design and control of a multi-fingered robot hand provided with tactile feedback",. <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19900020473> (accessed April 1, 2016).
- [43] Kenaley, G.L., and Cutkosky, M.R.,1989, Electrorheological fluid-based robotic fingers with tactile sensing, in: Robot. Autom. 1989 Proc. 1989 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 132–136. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=99979 (accessed April 1, 2016).
- [44] Akella, P., and Cutkosky, M.,1989, Manipulating with soft fingers: modeling contacts and dynamics, in: IEEE Comput. Soc. Press, : pp. 764–769.
- [45] Pao, L., and Speeter, T.H.,1989, Transformation of human hand positions for robotic hand control, in: Robot. Autom. 1989 Proc. 1989 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 1758–1763. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=100229 (accessed April 4, 2016).
- [46] Cutkosky, M.R., and Kao, I.,1989, "Computing and controlling compliance of a robotic hand", *Robot. Autom. IEEE Trans. On.* 5 (2) :151–165.
- [47] Shimoga, K.B., and Goldenberg, A.A.,1996, "Soft Robotic Fingertips: Part II: Modeling and Impedance Regulation", *Int. J. Robot. Res.* 15 (4) :335–350.

- [48] "Akella, P., Siegwart, R. and Cutkosky, M. R. 1991 (Sacramento, CA, April). Manipulating with soft fingers: Contact force control. Proc. 1991 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 652-657.
- [49] "Monkman, C. J., and Taylor, P. M., 1991. (Pisa, Italy, June). Memory foams for robot grippers. Proc. 5th Int. Conf. Advanced Robotics, pp. 339-342
- [50] Crisman, J.D., Kanojia, C., and Zeid, I.,1996, "Graspar: A flexible, easily controllable robotic hand", *Robot. Autom. Mag. IEEE*. 3 (2) :32–38.
- [51] Farry, K.A., Walker, I.D., and Baraniuk, R.G.,1996, "Myoelectric teleoperation of a complex robotic hand", *Robot. Autom. IEEE Trans. On*. 12 (5) :775–788.
- [52] Lovchik, C.S., and Diftler, M.A.,1999, The robonaut hand: A dexterous robot hand for space, in: Robot. Autom. 1999 Proc. 1999 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 907–912. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=772420 (accessed April 4, 2016).
- [53] DeLaurentis, K.J., Mavroidis, C., and Pfeiffer, C.,2000, Development of a shape memory alloy actuated robotic hand, in: 7th Int. Conf. New Actuators ACTUATOR 2000 Brem. Ger. June, : pp. 19–21.
- [54] Lotti, F., Tiezzi, P., Vassura, G., Biagiotti, L., and Melchiorri, C.,2004, UBH 3: an anthropomorphic hand with simplified endo-skeletal structure and soft continuous fingerpads, in: Robot. Autom. 2004 Proc. ICRA04 2004 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 4736–4741. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1302466 (accessed October 7, 2016).
- [55] Wilkinson, D.D., Weghe, M.V., and Matsuoka, Y.,2003, An extensor mechanism for an anatomical robotic hand, in: Robot. Autom. 2003 Proc. ICRA03 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 238–243.
- [56] Lotti, F., Tiezzi, P., Vassura, G., Biagiotti, L., Palli, G., and Melchiorri, C.,2005, Development of UB hand 3: Early results, in: Robot. Autom. 2005 ICRA 2005 Proc. 2005 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 4488–4493.
- [57] Cabás, R., Cabas, L.M., and Balaguer, C.,2006, Optimized design of the underactuated robotic hand, in: Robot. Autom. 2006 ICRA 2006 Proc. 2006 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 982–987.
- [58] Takamuku, S., Gomez, G., Hosoda, K., and Pfeifer, R.,2007, Haptic discrimination of material properties by a robotic hand, in: Dev. Learn. 2007 ICDL 2007 IEEE 6th Int. Conf. On, IEEE, : pp. 1–6.
- [59] Dai, J.S., and Wang, D.,2007, "Geometric Analysis and Synthesis of the Metamorphic Robotic Hand", *J. Mech. Des.* 129 (11) :1191.

- [60] Gosselin, C., Pelletier, F., and Laliberte, T., 2008, An anthropomorphic underactuated robotic hand with 15 dofs and a single actuator, in: Robot. Autom. 2008 ICRA 2008 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 749–754. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4543295 (accessed April 4, 2016).
- [61] Schraft, R.D., and Schmierer, G., 2000, Service robots, A K Peters, Natick, MA, .
- [62] Rosén, B., Ehrsson, H.H., Antfolk, C., Cipriani, C., Sebelius, F., and Lundborg, G., 2009, "Referral of sensation to an advanced humanoid robotic hand prosthesis", *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand Surg.* 43 (5) :260–266.
- [63] Nagase, J.-Y., Saga, N., Satoh, T., and Suzumori, K., 2012, "Development and control of a multifingered robotic hand using a pneumatic tendon-driven actuator", *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* 23 (3) :345–352.
- [64] Belter, J.T., and Dollar, A.M., 2013, Novel differential mechanism enabling two DoF from a single actuator: Application to a prosthetic hand, in: Rehabil. Robot. ICORR 2013 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 1–6. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6650441 (accessed April 5, 2016).
- [65] Deimel, R., and Brock, O., 2013, A compliant hand based on a novel pneumatic actuator, in: Robot. Autom. ICRA 2013 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 2047–2053. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6630851 (accessed March 14, 2016).
- [66] Jeong, U., In, H.-K., and Cho, K.-J., 2013, "Implementation of various control algorithms for hand rehabilitation exercise using wearable robotic hand", *Intell. Serv. Robot.* 6 (4) :181–189.
- [67] Galloway, K.C., Polygerinos, P., Walsh, C.J., and Wood, R.J., 2013, Mechanically programmable bend radius for fiber-reinforced soft actuators, in: Adv. Robot. ICAR 2013 16th Int. Conf. On, IEEE, : pp. 1–6. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6766586 (accessed November 12, 2014).
- [68] Al-Timemy, A.H., Brochard, A., Bugmann, G., and Escudero, J., 2014, Development of a Highly Dexterous Robotic Hand with Independent Finger Movements for Amputee Training, in: A. Natraj, S. Cameron, C. Melhuish, M. Witkowski (Eds.), *Auton. Robot. Syst.*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, : pp. 291–293. http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-43645-5_30 (accessed April 5, 2016).
- [69] Park, H., Jo, W., Choi, K., Jung, H., Yura, J., Lee, S., Lee, B.-J., and Kim, D.-H., 2015, Development of Robotic Finger Using 3-Axis Load Cell for Violin Playing Robot, in: : pp. 22–26.

- [70] Kim, J.J., Blythe, D.R., Penny, D.A., and Goldenberg, A.A.,1987, Computer architecture and low level control of the PUMA/RAL hand system: Work in progress, in: Robot. Autom. Proc. 1987 IEEE Int. Conf. On, IEEE, : pp. 1590–1594. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1087797 (accessed April 1, 2016).
- [71] Howell, L.L.,2001, Compliant mechanisms, Wiley, New York, .
- [72] Maeder-York, P., Clites, T., Boggs, E., Neff, R., Polygerinos, P., Holland, D., Stirling, L., Galloway, K., Wee, C., and Walsh, C.,2014, "Biologically Inspired Soft Robot for Thumb Rehabilitation", *J. Med. Devices.* 8 (2) :20933.
- [73] De Beir, A., Caspar, E., Yernaux, F., Da Saldanha da Gama, P.M., Vanderborght, B., and Cleermans, A.,2014, Developing new frontiers in the Rubber Hand Illusion: Design of an open source robotic hand to better understand prosthetics, in: Robot Hum. Interact. Commun. 2014 RO-MAN 23rd IEEE Int. Symp. On, IEEE, : pp. 905–910. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6926368 (accessed April 5, 2016).
- [74] Deepan, R., Vikrama Ra, S., and Narasimhan, K.,2015, "Hand Gesture Based Control of Robotic Hand using Raspberry Pi Processor", *Asian J. Sci. Res.* 8 (3) :392–402.
- [75] "Soft Robotics Toolkit", (n.d.). <http://softroboticstoolkit.com/> (accessed November 21, 2014).
- [76] Ilievski, F., Chen, X., Mazzeo, A.D., Whitesides, G.M., Shepherd, R.F., Martinez, R.V., Choi, W.J., Kwok, S.W., Morin, S.A., Stokes, A., and Nie, Z.,2014, Soft robotic actuators, US20140109560 A1. <http://www.google.com.tr/patents/US20140109560> (accessed March 2, 2015).
- [77] Mosadegh, B., Polygerinos, P., Keplinger, C., Wennstedt, S., Shepherd, R.F., Gupta, U., Shim, J., Bertoldi, K., Walsh, C.J., and Whitesides, G.M.,2014, "Pneumatic Networks for Soft Robotics that Actuate Rapidly", *Adv. Funct. Mater.* 24 (15) :2163–2170.
- [78] Ogura, K., Wakimoto, S., Suzumori, K., and Nishioka, Y.,2008, Micro pneumatic curling actuator-Nematode actuator-, in: ROBIO, : pp. 462–467. <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic1215151.files/Soft%20actuator%20design/Nematode%20Actuator.pdf> (accessed November 12, 2014).
- [79] Shepherd, R.F., Ilievski, F., Choi, W., Morin, S.A., Stokes, A.A., Mazzeo, A.D., Chen, X., Wang, M., and Whitesides, G.M.,2011, "Multigait soft robot", *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108 (51) :20400–20403.
- [80] Sun, Y., Song, Y.S., and Paik, J.,2013, Characterization of silicone rubber based soft pneumatic actuators, in: Intell. Robots Syst. IROS 2013 IEEE/RSJ Int. Conf. On,

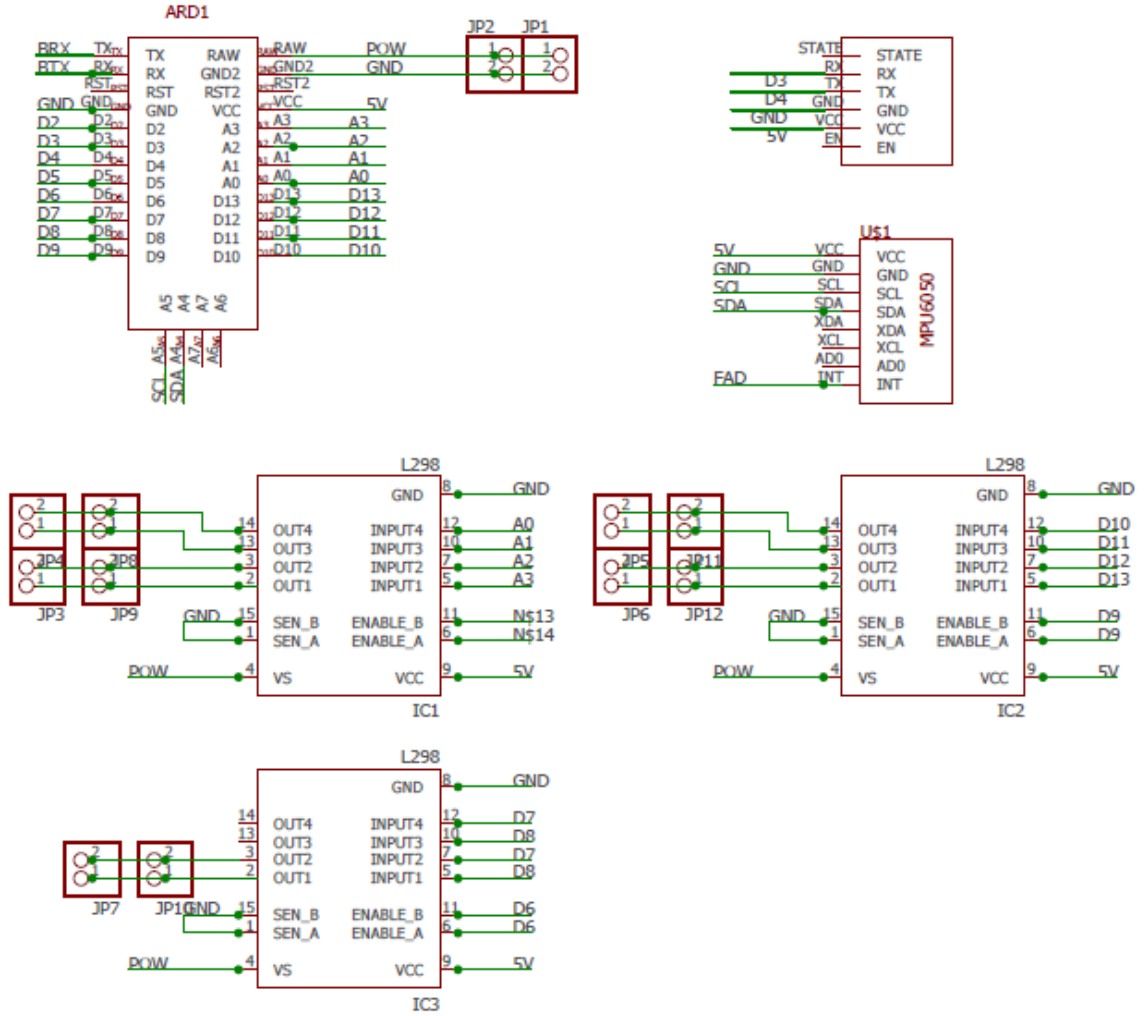
Ieee, : pp. 4446–4453. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6696995 (accessed November 12, 2014).

- [81] Chou, C.-P., and Hannaford, B.,1996, "Measurement and modeling of McKibben pneumatic artificial muscles", *Robot. Autom. IEEE Trans. On.* 12 (1) :90–102.
- [82] Doumit, M., Fahim, A., and Munro, M.,2009, "Analytical Modeling and Experimental Validation of the Braided Pneumatic Muscle", *Robot. IEEE Trans. On.* 25 :1282–1291.
- [83] Tondu, B.,2012, "Modelling of the McKibben artificial muscle: A review", *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* 23 (3) :225–253.
- [84] Mosadegh, B., Polygerinos, P., Keplinger, C., Wennstedt, S., Shepherd, R.F., Gupta, U., Shim, J., Bertoldi, K., Walsh, C.J., and Whitesides, G.M.,2014, "Pneumatic Networks for Soft Robotics that Actuate Rapidly", *Adv. Funct. Mater.* 24 (15) :2163–2170.
- [85] Luo, M., Agheli, M., and Onal, C.D.,2014, "Theoretical Modeling and Experimental Analysis of a Pressure-Operated Soft Robotic Snake", *Soft Robot.* 1 (2) :136–146.
- [86] Obiajulu, S.C., Roche, E.T., Pigula, F.A., and Walsh, C.J.,2013, Soft Pneumatic Artificial Muscles With Low Threshold Pressures for a Cardiac Compression Device, ASME, Portland, OR, . <http://dx.doi.org/10.1115/DETC2013-13004>.
- [87] Doumit, M., Fahim, A., and Munro, M.,2009, "Analytical Modeling and Experimental Validation of the Braided Pneumatic Muscle", *IEEE Trans. Robot.* 25 (6) :1282–1291.
- [88] Tondu, B.,2005, "A Seven-degrees-of-freedom Robot-arm Driven by Pneumatic Artificial Muscles for Humanoid Robots", *Int. J. Robot. Res.* 24 (4) :257–274.
- [89] Pelrine, R., Kornbluh, R.D., Eckerle, J., Jeuck, P., Oh, S., Pei, Q., and Stanford, S.,2001, Dielectric elastomers: generator mode fundamentals and applications, in: SPIEs 8th Annu. Int. Symp. Smart Struct. Mater., International Society for Optics and Photonics, : pp. 148–156. <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1279348> (accessed November 12, 2014).
- [90] Liu, L., Liu, Y., and Leng, J.,2013, "Theory progress and applications of dielectric elastomers", *Int. J. Smart Nano Mater.* 4 (3) :199–209.
- [91] Wissler, M., and Mazza, E.,2007, "Mechanical behavior of an acrylic elastomer used in dielectric elastomer actuators", *Sens. Actuators Phys.* 134 (2) :494–504.
- [92] Mine Seçkin, Necla Yaman Turan, and Ahmet Çağdaş Seçkin,2015, Comparison of Production Methods in Soft Robotic, in: Universal Researchers, .

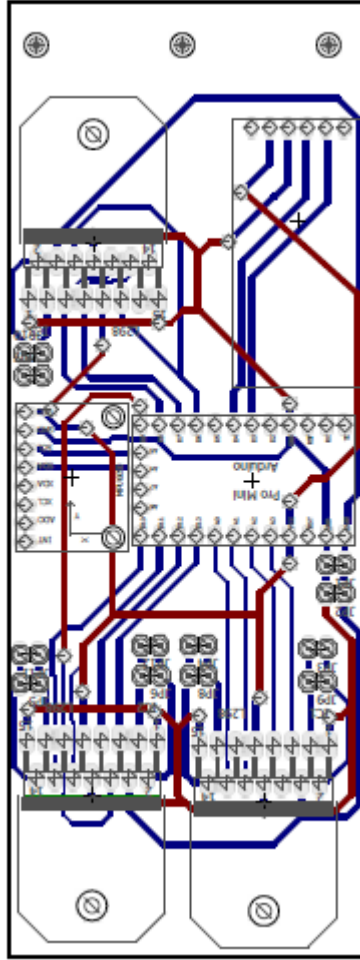
- [93] Dollar, A.M., and Howe, R.D.,2010, "The Highly Adaptive SDM Hand: Design and Performance Evaluation", *Int. J. Robot. Res.* 29 (5) :585–597.
- [94] TUSİAD SANAYİ 4.0,2016, Türkiye'nin Küresel Rekabetçili İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0, in: .
- [95], 2017, "Endüstri 4.0", *Vikipedi*.
https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=End%C3%BCstri_4.0&oldid=18381460
(accessed May 12, 2017).
- [96], 2015, SANAYİ 4.0 UYUM SAĞLAMAYAN KAYBEDECEK!, EGE BÖLGESİ SANAYİ ODASI, .
- [97] Thingiverse.com, "Flexy-Hand 2 by Gyrobot", (n.d.).
<http://www.thingiverse.com/thing:380665> (accessed October 28, 2016).
- [98] "Flexy-Fingers by Gyrobot - Thingiverse", (n.d.).
<https://www.thingiverse.com/thing:387072> (accessed May 21, 2017).
- [99] Andrejašic, M.,2008, Mems accelerometers, in: Univ. Ljubl. Fac. Math. Phys. Dep. Phys. Semin., .
http://faculty.uml.edu/xwang/16.541/2010/MEMS_accelerometers.pdf (accessed February 19, 2017).

EKLER

EK-1 Devrenin şematik çizimi



Ek -2 Devrenin baskı şematığı



ÖZGEÇMİŞ

MİNE SEÇKİN

Kişisel Bilgiler

Uyruğu : T.C.

Doğum Yeri : Suudi Arabistan-Cidde

Doğum Tarihi : 26/12/1985

Medeni Durum : Evli

Tel : 0 (553) 438 92 79

Eğitim Bilgileri

Denizli lisesi (YDA) / 1999-2003

Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü /2003- 2008

Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans/ 2009-2011

İş Deneyimi

- Oğuzlar Tekstil (DENİZLİ) İhracat ve Pazarlama Birimi - Müşteri Temsilcisi
15.10.2008-31.09.2009
- Küçüker Tekstil (DENİZLİ) Baskı-Boya Pazarlama Birimi -Müşteri Temsilcisi
26.07.2010-10.06.2011

Yabancı Dil

İngilizce: Okuma – iyi Yazma – iyi Konuşma – iyi

Almanca: Okuma –orta Yazma –orta Konuşma – orta

İspanyolca: Okuma – Orta Yazma – Orta Konuşma – orta

Projeler

- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) (Universidad Politecnica de Valencia Endüstri dersi projesi)2008
- Mikrolif kumaşlara uygulanan su iticilik apresi sonucu performans değişimleri (Süleyman Demirel Üniversitesi bitirme projesi)2008
- Süleyman Demirel Üniversitesi Yüksek Lisans Bilimsel Araştırma projesi : Ligninin Tekstil Elyafı Olarak Çekime Hazır Hale Getirilmesi (2009 -5000 TL)
- Uşak Üniversitesi Doktora Bilimsel Araştırma Projesi : Amputeler için tekstil katkılu uzuv tasarımı (2015- 10000 TL bütçeli)

Yayınlar

- İlksöz, M., Alay, S., Çakmak, D., 2008. Su İtici Bitim İşlemi Uygulanmış Mikrolif Polyester Kumaşların Performanslarının Değerlendirilmesi, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008 (3) 21 -30
- Şahin H., Sütçü A.,Karagöz Ü.,Üçgül İ.,İlksöz M.,2010. Pamuk esaslı Tekstil Atıklarının Orman Ürünleri Sanayiinde Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Laminart Dergisi,2010 (69) 134-138
- Seçkin M., Yaman Turan N., Seçkin A.Ç., ISBN 978-93-84422-37-0 2015 International Conference on Advances in Software, Control and Mechanical Engineering (ICSCME'2015) , “ Comparison of Production Methods in Soft Robotic”, Antalya(Turkey) Sept 7-8,2015 pp.1-8
- Seckin M. Yaman Turan N.,2016. Sponge Robotic Hand for Prostheses, ISSN: 2394-0832 International Biomedical Engineering Journal 2016(1).